

BÀN VỀ MỘT PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ BƯỚC A DISCUSSION ON A STEP MOTOR CONTROL METHOD

TS. LƯU KIM THÀNH, KS. PHẠM TÂM THÀNH
Khoa Điện - ĐTTB, Trường ĐHHH

Tóm tắt:

Trong những năm gần đây động cơ bước được sử dụng rộng rãi trong kĩ thuật điều khiển chính xác nhờ những khả năng điều khiển ưu việt. Tuy nhiên, vẫn còn tồn tại những vấn đề phát sinh trong việc sử dụng loại động cơ này ngay cả đối với những người có kinh nghiệm. Bài báo này sẽ góp phần làm rõ hơn phương pháp điều khiển loại động cơ này và giúp tránh những sai lầm dễ phạm phải trong việc thiết kế những hệ thống có sử dụng động cơ bước.

Abstract:

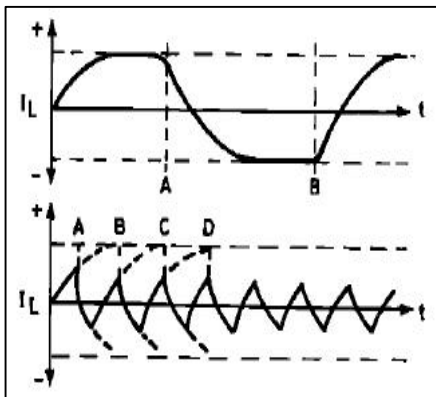
In the recent years, step motors have been used widely in the precise control technology because of a lot of their flexible control abilities. However, there are many problems in using and controlling this type of motor even for experienced designers. The paper is going to guide and explain particularly how to control step motors and avoid the common mistakes in designing system using step motors.

1. Đặt vấn đề

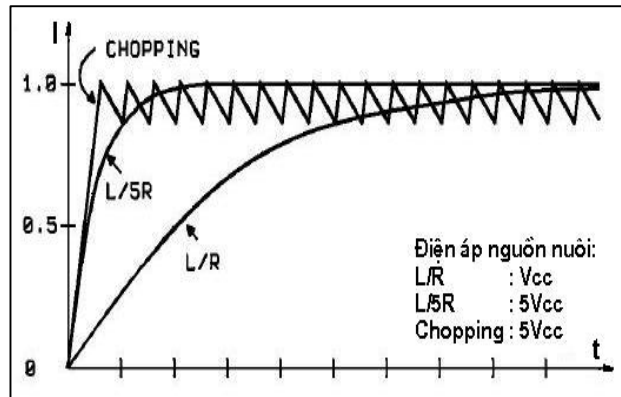
Động cơ bước nói chung có thể được chia thành hai loại chính, động cơ bước nguồn đơn cực (unipolar motor) và động cơ nguồn lưỡng cực (bipolar motor). Trước đây, loại động cơ nguồn đơn cực được sử dụng rộng rãi hơn do tính đơn giản trong cấu trúc điều khiển của chúng. Tuy nhiên, với sự phát triển của các mạch số có độ tích hợp cao, động cơ bước nguồn lưỡng cực ngày nay đang được sử dụng rộng rãi hơn. Mặt khác, trong cùng một điều kiện hoạt động, các động cơ bước nguồn lưỡng cực luôn cho một mô men lớn hơn các động cơ bước nguồn đơn. Cũng chính vì những lý do trên mà bài báo sẽ chú trọng hơn đến phương pháp điều khiển loại động cơ nguồn lưỡng cực này.

2. Đặc tính động cơ bước và các phương pháp điều khiển

Tùy thuộc vào mô men yêu cầu trên trục động cơ và tốc độ quay mà ta có thể áp dụng các phương pháp điều khiển khác nhau cho động cơ bước. Trong vùng tốc độ thấp chỉ cần sử dụng phương pháp điều khiển điện áp trực tiếp, khi đó dòng điện sẽ được giới hạn bởi chính nội trở của các cuộn dây động cơ. Tuy nhiên tại vùng tốc độ cao, nếu sử dụng phương pháp này mô men sẽ bị giảm nghiêm trọng do tính cảm của các cuộn dây sẽ giới hạn khả năng tăng của dòng điện



Hình 1. Dạng momen



Hình 2. Các dạng dòng điện

Một phương pháp có thể áp dụng để cải thiện tình hình này là sử dụng điện trở nối thêm vào các cuộn dây động cơ. Khi đó hằng số thời gian của động cơ sẽ giảm (vì L/nR thay vì L/R) dòng

điện tăng nhanh hơn làm đặc tính cơ của động cơ cứng hơn. Tuy vậy, động cơ sẽ cần một điện áp điều khiển lớn hơn nhiều và hơn 70% công suất nguồn nuôi sẽ tỏa nhiệt trên các điện trở nối thêm này. Chính vì lí do này mà phương pháp điều khiển chopping được sử dụng nhằm nâng cao hiệu suất, và tăng độ cứng cho đặc tính cơ động cơ bước. Dòng điện trong động cơ bước ở cả 3 phương pháp nêu trên được so sánh trong Hình 2.

