

BÙI ĐÌNH TIỂU — PHẠM DUY NHI

159898610

CƠ SỞ
**TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN
TỰ ĐỘNG**

TẬP I

Thu Vien DHKTCN-TN



MTK06004333

NHÀ XUẤT BẢN ĐẠI HỌC VÀ TRUNG HỌC CHUYÊN NGHIỆP

BÙI ĐÌNH TIỂU — PHẠM DUY NHỊ

CƠ SỞ
TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN
TỰ ĐỘNG
TẬP I

NHÀ XUẤT BẢN ĐẠI HỌC VÀ TRUNG HỌC CHUYÊN NGHIỆP
HÀ NỘI — 1982

Biên tập: **TRẦN NHẬT TÂN**

LỜI NÓI ĐẦU

Ở nước ta ngành « Điện khí hóa xí nghiệp » hoặc ngành « Truyền động điện và tự động hóa máy sản xuất » đã được mở ở trường Đại học Bách khoa và một số trường Đại học kỹ thuật. Môn học cơ sở kỹ thuật của chuyên ngành này là « Cơ sở truyền động điện tự động ». Việc biên soạn một giáo trình để phục vụ người học và làm tài liệu tham khảo cho cán bộ giảng dạy đã trở thành yêu cầu cấp thiết.

Ngày nay, về lý thuyết cũng như thực tiễn, truyền động điện đang ở trong giai đoạn hoàn thiện với rất nhiều loại hệ thống khác nhau. Vì vậy, đề cập một cách đầy đủ các vấn đề chủ yếu của nó trong một giáo trình cơ sở là một việc rất khó khăn. Ở đây chúng tôi chỉ nêu một số hệ thống đặc trưng cho các phương hướng phát triển của ngành truyền động điện và chú trọng giới thiệu phương pháp khảo sát chúng.

Toàn bộ giáo trình được chia thành bốn phần, mỗi phần có nhiều chương.

Phần thứ nhất khảo sát các đặc tính tĩnh và những trạng thái làm việc xác lập của truyền động điện. Các đặc tính tĩnh bao gồm đặc tính của động cơ truyền động và đặc tính của máy sản xuất. Tổng hợp cả hai loại đặc tính đó ta xác định được trạng thái làm việc của hệ. Chú ý rằng, mục đích của truyền động là tạo ra và điều khiển các chuyển động cơ học, nên trước khi nghiên cứu hệ truyền động cần khảo sát phần cơ của nó.

Phần thứ hai nghiên cứu những nguyên tắc và biện pháp điều khiển tốc độ của truyền động điện. Bằng cách phân tích phương trình đặc tính cơ ta tìm ra những khả năng tác động để điều khiển tốc độ động cơ như đặt tốc độ làm việc, duy trì tốc độ đặt, tạo tốc độ bỏ hoặc điều khiển tỷ lệ tốc độ giữa các động cơ trong một hệ. Để thực hiện điều đó, ta phải dùng những biện pháp hoặc phương tiện đặc biệt, vì vậy khi khảo sát chế độ làm việc của hệ, cần xét kết hợp động cơ—máy—thiết bị biến đổi và điều chỉnh. Các đặc tính được rút ra trong phần này đều là đặc tính tĩnh,

Phần thứ ba khảo sát các đặc tính động của hệ, bao gồm những quá trình quá độ cơ học, quá trình quá độ điện cơ trong hệ tự động vòng hở và các quá trình động trong hệ vòng kín. Phương pháp nghiên cứu các hệ hở là thành lập và giải hệ thống phương trình vi phân, còn hệ kín là phương pháp gần đúng dùng đặc tính tần. Kết quả nghiên cứu cho ta những quan hệ theo thời gian của các đại lượng cơ và điện trong hệ.

Phần thứ tư trình bày các phương pháp chọn công suất động cơ truyền động cho các loại tải khác nhau dựa trên nguyên lý phát nhiệt của máy điện. Phương pháp tính toán được trình bày chủ yếu cho truyền động điện không điều chỉnh, nghĩa là với giả thiết hệ chỉ làm việc ở cấp tốc độ định mức. Đối với truyền động điện điều chỉnh thì phải xét thêm giải điều chỉnh và đặc tính tải

Toàn bộ giáo trình là một khối thống nhất và được trình bày theo trình tự chặt chẽ. Khi nghiên cứu nó, đòi hỏi phải đọc từ đầu và không bỏ qua phần nào.

Tuy nhiên, trong mỗi phần chúng tôi xếp những chương cơ bản lên đầu và trong mỗi chương - các tiết cơ bản lên trước. Những chương và tiết sau cùng đề cập đến các nội dung sâu hơn của vấn đề. Tùy theo yêu cầu của ngành học, số tiết trong mỗi chương và số chương trong mỗi phần có thể giảm bớt.

Các phần nêu trên được xếp thành hai tập, Tập I gồm phần một và phần hai, trong đó các chương I, II và VI do đồng chí Phạm Duy Nhi biên soạn, các chương III, IV, V và VII do đồng chí Bùi Đình Tiểu biên soạn.

Các tư liệu trong giáo trình được rút từ các tài liệu tham khảo nêu ở cuối sách và lấy từ kinh nghiệm giảng dạy của cán bộ bộ môn điện khí hóa xí nghiệp trường đại học Bách khoa Hà Nội. Trong quá trình biên soạn, chúng tôi nhận được sự giúp đỡ rất hiệu quả của tập thể bộ môn nói trên, các đồng chí trong tiểu ban kiểm tra kiến thức nghiên cứu sinh ngành truyền động điện và nhiều bạn đồng nghiệp.

Tuy nhiên do kiến thức và điều kiện biên soạn có hạn, quyển sách chắc chắn còn nhiều thiếu sót. Rất mong sự góp ý của bạn đọc.

Tác giả

MỞ ĐẦU

Danh từ «truyền động điện» dùng để chỉ một ngành khoa học kỹ thuật trong lĩnh vực cơ điện (ngành truyền động điện) hoặc một quá trình biến đổi năng lượng từ dạng điện thành dạng cơ hoặc một thiết bị (hệ truyền động điện).

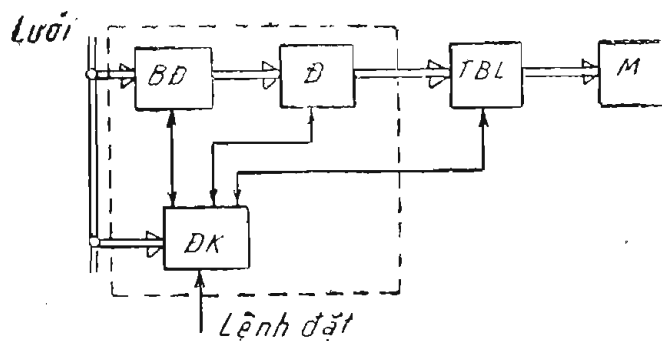
Hệ truyền động điện là tổ hợp của nhiều thiết bị điện và cơ dùng để biến đổi và điều khiển năng lượng từ dạng điện sang dạng cơ bao gồm trong sơ đồ khối (hình 1).

Điện năng từ lưới công nghiệp có tần và áp cố định được bộ biến đổi BD biến thành dạng (điện) cần thiết với những thông số yêu cầu để cấp cho động cơ Đ. Động cơ biến điện năng thành cơ năng, rồi qua khâu truyền lực TBL năng lượng được cấp cho bộ phận làm việc của máy M. Để điều khiển máy theo yêu cầu công nghệ người ta dùng bộ điều khiển ĐK. Trong trường hợp tổng quát hệ truyền động điện bao gồm bộ biến đổi BD, động cơ Đ và bộ điều khiển ĐK. Ngày nay chúng được nghiên cứu và sản xuất trọn bộ như một thiết bị đơn vị duy nhất.

Động cơ điện là phần tử trung tâm không thể thiếu của truyền động điện. Nó có thể là động cơ xoay chiều hoặc một chiều, chuyển động quay hoặc chuyển động thẳng, liên tục hoặc từng bước.

Chức năng và cấu tạo của bộ biến đổi phụ thuộc vào loại động cơ và yêu cầu công nghệ của máy sản xuất. Nó có thể là tổ máy phát hoặc chỉnh lưu để biến điện xoay chiều thành một chiều, bộ biến tần để biến điện xoay chiều tần số không đổi thành điện xoay chiều có tần số biến đổi, bộ phát xung để biến điện xoay chiều hình sin thành dạng xung v.v... Những trường hợp đơn giản có thể không dùng bộ biến đổi như hệ truyền động không điều chỉnh dùng động cơ không đồng bộ có áp và tần phù hợp với lưới.

Bộ điều khiển ĐK nhận lệnh đặt từ người điều khiển và những tín hiệu liên lạc cũng như bảo vệ trong hệ, tổng hợp và gia công chúng để điều khiển dòng năng lượng sao cho bộ phận làm việc chuyển động theo yêu cầu công nghệ. Cấu trúc của nó có liên quan trực tiếp với mức độ tự động hóa của truyền



Hình 1. Sơ đồ khối của hệ truyền động điện

động điện. Nó có thể rất phức tạp bao gồm một loạt khí cụ đóng cắt và truyền đạt tín tức, cảm biến, khuếch đại v.v... Trường hợp đơn giản nó có thể chỉ là một cầu dao.

Ngoài ba bộ phận nêu trên, truyền động điện còn có liên quan trực tiếp với các phần chuyển động trên máy như bộ truyền và biển lực, bộ phận làm việc của máy. Vì vậy tuy các bộ phận này không nằm trong cấu trúc của truyền động điện nhưng bắt buộc phải xét đến chúng khi phân tích tính năng và các trạng thái làm việc của hệ.

Với sơ đồ khối tổng quát (hình 1), truyền động điện có rất nhiều loại. Có thể phân loại chúng bằng nhiều cách:

Dựa vào loại động cơ, chúng được chia thành các loại: truyền động một chiều (dùng động cơ một chiều), truyền động xoay chiều trong đó có truyền động đồng bộ (dùng động cơ đồng bộ) và truyền động không đồng bộ (dùng động cơ không đồng bộ), truyền động bước (dùng động cơ bước), và các truyền động đặc biệt.

Dựa vào mối tương quan giữa động cơ và máy, các hệ thống được chia làm ba loại: truyền động nhóm, đơn và nhiều động cơ. Truyền động nhóm là loại dùng một hệ truyền động điện để dẫn động cho một nhóm máy thông qua một trục cái chung. Nếu bộ truyền động điện chỉ phục vụ riêng cho một máy thì được gọi là truyền động đơn, còn nếu mỗi máy có nhiều hệ truyền động cùng phối hợp gây chuyển động thì tổ hợp các hệ truyền động đó được gọi là truyền động nhiều động cơ. Ngày nay phần lớn trường hợp dùng truyền động nhiều động cơ. Nó có ưu việt là làm đơn giản cấu trúc máy, dễ tự động hóa, các chỉ tiêu năng lượng và kỹ thuật cao, dễ bố trí máy điện và phân bố các khâu truyền động, v.v...

Dựa vào mức độ tự động hóa truyền động điện được chia thành truyền động không điều chỉnh và truyền động điều chỉnh hoặc truyền động bán tự động và truyền động tự động. Ở truyền động điện không điều chỉnh động cơ chỉ làm việc ở một cấp tốc độ đặt. Khi động cơ điện có nhiều cấp tốc độ thì hệ được gọi là truyền động điện điều chỉnh. Truyền động bán tự động ứng dụng nguyên tắc điều khiển vòng hở, còn truyền động tự động thì ứng dụng các phương pháp điều khiển vòng kín. Ngày nay phần lớn các hệ không điều chỉnh đều dùng động cơ không đồng bộ. Truyền động một chiều thường là truyền động điều chỉnh và tự động.

Người ta còn chia truyền động thành hệ đảo chiều (khi động cơ làm việc được ở cả hai chiều quay) và truyền động không đảo chiều (khi động cơ chỉ quay được một chiều).

Ngành truyền động điện đã phát triển qua nhiều giai đoạn và theo nhiều phương hướng để đạt được mức độ hoàn thiện như ngày nay. Sau đây là một số phương hướng chủ yếu.

Phương hướng thứ nhất là hoàn thiện cấu trúc động cơ điện. Động cơ và hệ truyền động đầu tiên do viện sĩ hàn lâm Nga phát minh vào những năm 1834-1838. Đó là động cơ một chiều đơn sơ. Sau đó là những phát minh về truyền động một chiều của Fromanet (Pháp), Pachinotti (Ý) và động cơ

xoay chiều không đồng bộ của Dolivo – Dobrovolxki (Nga). Cả hai loại động cơ (một chiều và xoay chiều) song song tồn tại và đều được hoàn thiện không ngừng để nâng cao các tính năng cơ điện. Ngày nay, bên cạnh những động cơ loại kinh điển, người ta đã nghiên cứu và chế tạo nhiều loại động cơ mới như động cơ bước, động cơ hạ tốc có stato vòng cung, động cơ chuyển động thẳng, động cơ van, v.v...

Phương hướng thứ hai là hoàn thiện cấu trúc cơ học của truyền động. Muốn cho cấu trúc máy trở nên hợp lý và đơn giản thì động cơ truyền động phải đặt càng gần bộ phận làm việc càng tốt. Chính do nhận xét đó mà hình thức truyền động đơn đã ra đời để thay thế cho truyền động nhóm và sau đó thì truyền động nhiều động cơ thay thế cho truyền động đơn.

Phương hướng thứ ba là mở rộng phạm vi ứng dụng của truyền động điện. Ngày nay truyền động điện là phương tiện truyền động gần như duy nhất trong công nghiệp (khoảng 90% trong toàn bộ các hình thức truyền động công nghiệp), nó cũng được ứng dụng ngày càng nhiều trong ngành giao thông đường sắt, vận tải, nông nghiệp, v.v...

Để mở rộng phạm vi ứng dụng truyền động điện, người ta đã phải đồng thời mở rộng giải công suất động cơ điện, giải tốc độ làm việc và nhiều thông số khác. Ví dụ, động cơ đã được chế tạo với giải công suất từ cỡ vài trăm oát đến hàng chục megaoát, trong đó có loại hạ tốc (cỡ chục vòng/phút) đến cao tốc và siêu cao tốc (hàng chục vạn vòng/phút).

Phương hướng thứ tư là tự động hóa hệ thống. Một trong những ưu điểm của truyền động điện là dễ tự động hóa, nên từ những hình thức đơn giản ban đầu, hệ truyền động điện ngày càng phức tạp và trở thành những hệ tự động hoàn chỉnh. Nhờ đó, chúng có khả năng điều khiển chuyển động các máy theo những yêu cầu công nghệ cao và những quy luật phức tạp, ví dụ ổn định hóa tốc độ làm việc, đồng bộ hóa tốc độ các trục khác nhau, chuyển động theo chương trình, v.v... Phần lớn các hệ truyền động điện công nghiệp hiện nay là hệ tự động hóa. Ở mức độ cao hơn có thể nói truyền động điện là cơ sở của việc tự động hóa trọn bộ các dây chuyền sản xuất.

Phương hướng thứ năm là ứng dụng các vật liệu bán dẫn. Từ khi van bán dẫn điều khiển (Tiristo) ra đời đến nay các thiết bị bán dẫn đã được ứng dụng nhanh chóng vào truyền động điện và làm phát triển lý thuyết cũng như thực tiễn ngành « Truyền động van ». Tất cả các nước tiên tiến đều mở ngành sản xuất « Thiết bị biến đổi động lực », chủ yếu là chế tạo các bộ nguồn chỉnh lưu, nghịch lưu và biến tần dùng cho các máy sản xuất. Chúng đã thay thế cho các thiết bị biến đổi dùng van lon và những bộ biến đổi dùng máy điện trước kia. Nhờ đó chẳng những truyền động điện một chiều được cải thiện về cấu trúc và tăng tính kinh tế, mà truyền động không đồng bộ cũng trở thành loại có khả năng điều chỉnh rất tốt. Song song với việc bán dẫn hóa mạnh, hệ thống đều khiển truyền động điện được xây dựng bằng vật liệu bán dẫn ferit và vi mạch. Nhờ đó, độ bền và độ tin cậy của hệ ngày càng cao, chất lượng điều khiển càng ngày càng tốt, còn kích thước càng ngày càng giảm.

Ngoài ra, người ta còn chú trọng hoàn thiện các phương pháp tính toán chính xác truyền động điện có xét đến các khâu phi tuyến, dãn hồi và khe hở.

Việc tính toán đó phải bắt nguồn từ bản chất vật lý của hệ và ứng dụng lý thuyết điều khiển tự động để tìm những phương pháp có khả năng ứng dụng trong thực tế kỹ thuật với độ chính xác đủ cao.

Theo những phương hướng nêu trên, người ta đã chế tạo được nhiều loại truyền động điện có chất lượng tốt và đưa lại cho nền sản xuất những hiệu quả kinh tế cao. Ý nghĩa của truyền động đối với nền kinh tế quốc dân thể hiện ở nhiều mặt:

Truyền động điện là hình thức tiêu thụ điện năng chủ yếu trong các ngành sản xuất. Ở Liên Xô nó chiếm 62% tổng số điện năng được sản xuất ra và đặc biệt nó hầu như là nguồn động lực chính dùng cho công nghiệp. Nó là phương tiện chủ yếu để giải phóng sức lao động. Thực tế mỗi công nhân làm việc trong một ca chỉ sản ra một công khoảng 1 kW. Ngày nay ở các nước tiên tiến mức độ trang bị điện trong công nghiệp trung bình khoảng 4—5 kW công suất lắp đặt động cơ/công nhân; nghĩa là mỗi công nhân điều khiển một công suất truyền động bằng 4—5 kW. Như vậy mỗi công nhân trong một ca có thể làm ra một công bằng 28—40 kWh, nghĩa là làm việc gấp 30—40 người. Nếu đó là máy phức tạp thì ý nghĩa trên còn lớn hơn nữa.

Các số liệu thống kê cho thấy năng suất của máy từ năm 1940 tới nay hàng năm đều tăng cùng nhịp độ với mức trang bị điện của máy, nghĩa là nếu tính theo % thì số sản phẩm do một công nhân làm ra trong một năm xấp xỉ số kilôoát giờ điện năng tính cho một đầu người công nhân trong một năm. Vì vậy ta có thể nói rằng mức độ điện khí hóa của máy chính là thước đo năng suất của máy.

Giá thành điện năng rẻ hơn nhiều loại năng lượng khác nên cho phép giảm giá thành sản phẩm trên các máy dùng truyền động điện. Thường thường tiêu hao năng lượng chiếm khoảng 3—8% tổng số chi phí dùng để chế tạo ra sản phẩm.

Truyền động điện có ưu điểm tuyệt đối về khả năng tự động hóa. Do đó hiện nay các máy dùng truyền động điện phần lớn là máy tự động hoặc bán tự động. Những máy này không những có năng suất cao, thao tác dễ và nhẹ mà còn đảm bảo chất lượng gia công rất tốt như chính xác, trơn bóng (máy cắt kim loại), đều đặn (mặt giấy của máy làm giấy...). Dựa vào ưu điểm này người ta còn chế tạo được những máy tự động theo chương trình và các dây máy tự động với dây chuyền sản xuất liên tục.

Ngoài ra truyền động điện còn có ưu điểm về tính linh hoạt trong việc phân phối năng lượng, truyền đạt năng lượng theo hai chiều giữa nguồn và tải, độ tin cậy cao, v.v...

Trên đây cũng là những ưu điểm của truyền động điện so với các hình thức truyền động khác. Đó là những lý do thúc đẩy việc nghiên cứu các hệ thống truyền động điện và bảo đảm cho ngành này có sự phát triển mạnh mẽ.

PHẦN THỨ NHẤT

ĐẶC TÍNH TÍNH VÀ CÁC TRẠNG THÁI LÀM VIỆC XÁC LẬP CỦA TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

CHƯƠNG I

PHỤ TẢI VÀ PHẦN CƠ CỦA TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN TỰ ĐỘNG

1-1. LỰC CẢN VÀ MÔMEN CẢN

Điều kiện đề đảm bảo cho hệ thống truyền động điện làm việc là động cơ phải sinh ra một lực hay mômen khắc phục được lực hay mômen do các bộ phận làm việc của máy sản xuất sinh ra. Lực hay mômen ấy gọi là lực cản tĩnh F_c và mômen cản tĩnh M_c (hoặc lực, mômen phụ tải).

Nói chung mômen hoặc lực cản bao gồm 4 thành phần chính sau:

— Thành phần hữu ích do công tiêu thụ trên bộ phận làm việc sinh ra. Ví dụ trong máy cắt kim loại đó là lực cắt tác dụng theo phương chuyển động; trong các máy nâng đó là trọng lượng hàng hóa được di chuyển.

— Thành phần ma sát cơ khí (ma sát khô) do tổn hao ma sát giữa các bộ phận chuyển động sinh ra. Thành phần này thường được coi là không đổi nghĩa là không phụ thuộc vào tốc độ chuyển động.

— Thành phần ma sát dính, do tổn hao khi các bộ phận làm việc chuyển động trong dầu và không khí sinh ra. Thành phần này biến đổi theo tốc độ với những hàm lằng.

— Một số thành phần khác như lực cản phụ do chuyển động theo những đường cong sinh ra v.v...

Như vậy trong trường hợp tổng quát mômen cản M_c và lực cản F_c là tổng của các mômen và lực thành phần trên:

$$\dot{M}_c = \dot{M}_1 + \dot{M}_2 + \dot{M}_3 + \dot{M}_4$$

$$\dot{F}_c = \dot{F}_1 + \dot{F}_2 + \dot{F}_3 + \dot{F}_4$$

Để xác định mômen hoặc lực cản tổng ta phải căn cứ vào những điều kiện làm việc cụ thể của hệ. Trong một số trường hợp những thành phần ma

sát có thể đóng vai trò hữu ích. Ví dụ đối với truyền động của máy vận-chuyển khi di động trên đường nằm ngang thì toàn bộ lực cản đều do ma sát sinh ra.

Trong những chuyển động quay thì mômen ma sát cơ khí thực tế tỷ lệ với trọng lượng của vật và bán kính của tiết diện gối đỡ. Mômen ma sát với không khí là hàm tang theo tốc độ. Mômen cản hữu ích riêng phần là một hàm số nào đó của tốc độ và phụ thuộc vào dạng của phụ tải. Mômen này sẽ được giới thiệu kỹ ở tiết 1-2.

Trong những chuyển động tịnh tiến, vật có trọng lượng G chuyển động song song với phương đã cho với vận tốc không đổi V thì lực cản tổng có thể xác định theo biểu thức chung:

$$F_c = GR_0 \quad (1-1)$$

trong đó R_0 là hệ số kéo. Với mỗi dạng của vật thể hệ số kéo R_0 là một đại lượng không đổi. Nếu F_c có đơn vị đo là Niuton (N), trọng lượng G của vật là tấn (T) thì số đo của R_0 là N/T .

Hệ số kéo R_0 là tổng của các hệ số thành phần, số lượng của các hệ số thành phần tương ứng với số lực cản thành phần cần phải khắc phục. Đối với lực ma sát trên gối trục, lực cản khi vật chuyển động trên đường thẳng thì hệ số thành phần ký hiệu là ρ . Trị số của nó không đổi với ma sát cơ khí; tăng theo tốc độ với ma sát trong không khí.

Đối với lực cản phụ khi vật chuyển động trên mặt phẳng nghiêng so với mặt phẳng nằm ngang một góc α thì hệ số thành phần là độ nghiêng h tính theo phần nghìn.

Đối với lực cản phụ khi vật chuyển động trên đường cong thì hệ số thành phần ký hiệu là λ phụ thuộc vào bán kính của đường cong.

Như vậy trong trường hợp tổng quát ta có:

$$R_0 = \rho + h + \lambda \quad (1-2)$$

1-2. PHÂN LOẠI PHỤ TẢI CỦA TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

Phụ tải của hệ thống truyền động điện thường được biểu thị dưới dạng mômen cản M_c .

Có nhiều cách phân loại phụ tải, trong phần này sẽ trình bày những cách phân loại chính, thông dụng.

1. Mômen cản phụ thuộc chiều của chuyển động bao gồm:

a) *Mômen cản phản kháng* – loại mômen mà chiều của nó luôn luôn chống lại chiều của chuyển động. Ví dụ mômen ma sát mômen trên trục của các máy bơm ly tâm, quạt gió, mômen phản tác dụng khi dao cắt vào chi tiết ở các máy cắt kim loại v.v... với quy ước chiều âm của M_c trùng với chiều dương của tốc độ thì đặc tính của loại mômen này có dạng biểu diễn trên hình 1-1. M_c không phụ thuộc tốc độ dương 1, tỷ lệ bậc nhất với tốc độ dương 2.

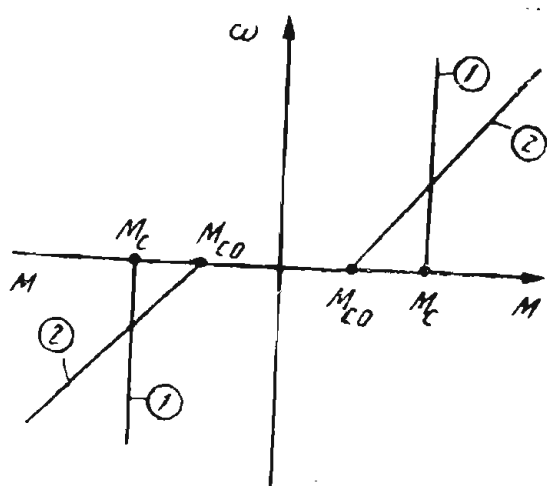
b) *Mômen cản thế năng* – loại mômen mà chiều của nó không phụ thuộc vào chiều của chuyển động.

Ví dụ. Mômen cản do tải trọng sinh ra trong các máy nâng hạ hàng, tời cầu trục, cần trục v.v...

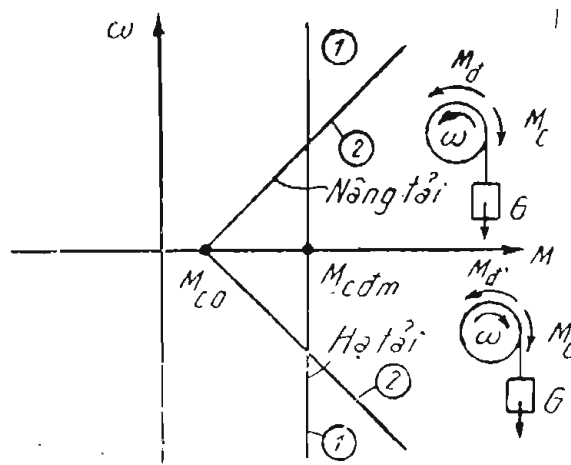
Trong những cơ cấu này có thể gặp hai trường hợp:

- Khi nâng tải M_c cản trở lại chuyển động.
- Khi hạ tải M_c hỗ trợ cho chuyển động.

Đặc tính của loại phụ tải này có dạng biểu diễn trên hình 1-1. Trên hình này còn ghi chú thêm chiều của các đại lượng cơ học để minh họa cho hai trường hợp trên.



Hình 1-1. Đặc tính của các mômen phản kháng



Hình 1-2. Đặc tính của các mômen cản thế năng không phụ thuộc tốc độ đường (1) và tỷ lệ bậc nhất với tốc độ đường (2).

2. Mômen cản phụ thuộc trị số của tốc độ bao gồm:

Mômen cản không phụ thuộc tốc độ;

Mômen cản tỷ lệ bậc nhất với tốc độ;

Mômen cản tỷ lệ bậc hai với tốc độ;

Mômen cản tỷ lệ nghịch với tốc độ.

Đây là cách phân loại theo đặc tính cơ của máy sản xuất, sẽ phân tích kỹ ở phần sau.

Hai cách phân loại trên thường sử dụng để khảo sát các trạng thái làm việc xác lập; để xác định các điều kiện bờ trong tính toán quá trình quá độ của hệ thống truyền động điện.

3. Mômen cản phụ thuộc vào góc quay.

Trong tất cả các máy có cơ cấu thanh gạt tay quay, trục khuỷu như các máy bơm pittông, máy nén khí, máy đột dập, v.v... mômen cản phụ thuộc vào vị trí của thanh quay nghĩa là phụ thuộc vào góc quay.

Trên hình 1-3 biểu diễn đặc tính phụ thuộc giữa mômen cản và góc quay $M_c = f(\alpha)$ của các máy bơm pittông.

Trên hình vẽ M_c có thể xem gần đúng là tổng của thành phần mômen trung bình không đổi M_{cb} và thành phần mômen biến đổi M'_c phụ thuộc góc

quay α . Vì hàm số biểu diễn đường cong có thể phân tích thành chuỗi Fuariê ở dạng tổng quát của các dao động điều hòa với tần số khác nhau nên cho phép ta biểu diễn M_c bởi công thức đơn giản sau:

$$M_c = \sum_0^n M_k \sin(k\alpha + \varphi_k) \quad (1-3)$$

và $\frac{d\alpha}{dt} = \omega; k = 1, 2, 3 \dots n.$

Vì khi thay đổi tốc độ, tốc độ góc ω có trị số sai khác nhỏ so với tốc độ xác lập ω_c nên có thể viết:

$$= (\omega_c + \Delta\omega)t$$

khi đó:

$$M_c = \sum_0^n M_k \sin(k\omega_c t + \varphi_k) + f(\Delta\omega, t) \quad (1-4)$$

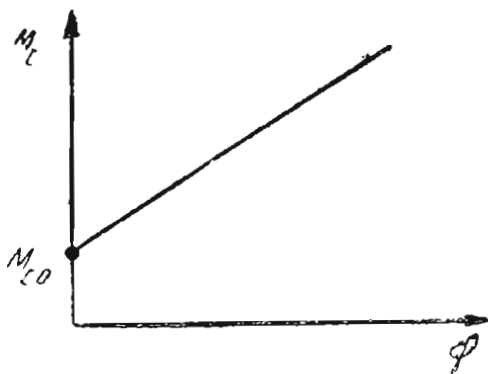
vì $f(\Delta\omega, t)$ thường có giá trị rất nhỏ nên có thể bỏ qua và được

$$M_c = \sum_0^n M_k \sin(k\omega_c t + \varphi_k) \quad (1-5)$$

Vì vậy trong giới hạn $\Delta\omega$ nhỏ quan hệ $M_c = f(\alpha)$ và $M_c = f(t)$ có cùng chu kỳ dao động.

4. Mômen cân phụ thuộc vào hành trình.

Ở những cơ cấu nâng-vận chuyển và những loại xe tải chuyển động trên mặt phẳng nghiêng, mômen cân không những phụ thuộc vào tốc độ dịch chuyển mà còn phụ thuộc vào hành trình, nghĩa là phụ thuộc vào quãng đường mà vật dịch chuyển được.



Hình 1-4. Đặc tính của mômen cân phụ thuộc vào hành trình

Trong trường hợp tổng quát mômen cân loại này được biểu diễn bởi phương trình:

$$M_c = M_{c0} + k\varphi \quad (1-6)$$

trong đó: M_{c0} — giá trị của mômen cân khi hành trình $\varphi = 0$;

k — hệ số tỷ lệ.

Trường hợp $k > 0$ đặc tính của nó có dạng như hình 1-4.

Hai cách phân loại (3) và (4) thường sử dụng để xây dựng đồ thị phụ tải trong một chu kỳ làm việc của những truyền động với mômen cân có trị số thay đổi theo góc quay hoặc hành trình, làm cơ sở cho việc tính toán khảo sát hệ truyền động điện.

5. Mômen cản phụ thuộc vào thời gian.

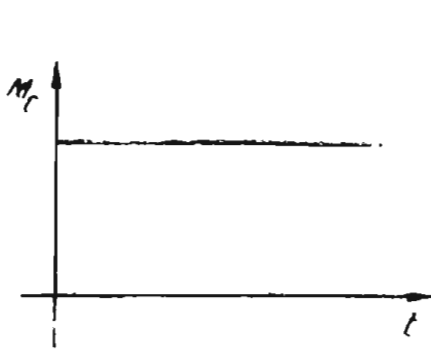
Trong thực tế để tính chọn động cơ truyền động, khảo sát quá trình quá độ hoặc tính toán kiểm nghiệm công suất động cơ, người ta thường sử dụng quan hệ phụ thuộc giữa mômen cản và thời gian $M_c = f(t)$.

Phụ tải loại này thường có các dạng sau:

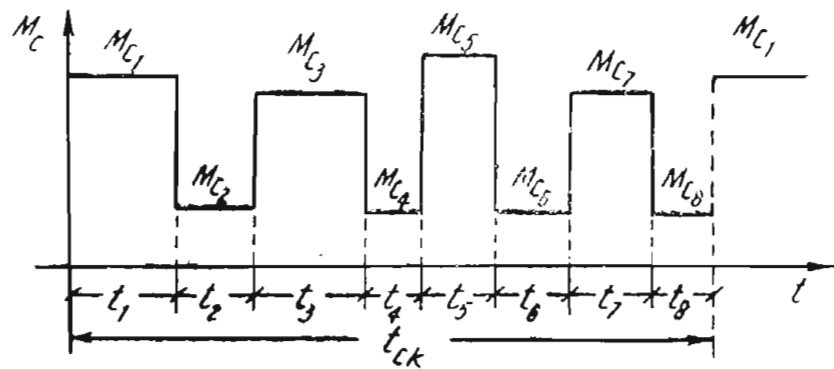
a) *Phụ tải dài hạn không đổi*, ví dụ mômen cản trên trục của các máy bơm, quạt gió ly tâm với điều kiện làm việc không đổi, các máy xeo giấy v.v...

Đặc tính của các phụ tải loại này có dạng biểu diễn trên hình 1-5.

b) *Phụ tải dài hạn biến đổi liên tục*, loại này có giá trị mômen thay đổi trong từng khoảng thời gian xác định. Ví dụ phụ tải của các máy cắt kim loại, các cơ cấu nâng hạ hàng, lò, cầu trục, cần trục, các thiết bị truyền tải (băng chuyền, băng tải) v.v...



Hình 1-5. Đồ thị phụ tải dài hạn không đổi

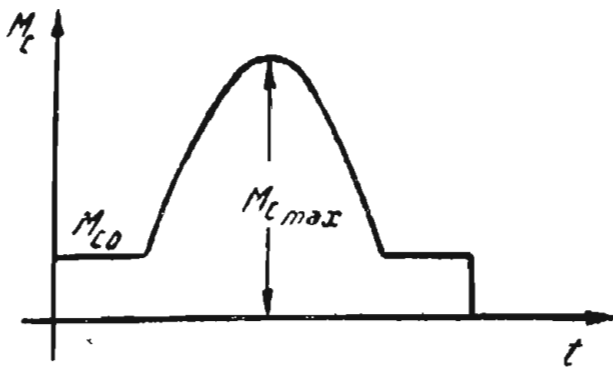


Hình 1-6. Đồ thị phụ tải dài hạn biến đổi liên tục.

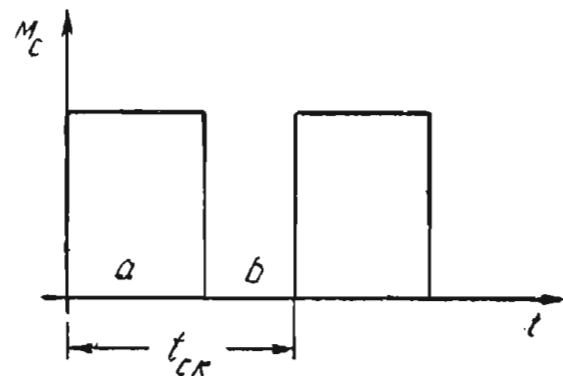
Đặc tính của các phụ tải loại này có dạng đơn giản biểu diễn trên hình 1-6.

c) *Phụ tải đột biến*, loại này có trị số của mômen tăng lên đột ngột. Ví dụ phụ tải của các máy cán, kéo, máy cắt kim loại, các máy dập ép.

Đặc tính của các phụ tải loại này có dạng biểu diễn trên hình 1-7.



Hình 1-7. Đặc tính của phụ tải đột biến.



Hình 1-8. Đặc tính phụ tải ngẫu nhiên lặp lại.

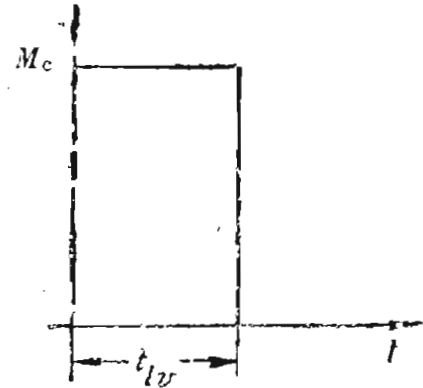
d) *Phụ tải ngắn hạn lặp lại*, ở loại này trị số của tải chỉ xuất hiện trong thời gian ngắn và ở các chu kỳ tiếp theo cứ lặp lại như vậy. Ví dụ phụ tải của các cơ cấu nâng hạ hàng, cầu trục, cần trục, băng lăn v.v...

Đặc tính của các phụ tải loại này có dạng biểu diễn trên hình 1-8. Thời gian của một chu kỳ t_{ck} gồm hai đoạn: thời gian làm việc a và thời gian nghỉ b .

e) *Phụ tải ngắn hạn*, ở loại này trị số của tải chỉ xuất hiện trong thời gian làm việc t_{lv} ngắn, còn thời gian nghỉ rất dài.

Ví dụ phụ tải của các cơ cấu nâng hạ các cánh cửa đập nước, các cơ cấu nâng hạ xà, nôi xà, xiết xà trong các máy cắt kim loại v.v...

Đặc tính của phụ tải loại này có dạng đơn giản biểu diễn trên hình 1-9.

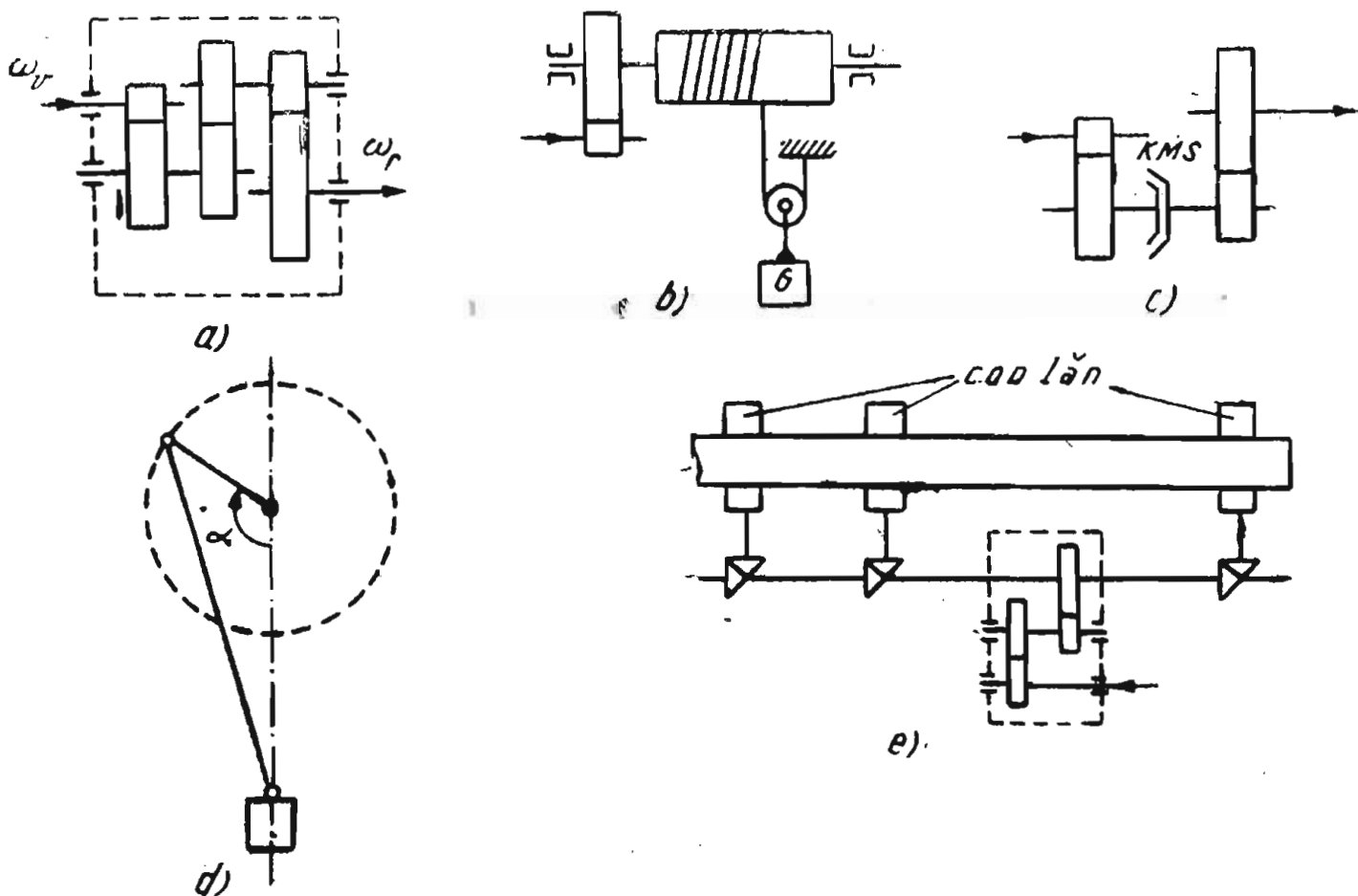


Hình 1-9. Đặc tính phụ tải ngắn hạn.

1-3. Phần cơ của truyền động điện.

Phần cơ khí của truyền động điện có nhiệm vụ chuyển cơ năng từ trục động cơ đến bộ phận làm việc của máy sản xuất.

Về cấu trúc phần cơ khí có nhiều loại khác nhau nhưng chúng đều có chung chức năng là truyền cơ năng.



Hình 1-10. Một vài cơ cấu truyền lực:

- a) Hộp biến tốc;
- b) trống tời;
- c) bánh răng và khớp ma sát KMS;
- d) thanh truyền-tay quay;
- e) băng truyền

Phần cơ của truyền động điện bao gồm:

a) *Phần quay của động cơ* (thường gọi là rô tô hoặc phan ứng) là nguồn sinh ra cơ năng nhưng cũng có khi lại là bộ phận tiêu thụ cơ năng.

b) *Các cơ cấu truyền lực hoặc biến tốc*, nhờ có các cơ cấu này mà tốc độ của động cơ được giảm đi hoặc tăng lên, rồi truyền chuyển động đến bộ phận làm việc của máy sản xuất hoặc biến đổi từ dạng chuyển động này sang dạng chuyển động khác (quay sang tịnh tiến).

Các cơ cấu truyền lực hoặc biến tốc có thể là: hộp biến tốc các bộ truyền trục vít, các bánh răng hay xích, các tang trống, cơ cấu thanh truyền tay quay v.v...

Hình 1-10 giới thiệu một số cơ cấu truyền lực hoặc biến tốc.

c) *Bộ phận làm việc của máy sản xuất*, có nhiệm vụ biến cơ năng thành công hữu ích, cũng có trường hợp nó lại là nguồn sinh cơ năng.

Việc truyền tải cơ năng từ trục động cơ đến các bộ phận làm việc của máy sản xuất có liên quan đến phần tổn thất năng lượng trong các khâu cơ khí nói trên. Nguyên nhân sinh ra tổn thất là do ma sát giữa các phần quay với ổ trục, giữa các bộ phận trượt hoặc tiếp xúc với nhau, ma sát giữa các phần quay với không khí v.v... Trong những khâu cơ khí có đàn hồi còn có thêm tổn thất phụ do hiện tượng ma sát dính trong các phần tử chịu biến dạng. Vì vậy công suất đi từ nguồn đến chỗ tiêu thụ sẽ giảm dần. Như vậy cơ năng tổn thất là một phần trích ra từ nguồn năng lượng ấy.

Những khâu cơ khí có thể làm sai lệch chuyển động do có các tổn thất kể trên hoặc do có khe hở và sự đàn hồi. Nhiều trường hợp sự sai lệch đó không đáng kể nên trên trong tính toán có thể bỏ qua.

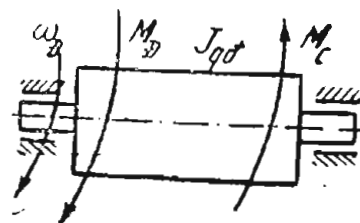
Đối với những trường hợp phần cơ khí mặc dù phức tạp nhưng nếu có thể xem chúng là cứng tuyệt đối, không có khe hở, không đàn hồi thì đều có thể thay thế tương đương bằng mẫu cơ học đơn khối đơn giản như hình 1-11

Mẫu đó gồm một vật thể rắn quay quanh một trục với tốc độ động cơ ω_d có mômen quán tính quy đổi J_{qd} , chịu tác dụng của mômen động cơ M_d và mômen cản tĩnh đã quy đổi về trục động cơ M_c .

Tuy nhiên trong thực tế một số trường hợp hệ số độ cứng của các khâu cơ khí không lớn lắm, độ đàn hồi và biến dạng của các khâu tương đối lớn, chúng có thể làm cho đặc tính chuyển động của hệ thống truyền động điện thay đổi đi khá nhiều.

Ví dụ, ở những hệ thống mà động cơ được nối với những bánh xe đã lớn qua những phần tử có độ đàn hồi lớn như: trục dài; dây cáp dài dùng cho lò, đai hoặc xích trong những băng tải có lực kéo lớn.

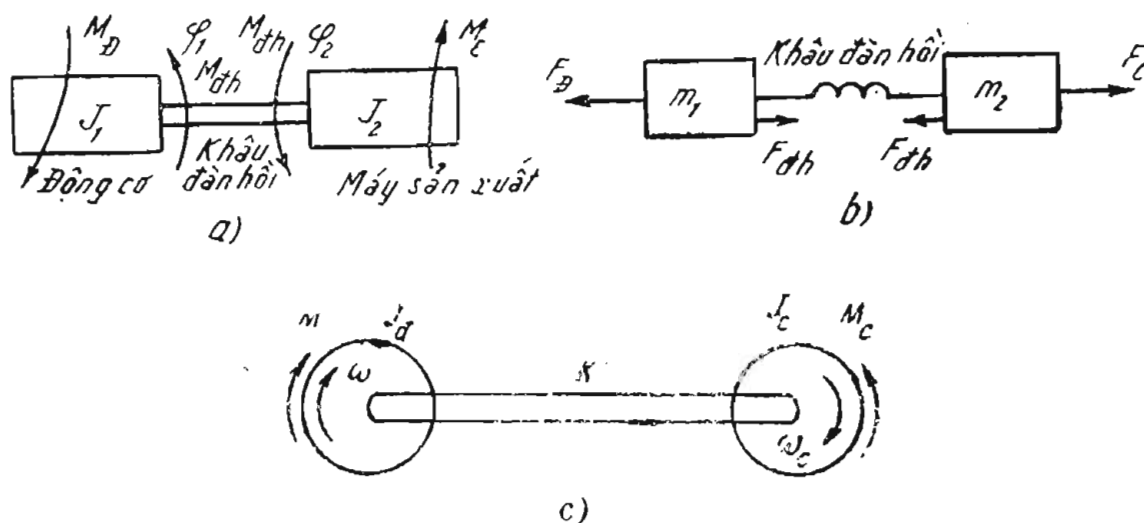
Tính đàn hồi lớn cũng có thể xuất hiện ở những hệ thống có mạch động học dài mặc dù trong đó không chứa một phần tử đàn hồi nào. Sự biến dạng trên từng phần tử tuy nhỏ nhưng vì số phần tử rất lớn nên đối với toàn máy nó trở nên đáng kể.



Hình 1-11. Mẫu cơ học đơn khối tương đương của truyền động điện.

Trong những trường hợp trên phần cơ khí của hệ không thể thay thế bằng đương bằng mẫu cơ học đơn khối, mà phải thay thế bằng mẫu cơ học đa khối.

Nếu quy đổi mômen và mômen quán tính của hệ về một tốc độ nào đó (động cơ hoặc máy sản xuất) thì trong phần lớn các trường hợp hệ truyền động có khâu đàn hồi phần cơ của nó có thể thay tương đương bởi mẫu cơ học đa khối gồm 3 khâu: khâu một gồm rôto hoặc phần ứng của động cơ với những phần tử nối cứng với động cơ như hộp tốc độ, trống tời v.v... khâu hai là khâu đàn hồi không quán tính; khâu ba là khâu cơ của máy sản xuất; như hình 1-12a. Trong đó M_{dh} mômen đàn hồi.



Hình 1-12. Mẫu cơ học đa khối của hệ chuyển động quay (a); chuyển động tịnh tiến (b) có khâu cơ khí đàn hồi; và hệ có trục mềm đàn hồi (c)

Đối với hệ chuyển động tịnh tiến có khâu cơ khí đàn hồi thì phần cơ được thay thế tương đương như hình 1-12b. Nó chỉ khác ở hình 1-12a là thay mômen quay và mômen quán tính bằng lực và khối quán tính m đã quy đổi về vận tốc dài v .

Với hệ có trục mềm thì phần cơ được thay thế tương đương như hình 1-12c.

1-4. TÍNH TOÁN QUY ĐỔI CÁC KHẤU CƠ KHÍ CỦA TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

Như đã nêu ở trên phần cơ khí của hệ thống truyền động điện bao gồm một số khâu và có thể gồm nhiều phần tử chuyển động với những tốc độ khác nhau trong một sơ đồ động học phức tạp.

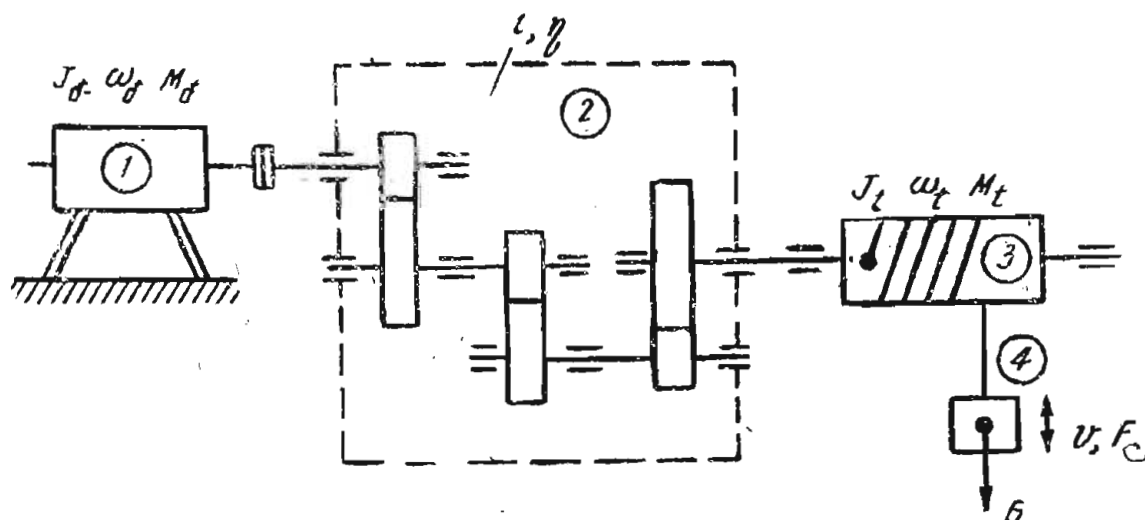
Trong phần này ta chỉ xét những hệ mà phần cơ khí của nó chỉ chứa những phần tử được xem là tuyệt đối cứng, không biến dạng, không có khe hở không khí, không có khâu đàn hồi.

Ví dụ, một cơ cấu nâng hạ hàng có sơ đồ động học như hình 1-13.

Trong sơ đồ động học trên ta thấy: động cơ, các bánh răng, tang quay có chuyển động quay với các tốc độ khác nhau, có mômen quán tính J khác nhau, có mômen quay khác nhau. Tải trọng G có chuyển động tịnh tiến với vận tốc dài v , khối quán tính m , lực cản F .

Các mômen và các lực tác dụng vào hệ thống có những điểm đặt khác nhau.

Vì vậy muốn tính chọn được công suất của động cơ; viết phương trình cân bằng lực hay cân bằng mômen của toàn hệ; khảo sát sự chuyển động, các trạng thái làm việc của hệ chỉ trên phần cơ khí của động cơ thì ta phải tính quy đổi tất cả các đại lượng cơ học như mômen, lực, mômen quán tính J, khối quán tính m của các phần tử cơ khí khác về trục động cơ.



Hình 1-13. Sơ đồ động học của cơ cấu nâng hạ hàng.
(1) động cơ điện; (2) Hộp tốc độ; (3) tang quay; (4) tải trọng.

Nguyên tắc của tính toán quy đổi là đảm bảo năng lượng của hệ trước và sau khi quy đổi không thay đổi. Năng lượng đó có thể biểu thị dưới dạng công suất hoặc động năng.

1. Tính quy đổi mômen cản về trục động cơ.

Trên hình 1-13 giả thiết tang quay có mômen là M_t , tốc độ góc ω_t . Hộp tốc độ có hiệu suất η tỷ số truyền i . Động cơ có tốc độ góc ω_d .

Tính quy đổi M_t về trục động cơ. Ở đây ta cần đảm bảo công suất của tang quay không đổi, nghĩa là:

$$\frac{M_t \cdot \omega_d}{\eta} = M_c \cdot \omega_d$$

Vậy:

$$M_c = M_t \cdot \frac{1}{\eta} \cdot \frac{\omega_t}{\omega_d}$$

Với

$$i = \frac{\omega_d}{\omega_t} \text{ ta có:}$$

$$M_c = M_t \cdot \frac{1}{\eta} \cdot \frac{1}{i} \quad (1-7)$$

trong đó M_c là mômen cản tính của tang quay đã quy đổi về trục động cơ.

2. Quy đổi lực cản F_c về trục động cơ.

Trên hình 1-13 giả thiết tải trọng G sinh ra lực F_c và vận tốc chuyển động tịnh tiến là v . Tính quy đổi F_c về trục động cơ.

Trường hợp này cần giữ công suất của tải trọng không thay đổi. Nghĩa là:

$$\frac{F_c \cdot v}{\eta} = M_c \cdot \omega_d$$

vậy

$$M_c = F_c \cdot \frac{1}{\eta} \cdot \frac{v}{\omega_d}$$

Đặt $\rho = \frac{v}{\omega_d}$ – bán kính quy đổi lực phụ tải về trục động cơ. Ta có mô-men cần do tải trọng sinh ra quy đổi về trục động cơ là:

$$M_c = F_c \cdot \frac{1}{\eta} \rho \quad (1-8)$$

3. Tính quy đổi tất cả mômen quán tính J, khối quán tính m về trục động cơ.

Trên hình 1-13 giả thiết động cơ có mômen quán tính J_d . Hộp tốc độ có k bánh răng, mỗi bánh răng có mômen quán tính là $J_1, J_2, \dots, J_k$ và quay với các tốc độ góc $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_k$. Tang quay có mômen quán tính J_t , tốc độ góc ω_t . Tải trọng có khối quán tính m, tốc độ chuyển động v.

Tính quy đổi tất cả các đại lượng cơ học trên và trục động cơ.

Trường hợp này cần đảm bảo động năng của hệ không thay đổi nghĩa là:

$$J_d \frac{\omega_d^2}{2} + \sum_1^k J_n \frac{\omega_n^2}{2} + J_t \frac{\omega_t^2}{2} + m \frac{v^2}{2} = J \cdot \frac{\omega_d^2}{2}$$

Từ đó rút ra:

$$J = J_d + \sum_1^k J_n \left(\frac{\omega_n}{\omega_d} \right)^2 + J_t \left(\frac{\omega_t}{\omega_d} \right)^2 + m \left(\frac{v}{\omega_d} \right)^2$$

Đặt $i_n = \frac{\omega_d}{\omega_n}$; $i_t = \frac{\omega_d}{\omega_t}$ – các tỷ số truyền ($n = 1, 2, \dots, k$)

và $\rho = \frac{v}{\omega_d}$ – bán kính quy đổi khối quán tính m về trục động cơ ta có:

$$J = J_d + \sum_1^k J_n \frac{1}{i_n^2} + J_t \frac{1}{i_t^2} + m \rho^2 \quad (1-9)$$

Trong thực tế tính toán một cách gần đúng người ta có thể xem rằng do có hộp tốc độ mà mômen quán tính của động cơ đã tăng lên δ lần nghĩa là

$$J = \delta J_d + J_t \frac{1}{i_t^2} + m \rho^2 \quad (1-10)$$

thường $\delta = 1,1 - 1,3$.

Trong (1-10), J – mômen quán tính đẳng trị của hệ thống truyền động điện tính quy đổi về trục động cơ. Đơn vị đo của J là kgm^2 .

Thông thường trong các sổ tay kỹ thuật người ta thường cho mômen vô lăng của rôto động cơ ký hiệu là GD^2 được đo bằng KGm^2 . Trong trường hợp đó mômen quán tính J được tính bằng:

$$J = \frac{GD^2}{4} \text{ (kgm}^2\text{)} \quad (1-11)$$

Từ những công thức tính toán quy đổi trên ta thấy rằng tất cả các hệ truyền động điện có các giả thiết như đã nêu ở đầu tiết 1-4 thì phần cơ của nó đều có thể thay thế tương đương bằng mẫu cơ học đơn khối như hình 1-11 ở tiết 1-3.

1-5. PHƯƠNG TRÌNH CHUYỂN ĐỘNG CỦA TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

Khi nghiên cứu các trạng thái chuyển động của hệ thống truyền động điện người ta thường quan tâm đến các yếu tố sau:

- Lực và mômen gây chuyển động hoặc cản trở lại chuyển động: F, M .
- Tốc độ chuyển động v ,
- Thời gian chuyển động t .

Các đại lượng này liên quan với nhau trong phương trình chuyển động của hệ thống truyền động điện, đó là những phương trình cân bằng lực hoặc cân bằng mômen của toàn hệ.

1. Phương trình chuyển động của những hệ không có khe hở, không có khâu đàn hồi

Trong trường hợp này như đã nêu ở trên, phần cơ của hệ được thay tương đương bằng mẫu cơ học đơn khối với các đại lượng cơ học đã được tính quy đổi về trục động cơ. Dựa vào mẫu cơ học này ta viết được phương trình cân bằng công suất của hệ:

$$P_d - P_c = P_{dg}; \quad (1-12)$$

trong đó: P_d — công suất của động cơ sinh ra để gây chuyển động;

P_c — công suất của phụ tải mà động cơ phải khắc phục;

P_{dg} — công suất động đặc trưng cho sự thay đổi động năng của hệ.

Hệ quay với tốc độ góc ω thì động năng của nó tích lũy được là:

$$A = J \frac{\omega^2}{2} \quad (1-13)$$

Trong trường hợp tổng quát J phụ thuộc vào góc quay của bộ phận làm việc nghĩa là

$$J = f(\alpha)$$

theo góc quay

thì công suất động bằng vi phân của động năng theo thời gian ta có:

$$P_{dg} = \frac{dA}{dt} = J\omega \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \frac{dJ}{dt} \quad (1-14)$$

Thay (1-4) vào (1-12) ta có:

$$P_d - P_c = J\omega \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \frac{dJ}{dt} \quad (1-15)$$

Chia hai vế của (1-15) cho ω ta có

$$M_d - M_c = J \frac{d\omega}{dJ} + \frac{\omega}{2} \frac{dJ}{dt} \quad (1-16)$$

Vì $\omega = \frac{d\alpha}{dt}$ nên $dt = \frac{d\alpha}{\omega}$ phương trình (1-16) có thể viết thành:

$$M_d - M_c = J \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \frac{dJ}{d\alpha} \quad (1-17)$$

Trường hợp $J = \text{const}$ ta có:

$$M_d - M_c = J \frac{d\omega}{dt} \quad (1-18)$$

(1-17) và (1-18) là phương trình chuyển động của hệ thống truyền động điện có chuyển động quay (phương trình cân bằng mômen).

Vế phải của chúng chính là mômen động M_{dg} , nghĩa là $M_d - M_c = M_{dg}$.

Trong các phương trình trên:

P tính bằng Woát (W); M—(N.m); J—(kgm)²; ω —(rad/s); α —(độ); t—(s).

Các mômen được quy ước dấu như sau: với quy ước dấu « — » không phải là của phương trình thì

$M_d, M_c > 0$ khi cùng chiều với tốc độ ω

$M_d, M_c < 0$ khi ngược chiều với tốc độ ω .

Từ các phương trình (1-17) hoặc (1-18) ta có:

1 — $M_{dg} > 0$, nghĩa là $d\omega/dt > 0$, hệ thống tăng tốc khi $\omega > 0$, hãm khi $\omega < 0$.

2 — $M_{dg} < 0$, nghĩa là $d\omega/dt < 0$, hệ thống tăng tốc khi $\omega < 0$, hãm khi $\omega > 0$.

3 — $M_{dg} = 0$, $M_d = M_c$, nghĩa là $d\omega/dt = 0$ trạng thái làm việc xác lập với $\omega_{xl} = \text{const}$. Đôi khi trong thực tế ta gặp hệ thống truyền động chuyển động tịnh tiến, khi đó cần viết phương trình chuyển động dưới dạng phương trình cân bằng lực.

Tương tự như trên công suất động của hệ là:

$$P_{dg} = \frac{d}{dt} \left(\frac{mv^2}{2} \right) \quad (1-19)$$

Trường hợp tổng quát m là hàm số của quãng đường vật dịch chuyển được L, nghĩa là $m = f(L)$ cũng có nghĩa là $m = f(t)$ nên:

$$P_{dg} = mv \frac{dv}{dt} + \frac{v^2}{2} \frac{dm}{dt} \quad (1-20)$$

vì $\frac{dL}{dt} = v$ nên $dt = \frac{dL}{v}$ và (1-20) có thể viết thành:

$$P_{dg} = mv \frac{dv}{dt} + \frac{v^3}{2} \frac{dm}{dL} \quad (1-21)$$

Chia hai vế của (1-21) cho v ta có:

$$F_{dg} = m \frac{dv}{dt} + \frac{v^2}{2} \frac{dm}{dL} \quad (1-22)$$

Phương trình chuyển động của hệ là:

$$F_d - F_c = m \frac{dv}{dt} + \frac{v^2}{2} \frac{dm}{dL} \quad (1-23)$$

Khi $m = \text{const}$ ta có:

$$F_d - F_c = m \frac{dv}{dt} \quad (1-24)$$

Trong các phương trình trên:

F_d — lực gây chuyển động, lực của động cơ sinh ra (N);

F_c — lực cản của vật (N);

m — khối lượng của vật (kg);

v — vận tốc chuyển động (m/s);

L — quãng đường dịch chuyển được của vật (m);

t — thời gian dịch chuyển (s);

Các trạng thái làm việc của hệ lý luận tương tự như trên.

Chú ý rằng, trong các trường hợp lực đo bằng kG thì, khi tính đổi cần nhớ

$$1 \text{ kG} = 9,81 \text{ N}.$$

Tương tự ta có:

$$1 \text{ kG.m} = 9,81 \text{ N.m}.$$

Đối với chuyển động quay nếu cho tốc độ quay n (v/ph) thì tính đổi:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{n}{9,55}.$$

2. Phương trình chuyển động của những hệ có khâu đàn hồi. Ta xét cho trường hợp hệ truyền động mà động cơ được nối với bộ phận làm việc của máy sản xuất qua trục đàn hồi. Trong trường hợp này phần cơ của hệ được thay tương đương bằng mẫu cơ học đa khối như hình 1-12c ở tiết 1-3.

Lý luận tương tự như ở các phần trên ta có phương trình chuyển động của hệ dưới dạng tổng quát:

$$M - M_c = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega + k \int \omega dt; \quad (1-25)$$

trong đó: k — hệ số độ cứng; B — hệ số ma sát, trong trường hợp trên xem như không có ma sát nên $B = 0$.

Giả thiết $M_c = \text{const}$. Mômen đàn hồi tác dụng trên trục truyền động tỷ lệ với góc xoắn của trục. Góc xoắn này lại tỷ lệ với tích phân theo thời gian của hiệu số giữa tốc độ động cơ ω và tốc độ của máy sản xuất ω_c . Khi trục động cơ và máy sản xuất nối với nhau qua một trục đàn hồi, ta có thể viết hệ phương trình sau:

Đối với trục động cơ:

$$M = J_d \frac{d\omega}{dt} + k \int (\omega - \omega_c) dt$$

Đối với trục của máy sản xuất:

$$-M_c = J_c \frac{d\omega_c}{dt} - k \int (\omega - \omega_c) dt$$

(1-26)

Trong (1-26) mômen cản M_c và mômen của lực đàn hồi tác dụng lên trục của máy sản xuất có dấu $\alpha - \pi$ vì chúng ngược chiều với mômen của động cơ.

Sử dụng cách giải gần đúng hệ phương trình vi - tích phân (1-26) theo phương pháp sai phân và sử dụng các ký hiệu toán tử:

$$P = \frac{d}{dt} \quad \text{và} \quad \int x dt = \frac{x}{P}$$

ta có:

$$\left. \begin{aligned} \Delta M &= J_d P \cdot \Delta \omega + \frac{k}{P} (\Delta \omega - \Delta \omega_c) \\ - \Delta M_c &= J_c P \cdot \Delta \omega_c - \frac{k}{P} (\Delta \omega - \Delta \omega_c) \end{aligned} \right\} \quad (1-27)$$

Bằng cách khử $\Delta \omega_c$ trong hệ (1-27) và biến đổi ta sẽ được phương trình chuyển động của toàn hệ:

$$\Delta \omega \cdot P \left(J_d + J_c + P^2 \frac{J_d J_c}{k} \right) + \Delta M_c = \Delta M \left(1 + P^2 \frac{J_c}{k} \right) \quad (1-28)$$

Có thể biểu diễn (1-28) dưới dạng các đại lượng tương đối ứng với các đại lượng cơ bản là các thông số định mức của động cơ như: mômen định mức M_{dm} , tốc độ định mức ω_{dm} . Nghĩa là:

$$\Delta M^* = \frac{\Delta M}{M_{dm}}; \quad \Delta \omega^* = \frac{\Delta \omega}{\omega_{dm}}$$

Phương trình (1-28) trở thành:

$$\Delta \omega^* \cdot P \cdot T_{kd} \left(1 + \frac{P^2}{f_d^2} \right) + \Delta M_c^* = \Delta M^* \left(1 + \frac{P}{f_c^2} \right) \quad (1-29)$$

trong đó:

$T_{kd} = \frac{J_d + J_c}{M_{dm} \omega_{dm}}$ - hằng số thời gian cơ học của các bộ phận quay khi khởi động.

$f_d = \sqrt{k \frac{J_d + J_c}{J_d \cdot J_c}}$ - tần số dao động riêng của hệ gồm hai khối

$f_c = \sqrt{\frac{k}{J_d}}$ - tần số dao động riêng của máy sản xuất khi giữ rôto của động cơ đứng im.

Giải phương trình (1-29) ta sẽ được quan hệ $\Delta \omega^* = f(t)$ ứng với giá số mômen ΔM^* đã cho.

1-6. KHÁI NIỆM VỀ ĐẶC TÍNH CƠ.

1. Định nghĩa và phân loại đặc tính cơ. Quan hệ giữa tốc độ góc ω với mômen sinh ra của động cơ $\omega = f(M)$ và của máy sản xuất $\omega_c = f(M_c)$ gọi là đặc tính cơ của động cơ và của máy sản xuất. Đặc tính cơ cũng có thể biểu diễn dưới dạng hàm ngược $M = \varphi(\omega)$; $M_c = \varphi(\omega_c)$.

Hàm thuận $\omega = f(M)$ và $\omega_c = f(M_c)$ được sử dụng thuận tiện khi cần biểu diễn các đặc tính cơ dưới dạng đồ thị vì nó dễ đánh giá được các chất lượng tính của hệ thống. Các hàm ngược được sử dụng thuận tiện trong tính toán giải tích.

Đặc tính cơ thường có hai loại chính: đặc tính cơ tĩnh và đặc tính cơ động.

Quan hệ giữa tốc độ và mômen của động cơ ở mọi trạng thái làm việc không xác lập gọi là **đặc tính cơ động**. Nó là quỹ tích của những điểm trong mặt phẳng $[M, \omega]$ trong thời gian của quá trình quá độ. Nó còn được gọi là quỹ đạo pha của hệ.

Đặc tính cơ tĩnh là quỹ tích của những điểm trong mặt phẳng $[M, \omega]$ ứng với những trạng thái làm việc xác lập của hệ.

Các đặc tính cơ tĩnh được dùng để phân tích quá trình làm việc của hệ truyền động ở các trạng thái xác lập và xác định các điều kiện bờ của quá trình quá độ.

Các đặc tính cơ động cho biết các chế độ làm việc mà máy điện phải trải qua trong quá trình quá độ và những chỉ tiêu chất lượng động của hệ.

Ngoài đặc tính cơ, người ta còn thường sử dụng quan hệ phụ thuộc giữa tốc độ góc ω với dòng điện trong mạch động lực (mạch phản ứng hay mạch rôto) của động cơ $\omega = f(I)$ gọi là **đặc tính cơ điện**. Đặc tính cơ điện cho phép ta đánh giá mức độ chịu tải của động cơ về mặt dòng điện, từ đó xác định được các thông số cần thiết của động cơ về mặt phát nóng, chuyển mạch, bảo vệ v.v...

Đối với động cơ, đặc tính cơ và đặc tính cơ điện tĩnh còn được phân thành hai loại: đặc tính tự nhiên và đặc tính nhân tạo.

Đặc tính tự nhiên là quan hệ $\omega = f(M)$ và $\omega = f(I)$ vẽ được khi các thông số của nguồn điện cung cấp là định mức, sơ đồ đấu dây bình thường, không dùng thêm phần tử phụ nào.

Đặc tính nhân tạo là quan hệ $\omega = f(M)$ và $\omega = f(I)$ vẽ được khi thay đổi riêng rẽ hoặc đồng thời các thông số của nguồn điện cung cấp, các thông số của động cơ, thay đổi cách đấu dây hoặc dùng thêm các phần tử phụ.

2. Độ cứng của đặc tính cơ. Độ cứng của đặc tính cơ biểu thị mức độ thay đổi của tốc độ khi mômen thay đổi. Khi mômen thay đổi trong một phạm vi xác định, nếu tốc độ thay đổi càng ít thì đặc tính cơ càng cứng.

Độ cứng của đặc tính cơ được đánh giá bởi hệ số β :

$$\beta = \frac{dM}{d\omega}$$

Để dễ phân biệt, đối với động cơ ta dùng ký hiệu β , còn đối với máy sản xuất dùng ký hiệu β_c .

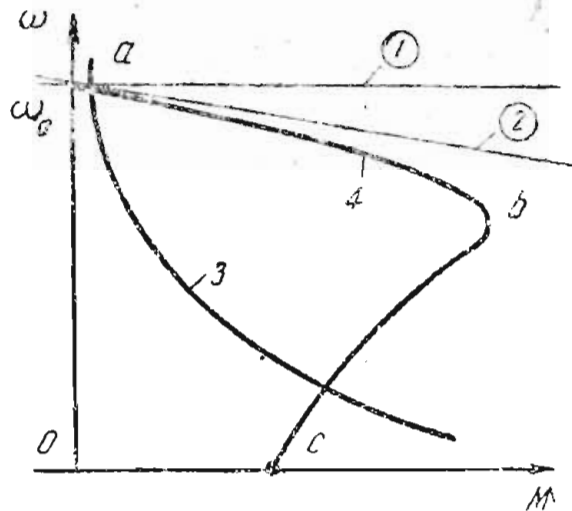
Đặc tính cơ của từng loại động cơ và từng loại máy sản xuất có độ cứng khác nhau:

— Đối với động cơ đồng bộ, đặc tính cơ là đường thẳng nằm ngang như đường 1 trên hình 1-14, $\beta = \infty$ đặc tính cơ gọi là cứng tuyệt đối.

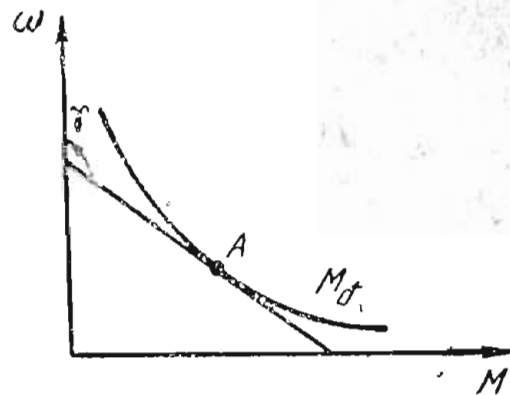
— Đối với động cơ một chiều kích từ độc lập, đặc tính cơ là đường thẳng nghiêng như đường 2 trên hình 1-14, β không đổi và âm. Đặc tính này thuộc loại cứng.

– Đối với động cơ một chiều kích từ nối tiếp, đặc tính cơ có dạng cong như đường (3) trên hình 1-14. β biến đổi và âm. Trong vùng mômen nhỏ đặc tính cơ thuộc loại mềm, trong vùng mômen lớn đặc tính cơ thuộc loại cứng.

– Đối với động cơ không đồng bộ, đặc tính cơ có dạng như đường (4) trên hình 1-14. β biến đổi cả về trị số và dấu. Theo dấu của β người ta chia đặc tính cơ thành hai đoạn cơ bản: đoạn ab có β âm gọi là đoạn làm việc, và đoạn bc có β dương gọi là đoạn không làm việc.



Hình 1-14. Đặc tính cơ của động cơ đồng bộ (1); của động cơ một chiều kích từ độc lập (2); của động cơ một chiều kích từ nối tiếp (3); và của động cơ không đồng bộ (4).



Hình 1-15. Xác định độ cứng của đặc tính cơ bằng đồ thị

Trên đồ thị $[M, \omega]$ độ cứng được xác định theo tang của góc lệch giữa tiếp tuyến của đặc tính cơ tại điểm xét với trục tốc độ theo chiều dương như hình 1-15. Nghĩa là $\beta = \tan \gamma$.

3. Hệ đơn vị tương đối sử dụng trong truyền động điện.

Để thuận tiện cho việc tính toán thiết kế, hoặc đánh giá so sánh các hệ truyền động người ta thường sử dụng các đại lượng tương đối.

Muốn biểu diễn một đại lượng nào đó dưới dạng tương đối ta lấy trị số của nó chia cho trị số của đại lượng cơ bản tương ứng đã chọn. Trong truyền động điện các đại lượng cơ bản được chọn là các thông số định mức của máy điện và của nguồn điện như:

$$U_{dm}, I_{dm}, \omega_{dm}, M_{dm}, \Phi_{dm}, R_{dm}, \omega_o \text{ hoặc } \omega_o \text{ v.v...}$$

Để ký hiệu đại lượng tương đối ta dùng dấu «*» ghi trên ký hiệu của đại lượng đó, cụ thể:

Trị số tương đối của điện áp:

$$U^* = \frac{U}{U_{dm}} \text{ hoặc } U^*\% = \frac{U}{U_{dm}} 100\% ;$$

$$\text{của dòng điện: } I^* = \frac{I}{I_{dm}} ; \text{ mômen } M^* = \frac{M}{M_{dm}} ; \text{ từ thông } \Phi^* = \frac{\Phi}{\Phi_{dm}} ;$$

điện trở $R^* = \frac{R}{R_{dm}}$; tốc độ $\omega^* = \frac{\omega}{\omega_{dm}}$ hoặc $\omega^* = \frac{\omega}{\omega_0}$...

Khi sử dụng hệ đơn vị tương đối cần chú ý mấy điểm sau :

— Đối với các máy một chiều kích từ độc lập và kích từ hỗn hợp, tốc độ cơ bản là tốc độ không tải lý tưởng ω_0 ; đối với các máy không đồng bộ và đồng bộ, tốc độ cơ bản là tốc độ đồng bộ ω_0 ; đối với các máy một chiều kích từ nối tiếp, tốc độ cơ bản là tốc độ định mức của nó.

— Đại lượng cơ bản của điện trở là điện trở định mức R_{dm} :

Đối với các máy một chiều :

$$R_{dm} = \frac{U_{dm}}{I_{dm}} ; (\Omega)$$

Còn đối với các động cơ không đồng bộ rôto quấn dây cần hiểu :

Điện trở định mức của rôto R_{2dm} là điện trở ở một pha của mạch rôto bao gồm điện trở của cuộn dây rôto ở một pha r_2 cộng với điện trở phụ R_f mắc nối tiếp thêm vào mỗi pha sao cho khi rôto đứng yên, mạch stato đặt vào điện áp định mức, tần số định mức thì dòng điện ở mỗi pha rôto có trị số định mức I_{2dm} .

Khi mạch rôto đấu hình sao thì tổng trở định mức ở mỗi pha là :

$$Z_{2dm} = \frac{E_{2nm}}{\sqrt{3} I_{2dm}} ; (\Omega) \quad (1-30)$$

trong đó :

E_{2nm} — sức điện động giữa hai vành góp của rôto khi rôto đứng yên còn stato có thông số định mức như nêu ở trên (V) (thường gọi là sức điện động ngắn mạch của rôto).

I_{2dm} — dòng điện định mức ở mỗi pha của rôto (A).

Vì ở các động cơ không đồng bộ thường điện kháng định mức ở mỗi pha của rôto x_{2dm} rất nhỏ so với tổng trở định mức Z_{2dm} nên có thể tính gần đúng :

$$R_{2dm} \approx Z_{2dm}$$

Nếu mạch rôto đấu tam giác (Δ) thì điện trở định mức ở mỗi pha của rôto tính quy đổi sang đấu sao (γ) là :

$$R_{2dm\gamma} = \frac{1}{2} R_{2dm\Delta} \quad (1-31)$$

1-7. ĐẶC TÍNH CƠ CỦA MÁY SẢN XUẤT

Thực tế có nhiều loại máy sản xuất khác nhau, đặc tính cơ của chúng cũng có nhiều dạng khác nhau. Tuy vậy đặc tính cơ của các máy sản xuất thường gặp đều có thể biểu diễn bằng biểu thức tổng quát sau đây :

$$M_c = M_{c0} + (M_{c,dm} - M_{c0}) \left(\frac{\omega_c}{\omega_{dm}} \right)^2 \quad (1-32)$$

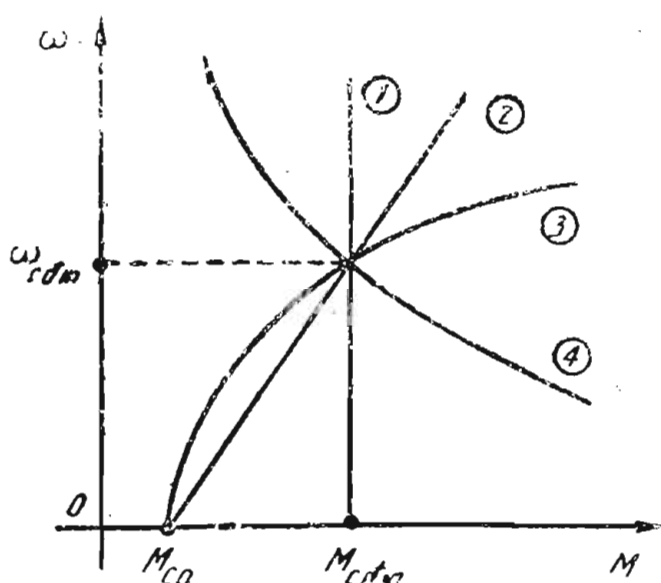
trong đó :

- M_c – mômen cản là mômen trên trục của máy sản xuất ứng với tốc độ ω_c nào đấy ;
- M_{c0} – mômen cản của máy sản xuất khi không quay ($\omega_c = 0$) ;
- M_{cdm} – mômen cản định mức là mômen trên trục của máy sản xuất ứng với tốc độ góc định mức ω_{cdm} ;
- x – những số tự nhiên đặc trưng cho từng dạng đặc tính cơ của máy sản xuất.

Sau đây ta xét dạng đặc tính cơ của máy sản xuất ứng với các giá trị khác nhau của x .

1. Ứng với $x = 0$, $M_c = \text{const.}$

Đặc tính cơ có dạng như đường 1 trên hình 1-16. $\beta_c = 0$. Các cơ cấu nâng hạ hàng (lời, cầu trục, cần trục, v.v...); các băng chuyền; truyền động ăn dao của các máy cắt kim loại đều có đặc tính cơ thuộc loại này.



Hình 1-16. Dạng đặc tính cơ của một số máy sản xuất:

- (1) – $x = 0$; (2) – $x = 1$; (3) – $x = 2$;
- (4) – $x = -1$.

2. Ứng với $x = 1$, M_c tỷ lệ bậc nhất với tốc độ.

Đặc tính cơ có dạng như đường 2 trên hình 1-16. β_c không đổi và dương. Mômen cản trên trục của máy phát điện một chiều kích từ độc lập khi làm việc với phụ tải thuần trở; mômen cản do ma sát trượt sinh ra, đều phụ thuộc tốc độ như đặc tính này.

3. Ứng với $x = 2$, M_c tỷ lệ bậc hai với tốc độ.

Đặc tính cơ có dạng đường 3 trên hình 1-16. β_c biến đổi và dương. Mômen cản sinh ra trên trục các máy bơm ly tâm, các quạt gió v.v... đều có đặc tính cơ thuộc loại này.

4. Ứng với $x = -1$, M_c tỷ lệ nghịch với tốc độ.

Đặc tính cơ có dạng như đường 4 trên hình 1-16. β_c biến đổi và âm. Truyền động chính của một số máy cắt kim loại như: máy tiện, phay, khoan; mômen cản do ma sát nhớt sinh ra đều phụ thuộc tốc độ như đặc tính này.

1-8. CÁC TRẠNG THÁI LÀM VIỆC XÁC LẬP CỦA TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

1. Khái niệm về trạng thái làm việc xác lập.

Hệ thống truyền động điện làm việc ở trạng thái xác lập khi mômen của động cơ cân bằng với mômen cản, nghĩa là:

$$M_{dg} = M_d - M_c = 0$$

Trong trạng thái làm việc xác lập tốc độ của ~~động cơ không thay đổi~~ và không phụ thuộc vào thời gian, nghĩa là $\frac{d\omega}{dt} = 0$. Vì mômen của động cơ

trong chế độ tĩnh là một hàm của tốc độ nên sự cân bằng $M_d = M_c$ chỉ có thể tồn tại khi mômen cản cũng là hàm số của tốc độ hoặc có trị số không đổi. Nếu như mômen cản lại phụ thuộc các đại lượng khác như hành trình (góc quay) thì các điều kiện trên sẽ không bao giờ đạt được, lúc đó chỉ có thể tồn tại trạng thái tựa xác lập. Ở trạng thái này giá trị tức thời của mômen và tốc độ đều biến đổi, còn giá trị trung bình của mômen động cơ và mômen cản bằng nhau do đó giá trị trung bình của tốc độ không đổi.

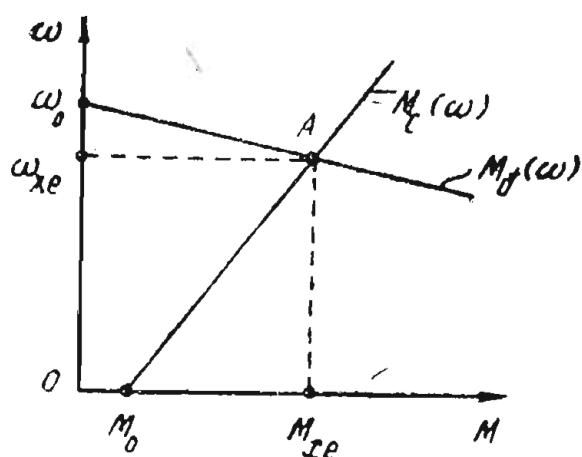
Theo quy ước về dấu của các mômen trong phương trình chuyển động thì ở trường hợp mômen động cơ cùng chiều với tốc độ còn mômen cản ngược chiều với tốc độ, các đặc tính cơ của động cơ và của máy sản xuất được biểu diễn trên cùng một góc phần tư của mặt phẳng tọa độ $[M, \omega]$ như hình 1-17.

Giao điểm A của chúng là điểm làm việc xác lập của hệ.

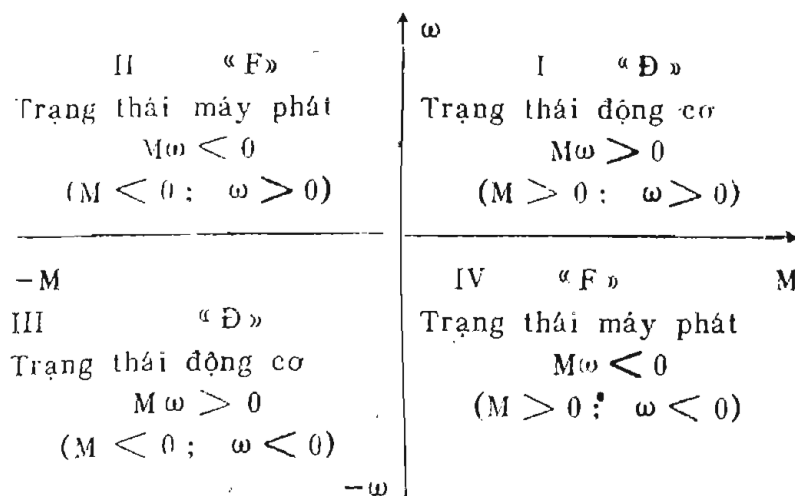
2 – Trạng thái động cơ và trạng thái máy phát.

a) *Trạng thái động cơ* — trạng thái mômen của động cơ cùng chiều với tốc độ, nghĩa là $M, \omega > 0$. Ở trạng thái này điện năng từ lưới qua động cơ sẽ biến thành cơ năng đưa ra trục.

Nếu biểu diễn trên hệ tọa độ $[M, \omega]$ thì các điểm làm việc của máy điện ở trạng thái động cơ sẽ nằm ở góc phần tư thứ I và thứ III như hình 1-18.



Hình 1-17. Xác định điểm làm việc xác lập của hệ truyền động điện bằng đồ thị.



Hình 1-18. Biểu diễn các trạng thái làm việc của máy điện trên hệ tọa độ $[M, \omega]$

b) *Trạng thái máy phát* — trạng thái mômen của động cơ ngược chiều với tốc độ, nghĩa là $M_e \omega < 0$. Ở trạng thái này máy điện sẽ làm việc như một phanh hãm. Mômen hãm được sinh ra do quá trình biến đổi ngược năng lượng từ cơ ra điện. Máy điện làm việc như một máy phát. Do đó trạng thái này được gọi là trạng thái máy phát hoặc trạng thái hãm. Các đi làm việc của hệ ở trạng thái này nằm trong góc phân tư thứ II hoặc thứ IV trong hệ tọa độ $[M, \omega]$ như hình 1-18.

1-9. ỔN ĐỊNH TĨNH VÀ TIÊU CHUẨN ỔN ĐỊNH TĨNH

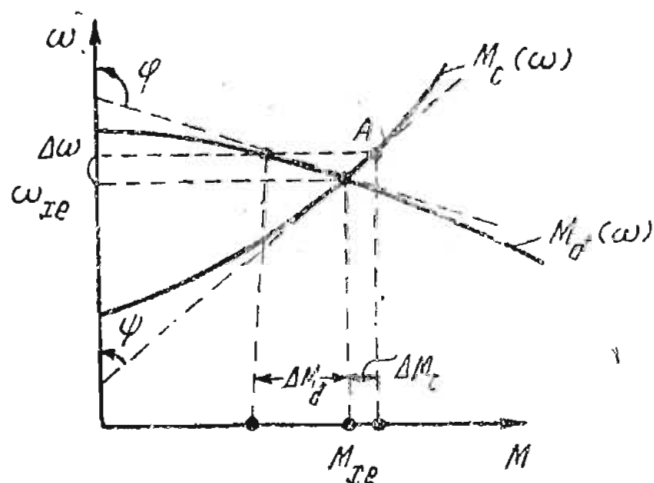
Như đã nêu trên, ở trạng thái xác lập $M_d = M_c$. Đặc trưng cho trạng thái này là mômen và tốc độ không đổi. Nó cũng có thể được xem như là một trạng thái cân bằng của hệ thống truyền động điện đối với tọa độ ω . Trạng thái cân bằng đó có thể bị phá vỡ do sự thay đổi những thông số bên trong hoặc bên ngoài của hệ thống như: dao động của điện áp lưới, biến thiên của phụ tải, chuyển đổi các mạch điện v.v...

Sau khi trạng thái cân bằng cũ bị phá vỡ hệ thống có thể xác lập được một trạng thái cân bằng mới (ổn định), hoặc không thể xác lập được trạng thái cân bằng nào (không ổn định).

Để tiện khảo sát ta chia quá trình mất cân bằng thành hai loại:

Loại thứ nhất có mức độ diễn biến nhanh nên bắt buộc phải xét đến quán tính điện từ và cơ học của hệ. Độ ổn định tương ứng với loại này gọi là ổn định động.

Loại thứ hai có mức độ diễn biến chậm đến mức có thể bỏ qua quán tính điện từ và cơ học, nghĩa là chỉ cần quan tâm đến trạng thái ban đầu và trạng thái cuối của quá trình. Độ ổn định tương ứng với loại này gọi là độ ổn định tĩnh của hệ thống truyền động điện.



Hình 1-19. Xác định trạng thái ổn định tĩnh của hệ thống truyền động điện dựa vào đặc tính cơ

Đối với hệ thống truyền động điện, tiêu chuẩn ổn định tĩnh có thể phát biểu như sau:

«Điều kiện cần và đủ để một trạng thái xác lập của hệ thống truyền động điện ổn định là gia số tốc độ, đặc trưng cho hiện tượng mất cân bằng và mô-men động xuất hiện khi đó phải có dấu ngược nhau, nghĩa là:

$$\frac{M_{dg}}{\Delta\omega} < 0 \quad (1-33)$$

Để xét ổn định tĩnh của hệ thống truyền động điện ta có thể dựa vào đặc tính cơ của động cơ và đặc tính cơ của phụ tải như hình 1-19.

Trên hình, A là điểm làm việc xác lập. Vì ở vùng lân cận điểm xác lập với một gia số $\Delta\omega$ nhỏ ta có thể coi đặc tính cơ của động cơ và của phụ

tải là thẳng, nghĩa là thay các đặc tính cơ bằng các tiếp tuyến của chúng tại điểm xác lập. Các tiếp tuyến này tạo với trục ω theo chiều dương các góc φ và ψ .

Với giả thiết trên ta có;

$$\Delta M_d = \beta \Delta \omega$$

$$\Delta M_c = \beta_c \Delta \omega$$

và

$$M_{dg} = \Delta M_d - \Delta M_c = (\beta - \beta_c) \Delta \omega \quad (1-34)$$

Từ 1-31 ta rút ra:

$$\frac{M_{dg}}{\Delta \omega} = \beta - \beta_c \quad (1-35)$$

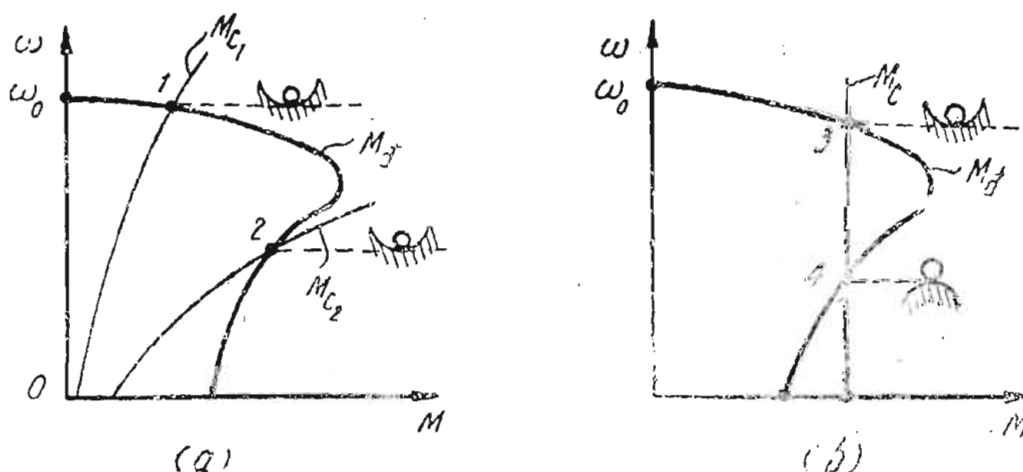
Trong trường hợp tổng quát M_{dg} , $\Delta \omega$ có thể dương hoặc âm. Để dễ xét ổn định tĩnh ta luôn giả thiết $\Delta \omega > 0$. Vậy tiêu chuẩn ổn định tĩnh (1-33) chỉ còn lại là $M_{dg} < 0$, nghĩa là nếu đảm bảo:

hoặc

$$\left. \begin{aligned} \Delta M_d - \Delta M_c &< 0 \\ \beta - \beta_c &< 0 \Rightarrow \beta < \beta_c \end{aligned} \right\} \quad (1-36)$$

thì điểm xác lập của hệ là ổn định tĩnh.

Theo tiêu chuẩn ổn định tĩnh (1-36) xét cho truyền động dùng động cơ không đồng bộ với những tải khác nhau như hình 1-20, ta thấy tại các điểm 1, 2 và 3 hệ thống ổn định tĩnh, còn tại điểm 4 hệ thống không ổn định.



Hình 1-20. Những ví dụ về trạng thái xác lập ổn định và không ổn định của truyền động dùng động cơ không đồng bộ khi mômen cản không đổi (b) và mômen cản phụ thuộc tốc độ (a).

Chú ý rằng trong thực tế người ta chỉ cho hệ thống làm việc tại điểm 1 và 3, vì ở điểm 2 mặc dù hệ thống ổn định nhưng độ dự trữ ổn định kém, độ trượt lớn (tốc độ thấp), tổn hao nhiều.

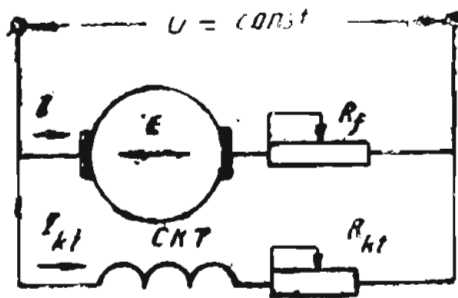
CHƯƠNG II

CÁC ĐẶC TÍNH VÀ CÁC TRẠNG THÁI LÀM VIỆC CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Chương này sẽ trình bày cách thành lập phương trình và dạng các đặc tính cơ điện, đặc tính cơ cũng như các trạng thái làm việc của các động cơ điện sau: Động cơ một chiều kích từ độc lập; Động cơ một chiều kích từ nối tiếp; Động cơ một chiều kích từ hỗn hợp; Động cơ xoay chiều không đồng bộ và động cơ xoay chiều đồng bộ.

2.1. CÁC ĐẶC TÍNH CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU KÍCH TỪ ĐỘC LẬP (KÍCH TỪ SONG SONG)

Đặc điểm của động cơ này là dòng điện kích từ độc lập (không phụ thuộc) với dòng điện phần ứng, nghĩa là từ thông của động cơ không phụ thuộc vào phụ tải mà chỉ phụ thuộc vào điện áp và điện trở của mạch kích từ.



Hình 2-1. Sơ đồ nối dây của động cơ kích từ song song.

Để đảm bảo điều kiện trên ta có thể nối động cơ theo một trong các cách sau:

— Nếu nguồn điện một chiều có công suất vô cùng lớn và có điện áp không đổi thì mạch kích từ có thể mắc song song với mạch phần ứng như sơ đồ nguyên lý hình 2-1. Khi đó động cơ thường được gọi là kích từ song song.

— Nếu nguồn một chiều có công suất không đủ lớn hoặc khi cần phải thay đổi điện áp phần ứng, thay đổi dòng điện kích từ thì mạch phần ứng và mạch kích từ phải mắc vào hai nguồn một chiều độc lập với nhau như sơ đồ hình 2-2. Khi đó động cơ thường được gọi là kích từ độc lập.

1. Thành lập các phương trình đặc tính.

Đối với cả hai sơ đồ hình 2-1 và 2-2 ta có thể viết được phương trình cân bằng điện áp của mạch phần ứng:

$$U_1 = E + (R_v + R_f)I \quad (2-1)$$

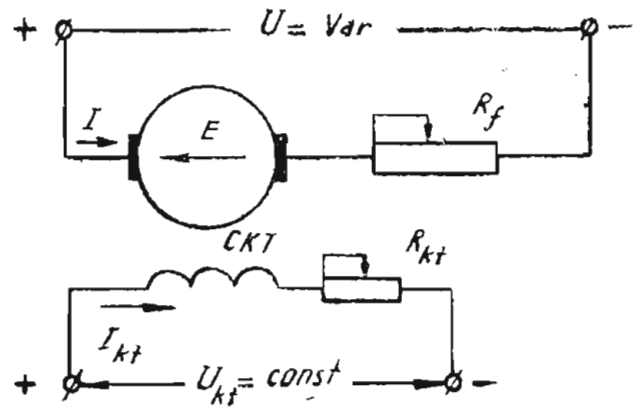
trong đó U_1 — điện áp phản ứng (V) (điện áp của lưới điện); E — sức điện động phản ứng (V); $R_x = r_x + r_{ef} + r_{eb} + r_{et}$ — điện trở tổng của phản ứng bao gồm điện trở cuộn dây phản ứng r_x , điện trở cuộn cực từ phụ r_{ef} , điện trở cuộn bù r_{eb} và điện trở tiếp xúc chổi than r_{et} (Ω) R_f — điện trở phụ mắc thêm vào mạch phản ứng (Ω).

Sức điện động của phản ứng được xác định theo biểu thức:

$$E = \frac{p \cdot N}{2\pi \cdot a} \Phi \omega = k \Phi \omega \text{ (V)} \quad (2-2)$$

trong đó p — số đôi cực từ chính;
 N — tổng số thanh dẫn tác dụng của cuộn dây phản ứng; a — số mạch nhánh song song của cuộn dây phản ứng; Φ — từ thông kích từ dưới một cực (vêbe: Wb); ω — tốc độ góc (rad/s);

$k = \frac{p \cdot N}{2\pi a}$ — hệ số cấu tạo của động cơ.



Hình 2-2. Sơ đồ nối dây của động cơ kích từ độc lập

Nếu biểu diễn sức điện động theo tốc độ quay trong một phút thì thay

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{n}{9,55}$$

Nghĩa là

$$E = k_e \Phi n; \text{ (V)} \quad (2-3)$$

Với $k_e = \frac{p \cdot N}{60a}$ — hệ số sức điện động của động cơ.

Rõ ràng

$$k_e = \frac{k}{9,55} \approx 0,105k.$$

Thay (2-2) vào (2-1) và biến đổi ta được:

$$\omega = \frac{U_1}{k\Phi} - \frac{R_x + R_f}{k\Phi} I \quad (2-4a)$$

hoặc ở dạng tương đối:

$$\omega^* = \frac{U^*}{\Phi^*} - \frac{R_x^* + R_f^*}{\Phi^*} I^* \quad (2-4b)$$

Biểu thức (2-4) là phương trình đặc tính cơ điện của động cơ.

Mặt khác mômen điện từ M_{dt} của động cơ được xác định biểu thức:

$$M_{dt} = \frac{p \cdot N}{2\pi a} \Phi I = k\Phi I \quad (2-5)$$

Từ (2-5) ta có:

$$I = \frac{M_{dt}}{k\Phi} \quad (2-6)$$

Thay (2-6) vào (2-4) ta được:

$$\omega = \frac{U_e}{k\Phi} - \frac{R_x + R_f}{(k\Phi)^2} M_{dt}, \quad (2-7a)$$

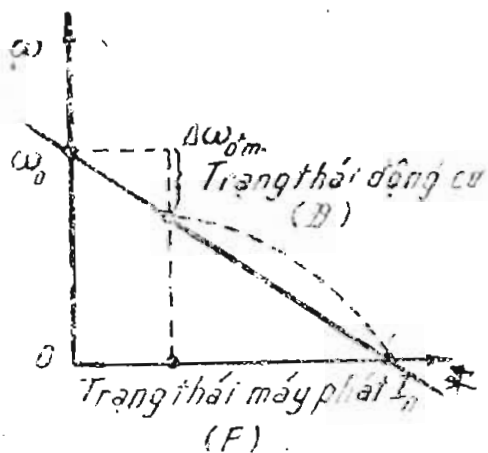
Hoặc ở dạng tương đối:

$$\omega^* = \frac{U^*}{\Phi^*} - \frac{R_u^* + R_f^*}{(\Phi^*)^2} = M_{dt}^* \quad (2-7b)$$

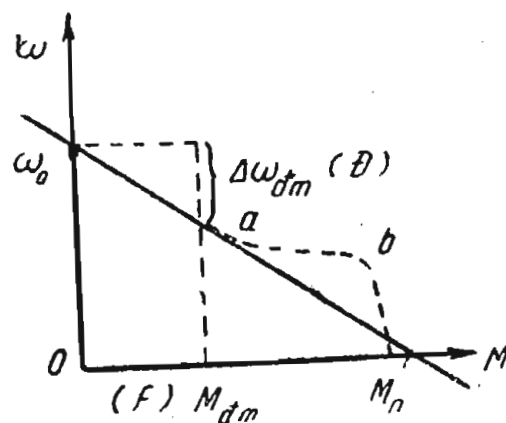
Nếu bỏ qua các tổn thất ma sát trong các ổ trục, tổn thất tự quạt mát và tổn thất trong thép thì mômen cơ $M_{cơ}$ trên trục của động cơ bằng mômen điện từ. Để đơn giản ta dùng ký hiệu $M_{dt} = M_{cơ} = M$ và phương trình đặc tính cơ của động cơ là:

$$\omega = \frac{U_1}{k\Phi} - \frac{R_u + R_f}{(k\Phi)^2} M \quad (2-7c)$$

Nếu không xét đến ảnh hưởng của phản ứng phần ứng ngang trục làm giảm từ thông Φ của động cơ tức là xem $\Phi = \text{const}$ thì các quan hệ (2-4) và (2-7) là tuyến tính, dạng của chúng được biểu diễn trên hình 2-3 và hình 2-4 (đường nét liền).



Hình 2-3. Đặc tính cơ điện của động cơ một chiều kích từ độc lập.



Hình 2-4. Đặc tính cơ của động cơ một chiều kích từ độc lập.

Trên hình 2-3 và 2-4, khi $I = 0$ hoặc $M = 0$ đều có:

$$\omega = \frac{U_1}{k\Phi} = \omega_0 \quad (2-8)$$

được gọi là tốc độ không tải lý tưởng của động cơ.

Khi $\omega = 0$ ta có:

$$I = \frac{U_1}{R_u + R_f} = I_{nm} \quad (2-9a)$$

và

$$M = k\Phi I_{nm} = M_{nm} \quad (2-9b)$$

I_{nm} , M_{nm} được gọi là dòng điện và mômen ngắn mạch.

Chú ý, những kết luận trên có tính chất gần đúng, vì đã bỏ qua ảnh hưởng của một số yếu tố; những yếu tố này làm cho dạng các đặc tính bị sai khác đi.

a) Dạng đặc tính cơ ở trên chỉ là quan hệ $\omega = f(M_{dt})$, còn mômen cơ do có các tổn thất nên:

$$M_{cơ} = M_{dt} \mp \Delta M \quad (2-10)$$

trong đó dấu « - » tương ứng với chiều quay dương, dấu « + » tương ứng với chiều quay âm.

Vì vậy quan hệ $\omega = f(M_{c\sigma})$ có dạng như đường nét đậm trên hình 2-5.

Trong tính toán $M_{c\sigma}$ được xác định theo công suất trên trục :

$$M_{c\sigma} = \frac{P_{c\sigma}}{\omega}$$

Ở chế độ định mức $P_{c\sigma}$ chính là công suất định mức P_{dm} ghi trên biển máy.

Mômen điện từ được xác định theo dòng điện phản ứng và từ thông như biểu thức (2-5).

b) Thực tế nếu không dùng các biện pháp đặc biệt để thử phản ứng phản ứng thì khi dòng điện phản ứng tăng, phản ứng phản ứng ngang trục sẽ tăng làm

từ thông giảm do đó tốc độ tăng lên. Vì vậy các đặc tính có dạng như đường nét đứt trên hình 2-3 và 2-4. Ở vùng $I < I_{dm}$, $M < M_{dm}$ phản ứng phản ứng không đáng kể và mạch từ của máy điện đang bão hòa nên đặc tính vẫn có dạng thẳng.

Trị số I_{nm} không phụ thuộc vào từ thông nên không bị ảnh hưởng của phản ứng phản ứng, còn M_{nm} giảm do từ thông giảm. Mặt khác dưới tác dụng của phản ứng phản ứng động cơ bị khử từ nên đặc tính cơ có thể có đoạn độ cứng dương (đoạn ab trên hình 2-4).

Để khử phản ứng phản ứng trong các máy điện một chiều người ta quấn thêm cuộn bù. Vì hầu hết các máy điện một chiều đều thiết kế có cuộn bù nên từ đây về sau ta xem các đặc tính của động cơ là đường thẳng.

2. Các thông số ảnh hưởng đến các đặc tính. Từ các phương trình 2-4 và 2-7 ta thấy rằng dạng và vị trí của các đặc tính phụ thuộc vào các thông số U , R , Φ .

a) Ảnh hưởng của R . Giả thiết $U_1 = U_{dm}$, $\Phi = \Phi_{dm}$ và không đổi, muốn thay đổi điện trở tổng của mạch phản ứng R ta thay đổi R_f .

Trong trường hợp này

$$\omega_0 = \frac{U_{dm}}{k\Phi_{dm}} = \text{const}$$

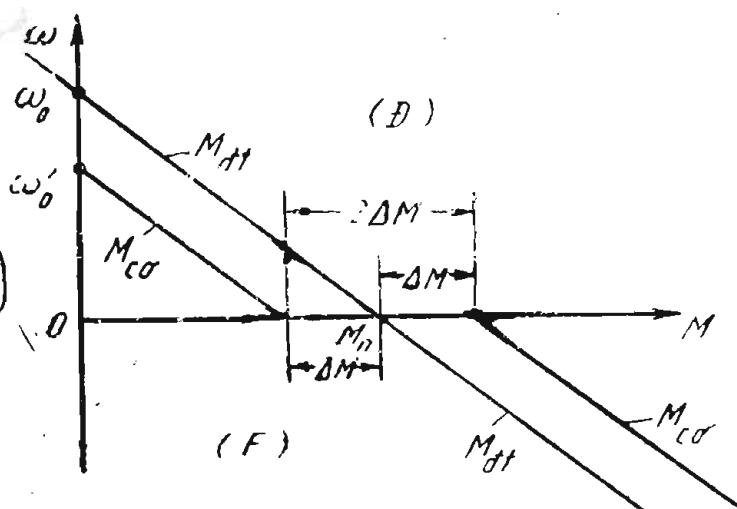
Độ cứng của đặc tính cơ :

$$\beta = \frac{dM}{d\omega} = - \frac{(k\Phi_{dm})^2}{R_r + R_f} = \text{Var}$$

R_f càng lớn β càng nhỏ nghĩa là đặc tính cơ càng dốc. Khi $R_f = 0$ ta có đặc tính cơ tự nhiên với

$$\beta_{tn} = - \frac{(k\Phi_{dm})^2}{R_r} \quad (2-11)$$

có giá trị lớn nhất.



Hình 2-5. Quan hệ $\omega = f(M_{dt})$ và $\omega = f(M_{c\sigma})$ của động cơ một chiều kích từ độc lập khi tính đến các tổn hao.

Ở hệ đơn vị tương đối ta có:

$$\beta_{tn}^* = -\frac{1}{R_r^*} \quad (2-11a)$$

Như vậy thay đổi điện trở phụ R_r ta được một họ đặc tính nhân tạo (đặc tính biến trở) có dạng biểu diễn trên hình 2-6.

Từ đồ thị ta thấy rằng R_r càng lớn thì momen và dòng điện ngắn mạch càng giảm và ứng với một phụ tải nào đó tốc độ động cơ cũng càng giảm.

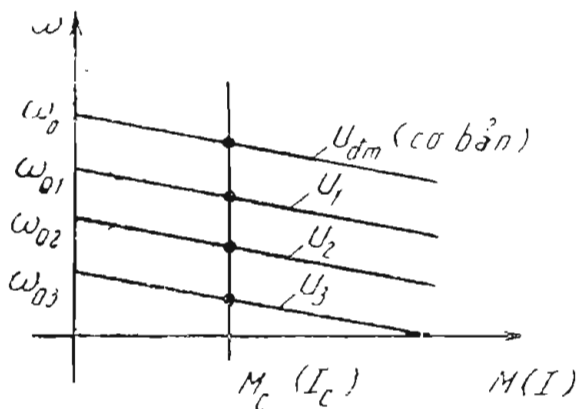
Do đó người ta thường sử dụng R_r để hạn chế dòng điện và điều chỉnh tốc độ của động cơ.

b) Ảnh hưởng của điện áp đặt vào phần ứng động cơ. Giả thiết $\Phi = \Phi_{dm} = \text{const}$; $R = \text{const}$, khi thay đổi điện áp ta có:

$$\omega_{ox} = \frac{U_x}{k\Phi_{dm}} = \text{Var}$$

Độ cứng của các đặc tính cơ:

$$\beta = -\frac{(k\Phi_{dm})^2}{R} = \text{const}$$



Hình 2-7. Các đặc tính của động cơ một chiều kích từ độc lập khi giảm điện áp đặt vào phần ứng.

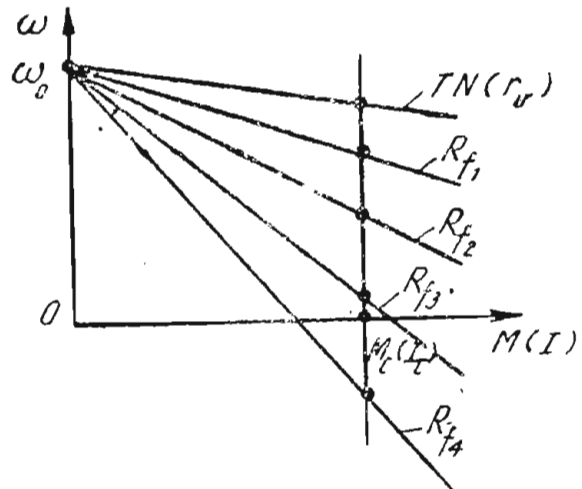
Như vậy khi thay đổi điện áp đặt vào phần ứng động cơ ta được một họ đặc tính nhân tạo (đặc tính biến áp) song song với nhau, dạng của chúng biểu diễn trên hình 2-7.

Từ đồ thị hình 2-7 ta thấy rằng khi thay đổi điện áp U thì mômen, dòng điện ngắn mạch và tốc độ của động cơ đều thay đổi. Do đó thông số này cũng được sử dụng để điều chỉnh tốc độ và hạn chế dòng điện của động cơ.

c) Ảnh hưởng của từ thông. Giả thiết $U_1 = U_{dm} = \text{const}$, $R = \text{const}$, thay đổi Φ (thay đổi dòng kích từ I_k) ta có:

$$\omega_{ox} = -\frac{U_{dm}}{k\Phi_x} = \text{Var}$$

$$\beta = \frac{(k\Phi_x)^2}{R} = \text{Var}$$



Hình 2-6. Các đặc tính biến trở của động cơ một chiều kích từ độc lập.

Ở đặc tính cơ điện:

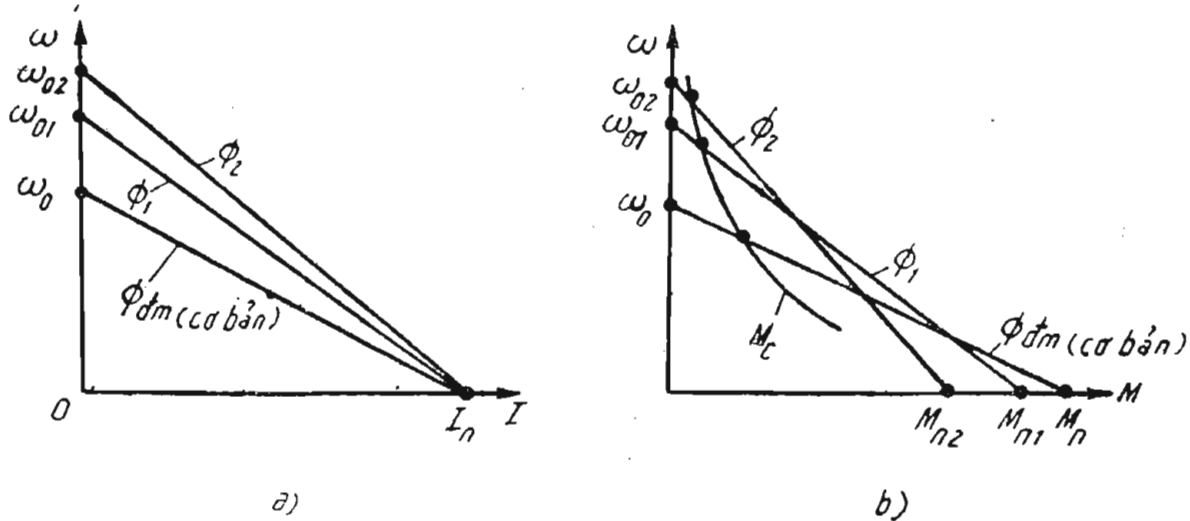
$$I_{am} = \frac{U_{dm}}{R} = \text{const (không phụ thuộc } \Phi).$$

còn ở đặc tính cơ:

$$M_{nm.x} = k\Phi_x I_{am} = \text{Var}$$

Do cấu trúc của máy điện nên thực tế chỉ sử dụng điều chỉnh giảm từ thông ($\Phi_x < \Phi_{dm}$). Khi đó ω_{0x} sẽ tăng còn β sẽ giảm.

Các đặc tính nhân tạo khi giảm Φ có dạng biểu diễn trên hình 2-8.



Hình 2-8. Đặc tính cơ điện (a) và đặc tính cơ (b) của động cơ một chiều kích từ độc lập khi giảm từ thông với $\Phi_x < \Phi_{dm}$

Từ đồ thị hình 2-8b ta thấy trong giới hạn mômen phụ tải cho phép khi giảm từ thông tốc độ động cơ tăng lên.

3. Cách dựng các đặc tính. Với mỗi động cơ một chiều kích từ độc lập nhà chế tạo đã cho các thông số định mức:

$$P_{dm}, U_{dm}, I_{dm}, n_{dm}, R_u, \eta_{dm} \quad \text{v.v...}$$

Dựa vào các thông số trên ta tiến hành dựng các đặc tính của động cơ, theo các cách sau đây:

a) *Cách dựng đặc tính tự nhiên.* Theo định nghĩa đặc tính này ứng với $U = U_{dm}$, $\Phi = \Phi_{dm}$, $R = R_u$ ($R_f = 0$).

Vì các đặc tính của động cơ là những đường thẳng nên khi dựng chỉ cần xác định hai điểm: điểm không tải lý tưởng và điểm tải định mức.

– Với đặc tính cơ điện tự nhiên:

Điểm thứ nhất có tọa độ [$I = 0$; $\omega = \omega_0$];

trong đó:

$$\omega_0 = \frac{U_{dm}}{k\Phi_{dm}}$$

$$k\Phi_{dm} = \frac{U_{dm} - I_{dm}R_u}{\omega_{dm}}$$

Điểm thứ hai có tọa độ $[I = I_{dm}; \omega = \omega_{dm}]$;
trong đó

$$\omega_{dm} = \frac{n_{dm}}{9,55}$$

– Với đặc tính cơ tự nhiên;

Điểm thứ nhất xác định như ở đặc tính cơ điện.

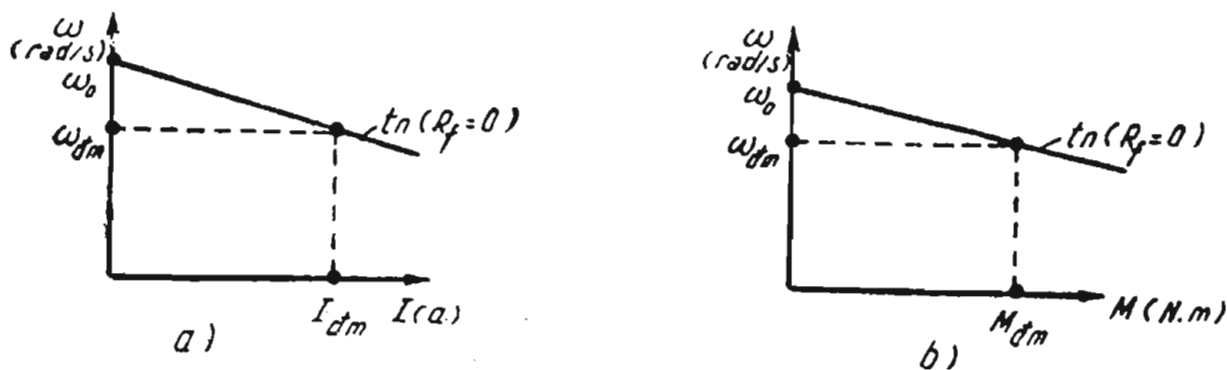
Điểm thứ hai có tọa độ $[M = M_{dm}; \omega = \omega_{dm}]$;

trong đó

$$M_{dm} = \frac{P_{dm}}{\omega_{dm}}$$

Trong các biểu thức trên, đơn vị đo của các đại lượng như sau: $U_{dm} - V$;
 $I_{dm} - A$; $\Phi_{dm} - (Wb)$; $\omega - \text{rad/s}$; $n - \text{vòng/ph}$; $P - W$; $M - Nm$.

Các điểm cần xác định biểu diễn trên hình 2-9.



Hình 2-9. Cách dựng đặc tính tự nhiên của động cơ một chiều kích từ độc lập:
a) đặc tính cơ điện; b) đặc tính cơ.

b) Cách dựng đặc tính nhân tạo.

α) Đặc tính biến trở. Như đã nêu mọi đặc tính biến trở đều đi qua điểm không tải lý tưởng ω_0 . Vì vậy để dựng nó ta chỉ cần xác định thêm điểm thứ hai ở trạng thái tải định mức. Điểm này có tọa độ:

Với đặc tính cơ điện $[I_{dm}; \omega_{ntdm}]$

Với đặc tính cơ $[M_{dm}; \omega_{ntdm}]$

Trong đó tốc độ nhân tạo định mức ω_{ntdm} được xác định như sau:

Từ phương trình đặc tính cơ điện tự nhiên ta có:

$$\omega_{dm} = \frac{U_{dm} - I_{dm}R_u}{k\Phi_{dm}}$$

Từ phương trình đặc tính biến trở ta có:

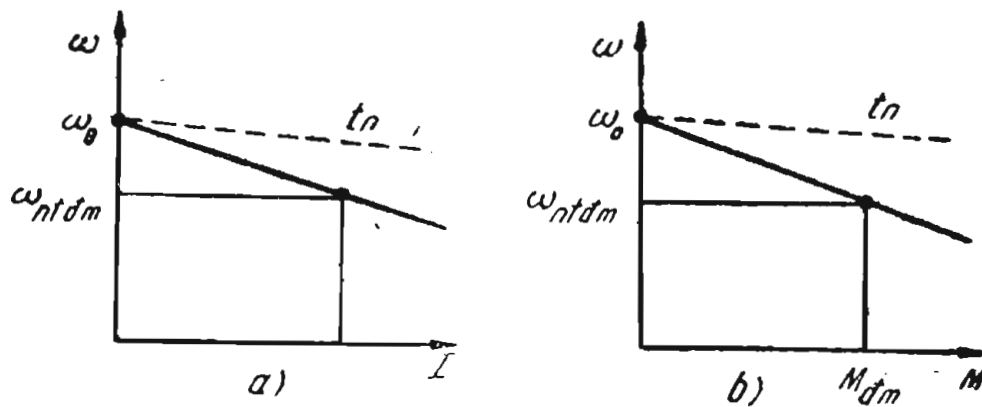
$$\omega_{ntdm} = \frac{U_{dm} - I_{dm}(R_u + R_f)}{k\Phi_{dm}}$$

Lập tỷ số $\frac{\omega_{ntdm}}{\omega_{dm}}$ và biến đổi ta được:

$$\omega_{ntdm} = \omega_{dm} \frac{U_{dm} - I_{dm}(R_u + R_f)}{U_{dm} - I_{dm}R_u} \quad (2-12)$$

Với hai điểm trên ta dựng được các đặc tính biến trở như hình 2-10.

Để dễ so sánh trên hình 2-10 còn vẽ thêm đặc tính tự nhiên bằng đường nét đứt.



Hình 2-10. Cách dựng đặc tính biến trở của động cơ một chiều kích từ độc lập:

a) đặc tính cơ điện; b) đặc tính cơ.

β) Đặc tính giảm từ thông. Dựa vào đặc tính tự nhiên ta dựng đặc tính giảm từ thông ứng với Φ_x qua hai điểm: không tải lý tưởng [$I=0$ hoặc $M=0$] $\omega = \omega_{ox}$; và định mức [$I = I_{dm}$ hoặc $M = M_{dm}$; $\omega = \omega_{ntdm} = \omega_{ox} - \Delta\omega_{ntdm}$; như sau:

— Đối với đặc tính cơ điện:

Điểm thứ nhất ứng với $I = 0$ ta có:

$$\omega_{ox} = \frac{U_{dm}}{k\Phi_x} = \frac{U_{dm}}{k\Phi_{dm}} \frac{\Phi_{dm}}{\Phi_x} = \omega_o \left(\frac{\Phi_{dm}}{\Phi_x} \right) \quad (2-12a)$$

Giả thiết mạch từ chưa bão hòa ta có:

$\Phi = CI_{kt}$; C — hệ số tỷ lệ

do đó:

$$\omega_{ox} \approx \omega_o \left(\frac{I_{ktdm}}{I_{ktx}} \right) \quad (2-12b)$$

Điểm thứ hai ứng với I_{dm} ta cần xác định độ sụt tốc nhân tạo tương ứng là:

$$\Delta\omega_{ntdm} = \frac{I_{dm}R_v}{k\Phi_x}$$

Có thể xác định $\Delta\omega_{ntdm}$ dựa vào độ sụt tốc định mức trên đặc tính cơ điện tự nhiên $\Delta\omega_{ntdm}$ theo biểu thức:

$$\Delta\omega_{ntdm} = \Delta\omega_{ntdm} \left(\frac{\Phi_{dm}}{\Phi_x} \right) \quad (2-13a)$$

hoặc:

$$\Delta\omega_{ntdm} \approx \Delta\omega_{ntdm} \left(\frac{I_{ktdm}}{I_{ktx}} \right) \quad (2-13b)$$

trong đó:

$$\Delta\omega_{ntdm} = \frac{I_{dm}R_v}{k\Phi_{dm}}$$

Dựa vào ω_{ox} và $\Delta\omega_{ntdm}$ ta xác định được điểm thứ hai (điểm A) và do đó dựng được đặc tính cơ điện giảm từ thông như hình 2-11.

Để minh họa cho cách dựng trên hình này còn vẽ thêm đặc tính tự nhiên (Φ_{dm}).

