

CHƯƠNG 3 ĐIỀU KHIỂN ĐCƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU

III.1 CÁC KHÁI NIỆM VỀ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN:

1. Các khái niệm căn bản:

- TTD là hệ thống (HT) biến đổi điện năng -> cơ năng cung cấp cho các máy móc công nghiệp (cung cấp sức kéo điện – electric drive). Truyền động điện (electric drive) còn có nghĩa là nối trực bằng điện theo sơ đồ sau:

Cơ (nguồn) --> [Máy phát điện] --> Điện --> [dây dẫn] --> [Đcơ điện] --> Cơ (tải)

Sơ đồ này có thể gặp trong các phương tiện vận tải (tàu biển, xe lửa) và nhất là các máy móc cần nhiều trục quay có phối hợp tốc độ với nhau.

- Các phần tử mặt phẳng tải và điểm làm việc: Cũng như các bộ biến đổi (BBĐ) ĐTCS, BBĐ điện cơ có hai biến trạng thái chính: Momen M và tốc độ ω tạo nên mặt phẳng pha M, ω chia làm 4 phần tư đánh số từ I đến IV. Điểm làm việc của đơ là một điểm (M, ω) trong mặt phẳng này. Với một bộ thông số của động cơ, ta có một quan hệ $M(\omega)$ gọi là đặc tính cơ của động cơ và với một tải cụ thể, ta có quan hệ momen cản chuyển động theo tốc độ $M_C(\omega)$ gọi là đặc tính cơ phụ tải.

- Phương trình căn bản TĐĐ và chuyển động: Khi các trục nối cứng và giả sử không có ma sát nhớt (tỉ lệ tốc độ), ta có phương trình căn bản của chuyển động (pt 2 Newton cho chuyển động quay) cho hệ thống có thông số tập trung và không đàn hồi:

$$M_d = M - M_C = J \frac{d\omega}{dt} \quad <3.1> \quad M_d \text{ gọi là momen động của chuyển động quay, } J \text{ là momen quán tính toàn HT qui đổi về trục động cơ.}$$

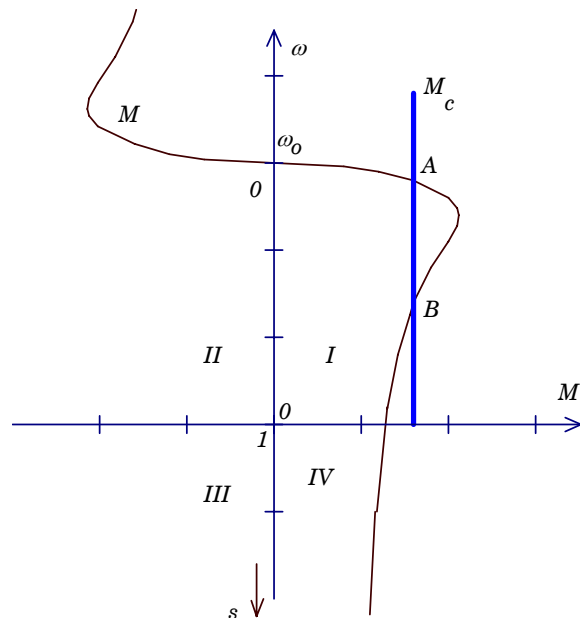
$d\omega/dt$ được gọi là gia tốc chuyển động.

Từ <3.1> có thể suy ra các trạng thái của Đcơ:

$M > M_C$: đơ tăng tốc, $M < M_C$: đơ giảm tốc

$M = M_C$: đơ không đổi tốc độ hay còn gọi là có điểm làm việc xác lập. Đây chính là giao điểm của đặc tính cơ động cơ và phụ tải. Điểm làm việc xác lập này được gọi là ổn định (tĩnh) hay cân bằng (bền) khi có ngoại lực hay nhiễu làm điểm làm việc thay đổi thì $M_d / \Delta\omega < 0$. Khi đó HT sẽ có gia tốc theo chiều trở về điểm làm việc cũ.

Ví dụ: Hình 3.1 cho ta đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ rotor lồng sóc và đặc tính cơ phụ tải của nó có trị số không đổi (Momen cản hằng số). Ở tốc độ đồng bộ, momen động cơ bằng 0. A là điểm làm việc ổn định và B là điểm làm việc không ổn định tĩnh.



Hình 3.1 Đặc tính cơ động cơ KĐB và các điểm làm việc

2. Đặc tính điều chỉnh của TĐĐ:

Khi điều chỉnh thông số điện, đặc tính cơ của động cơ thay đổi, quỹ đạo các điểm làm việc để động cơ cung cấp momen max mà không hư hỏng (M_{cp}) được gọi là đặc tính điều chỉnh của động cơ. Đặc tính điều chỉnh thường được thể hiện ở dạng momen cho phép $M_{cp}(\omega)$, hay công suất cho phép $P_{cp}(\omega)$ khi tốc độ thay đổi. Đặc tính điều chỉnh giúp ta chọn loại tải để tận dụng khả năng động cơ ứng một phương án điều khiển hay tìm ra phương án điều khiển thích hợp với một loại tải cho trước.

Các giới hạn của động cơ:

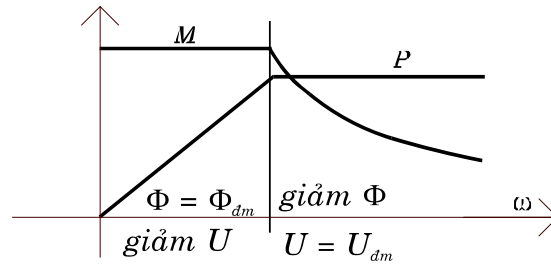
Áp $U < U_{đm}$; dòng $I < I_{đm}$;

Dòng kích từ $i_{kt} < I_{ktđm}$ hay từ thông $\Phi < \Phi_{đm}$ (đơn chiều). Chỉ số $đm$ tương ứng từ “định mức”.

Ví dụ: Đặc tính điều chỉnh động cơ một chiều kích từ độc lập: (hình 3.2)

Khi điều khiển áp phần ứng ($U < U_{đm}$), từ thông được giữ định mức, bằng $\Phi_{đm}$ không đổi:

$\Rightarrow M_{cp} = K \cdot \Phi_{đm} \cdot I_{đm} = \text{hằng số}$. Vậy điều khiển áp phần ứng động cơ DC có đặc tính điều chỉnh là momen hằng số hay công suất tăng tỉ lệ tốc độ, thích hợp với tải có M_c không đổi.

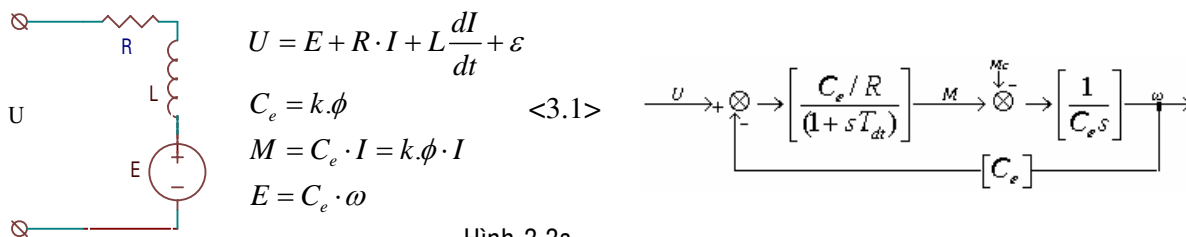


Hình 3.2: Đặc tính điều chỉnh động cơ một chiều kích từ độc lập

Khi điều khiển áp từ thông ($\Phi < \Phi_{đm}$), áp phần ứng giữ không đổi, bằng $U_{đm}$. Công suất cho phép $P_{cp} = U_{đm} I_{đm} = \text{hằng số}$, tương ứng với công suất động cơ không đổi hay momen giảm tỉ lệ nghịch với sự tăng của tốc độ do giảm từ thông. Do đó giảm từ thông động cơ một chiều thích hợp cho truyền động máy tiện khi tiện tinh, có lượng ăn dao nhỏ, cần tốc độ quay lớn để đảm bảo độ bóng và năng suất. Giảm từ thông còn được dùng cho các chuyển động không tải tốc độ cao.

3. Hàm truyền động cơ DC và BBD:

- Hàm truyền động cơ: Khi dòng điện tải là liên tục, hàm truyền động cơ DC kích từ độc lập được xây dựng từ các pt sau



Hình 3.3a

Trong đó:

U : Điện áp phần ứng động cơ.

E, I : sức điện động, dòng điện phần ứng của động cơ. I được viết in hoa để chỉ giá trị

trung bình.

R : điện trở tương đương của các sụt áp trên phần ứng, L : tự cảm mạch điện phần ứng,
 $T_{dt} = L/R$ gọi là hằng số thời gian điện từ

ε : Phản ứng phần ứng của động cơ, luôn được bỏ qua khi khảo sát truyền động điện.

C_e : Hằng số điện từ của động cơ một chiều, tỉ lệ (hệ số k) vào từ thông ϕ của cuộn kích từ.

M : momen động cơ, ở chế độ xác lập bằng momen cản trên trục.

ω : tốc độ, tính bằng rad/giây.

Trong chế độ xác lập, dòng trung bình không đổi, suy ra:

$$w = \frac{1}{C_e}(U - R \cdot I) \quad \langle 3.2 \rangle \text{ Đây là phương trình đặc tính cơ đơ DC.}$$

Nếu dòng tải gián đoạn, ta không có quá độ điện từ vì dòng điện tải là những xung có dạng không đổi, đạt chế độ tựa xác lập ngay sau khi thay đổi xung điều khiển: $T_{dt} = 0$

- *Hàm truyền BBD*: Một cách gần đúng, tất cả BBD luôn có dạng một khâu trễ vì ngõ ra của nó không thể thay đổi giữa hai lần phát xung điều khiển. Hàm truyền BBD có thể được tuyến tính hóa thành khâu quán tính như dạng sau:

$$H(s) = K_{BD} \cdot e^{-T_{BD}s} \approx \frac{K_{BD}}{1 + sT_{BD}} \quad \text{trong đó}$$

K_{BD} là tỉ số trung bình áp ra V_O trên áp điều khiển U_{DK} ở ngõ vào mạch điều khiển BBD. K_{BD} xác định từ sơ đồ phát xung điều khiển để tạo ra dạng áp trên tải tương ứng. K_{BD} thay đổi theo chế độ tải và mạch phát xung. Như đã khảo sát, để có K_{BD} không bị ảnh hưởng bởi tải, BBD cần làm việc ở dòng liên tục.

