

LÊ VĂN DOANH  
NGUYỄN THẾ CÔNG  
NGUYỄN TRUNG SƠN  
CAO VĂN THÀNH

# ĐIỀU KHIỂN SỐ MÁY ĐIỆN



NHÀ XUẤT BẢN  
KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

LÊ VĂN DOANH, NGUYỄN THẾ CÔNG  
NGUYỄN TRUNG SƠN, CAO VĂN THÀNH

# ĐIỀU KHIỂN SỐ MÁY ĐIỆN

(Dùng cho sinh viên các trường kỹ thuật)



**NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT**  
HÀ NỘI - 1999

Chịu trách nhiệm xuất bản : Pgs. Pts. **TÔ ĐĂNG HẢI**  
Biên tập : Nguyễn Đăng  
Chế bản : Trần Văn Cầm  
Vẽ bìa : Hương Lan

Ma số:  $\frac{G-617.2}{KHKT-99}$  41-91-99

---

In 1000 cuốn khổ 16 x 24 cm tại Công ty in Hàng không. Giấy phép xuất bản số 41-91-16/6/99. In xong và nộp lưu chiểu tháng 7/1999

## LỜI NÓI ĐẦU

Trong những năm gần đây điều khiển máy điện có bước phát triển nhảy vọt. Đó là kết quả của việc tăng công suất và các tính năng của linh kiện điện tử công suất và việc phát triển và hoàn thiện các cơ cấu điều khiển số có lập trình, của các bộ vi xử lý, vi điều khiển. Truyền động điện thông minh dựa trên kỹ thuật điều khiển số cho phép tạo nên hệ thống truyền động điện công nghiệp chắc chắn, tin cậy, hiệu suất cao, dải điều khiển rộng, đảm bảo các chức năng bảo vệ... Ví dụ, IPM (Intelligent Power Module) của Mitsubishi Electric dải công suất từ 10 A/600 V đến 1200 A/3300 V, ASC 600 của ABB, ALTIVAR của Télémécanique... là các bộ điều khiển động cơ xoay chiều với các tính năng chất lượng như hệ truyền động một chiều.

Những hạn chế của kỹ thuật tương tự như sự trôi thông số, sự làm việc ổn định dài hạn, những khó khăn của việc thực hiện các chức năng điều khiển phức tạp đã thúc đẩy việc chuyển nhanh sang công nghệ số trong những năm 70. Sự xuất hiện và hoàn thiện của các bộ vi xử lý mạnh những năm 80 cho phép thực hiện điều khiển vectơ, tạo nên hệ truyền động xoay chiều có chất lượng cao. Kỹ thuật số cũng cho phép tạo nên các thuật toán điều khiển phức tạp mà kỹ thuật tương tự không cho phép.

Ngoài ra điều khiển số còn có ưu thế quyết định về mặt công nghệ. Cùng một cơ cấu điều khiển số có thể đóng vai trò giao diện với người vận hành, thực hiện các chức năng chạy, dừng, đổi chiều, dự báo, tư vấn... Mọi chức năng phức tạp của truyền động điện đều có thể giải quyết được bằng các cơ cấu điều khiển số. Điều khiển số còn cho phép tiết kiệm linh kiện phần cứng, cho phép tiêu chuẩn hóa: với cùng một bộ vi xử lý, một cấu trúc phần cứng có thể dùng cho mọi ứng dụng, chỉ cần thay đổi nội dung bộ nhớ. Cuối cùng nhờ tiến bộ trong công nghệ mạch tổ hợp cho phép thực hiện các chức năng phức tạp với kích thước nhỏ, độ tin cậy cao, làm việc chắc chắn.

Tuy nhiên điều khiển số máy điện cũng đặt ra những đòi hỏi khắt khe. Việc thành lập các thuật toán điều khiển cần biết rõ các đặc tính của đối tượng điều khiển, mô hình của chúng ở chế độ liên tục cũng như ở chế độ rời rạc. Điều khiển số là điều khiển thời gian thực của quá trình phức tạp, diễn biến nhanh chóng, đòi hỏi kỹ thuật lập trình hệ thống ở mức cao.

Điều khiển số máy điện là nơi hội tụ của nhiều ngành khoa học và công nghệ thuộc lĩnh vực kỹ thuật điện, điện tử công suất, điều khiển tự động, kỹ thuật vi xử lý... đây là lĩnh vực rất mới, chưa được giới thiệu đầy đủ với độc giả Việt Nam. Các tác giả mong muốn trình bày những cơ sở tối thiểu thuộc lĩnh vực điều khiển số máy điện nhằm giúp cho độc giả bước đầu tiếp cận với lĩnh vực này.

Quyển sách "Điều khiển số máy điện" gồm 9 chương.