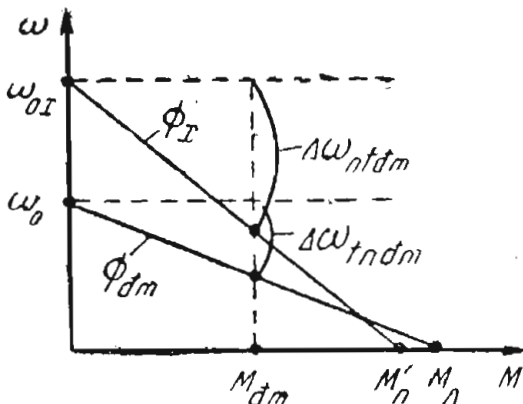
— Đối với đặc tính cơ:

Điểm thứ nhất [$M = 0$; $\omega = \omega_{ox}$] cũng được xác định như trên.

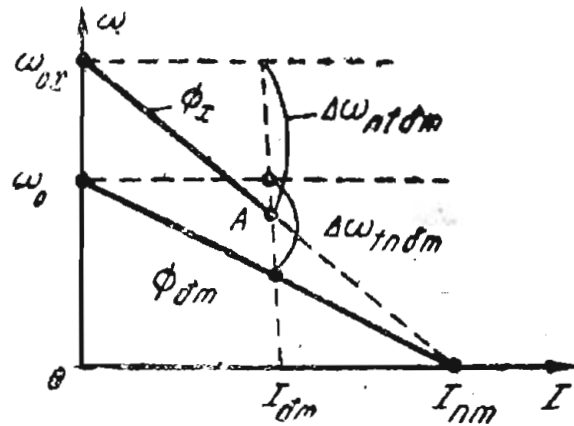
Điểm thứ hai ứng với M_{dm} ta cần xác định độ sụt tốc độ tương ứng là

$$\Delta\omega_{ntdm} = \frac{M_{dm} \cdot R_r}{(k\Phi_x)^2}$$

Từ các phương trình đặc tính cơ tự nhiên và giảm từ thông, tiến hành tương tự như trên ta được:



Hình 2-12. Cách dựng đặc tính cơ của động cơ một chiều kích từ độc lập khi giảm từ thông.



Hình 2-11. Cách dựng đặc tính cơ điện khi giảm từ thông của động cơ một chiều kích từ độc lập

$$\Delta\omega_{ntdm} = \Delta\omega_{tndm} \left(\frac{\Phi_{dm}}{\Phi_x} \right)^2 \quad (2-14a)$$

hoặc:

$$\Delta\omega_{ntdm} \approx \Delta\omega_{tndm} \left(\frac{I_{ktdm}}{I_{ktx}} \right)^2 \quad (2-14b)$$

Cách dựng đặc tính cơ giảm từ thông ứng với Φ_x chỉ ra trên hình 2-12.

Chú ý, khi xây dựng các đặc tính của động cơ nếu chưa biết điện trở của cuộn dây phản ứng r_r thì ta có thể tính gần đúng như sau:

Xuất phát từ giả thiết tổn thất không đổi và tổn thất biến đổi trong động cơ bằng nhau và bằng một nửa tổn thất công suất định mức, nghĩa là:

$$I_{dm}^2 r_r = \frac{1}{2} (U_{dm} I_{dm} - P_{dm})$$

ta có:

$$r_r = 0,5 \left(\frac{U_{dm} I_{dm} - P_{dm}}{I_{dm}^2} \right) \quad (2-15a)$$

Chia cả tử số, mẫu số về phải của (2-15) cho $U_{dm} I_{dm}$ và thay

$$\eta_{dm} = \frac{P_{dm}}{U_{dm} I_{dm}}$$

ta được:

$$r_r = 0,5 (1 - \eta_{dm}) \frac{U_{dm}}{I_{dm}} = 0,5 (1 - \eta_{dm}) R_{dm} \quad (2-15b)$$

Khi đó trong các phương trình đặc tính có thể lấy $R_v = r_r$

4. Hiệu suất của động cơ.

Khi làm việc trên các đặc tính, hiệu suất của động cơ được xác định theo biểu thức tổng quát:

$$\eta = \frac{P_{\text{cơ}}}{P_{\text{điện}}}$$

Nếu bỏ qua các tổn thất do ma sát trong các ổ trục, ma sát giữa phần quay với không khí, tổn thất trong lõi thép thì công suất cơ $P_{\text{cơ}}$ gần bằng công suất điện từ $P_{\text{đt}}$:

$$P_{\text{cơ}} \approx P_{\text{đt}} = E I_{\text{r}}$$

Mặt khác từ phương trình cân bằng điện áp của mạch phần ứng ta suy ra phương trình cân bằng công suất:

$$E I_{\text{r}} = U_{\text{l}} I_{\text{r}} - I_{\text{r}}^2 (R_{\text{r}} + R_{\text{f}})$$

Do đó:

$$\eta = \frac{U_{\text{l}} I_{\text{r}} - I_{\text{r}}^2 (R_{\text{r}} + R_{\text{f}})}{U_{\text{l}} I_{\text{r}}} = 1 - \frac{R_{\text{r}} + R_{\text{f}}}{U_{\text{l}}} I_{\text{r}} \quad (2-16)$$

Như vậy ứng với một phụ tải không đổi ($I_{\text{r}} = \text{const}$) điện trở phụ càng lớn thì hiệu suất của động cơ càng giảm.

Khi làm việc trên đặc tính tự nhiên ($R_{\text{f}} = 0$), ứng với phụ tải nào đó ta có:

$$\eta_{\text{tn}} = 1 - \frac{I_{\text{r}} \cdot R_{\text{r}}}{U_{\text{l}}} = 1 - \frac{I_{\text{r}}}{I_{\text{đm}}} \cdot \frac{R_{\text{r}}}{R_{\text{đm}}} = 1 - I \cdot R_{\text{r}}^* \quad (2-17)$$

hoặc:

$$\eta_{\text{tn}} = 1 - M \cdot R_{\text{r}}^* \quad (2-18)$$

Ở trạng thái định mức $I = I_{\text{đm}}$, $M = M_{\text{đm}}$, ta có:

$$\eta_{\text{đm}} = 1 - R_{\text{r}}^* \quad (2-19)$$

nghĩa là, động cơ có điện trở tương đương của phần ứng (R_{r}^*) càng lớn thì hiệu suất định mức càng nhỏ.

2-2. KHỞI ĐỘNG VÀ XÁC ĐỊNH ĐIỆN TRỞ KHỞI ĐỘNG CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU KÍCH TỪ ĐỘC LẬP

Từ những kết luận trên ta thấy rằng dòng điện ngắn mạch (dòng điện khởi động ban đầu) ứng với đặc tính tự nhiên là:

$$I_{\text{nm}} = \frac{U_{\text{đm}}}{R_{\text{r}}}$$

Vì R_{r} của những động cơ có công suất trung bình và lớn thường rất nhỏ

$$R_{\text{r}} = (0,04 \div 0,05) \cdot \frac{U_{\text{đm}}}{I_{\text{đm}}}$$

nên

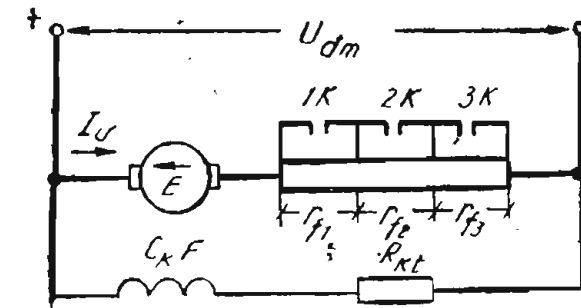
$$I_{\text{nm}} = (20 \div 25) I_{\text{đm}}$$

Dòng điện mở máy lớn như vậy không thể cho phép về mặt chuyển mạch và phát nóng của máy điện cũng như sụt áp trên lưới.

Để hạn chế dòng điện đó ta phải giảm nhỏ điện áp nguồn đặt vào phần ứng hoặc nối thêm điện trở phụ R_f vào mạch phần ứng. Phương pháp thứ nhất thường gặp trong những hệ thống có bộ biến đổi điện áp. Phương pháp thứ hai thường sử dụng khi động cơ được nối vào nguồn có điện áp cố định.

Trong tiết này ta khảo sát phương pháp thứ hai.

Sơ đồ đấu dây của động cơ như hình 2-13.



Hình 2-13. Sơ đồ đấu dây của động cơ một chiều kích từ độc lập khởi động qua ba cấp điện trở phụ

Trong sơ đồ này trị số của điện trở phụ tổng R_f được chọn sao cho khi $\omega = 0$

$$I_{nm} = \frac{U_{dm}}{R_x + R_f} \leq (2 \div 2,5) I_{dm}$$

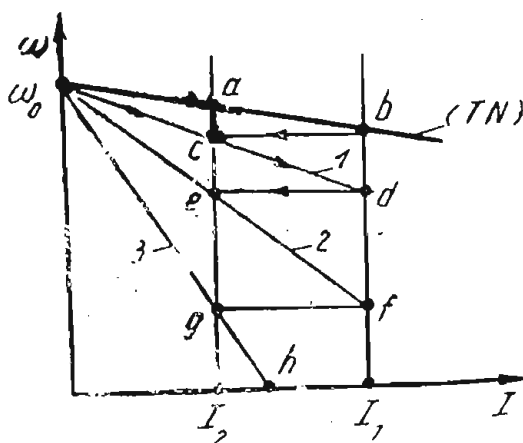
Khi tốc độ tăng lên dòng điện phần ứng giảm dần theo biểu thức:

$$I = \frac{U_{dm} - E}{R_x + R_f} = \frac{U_{dm} - k\Phi\omega}{R_x + R_f} \quad (2-20)$$

Mômen khởi động sẽ giảm dần, thời gian khởi động sẽ dài hơn so với khi khởi động không có R_f . Muốn bảo đảm thời gian khởi động theo yêu cầu thì khi tốc độ tăng ta phải ngắt mạch dần điện trở phụ theo từng cấp nhờ tiếp điểm của các côngtactơ 1K, 2K, 3K như hình 2-13.

Để xác định trị số điện trở phụ ở từng cấp ta có thể sử dụng một trong hai phương pháp: phương pháp đồ thị hoặc phương pháp giải tích.

1. Phương pháp đồ thị. Phương pháp này được tiến hành theo các bước sau:



Hình 2-14. Cách xác định trị số các cấp điện trở khởi động của động cơ một chiều kích từ độc lập bằng đồ thị.

— Dựa vào các thông số của động cơ vẽ đặc tính cơ điện tự nhiên (đường TN trên hình 2-14).

— Chọn hai giới hạn chuyển đổi của dòng điện khởi động; để đảm bảo điều kiện phát nóng của động cơ, giới hạn trên của dòng điện khởi động I_1 được chọn trong giới hạn:

$$I_1 \leq (2 \div 2,5) I_{dm}$$

Để không làm chậm quá trình khởi động do gia tốc nhỏ, người ta chọn dòng điện chuyển cấp I_2 (giới hạn dưới của dòng điện khởi động) trong khoảng:

$$I_2 \geq (1,1 - 1,3) I_c \text{ hoặc } I_{dm}$$

– Đặt I_2, I_1 lên trục hoành, từ I_2, I_1 kẻ hai đường song song với trục tung cắt đặc tính tự nhiên tại điểm a và b. Từ b kẻ đường song song với trục hoành cắt đường dòng I_2 tại c. Nối ω_0, c ta được đặc tính biến trở thứ 1. Đặc tính này cắt đường dòng I_1 tại d. Tại d lại kẻ đường song song với trục hoành cắt đường dòng I_2 tại e. Nối ω_0, e ta được đặc tính biến trở thứ 2. Cứ tiếp tục làm như vậy cho tới khi nào đồ thị bảo đảm hai điều kiện sau: Điều kiện thứ nhất số đặc tính biến trở bằng số cấp điện trở khởi động m đã yêu cầu. Điều kiện thứ hai là đặc tính biến trở cuối cùng phải cắt trục hoành tại I_1 ứng với $\omega = 0$.

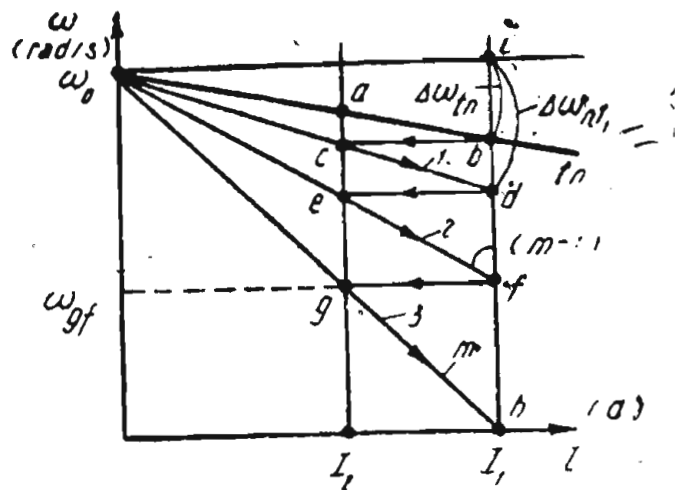
Ví dụ, trên hình 2-14 nếu yêu cầu số cấp điện trở khởi động là $m=3$ thì điều kiện một thỏa mãn, còn điều kiện hai chưa thỏa mãn vì điểm h không trùng với I_1 tại $\omega = 0$.

Nếu không thỏa mãn một trong hai điều kiện trên thì phải chọn lại I_1 hoặc I_2 rồi vẽ lại.

Nếu yêu cầu khởi động nhanh thì giữ nguyên I_1 ở giá trị cực đại cho phép ($I_1 = 2,5I_{dm}$) và xê dịch I_2 . Còn nếu yêu cầu khởi động bình thường thì giữ nguyên I_2 và xê dịch I_1 .

Ví dụ, trên hình 2-15 ta đã vẽ đúng đồ thị đặc tính khởi động ứng với $m = 3$.

– Xác định trị số các cấp điện trở khởi động. Để xác định trị số các cấp điện phụ đã được ngắn mạch khi chuyển từ đặc tính khởi động này sang đặc tính khởi động khác ta dựa vào đồ thị đã được vẽ đúng hình 2-15 và biểu thức của độ sụt tốc độ $\Delta\omega$ như sau: Từ ω_0 kẻ đường song song với trục hoành cắt đường dòng I_1 tại i.



Hình 2-15. Các đặc tính khởi động của động cơ một chiều kích từ độc lập.

Ứng với I_1 trên đặc tính cơ điện tự nhiên ta có:

$$\Delta\omega_{tn} = \frac{R_u}{k\Phi} I_1$$

Trên đặc tính biến trở (1) ta có:

$$\Delta\omega_{nt1} = \frac{R_u + r_{f1}}{k\Phi} I_1$$

Lập tỷ số $\frac{\Delta\omega_{nt1}}{\Delta\omega_{tn}}$ ta có:

$$\frac{\Delta\omega_{nt1}}{\Delta\omega_{tn}} = \frac{R_u + R_{f1}}{R_u}$$

biến đổi tỷ thức trên ta được:

$$r_{f1} = \frac{\Delta\omega_{nt1} - \Delta\omega_{tn}}{\Delta\omega_{tn}} R_u$$

Từ đồ thị hình 2-15 ta có:

$$r_{f1} = \frac{id - ib}{ib} R_u = \frac{bd}{ib} R_u$$

Tiến hành tương tự với đặc tính biến trở (2) và (3) ta được: (2-21)

$$r_{f2} = \frac{if - id}{ib} R_u = \frac{df}{ib} R_u$$

$$r_{f3} = \frac{ih - if}{ib} R_u = \frac{fh}{ib} R_u$$

2. Phương pháp giải tích. Để tổng quát ta giả thiết động cơ được khởi động với m cấp điện trở phụ. Trên hình 2-15 ta xem đặc tính khởi động dốc nhất (đường 3) là đặc tính khởi động thứ (m), đường (2) là đường ($m-1$) v.v...

Ký hiệu điện trở phụ ở mỗi cấp là $r_{f1}, r_{f2}, \dots, r_{fm}$ và điện trở tổng ứng với mỗi đặc tính là:

$$R_1 = R_u + r_{f1}$$

$$R_2 = R_u + r_{f1} + r_{f2}$$

$$R_{m-1} = R_u + r_{f1} + r_{f2} + \dots + r_{f_{m-1}}$$

$$R_m = R_u + r_{f1} + r_{f2} + \dots + r_{f_{m-1}} + r_{fm}$$

Tại điểm g trên hình 2-15 ta có:

$$I_2 = \frac{U_{dm} - E_m}{R_m}$$

Tại điểm f ta có:

$$I_1 = \frac{U_{dm} - E_m}{R_{m-1}}$$

trong đó E_m là sức điện động của động cơ ứng với tốc độ ω_{gf} .

Lập tỷ số $\frac{I_1}{I_2}$ ta có:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_m}{R_{m-1}}$$

Phân tích tương tự đối với các cấp tiếp theo ta được:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_m}{R_{m-1}} = \frac{R_{m-1}}{R_{m-2}} = \dots = \frac{R_1}{R_u}$$

Đặt $\frac{I_1}{I_2} = \lambda$ - bội số dòng điện khởi động ta có:

$$\lambda = \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_m}{R_{m-1}} = \frac{R_{m-1}}{R_{m-2}} = \dots = \frac{R_1}{R_u} \quad (2-22)$$

Từ (2-18) ta rút ra:

$$\begin{aligned} R_1 &= \lambda R_u; \\ R_2 &= \lambda R_1 = \lambda^2 R_u; \\ R_3 &= \lambda R_2 = \lambda^3 R_u; \end{aligned} \quad (2-23)$$

$$\begin{aligned} R_{m-1} &= \lambda R_{m-2} = \lambda^{m-1} R_u; \\ R_m &= \lambda R_{m-1} = \lambda^m R_u. \end{aligned}$$

Từ (2-23) ta thấy rằng:

— Nếu biết số cấp điện trở khởi động m , biết R_m, R_u ta tính được bội số dòng điện khởi động:

$$\lambda = \sqrt[m]{\frac{R_m}{R_u}} = \sqrt[m]{\frac{U_{dm}}{R_u I_1}} \quad (2-24a)$$

trong đó $R_m = \frac{U_{dm}}{I_1}$

Hoặc theo đơn vị tương đối:

$$\lambda = \sqrt[m]{\frac{1}{R_u^* I_1^*}} = \sqrt[m]{\frac{1}{R_u^* M_1^*}} \quad (2-24b)$$

trong đó $R_u^* = \frac{R_u}{R_{dm}}; I_1^* = \frac{I_1}{I_{dm}} = \frac{M_1}{M_{dm}} = M_1^* \text{ (với } \Phi = \Phi_{dm})$.

— Ngược lại nếu biết λ, R_m, R_u ta xác định được số cấp điện trở khởi động m cần thiết:

$$m = \frac{\lg \frac{R_m}{R_u}}{\lg \lambda} = \frac{\lg \frac{1}{R_u^* I_1^*}}{\lg \lambda} = \frac{\lg \frac{1}{R_u^* M_1^*}}{\lg \lambda} \quad (2-25)$$

Trị số từng cấp điện trở khởi động được xác định như sau:

$$\left. \begin{aligned} r_{f1} &= R_1 - R_u = \lambda R_u - R_u = (\lambda - 1) R_u \\ r_{f2} &= R_2 - R_1 = \lambda^2 R_u - \lambda R_u = \lambda (\lambda - 1) R_u \\ r_{f3} &= R_3 - R_2 = \lambda^3 R_u - \lambda^2 R_u = \lambda^2 (\lambda - 1) R_u \\ r_{f(m-1)} &= R_{m-1} - R_{m-2} = \lambda^{m-1} R_u - \lambda^{m-2} R_u = \lambda^{m-2} (\lambda - 1) R_u \\ r_{fm} &= R_m - R_{m-1} = \lambda^m R_u - \lambda^{m-1} R_u = \lambda^{m-1} (\lambda - 1) R_u \end{aligned} \right\} \quad (2-26)$$

Tóm lại xác định trị số các cấp điện trở khởi động theo phương pháp giải tích được tiến hành theo trình tự nêu trong các trường hợp cụ thể sau:

a) Khi cho trước số cấp điện trở khởi động m và yêu cầu khởi động nhanh (mở máy cưỡng bức) ta tiến hành

— Chọn giới hạn trên của dòng điện khởi động bằng trị số dòng điện cực đại cho phép $I_1 = 2,5 I_a$, và tính $R_m = \frac{U_{dm}}{I_1}$.

— Theo biểu thức (2-24) tính λ .

— Theo các biểu thức (2-26) xác định trị số các cấp điện trở khởi động cần thiết $r_{f1}, r_{f2}, \dots, r_{fm}$

b) Khi cho trước số cấp điện trở khởi động m , chế độ khởi động bình thường ta tiến hành.

— Chọn giới hạn dưới của dòng điện khởi động

$$I_2 = (1,1 \div 1,3) I_c \text{ hoặc } I_{dm}.$$

— Từ (2-24a) hoặc (2-24b) thay $I_1 = \lambda \cdot I_2$ hoặc $I_1^* = \lambda I_2^* = \lambda M_2^*$ và biến đổi ta sẽ xác định được λ theo biểu thức:

$$\lambda = \sqrt[m+1]{\frac{U_{dm}}{R_u I_2}} \quad (2-27a)$$

hoặc

$$\lambda = \sqrt[m+1]{\frac{1}{R_u^* I_2^*}} = \sqrt[m+1]{\frac{1}{R_u^* M_2^*}} \quad (2-27b)$$

trong đó

$$I_2^* = \frac{I_2}{I_{dm}}; \quad M_2^* = \frac{M_2}{M_{dm}} = I_2^* \quad (\text{với } \Phi = \Phi_{dm}).$$

— Theo các biểu thức (2-26), xác định trị số các cấp điện trở khởi động cần thiết $r_{f1}, r_{f2}, \dots, r_{fm}$

c) Khi không cho trước số cấp điện trở khởi động m mà cần xác định nó. Chế độ khởi động có thể là cưỡng bức; bình thường; êm hoặc không êm, ta tiến hành.

— Dựa vào yêu cầu của truyền động, chọn giới hạn trên và dưới của dòng điện hoặc mômen khởi động $I_1 (M_1); I_2 (M_2)$.

— Theo biểu thức (2-24) tính λ . ✖

— Theo biểu thức (2-25) tính số cấp điện trở khởi động m . ✖

Nếu m tính được không nguyên thì phải chọn lại $I_1(M_1)$ hoặc $I_2(M_2)$ hoặc cả hai và tính lại m cho đến khí m nguyên.

— Theo các biểu thức (2-26) xác định trị số điện trở ở mỗi cấp. ✖

2.3. CÁC TRẠNG THÁI Hãm CỦA ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU KÍCH TỪ ĐỘC LẬP

Hãm là trạng thái mà động cơ sinh ra mômen quay ngược chiều tốc độ quay của rôto. Trong tất cả các trạng thái hãm, động cơ đều làm việc ở chế độ máy phát.

Động cơ điện một chiều kích từ độc lập có ba trạng thái hãm: hãm tái sinh; hãm ngược và hãm động năng.

Sau đây ta lần lượt nghiên cứu từng trạng thái hãm.

1. Hãm tái sinh (hãm trả năng lượng về lưới).

Hãm tái sinh là trạng thái máy phát mà động cơ biến cơ năng đã tích lũy được thành điện năng trả về lưới điện.

Hãm tái sinh xảy ra khi tốc độ của rôto lớn hơn tốc độ không tải lý tưởng nhờ phụ tải có tính thể năng. Khi hãm tái sinh $E > U_1$ động cơ làm việc như một máy phát điện song song với lưới. So với chế độ động cơ, ở chế độ hãm tái sinh dòng điện và mômen đổi chiều và được xác định theo biểu thức:

$$I_h = \frac{U_1 - E}{R} = \frac{k\Phi\omega_0 - k\Phi\omega}{R} < 0 \quad (2-28)$$

$$M_h = k\Phi I_h < 0 \quad (2-29)$$

Phương trình đặc tính cơ ở đoạn hãm tái sinh là:

$$\omega = \omega_0 + \frac{R}{k\Phi} |I_h| = \omega_0 + \frac{R}{(k\Phi)^2} |M_h| \quad (2-30)$$

Đặc tính cơ biểu diễn trên hình 2-16 đoạn HTS.

Ở trạng thái hãm tái sinh động cơ sinh ra điện năng hữu ích. Vì vậy hiệu suất của nó có ý nghĩa quan trọng. Để xét hiệu suất của động cơ trong trường hợp này ta chú ý rằng; năng lượng được truyền từ phía tải về lưới (ngược với trạng thái động cơ) nên biểu thức tính hiệu suất là:

$$\eta = \frac{P_d}{P_{dt}} = \frac{P_{dt} - \Delta P}{P_{dt}} = 1 - \frac{I^2 R}{EI}$$

Mặt khác ở trạng thái này $E = U + IR$

nên:

$$\eta = 1 - \frac{IR}{U + IR}$$

Khi tải là định mức ta có:

$$\eta = 1 - \frac{R^*}{1 + R^*} \quad (2-31)$$

Trong các biểu thức trên:

P_d -- công suất điện tiêu thụ từ lưới;

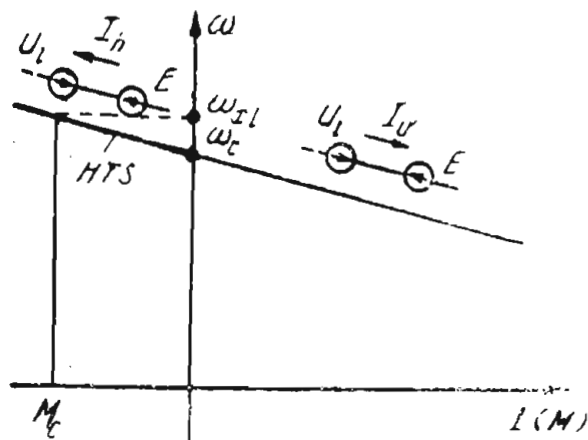
P_{dt} -- công suất điện từ;

$R^* = \frac{R}{R_{dm}}$ -- điện trở tương đối của mạch phản ứng.

Từ (2-31) ta thấy rằng điện trở mạch phản ứng R càng tăng hiệu suất càng giảm. Mặt khác biểu thức (2-30) cho thấy điện trở R càng lớn tốc độ làm việc càng tăng, độ cứng đặc tính cơ càng giảm. Vì vậy khi hãm tái sinh không nên đưa thêm điện trở phụ vào mạch phản ứng. $\beta \downarrow$

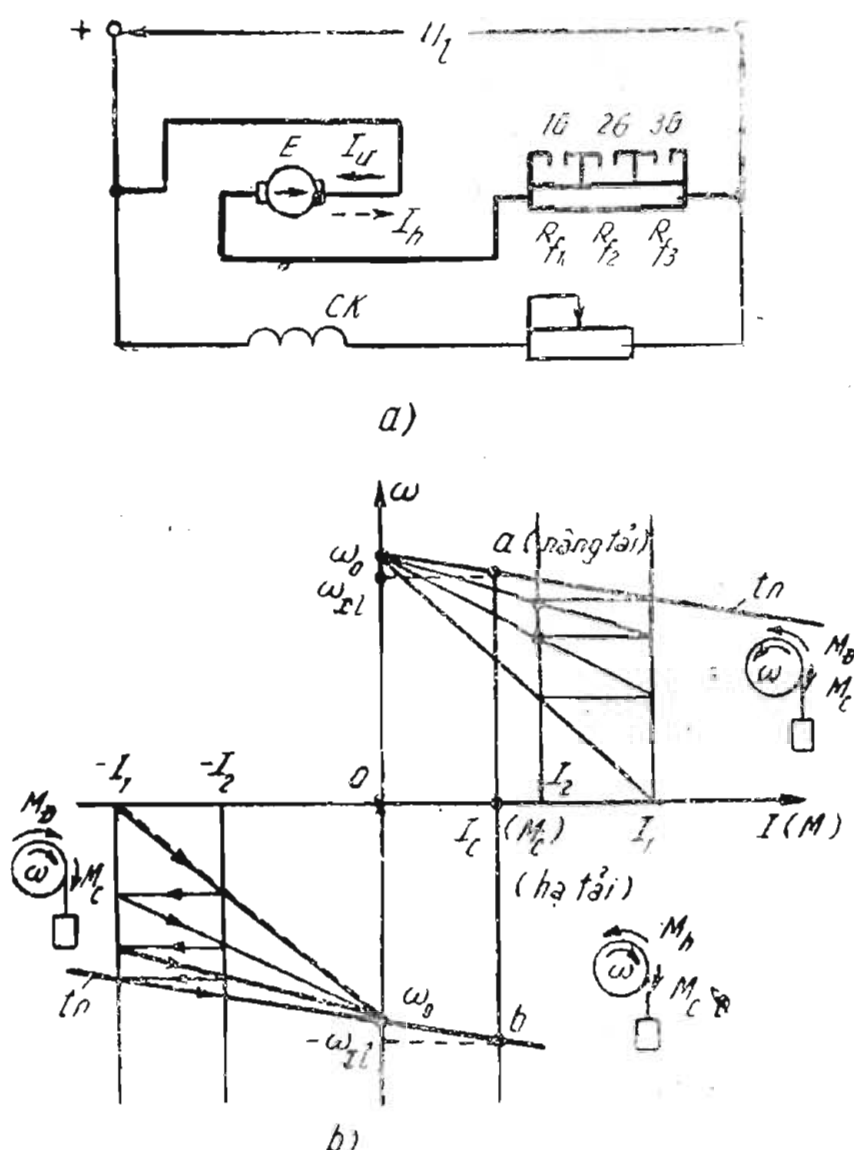
Trạng thái hãm tái sinh thường xảy ra trong các trường hợp thực tế sau:

Ở những hệ có điều chỉnh điện áp đặt vào phần ứng động cơ khi giảm điện áp để giảm tốc độ, dừng máy hoặc đảo chiều quay, hãm tái sinh xảy ra trên những đoạn đặc tính mà điện áp phần ứng có trị số nhỏ hơn sức điện động của nó.



Hình 2-16. Đặc tính của động cơ một chiều kích từ độc lập ở trạng thái động cơ và hãm tái sinh.

— Ở các hệ có tải thế năng, hãm tái sinh xảy ra khi hạ tải trọng tại những tốc độ lớn hơn tốc độ không tải lý tưởng.



Hình 2-17. Sơ đồ nguyên lý (a); các đặc tính (b) của động cơ một chiều kích từ độc lập khi nâng tải và hạ tải.

Hình 2-17 minh họa trường hợp hạ tải. Động cơ được nối với điện áp lưới có cực tính ngược lại so với khi nâng tải (hình 2-17a).

Ban đầu động cơ được khởi động trên các đặc tính biến trở ở trạng thái động cơ (góc phần tư thứ III hình 2-17b) sau đó chuyển sang trạng thái hãm tái sinh (góc phần tư thứ IV). Để dễ so sánh trên hình 2-17b còn vẽ thêm các đặc tính khi nâng tải và đánh dấu chiều của các đại lượng cơ học trong các trạng thái tương ứng.

2. Trạng thái hãm ngược.

Hãm ngược là một trạng thái máy phát: của động cơ khi rôto quay ngược với chiều quay tương ứng của điện áp nguồn gây ra.

Trạng thái này có thể xảy ra trong hai trường hợp.

a) Đưa thêm điện trở phụ có trị số đủ lớn vào mạch phản ứng của động cơ. Sao cho mômen ngăn mạch của đặc tính biến trở nhỏ hơn mômen cản. Trường hợp này chỉ gặp khi tải thế năng. Các đặc tính biến đổi trên hình 2-18.

Giả sử động cơ đang nâng tải với tốc độ xác lập ứng với điểm a, ta đưa thêm điện trở phụ vào mạch phản ứng, động cơ sẽ chuyển sang làm việc ở điểm b trên đặc tính biến trở. Tại b mômen của động cơ nhỏ hơn mômen cản nên động cơ giảm tốc, tải vẫn được nâng lên nhưng tốc độ giảm dần. Đến điểm c, tốc độ bằng không nhưng vì mômen của động cơ nhỏ hơn mômen cản nên mômen cản bắt rôto quay theo chiều ngược lại, tải được hạ xuống với tốc độ tăng dần.

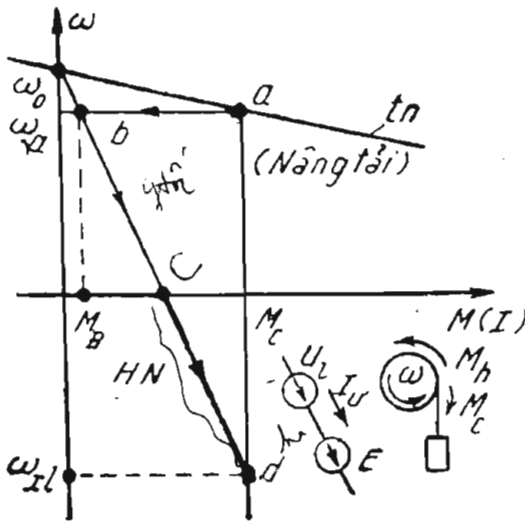
Đến điểm d thì mômen động cơ cân bằng với mômen cản nên tải được hạ xuống với tốc độ xác lập ω_{xl} không đổi. ✓

Đoạn đặc tính hãm ngược là cd (hình 2-19).

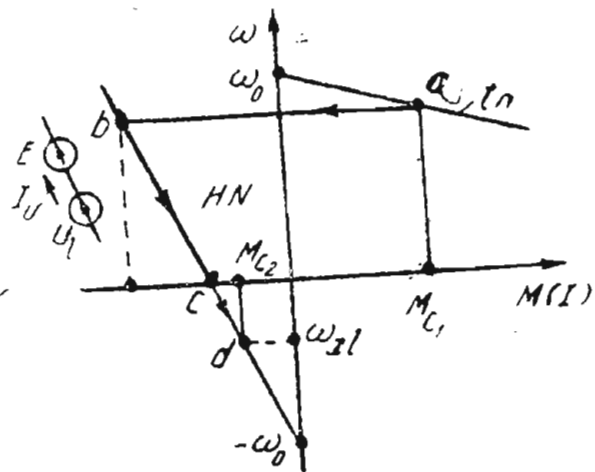
Trong đoạn hãm ngược cd vì tốc độ đổi chiều, SDD E đổi dấu nên:

$$I_h = \frac{U_l + E}{R_r + R_f} = \frac{U_l + k\Phi|\omega|}{R_r + R_f} \quad (2-32)$$

$$M_h = k\Phi I_h \quad (2-33)$$



Hình 2-18. Các đặc tính của động cơ kích từ độc lập khi hãm ngược với tải thế năng.



Hình 2-19. Các đặc tính của động cơ một chiều kích từ độc lập khi hãm ngược bằng cách đảo chiều điện áp phản ứng.

Như vậy ở đoạn hãm ngược rôto của động cơ quay ngược chiều mômen, sức điện động tác dụng cùng chiều với điện áp lưới U_l . Động cơ trong trạng thái này làm việc như một máy phát, mắc nối tiếp với lưới, biến điện năng nhận từ lưới và cơ năng trên trục thành nhiệt năng tỏa ra trên điện trở tổng của mạch phản ứng, vì vậy tổn thất năng lượng lớn.

Phương trình cân bằng công suất:

$$P_d + P_{cơ} = P_{nhiệt}$$

$$U_l \cdot I + M\omega = (R_r + R_f)I^2 \quad (2-34)$$

Phương trình đặc tính cơ là phương trình đặc tính biến trở. ✗

b) Đảo chiều điện áp phản ứng khi động cơ đang quay.

Các đặc tính và quá trình hãm được biểu diễn trên hình 2-19.

Giả sử động cơ đang làm việc xác lập tải điểm a trên đặc tính tự nhiên với phụ tải là M_{c1} , ta đổi chiều điện áp phản ứng và đưa thêm điện trở phụ R_f vào mạch phản ứng, động cơ sẽ chuyển sang làm việc ở điểm b trên đặc tính biến trở ở chiều quay ngược. Tại b do quán tính nên rôto vẫn quay theo chiều cũ còn mômen đã đổi chiều chống lại chiều quay nên tốc độ giảm nhanh theo đoạn bc. Tại điểm c tốc độ bằng không nếu cắt phản ứng khỏi lưới động cơ sẽ dừng lại, còn nếu vẫn tiếp tục đóng phản ứng vào lưới và nếu tại c mômen của động cơ lớn hơn mômen cản M_{c2} thì động cơ sẽ quay ngược lại, cuối cùng làm việc xác lập ở điểm d ứng với tải phản kháng M_{c2} .

BC là đoạn đặc tính hàm ngược (HN).

Trên đoạn hàm ngược vì điện áp đổi cực tính nên:

$$I_h = \frac{-U_l - E}{R_x + R_f} = -\frac{U_l + E}{R_x + R_f} < 0 \quad (2-35)$$

$$M_h = k\Phi I_h < 0 \quad (2-36)$$

dấu « - » trong (2-35) biểu thị dòng điện có chiều ngược với trạng thái cũ.

Ở trường hợp này sức điện động của động cơ vẫn tác dụng cùng chiều với điện áp lưới, chế độ làm việc của động cơ giống như trường hợp trên.

Biểu thức (2-35) cho thấy dòng điện hãm có thể có trị số lớn vì vậy điện trở phụ R_f phải có giá trị đủ lớn để dòng điện hãm ban đầu I_{hd} nằm trong giới hạn cho phép khoảng:

$$I_{hd} \leq (2 \div 2,5) I_{dm}$$

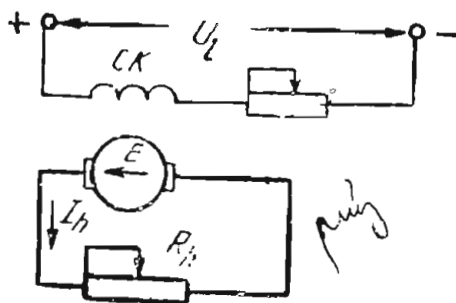
Phương trình đặc tính có dạng:

$$\omega = -\frac{U_l}{k\Phi} + \frac{R_x + R_f}{k\Phi} |I| = -\frac{U_l}{k\Phi} + \frac{R_x + R_f}{(k\Phi)^2} |M| \quad (2-37)$$

3. Trạng thái hãm động năng.

Hãm động năng là một trạng thái máy phát, mà năng lượng cơ học của động cơ đã tích lũy được trong quá trình làm việc trước đó, biến thành điện năng tiêu tán trong mạch vòng phản ứng không liên quan với lưới, dưới dạng nhiệt.

Trạng thái này có thể xảy ra trong hai trường hợp:



Hình 2-20. Sơ đồ nguyên lý khi hãm động năng kích từ độc lập của động cơ một chiều kích từ độc lập.

a) Hãm động năng kích từ độc lập.

Hãm động năng kích từ độc lập xảy ra khi động cơ đang quay ta cắt phần ứng của nó khỏi lưới điện một chiều rồi đóng kín qua một điện trở hãm R_h , còn mạch kích từ vẫn đóng vào nguồn điện như cũ để tạo ra $\Phi = \text{const}$.

Sơ đồ nguyên lý khi hãm động năng kích từ độc lập biểu diễn trên hình 2-20.

Tại thời điểm cắt phần ứng khỏi lưới điện, do động năng đã tích lũy được ở quá trình làm việc trước đó nên rôlô vẫn quay theo chiều cũ với tốc độ ban đầu ω_{bd} và có sức điện động ban đầu:

$$E_{bd} = k\Phi\omega_{bd}. \quad (2-38)$$

Vì phần ứng được khép kín qua điện trở hãm R_h nên sẽ có dòng điện hãm ban đầu sinh ra dòng điện hãm ban đầu được xác định theo biểu thức:

$$I_{hbd} = -\frac{E_{bd}}{R_x + R_h} = -\frac{k\Phi\omega_{bd}}{R_x + R_h} < 0 \quad (2-39a)$$

và

$$M_{hbd} = k\Phi I_{hbd} < 0 \quad (2-39b)$$

Dấu « — » trong (2-39a) chứng tỏ dòng điện trong phần ứng ngược chiều với trạng thái trước đó, do đó mômen hãm ngược chiều với tốc độ.

Do điện áp đặt vào phần ứng lúc hãm bằng không ($U_1 = 0$) nên từ các biểu thức (2-4) và (2-7) ta suy ra phương trình đặc tính cơ điện và đặc tính cơ khi hãm động năng này là :

$$\omega = - \frac{R_r + R_h}{k\Phi} I_h \quad (2-40)$$

và

$$= - \frac{R_u + R_h}{(k \Phi)^2} \quad (2-41)$$

với $I_h, M_h < 0$.

Đây là các phương trình đường thẳng đi qua gốc tọa độ, dạng của chúng biểu diễn trên hình 2-21.

Từ (2-41) ta có

$$\beta = - \frac{(k\Phi)^2}{R_u + R_b}$$

nghĩa là độ cứng của đặc tính cơ phụ thuộc trị số của R_h khi $\Phi = \text{const}$. R_h càng nhỏ đặc tính cơ càng cứng, mômen hãm càng lớn, hãm càng nhanh.

Tuy nhiên R_b cần chọn sao cho dòng điện hãm ban đầu nằm trong giới hạn cho phép, thường:

$$I_{\text{hba}} \leq (2 \div 2,5) I_{\text{dm}}$$

Trên hình 2-21 với M_c là phản kháng thì động cơ sẽ dừng hẳn, đoạn đặc tính hãm động năng là b_1O hoặc b_2O . Với M_c là thể nặng thì tải sẽ kéo rôto quay theo chiều ngược lại, tốc độ tăng dần và sẽ làm việc xác lập ở ω_{x11} hoặc ω_{x12} . Trong trường hợp đó đặc tính hãm động năng là b_1Oc_1 hoặc b_2Oc_2 .

Ưu điểm của phương pháp hãm động năng kích từ độc lập là tiêu thụ ít năng lượng từ lưới. Năng lượng chủ yếu được tạo ra do động năng của động cơ đã tích lũy được. Trong quá trình hãm, động cơ chỉ tiêu thụ công suất kích từ rất nhỏ, thường

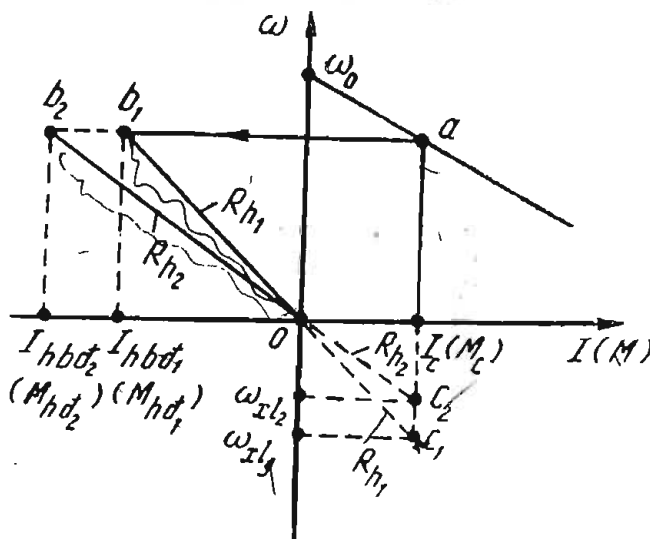
$$P_{ktdm} = (1 \div 5)\% P_{dm}$$

và động cơ làm việc như một máy phát độc lập với lưới, toàn bộ cơ năng được biến thành điện năng tiêu tán trên điện trở tổng của mạch phần ứng dưới dạng nhiệt.

Phương trình cân bằng công suất:

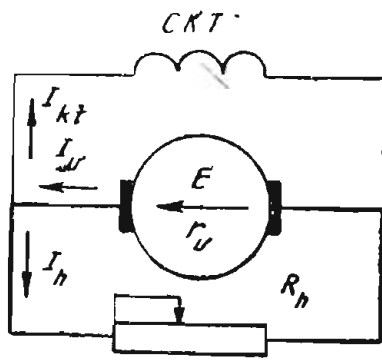
$$EI = (R_v + R_h) l^2$$

b) *Hãm động năng tự kích.* Nhược điểm của hãm động năng kích từ độc lập là nếu lưới mất điện thì không có tác dụng hãm vì khi đó $M_h = k\Phi I_h = 0$ do $\Phi = 0$.



Hình 2-21. Các đặc tính khi hãm động năng
kích từ độc lập của động cơ một chiều kích
từ độc lập ứng với $R_{h1} > R_{h2}$.

Trong trường hợp sự cố này người ta thường sử dụng phương pháp hãm động năng tự kích.



Hình 2-22. Sơ đồ nguyên lý hãm động năng tự kích của động cơ một chiều kích từ độc lập

Hãm động năng tự kích xảy ra khi động cơ đang quay ta cắt cả phần ứng lẫn cuộn kích từ khỏi lưới điện rồi đóng kín chúng qua một điện trở hãm như sơ đồ nguyên lý hình 2-22. Chú ý rằng, chiều dòng điện kích từ phải giữ như cũ để tạo ra mômen hãm ngược chiều tốc độ.

Từ sơ đồ nguyên lý hình 2-22 ta có:

$$I_u = I_h + I_{kt}$$

với

$$I_u = - \frac{E}{R_u + \frac{r_{kt} \cdot R_h}{r_{kt} + R_h}} = - \frac{k\Phi\omega}{R_u + \frac{r_{kt} \cdot R_h}{r_{kt} + R_h}}$$

Phương trình đặc tính cơ điện và đặc tính cơ là:

$$\omega = - \frac{R_u + \frac{r_{kt} \cdot R_h}{r_{kt} + R_h}}{k\Phi} I_u = - \frac{R_u + \frac{r_{kt} \cdot R_h}{r_{kt} + R_h}}{(k\Phi)^2} M \quad (2-42)$$

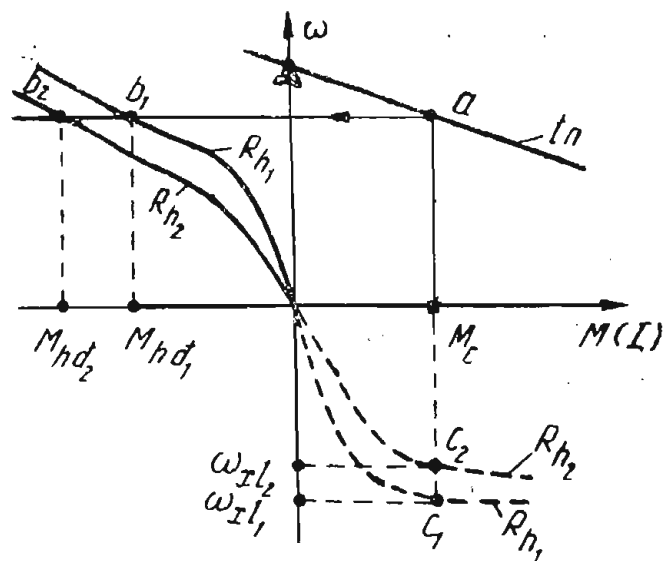
Thực tế đối với động cơ một chiều kích từ độc lập điện trở của cuộn kích từ r_{kt} lớn rất nhiều so với điện trở hãm R_h nên có thể xem

$$\frac{r_{kt}}{r_{kt} + R_h} \approx 1 \quad \text{và (2-42) trở thành:}$$

$$\omega = - \frac{R_u + R_h}{k\Phi} I_u = - \frac{R_u + R_h}{(k\Phi)^2} M \quad (2-43)$$

Trong quá trình hãm, tốc độ giảm dần nên dòng điện kích từ giảm dần và do đó từ thông Φ giảm dần và là hàm số của tốc độ. Vì vậy các đặc tính có dạng phi tuyến như hình 2-23.

So với phương pháp hãm ngược, hãm động năng có hiệu quả kém hơn khi chúng có cùng tốc độ ban đầu và mômen cản M_c , vì mômen trung bình của nó nhỏ hơn, nhất là ở hãm động năng tự kích. Tuy nhiên hãm động năng ưu việt hơn về mặt năng lượng, đặc biệt là hãm động năng tự kích không tiêu thụ năng lượng từ lưới và có khả năng hãm cả khi có sự cố mất điện lưới. Vì vậy hãm động năng tự kích còn gọi là hãm sự cố và thường được sử dụng ở những máy có yêu cầu cao về độ tin cậy trong quá trình hãm.

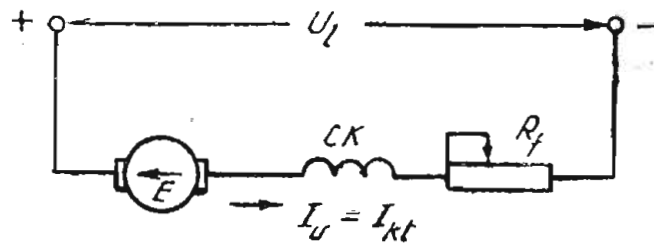


Hình 2-23. Đặc tính của động cơ một chiều kích từ độc lập khi hãm động năng tự kích với $R_{h1} > R_{h2}$

2-4. CÁC ĐẶC TÍNH CỦA ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU KÍCH TỪ NỔI TIẾP

Đặc điểm của động cơ một chiều kích từ nổi tiếp là cuộn kích từ mắc nối tiếp với cuộn dây phần ứng. Vì vậy cuộn kích từ có tiết diện lớn, điện trở nhỏ, số vòng ít, chế tạo dễ dàng.

Sơ đồ nguyên lý của nó biểu diễn trên hình 2-24.



Hình 2-24. Sơ đồ nguyên lý của động cơ một chiều kích từ nổi tiếp

Từ sơ đồ nguyên lý ta thấy dòng điện kích từ chính là dòng điện phần ứng nên từ thông của động cơ phụ thuộc vào phụ tải.

1. Phương trình đặc tính và dạng của chúng.

Từ sơ đồ nguyên lý hình 2-24 ta có:

$$U_l = E + I \cdot R = k\Phi\omega + IR \quad (2-44)$$

$$M = k \cdot \Phi \cdot I \quad (2-45)$$

Với $R = r_u + r_{ctf} + r_{kt} + r_{ct} + R_f = R_d + R_f$

Từ (2-44) và (2-45) ta có:

$$\omega = \frac{U_l}{k\Phi} - \frac{R}{k\Phi} I \quad (2-46)$$

$$\omega = \frac{U_l}{k\Phi} - \frac{R}{(k\Phi)^2} M \quad (2-47)$$

Tuy nhiên từ (2-46) hoặc (2-47) ta chưa thể nhận ra dạng của các đặc tính vì trong các phương trình đó từ thông Φ biến đổi, nó phụ thuộc vào dòng điện kích từ theo đặc tính từ hóa (hình 2-25 đường 1).

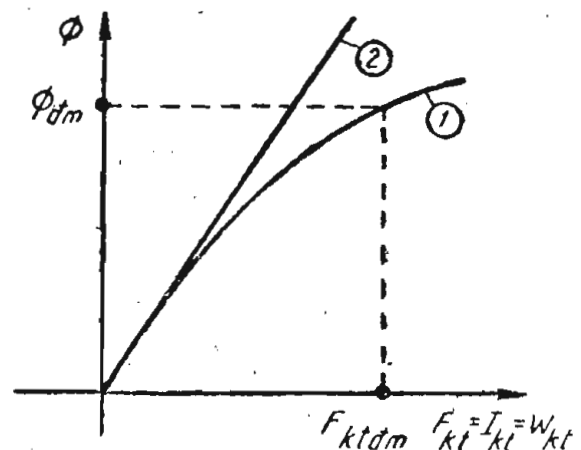
Để đơn giản hóa khi thành lập phương trình của các đặc tính ta giả thiết từ thông phụ thuộc tuyến tính với dòng điện kích từ như đường 2 trên hình 2-25. Nghĩa là

$$\Phi = C \cdot I_{kt} \quad (2-48a)$$

với C — hệ số tỷ lệ.

Nếu bỏ qua phản ứng phần ứng ta có:

$$\Phi = C \cdot I_u = CI \quad (2-48b)$$



Hình 2-25. Đặc tính từ hóa của động cơ một chiều kích từ nổi tiếp.

Thay (2-18b) vào (2-16) ta được phương trình đặc tính cơ điện của động cơ:

$$\omega = \frac{U_l}{k \cdot C \cdot I} - \frac{R}{k \cdot C} = \frac{A_1}{I} - B \quad (2-49)$$

Với $A_1 = \frac{U_l}{k \cdot C} = \text{const}$; $B = \frac{R}{k \cdot C} = \text{const}$. Mặt khác ta có:

$$M = k \cdot \Phi \cdot I = k \cdot C \cdot I^2$$

nên

$$I = \sqrt{\frac{M}{k \cdot C}} \quad (2-50)$$

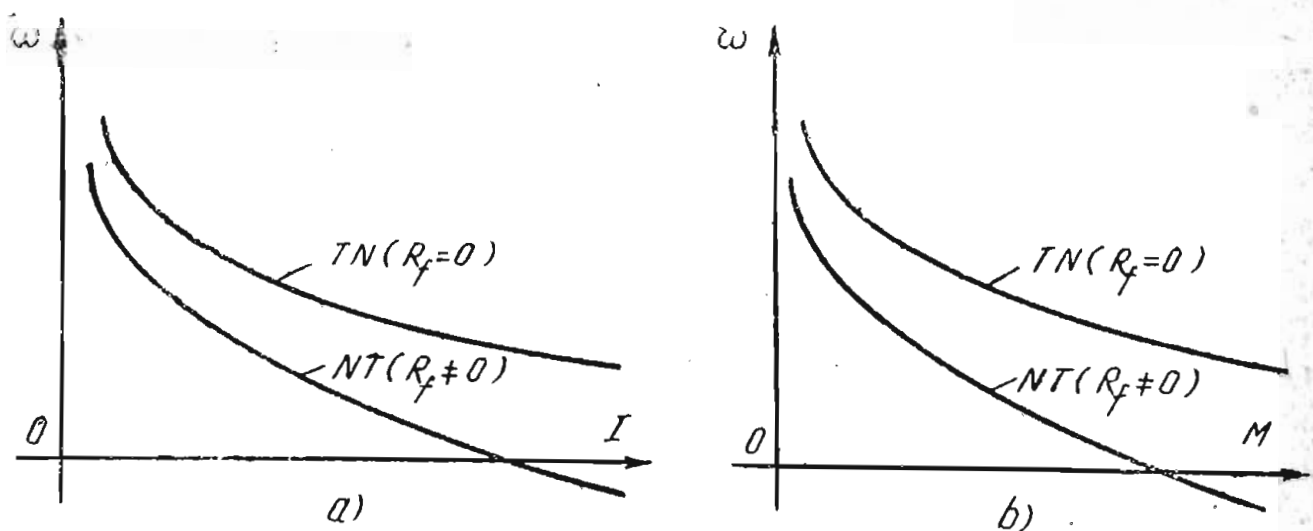
Thay (2-50) vào (2-49) ta được phương trình đặc tính cơ của động cơ:

$$\omega = \frac{A_1 \cdot \sqrt{k \cdot C}}{\sqrt{M}} - B = \frac{A_2}{\sqrt{M}} - B \quad (2-51)$$

với $A_2 = A_1 \cdot \sqrt{k \cdot C} = \text{const}$.

Từ (2-49) và (2-51) ta thấy đặc tính cơ điện và đặc tính cơ của động cơ với giả thiết trên có dạng hypebol và rất mềm. Tuy nhiên giả thiết trên chỉ gần đúng ở phạm vi dòng điện có giá trị nhỏ hơn trị số định mức. Ở vùng dòng điện lớn, mạch từ của máy bão hòa, nên từ thông hầu như không đổi và đặc tính có dạng gần tuyến tính.

Dạng của các đặc tính biểu diễn trên hình 2-26.



Hình 2-26. Dạng đặc tính cơ điện (a); đặc tính cơ (b) của động cơ một chiều kích từ nối tiếp

Từ (2-46) hoặc (2-47) ta thấy rằng nếu cho động cơ làm việc không tải ($I = 0$) hoặc ($M = 0$) thì tốc độ không tải lý tưởng của động cơ sẽ bằng vô cùng. Thực tế do có ma sát và các tổn thất phụ và do động cơ có từ dư (có từ thông khi không có kích từ) thường:

$$\Phi_{dr} = (2 - 10)\% \Phi_{dm}$$

nên khi $I = 0$ hoặc $M = 0$ tốc độ không tải lý tưởng của động cơ vẫn có giá trị hữu hạn và được biểu diễn gần đúng bởi biểu thức:

$$\omega_0 = \frac{U_l}{k\Phi_{dr}}$$

Tốc độ không tải lý tưởng này có thể lớn gấp hàng chục lần tốc độ định mức. Đó là tốc độ không cho phép đối với độ bền cơ học của máy — cò góp, các đai, các chêm trong rãnh rôto).

Thường các động cơ kích từ nối tiếp đã chế tạo hiện đang sử dụng trong công nghiệp chỉ cho phép $\omega_{\max} < 4\omega_{dm}$. Vì vậy không được phép sử dụng động cơ này cho những truyền động có khả năng làm việc không tải hoặc tải rất nhỏ, ví dụ các truyền động dùng dây còroa, các loại máy nâng có cáp hai đầu v.v.

Từ (2-51) ta rút ra được biểu thức của mômen:

$$M = \frac{U_l^2 kC}{(kC\omega + R)^2} \quad (2-52)$$

Từ (2-52) ta tính được độ cứng của đặc tính cơ:

$$\beta = \frac{dM}{d\omega} = - \frac{2(kC \cdot U_l)^2}{(kC\omega + R)^2} \quad (2-53)$$

Như vậy độ cứng phụ thuộc vào tốc độ ω , tốc độ càng giảm môđun độ cứng càng tăng. Cũng từ (2-53) ta thấy điện trở R càng tăng (R_f càng tăng) đặc tính càng mềm (đường NT trên hình 2-27).

2. Phương pháp dựng đặc tính tự nhiên và đặc tính biến trở của động cơ một chiều kích từ nối tiếp. Do quan hệ $\Phi = f(I_a)$ là phi tuyến nên để dựng các đặc tính cơ điện và đặc tính cơ của động cơ người ta sử dụng phương pháp đồ thị giải tích dựa vào các đường cong thực nghiệm đã cho. Vì các động cơ một chiều kích từ nối tiếp cùng loại đều có giá trị tương đối của khe hở không khí và mức độ bão hòa của mạch từ không khác nhau nhiều nên các quan hệ giữa tốc độ ω , mômen M với dòng điện theo đơn vị tương đối gần như trùng nhau. Người ta gọi các đặc tính đó là đặc tính vạn năng $\omega^* = f(I^*)$, $M^* = f(I^*)$ và được xác định bằng thực nghiệm. Các đại lượng cơ bản sử dụng trong đơn vị tương đối được chọn là các thông số định mức của động cơ: U_{dm} , I_{dm} , M_{dm} , ω_{dm} , Φ_{dm} , R_{dm} v.v... Các đặc tính này có dạng biểu diễn trên hình 2-27.

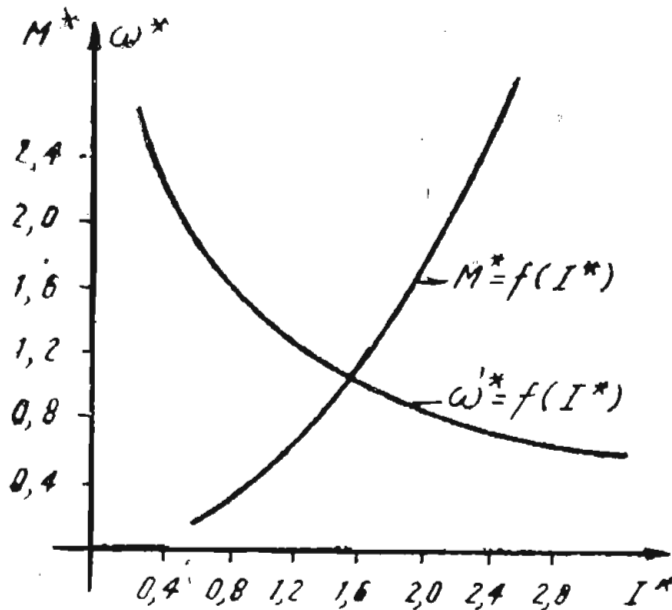
Dựa vào các đặc tính vạn năng và các thông số định mức của động cơ ta dựng được đặc tính cơ điện và đặc tính cơ tự nhiên, từ đó vẽ được đặc tính biến trở.

a) Phương pháp dựng đặc tính cơ điện và đặc tính cơ tự nhiên từ các đặc tính vạn năng. Với mỗi động cơ một chiều kích từ nối tiếp ta biết được:

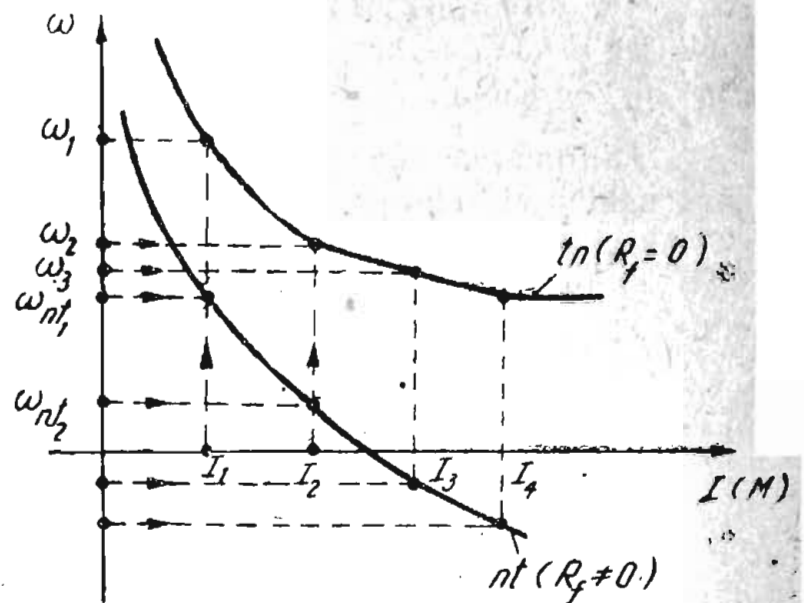
$$P_{dm}, U_{dm}, I_{dm}, n_{dm}, R_{dm}, r_{kl} \text{ v.v...}$$

Muốn dựng đặc tính cơ điện và đặc tính cơ tự nhiên của nó ta tiến hành như sau:

Lấy các giá trị tùy ý của dòng điện tương đối $I_1^*, I_2^*, \dots, I_n^*$ dựa vào đồ thị các đặc tính vạn năng ta tra được các trị số tương ứng của tốc độ và mômen tương đối: $\omega_1^*, \omega_2^*, \dots, \omega_n^*$ và $M_1^*, M_2^*, \dots, M_n^*$



Hình 2-27. Dạng các đặc tính vạn năng của động cơ một chiều kích từ nối tiếp.



Hình 2-28. Các đặc tính tự nhiên và biến trở của động cơ một chiều kích từ nối tiếp từ kết quả ở bảng 2-1

Tính đổi các đại lượng tương đối trên ra đại lượng tuyệt đối theo các biểu thức:

$$I = I^* \cdot I_{dm} \text{ (A)}$$

$$\omega = \omega^* \cdot \omega_{dm} \text{ (rad/s)}$$

$$M = M^* \cdot M_{dm} \text{ (N.m)}$$

trong đó

$$\omega_{dm} = \frac{n_{dm}}{9,55}$$

$$M_{dm} = 1000 \frac{P_{dm}}{\omega_{dm}} \text{ (N.m) với } P_{dm} \text{ (kW)}$$

Kết quả tính toán ghi vào bảng 2-1.

Bảng 2-1

I^*	I_1^*	I_2^*	I_3^*	I_4^*		I_n^*
$I \text{ (A)}$	I_1	I_2	I_3	I_4		I_n
ω^*	ω_1^*	ω_2^*	ω_3^*	ω_4^*		ω_r^*
$\omega \text{ (rad/s)}$	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4		
M^*	M_1^*	M_2^*	M_3^*	M_4^*		M_n^*
$M \text{ (N.m)}$	M_1	M_2	M_3	M_4		M_n

Dựa vào các kết quả đó ta vẽ được đặc tính cơ điện tự nhiên $\omega = f(I)$ và đặc tính cơ tự nhiên $\omega = f(M)$ như hình 2-28 đường TN.

b) Phương pháp dựng đặc tính biến trở. Từ các phương trình đặc tính cơ điện tự nhiên và biến trở:

$$\omega_{ln} = \frac{U_l - I R_d}{k\Phi} \quad (2-54)$$

và

$$\omega_{nt} = \frac{U_l - I(R_d + R_f)}{k\Phi} \quad (2-55)$$

Khi cùng giá trị của dòng điện thì từ thông Φ trong hai phương trình trên như nhau nên ta có:

$$\omega_{nt} = \omega_{ln} \left[\frac{U_l - I(R_d + R_f)}{U_l - I R_d} \right] \quad (2-56)$$

Từ (2-56) dựa vào các kết quả ở bảng 2-1 ứng với các giá trị $I_1, I_2, \dots, I_n$ ta tính được các giá trị tương ứng $\omega_{n1}, \dots, \omega_{nn}$, ứng với trị số R_f đã biết. Kết quả tính toán này có thể ghi tiếp vào bảng 2-1. Dựa vào các kết quả ấy ta dựng được đặc tính biến trở (nhân tạo) như hình 2-28 đường NT.

2.5. KHỞI ĐỘNG VÀ XÁC ĐỊNH ĐIỆN TRỞ KHỞI ĐỘNG CỦA ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU KÍCH TỪ NỐI TIẾP

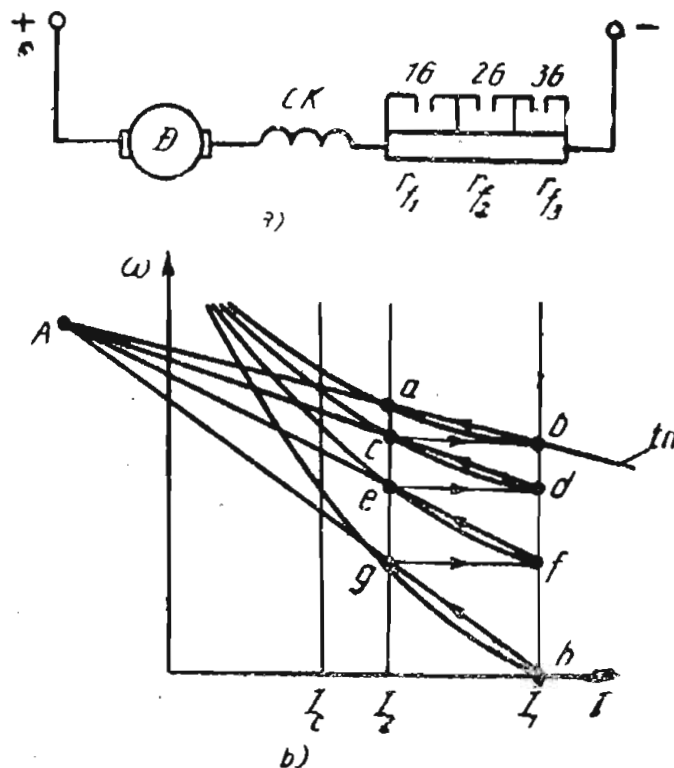
Tương tự như ở động cơ một chiều kích từ độc lập, để hạn chế dòng điện khởi động ở động cơ này người ta cũng đưa thêm điện trở phụ vào mạch phần ứng rồi loại trừ dần đi. Sơ đồ nguyên lý và các đặc tính khởi động trình bày trên hình 2-29.

Để xác định trị số các cấp điện trở khởi động ta có thể tuyến tính hóa các đoạn đặc tính khởi động và sử dụng đồ thị hình tia.

Giả sử đã có đồ thị các đặc tính khởi động về đảm bảo hai điều kiện như đã nêu ở động cơ một chiều kích từ độc lập. Ứng với hai giá trị I_1 và I_2 trên mỗi đặc tính ta kẻ các đường thẳng ab, cd, ef, gh (hình 2-29b). Chúng sẽ đồng quy tại điểm A. Có thể chứng minh điều đó như sau:

Tại giá trị dòng điện nào đó ví dụ I_1 , đối với đặc tính cơ điện tự nhiên ta có

$$\omega_{ln1} = \frac{U_{dm} - I_1 R_d}{k\Phi_1} \quad (2-57)$$



Hình 2-29. Sơ đồ nguyên lý (a) các đặc tính khởi động (b) của động cơ một chiều kích từ nối tiếp.

và đối với đặc tính cơ điện nhân tạo ta có:

$$\omega_{nt1} = \frac{U_{dm} - I_1(R_d + r_{f1})}{k\Phi_1} \quad (2-58)$$

Vì $I_1 = \text{const}$ nên đặt $a_1 = \frac{1}{k\Phi_1} = \text{const}$ và do đó $\omega_{tn1} - \omega_{nt1} = a_1 r_{f1} = bd$ (hình 2-29b).

Tương tự với dòng điện I_2 ta có:

$$\omega_{tn2} - \omega_{nt2} = a_2 r_{f1} = ac$$

với

$$a_2 = \frac{1}{k\Phi_2} = \text{const}$$

Chứng minh tương tự với các đặc tính biến trở còn lại ta được các kết quả tương ứng sau:

Khi $I_1 = \text{const}$

$$bd = a_1 r_{f1}$$

$$df = a_1 r_{f2}$$

$$fh = a_1 r_{f3}$$

Khi $I_2 = \text{const}$

$$ac = a_2 r_{f2}$$

$$ce = a_2 r_{f2}$$

$$eg = a_2 r_{f3};$$

và có các đẳng thức:

$$\frac{bd}{ac} = \frac{a_1}{a_2}; \quad \frac{df}{ce} = \frac{a_1}{a_2}; \quad \frac{fh}{eg} = \frac{a_1}{a_2}$$

Các đẳng thức trên chứng tỏ các đường thẳng ab, cd, cf, gh phải đồng quy tại một điểm (điểm A).

Như vậy các đặc tính khởi động sau khi đã tuyến tính hóa có dạng hình tia như hình 2-29b.

Dựa vào đồ thị này ta sẽ xác định được trị số các cặp điện trở khởi động.

Trình tự tiến hành như sau:

1. Dựa vào các thông số của động cơ và các đặc tính vạn năng dụng cụ đặc tính cơ điện tự nhiên.

2. Chọn giới hạn trên của dòng điện khởi động $I_1 \leq (2 \div 2,5) I_{dm}$ và tính điện trở tổng của mạch phản ứng tương ứng I_1 khi động cơ chưa quay (điểm h trên hình 2-29b):

$$R = \frac{U_{dm}}{I_1}$$

3. Chọn giới hạn dưới của dòng điện khởi động $I_2 \geq (1,1 \div 1,3) I_c$ hoặc khi không biết I_c thì lấy $I_2 \geq (1,1 \div 1,3) I_{dm}$. Từ I_2 dựa vào đặc tính cơ điện tự nhiên tính tốc độ nhân tạo của động cơ tại điểm g trên đặc tính biến trở dốc nhất theo biểu thức:

$$\omega_{nt} = \omega_{tn} \frac{U_{dm} - I_2 R}{U_{dm} - I_2 R_d}$$

Kẻ đường thẳng qua h, g ta được đường tuyến tính hóa của đặc tính khởi động dốc nhất.

Trên đặc tính tự nhiên vẽ đường thẳng qua hai điểm b (ứng với I_1) và a (ứng với I_2) đường thẳng này cắt đường hg tại điểm A.

4. Từ A dựng họ đặc tính khởi động hình tia sao cho nó đảm bảo hai điều kiện:

— Số đặc tính biến trở bằng số cấp điện trở, khởi động đã yêu cầu là m.

— Điểm c và b nằm trên đường thẳng song song với trục hoành ở vị trí như hình 2-29b.

Nếu không thỏa mãn một trong hai điều kiện trên phải chọn lại I_1 hoặc I_2 rồi dựng lại.

5. Sau khi đã có đồ thị hình tia dựng đúng ta xác định trị số các cấp điện trở khởi động theo các biểu thức sau:

Gọi toàn bộ điện trở phụ mắc vào mạch phần ứng khi khởi động là R_f ta có:

$$R_f = R' - R_d \quad (2-59)$$

và điện trở ở mỗi cấp:

$$\left. \begin{aligned} r_{f1} &= \frac{bd}{bh} R_f \\ r_{f2} &= \frac{df}{bh} R_f \\ r_{f3} &= \frac{hf}{bh} R_f \end{aligned} \right\} \quad (2-60)$$

2-6. CÁC TRẠNG THÁI Hãm CỦA ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU KÍCH TỪ NỘI TIẾP

Nếu dùng sơ đồ đấu dây bình thường thì động cơ một chiều kích từ nối tiếp có tốc độ không tải lý tưởng ω_0 vô cùng lớn, nên nó không có trạng thái hãm tái sinh mà chỉ có trạng thái hãm ngược và hãm động năng.

Phương pháp thực hiện và quá trình diễn biến của hai trạng thái này hoàn toàn giống như ở động cơ một chiều kích từ độc lập nên sau đây chỉ nêu vắn tắt.

1. Trạng thái hãm ngược.

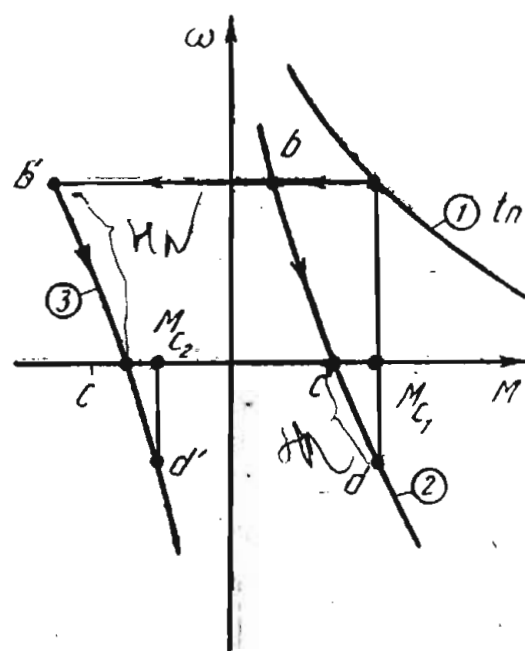
Trạng thái này có thể xảy ra trong hai trường hợp:

a) Đưa thêm điện trở phụ R_f vào mạch phần ứng khi tải thể năng. Đặc tính biến trở là đường 2 trên hình 2-30. Đoạn đặc tính hãm ngược là cd.

Ở đoạn cd dòng điện hãm:

$$I_h = \frac{U_{dm} + |k\Phi\omega|}{R_d + R_f} \quad (2-61)$$

trong đó từ thông Φ biến đổi và phụ thuộc tốc độ.



Hình 2-30. Các đặc tính cơ khi hãm ngược với tải thể năng của động cơ một chiều kích từ nối tiếp.

Phương trình đặc tính cơ là phương trình đặc tính biến trở đã biết.

b) *Đổi chiều điện áp đặt vào phần ứng.* Trường hợp này thường sử dụng để hãm dừng máy. Sơ đồ nguyên lý như hình 2-31. Chú ý chiều dòng điện kích từ cần phải được giữ nguyên như ở trạng thái làm việc trước đó.

Đặc tính cơ khi hãm ngược là đường 3 trên hình 2-30 đoạn hãm ngược là $b'c'$.

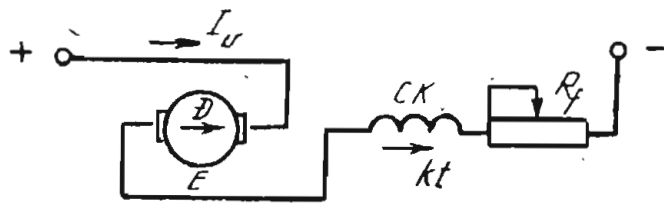
Dòng điện hãm trên đoạn $b'c'$ là:

$$I_h = - \frac{U_{dm} + |k\Phi\omega|}{R_d + R_f} \quad (2-62)$$

Phương trình đặc tính cơ:

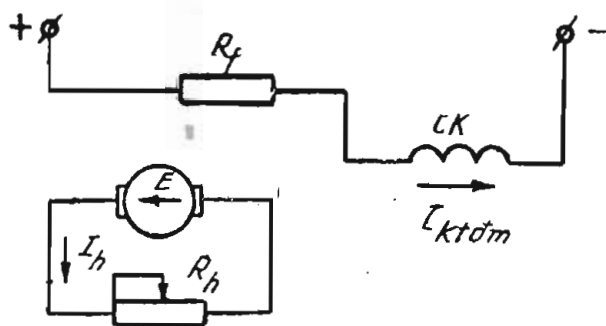
$$\omega = - \frac{U_{dm}}{k\Phi} + \frac{R_d + R_f}{(k\Phi)^2} |M| \quad (2-63)$$

trong đó R_f phải có trị số để $I_{hbd} \leq (2 \div 2,5) I_{dm}$.

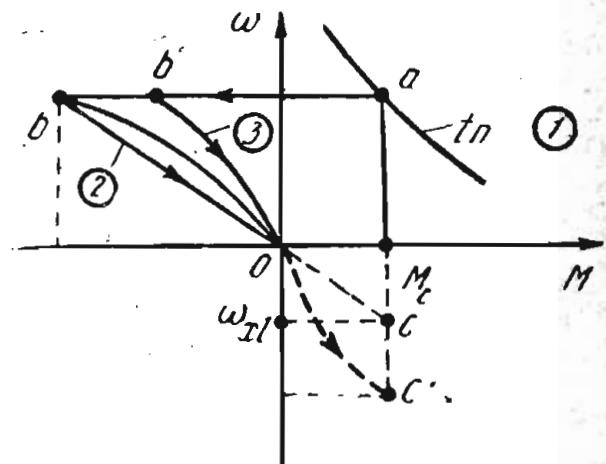


Hình 2-31. Sơ đồ nguyên lý hãm ngược bằng cách đảo chiều điện áp đặt vào phần ứng của động cơ một chiều kích từ nối tiếp.

quay ta cắt phần ứng của nó khỏi nguồn điện một chiều rồi đóng kín qua điện trở hãm R_h . Còn cuộn kích từ được mắc vào nguồn điện qua điện trở phụ R_f sao cho dòng kích từ bằng trị số định mức, không đổi và có chiều như cũ. Sơ đồ nguyên lý như hình 2-32.



Hình 2-32. Sơ đồ nguyên lý khi hãm động năng kích từ độc lập của động cơ một chiều kích từ nối tiếp.



Hình 2-33. Các đặc tính cơ khi hãm động năng của động cơ một chiều kích từ nối tiếp.

Đặc tính cơ khi hãm động năng kích từ độc lập của động cơ là đường thẳng qua gốc tọa độ (đường 2 trên hình 2-33) và có phương trình là:

$$\omega = - \frac{R_u + R_h}{(k\Phi_{dm})^2} M \quad (2-64)$$

Với $R_u = r_u + r_{ctf} + r_{ct}$.

Chú ý, trong (2-64) R_h được chọn sao cho dòng điện hãm ban đầu nằm trong giới hạn cho phép nghĩa là:

$$R_h = \frac{k \cdot \Phi_{dm} \cdot \omega_{bd}}{(2 \div 2,5) I_{dm}} - R_u$$

Với $\omega_{bd} = \omega_{max}$ — tốc độ thực tế lớn nhất trong quá trình làm việc.

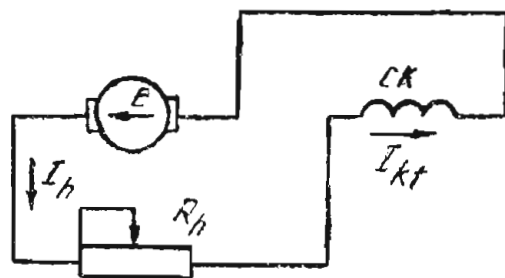
b) *Hãm động năng tự kích*. Hãm động năng tự kích xảy ra khi động cơ đang quay ta cắt cả phần ứng lẫn cuộn kích từ khỏi nguồn điện rồi đóng kín qua điện trở hãm R_h nhưng phải giữ cho chiều dòng điện kích từ như cũ.

Sơ đồ nguyên lý như hình 2-34.

Phương trình đặc tính cơ là:

$$\omega = - \frac{R_a + R_h}{(k\Phi)^2} M \quad (2-65)$$

và dạng của nó như đường 3 trên hình 2-33.



Hình 2-34. Sơ đồ nguyên lý hãm động năng tự kích của động cơ một chiều kích từ nối tiếp.

2-7. PHẠM VI SỬ DỤNG CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU KÍCH TỪ NỐI TIẾP

Do cấu tạo đặc biệt mà động cơ một chiều kích từ nối tiếp có những đặc điểm khác biệt với động cơ một chiều kích từ độc lập. Điều đó quyết định phạm vi sử dụng của loại động cơ này

a) *Khả năng quá tải lớn về mômen*. Nhờ cuộn kích từ nối tiếp, nên ở vùng dòng điện phần ứng lớn hơn định mức thì từ thông của động cơ lớn hơn định mức, do đó mômen của nó tăng nhanh hơn so với mức độ tăng của dòng điện phần ứng. Như vậy với mức độ quá dòng điện như nhau thì động cơ 1 chiều kích từ nối tiếp sẽ có mômen lớn hơn mômen của động cơ một chiều kích từ độc lập, nghĩa là khả năng quá tải về mômen và khả năng khởi động của nó tốt hơn. Nhờ ưu điểm đó mà động cơ một chiều kích từ nối tiếp dùng thích hợp cho những truyền động làm việc thường bị quá tải lớn và yêu cầu mômen khởi động lớn, ví dụ các máy nâng vận chuyển, cơ cấu nén khí, các băng lăn, máy đảo phôi trong cán thép v.v...

b) *Đặc tính cơ của động cơ một chiều kích từ nối tiếp mềm và có độ cứng thay đổi theo phụ tải*. Nhờ đặc điểm này mà qua tốc độ của động cơ ta có thể phán đoán được mức độ phụ tải của nó. Tuy nhiên không nên sử dụng động cơ này cho những truyền động có yêu cầu ổn định cao mà nên sử dụng nó cho những truyền động có yêu cầu tốc độ thay đổi theo tải ví dụ các máy nâng—vận chuyển. Ở những máy khi tải nhỏ thường yêu cầu tốc độ cao để lãng năng suất của máy, còn khi tải lớn cần tốc độ nhỏ để đảm bảo an toàn,

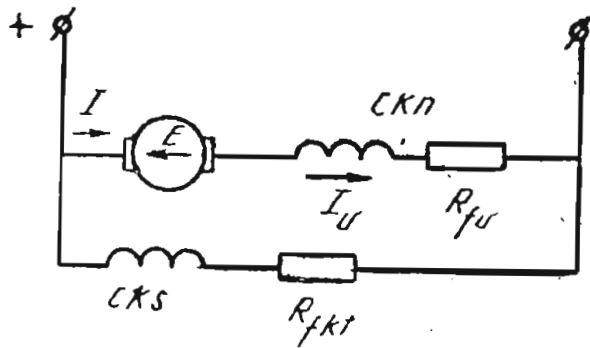
c) *Khả năng chịu tải của động cơ không bị ảnh hưởng bởi sự sụt áp của lưới*. Vì từ thông chỉ phụ thuộc dòng điện phần ứng. Vì vậy nó sử dụng thích hợp cho những truyền động trong giao thông có đường dây cung cấp điện dài.

2-8. CÁC ĐẶC TÍNH VÀ CÁC TRẠNG THÁI LÀM VIỆC CỦA ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU KÍCH TỪ HỖN HỢP

Động cơ này có hai cuộn dây kích từ: kích từ song song (CKS) và kích từ nối tiếp (CKN). Sơ đồ nguyên lý như hình 2-35.

1. Các đặc tính tự nhiên và biến trở.

Khi làm việc ở trạng thái động cơ sức từ động của hai cuộn kích từ có hiệu ứng ngược nhau. Từ thông chính của động cơ được tạo ra bởi từ thông tổng của sức từ động nói trên:



Hình 2-35. Sơ đồ nguyên lý của động cơ một chiều kích từ hỗn hợp.

$$\Phi_{\text{chính}} = \Phi_s + \Phi_n$$

$$F_{kt} = F_{kts} + F_{ktn} = W_{kts} I_{kts} + W_{ktn} \cdot I_u \quad (2-66)$$

Trong các biểu thức trên:

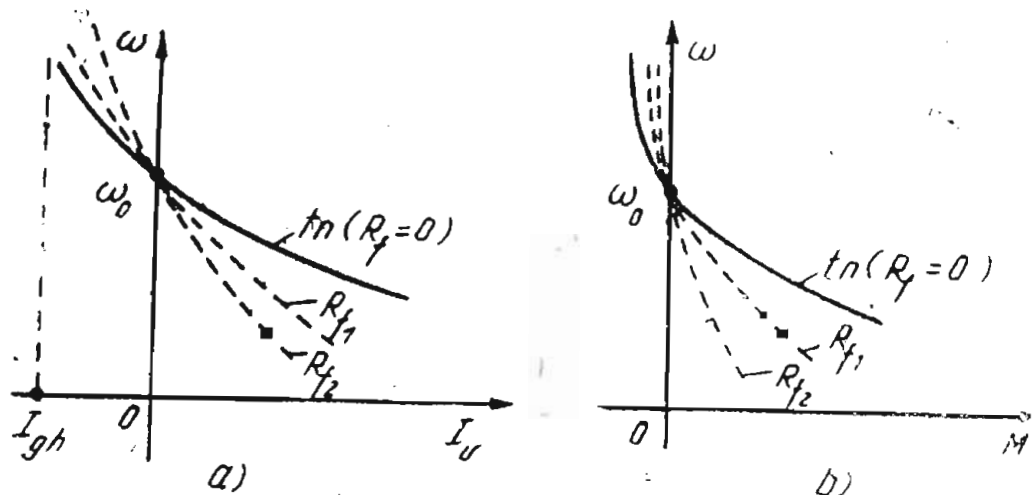
Φ_s, Φ_n — Từ thông do cuộn kích từ song song và nối tiếp sinh ra

W_{kts}, W_{ktn} — số vòng của cuộn kích từ song song và nối tiếp

I_{kts}, I_u — dòng điện qua cuộn kích từ song song và nối tiếp.

Như vậy từ thông chính của động cơ phụ thuộc vào dòng điện phản ứng tức là phụ thuộc vào phụ tải.

Vì động cơ một chiều kích từ hỗn hợp có hai cuộn kích từ nên các đặc tính của nó có dạng trung gian giữa đặc tính của động cơ một chiều kích từ độc lập (song song) và kích từ nối tiếp và được biểu diễn trên hình 2-36.



Hình 2-36. Các đặc tính cơ điện (a) và các đặc tính cơ (b) của động cơ một chiều kích từ hỗn hợp.

Tùy thuộc vào tương quan tác dụng giữa hai cuộn kích từ mà đặc tính của nó có dạng gần với đặc tính của động cơ này hay động cơ kia.

Cuộn kích từ song song tạo ra từ thông không đổi đảm bảo cho động cơ làm việc được ở trạng thái không tải ($I_r = 0$) với tốc độ không tải lý tưởng:

$$\omega_0 = \frac{U_l}{k\Phi_s} > \omega_{\text{đm}}$$

Vì thường $\Phi_s = (0,75 \div 0,85) \Phi_{\text{đm}}$ nên so với động cơ một chiều kích từ độc lập cùng giá trị $\Phi_{\text{đm}}$, thì tốc độ không tải lý tưởng này lớn hơn. Các động cơ một chiều kích từ hỗn hợp thường có:

$$\omega_0 = (1,3 \div 1,6) \omega_{\text{đm}}$$

Nhờ có cuộn kích từ nối tiếp nên mômen khởi động của động cơ lớn và đặc tính mềm. Khả năng quá tải về mômen của động cơ một chiều kích từ hỗn hợp ở mức trung gian giữa động cơ một chiều kích từ độc lập và kích từ nối tiếp. Nếu lấy dòng điện cho phép của động cơ ở hệ đơn vị tương đối là $I_{\text{ef}}^* = 2 \div 2,5$ thì mômen lớn nhất của động cơ một chiều kích từ độc lập là

$M_{\text{max}}^* = 2 \div 2,5$ ($\lambda_{M_{\text{max}}} = 2 \div 2,5$), của động cơ một chiều kích từ nối tiếp là

$M_{\text{max}}^* = 2,4 \div 3,0$ còn của động cơ một chiều kích từ hỗn hợp là $M_{\text{max}}^* = 2,2 \div 2,7$.

Để dựng các đặc tính cơ điện và đặc tính cơ tự nhiên của động cơ một chiều kích từ hỗn hợp người ta cũng dựa vào các đặc tính vạn năng đã cho của từng loại động cơ với tỷ số $\frac{F_s}{F_n}$ xác định. Thường các động cơ một chiều kích từ hỗn hợp được chế tạo với:

$$\frac{F_s}{F_{\text{ktndm}}} = \frac{F_s}{W_{\text{tn}} \cdot I_{\text{rđm}}} = 1,6 \div 2,6$$

Để vẽ các đặc tính biến trở ($R_f \neq 0$) có thể dựa vào đặc tính tự nhiên kết hợp với các phương trình:

$$\omega = \frac{U_l}{k\Phi} - \frac{R}{k\Phi} I_r \quad (2-67)$$

và

$$\omega = \frac{U_l}{k\Phi} - \frac{R}{(k\Phi)^2} M \quad (2-68)$$

viết đối với đặc tính tự nhiên và biến trở. Cách dựng tương tự như ở động cơ kích từ nối tiếp. Dạng của các đặc tính biến trở biểu diễn bằng những đường nét đứt trên hình 2-36.

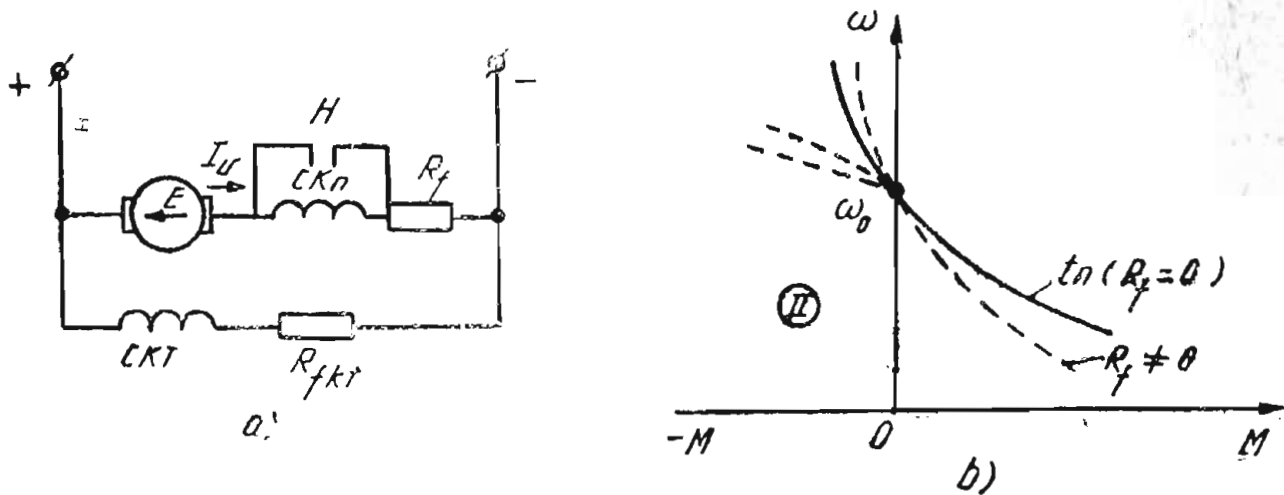
2. Các trạng thái hãm.

Động cơ một chiều kích từ hỗn hợp cũng có 3 trạng thái hãm:

a) *Hãm tái sinh (hãm trả năng lượng về lưới)*. Hãm tái sinh xảy ra khi tốc độ động cơ lớn hơn tốc độ không tải lý tưởng ($\omega > \omega_0$), dòng điện phản ứng đổi chiều nên sức từ động của cuộn kích từ nối tiếp làm giảm từ trường của máy. Khi dòng điện phản ứng bằng dòng điện giới hạn I_{gh} :

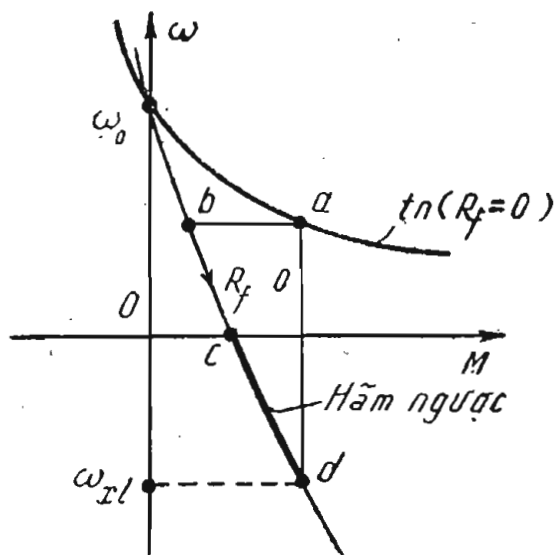
$$I_{\text{gh}} = - \frac{F_s}{W_{\text{ktn}}}$$

từ trường của máy bằng không và về lý thuyết tốc độ động cơ tăng lên vô cùng, nghĩa là đặc tính cơ điện sẽ tiệm cận với đường $I_r = I_{gh}$ (xem hình 2-36a). Với đặc tính cơ, khi $|I_r|$ tăng làm mômen tăng lên, đến giá trị cực đại (M_{max}) nào đó và sau đó sẽ giảm. Khi I_r tiến tới I_{gh} thì mômen tiến dần đến không. Do đó đặc tính cơ ở trạng thái này có dạng như hình 2-36b.



Hình 2-37. Sơ đồ nguyên lý (a); đặc tính cơ (b) khi hãm tái sinh của động cơ một chiều kích từ hỗn hợp.

Như vậy ở hãm tái sinh cuộn kích từ nối tiếp làm cho đặc tính cơ quá mềm, mômen hãm nhỏ và giảm dần, tác dụng hãm kém. Vì vậy để đảm bảo đặc tính cơ cứng, mômen hãm đủ lớn khi hãm tái sinh người ta nối ngắn mạch cuộn kích từ nối tiếp nhờ tiếp điểm công tác tơ hãm H như hình 2-37a. Khi đó đặc tính cơ có dạng thẳng nằm ở góc phần tư thứ II như hình 2-37b.



Hình 2-38. Đặc tính cơ của động cơ một chiều kích từ hỗn hợp khi hãm ngược với tải thế năng.

b) Hãm ngược. Hãm ngược có thể xảy ra trong 2 trường hợp.

— Đưa thêm điện trở phụ R_f vào mạch phần ứng khi M_c là thế năng.

Đặc tính cơ như hình 2-38. Đoạn đặc tính cơ khi hãm ngược là cd.

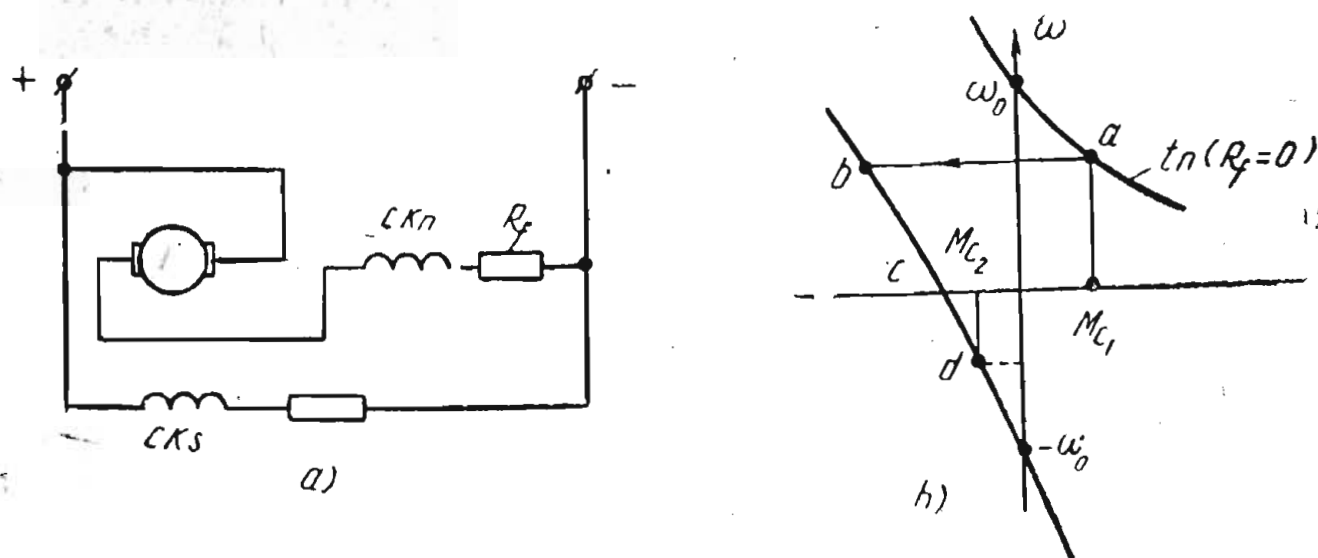
— Đổi chiều cực tính của điện áp đặt vào cuộn dây phần ứng có thêm điện trở phụ R_f . Sơ đồ nguyên lý và đặc tính cơ biểu diễn trên hình 2-39.

c) Hãm động năng. Đối với động cơ một chiều kích từ hỗn hợp thường sử dụng phương pháp hãm động năng kích từ độc lập.

Quá trình và đặc tính cơ khi hãm tương tự như ở hai động cơ đã xét.

Sơ đồ nguyên lý và đặc tính cơ biểu diễn trên hình 2-40. Trong quá trình hãm, cuộn kích từ nối tiếp được nối ngắn mạch nhờ tiếp điểm công tác tơ hãm H_2 , từ thông của máy do cuộn kích từ song song tạo ra. Vì $\Phi_s < \Phi_{dm}$

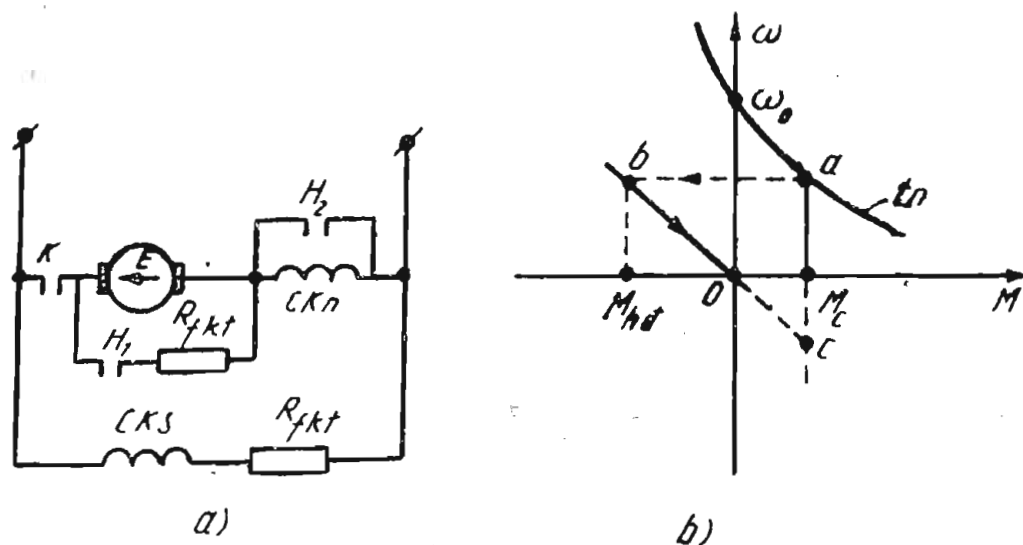
nên muốn có mômen hãm lớn ta phải chọn điện trở hãm R_h có trị số sao cho dòng điện hãm ban đầu đạt được giá trị cho phép cực đại.



Hình 2-39. Sơ đồ nguyên lý (a); đặc tính cơ (b) của động cơ một chiều kích từ hỗn hợp khi hãm ngược bằng cách đổi chiều điện áp đặt vào cuộn dây phản ứng.

Hãm động năng tự kích đối với động cơ này có hiệu quả rất thấp nên ít dùng.

Hãm động năng kích từ hỗn hợp có hiệu quả tốt hơn nhưng sơ đồ đấu dây khá phức tạp nên thực tế cũng ít sử dụng.



Hình 2-40. Sơ đồ nguyên lý (a); đặc tính cơ (b) khi hãm động năng kích từ độc lập của động cơ một chiều kích từ hỗn hợp.

2.9. CÁC ĐẶC TÍNH CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ HỌC

Động cơ điện không đồng bộ được sử dụng nhiều nhất trong thực tế. So với các động cơ một chiều, nó có các ưu điểm sau: cấu tạo đơn giản, đặc biệt là các động cơ rôto lồng sóc, kích thước, trọng lượng nhỏ hơn khi cùng một công suất định mức, làm việc tin cậy, vốn đầu tư cơ bản và chi phí vận

hành ít hơn. Sử dụng trực tiếp lưới điện xoay chiều ba pha, do đó trong nhiều trường hợp không cần các thiết bị biến đổi kèm theo v.v...

Nhược điểm cơ bản của nó là điều chỉnh tốc độ và khống chế các quá trình quá độ khó khăn hơn; các động cơ lồng sóc có các chỉ tiêu khởi động xấu (dòng điện khởi động lớn, mômen khởi động nhỏ).

Có hai loại động cơ không đồng bộ; rôto lồng sóc và rôto quấn dây. Về nguyên lý làm việc hai động cơ này giống nhau nên phương pháp phân tích nghiên cứu như nhau.

1. Các đặc tính. Phương pháp cơ bản để phân tích trạng thái làm việc xác lập của động cơ không đồng bộ là sử dụng sơ đồ thay thế.

Để đơn giản khi nghiên cứu ta đưa ra một số giả thiết sau:

— 3 pha của động cơ là đối xứng.

— Các thông số của mạch không thay đổi nghĩa là không phụ thuộc nhiệt độ, điện trở của mạch rôto không phụ thuộc vào tần số của dòng điện trong nó, mạch từ không bão hòa, do đó điện kháng của cuộn dây stato x_1 và của rôto x_2 không thay đổi.

— Tổng dẫn của mạch vòng từ hóa không thay đổi, dòng điện từ hóa I_μ không phụ thuộc vào phụ tải mà chỉ phụ thuộc vào điện áp đặt vào stato của động cơ.

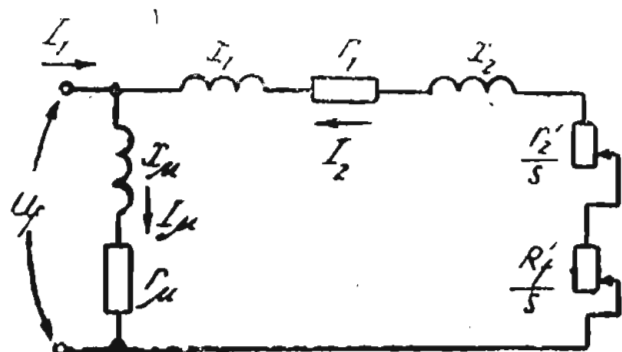
— Bỏ qua các tổn thất ma sát, tổn thất trong lõi thép.

— Điện áp lưới hoàn toàn hình sin và đối xứng.

Với những giả thiết trên ta có sơ đồ thay thế cho 1 pha của động cơ như hình 2-41. Trong đó: U_1 — trị số hiệu dụng của điện áp pha ở stato (V), $\dot{I}_\mu$, $\dot{I}_1$, $\dot{I}_2$ — các dòng điện từ hóa, stato, rôto đã quy đổi về stato (A).

x_μ , x_1 , x_2' — các điện kháng của mạch từ hóa, stato và rôto đã quy đổi về stato (Ω).

r_μ , r_1 , r_2' — các điện trở tác dụng của mạch từ hóa, của cuộn dây stato, rôto đã quy đổi về stato (Ω).



Hình 2-41. Sơ đồ thay thế 1 pha của động cơ không đồng bộ.

R_f' — điện trở phụ (nếu có) mắc thêm vào mỗi pha của rôto đã quy đổi về stato (Ω)

s — độ trượt của động cơ

$$= \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \quad (2-69)$$

trong đó ω_0 — tốc độ góc của từ trường quay, còn gọi là tốc độ đồng bộ (rad/s),

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p} \quad (2-70)$$

trong đó: f_1 — tần số của điện áp nguồn đặt vào stato (Hz); p — số đôi cực của động cơ; ω — tốc độ góc của rôto (rad/s).

Từ sơ đồ thay thế hình 2-41 ta có trị số hiệu dụng của dòng điện stato :

$$I_1 = U_f \left[\frac{1}{\sqrt{r_\mu^2 + x_\mu^2}} + \frac{1}{\sqrt{\left(r_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + x_{nm}^2}} \right] \quad (2-71)$$

trong đó :

$R_2' = r_2 + R_f'$; $x_{nm} = x_1 + x_2$ — điện kháng ngắn mạch.

Biểu thức (2-71) là phương trình đặc tính dòng stato và được biểu diễn trên hình 2-42.

Từ (2-71) :

Khi $\omega = 0$, $s = 1$ ta có :

$I_1 = I_{1nm}$ — dòng điện ngắn mạch của stato.

Khi $\omega = \omega_0$, $s = 0$ ta có :

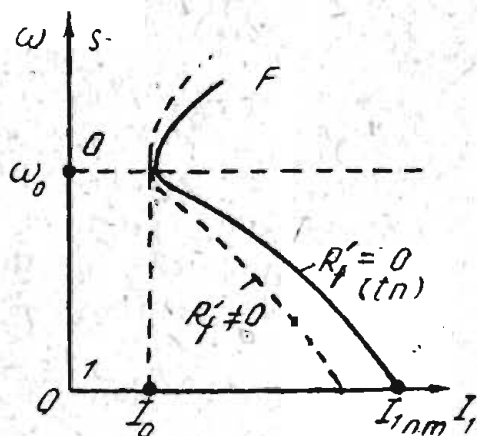
$$I_1 = U_f \left[\frac{1}{\sqrt{r_\mu^2 + x_\mu^2}} \right] = I_\mu$$

nghĩa là ở tốc độ đồng bộ, động cơ vẫn tiêu thụ dòng điện từ hóa để tạo ra từ trường quay.

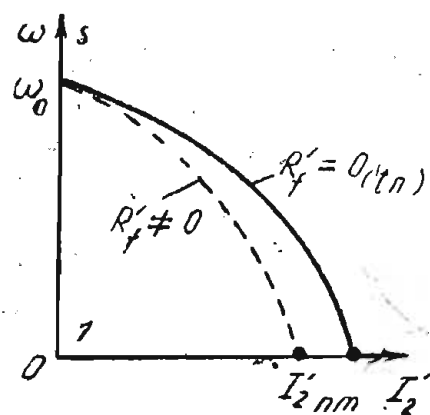
Trị số hiệu dụng của dòng điện rôto đã quy đổi về stato I_2' là :

$$I_2' = \frac{U_f}{\sqrt{\left(r_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + x_{nm}^2}} \quad (2-72)$$

Biểu thức (2-72) là đặc tính dòng rôto và được biểu diễn trên hình 2-43



Hình 2-42. Đặc tính dòng stato của động cơ không đồng bộ.



Hình 2-43. Đặc tính dòng rôto của động cơ không đồng bộ.

Từ (2-72) ta thấy :

Khi $\omega = \omega_0$, $s = 0$, $I_2' = 0$.

Khi $\omega = 0$, $s = 1$,

$$I_2' = \frac{U_f}{\sqrt{(r_1 + R_2')^2 + x_{nm}^2}} = I_{2nm} \quad (2-73)$$

trong đó I_{2nm} là dòng ngắn mạch của rôto hoặc dòng khởi động.

Để tìm phương trình đặc tính cơ ta xuất phát từ điều kiện cân bằng công suất trong động cơ: công suất điện từ chuyển từ stato sang rôto:

$$P_{12} = M_{dt} \omega_0$$

trong đó M_{dt} mômen điện từ của động cơ.

Nếu bỏ qua các tổn thất phụ thì $M_{dt} = M_{cơ}$, để tiện ta ký hiệu $M_{dt} = M_{cơ} = M$.

Công suất đó chia thành 2 thành phần:

Công suất trả ra trục động cơ là $P_{cơ}$ và công suất tổn hao đồng trong rôto ΔP_2 nghĩa là:

$$P_{12} = P_{cơ} + \Delta P_2$$

hay

$$M \omega_0 = M \omega + \Delta P_2$$

do đó:

$$\Delta P_2 = M(\omega_0 - \omega) = M \omega_0 s \quad (2-74)$$

Mặt khác:

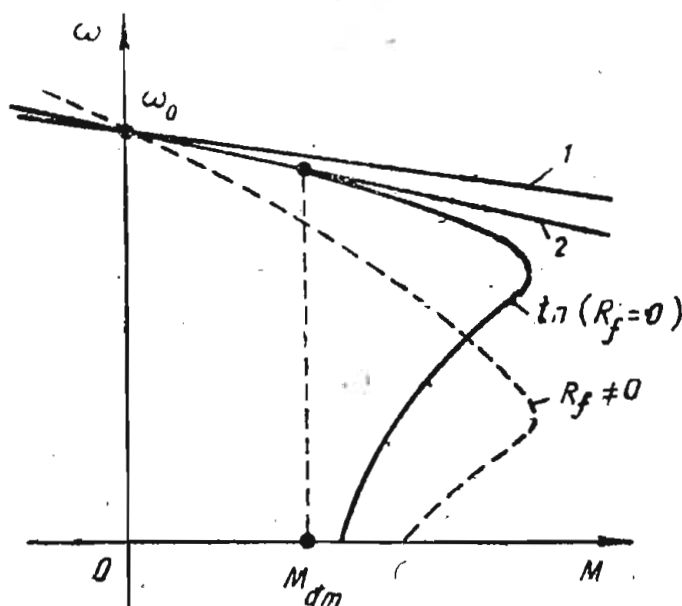
$$\Delta P_2 = 3 I_2'^2 R_2' \quad (2-75)$$

nên

$$M = \frac{3 I_2'^2 R_2'}{\omega_0 s} \quad (2-76)$$

thay (2-72) vào (2-76) ta được phương trình đặc tính cơ:

$$M = \frac{3 U_f^2 R_2'}{\omega_0 \left[\left(r_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + x_{nm}^2 \right]} \quad (2-77)$$



Hình 2-44. Đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ.

Quan hệ (2-77) là đường cong có cực trị, dạng của nó được biểu diễn trên hình 2-44.

Điểm cực trị thường gọi là điểm tới hạn có tải độ $[M_{th}, s_{th}]$, giá trị của chúng được xác định bằng cách lấy vi phân của (2-77) theo s rồi cho bằng không ta được:

$$s_{th} = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{r_1^2 + x_{nm}^2}} \quad (2-78)$$

Thay (2-78) vào (2-77) ta có:

$$M_{th} = \pm \frac{3 U_f^2}{2 \omega_0 (r_1 \pm \sqrt{r_1^2 + x_{nm}^2})} \quad (2-79)$$

Trong (2-78) và (2-79) dấu «+» ứng với trạng thái động cơ và dấu «-» ứng với trạng thái máy phát.

Từ (2-79) ta thấy mômen tới hạn ở trạng thái máy phát lớn hơn mômen tới hạn ở trạng thái động cơ.

Ta có thể viết phương trình đặc tính cơ dưới dạng khác thuận tiện hơn bằng cách lập tỉ số giữa (2-77) và (2-79) (ở 2-79 lấy dấu +) rồi biến đổi sẽ được:

$$M = \frac{2M_{th}(1 + as_{th})}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s} + 2as_{th}} \quad (2-80)$$

trong đó

$$a = \frac{r_1}{R_2}$$

Đối với những động cơ công suất lớn thường r_1 rất nhỏ so với x_{nm} nên có thể coi $r_1 \approx 0$ và $as_{th} = 0$ khi đó:

$$M = \frac{2M_{th}}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s}} \quad (2-81)$$

và

$$s_{th} = \pm \frac{R_2}{x_{nm}} \quad (2-82)$$

$$M_{th} = \pm \frac{3 U_f^2}{2\omega_0 x_{nm}} \quad (2-83)$$

Trong nhiều trường hợp cho phép ta sử dụng những phương trình gần đúng bằng cách tuyến tính hóa đặc tính cơ trong đoạn làm việc. Ở vùng độ trượt nhỏ $s < 0,4 s_{th}$ ta xem $\frac{s}{s_{th}} = 0$ và có:

$$M = \frac{2M_{th}}{s_{th}} s \quad (2-84)$$

đó chính là đường tiếp tuyến với đặc tính cơ tại điểm đồng bộ (đường 1 trên hình 2-44).

Có thể tuyến tính hóa đoạn làm việc qua điểm không tải lý tưởng và điểm định mức như đường 2 trên hình 2-44. Phương trình gần đúng là

$$M = \frac{M_{dm}}{S_{dm}} s \quad (2-85)$$

Từ dạng đặc tính hình 2-44 ta thấy độ cứng của đặc tính cơ biến đổi cả về trị số lẫn dấu. Dựa vào biểu thức

$$\beta = \frac{dM}{d\omega} = \frac{dM}{ds} \frac{ds}{d\omega} \quad (2-86)$$

ta xét cho từng đoạn:

Đối với đoạn làm việc sử dụng phương trình gần đúng (2-84) ta có:

$$\frac{dM}{ds} = \frac{2M_{th}}{s_{th}}$$

Mặt khác từ $s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}$ ta có $\frac{ds}{d\omega} = -\frac{1}{\omega_0}$. Vậy độ cứng xác định theo

(2-86) là:

$$\beta = -\frac{2M_{th}}{\omega_0 s_{th}} \quad (2-87a)$$

Tương tự như trên, từ (2-85) ta có:

$$\beta = - \frac{M_{dm}}{\omega_0 s_{dm}} \quad (2-87b)$$

và ở đơn vị tương đối:

$$\beta^* = - \frac{1}{s_{dm}} \quad (2-87c)$$

Như vậy trên đoạn làm việc β âm và một cách gần đúng có thể coi là không đổi.

Đối với đoạn đặc tính không làm việc bc (xem hình 2-44) vì s lớn hơn nhiều s_1 nên gần đúng có thể xem $\frac{s_{th}}{s} = 0$ và phương trình biểu diễn đoạn bc là:

$$M = \frac{2M_{th}s_{th}}{s} \quad (2-88)$$

và

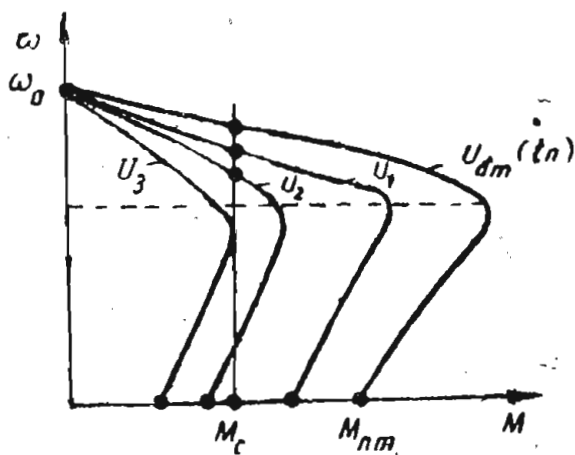
$$\beta = \frac{2M_{th}s_{th}}{\omega_0 s^2} \quad (2-89)$$

Như vậy ở đoạn này β dương và có trị số biến đổi

2. Các thông số ảnh hưởng đến đặc tính cơ.

Từ các phương trình trên ta thấy rằng mômen tới hạn của động cơ tỷ lệ với bình phương của điện áp đặt vào stato, tỷ lệ nghịch với tần số và phụ thuộc vào các thông số của động cơ. Độ trượt tới hạn cũng phụ thuộc vào các thông số cấu tạo của động cơ. Khi các thông số trên thay đổi, dạng đặc tính cơ sẽ biến đổi.

a) *Ảnh hưởng của điện áp lưới.* Khi điện áp giảm độ trượt tới hạn không đổi; $\omega_0 = \text{const}$ còn mômen tới hạn sẽ giảm bình phương với điện áp. Các đặc tính cơ có dạng biểu diễn trên hình 2-45.



Hình 2-45. Các đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ khi điện áp giảm với $U_{dm} > U_1 > U_2 > U_3$.

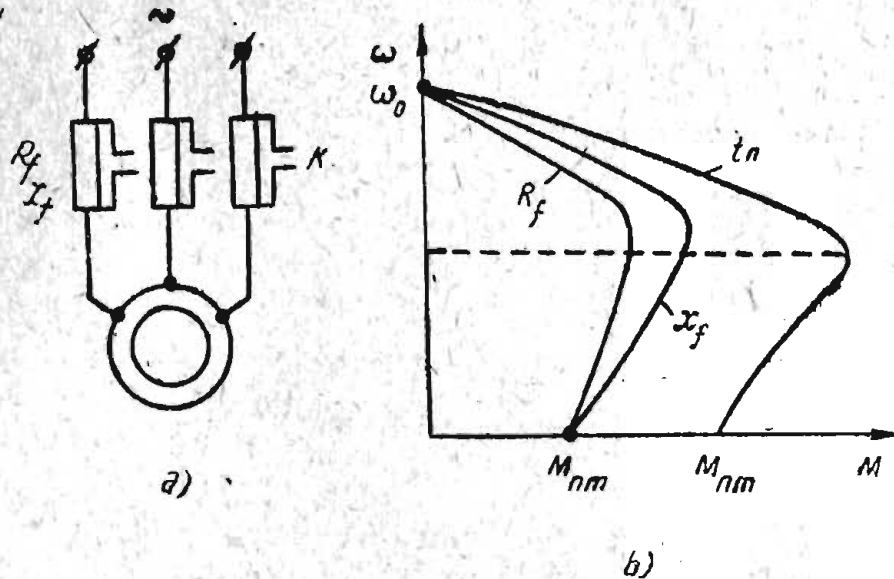
Từ đồ thị ta thấy với một mômen cản xác định (M_c) điện áp càng giảm thì tốc độ xác lập càng nhỏ. Mặt khác vì mômen khởi động và mômen tới hạn đều giảm theo điện áp nên khả năng quá tải và khởi động giảm dần. Do đó nếu điện áp quá nhỏ thì hệ truyền động có thể không khởi động được (đường U_2) hoặc không làm việc được (đường U_3).

Ta có thể thay đổi thông số này để hạn chế dòng điện khởi động của

động cơ không đồng bộ lồng sóc hoặc điều chỉnh tốc độ.

b) *Ảnh hưởng của điện trở phụ R_f , điện kháng phụ x_f ở mạch stato.* Đối với những động cơ không đồng bộ lồng sóc có công suất trung bình và lớn để hạn chế dòng điện khởi động người ta mắc thêm điện trở phụ hoặc điện kháng phụ vào mạch stato như sơ đồ nguyên lý hình 2-46a.

Từ các biểu thức trên ta thấy khi thay đổi R_f hoặc x_f ở mạch stato thì:
 $\omega_0 = \text{const}$; s_{th} giảm, M_{th} giảm nên đặc tính cơ có dạng như hình 2-46b.



Hình 2-46. Sơ đồ nguyên lý (a) và các đặc tính cơ (b) của động cơ không đồng bộ khi có x_f , R_f ở mạch stato.

Chú ý rằng nếu chọn R_f và x_f để có mômen khởi động (M'_{nm}) như nhau thì đặc tính cơ khi có R_f sẽ nằm gần trục tung hơn vì tổn thất trên nó nhiều hơn.

Tuy nhiên hệ số công suất của phương pháp này cao hơn, từ đồ thị ta thấy có thể thay đổi các thông số này để điều chỉnh tốc độ và khởi động các động cơ lồng sóc.

Các trị số của R_f hoặc x_f dùng để khởi động được xác định bằng cách dựa vào tam giác tổng trở ngắn mạch và yêu cầu về hạn chế dòng điện khởi động.

Giả sử cần hạn chế dòng điện khởi động từ trị số dòng điện ngắn mạch ứng với đặc tính tự nhiên I_{nm} đến I'_{nm} với

$$I'_{nm} = \alpha I_{nm} (\alpha < 1)$$

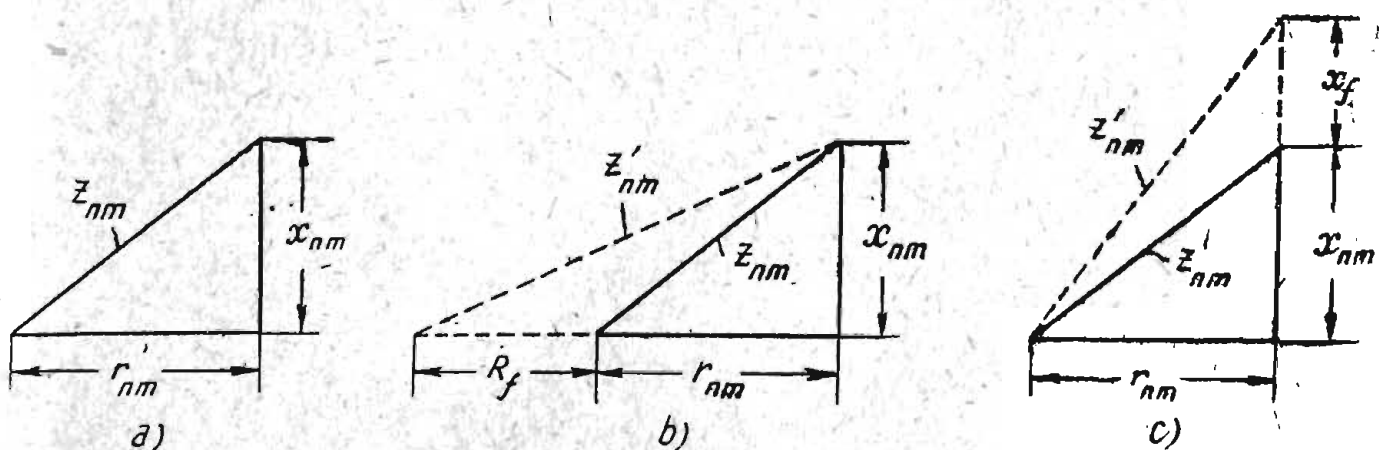
còn

$$M'_{nm} = \alpha^2 M_{nm}$$

Khi đó tổng trở ngắn mạch:

$$Z'_{nm} = \frac{Z_{nm}}{\alpha}$$

Các tam giác tổng trở ngắn mạch được vẽ trên hình 2-47.



Hình 2-47. Các tam giác tổng trở ngắn mạch tự nhiên (a), có thêm R_f ở stato (b) có thêm x_f ở stato (c) của động cơ không đồng bộ.

Từ các tam giác tổng trở ngắn mạch hình 2-47b và c ta có:

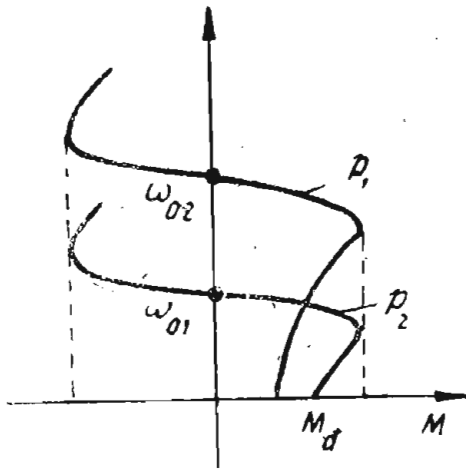
$$R_f = \sqrt{\left(\frac{Z_{nm}}{\alpha}\right)^2 - x_{nm}^2} - r_{nm} \quad (2-94)$$

$$x_f = \sqrt{\left(\frac{Z_{nm}}{\alpha}\right)^2 - r_{nm}^2} - x_{nm} \quad (2-95)$$

Trong đó

$$r_{nm} = r_1 + r_2'$$

$$Z_{nm} = \sqrt{(r_1 + r_2')^2 + x_{nm}^2}$$



Hình 2-48. Các đặc tính cơ khi thay đổi số đôi cực p của động cơ không đồng bộ.