T_{BD} là hằng số thời gian, tính bằng trung bình của chu kỳ phát xung điều khiển (thời gian của hai xung liên tiếp).

Ví dụ: T_{BD} của BBD áp DC là chu kỳ T của tín hiệu điều khiển ngắt điện. Khi các ngắt điện là transistor, ta có thể xem BBD là bộ khuếch đại tác động tức thời vì tần số đóng ngắt của transistor rất cao.

2. Chế độ hãm của TĐĐ:

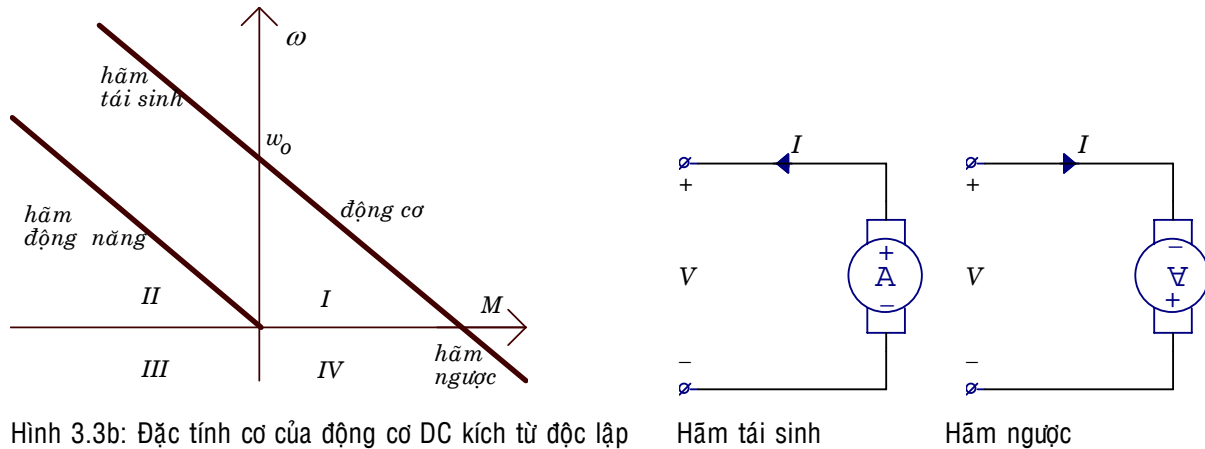
a. *Khái niệm về chế độ hãm*: Hai trục tọa độ chia mặt phẳng đặc tính cơ ra làm 4 phần tương ứng với hai chế độ là việc của động cơ:

Phần tư I và III có momen M cùng chiều tốc độ ω , $P = M \cdot \omega > 0$, máy điện làm việc ở chế độ động cơ: Điện năng --> cơ năng.

Phần tư II và IV có momen M ngược chiều tốc độ ω , $P = M \cdot \omega < 0$, máy điện làm việc ở chế độ máy phát: Cơ năng --> điện năng. Chế độ này còn gọi là chế độ hãm vì momen động cơ chống lại chuyển động.

Các chế độ hãm:

Quan sát động cơ DC làm việc với nguồn áp, đặc tính cơ là đường thẳng phương trình $\langle 3.2 \rangle$ trên hình 3.3a.



Hình 3.3b: Đặc tính cơ của động cơ DC kích từ độc lập

Khi $w > w_0 = U/C_e$ là tốc độ không tải lý tưởng, điểm làm việc di chuyển sang phần tư thứ II: ta có chế độ hãm tái sinh (regenerative braking). Khi đó $E = C_e \cdot w > U$, dòng điện đảo chiều, động cơ biến thành máy phát trả năng lượng về nguồn.

Khi $w < 0$, động cơ đảo chiều quay, điểm làm việc di chuyển sang phần tư thứ IV: ta có chế độ hãm ngược. Khi đó $E = C_e \cdot w < 0$ cùng chiều với áp nguồn làm dòng điện tăng cao ứng với momen hãm lớn. Trường hợp này xảy ra khi ta đóng nguồn theo chiều ngược lại một động cơ đang quay, động cơ sẽ hãm rất nhanh trước khi khởi động theo chiều ngược lại.

Khi $U = 0$, động cơ biến thành máy phát, dòng điện $I = -E/R$ đảo chiều làm cho momen $M = C_e \cdot I < 0$: điểm làm việc di chuyển sang phần tư thứ II, ta có chế độ hãm động năng (dynamic braking). Khi đó, cơ năng biến thành điện năng tiêu tán trên điện trở của mạch. Chế độ hãm này được gọi là động năng vì thường được dùng để hãm dừng động cơ đang quay, năng lượng hãm chính là động năng của chuyển động.

Động cơ không đồng bộ cũng có những quá trình hãm tương tự khi ta quan sát đặc tính cơ trên hình 3.1. Trường hợp động cơ làm việc ở tốc độ lớn hơn tốc độ đồng bộ ω_0 , $M < 0$ tương ứng chế độ hãm. Ta có hãm tái sinh vì động cơ biến thành máy phát, chuyển năng lượng về lưới AC. Khi đó HT cần nguồn cơ năng, ví dụ động cơ đang được một động cơ khác kéo hay HT đang có năng lượng tích trữ dạng động năng hay thế năng cần tiêu tán.

- Ứng dụng chế độ hãm trong truyền động điện: Động cơ điện làm việc ở chế độ hãm trong hai trường hợp:

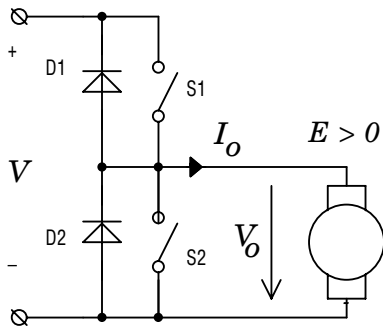
* Hãm dừng động cơ đang quay hay giảm tốc độ: Để dừng hay giảm tốc nhanh động cơ đang quay ở tốc độ cao, động năng của bộ phận chuyển động cần được tiêu hao. Chế độ hãm cho phép biến đổi cơ năng này thành điện năng tương ứng với momen hãm, chỉ tồn tại trong quá trình quá độ.

* Hãm động cơ bị kéo do một ngoại lực, ví dụ như hạ tải thế năng hay xả cuộn giấy hay tôn. Lực hãm của động cơ cân bằng lực kéo làm hệ thống chuyển động đều. Khi đó động cơ làm việc như máy phát, biến đổi cơ năng thành điện năng.

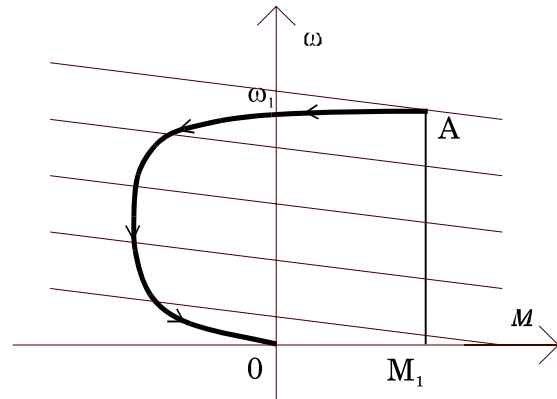
b. Chế độ hãm tái sinh của hệ thống truyền động BBD động cơ:

Để giúp động cơ làm việc ở chế độ hãm, BBD cần có khả năng nghịch lưu – chuyển năng lượng điện từ tải về nguồn. Lưu ý không phải BBD nào cũng có khả năng này, ví dụ như các bộ biến đổi sau không thể nghịch lưu: Chỉnh lưu điều khiển pha, sơ đồ chỉnh lưu điều khiển không hoàn toàn (SCR + D), BBD áp DC sơ đồ 1 phần tư (1 quadrant) mặt phẳng tải.

BBĐ áp DC sơ đồ 2 phần tử cho phép hãm tái sinh động cơ DC dễ dàng vì nó làm việc được ở phần tử I và II: $V_o > 0$ và I_o có thể đảo chiều. Chỉ cần giảm trung bình áp ra V_o nhỏ hơn sức điện động E của động cơ, dòng tải $I_o = (V_o - E) / R$ đảo chiều, $M < 0$ đưa động cơ vào chế độ hãm.

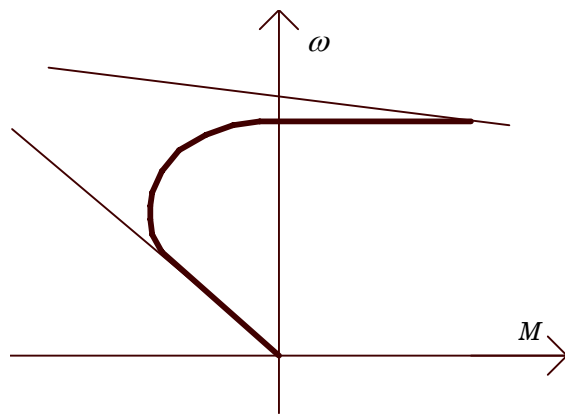


Hình 3.4.a: HT truyền động dùng động cơ DC và BBĐ áp DC, sơ đồ làm việc 2 phần tử



Hình 3.4.b: Quỹ đạo pha khi hãm dùng BBĐ hai phần tử (hãm tái sinh) bằng cách giảm dần V_o về 0.

Ví dụ 1: (hình 3.4b) Điều khiển hãm dừng xe điện chạy bằng BBĐ hai phần tử và nguồn accu (hình 3.4.a). Giả sử xe đang chạy với tốc độ ω_1 (điểm A) và ta muốn dừng nhanh. Có thể ngắt điện động cơ và sử dụng thắng cơ khí, khi đó động năng chủ yếu biến thành nhiệt do ma sát. Nhưng nếu ta giảm dần áp ra V_o của BBĐ, dòng điện I_o sẽ đảo chiều, động cơ biến thành máy phát và BBĐ sẽ làm việc trong chế độ tăng áp, nạp năng lượng trở về accu. Vì thế phương pháp này được gọi là hãm tái sinh.