Chương 1. Đại cương về điều khiển số máy điện, trình bày khái quát những vấn đề cơ bản của điều khiển máy điện, so sánh kỹ thuật điều khiển tương tự và điều khiển số. Sơ đồ khối tổng quát của điều khiển số máy điện.

Chương 2. Cơ sở xử lý tín hiệu số là chương có tính chất chuẩn bị, trình bày khái quát cơ sở biến đổi Laplace rời rạc và biến đổi Fourier rời rạc.

Chương 3. Mô hình máy điện và bộ biến đổi, trình bày lý thuyết máy điện tổng quát, mô hình liên tục và mô hình rời rạc của máy điện và bộ biến đổi theo quan điểm điều khiển.

Chương 4. Hệ thống điều khiển số, trình bày phương pháp phân tích hệ điều khiển số, đặc tính các bộ điều khiển số, phương pháp tính các yếu tố chất lượng của hệ điều khiển số.

Chương 5. Tổng hợp hệ điều khiển số, trình bày phương pháp tổng hợp hệ điều khiển số trong miền  $z$ , tổng hợp hệ điều khiển số trong không gian trạng thái.

Chương 6. Cấu trúc phần cứng và yêu cầu phần mềm với điều khiển số, trình bày yêu cầu đối với bộ vi xử lý và các giao diện, đặc điểm lập trình phần mềm cho điều khiển số.

Chương 7. Điều khiển số máy điện một chiều, trình bày các vấn đề phân tích và tổng hợp hệ điều khiển số máy điện một chiều.

Chương 8. Điều khiển số máy điện xoay chiều ở chế độ xác lập, trình bày phương pháp phân tích và tổng hợp điều khiển số máy không đồng bộ và đồng bộ, chú trọng phương pháp điều khiển tựa từ thông rôto là phương pháp đang thông dụng.

Chương 9. Điều khiển số máy điện xoay chiều ở chế độ quá độ, trình bày phương pháp phân tích hệ điều khiển số máy điện ở chế độ chuyển mạch và quá độ.

Quyển sách này do các cán bộ nhóm Điều khiển máy điện, Bộ môn

*Thiết bị điện, Trường Đại học Bách khoa viết. PGS. PTS. Lê Văn Doanh chủ biên.*

*Có thể coi quyển sách "Điều khiển số máy điện" là phần bổ sung cho giáo trình "Điều khiển tự động truyền động điện". Quyển sách này dùng cho sinh viên các ngành Thiết bị điện, Tự động hóa xí nghiệp, Điều khiển tự động, Kỹ thuật đo và tin học công nghiệp. Quyển sách này cũng được dùng làm tài liệu tham khảo cho các kỹ sư điện đang công tác trong các cơ quan nghiên cứu, sản xuất và các lớp sau đại học.*

*Vì trình độ và thời gian có hạn, sách không tránh khỏi sai sót. Chúng tôi mong nhận được các góp ý, nhận xét của đông đảo bạn đọc. Mọi thư từ, góp ý xin gửi về Bộ môn Thiết bị điện, Khoa Năng lượng, Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội, ĐT. 8692511. Chúng tôi xin chân thành cảm ơn.*

**Các tác giả**

## ĐẠI CƯƠNG VỀ ĐIỀU KHIỂN SỐ MÁY ĐIỆN

Chương này có tính chất nhập môn, trình bày cấu trúc của hệ thống điều khiển truyền động điện tương tự và truyền động điện điều khiển bằng kỹ thuật số, so sánh ưu khuyết điểm của từng hệ thống, phân tích sự cần thiết phải phối hợp cả hai hệ thống điều khiển tương tự và điều khiển số trong truyền động điện, phân tích các vấn đề tần số trong điều khiển truyền động điện. Phân tích các yêu cầu đối với các khối trong điều khiển số máy điện.

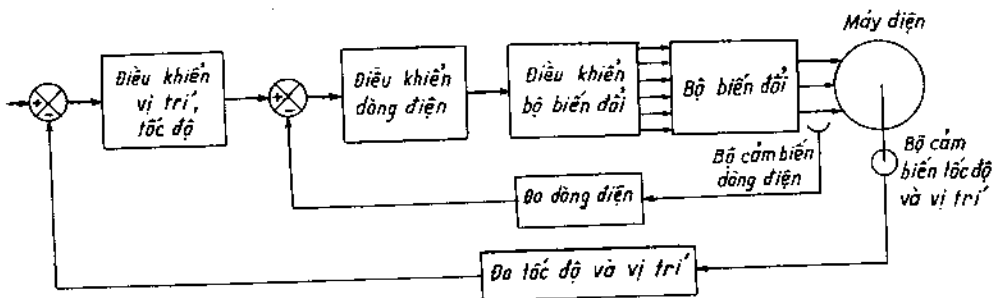
### 1.1 CẤU TRÚC HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

#### 1.1.1 Sơ đồ khối tổng quát của hệ thống truyền động điện

Trên hình 1.1 là sơ đồ khối tổng quát của hệ thống truyền động điện gồm nhiều khối chia thành hai mạch chính:

- *Mạch động lực* gồm bộ biến đổi và động cơ truyền động. Bộ biến đổi đóng vai trò biến đổi điện áp nguồn cung cấp về điện áp, dòng điện, tần số phù hợp với yêu cầu của các động cơ truyền động.