Trên hình 2-46a tiếp điểm của công tắc tơ K dùng để ngắn mạch R_f hoặc x_f sau khi khởi động.

c) Ảnh hưởng của số đôi cực p. Đối với những động cơ không đồng bộ lồng sóc nhiều cấp tốc độ, để điều chỉnh tốc độ của nó người ta thay đổi số đôi cực ở stato bằng cách thay đổi cách đấu dây ở stato.

Xuất phát từ các biểu thức:

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p} \quad (2-96)$$

$$\omega = \omega_0(1 - s) \quad (2-97)$$

và các biểu thức s_{th} (2-82), M_{th} (2-83) ta thấy rằng khi số đôi cực p thay đổi thì tốc độ đồng bộ ω_0 thay đổi do đó tốc độ của rôto ω thay đổi. Độ trượt tới hạn s_{th} không phụ thuộc p nên không đổi nghĩa là độ cứng của đặc tính cơ không thay đổi.

Chú ý rằng để thay đổi số đôi cực ta phải thay đổi cách nối dây ở stato của động cơ, do đó, có thể thay đổi một số thông số của động cơ như U_f , x_1 , r_1 . Kết quả là mômen tới hạn có thể bị thay đổi.

Ví dụ, trong trường hợp thay đổi số đôi cực từ p_1 đến p_2 với $p_2 = \frac{1}{2} p_1$ và có $M_{th} = \text{const}$ thì các đặc tính cơ có dạng biểu diễn trên hình 2-48.

d) Ảnh hưởng của tần số lưới điện f_1 . Nếu cung cấp cho động cơ bởi nguồn điện có tần số thay đổi thì tốc độ của động cơ sẽ thay đổi và dạng của đặc tính cơ cũng thay đổi.

Từ (2-96) và (2-97) ta thấy khi f_1 thay đổi thì ω_0 và ω thay đổi. Độ trượt tới hạn theo (2-82) ta có:

$$s_{th} \approx \frac{r_2'}{x_{nm}} = \frac{r_2'}{2\pi f_1 L_{nm}}$$

Mômen tới hạn theo biểu thức (2-81) ta có:

$$M_{th} = \frac{3U_f^2 p}{4\pi f_1 \cdot 2\pi f_1 L_{nm}} = \frac{3p}{8\pi^2 L_{nm}} \left(\frac{U_f}{f}\right)^2 \quad (2-98)$$

Như vậy mômen tới hạn M_{th} sẽ thay đổi theo quy luật biến đổi của tỷ số $\frac{U_1}{f_1}$. Khi thay đổi f_1 , nếu giả thiết $\frac{U_1}{f_1} = \text{const}$ thì $M_{th} = \text{const}$ và ta được họ đặc tính có dạng biểu diễn trên hình 2-49.

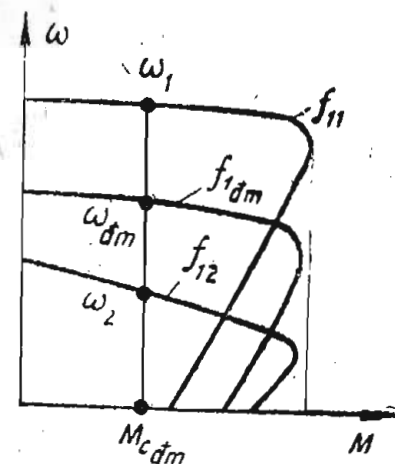
e) Ảnh hưởng của điện trở ở mạch rôto. Đối với những động cơ không đồng bộ rôto quấn dây, người ta thường mắc thêm điện trở phụ vào mạch rôto để hạn chế dòng điện khởi động hoặc điều chỉnh tốc độ của động cơ.

Trong trường hợp này $\omega_0 = \text{const}$; $M_{th} = \text{const}$ còn độ trượt tới hạn theo (2-82) ta có:

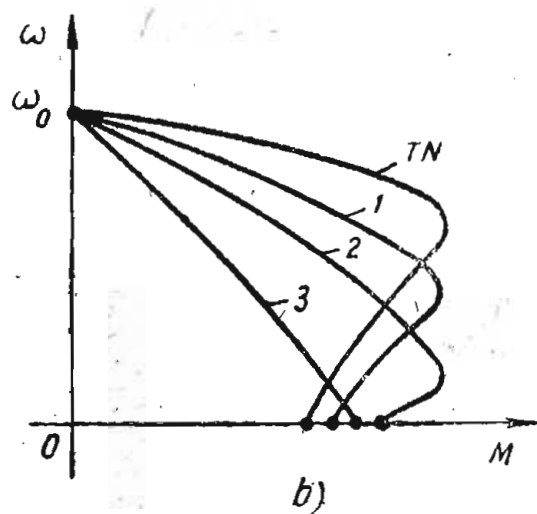
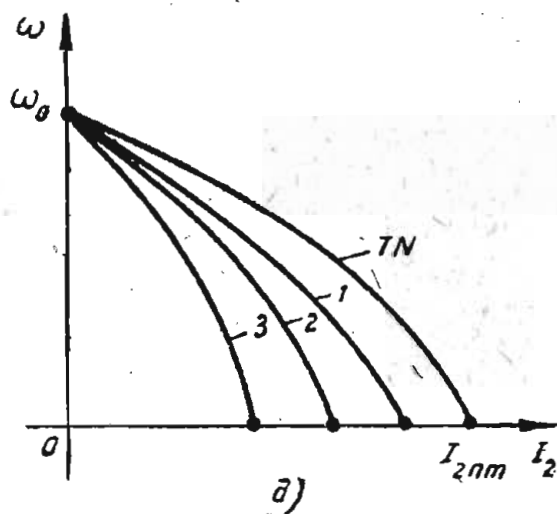
$$s_{th.ni} = \frac{r'_2 + R_f}{x_{nm}} \text{ sẽ biến đổi. } R_f \text{ càng lớn độ trượt}$$

tới hạn nhân tạo $s_{th.ni}$ càng lớn và theo (2-87a) ta thấy β càng giảm nghĩa là đặc tính cơ ở đoạn làm việc sẽ càng mềm.

Như vậy thay đổi điện trở phụ ở mạch rôto ta sẽ được một họ đặc tính biến trở có dạng biểu diễn trên hình 2-50.



Hình 2-49. Các đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ khi thay đổi tần số với $f_{12} < f_{1dm} < f_{11}$.



Hình 2-50. Các đặc tính dòng rôto (a), đặc tính cơ nhân tạo (b) của động cơ không đồng bộ rôto quấn dây với $R_{f1} < R_{f2} < R_{f3}$.

Hệ số công suất của mạch vòng làm việc khi có thêm điện trở phụ R_f ở mạch rôto được xác định theo biểu thức:

$$\cos \varphi_2 = \frac{r_1 + \frac{r'_2 + R_f}{s}}{\sqrt{\left(r_1 + \frac{r'_2 + R_f}{s}\right)^2 + x_{nm}^2}}$$

Từ đồ thị và từ (2-99) ta thấy rằng điện trở phụ R_f càng tăng, dòng điện ngắn mạch (dòng khởi động) càng giảm, hệ số công suất $\cos \varphi_2$ càng tăng. Trong

một phạm vi nào đó mômen khởi động tăng, còn sau đó sẽ giảm là do thành phần tác dụng của dòng điện rôto nhỏ đi. Vì vậy phải căn cứ vào điều kiện khởi động và đặc điểm của phụ tải mà chọn trị số điện trở phụ cho thích hợp.

3. Cách dựng đặc tính tự nhiên và biến trở.

a) Cách dựng đặc tính cơ tự nhiên ($R_r = 0$). Vì đặc tính cơ tự nhiên của các động cơ không đồng bộ là đường cong phức tạp nên muốn dựng nó ta phải xác định nhiều điểm có tọa độ $[M, s]$.

Có thể sử dụng một trong 2 cách dựng sau:

— Dựng chính xác thực hiện được khi đã biết đầy đủ các thông số của động cơ là:

$$P_{dm}, U_{dm}, I_{2dm}, n_{dm}, E_{2nm}, r_1, x_1, r_2, x_2 \text{ hoặc } r'_2, x'_2, \lambda_M = \frac{M_{th}}{M_{dm}}, \lambda_{M \cdot kd} = \frac{M_{mn}}{M_{dm}}.$$

Từ các thông số trên dựa vào (2-78) tính s_{th} và dựa vào (2-79) tính M_{th} và tính $a = \frac{r_1}{r'_2}$, sau đó thay chúng vào (2-80) và cho độ trượt biến thiên từ

$s=0$ đến $s=1$ ta sẽ xác định được các giá trị tương ứng của mômen và dựng được đặc tính tự nhiên có dạng biểu diễn trên hình 2-44. Cho s càng nhiều giá trị thì đặc tính cơ dựng được càng chính xác. Ở cách dựng này nếu không biết các thông số $r_1, x_1, r'_2, x'_2, E_{2nm}, I_{2dm}$ (thường ở các động cơ không đồng bộ lồng sóc người ta không cho các thông số này) thì để sử dụng biểu thức (2-80) ta cần xác định các trị số M_{th}, s_{th}, a như sau:

Dựa vào hệ số quá tải về mômen λ_M ta xác định được:

$$M_{th} = \lambda_M \cdot M_{dm}$$

Với $M_{dm} = 1000 \frac{P_{dm}}{\omega_{dm}}$ (N.m) — mômen định mức của động cơ.

Muốn xác định a và s_{th} ta phải giải đồng thời các biểu thức (2-80) viết cho hai điểm:

Điểm định mức $[M_{dm}; s_{dm}]$:

$$M_{dm} = \frac{2M_{th}(1 + as_{th})}{\frac{s_{dm}}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s_{dm}} + 2as_{th}} \quad (2-100)$$

và điểm khởi động ban đầu $[M_{nm}, s = 1]$:

$$\lambda_{Mkd} \cdot M_{dm} = \frac{2M_{th}(1 + as_{th})}{1/s_{th} + s_{th}/1 + 2as_{th}} \quad (2-101)$$

— Phương pháp gần đúng, sử dụng khi không biết các thông số $r_1, x_1, r'_2, x'_2, I_{2dm}, E_{2um}, \lambda_{Mkd}$.

Trong trường hợp này đối với những động cơ có công suất nhỏ hoặc trung bình và có độ trượt bình thường ($s_{th} = 0,15 - 0,25$) thì điện trở tác dụng của cuộn dây stato r_1 gần bằng điện trở tác dụng của cuộn dây rôto đã quy đổi về stato, nghĩa là

$$r_1 \approx r'_2, a = \frac{r_1}{r'_2} \approx 1.$$

Phương trình đặc tính cơ (2-80) trở thành

$$M = \frac{2M_{th}(1+s_{th})}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s_{th}} + 2s_{th}} \quad (2-102)$$

trong đó $M_{th} = \lambda_M, M_{dm}$, còn độ trượt tới hạn s_{th} được xác định từ (2-102) viết cho điểm định mức:

$$M_{dm} = \frac{2\lambda_M M_{dm}(1+s_{th})}{\frac{s_{dm}}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s_{dm}} + 2s_{th}}$$

và được:

$$s_{th} = s_{dm} \left[\frac{\lambda_M + \sqrt{\lambda_M^2 - 1 + 2s_{dm}(\lambda'_M - 1)}}{1 - 2s_{dm}(\lambda_M - 1)} \right] \quad (2-103a)$$

Đối với những động cơ công suất lớn thường r_1 rất nhỏ so với x_{nm} nên có thể xem $as_{th} = 0$ và

$$s_{th} = s_{dm} \left(\lambda_M + \sqrt{\lambda_M^2 - 1} \right) \quad (2-103b)$$

Phương trình đặc tính cơ có dạng đơn giản:

$$M = \frac{2M_{th}}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s}} \quad (2-104)$$

Khi không cần độ chính xác cao ta có thể coi đặc tính cơ là đường thẳng và dựng nó theo (2-85).

b) Cách dựng đặc tính cơ biến trở (chỉ có đối với động cơ không đồng bộ rôto quấn dây). Tương tự như ở đặc tính cơ tự nhiên, đặc tính cơ biến trở được dựng theo một trong hai cách sau:

– Cách dựng chính xác. Khi biết đầy đủ các thông số của động cơ ta sử dụng các phương trình chính xác (2-78), (2-79) và (2-80) cụ thể tính

$$s_{thnt} = \frac{r'_2 + R_f}{\sqrt{r_1^2 + x_{nm}^2}}$$

$$a_{nt} = \frac{r_1}{r'_2 + R_f}$$

rõ ràng

$$a_{tn} \cdot s_{thtn} = a_{nt} \cdot s_{thnt} = \frac{r_1}{r_2' + R_f'}$$

Phương trình đặc tính cơ biến trở:

$$M = \frac{2M_{th} (1 + a_{nt} \cdot s_{thnt})}{\frac{s}{s_{thnt}} + \frac{s_{thnt}}{s} + 2a_{nt}s_{thnt}} \quad (2-105)$$

Trong biểu thức trên:

a_{tn}, s_{thtn} — hệ số và độ trượt tới hạn của đặc tính cơ tự nhiên;

a_{nt}, s_{thnt} — hệ số và độ trượt tới hạn của đặc tính nhân tạo (biến trở).

— Cách dựng gần đúng. Khi bỏ qua điện trở tác dụng của cuộn dây stato ($r_1 = 0$), ta có:

$$s_{thnt} = \frac{r_2' + R_f'}{x_{nm}} \quad (2-106)$$

Thay (2-106) vào (2-105) và ở trên đoạn làm việc xem $s/s_{th} = 0$ ta có:

$$M = 2M_{th} \frac{x_{nm}}{r_2' + R_f'} s \quad (2-107)$$

Cũng có thể dựng đặc tính biến trở bằng cách dựa vào các đặc tính cơ tự nhiên đã dựng được ở phần trên như sau:

Ở cùng một giá trị mômen từ các phương trình đặc tính cơ tự nhiên và biến trở ta có:

$$\frac{2M_{th} (1 + a_{tn} s_{thtn})}{\frac{s_{thtn}}{s_{tn}} + \frac{s_{tn}}{s_{thtn}}} = \frac{2M_{th} (1 + a_{nt} s_{thnt})}{\frac{s_{thnt}}{s_{nt}} + \frac{s_{nt}}{s_{thnt}}}$$

nghĩa là:

$$\frac{s_{tn}}{s_{thtn}} + \frac{s_{thtn}}{s_{tn}} = \frac{s_{nt}}{s_{thnt}} + \frac{s_{thnt}}{s_{nt}}$$

Đối với đoạn làm việc từ quan hệ trên ta suy ra:

$$\frac{s_{nt}}{s_{thnt}} = \frac{s_{tn}}{s_{thtn}}$$

hay

$$\frac{s_{nt}}{s_{tn}} = \frac{s_{thnt}}{s_{thtn}} = \frac{r_2 + R_f}{r_2} \quad (2-108)$$

và được:

$$s_{nt} = s_{tn} \frac{r_2 + R_f}{r_2} \quad (2-109)$$

Dựa vào (2-109) ta có cách dựng đặc tính biến trở như sau: ứng với mỗi giá trị của mômen M trên đặc tính cơ tự nhiên ta xác định được s_{tn} , thay vào

(2-109) xác định được s_{nt} từ đó dựng được từng điểm của đặc tính biến trở. Cách dựng chỉ ra trên hình 2-51.

Chú ý rằng, trong các biểu thức tính toán đã nêu, nếu đã cho E_{2nm} , I_{2dm} mà không cho r_2 thì ta tính nó theo biểu thức:

$$r_2 = \frac{E_{2nm} s_{dm}}{\sqrt{3} I_{2dm}} (\Omega); \quad (2-110)$$

và

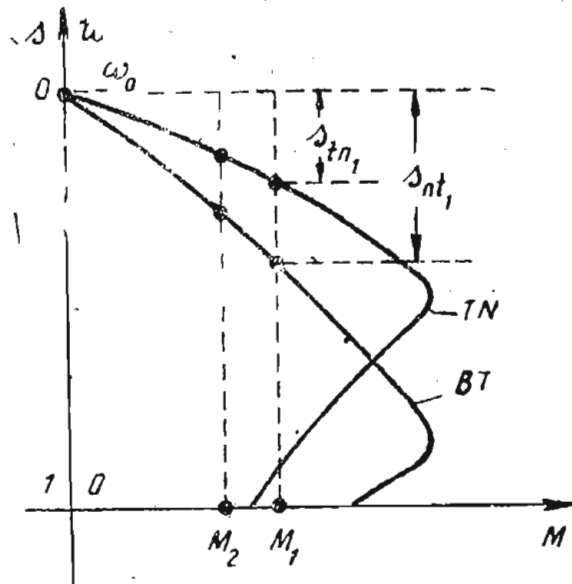
$$r'_2 = k_r \cdot r_2; \quad x'_2 = k_x x_2 = k_1 x_2$$

$$k_r = k_e^2$$

với; $k_e = \frac{E_{1dm}}{E_{2nm}} \approx 0,95 \frac{U_{1dm}}{E_{2nm}}; \quad (2-111)$

Trong các biểu thức trên:

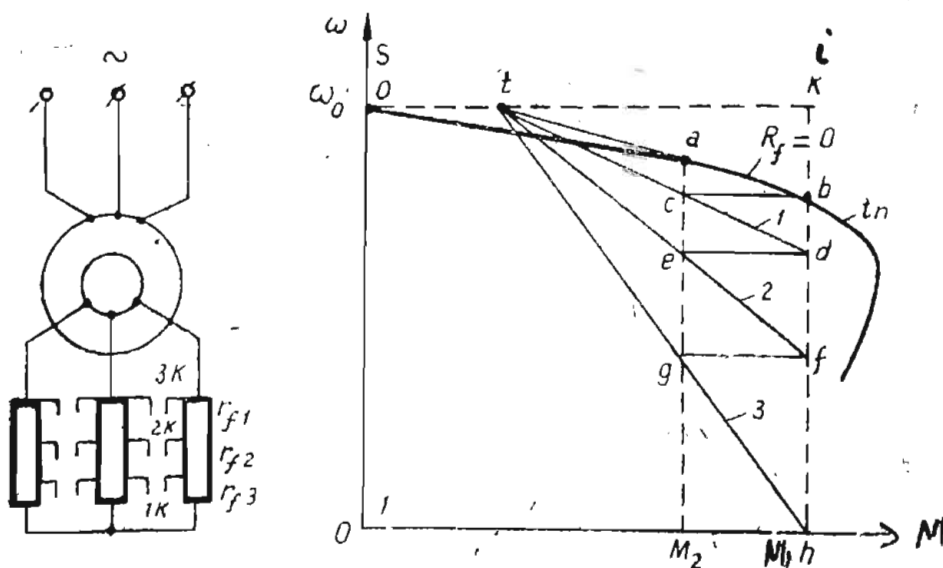
E_{2nm} — sức điện động giữa hai vành góp rôto khi rôto đứng im (V); I_{2dm} — dòng điện định mức ở rôto (A); U_{1dm} — điện áp dây định mức của lưới điện (V); k_r — hệ số tính đổi điện trở, điện kháng rôto sang stato; k_e — hệ số biến đổi sức điện động; E_{1dm} — sức điện động định mức ở stato.



Hình 2-51. Cách dựng đặc tính biến trở của động cơ không đồng bộ rôto quấn dây

2-10. KHỞI ĐỘNG VÀ CÁCH XÁC ĐỊNH ĐIỆN TRỞ KHỞI ĐỘNG CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

Tương tự như ở các động cơ một chiều, đối với những động cơ không đồng bộ rôto quấn dây, để hạn chế dòng điện khởi động, tăng mômen khởi động người ta mắc thêm điện trở phụ vào mạch rôto rồi loại dần nó đi. Sơ đồ nguyên lý và họ đặc tính khởi động (đặc tính biến trở) trình bày trên hình 2-52.



Hình 2-52. Sơ đồ nguyên lý (a) các đặc tính cơ (b) khi khởi động động cơ không đồng bộ rôto quấn dây

Điện trở phụ mắc thêm vào có thể đối xứng hoặc không đối xứng ở 3 pha của rôto. Ở phần này ta chỉ xét trường hợp điện trở đó là đối xứng.

Để xác định trị số các cặp điện trở khởi động ta có thể sử dụng đồ thị hình tia với các đặc tính đã được tuyến tính hóa trong đoạn khởi động.

Trình tự tiến hành như sau (xem hình 2-52b).

— Dựa vào các thông số của động cơ vẽ đặc tính cơ tự nhiên (đường TN trên hình 2-52b).

— Chọn giới hạn trên của mômen khởi động là $M_1 \leq 0,85M_{th}$ và giới hạn dưới $M_2 \geq (1,1 \div 1,3) M_c$ hoặc $M_2 \geq (1,1 \div 1,3) M_{dm}$.

— Đặt M_2, M_1 lên trục hoành và kẻ hai đường dóng song song với trục tung cắt đặc tính tự nhiên ở điểm a và b. Kẻ đường thẳng qua ab, đường này cắt đường song song với trục hoành qua ω_0 tại điểm t, t chính là điểm đồng quy của các tia khởi động. Lấy t làm điểm xuất phát ta vẽ các đặc tính biến trở. Trình tự và điều kiện vẽ giống như đã nêu ở động cơ một chiều kích từ độc lập.

— Xác định trị số các cặp điện trở khởi động.

Sử dụng (2-108):

$$\frac{S_{nt}}{S_{tn}} = \frac{r_2 + r_f}{r_2}$$

biến đổi ta có:

$$\frac{r_f}{r_2} = \frac{S_{nt} - S_{tn}}{S_{tn}}$$

vậy

$$r_f = \frac{S_{nt} - S_{tn}}{S_{tn}} r_2 \quad (2-112)$$

Từ đồ thị hình 2-52b ta có

$$\left. \begin{aligned} r_{f1} &= \frac{id - ib}{ib} r_2 = \frac{bd}{ib} r_2 \\ r_{f1} &= \frac{if - id}{ib} r_2 = \frac{df}{ib} r_2 \\ r_{f3} &= \frac{ih - if}{ib} r_2 = \frac{fh}{ib} r_2 \end{aligned} \right\} \quad (2-113)$$

Cũng có thể xác định trị số các cặp điện trở bằng phương pháp giải tích tương tự như ở động cơ một chiều kích từ độc lập. Khi đó ta sử dụng các biểu thức (2-24b), (2-26) và (2-27b) trong đó thay $R_v^* = s_{dm}$ và $R_u = r_2$.

2-11. CÁC TRẠNG THÁI HÂM CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

Tương tự như ở động cơ một chiều kích từ độc lập, động cơ không đồng bộ cũng có 3 trạng thái hãm: hãm tái sinh, hãm ngược và hãm động năng.

1. Hãm tái sinh (hãm trả năng lượng về lưới).

Hãm tái sinh là một trạng thái máy phát mà động cơ biến cơ năng thành điện năng trả công suất tác dụng về lưới.

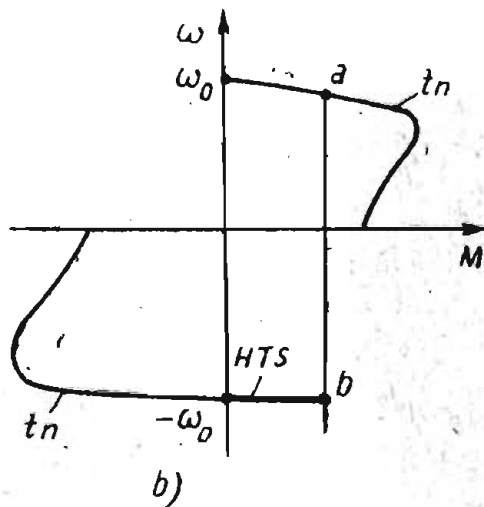
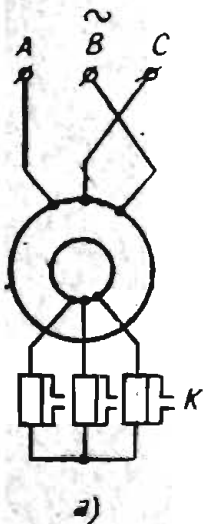
Hãm tái sinh xảy ra khi tốc độ ω của rôto lớn hơn tốc độ đồng bộ ω_0 .

Ở trạng thái động cơ từ trường quay cắt qua các thanh dẫn của cuộn dây stato và rôto theo chiều như nhau nên sức điện động ở stato E_1 và ở rôto E_2 trùng pha nhau. Ở hãm tái sinh E_1 vẫn giữ chiều cũ còn sức điện động E_2 có chiều ngược lại vì khi đó $\omega > \omega_0$ các thanh dẫn rôto cắt từ trường quay theo chiều ngược lại.

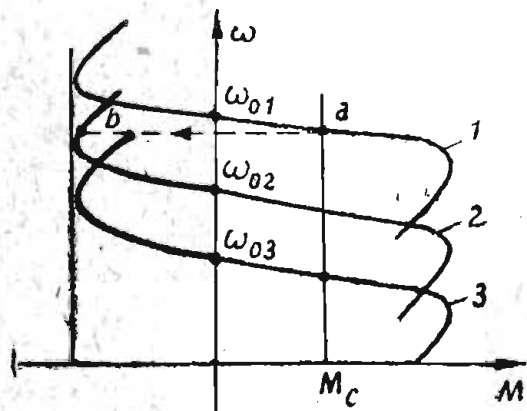
Xuất phát từ biểu thức dòng điện rôto:

$$i_2' = \frac{\dot{E}_2 s}{R_2' + jx_2' s} = \frac{\dot{E}_2' R_2' s}{R_2'^2 + (x_2' s)^2} - j \frac{\dot{E}_2' x_2' s^2}{R_2'^2 + (x_2' s)^2} \quad (2-114)$$

ta thấy rằng khi chuyển sang trạng thái máy phát $s < 0$ chỉ có thành phần tác dụng của dòng điện rôto đổi chiều, do đó mômen đổi chiều, còn thành phần phản kháng vẫn giữ chiều cũ. Ở trạng thái này động cơ làm việc như một máy phát điện song song với lưới, trả công suất tác dụng về lưới còn vẫn tiêu thụ công suất phản kháng để duy trì từ trường quay.



Hình 2-53. Sơ đồ nguyên lý (a) và đặc tính cơ (b) khi hãm tái sinh của động cơ không đồng bộ với tải thế năng



Hình 2-54. Đặc tính cơ hãm tái sinh khi giảm tốc độ cơ không đồng bộ bằng cách thay đổi p hoặc f_1 .

Trạng thái hãm tái sinh của động cơ không đồng bộ thường xảy ra trong các trường hợp sau:

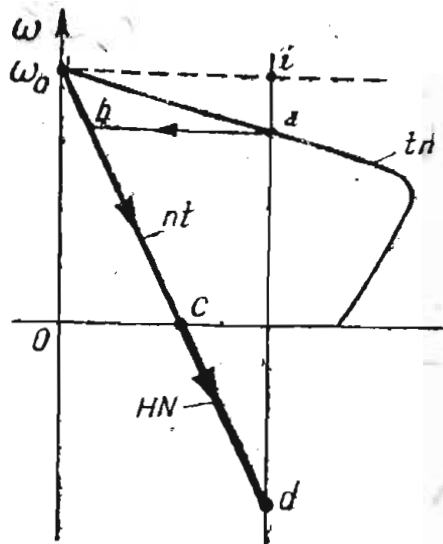
— Ở các hệ thống có tải thế năng hãm tái sinh xảy ra khi hạ tải trọng ở những tốc độ lớn hơn tốc độ đồng bộ ω_0 .

Sơ đồ nguyên lý và đặc tính cơ trong trường hợp này biểu diễn trên hình 2-53. Khi hạ tải trọng động cơ được đổi chiều từ trường quay so với lúc nâng tải bằng cách đổi chéo hai trong 3 pha của stato (hình 2-53a).

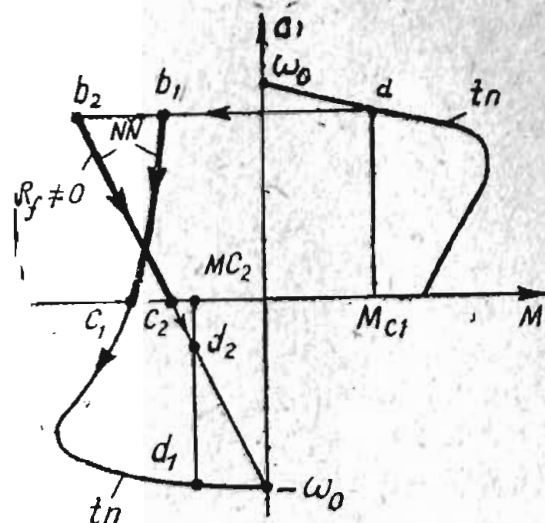
Tương tự như đã phân tích ở động cơ điện một chiều kích từ độc lập, trạng thái hãm tái sinh của động cơ này thường được thực hiện trên đặc tính tự nhiên nghĩa là không dùng điện trở phụ ở mạch rôto. Khi đó đoạn đặc tính hãm tái sinh là $-\omega_0 b$ (hình 2-53b).

— Ở những động cơ có điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi số đôi cực hoặc thay đổi tần số, hãm tái sinh thường xảy ra khi giảm tốc độ.

Ví dụ khi giảm tốc độ đồng bộ từ ω_{01} đến ω_{02} bằng cách tăng p hoặc giảm f_1 ta sẽ được đoạn đặc tính hãm tái sinh là $b\omega_{02}$ trên hình 2-54.



Hình 2-55. Các đặc tính cơ khi hãm ngược động cơ không đồng bộ rôto quấn dây với tải thế năng.



Hình 2-56. Các đặc tính cơ khi hãm ngược bằng cách đảo chiều từ trường quay của động cơ không đồng bộ.

2. Hãm ngược.

Hãm ngược là một trạng thái máy phát mà rôto của động cơ không đồng bộ quay ngược với từ trường quay tương ứng với thứ tự pha của điện áp lưới đặt vào stato.

Trạng thái này có thể xảy ra trong hai trường hợp.

a) Đưa thêm điện trở phụ vào mạch rôto của các động cơ không đồng bộ rôto quấn dây khi mômen cần thế năng. Các đặc tính cơ biểu diễn trên hình 2-55.

Diễn biến của quá trình tương tự như đã phân tích ở động cơ 1 chiều kích từ độc lập. Đoạn hãm ngược là cd .

b) Đảo chiều từ trường quay khi động cơ đang làm việc bằng cách đổi chéo hai trong 3 pha của stato.

Các đặc tính cơ trong trường hợp này biểu diễn trên hình 2-56. Nếu không có điện trở phụ trong mạch rôto (đặc tính tự nhiên) thì đoạn hãm ngược là b_1c_1 , còn nếu có R_f ở mạch rôto thì đoạn hãm ngược là b_2c_2 .

Chú ý rằng, trong cả hai trường hợp hãm ngược đã nêu vì $s = \frac{\omega_0 + \omega}{\omega_0} > 1$, nên dòng điện rôto có giá trị lớn. Mặt khác vì tần số của dòng rôto $f_2 = sf_1$ lớn, nên điện kháng rôto x_2' lớn, do đó mômen nhỏ. Vì vậy để tăng mômen hãm, đồng thời hạn chế dòng điện rôto của các động cơ không đồng bộ rôto quấn dây cần đưa thêm điện trở phụ R_f có giá trị đủ lớn vào mạch rôto.

Trị số của R_f ấy có thể xác định dựa vào đồ thị đặc tính cơ như khi khởi động.

3. Hãm động năng.

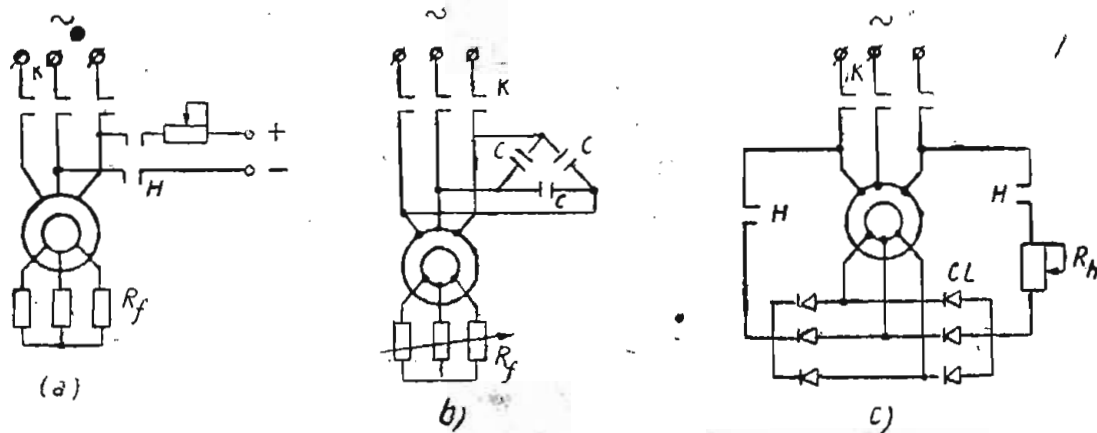
Rãm động năng là trạng thái mà động cơ không đồng bộ làm việc như một máy phát điện đồng bộ cực ần có tần số biến đổi và được kích từ ở stato. Động năng đã tích lũy được ở quá trình làm việc trước đó, biến thành điện năng và tiêu hao trên điện trở của mạch rôto dưới dạng nhiệt.

Trạng thái này xảy ra khi động cơ đang quay ta cắt stato của nó khỏi lưới điện xoay chiều rồi đóng vào nguồn điện một chiều.

Căn cứ vào loại nguồn một chiều đưa vào stato, người ta chia hãm động năng của động cơ này thành hãm động năng kích từ độc lập và tự kích.

Hãm động năng kích từ độc lập được thực hiện theo sơ đồ nguyên lý hình 2-57a với nguồn một chiều được lấy từ bên ngoài không liên quan đến năng lượng do động cơ tạo ra.

Đối với hãm động năng tự kích, nguồn một chiều được tạo ra từ năng lượng mà động cơ đã tích lũy được. Hình 2-57b, c trình bày hai phương án thực hiện trạng thái hãm này.

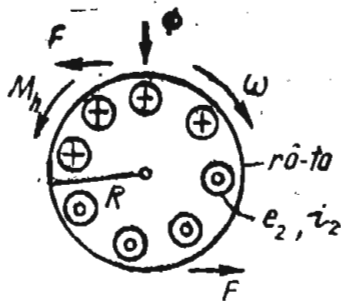


Hình 2-57. Sơ đồ nguyên lý hãm động năng kích từ độc lập (a) tự kích dùng tụ điện (b) và tự kích từ mạch rôto (c) của động cơ không đồng bộ.

Khi cắt stato khỏi lưới điện xoay chiều rồi đóng vào nguồn điện một chiều, dòng một chiều chảy trong stato sinh ra một từ trường đứng yên so với stato, giả sử từ thông Φ của nó có chiều như mũi tên chỉ trên hình 2-58. Do quán tính rôto của động cơ vẫn quay theo chiều cũ, giả sử chiều của ω như trên hình vẽ, các thanh dẫn ở rôto sẽ cắt từ trường đứng yên nên xuất hiện trong nó một sức điện động cảm ứng e_2 có chiều xác định bằng quy tắc bàn tay phải và được ký hiệu bằng những dấu «+» (sức điện động có chiều đi vào), dấu «-» (sức điện động có chiều đi ra). Vì rôto vẫn kín mạch nên e_2 sinh ra dòng điện i_2 cùng chiều với nó. Tác dụng tương hỗ giữa dòng điện i_2 với từ trường đứng yên tạo nên lực F có chiều xác định bằng quy tắc bàn tay trái như trên hình vẽ. Lực F sinh ra mômen hãm M_h có chiều ngược với chiều quay của rôto làm cho rôto quay chậm dần, e_2 giảm dần.

Ở hãm động năng kích từ độc lập thì từ thông Φ có trị số không đổi còn ở hãm động năng tự kích thì Φ biến đổi.

Để tiện cho việc nghiên cứu và xây dựng đặc tính cơ khi hãm động năng kích từ độc lập, ta thay trạng thái máy phát đồng bộ cực ần, có tần số biến đổi của động cơ ở trạng thái này bằng trạng thái động cơ không đồng bộ, khi stato được đấu vào lưới điện xoay chiều 3 pha. Nghĩa là thay dòng điện một chiều ở stato bằng dòng điện xoay chiều đẳng trị I_1 , với điều kiện sức từ động do 2 dòng điện ấy tạo ra là như nhau. Sức từ động xoay chiều do dòng đẳng trị I_1 sinh ra được xác định theo biểu thức:



Hình 2-58. Giải thích diễn biến của quá trình hãm động năng động cơ không đồng bộ

$$F_1 = \frac{3}{2} \sqrt{2} I_1 W_1 \quad (2-115)$$

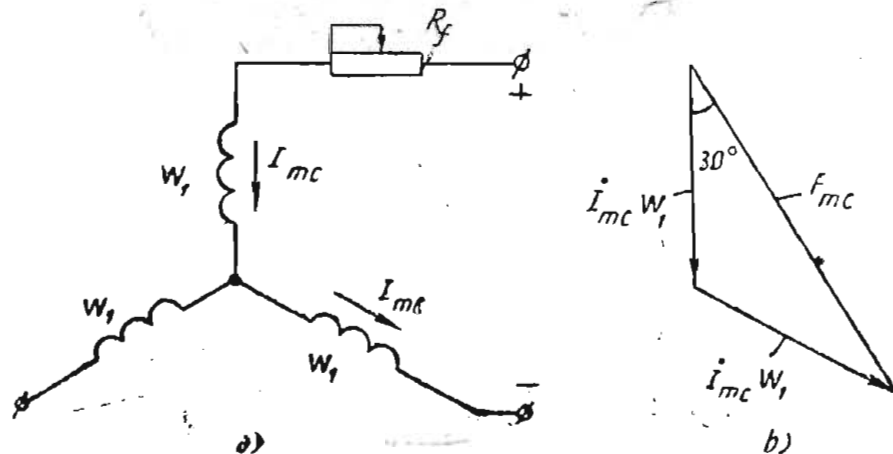
Sức từ động một chiều do dòng điện một chiều thực tế tạo ra phụ thuộc vào cách nối dây của mạch stato và được biểu diễn tổng quát bằng biểu thức:

$$F_{mc} = a \cdot W_1 I_{mc} \quad (2-116)$$

Cân bằng (2-115) và (2-116) ta có:

$$I_1 = \frac{a W_1}{\frac{3}{2} \sqrt{2} W_1} I_{mc} = A I_{mc} \quad (2-117)$$

trong đó a, A — các hệ số phụ thuộc sơ đồ nối mạch stato khi hãm. Để xác định chúng ta dựa vào đồ thị vectơ sức từ động một chiều của stato.



Hình 2-59. Sơ đồ nối dây và đồ thị vectơ sức từ động một chiều của stato động cơ không đồng bộ khi hãm động năng kích từ độc lập

Ví dụ với sơ đồ nối dây và đồ thị vectơ hình 2-59 ta có:

$$F_{mc} = 2 I_{mc} W_1 \cos 30^\circ = \sqrt{3} W_1 I_{mc}$$

và

$$a = \sqrt{3}; A = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$$

Bằng cách tương tự như vậy ta sẽ xác định được các giá trị của A ứng với các sơ đồ đầu dây khác của mạch stato như ghi ở bảng 2-2.

Bảng 2-2

Sơ đồ đầu mạch stato khi hãm động năng của động cơ không đồng bộ và hệ số A

Sơ đồ đầu dây mạch stato và đồ thị véc-tơ sức từ động				
Hệ số A	$\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{3}$	$\frac{1}{\sqrt{2} \sqrt{3}}$

Để xây dựng đặc tính cơ của động cơ trong chế độ này ta dựa vào sơ đồ thay thế 1 pha như hình 2-60.

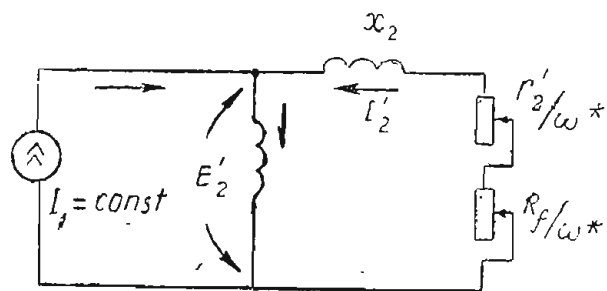
Sơ đồ thay thế này khác với sơ đồ thay thế đã nêu để xây dựng đặc tính cơ của động cơ khi đầu với lưới điện xoay chiều (hình 2-11) về mấy điểm sau:

Ở chế độ động cơ không đồng bộ thì điện áp đặt vào stato không thay đổi nghĩa là nguồn stato là nguồn áp; dòng từ hóa I_p và từ thông Φ ở trường hợp này không đổi, còn dòng điện stato I_1 , dòng điện rôto I_2 biến đổi theo độ trượt s.

Ở trạng thái hãm động năng kích từ độc lập vì dòng điện một chiều I_{mc} không đổi nên dòng xoay chiều đẳng trị I_1 cũng không đổi, nghĩa là nguồn stato có thể coi là nguồn dòng. Mặt khác vì tổng trở mạch rôto khi hãm phụ thuộc vào tốc độ nên dòng điện rôto I_2 và dòng từ hóa I_p đều thay đổi, do đó từ thông ở stato thay đổi theo tốc độ rôto.

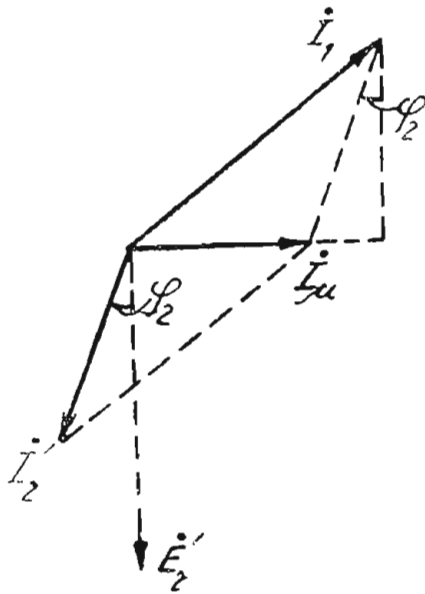
Nếu quan niệm độ trượt là tốc độ cắt tương đối của thanh dẫn rôto với từ trường stato thì ở trạng thái hãm động năng nó được biểu thị bằng tốc độ góc tương đối:

$$\omega^* = \frac{\omega}{\omega_0}$$



Hình 2-60. Sơ đồ thay thế 1 pha của động cơ không đồng bộ khi hãm động năng kích từ độc lập.

Từ sơ đồ thay thế (hình 2-60) ta có đồ thị vector dòng điện như hình 2-61.



Hình 2-61. Đồ thị vector dòng điện khi hàm động năng động cơ không đồng bộ.

Từ sơ đồ thay thế ta có:

$$I_2 = \frac{E_2'}{\sqrt{\left(\frac{R_2'}{\omega^*}\right)^2 + x_2'^2}} = \frac{E_2' \omega^*}{\sqrt{R_2'^2 + (x_2' \omega^*)^2}}$$

hay

$$I_2 = \frac{I_\mu \cdot x_\mu \cdot \omega^*}{\sqrt{R_2'^2 + (x_2' \omega^*)^2}} \quad (2-118)$$

trong đó $R_2' = r_2' + R_1'$.

Từ đồ thị vector dòng điện ta có:

$$I_1^2 = (I_\mu + I_2 \sin \varphi_2)^2 + (I_2 \cos \varphi_2)^2$$

hay

$$I_1^2 = I_\mu^2 + I_2^2 + 2I_\mu I_2 \sin \varphi_2 \quad (2-119)$$

trong đó:

$$\sin \varphi_2 = \frac{x_2' \omega^*}{\sqrt{R_2'^2 + (x_2' \omega^*)^2}} \quad (2-120)$$

Thay I_2 (2-118) và $\sin \varphi_2$ (2-120) vào (2-119) ta có:

$$I_1^2 = I_\mu^2 + \frac{I_\mu^2 x_\mu^2 \omega^{*2}}{R_2'^2 + (x_2' \omega^*)^2} + \frac{2I_\mu^2 x_\mu x_2' \omega^{*2}}{R_2'^2 + (x_2' \omega^*)^2} \quad (2-121)$$

Từ (2-121) ta rút ra:

$$\omega^* = R_2' \sqrt{\frac{\left(\frac{I_1}{I_\mu}\right)^2 - 1}{(x_2' + x_\mu)^2 - \left(\frac{I_1}{I_\mu}\right)^2 x_2'^2}} \quad (2-122)$$

Cũng từ (2-121) rút ra I_μ rồi thay vào (2-118) và biến đổi ta sẽ được:

$$I_2' = \frac{I_1 x_\mu \cdot \omega^*}{\sqrt{\left(R_2'\right)^2 + \left(x_2' + x_\mu\right)^2 \omega^{*2}}} \quad (2-123)$$

Lý luận tương tự như ở trạng thái động cơ không đồng bộ bình thường, mômen của động cơ trong trường hợp này được xác định theo biểu thức :

$$M = \frac{3I_2'^2 \cdot R_2' / \omega^*}{\omega_0} \quad (2-124)$$

Thay (2-123) vào (2-124) ta có :

$$M = \frac{3I_1^2 \cdot x_\mu^2 \cdot r_2' \cdot \omega^*}{\omega_0 [R_2'^2 + (x_\mu + x_2')^2 \omega^{*2}]} \quad (2-125)$$

Đường cong $M = f(\omega^*)$ sẽ có điểm cực trị với tọa độ là $[M_{\text{thđn}}, \omega_{\text{th}}^*]$, các giá trị này được xác định bằng cách lấy vi phân M (2-125) theo ω^* rồi cho bằng không ta tìm được :

$$\omega_{\text{th}}^* = \frac{R_2'}{x_\mu + x_2'} \quad (2-126)$$

thay (2-126) vào (2-125) ta được :

$$M_{\text{thđn}} = \frac{3 \cdot I_1^2 \cdot x_\mu^2}{2 \cdot \omega_0 (x_\mu + x_2')} \quad (2-127)$$

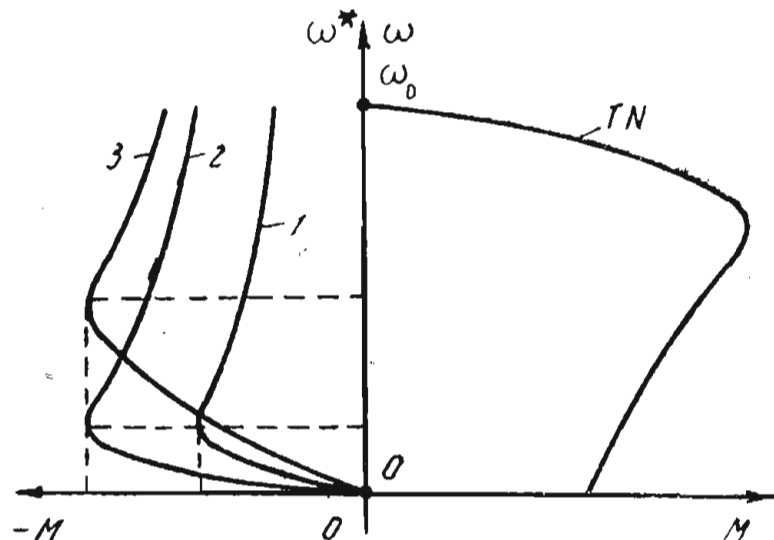
Để thuận tiện cho cách dựng đặc tính cơ ta lập tỷ số giữa (2-125) và (2-127) rồi biến đổi sẽ được :

$$M = \frac{2M_{\text{thđn}}}{\frac{\omega^*}{\omega_{\text{th}}^*} + \frac{\omega_{\text{th}}^*}{\omega^*}} \quad (2-128)$$

(2-128) là phương trình đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ khi hãm động năng kích từ độc lập.

Từ các biểu thức trên ta thấy rằng khi thay đổi R_f thì R_2' thay đổi nên ω_{th}^* thay đổi còn $M_{\text{thđn}} = \text{const.}$ Khi thay đổi dòng điện một chiều tức

là thay đổi dòng đẳng trị I_1 thì mômen tới hạn $M_{\text{thđn}}$ thay đổi còn $\omega_{\text{th}}^* = \text{const.}$ Dạng các đặc tính cơ được biểu diễn trên hình 2-62.



Hình 2-62. Các đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ khi hãm động năng kích từ độc lập.

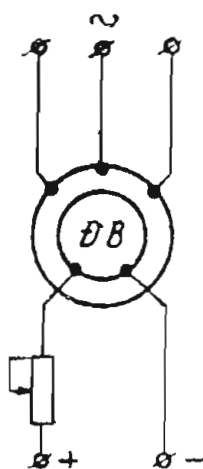
Từ đồ thị ta có so sánh sau: đường 1 và đường 2 có cùng giá trị R_2 nhưng dòng một chiều khác nhau; đường 2 và 3 có cùng dòng một chiều nhưng R_2 khác nhau; đường 1 và 3 thì khác nhau cả về điện trở ở mạch rôto lẫn dòng một chiều.

Cần chú ý rằng, do điện kháng của mạch từ hóa x_μ lớn hơn rất nhiều điện kháng ngắn mạch x_{nm} , nên tốc độ tương đối tới hạn ω_{th}^* của các đặc tính cơ hãm động năng nhỏ hơn nhiều độ trượt tới hạn s_{th} của các đặc tính cơ ở sơ đồ đầu dây bình thường. Ngoài ra nếu giả thiết I_1^2, x_μ^2 bằng điện áp pha của lưới điện xoay chiều ở sơ đồ đầu dây bình thường, thì cũng do x_μ mà mômen tới hạn $M_{thđn}$ của động cơ ở trạng thái hãm động năng nhỏ hơn mômen tới hạn trên đặc tính tự nhiên M_{th} .

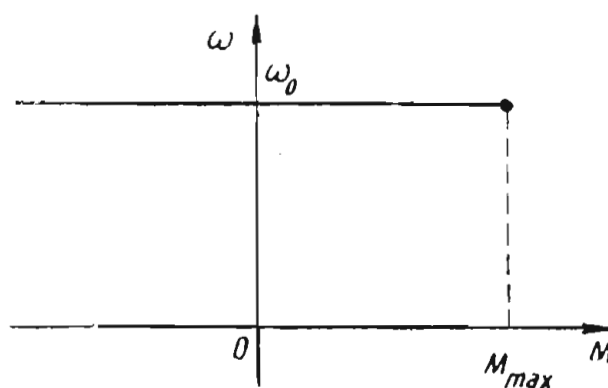
2-12 ĐẶC TÍNH CƠ VÀ CÁC TRẠNG THÁI LÀM VIỆC CỦA ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ

Động cơ đồng bộ được sử dụng khá rộng rãi với những truyền động công suất trung bình và lớn, yêu cầu độ ổn định tốc độ cao. Nó thường dùng để truyền động các máy bơm, quạt gió, máy nén khí, các thiết bị của nhà máy: luyện kim, giấy, xi măng, dùng làm động cơ sơ cấp trong các tổ máy phát có công suất lớn. So với các động cơ khác nó có ưu điểm là hệ số công suất $\cos\varphi$, hiệu suất và độ tin cậy trong vận hành cao:

Sơ đồ nguyên lý biểu diễn trên hình 2-63.



Hình 2-63. Sơ đồ nguyên lý của động cơ đồng bộ



Hình 2-64. Đặc tính cơ của động cơ đồng bộ

Sau đây ta khảo sát các đặc tính và các trạng thái làm việc của nó.

1. Các đặc tính của động cơ.

Khi đóng stato của động cơ đồng bộ vào lưới điện xoay chiều có tần số f_1 không đổi, động cơ sẽ làm việc với tốc độ đồng bộ không phụ thuộc tải:

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p}$$

Đặc tính cơ của động cơ trong phạm vi mômen cho phép $M \leq M_{\max}$ là đường thẳng song song với trục hoành, nghĩa là $\beta = \infty$ và được biểu diễn trên hình 2-64.

Tuy nhiên khi mômen vượt quá trị số cực đại cho phép $M > M_{\max}$ thì tốc độ động cơ sẽ lệch khỏi tốc độ đồng bộ.

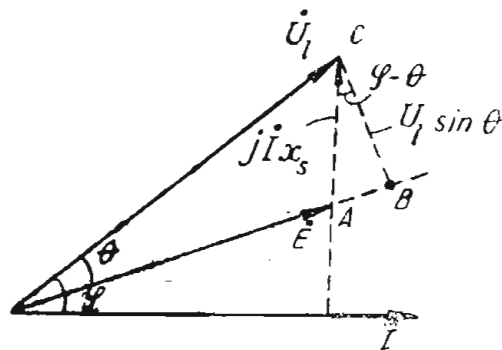
Trong nghiên cứu tính toán hệ truyền động dùng động cơ đồng bộ, người ta sử dụng một đặc tính quan trọng là đặc tính góc. Nó là sự phụ thuộc giữa mômen của động cơ với góc lệch giữa vector điện áp pha của lưới U_l và vector sức điện động cảm ứng E trong dây quấn stato do từ trường một chiều của rôto sinh ra:

$$M = f(\theta).$$

Đặc tính này được xây dựng bằng cách sử dụng đồ thị vector của mạch stato chỉ ra trên hình 2-65 với giả thiết bỏ qua điện trở tác dụng của cuộn dây stato ($r_1 \approx 0$).

Trên đồ thị vector:

U_l — điện áp pha của lưới (V); E — sức điện động pha của stato (V); I — dòng điện stato (A); $x_s = x_p + x_1$ — điện kháng pha của stato là tổng của điện kháng mạch từ hóa x_p và điện kháng cuộn dây một pha của stato x_1 (Ω); θ — góc lệch giữa U_l và E ; φ — góc lệch giữa vector điện áp U_l và dòng điện I .



Hình 2-65. Đồ thị vector của mạch stato của động cơ đồng bộ

Từ đồ thị vector ta có:

$$U_l \cos \varphi = E \cos(\varphi - \theta) \quad (2-129)$$

Từ tam giác ABC tìm được:

$$\cos(\varphi - \theta) = \frac{CB}{CA} = \frac{U_l \sin \theta}{I x_s} \quad (2-130)$$

Thay (2-130) vào (2-129) ta được:

$$U_l \cos \varphi = E \frac{U_l \sin \theta}{I x_s} \quad (2-131)$$

hay

$$U_l I \cos \varphi = \frac{E U_l}{x_s} \sin \theta \quad (2-132)$$

Vế trái của (2-132) là công suất 1 pha của động cơ.

Vậy công suất 3 pha của động cơ:

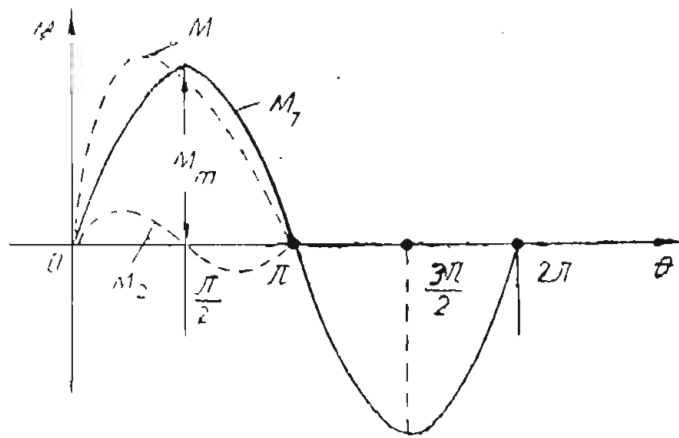
$$P = 3 \frac{E U_l}{x_s} \sin \theta \quad (2-133)$$

Mômen của động cơ:

$$M = \frac{P}{\omega_0} = \frac{3 E U_l}{x_s} \sin \theta \quad (2-134)$$

(2-134) là phương trình đặc tính góc của động cơ đồng bộ.

Một cách gần đúng ta thấy đặc tính góc có dạng hình sin biểu diễn trên hình 2-66, đường M_1 .



Hình 2-66. Đặc tính góc của động cơ đồng bộ.

Khi $\theta = \frac{\pi}{2}$ ta có biên độ cực

đại của hình sin là

$$M_m = \frac{3EU_l}{\omega_0 x_d} \quad (2-135)$$

Phương trình (2-134) có thể viết gọn hơn:

$$M = M_m \sin \theta \quad (2-136)$$

M_m đặc trưng cho khả năng quá tải của động cơ. Khi tải tăng góc lệch pha θ tăng. Nếu tải tăng

quá mức $\theta > \frac{\pi}{2}$, mômen giảm

Động cơ đồng bộ thường làm việc định mức ở trị số của góc lệch $\theta = 20^\circ - 25^\circ$. Hệ số quá tải về mômen:

$$\lambda_M = \frac{M_m}{M_{dm}} = 2 \div 2,5.$$

Những điều đã phân tích ở trên chỉ đúng với những động cơ đồng bộ cực ẩn và mômen chỉ xuất hiện khi rôto có kích từ. Còn đối với những động cơ đồng bộ cực lộ, do sự phân bố khe hở không khí không đều giữa rôto và stato nên trong máy xuất hiện mômen phản kháng phụ và phương trình đặc tính góc có dạng:

$$M = \frac{3}{\omega_0} \left[\frac{U_l E}{x_d} \sin \theta + \frac{U_l^2}{2} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta \right]; \quad (2-137)$$

trong đó x_d, x_q —điện kháng dọc trục và ngang trục.

Trong trường hợp này đường cong M (2-137) là tổng của hai thành phần.

$$M_1 = \frac{3U_l E}{x_d} \sin \theta$$

và mômen phản kháng

$$M_2 = \frac{3U_l^2}{2\omega_0} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta$$

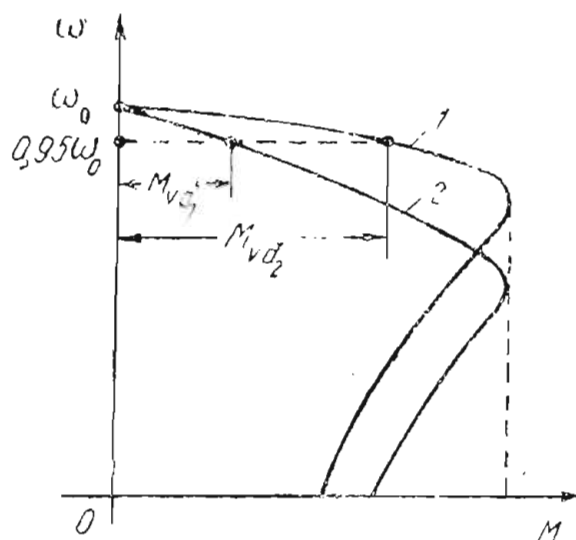
các đường cong này được biểu diễn trên hình 2-66. Đối với các máy đồng bộ cực ẩn $x_q = x_d$ nên $M_2 = 0$ và $M = M_1$.

Thường M_2 rất nhỏ nên có thể bỏ qua. Khi đó đặc tính góc của động cơ cực ần và cực lõi như nhau.

2. Khởi động và hãm động cơ đồng bộ.

Trên rôto của động cơ có hai cuộn dây: cuộn kích từ để sinh ra từ trường tạo nên mômen làm việc của máy và cuộn khởi động kiểu lồng sóc.

Khởi động động cơ thực hiện qua hai giai đoạn: khởi động không đồng bộ và đưa vào đồng bộ. Ở giai đoạn đầu stato của động cơ được đóng vào nguồn điện xoay chiều, còn cuộn dây kích từ được đóng kín qua điện trở hạn chế R_{hc} để cuộn kích từ khỏi bị quá áp do sức điện động cảm ứng sinh ra trong nó. Thường $R_{hc} = (8 \div 10)R_{kt}$ – điện trở của cuộn kích từ. Trong giai đoạn này động cơ đồng bộ được khởi động như động cơ không đồng bộ. Nếu cuộn lồng sóc thuộc loại có điện trở lớn thì đặc tính khởi động có dạng đường 2 trên hình 2-67, còn nếu nó thuộc loại có điện trở nhỏ thì đặc tính khởi động có dạng như đường 1 trên hình 2-67.



Hình 2-67. Đặc tính khởi động của động cơ đồng bộ.

Từ đồ thị ta thấy đường 2 có mômen khởi động lớn hơn nên dùng thích hợp cho những truyền động cần khởi động có tải. Tuy nhiên ở đường này mômen vào đồng bộ M_{vd} nhỏ hơn.

Giai đoạn thứ hai đưa động cơ vào đồng bộ.

Ở cuối giai đoạn khởi động không đồng bộ khi tốc độ đạt (95 – 98%) tốc độ đồng bộ, ta đưa dòng kích từ vào rôto để tạo ra mômen đưa động cơ lên tốc độ đồng bộ. Giai đoạn này rất quan trọng vì nếu không đưa động cơ lên tốc độ đồng bộ được thì động cơ sẽ làm việc ở trạng thái không đồng bộ, cuộn khởi động sẽ bị phát nóng quá mức và có thể bị cháy.

Quá trình khởi động còn có thể thực hiện theo hai cách:

Khởi động trực tiếp bằng cách đóng stato vào lưới điện với điện áp định mức ngay từ đầu. Trường hợp này sẽ tạo ra sự đột biến công suất của lưới, nên chỉ cho phép sử dụng cho những động cơ có công suất nhỏ hoặc những động cơ có điện áp cao.

Khởi động gián tiếp bằng cách đóng stato vào lưới điện qua điện kháng phụ x_f hoặc qua biến áp tự ngẫu để hạn chế dòng điện khởi động sau đó ngắn mạch chúng đi.

Trường hợp sử dụng điện kháng phụ x_f , trị số của nó có thể xác định bằng cách dựa vào mômen hoặc dòng điện khởi động cần hạn chế. Mômen khởi động của động cơ tỷ lệ với bình phương của điện áp đặt vào stato:

$$M_{kd} = M_{kddm} \left(\frac{U_{kd}}{U_{dm}} \right)^2 \quad (2-138)$$

Dòng điện khởi động tỷ lệ bậc nhất với điện áp:

$$I_{kd} = I_{kd, dm} \frac{U_{kd}}{U_{dm}} \quad (2-139)$$

Trong các công thức trên:

$M_{kd, dm}$, $I_{kd, dm}$ — Mômen và dòng điện khởi động ứng với điện áp stato là định mức; M_{kd} , I_{kd} — Mômen và dòng điện khởi động ứng với điện áp stato có $U_{kd} < U_{dm}$.

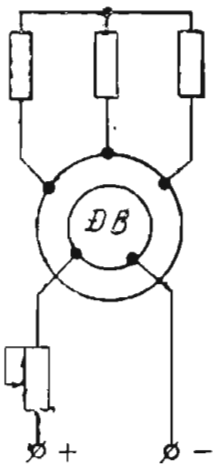
Nếu bỏ qua điện trở tác dụng của cuộn dây stato thì điện kháng pha ở stato được xác định theo biểu thức:

$$x_s = \frac{U_{dm}}{\sqrt{3} I_{kddm}}.$$

Với dòng điện khởi động ở stato cần hạn chế là I_{dk} . Khi đó ta xác định được trị số của điện kháng phụ cần thiết:

$$x_f = \frac{U_{dm}}{\sqrt{3} I_{kd}} - x_s. \quad (2-140)$$

Cũng có thể xác định x_f từ mômen khởi động cần hạn chế M_{kd} . Từ (2-138), (2-139) và (2-140) ta có:



Hình 2-68. Sơ đồ nguyên lý hãm động năng của động cơ đồng bộ.

$$x_f = \frac{U_{dm}}{\sqrt{3} I_{kddm}} \sqrt{\frac{M_{kddm}}{M_{kd}}} - x_s;$$

$$x_f = x_s \left(\sqrt{\frac{M_{kddm}}{M_{kd}}} - 1 \right). \quad (2-141)$$

Để hãm động cơ đồng bộ người ta thường thực hiện hãm động năng bằng cách, động cơ đang quay cắt stato của nó khỏi lưới điện xoay chiều rồi đóng kín qua hệ thống điện trở phụ, còn kích từ vẫn đưa vào rôto như sơ đồ nguyên lý hình 2-67.

Đặc tính cơ có dạng như đặc tính cơ hãm động năng kích từ độc lập của động cơ không đồng bộ.

Hãm ngược thực tế không sử dụng vì nó sinh ra công suất đột biến lớn trong lưới điện và làm phức tạp cho mạch điều khiển khi cần dừng động cơ.

Hãm tái sinh có thể xảy ra khi động cơ làm việc ở nhánh trái của đặc tính cơ (hình 2-64). Động cơ làm việc ở chế độ máy phát biến cơ năng thành điện năng trả về lưới. Trạng thái hãm này ít gặp trong thực tế.

3. Làm việc của động cơ đồng bộ trong chế độ điều chỉnh công suất phản kháng.

Ưu việt của động cơ đồng bộ so với các động cơ khác là có thể điều chỉnh công suất phản kháng của nó tiêu thụ từ lưới. Trong chế độ này công suất ra trên trục P_2 , điện áp lưới đặt vào stato U_1 và tần số stato f_1 không thay đổi, còn dòng điện kích từ đưa vào rôto thay đổi.

Khi động cơ không mang tải nghĩa là $P_2 = 0$, sức điện động xuất hiện trong cuộn dây stato gần bằng điện áp lưới. Sức điện động này được xác định bởi từ thông tổng do sức từ động stato và rôto tạo nên. Vì vậy nếu không có kích từ thì toàn bộ từ thông của động cơ chỉ do sức từ động stato sinh ra, động cơ sẽ tiêu thụ từ lưới dòng điện phản kháng chậm sau điện áp một góc $\varphi = 90^\circ$. Khi đưa dòng kích từ vào rôto thì một phần sức từ động tổng được tạo nên bởi dòng kích từ đó nên dòng từ hóa của stato tiêu thụ từ lưới sẽ giảm đi. Càng tăng dòng kích từ thì dòng điện từ hóa càng giảm, và từ một giới hạn nào đó trở đi tiếp tục tăng dòng kích từ thì dòng điện trong stato trở thành khử từ. Trong trường hợp này từ thông của máy lớn hơn từ thông tổng ứng với sức điện động đã cho. Nghĩa là khi quá kích từ dòng điện stato động cơ có pha vượt trước điện áp. Khi đó động cơ sẽ làm việc ở trạng thái máy phát, phát ra công suất phản kháng.

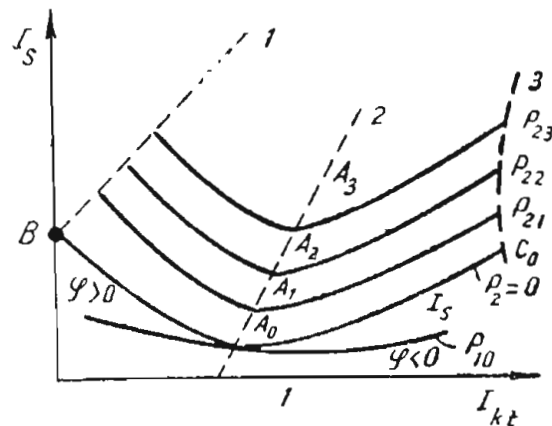
Sự phụ thuộc giữa dòng điện tổng ở stato với dòng kích từ ở rôto ứng với các công suất ra không đổi là $I_s = f(I_{kt})/P_2 = \text{const}$ có dạng những đường cong chữ V biểu diễn trên hình 2-69.

Trên hình vẽ: các điểm cực tiểu $A_0, A_1, A_2, \dots$ của các đường cong là ứng với dòng điện kích từ tối ưu và $\cos\varphi = 1$, dòng điện stato là nhỏ nhất và thuận tác dụng.

Quỹ tích của những điểm cực tiểu là đường nét đứt (đường 2). Trên đường này ta thấy khi phụ tải càng tăng thì dòng stato cực tiểu càng tăng còn dòng kích từ tối ưu tăng không nhiều lắm. Những điểm ở bên trái đường này là ứng với động cơ làm việc ở chế độ thiếu kích từ, dòng stato có tính chất cảm kháng, động cơ tiêu thụ công suất phản kháng từ lưới. Giá trị của dòng điện stato ứng với dòng kích từ bằng không trên đường $P_2 = 0$ nằm trên đường giới hạn của vùng này (điểm B của đường 1 trên hình 2-69). Dòng điện stato ở điểm B được xác định bởi điện áp lưới và tổng trở dọc trục.

Nếu xem $Z_d \approx x_d$ thì:

$$I_{s.B} = \frac{U_{dm}}{x_d}$$



Hình 2-69. Đặc tính chữ V của động cơ đồng bộ.

Ở những điểm nằm bên trái đường 1 động cơ sẽ mất đồng bộ. Vì vậy đường 1 đặc trưng cho giới hạn ổn định tĩnh của động cơ.

Những điểm nằm bên trái đường 2 tương ứng với động cơ làm việc ở chế độ quá kích từ và có góc φ vượt trước. Động cơ đồng bộ phát ra công suất phản kháng. Giới hạn của trị số dòng điện stato trong vùng quá kích từ được xác định theo điều kiện phát nóng cho phép của cuộn dây stato và rôto, thường $I_{max} \leq 1,2 I_{dm}$. Đường 3 trên hình 2-69 tương ứng với giới hạn trên của dòng điện kích từ theo điều kiện phát nóng cho phép của cuộn dây kích từ.

Trên họ đặc tính chữ V người ta thường sử dụng đường cong $I_s = f(I_{kf})$ khi $P_2 = 0$, và đường cong phụ thuộc giữa công suất tiêu thụ từ lưới với dòng điện kích từ khi $P_2 = 0$ là $P_{10} = f(I_{kf})$ (đường P_{10} trên hình 2-69).

Dựa vào các đường cong này có thể xác định được điện trở tác dụng của stato r_1 và trị số bão hòa của điện kháng dọc trục x_d . So sánh công suất tiêu thụ từ lưới P_{10} ở cùng trị số dòng điện stato I_s trong chế độ thiếu kích từ (cảm kháng) và quá kích từ (dung kháng) có thể xác định được sự phụ thuộc của tổn thất trong thép và các tổn thất phụ theo mức độ kích từ của động cơ.

Đặc tính chữ V ứng với $P_2 = 0$ chính là đặc tính của máy bù đồng bộ.

PHẦN THỨ HAI

ĐIỀU KHIỂN TỐC ĐỘ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

KHÁI NIỆM CHUNG

Phần này khảo sát những vấn đề liên quan đến tác động chủ quan của người điều khiển đối với giá trị tốc độ của truyền động điện. Đó là các vấn đề về «điều chỉnh tốc độ» nghĩa là đặt các giá trị làm việc khác nhau cho truyền động điện: duy trì «tốc độ đặt» với một độ chính xác nào đó hoặc gọi là «ổn định hóa tốc độ»; dòng bộ hóa tốc độ của hai trục làm việc và một số yêu cầu điều khiển tốc độ đặc biệt khác như dừng chính xác.

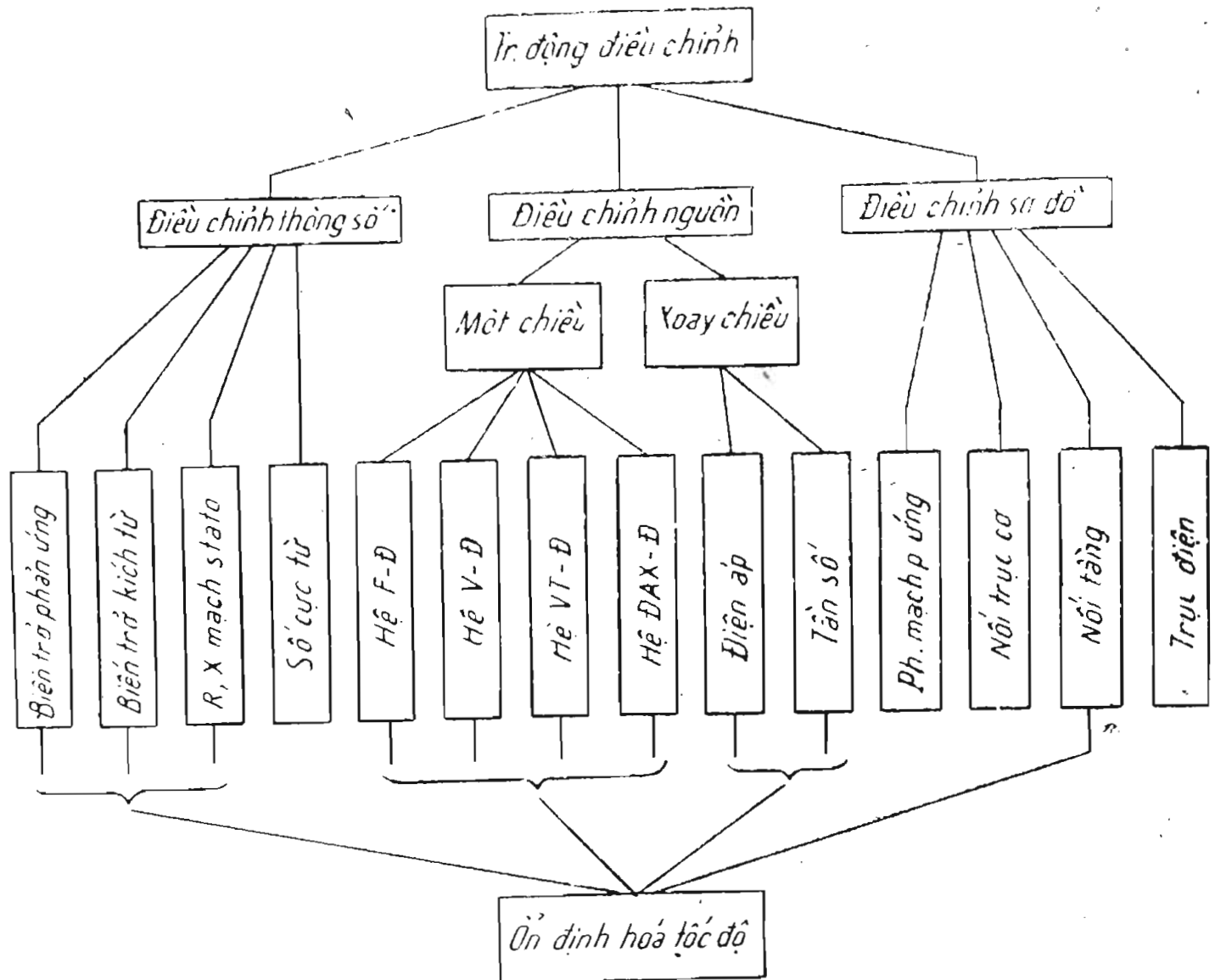
Tất cả các vấn đề trên đều có một nét chung, đó là khả năng tác động trực tiếp lên hệ truyền động để khống chế đại lượng tốc độ theo ý muốn. Một hệ có khả năng như vậy được gọi là truyền động điện điều chỉnh.

Ta có thể phân loại các hệ truyền động điều chỉnh theo phương pháp thay đổi tốc độ của chúng. Hệ thống phân loại được tóm tắt trong biểu đồ hình II-1.

Điều chỉnh tốc độ là một nội dung lớn của phần này. Nó đáp ứng yêu cầu tất yếu của các máy sản xuất. Ta biết rằng đa số máy sản xuất đòi hỏi có nhiều cấp tốc độ. Tùy theo điều kiện làm việc mà người ta chọn tốc độ này hay tốc độ khác để đạt được một quy trình công nghệ tối ưu. Muốn có được các cấp tốc độ khác nhau trên máy ta có thể thay đổi cấu trúc cơ học của máy như tỷ số truyền, hoặc thay đổi tốc độ của chính động cơ truyền động. Ở đây ta khảo sát phương pháp thứ hai và được trình bày trong các chương 3, 4, 5 và một phần chương 6.

Tốc độ làm việc của truyền động điện do người điều khiển quy định được gọi là tốc độ đặt. Trong quá trình làm việc giá trị này có thể bị thay đổi. Vì tốc độ động cơ phụ thuộc vào nhiều thông số của nguồn, mạch và tải nên khi các thông số đó biến đổi thì tốc độ sẽ biến đổi. Tình trạng đó gây ra sai số tốc độ và có thể không cho phép. Để khắc phục, người ta dùng những biện pháp ổn định hóa tốc độ mà thông dụng nhất hiện nay là lập các hệ điều khiển tự động. Nội dung này được trình bày trong chương 7.

Ngoài ra nhiều trường hợp thực tế còn đòi hỏi điều khiển tốc độ theo những mục đích khác, như cân bằng tốc độ hai trục cơ, đồng bộ hóa tốc độ hai trục theo một tỷ lệ nào đó, giảm tốc sơ bộ trước khi dừng máy (dừng chính xác) v.v... Những vấn đề này được nêu trong chương 6.



Hình II-1. Sơ đồ hệ thống phân loại của truyền động điện điều chỉnh.

CHƯƠNG III

ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ NHỜ BIẾN ĐỔI THÔNG SỐ CỦA MẠCH VÀ CỦA MÁY ĐIỆN

3.1. CÁC CHỈ TIÊU CHẤT LƯỢNG CỦA TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN ĐIỀU CHỈNH

Một hệ truyền động điện điều chỉnh có thể là tự động nếu có dùng các khâu hồi tiếp để lập thành vòng kín, hoặc là bán tự động khi chỉ điều khiển vòng hở và bằng tay. Chất lượng của nó được đánh giá nhờ các chỉ tiêu sau đây:

1. Sai số tốc độ.

Sai số tĩnh tốc độ là đại lượng đặc trưng cho độ chính xác duy trì tốc độ đặt. Nó là giá trị tương đối của độ sụt tốc ứng với tải định mức so với tốc độ đặt khi không tải lý tưởng, nghĩa là:

$$s\% = \frac{\omega_{o,d} - \omega}{\omega_{o,d}} 100\% = \Delta\omega^* \quad (3-1a)$$

trong đó ω — tốc độ ứng với tải định mức; $\omega_{o,d}$ — tốc độ không tải lý tưởng ứng với giá trị đặt.

Nếu tốc độ không tải lý tưởng của hệ không xác định thì sai số tĩnh được tính như sau:

$$s\% = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1} 100\%, \quad (3-1b)$$

trong đó ω_1 — tốc độ khi tải nhỏ nhất $M_{\min}$; ω_2 — tốc độ khi tải $M = M_{\min} + M_{dm}$. Nếu đặc tính cơ là đường thẳng thì từ quan hệ $\Delta\omega = M_c/\beta$ ta có:

$$s\% = \frac{M_c}{\omega_o \beta} 100. \quad (3-1c)$$

Như vậy, sai số tốc độ phụ thuộc vào độ cứng của đặc tính cơ β , tốc độ đặt khi không tải lý tưởng $\omega_{o,d}$ và phụ tải trên trục động cơ M_c . Sai số càng nhỏ, nghĩa là độ chính xác càng cao, thì hệ càng tốt.

Thực tế có nhiều máy không yêu cầu độ chính xác cao, như các máy vận chuyển, nhưng đa số máy lại có yêu cầu chặt chẽ về $s\%$, có máy yêu cầu rất cao. Ví dụ trục quấn của máy làm giấy, máy dệt, máy doa, máy mài v.v... thường đòi hỏi sai số tốc độ trong toàn dải biến đổi của tải ($0 - 2M_{dm}$) độ vài phần trăm. Truyền động ăn dao của máy cắt kim loại thường yêu cầu $s\% \leq 10\%$, còn truyền động chính $\leq 5\%$. Khi thiết kế hệ thống, $s\%$ được coi là số liệu cho trước.

Nói chung, các hệ bán tự động có độ chính xác không cao; đa số phương pháp điều chỉnh thông số có s lớn, còn các phương pháp điều chỉnh nguồn thì s nhỏ hơn nhiều.

2. Giải điều chỉnh.

Giải điều chỉnh D là tỷ số giữa tốc độ làm việc lớn nhất và nhỏ nhất ứng với phụ tải đã cho:

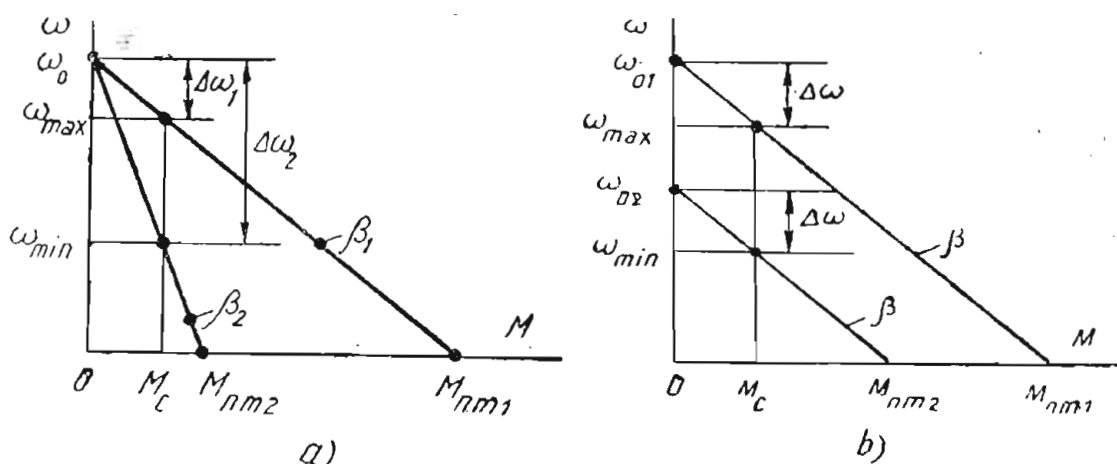
$$D = \frac{\omega_{\max}}{\omega_{\min}}. \quad (3-2)$$

Phần lớn các máy hiện đại đều yêu cầu giải điều chỉnh rộng. Ví dụ máy cán thép có $D = 5 - 25$, máy giấy $3 - 20$, máy cắt kim loại cỡ nhỏ đến $200, 2000$ hoặc lớn hơn. Như vậy hệ truyền động điện có D càng lớn càng tốt.

Giá trị của D phụ thuộc vào $\omega_{\max}$ và $\omega_{\min}$.

Tốc độ lớn nhất $\omega_{\max}$ thường bị giới hạn bởi độ bền cơ học của phần quay của máy điện. Ở tốc độ cao các bộ phận này chịu lực động khá lớn nên có thể hư hỏng. Một số máy điện như động cơ một chiều, tốc độ lớn nhất còn bị giới hạn bởi điều kiện chuyển mạch. Khi tốc độ lớn tia lửa phát sinh trên cổ góp dưới các rìa chổi than sẽ mạnh lên và có thể không cho phép. Vì vậy các máy điện thông dụng chỉ cho phép $\omega_{\max} \leq (2 - 3) \omega_{dm}$. Tuy nhiên, các máy điện chế tạo đặc biệt thì có $\omega_{\max}$ cao hơn và có chỉ dẫn riêng.

Tốc độ nhỏ nhất $\omega_{\min}$ trong giải điều chỉnh bị chặn bởi yêu cầu khắc phục mômen quá tải cho phép, bảo đảm độ chính xác điều chỉnh hoặc do những tính chất đặc thù của từng hệ.



Hình 3-1. Các phương pháp tạo ra tốc độ thấp:

a) điều chỉnh bằng cách giảm độ cứng ($\beta_2 < \beta_1$);

b) điều chỉnh bằng cách giảm ω_0 ($\omega_{02} < \omega_{01}$).

Để có những tốc độ thấp, ta phải giảm độ cứng β của đặc tính cơ hoặc giảm tốc độ không tải lý tưởng ω_0 . Cả hai cách đều làm giảm mômen ngắn mạch M_{nm} và tăng sai số tốc độ s . Đồ thị hình 3-1 minh họa điều đó. Đối với hình 3-1a vì $\omega_0 = \text{const}$ và $\beta_2 < \beta_1$ nên

$$M_{nm2} = \omega_0 \beta_2 < M_{nm1} = \omega_0 \beta_1; \quad s_2 = \frac{M_c}{\omega_0 \beta_2} > s_1 = \frac{M_c}{\omega_0 \beta_1}.$$

Đối với hình 3-1b vì $\beta = \text{const}$ và $\omega_{02} < \omega_{01}$ nên

$$M_{nm_2} = \omega_{02}\beta < M_{nm_1} = \omega_{01}\beta; s_2 = \frac{M_c}{\omega_{02}\beta} > s_1 = \frac{M_c}{\omega_{01}\beta}.$$

Rõ ràng là $\omega_{\min}$ càng nhỏ thì M_{nm_2} càng nhỏ và s_2 càng lớn. Đến một mức độ nào đó, M_{nm_2} sẽ không đủ để khắc phục mômen quá tải và máy dễ bị dừng đột ngột, đồng thời sai số tốc độ có thể lớn quá mức cho phép. Vì vậy khi không có yêu cầu riêng do đặc thù của hệ truyền động điện thì ta phải dựa vào mômen quá tải của máy $M_{c,qt}$ hoặc sai số tốc độ cho phép s_{cp} để xác định $\omega_{\min}$ và qua đó mà xác định giá trị của giải điều chỉnh D.

3. Độ tinh

Độ tinh điều chỉnh thể hiện mức khác nhau giữa hai cấp tốc độ thứ i và thứ $i + 1$. Nó được đánh giá nhờ hệ số tinh

$$\varphi = \frac{\omega_{i+1}}{\omega_i} > 1 \quad (3-3)$$

Hệ số tinh càng nhỏ càng tốt, vì càng dễ chọn được tốc độ tối ưu theo yêu cầu công nghệ. Trường hợp lý tưởng là $\varphi \rightarrow 1$. Khi đó ta có điều chỉnh vô cấp, nghĩa là điều chỉnh tinh tuyệt đối.

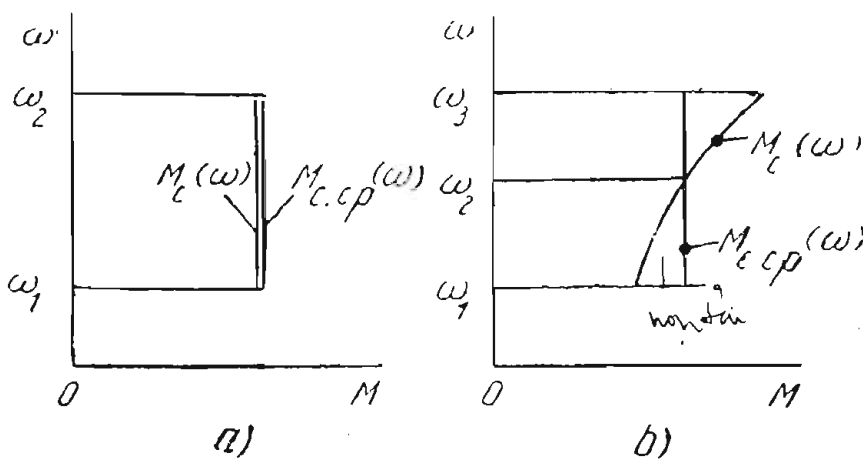
Muốn tăng độ tinh ta phải đặt phần tử điều chỉnh (bộ phận đặt tốc độ) trong mạch công suất nhỏ như mạch kích từ của các máy điện, mạch vào của các bộ khuếch đại. Các mạch này có dòng điện nhỏ nên cho phép dùng những khí cụ nhỏ và điều chỉnh trơn như chiết áp, biến trở. Nếu phần tử điều chỉnh đặt trong mạch công suất lớn, ví dụ dùng điện trở phụ trong mạch phản ứng, thì rất khó điều chỉnh tinh. Khi đó, vì dòng lớn nên thường phải dùng các tiếp điểm công tác tơ để thay đổi điện trở, và do đó bắt buộc phải điều chỉnh thô (nhảy cấp).

4. Mức độ phù hợp giữa đặc tính tải cho phép của động cơ và đặc tính cơ của máy sản xuất.

Đặc tính tải cho phép của máy điện $M_{c,cp} = f(\omega)$ là quan hệ giữa mômen của máy điện đó khi dòng điện bằng định mức với tốc độ làm việc xác lập. Đôi khi đặc tính này được biểu thị theo công suất $P_{c,cp} = f(\omega)$, trong đó $P_{c,cp} = M_{c,cp}\omega$. Nếu tốc độ là định mức thì đương nhiên $M_{c,cp} = M_{dm}$ và $P_{c,cp} = P_{dm}$. Khi điều chỉnh, $\omega \neq \omega_{dm}$, nên dù ta giữ dòng định mức không đổi nhưng mômen máy điện vẫn có thể khác giá trị định mức ($M_{c,cp} \neq M_{dm}$). Nói chung $M_{c,cp}$ và $P_{c,cp}$ là những hàm của tốc độ phụ thuộc phương pháp điều chỉnh.

Nếu trong toàn giải điều chỉnh, đặc tính này luôn luôn trùng với đặc tính cơ của máy sản xuất như ví dụ trên hình 3-2a, thì bất kỳ làm việc ở tốc độ nào mômen cần trên trục động cơ cũng bằng mômen tải cho phép. $M_c = M_{c,cp}$. Do đó dòng điện trong động cơ luôn luôn bằng giá trị định mức động cơ được tận dụng về khả năng chịu tải. Đó là trường hợp tốt nhất.

Nếu đặc tính tải cho phép của động cơ khác đặc tính cơ của máy sản xuất như ví dụ nêu ở hình 3-2b thì động cơ chỉ làm việc với $M_c = M_{c.cp}$ nghĩa là với $I = I_{dm}$ ở một tốc độ ω_2 mà thôi. Trong vùng $\omega_1 < \omega < \omega_2$, $M_c < M_{c.cp}$ nên máy điện non tải, $I < I_{dm}$. Ngược lại, trong vùng $\omega_2 < \omega < \omega_3$ thì $M_c > M_{c.cp}$ nên máy điện quá tải và $I > I_{dm}$. Như đã biết, nếu đề cho máy điện non tải thì các chỉ tiêu năng lượng đều giảm ($\cos\phi$ và η thấp), còn khi nó làm việc quá tải thì năng suất máy thấp và tuổi thọ của động cơ giảm.



Hình 3-2. Mức độ phù hợp giữa đặc tính tải cho phép của máy điện và đặc tính cơ của máy sản xuất.
a) phù hợp hoàn toàn; b) không phù hợp.

Như vậy một hệ truyền động điện điều chỉnh được coi là tốt nếu hai đặc tính nêu trên trùng nhau hoặc gần trùng nhau. Muốn vậy ta phải căn cứ vào đặc tính cơ của máy sản xuất để tìm phương pháp điều chỉnh có đặc tính $M_{c.cp}(\omega)$ phù hợp.

5. Hướng điều chỉnh.

Hướng điều chỉnh là chiều hướng biến đổi tốc độ so với giá trị tốc độ trên đặc tính cơ bản. Có thể điều chỉnh dưới cơ bản ($\omega < \omega_{cb}$), hoặc trên cơ bản ($\omega > \omega_{cb}$). Đa số các phương pháp là điều chỉnh dưới cơ bản. Cũng có những hệ thống cho phép điều chỉnh cả hai hướng, ví dụ hệ máy phát động cơ một chiều, hệ biến tần – động cơ xoay chiều, hệ tăng máy điện. Hệ điều chỉnh hai hướng có giải rộng nên được coi là tốt.

6. Miền tải điều chỉnh tốc độ có hiệu quả.

Nếu trong toàn bộ phạm vi biến đổi của tải đều có thể điều chỉnh được tốc độ làm việc trong giải mong muốn thì hệ điều chỉnh là một hệ tốt. Cũng có những phương pháp chỉ bảo đảm điều chỉnh được tốc độ trong một miền mômen nhất định, ngoài miền đó thì không điều chỉnh được hoặc điều chỉnh không đáng kể (không hiệu quả). Ví dụ, trên hình 3-1 ta thấy phương pháp biến đổi ω_0 tốt hơn phương pháp biến đổi β . Khi điều chỉnh, độ cứng đặc tính cơ như hình 3-1a, giải điều chỉnh D phụ thuộc vào giá trị mômen tải: M_c càng nhỏ, D càng hẹp và khi không tải thì không thể điều chỉnh được. Phương pháp điều chỉnh như vậy được gọi là điều chỉnh không triệt để.

Về chỉ tiêu này, hệ nào có khả năng điều chỉnh tốc độ không tải lý tưởng sẽ là hệ tốt. Ta gọi nó là hệ điều chỉnh triệt để.

7. Khả năng tự động hóa.

Nếu hệ truyền động điện điều chỉnh có khả năng tự động hóa thì có thể cải thiện các chỉ tiêu như độ chính xác điều chỉnh, giải điều chỉnh, độ tinh v.v...

Muốn vậy, người ta cố gắng sử dụng các phần tử và linh kiện điều khiển như van điều khiển, kháng bão hòa, khuếch đại máy điện v.v... để làm phần tử điều khiển. Khi đánh giá các hệ truyền động điện hiện đại không thể không đề cập đến chỉ tiêu này.

8. Tính kinh tế.

Tính kinh tế có ý nghĩa rất quan trọng. Nhiều trường hợp nó là chỉ tiêu quyết định phương án truyền động điện. Để đánh giá tính kinh tế, ta phải xét đến năng suất của máy sản xuất do phương án truyền động đem lại, vốn đầu tư cơ bản, chi phí vận hành, độ tin cậy, tính phổ cập của thiết bị và các chỉ tiêu năng lượng khi làm việc ở tốc độ điều chỉnh.

Chỉ tiêu năng lượng bao gồm hiệu suất và hệ số công suất. Chúng càng lớn càng tốt. Nếu trong một chu kỳ, hệ thống phải làm việc với nhiều tốc độ xác lập từ $\omega_{\min}$ đến $\omega_{\max}$ thì ta đánh giá các chỉ tiêu này theo giá trị trung bình:

$$\eta_{tb} = \frac{1}{\omega_{\max} - \omega_{\min}} \int_{\omega_{\min}}^{\omega_{\max}} \eta(\omega) d\omega \quad (3-4a)$$

$$\cos\varphi_{tb} = \frac{1}{\omega_{\max} - \omega_{\min}} \int_{\omega_{\min}}^{\omega_{\max}} \cos\varphi(\omega) d\omega \quad (3-4b)$$

Muốn vậy, đối với từng phương pháp hoặc từng hệ thống điều chỉnh ta phải tìm quan hệ giữa hiệu suất và $\cos\varphi$ theo tốc độ.

Để rút ra kết luận về tính kinh tế của một hệ ta phải tính toán cẩn thận, không nên chỉ dựa vào những nhận xét sơ bộ trực quan. Có trường hợp một hệ phức tạp có vốn đầu tư cơ bản lớn, nhưng nhờ khả năng điều chỉnh tinh trong một dải rộng nên tạo ra cho máy sản xuất một năng suất cao, kịp hoàn vốn trong một thời gian ngắn; hệ thống đó lại rất kinh tế.

Tóm lại, chất lượng của một hệ truyền động điện điều chỉnh thể hiện ở nhiều chỉ tiêu. Đánh giá tổng hợp các chỉ tiêu đó là một bài toán khó. Vì vậy đối với từng phương pháp và từng hệ thống điều khiển tốc độ, bên cạnh việc phân tích bản chất các hiện tượng vật lý, cần chú ý đánh giá các chỉ tiêu đã nêu.

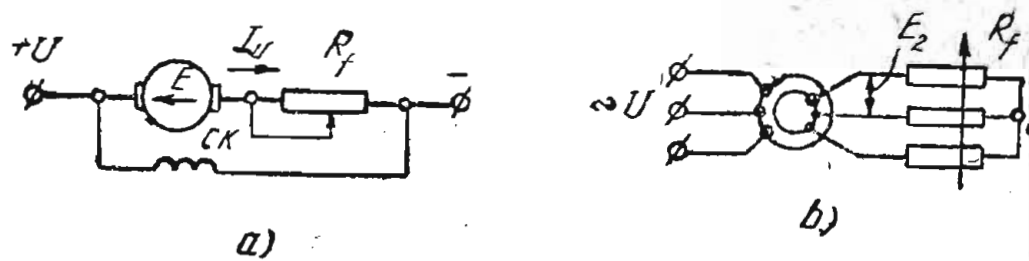
3-2. ĐIỀU CHỈNH ĐIỆN TRỞ MẠCH PHẦN ỨNG VÀ MẠCH RÔTÔ

1. Nguyên lý điều chỉnh

Phương pháp điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện trở phụ trong mạch phần ứng hoặc mạch rôto, còn gọi là « phương pháp biến trở » có thể dùng cho các động cơ một chiều kích từ độc lập, kích từ nối tiếp, kích từ hỗn hợp và động cơ không đồng bộ rôto quấn dây.

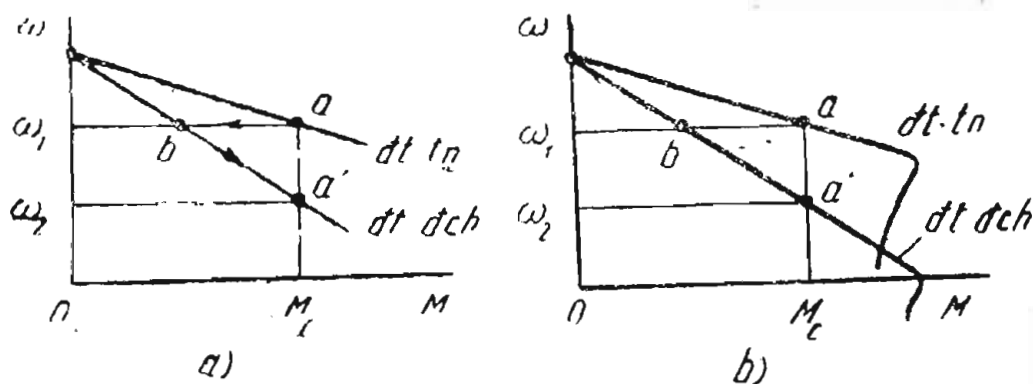
Sơ đồ hệ điều chỉnh được vẽ trên hình 3-3, còn các đặc tính cơ điều chỉnh — hình 3-4.

Bản chất của hiện tượng thay đổi tốc độ và các chỉ tiêu chất lượng của truyền động một chiều (hình 3-3a) và truyền động không đồng bộ (hình 3-3b) khi điều chỉnh biến trở đều tương tự nhau.



Hình 3-3. Sơ đồ nguyên lý điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện trở phụ mạch phản ứng và mạch rôto. a) động cơ một chiều; b) động cơ không đồng bộ.

Đối với động cơ một chiều, nguyên lý điều chỉnh tốc độ bằng phương pháp này được giải thích như sau: giả sử động cơ đang làm việc xác lập với đặc tính tự nhiên có tải là M_c và tốc độ là ω_1 (hình 3-4a). Để điều chỉnh tốc độ ta đóng một điện trở R_f vào mạch phản ứng. Khi đó dòng phản ứng I_r giảm đột biến, còn tốc độ do quán tính nên chưa kịp biến đổi (bỏ qua quán tính điện từ của mạch phản ứng). Trên mặt phẳng $[M, \omega]$, điểm làm việc chuyển từ a đến b. Dòng I_r giảm làm cho mômen của động cơ giảm theo nên $M < M_c$ và tốc độ giảm xuống. Mặt khác, do tốc độ giảm nên s.d.đ. của phản ứng $E = k\Phi\omega$ cũng giảm làm cho dòng I_r lại tăng lên. Kết quả là mômen tăng dần cho đến khi $M = M_c$ thì hệ trở nên xác lập nhưng tốc độ lúc này là $\omega_2 < \omega_1$ tương ứng với điểm làm việc a' trên đặc tính điều chỉnh R_f . Giá trị ω_2 phụ thuộc vào R_f và M_c .



Hình 3-4. Các đặc tính cơ khi điều chỉnh điện trở phụ mạch phản ứng và mạch rôto: a) của máy điện một chiều kích từ độc lập b) của máy điện không đồng bộ.

Đối với động cơ không đồng bộ, quá trình cũng tương tự như vậy. Khi cho một điện trở R_f vào cả ba pha rôto, dòng và mômen đều giảm đột biến (bỏ qua quán tính điện từ của động cơ) nên điểm làm việc trên mặt phẳng đặc tính cơ chuyển từ a đến b (hình 3-4b). Tại thời điểm đó, $M < M_c$ nên hệ giảm tốc. Mặt khác vì tốc độ giảm, độ trượt tăng nên S.D.Đ. cảm ứng trong rôto $E_2 = E_{2ms}$ tăng lên. Do đó dòng rôto và mômen động cơ lại tăng, cho đến khi $M = M_c$ thì hệ xác lập nhưng với tốc độ mới $\omega_2 < \omega_1$. Trạng thái này ứng với điểm a' trên đặc tính điều chỉnh R_f .

Các đặc tính điều chỉnh R_f đều thỏa mãn phương trình đặc tính cơ nêu trong chương 2:

Đối với máy điện một chiều:

$$\omega = \frac{U}{k\Phi} - \frac{R_u + R_f}{(k\Phi)^2} M \quad (3-5a)$$

Đối với máy điện không đồng bộ:

$$\left. \begin{aligned} M &= \frac{2M_{th}(1 + as'_{th})}{\frac{s}{s'_{th}} + \frac{s'_{th}}{s} + 2as'_{th}} \\ M_{th} &= M_{th.tn} = \text{const} \\ s'_{th} &= (r'_2 + R_f) \sqrt{R_1^2 + X_{nm}^2} \end{aligned} \right\} \text{ hệ } \quad (3-5b)$$

Khi cho trước mômen tải M_c và tốc độ điều chỉnh ω_2 ta có thể xác định được điện trở điều chỉnh R_f như sau:

Trước hết cần quan niệm rằng đối với phần làm việc của đặc tính cơ của máy không đồng bộ nếu giữ dòng I_2 hoặc mômen M không đổi thì quan hệ $(R_2/s) = \text{const}$ luôn luôn thỏa mãn. Do đó các đặc tính trên hình 3-4a và 3-4b đều đưa về dạng đường thẳng, giống hệ nhau:

$$M = \beta(\omega_0 - \omega) \text{ với } \beta = \frac{\Delta M}{\Delta \omega}$$

Biểu thị các đường đặc tính tự nhiên và đặc tính điều chỉnh theo phương trình này, rồi thay $M = M_c$ ứng với ω_1 và ω_2 ta được:

$$M = M_c = \beta_1(\omega_0 - \omega_1) = \beta_2(\omega_0 - \omega_2).$$

Do đó
$$\frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{\omega_0 - \omega_2}{\omega_0 - \omega_1} = \frac{s_2}{s_1} \quad (3-6)$$

Đối với máy một chiều, $\beta_1 = (k\Phi)^2/R_u$ và $\beta_2 = (k\Phi)^2/(R_u + R_f)$ nên từ (3-6) ta tìm được:

$$R_f = R_u \left(\frac{\omega_0 - \omega_2}{\omega_0 - \omega_1} - 1 \right) \quad (3-6a)$$

Đối với máy không đồng bộ có thể suy trực tiếp từ quan hệ $(R_2/s) = \text{const}$:

$$R_f = R_2 \left(\frac{s_1}{s_2} - 1 \right) \quad (3-6b)$$

Nếu biến trở điều chỉnh đồng thời được dùng làm biến trở khởi động thì nó được xác định theo các đặc tính khởi động như đã trình bày trong chương 2.

2. Các chỉ tiêu chất lượng chủ yếu.

Phương pháp biến trở chỉ tạo ra được những tốc độ thấp hơn tốc độ cơ bản bằng cách giảm độ cứng đặc tính cơ. Nó là phương pháp điều chỉnh không triệt để; giải điều chỉnh phụ thuộc vào độ lớn của mômen tải; độ chính xác duy trì tốc độ không cao; độ tinh điều chỉnh kém.

Điều chỉnh càng sâu (tốc độ càng thấp) thì sai số tốc độ càng lớn và mô-men ngắn mạch càng nhỏ, nghĩa là độ chính xác duy trì tốc độ và khả năng quá tải càng kém. Cả hai nguyên nhân này đều hạn chế giải điều chỉnh.

Nếu chỉ xét nguyên nhân thứ hai, thì đặc tính thấp nhất phải có mô-men ngắn mạch $M_{nm \cdot min}$ không nhỏ hơn mô-men quá tải $M_{c \cdot max}$. Trên hình 3-5, để minh họa ta lấy

$$M_{nm \cdot min} = M_{c \cdot max} = k_{qt} M_{dm}$$

trong đó $k_{qt} = \frac{M_{c \cdot max}}{M_{dm}}$ - hệ số quá tải lớn nhất do máy sản xuất gây ra.

Giả thiết $M_c = M_{dm}$, ta có

$$\omega_{max} = \omega_{dm} = \omega_0 - \frac{M_{dm}}{(k\Phi)^2} R_r = \omega_0 \left(1 - \frac{M_{dm}}{\beta_{tn}} \right)$$

Còn ω_{min} thì xác định theo đặc tính cơ thấp nhất:

$$\omega_{min} = \omega_0 - \frac{M_{dm}}{\beta_{min}}$$

Nếu đặc tính cơ là đường thẳng thì từ hình 3-5 ta thấy

$$\beta_{min} = \Delta M / \Delta \omega = k_{qt} M_{dm} / \omega_0.$$

Thay giá trị đó vào biểu thức trên ta được

$$\omega_{min} = \omega_0 - \frac{M_{dm} \omega_0}{k_{qt} M_{dm}} = \omega_0 \left(1 - \frac{1}{K_{qt}} \right)$$

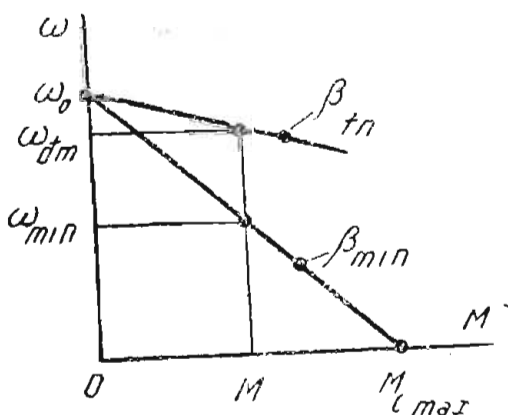
Như vậy giải điều chỉnh sẽ là:

$$D = \frac{\omega_{max}}{\omega_{min}} = \frac{K_{qt}}{\beta_{tn}^*} \cdot \frac{\beta_{tn}^* - 1}{K_{qt} - 1} \quad (3-7)$$

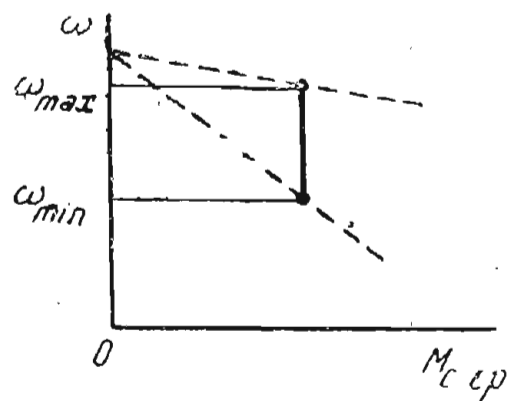
Nếu mô-men quá tải bằng 2 lần mô-men định mức, và $\beta_{tn}^* = 20$ thì

$$D = (2/20) \cdot [(20-1)/(2-1)] = 1,9.$$

Biểu thức (3-7) chứng tỏ phương pháp biến trở có giải điều chỉnh hẹp. Thông thường $D \leq 2-2,5$.



Hình 3-5. Minh họa cho việc xác định giải điều chỉnh theo khả năng quá tải



Hình 3-6. Đặc tính tải cho phép của động cơ khi điều chỉnh biến trở.

Vì độ chính xác duy trì tốc độ rất thấp nên phương pháp này chỉ dùng cho những máy không có yêu cầu cao về sai số tốc độ. Cũng vì vậy ở đây không đặt vấn đề xác định D theo $\Delta \omega_{cp} \%$.

Mômen tải cho phép khi điều chỉnh không phụ thuộc tốc độ. Đối với máy điện một chiều, vì từ thông không biến đổi nên

$$M_{c.cp} = k\Phi_{dm} I_{dm} = M_{dm} = \text{const} \quad (3-8a)$$

Đối với máy không đồng bộ, dựa vào biểu thức $M = 3I_2'^2 R_2' / \omega_0 s$,

thay $I_2 = I_{2dm}$ và $(R_2'/s) = (r_2'/s_{dm}) = \text{const}$, ta được:

$$M_{c.cp} = \frac{3I_{2dm}^2 R_2'}{\omega_0 s} = \frac{3I_{2dm}^2 r_2'}{\omega_0 s_{dm}} = M_{dm} = \text{const} \quad (3-8b)$$

Như vậy, đặc tính mômen tải cho phép là đường thẳng song song trục tung, như vẽ trên hình 3-6. Đặc tính này cho thấy, trên quan điểm tận dụng khả năng chịu tải của động cơ, phương pháp biến trở chỉ phù hợp với các máy sản xuất có tải kiểu máy nâng $M_c = \text{const}$.

Chỉ tiêu năng lượng của phương pháp biến trở cũng thấp. Điện trở điều chỉnh nằm trong mạch dòng lực gây tổn thất lớn, điều chỉnh càng sâu thì điện trở càng phải lớn nên tổn thất năng lượng lại càng nhiều. Để đánh giá chỉ tiêu này, ta tìm quan hệ giữa tổn thất và tốc độ.

Nếu chỉ quan tâm đến tổn thất trên điện trở tác dụng, mà bỏ qua các loại tổn thất phụ khác, ta có:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = M_{dl}\omega_0 - M\omega \approx M(\omega_0 - \omega)$$

Quan hệ này viết chung cho cả máy điện một chiều và máy điện không đồng bộ, trong đó ta coi mômen điện từ và mômen cơ bằng nhau ($M_{dt} \approx M$).

Khi làm việc xác lập, $M = M_c$ nên:

$$\Delta P = M_c (\omega_0 - \omega),$$

hoặc biểu diễn theo hệ đơn vị tương đối:

$$\Delta P^* = \frac{\Delta P}{M_{dm}\omega_0} = M_c^* (1 - \omega^*) \quad (3-9a)$$

Biểu thức (3-9a) cho thấy rằng, tổn thất năng lượng khi làm việc ở các tốc độ điều chỉnh không những phụ thuộc vào giá trị tốc độ, mà còn phụ thuộc vào phụ tải.

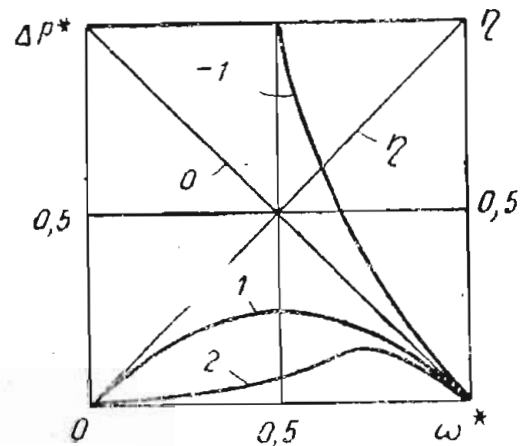
Nếu, thay M_c bằng phương trình đặc tính cơ của máy sản xuất $M_c^* \approx \omega^{*x}$, thì biểu thức (3-9a) trở thành:

$$\Delta P^* = \omega^{*x}(1 - \omega^*) \quad (4-9b)$$

Cho $x = -1 \div +2$ ta được các phương trình $\Delta P^*(\omega^*)$ ghi trong bảng 3-1 và các đường cong tương ứng trên hình 3-7.

Hiệu suất của hệ khi làm việc ở tốc độ điều chỉnh sẽ là

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P} = \frac{M\omega}{M\omega + M(\omega_0 - \omega)} = \omega^* \quad (3-10)$$



Hình 3-7. Quan hệ giữa tổn thất năng lượng và hiệu suất với tốc độ

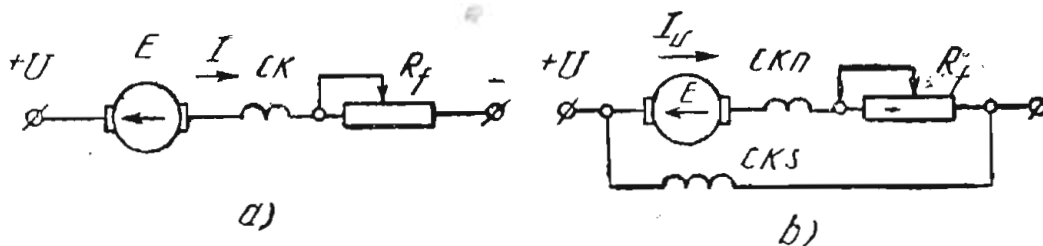
Biểu thức này chung cho tất cả các loại phụ tải. Đường cong hiệu suất cũng được vẽ trên hình 3-7.

Bảng 3-1

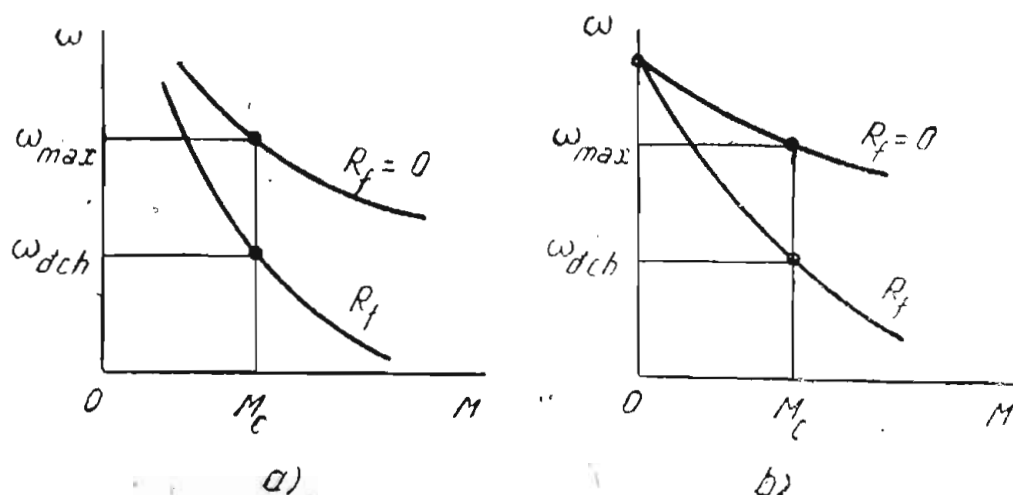
	Loại tải	$\Delta P^* =$	Đường cong số	Hiệu suất $\eta =$
-1	Máy tiện	$(1 - \omega^*)/\omega^*$	(-1)	ω^*
0	Máy nâng	$1 - \omega^*$	0	
1	Ma sát nhớt	$(1 - \omega^*)\omega^*$	1	
2	Quạt gió	$(1 - \omega^*)\omega^{*2}$	2	

Những quan hệ trên đây chứng tỏ chỉ tiêu năng lượng của phương pháp biến trở rất thấp. Bất lợi nhất là khi tải có công suất không đổi ($x = -1$). Khi đó tổn thất năng lượng rất lớn, thậm chí trong vùng $\omega < \frac{1}{2}\omega_0$ tổn thất trở nên lớn hơn công suất điện từ định mức!

3. Phương pháp biến trở dùng cho động cơ một chiều kích từ nối tiếp và hỗn hợp. Để điều chỉnh tốc độ các động cơ kích từ nối tiếp và hỗn hợp bằng phương pháp biến trở ta nối chúng theo các sơ đồ hình 3-8. Các đặc tính biến trở có dạng như trên hình 3-9.



Hình 3-8. Sơ đồ nguyên lý điều chỉnh tốc độ bằng điện trở phụ trong mạch phần ứng của động cơ một chiều kích từ nối tiếp (a) và kích từ hỗn hợp (b).



Hình 3-9. Các đặc tính biến trở của động cơ kích từ nối tiếp (a) và động cơ kích từ hỗn hợp (b).

Khi cho trước R_f các đặc tính điều chỉnh cũng được dựng như đã trình bày ở § 2-4.

Nếu cho trước tải M_c và tốc độ yêu cầu, ta có thể dựa vào đặc tính tự nhiên để xác định điện trở phụ cần thiết R_f theo biểu thức:

$$\omega_{đch} = \omega_{tn} \cdot \frac{U - (R_d + R_f)I_c}{U - R_d I_c}$$

hoặc

$$R_f = \frac{(\omega_{tn} - \omega_{đch})(U - R_d I_c)}{I_c \omega_{tn}} \quad (3-11)$$

trong đó I_c — dòng tải, tra theo đặc tính vạn năng $M^*(I^*)$ ứng với M_c .

ω_{tn} — tra theo đặc tính tự nhiên ứng với M_c đã cho.

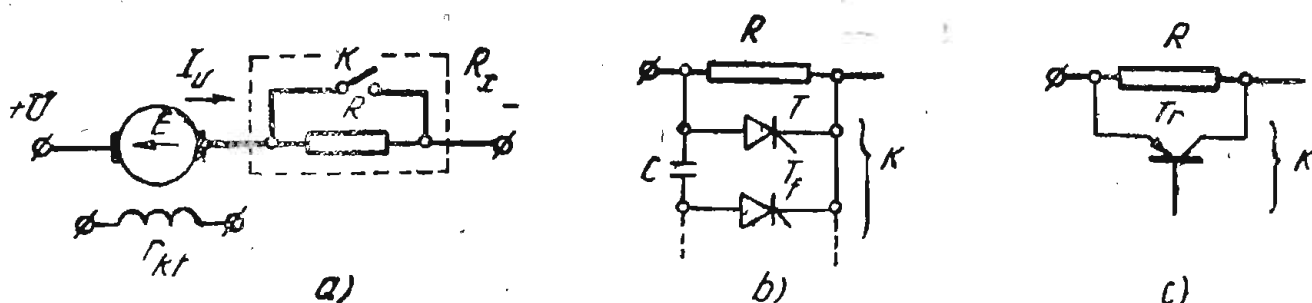
Đối với động cơ kích từ hỗn hợp việc tính-toán cũng được tiến hành tương tự như vậy.

Thực tế, động cơ kích từ nối tiếp thích hợp với máy nâng — vận chuyển và phương pháp điều chỉnh biến trở cũng thích ứng với loại máy này nên các sơ đồ hình 3-8 phổ biến hơn sơ đồ hình 3-3a.

3.3. ĐIỀU CHỈNH XUNG ĐIỆN TRỞ MẠCH ĐỘNG LỰC

1. Nguyên lý điều chỉnh.

Điều chỉnh tốc độ bằng biến trở là một phương pháp đơn giản nhưng có nhiều nhược điểm. Phần lớn các nhược điểm đều có liên quan đến dạng đặc tính cơ mềm và việc dùng điện trở nhiều cấp trong mạch lực (xem § 3-2). Phương pháp điều chỉnh xung điện trở sẽ khắc phục được một số nhược điểm quan trọng trên và mở ra khả năng tự động hóa hệ thống. Đây là một biện pháp phát triển của phương pháp biến trở.



Hình 3-10. Sơ đồ nguyên lý hệ điều chỉnh xung điện trở (a) và các loại khóa thực tế (b và c).

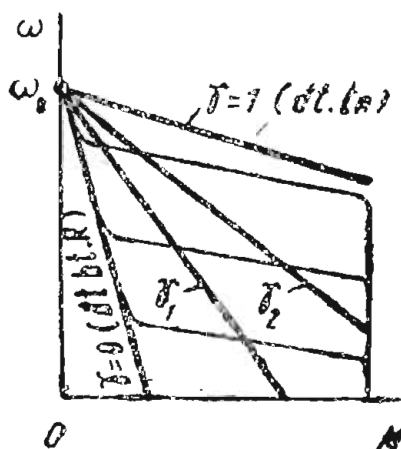
Sơ đồ nguyên lý của phương pháp này được vẽ trên hình 3-10a. Nó chỉ khác sơ đồ hình 3-3 ở chỗ sử dụng một «điện trở xung» R_x . Để làm R_x ta dùng một điện trở có giá trị không đổi R và một khóa K đóng cắt theo chu kỳ.

Tất nhiên không thể dùng các khí cụ cơ hoặc điện-từ-cơ kiểu role — công tắc tơ để làm khóa K , bởi vì chúng có độ tác động nhanh kém đến mức không thể điều khiển được dòng và tốc. chống hư hỏng do tác động ở tần số tương đối cao. Hiện nay người ta làm khóa K bằng các van bán dẫn điều khiển như tiristo hoặc tranzixto (hình 3-10b và c). Khóa tiristo dùng khi dòng lớn, cỡ trên

10 – 15A, với tần số đóng cắt khoảng 200 – 250 Hz. Tiristo T đóng vai trò chính trong việc đóng cắt điện trở R. Còn T_r , tụ C và các thiết bị phụ khác dùng để khóa (ngắt) T.

Khóa tranzixto dùng khi dòng nhỏ, cỡ dưới 10 A, với tần số đóng cắt cho phép cao hơn.

Nếu các khóa là lý tưởng, nghĩa là khóa có điện trở bản thân khi đóng là $R_{kh} = 0$ và khi ngắt là $R_{kh} = \infty$, thì khi K đóng $R_x = 0$ và khi K ngắt $R_x = R$. Như vậy, điện trở phụ trong mạch phần ứng động cơ thay đổi chu kỳ từ 0 đến R và điện trở toàn mạch – từ R_x đến $R_x + R$ (hình 3-12).



Hình 3-11. Các đặc tính điều chỉnh khi dùng điện trở xung.

Điện trở điều chỉnh trong trường hợp này sẽ có một giá trị tương đương R_{td} nằm giữa 0 và R. Nó phụ thuộc vào tương quan giữa các thời gian đóng t_d và cắt t_c của khóa. Giá trị đó quyết định độ cứng đặc tính cơ biến trở và trị số tốc độ của truyền động điện.

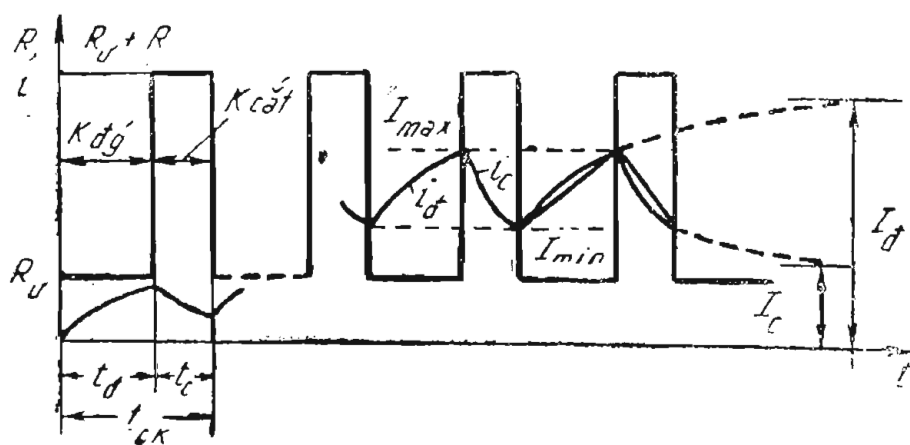
Thay đổi tương quan (tỷ số) giữa t_d và t_c của khóa ta sẽ thay đổi được R_{td} và do đó điều chỉnh được tốc độ.