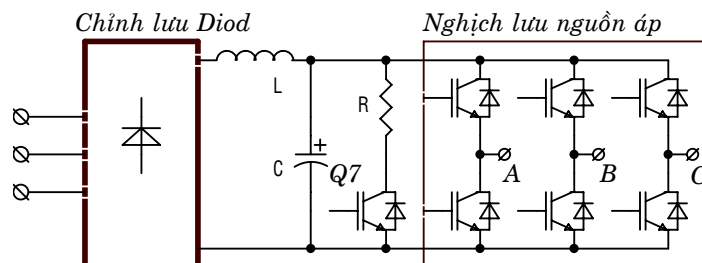


Hình 3.4.c: Quỹ đạo pha khi hãm dùng điện trở (hãm động năng).

Ví dụ 2: (hình 3.4b) Để dừng nhanh động cơ DC, người ta có thể ngắt nguồn, nối tắt phần ứng bằng một R nhỏ. Động cơ biến thành máy phát, dòng điện đảo chiều tạo ra momen hãm và động năng HT sẽ tiêu tán trong mạch phần ứng, phương trình đặc tính cơ động cơ khi hãm là: $\omega = -\frac{R}{(k\phi)^2} M$, Momen hãm giảm nhanh khi tốc độ về không (hình 3.4c)..

Trong khi đó, quy trình hãm ở động cơ DC dùng chỉnh lưu điều khiển pha phức tạp hơn nhiều như sẽ trình bày trong các mục sau của chương này.

Đối với biến tần nguồn áp công suất trung bình và bé (hình 3.5), đầu vào thường là chỉnh lưu diod nên BBĐ không trả năng



Hình 3.5: Mạch động lực biến tần có khâu trung gian DC và nghịch lưu nguồn áp.

lượng về lưới được nhưng bộ nghịch lưu nguồn áp lại có đặc tính thuận nghịch. Khi tải bộ nghịch lưu là động cơ không đồng bộ làm việc trong trạng thái hãm, cơ năng được biến thành điện năng và chỉ có thể tích trữ ở tụ lọc C. IGBT Q7 và điện trở R có nhiệm vụ tiêu thụ năng lượng này để tránh quá áp mạch điện một chiều. Việc hãm chuyển động bằng điện trong đó tiêu thụ điện năng (từ cơ năng biến thành) qua điện trở được gọi là hãm động năng (dynamic braking). Ở biến tần công suất lớn, chỉnh lưu đầu vào phải dùng SCR với khả năng làm việc ở phần tư thứ hai, khi đó năng lượng sẽ được trả về lưới: hãm tái sinh.

4. Các bài toán của TĐĐ:

- *Điều khiển momen*: Ngoài bài toán điều khiển momen trong quá trình tăng, giảm tốc, trong rất nhiều trường hợp cần phải điều khiển momen trong chế độ xác lập. Có thể kể:

* Yêu cầu bảo vệ quá tải (cơ và điện) vì momen khi làm việc tỉ lệ với dòng điện qua động cơ do sự cố hay khi làm việc bình thường (đặc tính máy xúc) \Leftrightarrow bảo vệ dòng của BĐĐ.

* Một số dạng tải yêu cầu làm việc ở momen hay lực kéo đặt trước, ví dụ như các phương tiện vận tải do người lái không thể điều khiển tự động theo tốc độ, các cơ cấu cuộn giấy, sản phẩm dạng băng cần tốc độ thay đổi theo đường kính cuộn.

- *Điều khiển tốc độ*: Là bài toán quen thuộc, tốc độ luôn ảnh hưởng chất lượng và năng suất của máy móc. Do đó điều chỉnh và ổn định tốc độ cho truyền động các máy móc công luôn là bài toán căn bản của TĐĐ.

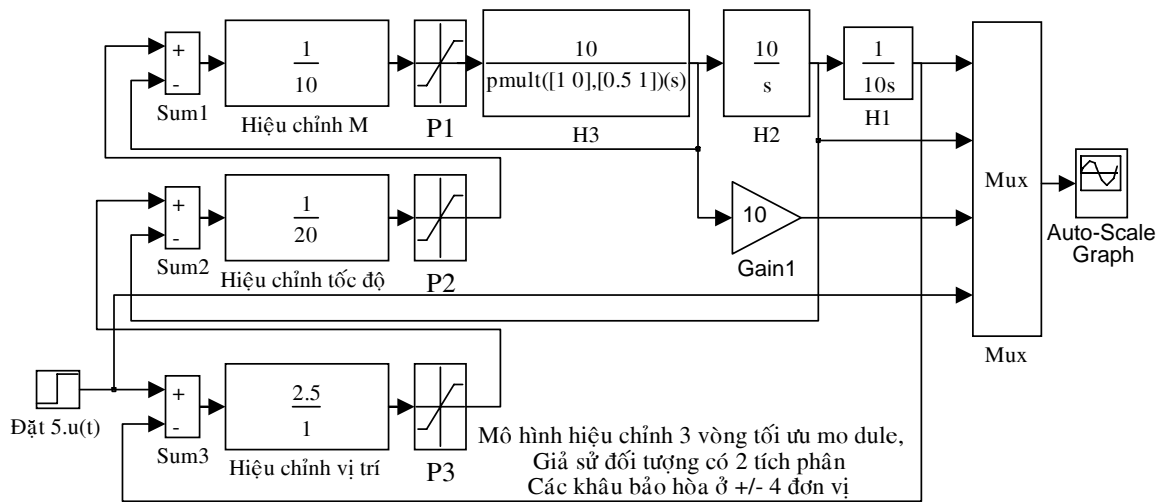
- *Điều khiển vị trí*: trong một số máy móc, ta cần điều khiển vị trí một bộ phận công tác ví dụ như toạ độ điểm khoan, vị trí bốc dỡ tải trong cầu trục tự động (không người điều khiển), buồng thang máy. Hai bài toán quan trọng của điều khiển vị trí là:

* Tác động nhanh: Tối thiểu thời gian di chuyển. Bài toán này thường kết hợp với các yêu cầu khác như hạn chế gia tốc, tốc độ.

* Dừng chính xác và hạn chế vọt lố: Đây là một yêu cầu dẫn đến giảm tính tác động nhanh, theo đó động cơ phải di chuyển dần đến vị trí đích không vọt lố và giảm tối thiểu sai số.

Bài toán điều khiển vị trí như vậy thường được giải quyết bằng cách chọn sơ đồ điều khiển thích hợp và tính toán tín hiệu đặt theo quỹ đạo pha chuyển động tối ưu. Quỹ đạo pha chuyển động tối ưu có thể mô tả đơn giản là hệ thống cần có đồ thị thích hợp cho tốc độ, gia tốc khi khởi động, hoạt động và giảm tốc trước khi đến đích.

Ví dụ: Dùng Simulink để mô phỏng quá trình điều khiển vị trí khi hiệu chỉnh 3 vòng tối ưu module khi tín hiệu đầu vào là hàm nấc và hàm dốc.

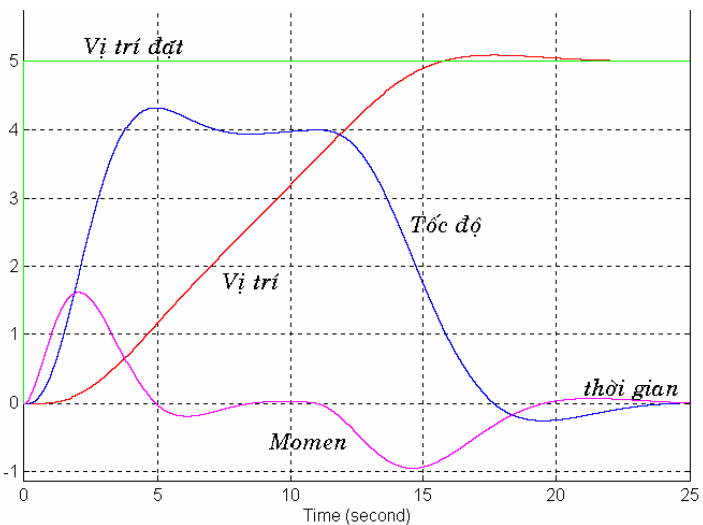


Hình 3.6: Mô hình Simulink hiệu chỉnh 3 vòng tối ưu module.

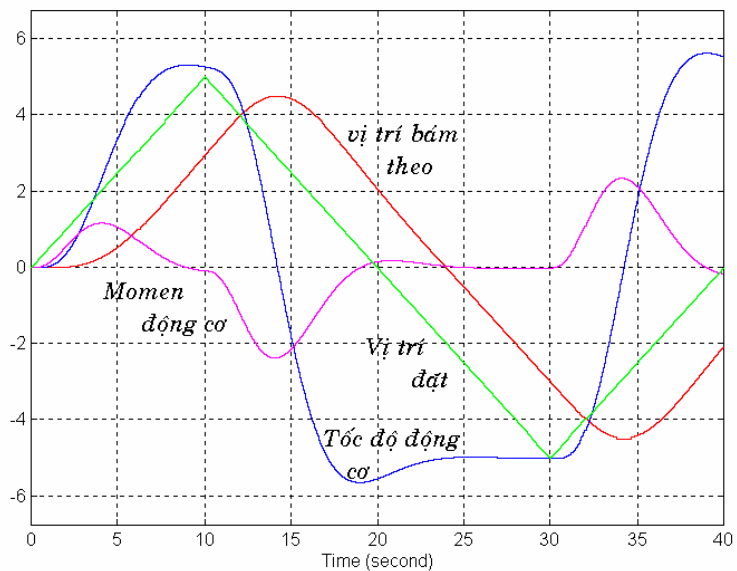
Momen, tốc độ, vị trí là ba biến trạng thái của truyền động điện và ta có thể sử dụng điều khiển tọa độ. Khi đó, ta có thể điều khiển vị trí (vòng ngoài cùng) với momen, tốc độ (các vòng trong) được giữ trong giới hạn định trước.

Dùng Simulink mô phỏng HT và kết quả hiệu chỉnh 3 vòng thành tối ưu module được trình bày trên hình 3.6. Trong ví dụ này, hiệu

chỉnh P được dùng vì các hàm truyền đối tượng đều có tích phân, giả sử này tuy không phù hợp động cơ thực nhưng không làm thay đổi ý nghĩa của phương pháp. Từ đồ thị, khi tốc độ hằng số, vị trí tăng tuyến tính theo thời gian, momen động cơ khi đó gần bằng không vì động cơ không có momen cản. Quá độ tốc độ có dạng của đường cong bậc hai tới hạn.



Hình 3.7a: Kết quả khảo sát mô hình với tín hiệu đặt hàm nấc.