Bộ biến đổi có thể là bộ biến đổi máy điện: máy phát điện một chiều, xoay chiều; bộ biến đổi điện tử: khuếch đại từ, điện kháng bão hòa; bộ biến đổi điện tử công suất. Bộ biến đổi điện tử công suất thực chất là các bộ chuyển



Hình 1.1 Sơ đồ khối tổng quát của hệ thống truyền động điện.

mạch điện tử làm việc ở chế độ chuyển mạch tự nhiên do sự thay đổi cực tính của điện áp nguồn hoặc chuyển mạch cưỡng bức. Do sự hoàn thiện của kỹ thuật điện tử công suất với sự ra đời của tiristo (1960), tiristo khóa bằng cực điều khiển GTO (Gate Turn - Off Thyristor 1970), tranzito công suất kỹ thuật MOS (Metal - Oxide - Semiconductor 1980), tranzito lưỡng cực công cách điện IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor 1990) với các ưu điểm chuyển mạch nhanh, tính năng dòng áp cao, chắc chắn, hiệu suất cao, độ tin cậy cao nên ngày nay các bộ biến đổi điện tử công suất hoàn toàn chiếm ưu thế.

Động cơ truyền động có các loại động cơ một chiều, động cơ không đồng bộ, động cơ đồng bộ và các loại động cơ đặc biệt khác. Các động cơ này được cung cấp bằng điện áp  $u$ , dòng điện  $i$  và tạo nên mômen cung cấp cho tải cơ không đề cập ở đây.

*Mạch điều khiển* bao gồm các cảm biến đo lường dùng để đánh giá các thông số trạng thái của mạch động lực và các bộ điều khiển tác động lên các thông số của bộ biến đổi nhằm duy trì các tính năng của hệ thống truyền động về tốc độ, dòng điện, mômen cũng như các mục đích mở máy, hãm, đổi chiều quay và các chức năng bảo vệ khác.

Các cảm biến đo lường trong hệ thống truyền động điện thường bao gồm:

- Cảm biến dòng điện, thường là máy biến dòng đánh giá tình trạng mang tải của động cơ.

- Cảm biến tốc độ thường dùng máy phát tốc, bộ chuyển mạch quang dùng hệ thống tranzito quang và đĩa mã hóa.

- Cảm biến vị trí dùng đĩa mã hóa và bộ chuyển mạch quang.

Các bộ điều khiển có thể phân thành hai loại:

- Bộ điều khiển gần xác định thứ tự và thời điểm phát xung mỗi và khóa các linh kiện điện tử công suất theo các chiến lược điều khiển bộ biến đổi nhằm cung cấp cho động cơ nguồn điện áp và tần số theo đòi hỏi của truyền động.

- Bộ điều khiển thuật toán nhằm giải quyết những vấn đề riêng của truyền động như điều khiển tốc độ và vị trí, hạn chế dòng điện, các yêu cầu mở máy hãm và đổi chiều. Thông thường tín hiệu ra của khối điều khiển này là mômen.

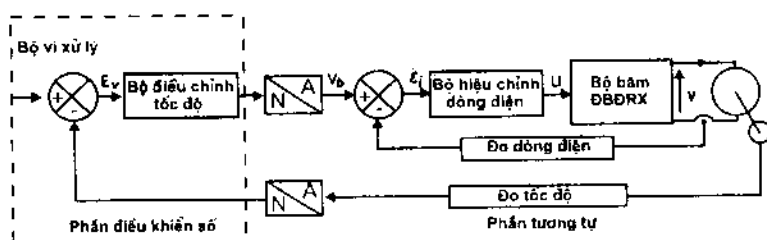


### 1.1.2 Điều khiển tương tự và điều khiển số

Sơ đồ khối hình 1.1 là sơ đồ hệ thống điều khiển truyền động điện tương tự quen biết. Trong sơ đồ này các thông số trạng thái của các khối là các đại lượng liên tục. Tín hiệu từ các bộ cảm biến và các bộ điều chỉnh là các đại lượng liên tục nhằm duy trì đặc tính cơ của động cơ theo đòi hỏi của phụ tải.