Như vậy, bản chất của hiện tượng điều chỉnh ở đây hoàn toàn giống như phương pháp biến trở. Các đặc tính điều chỉnh có dạng như trên hình 3-11 (đường nét đậm).

2. Điện trở tương đương.

Có thể xác định điện trở tương đương R_{td} khi điều chỉnh xung một cách gần đúng trên nguyên tắc đẳng trị nhiệt. Ta suy luận như sau:

Khi khóa đóng, điện trở mạch giảm xuống còn R_x nên dòng tăng, còn khi khóa cắt, điện trở tăng thành $R + R_x$ nên dòng giảm.



Hình 3-12. Biến thiên điện trở và dòng điện theo thời gian khi điều chỉnh xung.

Vì mạch cảm tính nên dòng biến đổi theo quy luật hàm mũ như trên hình 8-12. Khi khởi động nó tăng từ 0 theo một đường răng cưa lũy tiến. Sau một thời gian đủ lớn, đường răng cưa đó trở nên xác lập và có I_{min} , I_{max} không thay đổi. Ta gọi trạng thái này là «tự xác lập».

Khi tựa xác lập, phương trình dòng điện sẽ là

$$\left. \begin{aligned} i_d &= I_d + (I_{\min} - I_d)e^{-\frac{t}{T_{dd}}}; \text{ (trong khoảng } t_d) \\ i_c &= I_c + (I_{\max} - I_c)e^{-\frac{t}{T_{dc}}}; \text{ (trong khoảng } t_c) \end{aligned} \right\} \quad (3-12)$$

trong đó, $I_d = (U - E)/R_x$ và $I_c = (U - E)/(R_x + R)$ — dòng xác lập ứng với trạng thái đóng và trạng thái cắt của khóa K;

$T_{dd} = L_x/R_x$ và $T_{dc} = L_x/(R_x + R)$ — hằng số thời gian điện từ của mạch phản ứng khi K đóng và cắt.

Vì tần số đóng cắt đủ lớn, nghĩa là $t_d, t_c \ll T_{dd}, T_{dc}$, nên ta có thể coi dòng điện tăng giảm theo đường thẳng từ $I_{\min}$ đến $I_{\max}$ và từ $I_{\max}$ đến $I_{\min}$. Như vậy trong cả hai khoảng t_d và t_c đều có một giá trị dòng, trung bình

$$I_{tb} = \frac{1}{2}(I_{\max} + I_{\min}) \quad (3-13)$$

Nhiệt lượng tỏa ra trên toàn mạch trong một chu kỳ sẽ là:

$$\Delta A = I_{tb}^2 (R_x + R) t_c + I_{tb}^2 R_x t_d \quad (3-14a)$$

Mặt khác, nếu coi mạch có một điện trở cố định R_{td} nào đó trong suốt cả chu kỳ, thì R_{td} này cũng phải bảo đảm cho dòng trong mạch đúng bằng I_{tb} và cũng tỏa ra một nhiệt lượng đúng bằng ΔA :

$$\Delta A = I_{tb}^2 R_{td} t_{ck} \quad (3-14b)$$

Cân bằng hai phương trình trên, rồi đặt $t_c = t_{ck} - t_d$, ta có

$$R_x + R_{td} = R_x + R(1 - t_d/t_{ck})$$

Đặt

$$\gamma = \frac{t_d}{t_{ck}} \text{ — độ rộng của xung điện trở, ta được} \quad R_{td} = R(1 - \gamma) \quad (3-15)$$

Như vậy, khi đã chọn trước điện trở R , giá trị của điện trở tương đương R_{td} phụ thuộc độ rộng xung điện trở γ . Thay đổi γ ta sẽ có những trị số khác nhau của R_{td} .

Độ rộng γ có thể thay đổi từ 0—1 bằng ba cách;

- Giữ t_{ck} không đổi, thay đổi thời gian đóng khóa t_d , gọi là « điều rộng »
- Giữ t_d không đổi, thay đổi thời gian chu kỳ t_{ck} , gọi là « điều tần »
- Thay đổi đồng thời cả t_d và t_{ck} , gọi là « điều rộng — tần »

Cách thứ nhất đơn giản hơn và được sử dụng nhiều nhất.

3. Các đặc tính điều chỉnh.

Khi điều chỉnh xung điện trở, ngay cả trong các chu kỳ tựa xác lập, dòng điện cũng biến đổi chu kỳ (hình 3-12). Do đó mômen và tốc độ cũng dao động tương ứng. Tuy nhiên do quán tính cơ học đủ lớn và thời gian chu kỳ đủ nhỏ nên tốc độ dao động không đáng kể.

Đối với các hệ có trạng thái làm việc tựa xác lập thì đặc tính được dựng theo giá trị trung bình của các đại lượng, ví dụ $\omega_{tb} = f(M_{tb})$. Khi đó điện trở điều chỉnh được biểu diễn theo giá trị tương đương (3-15).

Từ phương trình đặc tính biến trở (3-5) ta có:

$$\omega_{tb} = \frac{U}{k\Phi} - \frac{R_r + (1-\gamma)R}{(k\Phi)^2} M_{tb} \quad (3-16)$$

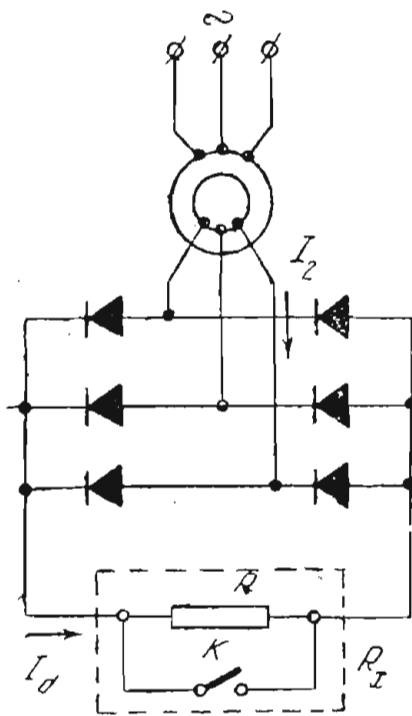
Khi thay đổi γ , ta được các đặc tính điều chỉnh. Chúng đều đi qua điểm không tải lý tưởng ω_0 và có độ cứng khác nhau tùy thuộc γ :

$$\beta_{ach} = \frac{(k\Phi)^2}{R_r + (1-\gamma)R}$$

Khi $\gamma=0$ ($t_d=0$, khóa thường xuyên cắt) ta có đặc tính thấp nhất; đó chính là đặc tính biến trở R . Khi $\gamma=1$ ($t_d=t_{ck}$, khóa thường xuyên đóng) ta có đặc tính cao nhất; đó là đặc tính tự nhiên. Các đặc tính có $0 < \gamma < 1$ đều nằm kẹp giữa hai đặc tính trên (xem hình 3-11).

Để dựng những đặc tính này, ta phải theo các số liệu của hệ điều khiển khóa để biết t_d và t_{ck} , sau đó tính γ , R_{td} và vẽ đặc tính biến trở theo (3-16) hoặc (3-5).

Chú ý rằng, thực tế các hệ điều chỉnh xung bao giờ cũng được thiết kế ở dạng tự động hóa, có các khâu hồi tiếp cần thiết. Do đó, khi tải hoặc một số thông số khác biến đổi, các khóa điều khiển sẽ tự động thay đổi mối tương quan giữa t_d và t_c để điều chỉnh lại γ theo hướng duy trì giá trị tốc độ đặt. Kết quả là ta được họ đặc tính điều chỉnh cứng như các đường nét nhỏ trên hình 3-11. Khả năng tự động hóa này là một ưu điểm lớn so với hệ điều chỉnh bằng biến trở cố định (xem §3-2).



Hình 3-13. Sơ đồ nguyên lý điều chỉnh xung điện trở mạch rôto của động cơ không đồng bộ.

4. Điều chỉnh xung điện trở rôto động cơ không đồng bộ.

Hình 3-13 vẽ một sơ đồ điều chỉnh xung điện trở rôto động cơ không đồng bộ đơn giản nhất. Dòng rôto sau khi qua chỉnh lưu cầu ba pha, biến thành dòng một chiều chạy qua điện trở điều chỉnh xung R_x .

Tương tự như mục 2, giá trị tương đương của điện trở này là $R_{td} = R(1-\gamma)$.

Để dựng đặc tính cơ, ta phải tính đổi mạch một chiều với điện trở R_{td} thành mạch xoay chiều ba pha với điện trở R_r trong mỗi pha, nghĩa là ta phải quy đổi mạch điện hình 3-13 thành dạng mạch hình 3-3b. Sau khi đã quy đổi, ta hoàn toàn có thể sử dụng các sơ đồ thay thế và những phương trình quen thuộc trong chương 2 để phân tích hệ.

Cơ sở để tính đổi là nhiệt lượng tỏa ra trên điện trở của hai trường hợp phải bằng nhau.

Đối với sơ đồ hình 3-13, tại mỗi thời điểm dòng I_d đều chạy qua hai pha rôto và mạch một chiều. Do đó

$$\Delta P = I_d^2(2r_2' + R_{td}) = k_{cl}^2 I_2^2(2r_2 + R_{td}), \quad (3-17a)$$

trong đó, $k_{cl} = I_d/I_2$ — hệ số biến đổi phụ thuộc sơ đồ chỉnh lưu. Đối với sơ đồ cầu ba pha, $k_{cl} = 1,23$.

Đối với sơ đồ nối điện trở R_f ba pha bình thường (hình 3-3b) thì

$$\Delta P = 3I_2^2(r_2 + R_f) \quad (3-17b)$$

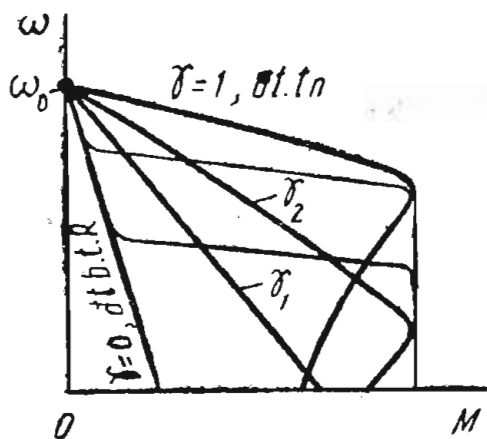
Cân bằng (3-17a) và (3-17b) rồi thay trị số $k_{cl}^2 \approx 1,5$ ta được:

$$R_f \approx \frac{1}{2} R_{td}. \quad (3-18)$$

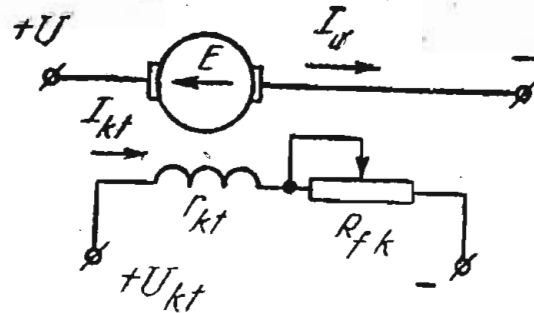
Điều đó có nghĩa là, nếu nối trong mạch một chiều của hình 3-13 một điện trở R_{td} thì đặc tính cơ của động cơ sẽ giống như khi dùng mạch bình thường hình (3-3b) với điện trở phụ ở mỗi pha là $R_f = \frac{1}{2} R_{td}$.

Như vậy, để dựng đặc tính cơ cho trường hợp này, đầu tiên ta phải dựa vào các thông số của mạch điều khiển khóa để biết khoảng thời gian đóng và cắt khóa (t_d, t_c), rồi suy ra γ , sau đó tính R_{td} theo (3-15), quy đổi ra R_f theo (3-18), cuối cùng dựng đặc tính biến trở R_f theo phương trình (3-5). Đó chính là đặc tính điều chỉnh xung ứng với độ rộng là γ .

Thay đổi γ từ 0—1 ta được họ đặc tính nét đậm trên hình 3-14. Khi sử dụng biện pháp tự động hóa ta được họ đặc tính nét nhỏ tốt hơn.



Hình 3-14 Các đặc tính điều chỉnh xung điện trở rôto.



Hình 3-15. Sơ đồ nguyên lý điều chỉnh kích từ của động cơ một chiều kích từ độc lập.

3-4. ĐIỀU CHỈNH KÍCH TỪ CỦA ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU

1. Nguyên lý điều chỉnh.

Phương pháp điều chỉnh kích từ có thể dùng được cho các loại động cơ một chiều. Sơ đồ nối dây của hệ thống được giới thiệu trên hình 3-15.

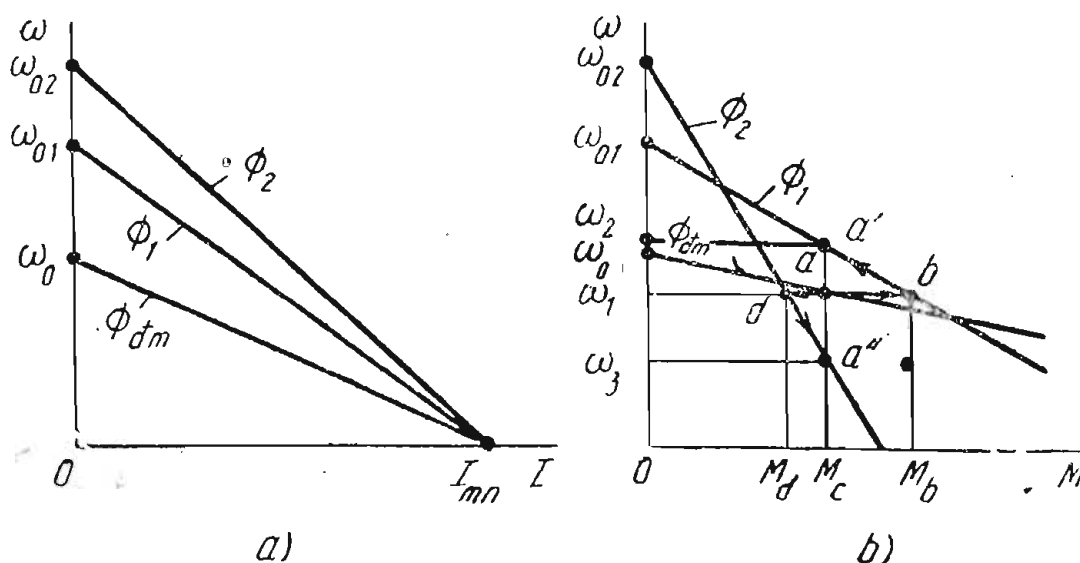
Chú ý rằng, người ta không đặt vấn đề «điều chỉnh tăng» từ thông. Bởi vì, một mặt là không cho phép nâng dòng kích từ lên lớn hơn giá trị định mức,

mặt khác do mạch từ khi từ thông định mức đã bão hòa rồi, nên nếu có cho phép tăng dòng kích từ đi nữa, thì từ thông cũng không tăng đáng kể.

Như đã nêu trong chương 2, khi điều chỉnh từ thông ta được hai họ đặc tính cơ điện và đặc tính cơ khác nhau (xem hình 3-16).

Giả thiết ban đầu động cơ đang làm việc với dòng kích từ định mức và tải là M_c . Khi đó điểm làm việc sẽ là điểm trên đặc tính tự nhiên (hình 3-16b) tương ứng với tốc độ ω_1 . Nếu ta nối thêm điện trở điều chỉnh $R_{f,k}$ vào mạch kích từ thì dòng i_{kt} sẽ giảm và từ thông sẽ là $\Phi < \Phi_{dm}$. Vì quán tính cơ học nên tốc độ biến đổi chậm hơn từ thông, do đó S.Đ.Đ. phản ứng giảm xuống và dòng điện phản ứng tăng lên.

Nếu từ thông chỉ giảm trong một phạm vi đủ nhỏ nào đó, thì hiện tượng nêu trên làm tăng mômen của động cơ, nghĩa là mômen M_b của động cơ lúc đó lớn hơn mômen tải ($M_b > M_c$) và truyền động sẽ tăng tốc. Mặt khác, do tốc độ tăng lên S.Đ.Đ. phản ứng tăng và dòng phản ứng giảm. Kết quả là mômen của động cơ giảm dần cho đến khi cân bằng với mômen tải thì hệ sẽ làm việc xác lập với tốc độ $\omega_2 > \omega_1$ (điểm a' trên hình 3-16b).



Hình 3-16. Đặc tính dòng (a) và đặc tính cơ (b) của động cơ một chiều kích từ độc lập khi điều chỉnh kích từ.

Nếu từ thông giảm đến một mức độ nào đó, thì dòng phản ứng sẽ tăng rất lớn và gây sụt áp quá lớn trên điện trở mạch phản ứng. Nói cách khác, trường hợp này tồn tại trong mạch chính tăng lớn quá nên năng lượng điện từ chuyển cho động cơ giảm đi. Kết quả là mômen động cơ trở nên nhỏ hơn mômen tải ($M_d < M_c$) và truyền động sẽ giảm tốc. Tương tự như trên, sau quá trình quá độ, hệ sẽ làm việc xác lập tại điểm a'' ứng với tốc độ $\omega_3 < \omega_1$.

Như trên đã nêu, khi giảm từ thông, tốc độ có thể tăng nhưng cũng có thể giảm. Nhận xét đó đúng với tải $M_c = \text{const}$ hoặc M_c là hàm tăng của tốc độ.

Nếu mômen tải là hàm giảm của tốc độ ($M_c \equiv \frac{1}{\omega}$) thì có thể tốc độ, chỉ tăng đơn trị: từ thông càng giảm, tốc độ càng tăng đồng thời mômen cần càng giảm. Do đó dòng I_r nằm ở mức không gây sụt áp và sụt tốc lớn quá.

Để thấy rõ quan hệ giữa tốc độ với từ thông và mômen tải, ta xét trường hợp đơn giản nhất khi $M_c = \text{const}$. Từ phương trình đặc tính cơ, với $R_r = \text{const}$ và $M_c = \text{const}$ ta có:

$$\omega = \frac{U}{k\Phi} - \frac{M_c R_r}{(k\Phi)^2} = \frac{A}{k\Phi} - \frac{B}{(k\Phi)^2} \quad (3-19)$$

Như vậy, $\omega = f(k\Phi)$ là một hàm đa trị. Nó đạt cực đại khi $d\omega/d(k\Phi) = 0$ tương ứng có $k\Phi_{ctri}$:

$$k\Phi_{ctri} = \frac{2M_c R_r}{U} = 2 \frac{M_c}{I_{nm}} \quad (3-20)$$

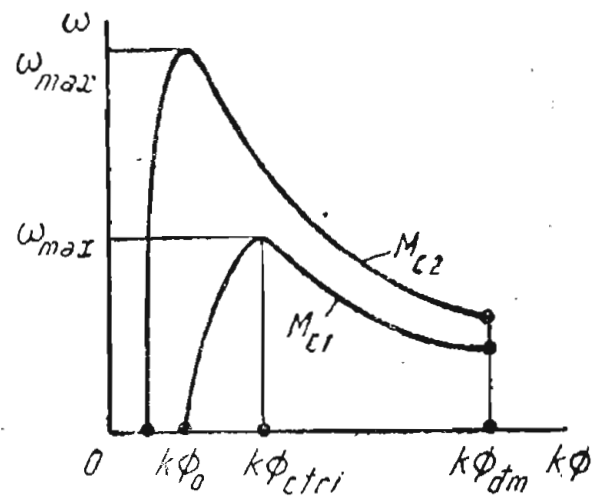
$$\omega_{max} = \frac{U}{k\Phi_{ctri}} - \frac{R_r M_c}{(k\Phi_{ctri})^2} = \frac{1}{4} \frac{U^2}{R_r M_c} \quad (3-21)$$

Tốc độ sẽ bằng không khi $k\Phi = k\Phi_0$. Từ (3-19) ta tìm được:

$$k\Phi_0 = \frac{R_r M_c}{U} = \frac{M_c}{I_{nm}} = \frac{1}{2} k\Phi_{ctri} \quad (3-22)$$

Quan hệ $\omega = f(k\Phi)$ khi $M_c = \text{const}$ được biểu diễn trên hình 3-17. Rõ ràng là với M_{c1} nào đó, khi giảm từ thông từ giá trị $k\Phi_{dm}$, tốc độ sẽ tăng. Khi $k\Phi = k\Phi_{ctri}$, tốc độ đạt cực đại. Sau đó, nếu tiếp tục giảm từ thông thì tốc độ sẽ giảm, và khi $k\Phi = k\Phi_0$ thì $\omega = 0$.

Nếu giảm mômen tải ($M_{c2} < M_{c1}$) thì quy luật cũng như vậy nhưng tốc độ cao hơn, $k\Phi_{ctri}$ và $k\Phi_0$ bé hơn.



Hình 3-17. Quan hệ $\omega = f(k\Phi)$ khi $M_c = \text{const}$ $M_{c2} < M_{c1}$.

2. Các chỉ tiêu chất lượng.

Khi giảm từ thông, độ cứng đặc tính cơ sẽ giảm theo biểu thức $\beta = (k\Phi)^2/R_r$, còn tốc độ không tải lý tưởng thì tăng theo quan hệ $\omega_0 = U/k\Phi$. Do đó sai số tĩnh tăng tỷ lệ ngược với từ thông:

$$\Delta\omega^* = \frac{M_c}{\beta} \frac{1}{\omega_0} = \frac{M_c R_r}{U} \frac{1}{k\Phi} \quad (3-23)$$

Như vậy, độ chính xác duy trì tốc độ không cao.

Vì mạch kích từ có công suất nhỏ (bằng khoảng 2 – 5% công suất định mức của động cơ) nên có thể thực hiện điều chỉnh tinh hoặc vô cấp. Cũng có thể không dùng điện trở $R_{f,k}$ mà dùng một bộ nguồn điều áp lấy từ thiết bị biến đổi để điều chỉnh kích từ. Khi đó ta có khả năng tự động hóa hệ thống và tạo được những đặc tính tốt.

Nói chung, giải điều chỉnh không rộng. Tốc độ nhỏ nhất ω_{min} bị chặn bởi đặc tính tự nhiên (khi $\Phi = \Phi_{dm}$). Tốc độ lớn nhất ω_{max} bị giới hạn bởi độ bền cơ khí và điều kiện chuyển mạch của động cơ. Những động cơ thông dụng chỉ cho phép $\omega_{max} \leq 1,5\omega_{dm}$, nghĩa là $D \leq 1,5$. Các động cơ đặc biệt có thể có $D = 4 \div 8$, nhưng loại này to và đắt.

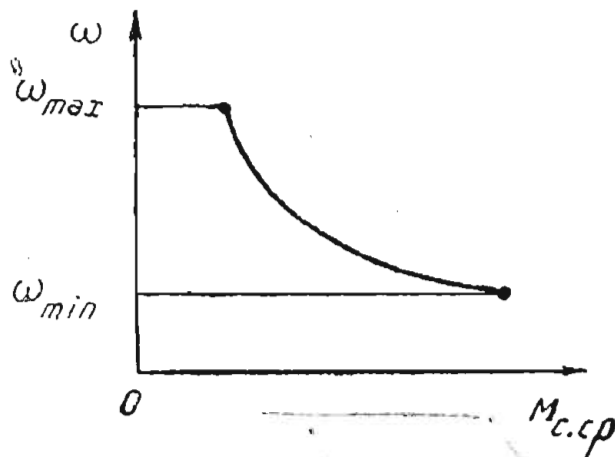
Để xác định mômen tải cho phép $M_{c.cp}$ ta phải xác định quan hệ giữa từ thông và tốc độ. Xuất phát từ phương trình cân bằng áp trong mạch phản ứng:

$$U = k\Phi\omega + I_{\alpha}R_{\alpha} \approx k\Phi\omega$$

ta có
$$k\Phi \approx \frac{U}{\omega} \quad (3-24)$$

Thay (3-24) vào biểu thức của mômen tải cho phép ta được:

$$M_{c.cp} = k\Phi I_{dm} \approx \frac{UI_{dm}}{\omega} \quad (3-25)$$



Hình 3-18. Đặc tính tải cho phép khi điều chỉnh từ thông.

Đó là quan hệ hypecbol (hình 3-18). Từ quan hệ này ta thấy phương pháp điều chỉnh kích từ chỉ thích hợp với loại tải có mômen cản tỷ lệ nghịch với tốc độ.

Phương pháp điều chỉnh kích từ có chỉ tiêu kinh tế cao. Nó không yêu cầu nhiều thiết bị phức tạp, công suất mạch điều chỉnh nhỏ và tổn thất năng lượng không nhiều. Nếu phụ tải phù hợp với đặc tính $M_{c.cp}(\omega)$ thì tổn thất năng lượng khi làm việc ở các tốc độ điều chỉnh xấp xỉ với trường hợp làm việc ở tốc độ cơ bản.

3. Đặc điểm điều chỉnh từ thông của động cơ kích từ nối tiếp.

Để điều chỉnh từ thông của động cơ kích từ nối tiếp, ta dùng một biến trở $R_{f.k.}$ nối song song với cuộn kích từ như hình 3-19a. Khi đó, điện trở toàn mạch động cơ là:

$$R_{\alpha} + \frac{R_{kt} \cdot R_{fk}}{R_{kt} + R_{fk}}$$

và phương trình đặc tính cơ điện sẽ là

$$\omega = \frac{U - \left(R_{\alpha} + \frac{R_{kt}R_{fk}}{R_{kt} + R_{fk}} \right) I_{\alpha}}{k\Phi(I_{kt})} \quad (3-26)$$

trong đó, từ thông $\Phi(I_{kt})$ được xác định theo đường cong vạn năng $\Phi = f(I_{kt})$ dựa vào giá trị I_{kt} .

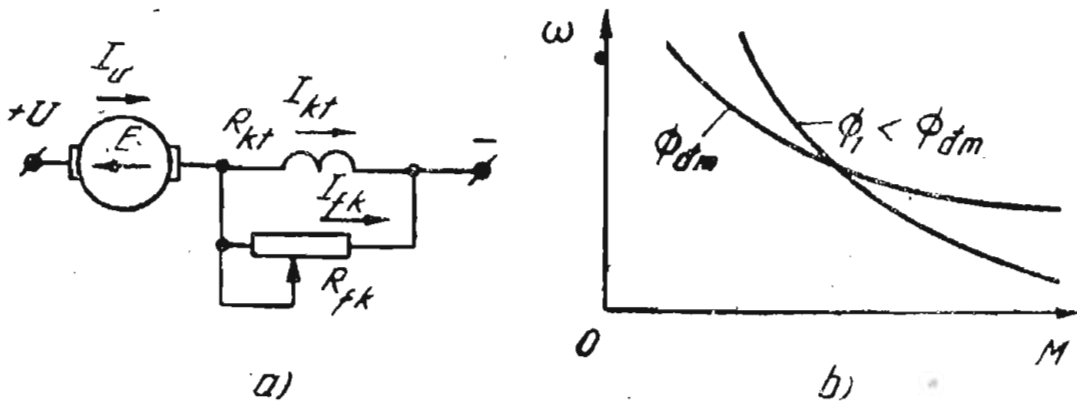
Giá trị dòng kích từ phụ thuộc vào dòng phản ứng theo biểu thức

$$I_{kt} = I_{\alpha} \frac{R_{fk}}{R_{fk} + R_{kt}} \quad (3-27)$$

Dựa vào (3-26), (3-27) và các đặc tính vạn năng ta có cách dựng đặc tính cơ điều chỉnh như sau: khi cho trước giá trị R_{fk} , ta tự chọn một dãy trị số I_{α} , rồi tính I_{kt} , sau đó tra theo đường cong vạn năng và tính mômen:

$$M = k\Phi(I_{kt}) I_{\alpha}$$

Mặt khác, theo (3-26) ta tính được trị số tốc độ. Từ đó có thể dựng đặc tính cơ với R_{fk} bất kỳ. Đặc tính điều chỉnh được giới thiệu trên hình 3-19b.



Hình 3-19. Sơ đồ nguyên lý và đặc tính cơ của động cơ kích từ nối tiếp khi điều chỉnh từ thông.

4. Xác định điện trở điều chỉnh.

Khi điều chỉnh tốc độ trong giải không lớn ta có thể tính được điện trở điều chỉnh theo phương pháp gần đúng như sau;

Từ tốc độ yêu cầu ω_{yc} , theo (3-24) ta xác định được từ thông cần thiết:

$$k\Phi_{yc} = \frac{U}{\omega_{yc}}, \text{ hoặc } \Phi_{yc}^* = \frac{1}{\omega_{yc}^*} \quad (3-24b)$$

Với trị số Φ_{yc}^* này, sử dụng đường cong từ hóa $\Phi^*(I_{kt}^*)$ của máy điện ta tìm được dòng kích từ cần thiết I_{ktyc}^* . Cuối cùng điện trở điều chỉnh R_{fk} được xác định theo I_{ktyc}^* . Biểu thức tính toán nó được suy ra như sau:

Đối với động cơ kích từ độc lập (hình 3-15) ta có phương trình cân bằng áp

$$U = I_{kt}R_{kt} + I_{kt}R_{fk}$$

nên

$$\frac{R_{fk}}{R_{kt}} = \frac{U}{I_{kt}R_{kt}} - 1$$

Để viết theo đơn vị tương đối, ta đặt $R_{fk}/R_{kt} = R_{fk}^*$, $U/R_{kt} = I_{ktm}$ và $I_{fk}/I_{ktm} = I_{fk}^*$. Từ đó ta có

$$R_{fk}^* = \frac{1}{I_{kt}^*} - 1 \quad (3-28a)$$

Đối với động cơ kích từ nối tiếp (hình 3-19b) thì

$$\begin{cases} I_{kt}R_{kt} = I_{fk}R_{fk} \\ I_{fk} = I_u - I_{kt} \end{cases} \quad (3-28a)$$

nên

$$R_{fk} = \frac{I_{kt}R_{kt}}{I_u - I_{kt}}$$

Vì I_{ur} chính là dòng kích từ khi $R_{fk} = \infty$, nên ta có thể viết $I_{ur} = I_{kt \cdot dm}$. Do đó, nếu chia tử và mẫu thức của vế phải trong phương trình trên cho I_{ur} ta được

$$R_{fk}^* = \frac{1}{\frac{1}{I_{kt}^*} - 1} \quad (3-28b)$$

Thay giá trị I_{ktyc}^* vào công thức tương ứng (3-28a) hoặc (3-28b) ta sẽ được R_{fk}^* , do đó được

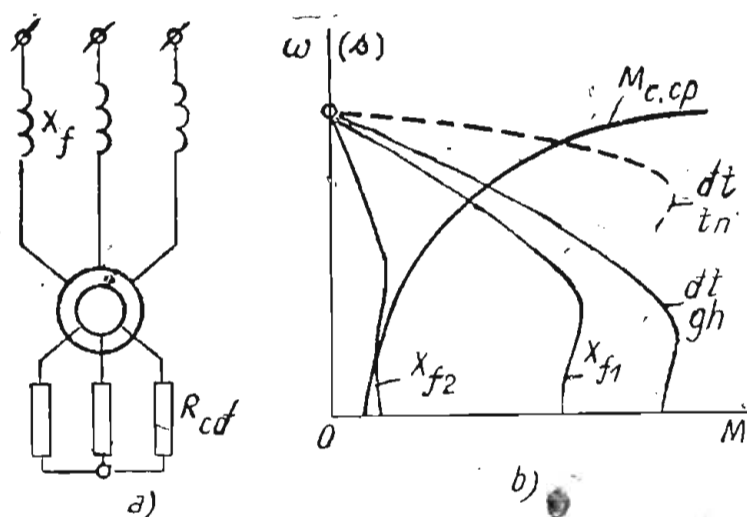
$$R_{fk} = R_{fk}^* R_{kt} \quad (3-29)$$

3-5. ĐIỀU CHỈNH TRỞ - KHÁNG CỦA MẠCH STATO

1. Nguyên lý điện chỉnh.

Như đã phân tích trong chương 2, ta có thể làm biến dạng đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ, nghĩa là điều chỉnh tốc độ của nó, bằng cách nối vào mạch stato một điện trở phụ hoặc một điện kháng phụ. Thực tế, việc dùng điện trở phụ có hiệu quả rất kém nên ít được ứng dụng. Vì vậy tiết này chỉ xét phương pháp dùng điện kháng phụ. Phương pháp này có thể

ứng dụng cho cả động cơ rôto quấn dây và cả động cơ rôto lồng sóc, trong đó động cơ rôto quấn dây cho hiệu quả tốt hơn.



Hình 3-20. Sơ đồ nguyên lý (a) và các đặc tính điều chỉnh (b) của động cơ không đồng bộ khi dùng kháng trong mạch stato.

Sơ đồ nối cuộn kháng được vẽ trên hình 3-20. Khi nối kháng vào mạch stato, dòng điện stato và kéo theo cả dòng rôto giảm xuống, do đó mômen của động cơ giảm, trở nên nhỏ hơn mômen tải và hệ sẽ giảm tốc. Kết quả là động cơ sẽ chuyển sang làm việc xác lập ở tốc độ thấp hơn cơ bản.

Thay đổi trị số điện kháng X_f ta sẽ được các tốc độ khác nhau.

Từ các biểu thức (2-78) và (2-79) ta thấy, khi nối thêm kháng, độ trượt tới hạn và mômen tới hạn đều giảm. Do đó các đặc tính điều chỉnh (đường X_{f1} , X_{f2}) có dạng như trên hình 3-20b. những đường cong này đều thỏa mãn phương trình (2-80)

2. Các chỉ tiêu chất lượng.

Nếu chỉ dùng loại kháng đơn giản thì phương pháp này có chất lượng thấp. Cụ thể là hệ thống chỉ điều chỉnh theo hướng thấp hơn tốc độ cơ bản và điều chỉnh không triệt để (không điều chỉnh được ω_0). Càng điều chỉnh sâu, mômen tới hạn và độ trượt tới hạn càng nhỏ, do đó khả năng mang tải càng kém và độ ổn định tĩnh cũng như động của hệ càng thấp. Độ cứng của các đặc tính cơ điều chỉnh khá nhỏ nên độ chính xác đặt tốc độ kém.

Các chỉ tiêu năng lượng cũng đều xấu. Tồn thất năng lượng khi làm việc trên đặc tính điều chỉnh là $M\omega_0 s$ tương ứng với hiệu suất

$$\eta = \frac{P_2}{P_{1\text{td}}} = \frac{3I_2^2 R_2' (1-s)/s}{3I_2^2 (R_1 + R_2'/s)} = \frac{1-s}{as+1} = \frac{\omega^*}{a(1-\omega^*)+1} \quad (3-30)$$

Trong đó, $P_{1\text{td}} = 3I_2^2 (R_1 + R_2'/s)$ – công suất tác dụng lấy từ lưới;

$$a = R_1/R_2'.$$

Đối với động cơ nhỏ, ta coi $a \approx 1$, lúc đó quan hệ (3-30) được biểu diễn thành đường cong hình 3-21. Từ đây ta thấy hiệu suất giảm rất nhanh khi giảm tốc độ.

Hệ số công suất thấp do nối thêm kháng. Chính những chỉ tiêu nêu trên đã hạn chế giải điều chỉnh tốc độ. Những hệ tối giản dùng phương pháp này chỉ cho phép $D \leq 1,5$.

Mômen tải cho phép khi điều chỉnh được

xác định từ biểu thức $M = \frac{3I_2^2 R_2'}{\omega_0 s}$ bằng cách thay

$$I_2' = I_{2dm}:$$

$$M_{c.cp} = \frac{3I_{2dm}^2 R_2'}{\omega_0} \cdot \frac{1}{s} = \frac{M_{dm} s_{dm}}{s} = \frac{M_{dm} (\omega_0 - \omega_{dm})}{\omega_0 - \omega} \quad (3-31)$$

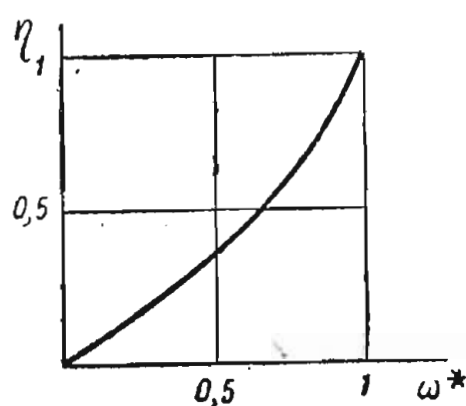
Quan hệ $M_{c.cp}(\omega)$ có dạng như trên hình 3-20b. Nó chứng tỏ phương pháp này thích hợp với những máy có đặc tính cơ kiểu quạt gió ($M_e^* = \omega^{*2}$) hoặc có mômen cản là hàm tăng của tốc độ.

3. Hệ kháng bão hòa—động cơ (KBH-Đ)

Do những nhược điểm nêu trên nên phương pháp điều chỉnh bằng kháng phụ ở dạng đơn giản không dùng được trong thực tế. Nó chỉ có ý nghĩa nếu dùng kháng bão hòa.

Kháng bão hòa gồm cuộn dây làm việc W_{lv} và cuộn từ hóa W_{lh} quấn chung trên một gông từ. Nó có thể là một pha hoặc ba pha, Sơ đồ nối kháng bão hòa để điều chỉnh tốc độ động cơ không đồng bộ theo hệ «kháng bão hòa—động cơ» được vẽ trên hình 3-22.

Khi thay đổi dòng từ hóa I_{lh} nhờ biến trở đặt tốc độ BT, độ thẩm từ của lõi kháng sẽ biến đổi, do đó điện kháng của cuộn làm việc X_{lv} (chính là X_r ở

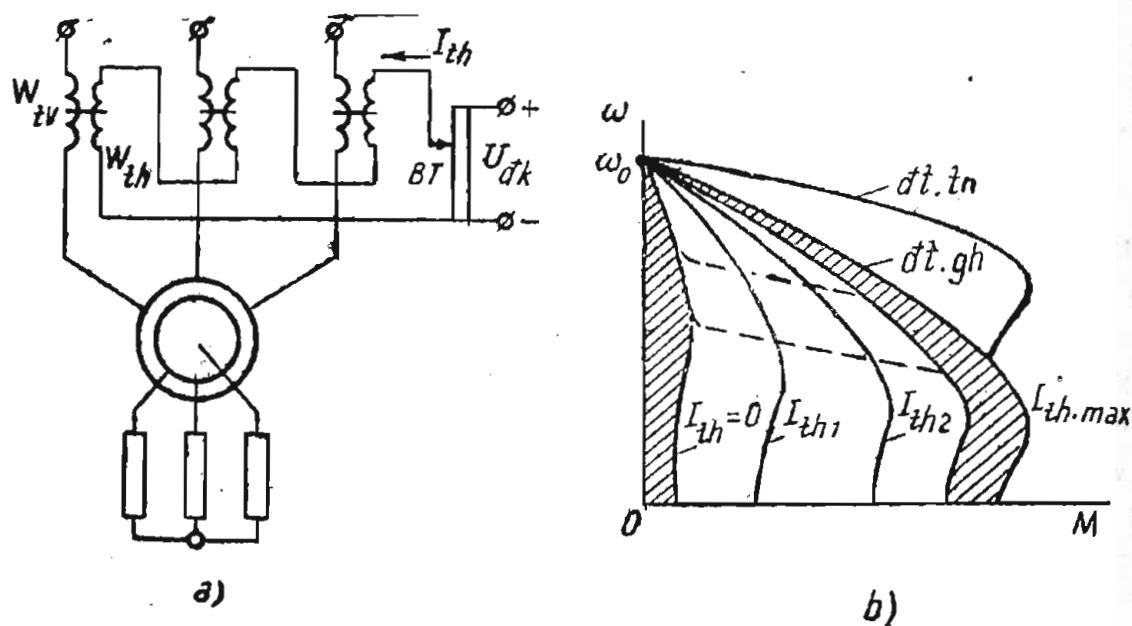


Hình 3-21. Quan hệ giữa hiệu suất của truyền động điện và tốc độ khi điều chỉnh bằng điện kháng.

mục 1) biến đổi cho ta các đặc tính điều chỉnh như trên hình 3-22b. Mỗi đường ứng với một trị số của dòng từ hóa I_{th} .

Như vậy, cuộn kháng bão hòa là một biến kháng không tiếp điểm. Nó cho phép điều chỉnh tinh (vô cấp), đồng thời xây dựng được hệ tự động hóa để ổn định tốc độ. Do đó hệ KBH-Đ có họ đặc tính cơ cứng như đường nét đứt trên hình 3-22b, với mômen tới hạn lớn, khả năng quá tải và độ ổn định cao, sai số đặt tốc độ nhỏ.

Nếu dùng động cơ rôto quấn dây thì người ta còn nối thêm một bộ điện trở phụ cố định R_{cd} vào mạch rôto để tăng độ trượt tới hạn và đưa một phần tổn thất trượt cho tỏa nhiệt ra ngoài động cơ.



Hình 3-22. Sơ đồ nguyên lý (a) và các đặc tính điều chỉnh (b) của hệ KBH-Đ

Hệ KBH-Đ có giải điều chỉnh $D = 2 - 5$.

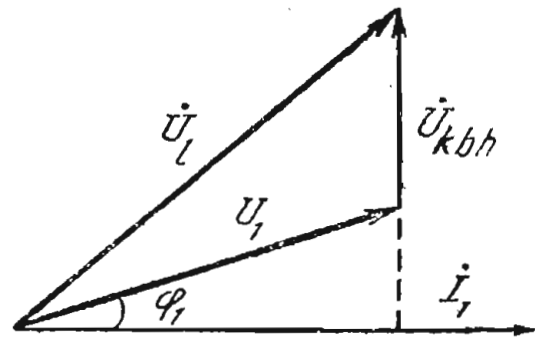
Tuy nhiên, nếu mở rộng D hơn nữa thì tổn thất trượt trong rôto ($M\omega_0 s$) quá lớn và động cơ bị đốt nóng quá mức. Ngoài ra hệ này vẫn còn tồn tại hai «vùng chết» (không điều chỉnh được): vùng thứ nhất nằm giữa đường đặc tính cơ có $I_{th.max}$ và đặc tính cơ giới hạn, (đặc tính cơ giới hạn là đường ứng với trường hợp ngắn mạch cuộn kháng và có R_{cd} trong mạch rôto). Vùng thứ hai nằm giữa trục tung và đường có $I_{th} = 0$. Sở dĩ có hai vùng đó là vì khi dòng từ hóa đạt cực đại $I_{th.max}$, X_{lv} vẫn có một trị số nhỏ gây sụt áp nên đặc tính này không thể trùng với đặc tính giới hạn; còn khi kháng bị khử từ hoàn toàn ($I_{th} = 0$), X_{lv} vẫn có giá trị hữu hạn nên đặc tính tương ứng không thể sát trục tung.

Vì kháng bão hòa là một phần tử phi tuyến rõ rệt, nên các đặc tính của hệ này được dựng theo phương pháp đồ thị. Số liệu cho trước gồm các đặc tính tự nhiên của động cơ như $M(s)$, $I_1(s)$, $\cos\varphi_1(s)$ và đặc tính volt – ampe của kháng $U_{kbh}(I_1)$.

Để dựng đặc tính điều chỉnh $M(s)$ ta phải tiến hành theo trình tự sau: Vẽ đặc tính $U_{kbh} = f(I_1)$ khi $s = \text{const}$, rồi kết hợp với đặc tính volt-ampe của kháng $U_{kbh} = f(I_1)$ khi $I_{th} = \text{const}$, để tìm ra quan hệ $s(I_1)$ khi $I_{th} = \text{const}$. Sau

đó, suy từ quan hệ $s(I_1)$ sang $s(I_1^2)$ và cuối cùng tìm ra quan hệ $s(M)$. Suy từ I_1 ra I_1^2 là một phép đơn giản, còn suy từ I_1^2 ra M thì phải dùng đường phụ $M(I_1^2)$ khi $s = \text{const}$. Sau đây sẽ trình bày trình tự đó.

Trước hết ta tìm quan hệ $U_{kbb} = f(I_1)$ khi $s = \text{const}$. Vì s không đổi nên tổng trở của mạch điện thay thế hình Γ (xem hình 2-41) là $Z = \text{const}$ và góc pha tương ứng $\varphi_1 = \text{const}$. Với góc φ_1 đó, nếu bỏ qua điện trở của kháng, ta được đồ thị vectơ điện áp cho một pha của động cơ như hình 3-23,



Hình 3-23. Đồ thị vectơ điện áp một pha của động cơ khi $s=s_1$ không đổi.

Từ đồ thị vectơ ta có thể viết.

$$U_{kbb} = \sqrt{U_L^2 - U_1^2 \cos^2 \varphi_1} - U_1 \sin \varphi_1$$

trong đó, U_{kbb} — áp rơi trên kháng; U_1 — áp đặt lên stato; U_L — áp pha của lưới; φ_1 — góc lệch giữa áp và dòng stato của động cơ.

Chia hai vế của phương trình trên cho U_L :

$$\frac{U_{kbb}}{U_L} = \sqrt{1 - \left(\frac{U_1}{U_L}\right)^2 \cos^2 \varphi_1} - \frac{U_1}{U_L} \sin \varphi_1$$

Vì độ trượt s không đổi nên Z không đổi, ta có

$$\frac{U_1}{U_L} = \frac{U_1/Z}{U_L/Z} = \frac{I_1}{I_{1\max}} \quad (3-32)$$

trong đó I_1 — dòng stato ở độ trượt s khi có nối kháng trong mạch;

$I_{1\max}$ — dòng stato cũng ở độ trượt đó, khi áp trên stato là U_L lệch pha khỏi dòng I_1 một góc bằng φ_1 .

Thay (3-32) vào phương trình trên, ta sẽ được quan hệ $U_{kbb} = f(I_1)$ khi $s = \text{const}$:

$$\frac{U_{kbb}}{U_L} = \sqrt{1 - \left(\frac{I_1}{I_{1\max}}\right)^2 \cos^2 \varphi_1} - \frac{I_1}{I_{1\max}} \sin \varphi_1$$

Quan hệ đó có dạng ellip như trên hình 3-24.

Cứ một giá trị s (ứng với một giá trị tốc độ ω), ta lại xác định được một trị số của Z , φ_1 , $I_{1\max}$ và có được một phương trình (3-33) tương ứng với một đường cong $s_1, s_2, \dots$ trên hình 3-24.

Cũng trên mặt phẳng $[U_{kbb}, I_1]$ này ta vẽ họ đặc tính volt-ampe của kháng, đó là những đường cong $U_{kbb} = f'(I_1)$ khi $I_{th} = \text{const}$.

Để tiến tới dựng đặc tính cơ ứng với một dòng từ hóa I_{th1} nào đó của kháng, ta lấy giao điểm của đặc tính volt-ampe khi $I_{th1} = \text{const}$ với tất cả các đường có $s_1, s_2, \dots$ không đổi. Mỗi giao điểm cho ta một cặp tọa độ $[s, I_1]$ tương ứng. Bằng cách đặt những giá trị s đó lên một trục ở góc phần tư thứ tư trên hình 3-24, ta được quan hệ $s(I_1)$ khi $I_{th1} = \text{const}$.

Muốn dựng được đặc tính cơ, ta dựa vào đường cong $s(I_1)$ vừa tìm ở trên và xác định mômen tương ứng với các giá trị I_1 .

Ta biết mômen tỷ lệ với bình phương của điện áp stato. Nếu giữ $s = \text{const}$ thì như trên đã phân tích, điện áp tỷ lệ với dòng stato, nên mômen tỷ lệ với bình phương của dòng điện, nghĩa là

$$\frac{M}{M_{gh}} = \left(\frac{U_1}{U_1} \right)^2 = \left(\frac{I_1}{I_{1\max}} \right)^2 \text{ với } s = \text{const.}$$

hoặc

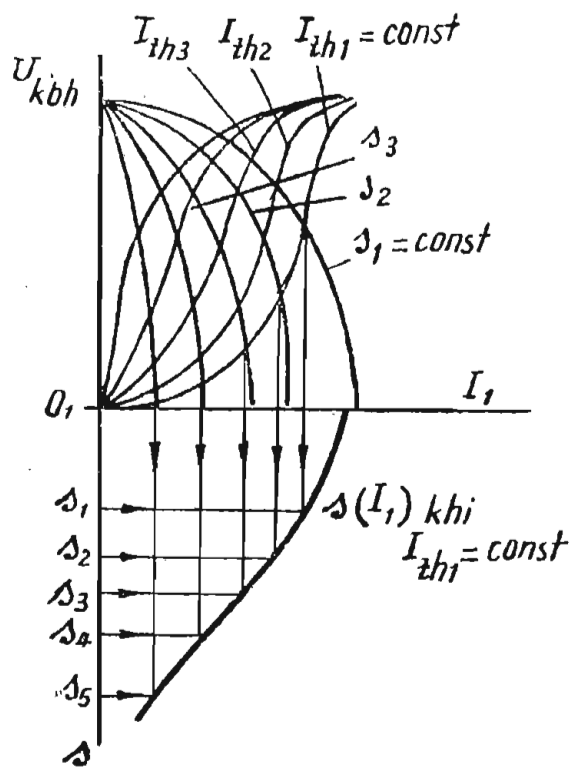
$$M = \frac{M_{gh}}{I_{1\max}^2} I_1^2 \quad (3-34)$$

trong đó, M_{gh} — mômen trên đặc tính giới hạn ứng với s đã chọn;

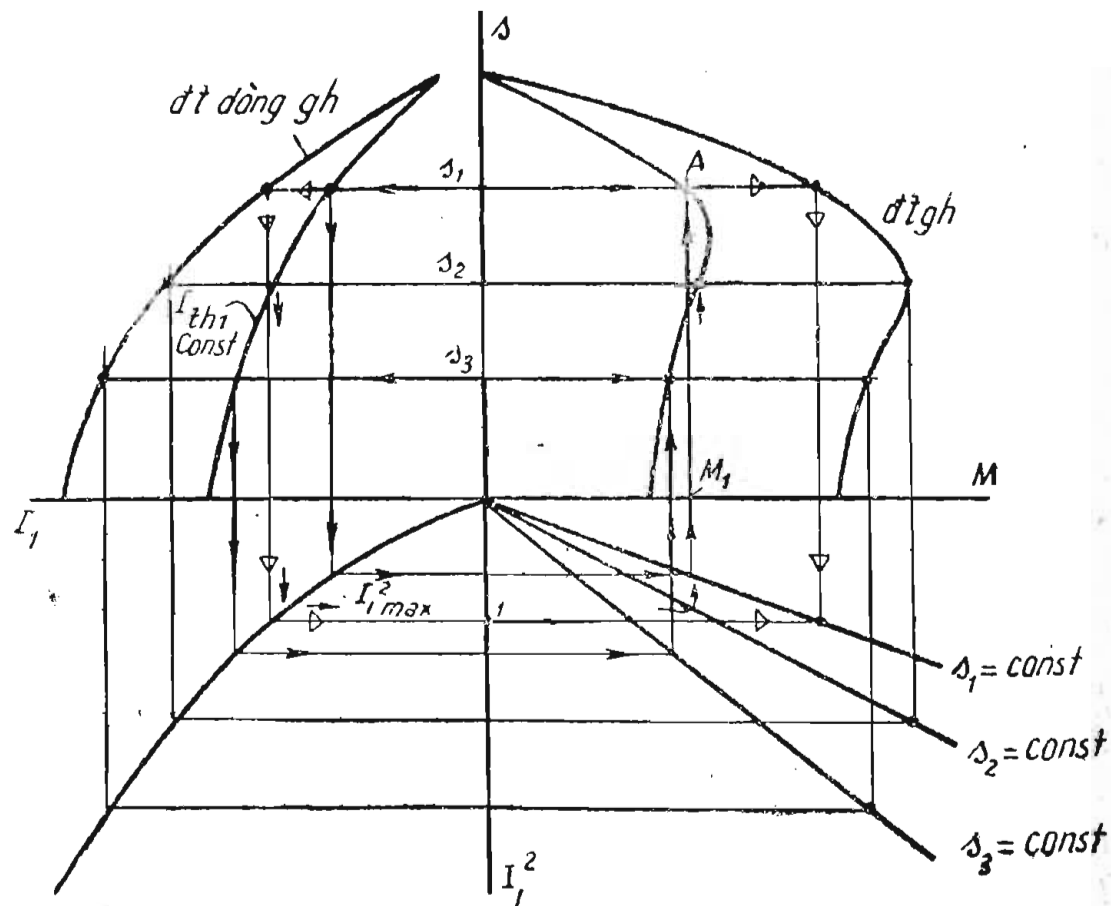
$I_{1\max}$ — dòng stato trên đặc tính dòng giới hạn cũng ứng với độ trượt đó;

M và I_1 — momen và dòng stato khi điều chỉnh với s đã chọn.

Như vậy, khi đã biết các đặc tính giới hạn thì từ giá trị độ trượt s đã chọn,



Hình 3-24. Dựng đặc tính $s(I_1)$ bằng đồ thị.



Hình 3-25. Dựng đặc tính $M(I_1^2)$ và đặc tính cơ $s(M)$ bằng đồ thị.
Mũi tên trắng — dựng đường $M(I_1^2)$; mũi tên đen — đường $s(M)$.

ta xác định được hệ số M_{gh}/I_{1max}^2 , và dựng được quan hệ $M = f(I_1^2)$ theo (3-34). Quan hệ đó là đường thẳng đi qua gốc tọa độ (góc phần thứ IV, hình 3-25).

Để thuận tiện khi dựng các đặc tính, trước hết ta vẽ đường parabol $I_1^2 = f(I_1)$ trên góc phần tư thứ III (hình 3-25). Trên góc thứ I ta vẽ đặc tính cơ giới hạn, còn góc thứ II vẽ đặc tính dòng giới hạn và họ $s(I_1)$ đã tìm được từ hình 3-24.

Sau đó, dựng các tia $M = f(I_1^2)$ theo trình tự chỉ dẫn bằng mũi tên trắng trên hình vẽ. Mỗi tia ứng với một giá trị s cố định. Cuối cùng, đặc tính cơ điều chỉnh $s(M)$ ứng với một dòng từ hóa I_{th_1} nào đó của kháng sẽ được dựng như sau:

Từ giá trị s_1 tự chọn trên trục tung, dóng sang trái, gặp đường $s(I_1)$ với $I_{th_1} = \text{const}$, ta được I_1 ; rồi dóng xuống đường $I_1^2(I_1)$ ta được I_1^2 , lại dóng sang phải, cho gặp tia $M(I_1^2)$ khi $s_1 = \text{const}$, ta được M_1 . Từ giá trị M_1 này và giá trị s_1 đã chọn, ta được điểm A trên góc thứ I. Đó là 1 điểm trên đặc tính cơ có $I_{th_1} = \text{const}$. Lần lượt lấy $s_2, s_3 \dots$ rồi làm theo trình tự có ghi mũi tên đen trên hình 3-25, ta được đặc tính cơ cần tìm.

3-6. THAY ĐỔI SỐ CỰC CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

1. Nguyên lý điều chỉnh.

Khi thay đổi số cực từ của máy điện không đồng bộ, tốc độ từ trường quay thay đổi, và do đó tốc độ rôto cũng biến đổi theo. Quan hệ đó thể hiện trong biểu thức tốc độ sau đây:

$$\omega = \omega_0(1 - s) = \frac{2\pi f_1}{p}(1 - s) \quad (3-35)$$

trong đó f_1 — tần số lưới điện; p — số đôi cực.

Để có thể thay đổi được số cực, người ta phải chế tạo những máy điện đặc biệt, gọi là *máy đa tốc*.

Máy điện hai tốc độ là loại đa tốc hay gấp nhất. Số cực của nó có thể thay đổi bằng hai cách khác nhau về cơ bản: dùng hai tổ dây quấn stato riêng biệt, mỗi tổ có một số đôi cực riêng; ~~dùng một tổ dây quấn stato nhưng mỗi pha được chia thành hai đoạn, thay đổi cách nối dây giữa hai đoạn đó ta sẽ thay đổi được số đôi cực~~

Những động cơ cấu tạo theo cách thứ nhất to và nặng. Khi tổ dây này làm việc thì tổ kia hoàn toàn bỏ không, nên không tận dụng được vật liệu của máy điện. Tuy nhiên nó có ưu điểm là có thể tạo được hai tốc độ bất kỳ không lệ thuộc nhau.

Động cơ cấu tạo theo cách thứ hai nhỏ nhẹ hơn nhiều và tận dụng tốt vật liệu cấu trúc của máy điện. Nó có nhược điểm là sơ đồ nối đầu dây phức tạp và hai cấp tốc độ lệ thuộc nhau.

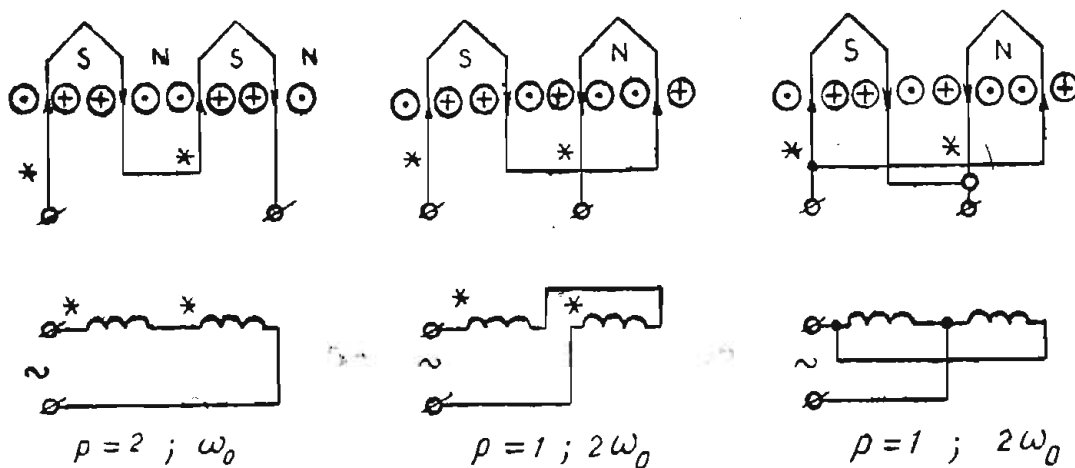
Các động cơ ba tốc độ trở lên đều có hai hoặc nhiều tổ dây quấn stato. Mỗi tổ lại có thể phân đoạn để thay đổi số cực theo cách hỗn hợp.

Động cơ đa tốc thường có rôto lồng sóc, vì rôto này có khả năng tự biến số cực rôto theo stato. Do đó số cực, điện trở và điện kháng rôto tự thay đổi nhịp nhàng với stato. Hiện hữu ta cũng gặp máy điện đa tốc có rôto quân dây. Loại này cấu trúc phức tạp vì phải dùng thiết bị phụ để đổi nối số cực cả ở rôto nữa. Ví dụ động cơ hai tốc độ có lõi 6 vành trượt và 6 bộ chổi than.

Sau đây ta khảo sát phương pháp thay đổi số cực bằng cách đổi nối các đoạn dây quấn.

Giả sử ta có một tổ dây stato (một pha) gồm hai đoạn, mỗi đoạn là một phần tử như hình 3-26: Nếu ta đấu nối tiếp hai đoạn đó thuận cực nhau (đánh dấu * trên hình vẽ), thì do đường sức từ phân bố như trên hình 3-26a, nên số cực sẽ là 4 và $p = 2$.

Nếu ta đổi nối chúng thành nối tiếp ngược cực hoặc song song ngược cực như trên hình 3-26b và c, số cực sẽ giảm đi hai lần: $p = 1$.



Hình 3-26. Thay đổi số cực bằng cách đổi nối các đoạn dây quấn

Như vậy, bằng cách đổi nối đơn giản, ta đã điều chỉnh tốc độ động cơ từ tốc độ (không tải) ω_0 ở sơ đồ 3-26a lên $2\omega_0$ ở sơ đồ 3-26b và c.

2. Các động cơ đa tốc và sơ đồ đổi nối thực tế. Các động cơ đa tốc thực tế được chế tạo với số đôi cực từ 1-12 và cao hơn, tương ứng với các tốc độ không tải lý tưởng sau đây:

p	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12...	
n_0	3000	1500	1000	750	600	500	428	375	330	300	272	250...	vg/ph
ω_0	314	157	105	78,5	63	52,4	44,8	39,3	34,6	31,4	28,5	26,2	rad/s

Các động cơ hai tốc độ một tổ dây quấn thường được chế tạo với $n_0 = 1500/3000$; $750/1500$; $500/1000$ vg/ph; còn các động cơ hai tổ dây quấn thì $n_0 = 1000/1500$; $1000/3000$; $750/3000$; $500/1500$; $750/1000$; $330/1000$; $250/1000$ vg/ph.

Các động cơ ba và bốn tốc độ đều có hai tổ dây, trong đó một hoặc cả hai có phân đoạn. Các cấp tốc độ (không tải) thường gấp là $\overline{750/1500/3000}$;

$\overline{750/1000/1500}$; $\overline{500/750/1000}$;

$\overline{500/750/1000/1500}$, vg/ph

(dấu nối ký hiệu cho hai cấp tốc độ do tổ dây phân đoạn tạo ra bằng cách đổi nối).

Các dây quấn phân đoạn thường được đổi nối theo hai cách; hình sao $\rightarrow$ sao kép ($Y \rightarrow \Psi$) và tam giác $\rightarrow$ sao kép ($\Delta \rightarrow \Psi$). Sơ đồ đổi nối được giới thiệu trên hình 3-27.

Khi nối Δ hoặc Y hai đoạn dây quấn mỗi pha được đấu nối tiếp thuận cực giống như giản đồ hình 3-26a, nên ta giả thiết khi đó $p = 2$ và tương ứng tốc độ đồng bộ là ω_0 . Khi đổi nối thành Ψ , các đoạn dây được nối song song ngược cực giống như giản đồ hình 3-26c, nên $p = 1$, và tốc độ tăng gấp đôi ($\omega_0 \Psi = 2\omega_0$).

Để dựng các đặc tính điều chỉnh, ta cần xác định các trị số M_{th} , s_{th} và ω_0 cho từng cách nối dây.

Đối với trường hợp đổi nối $\Delta \rightarrow \Psi$ ta có những quan hệ sau đây: Khi nối Δ , hai đoạn dây stato đấu nối tiếp nên

$$R_1 = 2r_1; X_1 = 2x_1$$

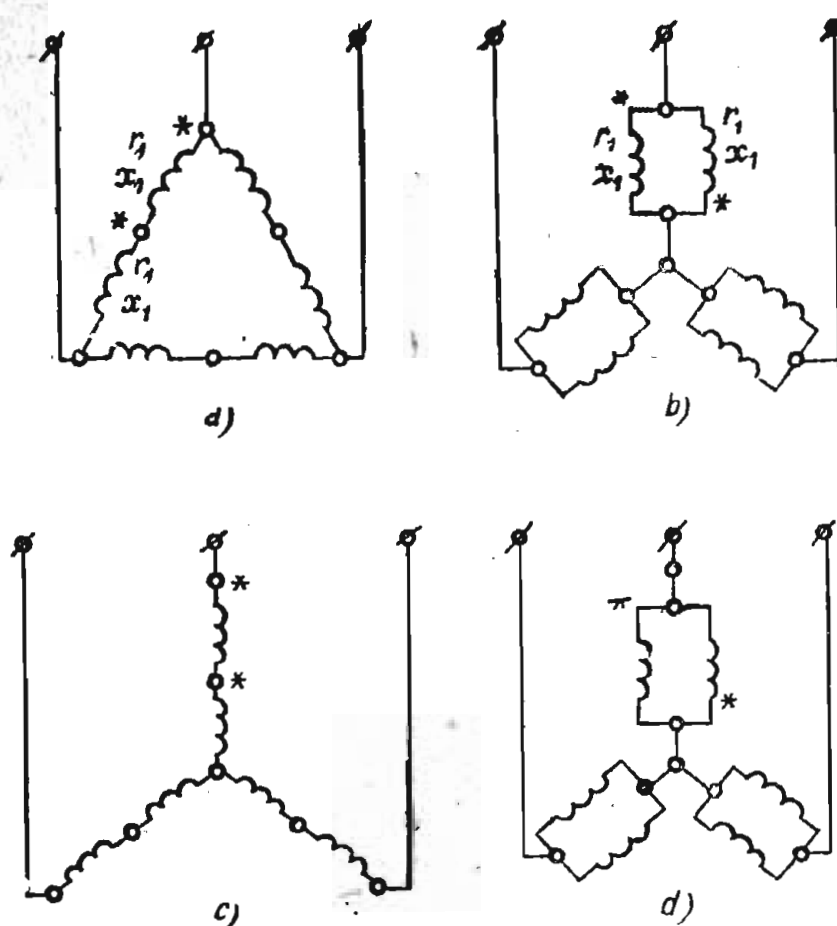
và tương ứng

$$R_2 = 2r_2; X_2 = 2x_2; X_{nm} = 2x_{nm}$$

trong đó r_1, r_2, x_1, x_2 — điện trở và điện kháng mỗi đoạn dây stato và rôto. Điện áp trên dây quấn mỗi pha là $U_{f\Delta} = \sqrt{3} U_1$. Do đó

$$s_{th,\Delta} = \frac{R_{2\Delta}}{\sqrt{R_{1\Delta}^2 + (X_{1\Delta} + X_{2\Delta})^2}} = \frac{r_2}{\sqrt{r_1^2 + x_{nm}^2}} \quad (3-37)$$

$$M_{th,\Delta} = \frac{3(\sqrt{3} U_1)^2}{2\omega_0 \left[R_{1\Delta} \pm \sqrt{R_{1\Delta}^2 + X_{nm\Delta}^2} \right]} = \frac{9 U_1^2}{4\omega_0 \left[r_1 \pm \sqrt{r_2^2 + x_{nm}^2} \right]} \quad (3-38)$$



Hình 3-27. Đổi nối dây quấn stato theo sơ đồ $\Delta \rightarrow \Psi$ và $Y \rightarrow \Psi$.

Nếu đổi nối thành Υ , thì

$$R_1 \Upsilon = \frac{1}{2} r_1; X_1 \Upsilon = \frac{1}{2} x_1; R_2 \Upsilon = \frac{1}{2} r_2; X_2 \Upsilon = \frac{1}{2} x_2; \quad (3-39)$$

còn áp trên dây quấn mỗi pha là $U_{f, \Upsilon} = U_1$. Vì vậy

$$s_{th, \Upsilon} = \frac{R'_2 \cdot \Upsilon}{\sqrt{R_1^2 \Upsilon + (X_1^2 \Upsilon + X_2^2 \Upsilon)}} = \frac{r'_2}{\sqrt{r_1^2 + x_{nm}^2}} = s_{th, \Delta} \quad (3-40)$$

$$M_{th, \Upsilon} = \frac{3U_1^2}{2\omega_0 \Upsilon [R_1 \Upsilon \pm \sqrt{R_1^2 \Upsilon + X_{nm}^2 \Upsilon}]} = \frac{3U_1^2}{2\omega_0 [r_1 \pm \sqrt{r_1^2 + x_{nm}^2}]} \quad (3-41)$$

So sánh (3-41) với (3-38) ta thấy

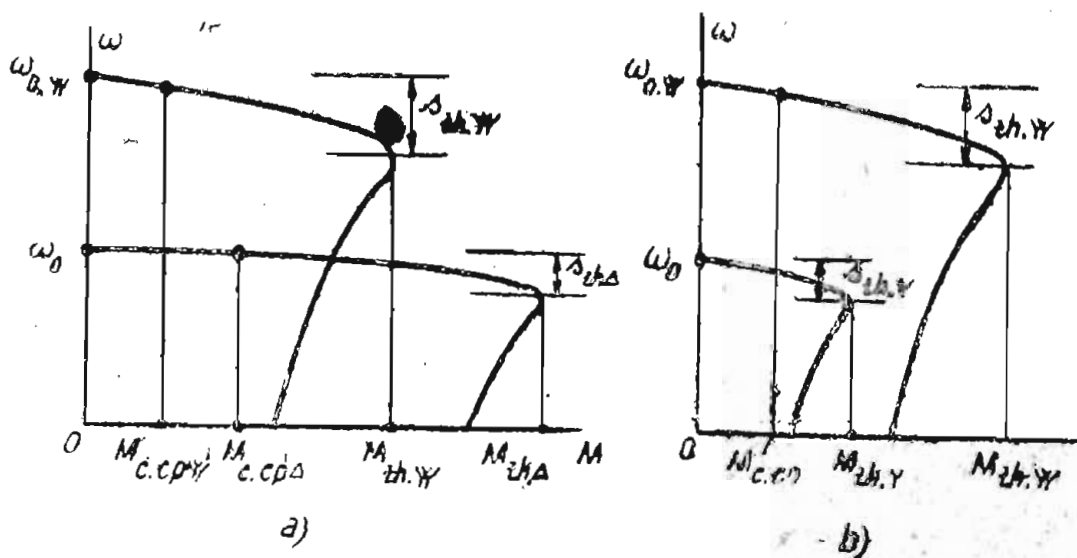
$$\frac{M_{th, \Upsilon}}{M_{th, \Delta}} = \frac{2}{3} \quad (3-42)$$

Như vậy, khi đổi nối $\Delta \rightarrow \Upsilon$, tốc độ không tải lý tưởng tăng lên hai lần, độ trượt tới hạn giữ nguyên (giá trị tương đối) còn mômen tới hạn giảm mất $\frac{2}{3}$. Từ nhận xét đó ta thấy các đặc tính cơ điều chỉnh phải có dạng như trên hình 3-28a.

Đối với trường hợp đổi nối $Y \rightarrow \Upsilon$ ta cũng suy luận tương tự. Khi nối Y, các đoạn dây đầu nối tiếp và áp trên pha bằng U_1 , nên

$$s_{th, Y} = \frac{r'_2}{\sqrt{r_1^2 + x_{nm}^2}} \quad (3-43)$$

$$M_{th, Y} = \frac{3U_1^2}{4\omega_0 [r_1 \pm \sqrt{r_1^2 + x_{nm}^2}]}$$



Hình 3-28. Các đặc tính cơ điều chỉnh và đặc tính tải cho phép khi đổi nối dây quấn stato $\Delta \rightarrow \Upsilon$ (a) và $Y \rightarrow \Upsilon$ (b).

So sánh với các biểu thức tương ứng của sơ đồ Ψ (3-40) và (3-41) ta được:

$$S_{th.Y} = S_{th.\Psi}; M_{th.Y} = \frac{1}{2} M_{th.\Psi} \quad (3-44)$$

Như vậy, khi đổi nối $Y \rightarrow \Psi$, tốc độ không tải lý tưởng tăng gấp đôi, mômen tới hạn cũng tăng gấp đôi, còn độ trượt tới hạn thì giữ nguyên giá trị tương đối của nó (hình 3-28b).

Để xác định phụ tải cho phép khi điều chỉnh tốc độ, ta xuất phát từ giá trị công suất, rồi suy ra mômen. Từ biểu thức của công suất điện, ta có:

Khi nối Δ :

$$P_{c.cp.\Delta} = 3\sqrt{3} U_1 I_{l.d\Delta} \cos\varphi_{\Delta} \eta_{\Delta} \quad (3-45)$$

khi nối Ψ :

$$P_{c.cp.\Psi} = 3U_1 2I_{l.d\Delta} \cos\varphi_{\Psi} \eta_{\Psi} \quad (3-46)$$

Do đó

$$\frac{P_{c.cp.\Psi}}{P_{c.cp.\Delta}} = \frac{2\cos\varphi_{\Psi} \eta_{\Psi}}{\sqrt{3} \cos\varphi_{\Delta} \eta_{\Delta}} \approx 1 \quad (3-47)$$

Thực tế cho phép coi $P_{c.cp.\Delta} \approx P_{c.cp.\Psi}$ vì hệ số công suất và hiệu suất khi nối Δ cao hơn khi nối Ψ . Đó là vì khi nối Ψ , áp đặt lên từng đoạn dây quấn lớn hơn khi nối Δ nên dòng từ hóa tăng một cách vô ích.

Từ (3-47) ta suy ra quan hệ của mômen tải cho phép:

$$\frac{M_{c.cp.\Psi}}{M_{c.cp.\Delta}} \approx \frac{P_{c.cp.\Psi}/\omega_o.\Psi}{P_{c.cp.\Delta}/\omega_o} \approx \frac{\omega_o}{\omega_o.\Psi} = \frac{1}{2}. \quad (3-48)$$

Như vậy, khi đổi nối $\Delta \rightarrow \Psi$, mômen tải cho phép giảm đi 2 lần còn công suất cho phép thì không đổi. Điều đó chứng tỏ phương pháp đổi nối này phù hợp với những máy có mômen tải tỷ lệ ngược với tốc độ ($P_c = \text{const}$).

Nếu đặt hệ số quá tải là $\lambda = M_{th}/M_{c.cp}$ thì từ các biểu thức (3-42) và (3-48) ta thấy:

$$\frac{\lambda_{\Psi}}{\lambda_{\Delta}} = \frac{M_{th.\Psi}/M_{c.cp.\Psi}}{M_{th.\Delta}/M_{c.cp.\Delta}} = \frac{4}{3} \quad (3-49)$$

nghĩa là, khi đổi nối $\Delta \rightarrow \Psi$ khả năng quá tải của động cơ tăng lên 4/3 lần

Nếu các đoạn dây nối hình Y, thì

$$P_{c.cp.Y} = 3U_1 I_{l.d\Delta} \cos\varphi_Y \eta_Y \quad (3-50)$$

So sánh với trường hợp nối Ψ [xem(3-46)] ta có:

$$\frac{P_{c.cp.\Psi}}{P_{c.cp.Y}} = \frac{2\cos\varphi_{\Psi} \eta_{\Psi}}{\cos\varphi_Y \eta_Y} \approx 2; \quad (3-51)$$

và

$$\frac{M_{c.cp.\Psi}}{M_{c.cp.Y}} \approx \frac{P_{c.cp.\Psi}/\omega_o.\Psi}{P_{c.cp.Y}/\omega_o} = 1 \quad (3-52)$$

Như vậy, khi đổi nối $Y \rightarrow \Psi$ mômen tải cho phép của động cơ được giữ không đổi, còn công suất cho phép tăng hai lần. Điều đó có nghĩa là phương pháp đổi nối này thích hợp với những máy có mômen tải không đổi ($M_c = \text{const}$).

Từ (3-52) và (3-44) ta tìm được quan hệ của hệ số quá tải λ :

$$\frac{\lambda \Psi}{\lambda_Y} = \frac{M_{lh, \Psi} / M_{c, cp, \Psi}}{M_{lh, Y} / M_{c, cp, Y}} = 2 \quad (3-53)$$

nghĩa là khi đổi nối $Y \rightarrow \Psi$ khả năng quá tải của động cơ tăng lên hai lần.

3. Các chỉ tiêu chất lượng.

Ưu điểm của phương pháp điều chỉnh số cực là thiết bị đơn giản, giá thành hạ, các đặc tính cơ đều cứng và khả năng điều chỉnh triệt để (điều chỉnh cả tốc độ không tải lý tưởng).

Nhờ có các đặc tính cơ cứng, nên độ chính xác duy trì tốc độ cao và tồn thất trượt khi điều chỉnh thực tế không đáng kể.

Nhược điểm lớn của phương pháp này có độ tinh kém, giải điều chỉnh không rộng và kích thước động cơ lớn. Đối với động cơ hai tốc độ một tổ dây quấn thì $\varphi = 2$: những động cơ khác có $\varphi \geq 1,5$, nghĩa là tốc độ nhảy cấp khá nhiều. Giải điều chỉnh có thể $D = 1,5 - 8$. Tuy nhiên, do cấu trúc phức tạp và nặng nề, những động cơ đa tốc với D lớn chỉ sử dụng ở những nơi thật cần thiết.

Thông thường động cơ đa tốc được chế tạo với công suất dưới 20–30kW và được sử dụng trong một số máy cắt kim loại, máy nâng, bơm ly tâm và quạt thông gió.

CHƯƠNG IV

ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU BẰNG CÁCH THAY ĐỔI ĐIỆN ÁP NGUỒN

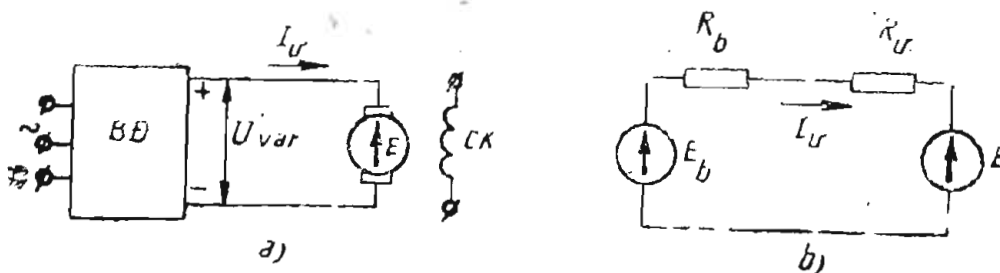
4-1. NGUYÊN LÝ ĐIỀU CHỈNH

1. Các đặc tính điều chỉnh.

Đối với các máy điện một chiều, khi giữ từ thông không đổi và điều chỉnh áp trên phần ứng thì dòng, mômen sẽ thay đổi, do đó tốc độ của nó sẽ thay đổi.

Để tránh những biến động lớn về gia tốc và lực động trong hệ, phương pháp điều chỉnh này thường áp dụng cho động cơ kích từ độc lập. Tuy nhiên, trong thực tế phương pháp này cũng sử dụng cho cả động cơ kích từ nối tiếp nối theo những hệ đặc biệt (xem §7-2).

Để điều chỉnh điện áp phần ứng, ta phải dùng những bộ nguồn điều áp, như máy phát một chiều, bộ biến đổi van hoặc khuếch đại từ. Sơ đồ nguyên lý tổng quát và sơ đồ thay thế của hệ được vẽ trên hình 4-1.



Hình 4-1. Sơ đồ nguyên lý (a) và sơ đồ thay thế (b) của hệ truyền động một chiều có điều chỉnh điện áp nguồn

Bộ biến đổi BD dùng để biến điện xoay chiều của lưới thành một chiều và điều chỉnh giá trị S.D.Đ. E_b của nó theo yêu cầu. Điện trở trong của bộ biến đổi R_b phụ thuộc vào loại thiết bị. Vì thông thường công suất của BD và của động cơ D xấp xỉ nhau nên R_b cũng có giá trị đáng kể so với điện trở phần ứng R_r của động cơ, thậm chí có thể lớn hơn.

Bằng cách viết phương trình cân bằng điện áp cho mạch điện hình 4-1b, ta sẽ nhận được các phương trình đặc tính cơ điện và đặc tính cơ của truyền động điện:

$$E = E_b - I_r (R_b + R_r) \quad (4-1)$$

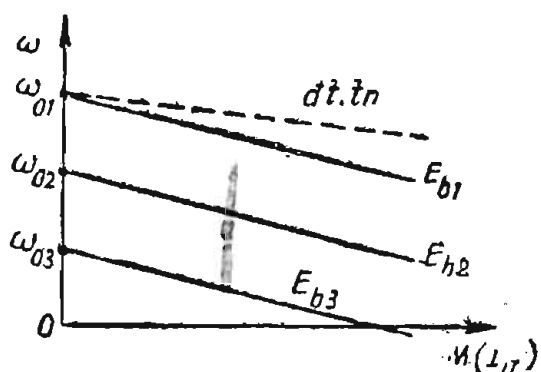
$$\omega = \frac{E_b}{k\Phi_{dm}} - \frac{R_b + R_r}{k\Phi_{dm}} I_r \quad (4-2)$$

$$\omega = \frac{E_b}{k\Phi_{dm}} - \frac{R_b + R_r}{(k\Phi_{dm})^2} M = \omega_0 - \frac{M}{\beta} \quad (4-3)$$

trong đó, Φ_{dm} – từ thông định mức của động cơ, giữ không đổi;

$\omega_0 = \frac{E_b}{k\Phi_{dm}}$ – tốc độ không tải lý tưởng của động cơ;

$\beta = (k\Phi_{dm})^2 / (R_b + R_r)$ – độ cứng của đặc tính cơ.



Hình 4-2. Họ đặc tính cơ điều chỉnh khi thay đổi điện áp SĐĐ nguồn

Phương trình (4-3) được biểu diễn bằng các đường thẳng trên hình 4-2. Thay đổi giá trị S.Đ.Đ nguồn E_b , ta sẽ có những tốc độ không tải lý tưởng ω_{0i} khác nhau, còn độ cứng β được giữ không đổi. Vì vậy họ đặc tính điều chỉnh là những đường thẳng song song.

Tùy thuộc phụ tải trên trục của động cơ, mỗi đặc tính cho ta một trị số tốc độ.

2. Các chỉ tiêu chất lượng chủ yếu.

Về các chỉ tiêu kỹ thuật và năng lượng, phương pháp điều áp được đánh giá tốt. Trước hết, nó là phương pháp điều chỉnh triệt để, nghĩa là có thể điều chỉnh tốc độ trong bất kỳ vùng tải nào, kể cả khi không tải lý tưởng. Đặc tính cơ điều chỉnh bằng phương pháp này tuy mềm hơn đặc tính tự nhiên, nhưng cứng hơn các đặc tính biến trở, phân mạch (xem §6-2)... một cách đáng kể. Vì vậy phương pháp này bảo đảm được sai số tốc độ nhỏ, khả năng quá tải lớn, giải điều chỉnh rộng và tổn thất năng lượng ít.

Mặt khác, vì phần tử điều chỉnh đặt trong mạch điều khiển của bộ biến đổi (ví dụ mạch kích từ của máy phát điện một chiều) – là mạch có công suất nhỏ, nên độ tinh điều chỉnh cao, thao tác nhẹ nhàng và có khả năng cải thiện hệ thành tự động vòng kín.

Để xác định giải, điều chỉnh, cần chú ý rằng tốc độ lớn nhất của hệ bị chặn bởi đặc tính cơ cơ bản (điều chỉnh dưới tốc độ cơ bản), còn tốc độ nhỏ nhất thì nói chung bị giới hạn bởi yêu cầu về sai số tĩnh (độ chính xác) hoặc khả năng quá tải.

Như vậy, tốc độ cực đại trong giải điều chỉnh khi mômen tải định mức là:

$$\omega_{\max} = \omega_0 - \frac{M_{dm}}{\beta} \quad (4-4)$$

Nếu yêu cầu đảm bảo khả năng quá tải, thì như đã phân tích trong §3-1 và §3-2 ta thấy đặc tính thấp nhất phải có mômen ngắn mạch bằng mômen tải cực đại:

$$M_{nm,min} = M_{c,max} = k_{qt} M_{dm}$$

trong đó k_{qt} – hệ số quá tải do máy gây ra ($k_{qt} = M_{c,max}/M_{dm}$). Minh họa nhận xét này lên hình 4-3, rồi dựa vào hình vẽ đó ta có thể tính được tốc độ nhỏ nhất ứng với, mômen tải định mức:

$$\omega_{min} = (k_{qt} M_{dm} - M_{dm}) \operatorname{tg} \alpha = M_{dm} (k_{qt} - 1) \frac{1}{\beta} \quad (4-5)$$

Từ (4-4) và (4-5) ta có:

$$D = \frac{\omega_{max}}{\omega_{min}} = \frac{\omega_o - M_{dm}/\beta}{(k_{qt} - 1) M_{dm}/\beta} = \frac{\beta^* - 1}{k_{qt} - 1} \quad (4-6)$$

Biểu thức (4-6) cho thấy, giải điều chỉnh phụ thuộc độ cứng β của đặc tính cơ và mômen tải lớn nhất có thể xuất hiện $M_{c,max}$. Trong

những điều kiện bình thường giải điều chỉnh của hệ chỉ đạt khoảng dưới 10. Ví dụ, hệ truyền động có $R_b^* = R_u^* = 0,05$; $k_{qt} = 2$, thì do độ cứng tương đối của đặc tính cơ có trị số

$$\beta^* = 1/(R_b^* + R_u^*) = 1/(0,05 + 0,05) = 10$$

nên giải điều chỉnh sẽ là

$$D = (10-1)/(2-1) = 9.$$

Nếu máy sản xuất có yêu cầu cao về độ chính xác duy trì tốc độ thì giải điều chỉnh D lại được xác định theo sai số tốc độ cho phép s_{cp} .

Theo định nghĩa của sai số tốc độ [xem biểu thức (3-1)] ta viết được biểu thức s_{cp} ứng với đường đặc tính thấp nhất:

$$s_{cp} = \frac{\omega_{omin} - \omega_{min}^*}{\omega_{o,min}} = \frac{\Delta\omega}{\omega_{o,min}} \quad (4-7)$$

Vì tốc độ làm việc được xác định tương ứng với tải định mức nên

$$\Delta\omega = M_{dm}/\beta \quad \text{và} \quad \omega_{o,min} = \omega_{min} + M_{dm}/\beta$$

Thay các đại lượng này vào biểu thức (4-7) ta sẽ tìm được

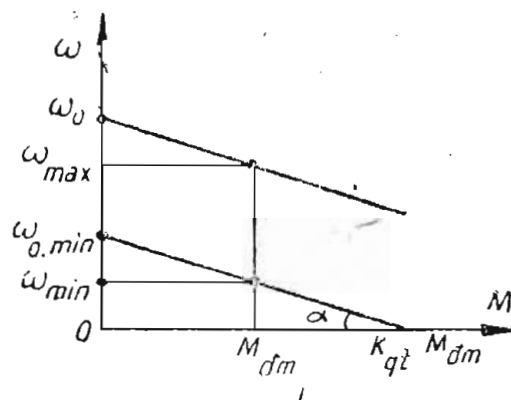
$$\omega_{min} = \frac{1 - s_{cp}}{s_{cp}} \frac{M_{dm}}{\beta} \quad (4-8)$$

Từ (4-8) và (4-4) ta xác định được giải điều chỉnh:

$$D = \frac{\omega_{max}}{\omega_{min}} = \frac{(\omega_o - M_{dm}/\beta) s_{cp} \beta}{(1 - s_{cp}) M_{dm}} = \frac{(\beta^* - 1) s_{cp}}{1 - s_{cp}} \quad (4-9)$$

Như vậy, giải điều chỉnh phụ thuộc sai số tĩnh cho phép s_{cp} và độ cứng đặc tính cơ β của hệ. Nếu cũng lấy ví dụ trên khi yêu cầu $s_{cp} = 0,25$, thì $D = (10-1) \cdot 0,25/(1-0,25) = 3$.

So sánh (4-6) với (3-7) ta thấy phương pháp điều áp bảo đảm được giải điều chỉnh rộng hơn phương pháp biến trở.



Hình 4-3. Minh họa cho việc xác định giải điều chỉnh theo khả năng quá tải và sai số tĩnh cho phép.

Ngoài ra, cần chú ý rằng các hệ điều áp còn cho phép mở rộng giải điều chỉnh một cách đáng kể nhờ điều chỉnh thêm từ thông của động cơ và tự động hóa hệ thống. Thực tế các hệ điều áp có thể có $D = 200$; 2000 hoặc lớn hơn nữa.

Như trên đã nêu, việc điều chỉnh điện áp trên phần ứng động cơ được thực hiện khi từ thông không đổi: $\Phi = \Phi_{dm} = \text{const}$. Vì vậy, đặc tính mômen tải cho phép của hệ khi điều áp sẽ là

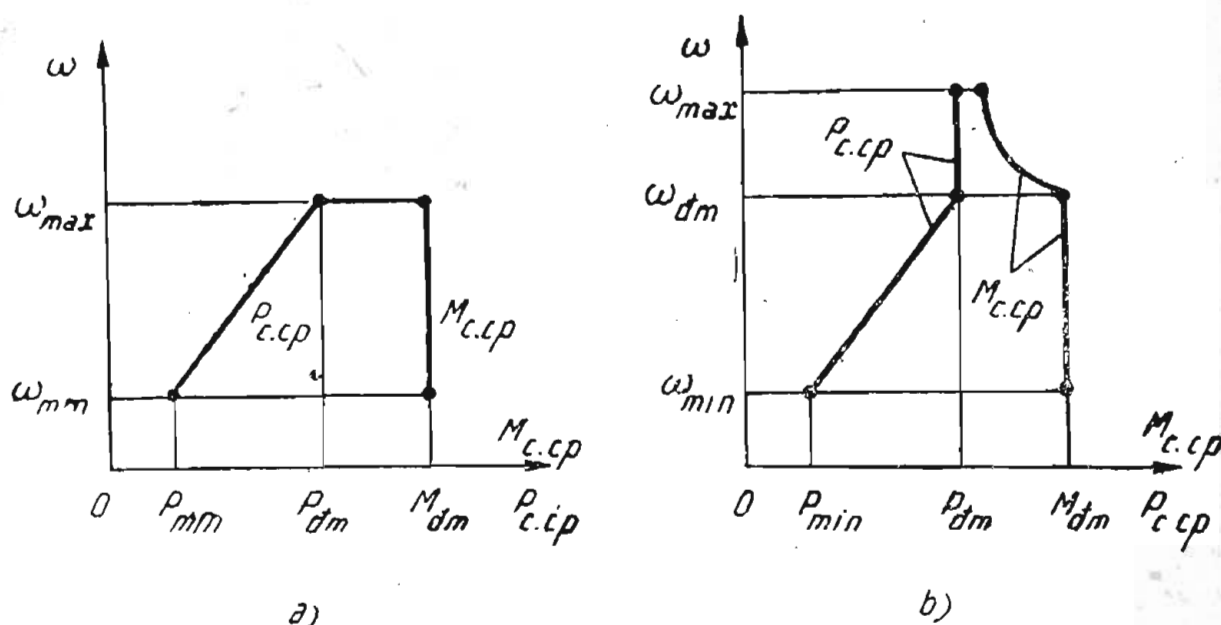
$$M_{c.cp} = k\Phi_{dm} I_{dm} = M_{dm} = \text{const} \quad (4-10)$$

Đó là đường thẳng song song với trục tung như trên hình 4-4a.

Như vậy, phương pháp điều áp thích hợp nhất đối với các cơ cấu có tải kiểu máy nâng ($M_c = \text{const}$).

Nếu mở rộng giải điều chỉnh tốc độ bằng cách điều chỉnh thêm từ thông động cơ, thì trình tự điều chỉnh được quy định như sau: đối với vùng dưới tốc độ cơ bản, giữ từ thông cực đại không đổi ($\Phi_{dm} = \text{const}$), thay đổi áp trên phần ứng từ giá trị nhỏ nhất đến giá trị định mức; đối với vùng trên tốc độ cơ bản, giữ áp trên phần ứng không đổi ($U_{dm} = \text{const}$), giảm từ thông từ định mức đến trị số nhỏ nhất.

Vì vậy, trong vùng điều chỉnh điện áp, mômen tải cho phép sẽ không đổi, như quan hệ (4-10); còn trong vùng điều chỉnh từ thông, $M_{c.cp}$ sẽ biến đổi theo tốc độ với quy luật hypecbol [xem 3-25]. Khi đó đặc tính $M_{c.cp}(\omega)$ của hệ có dạng như trên hình 4-4b.



Hình 4-4. Đặc tính tải cho phép khi điều chỉnh điện áp (a) và khi điều chỉnh hai vùng (b).

Quan hệ giữa công suất tải cho phép với tốc độ $P_{c.cp}(\omega)$ được suy ra theo biểu thức

$$P_{c.cp} = M_{c.cp}\omega$$

và cũng được biểu diễn trên hình 4-4.

Giải tốc độ của hệ điều chỉnh hai vùng sẽ là

$$D = \frac{\omega_{max}}{\omega_{min}} = \frac{\omega_{max}}{\omega_{dm}} \cdot \frac{\omega_{dm}}{\omega_{min}} = D_u \cdot D_\Phi \quad (4-11)$$

trong đó $D_u = \omega_{dm} / \omega_{min}$ — giải điều chỉnh bằng điện áp trên phản ứng:

$D_\phi = \omega_{min} / \omega_{dm}$ — giải điều chỉnh bằng từ thông.

Nếu bỏ qua những lượng tổn thất bất biến trong hệ, thì phần tổn thất chủ yếu sẽ nằm trong mạch phản ứng BD-D. Hiệu suất của mạch này được xác định như sau:

$$\eta_r = \frac{P_2}{P_1} \approx \frac{EI_r}{EI_r + I^2 R} = \frac{\omega}{\omega + MR / (k\Phi)^2}$$

trong đó $P_2 = EI_r = M\omega$ — công suất ra của động cơ (coi bằng công suất điện từ).

$P_1 = P_2 + \Delta P = M\omega + M^2 R / (k\Phi)^2$ — công suất đưa vào hệ.

Đề biểu diễn η_r theo các đại lượng tương đối, ta chia tử và mẫu số của biểu thức trên cho ω_0 :

$$\eta_r = \frac{\omega^*}{\omega^* + R^* M^*} \quad (4-12a)$$

Khi làm việc ở tốc độ xác lập thì $M^* = M_c^*$. Thay M_c^* bằng phương trình

đặc tính cơ của máy sản xuất $M_c^* \approx \omega^{*x}$ ta được

$$\eta_r = \frac{\omega^*}{\omega^* + R^* \omega^{*x}} \quad (4-12b)$$

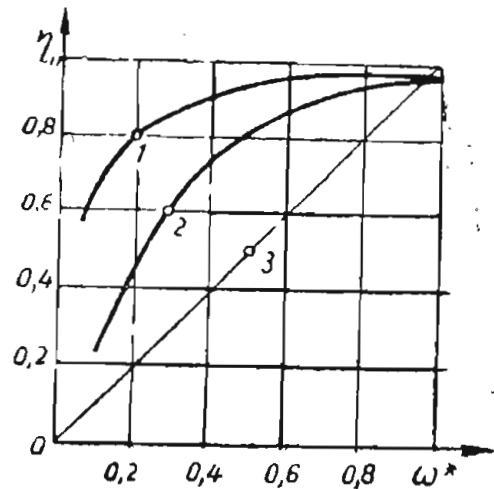
Biểu thức (4-12b) cho thấy, hiệu suất của mạch phản ứng (và kéo theo hiệu suất toàn hệ thống) phụ thuộc vào tốc độ làm việc và tính chất của mômen cản. Trên hình 4-5 vẽ hai đường $\eta_r(\omega^*)$ với giả thiết $R_r = 0,05$ ứng với hai loại phụ tải: đường 1 — tải máy nâng ($x=0$) và đường 2 — tải máy tiện ($x=-1$). Đề so sánh với phương pháp biến trở, trên hình 4-5 còn vẽ thêm đường $\eta_r(\omega^*)$ khi điều chỉnh bằng điện trở phụ trong mạch phản ứng. Từ hình vẽ ta thấy phương pháp điều áp bảo đảm hiệu suất cao hơn phương pháp biến trở, đặc biệt trong vùng tốc độ thấp, và rất kinh tế khi tải có đặc tính máy nâng.

Trường hợp sử dụng bộ biến đổi nhiều cấp, ví dụ dùng máy phát một chiều, thì ngoài tổn thất trong mạch phản ứng còn có tổn thất trong các thiết bị biến đổi sơ cấp. Khi đó hiệu suất toàn hệ điều áp η_{da} sẽ là

$$\eta_{da} = \eta_{sc} \cdot \eta_r \quad (4-13)$$

trong đó η_{sc} — hiệu suất của thiết bị biến đổi sơ cấp.

Nhược điểm lớn nhất của phương pháp điều áp là phải dùng bộ biến đổi điều khiển khá phức tạp, nên vốn đầu tư cơ bản và vận hành phí cao. Tuy



Hình 4-5. Quan hệ giữa hiệu suất và tốc độ.

- 1 — phương pháp điều áp khi tải máy nâng;
- 2 — điều áp khi tải máy tiện;
- 3 — phương pháp biến trở với mọi loại tải.

nhien, nhờ những ưu điểm đã nêu, phương pháp này tạo ra cho máy sản xuất một năng suất cao, đồng thời tổn thất năng lượng ít, nên thời gian hoàn vốn nhanh.

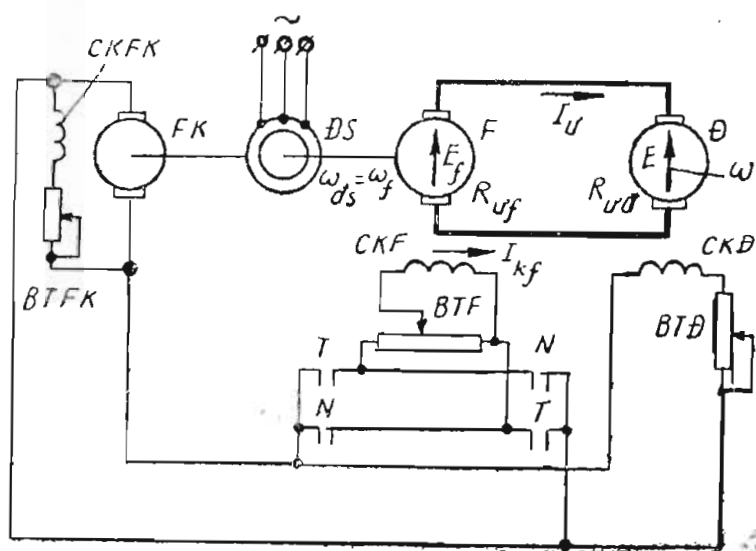
Do đó phương pháp điều áp được sử dụng rộng rãi. Chính nó đã đưa lại cho động cơ điện một chiều địa vị quan trọng trong thực tế mà máy điện xoay chiều rất khó cạnh tranh.

Có nhiều phương án lập hệ điều áp. Chúng khác nhau chủ yếu về loại nguồn. Sau đây ta lần lượt xét bốn loại hệ thống điều áp: hệ máy phát—động cơ, hệ van—động cơ, hệ van từ—động cơ và hệ điều chỉnh xung điện áp—động cơ, tương ứng với bốn bộ nguồn cơ bản: máy phát một chiều, bộ biến đổi van điều khiển, khuếch đại từ và bộ biến đổi xung điện áp.

4-2. HỆ MÁY PHÁT—ĐỘNG CƠ (F-D)

1. Nguyên lý điều chỉnh.

Hệ F—Đ là một trong các phương án điều tốc động cơ một chiều bằng phương pháp thay đổi điện áp nguồn phản ứng. Sơ đồ nguyên lý của nó được vẽ trên hình 4-6.



Hình 4-6. Sơ đồ nguyên lý hệ F—Đ.

Động cơ Đ là đối tượng cần điều chỉnh tốc độ, thường được gọi là động cơ chấp hành.

Bộ biến đổi (BD trong hình 4-1) bao gồm động cơ sơ cấp DS và máy phát F. Đó là một bộ biến đổi hai cấp: động cơ DS biến đổi điện năng xoay chiều của lưới thành cơ năng trên trục của nó rồi truyền sang trục của máy phát F; máy phát F biến đổi cơ năng đó thành điện năng một chiều để cung cấp cho động cơ chấp hành Đ.

Máy phát F còn làm chức năng điều khiển. Nhờ biến trở kích từ BTF ta có thể thay đổi được S.D.D. của máy phát, nghĩa là thay đổi được điện áp trên phần ứng động cơ. Do đó, mỗi vị trí của con trượt BTF tương ứng với một tốc độ đặt ở động cơ chấp hành.

Để làm nguồn kích từ cho F và Đ người ta dùng một máy phát một chiều FK nối trực với động cơ sơ cấp. Vì FK là máy tự kích, nên sau khi khởi động DS, điện áp của nó sẽ tăng lên định mức để chuẩn bị cho hệ thống hoạt động. Nếu vì những biến đổi ngẫu nhiên của các đại lượng nào đó mà điện áp kích từ khác với giá trị quy định, thì ta có thể chỉnh biến trở BTFK trong mạch tự kích của FK.

Máy phát kích từ FK có thể thay bằng những loại nguồn một chiều khác, độc lập với mạch phản ứng F—Đ, như chỉnh lưu diot chẳng hạn.

Động cơ sơ cấp ĐS có thể là máy không đồng bộ, hoặc đồng bộ. Ở các thiết bị tự cấp như xe, tàu, máy xây dựng, động cơ sơ cấp thường là máy điện. Nói chung nó có thể là một sức kéo bất kỳ.

Ngoài ra, trên sơ đồ nguyên lý còn có bộ tiếp điểm thuận nghịch T.N dùng để đổi chiều dòng kích từ máy phát với mục đích đảo chiều quay động cơ chấp hành; biến trở BTD dùng để điều chỉnh thêm từ thông động cơ khi cần mở rộng giải điều chỉnh.

Khi máy phát F được quay với tốc độ ω_f cố định, S.D.D E_f của nó phụ thuộc vào dòng kích từ I_{kf} theo luật của đường cong từ hóa. Nếu coi máy phát không bão hòa từ, thì đường đó thẳng, nên

$$E_f = k_f \Phi_f \omega_f = k_f \omega_f \alpha I_{kf} \quad (4-14)$$

trong đó $k_f = \frac{pN}{2\pi a}$ — hệ số cấu trúc của máy phát, tương tự như của động cơ một chiều;

Φ_f — từ thông kích thích của máy phát; α — hệ số góc của đường đặc tính từ hóa của máy phát (coi là đường thẳng): $\alpha = \Delta\Phi_f / \Delta I_{kf}$.

Để phân tích sự làm việc của hệ F-Đ, ta thay thế máy phát F và S.D.D. E_f của nó vào vị trí của BĐ và E_b trong hình 4-1. Sử dụng (4-14), thay E_b bằng E_f và R_b bằng R_{xf} vào biểu thức (4-2) và (4-3) ta được các phương trình đặc tính:

$$\omega = \frac{k_f \omega_f \alpha}{k_d \Phi_d} I_{kf} - \frac{R}{k_d \Phi_d} I_v \quad (4-15)$$

$$\omega = \frac{k_d \omega_f \alpha}{k_d \Phi_d} I_{kf} - \frac{R}{(k_d \Phi_d)^2} M \quad (4-16)$$

trong đó $R = R_{xf} + R_{ud}$ — điện trở tổng của mạch phản ứng F-Đ.

Tương tự như các phương trình đã xét, từ (4-16) ta thấy tốc độ không tải lý tưởng của động cơ là

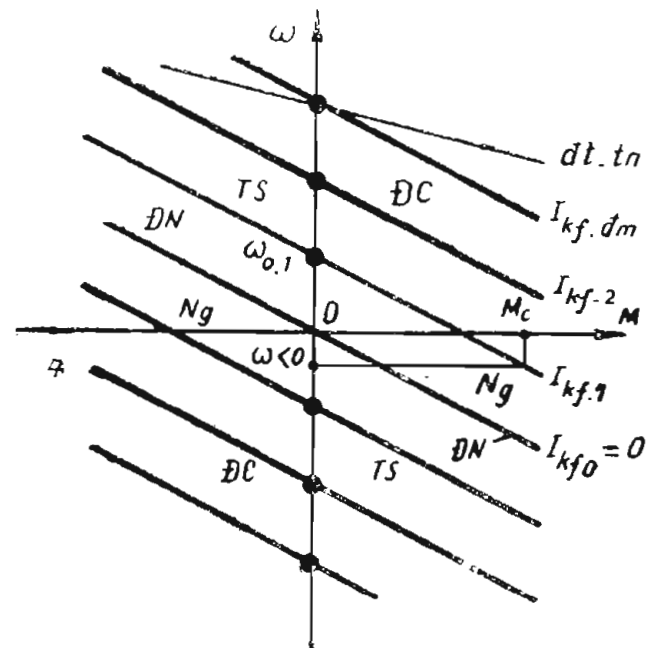
$$\omega_0 = \frac{k_f \omega_f \alpha}{k_d \Phi_d} I_{kf} \quad (4-17)$$

và độ cứng của đặc tính cơ là

$$\beta_{fd} = \frac{(k_d \Phi_d)^2}{R} \quad (4-18)$$

Những biểu thức trên chứng tỏ rằng, khi thay đổi dòng kích từ máy phát, tốc độ không tải lý tưởng của động cơ sẽ thay đổi, còn độ cứng thì giữ nguyên. Do đó các đặc tính cơ điều chỉnh sẽ là một họ đường thẳng song song như trên hình 4-7.

So sánh (4-18) với (2-11) ta thấy các đặc tính cơ trong hệ F-Đ mềm hơn đặc tính cơ tự nhiên. Thường $R_{xf} \approx R_{ud}$, nên $\beta_{fd} \approx \frac{1}{2} \beta_{in}$.



Hình 4-7. Các đặc tính cơ điều chỉnh và những trạng thái làm việc của động cơ trong hệ F-Đ.

Những kết luận trên chỉ đúng với điều kiện $\omega_r = \omega_{ds} = \text{const}$, nghĩa là khi động cơ sơ cấp là máy điện đồng bộ.

Nếu dùng các máy điện không đồng bộ để làm động cơ sơ cấp thì tốc độ của máy phát sẽ biến đổi theo tải của động cơ chấp hành ($\omega_r \neq \text{const}$), do đó các phương trình đặc tính cơ điện và đặc tính cơ sẽ có dạng khác với (4-15) và (4-16).

Để phân tích vấn đề này được đơn giản ta bỏ qua tổn thất trong các máy điện. Khi đó, mômen trên trục động cơ sơ cấp bằng mômen điện từ của máy phát F:

$$M_{ds} = M_{dt.f} = k_f \Phi_f I_r$$

Dòng phản ứng lại có thể biểu diễn theo mômen M của động cơ chấp hành:

$$I_r = \frac{M}{k_d \Phi_d}$$

Do đó

$$M_{ds} = \frac{k_f \Phi_f}{k_d \Phi_d} M \quad (4-19)$$

Viết phương trình đặc tính cơ của động cơ sơ cấp theo dạng đường thẳng, ta sẽ có quan hệ giữa tốc độ máy phát ω_r với mômen của động cơ chấp hành:

$$\omega_r = \omega_{ds} = \omega_{o.ds} - \frac{M_{ds}}{\beta_{ds}} = \omega_{o.ds} - \frac{k_f \Phi_f}{k_d \Phi_d} \frac{M}{\beta_{ds}} \quad (4-20)$$

Thay biểu thức này vào phương trình (4-16) ta được:

$$\omega = \frac{k_f \alpha \omega_{o.ds}}{k_d \Phi_d} \cdot I_{kf} - \frac{1}{(k_d \Phi_d)^2} \left[R + \frac{k_f^2 \alpha^2 I_{kf}^2}{\beta_{ds}} \right] M \quad (4-21)$$

Đó là phương trình đặc tính cơ của động cơ chấp hành khi tốc độ máy phát $\omega_r \neq \text{const}$. Phương trình này sẽ trở lại dạng (4-1b) nếu cho $\beta_{ds} = \infty$. Trường hợp tổng quát $\beta_{ds} \neq \infty$, sụt tốc của động cơ chấp hành sẽ tăng thêm một lượng.

$$\Delta \omega' = \frac{k_f^2 \alpha^2 I_{kf}^2}{\beta_{ds}} \cdot M \quad (4-22)$$

nên đặc tính cơ của nó sẽ mềm đi. Lượng sụt tốc phụ này lại tỉ lệ với bình phương của dòng kích từ máy phát, nên các đặc tính càng cao thì càng mềm.

Cũng cần chú ý rằng phản ứng phần ứng hầu như không ảnh hưởng đến đặc tính cơ của hệ, vì nếu phản ứng đó có tác dụng âm ở động cơ thì lại có tác dụng dương ở máy phát nên chúng bù trừ nhau.

2. Các chỉ tiêu chất lượng và những đặc điểm cơ bản của hệ.

Những chỉ tiêu chất lượng cơ bản của hệ F-D cũng tương tự như hệ điều áp tổng quát và đã được xét trong 4-1. Ở đây chỉ khảo sát những nét đặc trưng của hệ F-D mà thôi.

Khi đánh giá về giải điều chỉnh, cần chú ý thêm ảnh hưởng của từ dư trong máy phát đối với giá trị tốc độ nhỏ nhất. Ở một số loại máy phát thông dụng S.D.D. do từ dư gây ra bằng khoảng 2-4% giá trị định mức.

Nếu thực hiện điều tốc hai vùng, thì giải điều chỉnh chung của hệ F-D đạt được khoảng 10 — 30. Khi sử dụng các biện pháp ổn định hóa tốc độ, ta có thể tăng D lên trên 100 hoặc 200.

Ngoài những ưu điểm về điều chỉnh tốc độ, hệ F-D còn có những đặc tính động tốt và rất linh hoạt khi chuyển đổi các trạng thái làm việc. Với sơ đồ cơ bản như hình 4-6, động cơ chấp hành có thể làm việc ở trạng thái động cơ với nhiều tốc độ khác nhau, đảo chiều quay dễ dàng bằng cách đổi chiều dòng kích từ máy phát, hãm động năng khi cho $I_{kf} = 0$, hãm ngược và hãm tái sinh trong những điều kiện nhất định. Sơ đồ hình 4-6 cho phép tạo ra tất cả các đặc tính trong cả bốn góc phần tư của mặt phẳng tọa độ như trên hình 4-7.

Ở góc phần tư thứ nhất, Đ làm việc ở trạng thái động cơ với chiều quay thuận (chiều dương), còn ở góc thứ 3 — chiều quay ngược. Khi đó, E và E_f ngược chiều nhau và $|E| < |E_f|$, nghĩa là $\omega < \omega_0$, dòng I_U chảy theo chiều E_f , máy phát cấp năng lượng còn động cơ thu năng lượng. Các tương quan đó được biểu diễn trên sơ đồ thay thế hình 4-8a (với chiều quay dương).

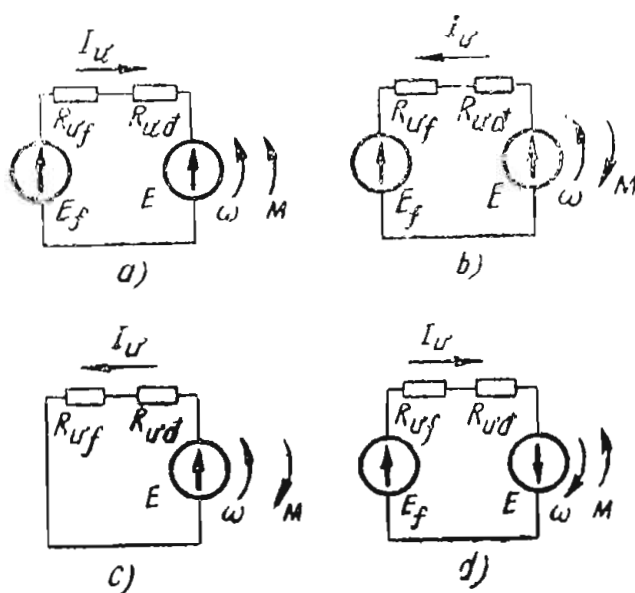
Trong miền nằm giữa đường ĐN và trục tung ở góc thứ hai và thứ tư (tương ứng với hai chiều quay), Đ làm việc ở trạng thái hãm tái sinh. Khi đó, E và E_f vẫn ngược chiều nhau nhưng $|E| > |E_f|$, nghĩa là $\omega > \omega_0$, I_U chảy theo chiều của E ;

điều đó chứng tỏ động cơ cấp điện năng còn máy phát thu điện năng. Năng lượng này được tạo ra bởi phần thế năng hoặc động năng tích lũy trong các khâu chuyển động của hệ ở quá trình làm việc trước đó. Động cơ Đ đóng vai trò máy phát để biến cơ năng trên trục của nó thành điện năng chuyển vào mạch phản ứng. Máy phát F lại làm việc như một động cơ để biến điện năng đó thành cơ năng truyền sang trục động cơ sơ cấp ĐS. Cuối cùng, ĐS biến cơ năng thành điện năng xoay chiều trả về lưới điện.

Chú ý rằng, dòng năng lượng nêu trên chỉ là năng lượng tác dụng, còn năng lượng phản kháng thì hệ thống vẫn tiêu thụ của lưới để tạo dòng từ hóa động cơ sơ cấp. Sơ đồ thay thế của hệ ở trạng thái hãm tái sinh (đối với chiều quay dương) được vẽ trên hình 4-8b.

Nếu cho $I_{kf} = 0$ thì trường hợp lý tưởng ta có $E_f = 0$, nên sơ đồ thay thế của hệ trở thành hình 4-8c (vẽ cho trường hợp $\omega > 0$). Đó là sơ đồ hãm động năng với điện trở hãm ở mạch ngoài động cơ là R_{Uf} , tương ứng ta được đặc tính hãm động năng ĐN-O.

Phân kếp giữa trục hoành và tia ĐN-O-ĐN là vùng hãm ngược. Giả sử máy phát được kích thuận với giá trị I_{kf1} ($I_{kf1} > 0$ — xem hình 4-7), động cơ có



Hình 4-8. Sơ đồ thay thế của hệ F-D khi làm việc ở trạng thái động cơ (a), hãm tái sinh (b), hãm động năng (c) và hãm ngược (d).

tốc độ không tải lý tưởng tương ứng là $\omega_{nl} > 0$. Nếu lúc này tải M_c có tính chất thể nặng và đủ lớn, thì nó sẽ kéo cho động cơ quay ngược ($\omega < 0$) S.D.Đ.E sẽ đổi chiều trở nên cùng tác dụng với S.D.Đ. máy phát E_f , tạo ra dòng I_x chiều thuận và mômen thuận. Đó chính là trạng thái hãm ngược. Sơ đồ thay thế của hệ được biểu diễn bằng hình 4-8d.

Một trong những nhược điểm quan trọng của hệ F-Đ là dùng nhiều máy điện. Vì năng lượng truyền nối tiếp từ lưới đến tải qua động cơ sơ cấp, máy phát và động cơ chấp hành, nên công suất lắp đặt toàn hệ phải lớn hơn 3 lần công suất tải yêu cầu. Nếu xét đến tổn thất trong dây chuyền năng lượng, năng lượng máy kích từ tiêu thụ và tính nhảy bậc trong thang công suất các máy điện thì công suất lắp đặt toàn hệ có thể gấp 4–5 lần công suất động cơ.

Các máy điện còn đòi hỏi nền móng chắc chắn, diện tích đặt máy rộng, bảo quản phức tạp và tốn kém, gây ồn.

Hiệu suất của hệ F-Đ thấp vì phải xét đến tổn thất trong toàn hệ:

$$\eta_{f-d} = \eta_x \cdot \eta_{ds} = \eta_f \eta_d \eta_{ds}$$

Nếu tải không đổi (ví dụ bằng định mức) thì $\eta_{ds} = \text{const}$ còn η_x phụ thuộc tốc độ theo (4-12).

Ở một tốc độ cố định, hiệu suất của mỗi máy đều phụ thuộc tải, nên hiệu suất chung của hệ giảm rất nhanh khi giảm tải. Nếu coi $\eta_{ds} \approx \eta_f \approx \eta_d = \eta$, và khi tải định mức $\eta = 0,9$, thì hiệu suất của hệ sẽ là $\eta_{f-d, dm} = 0,9^3 = 0,73$. Khi tải $M_c = 0,5M_{dm}$ hiệu suất mỗi máy điện giả sử còn 0,75, thì

$$\eta_{f-d, 0,5} = 0,75^3 = 0,42$$

Những ưu điểm của hệ F-Đ rất quan trọng nên trước đây nó được ứng dụng rộng rãi với nhiều phương án phát triển khác nhau. Những phương án đó sẽ được khảo sát trong chương 7.

Tuy nhiên, những nhược điểm nêu trên đòi hỏi phải cố gắng cải thiện chỉ tiêu năng lượng và kinh tế của hệ này. Hiện nay người ta có khuynh hướng thay thế hệ F-Đ bằng hệ điều áp dùng bộ biến đổi van (V-Đ).

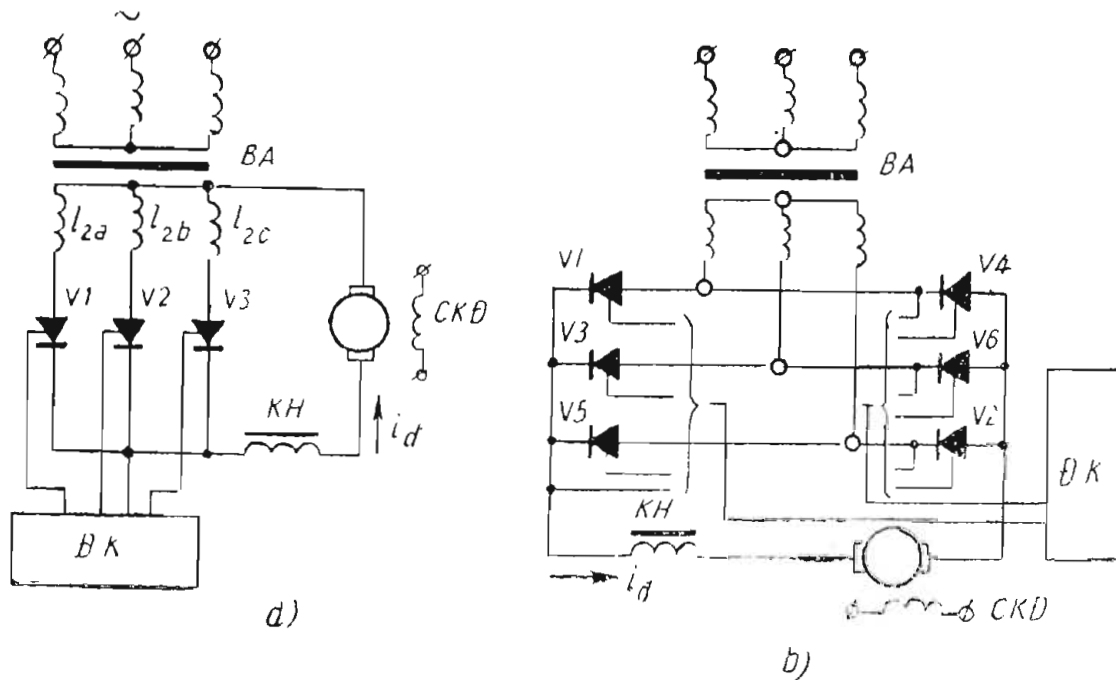
4-3. HỆ BIẾN ĐỔI VAN ĐIỀU KHIỂN – ĐỘNG CƠ (V-Đ).

1. Bộ biến đổi van.

Bộ biến đổi van điều khiển là một loại nguồn điều áp một chiều. Khi nối nó vào mạch phần ứng động cơ một chiều kích từ độc lập, ta sẽ được hệ truyền động van—động cơ (V-Đ) theo sơ đồ tổng quát hình 4-1.

Một bộ biến đổi van có thể bao gồm máy biến áp lực, tổ van, kháng lọc, thiết bị bảo vệ và hệ thống điều khiển (xem hình 4-9).

Biến áp lực dùng để biến đổi giá trị điện áp của lưới cho phù hợp với cấp điện áp của động cơ. Ngoài ra, nó còn có chức năng biến đổi số pha, tạo



Hình 4-9 Sơ đồ nguyên lý của bộ biến đổi van.
a – tia ba pha; b – cầu ba pha.

điểm trung tính khi cần thiết, hạn chế biên độ của dòng ngắn mạch, giảm tốc độ tăng dòng trong van và cải thiện hình dáng dòng điện nhận từ lưới.

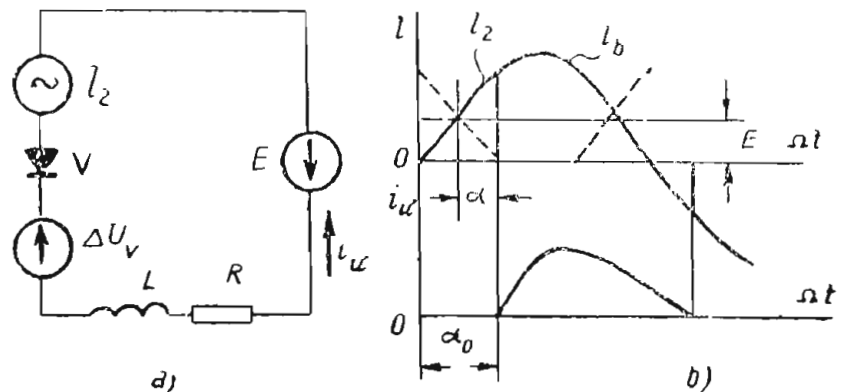


Hình 4-10 Dạng đồ thị S.Đ.Đ của bộ biến đổi van.

Tổ van có thể nối tia hoặc cầu với số pha $m = 1; 3$ hoặc $3n$. Trên hình 4-9 là các bộ biến đổi ba pha hình tia (a) và hình cầu (b). Với thời điểm đặt xung áp điều khiển đã chọn t_α ($\Omega t_\alpha = \alpha$) lên các van, điện áp không tải (hoặc S.Đ.Đ) của các bộ biến đổi tương ứng sẽ có dạng những đường

cong đập mạch $e_b = f(\Omega t)$ như trên hình 4-10. Số lần đập mạch của e_b trong một chu kỳ của điện áp lưới là $p = m$ đối với sơ đồ tia, và $p = 2m$ đối với sơ đồ cầu.

Việc sử dụng van ở trong mạch điện làm cho quan hệ giữa áp và dòng của bộ biến đổi mang những đặc điểm khác biệt với bộ



Hình 4-11. Sơ đồ thay thế của hệ V-Đ dùng cho các giá trị tức thời (a) và các đồ thị S.Đ.Đ và dòng điện (b)

biến đổi máy điện. Để phân tích các quan hệ đó ta sử dụng sơ đồ thay thế (đối với các giá trị tức thời) của bộ biến đổi trên hình 4-11.

Sơ đồ này vẽ chung cho bộ biến đổi hình tia và hình cầu. Đối với sơ đồ tia: e_2 – S.Đ.Đ. pha thứ cấp của máy biến áp.

ΔU_v – sụt áp thuận trên một van;

$R = R_{ba} + R_{ur} + R_{kh}$, $L = L_{ba} + L_{ur} + L_{kh}$

R , L – điện trở và điện kháng tổng của mạch bao gồm máy biến áp, phần ứng động cơ và kháng lọc, trong đó R_{ba} và L_{ba} lấy giá trị của một pha máy biến áp.

Đối với sơ đồ cầu: e_2 – S.Đ.Đ. dây thứ cấp của máy biến áp; ΔU_v – sụt áp thuận trên hai van; R_{ba} , L_{ba} điện trở và điện kháng hai pha của biến áp.

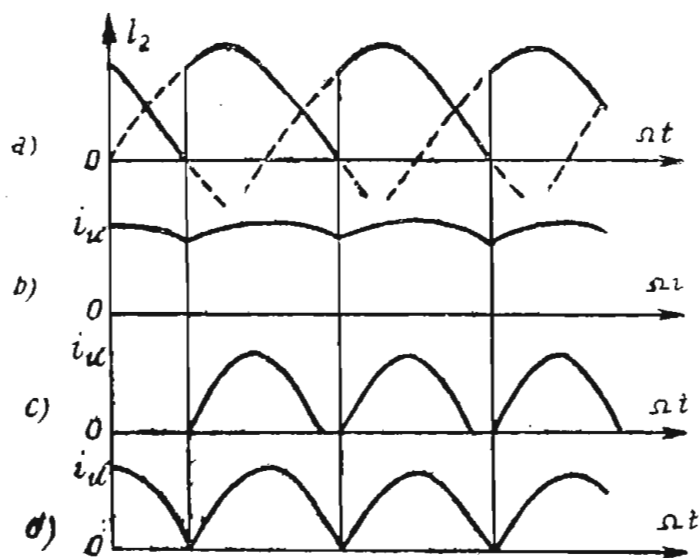
Các đại lượng trên phải lấy khác nhau đối với hai sơ đồ là vì ở sơ đồ tia dòng chỉ chạy qua một pha của biến áp và một van, còn ở sơ đồ cầu – qua hai pha và hai van.