Hình 3.7b: Kết quả khảo sát mô hình với tín hiệu đặt hàm dốc

- Điều khiển theo bám (tùy động): Là một dạng điều khiển vị trí, khi vị trí đặt thay đổi

theo thời gian và như vậy động cơ cần phải tác động đủ nhanh để có thể bám theo.

Hình 3.7 cho thấy hiệu chỉnh thành tối ưu module không đạt yêu cầu bám theo hàm dốc. Như ta đã biết, để vô sai với hàm dốc cần phải hiệu chỉnh tối ưu đối xứng. Ta có thể dựa vào sơ đồ khối hình 3.6 để hiệu chỉnh tối ưu đối xứng cho khâu vị trí để kiểm tra. Trong thực tế, ngoài phần hiệu chỉnh tọa độ, người ta còn đưa vào các phản hồi/hiệu chỉnh song song để cải thiện đặc tính quá độ khi dùng mạch analog. Khi điều khiển số, thông số PID sẽ được điều chỉnh tự động trong quá trình làm việc, thích hợp với trạng thái hệ thống và chất lượng động học mong muốn trong từng giai đoạn.

5. Quá trình khởi động:

Động cơ điện là một tải động: với cùng dòng điện, sụt áp qua nó tăng theo tốc độ quay. Do đó khi đóng trực tiếp vào lưới để khởi động, dòng qua động cơ luôn luôn lớn. Dòng điện này có thể từ 5 đến 7 lần dòng định mức, có thể gây sụt áp làm ảnh hưởng các tải khác trong lưới điện. Nhất là đối với tải động cơ, sụt áp lớn có thể khiến các động cơ này sụt tốc và tăng dòng. Vì vậy khi công suất động cơ khá lớn hay ở các khu vực yêu cầu chất lượng điện năng cao, người ta cần có bộ khởi động. Khi đó dòng điện sẽ được giới hạn ở giá trị cho phép. Khi giảm dòng khởi động, ta cần để ý đến momen khởi động, nó cần phải lớn hơn momen cản để HT có thể tăng tốc.

Bộ khởi động còn có khả năng điều khiển momen động để hạn chế ứng suất trong các phần tử chuyển động, nhằm tránh hư hỏng, tăng độ bền ví dụ như ở băng tải, thiết bị công nghiệp giấy, in, vải... Điều này cũng tương đương với việc giới hạn gia tốc của chuyển động.

Trong các bộ khởi động chất lượng cao ta có thể đặt trước thời gian khởi động hay tăng tốc (acceleration) tương ứng với một dạng đường cong tăng tốc chọn trước, có thể là hàm dốc (RAMP) hay chữ S. Thời gian khởi động dài \Leftrightarrow gia tốc nhỏ hay momen động, ứng suất nhỏ. Tương tự ta cũng có thể chọn thời gian và dạng của đường cong giảm tốc (deceleration).

III.2 TĐĐ ĐCƠ DC DÙNG CHỈNH LƯU ĐIỀU KHIỂN PHA:

1. Sơ đồ khối:

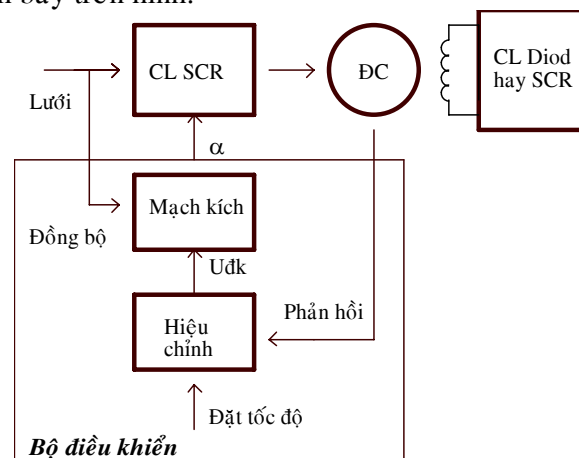
Để điều khiển tốc độ động cơ DC từ lưới công nghiệp, bộ chỉnh lưu có thể được dùng để cung cấp áp phần ứng và dòng kích từ như trình bày trên hình.

- Trong các HT TĐĐ động cơ DC dùng BBD, người ta thường dùng động cơ kích từ độc lập hay hỗn hợp, ít khi dùng động cơ nối tiếp vì khó điều chỉnh: tốc độ tăng rất cao khi không tải.

- Ở công suất nhỏ đến trung bình và không đảo chiều, bộ chỉnh lưu điều khiển không hoàn toàn (SCR + Diode) có thể được dùng vì kinh tế và đơn giản. Ở công suất trung bình và lớn hay khi cần làm việc ở chế độ hãm, bộ chỉnh lưu điều khiển toàn phần luôn được sử dụng. BBD đảo chiều sẽ được

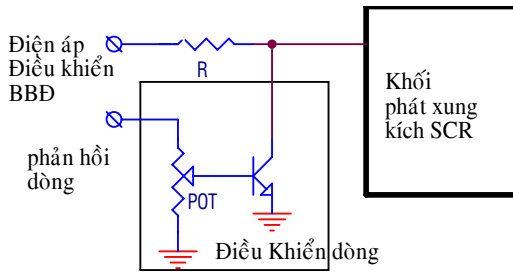
xét đến khi cần đảo chiều động cơ hay trả năng lượng về lưới thường xuyên.

- Chỉnh lưu điều khiển pha chỉ dùng cho mạch kích từ khi cần hoạt động ở tốc độ cao

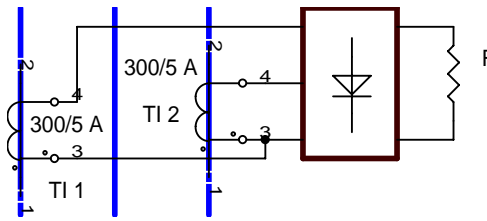


hơn tốc độ cơ bản, và như ta đã biết từ ví dụ ở mục III.1.2, từ thông chỉ được giảm khi áp đã tăng đến giá trị định mức.

2. Sơ đồ điều khiển HT chỉnh lưu - Đơ:



hình 3.8a



Hình 3.8b

Với bài toán điều khiển momen và tốc độ, sơ đồ điều khiển tọa độ cho bộ nguồn DC ở chương 2 đều có thể dùng lại cho HT điều khiển tốc độ động cơ DC khi để ý momen tỉ lệ với dòng điện động cơ và tốc độ là đại lượng cần điều khiển được phản hồi ở vòng ngoài thay cho điện áp.

Ở các động cơ công suất bé hay ở một số mạch điều khiển đơn giản, vòng dòng điện chỉ là mạch ngắt dùng BJT như hình 3.8a. Khi đó transistor là một điện trở thay đổi, nó làm giảm áp điều khiển U_{DK} đến mạch kích \Leftrightarrow giảm áp ra và giảm dòng ra tương ứng với vị trí của biến trở POT, sao cho áp trên cực BE của BJT bằng 0.6 V. Tín hiệu dòng có thể lấy qua một shunt + mạch khuếch đại cách ly (ở các HT chất lượng cao) hay dùng biến dòng ở trước chỉnh lưu nếu dòng lưới không có thành phần DC (hình 3.8b). Do tải không có trung tính, chỉ cần hai biến dòng là đủ cho hệ thống 3 pha.

Để điều khiển tốc độ, tốt nhất là phản hồi tốc độ. Có thể dùng máy phát tốc là loại máy phát điện đặc biệt, có ngõ ra tỉ lệ tuyến tính với tốc độ quay. Có ba loại: Máy phát tốc DC, AC (tachogenerator) có ngõ ra là điện áp và xung (pulse tachogenerator) cho ra chuỗi xung có tần số tỉ lệ tuyến tính với tốc độ quay. Ta cần **chỉnh lưu và lọc phẳng** cho ngõ ra AC tachogenerator và **biến đổi tần số ra điện áp** cho phát tốc xung (còn được gọi là bộ mã hóa góc quay tương đối – incremental rotary encoder) khi sử dụng các bộ điều khiển analog được trình bày trong chương 2.

Khi không cần chính xác, ta có thể phản hồi điện áp ngõ ra bộ biến đổi để giữ ổn định áp ra và bù sụt tốc do tải (dòng điện) thay đổi. Người ta còn gọi là nguyên tắc phản hồi âm áp, dương dòng khi để ý đến dấu của các phản hồi. Có thể CM (lý thuyết) là với các tỉ lệ thích hợp, phản hồi này cho ta phản hồi tốc độ, khi đó nó được gọi là phản hồi cầu tốc độ. (xem lại hình II.4.8)

Bài tập: Tìm hệ số α, β để phản hồi âm điện áp U_{dc} và phản hồi dương dòng I tương đương phản hồi âm tốc độ ω .

Hướng dẫn: Đồng nhất hai vế biểu thức áp phản hồi $U_{fn} = -\alpha.U_{dc} + \beta.I \equiv -\gamma.\omega$, với γ là hệ số tỉ lệ.

3. Hàm truyền bộ chỉnh lưu và dạng áp đồng bộ – ảnh hưởng của dòng gián đoạn:

Áp dụng các tính chất chung của hàm truyền BBD (mục II.1 5) cho sơ đồ chỉnh lưu, ta có các nhận xét sau:

- Hằng số thời gian T_{BD} của chỉnh lưu điều khiển pha bằng $20/m$ (ms) khi tần số lưới là

50 Hz, m là số xung.

- Hệ số khuếch đại K_{BD} thay đổi theo chế độ dòng tải và mạch phát xung. Khi dòng tải liên tục (L tải đủ lớn hay ở bộ chỉnh lưu đảo chiều điều khiển chung) K_{BD} chỉ phụ thuộc mạch điều khiển. Biểu thức cho trung bình áp ngõ ra:

$$V_o = V_{do} \cdot \cos \alpha \text{ khi điều khiển hoàn toàn hay } V_o = \frac{1}{2} V_{do} (1 + \cos \alpha) \text{ khi điều khiển không}$$

hoàn toàn. V_{do} là trung bình áp ra chỉnh lưu diod. Quan hệ α và áp điều khiển U_{dk} xác định từ sơ đồ phát xung. Có thể chứng minh dễ dàng là chỉ khi dùng bộ phát xung theo nguyên lý so sánh và đồng bộ cosin, K_{BD} mới có thể là hằng số. Thật vậy, khi đó $\alpha = \cos^{-1}(U_{dk} / U_{db\max})$ suy ra $K_{BD} = V_o / U_{dk} = V_{do} / U_{db\max}$.