Trên hình 1.2 là sơ đồ điều khiển hỗn hợp tương tự và số dùng điều khiển truyền động điện một chiều. Sơ đồ gồm 2 phần:

- Phần tương tự bao gồm các cảm biến đo lường dòng điện và tốc độ, bộ điều chỉnh dòng điện, bộ biến đổi ở đây là bộ băm điều biến độ rộng xung



DBDRX điều biến độ rộng xung,  $u$  điện áp điều khiển bộ biến đổi  
 $V_b$  tín hiệu đặt dòng điện,  $i_d$  sai lệch dòng điện,  $v$  sai lệch tốc độ

Hình 1.2. Sơ đồ chức năng điều khiển hỗn hợp tương tự và số.

Phần điều khiển số bao gồm bộ vi xử lý làm nhiệm vụ điều chỉnh tốc độ và các chức năng an toàn, đồng bộ hóa. Sự khác nhau cơ bản của phần điều khiển số so với điều khiển tương tự là ở chỗ việc đánh giá thông số trạng thái của hệ thống và đưa tín hiệu điều khiển tiến hành theo từng bước thời gian gọi là tín hiệu rời rạc, tín hiệu lượng tử hóa hoặc tín hiệu số. Lúc đó ở mỗi thời điểm rời rạc có một tổ hợp bit mang tin tức về hệ thống. Các thông tin số học chỉ có hai mức 0 và 1 và thông số trạng thái của hệ thống truyền động được đánh giá bằng một dãy bit.

Bộ vi xử lý cũng hoạt động theo nguyên lý lượng tử hóa thời gian. Thứ tự các lệnh được thực hiện theo từng bước thời gian. Vì các bộ vi xử lý có khả năng thực hiện đồng thời các thao tác với số lượng rất lớn nên thời gian xử lý một lệnh máy rất ngắn. Ví dụ bộ vi xử lý 8 bit có khả năng biểu diễn  $2^8 = 256$  trạng thái, với bộ vi xử lý 16 bit là  $2^{16} = 65535$  trạng thái.

Để phối hợp giữa phần số và phần tương tự phải có bộ đổi tương tự - số

và bộ đối số - tương tự. Trong các mục tiếp theo sẽ trình bày chi tiết hoạt động của bộ vi xử lý và các bộ đối tương tự - số và bộ đối số - tương tự.

## 1.2 SO SÁNH ĐIỀU KHIỂN SỐ VÀ ĐIỀU KHIỂN TƯƠNG TỰ

Việc so sánh giữa hai kỹ thuật điều khiển tương tự và điều khiển số rất tế nhị nhưng cũng rất thú vị. Mỗi loại điều khiển đều thể hiện những ưu và nhược điểm, việc so sánh cho ta thấy rõ sự cần thiết phải chuyển sang kỹ thuật điều khiển số.

### 1.2.1 Các hạn chế của điều khiển tương tự và ưu điểm của điều khiển số

- Nhược điểm quan trọng nhất của kỹ thuật tương tự liên quan đến sự trôi thông số do các nguyên nhân có nguồn gốc khác nhau (do nhiệt, hóa-lý, cơ học...).

Các hiện tượng này làm thay đổi thông số của các linh kiện điện tử, thay đổi điện dung của các tụ hóa, thay đổi điện trở của các chiết áp. Những hiện tượng này dẫn đến sự thay đổi chậm thông số của các phần tử, làm xuất hiện điện áp lệch hay điện áp trôi ở đầu ra các bộ khuếch đại thuật toán. Việc khử sự trôi thông số đòi hỏi các nhà thiết kế mạch phải tìm các giải pháp như sử dụng các mạch bù làm phức tạp mạch và tăng giá thành. Trong khi đó các linh kiện số chỉ có hai mức cao và thấp (0 và 1) không chịu ảnh hưởng của sự trôi.

Một nhược điểm khác của kỹ thuật tương tự là nhạy với nhiễu. Nhiễu có thể phát sinh do bản thân linh kiện (nhiều về nhiệt) hoặc nhiễu ký sinh bên ngoài do ảnh hưởng của môi trường. Loại nhiễu này đặc biệt quan trọng vì trong việc điều khiển truyền động điện các bộ biến đổi là nguồn nhiễu gây ảnh hưởng đáng kể đến lưới điện.

Các cấu trúc số có thể được bảo vệ chống nhiễu bằng các kỹ thuật áp dụng cho kỹ thuật tương tự như màn chắn, bọc kim, ngoài ra người ta thường dùng kỹ thuật lọc số cho phép loại bỏ các điểm bất thường mà không hạn chế dải thông của mạch.

Việc truyền dẫn tín hiệu tương tự cũng gặp khó khăn do sự suy giảm tín hiệu, trong khi đó truyền dẫn tín hiệu số ở phạm vi hợp lý không chịu ảnh hưởng của sự suy giảm.

Các linh kiện kỹ thuật tương tự cũng có tính chất khác nhau về thông