Để cho việc phân tích được đơn giản ta giả thiết dòng ngược và sụt áp thuận của van bằng không: $i_{ng} = 0$, $\Delta U_v = 0$; S.Đ.Đ. thứ cấp của biến áp: $e_2 = E_{2m} \sin \Omega t$; thông số của mạch điện không đổi: $L = \text{const}$, $R = \text{const}$.

Giả sử xét quá trình làm việc của hệ trong khoảng thông của một van nào đó, đồ thị của S.Đ.Đ. và dòng điện trong hệ có dạng như trên hình 4-11b.

Nếu van mở tại thời điểm t_{α_0} tương ứng với góc $\alpha_0 = \Omega t_{\alpha_0}$ tính từ gốc của đường hình sin e_2 , thì từ sơ đồ thay thế hình 4-11a ta có:

$$E_{2m} \sin(\Omega t + \alpha_0) = E + \Delta U_v + Ri_{ur} + L \frac{di_{ur}}{dt} \quad (4-23)$$



Hình 4-12. Đồ thị thời gian của dòng phản ứng động cơ trong hệ V – Đ tương ứng với trạng thái liên tục (b) gián đoạn (c) và biên liên tục (d).

Đặt: $T = L/R$ – hằng số thời gian điện từ của mạch;

$\varphi = \arctg(\Omega T)$ – góc pha của mạch, thì nghiệm của phương trình vi phân trên sẽ là

$$i_{ur} = \left\{ \left[RI_0 + E - E_{2m} \cos \varphi \sin(\alpha_0 - \varphi) \right] \exp(-\Omega t / \text{ctg} \varphi) - \left[E - E_{2m} \cos \varphi \sin(\Omega t + \alpha_0 - \varphi) \right] \right\} \quad (4-24)$$

trong đó, I_0 – giá trị ban đầu của dòng điện trong mỗi khoảng dẫn của van.

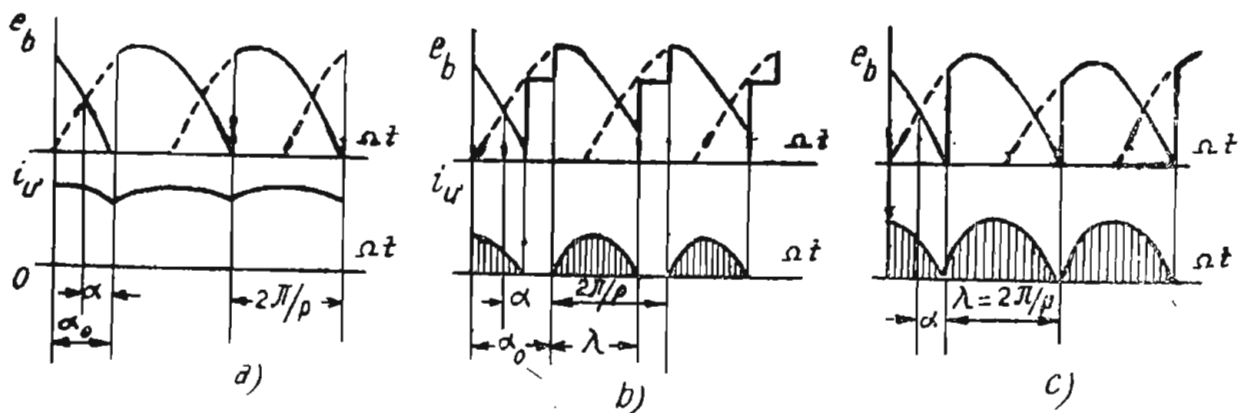
Từ các thông số cho trước của mạch và nguồn, dựa vào (4-24) ta vẽ được quan hệ $i_{ur} = f(\Omega t)$.

Đường cong này có thể có dạng liên tục như biểu diễn trên hình 4-12b, hoặc gián đoạn (hình 4-12c) hoặc « biên liên tục » (hình 4-12d).

Dòng i_u có dạng đập mạch, nên có thể phân tích thành các thành phần một chiều và xoay chiều. Thành phần một chiều chính là thành phần tác dụng và được xác định bằng giá trị trung bình của i_u trong một chu kỳ:

$$I_u = \frac{p}{2\pi} \int_0^\lambda i_u d\Omega t = \frac{p}{2\pi} \frac{1}{R} \left[E_{2m} \sin \frac{1}{2} \lambda \cdot \sin \left(\alpha_0 + \frac{1}{2} \lambda \right) - \frac{1}{2} \lambda E \right] \quad (4-25)$$

trong đó, λ — khoảng tồn tại của một xung dòng hoặc còn gọi là khoảng thông của van. Đối với trạng thái dòng điện liên tục và biên liên tục thì $\lambda = 2\pi/p$, đối với trạng thái dòng điện gián đoạn thì $\lambda < 2\pi/p$.



Hình 4-13. Đồ thị S.Đ.Đ. của bộ biến đổi và dòng tải ở các trạng thái dòng liên tục (a), gián đoạn (b) và biên liên tục (c)

Ở trạng thái dòng điện liên tục, van này chưa khóa thì van kế tiếp đã mở; việc mở của van kế tiếp là điều kiện cần để khóa van đang dẫn. Do đó trên đầu ra của bộ biến đổi ta luôn luôn nhận được áp lấy trực tiếp từ các đầu nối của dây quấn thứ cấp máy biến áp. Với giả thiết bỏ qua sụt áp trên van thì điện áp ra của bộ biến đổi ở trạng thái dòng liên tục sẽ là đường bao của các S.Đ.Đ. thứ cấp máy biến áp (S.Đ.Đ. pha đối với sơ đồ tia và S.Đ.Đ. dây đối với sơ đồ cầu). Nói cách khác, đường bao đó chính là S.Đ.Đ. của bộ biến đổi (hình 4-13a). Giá trị trung bình (thành phần một chiều) của nó được xác định bằng cách lấy tích phân hàm $e_b(\Omega t)$:

$$E_b = \frac{p}{2\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+2\pi/p} e_b(\Omega t) d\Omega t = E_{bm} \cos \alpha. \quad (4-26)$$

trong đó

$$\alpha = \alpha_0 - \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{p} \right) - \quad (4-27)$$

là góc mở van tính từ thời điểm chuyển mạch tự nhiên;

$$E_{bm} = \frac{p}{\pi} \sin \frac{\pi}{p} E_{2m} - \quad (4-28)$$

là S.Đ.Đ. lớn nhất của bộ biến đổi ứng với trường hợp $\alpha = 0$;

E_{2m} — biên độ S.Đ.Đ. pha thứ cấp của máy biến áp; nếu là sơ đồ cầu thì phải lấy biên độ S.Đ.Đ. dây.



Ở trạng thái dòng liên tục, sụt áp tổng trong bộ biến đổi bao gồm sụt áp do dòng tải gây ra trên các điện trở tác dụng của nó và sụt áp do hiện tượng chuyển mạch từ van này sang van khác:

$$\Delta U_b = \Delta U_r + \Delta U_\gamma = I_u \cdot R_{b.a} + \frac{P}{2\pi} X_{b.a} I_u, \quad (4-29)$$

hoặc:

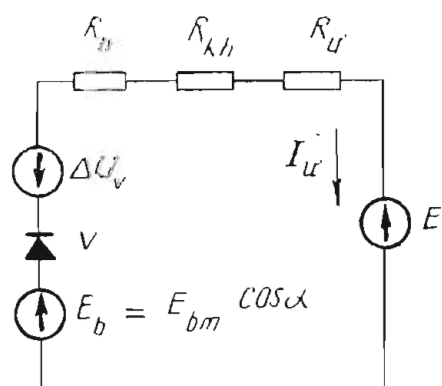
$$\Delta U_b = R_b I_u,$$

trong đó

$$R_b = R_{b.a} + \frac{P}{2\pi} X_{b.a} \quad (4-30)$$

là điện trở trong của bộ biến đổi (đại lượng đẳng trị).

Điện trở và điện kháng của máy biến áp được xác định bởi giá trị của dây quấn thứ cấp và của cả dây quấn sơ cấp tính đối sang phía thứ cấp.



Hình 4-14. Sơ đồ thay thế của hệ V-Đ ở trạng thái dòng liên tục.

$$\left. \begin{aligned} R_{b.a} &= R_2 + R'_1 = R_2 + R_1 \left(\frac{W_2}{W_1} \right)^2 \\ R_{b.a} &= X_2 + X'_1 = X_2 + X_1 \left(\frac{W_2}{W_1} \right)^2 \end{aligned} \right\} \quad (4-31)$$

trong đó, W_1, W_2 — số vòng dây của cuộn sơ cấp và thứ cấp của máy biến áp.

Như vậy, khi dòng điện tải có dạng liên tục, thì bộ biến đổi có thể thay bằng một nguồn áp tương đương với S.Đ.Đ. một chiều E_b xác định theo (4-26) và điện trở trong R_b xác định bởi (4-29). Sơ đồ thay thế này được vẽ trên hình 4-14, nó có dạng tương tự như sơ đồ tổng quát hình 4-1b.

Khi điện kháng của mạch nhỏ, nếu S.Đ.Đ. của động cơ đủ lớn thì dòng tải sẽ trở thành gián đoạn (hình 4-12b). Ở trạng thái này, dòng qua một van bất kỳ bằng không trước khi van kế tiếp mở. Do đó, phản ứng động cơ tựa như được đóng cắt vào nguồn một cách xen kẽ.

Khi van thông, nghĩa là với $0 \leq \Omega t \leq \lambda$, ta có:

$$e_b = e_2, \quad (u_a = u_2) \quad (4-32)$$

và khi van ngắt, nghĩa là với $\lambda \leq \Omega t \leq 2\pi/p$:

$$e_b = E, \quad (u_a = E \alpha)$$

Đồ thị S.Đ.Đ. của độ biến đổi $e_b(\Omega t)$ có dạng như đường nét đậm trên hình 4-13b.

Thành phần một chiều của S.Đ.Đ. bộ biến đổi sẽ là

$$E'_b = \frac{P}{2\pi} \left[\int_0^\lambda e_2 d\Omega t + \int_\lambda^{2\pi/p} E d\Omega t \right] = \frac{P}{2\pi} [E_{2m} \cos \alpha_0 - E_{2m} \cos(\alpha_0 + \lambda) - E\lambda] + E. \quad (4-34)$$

Góc thông λ có thể xác định nhờ (4-24) bằng cách cho $I_0 = 0$ và đặt $i_u = 0$ khi $\Omega t = \lambda$. Để thuận tiện cho việc tính toán, kết quả này được viết ở dạng hàm ngược:

$$E = E_{2m} \cos \varphi \frac{\sin(\alpha_0 - \varphi) - \sin(\varphi_0 - \varphi + \lambda) \exp(\lambda \operatorname{ctg} \varphi)}{1 - \exp(\lambda \operatorname{ctg} \varphi)} \quad (4-35)$$

Dựa vào biểu thức này ta có thể tự chọn lấy giá trị λ rồi tính ra E tương ứng với những điều kiện cho trước (φ , α và E_{2m}). Thay cặp giá trị λ và E đó vào (4-34) ta tìm được E'_h .

Nói chung việc tính toán các đại lượng ở trạng thái dòng điện gián đoạn là phức tạp.

★ 2. *Đặc tính cơ của động cơ.* Ở trạng thái dòng liên tục ta dựa vào sơ đồ thay thế hình 1-11 để viết phương trình đặc tính cơ:

$$\left. \begin{aligned} \omega &= \frac{E_{bm} \cos \alpha - \Delta U_v}{k \Phi_{dm}} - \frac{R_b + R_r + R_{kh}}{k \Phi_{dm}} I_r \\ \omega &= \frac{E_{bm} \cos \alpha - \Delta U_v}{k \Phi_{dm}} - \frac{R_b + R_r + R_{kh}}{(k \Phi_{dm})^2} M \end{aligned} \right\} \quad (4-36)$$

Đối với các van bán dẫn, $\Delta U_v \approx 1 - 2v$ nên có thể bỏ qua. Đối với các van ion, ΔU_v có giá trị đáng kể, khoảng 15 – 25v nên cần xét đến nó trong khi tính toán.

Từ (4-36) ta thấy đặc tính cơ điện và đặc tính cơ đều là những đường thẳng. Độ cứng của đặc tính cơ là

$$\beta = (k \Phi_{dm})^2 / (R_r + R_b + R_{kh}) \quad (4-37)$$

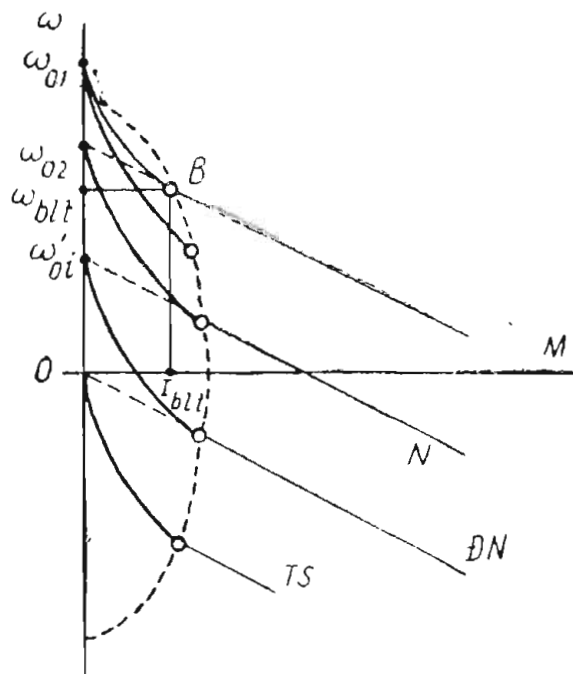
và tốc độ không tải lý tưởng là

$$\omega'_c = \frac{E_{bm} \cos \alpha - \Delta U_v}{k \Phi_{dm}} \quad (4-38)$$

Thay đổi góc mở van α từ 0 – 180°. S.D.Đ. của bộ biến đổi sẽ biến thiên từ $+E_{bm}$ – $-E_{bm}$ và ta sẽ được một họ đường thẳng song song nhau bố trí trên nửa mặt phẳng bên phải của hệ trục $[I_r, \omega]$ hoặc $[M, \omega]$ (hình 4-15). Những đặc tính đó không tồn tại ở nửa mặt phẳng bên trái là do van không cho dòng phản ứng đổi chiều.

Biểu thức (4-37) cho thấy các đặc tính cơ của hệ V-Đ mềm hơn đặc tính tự nhiên, và mềm hơn cả đặc tính của hệ F-Đ. Đó là vì điện trở trong R_b của bộ biến đổi có chứa thành phần đẳng trị do hiện tượng chuyển mạch các van: $R_v = (p/2\pi)X_{ba}$. Thành phần này có giá trị khá lớn.

Ở góc phần tư thứ I của mặt phẳng $[I_r, \omega]$ hoặc $[M, \omega]$ tương ứng với góc mở van $\alpha < 90^\circ$, động cơ làm việc ở trạng thái động cơ với chiều quay quy

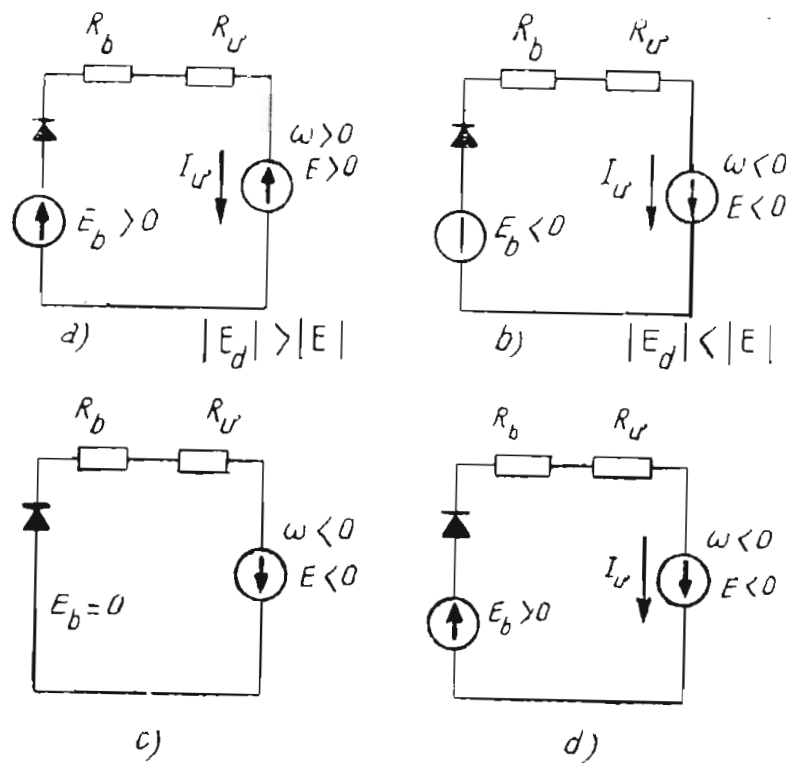


Hình 4-15. Đặc tính cơ của động cơ trong hệ V-Đ đơn (không đảo chiều)

trước $\omega > 0$. Lúc đó $E_b > 0$; bộ biến đổi làm việc ở trạng thái chỉnh lưu và truyền năng lượng cho động cơ. Sơ đồ thay thế của trường hợp này vẽ trên hình 4-16a.

Nếu cho $\alpha > 90^\circ$ thì $E_b < 0$. Nếu truyền động có tải thể năng để quay trục động cơ theo chiều ngược ($\omega < 0$) với một giá trị đủ lớn thì dòng vẫn tồn tại trong mạch theo chiều của S Đ.Đ. động cơ. Lúc đó động cơ hãm tái sinh, còn bộ biến đổi làm việc ở trạng thái nghịch lưu nhận năng lượng từ động cơ để biến đổi thành điện xoay chiều rồi trả về lưới. Sơ đồ thay thế của hệ được vẽ trên hình 4-16b. Các đặc tính cơ tương ứng với trạng thái này nằm trong góc phần tư thứ IV. (miền ghi chữ TS trên hình 4-15).

Khi cho $\alpha = 90^\circ$ ta có $E_b = 0$ và bộ biến đổi trở thành một vật dẫn có điện trở tác dụng là R_b . Nếu ngoại lực làm cho động cơ quay ngược ($\omega < 0$) thì động cơ sẽ làm việc ở trạng thái hãm động năng. Sơ đồ thay thế của hệ sẽ là hình 4-16c và đặc tính cơ tương ứng là đường O—ĐN trên hình 4-15.



Hình 4-16. Sơ đồ thay thế của hệ V—Đ ứng với các trạng thái làm việc:

a—chỉnh lưu—động cơ; b—nghịch lưu—máy phát (hãm tái sinh); c—hãm động năng; d—chỉnh lưu hãm ngược.

Khi tải đủ nhỏ, dòng I_u giảm đến giá trị mà năng lượng điện từ tích lũy trong điện kháng không đủ để duy trì dòng một cách liên tục thì sẽ xuất hiện trạng thái dòng điện gián đoạn. Như đã trình bày, các quan hệ trong bộ biến đổi và cả đặc tính của truyền động điện ở trạng thái này đều khác so với trạng thái dòng điện liên tục.

Trường hợp $\alpha < 90^\circ$, nghĩa là $E_b > 0$, nhưng ngoại lực làm cho động cơ quay ngược ($\omega < 0$) thì ta được sơ đồ thay thế hình 4-16d. Đó là sơ đồ hãm ngược, tương ứng với những đoạn đặc tính kẹp giữa trục hoành và tia O—ĐN.

Như vậy, nếu sử dụng «bộ biến đổi đơn» như các hình 4-9 thì máy điện trong hệ chỉ làm việc ở trạng thái động cơ với một chiều quay ($\omega > 0$), còn các trạng thái hãm chỉ có thể xảy ra khi ngoại lực làm cho động cơ quay ngược ($\omega < 0$). Rõ ràng hệ V—Đ kém linh hoạt hơn hệ F—Đ. Nguyên nhân của hiện tượng trên là tính dẫn một chiều của van.

Dạng đặc tính thẳng (phương trình 1-36 và hình 4-15) chỉ đúng với trạng thái dòng liên tục mà thôi.

Để dựng đặc tính cơ ở trạng thái dòng gián đoạn, ta dựa vào quan hệ (4-25) kết hợp với (1-35). Bằng cách thay $E = k\Phi_{dm}\omega$ vào hai biểu thức trên, ta được:

$$I_r = \frac{p}{2\pi} \frac{1}{R} \left[E_{2m} \sin \frac{1}{2} \lambda \sin(\alpha_o + \frac{1}{2} \lambda) - \frac{1}{2} \lambda k\Phi_{dm}\omega \right]; \quad (4-39)$$

và

$$\omega = \frac{1}{k\Phi_{dm}} E_{2m} \cos\varphi \frac{\sin(\alpha_o - \varphi) \sin(\alpha_o - \varphi + \lambda) \exp(\lambda \operatorname{ctg}\varphi)}{1 - \exp(\lambda \operatorname{ctg}\varphi)}. \quad (4-40)$$

Với một góc α (hoặc α_o) đã cho, ta tự chọn một loạt giá trị của λ rồi tính loạt ω tương ứng theo (4-40.) Thay từng cặp λ và ω vào (4-39) ta xác định được I_r và do đó xác định được mômen M của động cơ.

Các đặc tính cơ ở trạng thái dòng gián đoạn là những đường cong rất dốc nằm trong vùng elip trên hình 4-15. Việc tính toán để dựng các đoạn đặc tính này rất phức tạp và nhiều khi không cần thiết.

Khi chuyển từ trạng thái dòng liên tục sang trạng thái dòng gián đoạn, hệ sẽ phải qua một trạng thái giới hạn, đó là trạng thái biên liên tục. Lúc đó đồ thị dòng điện phần ứng và S.D.D. của bộ biến đổi có dạng như trên hình 4-13c. Trên đặc tính cơ ứng với góc α nào đó, trạng thái này được biểu diễn bằng điểm B. Thực tế tính toán truyền động van thường yêu cầu xác định điểm giới hạn B (mà có thể không cần dựng đoạn đặc tính trong vùng dòng gián đoạn).

Tọa độ của điểm biên B (I_{bll} , ω_{bll}) được xác định bằng cách thay $\lambda = 2\pi/p$ vào hệ phương trình (4-40) và (4-39).

Để cho đơn giản, ta coi trạng thái biên liên tục xảy ra khi dòng đủ nhỏ ($I_r \rightarrow 0$) hoặc tương ứng là khi $I_r R_\Sigma \rightarrow 0$. Bằng cách lấy giới hạn của vế phải (4-40) với $\lambda = 2\pi/p$:

$$\omega_{bll} = \left[\lim_{I_r R \rightarrow 0} \omega \right]_{\lambda = 2\pi/p}$$

rồi thay vào (4-39) ta có:

$$I_{bll} = \frac{E_{2m}}{\Omega L} \left(\frac{p}{\pi} \sin \frac{\pi}{p} - \cos \frac{\pi}{p} \right) \sin \alpha = \frac{E_{bm} \sin \alpha}{\Omega L} \left(1 - \frac{p}{\pi} \operatorname{ctg} \frac{\pi}{p} \right). \quad (4-41)$$

Mặt khác, vì «biên liên tục» là một trường hợp riêng của trạng thái liên tục, nên tung độ của điểm B vẫn được xác định theo phương trình (4-36):

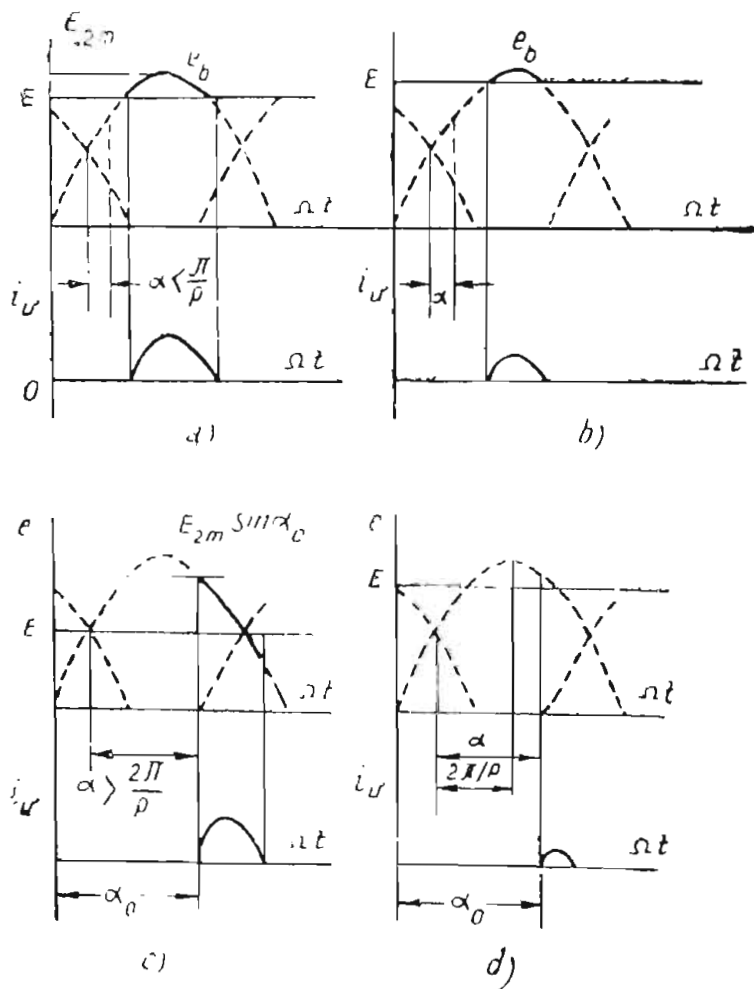
$$\omega_{bll} = \frac{E_{bm} \cos \alpha}{k\Phi_{dm}} - \frac{R_b + R_r + R_{kh}}{k\Phi_{dm}} I_{bll}. \quad (4-42)$$

trong đó ta đã bỏ qua ΔU_v .

Khi thay đổi giá trị α , điểm B sẽ dịch chuyển trên nửa đường elip như đã vẽ bằng đường nét đứt trên hình 4-15.

Tốc độ không tải lý tưởng của động cơ thực ra không phải là ω_o [xem biểu thức (4-38)]. Khi dòng phần ứng $I_r \rightarrow 0$, trạng thái của hệ sẽ chuyển từ

dòng liên tục sang dòng gián đoạn. Do đó đặc tính cơ thay đổi quy luật và ta được giá trị ω_0 lớn hơn ω_0 đáng kể.



Hình 4-17. Minh họa cho việc tìm giới hạn của S.Đ.Đ. động cơ khi $I_r \rightarrow 0$. a và b - trường hợp $\alpha \leq \pi/p$; c và d - trường hợp $\alpha \geq \pi/p$.

Giá trị của ω_0 được xác định bằng cách lấy giới hạn của S.Đ.Đ. động cơ khi $I_r \rightarrow 0$. Rõ ràng rằng I_r chỉ có thể tiến tới không khi E tiến tới giá trị lớn nhất của S.Đ.Đ. nguồn e_b . Nhận xét này được minh họa bởi hình 4-17. Khi góc mở $\alpha < \frac{\pi}{p}$ (hình 4-17a và b) giá trị lớn nhất của e_b chính là biên độ của điện áp thứ cấp máy biến áp. Khi $\alpha > \pi/p$ (hình 4-17c và d) giá trị đó lại là giá trị tức thời của điện áp thứ cấp tại điểm mở van. Do đó:

$$\lim_{I_r \rightarrow 0} E = \lim_{\lambda \rightarrow 0} E = \begin{cases} E_{2m} & \text{với } \alpha \leq \frac{\pi}{p} \\ E_{2m} \sin \Omega t / \alpha_0 = E_{2m} \cos \left(\alpha - \frac{\pi}{p} \right) & \text{với } \alpha \geq \frac{\pi}{p} \end{cases} \quad (4-43)$$

Từ đó ta xác định được giá trị của tốc độ không tải lý tưởng:

$$\omega_0 = \frac{1}{k\Phi_{dm}} \left[\lim_{I_r \rightarrow 0} E \right] = \begin{cases} \frac{E_{2m}}{k\Phi_{dm}} & \text{với } \alpha \leq \frac{\pi}{p} \\ \frac{E_{2m} \cos(\alpha - \pi/p)}{k\Phi_{dm}} & \text{với } \alpha \geq \frac{\pi}{p} \end{cases} \quad (4-44)$$

Các đoạn đặc tính cơ ở trạng thái dòng gián đoạn và giá trị ω_0 được biểu diễn trên hình 4.15 bởi những đường nét liền.

Chú ý rằng dòng gián đoạn có dạng xung, nên chứa thành phần xoay chiều rất lớn nghĩa là gây tổn thất nhiệt rất nhiều. Hơn nữa, đặc tính cơ của hệ trong trạng thái này rất dốc nên hệ kém ổn định. Vì vậy khi thiết kế truyền động van người ta cố gắng làm hẹp vùng dòng gián đoạn. Các biện pháp thường dùng là nối kháng lọc đủ lớn, tăng số lần dập mạch (p) của bộ biến đổi, nối van đệm hoặc dùng những sơ đồ đặc biệt.

3. Trạng thái nghịch lưu của bộ biến đổi và trạng thái hãm tái sinh của động cơ. Như đã phân tích ở trên, trong các sơ đồ hình 4-9 máy điện chỉ có thể làm việc ở trạng thái hãm tái sinh ở chiều quay $\omega < 0$ khi tải có tính

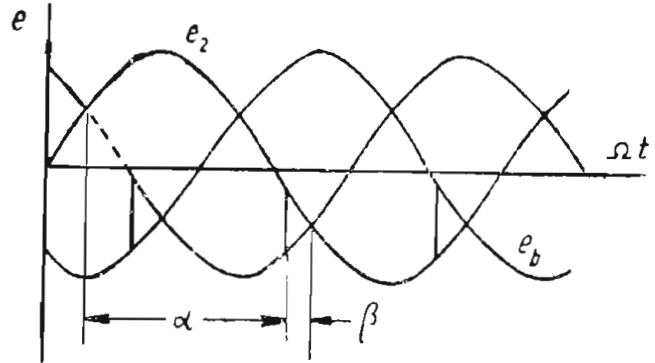
thể năng. Lúc đó, góc mở van $\alpha > 90^\circ$ và ta có sơ đồ thay thế của hệ như trên hình 4-16b.

Nếu chọn α sao cho $|E_b| < |E|$ thì dòng tĩnh trong mạch phản ứng sẽ là

$$I_{ur} = \frac{E - E_b}{R_b + R_{ur}} = \frac{|k\Phi_{dm}\omega| - |E_{bm}\cos\alpha|}{R_b + R_{ur}} \quad (1-45)$$

và vẫn chảy thuận chiều van.

Khi đó, động cơ làm việc ở trạng thái máy phát và tạo ra điện năng cấp cho bộ biến đổi. Bằng cách luân phiên mở các van, mỗi van thông trong khoảng $2\pi/p$ (theo chu kỳ của điện áp lưới xoay chiều), bộ biến đổi sẽ biến dòng một chiều trong mạch phản ứng động cơ thành dòng xoay chiều chảy trong các cuộn dây của máy biến áp, rồi đưa năng lượng nói trên trả về lưới điện xoay chiều. Trạng thái làm việc như vậy được gọi là trạng thái nghịch lưu. Trong trường hợp này, lưới điện chỉ có tác dụng gây chuyển mạch các van, chứ không cấp năng lượng tác dụng.



Hình 4-18. Đồ thị SDD của bộ biến đổi ở trạng thái nghịch lưu.

S.Đ.Đ. của bộ biến đổi ở trạng thái nghịch lưu được biểu diễn bằng đường viền nét đậm trên hình 4-18. Vì góc $\alpha > 90^\circ$ nên các van thông chủ yếu trong thời gian S.Đ.Đ, thứ cấp của máy biến áp có giá trị âm. Tuy vậy, cần lưu ý rằng, điện thế anốt của van vẫn dương hơn catốt do tác dụng của S.Đ.Đ. E của động cơ.

Khi biểu diễn các quan hệ của bộ biến đổi ở trạng thái nghịch lưu, người ta thường dùng đại lượng «góc thông sớm» β_v thay cho góc mở α :

$$\beta_v = \pi - \alpha \quad (4-16)$$

Như vậy, S.Đ.Đ. của bộ biến đổi ở trạng thái nghịch lưu là

$$E_b = E_{bm}\cos\alpha = -E_{bm}\cos\beta_v \quad (4-17)$$

Phương trình đặc tính cơ điện và đặc tính cơ được rút ra nhờ sơ đồ thay thế hình 4-16b và phương trình (4-17):

$$|E| = |E_b| + |I_{ur}(R_b + R_{ur})|$$

hoặc

$$\left. \begin{aligned} \omega &= \frac{E_{bm}\cos\beta_v}{k\Phi_{dm}} + \frac{R_b + R_{ur}}{k\Phi_{dm}} I_{ur} \\ \omega &= \frac{E_{bm}\cos\beta_v}{k\Phi_{dm}} + \frac{R_b + R_{ur}}{(k\Phi_{dm})^2} M \end{aligned} \right\} \quad (4-18)$$

Chú ý, trong các biểu thức trên, ta đã cho $\Delta U_v = 0$ và $R_{kh} = 0$.

Các quan hệ (4-18) được biểu diễn bằng những đường thẳng trên hình 4-19 tương ứng với những góc β_v khác nhau, hoặc trên hình 4-15 (góc phần tư thứ tư).

Khi khảo sát trạng thái nghịch lưu cần chú ý đến điều kiện bảo đảm cho bộ biến đổi không bị sự cố «đột biến nghịch lưu». Điều kiện đó là: góc thông sớm không được nhỏ hơn một giá trị cực tiểu cho phép

$$\beta_{v.\min} = \gamma + \delta \quad (4-49)$$

trong đó γ – góc chuyển mạch;

δ – góc phục hồi tính khóa của van.

Từ (4-16) ta có góc mở cực đại cho phép là:

$$\alpha_{\max} = \pi - \beta_{v.\min} = \pi - (\gamma + \delta) \quad (4-50)$$

Theo «kỹ thuật biến đổi», góc chuyển mạch γ được xác định nhờ biểu thức

$$\gamma = \arccos \left(\cos \alpha - \frac{p}{\pi} X_{ba} \frac{I_U}{E_{bm}} \right) - \alpha \quad (4-51)$$

Thay bằng $\alpha_{\max}$ và biến đổi biểu thức trên ta được

$$\cos \alpha_{\max} = \cos (\gamma + \alpha_{\max}) + \frac{p}{\pi} X_{ba} \frac{I_U}{E_{bm}} \quad (4-52)$$

Mặt khác, từ (4-50) ta có

$$\gamma + \alpha_{\max} = \pi - \delta, \text{ hoặc } \cos (\gamma + \alpha_{\max}) = -\cos \delta. \quad (4-53)$$

Từ (4-52) và (4-53) ta rút ra:

$$|\cos \alpha_{\max}| = |\cos \beta_{v.\min}| = \cos \delta - \frac{p}{\pi} X_{ba} \frac{I_U}{E_{bm}} \quad (4-54)$$

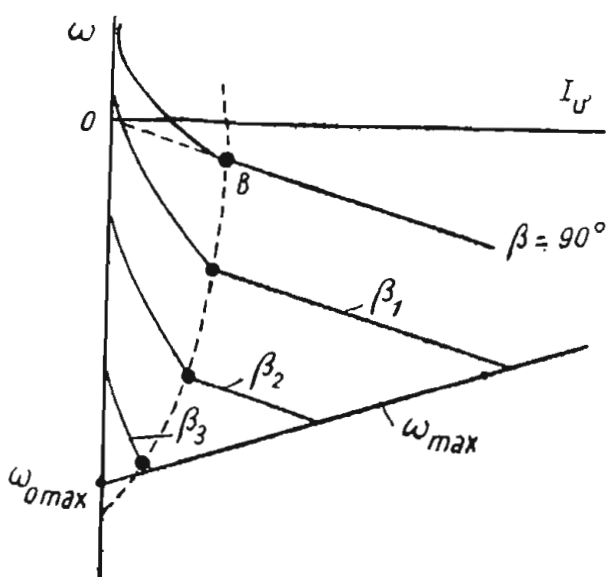
Thay giá trị của $\cos \beta_{v.\min}$ vào phương trình (4-48) ta được

$$\omega_{\max} = \frac{E_{bm} \cos \delta}{k \Phi_{dm}} - \left(\frac{p}{2\pi} X_{ba} - R_U \right) \frac{I_U}{k \Phi_{dm}} \quad (4-55)$$

Biểu thức (4-55) là phương trình của đặc tính giới hạn của nghịch lưu. Nó là đường thẳng $\omega_{\max}$ trên hình 4-19.

Từ (4-55) ta thấy tốc độ cực đại cho phép của động cơ ở trạng thái hãm tái sinh phụ thuộc vào khả năng phục hồi tính khóa của van (góc δ) và dòng tải I_U . Khi không tải lý tưởng thì:

$$|\omega_{0.\max}| = \frac{E_{bm} \cos \delta}{k \Phi_{dm}} \quad (4-56)$$



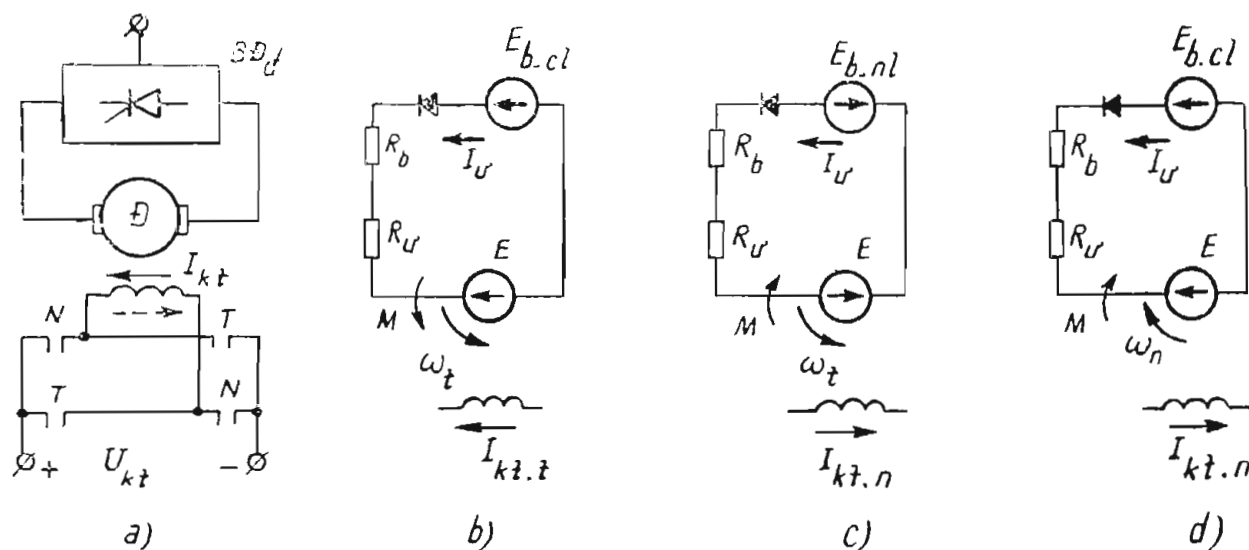
Hình 4-19. Đặc tính cơ khi bộ biến đổi làm việc ở trạng thái nghịch lưu.

Khi tải tăng, tốc độ cho phép giảm xuống. Sở dĩ như vậy là vì khi I_U lớn lên, góc chuyển mạch cũng tăng theo, còn δ có giá trị cố định, nên để bảo đảm điều kiện (4-49), ta phải tăng góc thông sớm $\beta_{v.}$, do đó giảm S.Đ.Đ. của bộ biến đổi.

4. Truyền động van đảo chiều. Muốn cho máy điện làm việc ở trạng thái động cơ cũng như ở trạng thái hãm ứng với cả hai chiều quay của trục ta phải dùng hệ truyền động van đảo chiều.

Có thể thiết lập hệ đảo chiều theo ba phương pháp: đảo chiều dòng kích từ của động cơ, đảo chiều dòng phần ứng bằng tiếp điểm và đảo chiều dòng phần ứng nhờ bộ biến đổi kép.

Phương pháp thứ nhất dùng một bộ biến đổi đơn (không đảo chiều) trong mạch phần ứng và một bộ tiếp điểm đảo chiều trong mạch kích từ. Sơ đồ nguyên lý và các sơ đồ thay thế của hệ thiết lập theo phương pháp này được trình bày trên hình 4-20.



Hình 4-20. Hệ V-Đ đảo chiều bằng cách đổi chiều dòng kích từ động cơ. a-sơ đồ nguyên lý; b-d-các sơ đồ thay thế khi động cơ làm việc ở trạng thái động cơ-quay thuận, hãm-quay thuận và động cơ-quay ngược.

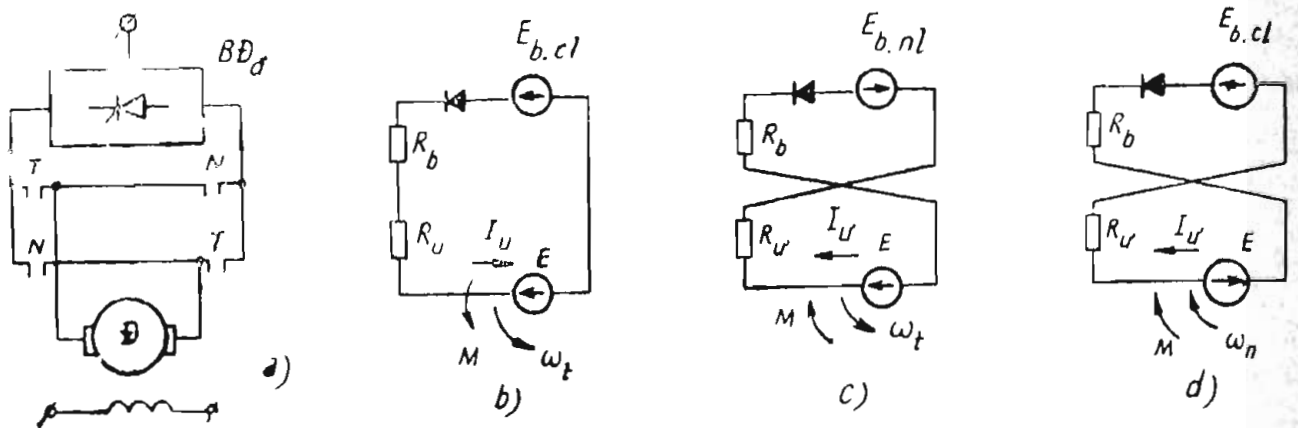
Giả thiết khi động cơ quay thuận ($\omega > 0$), dòng kích từ là $I_{kt,t}$ và góc thông van là $\alpha < 90^\circ$, ta có sơ đồ thay thế hình 4-20b. Để hãm động cơ, ta đổi chiều dòng kích từ ($I_{kt,n}$) đồng thời tăng góc mở van $\alpha > 90^\circ$. Khi đó dù tốc độ vẫn theo chiều cũ nhưng S.Đ.Đ. của động cơ đổi chiều ($E < 0$), đồng thời S.Đ.Đ. của bộ biến đổi cũng đổi chiều, ta có sơ đồ thay thế hình 4-20c. Góc α phải chọn sao cho $|E_{b,nl}| < |E|$. Như vậy, dòng I_r chảy dưới tác dụng của S.Đ.Đ. động cơ, động cơ làm việc ở trạng thái máy phát, còn bộ biến đổi ở trạng thái nghịch lưu. Tuy dòng phần ứng không đổi chiều nhưng do từ thông đổi chiều nên mômen của động cơ trở thành ngược chiều tốc độ và gây tác dụng hãm. Tốc độ càng giảm thì S.Đ.Đ. E và dòng I_r càng giảm và hiệu quả hãm càng yếu. Để duy trì tác dụng hãm ở mức mạnh nhất không đổi, người ta cho α thay đổi tự động sao cho hiệu $E - E_b = \text{const}$, do đó dòng I_r và mômen được giữ cố định.

Để đảo chiều quay động cơ, ta cho dòng kích từ chảy theo chiều ngược ($I_{kt,n}$), còn bộ biến đổi làm việc ở trạng thái chỉnh lưu với $\alpha < 90^\circ$. Khi đó sơ đồ thay thế sẽ như trên hình 4-20d, và sự phối hợp giữa bộ biến đổi với động cơ hoàn toàn tương tự như khi quay thuận (hình 4-20b).

Phương pháp đảo chiều nhờ mạch kích từ đơn giản về mặt thiết bị, giá thành hạ, thuận tiện trong vận hành và bảo quản. Nhưng do quán tính điện từ của mạch kích từ lớn nên thời gian đảo chiều của truyền động có thể lớn tới vài giây.

Phương pháp đảo chiều thứ hai được thực hiện theo sơ đồ nguyên lý hình 4-21a. Nó dùng một bộ biến đổi đơn và một bộ tiếp điểm đảo chiều trong

mạch phản ứng. Sơ đồ này cũng bảo đảm được các trạng thái làm việc tương tự như sơ đồ trên. Mối tương quan giữa các đại lượng điện và cơ của bộ biến đổi và động cơ được minh họa bởi các sơ đồ thay thế trên hình 4-21.



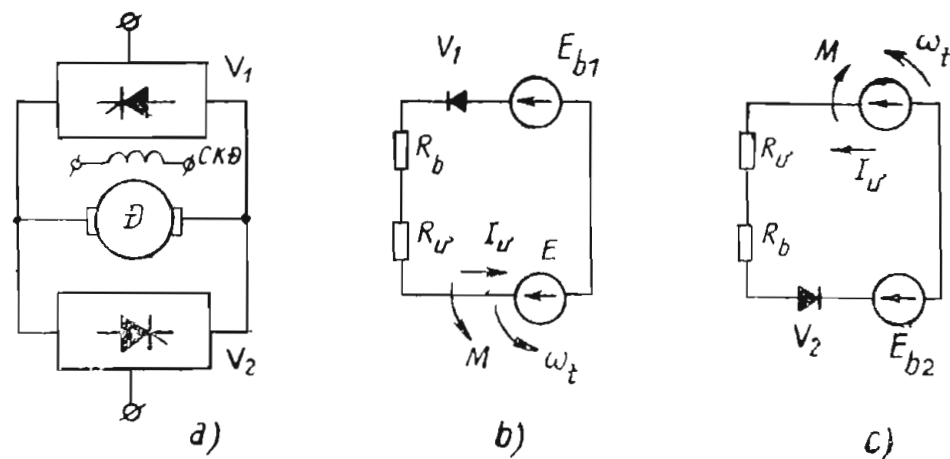
Hình 4-21. Truyền động van đảo chiều dùng tiếp điểm trong mạch phản ứng.
a - sơ đồ nguyên lý; b-d - các sơ đồ thay thế ở trạng thái động cơ - quay thuận,
hãm ở chiều quay thuận và trạng thái động cơ - quay ngược.

Phương pháp đảo chiều nhờ tiếp điểm trong mạch phản ứng có thời gian đảo chiều nhanh hơn phương pháp trên và sơ đồ tương đối đơn giản. Nhược điểm của nó là phải dùng các tiếp điểm trong mạch lực. Người ta có thể sử dụng quy luật điều khiển bộ biến đổi để đảm bảo đóng cắt tiếp điểm khi dòng phản ứng $I_r \approx 0$. Nhưng khi đó tác động của hệ thống trong các quá trình quá độ bắt buộc phải diễn ra theo trình tự nhất định, do đó làm giảm độ tác động nhanh.

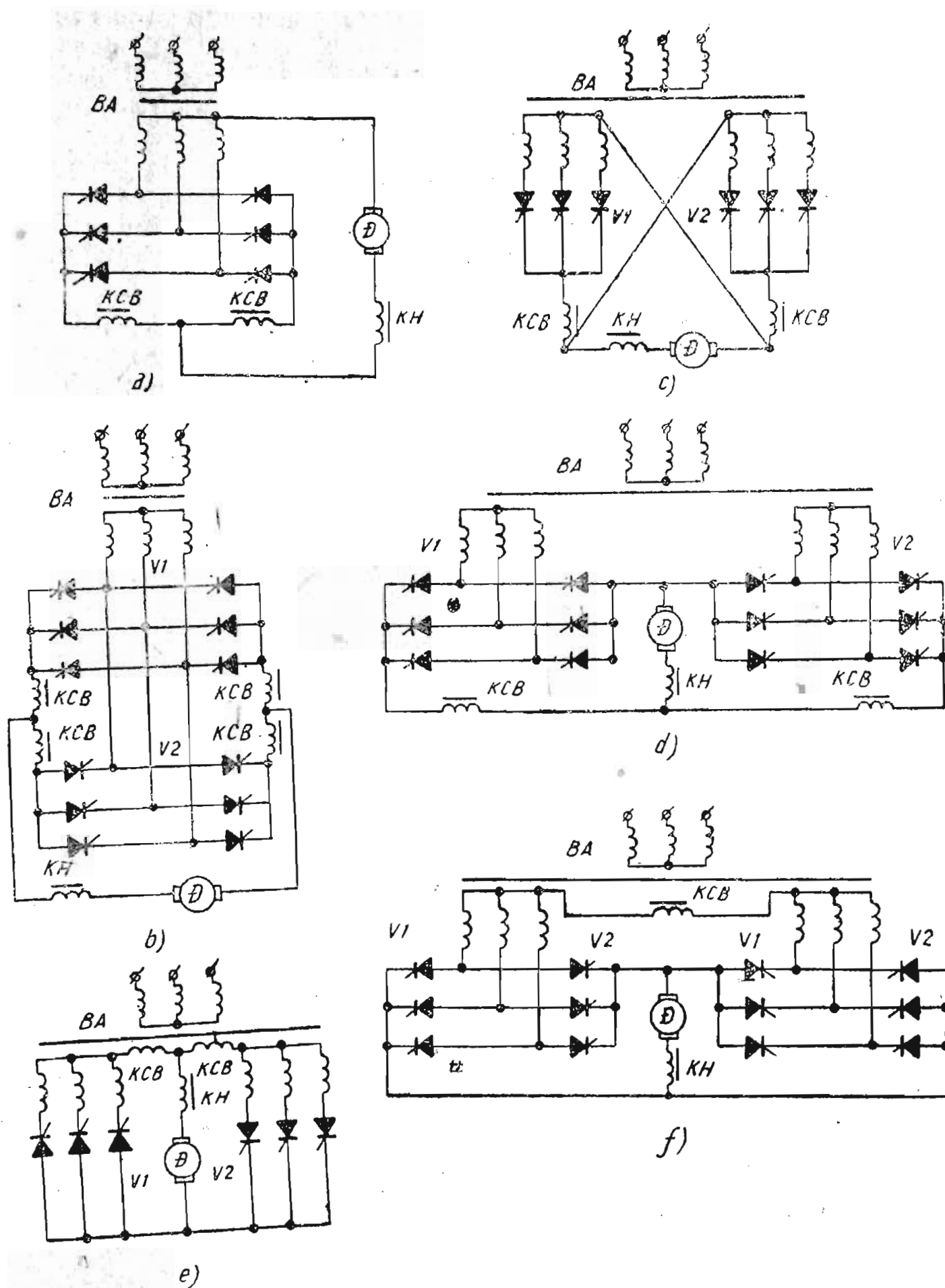
Phương pháp đảo chiều thứ ba là sử dụng bộ biến đổi kép (bộ biến đổi đảo chiều) để thay đổi cực tính điện áp trên phần ứng. Phương pháp này tuy phức tạp nhưng tránh được các nhược điểm của hai phương pháp trên.

Sơ đồ nguyên lý của hệ có bộ biến đổi kép được trình bày trên hình 4-22a. Bộ biến đổi gồm hai tổ van, một để tạo áp có cực tính thuận và một - cực tính ngược tương ứng với hai chiều quay ở trạng thái động cơ của máy điện.

Một số trạng thái làm việc của hệ được minh họa bằng những sơ đồ thay thế trên hình 4-22. Khi máy điện làm việc ở trạng thái động cơ với chiều



Hình 4-22. Truyền động van đảo chiều khi dùng bộ biến đổi kép. a - sơ đồ nguyên lý; b, c - các sơ đồ thay thế khi máy điện làm việc ở trạng thái động cơ và trạng thái tái sinh ở chiều quay thuận.



Hình 4-23. Sơ đồ nguyên lý của bộ biến đổi kép ba pha:
a và b—song song ngược, c và d—chữ thập; e và f—chữ H.

quay thuận, ta cho tổ van V_1 mở với góc $\alpha_1 < 90^\circ$ (chỉnh lưu) và loại trừ tác dụng của tổ V_2 . Lúc đó chiều của các S.Đ.Đ. dòng, mômen và tốc độ được biểu diễn trên hình 4-22b. Muốn thực hiện hãm tái sinh ở chiều quay thuận, ta loại trừ tác dụng của tổ V_1 và đóng tổ V_2 vào hệ với góc $\alpha_2 > 90^\circ$. Lúc đó tổ V_2 làm việc ở trạng thái nghịch lưu. Chiều của các đại lượng điện cơ được biểu diễn trên hình 4-22c. Tương tự như vậy, ở chiều quay ngược ta đóng tổ V_2 với góc $\alpha_2 < 90^\circ$ khi cần cho máy điện làm việc ở trạng thái động cơ và đóng V_1 với góc $\alpha_1 < 90^\circ$ khi cần cho máy điện làm việc ở trạng thái hãm tái sinh.

Mỗi tổ van trong bộ biến đổi kép được nối theo sơ đồ của bộ biến đổi đơn, như đã khảo sát.

Việc nối hai tổ van thành bộ biến đổi kép được thực hiện theo một trong ba loại sơ đồ: sơ đồ chữ thập, sơ đồ song song ngược và sơ đồ chữ H. Sơ đồ nguyên lý của các bộ biến đổi kép ba pha được giới thiệu trên hình 4-23.

Đặc tính của truyền động van đảo chiều phụ thuộc rất nhiều vào phương pháp điều khiển bộ biến đổi. Có hai phương pháp điều khiển: điều khiển chung và điều khiển riêng.

Khi điều khiển chung, cả hai tổ van đều có xung mở, một tổ mở ở trạng thái tác dụng có trao đổi năng lượng với động cơ, còn tổ kia chỉ mở ở trạng thái đợi (không trao đổi năng lượng với động cơ).

Ví dụ khi cần cho động cơ quay thuận ta cho tổ V_1 mở với góc $\alpha_1 < 90^\circ$ điện năng sẽ được tổ này truyền vào động cơ. Lúc đó tổ V_2 có các xung mở van với góc $\alpha_2 > 90^\circ$ sao cho $|E_{b2}| \geq |E_{b1}|$. Do đó thành phần một chiều của dòng điện không thể chảy từ tổ V_1 sang tổ V_2 hoặc từ động cơ sang tổ V_2 . Nói

cách khác, tổ V_2 mở ở trạng thái nghịch lưu đợi. Sơ đồ thay thế của hệ đổi với trường hợp này được trình bày trên hình 4-24.

Nếu chọn $|E_{b1}| = |E_{b2}|$ thì ta có phương pháp « điều khiển chung tuyến tính ». Vì $E_{b1} = E_{bm} \cos \alpha_1$ và $E_{b2} = E_{bm} \cos \alpha_2$ nên quan hệ giữa các góc mở van của hai tổ sẽ là:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_1 + \alpha_2 &= \pi, \\ \alpha_1 &= \beta_{v.2} \end{aligned} \right\} \quad (4-57)$$

hoặc

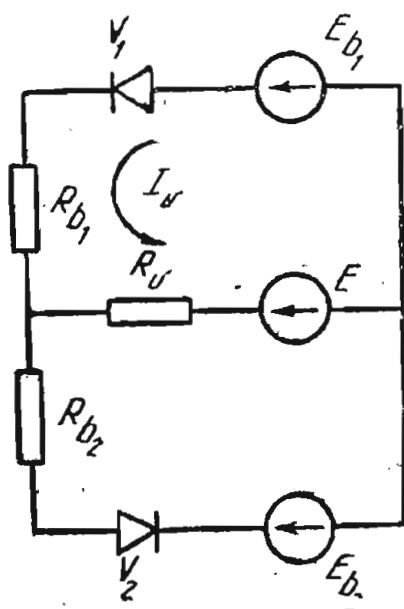
Như vậy, điều khiển chung tuyến tính được thực hiện bằng cách giữ cho tổng số góc mở của hai nhóm van bằng π . Nếu tăng góc mở của tổ này thì đồng thời phải giảm góc mở của tổ kia. Nhờ đó ta giữ được tổng S.Đ.Đ. trong mạch nguồn từ tổ van V_1 đến tổ van V_2 là

$$\Sigma E_b = E_{b1} + E_{b2} = 0, \quad (4-58a)$$

và dòng khép kín trong bộ biến đổi (không qua động cơ) sẽ không có:

$$I_{cb} = \frac{\Sigma E_b}{\Sigma R_b} = 0, \quad (4-58b)$$

nghĩa là không có hiện tượng trao đổi năng lượng tác dụng giữa hai tổ van. Dòng I_{cb} được gọi là dòng cân bằng.



Hình 4-24. Sơ đồ thay thế của hệ V-Đ đảo chiều khi điều khiển chung hai tổ van

Nếu điều khiển cho S.Đ.Đ. của tổ nghịch lưu lớn hơn S.Đ.Đ. của tổ chỉnh lưu: $|E_{b2}| > |E_{b1}|$, thì ta có phương pháp «điều khiển chung phi tuyến». Thay giá trị của E_{b1} và E_{b2} như khi rút quan hệ (4-57) ta được:

$$\alpha_1 + \alpha_2 = \pi + \xi. \quad (4-59)$$

Góc ξ gọi là «góc không phù hợp» và được chọn theo yêu cầu của các đặc tính tĩnh và động của hệ.

Vì S.Đ.Đ. của tổ nghịch lưu lớn hơn S.Đ.Đ. của tổ chỉnh lưu, nên các van của tổ nghịch lưu bị khóa, vì vậy $I_{cb} = 0$.

Tuy nhiên, trong cả hai phương pháp điều khiển chung nói trên, mặc dù đã giữ cho giá trị trung bình $|E_{b2}| \geq |E_{b1}|$, nhưng vì giá trị tức thời của S.Đ.Đ. hai tổ van biến đổi riêng biệt theo S.Đ.Đ. thứ cấp tương ứng của máy biến áp, nên vẫn xuất hiện những thời điểm có giá trị tức thời $|e_{b2}| < |e_{b1}|$. Lúc đó tổng S.Đ.Đ. trong mạch nguồn sẽ là $\Sigma e_b = e_{b1} + e_{b2} > 0$ và tác dụng thuận chiều van, do đó xuất hiện dòng cân bằng theo dạng dòng chỉnh lưu một nửa chu kỳ đối với nguồn là Σe_b . Hiện tượng này được minh họa bởi sơ đồ thay thế hình 4-25.

Để hạn chế dòng cân bằng này người ta dùng những cuộn kháng cân bằng KCB trong các sơ đồ hình 4-23.

Phương pháp điều khiển riêng được thực hiện bằng cách chỉ đặt xung mở lên tổ van tác dụng, còn tổ kia không có xung điều khiển. Như vậy tại bất kỳ thời điểm nào cũng chỉ có một tổ nối vào động cơ, nhờ đó ta hoàn toàn loại trừ được dòng cân bằng. Tuy nhiên khi đó hệ thống điều khiển sẽ phức tạp và các đặc tính tĩnh cũng như động của hệ truyền động không tốt.

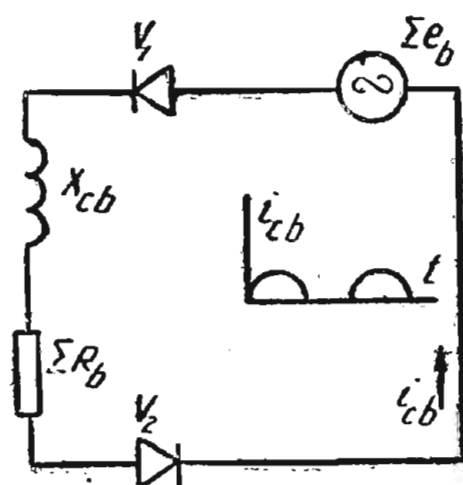
5. Đánh giá các chỉ tiêu chất lượng.

Các chỉ tiêu chất lượng chủ yếu đã được đánh giá khái quát trong § 4-1. Tuy nhiên, vì bộ biến đổi van có những đặc điểm riêng nên cần xét thêm một số chỉ tiêu.

Nhờ sử dụng bộ biến đổi tĩnh và nhờ những tính năng tốt của van, đặc biệt là van bán dẫn, nên hệ V-Đ có nhiều ưu điểm như độ tác động nhanh cao, tổn thất ít, giảm tiếng ồn và chấn động, không yêu cầu nền móng đặc biệt, kích thước và trọng lượng nhỏ.

Mặt khác, nhờ dùng van điều khiển và nhờ bộ biến đổi có hệ số khuếch đại lớn nên có thể thiết lập hệ tự động vòng kín để mở rộng giải điều chỉnh và cải thiện các đặc tính làm việc của hệ.

Nhược điểm của hệ V-Đ là khả năng linh hoạt khi chuyển đổi trạng thái làm việc không cao, hệ đảo chiều khá phức tạp, khả năng quá tải về dòng và về áp của các van kém. Đặc biệt, S.Đ.Đ. của độ biến đổi có độ đáp mạch lớn, nghĩa là chứa thành phần xoay chiều lớn, do đó gây tổn thất phụ và làm xấu điều kiện chuyển mạch trên cổ góp của động cơ. Hệ số công suất của truyền động van gần như tỷ lệ với tốc độ làm việc, nên khi điều chỉnh sâu chỉ tiêu này rất thấp.



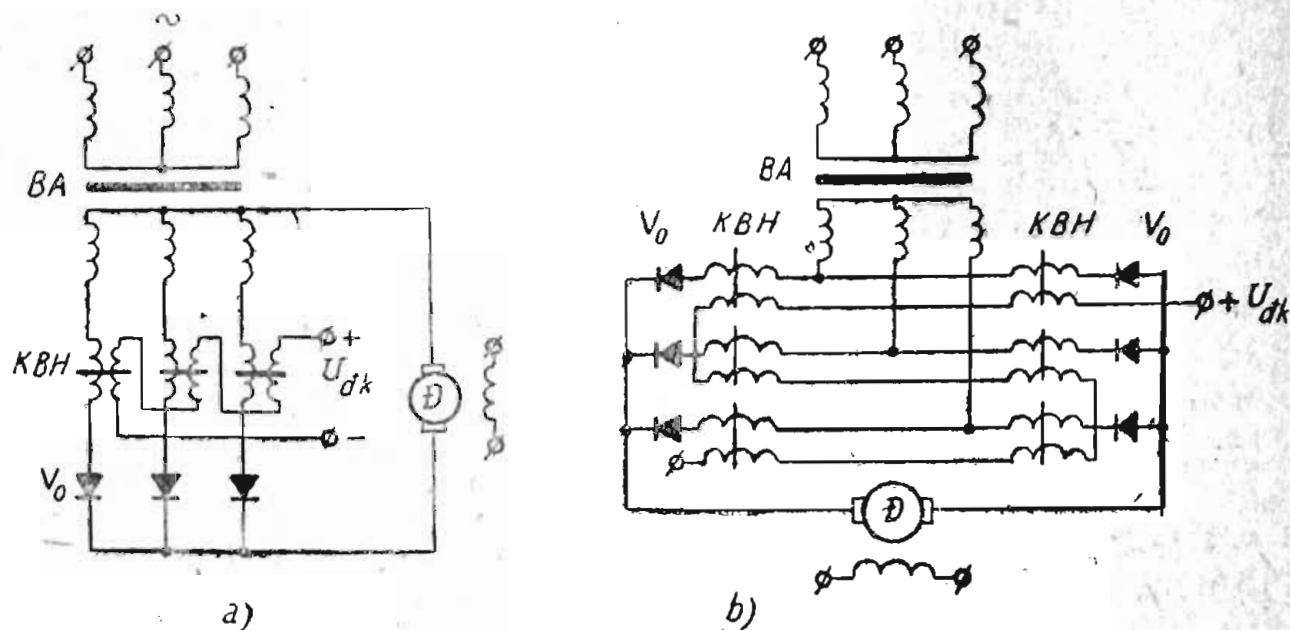
Hình 4-25. Sơ đồ thay thế của mạch cân bằng dưới tác dụng của giá trị tức thời của các SĐĐ e_b .

4-4. HỆ ĐIỀU ÁP VAN-TỪ--ĐỘNG CƠ (KHUẾCH ĐẠI TỪ-Đ) VT-Đ.

1. Bộ biến đổi van từ và S.Đ.Đ. của nó.

Bộ biến đổi van—từ, hoặc còn gọi là khuếch đại từ, là tổ hợp của kháng bão hòa với chỉnh lưu không điều khiển. Thực chất nó là kháng bão hòa tự từ hóa, nối theo những sơ đồ một pha, ba pha, tia hoặc cầu.

Để thực hiện chức năng điều chỉnh tốc độ của động cơ một chiều, ta dùng bộ biến đổi này cung cấp cho phần ứng động cơ. Hình 4-26 giới thiệu hai sơ đồ ba pha tia và cầu.



Hình 4-26. Sơ đồ nguyên lý hệ VT-Đ:
a) tia ba pha; b) cầu ba pha.

Trong các sơ đồ này máy biến áp BA có chức năng biến đổi giá trị điện áp cho phù hợp với yêu cầu của động cơ, tạo số pha hoặc điểm trung tính cho phù hợp với sơ đồ chỉnh lưu nếu cần và nâng cao hệ số công suất của hệ. Các van không điều khiển V_0 dùng để biến đổi dòng xoay chiều thành một chiều và tạo thành phần sức từ hóa phản hồi trong. Kháng bão hòa KBH dùng để điều chỉnh giá trị S.Đ.Đ. của bộ biến đổi.

Ta có thể coi tổ hợp kháng và van như một van điều khiển, trong đó kháng làm chức năng của cực điều khiển. Để thấy rõ tác dụng này, ta tách một pha trong các sơ đồ trên (hình 4-27) để khảo sát với giả thiết coi đặc tính từ trễ của lõi hình chữ nhật, điện trở cuộn làm việc của kháng bằng 0 và tải chỉ thuần trở. Từ sơ đồ 2-27a ta có phương trình mạch điện.

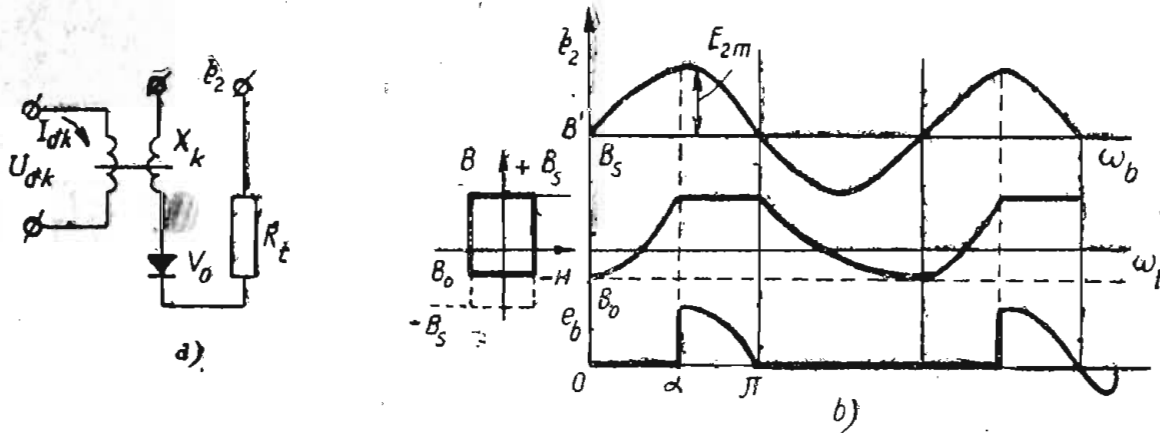
$$e_2 = E_{2m} \sin \Omega t = iR_l + X_k \frac{di}{d\Omega t} \quad (4-60)$$

Trong (4-60), giá trị X_k biến đổi theo trạng thái từ của lõi kháng. Ban đầu lõi được từ hóa cố định nhờ cuộn điều khiển W_{dk} đến một giá trị B_0 nào đó (xem hình 4-27b). Tất nhiên, cần chọn sao cho $-B_s \leq B_0 \leq B_s$.

Vào đầu nửa chu kỳ dương của nguồn e_2 , dòng thuận qua van V_0 từ hóa lõi của kháng, làm cho độ từ cảm biến thiên. Vì lúc này lõi không bão hòa,

X_k rất lớn nên ta coi áp nguồn chủ yếu rơi trên kháng, còn $iR_t \approx 0$. Khi đó (4-60) trở thành:

$$E_{2m} \sin \Omega t = X_k \frac{di}{d\Omega t} = W_{lv} \Omega \cdot S \frac{dB}{d\Omega t} \quad (4-61)$$



Hình 4-27. Sơ đồ nguyên lý một pha của bộ biến đổi V-T (a) đặc tính từ trễ của kháng (b) và đồ thị của áp và từ cảm (c).

Giải phương trình này với điều kiện ban đầu:

$$t = 0; B = B_0 \text{ ta được:}$$

$$B = B_0 + B_m (1 - \cos \Omega t) \quad (4-62)$$

trong đó, W_{lv} — số vòng của cuộn làm việc;

S — diện tích tiết diện lõi của kháng.

$B_m = E_{2m}/\Omega W_{lv} S$ — biên độ của từ cảm.

Ω — tần số góc của dòng điện lưới.

Như vậy, trong nửa chu kỳ dương của e_2 , từ cảm trong lõi kháng sẽ biến thiên theo hình sin [xem đồ thị $B(\Omega t)$ — hình 4-27b]. Nó đạt giá trị bão hòa khi $\Omega t = \alpha$. Thay $B = B_s$ và $\Omega t = \alpha$ vào (4-62) ta tìm được góc bão hòa:

$$\alpha = \arccos \left[1 - \frac{B_s - B_0}{B_m} \right]$$

và nếu chọn $B_m = B_s$ thì:

$$\alpha = \arccos \left[\frac{B_0}{B_s} \right] \quad (4-63)$$

Từ thời điểm $\Omega t = \alpha$ trở đi, $B = B_s = \text{const}$ (lõi bão hòa) nên $X_k = 0$ và hầu như toàn bộ nguồn áp chỉ đặt lên tải. Khi đó, (4-60) có dạng

$$E_{2m} \sin \Omega t = iR_t = u_b \quad (4-64)$$

Trong đó, u_b — điện áp ra của bộ biến đổi, tức điện áp trên tải.

Nếu bỏ qua sụt áp trên van, thì từ (4-64) ta thấy đường cong điện áp trên tải lặp lại đường cong S.Đ.Đ. nguồn e_2 . Ta có đồ thị $u_b(\Omega t)$ như trên hình 4-27c.

Đó cũng chính là S.Đ.Đ. e_b của bộ biến đổi van-từ. Ở nửa chu kỳ âm của S.Đ.Đ. nguồn e_2 , van ngắt, dòng từ hóa không có, nên lõi bị khử từ bởi cuộn điều khiển và độ cảm B sẽ giảm dần về B_0 , còn áp trên tải $u_b \approx e_b = 0$.

Giá trị trung bình của e_b được xác định bằng cách lấy tích phân của đường $e_b(\Omega t)$. Nếu chỉnh lưu có số lần đập mạch là p thì:

$$E_b = \frac{P}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} E_{2m} \sin(\Omega t) d(\Omega t) = \frac{P}{2\pi} E_{2m} (1 + \cos \alpha)$$

Thay (4-63) vào biểu thức trên ta được:

$$E_b = E_{bm} \left(1 + \frac{B_o}{B_s} \right) = f(B_o) \quad (4-65)$$

Trong đó

$$E_{bm} = \frac{P}{2\pi} E_{2m}.$$

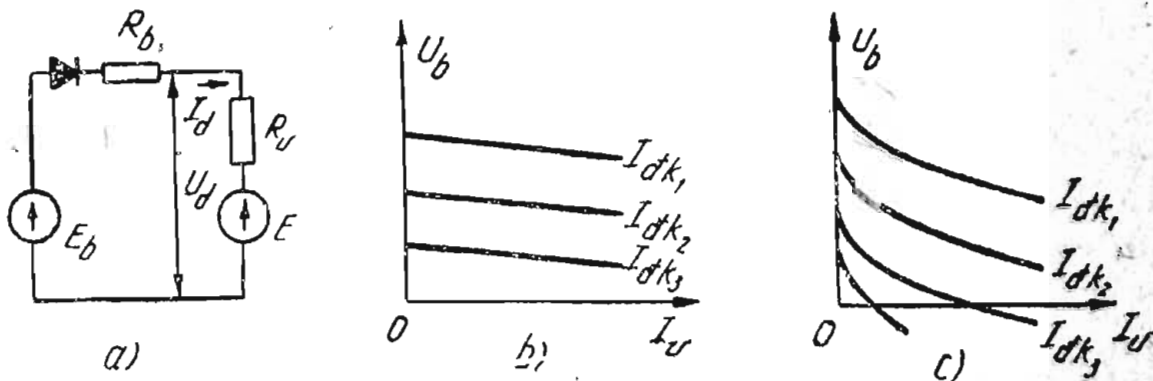
Biểu thức (4-65) cho thấy rằng, khi thay đổi B_o từ $-B_s$ đến $+B_s$ ta sẽ điều chỉnh được S.D.Đ. E_b từ $0 - E_{bm}$. Vì B_o do dòng điều khiển tạo ra, nên thực chất (4-65) là hàm của dòng điều khiển $E_b = f(I_{dk})$.

Như vậy, ta có thể thay thế bộ biến đổi van từ bằng một nguồn S.D.Đ. E_b và điện trở trong R_b như trên hình 4-28a. Trong tính toán người ta thường sử dụng đặc tính ngoài của bộ biến đổi. Nó là quan hệ giữa áp trên đầu ra với dòng tải $U_b = f(I_r)$ ứng với các giá trị B_o không đổi. Nếu kháng là tuyến tính, nghĩa là nếu B_o hoàn toàn tỷ lệ với I_{dk} ở mọi giá trị của I_{dk} , thì đặc tính ngoài sẽ là những đường thẳng song song nhau:

$$\begin{aligned} U_b &= \frac{P}{2\pi} E_{2m} \left(1 + \frac{B_o}{B_s} \right) - R_b I_r \\ &= E_{bm} \left(1 + \frac{a_o I_{dk}}{B_s} \right) - R_b I_r, \end{aligned} \quad (4-66)$$

trong đó, a_o — hằng số tỷ lệ giữa I_{dk} và B_o .

Khi đó ta có họ đặc tính lý tưởng hình 4-28b.



Hình 4-28. Sơ đồ thay thế hệ VT-Đ, các đặc tính ngoài lý tưởng (b) và thực nghiệm (c) của bộ biến đổi van từ.

Tuy nhiên, do tính phi tuyến của kháng, đặc tính ngoài sẽ là những đường cong rất khó xác định bằng giải tích.

Thông thường, các nhà máy chế tạo cho sẵn họ này như trên hình 4-28c.

2. Đặc tính cơ của động cơ và cách dựng bằng đồ thị.

Từ sơ đồ thay thế của hệ VT-Đ trên hình 4-28a, sử dụng công thức (4-4) ta có phương trình đặc tính cơ của động cơ;

$$\omega = \frac{E_b}{k\Phi} - \frac{R_b + R_r}{(k\Phi)} I_r = \frac{E_{bm} (1 + B_o/B_s)}{k\Phi} - \frac{R_b + R_r}{k\Phi} I_r$$

$$\omega = \frac{E_{bm} (1 + B_o/B_s)}{k\Phi} - \frac{R_b + R_r}{(k\Phi)^2} M \quad (4-67)$$

Từ (4-67) ta được những đặc tính cơ lý tưởng khi coi kháng là phần tử tuyến tính. Đó là những đường thẳng song song nhau, tương tự như trên hình 4-28b. Những đặc tính này tương đối mềm vì điện trở trong R_b của bộ biến đổi khá lớn.

Thực tế, các đặc tính cơ của hệ VT-Đ được dựng bằng phương pháp đồ thị dựa vào họ đặc tính ngoài $U_b = f(I_r)$ đã cho. Cách dựng như sau:

Từ sơ đồ thay thế 4-28a ta có:

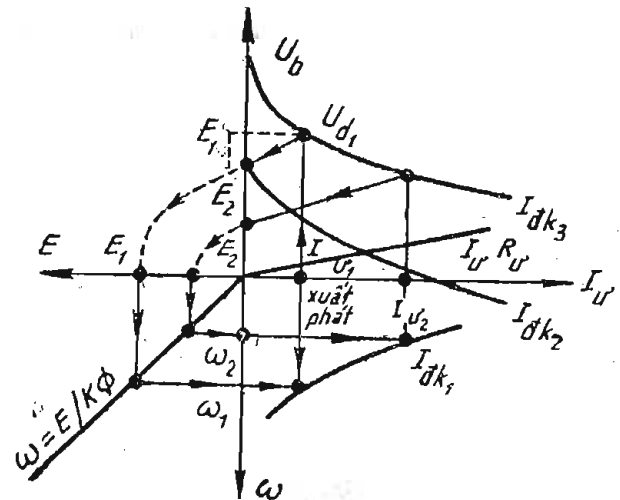
$$E = U_b - I_r R_r \quad (4-68)$$

trong đó, quan hệ $U_b(I_r)$ đã biết, còn quan hệ $I_r R_r = f(I_r)$ là một đường thẳng đi qua gốc tọa độ. Vẽ cả hai quan hệ này lên góc thứ nhất của mặt phẳng (hình 4-29), ta sẽ xác định được giá trị của E ứng với giá trị I_r tự chọn. Từ E ta suy ra tốc độ ω . Trình tự dựng đặc tính $\omega = f(I_r)$ ứng với dòng điều khiển I_{dk1} nào đó được trình bày trên hình 4-29 bằng những đường dóng có ghi mũi tên.

Từ giá trị I_{b1} đã chọn, ta có U_{b1} theo đặc tính ngoài của bộ biến đổi, từ U_{b1} kẻ đường song song với đường $I_r R_r$, ta được S.Đ.Đ. động cơ E_1 trên trục tung. Quay nó xuống trục hoành và

qua phép chia $\frac{E_1}{k\Phi}$ trên góc phần tư

thứ III ta được giá trị tốc độ ω_1 . Từ ω_1 và I_{r1} ta có một điểm của đặc tính cần dựng. Những điểm khác cũng được xác định tương tự như vậy. Kết quả ta được đặc tính dòng của động cơ trong hệ VT-Đ ở góc phần tư thứ IV (hình 4-29).



Hình 4-29. Trình tự dựng đặc tính cơ của hệ VT-Đ,

3. Truyền động VT-Đ đảo chiều.

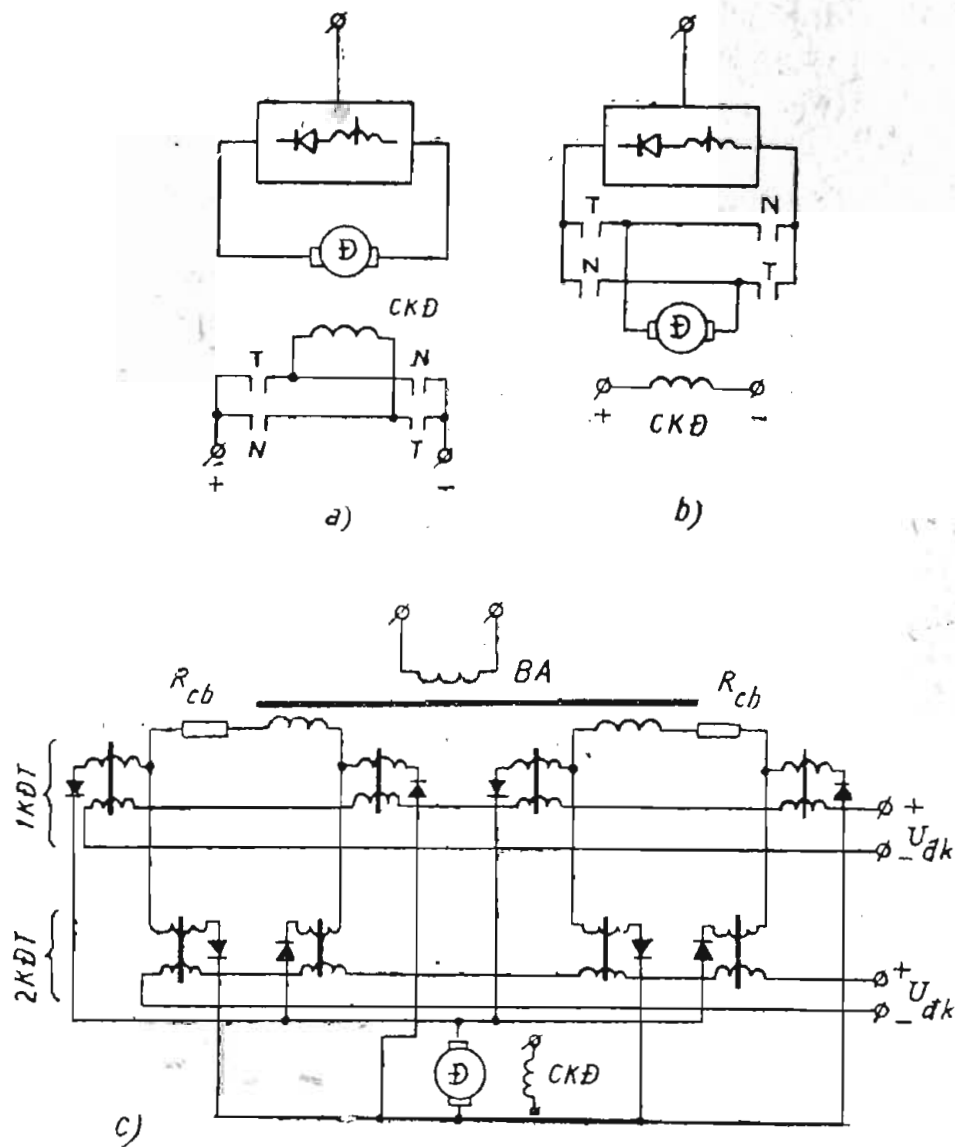
Một trong những nhược điểm của hệ VT-Đ là khó đảo chiều. Nếu chỉ dùng bộ biến đổi đơn như trên hình 4-26

thì S.Đ.Đ. của nó phụ thuộc vào B_o theo (4-65). Rõ ràng là dù cho tín hiệu điều khiển B_o đổi chiều từ $-B_s$ đến $+B_s$ nhưng S.Đ.Đ. của bộ biến đổi cũng chỉ có một cực tính (từ $0 - E_{bm}$). Do đó, nó chỉ tạo được khả năng điều chỉnh tốc độ động cơ từ $0 - +\omega_{cb}$ mà thôi.

Ta có thể thực hiện đảo chiều quay động cơ bằng ba phương pháp: dùng tiếp điểm đổi chiều dòng kích từ động cơ (hình 4-30a) dùng tiếp điểm đổi chiều áp trên phần ứng (hình 4-30b) và dùng bộ biến đổi kép (hình 4-30c).

Hai phương pháp đầu, tương tự như đã phân tích ở §4-3, có nhược điểm vì quán tính lớn và phải dùng tiếp điểm trong mạch lực.

Phương pháp thứ ba đòi hỏi phải dùng bộ biến đổi đảo chiều phức tạp. Hơn nữa vì bắt buộc phải nối điện trở cân bằng nên tổn thất năng lượng nhiều. Hiệu suất cực đại của bộ biến đổi van từ kép về lý thuyết có thể đạt 0,5—0,66; còn thực tế chỉ đạt khoảng 0,2—0,3. Vì vậy bộ biến đổi kép chỉ dùng trong trường hợp cần thiết và khi công suất nhỏ (vài kW).



Hình 4-30. Truyền động điện VT — Đ đảo chiều dùng bộ biến đổi đơn (a, b) và bộ biến đổi kép (c).

4. Những chỉ tiêu cơ bản. Nếu hệ được sử dụng ở dạng đơn giản nhất, kiểu vòng hở, thì do điện trở trong của bộ biến đổi van từ khá lớn nên độ cứng đặc tính cơ thấp, sai số tốc độ lớn và giải điều chỉnh hẹp.

Tuy nhiên, thực tế hệ này luôn được ứng dụng ở dạng tự động hóa vòng kín. nên có thể mở rộng giải điều chỉnh đến $D = 10 - 100$ với sai số $s \leq 10\%$. Những chỉ tiêu đó tương đương với hệ F — Đ tự động.

Về điều khiển, hệ VT — Đ kém linh hoạt hơn F — Đ. Đảo chiều khó khăn và tổn thất năng lượng nhiều. Quán tính của hệ lớn do ảnh hưởng của điện kháng khuếch đại từ. Hệ số công suất thấp và giảm nhanh theo chiều sâu điều chỉnh.

Tuy nhiên, khuếch đại từ là bộ biến đổi tĩnh, nên tránh được những nhược điểm quan trọng của bộ biến đổi quay (hệ F – Đ), dễ chế tạo, bền và giá thành hạ.

4-5. HỆ ĐIỀU ÁP XUNG – ĐỘNG CƠ (ĐAX – Đ)

1. Bộ biến đổi xung điện áp và S.Đ.Đ. của nó.

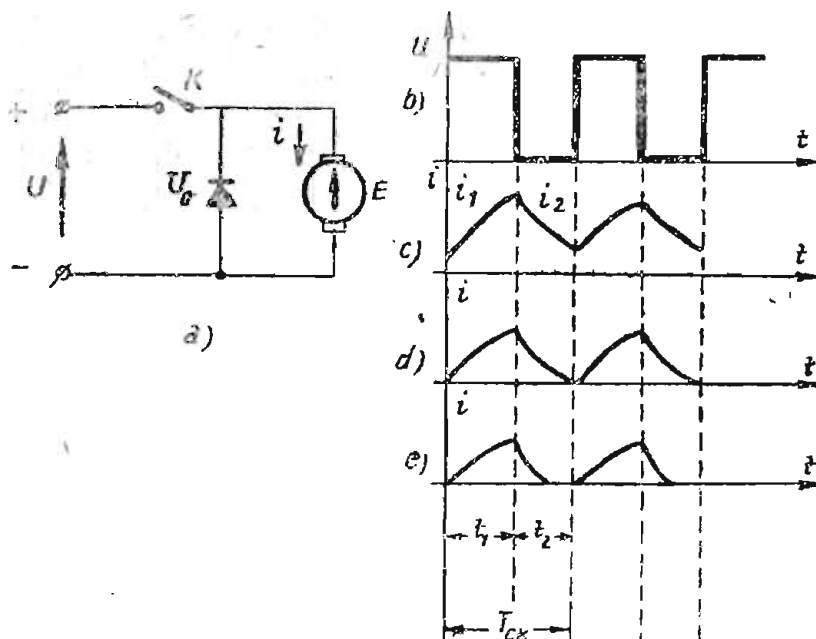
Bộ biến đổi xung là một nguồn điện áp dùng để điều chỉnh tốc độ động cơ điện một chiều. Phần chủ yếu của nó là bộ nguồn áp và bộ khóa điều khiển. Hệ truyền động tương ứng được gọi là điều áp xung – động cơ có sơ đồ nguyên lý như trên hình 4-31a. Để cải thiện dạng dòng điện phần ứng người ta nối thêm van đệm V_o . Giả thiết V_o là van lý tưởng, nghĩa là van có sụt áp thuận $\Delta U = 0$ và dòng ngược $I_{ng} = 0$, thì khi đóng cắt khóa K trên phần ứng động cơ sẽ có một điện áp biến đổi theo dạng xung vuông (hình (4-31b)).

Từ sơ đồ nguyên lý ta có:

$$U = E + i_1 R_r + L_r \frac{di_1}{dt} \text{ trong khoảng } t_1 \quad (4-69)$$

$$0 = E + i_2 R_r + L_r \frac{di_2}{dt} \text{ trong khoảng } t_2. \quad (4-70)$$

Vì thời gian một chu kỳ đóng cắt của khóa K rất nhỏ so với hằng số thời gian cơ học của hệ truyền động, nên ta hoàn toàn có cơ sở để coi tốc độ và S.Đ.Đ. phần ứng động cơ không đổi trong thời gian T_{ck} ($E = \text{const}$). Do đó nghiệm của (4-69) và (4-70) có dạng:



Hình 4-31. Sơ đồ nguyên lý (a),.

Đồ thị điện áp và các đồ thị dòng điện (b,c,d,e).

$$i_1 = I_1 + (I_{bd1} - I_2) e^{-\frac{t}{T_r}} \quad (4-71)$$

$$i_2 = I_2 + (I_{bd2} - I_2) e^{-\frac{t}{T_r}} \quad (4-72)$$

Trong đó $I_1 = \frac{U - E}{R_r}$; $I_2 = \frac{E}{R_r}$ — các giá trị xác lập của dòng phần ứng trong khoảng t_1 và t_2 .

I_{bd1} , I_{bd2} — giá trị ban đầu của dòng phần ứng trong khoảng t_1 và t_2 ;

$T_r = \frac{L_r}{R_r}$ — hằng số thời gian điện từ của mạch phần ứng.

Các phương trình (4-71) và (4-72) được biểu diễn trên hình 4-31c có dạng đường răng cưa. Khi khóa K đóng (t_1) dòng i_1 tăng, làm tăng tốc độ động cơ và tích lũy năng lượng điện từ cho điện cảm trong mạch. Trong thời gian khóa cắt (t_2), năng lượng điện từ đã tích lũy sẽ phóng qua V_o để duy trì dòng phản ứng i_2 .

Nếu dòng và điện cảm của mạch đủ lớn, thì năng lượng điện từ đủ để duy trì dòng i_2 cho đến khi bắt đầu chu kỳ mới. Khi đó dòng phản ứng có dạng liên tục như trên hình 4-31c.

Nếu dòng và cảm có giá trị giới hạn nào đó thì i_2 có thể giảm đến không đúng vào thời điểm đầu của chu kỳ tiếp sau. Khi đó ta được dòng biên liên tục như trên hình 4-31d. Nếu dòng và cảm có giá trị nhỏ, thì đường cong dòng điện sẽ có dạng gián đoạn như hình 4-31e.

Ở trạng thái dòng liên tục, S.Đ.Đ. của bộ biến đổi xung sẽ được thay thế bằng một nguồn đẳng trị có giá trị trung bình là:

$$E_b = \frac{1}{T_{ck}} \int_0^{t_1} U dt = \frac{t_1}{T_{ck}} U = \gamma U \quad (4-73)$$

trong đó t_1 — thời gian khóa ở trạng thái đóng;

γ — độ rộng của xung áp.

Như vậy ta coi bộ biến đổi xung đẳng trị với một nguồn liên tục và tạo ra dòng trung bình I_a . Vì vậy ở trạng thái này ta có sơ đồ thay thế đơn giản trên hình 4-1b.

Từ (4-73) ta thấy S.Đ.Đ. của nguồn này có thể được điều chỉnh nhờ thay đổi độ rộng xung γ theo ba cách sau: điều rộng — giữ thời gian chu kỳ không đổi ($T_{ck} = \text{const}$), thay đổi thời gian đóng t_1 (hoặc thời gian cắt t_2); điều tần — giữ t_1 (hoặc t_2) không đổi, thay đổi T_{ck} ; điều rộng — tần — đồng thời thay đổi cả t_1 lẫn T_{ck} . Cách thứ nhất là đơn giản nên được sử dụng nhiều hơn cả.

Ở trạng thái dòng gián đoạn ta không thể sử dụng sơ đồ thay thế đã nêu, vì khi đó S.Đ.Đ. đẳng trị của nguồn E_b được biểu diễn ở dạng liên tục, nhưng dòng điện lại gián đoạn.

Để làm khóa K, ta có thể sử dụng tranzisto hoặc tiristo. Khi dùng tranzisto, do áp cho phép của van này nhỏ (thường là nhỏ hơn áp định mức của động cơ) nên phải nối tiếp nhiều nguồn và nhiều khóa như trên hình 4-32.

Khi đó tùy theo điện áp yêu cầu, ta có thể cho 1 khóa, 2 khóa hoặc nhiều khóa làm việc. Ví dụ, nếu chỉ cho Tr_1 làm việc thì S.Đ.Đ. của bộ biến đổi sẽ là

$$E_b = \gamma_1 U_1,$$

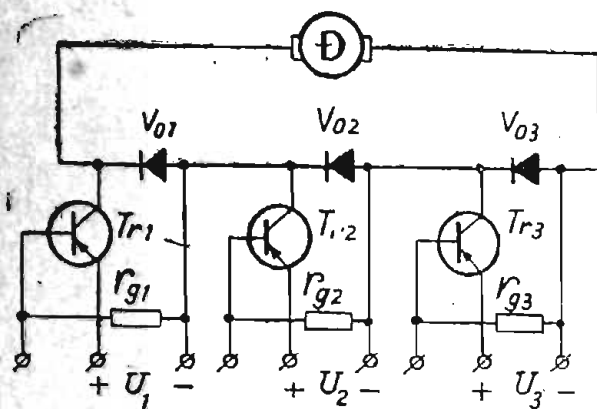
trong đó, γ_1 — độ rộng xung của khóa Tr_1 .

Khi đó E_b được điều chỉnh từ 0 — U_1 . Nếu Tr_1 và Tr_2 cùng làm việc thì đồ thị điện áp có dạng như trên hình 4-33. Giá trị trung bình của S.Đ.Đ. bộ biến đổi sẽ là:

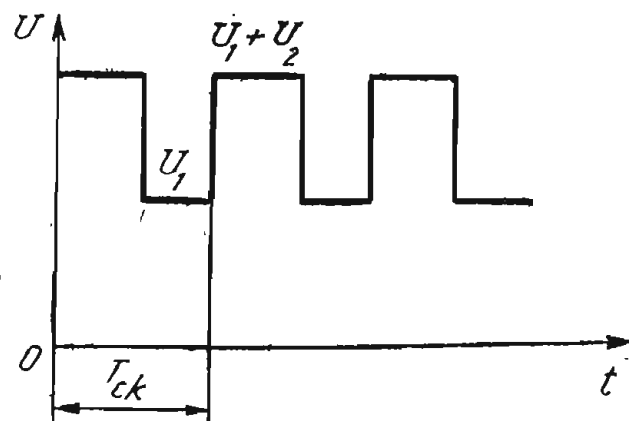
$$E_b = U_1 + \gamma_2 U_2,$$

trong đó $\gamma_1 = 1$ nghĩa là Tr_1 thông liên tục; γ_2 — độ rộng xung của khóa Tr_2 . Chú ý rằng chỉ điều chỉnh khóa Tr_2 sau khi $\gamma_1 = 1$. Nếu yêu cầu điện áp ra lớn hơn nữa thì tiếp tục cho thêm các van khác làm việc.

Vì công suất của tranzisto nhỏ, nên bộ biến đổi xung dùng nó chỉ đạt công suất khoảng dưới 1 kW. Tần số đóng cắt của khóa bị hạn chế bởi tổn thất nhiệt trên tranzisto khi thông và ngắt nó. Tần số cho phép có thể đạt đến 50 – 100kHz.

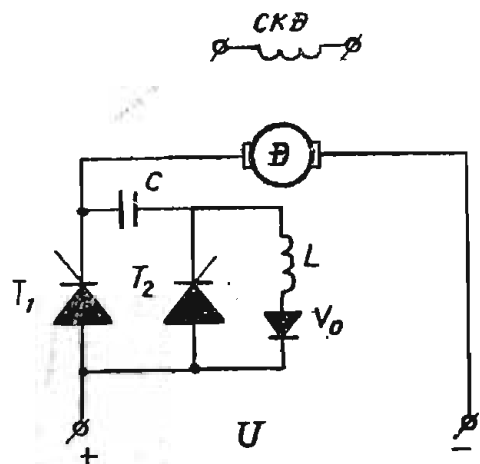


Hình 4-32. Sơ đồ nguyên lý của hệ ĐAX-Đ khi dùng khóa tranzisto.

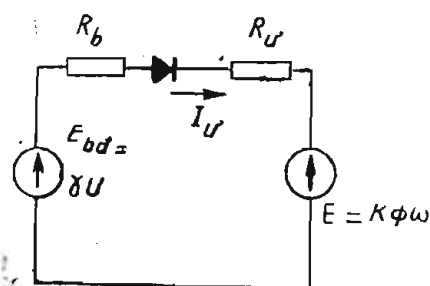


Hình 4-33. Đồ thị SĐĐ của bộ biến đổi khi Tr₁ và Tr₂ làm việc.

Khi dùng khóa tiristo, công suất của hệ mở rộng đến cỡ 100kW. Sơ đồ nguyên lý đơn giản hóa của nguồn khi đó như trên hình 4-34. Tiristo T₁ làm nhiệm vụ khóa K trong sơ đồ 4-31. Nó được mở theo chu kỳ đóng cắt của khóa. Tiristo T₂ làm nhiệm vụ ngắt T₁. Thời điểm mở của nó quyết định độ rộng xung γ. Tụ C dùng để tạo điện áp khóa T₁, các linh kiện L và V₀ dùng để nạp cho tụ C vào đầu mỗi chu kỳ thông của T₁.



Hình 4-34. Sơ đồ nguyên lý của hệ ĐAX-Đ khi dùng khóa tiristo.



Hình 4-35. Sơ đồ thay thế của hệ ĐAX-Đ.

2. Đặc tính điều chỉnh của hệ ĐAX-Đ.

Như đã phân tích ở trên, sơ đồ thay thế của hệ ĐAX-Đ được vẽ trên hình 4-35, trong đó van V đặc trưng cho tính chất dẫn dòng điện theo một chiều khi dùng các khóa bằng van điều khiển. Từ sơ đồ thay thế ta viết được phương trình đặc tính dòng và đặc tính cơ:

$$\left. \begin{aligned} \omega &= \frac{\gamma U}{k\Phi} - \frac{R_r + R_b}{k\Phi} I_r, \\ \omega &= \frac{\gamma U}{k\Phi} - \frac{R_r + R_b}{(k\Phi)^2} M \end{aligned} \right\} \quad (4-74)$$

Khi thay đổi giá trị độ rỗng γ , ta được họ đường thẳng song song, với tốc độ không tải lý tưởng ω_0 và độ cứng β là:

$$\omega_0 = \frac{\gamma U}{k\Phi} \quad \beta = \frac{(k\Phi)^2}{R_r + R_b}$$

Nếu nguồn là vô cùng lớn, ta có thể bỏ qua R_b . Khi đó đặc tính của hệ có độ cứng

$$\beta = \frac{(k\Phi)^2}{R_r} = \beta_{in}$$

cao hơn độ cứng của các hệ điều áp đã khảo sát (F-D; V-D và VT-D).

Tốc độ không tải lý tưởng ω_0 phụ thuộc độ rỗng γ . Chú ý rằng ω_0 chỉ là giá trị giả định. Nó chỉ có thể tồn tại nếu dòng trong hệ liên tục cả khi tiến tới không.

Như trên đã nêu, khi dòng điện đủ nhỏ, hệ sẽ chuyển từ trạng thái dòng liên tục sang trạng thái dòng gián đoạn. Khi đó, sơ đồ hình 4-35 và các phương trình (4-74) không nghiệm đúng nữa.

Để tìm phương trình đặc tính cơ trong trạng thái này, ta phải dựa vào các nghiệm dòng điện (4-71) và (4-72), coi tốc độ trong chu kỳ không đổi, để tìm quan hệ giữa các giá trị trung bình của dòng điện và tốc độ. Vì ở trạng thái này $I_{bd1} = 0$ nên từ (4-71) ta có:

$$i_1 = I_1 (1 - e^{-t/T_r}) \quad (4-75)$$

Dòng ban đầu của khoảng ngắt sẽ là:

$$I_{bd2} = i_1(t_1) = I_1 (1 - e^{-t_1/T_r}) \quad (4-76)$$

Thay giá trị này vào (4-72) ta được:

$$i_2 = I_2 - \left[I_2 - I_1 (1 - e^{-t_1/T_r}) \right] e^{-t/T_r} \quad (4-77)$$

Giả sử dòng $i_2 = 0$ tại thời điểm $t_1 < t_2$ thì thay $t = t_1$ và $i_2 = 0$ vào (4-77) ta được:

$$t_1 = T_r \ln \left[1 - \frac{I_1}{I_2} (1 - e^{-\frac{t_1}{T_r}}) \right] \quad (4-78)$$

Giá trị trung bình của dòng điện sẽ là:

$$I_r = \frac{1}{T_{ek}} \left[\int_0^{t_1} i_1 dt + \int_0^{t_2} i_2 dt \right]$$

Thay i_1 , i_2 và t_1 từ (4-71), (4-77) vào (4-78) ta sẽ tìm được một hàm:

$$I_r = f(I_1, I_2, \gamma) \quad (4-79a)$$

trong đó:

$$I_2 = \frac{E}{R} = \frac{k\Phi\omega}{R}; \quad I_1 = \frac{U - E}{R} = I_{nm} - \frac{k\Phi\omega}{R}; \quad (4-79b)$$

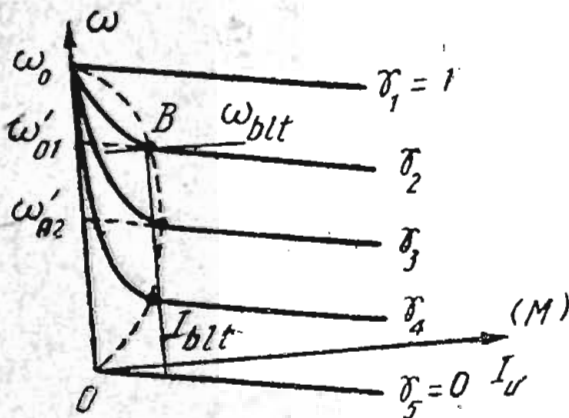
$R = R_r + R_b$ — điện trở tổng của mạch phản ứng.

Như vậy, quan hệ (4-79a) chính là phương trình đặc tính dòng $I_r = f(\omega)$. Cho các giá trị γ khác nhau, ta được những đoạn cong sát trục hoành như trên hình 4-36.

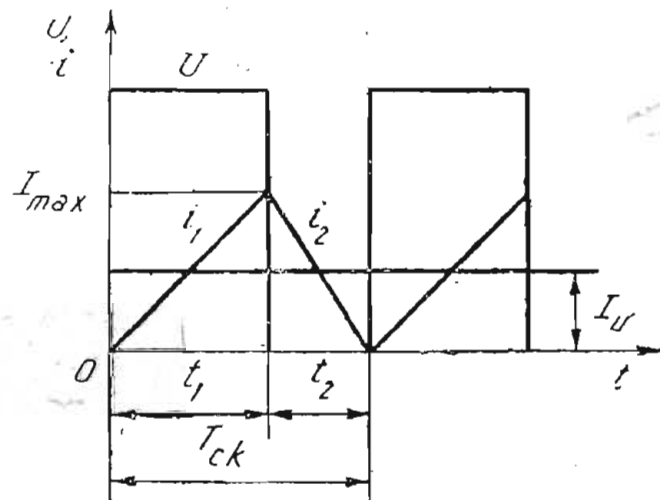
Thực tế đoạn đặc tính này rất ngắn nên chỉ cần quan tâm hai điểm giới hạn của nó: điểm B khi chuyển tiếp từ trạng thái dòng liên tục sang trạng thái dòng gián đoạn (trạng thái biên liên tục) và điểm không tải lý tưởng ω_0 .

Hoành độ I_{bll} của điểm B ứng với một giá trị γ đã cho nào đó được xác định tương tự như khi rút phương trình (4-79). Chú ý rằng, vì dòng điện là biên liên tục nên $t_1 = t_2$; $I_{bdl} = i_2(t_2) = 0$.

Tung độ của điểm B được xác định theo phương trình (4-74) bằng cách thay $I_r = I_{bll}$. Để cho đơn giản ta coi đường cong $i(t)$ trong một chu kỳ gồm 2 đoạn thẳng như biểu diễn trên hình 1-37; giá trị I_{max} được xác định theo (4-76): $I_{max} = i_1(t_1)$.



Hình 4-36. Đặc tính cơ điện (cơ) của hệ ĐAX-Đ.



Hình 4-37. Đồ thị gần đúng của dòng điện phản ứng.

Khi đó, dòng trung bình ứng với trạng thái biên liên tục sẽ là

$$I_{bll} = \frac{1}{2} I_{max} = \frac{1}{2} I_1 (1 - e^{-t_1/T_r})$$

Khai triển gần đúng hàm $e^{-t_1/T_r} \approx 1 - \frac{t_1}{T_r}$ ta có:

$$I_{bll} \approx \frac{1}{2} I_1 \frac{t_1}{T_r} = \frac{1}{2} I_1 \gamma \frac{T_{ek}}{T_r}. \quad (4-80)$$

Sử dụng (4-79b) và (4-74) để xác định I_1 và tốc độ ω_{bll} ta có:

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{1}{R} (U - k\Phi\omega_{bll}), \\ k\Phi\omega_{bll} &= \gamma U - (R_r + R_b)I_{bll}. \end{aligned} \right\} \quad (4-81)$$

Giải hệ phương trình (4-80) và (4-81) ta được :

$$I_{blt} = \frac{U}{R} \frac{\gamma(1-\gamma)}{\frac{2T_{\gamma}}{T_{ck}} - \gamma} \approx I_{nm} \frac{\gamma(1-\gamma)}{2T_{\gamma}} T_{ck} \quad (4-82)$$

trong đó, ta đã bỏ qua số hạng γ ở mẫu số vì $(2T_{\gamma}/T_{ck} \gg \gamma)$; $I_{nm} = U/R$ — dòng ngắn mạch lớn nhất;

Như vậy, với giá trị γ đã cho, từ (4-82) ta xác định được hoành độ, rồi theo (4-74) xác định được tung độ của điểm B. Thay đổi γ , vị trí của điểm biên B sẽ dịch chuyển trên một cung elip như đường nét đứt trên hình 4-36.

Tốc độ không tải lý tưởng ω_0 của truyền động được xác định theo giới hạn của S.Đ.Đ. động cơ khi dòng tiến tới không:

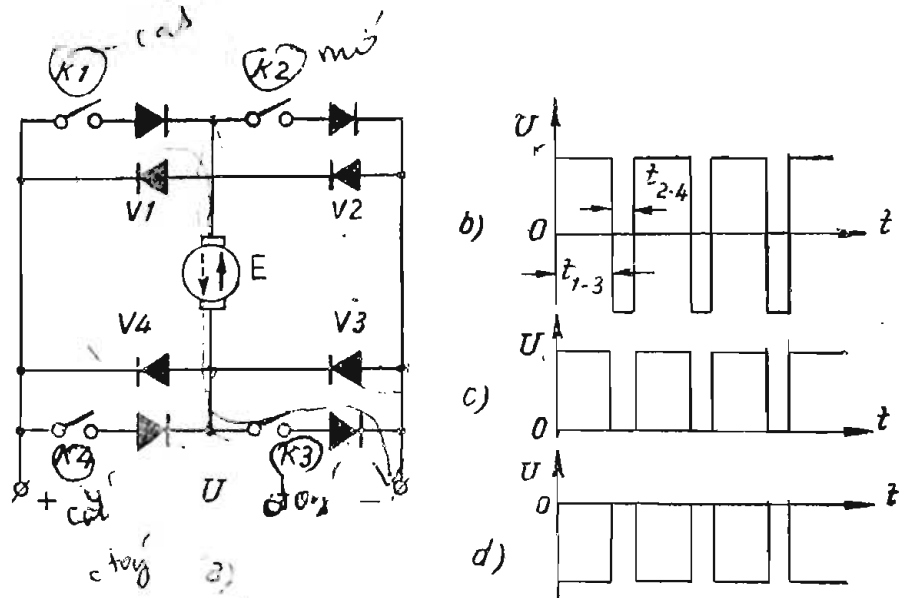
$$\omega_0 = \frac{1}{k\Phi} \lim_{I_r \rightarrow 0} E = \frac{1}{k\Phi} U \quad (4-83)$$

Thực vậy nếu bằng một biện pháp nào đó ta cho S.Đ.Đ. E của động cơ tăng dần, thì dòng I_r sẽ giảm và chuyển từ dạng liên tục sang gián đoạn. Nó chỉ bằng không khi $E = U$, mà không phụ thuộc vào giá trị γ .

Như vậy, tất cả các đặc tính điều chỉnh đều có chung một giá trị tốc độ không tải lý tưởng, trừ trường hợp $\gamma = 0$.

3. Truyền động ĐAX-Đ đảo chiều.

Đề đảo chiều quay của động cơ ta có thể sử dụng một sơ đồ như hình 4-38a.



Hình 4-38. Sơ đồ nguyên lý của truyền động đảo chiều ĐAX-Đ (a) và đồ thị điện áp phản ứng khi điều khiển đồng thời cả 4 khóa (b) và khi điều khiển riêng hai nhóm (c), (d).

Nếu cho K_1 và K_3 làm việc đồng thời, còn K_2 và K_4 làm việc ngược pha với hai khóa trên, thì áp trên phần ứng động cơ sẽ có dạng xung hai cực tính như trên hình 4-38b.

Tùy theo độ rộng xung

$$\gamma = \frac{t_{1-3}}{T_{ck}}$$

áp trên động cơ chẳng những thay đổi giá trị mà còn có thể thay đổi cả cực tính, (t_{1-3} — thời gian đóng của khóa K_1 và K_3). Nếu $\gamma = 0,5$ giá trị trung bình của áp trên động cơ $U_{\pi} = 0$, tương ứng với trạng thái hãm động năng của động cơ. Khi $\gamma < 0,5$, $U_{\pi} > 0$ nên động cơ quay thuận. Ngược lại khi $\gamma > 0,5$, động cơ quay ngược.

Cũng có thể điều khiển bộ biến đổi xung theo nguyên tắc khác. Ví dụ, đề cho động cơ quay thuận, ta cho K_3 đóng cố định, K_4 cắt cố định còn K_1 và K_2 làm việc ngược pha nhau. Khi đó động cơ sẽ nhận được những xung điện áp dương như trên hình 4-38c.

Đề động cơ quay ngược, ta cho K_2 đóng cố định, K_1 cắt cố định, còn K_4 và K_3 làm việc ngược pha nhau. Điện áp trên phần ứng sẽ có dạng những xung âm (hình 4-38d).

Chú ý rằng khi đó các khóa K_2 trong trường hợp quay thuận và K_3 trong trường hợp quay ngược chỉ làm đường thoát cho dòng điện dưới tác dụng của S.Đ.Đ. E mà thôi.

4. Ưu nhược điểm của hệ ĐAX-Đ.

Bộ nguồn điện áp xung thường cần ít van điều khiển nên có vốn đầu tư nhỏ và hệ đơn giản, chắc chắn.

Khi dùng nguồn một chiều chung cho toàn xưởng, có công suất lớn hơn nhiều so với động cơ thì điện trở trong của nguồn có thể bỏ qua, nên độ cứng đặc tính cơ cao, xấp xỉ với đặc tính cơ tự nhiên.

Khi sử dụng van điều khiển để làm khóa đóng cắt thì ta có khả năng thiết lập hệ tự động vòng kín. Thực tế hệ ĐAX-Đ chỉ sử dụng ở dạng hệ kín với những chỉ tiêu cao về đặc tính tĩnh và động.

Tuy nhiên, hệ này cũng có nhiều nhược điểm. Ví dụ, điện áp dạng xung gây ra tổn thất phụ khá lớn trong động cơ do thành phần xoay chiều của dòng điện. Vì vậy hệ thống thích hợp với công suất nhỏ. Nếu sử dụng sơ đồ dạng đơn giản như hình 4-31, 4-32 và 4-34 thì hệ không có khả năng hãm điện và đảo chiều. Muốn cho hệ có được những khả năng đó thì phải dùng sơ đồ phức tạp.

Hệ có thể làm việc ở trạng thái dòng gián đoạn, với những đặc tính kém ổn định và tổn thất năng lượng nhiều. Để giảm nhỏ vùng này, từ (4-82) ta thấy cần phải giảm thời gian chu kỳ đóng cắt khóa, tức tăng tần số chuyển mạch của khóa hoặc tăng hằng số thời gian của mạch phần ứng bằng cách nối thêm kháng phụ. Tuy nhiên cách thứ nhất bị hạn chế bởi giải tần cho phép của van, còn cách thứ hai bị hạn chế bởi độ tác động nhanh mà hệ yêu cầu.

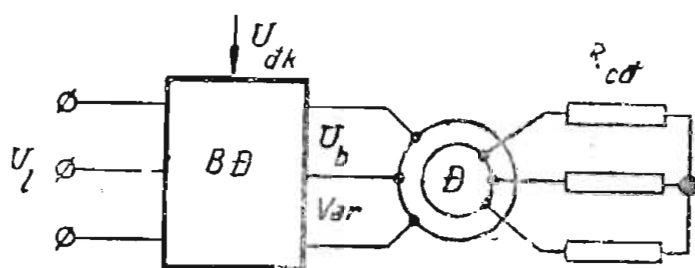
CHƯƠNG V

ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ BẰNG CÁCH THAY ĐỔI THÔNG SỐ NGUỒN

5-1. NGUYÊN LÝ ĐIỀU CHỈNH ĐIỆN ÁP

Như đã trình bày trong chương ba, tốc độ của động cơ không đồng bộ có thể điều chỉnh bằng cách thay đổi điện áp hoặc tần số của dòng điện stato. Ta chia phương pháp điều chỉnh này thành hai nhóm: điều áp và điều tần.

Để điều chỉnh điện áp, người ta dùng bộ nguồn BD có điện áp ra thay đổi tùy theo tín hiệu đặt điều khiển U_{dk} với sơ đồ nguyên lý hình 5-1.



Hình 5-1. Sơ đồ tổng quát của hệ truyền động điện không đồng bộ có điều chỉnh điện áp nguồn.

Nếu bỏ qua tổng trở của nguồn, và không dùng điện trở phụ trong mạch rôto thì khi U_1 biến đổi ta được một họ đặc tính điều chỉnh như trên hình 5-2a, trong đó độ trượt tới hạn giữ nguyên giá trị như của đặc tính tự nhiên, còn mômen tới hạn tỷ lệ với bình phương của điện áp U_b .

Những đặc tính điều chỉnh này có đoạn làm việc ngắn, độ cứng thấp và mômen tới hạn giảm rất nhanh khi giảm áp.

Để cải thiện dạng đặc tính điều chỉnh và giảm bớt mức phát nóng của máy điện, khi dùng động cơ không đồng bộ rôto quấn dây người ta nối thêm một bộ điện trở cố định R_{cd} vào mạch rôto (hình 5-1). Khi đó, nếu điện áp đặt vào stato là định mức ($U_b = U_1$) thì ta được đặc tính mềm hơn đặc tính tự nhiên. Ta gọi đặc tính này là đặc tính giới hạn (đt.gh). Rõ ràng là:

$$s_{th,gh} = s_{th} \cdot \frac{R_2 + R_{cd}}{R_2}; M_{th,gh} = M_{th} \quad (5-1)$$

Trong đó, $M_{th,gh}$; $s_{th,gh}$ — mômen và độ trượt tới hạn của đặc tính giới hạn;
 M_{th} , s_{th} — các đại lượng tương ứng của đặc tính tự nhiên.

Khi điện áp khác giá trị định mức, mômen tới hạn $M_{th.u}$ sẽ thay đổi tỷ lệ với bình phương điện áp, còn độ trượt tới hạn $s_{th.u}$ thì giữ nguyên nghĩa là

$$\left. \begin{aligned} M_{th.u} &= M_{th.gh} \left(\frac{U_b}{U_l} \right)^2 = M_{th} U_b^2 \\ s_{th.u} &= s_{th.gh} = \text{const} \end{aligned} \right\} \quad (5-2)$$

Dựa vào đặc tính giới hạn $M_{gh}(s)$ ta suy ra đặc tính điều chỉnh ứng với giá trị U_b cho trước nhờ quan hệ

$$M_u = M_{gh} U_b^2 \quad (5-3)$$

Các đặc tính điều chỉnh trong trường hợp này sẽ có dạng như hình 5-2b.

Nếu xét đến tổng trở của bộ biến đổi BD thì việc xác định đặc tính giới hạn có phức tạp hơn. Trường hợp đơn giản nhất là điện trở R_b và điện kháng X_b của bộ biến đổi có giá trị cố định không phụ thuộc điện áp U_b khi đó.

$$s_{th.gh} = \frac{R_2 + R_{cd}}{\sqrt{(R_{1t})^2 + (X_{1t} + X'_2)^2}} \quad (5-3a)$$

$$\begin{aligned} M_{th.gh} &= \frac{3U_b^2}{2\omega_0 \left[R_{1t} + \sqrt{R_{1t}^2 + (X_{1t} + X'_2)^2} \right]} = \\ &= M_{th} \cdot \frac{R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X'_2)^2}}{R_{1t} + \sqrt{R_{1t}^2 + (X_{1t} + X'_2)^2}} \end{aligned} \quad (5-3b)$$

trong đó, $R_{1t} = R_1 + R_b$; $X_{1t} = X_1 + X_b$.

Còn phương trình của đặc tính giới hạn sẽ là

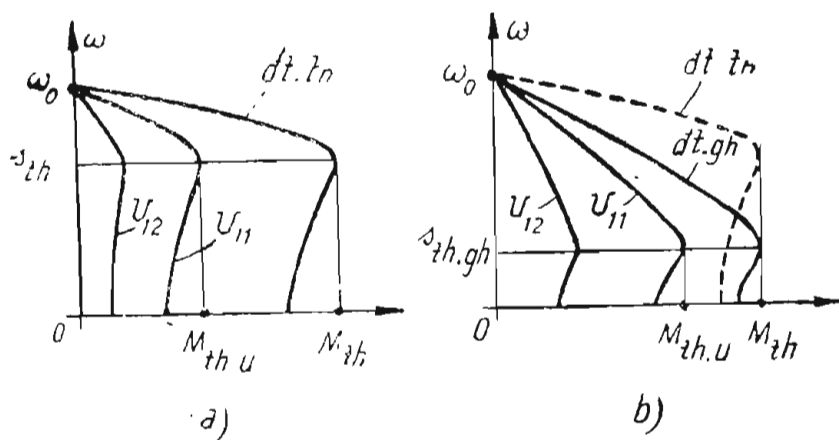
$$M_{gh} = \frac{2M_{th.gh}(1 + a's_{th.gh})}{\frac{s}{s_{th.gh}} + \frac{s_{th.gh}}{s} + 2a's_{th.gh}} \quad (5-4)$$

trong đó:

$$a' = \frac{R_{1t}}{R'_2 + R'_{cd}} \quad (5-5)$$

Các đặc tính điều chỉnh cũng được dựng nhờ đặc tính giới hạn và biểu thức (5-3).

Trong một số trường hợp điện áp ra, điện trở và điện kháng của bộ biến đổi có giá trị phụ thuộc một vài thông số của hệ. Khi đó việc tính toán



Hình 5-2. Các đặc tính cơ khi thay đổi điện áp stato.

các đặc tính phải thực hiện từng bước, ví dụ trước hết phải tìm quy luật biến thiên của U_b , R_b và X_b . Sau đó tính mômen giới hạn và cuối cùng là xác định mômen ứng với đặc tính điều chỉnh.

Phụ tải cho phép đối với phương pháp điều chỉnh áp cũng được xác định tương tự như ở phương pháp biến đổi điện trở mạch stato, nghĩa là

$$M_{\text{cep}} = \frac{3I_{2dm}^2 R_2'}{\omega_0 s} = \frac{A}{s}$$

Như vậy phương pháp này thích hợp với các loại phụ tải có đặc tính cơ $M_c = f(\omega)$ kiểu hàm tăng, và tốt nhất là dùng cho tải quạt gió.

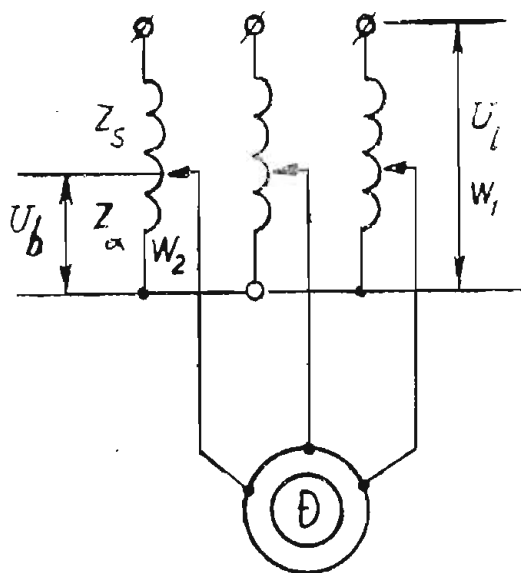
Các chỉ tiêu khác của phương pháp này gần giống như phương pháp điều chỉnh điện trở và điện cảm mạch stato.

Trong thực tế có nhiều loại bộ biến đổi điện áp xoay chiều: biến áp tự ngẫu, khuếch đại từ, bộ điều chỉnh tiristo và bộ điều chỉnh xung. Ba loại sau cho phép tự động hóa hệ thống và cải thiện được các đặc tính điều chỉnh nên được ứng dụng tương đối nhiều. Trường hợp đầu là đơn giản nhất nhưng rất ít được ứng dụng. Sau đây ta xét một số hệ điều áp.

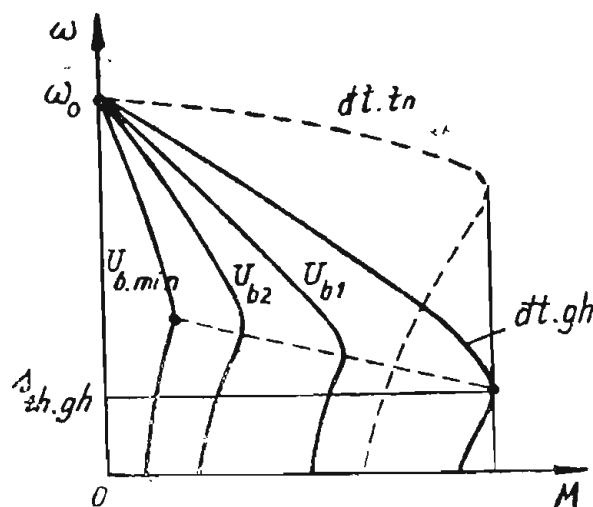
5-2. ĐIỀU AP NHỜ BIẾN AP TỰ NGẪU VÀ KHUẾCH ĐẠI TỪ

1 Dùng biến áp tự ngẫu

Máy biến áp tự ngẫu là bộ biến đổi điện áp xoay chiều đơn giản nhất. Sơ đồ của hệ dùng biến áp tự ngẫu được vẽ trên hình 5-3a.