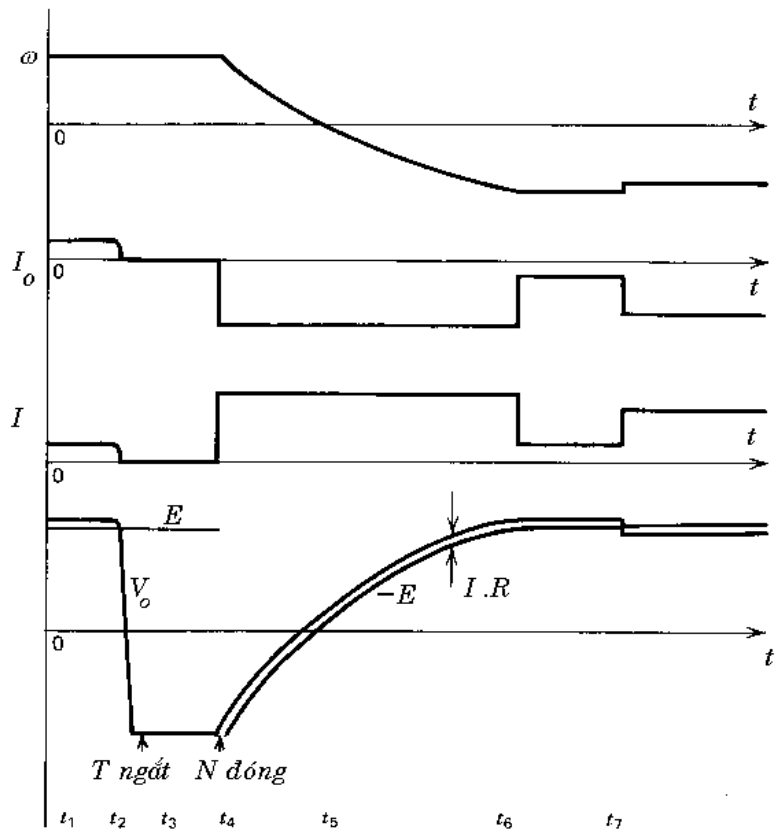
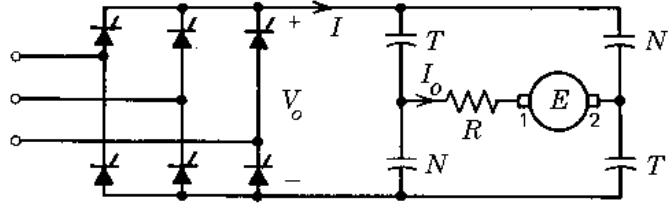
- Ảnh hưởng của dòng gián đoạn: Như ta đã biết, mạch động lực không có quán tính điện từ khi dòng gián đoạn. Điều này ảnh hưởng khá lớn đối với động học của hệ thống sử dụng chỉnh lưu điều khiển pha: hàm truyền hiệu chỉnh HT khi dòng liên tục và gián đoạn là khác nhau. Khi cần chất lượng động học cao, người ta sử dụng hai bộ hiệu chỉnh cho hai trường hợp dòng tải, dùng một bộ kiểm tra dòng bằng không để chọn bộ hiệu chỉnh làm việc.

4. Hãm động cơ DC: (Sự làm việc 2 phần tử mặt phẳng đặc tính cơ của HT chỉnh lưu động cơ DC).

Ta đã biết bộ chỉnh lưu điều khiển hoàn toàn có thể làm việc ở 2 phần tử thứ I tương ứng với chế độ chỉnh lưu và phần tử thứ IV ứng với chế độ nghịch lưu. Trong chế độ động cơ, HT làm việc ở phần tử thứ I: $V_o, E > 0$.

Muốn hãm dừng một động cơ đang quay, đầu tiên ta giảm V_o bằng cách tăng α , để dòng qua động cơ giảm về 0 (t_2). Sau đó khóa xung kích SCR và đảo cực tính động cơ để chuẩn bị cho chế độ

nghịch lưu. Để hạn chế dòng qua BBD khi kích xung trở lại, ta tăng góc α đến giá trị max tương ứng với áp nghịch lưu cực đại và giảm dần (t_3). Khi trị số tuyệt đối $|V_o|$ bắt đầu bé hơn trị số tuyệt đối của sức điện động $|E|$ động cơ, dòng điện xuất hiện trở lại (t_4) và ta có quá



Hình 3.9: Hãm và đảo chiều động cơ một chiều khi dùng contactor đảo chiều

trình hãm. Góc kích α giảm dần cùng với biên độ của E khi tốc độ động cơ giảm để duy trì momen hãm cho đến khi động cơ dừng (t5).

Việc đưa góc ĐK pha α về giá trị max khi hãm để tránh quá dòng được gọi là kỹ thuật “PHASE BACK”, nó đảm bảo trung bình áp ra khi đóng điện luôn bé hơn (số đại số) sức phản điện, nên dòng điện qua mạch khi nối sức phản điện vào BBĐ luôn bằng không. Để dòng điện không cho dòng vượt quá giá trị cho phép trong quá trình hãm, tốc độ giảm góc α phải tương ứng với tốc độ giảm sức điện động tải E vì $I = (V_O - E)/R$. Vòng điều khiển momen (dòng điện cũng có khả năng hạn chế dòng khi quá độ.

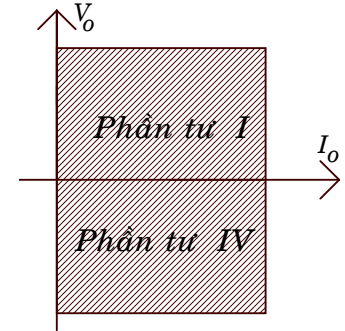
Ta còn gặp lại kỹ thuật này trong các sơ đồ điều khiển TĐĐ đảo chiều quay.

5. TĐĐ đảo chiều quay:

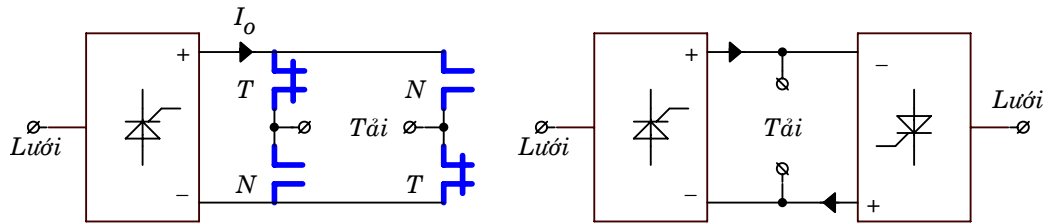
a. Các sơ đồ:

Chỉ lưu điều khiển pha dù có thể cung cấp áp ra > 0 và < 0 nhưng dòng ra chỉ cho phép > 0 (làm việc phần tư thứ I và IV của mặt phẳng tải V_O, I_O) hình 3.10a. Để có thể đảo chiều dòng điện tải, có hai sơ đồ chính:

- Sử dụng các tiếp điểm đảo chiều (hình 3.10 b và c): Hình vẽ đang có tiếp điểm T đóng, cung cấp 1 chiều dòng tải, nếu T ngắt và N đóng dòng tải sẽ được phép đảo chiều.



Hình 3.10a



Hình 3.10 Sơ đồ nguyên lý: (a) Đảo chiều dùng tiếp điểm

(b) BBĐ đảo chiều

- BBĐ đảo chiều: Gồm hai bộ chỉnh lưu cung cấp hai chiều dòng tải, hình 3.10.(c) là sơ đồ nguyên lý và hình 3.10.(d) là sơ đồ cụ thể với các bộ chỉnh lưu hình tia.

b. Nguyên lý điều khiển BBĐ đảo chiều:

Để hai BBĐ cung cấp cùng giá trị V_O cho tải, các góc đk pha của hai BBĐ sẽ có quan hệ như sau khi giả sử dòng tải là liên tục:

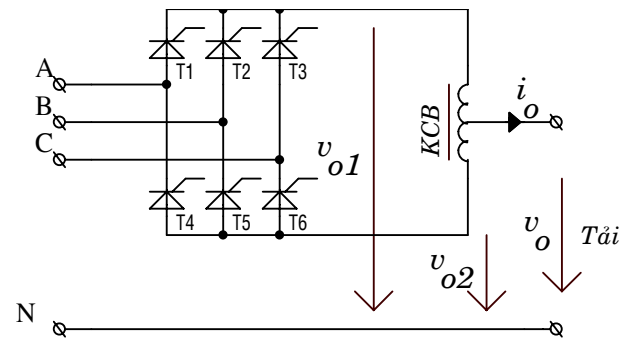
BBĐ 1 cung cấp áp trung bình V_{O1} với góc α_1 , BBĐ 2 cung cấp áp V_{O2} và α_2 .

$$V_O = V_{O1} = V_{dO} \cdot \cos \alpha_1 = V_{O2} = -V_{dO} \cdot \cos \alpha_2 \Rightarrow \cos \alpha_1 = -\cos \alpha_2 \text{ hay } \alpha_1 + \alpha_2 = \pi$$

nếu $\alpha_1 > 0$: BBĐ 1 là chỉnh lưu $\Rightarrow \alpha_2 < 0$: BBĐ 2 là nghịch lưu.