Hình 5-3. Sơ đồ nguyên lý của hệ truyền động dùng biến áp tự ngẫu.



Hình 5-4. Các đặc tính điều chỉnh của truyền động không đồng bộ dùng BATN.

Nếu ký hiệu các đại lượng điện từ của mỗi pha biến áp như trên hình 5-3, thì tổng trở của biến áp được xác định theo biểu thức

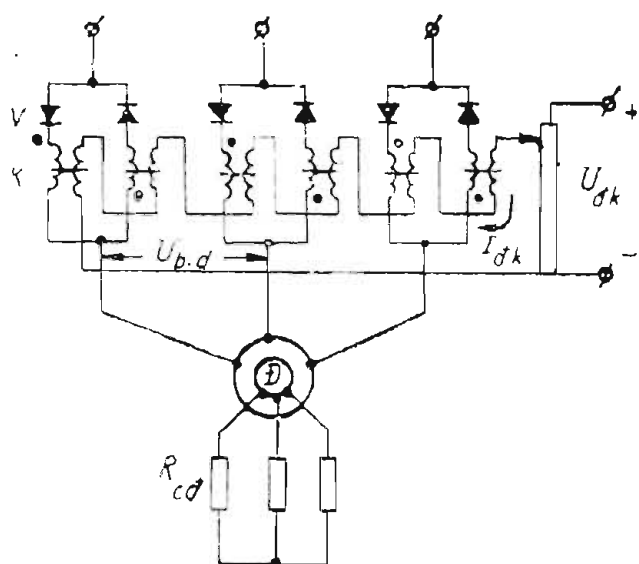
$$Z_{ba} = Z_s + Z_a \left(\frac{1}{k} - 1 \right)^2 \quad (5-6)$$

trong đó, $k = \frac{W_2}{W_1}$ – hệ số biến áp.

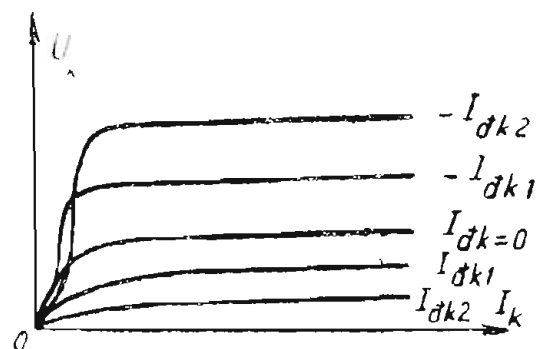
Khi điều chỉnh điện áp ra để cấp cho stato động cơ, hệ số K thay đổi; đồng thời Z_s và Z_a cũng đều thay đổi. Ví dụ khi giảm U_b thì Z_{ba} tăng lên.

Đặc tính giới hạn của trường hợp này có dạng như ở hình 5-2b với $M_{th-gh} = M_{th}$ và s_{th-gh} do điện trở mạch roto quyết định.

Tuy nhiên khi dựng các đặc tính điều chỉnh, bắt buộc phải sử dụng các quan hệ (5-3a); (5-4); (5-5) với các đại lượng R_{ll} , x_{ll} xác định theo giá trị điện áp ra đã cho. Cuối cùng dựa vào (5-3) để tính mômen ứng với các giá trị s chọn trước. Các đặc tính điều chỉnh có dạng như trên hình 5-4.



Hình 5-5. Sơ đồ nguyên lý của hệ truyền động không đồng bộ có điều chỉnh điện áp stato bằng khuếch đại từ.



Hình 5-6. Đặc tính volt-ampe của khuếch đại từ; U_k , I_k – áp trên cuộn kháng và dòng đi qua nó; $|I_{dk1}| < |I_{dk2}| < |I_{dk3}|$.

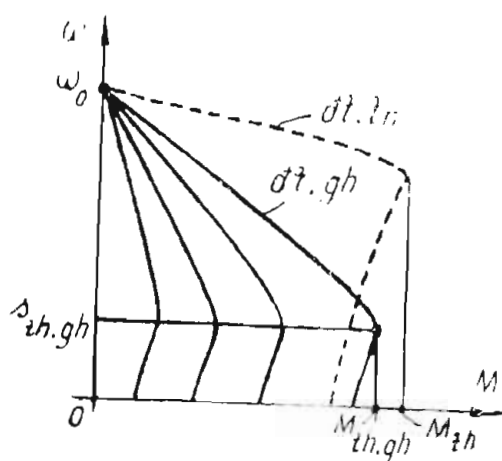
Hệ dùng biến áp tự ngẫu không những có giá thành cao, mà còn rất khó tự động hóa, nên các chỉ tiêu điều chỉnh không cao, vì vậy nó ít được ứng dụng.

2. Dùng khuếch đại từ

Sơ đồ nguyên lý của hệ điều áp dùng khuếch đại từ tương tự như của hệ điều chỉnh điện kháng phụ stato nhờ kháng bão hòa, chỉ khác là ở đây phải dùng thêm các diôt tạo hồi tiếp trong cho khuếch đại từ. Sơ đồ nguyên lý của hệ được trình bày trên hình 5-5.

Dòng tải đi trong mỗi cuộn làm việc của khuếch đại từ chỉ theo một chiều nhất định và gây ra S.T.Đ hồi tiếp trong. Chú ý nối cực tính các cuộn làm việc sao cho S.T.Đ hồi tiếp không triệt tiêu lẫn nhau. Thành phần hồi tiếp này làm bão hòa khuếch đại từ sau một khoảng thời gian nhất định tương ứng với góc bão hòa α_s . Khoảng thời gian này phụ thuộc vào giá trị dòng điều khiển I_{dk} của khuếch đại từ và chính nó quyết định điện áp ra của khuếch đại từ. Ứng với mỗi giá trị dòng điều khiển, ta có một điện áp rơi trên kháng U_k gần như không phụ thuộc vào dòng điện động cơ (xem đặc tính volt-ampe hình 5-6).

Nếu coi tổng trở của khuếch đại từ không đổi thì họ đặc tính điều chỉnh có dạng như trên hình 5-7. Chú ý rằng $M_{th,gh} < M_{th}$; $S_{th,u} = S_{th,gh}$.



Hình 5-7. Họ đặc tính điều chỉnh của truyền động không đồng bộ có điều áp stato nhờ khuếch đại từ.

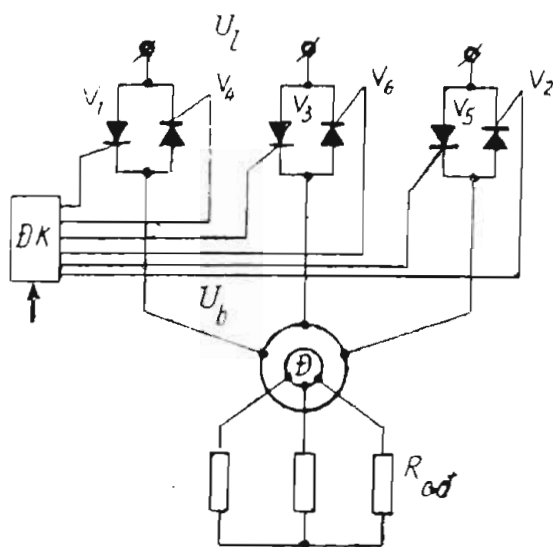
Trong thực tế tính toán, các đặc tính cơ của hệ này được xây dựng bằng phương pháp đồ thị như đã khảo sát trong §3-5, trong đó họ đặc tính volt-ampe của kháng bão hòa được thay bằng họ đặc tính volt-ampe của khuếch đại từ.

Cũng giống như hệ dùng kháng bão hòa, hệ này có khả năng xây dựng thành hệ thống kín và do đó nâng cao chất lượng các chỉ tiêu điều chỉnh.

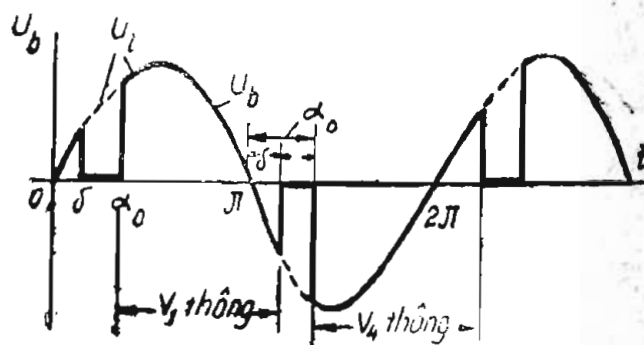
5-3. ĐIỀU ÁP NHỜ BỘ ĐIỀU CHỈNH TIRISTO

1. Bộ điều chỉnh tiristo.

Bộ điều chỉnh tiristo có nhiều ưu điểm so với các bộ biến đổi xoay chiều đã khảo sát, nên được ứng dụng ngày càng nhiều để điều tốc các động cơ không đồng bộ. Mạch lực của nó tương đối đơn giản gồm ba cặp van nối song song ngược. Sơ đồ nguyên lý của hệ được trình bày trên hình 5-8.



Hình 5-8. Sơ đồ nguyên lý của hệ dùng bộ điều chỉnh tiristo.

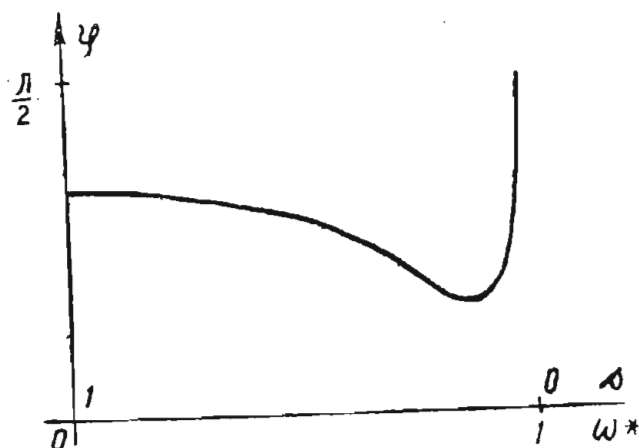


Hình 5-9. Đồ thị điện áp pha ở đầu ra của bộ điều chỉnh tiristo.

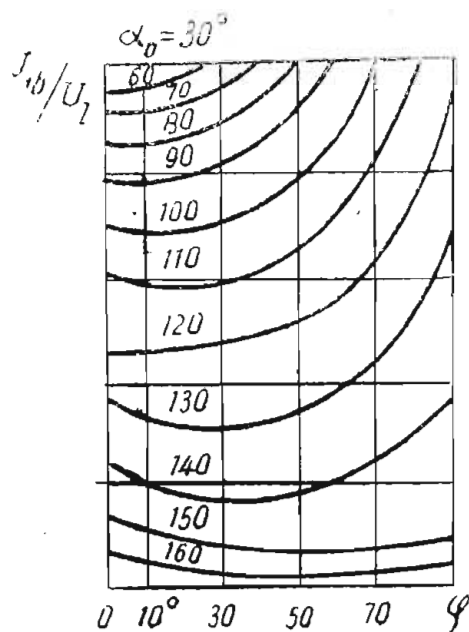
Ở trạng thái xác lập, các tiristo mở ở những góc như nhau và không đổi, trong đó V_1, V_3, V_5 thông ở nửa chu kỳ dương, còn V_2, V_4, V_6 — nửa chu kỳ âm của điện áp lưới. Điện áp đặt vào stato của động cơ U_b (tức điện áp ra của bộ biến đổi) sẽ là những phần của đường hình sin $u_1 = U_m \sin \Omega t$, như trình bày trên hình 5-9.

Giả thiết đường cong trên hình 5-9 là đồ thị điện áp pha A đưa vào stato động cơ qua hai van V_1 và V_4 . Nếu van V_1 mở ở góc α_0 tính từ gốc của

đường hình sin, thì nó sẽ thông cho đến thời điểm π do điện áp lưới dương đặt vào anốt, và sau đó, từ $\pi + \delta$ nó vẫn thông nhờ năng lượng điện từ tích lũy trong điện cảm của mạch. Tương tự như vậy van V_1 không ở nửa chu kỳ âm. Góc δ phụ thuộc vào góc pha φ của động cơ, tức phụ thuộc vào độ trượt s của động cơ. Quan hệ $\varphi(s)$ là một đường cong như trên hình 5-10.



Hình 5-10. Quan hệ giữa góc pha φ của động cơ và độ trượt s

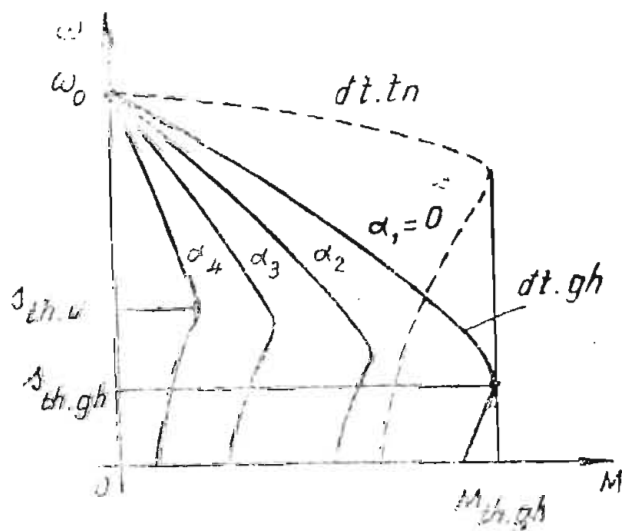


Hình 5-11. Quan hệ giữa giá trị hiệu dụng của sóng hài bậc 1 của điện áp stato động cơ với α_0 và φ

Điện áp stato không sin, như trên hình 5-9, được phân tích thành những thành phần sóng hài, trong đó sóng bậc 1 là thành phần sinh công cơ học. Giá trị hiệu dụng của sóng bậc 1 (U_{1b}) không những phụ thuộc vào góc thông α_0 mà còn phụ thuộc vào góc pha φ của động cơ. Quan hệ $U_{1b} = f(\alpha_0, \varphi)$ có dạng như trên hình 5-11.

2. Đặc tính cơ.

Để dựng đặc tính cơ điều chỉnh, ta bỏ qua điện trở của tiristo khi nó thông và dựng đặc tính giới hạn ứng với góc $\alpha_0 = 30^\circ$ (tức $\alpha = 0$). Sau đó, ứng với các giá trị s , ta tìm những giá trị φ tương ứng theo hình 5-10, kết hợp với góc α_0 đã cho ta tra ra U_{1b} . Từ những giá trị U_{1b} và M_{gh} theo (5-3) ta dựng được đặc tính ứng với α_0 đã cho. Chú ý rằng, vì điện áp phụ thuộc vào góc φ , nên độ trượt tới hạn của các đặc tính điều chỉnh có thể khác với $s_{th,gh}$. Dạng các đặc tính điều chỉnh ứng với những góc $\alpha_0 = \text{const}$ được vẽ trên hình 5-12.



Hình 5-12. Các đặc tính điều chỉnh của hệ truyền động không đồng bộ khi dùng bộ điều chỉnh tiristo

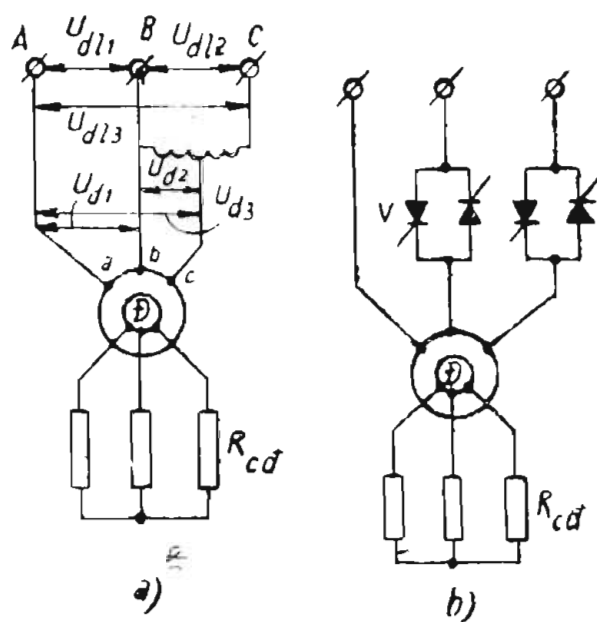
Ưu điểm của hệ này là nhờ sử dụng tiristo nên có khả năng tự động hóa dễ làm tăng độ cứng đặc tính cơ. Về chỉ tiêu năng lượng, tuy tổn thất trong bộ biến đổi không đáng kể nhưng điện áp stato bị biến dạng so với hình sin nên tổn thất phụ trong động cơ lại lớn, do đó hiệu suất không cao.

5-4 ĐIỀU ÁP KHÔNG ĐỐI XỨNG

1. Nguyên lý điều chỉnh.

Để giám sát thiết bị điều chỉnh, người ta sử dụng các phương pháp điều áp không đối xứng. Bộ biến đổi trong trường hợp này có thể là biến áp tự ngẫu

một pha (hình 5-13a), khuếch đại từ 2 pha, bộ điều áp tiristo 1 hoặc 2 pha (hình 5-13b).



Hình 5-13. Sơ đồ nguyên lý của hệ truyền động có điều áp không đối xứng.

Điện áp không đối xứng trên stato động cơ có thể phân tích thành hai thành phần đối xứng; thành phần thứ tự thuận có các vector điện áp quay đúng theo chiều của các vector điện áp lưới, và thành phần thứ tự ngược quay ngược lại. Ở đây không có thành phần thứ tự không vì stato không nối dây trung tính. Mỗi thành phần điện áp kể trên tạo ra một hệ từ thông và một hệ dòng điện cảm ứng trong rôto. Tác dụng tương hỗ của từ thông và dòng điện cùng thứ tự sẽ tạo ra thành phần mômen tương ứng. Như vậy, động cơ có hai thành phần mômen: thứ tự thuận M_t và thứ tự

ngược M_n . Còn tác dụng tương hỗ giữa từ thông thứ tự này với dòng rôto thứ tự kia chỉ tạo ra mômen đập mạch có trị số trung bình bằng không.

Mômen tổng hợp của động cơ sẽ là tổng đại số của hai thành phần:

$$M = M_t - M_n \quad (5-7)$$

Khi thay đổi mức độ không đối xứng của điện áp, tương quan giữa M_t và M_n thay đổi làm cho mômen tổng M biến đổi. Đó là nguyên nhân thay đổi tốc độ của động cơ.

2. Các đặc tính điều chỉnh.

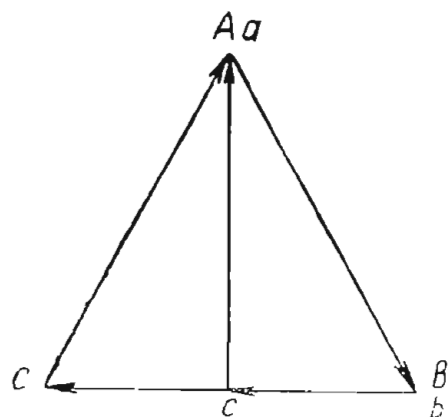
Để dựng đặc tính cơ điều chỉnh, trước hết ta phải xác định giá trị hiệu dụng của các thành phần điện áp thứ tự thuận U_t và thứ tự ngược U_n . Mỗi thành phần là một hệ áp ba pha đối xứng nên hoàn toàn có thể sử dụng các kết quả nêu trong chương 2 để viết phương trình và dựng đặc tính. Cuối cùng sử dụng (5-7) ta sẽ được đặc tính cơ của động cơ.

Điện áp trên stato được xác định nhờ đồ thị vector. Ví dụ đối với sơ đồ hình 5-13a khi cho hệ số biến áp của biến áp tự ngẫu là k ta được đồ thị vector

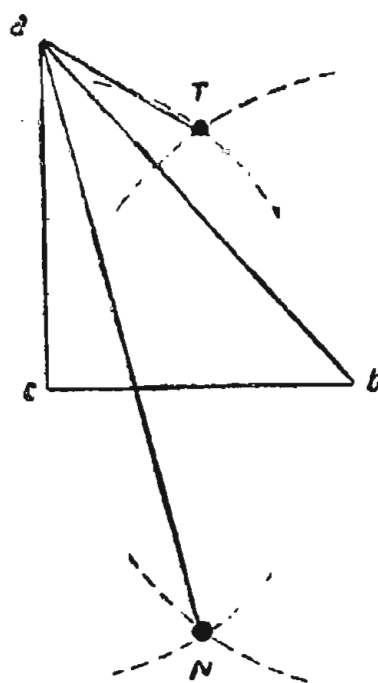
hình 5-11. Điện áp dây của lưới là đối xứng tương ứng với tam giác đều ABC. Điện áp dây stato không đối xứng với tỷ số:

$$\frac{U_{d2}}{U_{l2}} = \frac{U_{bc}}{U_{BC}} = k$$

sẽ tương ứng với tam giác abc.



Hình 5-14. Đồ thị vector điện áp của hệ truyền động hình 5-13a.



Hình 5-15. Xác định các thành phần điện áp bằng phương pháp dựng hình.

Điện áp dây ứng với mỗi thành phần (thứ tự thuận và thứ tự ngược) được xác định theo biểu thức:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{dt} &= \frac{1}{3} (\dot{U}_{ab} + a\dot{U}_{bc} + a^2\dot{U}_{ca}) \\ \dot{U}_{dn} &= \frac{1}{3} (\dot{U}_{ab} + a^2\dot{U}_{bc} + a\dot{U}_{ca}) \end{aligned} \right\} \quad (5-8)$$

Trong đó $a = e^{j\frac{2\pi}{3}} = 0,5 + j0,866$ – toán tử quay của vector điện áp ứng với góc quay $2\pi/3$ ngược chiều kim đồng hồ.

Có thể xác định chúng một cách đơn giản hơn nhờ phương pháp dựng hình: lấy một trong ba cạnh của tam giác điện áp không đối xứng abc làm căn cứ, ví dụ cạnh bc, dựng hai tam giác đều bcT và bcN (xem hình 5-15). Khoảng cách aT và aN sẽ tương ứng với môđun của các thành phần điện áp U_{dt} và U_{dn} cần tìm.

Để tiện phân tích sau này, ta sử dụng các giá trị tương đối:

$$U_{dt}^* = \frac{U_{dt}}{U_{dl}}; \quad U_{dn}^* = \frac{U_{dn}}{U_{dl}} \quad (5-9)$$

Quan hệ giữa mômen thứ tự thuận với độ trượt tương ứng cũng chính là phương trình đặc tính cơ (2-78):

$$M_l = \frac{2M_{th.t} (1 + \xi)}{\frac{s_t}{s_{th.t}} + \frac{s_{th.t}}{s_t} + 2\xi} \quad (5-10)$$

Độ trượt tới hạn đối với thành phần thứ tự thuận $s_{th,l}$ được xác định theo biểu thức chung:

$$s_{th,l} = \frac{R_2' \Sigma}{\sqrt{R_1^2 + X_{\Sigma}^2}} = s_{th} \quad (5-11)$$

trong đó s_{th} —độ trượt tới hạn khi điện áp stato đối xứng.

Mômen tới hạn thì tỷ lệ với bình phương điện áp:

$$M_{th,l} = M_{th} \left(\frac{U_l}{U_1} \right)^2 = M_{th} \cdot U_{dt}^{*2} \quad (5-12)$$

và độ trượt tương ứng với thứ tự thuận sẽ là

$$s_l = \frac{\omega_{ol} - \omega}{\omega_{ol}} = \frac{\omega_o - \omega}{\omega_o} = s \quad (5-13)$$

trong đó, s —độ trượt ứng với trường hợp nối động cơ vào điện áp đối xứng;

ω_{ol} —tốc độ quay của từ trường thứ tự thuận, nó bằng tốc độ từ trường khi điện áp stato đối xứng ω_o .

$$\xi = a \cdot s_{th,l} = \frac{R_l}{\sqrt{R_1^2 + X_{\Sigma}^2}} \quad (5-14)$$

Đối với thành phần thứ tự ngược ta có:

$$M_n = \frac{2M_{th,n} (1 + \xi)}{\frac{s_n}{s_{th,n}} + \frac{s_{th,n}}{s} + 2\xi} \quad (5-15)$$

trong đó

$$s_{th,n} = s_{th,l} = s_{th}$$

$$M_{th,n} = M_{th} \cdot \left(\frac{U_n}{U_1} \right)^2 = M_{th} \cdot U_{dn}^{*2} \quad (5-16)$$

$$s_n = \frac{\omega_{on} - \omega}{\omega_{on}} = \frac{-\omega_o - \omega}{-\omega_o} = 2 - s \quad (5-17)$$

trong đó,

$\omega_{on} = \omega_o -$ tốc độ quay của từ trường thứ tự ngược.

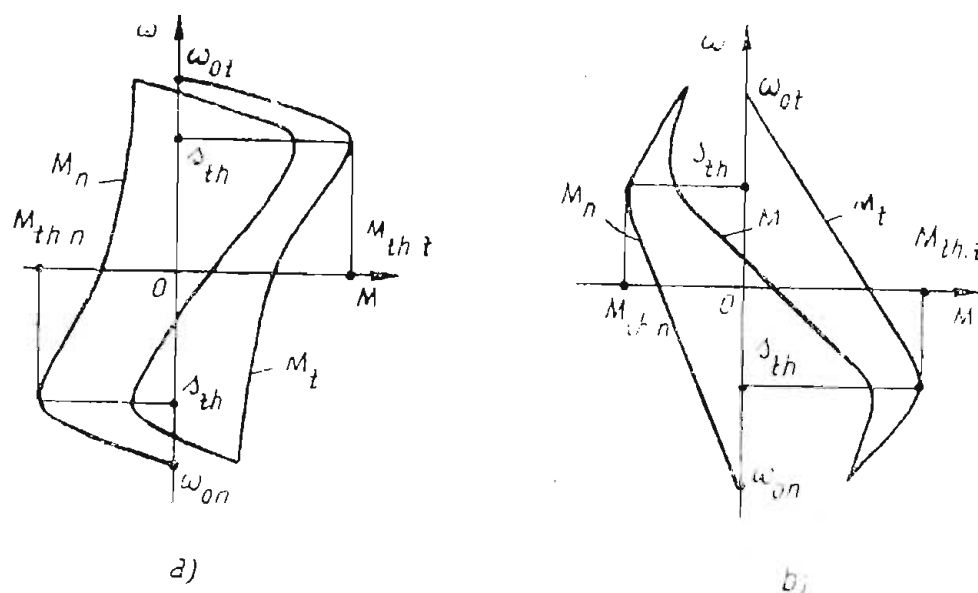
Nếu biểu diễn (5-10) và (5-16) theo thông số chung của máy điện là M_{th} và s , ta có:

$$\left. \begin{aligned} M_l &= \frac{2M_{th}(1 + \xi) U_{dt}^{*2}}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s} + 2\xi} \\ M_n &= \frac{2M_{th}(1 + \xi) U_{dn}^{*2}}{\frac{2-s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{2-s} + 2\xi} \end{aligned} \right\} \quad (5-18)$$

Cuối cùng ta có biểu thức tính mômen tổng hợp của dòng cơ:

$$M = M_t - M_n = 2M_{th}(1 + \xi) \left[\frac{U_{dt}^{*2}}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s} + 2\xi} - \frac{U_{dn}^{*2}}{\frac{2-s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{2-s} + 2\xi} \right]. \quad (5-19)$$

Biểu thức (5-19) chính là phương trình đặc tính cơ khi điều áp không đối xứng. Dạng đặc tính cơ và các mômen thành phần được biểu diễn trên hình 5-16.



Hình 5-16. Đặc tính cơ của truyền động không đồng bộ khi điều áp không đối xứng.

- a) Khi không nối điện trở phụ R_{cd} trong mạch rôto;
b) khi nối R_{cd} đủ lớn.

Phân tích các đường cong M trên hình 5-16a và b ta thấy khi không nối điện trở phụ R_{cd} trong mạch rôto thì đặc tính cơ có đoạn làm việc ngắn, do đó giải điều chỉnh và khả năng chịu tải đều kém. Nếu nối điện trở phụ R_{cd} , độ trượt tới hạn tăng lên, nên đoạn làm việc của đặc tính cơ được kéo dài (hình 5-16b), do đó giải điều chỉnh được mở rộng và hệ thống có thể làm việc có hiệu quả cả ở các trạng thái hãm.

Phương pháp điều áp không đối xứng tương đối đơn giản. Nó được ứng dụng trong một số thiết bị nâng vận chuyển để điều chỉnh tốc độ và tạo ra trạng thái hãm khi hạ tải trọng.

Nhược điểm của phương pháp này là tổn thất năng lượng nhiều, dòng điện làm việc lớn trong khi mômen nhỏ, do đó khả năng chịu tải của động cơ kém. Cũng vì lý do này mà người ta chỉ dùng phương pháp này khi cần tạo ra tốc độ thấp trong một thời gian ngắn.

5-3. ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG DỒNG BỘ BẰNG CÁCH BIẾN ĐỔI TẦN SỐ

1. Đặc điểm làm việc của động cơ khi điều tần.

Như đã biết, tần số của lưới điện quyết định giá trị tốc độ góc của từ trường quay trong máy điện, do đó bằng cách thay đổi tần số dòng stato ta

có thể điều chỉnh được tốc độ của động cơ. Để thực hiện phương pháp điều chỉnh này ta dùng bộ nguồn biến tần BT để cung cấp cho động cơ. Sơ đồ tổng quát của hệ được vẽ trên hình 5-17.

Cần chú ý rằng, vì máy điện được chế tạo để làm việc ở tần số định mức, nên khi thay đổi tần số, chế độ làm việc của nó bị thay đổi. Sở dĩ như vậy là vì tần số có ảnh hưởng trực tiếp đến từ thông của máy điện. Quan hệ này có thể được phân tích nhờ phương trình cân bằng điện áp đối với mạch stato của máy điện:

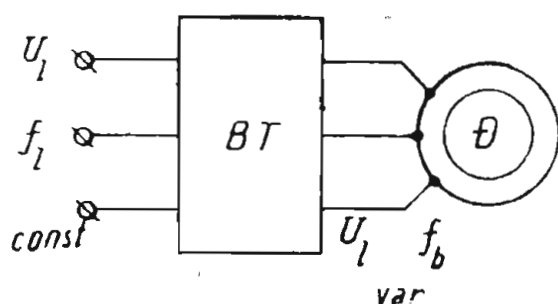
$$\dot{E}_1 = c\Phi f_1 = \dot{U}_1 - \dot{I}_1 Z_1, \quad (5-20)$$

trong đó $\dot{E}_1$ — S.D.I. cảm ứng trong cuộn dây stato; Φ — từ thông móc vòng qua cuộn dây stato; c — hằng số tỷ lệ; $\dot{U}_1 = \dot{U}_b$ — điện áp đặt vào stato của động cơ; $f_1 = f_b$ — tần số của dòng stato.

Nếu bỏ qua sụt áp trên tổng trở của cuộn dây stato thì từ (5-20) ta có

$$\Phi = \frac{\dot{U}_1}{cf_1} \quad (5-21)$$

Nếu điện áp đặt vào stato không đổi ($\dot{U}_1 = \text{const}$) thì (5-21) cho thấy rằng khi tăng tần số (lớn hơn giá trị định mức $f_{\text{đm}}$), từ thông trong máy sẽ giảm, do đó mômen của máy điện giảm. Nếu mômen tải giữ không đổi, hoặc là hàm tăng của tốc độ, thì khi đó dòng điện của động cơ phải tăng lên để làm tăng mômen cho cân bằng với mômen cản. Kết quả là động cơ bị quá tải về dòng.



Hình 5-17. Sơ đồ nguyên lý hệ truyền động điện có điều chỉnh tần số.

Khi giảm tần số (để giảm tốc), từ thông Φ tăng lên và mạch từ sẽ bị bão hòa. Hiện tượng này làm tăng dòng điện từ hóa, nghĩa là tăng tổn thất thép và đốt nóng máy điện.

Như vậy, khi điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi tần số nếu giữ áp trên stato không đổi thì khả năng mang tải của máy điện bị giảm và các chỉ tiêu năng lượng đều thấp. Do đó khi điều tần người ta phải đồng thời thay đổi điện áp trên stato.

2) Quy luật thay đổi điện áp.

Người ta đã chứng minh được rằng khi thay đổi tần số, nếu đồng thời điều chỉnh áp trên stato sao cho hệ số quá tải ($\lambda = M_{\text{th}}/M_c$) không đổi thì chế độ làm việc của máy luôn luôn được duy trì ở mức tối ưu giống như khi làm việc ở các thông số định mức. Khi đó hiệu suất và $\cos\phi$ của máy điện trong toàn dải điều chỉnh sẽ hầu như không đổi.

Từ nhận xét trên ta có thể tìm ra quy luật thay đổi điện áp theo tần số. Để cho đơn giản, ta sử dụng các giả thiết đã đặt ra khi tìm phương trình đặc tính cơ của máy không đồng bộ, nghĩa là sẽ khảo sát vấn đề này dựa vào sơ đồ thay thế hình Γ (xem hình 2-41).

Khi bỏ qua điện trở cuộn dây stato, biểu thức của mômen tới hạn sẽ là:

$$M_{th} = \frac{3U_1^2}{2\omega_o (x_1 f_1 + x_2' f_1)} = \frac{3U_1^2}{\frac{4\pi}{p} (x_1 + x_2') f_1^2} \quad (5-22)$$

trong đó ta đã thay

$$\omega_o = \frac{2\pi f_1}{p}$$

Hệ số quá tải của động cơ được xác định dựa vào (5-22) và quan hệ $M_c = f(\omega)$:

$$\lambda = \frac{M_{th}}{M_c(\omega)} = \frac{3U_1^2}{\frac{4\pi}{p} (x_1 + x_2') f_1^2 \cdot M_c(\omega)} = A \cdot \frac{U_1^2}{f_1^2 M_c(\omega)} \quad (5-23a)$$

Tiếp theo ta thay $M_c(\omega)$ bằng phương trình đặc tính cơ dạng gần đúng của máy sản xuất, và coi $\omega \approx \omega_o = 2\pi f_1/p$, nghĩa là thay

$$M_c(\omega) = M_{c, dm} \omega^x = \frac{M_{c, dm} (2\pi)^x}{p^x} f_1^x = B f_1^x$$

Khi đó, (5-23a) được viết lại là

$$\lambda = \frac{A}{B} \frac{U_1^2}{f_1^{(2+x)}} \quad (5-23b)$$

Viết biểu thức λ cho trường hợp làm việc ở các thông số định mức U_{1dm} và trường hợp ở $U_1 f_1$ bất kỳ, và giữ điều kiện $\lambda = \text{const}$, ta được

$$\frac{U_{1dm}^2}{f_{1dm}^{(2+x)}} = \frac{U_1^2}{f_1^{(2+x)}}$$

Từ đó ta rút ra quy luật biến đổi điện áp:

$$\frac{U_1}{U_{1dm}} = \sqrt{\frac{f_1^{(2+x)}}{f_{1dm}^{(2+x)}}}$$

hoặc

$$U_1^* = \sqrt{f_1^{*(2+x)}} \quad (5-24)$$

Với

$$U_1^* = \frac{U_1}{U_{1dm}} \text{ và } f_1^* = \frac{f_1}{f_{1dm}}$$

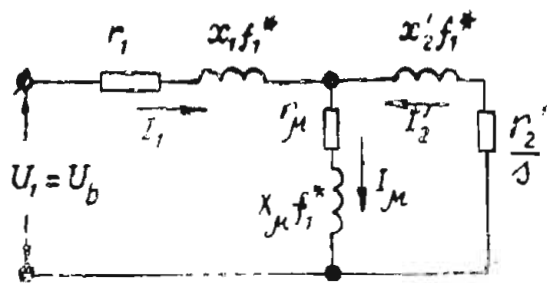
Như vậy điện áp stato phải thay đổi phụ thuộc tần số và đặc tính phụ tải. Cho những giá trị khác nhau, ta sẽ tìm được quy luật biến đổi điện áp ứng với từng loại phụ tải như trong bảng 5-1.

Loại tải		Quy luật điều chỉnh điện áp
Kiểu máy tiện	-1	$\sqrt{f_1^*}$
Kiểu máy nâng		f_1^*
Ma sát nhớt	1	$\sqrt{f_1^{*3}}$
Quạt gió	2	f_1^{*2}

Vì quy luật (5-24) được rút ra với điều kiện công nhận những giả thiết đã nhắc trên, nên nó chỉ là gần đúng. Nó được gọi là quy luật cơ bản hoặc quy luật gần đúng, và có thể sử dụng khi giải điều chỉnh không rộng. Nếu giải điều chỉnh lớn thì sử dụng quy luật này sẽ phạm phải sai số đáng kể ở vùng tần số thấp.

Muốn có quy luật chính xác hơn, ta phải xét đến ảnh hưởng của điện trở mạch stato và sụt áp trên stato do dòng từ hóa gây ra, nghĩa là phải sử dụng sơ đồ thay thế hình T để phân tích các quan hệ điện cơ của máy điện.

Sơ đồ thay thế hình T khi máy điện làm việc ở tần số bất kỳ được vẽ



Hình 5-18. Sơ đồ thay thế hình T của máy điện không đồng bộ.

trên hình 5-18. Các đại lượng x_1 , x_2 , x_μ là điện kháng của mạch stato, rôto quy đổi và mạch từ hóa tính ở tần số định mức. Khi tần số thay đổi, điện kháng của các phần tử trên đều thay đổi một cách tỷ lệ. Vì vậy ở tần số bất kỳ, các đại lượng

điện kháng trên sơ đồ sẽ là $x_1 f_1^*$, $x_2 f_1^*$ và $x_\mu f_1^*$.

Từ sơ đồ hình 5-17 ta viết được biểu thức của dòng I_2 .

$$I_2 = \frac{U_1 x_\mu f_1^*}{\sqrt{\left(r_1 \frac{r_2'}{x_\mu} + x_1 x_2' f_1^{*2} - x_\mu x_{mn} f_1^{*2} \right)^2 + \left[r_1 (x_2' f_1^* + x_\mu f_1^*) + \dots + \frac{r_2'}{x_\mu} (x_1 f_1^* + x_\mu f_1^*) \right]^2}}$$

Chia tử và mẫu thức cho $x_\mu f_1^*$ và coi $x_1/x_\mu \approx 0$, $x_2'/x_\mu \approx 0$ ta được:

$$I_2 \approx \frac{U_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 R_2'}{s x_\mu f_1^*} \right)^2 + \left(x_{mn} f_1^* \right)^2}} \quad (5-25)$$

Tương tự như ở chương 2, thay biểu thức (5-25) vào (2-74) ta được biểu thức mômen:

$$M = \frac{3U_1^2 R_2'}{\omega_0 s \left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 R_2'}{s x_\mu f_1^*} \right)^2 + \left(x_{nm} f_1^* \right)^2 \right]} \quad (5-26)$$

Bằng cách lấy cực trị của mômen, ta xác định được độ trượt tới hạn và mômen tới hạn:

$$s_{th} = R_2' \sqrt{\frac{1 + \left(R_1 / x_\mu f_1^* \right)^2}{R_1^2 + \left(x_{nm} f_1^* \right)^2}} \quad (5-27)$$

$$M_{th} = \frac{3}{2} \frac{U_1^2}{\omega_0 \left[R_1 \pm \sqrt{\left[R_1^2 + \left(x_{nm} f_1^* \right)^2 \right] \left[1 + R_1^2 / \left(x_\mu f_1^* \right)^2 \right]} \right]} \quad (5-28)$$

Để tìm quy luật biến đổi điện áp, ta cũng xuất phát từ điều kiện:

$$\lambda = \frac{M_{th}}{M_c} = \frac{M_{th, dm}}{M_{c, dm}} = \text{const}$$

Thay M_{th} từ (5-28), coi $M_{c, dm} = M_{dm}$ và đặt $M_c / M_{dm} = M_c^*$ ta được:

$$U_1^2 = \sqrt{\frac{\left(f_1 \frac{R_1}{x_{nm}} + \sqrt{\left(f_1^{*2} + \frac{R_1^2}{x_{nm}^2} \right) \left(f_1^{*2} + \frac{R_1^2}{x_\mu^2} \right)} \right)}{\frac{R_1}{x_{nm}} + \sqrt{\left(1 + \frac{R_1^2}{x_{nm}^2} \right) \left(1 + \frac{R_1^2}{x_\mu^2} \right)}}} \cdot f_1^* M_c^* \quad (5-29)$$

Chú ý rằng, để biểu thức (5-29) bảo đảm độ chính xác cần thiết, đại lượng M_c^* cần được lấy từ phương trình đặc tính cơ dạng chính xác của máy sản xuất. Biểu thức trên đây là quy luật thay đổi điện áp chính xác.

3. Các đặc tính điều chỉnh.

Đặc tính cơ của động cơ khi điều chỉnh tần số không những phụ thuộc vào giá trị tần f_1 mà còn phụ thuộc vào quy luật thay đổi điện áp, nghĩa là còn phụ thuộc đặc tính phụ tải.

Nếu sử dụng quy luật điều chỉnh điện áp gần đúng (5-24) thì mômen tới hạn của đặc tính điều chỉnh cũng được xác định gần đúng theo (5-22). Khi tần

số và điện áp định mức, thì từ (5-22) ta tìm được mômen tới hạn của đặc tính tự nhiên là

$$M_{th.dm} = \frac{3U_{1dm}^2}{\frac{1}{p} f_{1dm}(x_1 + x_2')} \quad (5-30)$$

So sánh (5-22) với (5-30) ta được:

$$M_{th} = M_{th.dm} \cdot \frac{U_1^{*2}}{f_1^{*2}} \quad (5-31a)$$

Thay U_1^* bằng quy luật biến thiên (5-24) của nó ta được:

$$M_{th} = M_{th.dm} f_1^{*x} \quad (5-31b)$$

Độ trượt tới hạn được xác định theo biểu thức gần đúng (bỏ qua R_1):

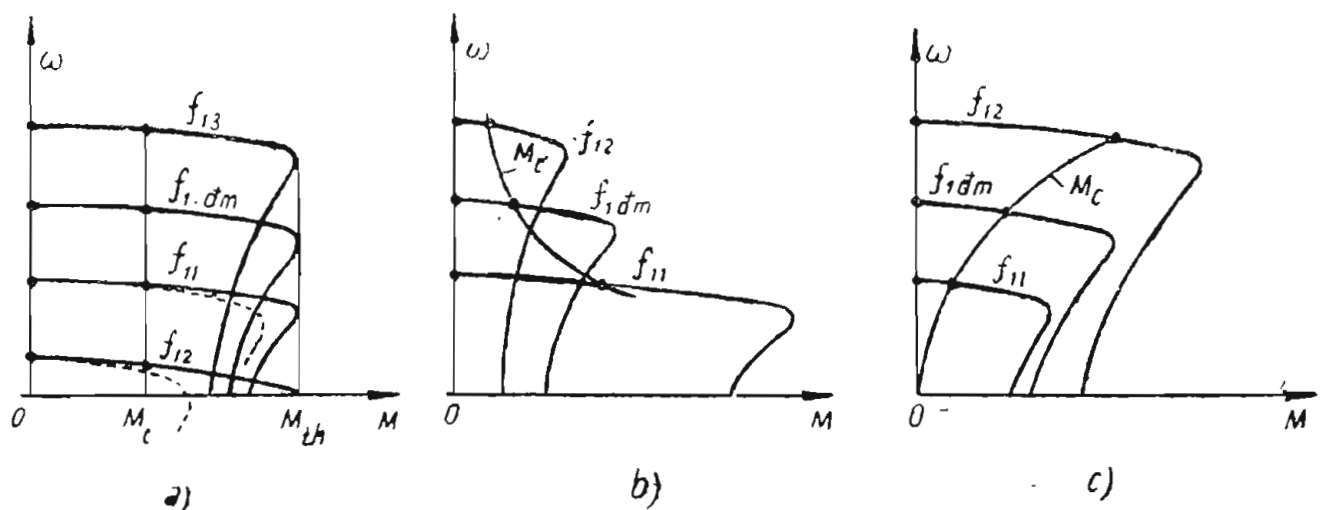
$$s_{th} = \frac{R_2'}{x_1 f_1^* + x_2' f_1^*} = \frac{s_{th.dm}}{f_1^*} \quad (5-32)$$

trong đó $s_{th.dm}$ — độ trượt tới hạn của đặc tính tự nhiên (khi U_{1dm} và f_{1dm}).

Như vậy, khi biết các số liệu của đặc tính tự nhiên và đặc tính cơ của máy sản xuất, từ (5-31) và (5-32), ta có thể xác định mômen và độ trượt tới hạn ở bất kỳ tần số nào. Cuối cùng, sử dụng phương trình

$$M = \frac{2M_{th}}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s}}$$

ta dựng được đặc tính cơ điều chỉnh. Trên hình 5-19 trình bày dạng các đặc tính điều chỉnh ứng với các loại phụ tải khác nhau.



Hình 5-19. Đặc tính cơ khi điều chỉnh tần số sử dụng quy luật thay đổi điện áp gần đúng ứng với các loại phụ tải khác nhau.

a) khi $M_c = \text{const}$ ($x = 0$); b) khi $M_c \equiv \frac{1}{\omega}$ ($x = 1$); c) khi $M_c \equiv \omega^2$ ($x = 2$).

Về lý thuyết các họ đặc tính điều chỉnh này đều thỏa mãn điều kiện

$$\lambda = M_{th}/M_c = \text{const.}$$

Thực tế, do bỏ qua điện trở R_1 nên ở miền tần số thấp mômen tới hạn sai khác đáng kể so với giá trị tính toán (5-31). Thực vậy, nếu ở những tần số cao điện kháng từ hóa x_p rất lớn so với điện trở R_1 nên việc bỏ qua R_1 không gây sai số đáng kể, thì khi tần số nhỏ, x_p giảm mất nhiều lần, còn R_1 vẫn giữ không đổi, nên kết quả tính toán thiếu chính xác. Để minh họa nhận xét này, trên hình 5-19a còn vẽ các đặc tính thực tế ở miền tần số thấp bằng đường nét đứt. Hệ số quá tải thực tế bị giảm đáng kể trong miền này:

Độ cứng đặc tính cơ điều chỉnh cũng phụ thuộc vào tần số và đặc tính của mômen tải. Để cho đơn giản ta coi đoạn làm việc của các đặc tính cơ là đường thẳng có phương trình:

$$M = \frac{2M_{th}}{s_{th}} \cdot s$$

Khi đó, độ cứng của nó sẽ là:

$$\beta = - \frac{1}{\omega_n} \frac{2M_{th}}{s_{th}}$$

Thay M_{th} , s_{th} từ (5-31), (5-32) và thay $\omega_n = \omega_{odm} f_1^*$ ta được

$$\beta = - \frac{1}{\omega_{odm} f_1^*} \cdot \frac{2M_{th, dm} f_1^{*x}}{s_{th, dm} / f_1^*} = \beta_{tn} \cdot f_1^{*x} \quad (5-33)$$

Trong đó, β_{tn} — độ cứng của đặc tính tự nhiên; ω_{odm} — tốc độ đồng bộ khi tần số định mức.

Nếu phụ tải có $M_c = \text{const}(x = 0)$ ta có $\beta = \beta_{tn} = \text{const}$. Nếu mômen tải là hàm tăng của tốc độ ($x > 0$) thì môđun độ cứng cũng là hàm tăng của tốc độ (tần số), nghĩa là nó tăng khi điều chỉnh trên cơ bản và giảm khi điều chỉnh dưới cơ bản. Nếu $M_c(\omega)$ là hàm giảm thì ngược lại, môđun độ cứng sẽ tăng khi điều chỉnh dưới cơ bản và sẽ giảm khi điều chỉnh trên cơ bản.

Khi điện áp được điều chỉnh theo quy luật (5-29), ta sử dụng phương trình đặc tính cơ dạng chính xác để dựng các đặc tính điều chỉnh. Phương trình này được rút từ (5-26) bằng cách biểu diễn mômen thông qua M_{th} và s_{th} [biểu thức (5-29) và (5-28)] và có dạng như sau:

$$M = \frac{2M_{th}(1 + a's_{th})}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{1} + 2a's_{th}} \quad (5-34)$$

trong đó

$$\frac{R_1 f_1^{*2}}{R_2 \left(1_1^{*2} + \frac{R_1^2}{x_p^2} \right)} \quad (5-35)$$

Khi cho trước tần số, căn cứ vào các thông số của động cơ và đặc tính cơ của máy sản xuất ta xác định được giá trị điện áp U_1 theo (5-29), sau đó tính được s_{th} và M_{th} theo (5-27) và (5-28), cuối cùng sử dụng (5-34) và (5-35) dựng được đặc tính cơ. Các đặc tính này hầu như bảo đảm được yêu cầu $\lambda = \text{const}$ trong toàn dải điều chỉnh tốc độ như các đường cong trên hình 5-19.

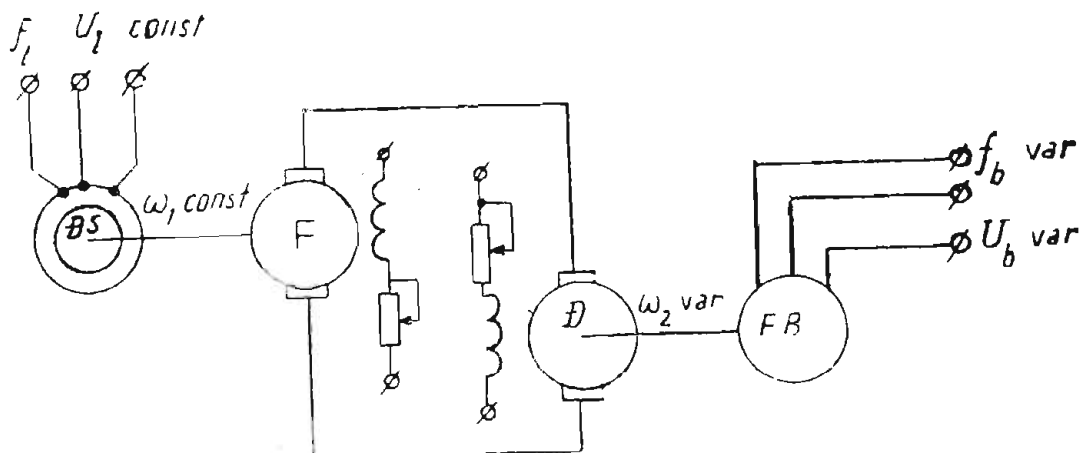
4. Các bộ biến tần.

Như đã nêu, để điều chỉnh tốc độ động cơ không đồng bộ bằng phương pháp thay đổi tần số, ta phải sử dụng thiết bị biến tần làm nguồn cho động cơ. Một trong những yêu cầu cơ bản của bộ nguồn này là khả năng biến đổi tần số và điện áp ra một cách độc lập với nhau.

Ta có thể chia các bộ biến tần thành hai loại: biến tần dùng máy điện và biến tần dùng van.

a) *Biến tần dùng máy điện.* Nguyên tắc chung của các bộ biến tần máy điện là sử dụng hai tổ máy, một tổ nối với lưới có tốc độ không đổi, còn tổ thứ hai nối với tải (động cơ chấp hành) có tốc độ biến đổi. Nhờ biến đổi tốc độ của tổ thứ hai mà tần số ra của thiết bị có thể điều chỉnh được.

Nguyên lý đó được thể hiện trên sơ đồ hình 5-20. Tổ ĐS-F có tốc độ $\omega_1 = \text{const}$, làm chức năng biến điện năng từ lưới thành điện năng một chiều trên chổi than phân ứng của máy phát F. Tổ thứ hai gồm động cơ một chiều Đ và máy phát biến tần FBT, có tốc độ trục $\omega_2 = \text{var}$. Tốc độ này được điều chỉnh theo yêu cầu bằng cách tác động lên các mạch kích từ của Đ và F. Tần số ra của FBT phụ thuộc vào tốc độ quay ω_2 của nó.



Hình 5-20. Sơ đồ nguyên lý chung của thiết bị biến tần máy điện.

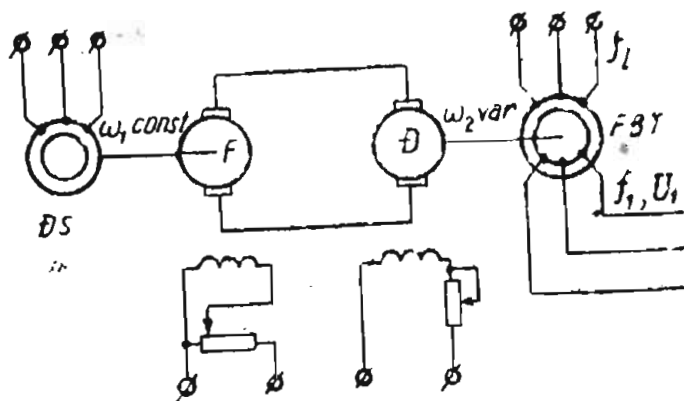
Máy phát biến tần FBT có thể là máy phát đồng bộ, máy biến tần không đồng bộ hoặc máy biến tần Leblan.

Khi dùng máy phát đồng bộ, thì mạch ra được lấy từ stato của nó. Rôto có kích từ bằng dòng điện một chiều và được quay với tốc độ ω_2 . Khi ω_2 biến đổi, tần số đầu ra f_b và điện áp đầu ra U_b đều biến đổi. Từ nguyên lý làm việc của máy điện đồng bộ ta thấy

$$I_b = \frac{\omega_2 p}{2\pi} \quad (5-36)$$

trong đó, p — số đôi cực của máy phát đồng bộ.

Khi dùng máy biến tần không đồng bộ thì trục của nó cũng được quay với tốc độ ω_2 , còn stato được nối với lưới có tần số f_1 và mạch ra được lấy từ rôto. Cũng có thể đấu ngược lại: rôto nối với lưới và stato nối với tải. Sơ đồ nguyên lý của bộ biến tần loại này được trình bày trên hình 5-21.



Hình 5-21. Bộ biến tần dùng máy không đồng bộ.

Trường hợp này máy phát biến tần FBT là máy không đồng bộ thông thường. Tần số phía rôto phụ thuộc tần số stato và độ trượt theo biểu thức:

$$f_b = f_1 \cdot s = f_1 \cdot \frac{\omega_0 - \omega_2}{\omega_0} \quad (5-37)$$

Nếu trục của FBT quay theo chiều từ trường stato, thì $\omega_2 > 0$ và $f_b < f_1$. Nếu FBT quay ngược chiều từ trường, thì $\omega_2 < 0$ và $f_b > f_1$.

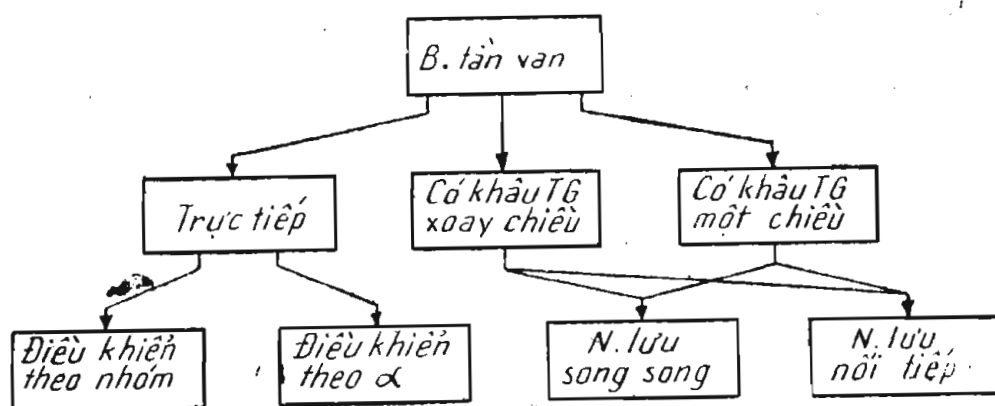
Sức điện động rôto đưa ra cho mạch tải cũng phụ thuộc độ trượt:

$$E_{rot} = E_{rot \cdot nm} s = E_{rot \cdot nm} \cdot \frac{\omega_0 - \omega_2}{\omega_0} \quad (5-38)$$

Nói chung, các bộ biến tần máy điện đều phức tạp, sử dụng nhiều máy điện trong đó có các máy một chiều, công suất lắp đặt tổng cộng của các máy trong thiết bị lớn, hiệu suất thấp và khó điều chỉnh độc lập giữa điện áp và tần số đầu ra.

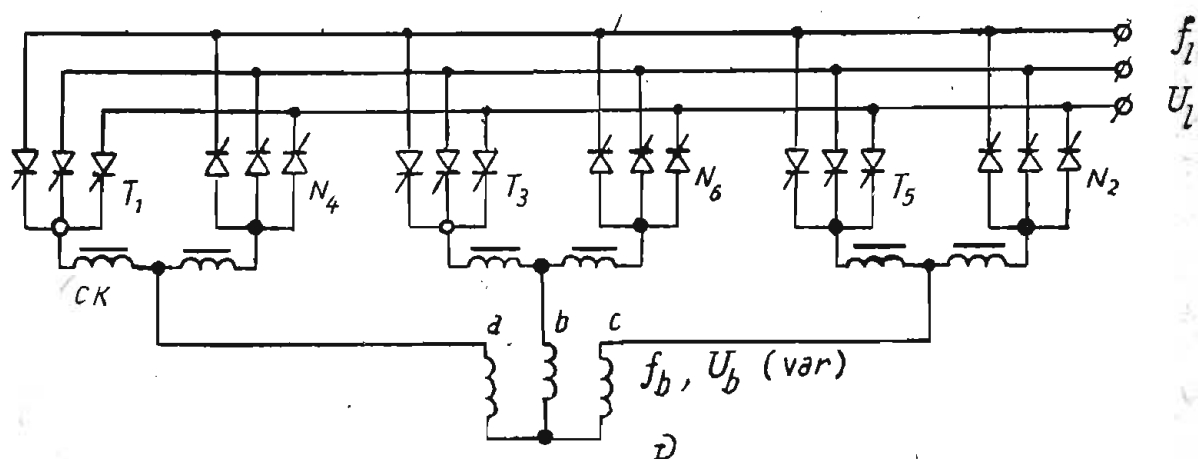
Sử dụng máy phát tần Leblan hoặc máy phát vành góp có kích từ ở stato tuy có cải thiện được một số chỉ tiêu nhưng vẫn rất cồng kềnh. Do đó trong một thời gian dài thiết bị biến tần không trở thành phổ cập được và khả năng ứng dụng của truyền động có điều khiển tần số cũng bị hạn chế. Ngày nay các thiết bị biến tần van đã được nghiên cứu và hoàn thiện ở mức độ cao. Nó mở ra triển vọng tốt cho sự phát triển của phương pháp điều chỉnh tần số.

b) Các bộ biến tần van. Các bộ biến tần van được chế tạo từ các van điều khiển động lực (tiristo). Ta có thể phân chúng thành ba loại: biến tần trực tiếp, biến tần có khâu trung gian một chiều và biến tần có khâu trung gian xoay chiều. Mỗi loại lại có thể chia thành các nhóm theo đặc điểm của bộ nghịch lưu hoặc theo phương pháp điều khiển. Hệ thống phân loại được tóm tắt trong biểu đồ sau đây:



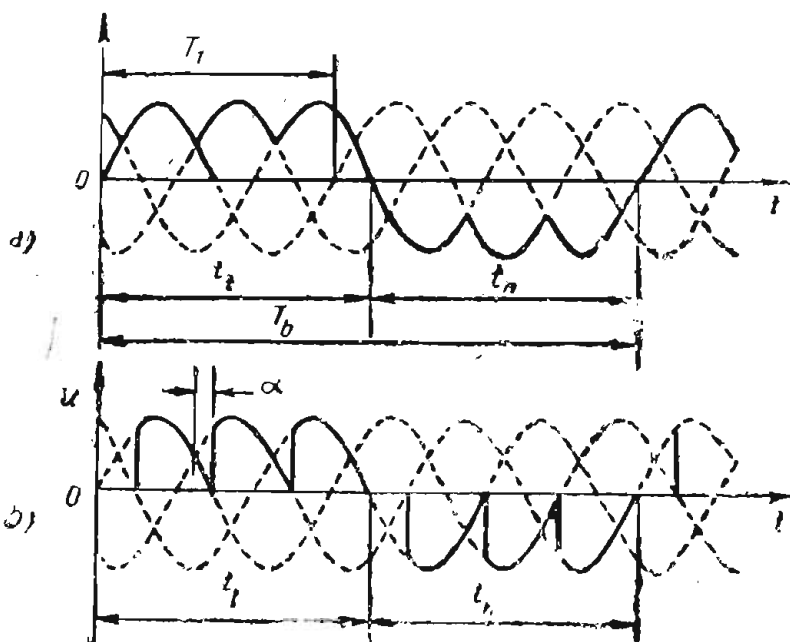
Sơ đồ nguyên lý của bộ biến tần trực tiếp được trình bày trên hình 5-22. Mỗi pha ở đầu ra (a,b,c) được cấp điện bởi hai nhóm van: nhóm T tạo ra dòng chạy thuận và nhóm N—chạy ngược. Mỗi nhóm là một bộ chỉnh lưu (hoặc nghịch lưu phụ thuộc) ba pha. Để hạn chế dòng ký sinh chạy qua hai van của nhóm T và nhóm N đang thông, người ta dùng các cuộn kháng CK.

Khi điều khiển theo nhóm, thì mỗi nhóm được mở trong khoảng thời gian của nửa chu kỳ điện áp đầu ra. Hãy hình dung sự làm việc của pha a theo đồ thị hình 2-23a. Trong khoảng thời gian t_1 — nhóm T_1 thông, còn trong khoảng t_n thì nhóm N_6 . Các van trong cùng một nhóm chuyển mạch cho nhau nhờ điện áp lưới (chuyển mạch tự nhiên). Mỗi van mở trong khoảng $\frac{1}{3}$ chu kỳ của điện áp lưới. Thay đổi số van mở trong một nhóm ta sẽ thay đổi được thời gian của chu kỳ điện áp đầu ra (t_1 và t_n), do đó thay đổi được tần số đầu ra của biến tần.



Hình 5-22. Sơ đồ nguyên lý bộ biến tần trực tiếp.

Từ đồ thị hình 5-23a, bằng cách lập tỷ số thời gian chu kỳ của điện áp lưới T_1 và của điện áp ra T_b ta tìm được quan hệ giữa tần số áp ra và tần số lưới:



Hình 5-23. Đồ thị điện áp một pha của bộ biến tần trực tiếp. a) khi $\alpha = 0$, điện áp ra cực đại; b) khi $\alpha \neq 0$, điện áp ra giảm xuống.

$$\begin{aligned} \frac{f_b}{f_1} &= \frac{T_1}{T_b} = \\ &= \frac{m \frac{2\pi}{m}}{2 \left[n \cdot \frac{2\pi}{m} + \pi - \frac{2\pi}{m} \right]} \\ &= \frac{m}{2n + m - 2} \quad (5-39) \end{aligned}$$

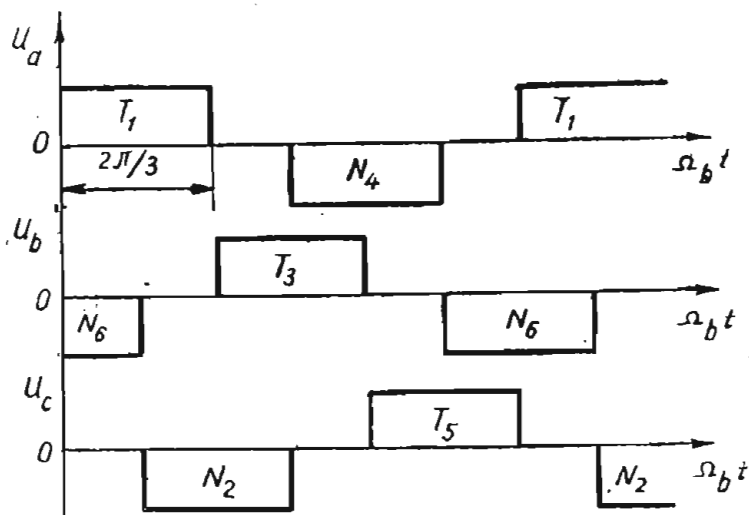
trong đó, m — số pha đầu vào của bộ biến tần; n — số đỉnh hình sin (tức số van thông ở mỗi nhóm) trong một nửa chu kỳ của điện áp ra.

Từ nguyên lý làm việc nêu trên và từ biểu thức (5-39) ta thấy tần số đầu ra luôn luôn nhỏ hơn tần số lưới. Nếu $f_1 = 50\text{Hz}$, $m = 3$ thì khi $n = 1$ ta có $f_b = 50\text{Hz}$; khi $n = 2$, $f_b = 30\text{Hz}$; khi $n = 3$, $f_b = 21,4\text{Hz}$, v.v... Vì n và m đều là những số nguyên nên tần số ra được điều chỉnh nhảy cấp (không tinh).

Giá trị điện áp ra được thay đổi bằng cách thay đổi góc thông chậm α của các van. Hình 5-23b vẽ một đồ thị điện áp để minh họa nguyên tắc đó. Vì số đỉnh hình sin n ở trường hợp này giống như ở hình 5-23a nên tần số đầu ra của hai trường hợp như nhau, nhưng điện áp ở hình 5-23b có giá trị nhỏ hơn. Như vậy ta có thể điều chỉnh áp và tần hoàn toàn độc lập với nhau.

Để tạo ra hệ thống điện áp ba pha ở đầu ra, ta điều khiển các nhóm van mở theo thứ tự $T_1 - N_2 - T_3 - N_4 - T_5 - N_6 - T_1 \dots$, mỗi nhóm cho thông trong $\frac{1}{3}$ chu kỳ của điện áp ra.

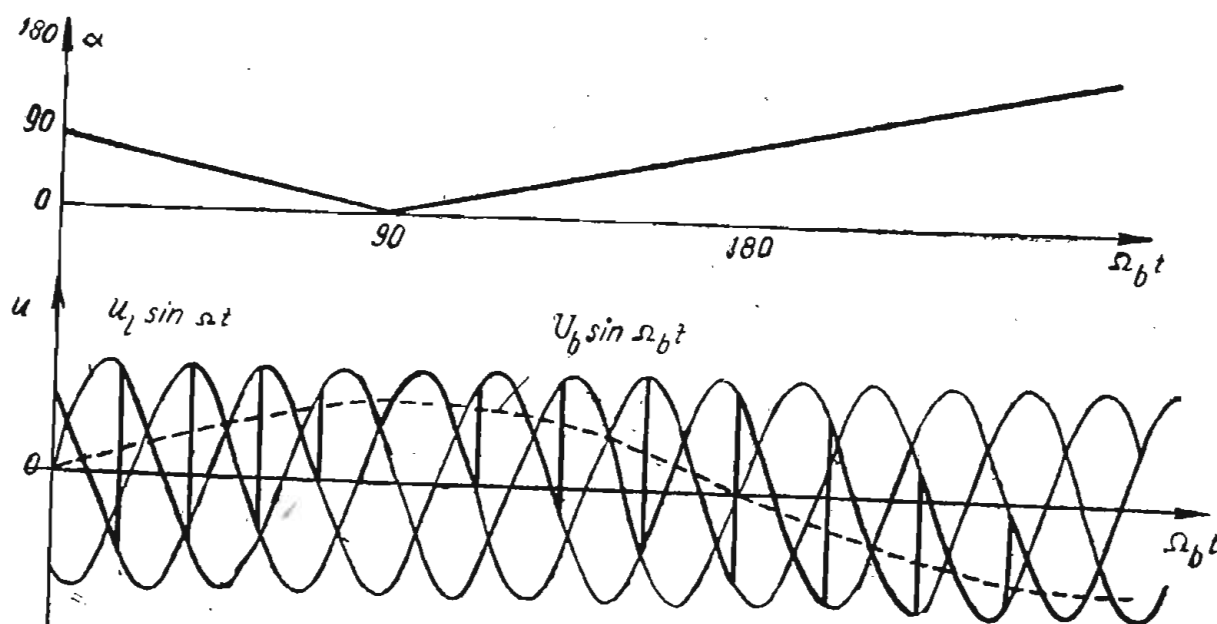
Nếu giả thiết điện áp ra được lọc phẳng hoàn toàn thì bằng cách điều khiển như trên ta được đồ thị điện áp ra ở ba pha như trên hình 5-24.



Hình 5-24. Hệ thống điện áp ba pha ở đầu ra bộ biến tần trực tiếp.

Để có thể điều chỉnh tinh tần số ra và tạo được áp ra có dạng gần hình sin hơn, người ta áp dụng phương pháp điều khiển quy luật góc mở van α . Nội dung của phương pháp này là cho các van thông với những góc α biến thiên theo quy luật hình sin với tần số góc của điện áp đầu ra, nghĩa là:

$$\alpha = \arcsin(k \sin \Omega_b t) \quad (5-40)$$

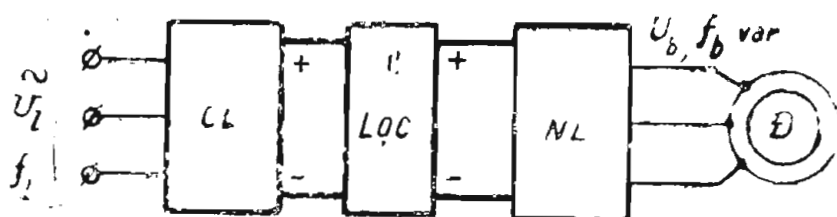


Hình 2-25. Quan hệ $\alpha = f(\Omega_b t)$ và đồ thị điện áp ra của bộ biến tần trực tiếp khi điều khiển góc α theo quy luật hình sin.

trong đó k — tỷ số các biên độ điện áp đầu vào và đầu ra; $\Omega_b = 2\pi f_b$ — tần số góc của điện áp ra.

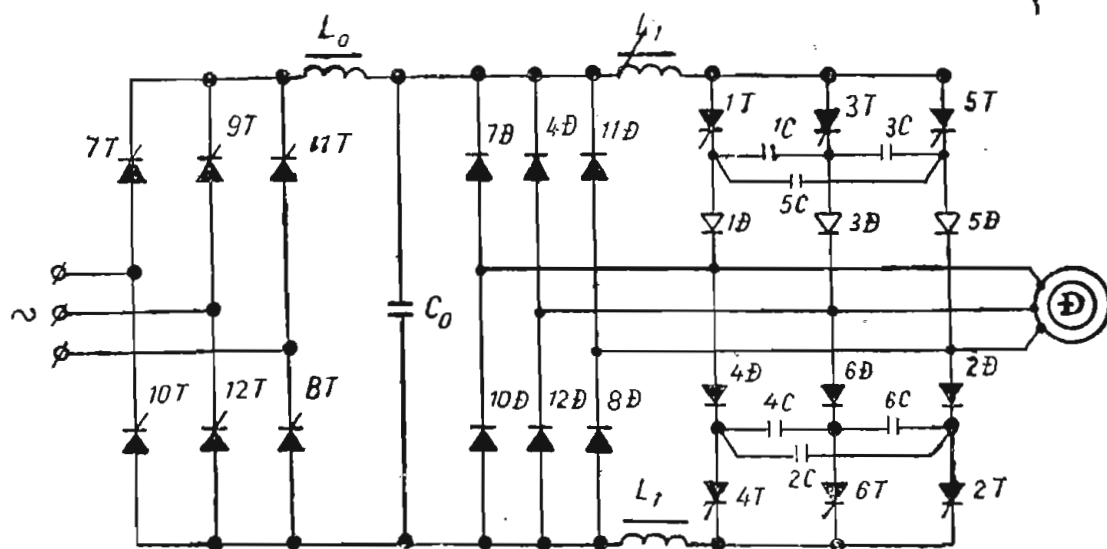
Theo biểu thức (5-10) thì quan hệ $\alpha(\Omega t)$ là tuyến tính. Nếu lấy $k = 1$ thì quan hệ đó có dạng như trên hình 5-25. Dựa vào đó ta xác định được góc, α cần thiết cho các van ở mỗi pha của điện áp đầu ra, và kết quả ta được đồ thị điện áp ra của một pha đầu ra như đường nét đậm trên hình 5-40. Thành phần sóng điều hòa bậc nhất (theo tần số Ω_b) của điện áp này là đường nét đứt;

Bộ biến tần có khâu trung gian một chiều là bộ biến đổi hai tầng. Sơ đồ khối của nó được vẽ trên hình 5-26. Nhóm chỉnh lưu có thể được cấu tạo từ các van không điều khiển hoặc điều khiển, làm chức năng biến điện xoay chiều thành một chiều. Sau khi lọc, điện áp một chiều sẽ được nghịch lưu thành xoay chiều có tần số biến đổi. Nhóm nghịch lưu NL ở đây làm việc độc lập với lưới, nghĩa là các van của chúng chuyển mạch cho nhau theo chế độ cưỡng bức. Ta gọi nghịch lưu này là nghịch lưu ortonôm. Tần số đầu ra được điều chỉnh nhờ thay đổi chu kỳ đóng cắt các van trong nhóm nghịch lưu, còn điện áp ra thì có thể được điều chỉnh nhờ thay đổi góc thông của các van trong nhóm chỉnh lưu hoặc điều chỉnh nhóm nghịch lưu bằng phương pháp xung rộng.



Hình 5-26. Sơ đồ khối của bộ biến tần có khâu trung gian một chiều

Trên hình 5-27 là sơ đồ nguyên lý của bộ biến tần có khâu trung gian một chiều dùng nghịch lưu áp. Nhóm chỉnh lưu gồm 6 tiristo 7T — 12T vừa làm chức năng biến đổi dạng điện áp từ xoay chiều thành một chiều, vừa có nhiệm vụ điều chỉnh giá trị điện áp. U_o . Bộ lọc phẳng gồm kháng L_o và tụ C_o . Phần chỉnh của nhóm nghịch lưu là các tiristo 1T—6T. Chúng được mở theo thứ



Hình 5-27. Sơ đồ nguyên lý bộ biến tần có khâu trung gian một chiều.

tụ $1T - 2T - \dots - 6T$, cách nhau $1/6$ chu kỳ của áp ra. Như vậy tại mỗi thời điểm có hai van thông, một nối với cực dương và một nối cực âm của điện áp U_o . Kết quả điện áp pha đưa vào động cơ có dạng như trên hình 5-28.

Bằng cách thay đổi khoảng thời gian thông của các tiristo, ta thay đổi được thời gian chu kỳ của áp ra, nghĩa là điều chỉnh được tần số ra.

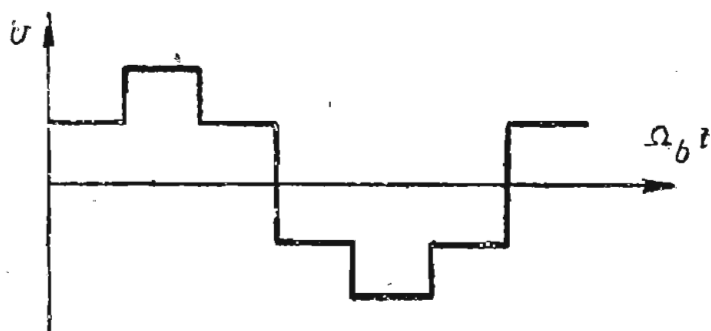
Để chuyển mạch giữa các van, người ta dùng các tụ $C_1 - C_6$. Giả sử trong khoảng thời gian nào đó van $1T$ và $2T$ thông, tụ C_1 được nạp từ nguồn với cực tính ghi trên hình vẽ. Khi cho xung mở van $3T$, tụ $1C$ phóng qua $1T$ và $3T$, tạo ra dòng điện khóa van $1T$ và hỗ trợ cho $3T$ thông.

Các diốt $1D - 6D$ có tác dụng ngăn tách các tụ chuyển mạch với phụ tải, không cho các tụ trên phóng điện qua tải. Nhờ đó điện dung yêu cầu của tụ được giảm nhỏ và áp trên tải không bị ảnh hưởng bởi sự phóng nạp của tụ.

Các diốt $D7 - D12$ tạo thành một cầu ngược, có tác dụng mở đường cho dòng điện phản kháng từ phía động cơ chảy về tụ C_o . Dòng điện này xuất hiện do sự lệch pha giữa dòng và áp của động cơ. Ta biết rằng, các tiristo của nghịch lưu chuyển mạch theo tín hiệu điều khiển nên cực tính điện áp trên mỗi pha stato thay đổi theo tần số điều khiển. Trong lúc đó dòng điện vẫn giữ chiều cũ trong một khoảng thời gian nhất định do ảnh hưởng của điện cảm động cơ. Chính cầu diốt $D7 - D12$ duy trì chiều dòng điện nói trên cho đến khi phần năng lượng điện từ tích lũy trong tải được phóng hết.

Bộ biến tần có khâu trung gian một chiều có khả năng điều chỉnh tinh tần số ra độc lập với tần số lưới.

Bộ biến tần có khâu trung gian xoay chiều bao gồm nhóm chỉnh lưu, nhóm lọc, nhóm nghịch lưu otonom và nhóm biến tần trực tiếp. Nghịch lưu otonom có tác dụng tạo ra dạng điện áp cao tần làm trung gian. Nguyên lý làm việc của từng nhóm đã được khảo sát ở trên. Loại này có cấu tạo phức tạp nên ít được sử dụng. Tuy nhiên, nếu chỉ yêu cầu điều chỉnh tần số xung quanh f_1 thì biến tần loại này tỏ ra ưu việt vì có thể sử dụng phương pháp điều khiển góc α của biến tần trực tiếp theo quy luật hình sin nhờ đó điện áp ra có dạng gần hình sin. Có thể sử dụng các bộ nghịch lưu otonom nối tiếp, là loại có cấu trúc đơn giản, nhỏ và tin cậy.



Hình 5-28. Đồ thị điện áp pha trên đầu ra của biến tần có khâu trung gian một chiều.

CHƯƠNG VI

ĐIỀU KHIỂN TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ BẰNG NHỮNG SƠ ĐỒ ĐẶC BIỆT

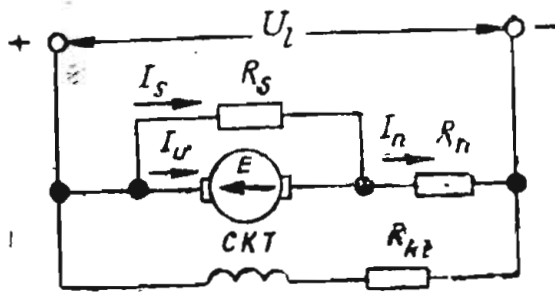
Để điều khiển tốc độ các động cơ một chiều, xoay chiều hoặc để tạo ra những đặc tính cơ có dạng mong muốn, ngoài những phương pháp thay đổi thông số của máy điện hoặc của nguồn điện, người ta còn dùng phương pháp thay đổi sơ đồ đấu dây kết hợp với các phần tử phụ.

Sau đây ta lần lượt xét những sơ đồ đấu dây cụ thể cho từng loại động cơ

6-1. SƠ ĐỒ PHÂN MẠCH PHẦN ỨNG ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU KÍCH TỪ ĐỘC LẬP

1. Đặc tính và các trạng thái làm việc của động cơ.

Để cho động cơ một chiều kích từ độc lập có thể làm việc được ở tốc độ thấp trên đặc tính cơ tương đối cứng, ví dụ khi cần dừng chính xác, người ta dùng sơ đồ phân mạch phần ứng. Sơ đồ nguyên lý chỉ ra trên hình 6-1.



Hình 6-1. Sơ đồ nguyên lý phân mạch phần ứng động cơ một chiều kích từ độc lập.

Trong đó: I_s , R_s — dòng điện và điện trở mắc song song với phần ứng; I_n , R_n — dòng điện và điện trở mắc nối tiếp với phần ứng.

Để phân tích các trạng thái làm việc và dạng các đặc tính của sơ đồ hình 6-1 ta viết hệ phương trình Kirhop cho mạch phần ứng:

$$U_l = I_s R_s + (I_s + I_n) R_n; \quad E + I_n R_n = I_s R_s. \quad (6-1)$$

Giải hệ phương trình trên bằng cách rút I_s từ phương trình dưới rồi thay vào phương trình trên và biến đổi ta sẽ được phương trình đặc tính cơ điện và đặc tính cơ của động cơ như sau:

$$\omega = a\omega_0 - \frac{R_n + aR_n}{k\Phi_{dm}} I_n \quad (6-2)$$

$$\omega = a\omega_0 - \frac{R_n + aR_n}{(k\Phi_{dm})^2} M \quad (6-3)$$

Trong đó: $a = \frac{R_s}{R_s + R_n}$ — hệ số phân áp giữa mạch song song với nguồn khi $I_r = 0$.

Các phương trình trên cho thấy rằng đặc tính cơ điện và đặc tính cơ của động cơ kích từ độc lập khi phân mạch phản ứng là những đường thẳng có dạng:

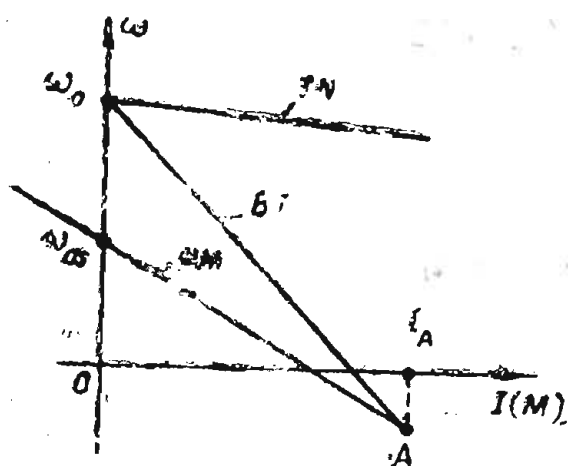
$$\omega = \omega_{os} - \Delta\omega$$

Trong đó tốc độ không tải lý tưởng khi phân mạch ω_{os} nhỏ hơn tốc độ không tải lý tưởng tự nhiên ω_0 là $\frac{1}{a}$ lần. Từ (6-3) ta có:

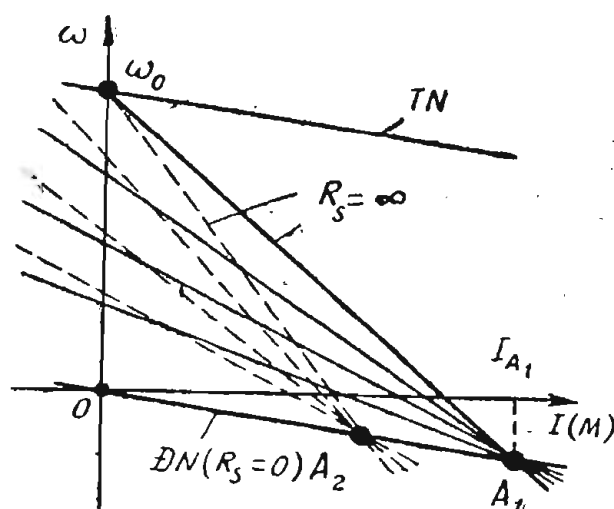
$$\beta_s = \frac{(k\Phi_{am})^2}{R_r + aR_n}$$

Và $\beta_{tn} < \beta_s < \beta_{bt}$ nghĩa là đặc tính phân mạch phản ứng mềm hơn đặc tính tự nhiên nhưng cứng hơn đặc tính biến trở có $R_r = R_n$.

Dạng đặc tính khi phân mạch phản ứng biểu diễn trên hình 6-2. Để tiện so sánh trên hình này còn vẽ thêm đặc tính tự nhiên TN và đặc tính biến trở BT.



Hình 6-2. Đặc tính cơ của động cơ một chiều kích từ độc lập khi phân mạch phản ứng



Hình 6-3. Đặc tính của động cơ một chiều kích từ độc lập khi phân mạch phản ứng với $R_s = \text{var}$; $R_n = \text{const}$.

Trong sơ đồ phân mạch phản ứng khi thay đổi riêng rẽ hoặc đồng thời các điện trở R_s và R_n thì tốc độ không tải lý tưởng ω_{os} và độ cứng β_s đều thay đổi.

Nếu cố định R_n ($R_n = \text{const}$) và thay đổi R_s thì ta sẽ được họ đặc tính nhân tạo nằm trong góc $\omega_0 A_1 O$ (xem hình 6-3).

Trong đó $\omega_0 A_1$ — đặc tính biến trở tương ứng với $R_s = \infty$ còn $R_r = R_n$; $A_1 O$ — đặc tính hãm động năng ngắn mạch phản ứng $R_h = R_s = 0$.

Hoành độ của điểm A_1 phụ thuộc vào trị số R_n và được xác định bởi biểu thức:

$$I_{A_1} = \frac{U_{am}}{R_n} \quad (6-4)$$

Rõ ràng là R_n càng lớn I_{A_1} càng nhỏ, họ đặc tính cơ càng dịch về phía gốc tọa độ.

Ngược lại nếu cò định $R_s (R_s = \text{const})$ và thay đổi R_n thì ta sẽ được họ đặc tính nhân tạo nằm trong góc $\omega_0 B_1 O$ (xem hình 6-4). Trong đó $\omega_0 B_1$ — đặc tính tự nhiên ứng với $R_f = R_n = 0$; $B_1 O$ — đặc tính hãm động năng ứng với $R_n = \infty$ còn $R_h = R_s$.

Hoành độ của điểm B phụ thuộc vào R_s và được xác định theo biểu thức:

$$I_{B_1} = - \frac{U_{dm}}{R_s}. \quad (6-5)$$

Rõ ràng là R_s càng lớn thì I_{B_1} càng nhỏ và họ đặc tính dịch dần về phía trục tung dọc theo đặc tính tự nhiên.

Từ những đặc tính trên ta thấy rằng các đặc tính phân mạch phản ứng của động cơ một chiều kích từ độc lập ứng với các trị số R_s, R_n nào đó đều cắt đặc tính tự nhiên và đặc tính hãm động năng ngắn mạch phản ứng ở những điểm có tọa độ xác định.

Vì vậy khi cho trước đặc tính phân mạch ta có thể dựa vào đồ thị để xác định trị số các điện trở song song R_s và nối tiếp R_n tương ứng như sau: trên mặt phẳng $[I, \omega]$ vẽ đặc tính phân mạch mong muốn (đường PM). Từ các thông số định mức của động cơ ta vẽ đặc tính tự nhiên TN và được giao điểm B (hình 6-5) từ đó xác định được I_B và tính được:

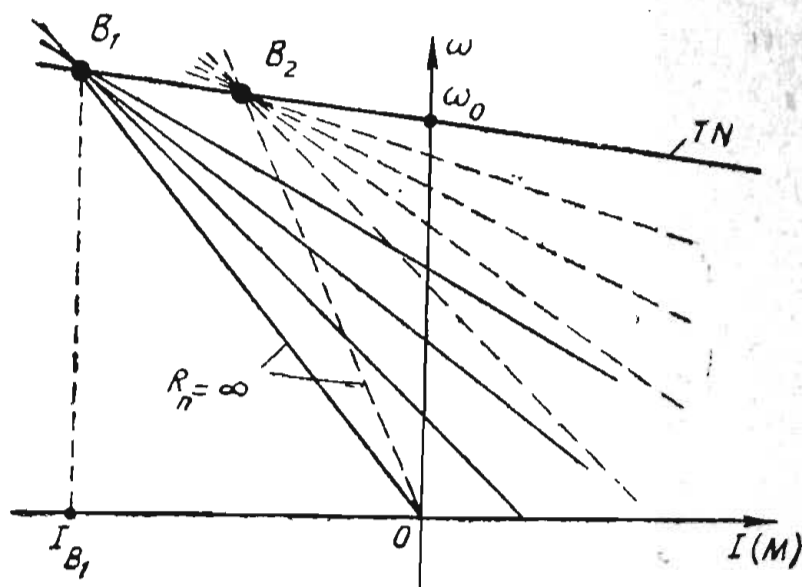
$$R_s = \frac{U_{dm}}{I_B}. \quad (6-6)$$

Để tính R_n ta vẽ đặc tính hãm động năng ngắn mạch phản ứng. Bằng cách kẻ đường thẳng song song với đặc tính tự nhiên qua gốc tọa độ (đường ĐN) và được giao điểm A (hình 6-5) từ đó xác định được I_A và tính:

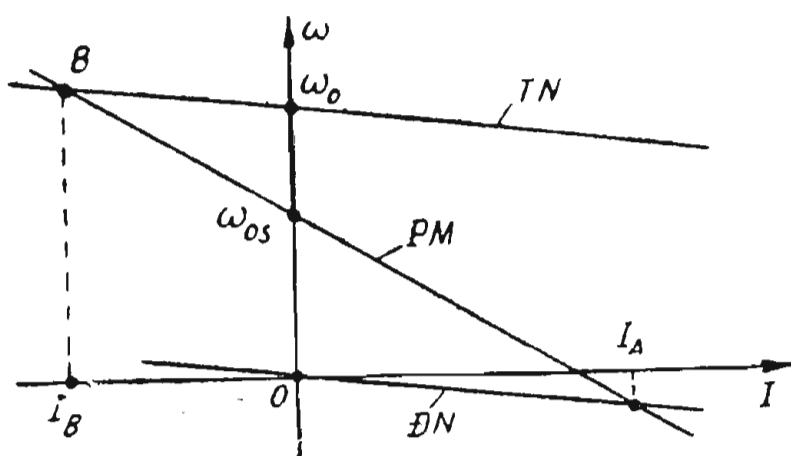
$$R_n = \frac{U_{dm}}{I_A}. \quad (6-7)$$

2. Các chỉ tiêu về điều chỉnh tốc độ.

Tương tự như phương pháp thay đổi điện trở phụ trong mạch phản ứng, phương pháp này chỉ có khả năng điều chỉnh ở miền thấp hơn tốc độ cơ bản;



Hình 6-4. Các đặc tính của động cơ một chiều kích từ độc lập khi phân mạch phản ứng với $R_s = \text{const } R_n = \text{var.}$



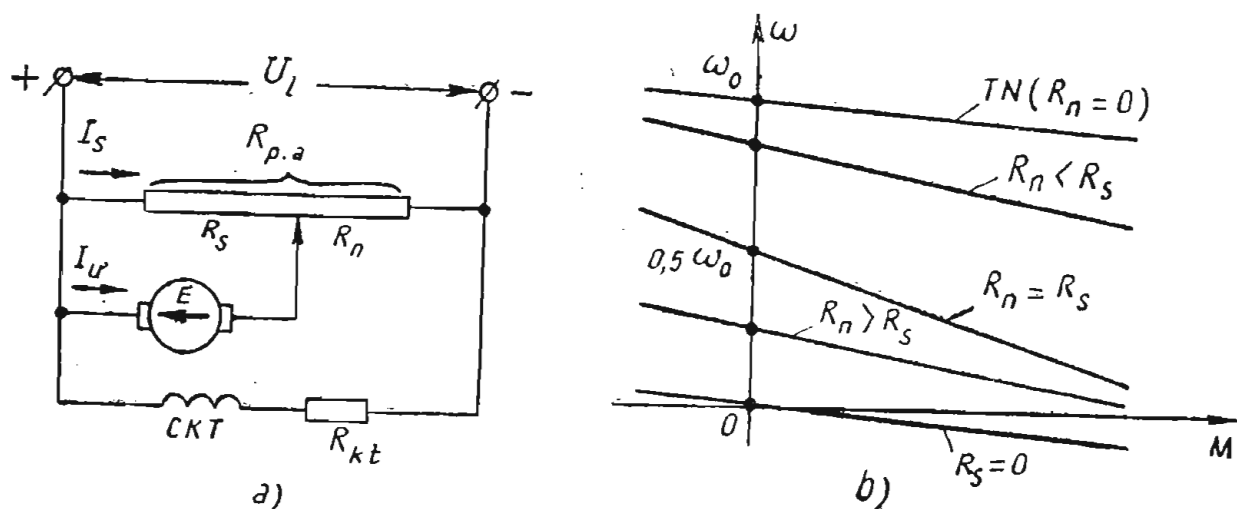
Hình 6-5. Phương pháp xác định R_n, R_s khi phân mạch phản ứng Đ

độ tinh điều chỉnh kém. Khi $R_n = \text{const}$ thay đổi R_s ta thấy xuất hiện « vùng chết » nằm giữa đặc tính tự nhiên và đặc tính $R_s = \infty$. Muốn giảm nhỏ vùng này ta phải giảm R_n . Càng giảm R_s , tốc độ càng thấp và đặc tính cơ càng cứng.

Khi $R_s = \text{const}$ càng tăng R_n tốc độ càng giảm, đặc tính cơ càng dốc.

Vì vậy trong thực tế người ta thường sử dụng phương pháp điều chỉnh đồng thời cả R_n và R_s .

Đối với những động cơ công suất nhỏ có thể dùng phương pháp này theo sơ đồ nguyên lý hình 6-6a. Trong trường hợp này $R_s + R_n = R_{pa} = \text{const}$.



Hình 6-6. Phương pháp điều chỉnh tốc độ động cơ một chiều kích từ độc lập bằng cách phân mạch phần ứng với $R_s + R_n = \text{const}$.

a) sơ đồ nguyên lý; b) đặc tính cơ.

Khi con trượt nằm ở vị trí tận cùng bên phải, động cơ làm việc trên đặc tính tự nhiên có độ cứng lớn nhất. Khi con trượt nằm ở vị trí giữa nghĩa là $R_n = R_s$; $a = 0,5$ đặc tính có độ cứng bé nhất:

$$|\beta_{\min}| = \frac{(k\Phi_{dm})^2}{R_{ur} + 0,25R_{pa}}$$

Trong đó: R_{pa} — điện trở phản áp.

Nếu điều chỉnh con trượt sang vị trí tận cùng bên trái thì động cơ sẽ làm việc ở trạng thái hãm động năng ngắn mạch phần ứng với $R_n = R_s = 0$.

Các đặc tính có dạng biểu diễn trên hình 6-6b. Hiệu suất của hệ trong sơ đồ này xác định theo biểu thức:

$$\eta_s = \frac{P_{cơ}}{P_{điện}}$$

Với $P_{điện} = U_l(I_{ur} + I_s)$.

Nếu bỏ qua các tổn thất thì:

$$P_{cơ} = P_{đt} = EI_{ur}$$

Từ hệ phương trình 7-1 ta có:

$$EI_{ur} = U_l I_{ur} - I_{ur}^2(R_{ur} + R_n) - I_{ur} I_s R_n$$

Do đó:

$$\eta_s = \frac{U_l I_{ur} - I_{ur}^2(R_{ur} + R_n) - I_{ur} I_s R_n}{U_l(I_{ur} + I_s)} \quad (6-8)$$

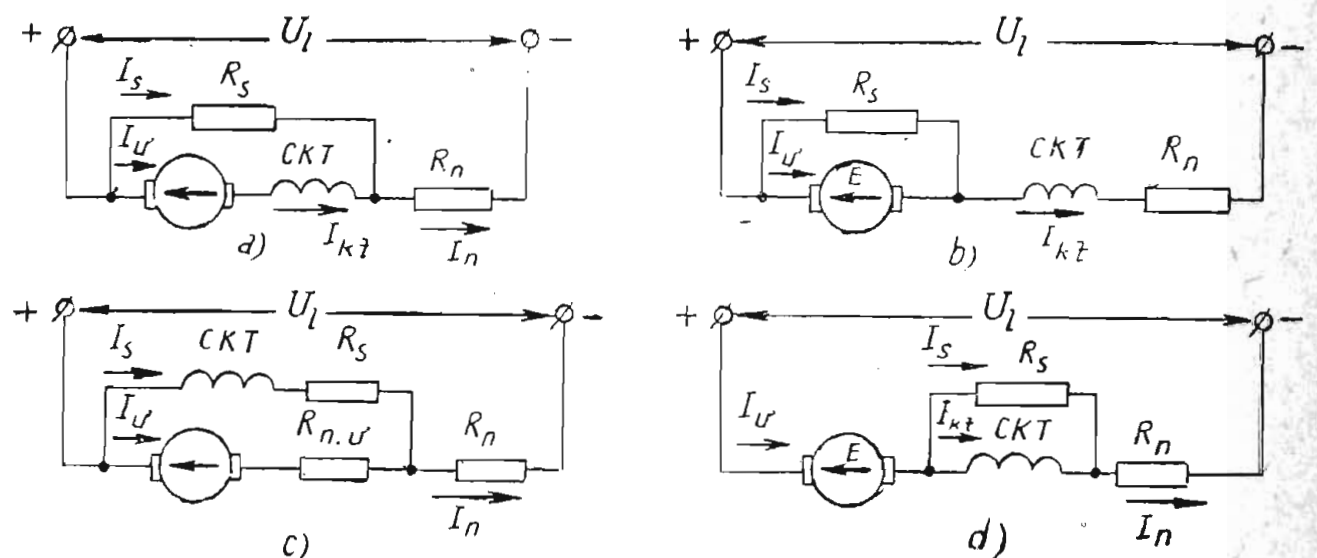
So sánh với biểu thức tính hiệu suất của động cơ khi làm việc trên đặc tính biến trở (2-16) ta thấy rằng ở điều kiện tốc độ, dòng điện (hoặc mômen) và điện trở nối tiếp trong mạch phản ứng như nhau thì phương pháp phân mạch phản ứng có hiệu suất thấp hơn phương pháp biến trở. Vì vậy phạm vi công suất của phương pháp này bị hạn chế, thường chỉ sử dụng cho những động cơ có công suất nhỏ. Mặt khác do đặc tính cơ của hệ có độ cứng không cao nên giải điều tốc $D \leq 4 \div 5$. Khả năng tự động hóa thấp.

Ở phương pháp điều chỉnh tốc độ này từ thông của động cơ được giữ không đổi nên mômen phụ tải cho phép khi động cơ làm việc trên các đặc tính điều chỉnh được giữ không đổi và bằng trị số định mức.

$$M_{c\cdot cp} = M_{dm}$$

6-2 CÁC SƠ ĐỒ PHÂN MẠCH ĐỐI VỚI ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU KÍCH TỪ NỐI TIẾP

1. Sơ đồ và các đặc tính điều chỉnh. Để điều chỉnh tốc độ của động cơ kích từ nối tiếp ta có thể sử dụng nhiều sơ đồ phân mạch khác nhau. Những sơ đồ thông dụng được chỉ ra trên hình 6-7.



Hình 6-7. Các sơ đồ phân mạch của động cơ kích từ nối tiếp. a) sơ đồ phân mạch phản ứng với điện trở nối tiếp R_n ; b) sơ đồ phân mạch cuộn dây phản ứng; c) sơ đồ kích từ song song d) sơ đồ phân mạch cuộn dây kích từ

Với các sơ đồ hình a, b, c ta có thể sử dụng hệ phương trình (6-1), nhưng thay R_{Σ} bởi $R_{\Sigma} + r_{kt} = R_d$ cho sơ đồ hình 6-7a;

Thay R_n bởi $r_{kt} + R_n$ cho sơ đồ hình 6-7b.

Thay R_s bởi $r_{kt} + R_s$ và R_{Σ} bởi $R_{\Sigma} + R_{n\cdot \Sigma}$ cho sơ đồ hình 6-7c; và sử dụng các phương trình (6-2), (6-3) nhưng chú ý rằng từ thông của động cơ trong các phương trình ấy biến đổi nên đặc tính cơ có dạng phi tuyến.

Riêng đối với sơ đồ hình 6-7d muốn tìm các phương trình đặc tính ta xuất phát từ các phương trình:

$$U_l = E + I_{\Sigma} \left(R_{\Sigma} + \frac{R_s r_{kt}}{R_s + r_{kt}} + R_n \right) \quad (6-9)$$

$$I_{kt} = I_{\Sigma} \frac{R_s}{R_s + r_{kt}} \quad (6-10)$$

Từ (6-9) ta có phương trình đặc tính cơ điện:

$$\omega = \frac{U_1}{k\Phi} - \frac{R_{ur} + b.R_s + R_n}{k\Phi} I_{ur} \quad (9-11)$$

Còn phương trình đặc tính cơ là:

$$\omega = \frac{U_1}{k\Phi} - \frac{R_{ur} + b.R_s + R_n}{(k\Phi)^2} M \quad (6-12)$$

Trong đó:

$$b = \frac{r_{kt}}{R_s + r_{kt}}$$

Để xây dựng các đặc tính cho một sơ đồ nào đấy ta tiến hành theo trình tự sau:

Cho trước các giá trị của dòng điện mạch ngoài I_n . Dựa vào sơ đồ nguyên lý và các trị số điện trở đã biết ta xác định dòng phản ứng I_{ur} và dòng kích từ I_{kt} . Từ I_{kt} tra đường cong từ hóa ta được giá trị của từ thông Φ do đó tính được giá trị của mômen $M = k\Phi I_{ur}$. Cuối cùng dựa vào Φ , I_{ur} và M ta tính được tốc độ ω . Các kết quả tính toán nên ghi vào bảng 6-1.

Bảng 6-1

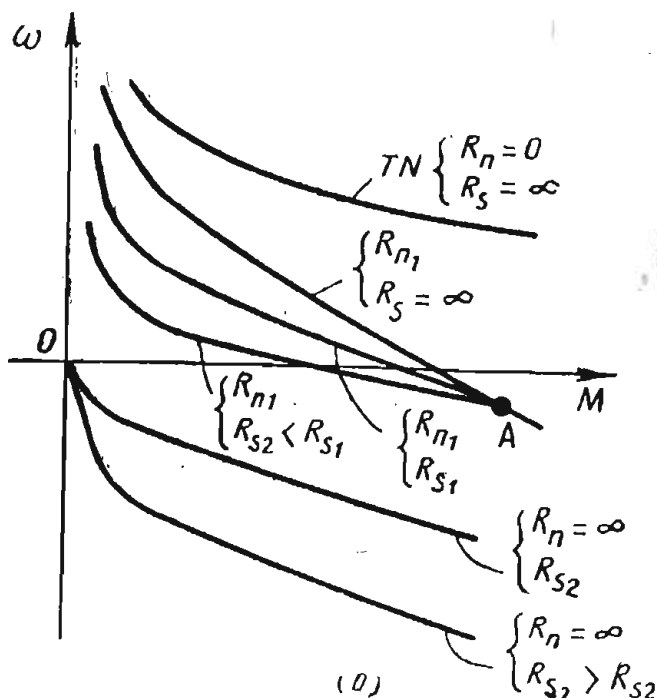
$I_n(A)$	$I_{ur}(A)$	$I_{kt}(A)$	$\Phi(Wb)$	$k\Phi$	$M = k\Phi I_{ur}(N.m)$	$\omega(rad/s)$

Với phương pháp tính toán như trên ta sẽ được các dạng đặc tính cơ ứng với từng sơ đồ như sau.

Đối với sơ đồ hình 6-7a ta được họ đặc tính cơ như hình 6-8a. Từ các đặc tính cơ ta thấy rằng: khi $R_s = \infty$ thay đổi R_n từ $0 \rightarrow \infty$, ta được đặc tính cơ tự nhiên và các đặc tính biến trở.

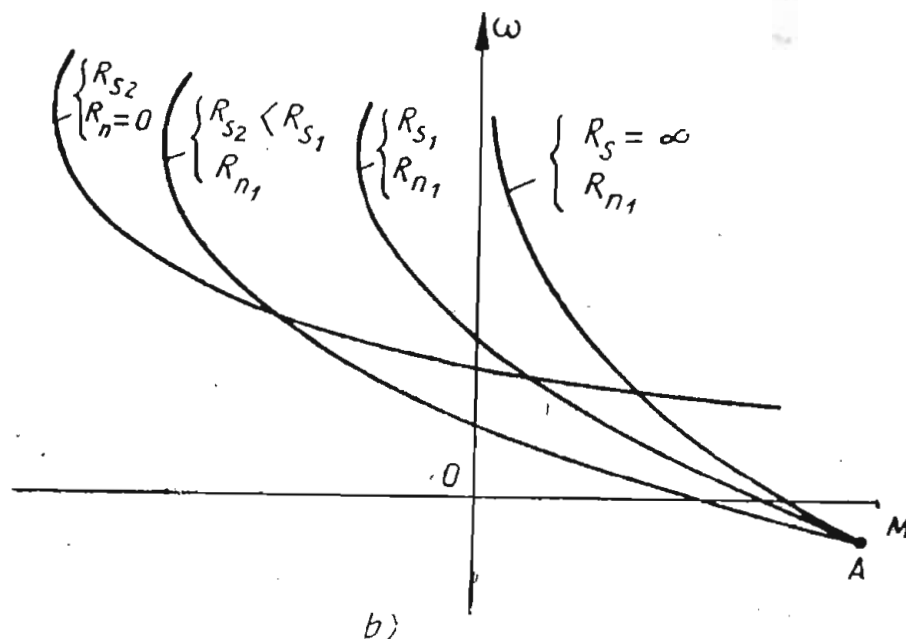
Khi thay đổi cả R_n và R_s ta sẽ được các đặc tính cơ mềm hơn đặc tính cơ tự nhiên nhưng cứng hơn đặc tính biến trở. Ứng với một phụ tải nào đó khi $R_n = \text{const}$ thì R_s càng nhỏ tốc độ động cơ càng thấp và đặc tính cơ càng cứng. Khi $R_n = \infty$ thay đổi R_s ta sẽ được các đặc tính hãm động năng tự kích có độ dốc phụ thuộc vào R_s .

Đối với sơ đồ phân mạch cuộn dây phản ứng hình 6-7b ta được họ đặc tính cơ như hình 6-8b. Từ họ đặc tính ta thấy rằng: khi $R_n = \text{const}$ thay đổi R_s đặc tính cơ chuyển từ góc phần tư thứ I sang góc phần tư thứ II, R_s càng nhỏ thì đặc tính cơ càng dịch về bên trái và có độ cứng tăng.



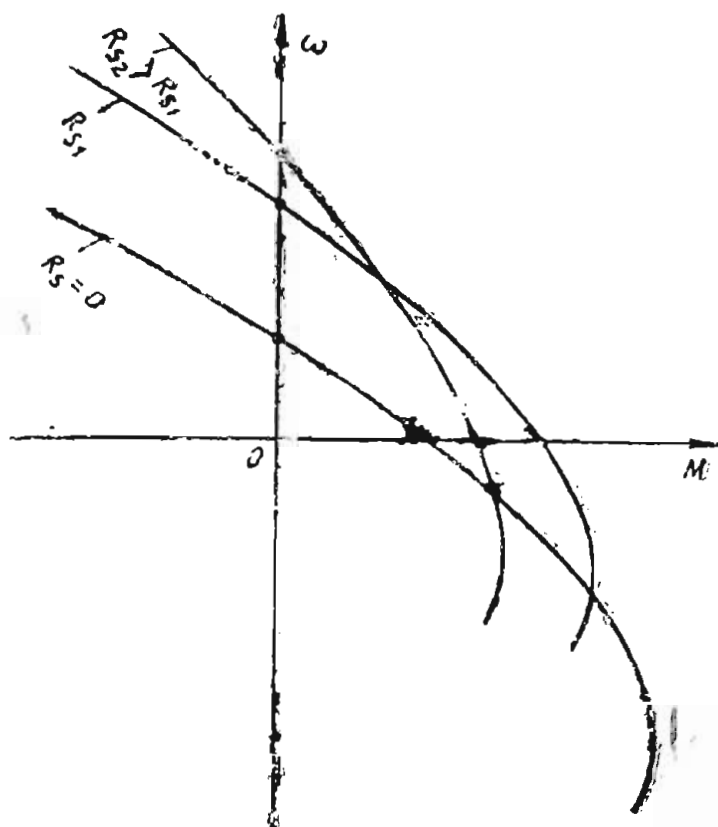
Hình 6-8a. Đặc tính cơ của động cơ một chiều kích từ nối tiếp khi phân mạch phản ứng

Trên các đặc tính này động cơ có điểm không tải lý tưởng và có đoạn hãm tái sinh. Điểm không tải lý tưởng xuất hiện khi S.Đ.Đ. của động cơ cân bằng với điện áp rơi trên R_s , lúc này chỉ có dòng điện chảy qua R_s qua cuộn kích từ và điện trở nối tiếp R_n .



Hình 6-8b. Đặc tính cơ của động cơ một chiều kích từ nối tiếp khi phân mạch cuộn dây phần ứng

Khi tăng tốc độ lớn hơn tốc độ không tải lý tưởng S.Đ.Đ. tạo ra dòng phản ứng chạy khép kín qua R_s . Lúc này dòng phần ứng ngược với chiều cũ còn giá trị tỷ lệ với ω . Vì vậy động cơ sinh ra mômen hãm. ω càng tăng M_h càng lớn. Mặt khác dòng I_s tăng, sụt áp trên 2 cực của R_s tăng dẫn tới Φ giảm. Vì vậy tốc độ tăng, mômen tăng, đến một giá trị nào đấy nó đạt cực đại còn sau đó giảm.



Hình 6-8c. Đặc tính cơ của động cơ một chiều kích từ nối tiếp khi đấu theo sơ đồ kích từ song song

Khi $R_s \neq 0$ còn $R_n = 0$ ta được đặc tính cơ có độ cứng cao

Với sơ đồ hình 6-7c ta có họ đặc tính cơ như hình 6-8c.

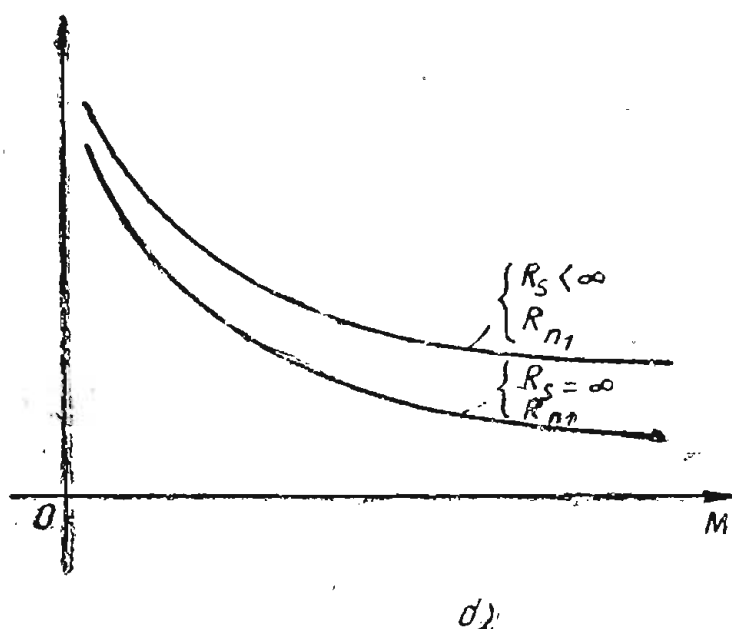
Họ đặc tính này tương ứng với $R_{ax} = R_n = \text{const}$ và thay đổi R_s , càng giảm R_s tốc độ không tải lý tưởng càng giảm và đặc tính cơ càng cứng. Mômen của động cơ sẽ đạt giá trị cực đại ở đoạn đặc tính hãm ngược (góc phần tư thứ tư).

Đặc biệt đối với sơ đồ này, điện trở R_s ảnh hưởng lớn đến mômen mở máy (khởi động). Trong một giới hạn nào đó khi tăng R_s dòng phản ứng tăng hơn mức độ giảm của từ thông nên mômen khởi động tăng. Nếu tiếp tục tăng R_s từ thông sẽ giảm nhanh hơn mức độ tăng của dòng phản ứng nên mômen khởi động giảm.

Đối với sơ đồ hình 6-7d ta có họ đặc tính cơ như hình 6-8d.

Khi $R_s = \infty$, $R_n \neq 0$ ta có đặc tính biến trở.

Khi giữ nguyên R_n ; $R_s = \text{var}$ ta có các đặc tính giảm từ thông tương ứng với các I_{kt} xác định theo biểu thức (7-10). Trị số R_s càng nhỏ đặc tính càng được nâng lên.



Hình 6-8d. Đặc tính cơ của động cơ một chiều kích từ nối tiếp khi phân mạch cuộn kích từ

2. Các chỉ tiêu về điều chỉnh tốc độ. Các sơ đồ hình 6-7a, b, c cho phép điều chỉnh được những tốc độ thấp hơn tốc độ cơ bản, còn sơ đồ hình 6-7d thì điều chỉnh được những tốc độ cao hơn tốc độ cơ bản. Nói chung độ tinh điều chỉnh kém. Đối với sơ đồ hình 6-7a ta có $I_r = I_{kt}$ nên $M_{c.ep} = M_{dm}$. Đối với sơ đồ hình 6-7b, c, d: $I_r \neq I_{kt}$ nên $M_{c.ep} < M_{dm}$. Về chỉ tiêu năng lượng các sơ đồ này tương tự như ở sơ đồ phân mạch phản ứng động cơ một chiều kích từ độc lập.

6-3. SƠ ĐỒ NỐI TÀNG ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

1. Nguyên lý chung. Những phương pháp điều chỉnh tốc độ các động cơ không đồng bộ bằng cách thay đổi các thông số của động cơ hoặc thay đổi các thông số của nguồn cung cấp đều có một nhược điểm cơ bản là: không tận dụng được tổn thất công suất trượt ở mạch rôto. Tổn thất công suất trượt này là $\Delta P_s = M\omega_0 s$ trong hầu hết các trường hợp đều tiêu tán vô ích dưới dạng nhiệt trên điện trở mạch rôto. Vì vậy chỉ tiêu năng lượng của những phương pháp này đều thấp. Đối với những động cơ không đồng bộ rô to dây quấn có công suất lớn hoặc rất lớn thì tổn thất công suất trượt sẽ rất lớn, do đó có thể không dùng được các thiết bị chuyển đổi và điều chỉnh ở mạch rôto. Việc sử dụng trực tiếp năng lượng trượt ấy rất khó khăn vì tần số dòng điện rôto khác với tần số lưới.

Để vừa tận dụng được năng lượng trượt vừa điều chỉnh được tốc độ của các động cơ không đồng bộ rô to quấn dây người ta sử dụng các sơ đồ đặc biệt gọi là sơ đồ nối tầng.

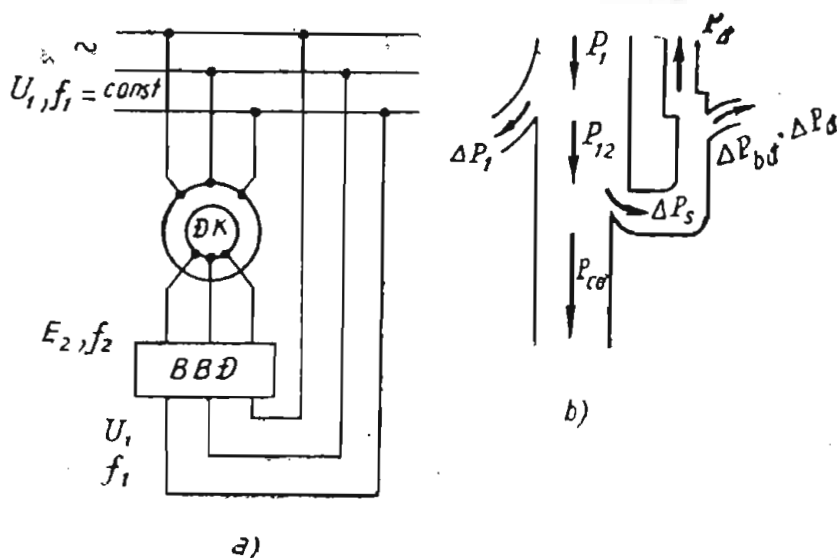
Điều chỉnh tốc độ của động cơ không đồng bộ trong các sơ đồ nối tăng được thực hiện bằng cách đưa vào rôto của nó một sức điện động phụ E_r . Sức điện động phụ này có thể cùng chiều hoặc ngược chiều với sức điện động cảm ứng trong mạch rôto E_2 và có tần số bằng tần số rôto. Sức điện động phụ có thể là xoay chiều hoặc một chiều như sơ đồ nguyên lý hình 6-9.

Nguyên lý điều chỉnh tốc độ động cơ trong các sơ đồ này như sau:

Giả thiết ĐK làm việc ở trạng thái động cơ nghĩa là nó tiêu thụ năng lượng từ lưới và sinh năng lượng trượt ở mạch rôto. Khi đưa E_r vào, dòng điện rôto được xác định theo biểu thức:

$$I_2 = \frac{E_2 - E_r}{Z} \quad (6-13)$$

Giả thiết $M_c = \text{const}$ và động cơ đang làm việc xác lập trên đặc tính ứng với một giá trị E_r nào đó. Nếu tăng E_r lên thì dòng I_2 giảm, mômen điện từ của động cơ giảm và có trị số nhỏ hơn mômen M_c , nên tốc độ của động cơ giảm. Khi tốc độ giảm độ trượt S tăng lên làm cho $E_2 = E_{2nm} S$ tăng lên. Kết quả là dòng điện rôto I_2 và mômen điện từ của động cơ tăng lên. Cho đến khi

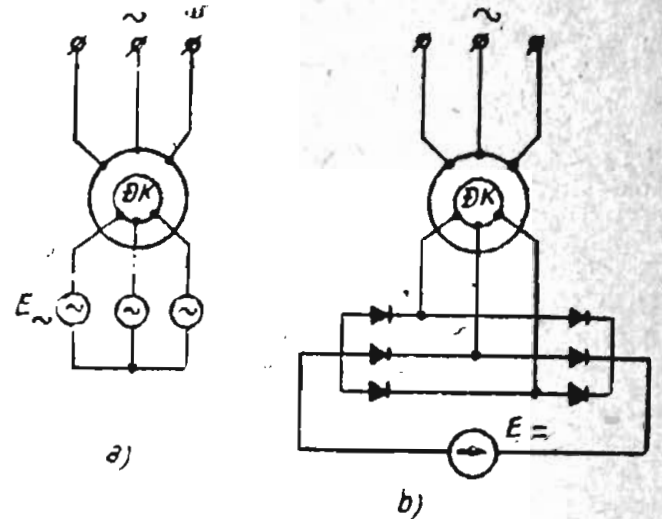


Hình 6-10. Sơ đồ nguyên lý (a) biểu đồ năng lượng (b) của hệ thống nối tăng điện.

Sơ đồ nối tăng máy điện, sơ đồ nối tăng van – máy điện và sơ đồ nối tăng van. Theo nguyên lý biến đổi năng lượng trượt người ta chia các sơ đồ nối tăng thành 2 loại:

Nối tăng điện (có $M = \text{const}$) và nối tăng điện – cơ (có $P = \text{const}$).

Các hệ nối tăng điện có sơ đồ nguyên lý và giản đồ năng lượng biểu diễn trên hình 6-10.



Hình 6-9. Sơ đồ nguyên lý khi đưa SĐĐ phụ vào mạch rôto của động cơ không đồng bộ để điều chỉnh tốc độ của nó trong sơ đồ nối tăng: a) SĐĐ xoay chiều; b) SĐĐ một chiều.

mômen của thiết bị nối tăng cân bằng với mômen M_c thì quá trình giảm tốc kết thúc, động cơ làm việc xác lập với tốc độ thấp hơn trước. Khi $|E_2| = |E_r|$, $I_2 = 0$ động cơ có tốc độ không tải lý tưởng ω_{0lt} . Khi $E_r = 0$ động cơ làm việc trên đặc tính gần với đặc tính tự nhiên. Để đưa sức điện động phụ vào mạch rôto của động cơ không đồng bộ người ta thường sử dụng một trong 3 sơ đồ sau:

Trong những sơ đồ nối tăng loại này, năng lượng trượt có tần số $f_2 = f_1 s$ ở mạch rôto của động cơ không đồng bộ ĐK được đưa đến đầu vào của bộ biến đổi BBD. Qua BBD sau khi trừ tổn thất trong dây quấn rôto ΔP_d và tổn thất trong bộ biến đổi ΔP_b , năng lượng trượt được biến thành điện năng P_d trả về lưới như giản đồ năng lượng hình 6-10b. Trong các sơ đồ này bộ biến đổi và động cơ chỉ liên hệ về điện với nhau vì vậy gọi là « sơ đồ nối cấp điện ». Mômen trên trục của thiết bị nối tăng là:

$$M = \frac{P_{c\sigma}}{\omega}$$

Khi phụ tải định mức:

$$P_{c\sigma} = P_{dm} = P_{12dm} - \Delta P_{sdm} = M_{dm} \cdot \omega_0 - M_{dm} \omega_0 s'_{dm} \\ = M_{dm} \omega_0 (1 - s'_{dm})$$

$$\omega = \omega'_{dm} = \omega_0 (1 - s'_{dm})$$

$$M = \frac{P_{c\sigma dm}}{\omega'_{dm}} = \frac{M_{dm} \cdot \omega_0 (1 - s'_{dm})}{(1 - s'_{dm})} = M_{dm} = \text{const}$$

Nghĩa là ở sơ đồ nối tăng điện khi làm việc trên các đặc tính điều chỉnh mômen của động cơ không đổi và bằng định mức. Trong các công thức trên ω'_{dm} , s'_{dm} là tốc độ và độ trượt khi tải định mức trên các đặc tính điều chỉnh (đặc tính có $E_r \neq 0$).

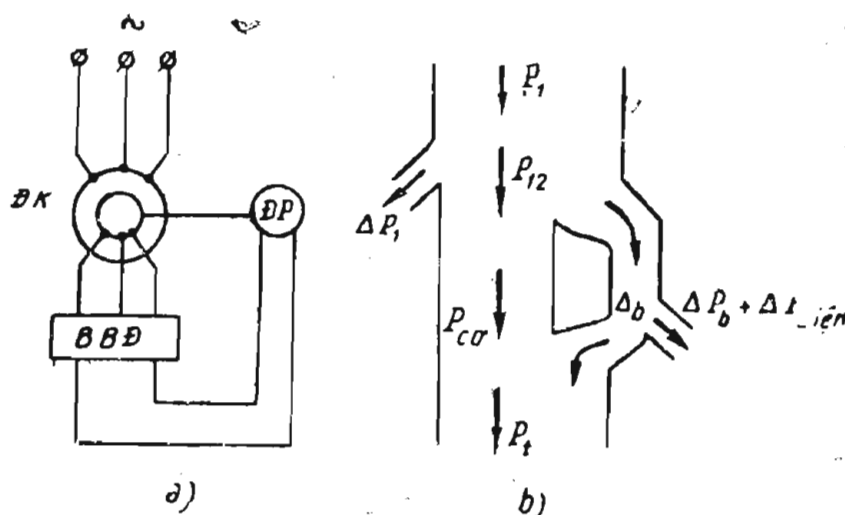
Các sơ đồ nối tăng điện – cơ có sơ đồ nguyên lý và giản đồ năng lượng biểu diễn trên hình 6-11.

Trong các sơ đồ nối tăng loại này năng lượng trượt sau khi qua bộ biến đổi được biến thành điện năng và đưa đến động cơ phụ ĐP. Động cơ phụ lại biến điện năng thành cơ năng đưa lên trục động cơ ĐK như giản đồ năng lượng hình 6-11b. Như vậy hệ thống biến đổi gồm BBD và ĐP liên hệ với ĐK cả về điện lẫn cơ. Vì vậy gọi là « sơ đồ nối tăng điện – cơ »

Công suất tổng đưa ra trên trục của thiết bị nối tăng điện cơ là:

$$P_t = P_{dm}(1 - s) + P_{dm}s = P_{dm} = \text{const}$$

Nghĩa là ở các sơ đồ nối tăng điện cơ khi làm việc trên các đặc tính điều chỉnh, công suất của hệ không đổi và bằng định mức.