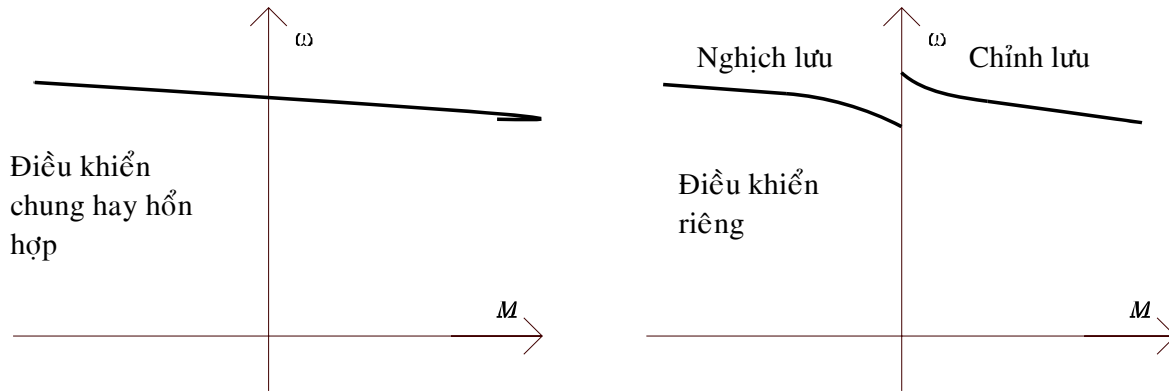
Dù các trị trung bình hai BBĐ là bằng nhau, giá trị tức thời của chúng không bằng nhau làm xuất hiện dòng điện cân bằng (còn gọi là tuần hoàn – circulation) chỉ chạy qua hai bộ chỉnh lưu khi chúng cùng làm việc. Dòng cân bằng có thể rất lớn nếu ta không có tổng trở hạn chế chúng. Người ta có các cách điều khiển sau:

- Điều khiển riêng: Mỗi lúc chỉ cho một bộ chỉnh lưu làm việc tương ứng với chiều dòng



hình 3.10.d

điện hoạt động hay mong muốn. Như vậy không có dòng cân bằng. Với cùng điện áp V_O trên tải, khi đảo chiều dòng thì một BBD là chỉnh lưu, bộ còn lại là nghịch lưu và ngược lại.

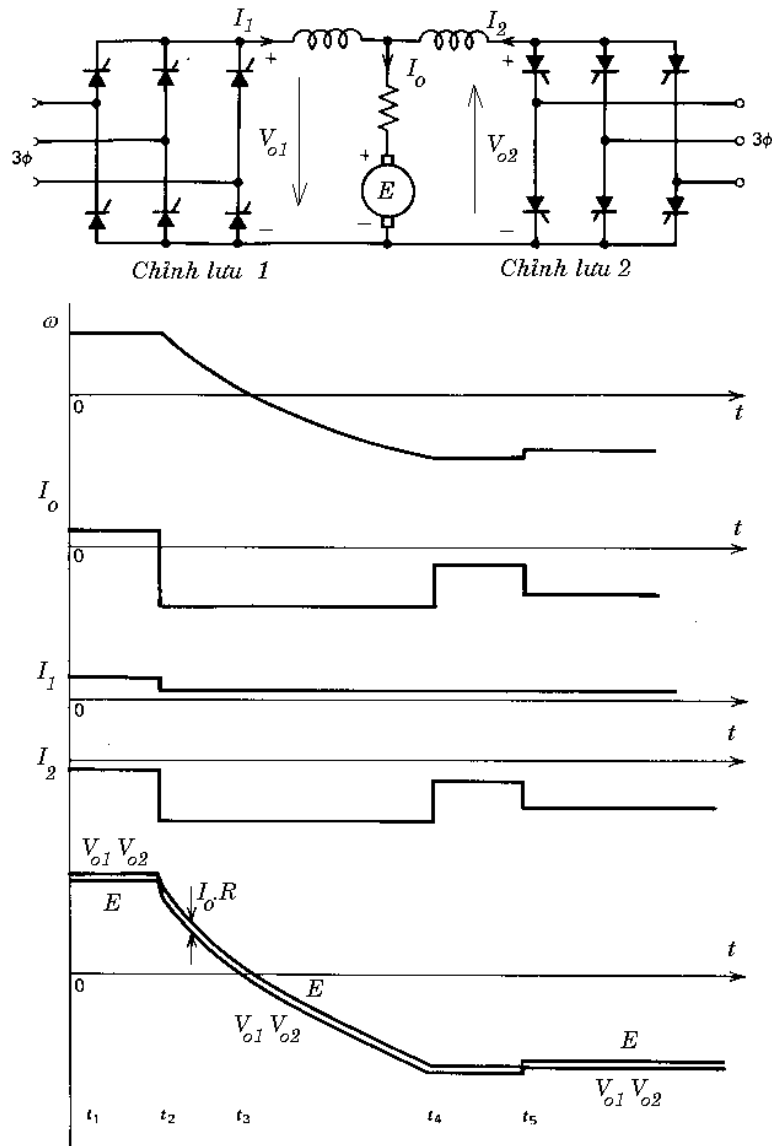


Hình 3.11a: Đặc tính cơ truyền động đảo chiều khi điều khiển chung và riêng.

Ưu điểm quan trọng của việc điều khiển riêng là mạch động lực rẻ tiền, hiệu suất cao hơn điều khiển chung. Nhược điểm là mạch điều khiển phức tạp và đặc tính động kém, cần có thời gian cả hai BBD không làm việc khi chuyển BBD làm việc để tránh trường hợp có thể cả hai BBD cùng dẫn điện.

- Điều khiển chung (đồng thời): Hai BBD cùng có xung điều khiển nhưng chỉ có một bộ có dòng tải, dòng cân bằng được hạn chế bằng cuộn kháng KCB và qui luật điều khiển thích hợp. Có hai cách phối hợp: tuyến tính và phi tuyến.

- Phối hợp tuyến tính: Gọi α_1, α_2 là góc điều khiển pha hai bộ chỉnh lưu. Các áp trung bình $V_{O1} = V_{O2} = V_O$ cho ta $\alpha_1 = \pi - \alpha_2$, tương tự như đã khảo sát ở điều khiển riêng. Áp trên cuộn kháng cân bằng $v_{cb} = v_{O1} - v_{O2}$ không có thành phần một chiều (trị trung bình bằng 0) có thể tính tương tự như kháng cân bằng của bộ chỉnh lưu sáu pha có kháng cân bằng. Dòng



Hình 3.11b Hãm và đảo chiều động cơ khi dùng BBD đảo chiều điều khiển chung

cân bằng có tác dụng làm dòng qua các BBD luôn liên tục.

- Phối hợp phi tuyến: Để giảm nhỏ kích thước cuộn kháng cân bằng trong khi vẫn hạn chế dòng cân bằng ở giá trị mong muốn, người ta điều khiển cho áp ra nghịch lưu lớn hơn áp ra chỉnh lưu:

$$\alpha_2 = \pi + \delta - \alpha_1 \text{ hay } \alpha_1 + \alpha_2 > \pi$$

Điều khiển chung có lợi là mạch điều khiển đơn giản, dòng tải luôn liên tục. Bất lợi là tăng giá thành và tổn hao công suất cao do có dòng cân bằng. Hình 3.11b cho ta quá trình quá độ của BBD đảo chiều điều khiển chung khi hãm và đảo chiều động cơ một chiều. Để ý hai BBD luôn có dòng điện (tối thiểu là dòng cân bằng), quá độ xảy ra một cách liên tục.

- Điều khiển hỗn hợp: Sơ đồ điều khiển hỗn hợp có mạch động lực như sơ đồ điều khiển chung và điều khiển chung khi dòng tải bé và điều khiển riêng khi dòng tải lớn. Như vậy ta đã tận dụng tất cả ưu điểm của hai sơ đồ.

c. Mạch điều khiển chỉnh lưu đảo chiều điều khiển riêng:

Ta biết rằng ở bộ chỉnh lưu kép điều khiển riêng, mỗi lúc chỉ có một bộ chỉnh lưu làm việc. Do đó hạt nhân của mạch điều khiển bộ chỉnh lưu đảo chiều điều khiển riêng là bộ chọn hay định hướng xung đến một trong hai bộ chỉnh lưu. Hai bộ chỉnh lưu có thể dùng chung hay riêng mạch phát xung nhưng cần để ý là với một giá trị áp trung bình V_0 trên tải, bộ làm việc trong chế độ chỉnh lưu có góc điều khiển pha α thì bộ làm việc trong chế độ nghịch lưu nhận xung góc $\pi - \alpha$. Có hai nguyên lý để chọn bộ chỉnh lưu:

- Theo tín hiệu đặt khi ta cần đảo chiều áp ra: chọn làm việc ở phần tư I hay III.
- Theo dòng điện tải khi cần đảo chiều momen, chuyển điểm làm việc từ phần tư I sang II.

Kỹ thuật “phase back “ luôn được ứng dụng để tránh quá dòng khi cho bộ chỉnh lưu bắt đầu làm việc.

Ví dụ cho trường hợp chọn bộ chỉnh lưu theo tín hiệu đặt: Khi bắt đầu kích bộ chỉnh lưu 1, để có áp ra dương, ta bắt đầu bằng cho góc điều khiển pha giá trị max và giảm dần đến giá trị làm việc.

Tương tự, giả sử bộ chỉnh lưu 1 đang làm việc với $V_0 > 0$ (chế độ chỉnh lưu). Khi sức phản điện của tải tăng dần, nếu trung bình áp ra bộ chỉnh lưu là không đổi, dòng tải $I_0 = (V_0 - E)/R$ giảm dần đến zero. Khi đã đảm bảo dòng qua bộ chỉnh lưu 1 bằng không, có thể kích bộ chỉnh lưu 2 từ góc α_{max} và cũng giảm dần đến giá trị làm việc $-V_0 < 0$ tương ứng với chế độ nghịch lưu. Phản hồi điện áp giúp cho ta tìm đến điểm làm việc và phản hồi âm dòng hạn chế khả năng quá dòng có thể xảy ra.

Để đảm bảo dòng qua một bộ chỉnh lưu thật sự bằng không trước khi kích bộ chỉnh lưu còn lại, cần delay một bán kỳ trước khi kích các SCR trở lại để tránh khả năng ngắn mạch hai bộ chỉnh lưu.

III.3 TĐĐ ĐCƠ DC DÙNG BBD ÁP DC:

1. Giới thiệu chung:

Như ta đã biết, BBD áp DC có thể dùng để điều khiển động cơ DC trong các trường hợp:

- Sử dụng trong các truyền động động cơ chấp hành khi khai thác các ưu điểm sau của BBD áp DC: tác động nhanh nhờ sử dụng tần số điều rộng xung lớn (với ngắt điện transistor),

sơ đồ làm việc 4 phần tử đơn giản và rẻ tiền hơn chỉnh lưu điều khiển pha. Khi dùng cho công suất lớn (vài trăm kW), các ưu điểm này không còn vì các ngắt điện thyristor làm việc ở tần số thấp hơn và yêu cầu mạch tắt phức tạp. Ngày nay, truyền động DC cho động cơ chấp hành dần bị thay thế bằng các HT truyền động dùng động cơ AC với chất lượng ngày càng cao.

- Nguồn điện một chiều có sẵn như trường hợp các hệ thống vận tải công cộng ở các nước hay các hệ thống dùng accu. Ngay cả ở trường hợp này, các hệ thống sử dụng động cơ AC cũng tỏ ra ưu thế khi giá thành các bộ nghịch lưu công suất lớn đang giảm nhanh.