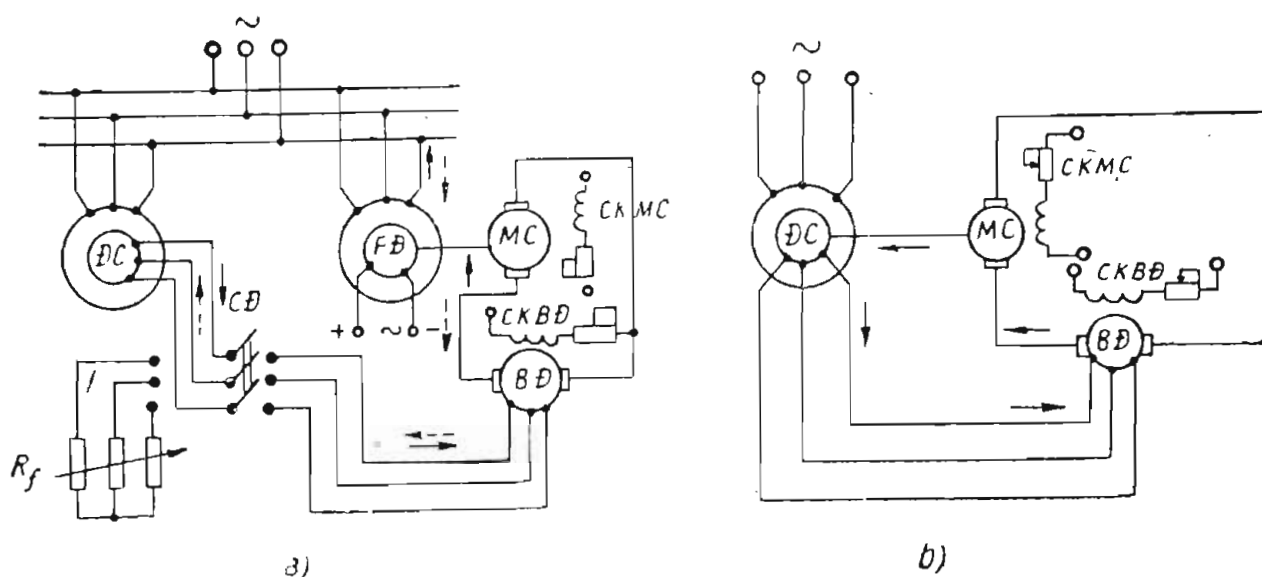
Hình 6-11. Sơ đồ nguyên lý (a) và giản đồ năng lượng (b) của các sơ đồ nối tăng điện – cơ,

2. Các sơ đồ nối tăng và phương pháp dựng các đặc tính cơ của chúng.

Đối với các sơ đồ nối tăng dùng hệ thống biến đổi là máy điện hoặc van — máy điện ta có thể thực hiện nối tăng điện hoặc điện — cơ, còn ở các sơ đồ nối tăng van chỉ thực hiện được nối tăng điện. Sau đây ta lần lượt xét các sơ đồ nối tăng cho từng loại:

a) Sơ đồ nối tăng máy điện. Trong các sơ đồ này nguồn sức điện động phụ là S.D.Đ. xoay chiều có tần số f_1 s. Nguồn S.D.Đ. này do các máy điện xoay chiều tạo ra.

Sơ đồ nguyên lý nối tăng điện và điện cơ dùng máy điện được trình bày trên hình 6-12. Sơ đồ đẳng trị của chúng đều có dạng như hình 6-9a.



Hình 6-12. Sơ đồ nối tăng điện (a) và điện cơ (b).

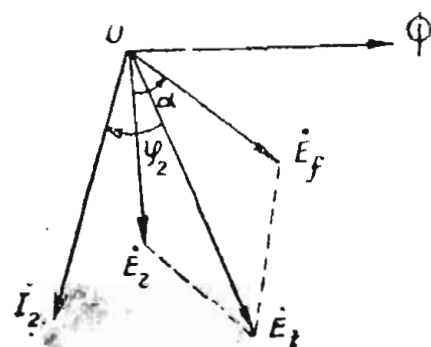
Trong các sơ đồ này:

ĐC — Động cơ chính cần điều tốc; BD — Máy biến đổi một phần ứng để tạo nên E_r ; MC — Máy điện một chiều để biến điện năng thành cơ năng đưa lên trục máy phát đồng bộ FB hoặc động cơ chính ĐC; FB — máy phát xoay chiều đồng bộ để biến cơ năng thành điện năng trả về lưới; R_f — Điện trở phụ để khởi động động cơ chính ĐC; CD — Cầu dao để chuyển đổi mạch rôto của ĐC từ trạng thái khởi động sang làm việc.

Đối với các sơ đồ nối tăng điện hình 6-12a máy biến đổi BD có thể là máy biến đổi một phần ứng hoặc máy biến tần. Điều tốc động cơ chính ĐC có thể thực hiện cả phía trên và dưới tốc độ đồng bộ nghĩa là chúng có hai vùng điều tốc. Trong vùng tốc độ thấp hơn tốc độ đồng bộ dòng năng lượng theo chiều từ rôto của ĐC qua hệ thống biến đổi rồi về lưới như các mũi tên nét liền trên hình 6-12a. Trong vùng tốc độ cao hơn tốc độ đồng bộ dòng năng lượng sẽ có chiều ngược lại như mũi tên nét đứt trên hình 6-12a.

Đối với các sơ đồ nối tăng điện — cơ, điều tốc động cơ ĐC chỉ thực hiện được ở phía dưới tốc độ đồng bộ nghĩa là chúng chỉ có một vùng điều tốc. Trong những sơ đồ này dòng năng lượng luôn luôn theo một chiều từ rôto ĐC qua hệ thống biến đổi rồi đưa lên trục ĐC như các mũi tên trên hình 6-12b.

Trong các sơ đồ nối tăng nhân tố quan trọng nhất quyết định trạng thái làm việc của hệ thống là sức điện động phụ E_f đưa vào rôto của động cơ chính ĐC. Bằng cách thay đổi trị số E_f hoặc thay đổi góc lệch pha giữa E_f với E_2 của rôto ĐC ta sẽ điều chỉnh được tốc độ của thiết bị nối tăng. Đối với các sơ đồ trên, trị số của E_f được thay đổi bằng cách điều chỉnh dòng điện kích từ của máy một chiều MC, còn góc lệch pha của nó được thay đổi bằng cách điều chỉnh dòng kích từ của máy biến đổi một phần ứng BD.



Hình 6-13. Đồ thị vector SĐĐ của các sơ đồ nối tăng máy điện.

Trong trường hợp tổng quát SĐĐ phụ E_f lệch pha và vượt trước sức điện động rôto E_2 của động cơ một góc α như đồ thị vector hình 6-13.

Dòng điện trong mạch rôto của động cơ chính ĐC được xác định bởi sức điện động tổng $E_t = E_2 + E_f$ và các thông số của dây quấn rôto:

$$\vec{I}_2 = \frac{\vec{E}_2 + \vec{E}_f}{r_2 + jx_2s} \quad (6-14)$$

Nếu lấy trục thực trùng với vector sức điện động E_2 ta có:

$$\vec{I}_2 = \frac{E_{2nmf}s + E_f(\cos\alpha + jsin\alpha)}{r_2 + jx_2s} \quad (6-15)$$

trong đó:

E_{2nmf} — sức điện động pha của rôto động cơ chính ĐC khi $s = 1$ và hở mạch rôto; r_2, x_2 — điện trở và điện kháng pha của mạch rôto động cơ ĐC.

Mômen của động cơ ĐC sinh ra được xác định theo biểu thức:

$$M = k_M \Phi I_2 \cos\varphi \quad (6-16)$$

Trong giới hạn phụ tải cho phép $\Phi \approx \text{const}$, mômen của động cơ tỷ lệ với thành phần tác dụng của dòng điện rôto I_{2td} . Thành phần tác dụng này là phần thực của $\vec{I}_2$ và được xác định theo biểu thức:

$$I_{2td} = \frac{E_{2nmf}s r_2 + E_f x_2 s \sin\alpha}{r_2^2 + x_2^2 s^2} + \frac{E_f r_2 \cos\alpha}{r_2^2 + x_2^2 s^2}$$

Hoặc:

$$I_{2td} = \frac{E_{2nmf} s r_2}{r_2^2 + x_2^2 s^2} \left(1 + \frac{s_0}{s} \cos\alpha + \frac{s_0}{s_1} \sin\alpha \right) \quad (6-17)$$

Trong đó:

$$s_1 = \frac{r_2}{x_2} \quad \text{— độ trượt tới hạn với giả thiết } r_1, x_1 \approx 0$$

$$s_0 = \frac{E_f}{E_{2nmf}} \quad \text{— độ trượt ứng với tốc độ không tải lý tưởng trên đặc tính nối tăng.}$$

Trong vế phải của (6-17) trị số :

$$\frac{E_{2nm}sr_2}{r_2^2 + x_2^2s^2} = I_{2ln} - \text{thành phần tác dụng của dòng điện rôto ở sơ đồ đầu dây tự nhiên.}$$

Vì vậy nhân cả hai vế của biểu thức (6-17) với $k_M\Phi\cos\varphi_2$ ta được:

$$M = M_{ln} \left(1 + \frac{s_0}{s} \cos\alpha + \frac{s_0}{s_1} \sin\alpha \right) \quad (6-18)$$

trong đó

$$M_{ln} = \frac{2M_t}{\frac{s}{s_1} + \frac{s_1}{s}} - \text{mômen của động cơ trên đặc tính cơ tự nhiên.}$$

Từ (6-18) ta thấy rằng mômen trên trục của thiết bị nối tăng là tổng của ba mômen: mômen của động cơ ở sơ đồ đầu dây tự nhiên; mômen phụ thuộc vào s, α ; và mômen chỉ phụ thuộc vào góc α .

Khi đưa vào rôto của động cơ chính một sức điện động phụ E_r vượt trước E_2 một góc $\alpha = \frac{\pi}{2}$ nghĩa là $\cos\alpha = 0, \sin\alpha = 1$, thì mômen của thiết bị nối tăng là:

$$M = M_{ln} \left(1 + \frac{s_0}{s_1} \right) \quad (6-19)$$

Trong trường hợp này độ trượt tới hạn s_1 không đổi còn mômen tới hạn của thiết bị nối tăng được tăng lên $\left(1 + \frac{s_0}{s_1} \right)$ lần.

Khi E_r trùng pha với $E_2, \alpha = 0$ còn $\cos\alpha = 1, \sin\alpha = 0$ mômen của thiết bị nối tăng là:

$$M = M_{ln} \left(1 + \frac{s_0}{s} \right) \quad (6-20)$$

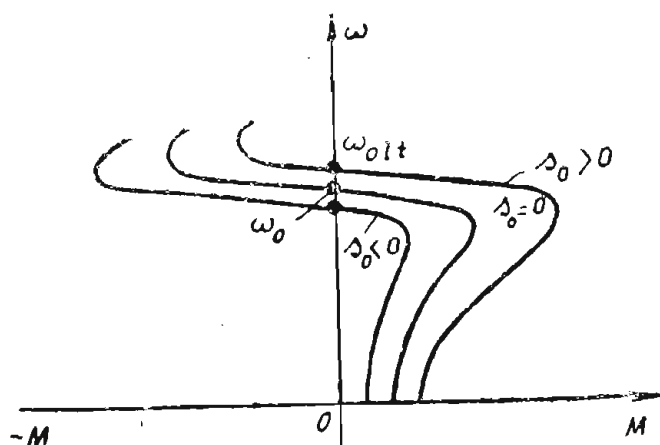
Trong trường hợp này $s_1 = \text{const}$ còn mômen của thiết bị nối tăng phụ thuộc vào tỷ số $\frac{s_0}{s}$.

Từ (6-18) ta thấy rằng, các mômen thành phần thứ hai và thứ ba có dấu phụ thuộc vào dấu của s_0 . Khi $s_0 > 0$ nghĩa là E_r cùng chiều với E_2 các mômen này có giá trị dương.

Khi $s_0 < 0$ nghĩa là E_r ngược chiều với E_2 , chúng có giá trị âm, mômen của thiết bị nối tăng nhỏ hơn M_{ln} .

Khi $s_0 = 0$ nghĩa là $E_r = 0$, mômen của thiết bị nối tăng bằng M_{ln} . Dạng các đặc tính cơ biểu diễn trên hình 6-14.

Từ hình 6-14 ta thấy rằng khi tăng s_0 theo chiều dương các đặc tính cơ được dịch lên phía trên đặc tính tự nhiên TN. Mômen tới hạn ở trạng thái



Hình 6-14. Đặc tính cơ của thiết bị nối tăng khi thay đổi dấu của s_0 .

động cơ tăng còn ở trạng thái máy phát giảm. Khi tăng s_0 theo chiều âm, các đặc tính cơ thay đổi theo chiều ngược lại. Như vậy thay đổi trị số và dấu của s_0 ta sẽ điều chỉnh được tốc độ động cơ phía trên hoặc dưới tốc độ tự nhiên.

Tốc độ không tải lý tưởng ω_{0lt} trên mỗi đặc tính được xác định theo biểu thức:

$$\omega_{0lt} = \omega_0(1 + s_0) \quad (6-21)$$

Đối với đặc tính cơ tự nhiên $E_f = 0$, $s_0 = 0$ tốc độ không tải lý tưởng ω_{0lt} trùng với tốc độ đồng bộ ω_0 . Trong các sơ đồ nối tăng điện vì E_f luôn luôn ngược chiều với E_2 nên $s_0 < 0$ và:

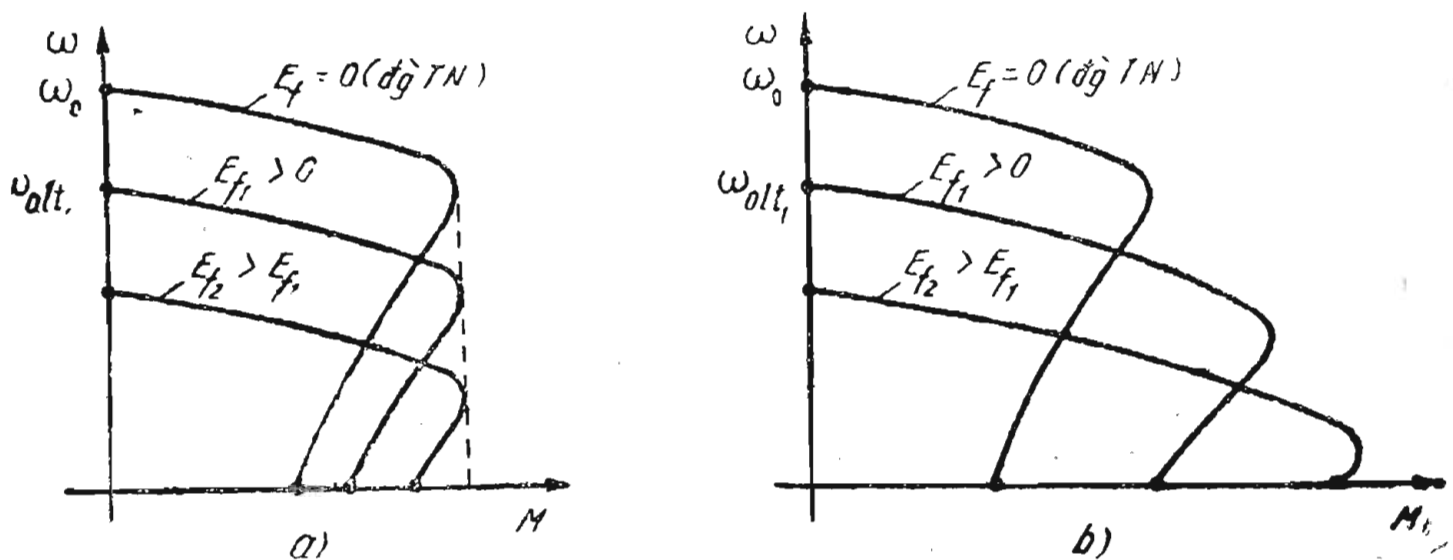
$$\omega_{0lt} = \omega_0(1 - s_0).$$

Mômen trên trục của thiết bị nối tăng điện chỉ do động cơ chính ĐC sinh ra. Vì vậy đặc tính cơ của động cơ ĐC cũng chính là đặc tính cơ của thiết bị nối tăng.

Trong các sơ đồ nối tăng điện – cơ s_0 có thể dương hoặc âm nên ω_{0lt} có thể lớn hơn hoặc nhỏ hơn tốc độ đồng bộ. Mômen trên trục của thiết bị nối tăng trong trường hợp này là tổng của mômen do động cơ chính ĐC và của máy MC sinh ra nghĩa là:

$$M = M_{dc} + M_{mc}$$

Trong cả hai loại nối tăng, nếu điều chỉnh α và độ trượt s sao cho mômen tới hạn của động cơ chính ĐC không đổi trên mọi đặc tính điều chỉnh, thì đặc tính cơ của thiết bị nối tăng sẽ có dạng như hình 6-15.

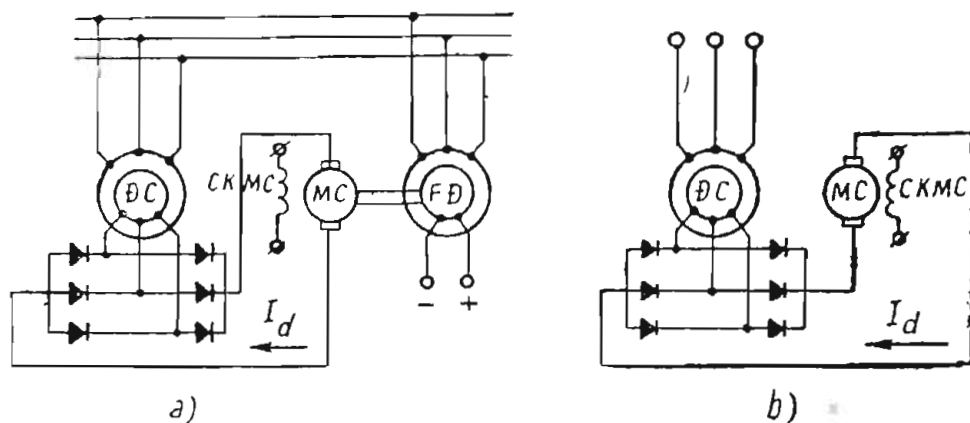


Hình 6-15. Đặc tính cơ của thiết bị nối tăng điện (a); điện cơ (b).

b) Các sơ đồ nối tăng van – máy điện.

Các sơ đồ nối tăng φ máy điện có nhược điểm là sử dụng quá nhiều các máy điện quay nên kích thước, trọng lượng của toàn hệ lớn, làm việc ồn ào, giá thành cao. Vì vậy để giảm bớt số lượng các máy điện, người ta đã sử dụng các bộ biến đổi van tĩnh thay thế cho các máy điện biến đổi năng lượng trượt BD trong các sơ đồ hình 6-12. Những sơ đồ này gọi là sơ đồ nối tăng van – máy điện. Sơ đồ nguyên lý của chúng được chỉ ra trên hình 6-16.

Trong các sơ đồ hình 6-16a, b sức điện động phụ đưa vào mạch rôto của ĐC là sức điện động một chiều do MC tạo ra. Dòng năng lượng chỉ theo một chiều từ rôto của ĐC đến hệ thống biến đổi, nghĩa là chỉ điều tốc được ở vùng thấp hơn tốc độ cơ bản. Trong vùng này quá trình chuyển biến năng lượng và mômen trên trục của thiết bị nối tăng lương tự như đã nêu đối với các sơ đồ hình 6-12a, b.



Hình 6-16. Các sơ đồ nối tăng van - máy điện:

a) nối tăng điện; b) nối tăng điện cơ.

Dòng điện chỉnh lưu I_d ở mạch rôto của ĐC được xác định theo biểu thức:

$$I_d = \frac{k_s E_2 - E_{mc}}{R_{dt}} = \frac{k_s E_{2.nmf} s - E_{mc}}{R_{dt}} \quad (6-22)$$

trong đó:

E_2 , $E_{2.nmf}$ — trị số hiệu dụng của sức điện động pha và sức điện động pha ngắn mạch của rôto ĐC; k_s — hệ số phụ thuộc vào sơ đồ chỉnh lưu; đối với sơ đồ cầu ba pha $k_s = 2,34$; R_{dt} — điện trở đẳng trị của mạch rôto tính đổi về phía một chiều; E_{mc} — sức điện động của máy một chiều MC:

$$E_{mc} = k \Phi_{mc} \omega_{mc} \quad (6-23)$$

Điều chỉnh tốc độ thiết bị nối tăng trong các sơ đồ này được thực hiện bằng cách thay đổi dòng kích từ của máy một chiều MC, nghĩa là thay đổi E_{mc} . E_{mc} càng tăng, tốc độ thiết bị càng giảm. Họ đặc tính cơ khi thay đổi E_{mc} có độ cứng ở đoạn làm việc hầu như không đổi. Tốc độ không tải lý tưởng trên mỗi đặc tính được xác định theo biểu thức:

$$\omega_{0lt} = \omega_0 (1 - s_0) \quad (6-24)$$

trong đó

ω_0 — tốc độ đồng bộ của từ trường quay ở stato; s_0 — độ trượt ứng với tốc độ không tải lý tưởng; s_0 được xác định từ (6-22) bằng cách cho $I_d = 0$, s thay bởi s_0 , E_{mc} thay bởi biểu thức (6-23). Cụ thể:

Đối với sơ đồ nối tăng điện hình 6-16a ta có:

$$k_s E_{2.nmf} s_0 = k \Phi_{mc} \omega_{fd}$$

Vậy

$$s_0 = \frac{k \Phi_{mc} \omega_{fd}}{2,34 E_{2.nmf}} \quad (6-25a)$$

Đối với sơ đồ nối tăng điện cơ hình 6-16b ta có:

$$k_s \cdot E_{2nmf} s_o = k \Phi_{mc} \omega_{olt} \quad (6-25b)$$

Vì

$$\omega_{olt} = \omega_o(1 - s_o)$$

Nên từ (6-25b) ta có:

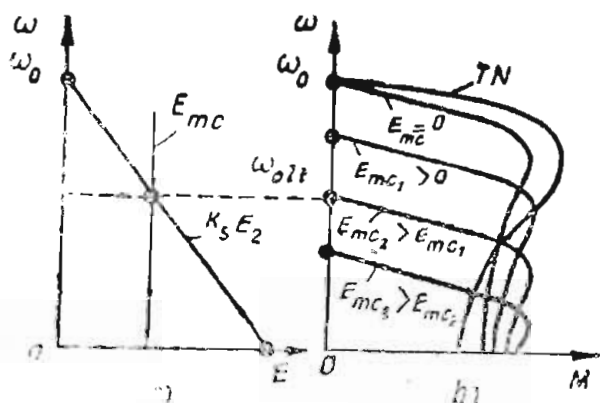
$$s_o = \frac{k \Phi_{mc} \omega_o}{2,34 E_{2nmf} + k \Phi_{mc} \omega_o} \quad (6-26)$$

Khi $E_{mc} = 0$; $s_o = 0$ thì:

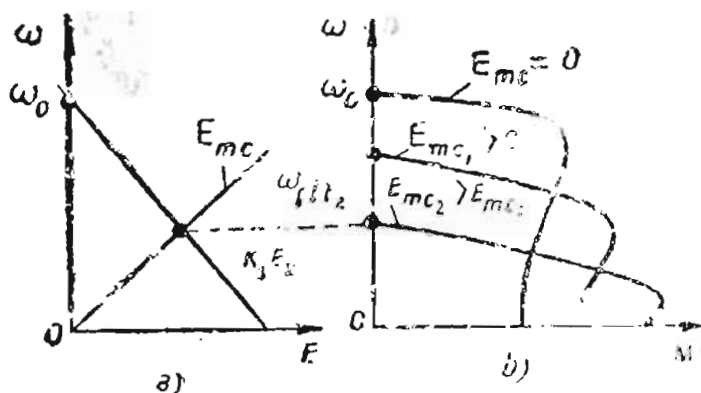
$$\omega_{olt} = \omega_o$$

ta có đặc tính cơ bản. Đặc tính này có mômen tới hạn nhỏ hơn mômen tới hạn của đặc tính tự nhiên khoảng 5–10%. Sự khác biệt đó là do tổn thất trong quá trình chuyển mạch giữa các van chỉnh lưu sinh ra.

Dạng các đặc tính cơ của thiết bị nối tăng điện được biểu diễn trên hình 6-17; nối tăng điện cơ biểu diễn trên hình 6-18.



Hình 6-17. Quan hệ E_{mc} , $E_d = f(\omega)$ a) và đặc tính cơ b) của thiết bị nối tăng điện van-máy điện.



Hình 6-18. Quan hệ E_{mc} , $E_d = f(\omega)$ (a) và đặc tính cơ (b) của thiết bị nối tăng điện cơ van-máy điện

Để minh họa điểm không tải lý tưởng trên các hình này còn vẽ thêm quan hệ giữa sức điện động của máy điện một chiều và sức điện động chỉnh lưu với tốc độ của động chỉnh DC.

Khi xây dựng các đặc tính cơ này bằng phương pháp giải tích, ta sử dụng sơ đồ thay thế cho một pha của động cơ. Có hai loại sơ đồ thay thế: sơ đồ thay thế một chiều nghĩa là quy đổi các đại lượng bên mạch xoay chiều về mạch một chiều (mạch chỉnh lưu) và sơ đồ thay thế xoay chiều, nghĩa là quy đổi các đại lượng bên mạch một chiều về xoay chiều. Ở đây ta dùng sơ đồ thay thế xoay chiều. Các hệ số quy đổi sử dụng trong sơ đồ này là:

Hệ số quy đổi điện áp một chiều về mạch rôto của DC;

$$u = \frac{U_2}{U_{mc}} \quad (6-27)$$

trong đó U_2 – điện áp pha rôto của động cơ chỉnh DC. Hệ số quy đổi dòng điện một chiều về mạch rôto của DC:

$$i = \frac{I_2}{I_d} \quad (6-28)$$

Hệ số quy đổi điện trở của mạch một chiều về rôto của ĐC:

$$\rho = \frac{u}{i} \quad (6-29)$$

Điện áp một chiều sau chỉnh lưu là:

$$U_{mc} = U_d = E_{mc} + I_d R_{ur} + \Delta U_{ct} \quad (6-30)$$

trong đó

E_{mc} — sức điện động của máy một chiều MC; I_d — dòng điện chỉnh lưu (dòng phản ứng của máy một chiều MC); R_{ur} — điện trở mạch phản ứng của máy một chiều; ΔU_{ct} — điện áp trên chổi than của máy một chiều.

Điện áp rơi trên mạch chỉnh lưu:

$$\Delta U_{CL} = R_{CL} I_2 \quad (6-31)$$

trong đó R_{CL} — điện trở thuận của các van chỉnh lưu cùng dẫn điện. nó phụ thuộc vào sơ đồ chỉnh lưu và dòng điện đi qua van. Với sơ đồ cầu 3 pha như hình 3-16 luôn luôn có hai van cùng dẫn điện.

I_2 — dòng điện trong mỗi pha rôto của động cơ chỉnh ĐC.

Phương trình cân bằng điện áp của mạch rôto ĐC:

$$E_2 = I_2 [(r_2 + R_{CL}) + j x_2 s] + u U_d = I_2 [(r_2 + R_{CL}) + j x_2 s] + u (E_{mc} + I_d R_{ur} + \Delta U_{ct}) \quad (6-32)$$

Thay

$$I_2 = i I_d; u I_d R_{ur} = \frac{u}{i} i I_d R_{ur} = \rho I_2 R_{ur}$$

và

$$E_f = u (E_{mc} + \Delta U_{ct})$$

vào (6-32) ta được:

$$E_2 = I_2 (r_2 + R_{CL} + \rho R_{ur} + j x_2 s) + E_f \quad (6-33)$$

Quy đổi các thông số của mạch rôto về stato và đặt

$$R'_2 = (r'_2 + R'_{CL});$$

$$\rho' = \rho \frac{R'_{ur}}{R'_2} \text{ ta có:}$$

$$\dot{E}'_2 = \dot{I}'_2 \left(\frac{R'_2}{s} + \rho' \frac{R'_2}{s} + j x'_2 \right) + \frac{\dot{E}'_f}{s} \quad (6-34)$$

Từ (6-34) ta vẽ được sơ đồ thay thế một pha của động cơ không đồng bộ trong các sơ đồ nối tăng van-máy điện như hình 6-19.

Để thuận tiện cho việc tính toán ta chuyển sơ đồ thay thế hình T sang sơ đồ thay thế hình Γ như hình 6-20, với hệ số chuyển đổi là:

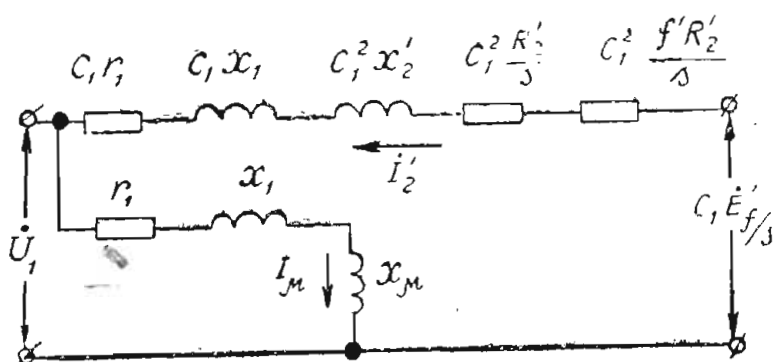
$$C_1 = 1 + \frac{x_1}{x_u} \quad (6-35)$$

Từ hình 6-19 với giả thiết E_f' luôn luôn trùng pha với I_2' ta có công suất điện từ của động cơ chính DC:

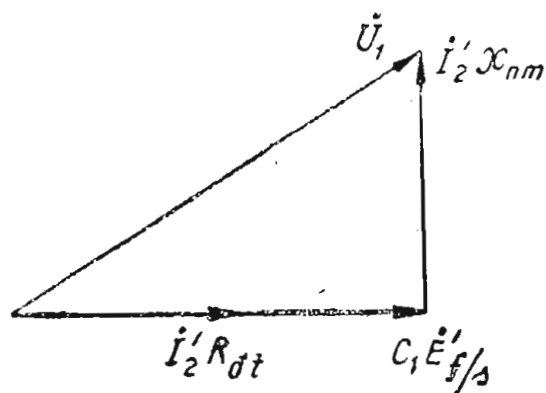
$$P_{dt} = 3 \left(I_2'^2 R_2' \frac{1 + \rho'}{s} + I_2' \frac{E_f'}{s} \right) \quad (6-36)$$

và mômen điện từ của động cơ:

$$M_{dt} = \frac{P_{dt}}{\omega_o} = \frac{3}{\omega_o} \left(I_2'^2 R_2' \frac{1 + \rho'}{s} + I_2' \frac{E_f'}{s} \right) \quad (6-37)$$



Hình 6-20. Sơ đồ thay thế 1 pha hình Γ của động cơ không đồng bộ trong sơ đồ nối tăng van-máy điện.



Hình 6-21. Đồ thị vectơ điện áp của động cơ không đồng bộ trong sơ đồ nối tăng van-máy điện.

Từ hình 6-20 với giả thiết bỏ qua r_1 ta có:

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_2' \left[C_1^2 R_2' \frac{1 + \rho'}{s} + j C_1 (x_1 + c_1 x_2') \right] + c_1 \frac{\dot{E}_f'}{s} \quad (6-38)$$

Đặt $C_1^2 R_2' \frac{1 + \rho'}{s} = R_{dt}$ — điện trở đẳng trị;

$C_1 (x_1 + c_1 x_2') = x'_{nm}$ — điện kháng ngắn mạch nhân tạo;

$R_{dt} + j x'_{nm} = Z_{dt}$ — tổng trở đẳng trị.

Từ (6-38) ta có:

$$\dot{I}_2' = \frac{\dot{U}_1 - C_1 \frac{\dot{E}_f'}{s}}{Z_{dt}} \quad (6-39)$$

Tương ứng ta có đồ thị vectơ điện áp như hình 6-21.

Từ hình 6-21 ta có:

$$U_1^2 = \left(I_2' R_{dt} + c_1 \frac{E_f'}{s} \right)^2 + I_2'^2 x_{nm}^2 \quad (6-40)$$

Giải phương trình (6-40) và chỉ lấy giá trị dương của I_2' ta được

$$I_2' = \frac{\sqrt{U_1^2 Z_{dt}^2 - C_1^2 \frac{E_f'^2}{s^2} \cdot x_{nm}^2 - R_{dt} C_1 \frac{E_f'}{s}}}{Z_{dt}^2} \quad (6-41)$$

Đặt $\varepsilon = C_1 E_f'$ và biến đổi (6-41) ta được:

$$I_2' = \frac{U_1}{Z_{dt}} \left(\sqrt{1 - \frac{\varepsilon^2 x_{nm}^2}{U_1^2 s^2 Z_{dt}^2}} - \frac{\varepsilon}{U_1 s} \frac{R_{dt}}{Z_{dt}} \right) \quad (6-42)$$

Từ (6-42) cho $I_2' = 0$ ta tìm được độ trượt s_0 ứng với tốc độ không tải lý tưởng của hệ là:

$$s_0 = \frac{\varepsilon}{U_1}$$

Tốc độ không tải lý tưởng của hệ là:

$$\omega_{olt} = \omega_0(1 - s_0) = \omega_0 \left(1 - \omega k_e \cdot c_1 \frac{E_{mc}}{U_1} \right) \quad (6-43)$$

trong đó k_e —hệ số biến đổi sức điện động từ stato sang rôto (xem chương 2), và đã bỏ qua điện áp rơi trên chổi than ($\Delta U_{ct} = 0$).

Như vậy ứng với một trị số E_{mc} nào đấy từ (6-43) ta xác định được ω_{olt} . Dựa vào (6-12) ta tìm được quan hệ $I_2' = f(s)$ và dùng (6-37) ta tìm được quan hệ giữa mômen và độ trượt của động cơ chỉnh DC nghĩa là vẽ được đặc tính cơ của nó.

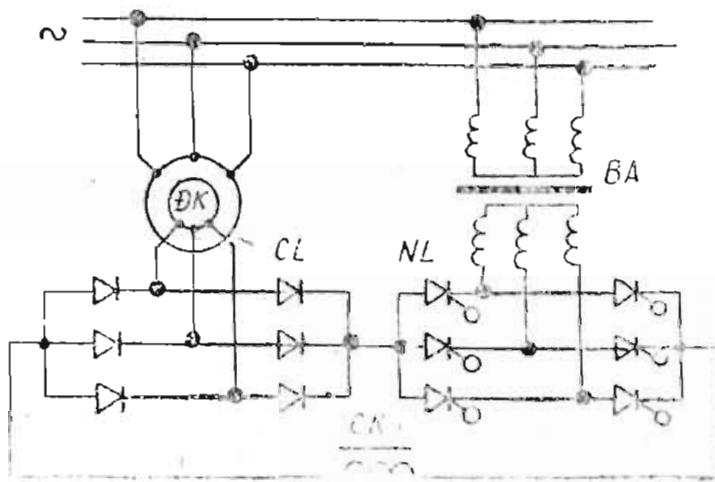
Với sơ đồ nối tăng điện thì mômen của thiết bị là $M = M_{dc}$ còn với sơ đồ nối tăng điện-cơ:

$$M = M_{uc} + M_{mc} = M_{dc} + k \Phi_{mc} I_d. \quad (6-44)$$

6. Sơ đồ nối tăng van.

Nhược điểm chủ yếu của sơ đồ nối tăng van-máy điện là vẫn phải dùng máy điện quay trong bộ biến đổi (máy một chiều MC). Để khắc phục nhược điểm đó ngày nay người ta sử dụng bộ biến đổi van tĩnh. Những sơ đồ nối tăng này được gọi là «sơ đồ nối tăng van». Loại này chỉ xây dựng được sơ đồ nối tăng điện mà thôi.

Sơ đồ nguyên lý của hệ nối tăng van trình bày trên hình 6-22. Trong sơ



Hình 6-22. Sơ đồ nguyên lý của hệ nối tăng van.

đồ, năng lượng trượt từ rôto động cơ chỉnh DC, sau khi đã được chỉnh lưu thành một chiều nó lại được biến thành xoay chiều nhờ bộ nghịch lưu NL và sẽ được trả về lưới nhờ biến áp BA. Sức điện động phụ đưa vào mạch rôto của động cơ không đồng bộ ĐK là SDD của bộ nghịch lưu. Trị số của nó được điều chỉnh bằng cách thay đổi góc thông sớm của các van tiristo trong bộ nghịch lưu.

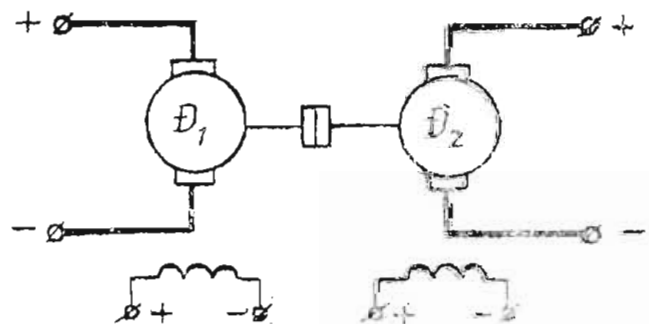
6-4. SƠ ĐỒ DÙNG HAI ĐỘNG CƠ LIÊN KẾT CƠ CỨNG VỚI NHAU

Trong thực tế nhiều trường hợp người ta sử dụng các hệ truyền động gồm hai hoặc nhiều động cơ để cùng kéo chung một phụ tải, cùng dẫn động một bộ phận làm việc của máy. Những động cơ này được nối cứng trực với nhau. Hệ truyền động này có những đặc điểm sau: Độ tin cậy cao, giữa các động cơ có tính chất dự trữ cho nhau; thuận tiện cho việc bố trí lắp đặt máy; mômen quán tính nhỏ hơn so với truyền động dùng 1 động cơ có công suất tương đương, vì vậy các thời gian quá độ ngắn, có khả năng tạo ra nhiều đặc tính điều chỉnh phù hợp với yêu cầu sản xuất. Sự phối hợp giữa hai động cơ, một làm việc ở trạng thái động cơ một làm việc ở trạng thái hãm, sẽ tạo nên được các đặc tính cơ khác nhau, với độ cứng cao hơn đặc tính của từng động cơ riêng rẽ. Phạm vi điều chỉnh tốc độ rộng, đặc biệt hệ có thể làm việc ổn định ở tốc độ xác lập khá thấp; có khả năng giảm nhỏ được các tổn hao trong các quá trình quá độ và xác lập.

Những hệ truyền động dùng hai động cơ nối cứng trực với nhau được sử dụng khá phổ biến trong giao thông vận tải, luyện kim, các máy cắt kim loại cỡ lớn v.v... Các động cơ truyền động có thể là một chiều, xoay chiều hoặc kết hợp. Ta lần lượt xác định từng loại sau đây:

1. Hai động cơ một chiều liên kết cơ cứng với nhau.

Sơ đồ nguyên lý của hệ dùng hai động cơ một chiều kích từ độc lập liên kết cơ cứng với nhau biểu diễn trên hình 6-23.

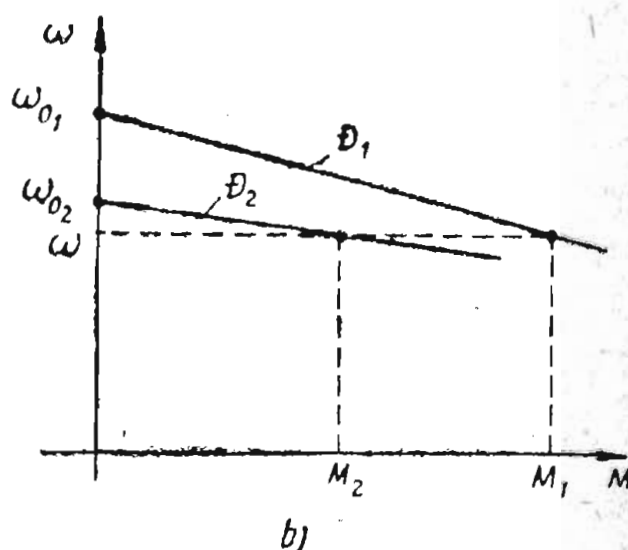
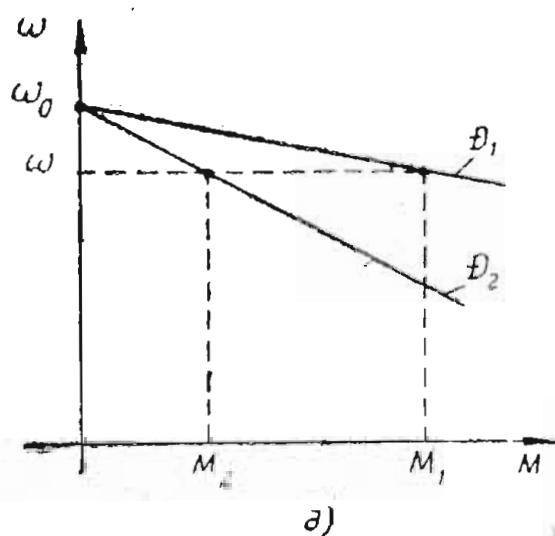


Hình 6-23. Sơ đồ nguyên lý của hệ dùng hai động cơ một chiều kích từ độc lập nối cứng với nhau.

Vấn đề quan trọng nhất khi sử dụng hệ truyền động này là làm thế nào để đảm bảo sự phân bố phụ tải hợp lý giữa hai động cơ. Do nối cứng

trục với nhau nên hai động cơ luôn luôn quay cùng tốc độ. Trong trường hợp dùng hai động cơ một chiều kích từ độc lập có cùng công suất, muốn chịu tải như nhau chúng phải có đặc tính cơ hoàn toàn như nhau. Nghĩa là tốc độ không tải lý tưởng và độ cứng của đặc tính cơ phải bằng nhau. Nếu không đảm bảo những yêu cầu ấy thì phụ tải phân bố giữa hai động cơ sẽ khác nhau.

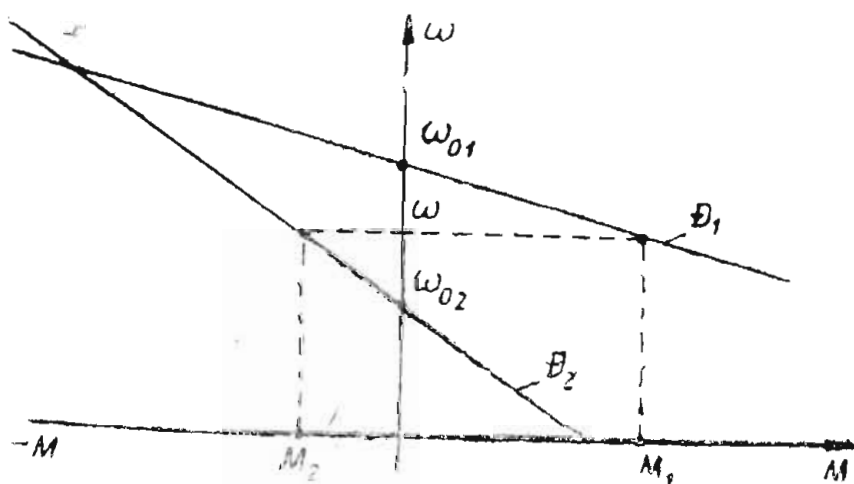
Hình 6-21 minh họa sự phân bố phụ tải giữa hai động cơ khi chúng có đặc tính cơ khác nhau.



Hình 6-24. Phân bố phụ tải giữa hai động cơ một chiều kích từ độc lập khi nối cứng trục với nhau.

a) cùng ω_0 nhưng độ cứng khác nhau; b) cả ω_0 lẫn độ cứng khác nhau.

Từ hình vẽ ta thấy khi cùng trị số tốc độ không tải lý tưởng ω_0 thì động cơ nào có đặc tính cứng hơn sẽ chịu tải lớn hơn. Khi tốc độ không tải lý tưởng khác nhau thì động cơ có ω_0 lớn hơn sẽ chịu tải nhiều hơn.



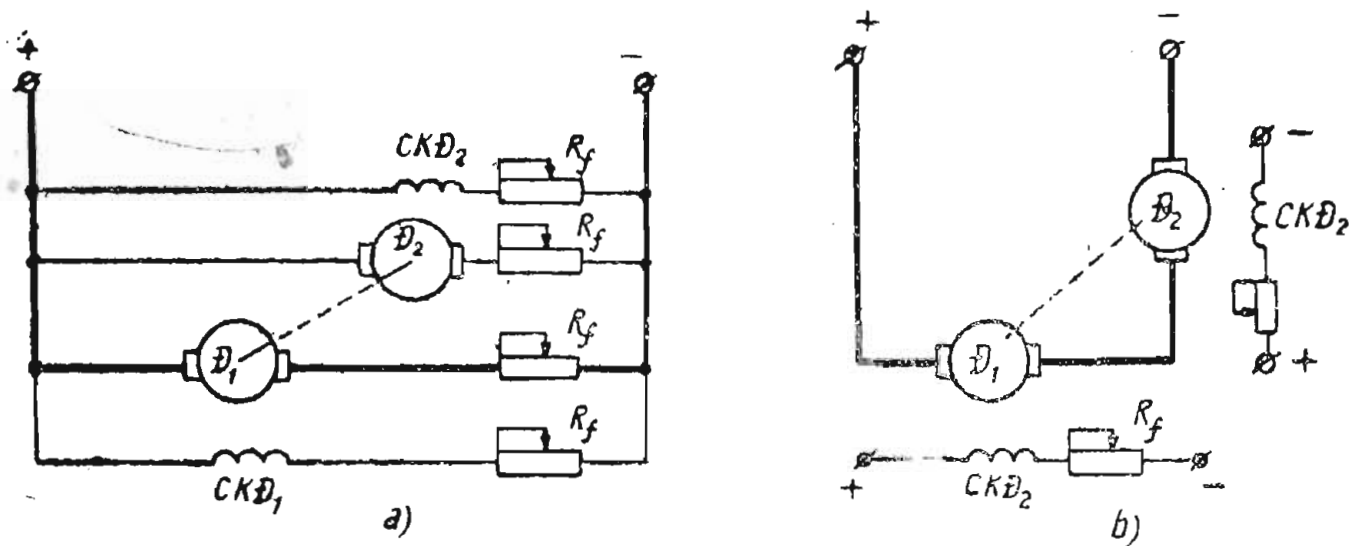
Hình 6-25. Phân bố phụ tải và trạng thái làm việc của hai động cơ một chiều kích từ độc lập nối cứng trục với nhau khi có đặc tính cơ khác nhau.

Nguyên nhân sinh ra sự sai khác đó là do khe hở không khí, điện trở cuộn dây phản ứng và vật liệu chế tạo của chúng khác nhau.

Khi đặc tính cơ khác nhau còn có thể xảy ra trường hợp một động cơ sẽ làm việc ở trạng thái động cơ, còn một động cơ sẽ làm việc ở trạng thái máy phát (trạng thái hãm) như hình 6-25.

Trong thực tế có khi hai động cơ cùng công suất, cùng các thông số định mức nhưng đặc tính cơ của chúng vẫn khác

Hai động cơ một chiều kích từ độc lập liên kết cơ cứng với nhau, mạch phản ứng có thể đấu song song hoặc nối tiếp với nhau như hình 6-26.



Hình 6-26. Hai động cơ một chiều kích từ độc lập liên kết cơ cứng với nhau, mạch phản ứng của chúng được đấu song song với nhau (a) nối tiếp (b).

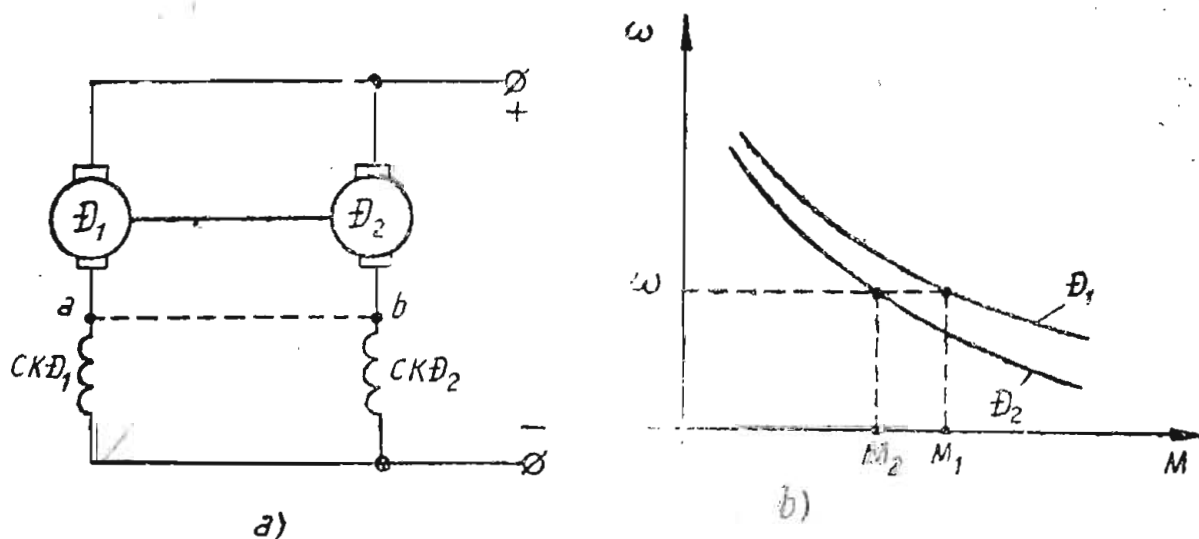
Khi phần ứng của chúng đấu song song với nhau, do đặc tính cơ cứng nên sự phân bố phụ tải trên chúng rất dễ khác nhau. Để cân bằng phụ tải ta có thể mắc thêm điện trở phụ vào mạch phản ứng và mạch kích từ của chúng. Điều chỉnh phối hợp các điện trở ấy ta sẽ tạo cho chúng những đặc tính cơ giống nhau. Nhưng cần chú ý nếu giảm từ thông quá nhiều, ảnh hưởng của phản ứng phần ứng sẽ lớn. Hệ sẽ mất ổn định khi tải lớn.

Khi phần ứng của chúng đấu nối tiếp với nhau, dòng phần ứng như nhau. Sức điện động của mỗi động cơ ở một tốc độ nào đấy được xác định theo biểu thức:

$$E_{D1} = k_1 \Phi_1 \omega; \quad E_{D2} = k_2 \Phi_2 \omega$$

Nếu bỏ qua điện áp rơi trên điện trở phần ứng ta có:

$$U = E_{D1} + E_{D2} = \omega(k_1 \Phi + k_2 \Phi_2)$$



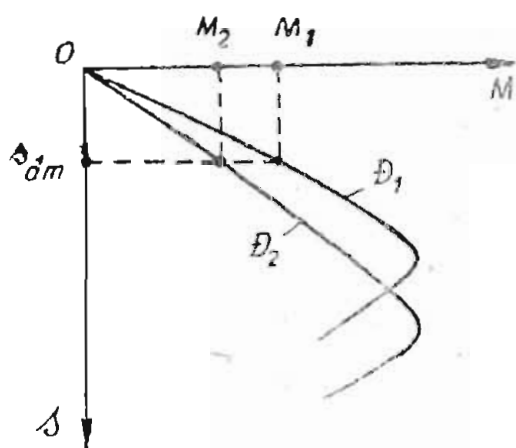
Hình 6-27 Sơ đồ nguyên lý (a) đặc tính cơ (b) của hai động cơ một chiều kích từ nối tiếp liên kết cơ cứng với nhau.

Phụ tải sẽ phân bố trên trục của hai động cơ theo tỷ số:

$$\frac{E_{D1}}{E_{D2}} = \frac{k_1 \Phi_1}{k_2 \Phi_2} = \frac{M_1}{M_2}$$

Nghĩa là thay đổi kích từ ta có thể điều chỉnh được sự phân bố phụ tải giữa chúng, sao cho $M_1 = M_2$.

Đối với các động cơ một chiều kích từ nối tiếp, vì đặc tính cơ của chúng mềm nên để đảm bảo điều kiện phân bố phụ tải đều, khi chúng được liên kết cơ cứng với nhau. Sơ đồ nguyên lý và đặc tính cơ của truyền động này biểu diễn trên hình 6-27.

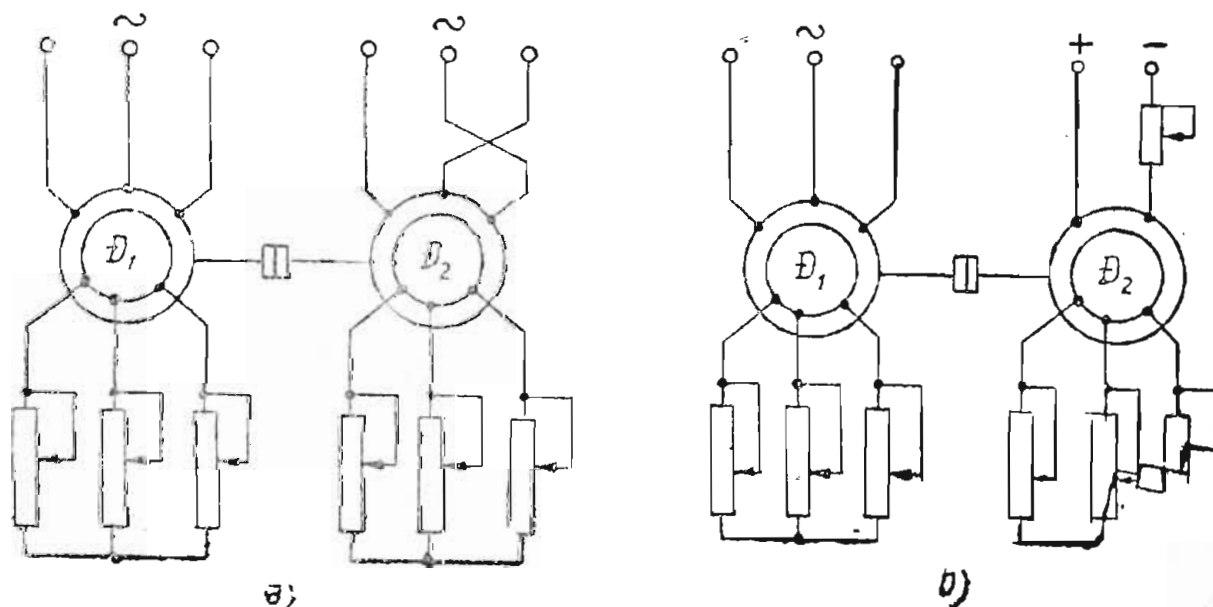


Hình 6-28. Phân bố phụ tải giữa hai động cơ không đồng bộ liên kết cơ cứng với nhau.

Đôi khi để đảm bảo sự phân bố phụ tải đều giữa hai động cơ này người ta nối thêm đoạn dây cân bằng từ điểm a đến b như đường nét đứt trên hình 6-27a. Trong trường hợp này cần chú ý tới vấn đề đảm bảo an toàn cho hệ khi điện trở mạch kích từ của một máy nào đó đột nhiên tăng lên hoặc mạch kích từ bị đứt.

2. Hai động cơ không đồng bộ liên kết cơ cứng với nhau. Trong những hệ dùng hai động cơ không đồng bộ liên kết cơ cứng với nhau, phụ tải dễ được phân bố đều nếu độ trượt định mức của chúng càng nhỏ. Hình 6-28 minh họa điều đó.

Đối với các động cơ không đồng bộ rôto quấn dây, ta có thể mắc thêm điện trở phụ vào mạch rôto của mỗi động cơ để cân bằng phụ tải.



Hình 6-29. Hai động cơ không đồng bộ liên kết cơ cứng với nhau có một máy làm việc ở trạng thái động cơ, một máy làm việc ở trạng thái hãm ngược (a) hãm động năng (b).

Đối với một số máy ví dụ các máy nâng bốc, cầu trục, cần trục, cần làm việc ở tốc độ thấp người ta thường dùng hệ truyền động hai động cơ không

đồng bộ liên kết cơ cứng với nhau và cho một máy làm việc ở trạng thái động cơ, máy kia làm việc ở trạng thái hãm ngược hoặc hãm động năng. Sơ đồ nguyên lý của chúng biểu diễn trên hình 6-29. Các đặc tính cơ biểu diễn trên hình 6-30.

Trên hình 6-30, đường 1 là đặc tính biến trở của máy làm việc ở trạng thái động cơ (D_1 trên hình 6-29); đường 2 — của máy làm việc ở trạng thái hãm ngược; đường 4 — của máy làm việc ở trạng thái hãm động năng.

Tổng hợp 1 với 2 ta được đặc tính cơ 3;

Tổng hợp 1 với 4 ta được đặc tính cơ 5.

Chú ý rằng trên đoạn làm việc của các đặc tính cơ có điện trở phụ ta xem chúng là thẳng.

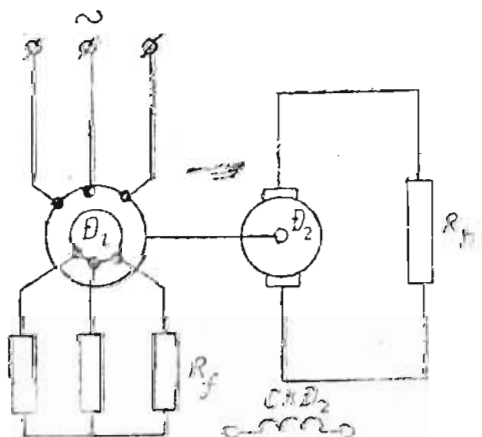
Trong một số trường hợp người ta có thể dùng hệ truyền động gồm hai động cơ liên kết cơ cứng với nhau, trong đó 1 máy là động cơ không đồng bộ rôto quấn dây làm việc ở trạng thái động cơ, còn máy kia là động cơ một chiều kích từ độc lập làm việc ở trạng thái hãm động năng. Sơ đồ nguyên lý của hệ được biểu diễn trên hình 6-31 các đặc tính cơ như hình 6-32.

Trên hình 6-32:

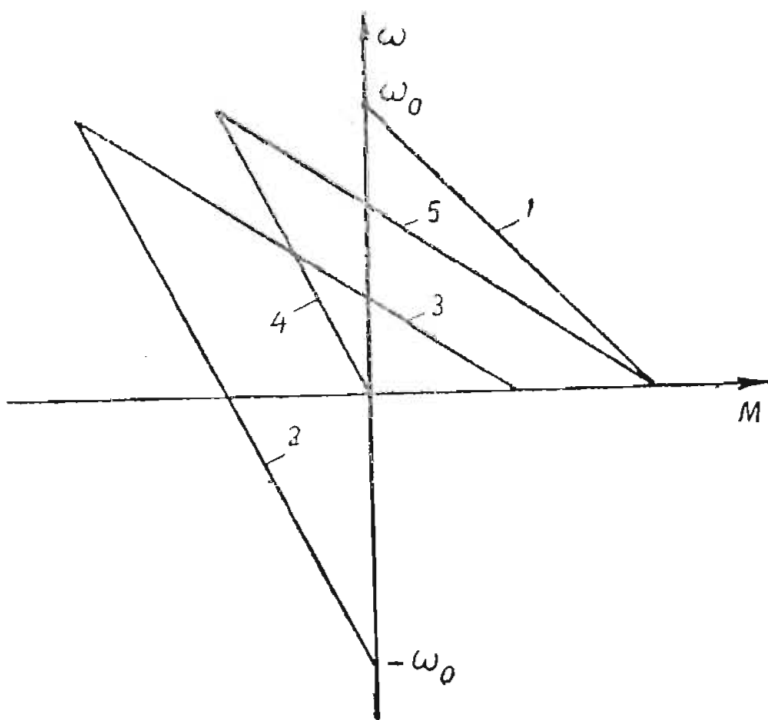
đường 1 — đặc tính biến trở của động cơ không đồng bộ D_1 ;

đường 2 — đặc tính hãm động năng của động cơ một chiều kích từ độc lập D_2 .

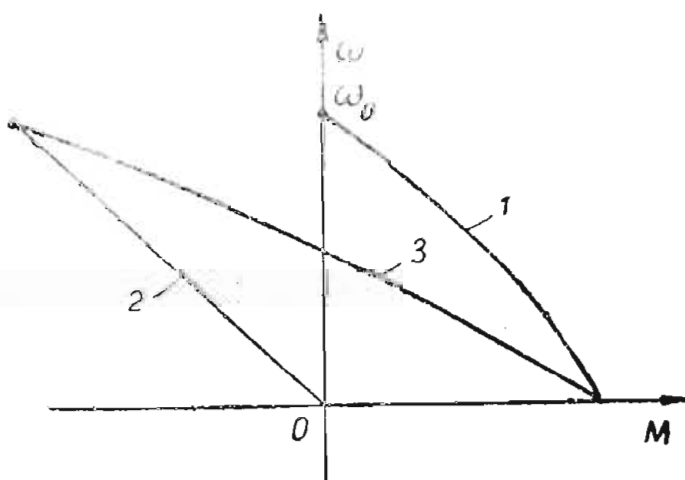
đường 3 — đặc tính tổng hợp.



Hình 6-31. Sơ đồ nguyên lý của hệ dùng động cơ không đồng bộ liên kết cơ cứng với động cơ một chiều kích từ độc lập.



Hình 6-30. Các đặc tính cơ riêng rẽ và tổng hợp của các động cơ trong hệ truyền động hình 6-29.

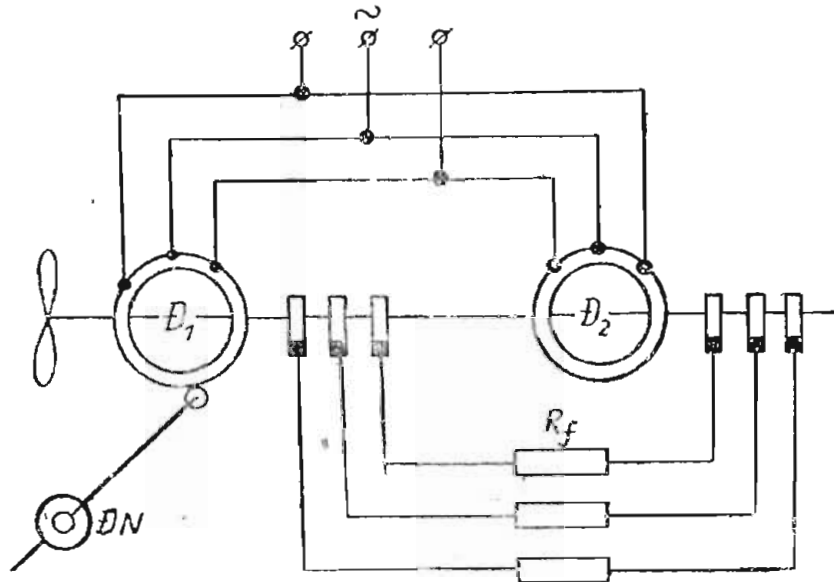


Hình 6-32. Các đặc tính cơ của hệ truyền động hình 6-31.

6-5. SƠ ĐỒ DÙNG ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ CÓ STATO QUAY.

Loại truyền động này dùng hai động cơ không đồng bộ liên kết cơ cứng với nhau trong đó 1 động cơ có stato quay.

Thường sử dụng cho truyền động của các máy bơm ly tâm, quạt gió, máy nhuộm vải v.v...



Hình 6-33. Sơ đồ nguyên lý của truyền động dùng động cơ không đồng bộ có stato quay.

Sơ đồ nguyên lý như hình 6-33.

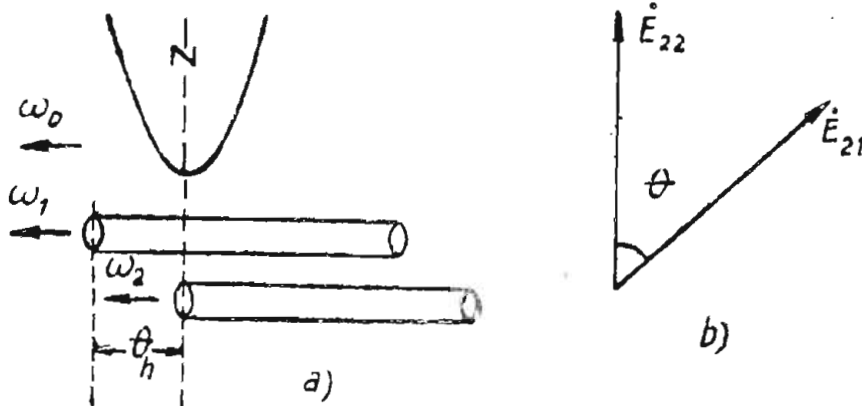
Trên hình 6-33 động cơ không đồng bộ D_1 có stato được quay bởi động cơ nhỏ DN.

Các cuộn dây stato của hai động cơ được đấu vào lưới điện xoay chiều. Các cuộn dây rôto của hai động cơ được đấu vào điện trở phụ R_f .

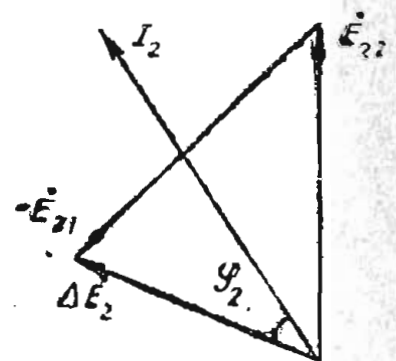
Điện trở phụ có tác dụng để hạn chế dòng điện ở rôto và mở rộng phạm vi điều chỉnh tốc độ, đồng thời

đảm bảo hệ thống làm việc ổn định ở tốc độ thấp khi phụ tải là mômen quạt gió.

Giả sử rôto của hai động cơ lệch nhau một góc hình học là θ_h (hình 6-34a). Thì vector sức điện động thứ cấp của chúng sẽ lệch nhau một góc về điện là $\theta = p\theta_h$ (hình 6-34b), với p — số đôi cực của động cơ.



Hình 6-34. Vị trí các cuộn dây rôto (a) đồ thị vectơ S.D.D. (b) của hệ truyền động dùng động cơ không đồng bộ có stato quay.



Hình 6-35. Đồ thị vectơ sức điện động của hệ truyền động liên kết cơ cứng dùng động cơ không đồng bộ có stato quay.

Vị trí của các cuộn dây rôto của động D_1 và D_2 so với cực bắc của từ trường stato (N) chỉ ra trên hình 6-34a. Rôto của các động cơ chuyển động với tốc độ nhỏ hơn tốc độ đồng bộ nên sức điện động ở rôto D_2 là E_{22} đạt cực đại

sớm hơn sức điện động ở rôto của Đ₁($\dot{E}_{21}$). Nghĩa là $\dot{E}_{21}$ chậm sau $\dot{E}_{22}$ một góc θ như hình 6-34b.

Đồ thị vectơ sức điện động thành phần và vectơ s.d.d tổng biểu diễn trên hình 6-35:

trong đó:

$$\Delta \dot{E}_2 = \dot{E}_{22} - \dot{E}_{21} \quad (6-45)$$

Trong hệ này sơ đồ đẳng trị của mạch rôto hai động cơ được biểu diễn trên hình 6-36.

Dòng điện ở mạch rôto:

$$I_2 = \frac{\Delta \dot{E}_2}{2Z_2}; \quad (6-46)$$

trong đó Z_2 – tổng trở pha ở rôto của mỗi động cơ. Vectơ $\dot{I}_2$ chậm pha so với $\Delta \dot{E}_2$ một góc φ_2 (hình 6-35), φ_2 được xác định theo biểu thức:

$$\varphi_2 = \arctg \frac{x_2 s}{r_2} \quad (6-47)$$

Giả thiết môđun sức điện động rôto của hai động cơ bằng nhau và bằng E_2 ta có:

$$I_2 = \frac{E_{2mmf} s - E_{2mmf} \cdot s e^{-i\theta}}{2(r_2 + i x_2 s)} \quad (6-48)$$

Mômen của mỗi động cơ sinh ra được xác định theo biểu thức:

$$M = k_M \Phi I_2 \cos \varphi_2 = k_M \Phi I_{2td} \quad (6-49)$$

trong đó $I_{2td} = I_2 \cos \varphi_2$ – thành phần tác dụng của dòng điện rôto.

Nếu bỏ qua tổn thất điện áp trên mạch stato của các động cơ và giả thiết rằng từ thông của chúng không đổi thì mômen sẽ tỷ lệ thuận với thành phần tác dụng của dòng điện rôto ở mỗi động cơ.

Muốn tìm thành phần tác dụng của $\dot{I}_2$ đối với mỗi động cơ ta chiếu $\dot{I}_2$ xuống các vectơ sức điện động tương ứng.

Thành phần tác dụng của $\dot{I}_2$ đối với động cơ Đ₂ được xác định từ biểu thức (6-48) là:

$$I_{2td2} = \frac{E_{2nmf}}{\sqrt{r_2^2 + (x_2 s)^2}} \cdot \frac{r_2}{\sqrt{r_2^2 + (x_2 s)^2}} \cdot \frac{1 - \cos \theta + \frac{x_2 s}{r_2} \sin \theta}{2} \quad (7-50)$$

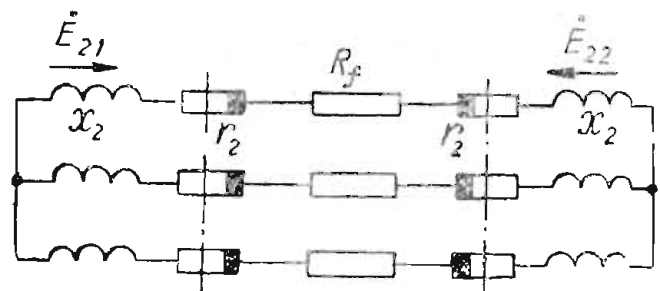
Vi

$$\frac{E_{2nmf} s}{\sqrt{r_2^2 + (x_2 s)^2}} = I_{2tn} - \text{dòng điện rôto khi động cơ làm việc trên đặc tính tự nhiên.}$$

$$\frac{r_2}{\sqrt{r_2^2 + (x_2 s)^2}} = \cos \varphi_2$$

nên ta có:

$$I_{2td2} = I_{2tn} \cos \varphi_2 \frac{1 - \cos \theta + \frac{x_2 s}{r_2} \sin \theta}{2} \quad (6-51)$$



Hình 6-36. Sơ đồ đẳng trị của mạch rôto hai động cơ có sơ đồ nguyên lý hình 6-33.

trong (6-51) $I_{2n} \cos \varphi_2$ – thành phần tác dụng của dòng rôto khi động cơ làm việc trên đặc tính tự nhiên.

Nếu giả thiết từ thông của động cơ có trị số như khi nó làm việc trên đặc tính tự nhiên, từ (6-51) ta suy ra mômen của động cơ thứ hai D_2 :

$$M_2 = M_{tn} \frac{1 - \cos \theta - \frac{s}{s_{th}} \sin \theta}{2} \quad (6-52)$$

trong đó:

$$M_{tn} = \frac{2M_{th}}{\frac{s_{th}}{s} + \frac{s}{s_{th}}} - \text{mômen của động cơ trên đặc tính tự nhiên.}$$

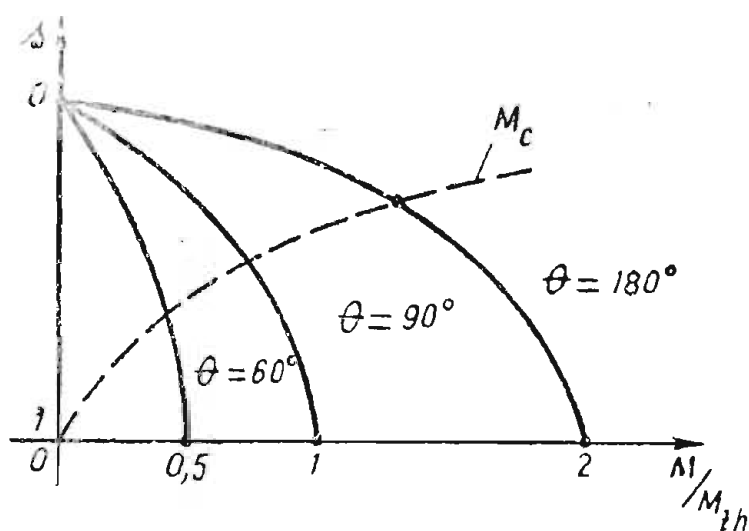
$$s_{th} = \frac{r_2}{x_2} - \text{độ trượt tới hạn với giả thiết } r_1, x_1 \approx 0.$$

Phân tích tương tự như trên, ta được biểu thức mômen của động cơ D_1 :

$$M_1 = M_{tn} \frac{1 - \cos \theta - \frac{s}{s_{th}} \sin \theta}{2} \quad (6-53)$$

Mômen tổng đưa lên trục của hai động cơ là:

$$M_t = M_2 + M_1 = M_{tn}(1 - \cos \theta) \quad (6-54)$$



Hình 6-37. Đặc tính cơ của hệ liên kết cơ cứng dùng động cơ không đồng bộ có stato quay khi thay đổi góc lệch θ .

Từ (6-54) ta thấy rằng thay đổi góc lệch θ sẽ thay đổi được dạng các đặc tính cơ của hệ, do đó điều chỉnh được tốc độ của hệ. Góc lệch θ được thay đổi nhờ động cơ nhỏ ĐN.

Đặc tính cơ ứng với các trị số θ khác nhau được biểu diễn trên hình 6-37.

Từ các biểu thức (6-52) và (6-53) ta thấy khi $\theta = \pi$, $\sin \theta = 0$, $\cos \theta = -1$ mômen của hai động cơ bằng nhau còn mômen tổng trên trục của hệ:

$$M_t = 2M_{tn}$$

Khi $\theta = 0$, mômen tổng $M_t = 0$, ở trạng thái này sức điện động

trong rôto của hai động cơ có trị số bằng nhau nhưng ngược chiều nhau.

Khi tốc độ không đổi ($s = \text{const}$) ta thay đổi θ thì sức điện động tổng trong mạch rôto thay đổi dẫn tới dòng điện và mômen thay đổi.

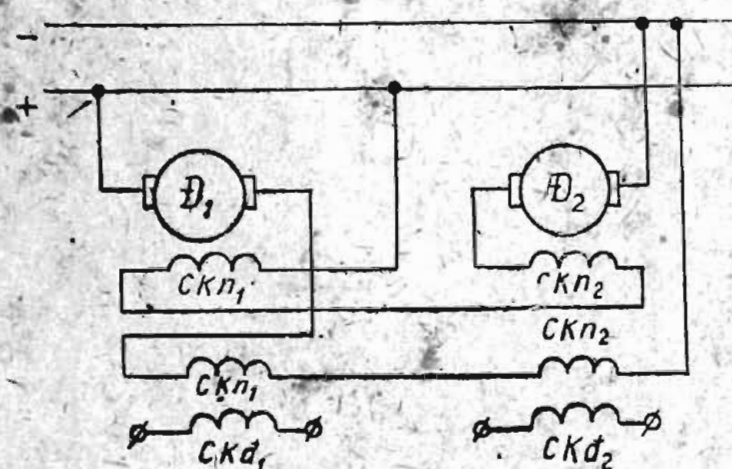
Hệ truyền động này có độ tinh điều chỉnh tốc độ cao. Nó thích hợp cho những cơ cấu sản xuất có mômen cản tỷ lệ với bình phương của tốc độ (dạng mômen quạt gió). Với loại phụ tải này giải điều tốc $D = (8 \div 10)$.

Năng lượng tổn thất trong hệ này chủ yếu là năng lượng trượt, tương tự như ở hệ điều tốc động cơ không đồng bộ bằng biến trở mạch rôto.

Ưu điểm chủ yếu của hệ này là: có khả năng sử dụng hầu như toàn bộ công suất đặt của động cơ, đặc biệt khi tải là quạt gió. Không sinh ra dòng điện xung khi khởi động (khởi động êm). Quá trình khởi động có thể thực hiện bằng cách tăng dần góc lệch θ từ trị số gần bằng không. Nếu bỏ qua tổn thất trong cơ cấu tải thì dòng khởi động ban đầu chỉ bằng dòng từ hóa I_p nghĩa là bằng khoảng 30 – 35% dòng định mức.

6-6. SƠ ĐỒ DÙNG HAI ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU LIÊN KẾT CƠ HỖ VỚI NHAU

Truyền động liên kết cơ hỗ là hệ gồm hai hoặc nhiều động cơ liên kết với nhau qua một chi tiết nào đấy ngoài máy. Trong truyền động loại này nhiều khi không yêu cầu hai động cơ phải quay đồng bộ với nhau một cách tuyệt đối.



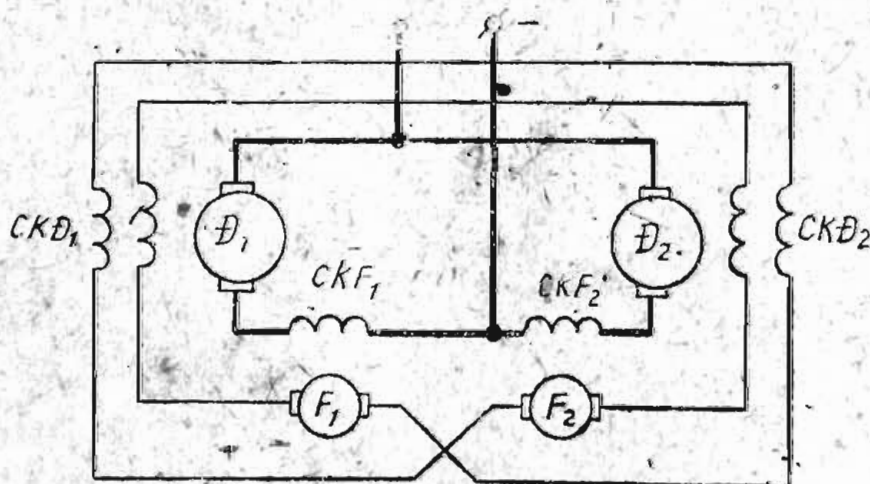
Hình 6-38. Sơ đồ nguyên lý của hệ truyền động dùng hai động cơ một chiều kích từ độc lập liên kết cơ hỗ với nhau.

Đối với những hệ liên kết cơ hỗ dùng hai động cơ một chiều kích từ độc lập. Để đảm bảo phụ tải phân bố đều giữa hai động cơ, ngoài cuộn kích từ độc lập CKd, trong mỗi động cơ còn dùng thêm hai cuộn kích từ nối tiếp phụ CKn. Hai cuộn này có thông số hoàn toàn như nhau và được đấu theo sơ đồ hình 6-38.

Trên hình 6-38 mỗi động cơ có hai cuộn kích từ nối tiếp CKn1, CKn2, trong đó một cuộn có dòng điện phản ứng của chính động cơ đó chạy qua, cuộn còn lại

có dòng điện phản ứng của động cơ kia chạy qua, hai cuộn này được đấu ngược cực tính với nhau để khi có dòng phản ứng như nhau của hai động cơ chạy qua thì tổng từ sức từ động này bằng không.

Giả sử hai động cơ D_1 , D_2 có đặc tính cơ hoàn toàn trùng nhau. Ở trạng thái làm việc định mức, dưới tác dụng của từ thông kích từ độc lập, hai động cơ quay cùng tốc độ. Khi đó do phụ tải được phân bố đều nên các cuộn kích từ nối tiếp không có tác dụng gì. Khi hai động cơ chịu tải khác nhau dòng



Hình 6-39. Sơ đồ nguyên lý của hệ truyền động liên kết cơ hỗ sử dụng hai động cơ một chiều kích từ độc lập với các máy kích từ phụ.

phản ứng của động cơ nặng tải sẽ tăng lên, tốc độ động cơ này sẽ giảm xuống. Ở động cơ nhẹ tải sẽ xảy ra hiện tượng ngược lại. Trong trường hợp này tổng sức từ động của các cuộn kích từ nối tiếp sẽ khác không. Ở động cơ nhẹ tải sức từ động đó cùng chiều với sức từ động của cuộn kích từ độc lập làm cho từ thông của động cơ này tăng lên, tốc độ giảm xuống. Ở động cơ nặng tải quá trình xảy ra ngược lại. Kết quả hai động cơ được quay với tốc độ như nhau hoặc gần như nhau.

Hệ truyền động loại này còn có thể sử dụng theo sơ đồ nguyên lý hình 6-39.

Sơ đồ hình 6-39 có nguyên lý làm việc tương tự như hình 6-38 nhưng khác là dòng điện chạy qua các cuộn kích từ CK_1 , CK_2 của các động cơ do hai máy phát F_1 và F_2 cung cấp. F_1 , F_2 lại được kích từ bởi dòng phản ứng của hai động cơ. Ở sơ đồ này dòng điện qua các cuộn kích từ của động cơ nhỏ hơn nhiều so với sơ đồ hình 6-38.

6.7. SƠ ĐỒ NHIỀU ĐỘNG CƠ NỐI THEO HỆ TRỰC ĐIỆN

Trong thực tế nhiều hệ thống truyền động có những bộ phận làm việc đặt rất xa nhau nhưng lại yêu cầu quay đồng bộ hoặc theo một tỷ lệ nào đó với nhau, ví dụ liên động giữa máy phát điện ở các trạm với các động cơ đồng bộ đặt ở xí nghiệp: truyền động nâng hạ các cánh cửa đập nước có kích thước lớn v.v... Nếu dùng truyền động cơ khí sẽ rất phức tạp, cồng kềnh, giá thành cao, độ chính xác kém. Khi khoảng cách đã vượt qua một giới hạn nào đó thì các truyền động cơ khí không thể thực hiện được. Trong những trường hợp đó người ta sử dụng nhiều động cơ nối với nhau theo sơ đồ trực điện.

Như vậy trực điện là hệ truyền động gồm hai hay nhiều động cơ luôn luôn quay cùng tốc độ hoặc theo một tỷ số nào đó mà giữa chúng không có liên kết cơ nào. Các động cơ chính trong sơ đồ trực điện thường là động cơ không đồng bộ. Hệ này thực chất là hệ trực điện hoàn hảo trong đó sử dụng các phần tử khuếch đại, các mạch hồi tiếp và các máy điện đặc biệt.

Hệ trực điện không những đảm bảo các bộ phận làm việc riêng biệt nhau quay đồng bộ với nhau trong trạng thái tĩnh mà còn cả trong trạng thái động như: khởi động, hãm, phụ tải dao động.

Hệ trực điện thường được sử dụng trong các truyền động: máy in có trục lăn, cầu trục ở cảng, cầu nâng băng lăn, máy chải sợi, đóng mở các cửa đập nước, một số máy cắt kim loại cỡ lớn v.v...

Hệ trực điện dùng động cơ không đồng bộ được chia thành 3 loại: hệ có máy cân bằng; hệ có biến trở chung là hệ có máy biến tần không đồng bộ, và máy hai nguồn cùng cấp.

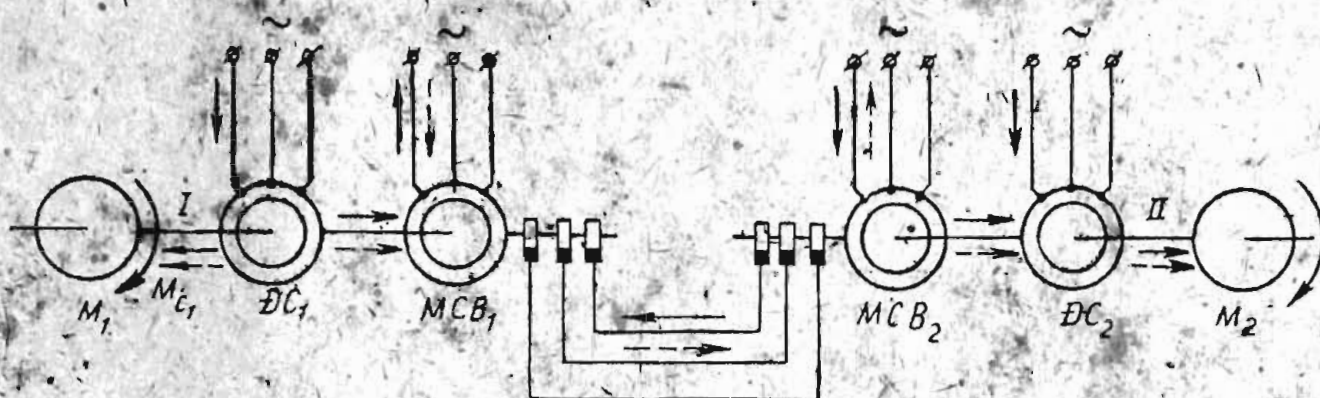
Trong tiết này ta sẽ lần lượt xét các hệ đó.

1. Hệ trực điện có máy cân bằng quay thuận từ trường

Sơ đồ nguyên lý của hệ này biểu diễn trên hình 6-40.

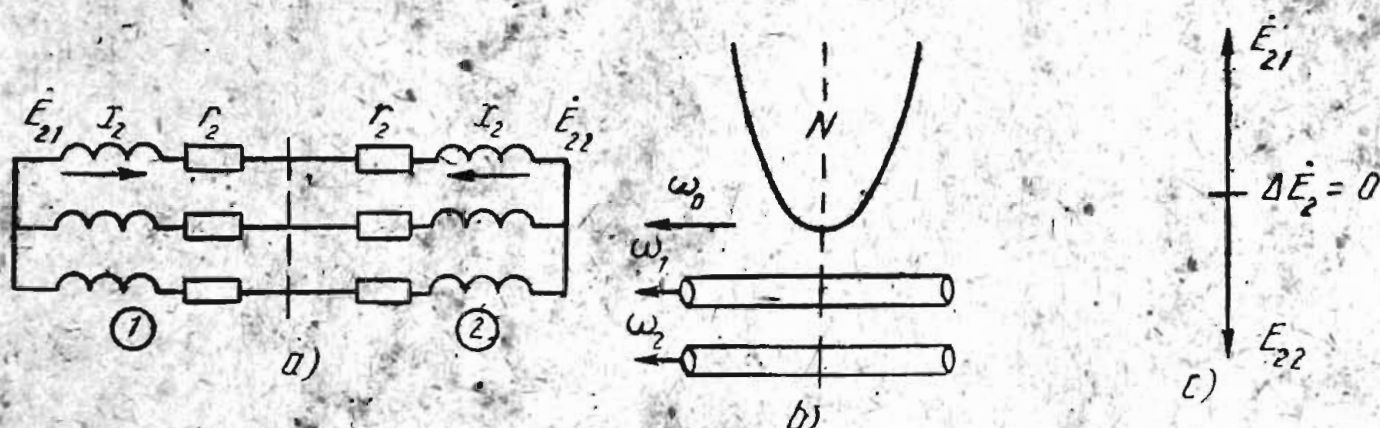
Trên sơ đồ các động cơ chính $ĐC_1$, $ĐC_2$ quay các máy sản xuất M_1 , M_2 và các máy cân bằng MCB_1 , MCB_2 . Rôto của hai máy cân bằng liên hệ về điện với nhau qua các vành trượt, và có thể quay thuận hoặc ngược từ trường của

stato tùy nhiệm vụ. Hai động cơ chính ĐC₁, ĐC₂ yêu cầu quay cùng tốc độ, cùng trị số phụ tải trên trục nên được chọn cùng loại, vì thế các máy cân bằng cũng được chọn cùng loại. Ở đây ta xét trường hợp hai máy cân bằng quay thuận từ trường.



Hình 6-40. Sơ đồ nguyên lý hệ trục điện có máy cân bằng.

Khi phân tích trạng thái làm việc của các máy điện trong sơ đồ ta giả thiết: các máy điện tương ứng có đặc tính cơ trùng nhau; bỏ qua sụt áp trên dây quấn stato; từ thông của các máy điện như nhau và quay đồng pha với nhau; sức điện động trong dây quấn rôto của các máy điện có trị số bằng nhau.



Hình 6-41. Sơ đồ thay thế mạch rôto (a); vị trí các cuộn dây rôto (b) đồ thị vector (c) của hệ trục điện có máy cân bằng quay thuận từ trường.

Với các giả thiết trên khi mômen phụ tải ở trục của ĐC₁, ĐC₂ như nhau nghĩa là $M_{c1} = M_{c2}$ thì tốc độ của chúng bằng nhau. Trong trạng thái này rôto của các máy cân bằng chuyển động đồng pha nhau, các thanh dẫn dây quấn rôto của chúng có vị trí như nhau so với cực bắc của từ trường stato. Sơ đồ thay thế mạch rôto, vị trí của các cuộn dây rôto và đồ thị vector sức điện động rôto của các máy cân bằng biểu diễn trên hình 6-41.

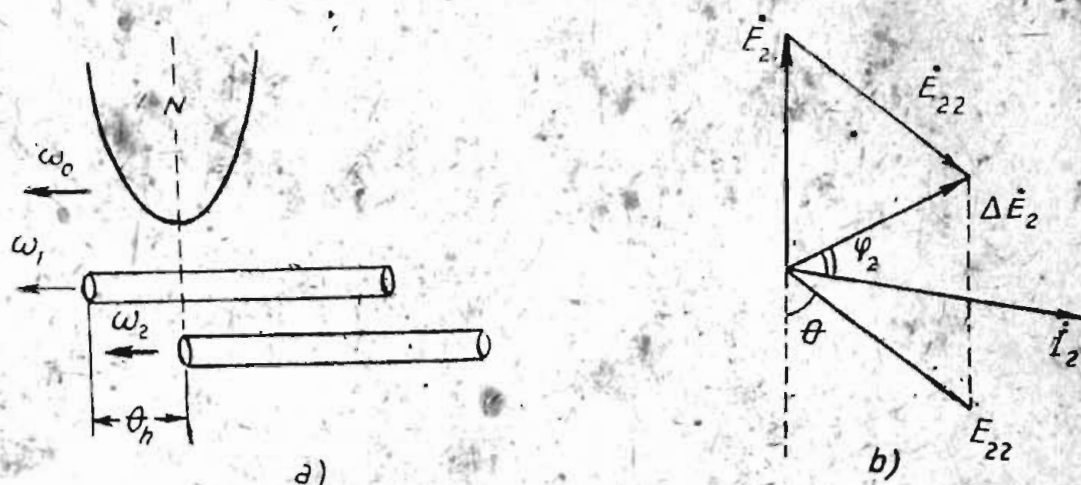
Từ đồ thị vector ta có:

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_{21} + \dot{E}_{22}}{2Z_2} = \frac{\Delta \dot{E}_2}{2Z_2} = 0 \quad (6-55)$$

trong đó $Z_2 = r_2 + jx_{2s}$ - tổng trở một pha rôto của máy cân bằng.

Nghĩa là các máy cân bằng không sinh mômen, toàn bộ phụ tải do các động cơ chính ĐC₁, ĐC₂ khác phục.

Khi mômen phụ tải trên hai trục không bằng nhau, giả sử $M_{c2} > M_{c1}$, rôto của máy cân bằng hai so với từ trường stato sẽ quay chậm hơn rôto của máy cân bằng một góc hình học θ_h như hình 6-42a. Vector SDD rôto của máy cân bằng hai $\vec{E}_{22}$ vượt trước vị trí ban đầu một góc lệch về điện là $\theta = p\theta_h$ (trong đó p là số đôi cực của máy) hình 6-42b.



Hình 6-42. Vị trí các cuộn dây rôto (a) và giản đồ vector SDD rôto (b) của hệ trục điện có máy cân bằng quay thuận từ trường khi $M_{c2} > M_{c1}$.

Kết quả là:

$$\vec{I}_2 = \frac{\vec{E}_{21} + \vec{E}_{22}}{2Z_2} \neq 0$$

Vector $\vec{I}_2$ vượt trước vector $\Delta \vec{E}_2$ một góc φ_2 (hình 6-21b).

Mômen của các máy cân bằng sinh ra tỷ lệ với thành phần tác dụng của $\vec{I}_2$ và được xác định theo biểu thức $M = k_M \Phi I_2 \cos \varphi_2$. Nghĩa là muốn tìm mômen của từng máy ta phải tìm thành phần tác dụng của $\vec{I}_2$ tương ứng. Các thành phần này được xác định bằng cách chiếu vector $\vec{I}_2$ lên các vector sức điện động $\vec{E}_{21}$, $\vec{E}_{22}$.

Tiến hành tương tự như đã làm ở sơ đồ nối tăng máy điện ta được biểu thức mômen của các máy cân bằng:

$$M_{cb1,2} = M_{tn} \frac{1 - \cos \theta + \frac{s}{s_t} \sin \theta}{2} \quad (6-56)$$

Trong đó:

$$M_{tn} = \frac{2M_{tn}}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s}} - \text{mômen của động cơ trên đặc tính tự nhiên.}$$

$$s_{th} = \frac{r_2}{x_2} - \text{độ trượt tới hạn với giả thiết } r_1, x_1 \approx 0.$$

Dấu « - » trong (6-56) tương ứng với máy cân bằng có rôto vượt trước, nghĩa là sức điện động rôto chậm sau (với trường hợp đang xét là MCB₁). Dấu « + » ứng với máy cân bằng có rôto chậm sau (MCB₂).

Mômen cân bằng của hệ là:

$$M_{cb} = M_{cb2} - M_{cb1} = M_{th} \frac{s}{s_{th}} \sin\theta = \frac{2M_{th}}{1 + \left(\frac{s_{th}}{s}\right)^2} \sin\theta \quad (6-57)$$

Từ (6-57) ta thấy rằng mômen cân bằng phụ thuộc vào độ trượt s và phụ tải (góc lệch θ).

Khi hệ thống không quay $s = 1$ (6-57) trở thành:

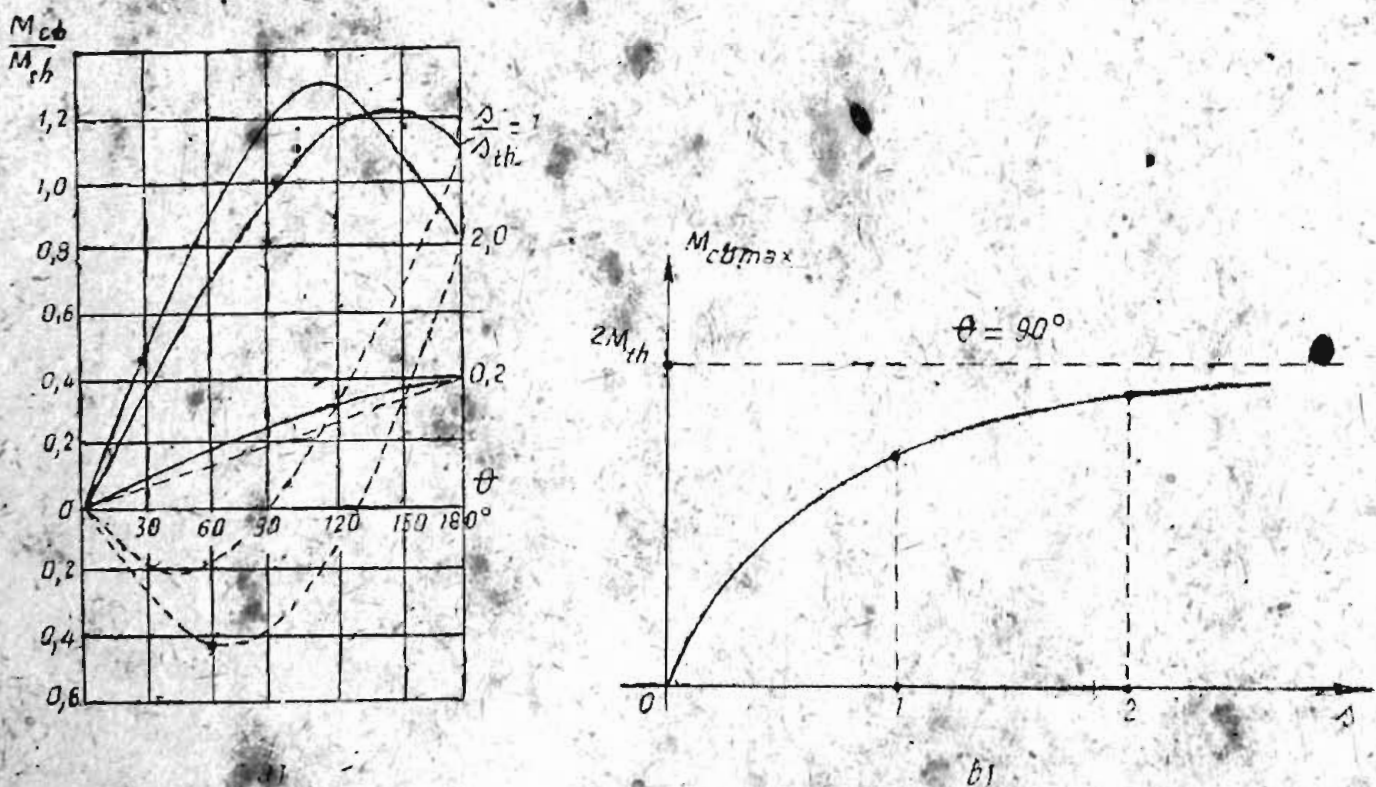
$$M_{cb} = M_{th} \frac{1}{s_{th}} \sin\theta \quad (6-58)$$

Khi $M_{c1} = M_{c2}$; $\theta = 0$; $M_{CB} = 0$.

Khi $\theta = \frac{\pi}{2}$ mômen cân bằng đạt giá trị cực đại:

$$M_{cbmax} = M_{th} \frac{s}{s_{th}} = \frac{2M_{th}}{1 + \left(\frac{s_{th}}{s}\right)^2} \quad (6-59)$$

Dạng của các đường cong $M_{cb1,2}$ và M_{cbmax} phụ thuộc vào góc lệch θ và s biểu diễn trên hình 6-43.



Hình 6-43. Quan hệ giữa các mômen cân bằng với góc lệch θ và độ trượt s (a), và mômen cân bằng cực đại với độ trượt s khi $\theta = 90^\circ$ (b), của hệ trục điện có máy cân bằng quay thuận từ trường.

chương: $\frac{M_{cb2}}{M_{th}} - \frac{M_{cb1}}{M_{th}}$

Góc lệch θ có thể xác định từ (6-57):

$$\sin\theta = \frac{M_{cb2} - M_{cb1}}{M_{1n} \frac{s}{s_{1n}}} \quad (6-60)$$

Như vậy góc lệch θ hoàn toàn xác định khi biết các trị số mômen cản trên các trục và thông số của các máy cân bằng.

Mômen trên trục của các động cơ chỉnh trong trường hợp đang xét là:

$$M_{dc1} \approx M_{c1} + M_{cb1}$$

$$M_{dc2} \approx M_{c2} - M_{cb2}$$

Nghĩa là sự khác nhau giữa M_{c1} và M_{c2} được khắc phục bởi mômen của các máy cân bằng.

Từ hình 6-43a ta thấy rằng hệ làm việc đồng bộ tốt trong khoảng $\theta = 25 - 35^\circ$.

Từ hình 6-13b ta thấy rằng độ trượt s càng nhỏ thì M_{cbmax} càng nhỏ, quá trình điều hòa phụ tải chậm. Vì vậy đối với hệ trục điện loại này ta phải chọn các máy cân bằng có tốc độ đồng bộ cao hơn tốc độ định mức của các động cơ chỉnh để có độ trượt lớn.

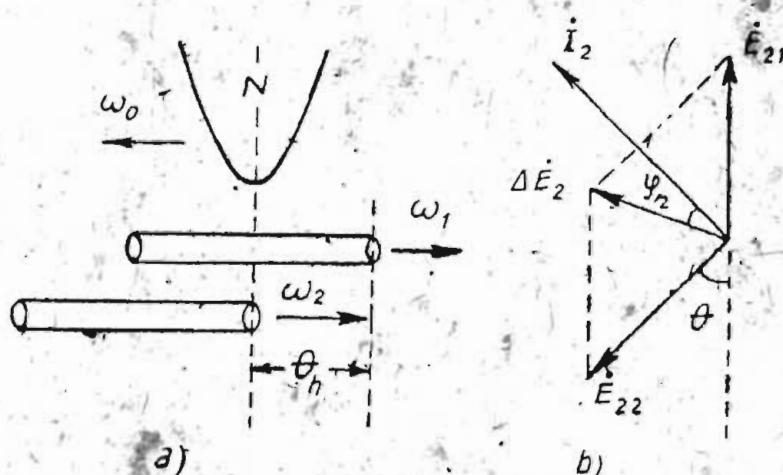
Ví dụ: tốc độ định mức của các động cơ chỉnh là 1000 vg/ph nếu chọn các máy cân bằng có $n_0 = 1500$ vg/ph thì

$$s = \frac{1500 - 1000}{1500} = 0,33$$

Khi tốc độ định mức của các động cơ chỉnh là 750 vg/ph nếu chọn các máy cân bằng có $n_0 = 1500$ vg/ph thì:

$$s = \frac{1500 - 750}{1500} = 0,5$$

Nghĩa là muốn có độ trượt càng lớn thì các máy cân bằng phải có tốc độ đồng bộ càng cao.



Hình 6-44. Vị trí các cuộn dây rôto (a) và giản đồ vector sức điện động (b) của hệ trục điện có máy cân bằng quay ngược từ trường.

Để khắc phục nhược điểm đó người ta thường sử dụng các hệ trục điện có máy cân bằng quay ngược từ trường của stato. Ở những hệ này mặc dù tốc độ làm việc nhỏ nhưng độ trượt luôn luôn lớn hơn 1.

2. Hệ trục điện có máy cân bằng quay ngược từ trường. Lý luận tương tự như hệ trên, khi $M_{c2} > M_{c1}$ rôto của máy cân bằng hai chậm sau vị trí ban đầu một góc θ_h .

(hình 6-44a), sức điện động của nó $\vec{E}_{22}$ chậm sau vị trí ban đầu góc $\theta = p\theta_h$ như hình 6-44b.

Trong trường hợp này hình chiếu của vectơ I_2 xuống các vectơ E_{21} , E_{22} có chiều ngược lại với hệ trên

Vì vậy biểu thức của các mômen cân bằng của hệ này có thể suy ra từ (6-56) bằng cách đổi dấu các đại lượng tương ứng sẽ được:

$$M_{cb_{1,2}} = - M_{th} \frac{1 - \cos\theta \pm \frac{s}{s_{th}} \sin}{2} \quad (6-61)$$

Trong cả hai hệ trục điện vừa xét việc điều hòa phụ tải theo nguyên tắc sau:

Khi trục thứ nhất (trục I) nhẹ tải hơn thì MCB_1 sẽ sinh ra một mômen hãm có tác dụng làm tăng tải của trục I, còn MCB_2 sinh mômen tác dụng cùng chiều với mômen của $ĐC_2$ để khắc phục phụ tải. Kết quả là $ĐC_1$, $ĐC_2$ quay cùng tốc độ, như vậy trạng thái làm việc của các máy điện trong cả hai hệ đều như nhau khi cùng các điều kiện làm việc.

Xét về mặt chuyển vận năng lượng giữa hai hệ có những điểm khác nhau. Khi cùng giả thiết $M_{c2} > M_{c1}$:

Đối với hệ có máy cân bằng quay thuận từ trường máy, MCB_2 sinh mômen dương nên nó tiêu thụ từ lưới một công suất là P_1 , nếu không kể các tổn hao thì một phần P_1 sẽ chuyển thành cơ năng là $P_2 = P_1(1 - s)$ đưa lên trục để giúp $ĐC_2$ khắc phục phụ tải. Phần còn lại là P_1s chuyển sang mạch rôto của MCB_1 . $ĐC_1$ ngoài phần công suất tiêu thụ từ lưới để khắc phục phụ tải là $P_1 \cdot s$, còn sản ra công suất là $P_2 = P_1(1 - s)$ để quay MCB_1 . Lúc này MCB làm việc ở trạng thái máy phát trả công suất tác dụng về lưới. Chiều chuyển vận năng lượng trong trường hợp này được biểu diễn bằng các mũi tên nét liền trên hình 6-40.

Đối với hệ có máy cân bằng quay ngược từ trường MCB_1 sinh ra mômen dương nhưng vì quay ngược từ trường nên nó vẫn làm việc ở trạng thái hãm. Công suất sinh ra từ rôto của MCB_1 sẽ chuyển sang rôto của MCB_2 , sau đó một phần công suất này được đưa lên trục II để giúp $ĐC_2$ khắc phục phụ tải, phần còn lại trả về lưới. Chiều chuyển vận năng lượng được biểu diễn bằng các mũi tên nét đứt trên hình 6-40.

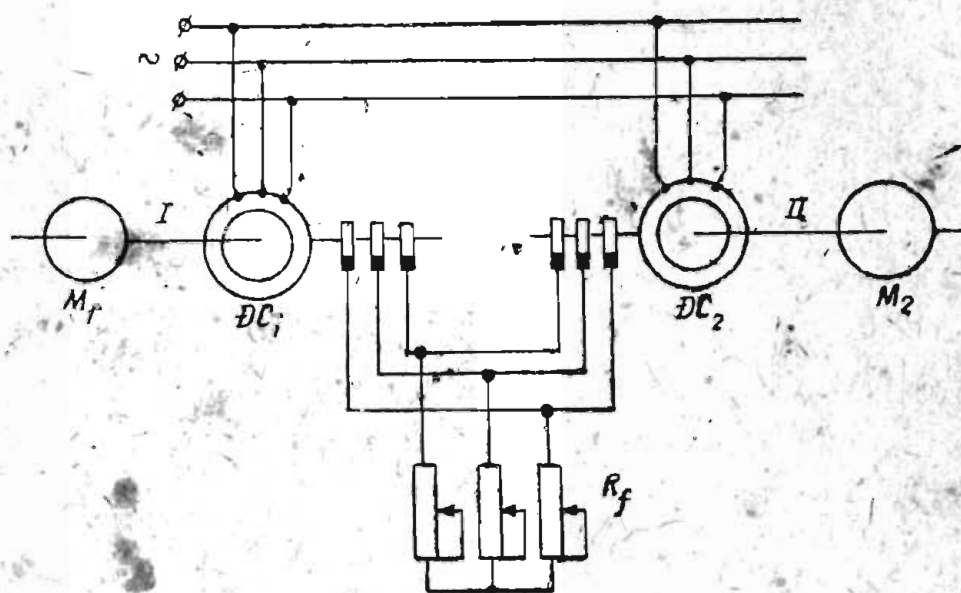
Từ những phân tích trên ta thấy rằng công suất điều hòa trong hệ có máy cân bằng quay ngược từ trường lớn hơn rất nhiều so với hệ có máy cân bằng quay thuận từ trường. Tuy nhiên ở hệ có máy cân bằng quay ngược từ trường vì tần số dòng rôto lớn nên tổn hao thép ở mạch rôto của nó lớn hơn hệ kia.

Trong những hệ trục điện này muốn điều chỉnh tốc độ ta tiến hành điều chỉnh tốc độ các động cơ chính $ĐC_1$, $ĐC_2$ còn các máy cân bằng vẫn đấu như cũ.

3. Hệ trục có biến trở chung. Sơ đồ nguyên lý của hệ này được trình bày trên Hình 6-45.

Trong đó các động cơ chính $ĐC_1$, $ĐC_2$ thực hiện đồng thời hai chức năng: kéo tải và điều hòa phụ tải. Các động cơ này có rôto quay thuận chiều từ trường, mạch rôto của chúng được nối với bộ điện trở phụ R_f chung.

Giả sử các động cơ có đặc tính cơ trùng nhau. Khi $M_{c1} = M_{c2}$, $\theta = 0$, dòng điện chạy trong mạch rôto của chúng có trị số bằng nhau. Dòng điện chạy vào điện trở chung R_f bằng tổng hai dòng đó. Khi có sự chênh lệch phụ tải giữa hai trục I và II, trong mạch rôto của hai động cơ, ngoài dòng điện làm việc chảy vào điện trở chung; còn có dòng điện điều hòa chảy thẳng từ rôto động cơ này sang rôto động cơ kia. Mômen của mỗi động cơ bằng tổng mômen làm việc và mômen điều hòa.



Hình 6-45. Sơ đồ nguyên lý của hệ trục điện có biến trở chung.

Bằng phương pháp phân tích tương tự như các hệ trên ta sẽ được biểu thức mômen của các động cơ DC_1 , DC_2 khi $M_{c1} > M_{c2}$ như sau:

$$M_{dc1} = M_{tb} \left[\frac{1 - \cos\theta - \frac{s}{s_{th}} \sin\theta}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s}} + \frac{1 + \cos\theta + \frac{s}{s_{th}} \sin\theta}{\frac{s}{s'_{th}} + \frac{s'_{th}}{s}} \right] \quad (6-62)$$

$$M_{dc2} = M_{tb} \left[\frac{1 - \cos\theta + \frac{s}{s_{th}} \sin\theta}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s}} + \frac{1 + \cos\theta - \frac{s}{s'_{th}} \sin\theta}{\frac{s}{s'_{th}} + \frac{s'_{th}}{s}} \right] \quad (6-63)$$

Trong các biểu thức trên:

M_{tb} , s_{th} – mômen tới hạn và độ trượt tới hạn của động cơ trên đặc tính tự nhiên với r_1 , $x_1 \approx 0$.

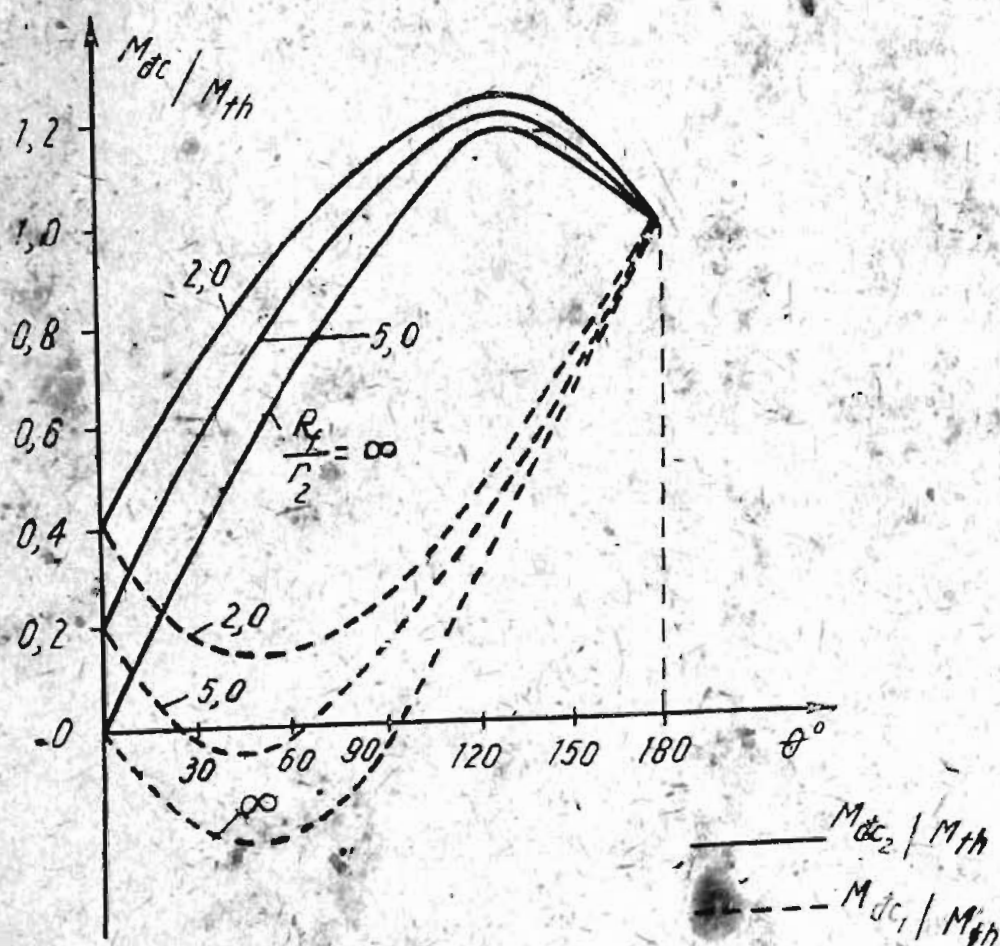
$$s'_{th} = s_{th} \frac{r_2 + 2R_f}{r_2} \quad (6-64)$$

Từ các biểu thức trên ta thấy rằng, khi $M_{c1} = M_{c2}$ $\theta = 0$ ta có :

$$M_{dc1} = M_{dc2} = \frac{-2M_{th}}{\frac{s}{s'_{th}} + \frac{s'_{th}}{s}} \quad (6-65)$$

Khi phụ tải (góc lệch θ) dao động trong một giới hạn xác định thì mômen của động cơ này sẽ lớn hơn mômen của động cơ kia. Ví dụ với $M_{c2} > M_{c1}$ thì :

$$M_{dc2} > M_{dc1}$$



Hình 6-46. Quan hệ giữa mômen của các động cơ chính với góc lệch θ khi $\frac{s}{s_{th}} = 1$ ứng với trị số R_f khác nhau của hệ trục điện có biến trở chung.

Mômen cân bằng của hệ khi $M_{c2} > M_{c1}$ là :

$$M_{cb} = M_{dc2} - M_{dc1} = M_{th} \frac{\frac{s'_{th}}{s_{th}} - \frac{s_{th}}{s'_{th}}}{\frac{s_{th}}{s'_{th}} + \frac{s'_{th}}{s_{th}}} \sin \theta \quad (6-66)$$

Khi $\theta = 0$ và $\theta = 180^\circ$ $M_{cb} = 0$; $M_{dc_1} = M_{dc_2}$, trường hợp $\theta = 180^\circ$ ta có:

$$M_{dc_1} = M_{dc_2} = \frac{2M_{th}}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s}} \quad (6-67)$$

Các động cơ làm việc trên đặc tính tự nhiên ở chế độ động cơ.

Từ những phân tích trên ta thấy rằng mômen của các động cơ chính DC_1 , DC_2 trong hệ này phụ thuộc vào góc lệch θ và điện trở chung R_f .

Quan hệ giữa các mômen này với góc lệch θ khi $\frac{s}{s_{th}} = 1$ ứng với các trị số khác nhau của R_f được biểu diễn trên hình 6-25. Trong đó các đường nét liền là của động cơ thứ hai DC_2 , các đường nét đứt là của DC_1 .

Từ các đường cong hình 6-25 ta thấy rằng khi R_f có trị số lớn, mômen của động cơ cổ rôto vượt trước (DC_1) trở thành âm, động cơ làm việc ở chế độ hãm. Trong trường hợp này hệ chỉ có thể quay đồng bộ khi trên trục của động cơ này có một mômen bên ngoài tác dụng.

Khi điện trở chung có giá trị số nhỏ, DC_1 , DC_2 sẽ làm việc ở trạng thái động cơ và chúng chỉ có thể quay đồng bộ khi phụ tải trên trục như nhau hoặc gần như nhau. Vì vậy hệ này chỉ được sử dụng cho những truyền động cơ phụ tải dao động nhỏ. Mômen cân bằng của hệ phụ thuộc vào điện áp trên vành trượt ở rôto của các động cơ.

Vì vậy để đảm bảo mômen cân bằng có trị số đủ lớn ta phải tăng điện trở chung sao cho độ trượt của động cơ đạt khoảng 25–30%, điều đó gây nên tổn hao lớn trên điện trở chung. Khi điện trở chung nhỏ (độ trượt nhỏ) hệ sẽ làm việc không ổn định và mất tính chất đồng bộ.

4. Hệ thống trục điện có máy biến đổi tần số không đồng bộ và máy hai nguồn cung cấp.

Sơ đồ nguyên lý của hệ thống này như hình 6-47a hoặc 6-47b.

Đặc điểm chung của 2 sơ đồ 6-47a và 6-47b là động cơ hai nguồn cung cấp DC_2 (ở sơ đồ 6-47a) hoặc DC_1 , DC_2 , (sơ đồ 6-47b) quay cùng tốc độ với máy biến tần không đồng bộ BT.

Sự khác nhau giữa sơ đồ 6-47a và 6-47b là:

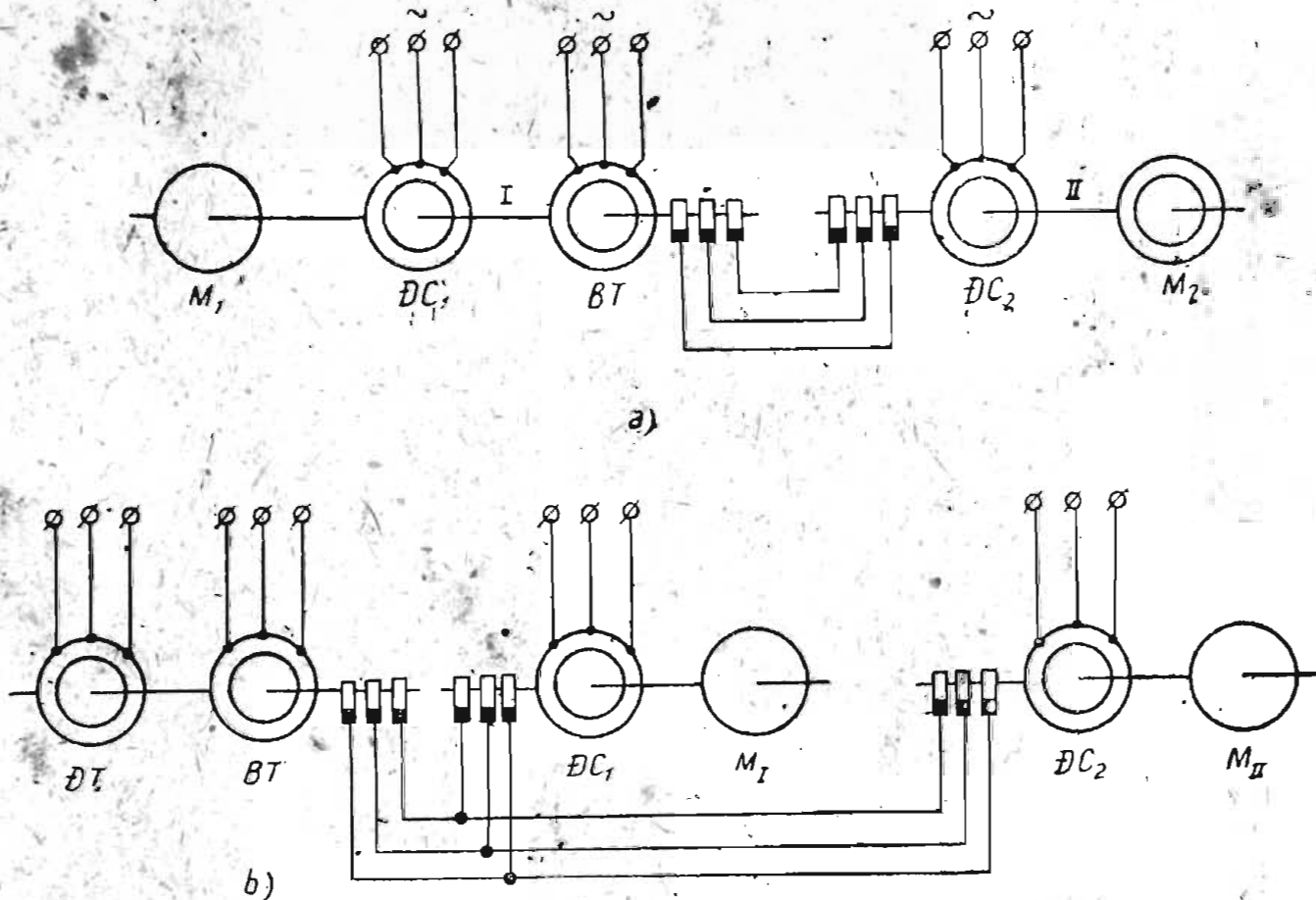
- Sơ đồ 6-47a nhóm máy biến tần gồm DC_1 và BT nối cứng trục với máy phụ tải M_1 còn động cơ hai nguồn cung cấp DC_1 truyền động máy sản xuất M_2 .
- Sơ đồ 6-47b nhóm máy biến tần gồm máy biến tần BT và động cơ truyền động BT được đặt riêng, còn động cơ hai nguồn cung cấp DC_1 truyền động máy sản xuất M_1 , động cơ hai nguồn cung cấp DC_2 truyền động máy sản xuất M_2 .

Cả hai mạch hình 6-47a và 6-47b đều có liên hệ về điện với nhau ở mạch rôto để đảm bảo các máy quay đồng bộ.

Thiếu sót của hệ thống trục điện có biến trở chung là hệ thống chỉ có khả năng quay đồng bộ khi quay thuận chiều từ trường, còn trong hệ thống

trục điện có máy biến đổi tần số không đồng bộ và máy hai nguồn cung cấp cũng giống như hệ thống trục điện có máy cân bằng, có thể sử dụng máy quay ngược từ trường.

Đối với mạch hình 6-17a máy sản xuất M_1 được quay bởi động cơ công tác ĐC_1 nối cứng trục với máy biến đổi tần số không đồng bộ BT nên chúng quay cùng tốc độ, còn máy sản xuất M_2 được quay bởi động cơ hai nguồn cung cấp ĐC_2 , động cơ ĐC_2 quay đồng bộ với máy biến đổi tần số BT và động cơ ĐC_1 .



Hình 6-47. Hệ số trục điện có máy biến tần và máy 2 nguồn cùng cấp (a).

Hệ thống trục điện có máy biến tần và máy hai, nguồn cùng cấp (b).

Tốc độ quay của hệ thống được xác định bởi đặc tính cơ của động cơ ĐC_1 , nên ĐC_1 được gọi là « động cơ dẫn đầu ».

Khi trên trục của máy sản xuất M_2 (trục II) có mômen cản tĩnh là M_{c2} thì rôto của động cơ ĐC_2 sẽ chậm sau rôto của máy biến đổi tần số BT một góc là θ_2 .

Nếu động cơ ĐC_2 và máy biến đổi tần số BT có các tham số hoàn toàn như nhau ta sẽ có:

$$M_{c2} = M_{1n} \frac{(1 - \cos\theta_2) + \frac{s}{s_{th}} \sin\theta_2}{2} \quad (6-68)$$

Từ biểu thức (6-68) nếu bỏ qua thành phần $(1 - \cos\theta_2)$ ta sẽ có:

$$\sin\theta_2 = \frac{2M_{c2}}{M_{1n}} \cdot \frac{s_{th}}{s} \quad (6-69)$$

Trong trường hợp này một cách gần đúng có thể xác định mômen hãm của máy biến đổi tần số theo biểu thức:

$$M_{bt} = M_{1n} \frac{s \cdot \sin \theta_2}{2s_{th}} \quad (6-70)$$

Từ (6-70) ta thấy trị số biên độ của M_{bt} bằng trị số biên độ của M_{c_2} .

Mômen phụ tải trên trục của động cơ ĐC₁ được xác định bằng tổng mômen cản tĩnh trên máy sản xuất M_1 là M_{c_1} và mômen của máy biến đổi tần số với dấu âm $-M_{BT}$, tức là bằng tổng mômen của hai trục.

$$M_1 \approx M_{c_1} + M_{c_2} \quad (6-71)$$

Vi vậy mômen và công suất của động cơ ĐC₁ bằng mômen và công suất của hệ thống phụ tải.

Trong mạch hình 6-47b «động cơ dẫn đầu» ĐT chỉ truyền động một mình máy biến đổi tần số BT, còn các máy phụ tải được truyền động bởi các động cơ ĐC₁, ĐC₂, các động cơ này quay đồng bộ với máy biến đổi tần số và động cơ ĐT.

Góc θ_{12} là góc lệch về vị trí (hình học) giữa rôto của ĐC₁ và ĐC₂ được xác định:

$$\theta_{12} = \theta_1 - \theta_2; \quad (6-72)$$

Ở đây θ_1 và θ_2 là góc lệch về vị trí (hình học) giữa rôto của ĐC₁ và ĐC₂ với rôto của máy biến đổi tần số.

Từ các biểu thức trên ta thấy góc lệch về vị trí các máy sản xuất ở mạch hình 6-47b nhỏ hơn so với hình 6-47a với các trị số phụ tải như nhau.

Khi $M_{c_1} = M_{c_2}$ ở mạch hình 6-47b, $\theta_{12} = 0$ còn ở mạch hình 6-47a, θ_2 khác không và được xác định bởi biểu thức 6-69. Đó là điểm ưu việt cơ bản của mạch hình 6-47b so với mạch hình 6-47a. Nhưng ở mạch hình 6-47b phải sử dụng 2 động cơ hai nguồn cung cấp nên phải tăng công suất của máy biến đổi tần số.

CHƯƠNG VII

ỒN ĐỊNH TỐC ĐỘ LÀM VIỆC CỦA TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

7-1 KHÁI NIỆM CHUNG

Rất nhiều máy sản xuất có yêu cầu ổn định tốc độ làm việc. Yêu cầu đó là cần thiết để nâng cao chất lượng sản phẩm được gia công trên máy, nâng cao chất lượng kỹ thuật của một quy trình công nghệ mà máy sản xuất tham gia hoặc nâng cao năng suất của máy. Ví dụ độ ổn định tốc độ của truyền động ăn dao trên máy điện quyết định độ bóng của bề mặt gia công; độ ổn định tốc độ của các trục máy xeo giấy quyết định độ đều dày mỏng của tờ giấy; độ ổn định tốc độ của truyền động nâng gầu máy xúc quyết định năng suất của máy, v.v...

Mặt khác, như đã nêu trong chương 3, độ ổn định tốc độ còn ảnh hưởng quan trọng đến giải điều chỉnh tốc độ và khả năng quá tải của truyền động. Độ ổn định tốc độ càng cao thì giải điều chỉnh càng có khả năng mở rộng và mômen quá tải càng lớn.

Vì những lý do nêu trên, truyền động điện hiện đại thường yêu cầu độ ổn định tốc độ cao. Nhưng, như đã phân tích trong chương 2, đặc tính tự nhiên của các loại động cơ thường gặp đều có độ cứng không đủ lớn, đặc biệt là khi điều chỉnh tốc độ dưới cơ bản, độ cứng giảm xuống hoặc tốc độ không tải lý tưởng giảm xuống làm cho sai số tốc độ tăng đến mức không chấp nhận được. Bởi vậy một trong những yêu cầu quan trọng khi thiết kế hệ thống là tìm những phương pháp ổn định hóa tốc độ.

Ổn định hóa là một khái niệm rộng. Ở đây ta khảo sát tác động ổn định hóa của truyền động điện khi tải của nó biến đổi. Vì sai số tĩnh của tốc độ, hoặc độ chính xác duy trì tốc độ đặt, phụ thuộc độ cứng của đặc tính cơ, nên biện pháp chủ yếu dùng để ổn định hóa tốc độ là làm tăng độ cứng đặc tính cơ. Muốn vậy thông số điều chỉnh phải thay đổi tự động theo giá trị phụ tải, sao cho đủ khả năng bù trừ lượng sụt tốc do tải gây ra.

Với mục đích đó người ta sử dụng các mạch hồi tiếp để thiết lập các hệ truyền động tự động vòng kín. Sơ đồ cấu trúc tổng quát của nó được vẽ trên hình 7-1. Bộ điều chỉnh Đch là tổ hợp của các phần tử trong hệ có chức năng biến đổi thông số điều chỉnh $x_{đch}$, ví dụ máy phát trong hệ F-Đ, bộ biến tần trong hệ BT — Đ. Thông số điều chỉnh $x_{đch}$ là đại lượng gây biến dạng đường

đặc tính của động cơ, chẳng hạn E_b trong các hệ BD-D, điện trở phụ R_x trong hệ điều chỉnh xung điện trở phản ứng động cơ.

Từ sơ đồ hình 7-1 ta thấy thông số điều chỉnh được thay đổi chính là nhờ lượng hồi tiếp x_h lấy từ phía đầu ra của hệ thống. Một hệ thống truyền động tự động có thể có nhiều mạch hồi tiếp, trong đó, ít nhất phải có một mạch nối từ đầu ra đến đầu vào của hệ.



Hình 7-1. Sơ đồ cấu trúc của hệ truyền động tự động.

Để khảo sát quy luật biến thiên của tốc độ, trước hết ta xét quy luật biến đổi của thông số điều chỉnh x_{dch} .

7-2. NGUYÊN LÝ ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG TRONG CÁC HỆ BD-D

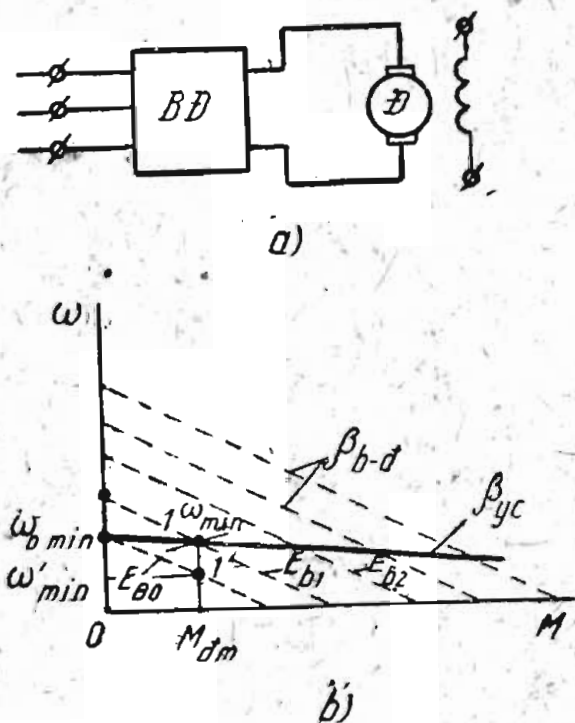
Các hệ biến đổi - động cơ (BD-D) tác động theo nguyên tắc thay đổi thông số nguồn của động cơ, ví dụ thay đổi điện áp trên phần ứng của động cơ một chiều, hoặc thay đổi tần số của động cơ xoay chiều. Khi đó, tốc độ làm việc của động cơ được điều chỉnh nhờ thay đổi tốc độ không tải lý tưởng ω_0 , còn độ cứng đặc tính cơ được giữ không đổi. Sơ đồ nguyên lý tổng quát của các hệ này được trình bày trên hình 7-2a, còn các đặc tính cơ là những đường nét đứt trên hình 7-2b. Giả sử các đặc tính của hệ có độ cứng là β và khi điều chỉnh sâu đến tốc độ ω'_{min} , sai số tĩnh vượt quá giá trị cho phép:

$$s = \frac{\omega_{0min} - \omega'_{min}}{\omega_{0min}} > s_{cp}$$

Khi đó, ta phải tìm biện pháp ổn định hóa tốc độ, nghĩa là phải điều khiển E_b sao cho khi tải tăng, E_b tăng theo để bù lượng sụt tốc. Nếu khi không tải S.Đ.D. của bộ biến đổi là E_{b0} tương ứng với tốc độ động cơ là ω_{0min} , thì khi tải bằng M_{dm} S.Đ.D. của bộ biến đổi phải tăng lên E_{b1} . Nhờ đó, điểm làm việc của hệ không phải là 1 mà là điểm 1 tương ứng với tốc độ ω_{min} . Mức độ biến đổi của E_b phải đủ bảo đảm cho

$$\frac{\omega_{0min} - \omega_{min}}{\omega_{0min}} = s_{cp} \quad (7-1)$$

Hình 7-2. Sơ đồ nguyên lý (a) và các đặc tính cơ của hệ BD-D (b).



Nối điểm $\omega_{\min}$ với điểm 1 ta được đặc tính mong muốn (đường nét đậm trên hình 7-2b). Phương trình của đường này là

$$\omega = \omega_0 - \frac{M}{\beta_m} \quad (7-2)$$

trong đó β_m — độ cứng mong muốn. Nó được xác định theo sai số cho phép nhờ biểu thức (4-6):

$$\left. \begin{aligned} \beta_m^* &= \frac{D(1-s_{cp})}{s_{cp}} + 1 \\ \text{hoặc} \quad \beta_m &= \frac{M_{dm}}{\omega_{0, dm}} \left[\frac{D(1-s_{cp})}{s_{cp}} + 1 \right] \end{aligned} \right\} \quad (7-3)$$

Giao điểm của đặc tính mong muốn với họ đặc tính cơ của hệ hở cho ta biết những giá trị E_b cần thiết ứng với các giá trị phụ tải của truyền động. Để có được những giá trị E_b đó ta có thể điều khiển hệ thống theo ba phương pháp:

1. Điều khiển E_b theo dòng phản ứng. Để thực hiện phương pháp điều khiển E_b theo dòng phản ứng của động cơ, ta tìm quan hệ $E_b = f(I_r)$. Ta đã biết tốc độ của động cơ trong hệ BĐ được xác định theo phương trình đặc tính (của hệ hở):

$$\omega = \frac{E_b}{k\Phi_{dm}} - \frac{M}{\beta} \quad (7-4)$$

Tại giao điểm của đặc tính này với đặc tính mong muốn tốc độ và mô-men trên hai đặc tính đều bằng nhau. Cân bằng hai phương trình (7-2) và (7-4) ta được:

$$\left. \begin{aligned} \frac{E_b}{k\Phi_{dm}} - \frac{M}{\beta} &= \omega_0 - \frac{M}{\beta_m} \\ \text{hoặc} \quad E_b &= k\Phi_{dm} \left[\omega_0 + \left(\frac{1}{\beta} - \frac{1}{\beta_m} \right) M \right] \end{aligned} \right\} \quad (7-5)$$

Thay $k\Phi_{dm}\omega_0 = E_{b0}$ — giá trị đặt của S.D.Đ. hệ biến đổi ứng với khi không tải lý tưởng;

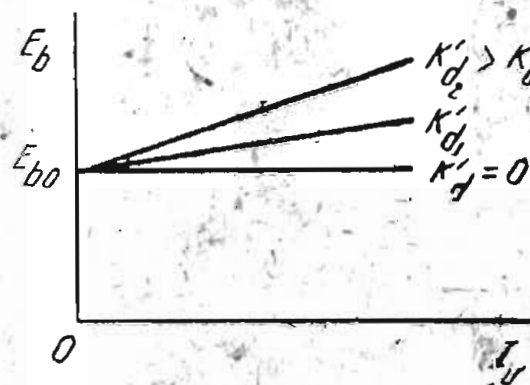
$$M = k\Phi_{dm}I_r;$$

$$(k\Phi_{dm})^2 \left(\frac{1}{\beta} - \frac{1}{\beta_m} \right) = k_d' \quad (7-6)$$

ta được:

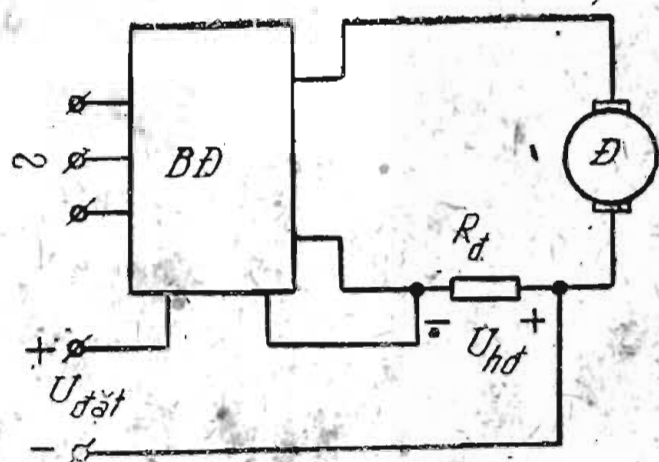
$$E_b = E_{b0} + k_d' I_r. \quad (7-7)$$

Như vậy, để có đặc tính cơ mong muốn, ta cần điều chỉnh giá trị E_b theo hàm tăng tuyến tính với dòng điện phản ứng. Quan hệ này được biểu diễn trên hình 7-3 bằng những đường thẳng ứng với các giá trị k_d' khác nhau. Hệ số góc của chúng được xác định theo (7-6), nghĩa là phụ thuộc vào thông số của hệ hở (β) và độ cứng của đặc tính mong muốn (β_m).



Hình 7-3. Quan hệ $E_b = f(I_r)$ ứng với các giá trị k_d' khác nhau.

Để thực hiện nguyên lý điều khiển này ta sử dụng mạch hồi tiếp dương theo dòng điện phản ứng, nghĩa là lấy một tín hiệu tỷ lệ với I_r



Hình 7-4. Sơ đồ nguyên lý của hệ BD-D tự động vòng kín dùng hồi tiếp dương.

đưa về đầu vào của bộ biến đổi, và cho tác dụng cùng chiều với tín hiệu đặt. Thông thường, tín hiệu hồi tiếp được lấy trên một điện trở đo R_{d0} nối trong mạch phản ứng. Sơ đồ nguyên lý của hệ lúc này có dạng như trên hình 7-4.

Nếu bộ biến đổi là phân tử tuyến tính có hệ số khuếch đại điện áp là k_b thì:

$$E_b = k_b (U_{dặt} + k_d I_r) \quad (7-8)$$

trong đó: $k_d = R_{d0} = U_{hd}/I_r$ - hệ số hồi tiếp dòng.

$U_{dặt}$ - điện áp đặt, tương ứng với cấp tốc độ đã cho.

So sánh (7-8) với (7-7) ta thấy

$$E_{b0} = k_b U_{dặt}; k'_d = k_b k_d \quad (7-9)$$

2. Điều khiển E_b theo điện áp phản ứng.

SDD của bộ biến đổi, điện áp trên phản ứng và dòng điện phản ứng của động cơ trong hệ BD-D có liên quan với nhau theo phương trình cân bằng điện áp:

$$E_b = U + R_b I_r$$

Nếu thay $R_b = R - R_r$ (xem sơ đồ hình 4-1) ta được:

$$I_r = \frac{E_b - U}{R - R_r} = \frac{(E_b - U)}{\frac{1}{\beta} - \frac{1}{\beta_{tn}}} \cdot \frac{1}{(k\Phi_{dm})^2} \quad (7-10)$$

trong đó $\beta = (k\Phi_{dm})^2/R$ - độ cứng đặc tính cơ của hệ BD-D khi không có hồi tiếp (hệ hở); $\beta_{tn} = (k\Phi_{dm})^2/R_r$ - độ cứng đặc tính cơ tự nhiên của động cơ.

Thay (7.10) vào (7-7) ta có:

$$E_b = E_{b0} + \frac{k'_d}{(k\Phi_{dm})^2} \left(\frac{E_b - U}{\frac{1}{\beta} - \frac{1}{\beta_{tn}}} \right)$$

Thay k_d bằng biểu thức (7-6) và đặt

$$\frac{\frac{1}{\beta} - \frac{1}{\beta_{tn}}}{\frac{1}{\beta} - \frac{1}{\beta_{tn}}} = b \quad (7-11)$$

ta được:

$$E_b = E_{b0} + k_b U \quad (7-12)$$

trong đó

$$E'_{bo} = E_{bo} \cdot \frac{1}{1-b} = E_{bo} \cdot \frac{\beta_m(\beta_{tn} - \beta)}{\beta(\beta_m - \beta_{tn})} \quad (7-13)$$

$$k'_2 = \frac{b}{1-b} = \frac{\beta_{tn}(\beta_m - \beta)}{\beta(\beta_m - \beta_{tn})} \quad (7-14)$$

Như vậy, để có đặc tính cơ mong muốn ta phải điều khiển giá trị S.Đ.Đ của bộ biến đổi theo hàm bậc nhất của điện áp phản ứng động cơ. Biểu thức (7-14) được minh họa bằng hình 7-6.

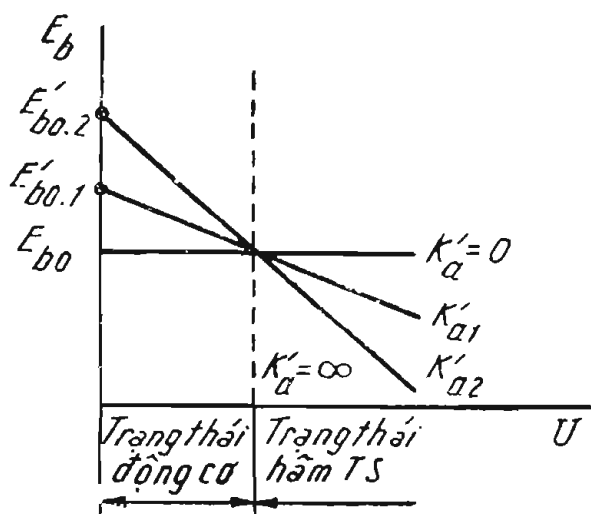
Để thực hiện quy luật điều khiển trên đây, ta dùng mạch hồi tiếp âm theo điện áp phản ứng với sơ đồ nguyên lý tổng quát hình 7-6. Tín hiệu hồi tiếp tỷ lệ với U , được lấy nhờ chiết áp R_{ca} và cho tác dụng ngược chiều với tín hiệu đặt. Từ sơ đồ này ta có thể viết:

$$E_b = k_b(U_{đặt} - k_a U) \quad (7-15)$$

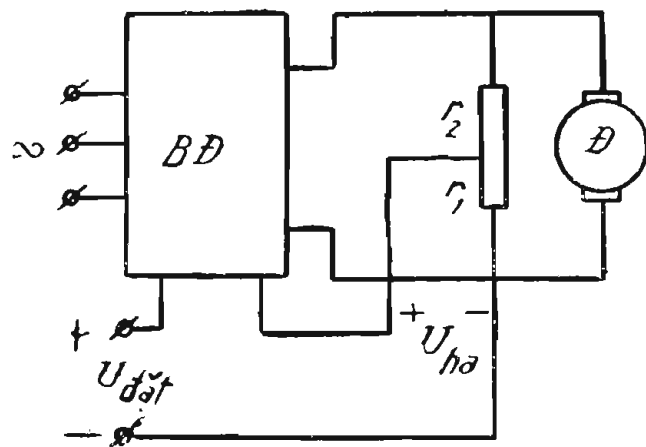
trong đó, $k_a = r_1/(r_2 + r_1) = U_{ha}/U$ — hệ số hồi tiếp áp.

So sánh (7-17) với (7-14) ta có:

$$E'_{bo} = k_b \cdot U_{đặt}; k'_2 = k_b k_a \quad (7-16)$$



Hình 7-5. Quan hệ $E_b = f(U)$ ứng với các giá trị k'_a khác nhau.



Hình 7-6. Sơ đồ nguyên lý của hệ BĐ-Đ tự động vòng kín dùng hồi tiếp âm áp.

3. Điều khiển E_b theo tốc độ động cơ.

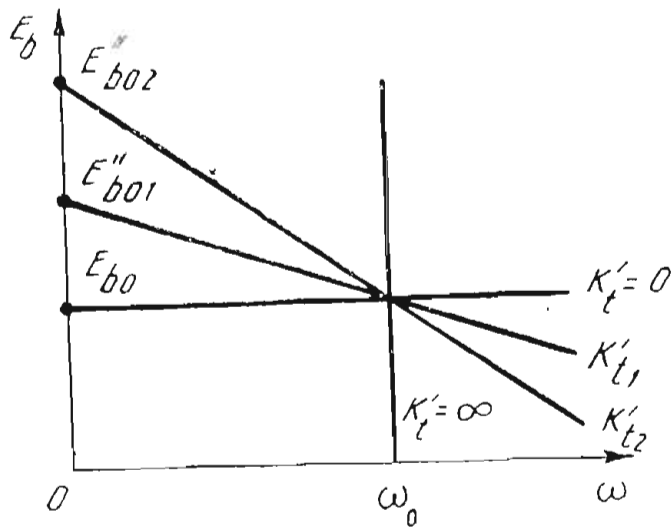
Để tạo đặc tính mong muốn ta cũng có thể điều khiển E_b theo hàm của tốc độ động cơ. Thực vậy, từ biểu thức 7-7, nếu thay I_u bằng:

$$I_u = \frac{E_b - k\Phi_{dm}\omega}{R}$$

ta được:

$$E_b = \frac{E_{bo}}{1 - k_d/R} - \frac{k_d k \Phi_{dm}}{R(1 - k_d/R)} \cdot \omega.$$

Thay giá trị của k_d theo (7-6) và đặt $(k\Phi_{dm})^2/R = \beta$ ta có



Hình 7-7. Quan hệ $E_b = f(\omega)$ ứng với các giá trị k'_t khác nhau.

$$E_b = \frac{\beta_m}{\beta} E_{b0} - \left(\frac{\beta_m}{\beta} - 1 \right) k\Phi_{dm} \cdot \omega$$

hoặc

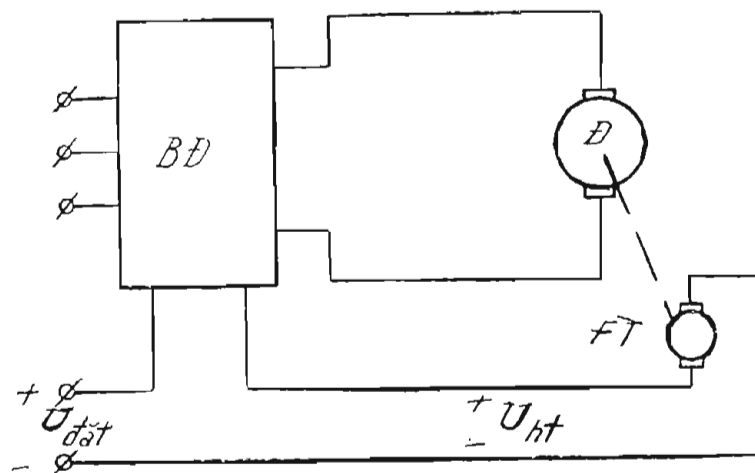
$$E_b = E''_{b0} - k'_t \omega \quad (7-17)$$

trong đó:

$$E''_{b0} = \frac{\beta_m}{\beta} E_{b0}; \quad (7-18)$$

$$k'_t = \left(\frac{\beta_m}{\beta} - 1 \right) k\Phi_{dm} \quad (7-19)$$

Như vậy, S.Đ.Đ của bộ biến đổi cần được điều khiển theo hàm bậc nhất suy giảm của tốc độ. Quan hệ $E_b = f(\omega)$ theo (7-17) được biểu diễn trên hình 7-7 ứng với những giá trị k'_t khác nhau.



Hình 7-8. Sơ đồ nguyên lý của hệ BĐ-Đ tự động vòng kín dùng hồi tiếp âm tốc độ.

Để thực hiện phương pháp điều khiển này, người ta dùng mạch hồi tiếp âm tốc độ. Tín hiệu hồi tiếp U_{ht} tỷ lệ với tốc độ động cơ được lấy từ bộ cảm biến, ví dụ từ máy phát tốc và cho tác dụng ngược chiều tín hiệu đặt (hình 7-8). Từ sơ đồ này ta có thể viết:

$$E_b = k_b(U_{đặt} - k_t\omega) \quad (7-20)$$

trong đó, $k_t = U_{ht}/\omega$ — hệ số hồi tiếp tốc độ.

So sánh (7-20) với (7-17) ta thấy:

$$E''_{b0} = k_b U_{đặt}; \quad k'_t = k_b k_t \quad (7-21)$$

7-3. ĐẶC TÍNH CƠ CỦA HỆ BĐ-Đ TỰ ĐỘNG VÒNG KÍN

Để ổn định hóa tốc độ của động cơ trong hệ BĐ-Đ người ta có thể dùng hồi tiếp âm theo tốc độ động cơ, hồi tiếp âm theo điện áp phản ứng động cơ, hồi tiếp dương theo dòng phản ứng hoặc hồi tiếp hỗn hợp theo áp và dòng. Sau đây ta phân tích dạng đặc tính cơ của hệ khi dùng những mạch hồi tiếp kể trên.

1. Hệ có hồi tiếp dương dòng. Từ sơ đồ nguyên lý hình 7-1 ta viết được hệ phương trình:

$$\left. \begin{aligned} U_{dk} &= U_{đat} + k_d I_r \\ E_b &= k_b U_{dk} \\ E &= \frac{\omega}{c_d} = E_b - I_r R \\ I_r &= C_d M; \end{aligned} \right\} \quad (7-22)$$

trong đó, U_{dk} — điện áp trên đầu vào của bộ biến đổi; $C_d = \frac{1}{k\Phi_{dm}}$ — hệ số khuếch đại của động cơ.

Giải hệ phương trình trên theo ω , ta được phương trình đặc tính cơ:

$$\omega = c_d k_b U_{đat} - c_d^2 (R - k_b k_d) M \quad (7-23a)$$

hoặc

$$\omega = \frac{k_b U_{đat}}{k\Phi_{dm}} - \left[\frac{1}{\beta} - \frac{k_b k_d}{(k\Phi_{dm})^2} \right] M \quad (7-23b)$$

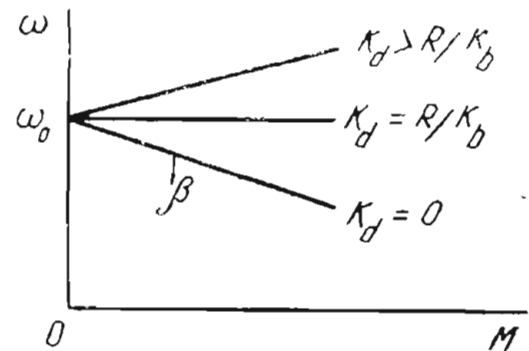
trong đó $\beta = \frac{1}{Rc_d^2}$ — độ cứng đặc tính cơ của hệ hở.

Như vậy, đặc tính cơ của hệ là đường thẳng dạng $\omega = \omega_{o,d} - \frac{1}{\beta_d} M$, trong đó tốc độ không tải lý tưởng là

$$\omega_{o,d} = k_b c_d U_{đat} \quad (7-24)$$

và độ cứng

$$\beta_d = \frac{1}{c_d^2 (R - k_b k_d)} = \frac{\beta (k\Phi_{dm})^2}{(k\Phi_{dm})^2 - k_b k_d \beta} \quad (7-25)$$



Hình 7-9. Đặc tính cơ của hệ BĐ-Đ khi dùng hồi tiếp dương dòng.

Hai biểu thức trên cho thấy rằng, hệ số hồi tiếp dương dòng không ảnh hưởng đến tốc độ không tải lý tưởng, mà có ảnh hưởng mạnh mẽ đến độ cứng đặc tính cơ. Nếu cho $k_d = 0$ thì $\beta_d = \beta$; cho $k_d = R/k_b$ thì $\beta_d = \infty$, và nếu cho $k_d > R/k_b$ thì $\beta_d > 0$. Dạng các đặc tính cơ được biểu diễn trên hình 7-9 ứng với những giá trị k_d khác nhau.

Muốn hệ thống thỏa mãn điều kiện ổn định hóa tốc độ, các thông số phải chọn sao cho:

$$\beta_{kin} \geq \beta_m \quad (7-26)$$

Thay $\beta_{kin} = \beta_d$ lấy từ (7-25) ta được:

$$k_b k_d \geq R - \frac{1}{c_d^2 \beta_m} \quad (7-27a)$$

hoặc

$$k_b \geq \frac{1}{k_d c_d^2} \left(\frac{1}{\beta} - \frac{1}{\beta_m} \right) \quad (7-27b)$$

Khi đã chọn trước giá trị của hệ số hồi tiếp k_d , nếu bộ biến đổi có hệ số khuếch đại không đạt yêu cầu trên, ta phải sử dụng thêm bộ khuếch đại trung gian.

2. Hệ có hồi tiếp âm áp. Từ sơ đồ nguyên lý hình 7-6 ta có:

$$\left. \begin{aligned} U_{dk} &= U_{đặt} - k_a U \\ U &= E_b - I_r R_b \\ E_b &= k_b U_{dk}; \\ E &= \omega C_d = E_b - I_r R \\ I_r &= C_d M \end{aligned} \right\} \quad (7-28)$$

Giải hệ phương trình trên theo ω ta có:

$$\omega = \frac{C_d k_b U_{đặt}}{1 + k_a k_b} - \frac{C_d^2 (R + R_r k_a k_b)}{1 + k_a k_b} M \quad (7-29)$$

Như vậy, đặc tính cơ của hệ có hồi tiếp âm áp cũng là đường thẳng. Tốc độ không tải lý tưởng của nó

$$\omega_{o.a} = \frac{C_d k_b U_{đặt}}{1 + k_a k_b} \quad (7-30)$$

không những phụ thuộc điện áp đặt, mà còn phụ thuộc hệ số hồi tiếp: k_a càng lớn, nghĩa là hồi tiếp càng mạnh, thì $\omega_{o.a}$ càng giảm. Nguyên nhân của hiện tượng trên là sự giảm hệ số khuếch đại toàn hệ do tác dụng của hồi tiếp âm.

Độ cứng của đặc tính cơ được rút ra từ (7-29):

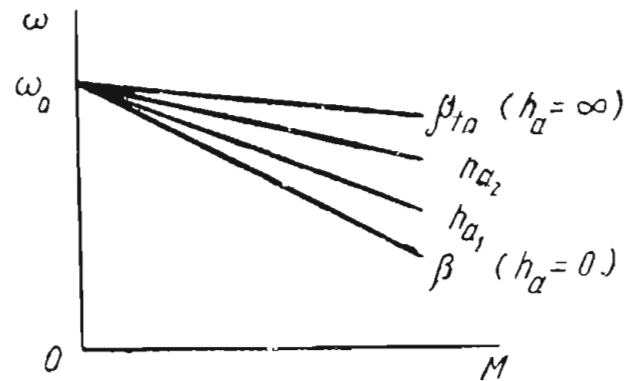
$$\beta_a = \frac{1 + k_a k_b}{C_d^2 (R + R_r k_a k_b)} = \frac{1 + k_a k_b}{\frac{1}{\beta} + \frac{1}{\beta_{tn}} k_a k_b} \quad (7-31)$$

Nó phụ thuộc hệ số hồi tiếp. Khi cho k_a biến đổi từ $0 - \infty$, β_a sẽ thay đổi từ $\beta = 1/R C_d^2$ đến $\beta_{tn} = 1/R_r C_d^2$. Như vậy, dùng hồi tiếp âm theo điện áp phản ứng ta chỉ có thể tăng độ cứng tối đa bằng độ cứng của đặc tính tự nhiên. Các đặc tính của hệ được trình bày trên hình 7-10.

Hệ số khuếch đại yêu cầu của bộ biến đổi được xác định nhờ (7-26) bằng cách thay β_{kin} bởi (7-31):

$$k_b \geq \frac{1}{k_a} \left(\frac{\frac{\beta_m}{\beta} - 1}{1 - \frac{\beta_m}{\beta_{tn}}} \right) \quad (7-32)$$

Chú ý rằng, biểu thức (7-32) chỉ có ý nghĩa khi $\beta < \beta_m < \beta_{in}$. Khi $\beta_m < \beta$ thì $k_b < 0$; điều đó có nghĩa là không cần thiết dùng hồi tiếp. Nếu $\beta > \beta_{in}$ thì k_b cũng âm, điều đó có nghĩa là hệ dùng hồi tiếp âm áp không có khả năng đảm bảo độ ổn định yêu cầu.



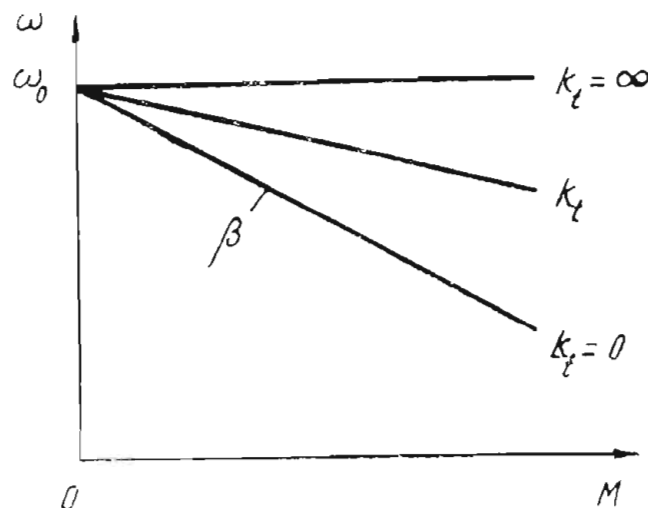
Hình 7-10. Các đặc tính cơ của hệ BD-D khi dùng hồi tiếp âm theo điện áp phản ứng.

3. Hệ có hồi tiếp âm tốc độ. Từ sơ đồ nguyên lý hình 7-8 ta viết được hệ phương trình:

$$\left. \begin{aligned} U_{dk} &= U_{đat} - k_t \omega \\ E_b &= k_b U_{dk} \\ E &= \frac{\omega}{C_d} = E_b - I_r R \\ I_r &= C_d M \end{aligned} \right\} \quad (7-33)$$

Từ (7-33) ta rút ra phương trình đặc tính cơ của hệ dùng hồi tiếp âm theo tốc độ động cơ:

$$\omega = \frac{C_d k_b U_{đat}}{1 + k_t C_d k_b} = \frac{R C_d^2}{1 + k_t C_d k_b} M \quad (7-34)$$



Hình 7-11. Các đặc tính cơ của hệ BD-D khi dùng hồi tiếp âm theo tốc độ động cơ.

Quan hệ (7-34) được biểu diễn bằng các đường thẳng trên hình 7-11. Tương tự như khi dùng hồi tiếp âm áp, tốc độ không tải lý tưởng trong trường hợp này cũng phụ thuộc hệ số hồi tiếp k_t :

$$\omega_{0,t} = \frac{C_d k_b U_{d\dot{a}t}}{1 + k_t C_d k_b} \quad (7-35)$$

Độ cứng của đặc tính cơ phụ thuộc k_t theo biểu thức:

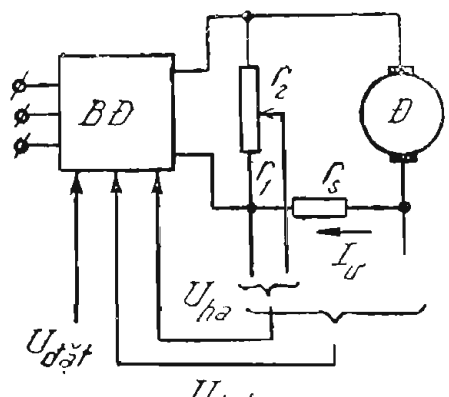
$$\beta_t = \frac{1 + k_t C_d k_b}{R C_d^2} = \beta(1 + k_t C_d k_b) \quad (7-36)$$

Khi cho k_t thay đổi từ $0 \rightarrow \infty$, độ cứng β_t sẽ biến đổi từ β đến ∞ .

Từ (7-26) và (7-36) ta rút ra biểu thức xác định hệ số khuếch đại yêu cầu của bộ biên đổi:

$$k_b \geq \frac{\frac{\beta_m}{\beta} - 1}{k_t C_d} \quad (7-37)$$

4. Hệ dùng hồi tiếp hỗn hợp. Hồi tiếp hỗn hợp bao gồm mạch hồi tiếp dương dòng và mạch hồi tiếp âm điện áp động cơ. Sơ đồ nguyên lý của hệ trong trường hợp này được trình bày trên hình 7-12. Hệ phương trình xuất phát sẽ là:



$$\left. \begin{aligned} U_{dk} &= U_{d\dot{a}t} + k_d I_u - k_a U \\ U &= E_b - I_u R_b \\ E_b &= k_b \cdot U_{dk} \\ \frac{\omega}{C_d} &= E_b - I_u R \\ I_u &= C_d M \end{aligned} \right\} \quad (7-38)$$

Hình 7-12. Sơ đồ nguyên lý của hệ BĐ-Đ dùng hồi tiếp hỗn hợp.

Từ đó ta rút ra phương trình đặc tính cơ:

$$\omega = \frac{C_d k_b U_{d\dot{a}t}}{1 + k_a k_b} - \left[R - \frac{k_b(k_d + k_a R - k_a R_u)}{1 + k_a k_b} \right] C_d^2 M \quad (7-39)$$

Tương tự như trên, ta thấy

$$\omega_{0,hh} = \frac{C_d k_b U_{d\dot{a}t}}{1 + k_a k_b} \quad (7-40)$$

không phụ thuộc hệ số hồi tiếp dòng, mà chỉ phụ thuộc hệ số hồi tiếp áp.

Độ cứng của đặc tính cơ là:

$$\beta_{hh} = \frac{1 + k_a k_b}{C_d^2 (R - k_d k_b + k_a k_b R_u)} = \frac{1 + k_a k_b}{\frac{1}{\beta} - k_d k_b \left(C_d^2 - \frac{1}{\beta_m} \right)} \quad (7-41)$$

Nó sẽ tăng lên khi tăng k_a hoặc k_d . Với một giá trị k_a đã chọn nào đó, đặc tính sẽ trở thành tuyệt đối cứng ($\beta_{hh} = \infty$) khi

$$k_d = \frac{R + k_a k_b R_u}{k_b} \quad (7-42)$$

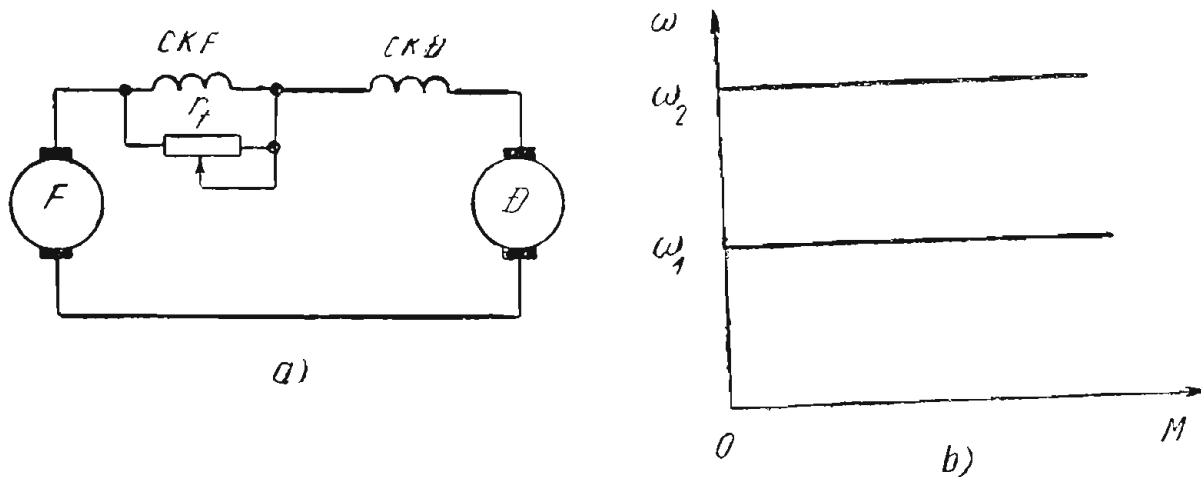
hệ thống này có khả năng tạo được những đặc tính có độ cứng bất kỳ.

7-4. CÁC HỆ F-Đ TỰ ĐỘNG VÒNG KÍN

Ngày nay, các hệ F-Đ được sử dụng chủ yếu ở dạng tự động vòng kín. Vì hệ số khuếch đại điện áp của máy phát nhỏ, nên thường thường người ta dùng các khuếch đại trung gian, lúc đó việc tổng hợp tín hiệu trở nên thuận lợi hơn. Tuy nhiên, cũng có những hệ do sử dụng máy điện đặc biệt hoặc do yêu cầu kỹ thuật không cao nên không đòi hỏi phải khuếch đại trung gian.

1. Hệ F-Đ có kích từ nối tiếp.

Hệ F-Đ kích từ nối tiếp dùng khi cần duy trì tốc độ truyền động không đổi. Sơ đồ nguyên lý vẽ trên hình 7-13, trong đó máy phát và động cơ đều có kích từ nối tiếp. Chính cuộn kích từ máy phát làm chức năng hồi tiếp dương dòng.



Hình 7-13. Sơ đồ nguyên lý và các đặc tính cơ của hệ F-Đ có kích từ nối tiếp.

Nếu coi mạch từ của các máy điện không bão hòa, nghĩa là coi $\Phi_f = k_1 I_{\omega}$ và $\Phi_d = k_2 I_{\omega}$, thì

$$\left. \begin{aligned} E_f &= k_1 \omega_f \cdot k_1 I_{\omega}; \\ E_d &= k_d k_2 I_{\omega} \cdot \omega. \end{aligned} \right\} \quad (7-43)$$

Khi đó phương trình đặc tính cơ của hệ sẽ là

$$\omega = \frac{E_f - I_{\omega} R}{k_d k_2 I_{\omega}} = \frac{k_f k_1 \omega_f}{k_d k_2} - \frac{R}{k_d k_2} \quad (7-44)$$

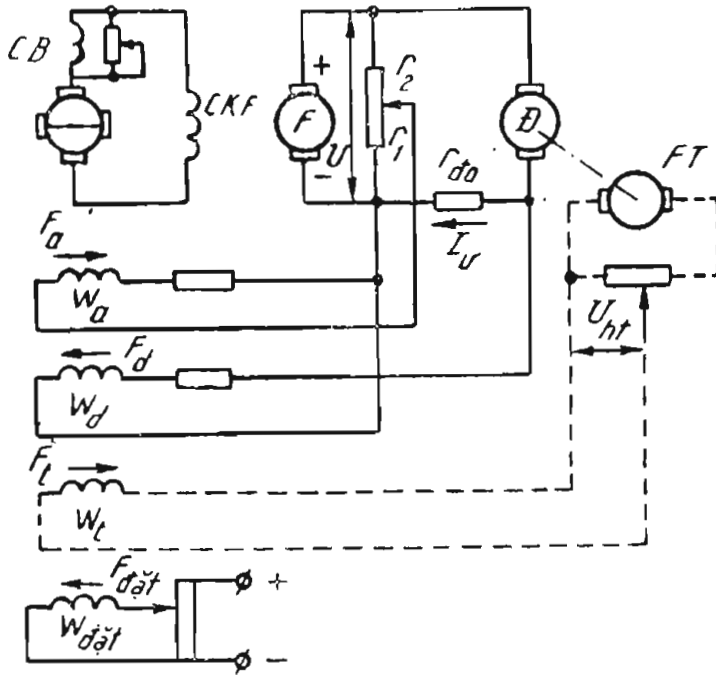
Như vậy, tốc độ ω không phụ thuộc tải. Nếu $\omega_f = \text{const}$ thì đặc tính cơ của hệ này cứng tuyệt đối (hình 7-13b).

Nhờ biến trở nối song song với cuộn kích từ của máy phát, ta có thể thay đổi được tỷ số k_1/k_2 , do đó điều chỉnh được tốc độ động cơ.

2. Hệ F-Đ có khuếch đại máy điện từ trường ngang.

Khuếch đại máy điện từ trường ngang có hệ số khuếch đại công suất rất lớn, cỡ hàng nghìn, và quán tính điện từ không lớn. Hơn nữa, về cấu trúc,

nó đồng loại với các máy điện một chiều, nên trước đây người ta rất hay dùng nó để kích từ cho máy phát trong các hệ F-Đ tự động vòng kín.



Hình 7-14. Sơ đồ nguyên lý của hệ F-Đ có KĐMĐ từ trường ngang.

Sơ đồ nguyên lý của hệ F-Đ có khuếch đại máy điện được trình bày trên hình 7-14. KĐMĐ vừa làm chức năng khuếch đại, vừa dùng để tổng hợp các tín hiệu điều khiển. Khi có đủ số lượng các cuộn kích từ, thì mỗi tín hiệu được đưa vào một cuộn để tạo ra thành một phần S.T.Đ. Việc tổng hợp tín hiệu được thực hiện nhờ mạch từ của khuếch đại máy điện.

Tương tự như đã xét trong 7-2, hệ có thể dùng bất kỳ phương pháp hồi tiếp nào. Phương trình đặc tính cơ có dạng như đã nêu trong §7-3. Cần chú ý rằng, các tín hiệu đặt và hồi tiếp ở đây được biểu diễn theo S.T.Đ. (A. vòng):

$$\left. \begin{aligned} F_{đặt} &= I_{đặt} W_{đặt}; F_d = \frac{r_{d0} I_U}{R_d} W_d = k'_d I_U; \\ F_a &= \frac{r_1 U}{r R_a} W_a = k'_a U; F_t = \frac{U_{ht}}{R_t} W_t = k'_t \omega. \end{aligned} \right\} \quad (7-45)$$

Trong các biểu thức trên, $k'_d = k_d \cdot \frac{W_d}{R_d}$; $k'_a = k_a \cdot \frac{W_a}{R_a}$

$k'_t = k_t \cdot \frac{W_t}{R_t}$ là những hệ số hồi tiếp tính theo tín hiệu S.T.Đ

R_d, R_a, R_t — tổng điện trở trong mạch của cuộn hồi tiếp dòng, áp và tốc độ.

Bộ biến đổi trong trường hợp này bao gồm hai khâu: khuếch đại máy điện và máy phát. Do đó hệ số khuếch đại của nó được xác định bằng:

$$k'_b = \frac{E_f}{F_{kd}} = \frac{E_f}{E_{kd}} \cdot \frac{E_{kd}}{F_{kd}} = C_f \cdot k_{kd} \quad (7-46)$$

Thay $F_{đặt}$ cho $U_{đặt}$, k'_b cho k_b , các hệ số hồi tiếp k' cho k trong các biểu thức (7-23), (7-29), (7-34) và (7-39) ta được các phương trình đặc tính cơ của hệ khi dùng những mạch hồi tiếp tương ứng.

3. Hệ F-Đ có khuếch đại từ.

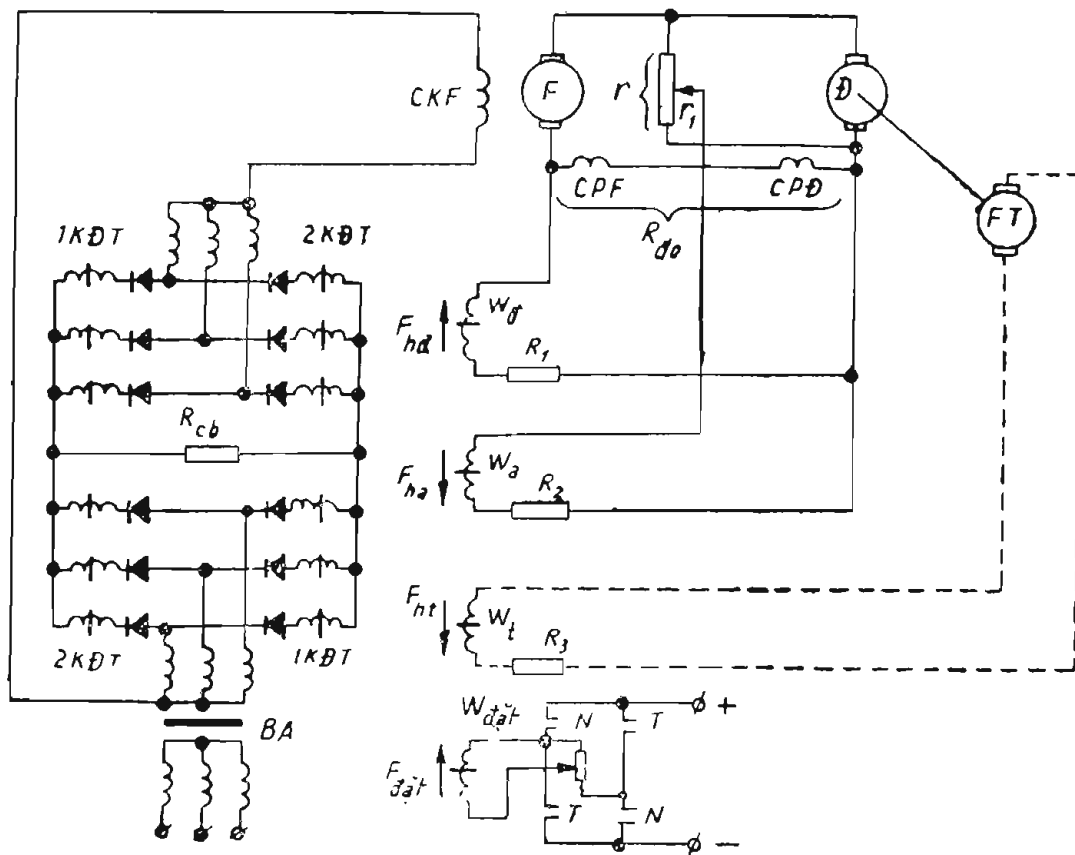
Có thể dùng khuếch đại từ để kích từ cho máy phát trong hệ F-Đ. Lúc đó, khuếch đại từ vừa khuếch đại vừa tổng hợp tín hiệu nhờ mạch từ của nó.

Sơ đồ nguyên lý của hệ được trình bày trên hình 7-15. Mỗi tín hiệu điều khiển được đưa vào một cuộn dây từ hóa của K.D.T.

Chú ý rằng, việc nối điện trở đo lường R_{do} trong mạch phản ứng để lấy tín hiệu hồi tiếp dòng (như hình 7-14) là không có lợi. Nó gây tổn thất năng lượng và làm mềm đặc tính cơ. Để tránh dùng điện trở phụ, người ta thường sử dụng các cuộn dây cực từ phụ của động cơ và máy phát để lấy điện áp hồi tiếp dòng (hình 7-15). Khi đó, $R_{do} = R_{cpt} + R_{cpl}$. Tuy nhiên, độ chính xác của tín hiệu hồi tiếp trong trường hợp này kém hơn vì điện trở của các cuộn dây đều biến đổi theo nhiệt độ làm việc.

Nguyên lý làm việc của hệ tương tự như của hệ $F-D$ có KĐMĐ. Để bảo đảm khả năng đảo chiều cho truyền động, người ta phải dùng bộ khuếch đại từ đảo chiều (kép), khi đó sơ đồ tương đối phức tạp.

Vì khuếch đại từ là phần tử phi tuyến mạnh, nên việc dựng đặc tính cho hệ truyền động thường được tiến hành bằng phương pháp đồ thị (xem §7-6).



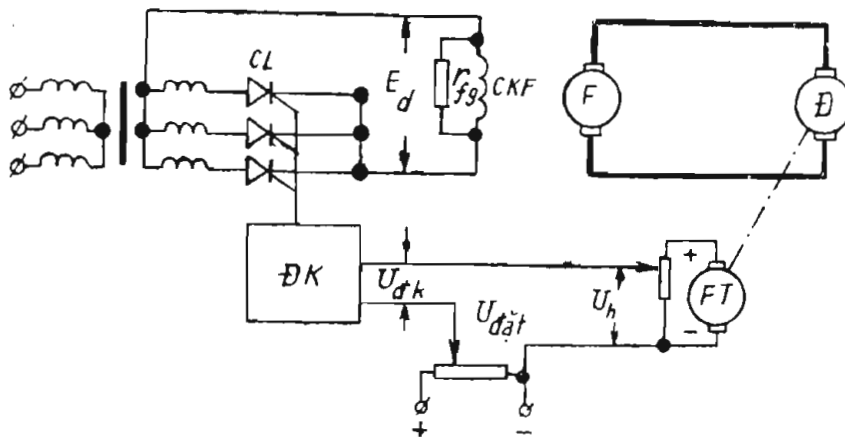
Hình 7-15. Sơ đồ nguyên lý của hệ F-D-KĐT.

4. **Hệ F—Đ có bộ kích từ tiristo.** Có thể dùng bộ khuếch đại tiristo để kích từ cho máy phát trong hệ F—Đ như sơ đồ nguyên lý hình 7-16. Đó là một bộ chỉnh lưu điều khiển CL, có hệ thống tạo xung mở van đồng thời tổng hợp tín hiệu điều khiển ĐK. Điện áp đặt $U_{đặt}$ và các điện áp hồi tiếp U_h được đưa đến khâu so sánh trong hệ điều khiển ĐK và tạo ra tín hiệu tổng hợp

$$U_{\text{rlk}} = U_{\text{dat}} + U_{\text{h}} \quad (7-47)$$

Giá trị của U_{dk} xác định góc mở van α và do đó xác định trị số E_d đặt lên cuộn kích từ máy phát:

$$E_d = E_{dm} \cos \alpha = E_{dm} \cos[f(U_{dk})] \quad (7-48)$$



Hình 7-16. Sơ đồ nguyên lý của hệ F-D có bộ kích từ tiristo.

trong đó, $E_{dm} =$

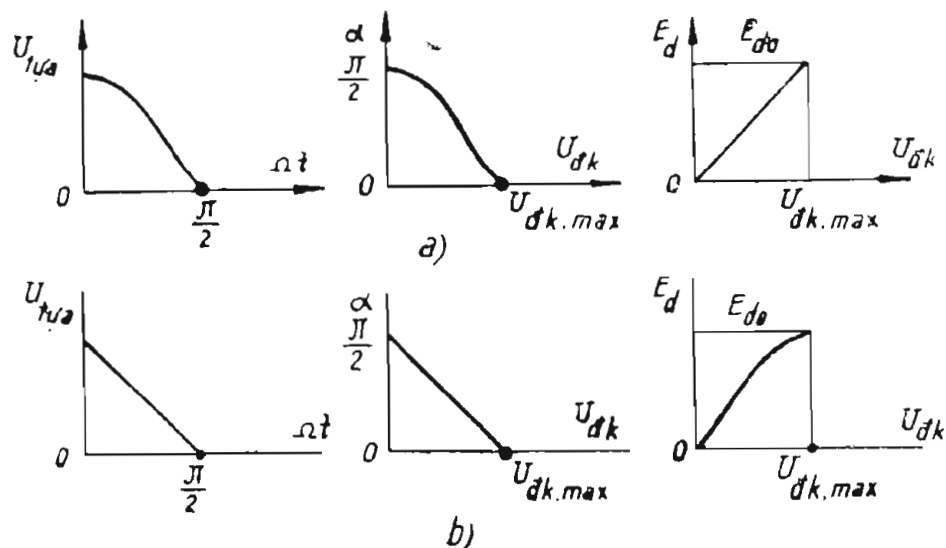
$$= \frac{m}{\pi} \sin \frac{\pi}{m} \sqrt{2} U_2 -$$

S.Đ.Đ. cực đại của chỉnh lưu (khi $\alpha=0$); U_2 —điện áp thứ cấp máy biến áp cung cấp cho chỉnh lưu ;

$z = f(U_{dk})$ — hàm số phụ thuộc dạng điện áp tựa của hệ tạo xung.

Nếu điện áp tựa là hàm sin của thời gian thì hàm số $= f(U_{dk})$ cũng

có dạng hình sin, và do đó (7-48) có dạng tuyến tính. Nếu áp tựa là hàm tuyến tính của thời gian, thì quan hệ $\alpha = f(U_{dk})$ cũng tuyến tính, và do đó quan hệ (7-48) lại là hình sin. Các quan hệ trên được minh họa bởi hình 7-17 cho cả hai trường hợp.



Hình 7-17. Các quan hệ điện áp tựa $U_{tva} = f(\Omega t)$, góc mở van $\alpha = f(U_{dk})$ và S.Đ.Đ. chỉnh lưu $E_d = f(U_{dk})$ khi U_{tva} là hàm sin (a) và khi U_{tva} là hàm tuyến tính (b) theo thời gian.

Nếu quan hệ $E_d = f(U_{dk})$ là tuyến tính thì hệ số khuếch đại của chỉnh lưu là hằng số:

$$k_{cl} = \frac{E_d}{U_{dk}} = \text{const},$$

và hệ số khuếch đại của bộ biến đổi sẽ là:

$$k_b = k_{cl} C_f = \frac{E_f}{U_{dk}}$$

Tương tự như các hệ thống trên, sử dụng những phương trình đặc tính cơ trong §7-3, ta sẽ dựng được các đặc tính khi sử dụng các loại mạch hồi tiếp và xác định được các thông số cần thiết của hệ.

7-5. HỆ V-Đ VÀ VT-Đ TỰ ĐỘNG

1. Hệ V-Đ tự động.

Để thực hiện ổn định hóa tốc độ của động cơ trong hệ V-Đ người ta thường dùng hồi tiếp âm tốc độ. Nói chung, việc dùng hồi tiếp áp và dòng phần ứng đều không lợi vì điện áp ra của bộ biến đổi có dạng đập mạch. Tín hiệu dạng đập mạch sẽ gây ra tình trạng làm việc không ổn định cho hệ thống, hoặc đòi hỏi sử dụng những thiết bị lọc công kênh.

Khi dùng hồi tiếp tốc độ thông qua máy phát tốc, tín hiệu hồi tiếp U_{ht} thực tế được coi như hoàn toàn phẳng. Trong trường hợp này, điện cảm trong mạch phần ứng động cơ, mômen quán tính của hệ truyền động và mômen quán tính của máy phát tốc đều có chức năng lọc phẳng đối với tín hiệu hồi tiếp. Việc tổng hợp tín hiệu thường được thực hiện nhờ mạch cộng điện áp,

Sơ đồ nguyên lý của hệ V-Đ có hồi tiếp âm tốc độ được trình bày trên hình 7-18. Quan hệ giữa S.Đ.Đ của bộ biến đổi van với điện áp điều khiển $E_b = f(U_{dk})$ cũng phụ thuộc vào dạng điện áp tựa, như đã trình bày trên hình 7-17 [xem đồ thị $E_d = f(U_{dk})$]. Hệ số khuếch đại của bộ biến đổi sẽ là $k_b = \Delta E_b / \Delta U_{dk}$.

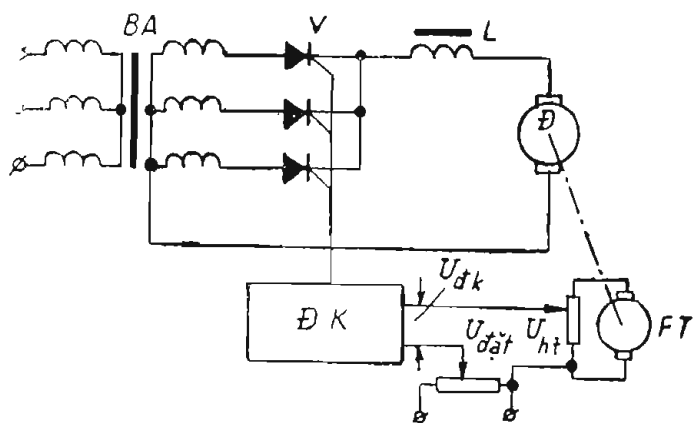
Khi tốc độ động cơ thay đổi so với giá trị đặt, tín hiệu hồi tiếp sẽ thay đổi một cách tỷ lệ, do đó điện áp U_{dk} biến đổi. Kết quả là góc mở van α sẽ thay đổi và S.Đ.Đ của bộ biến đổi E_b được điều chỉnh theo chiều hướng cần thiết để duy trì giá trị đặt của tốc độ.

Phương trình đặc tính cơ của hệ tương tự như đã nêu trong §7-3 khi thay R_b , k_b bằng những đại lượng tương ứng của bộ biến đổi van.

2. Hệ VT-Đ tự động.

Khuếch đại từ trong hệ van từ-động cơ vừa làm chức năng biến đổi dạng dòng điện từ xoay chiều thành một chiều, vừa làm chức năng tổng hợp và khuếch đại tín hiệu điều khiển. Khi có đủ số lượng các cuộn dây từ hóa, thì mỗi tín hiệu điều khiển được đưa đến một cuộn riêng, và việc tổng hợp các tín hiệu đó được thực hiện nhờ mạch từ (cộng S.T.Đ. của khuếch đại từ).

Để ổn định hóa tốc độ động cơ trong hệ VT-Đ, ta có thể sử dụng một trong các phương pháp hồi tiếp đã nêu



Hình 7-18. Sơ đồ nguyên lý của hệ V-Đ dùng hồi tiếp âm tốc độ.

Hình 7-19 giới thiệu một sơ đồ nguyên lý của hệ VT-D tự động dùng hồi tiếp hỗn hợp. Cuộn từ hóa W_1 vừa làm chức năng chủ đạo (đặt), vừa làm chức năng hồi tiếp âm áp. Hai tín hiệu này được tổng hợp nhờ mạch điện:

$$U_{dk1} = U_{đặt} - k_a U$$

S.T.D. của cuộn này có hai thành phần:

$$F_1 = I_1 W_1 = \frac{U_{dk1}}{R_1} W_1 = \frac{U_{đặt}}{R_1} W_1 - \frac{k_a U}{R_1} W_1 = F_{đặt} - k_a U$$

Cuộn W_2 thực hiện hồi tiếp dương dòng. S.T.D. của nó là

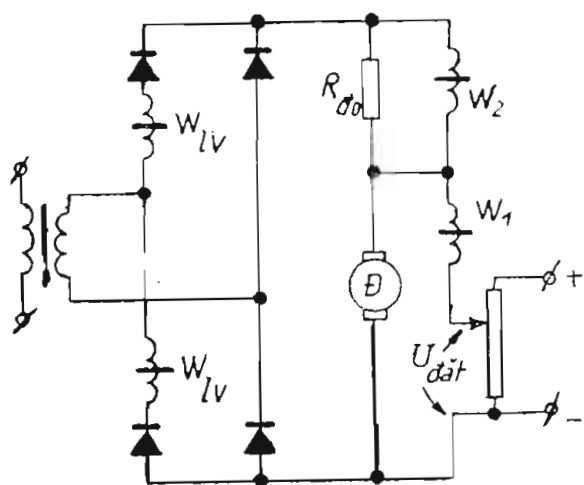
$$F_2 = I_2 W_2 = I_r \frac{R_{đo}}{R_2 + R_{đo}} = k_d I_r$$

S.Đ.T. tổng của khuếch đại từ sẽ là

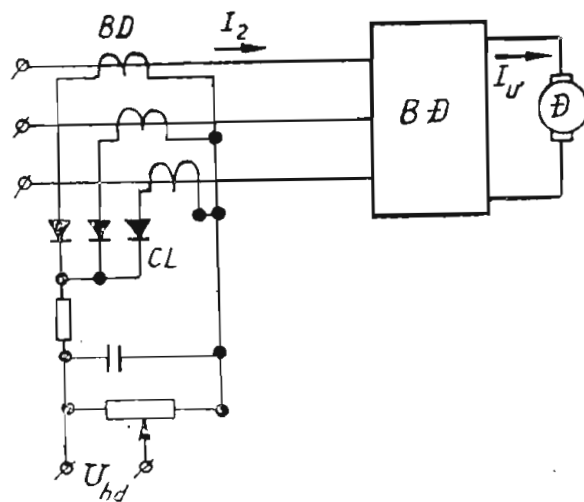
$$F = F_1 + F_2 = F_{đặt} - k_a U + k_d I_r \quad (7-49)$$

Phương trình đặc tính cơ của hệ là (7-39).

Ở các sơ đồ có bộ biến đổi ba pha, để tránh dùng $R_{đo}$ trong mạch phản ứng, người ta có thể lấy tín hiệu hồi tiếp dòng từ một bộ chỉnh lưu phụ ở đầu vào của bộ biến đổi. Sơ đồ nguyên lý của khâu hồi tiếp dòng được giới thiệu trên hình 7-20. Dòng điện đầu vào bộ biến đổi I_2 tỷ lệ với I_r và là dòng xoay chiều. Giá trị của nó được đo lường nhờ biến dòng BD rồi được chỉnh lưu thành tín hiệu một chiều U_{hd} . Vì vậy, U_{hd} tỷ lệ với I_r .



Hình 7-19. Sơ đồ nguyên lý hệ VT-D dùng hồi tiếp hỗn hợp.



Hình 7-20. Khâu hồi tiếp dòng điện.

Vì khuếch đại từ là phần tử phi tuyến mạnh, nên các đặc tính và những thông số của hệ thường được xác định bằng phương pháp đồ thị (xem §7-7).

7-6. ỔN ĐỊNH HÓA TRONG CÁC HỆ CÓ ĐIỀU CHỈNH THÔNG SỐ MẠCH ĐIỆN

Tốc độ làm việc trong phần lớn các hệ có điều khiển thông số mạch điện được điều chỉnh bằng cách thay đổi độ cứng của đặc tính cơ. Dạng tiêu biểu

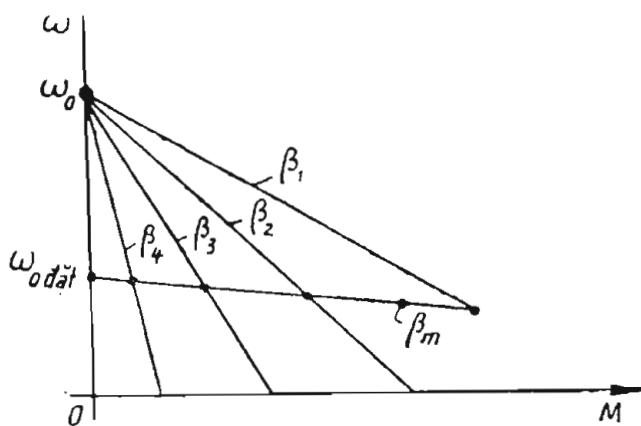
của các đặc tính điều chỉnh của những hệ này được trình bày trên hình 7-21. Đó là các đặc tính biến trở của động cơ một chiều kích từ độc lập và động cơ không đồng bộ. Ngoài ra, các phương pháp điều chỉnh điện trở, điện kháng stato của động cơ không đồng bộ cũng có dạng gần tương tự.

Tốc độ của động cơ khi hệ thống không dùng biện pháp ổn định hóa là

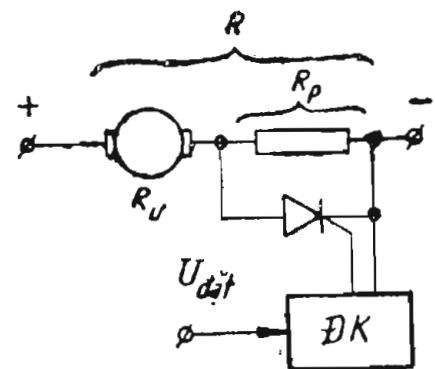
$$\omega = \omega_0 - \frac{M}{\beta} \quad (7-50)$$

Giả sử do yêu cầu ổn định tốc độ, ta cần đặc tính cơ có độ cứng mong muốn β_m , tương ứng với phương trình:

$$\omega = \omega_{o.đặt} - \frac{M}{\beta_m} \quad (7-51)$$



Hình 7-21. Các đặc tính cơ của hệ có điều chỉnh thông số (β_i) và đặc tính mong muốn (β_m).



Hình 7-22. Sơ đồ nguyên lý của hệ truyền động một chiều có điều chỉnh tốc độ bằng điện trở phụ trong mạch phản ứng.

Để tạo ra đặc tính này, hệ thống phải tác động sao cho khi tải thay đổi độ cứng của các đặc tính thay đổi tự động một cách tương ứng. Tại giao điểm của đặc tính mong muốn với đặc tính bất kỳ của hệ thống hở ta có:

$$\omega_0 - \frac{M}{\beta} = \omega_{o.đặt} - \frac{M}{\beta_m}$$

trong đó $\omega_{o.đặt}$ — tốc độ không tải lý tưởng giả tương ứng với cấp tốc độ đặt. Từ đẳng thức này ta rút ra quan hệ giữa β với phụ tải M :

$$\beta^* = \frac{\beta_m^* M^*}{\beta_m^* (1 - \omega_{o.đặt}^*) + M^*} \quad (7-52a)$$

Nếu từ thông của động cơ không đổi, thì $M^* = I_u^*$, nên

$$\beta^* = \frac{\beta_m^* I_u^*}{\beta_m^* (1 - \omega_{o.đặt}^*) + I_u^*} \quad (7-52b)$$

Khi coi phụ tải chỉ dao động trong phạm vi cho phép ($M = 0 - 2,5M_{dm}$) thì các biểu thức trên được viết gần đúng là

$$\beta^* \approx \frac{1}{1 - \omega_{o.đặt}^*} I_{ur}^* \quad (7-52c)$$

Như vậy, để có đặc tính mong muốn, ta phải điều khiển giá trị β theo hàm bậc nhất của mômen hoặc dòng điện động cơ. Cụ thể hơn, nếu dùng hệ thống theo sơ đồ hình 7-22 thì điện trở phụ trong mạch phản ứng cần được điều khiển theo hàm hypebol của dòng điện. Biểu thị điện trở tổng trong mạch là $R^* = \frac{1}{\beta^*}$ và sử dụng (7-52) ta được:

$$R^* = \frac{\beta_m^* (1 - \omega_{o.đặt}^*) + I_{ur}^*}{\beta_m^* I_{ur}^*} \approx \frac{1 - \omega_{o.đặt}^*}{I_{ur}^*} \quad (7-53)$$

Thay dòng điện phản ứng I_{ur} bằng biểu thức có liên quan với điện áp:

$$I_{ur} = \frac{U - U_{ur}}{R - R_{ur}} \quad \text{hoặc} \quad I_{ur}^* = \frac{1 - U_{ur}^*}{R^* - R_{ur}^*} \quad (7-54)$$

vào (7-53), ta được quan hệ giữa điện trở và điện áp trên hai cực phần ứng

$$R^* = \frac{1 - \beta_m^* (1 - \omega_{o.đặt}^*) - U_{ur}^*}{\beta_m^* (\omega_{o.đặt}^* - U_{ur}^*)} \quad (7-55)$$

Nếu thay:

$$I_{ur} = \frac{U - E}{R} \quad \text{hoặc} \quad I_{ur}^* = \frac{1 - \omega^*}{R^*} \quad (7-56)$$

vào (7-5) ta được

$$R^* = \frac{1 - \omega^*}{\beta_m^* (\omega_{o.đặt}^* - \omega^*)} \quad (7-57)$$

Các biểu thức trên đây cho thấy điện trở điều chỉnh phụ thuộc dòng, áp, hoặc tốc độ của động cơ. Vì vậy, để tạo ra đặc tính có độ cứng β_m , ta có thể dùng các mạch hồi tiếp dòng, áp hoặc tốc độ tương tự như đã xét trong §7-2.

Để làm ví dụ, trên hình 7-23 giới thiệu sơ đồ nguyên lý của hệ kháng bão hòa – động cơ không đồng bộ dùng hồi tiếp tốc độ. Tín hiệu hồi tiếp được lấy từ máy phát tốc có giá trị tỷ lệ với tốc độ động cơ:

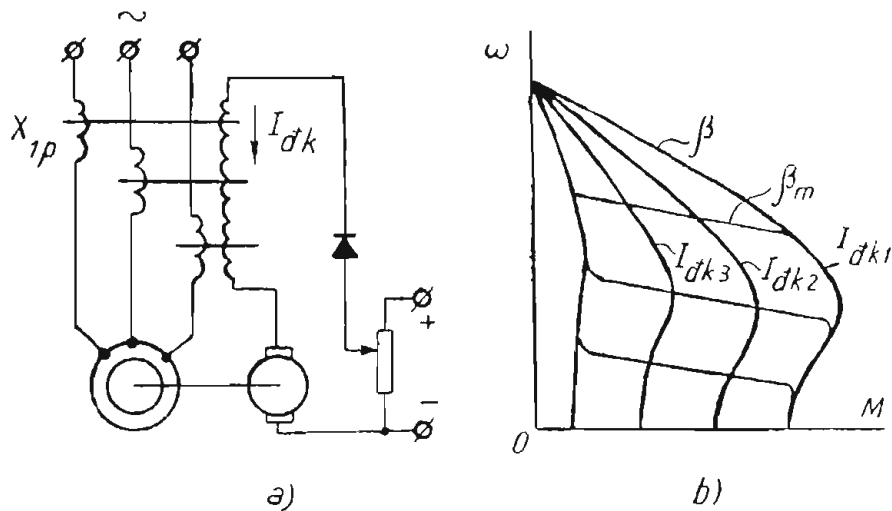
$$U_{h.t} = k_t \omega$$

và được nối ngược cực tính với tín hiệu đặt $U_{đặt}$. Dòng từ hóa của kháng được tạo ra bởi hai thành phần điện áp kể trên:

$$I_{dk} = \frac{U_{đặt} - k_t \omega}{R_{dk}} \quad (1-58)$$

trong đó R_{dk} – điện trở tổng của mạch từ hóa (điều khiển).

Nếu I_{dk} được giữ không đổi, thì ứng với mỗi giá trị của nó ta được một đặc tính cơ của hệ hở như trên hình 7-23b (xem §3-5). Nói cách khác, mỗi đặc tính này ứng với một giá trị điện kháng phụ không đổi.



Hình 7-23. Sơ đồ nguyên lý của hệ KBH-Đ tự động vòng kín (a) và các đặc tính cơ của nó (b).

Khi có hồi tiếp, nếu tốc độ tăng so với giá trị đặt, thì dòng từ hóa I_{dk} giảm, điện kháng phụ tăng lên, do đó tốc độ của động cơ được phục hồi về giá trị đặt trước. Nói cách khác, do I_{dk} thay đổi nên điểm làm việc sẽ chuyển từ đặc tính này sang đặc tính kia của hệ hở, vạch ra một đặc tính mới cứng hơn. Đó là đặc tính cơ của hệ kín.

7-7 DỰNG CÁC ĐẶC TÍNH TÍNH BẰNG PHƯƠNG PHÁP ĐỒ THỊ

Đặc tính tính của một phần tử hoặc của một hệ là quan hệ giữa các đại lượng đặc trưng cho chúng ở trạng thái làm việc xác lập. Đối với các phần tử và các hệ truyền động điện tự động ta thường quan tâm đến « đặc tính vào ra » của bộ biến đổi $E_b = f(U_{dk})$, « đặc tính ngoài » của bộ biến đổi $U_b = f(I_r)$ hoặc $E_b = f(I_r)$, các đặc tính của mạch hồi tiếp $U_h = f(I_r, U, \omega)$, đặc tính của khâu tổng hợp tín hiệu điều khiển $U_{dk} = f(U_{dat}, U_h)$ và cuối cùng là đặc tính cơ của động cơ trong hệ.

Vì phần lớn các hệ truyền động tự động có tính phi tuyến nên trong nhiều trường hợp người ta phải dựng các đặc tính nêu trên bằng phương pháp đồ thị. Phương pháp này cho phép ta tổng hợp được hệ thống hoặc phân tích chúng một cách đơn giản và bảo đảm được độ chính xác nhất định. Bài toán tổng hợp là cần thiết khi phải đánh giá các chất lượng tính của hệ thông qua đặc tính cơ. Việc phân tích một hệ thống thường nhằm mục đích lựa chọn một số thông số cần thiết, ví dụ xác định hệ số hồi tiếp.

Sau đây ta khảo sát các phương pháp dựng những đặc tính nêu trên.

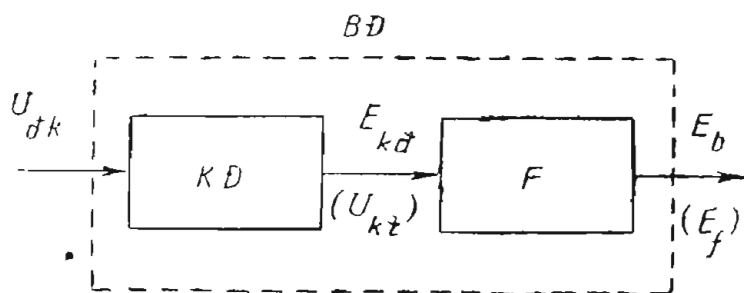
1. Đặc tính vào ra của bộ biến đổi.

Trong trường hợp đơn giản, bộ biến đổi chỉ có một tầng, ví dụ máy phát F; khi đó đặc tính vào ra của nó thường là biết trước. Nếu bộ biến đổi

có nhiều tầng gồm một khâu chính và các bộ khuếch đại trung gian thì ta phải tổng hợp đặc tính chung. Giả thiết có hệ thống BD—Đ dùng máy khuếch đại như các hình 7-14, 7-15, 7-16. Bộ biến đổi trong trường hợp này bao gồm máy khuếch đại và máy phát điện, nối với nhau theo sơ đồ cấu trúc hình 7-24. Đặc tính của mỗi phần tử trong đó, ví dụ của máy khuếch đại $E_{kd} = f(U_{dk})$ và của máy phát $E_b = f(I_{kt})$, đều đã biết. Ở đây ta cần tìm đặc tính vào ra của thiết bị biến đổi này:

$$E_b = f(U_{dk}).$$

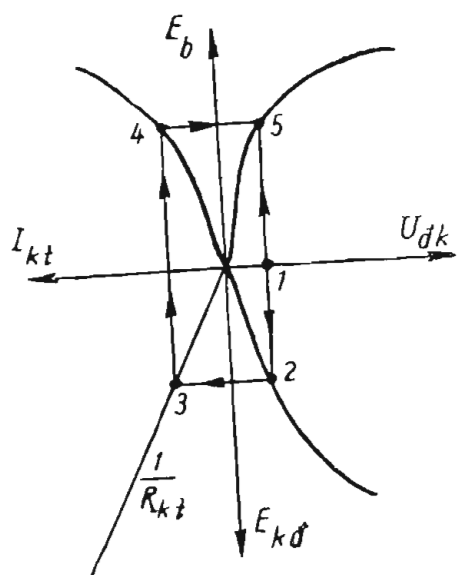
Trước hết ta vẽ quan hệ $E_{kd} = f(U_{dk})$ lên góc phần tư thứ IV của mặt phẳng tọa độ (hình 7-25), và quan hệ $E_b = f(I_{kt})$ lên góc thứ II. Vì đầu ra của máy khuếch đại cũng chính là đầu vào của máy phát nên $E_{dk} \approx U_{kt}$, hoặc:



Hình 7-24. Sơ đồ cấu trúc của bộ biến đổi hai tầng.

$$I_{kt} = \frac{E_{kt}}{R_{kt}} \quad (7-59)$$

Vẽ quan hệ này lên góc thứ III. Nó cho phép tìm ra I_{kt} của máy phát khi biết E_{kd} bằng phép đóng đơn giản.



Hình 7-25. Dựng đặc tính vào ra của bộ biến đổi hai tầng.

Để dựng đường cong $E_b = f(U_{dk})$, ta thực hiện liên tiếp các phép đóng theo những mũi tên ghi trên hình 7-25. Đường cong cần tìm sẽ vẽ được trên góc phần tư thứ I.

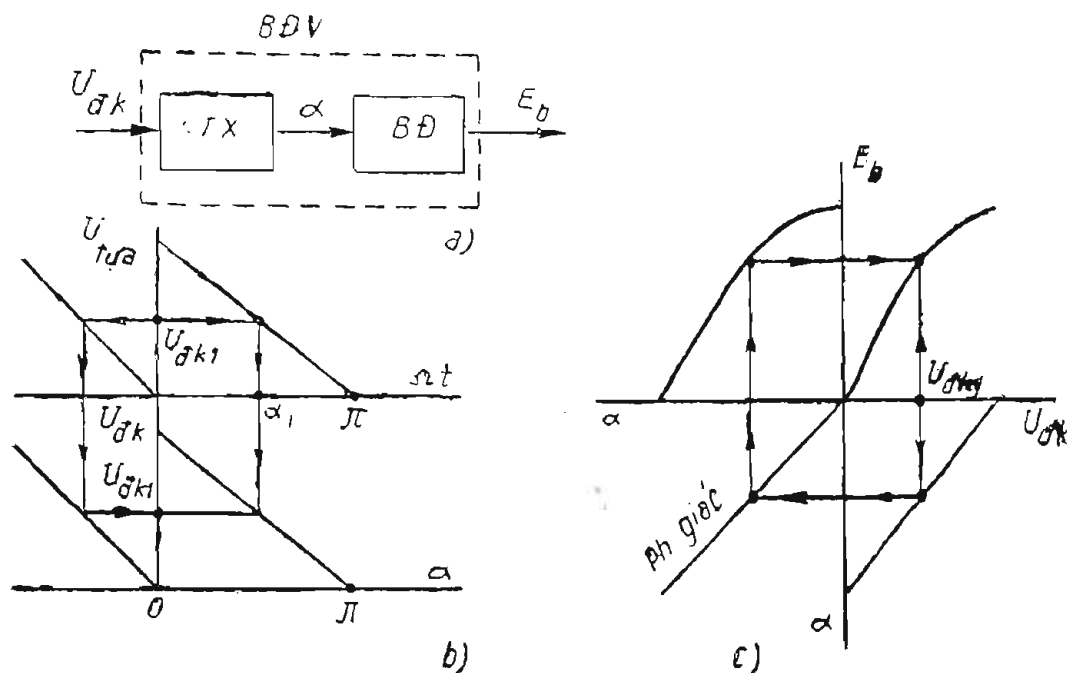
Sau đây ta khảo sát một ví dụ tổng hợp đặc tính vào—ra của bộ biến đổi van (sơ đồ hình 7-18). Ngay trong trường hợp không dùng khuếch đại trung gian thì bộ biến đổi này cũng gồm hai khâu: khâu tạo xung và khâu biến đổi, với những đại lượng đặc trưng ghi trên hình 7-26a.

Đặc tính vào ra của khâu tạo xung được xác định bởi đồ thị điện áp tựa $U_{t\alpha} = f(\Omega t)$. Theo nguyên lý «điều khiển chiều đúng» thì tại thời điểm cân bằng giữa điện áp điều khiển và điện áp tựa $U_{dk} = U_{t\alpha}$, xung điều khiển sẽ xuất hiện để mở van của bộ biến đổi. Do đó, quan hệ $U_{dk} = f(\alpha)$ sẽ lặp lại đường cong $U_{t\alpha} = f(\Omega t)$. Nhận xét này được minh họa bởi hình 7-26b.

Sau đó, vẽ đặc tính $U_{dk} = f(\alpha)$ lên góc phần tư thứ IV của mặt phẳng tọa độ (hình 7-26c), vẽ quan hệ $E_b = E_{bm} \cos \alpha$ lên góc thứ II, và đường phân giác của góc thứ III. Nhờ những đường đóng có ghi mũi tên, ta dựng được đặc tính vào ra $E_b = f(U_{dk})$ trên góc thứ I.

2. Dụng đặc tính cơ khí biết quan hệ vào ra của bộ biến đổi.

Nếu cho trước đặc tính vào ra của bộ biến đổi và các thông số của mạch hồi tiếp, ta tổng hợp tín hiệu điều khiển bằng đồ thị để tìm ra đặc tính ngoài của bộ biến đổi trong hệ thống kín và cuối cùng suy ra đặc tính cơ của hệ.



Hình 7-26 Khảo sát các đặc tính tĩnh của bộ biến đổi van:
a - sơ đồ cầu trúc; b - dựng đặc tính của khâu tạo xung;
c - dựng đặc tính vào ra của bộ biến đổi.

Giả thiết có hệ BD-Đ dùng hồi tiếp hỗn hợp như sơ đồ hình 7-12. Dựa vào hệ phương trình (7-38) ta có:

$$U_{dk} = U_{đat} + (k_d + k_a R_b) I_r - k_a E_b \quad (7-60)$$

hoặc

$$U_{dk} = U_{đat} + U'_{hd} - U_{h.sdd}$$

trong đó, tín hiệu hồi tiếp dòng:

$$U'_{hd} = (k_d + k_a R_b) I_r \quad (7-61)$$

là hàm tuyến tính của I_r và được biểu diễn bằng tia U'_{hd} trên hình 7-27 với hệ số góc dương.

Tín hiệu hồi tiếp theo S.D.D của độ biến đổi

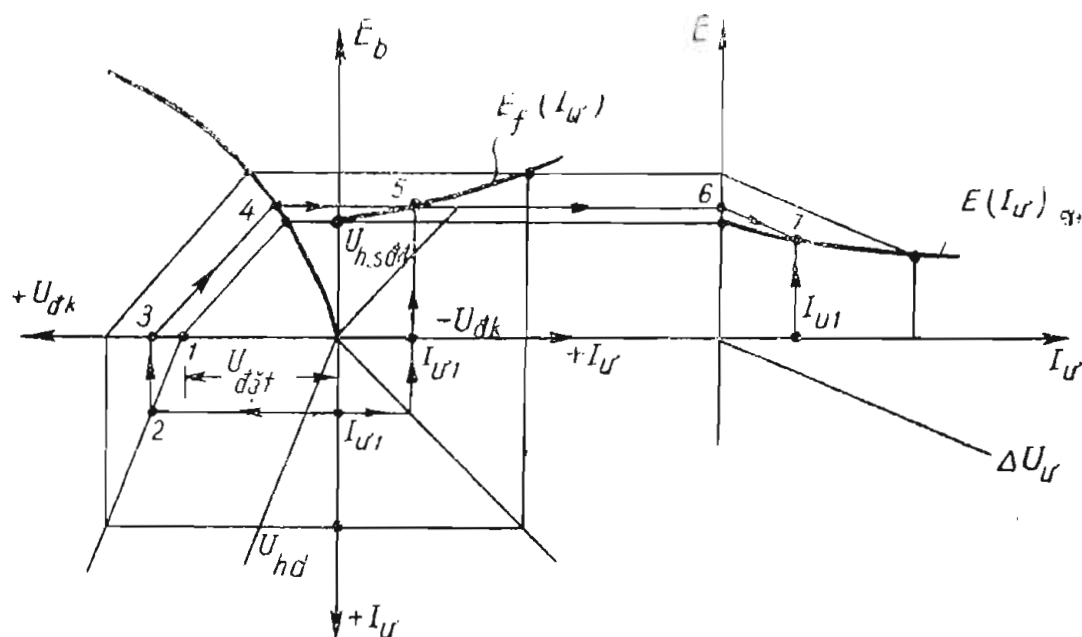
$$U_{h.sdd} = -k_a E_b \quad (7-62)$$

cũng là hàm tuyến tính của E_b và được biểu diễn bằng tia $U_{h.sdd}$ có hệ số góc âm.

Để dựng đặc tính ngoài của bộ biến đổi $E_b = f(I_r)$ ứng với một tín hiệu đặt đã cho $U_{đat.1}$ nào đó, ta vẽ lên cùng một mặt phẳng các quan hệ sau đây: đặc tính vào ra $E_b = f(U_{dk})$ ở góc phần tư thứ II; $U'_{hd} = f(I_r)$ ở góc thứ III, $U_{h.sdd} = f(E_b)$ ở góc thứ I, đường phân giác của góc thứ IV.

Đặt giá trị $U_{đat.1}$ lên trục U_{dk} ta được điểm 1. Từ 1 vẽ đường song song với tia U'_{hd} . Mặt khác, từ một giá trị $I_{r.1}$ tự chọn trên trục I_r , dóng ngang ta

Giá trị I_{r1} được chiếu qua đường phân giác lên trục ngang. I_{r1} và E_{b1} cho ta điểm 5 trên đặc tính cần tìm. Giữ nguyên $U_{đat}$, lấy nhiều giá trị I_r khác nhau và tiến hành tương tự như trên ta sẽ được đặc tính ngoài của bộ biến đổi $E_b = f(I_r)$ khi $U_{đat} = \text{const}$ (góc phản tư thứ I) Thay đổi $U_{đat}$, ta sẽ được một họ đặc tính ngoài.



Hình 7-27. Dạng đặc tính ngoài của bộ biến đổi và đặc tính cơ của động cơ.

$$E(I_g) = E_b(I_g) - RI_g. \quad (7-63)$$

Nêu lấy đặc tính ngoài của bộ biến đổi trừ đi sụt áp trên điện trở mạch phần ứng, ta sẽ được quan hệ giữa SĐĐ của động cơ với dòng I_r . Để cho thuận tiện, ta đặt hệ trục $[E, I_r]$ kề bên hệ trục $[E_b, I_r]$ như trên hình 7-27. Trên hệ trục này ta vẽ quan hệ $\Delta U_r = R I_r$ có hệ số góc âm. Từ giá trị I_{r1} nào đó, đóng theo đặc tính ngoài $E_b = f(I_r)$ ta được E_{b1} (điểm 5 và điểm 6). Từ 6 kẻ song song với tia ΔU_r . Mặt khác, đặt giá trị I_{r1} lên hệ trục mới và đóng đứng ta được điểm 7. Tung độ của điểm này chính là SĐĐ E của động cơ ứng với tín hiệu đặt $U_{đặt}$ và dòng phần ứng I_{r1} . Lấy nhiều giá trị I_r khác nhau ta sẽ được đường cong $E(I_r)$ như trên hình 7-27.

Nếu chia tỷ xích trục tung (E) cho $k\Phi_{dm}$ và nhân tỷ xích trục hoành (I_r) với $k\Phi_{dm}$, thì đường $E(I_r)$ sẽ chính là đặc tính cơ của hệ.

Đối với hệ truyền động điện dùng hồi tiếp âm tốc độ ta, phải phân tích tín hiệu hồi tiếp thành hai thành phần: một tỷ lệ với dòng phần ứng và một tỷ lệ với SĐĐ của bộ biến đổi. Thực vậy, vì

$$\omega = \frac{E_b - RI_{ur}}{k\Phi_{dm}}$$

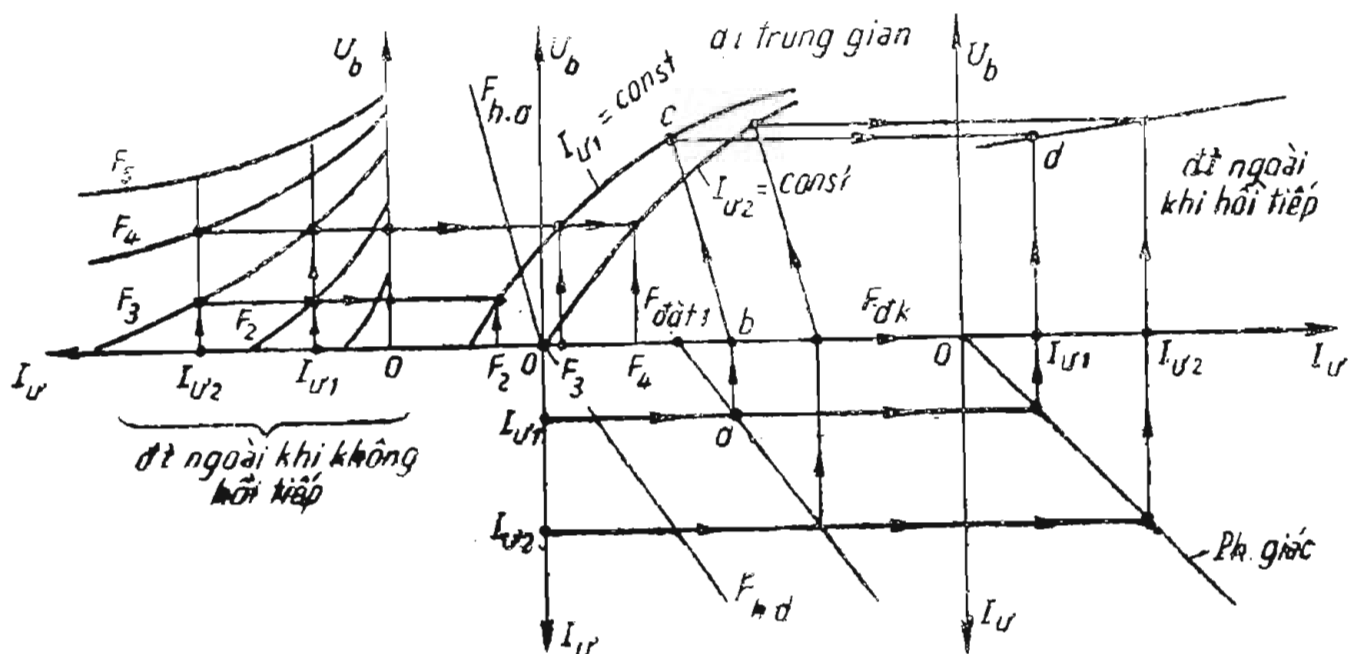
$$U_{ht} = -k_t\omega = -\frac{k_t}{k\Phi_{dm}}E_b + \frac{k_tR}{k\Phi_{dm}}I_{ur} = U'_{hd} - U'_{h.scd} \quad (7-64)$$

Thành phần tín hiệu hồi tiếp dòng (U_{bd}) và thành phần hồi tiếp SDĐ ($U_{h.sđđ}$) cũng đều được biểu diễn bằng những đường thẳng qua gốc tọa độ như đã khảo sát ở trên. Vì vậy trình tự và phương pháp dựng các đặc tính tĩnh đối với trường hợp này cũng hoàn toàn giống như đã trình bày trên hình 7-27.

3. Dựng đặc tính cơ khi biết đặc tính ngoài của bộ biến đổi ứng với trường hợp chưa dùng hồi tiếp.

Một số trường hợp người ta cho trước đặc tính ngoài của bộ biến đổi ứng với chế độ làm việc không có hồi tiếp (hệ thống hở). Đặc trưng cho trường hợp này là bộ biến đổi van — từ vì nhà máy chế tạo thường cho trước họ đặc tính $U_b = f(I)$ khi $F_{dk} = \text{const}$.

Giả thiết ta có hệ VT-Đ dùng hồi tiếp hỗn hợp như trên hình 7-19b, đặc tính ngoài của khuếch đại từ đã cho trước như trên hình 7-28.



Hình 7-28. Dựng các đặc tính tĩnh của hệ BD-Đ khi cho trước họ đặc tính ngoài không hồi tiếp của bộ biến đổi.

Cũng tương tự như trên, muốn dựng được đặc tính cơ ta phải tìm đặc tính ngoài của bộ biến đổi trong hệ thống kín.

Trước hết ta dựng các đặc tính trung gian $U_b = f(F_{dk})$ khi $I_U = \text{const}$. Muốn vậy, ta kẻ đường thẳng đứng $I_{U1} = \text{const}$ trên mặt phẳng đặc tính ngoài. Giao điểm của nó với họ đặc tính ngoài cho ta từng cặp giá trị $[U_b, F_{dk}]$. Chuyển các giá trị này lên hệ trục $[U_b, F_{dk}]$ ta vẽ được đường cong $U_b = f(F_{dk})$ khi $I_{U1} = \text{const}$.

Kẻ các đường thẳng đứng khác ứng với $I_{U2}, I_{U3}, \dots$ ta sẽ vẽ được họ đặc tính trung gian như trên hình 7-26.

Mặt khác, theo thông số của hệ thống kín ta có biểu thức của các S.Đ.Đ hồi tiếp:

$$F_{b.d} = k_d I_U \quad (7-65)$$

$$F_{ha} = -k_d U_b \quad (7-66)$$

Vẽ các quan hệ này lên cùng mặt phẳng của đặc tính trung gian ta được tia F_{hd} và F_{ha} đều đi qua gốc tọa độ.

Từ giá trị $F_{đặt}$ đã cho trên trục F_{dh} , ta dóng song song với tia F_{hd} . Mặt khác từ giá trị I_{ur} ta dóng ngang, được điểm a. Dóng ab theo chiều đứng và bc song song với tia F_{ha} . C là giao điểm của đường dóng này với đặc tính trung gian $I_{ur} = \text{const}$. Tung độ điểm c chính là giá trị điện áp U_{b1} của bộ biến đổi khi có hồi tiếp ứng với tín hiệu đặt $F_{đặt}$ và dòng điện phản ứng I_{ur} . Chuyển cặp giá trị U_{b1} và I_{ur} sang hệ tọa độ phía bên phải của hình vẽ ta được điểm d nằm trên đặc tính cần tìm. Tiến hành như vậy với nhiều giá trị I_{ur} ta sẽ được đặc tính ngoài $U_b = f(I_{ur})$ khi có hồi tiếp.

Đặc tính cơ của động cơ sẽ được suy ra tương tự như ở mục 2. Chỉ cần chú ý rằng, ΔU_{ur} (xem hình 7-27) trong trường hợp này chỉ là sụt áp trên phản ứng động cơ:

$$\Delta U_{ur} = R_{ur} I_{ur}$$

Để dựng đặc tính cơ của hệ có hồi tiếp âm tốc độ khi cho biết quan hệ $U_b = f(I_{ur})$ trong hệ hở, trước hết ta nên dựng họ đặc tính cơ điều chỉnh của hệ hở. Phương pháp dựng các đặc tính này đã được xét trong 4-3. Nhờ đó ta chuyển bài toán này thành dựng bài cho trước họ đặc tính cơ của hệ hở và được khảo sát trong mục tiếp sau.

4. Dựng đặc tính cơ của hệ kín khi biết họ đặc tính của hệ hở.

Giả sử ta có hệ thống truyền động tự động vòng kín hình 7-23. Nếu biết trước họ đặc tính cơ của hệ thống hở (khi không hồi tiếp), thì trước hết

can tổng hợp tín hiệu điều khiển theo hàm của tốc độ, sau đó suy ra đặc tính của hệ kín.

Đối với hệ hở, mỗi đặc tính cơ ứng với một giá trị cố định của dòng từ hóa của kháng bão hòa $I_{dk} = \text{const}$. Khi có hồi tiếp, điện áp trên cuộn dây từ hóa biến thiên theo tốc độ làm việc của động cơ:

$$U_{dk} = U_{đặt} - k_t \omega \quad (7-67)$$

và dòng từ hóa sẽ là

$$I_{dk} = \frac{U_{dk}}{R_{dk}} \quad (7-68)$$

trong đó R_{dk} — điện trở toàn mạch của cuộn từ hóa.

Hình 7-29. Phương pháp dựng đặc tính cơ của hệ tự động vòng kín khi biết đặc tính cơ của hệ hở.

Quan hệ (7-67) là tuyến tính và phụ thuộc $U_{đặt}$. Ta vẽ chúng lên góc phần tư thứ II của mặt phẳng (hình 7-29). Quan hệ (7-68) cũng là đường thẳng và

được biểu diễn trên góc thứ III. Để cho thuận tiện, ta vẽ họ đặc tính cơ của hệ hở lên góc thứ I.

Nếu đặt giá trị dòng từ hóa tự chọn I_{ak1} lên trục I_{ak} , theo các đường dòng ghi mũi tên trên hình vẽ ta sẽ tìm được giá trị tốc độ của động cơ ω ứng với tín hiệu đặt U_{dkt1} và dòng từ hóa I_{ak1} . Lấy những giá trị I_{ak} khác, đóng về đường U_{dkt1} ta sẽ tìm được những điểm khác trên đặc tính cơ của hệ kín. Cuối cùng nối các điểm này lại ta được đặc tính cơ của hệ kín ứng với tín hiệu U_{dkt1} .

7-8. HẠN CHẾ DÒNG ĐIỆN TRONG TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN TỰ ĐỘNG

Ngược với yêu cầu ổn định hóa tốc độ là yêu cầu hạn chế dòng hoặc mômen động cơ. Nếu tăng độ cứng đặc tính cơ để giảm sai số tốc độ thì đồng thời dòng điện và mômen ngắn mạch cũng tăng lên, gây nguy hiểm đối với động cơ và các thiết bị khác. Đặc biệt lưu ý rằng các hệ BD-Đ và các hệ truyền động điện tự động nói chung thường không sử dụng biện pháp hạn chế dòng khởi động bằng biến trở, hơn nữa phần lớn trường hợp lại có hiện tượng cường bức khởi động do các mạch hồi tiếp âm gây ra. Vì vậy, nếu không có hình thức hạn chế dòng điện một cách tự động thì thực tế các hệ nêu trên không sử dụng được.

Muốn giảm dòng điện hoặc mômen ngắn mạch ta phải tăng độ cứng đặc tính cơ. Tuy nhiên, để bảo đảm yêu cầu ổn định tốc độ trong phạm vi biến thiên cho phép của tải, ta chỉ giảm độ cứng khi dòng điện hoặc mômen vượt quá một ngưỡng nào đó. Ngưỡng này được gọi là «điểm ngắt». Tương ứng với nó ta có «dòng ngắt» I_{ng} , «mômen ngắt» M_{ng} và «tốc độ ngắt» ω_{ng} . Thông thường $I_{ng}^* \approx 1,5 - 2$:

Như vậy, đặc tính cơ của hệ thống được chia thành hai đoạn: đoạn làm việc từ điểm không tải lý tưởng đến điểm ngắt (đoạn AB) và đoạn ngắt từ điểm ngắt đến điểm dừng (BC) (xem hình 7-30). Vì đặc tính này rất đặc trưng cho công nghệ của máy xúc nên người ta gọi nó là «đặc tính máy xúc».

Lý luận tương tự như trong §7-2 ta thấy, muốn tạo ra đoạn đặc tính dốc có độ cứng mong muốn là β_{ng} bắt buộc phải thay đổi thông số điều chỉnh x_{dch} sao cho tốc độ động cơ giảm nhanh khi tải tăng lên.

Nếu truyền động dùng hệ BD-Đ thì khi tải tăng ta phải giảm E_b . Tiến hành tương tự như khi rút biểu thức (7-7) ta được

$$E_b = E_{bo} - \left(\frac{1}{\beta_{ng}} - \frac{1}{\beta} \right) \cdot k\Phi_{dm}(M - M_{ng}). \quad (7-69)$$

hoặc

$$E_b = E_{bo} - \left(\frac{1}{\beta_{ng}} - \frac{1}{\beta} \right) (k\Phi_{dm})^2 (I_a - I_{ng}) \quad (7-70)$$

hoặc

$$E_b = E_{bo} - k'_{ng \cdot d} (I_a - I_{ng}) \quad (7-71)$$

Để thực hiện qui luật điều chỉnh này, ta dùng một khâu hồi tiếp âm dòng điện tác động trên ngưỡng I_{ng} . Sơ đồ nguyên lý tổng quát của hệ trong trường hợp này được trình bày trên hình 7-31. Tín hiệu hồi tiếp âm dòng được lấy trên điện trở đo lường R_{do} , sẽ tác dụng ngược cực với tín hiệu $U_{đặt}$. Ngưỡng tác động của mạch này được tạo ra nhờ điện áp so sánh U_s trên catot của van ngắt V_{ng} . Các thông số của mạch được chọn sao cho

$$U_s = I_{ng} R_{do} \quad (\text{coi van } V_{ng} \text{ là lý tưởng})$$

Từ sơ đồ nguyên lý ta thấy

$$E_b = k_b [U_{đặt} - I_a R_{do} + U_s] = k_b U_{đặt} - k_b R_{do} (I_a - I_{ng}) \quad (7-72)$$

So sánh biểu thức này với (7-71) ta thấy

$$E_{bo} = k_b U_{đặt}; k'_{ngd} = k_b R_{do} = k_b k_{ngd}$$

Phương trình đặc tính khi khâu hồi tiếp ngắt có tác dụng sẽ là

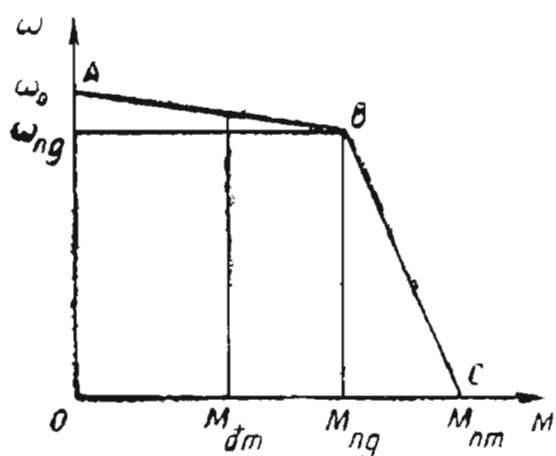
$$\omega = C_d k_b U_{đặt} - C_d^2 (k_b k_{ngd} + R) (M - M_{ng}) \quad (7-73)$$

trong đó

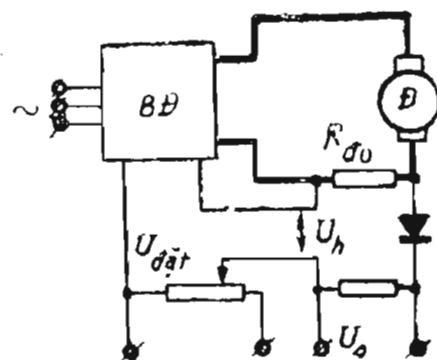
$$k_{ngd} = R_{do}$$

Thực tế thường yêu cầu mômen hoặc dòng điện ngăn mạch phải nhỏ hơn một giá trị cho phép, ví dụ $M_{rm}^* = 2,5 - 3$. Khi đó viết lại phương trình (7-73) cho điểm ngăn mạch ta sẽ xác định được hệ số hồi tiếp ngắt k_{ngd} .

Để lấy tín hiệu hồi tiếp ngắt, ở các hệ F—Đ người ta dùng điện trở sun R_{do} trong mạch phản ứng hoặc sử dụng ngay các cuộn dây cực từ phụ tương tự như khi dùng hồi tiếp dương dòng để ổn định hóa tốc độ (xem hình 7-14).



Hình 7-30. Đặc tính cơ của hệ dùng khâu hạn chế dòng.



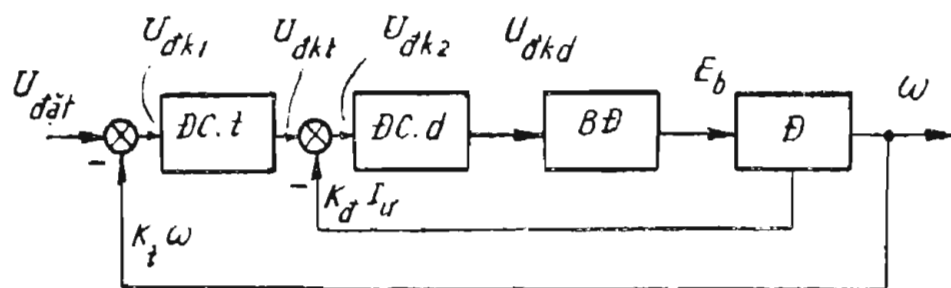
Hình 7-31. Sơ đồ nguyên lý của truyền động điện dùng hồi tiếp ngắt dòng.

Đối với hệ V—Đ và các hệ điều khiển xung, vì dòng phản ứng biến đổi theo thời gian với dạng đập mạch hoặc răng cưa, nên lấy tín hiệu trực tiếp trong mạch phản ứng là không có lợi. Do đó người ta thường lấy tín hiệu này ở đầu vào của bộ biến đổi van qua biến dòng và chỉnh lưu như đã trình bày trên hình 7-20. Một số trường hợp khác người ta lấy tín hiệu gián tiếp, tỷ lệ với S.Đ.Đ của động cơ, cho qua một khâu so sánh đặc biệt để làm tín hiệu hồi tiếp ngắt dòng.

Trong các hệ có điều chỉnh lệ thuộc (tức các hệ dùng hiệu chỉnh nối tiếp), việc hạn chế dòng điện được thực hiện nhờ bộ điều chỉnh kiểu hạn chế

ĐCđ. Hình 7-32 giới thiệu sơ đồ cấu trúc của một hệ truyền động tự động có điều chỉnh lệ thuộc hai vòng.

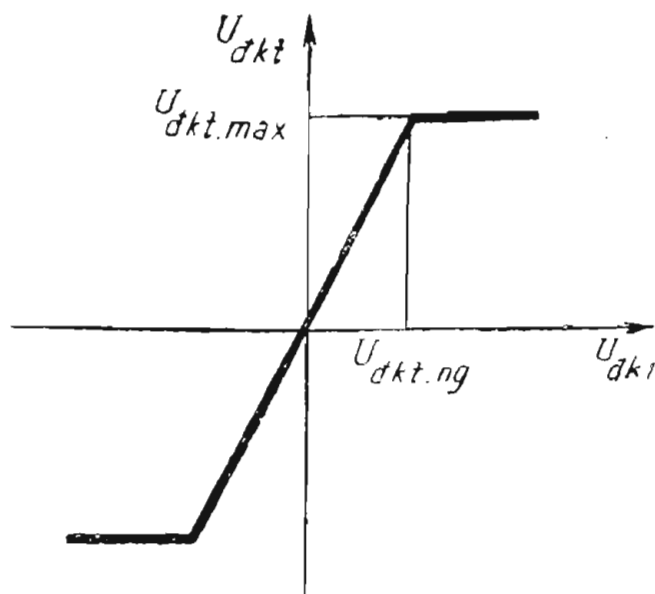
Bộ điều chỉnh tốc độ ĐCt là khâu hạn chế có đặc tính vào ra như trên hình 7-33, còn bộ điều chỉnh dòng ĐCđ là khâu tích phân – tỷ lệ. Ở những tốc độ nhỏ, $U_{đkt} = U_{đat} - k_t \omega$ có giá trị lớn nên bộ điều chỉnh tốc độ ĐCt bị bão hòa ở điện áp ra cực đại $U_{đkt.max} = \text{const}$. Nói cách khác, khi tốc độ nhỏ hệ thống không có hồi tiếp âm tốc độ. Điện áp này được đưa vào bộ điều chỉnh dòng ĐCđ để tạo ra điện áp $U_{đkd}$, và tương ứng với nó bộ biến đổi sẽ tạo ra một điện áp cần thiết cho quá trình tăng tốc. Chú ý rằng, điện áp ra của bộ điều chỉnh tốc độ chính là tín hiệu đặt của bộ điều chỉnh dòng. Vì nó được duy trì cực đại trong khoảng tốc độ nhỏ nên hệ thống được cường bức tối đa và quá trình tăng tốc xảy ra rất nhanh. Thực tế dòng điện trong khoảng này gần như không đổi (xem đặc tính hình 7-34).



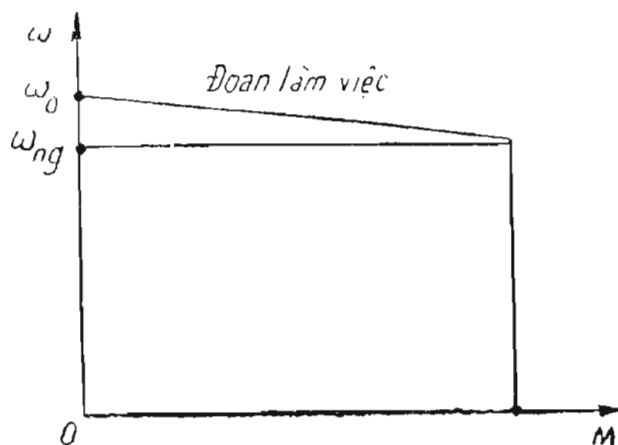
Hình 7-32. Sơ đồ khối của hệ có điều chỉnh lệ thuộc hai vòng.

Khi tốc độ vượt quá giá trị ngưỡng ω_{ng} , điện áp trên đầu vào của bộ điều chỉnh tốc độ sẽ đủ nhỏ, nghĩa là

$$U_{đkt} = U_{đat} - k_t \omega_{ng} \leq U_{đkt.ng}$$



Hình 7-33. Đặc tính của bộ điều chỉnh tốc độ ĐCt.

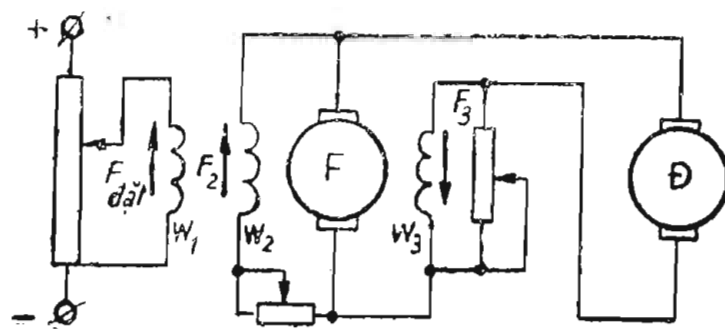


Hình 7-34. Đặc tính cơ của hệ truyền động điện có điều chỉnh lệ thuộc

Từ đó ĐCt làm việc ở chế độ không bão hòa và giá trị áp ra của nó $U_{đkt}$ phụ thuộc mạch hồi tiếp tốc độ. Nhờ vậy đặc tính cơ của hệ thay đổi độ cứng và ta được đoạn làm việc trên hình 7-34.

Cũng có thể tạo ra đặc tính máy xúc nhờ tính phi tuyến của các phần tử trong hệ truyền động điện. Đặc trưng cho nguyên lý điều chỉnh này là hệ máy phát ba cuộn dây – động cơ và hệ F–Đ có khuếch đại từ.

Sơ đồ nguyên lý của hệ máy phát ba cuộn dây – động cơ (FB–Đ) được trình bày trên hình 7-35. Máy phát có ba cuộn kích từ: cuộn độc lập W_1 , cuộn song song W_2 và cuộn nối tiếp W_3 .



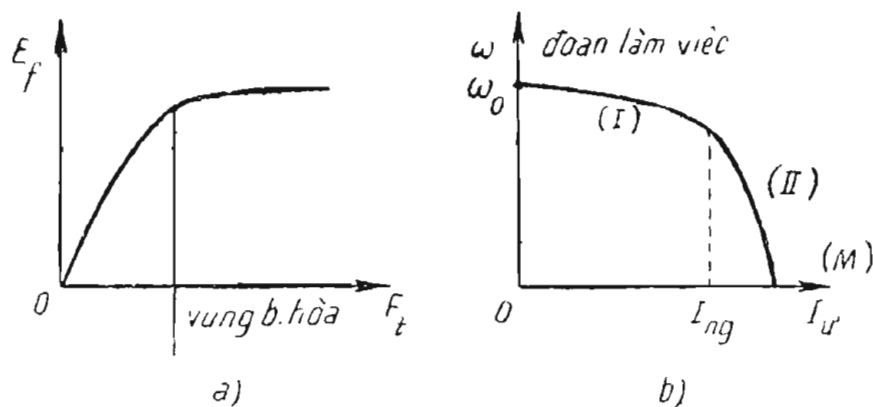
Hình 7-35. Sơ đồ nguyên lý của hệ FB–Đ.

W_1 là cuộn chủ đạo, tạo ra S.T.Đ. đặt $F_{đặt}$. Cuộn W_2 tạo ra S.T.Đ. cùng chiều với $F_{đặt}$, nghĩa là nó làm chức năng hồi tiếp

dương điện áp động cơ. Nhờ nó mà lúc tải không vượt quá giới hạn làm việc thì máy phát bão hòa từ, S.Đ.Đ. của nó ít biến đổi theo tải nên đặc tính cơ cứng. Mặt khác, nhờ khâu hồi tiếp dương này mà hệ số khuếch đại của máy phát tăng lên. Cuộn W_3 tạo ra S.T.Đ. ngược chiều $F_{đặt}$. Nó làm chức năng hồi tiếp âm dòng.

Như vậy, S.T.Đ. tổng kích thích máy phát là

$$F_{tổng} = F_{đặt} + F_2 - F_3$$



Hình 7-36. Đặc tính từ hóa của máy phát (a) và đặc tính cơ của hệ FB–Đ (b).

Khi dòng điện (hoặc mômen) nhỏ, F_3 nhỏ nên $F_{tổng}$ lớn và máy phát bão hòa. Tương ứng, điện áp trên động cơ ít biến đổi khi thay đổi tải, ta được đoạn đặc tính làm việc (hình 7-36b).

Khi dòng điện phản ứng vượt quá giá trị ngắt I_{ng} , thì F_3 cũng có giá trị đủ lớn, làm

cho $F_{tổng}$ giảm đáng kể, điểm làm việc của máy phát đi ra ngoài vùng bão hòa (xem đặc tính từ hóa của máy phát, hình 7-36a). Lúc đó, S.Đ.Đ. của máy phát sẽ giảm đáng kể nếu dòng điện tăng lên một lượng dù nhỏ, nghĩa là đặc tính cơ của động cơ rất dốc. Ta được đoạn đặc tính thứ hai trên hình 7-36b.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. PHẠM DUY NHI, NGUYỄN DƯ XỬNG, BÙI ĐÌNH TIỂU, Cơ sở truyền động điện. Đại học Bách khoa Hà Nội, 1974.
2. BÙI ĐÌNH TIỂU, Trang bị điện và tự động hóa máy cắt kim loại và máy nâng vận chuyển, Đại học Bách khoa Hà nội, 1975.
3. NGUYỄN THÀNH, Trang bị điện thiết bị luyện kim và gia nhiệt, Đại học Bách khoa Hà Nội, 1975.
4. VÕ TRÍ AN, TRỊNH ĐÌNH DỄ, Tự động không chế truyền động điện, Đại học Bách khoa Hà Nội, 1975.
5. TRILIKIN, ... Cơ sở truyền động điện tự động, Bùi Đình Tiểu, Lê Tông, Nguyễn Bình dịch, KHKT, 1977.
6. VESENEVSKI X.N., Các đặc tính của động cơ truyền động điện, Bùi Đình Tiểu, Lê Tông dịch, KHKT, 1979.
7. АНДРЕЕВ. В.П., САБНИН. Ю.А. Основы электропривода, госэнергоиздат. москва, 1963
8. АРХАНГЕЛЬСКИЙ В.И., Системы реверсивных электроприводов. техника. киев. 1972.,
9. БУЛГАКОВ А.А., Новая теория управляемых выпрямителей, Наука, Москва, 1970.
10. ГЕЙЛЕР Л.Б., Основы электропривода, высшая школа, минск, 1972.
11. ГОЛОВАН А.Т., Основы электропривода, госэнергоиздат, Москва, 1959.
12. ЛИЩЕНКО А.И. Синхронные двигатели с автоматическим регулированием возбуждения, техника, Киев, 1969.
13. ОНИЦЕНКО Г.Б., Асинхронный вентильный каскад, энергия, Москва, 1967.
14. СЛЕЖАНОВСКИЙ О.В., Реверсивный электропривод постоянного тока, металлургия, Москва, 1967.
15. ЧИЛИКИН М.Г., ..., Асинхронный электропривод с дросселями насыщения, энергия, Москва — Ленинград, 1964.
16. ШИПИЛЛО В.П., Автоматизированный вентильный электропривод, энергия, Москва, 1969.
17. EISELE H., VANCE A.M., Parallel control system regulates motor speed and torque. Westinghouse Engr. N°4. 1966.
18. HINDMARCH J., Electrical machines. Oxford — London, 1965.
19. KING K. G., The application of silicon cotrolled rectifier to the control of electrical machines. Proc. Inst. Elect. Engrs. N°1. 1963.

MỤC LỤC

	Trang
Lời nói đầu	3
Mở đầu	5

PHẦN THỨ NHẤT

ĐẶC TÍNH TÍNH VÀ CÁC TRẠNG THÁI LÀM VIỆC XÁC LẬP CỦA TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

Chương I — Phụ tải và phần cơ của truyền động điện tự động.

1.1. Lực cản và mômen cản.	9
1.2. Phân loại phụ tải của truyền động điện.	10
1.3. Phần cơ của truyền động điện.	14
1.4. Tính toán quy đổi các khâu cơ khí của truyền động điện.	16
1.5. Phương trình chuyển động của truyền động điện.	19
1.6. Khái niệm về đặc tính cơ.	22
1.7. Đặc tính cơ của máy sản xuất.	25
1.8. Các trạng thái làm việc xác lập của truyền động điện.	26
1.9. Ổn định tĩnh và tiêu chuẩn ổn định tĩnh.	28

Chương II — Các đặc tính và các trạng thái làm việc của động cơ điện.

2.1. Các đặc tính của động cơ điện một chiều kích từ độc lập (kích từ song song).	30
2.2. Khởi động và xác định điện trở khởi động của động cơ một chiều kích từ độc lập.	39
2.3. Các trạng thái hãm của động cơ một chiều kích từ độc lập.	44
2.4. Các đặc tính của động cơ một chiều kích từ nối tiếp.	51
2.5. Khởi động và xác định điện trở khởi động của động cơ một chiều kích từ nối tiếp.	55
2.6. Các trạng thái hãm của động cơ một chiều kích từ nối tiếp.	57
2.7. Phạm vi sử dụng của động cơ một chiều kích từ nối tiếp.	59
2.8. Các đặc tính và các trạng thái làm việc của động cơ một chiều kích từ hỗn hợp.	60
2.9. Các đặc tính của động cơ không đồng bộ.	63
2.10. Khởi động và cách xác định điện trở khởi động của động cơ không đồng bộ.	75
2.11. Các trạng thái hãm của động cơ không đồng bộ.	76
2.12. Đặc tính cơ và các trạng thái làm việc của động cơ đồng bộ.	84

PHẦN THỨ HAI

ĐIỀU KHIỂN TỐC ĐỘ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

Khái niệm chung.

Chương III — Điều chỉnh tốc độ nhờ biến đổi thông số của mạch và của máy điện

3.1. Các chỉ tiêu chất lượng của truyền động điện điều chỉnh.	93
3.2. Điều chỉnh điện trở mạch phản ứng và mạch rôto.	97
3.3. Điều chỉnh xung điện trở mạch dòng lực.	103
3.4. Điều chỉnh kích từ của động cơ một chiều.	107
3.5. Điều chỉnh trở — kháng của mạch stato.	112
3.6. Thay đổi số cực của máy điện không đồng bộ.	117

Chương IV — Điều chỉnh tốc độ động cơ một chiều bằng cách thay đổi điện áp nguồn

4.1. Nguyên lý điều chỉnh.	123
4.2. Hệ máy phát — động cơ (F—Đ).	128
4.3. Hệ biến đổi van điều khiển — động cơ (V—Đ).	132
4.4. Hệ điều áp van—tu—động cơ (khuếch đại tu — Đ) VT—Đ.	148
4.5. Hệ điều áp xung — động cơ (ĐAX—Đ).	153

Chương V — Điều chỉnh tốc độ động cơ không đồng bộ bằng cách thay đổi thông số nguồn

5.1. Nguyên lý điều chỉnh điện áp.	160
5.2. Điều áp nhờ biến áp tự ngẫu và khuếch đại tu.	162
5.3. Điều áp nhờ bộ điều chỉnh tiristo.	164
5.4. Điều áp không đối xứng.	166
5.5. Điều chỉnh tốc độ động cơ không đồng bộ bằng cách biến đổi tần số.	169

Chương VI — Điều khiển tốc độ động cơ bằng những sơ đồ đặc biệt

6.1. Sơ đồ phân mạch phản ứng động cơ một chiều kích từ độc lập.	182
6.2. Các sơ đồ phân mạch đối với động cơ một chiều kích từ nối tiếp.	186
6.3. Sơ đồ nối tăng động cơ không đồng bộ.	189
6.4. Sơ đồ dùng hai động cơ liên kết cơ cứng với nhau.	201
6.5. Sơ đồ dùng động cơ không đồng bộ có stato quay.	206
6.6. Sơ đồ dùng hai động cơ một chiều liên kết cơ khí với nhau.	209
6.7. Sơ đồ nhiều động cơ nối theo hệ trục điện.	210

Cấu trúc VII – Ổn định tốc độ làm việc của truyền động điện.

7.1. Khái niệm chung.	221
7.2. Nguyên lý điều khiển tự động trong các hệ BD-D.	222
7.3. Đặc tính cơ của hệ BD-D tự động vòng kín.	227
7.4. Các hệ F-D tự động vòng kín.	231
7.5. Hệ V-D và VT- tự động.	235
7.6. Ổn định hóa trong các hệ có điều chỉnh thông số mạch điện.	236
7.7. Dùng các đặc tính tĩnh bản vẽ phương pháp đo thị.	239
7.8. Hạn chế dòng điện trong truyền động điện tự động.	245
Tài liệu tham khảo	249
Mục lục	250

O

Giá: 9,20đ