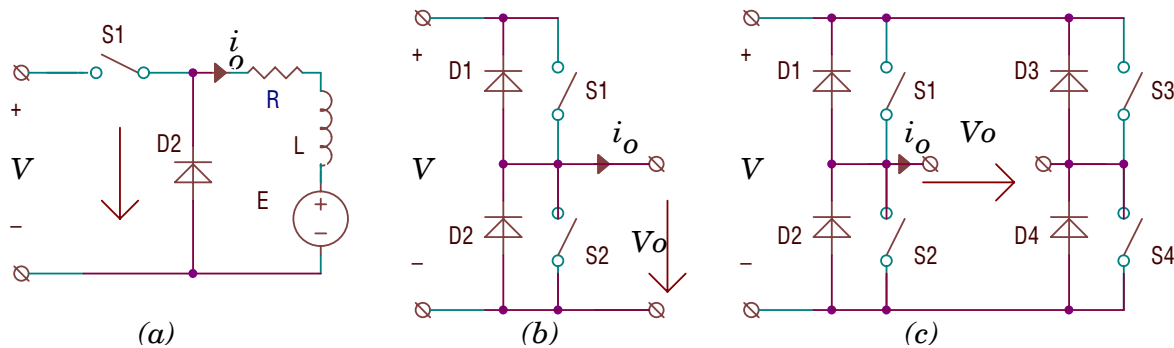
Việc thiết kế BBD có các điểm cần lưu ý sau:

- Một các tổng quát, sơ đồ khối HT không thay đổi so với bộ nguồn hay chỉnh lưu điều khiển pha.

- Để hạn chế dòng điện, bên cạnh việc sử dụng vòng điều khiển dòng điện, người ta có thể tích hợp vào mạch lái bộ phận hạn dòng tức thời, khóa transistor ngay khi dòng điện vượt quá giá trị cho phép (xem lại chương 1). Mạch hạn dòng này có thể thay thế vòng dòng điện nếu tải không cần hạn chế momen (như ở các hệ thống điều khiển vị trí cần tác động nhanh hay công suất bé).

- Việc chọn sơ đồ động lực và điều khiển cần đề ý đến khả năng hãm của BBD.

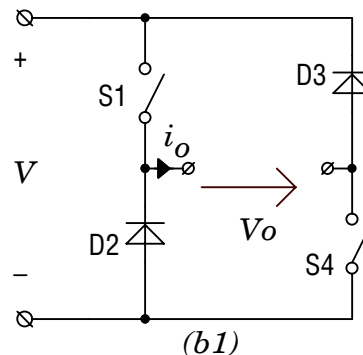
2. Các sơ đồ động lực và thuật toán điều khiển:



Hình 3.12: BBD làm việc 1 phần tử mặt phẳng tải (a), 2 phần tử I và II (b), I và IV (b1) và 4 phần tử (c).

Để dòng điện trong hai sơ đồ (b) và (c) liên tục, đảm bảo sự di chuyển nhanh chóng của điểm làm việc từ phần tử thứ I qua II, ta cần có sự đóng ngắt ngược pha giữa hai ngắt điện nối tiếp nhau: S1, S2 hay S3, S4.

Thật vậy hãy xem sơ đồ (b). Khi S1 đóng, S2 ngắt và ngược lại: dòng tải có thể đảo chiều mà áp ra không đổi. Ví dụ như khi S1 đóng, áp ra sẽ bằng V và khi S2 đóng áp ra bằng 0 bất chấp chiều dòng điện i_o . Do đó sơ đồ (b) có thể làm việc trong chế độ giảm áp (phần tử I)



hay tăng áp (phần tử II) phụ thuộc tương quan giữa trung bình áp ra V_o và sức phản điện E của động cơ. Khi đang kéo ở tốc độ cao: $V_o > E$ và $I_o > 0$, ta giảm V_o . Do động năng phần quay, E không thay đổi tức thời và $V_o > E$: I_o đảo chiều và ta có chế độ hãm cho đến khi $V_o > E$ trở lại.

BẢNG TÓM TẮT CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN SƠ ĐỒ CẦU (hình 3.12c)

Cách điều khiển	Phần tư làm việc	Đặc điểm
$S1 = \overline{S2} = S4 = \overline{S3}$	4 phần tư liên tục	chất lượng động học tốt nhất, lưu ý trùng dẫn, nhấp nhô dòng cao làm tăng tổn hao
điều rộng S1, S4 khi quay thuận, điều rộng S2, S3 khi quay nghịch	I cho quay thuận, III quay ngược	muốn hãm hay đảo chiều cần thay đổi luật đk, đk đơn giản, ít tổn hao, không thể trùng dẫn
$S1 = \overline{S2}$ cho đk tốc độ, $S4 = \overline{S3}$ để chọn chiều quay	I, II quay thuận, III, IV quay ngược	hãm dừng tốt, đảo chiều cần thay đổi luật đk, ít tổn hao, lưu ý trùng dẫn
$S1 = \overline{S2}, S4 = \overline{S3}$ $S1 = S4(wt - \pi)$ lệch nhau góc π	4 phần tư liên tục	chất lượng động học tốt nhất, nhấp nhô dòng thấp và sơ đồ phức tạp nhất, lưu ý trùng dẫn.

Sơ đồ (b1) là trường hợp của sơ đồ (c) khi ta đóng ngắt S1, S4 (S2, S3 luôn ngắt) để cung cấp dòng > 0 cho tải và đóng ngắt S2, S3 để cung cấp dòng < 0. Với cách điều khiển này, ta không có chế độ hãm nếu không có sự bổ sung thuật toán. Thật vậy, dòng tải chỉ có thể đảo chiều khi ta thay đổi cặp ngắt điện làm việc và do đó, khi ta giảm V_o , I_o giảm về 0 và momen động cơ bằng không, HT chỉ giảm tốc nhờ momen cản của tải. Để có lực hãm điện, ta cần chuyển đổi ngắt điện để đảo chiều dòng tải, thuật toán sẽ tương tự như ở bộ chỉnh lưu đảo chiều điều khiển riêng: khóa xung S1, S4 -> delay -> đóng xung S2, S3 ở áp ra thích hợp tránh việc quá dòng. Khi hãm dừng, ta có thể nối tắt phần ứng động cơ bằng một R nhỏ để hãm động năng.

Sự đóng ngắt ngược pha giữa hai ngắt điện nối tiếp nhau (S1, S2 hay S3, S4) trong BBD áp DC có một nhược điểm là có khả năng xảy ra trùng dẫn hai ngắt điện nối tiếp: S1 chưa khóa khi ta đóng S2, làm ngắn mạch nguồn. Điều này có thể loại bỏ bằng một khoảng thời gian nhỏ (vài microsec) không có ngắt điện làm việc giữa hai khoảng dẫn của S1, S2, thực hiện chủ động bằng mạch phát xung hay một mạch trễ trong khối lái transistor.

Ví dụ về mạch điều khiển BBD áp DC công suất bé ($< 5A$, $< 36V$)

Sau đây là một số sơ đồ ĐƠN GIẢN, không có mạch cải thiện đóng ngắt, có thể dùng ở công suất bé, tần số thấp.

- Khi dòng qua động cơ < 1 A, ta có thể dùng vi mạch SN754410 của hãng Texas Instrument, có vỏ dạng DIP16, trong có 4 nửa cầu độc lập có thể ghép thành hai cầu. Với 2 cổng EX-OR (CD4070 hay MC14070) ta điều khiển cầu bằng các tín hiệu:

- PWM: điều rộng xung.
- EN: cho phép hoạt động khi có logic cao.
- DIR: Chọn chiều quay.

Diode phóng điện cần dùng loại phục hồi nhanh, ví dụ FR105 hay FR157. Để tránh hiện tượng trùng dẫn có thể xảy ra khi hai transistor của nửa cầu chuyển mạch, một điện trở nối tiếp nguồn được thêm vào. Vi mạch SN754410 không có bảo vệ nhiệt hay quá dòng như một số vi mạch điều khiển động cơ khác.

để tránh các khả năng tác động nhầm, cần có sự liên động của ba tín hiệu điều khiển để tránh ngắn mạch nguồn (như sơ đồ điều khiển động cơ nhỏ dùng vi mạch SN754410).

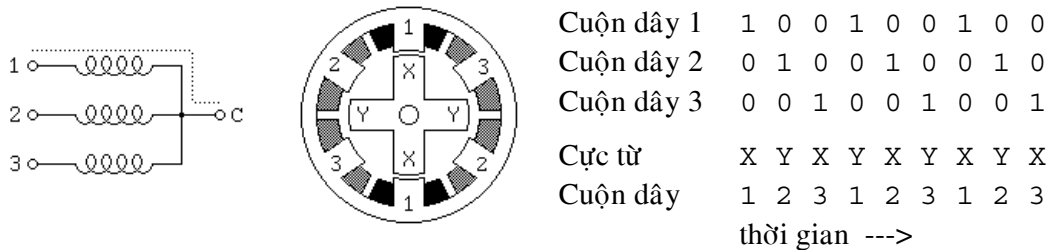
III.4 ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ BƯỚC:

1. Nguyên lý hoạt động, phân loại:

Động cơ bước thường dùng làm phần tử chấp hành trong các hệ thống tự động, có rotor chuyển động từng góc xác định (gọi là bước) khi các cuộn dây được cung cấp một xung dòng điện, và nhờ xung dòng này để giữ ở vị trí mới cho đến xung kế tiếp. Nhờ đó, nó là phần tử lý tưởng cho các hệ thống điều khiển vị trí với các ưu điểm: trực tiếp điều khiển vị trí – không thông qua tốc độ, chỉ cần điều khiển vòng hở và dùng kỹ thuật số. Nhược điểm lớn nhất là chỉ có thể chế tạo được loại công suất bé.

Có ba loại động cơ bước:

- Động cơ bước loại từ trở (reluctance type) hình 3.14, rotor là khối sắt từ có những răng di chuyển trước những cuộn dây sao cho từ trở mạch là bé nhất tương ứng lực hút (holding torque) lớn nhất khi cuộn dây tương ứng có dòng điện. Phụ thuộc vào thứ tự kích



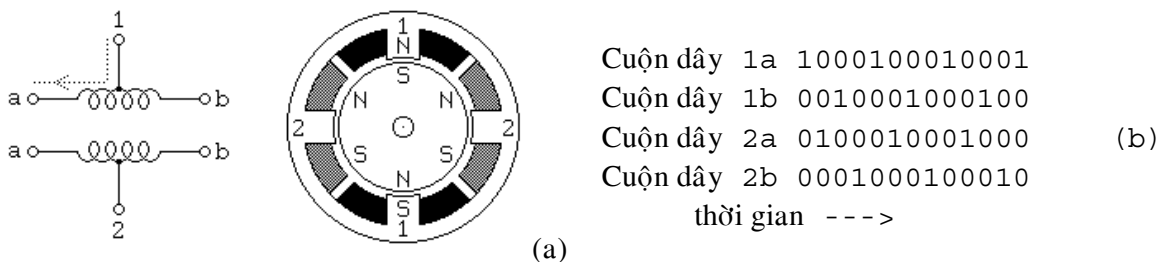
(a)

Hình 3.14:

(b)

xung các cuộn dây ta có sự di chuyển của rotor. Với sơ đồ hình 3.14.a, động cơ có 3 cuộn dây và 4 răng, cần 9 xung để rotor đi được $\frac{1}{2}$ vòng như hình 3.14.b.

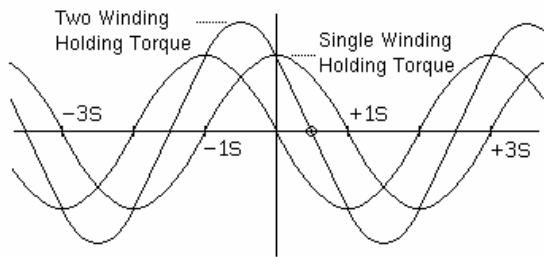
- Động cơ bước loại nam châm vĩnh cửu: có rotor là nam châm vĩnh cửu có lực kéo mạnh hơn vì kết hợp lực nam châm điện của cuộn dây và nam châm rotor. Hình 3.15.a trình bày cấu tạo của động cơ hai cuộn dây có điểm giữa và rotor là 3 nam châm. Dòng điện chảy qua cuộn 1a làm cặp cực từ 1 có cực tính như hình vẽ, và cực tính này sẽ đảo lại nếu kích vào 1b. Như vậy cũng có thể xem động cơ này có 4 cuộn dây một cực tính hay hai cuộn dây làm việc 2 cực tính. Sơ đồ xung điều khiển động cơ hình 3.15.b và 3.15.c khác nhau ở chỗ mỗi lúc có 1 và 2 cuộn dây có điện (single winding và two winding). Hình 3.16 trình bày



(a)

Hình 3.15:

Cuộn dây 1a	1	1	0	0	1	1	0	0	1
Cuộn dây 1b	0	0	1	1	0	0	1	1	0
Cuộn dây 2a	0	1	1	0	0	1	1	0	0



Cuộn dây 2b 1001100110011

thời gian ---->

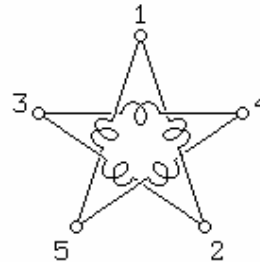
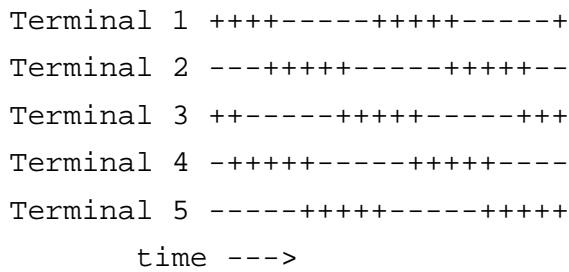
Hình 3.15.c:

Hình 3.16:

momen giữ (holding torque) theo vị trí rotor ứng với hai trường hợp điều khiển của động cơ rotor nam châm vĩnh cửu. Trục tung ứng với trục một cuộn dây, momen sẽ cực đại khi trục cực từ rotor cùng cực tính có hoành độ bằng không và cực tiểu (âm) khi ngược cực tính.

Nhận xét là điều khiển với hai cuộn dây có điện cho ra momen lớn hơn nhưng tiêu tán năng lượng nhiều hơn.

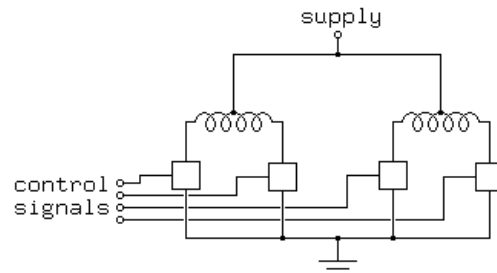
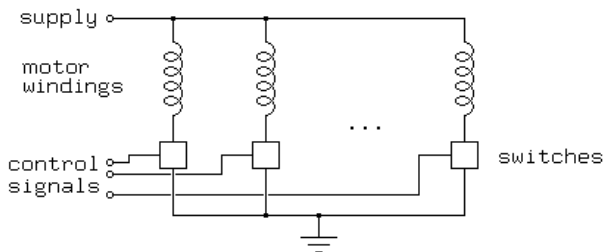
- Thường gặp hơn là loại động cơ bước hỗn hợp với rotor là nam châm vĩnh cửu nhưng có cả răng để tăng độ phân giải (số bước trong một vòng).



Hình 3.17: Động cơ bước 5 pha nối sao.

- Hình 3.17 cho ta sơ đồ nối dây động cơ bước loại 5 pha nối sao, mạch động lực gồm 5 nửa cầu (10 ngắt điện) được điều khiển để 5 ngõ ra có cực tính theo trình tự trên cho 1 chiều quay. Nguyên tắc là các ngõ ra thay đổi trạng thái theo thứ tự 5 -> 4 -> 3 -> 2 -> 1 (hình 3.17) cho một chiều quay và ngược lại cho chiều ngược.

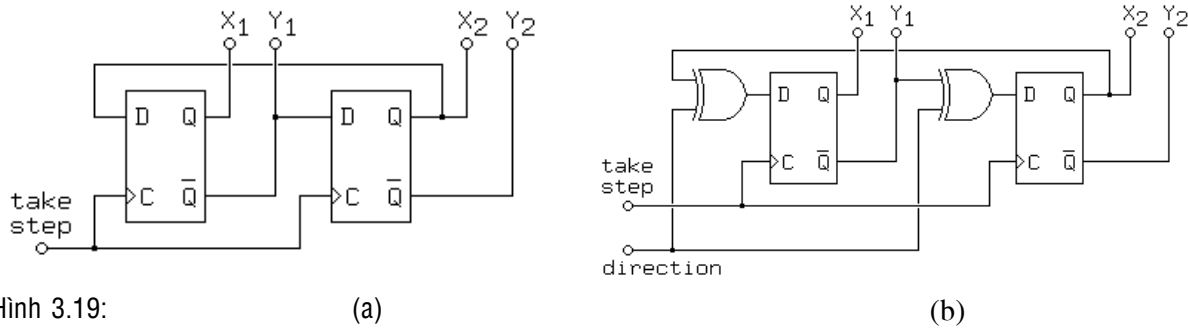
b. Sơ đồ điều khiển:



Hình 3.18:

(a)

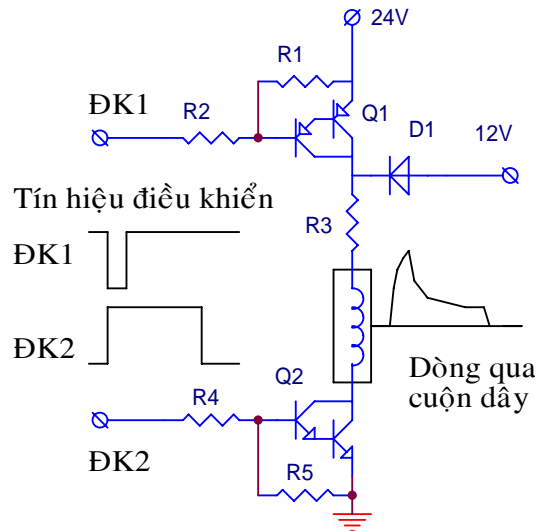
(b)



Hình 3.19: (a)

Hình 3.18.a và 3.18.b cho ta sơ đồ nguyên lý mạch động lực điều khiển động cơ bước của hai loại từ trở và nam châm vĩnh cửu (hay hỗn hợp). Tín hiệu điều khiển (control signals) tác động các ngắt điện điện tử (switches) – thường là transistor (BJT hay FET), đóng ngắt các cuộn dây động cơ (motor windings) vào nguồn cấp điện một chiều (supply).

Hình 3.19 (a) và (b) cho ta hai sơ đồ logic để điều khiển động cơ bước rotor nam châm vĩnh cửu loại 4 cuộn dây, đóng điện mỗi lần hai cuộn dây. Xung điều khiển bước (take step) đưa vào chân xung nhịp C (CLK) của D



Hình 3.20: Mạch lái cuộn dây 1 cực tính

flip flop. sơ đồ (b) cho phép đảo chiều quay từ tín hiệu chiều (direction) điều khiển cổng EX-OR của xung điều khiển bước.

Cuộn dây động cơ bước có thể được xem như một tải RL bình thường, nhưng để có dạng dòng tối ưu: nhanh chóng đạt được biên độ lớn (để cho ra momen quay lớn), sau đó giảm dòng về giá trị bé (hạn chế phát nóng cuộn dây) đủ giữ rotor đứng yên, sơ đồ hình 3.20 có thể được dùng. Áp cung cấp tăng lên khá cao (24V) và dùng R3 hạn dòng cho phép xác lập dòng điện lớn qua cuộn dây nhanh chóng với Q1 và Q2 cùng đóng. Khi rotor động cơ đến vị trí mới: Q1 tắt, nguồn cấp điện cuộn dây chỉ còn 12 V qua D1, đảm bảo dòng điện duy trì cho đến khi có xung bước mới.

Các sơ đồ động lực trên chỉ tạo ra xung một cực tính, thích hợp nhất với loại 4 cuộn dây (6 đầu ra), với một số loại khác (3, 5 pha) hay công suất lớn ta cần xung 2 cực tính. Lúc đó mỗi cuộn dây sẽ được nối với một cầu 4 transistor (BBĐ 4 phần tử) hay các đầu dây động cơ được nối với một cầu nhiều pha (ngược lưu nhiều pha) với sơ đồ phát xung trên với một ít thay đổi.