Trong thực tế, phương pháp điều khiển chopping được sử dụng rất rộng rãi. Có rất nhiều phương pháp thực hiện chopping nhưng có thể phân thành 3 loại chính như sau:

- Phương pháp chopping duy trì tần số không đổi (Hình 3, đây là phương pháp phổ biến nhất) cũng được chia thành 2 loại sau đây:
 - + Phương pháp pha chopping.
 - + Phương pháp inhibit chopping.
- Phương pháp chopping duy trì thời gian t_{off} không đổi (Hình 8).
- Phương pháp chopping với tần số chopping tự do (Hình 9).

Mỗi phương pháp đều có những ưu nhược điểm riêng và mục đích sử dụng cũng khác nhau. Sau đây bài báo sẽ phân tích chi tiết đặc điểm chung và riêng của các phương pháp nêu trên.

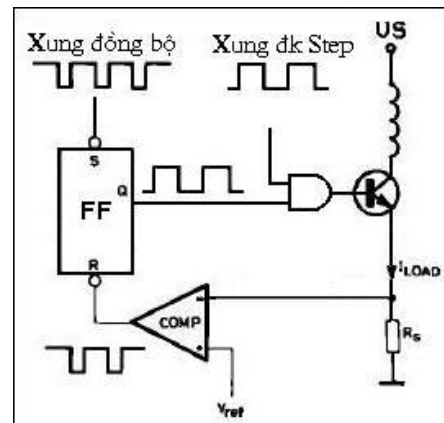
3. Phương pháp Chopping tần số không đổi

Nguyên tắc cơ bản của phương pháp chopping là duy trì dòng điện qua các cuộn dây động cơ không đổi với mọi cấp tốc độ. Để làm được điều này, một điện trở R_s được thêm vào mạch lấy tín hiệu phản hồi dòng điện. Dòng điện phản hồi này được so sánh với dòng đặt. Nếu dòng đặt còn lớn hơn dòng trong cuộn dây thì cho phép các transistor mạch lực dẫn dòng, khi đó dòng trong cuộn dây sẽ tiếp tục tăng, nếu nhỏ hơn các transistor ngay lập tức sẽ bị khóa và dòng trong cuộn dây sẽ giảm xuống.

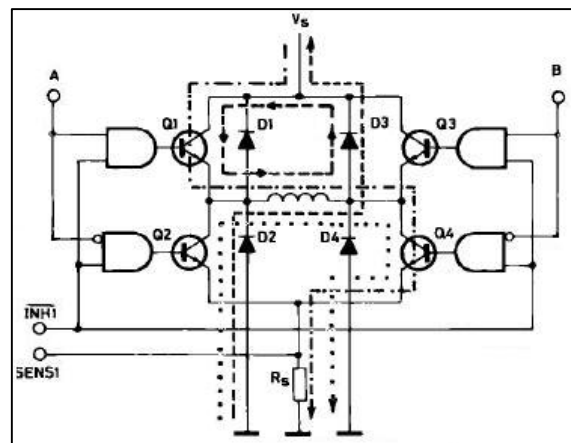
Phương pháp chopping tần số không đổi có cấu trúc cơ bản như trong hình 3. Tín hiệu phản hồi dòng điện qua bộ so sánh sẽ được so sánh với tín hiệu dòng đặt (V_{ref}) rồi đưa tới chân reset (R) của RS FlipFlop. Tín hiệu clock đồng bộ (quy định tần số chopping của mạch) được đưa tới chân set (S) của RS FlipFlop. Như vậy, đầu ra Q của RS FlipFlop (có tác dụng điều khiển ON/OFF các transistor mạch động lực) luôn được SET mỗi khi có tín hiệu từ xung đồng bộ và bị RESET mỗi khi dòng điện trong cuộn dây vượt quá giá trị đặt. (Tác dụng của xung đồng bộ sẽ được giải thích rõ hơn trong phần dưới đây.)

Do cấu trúc của hầu hết các bộ điều khiển và cấu tạo của động cơ bước, phương pháp chopping này được chia thành pha chopping và inhibit chopping. Khác biệt cơ bản của hai phương pháp này là: pha chopping sẽ thực hiện ON/OFF trên các transistor thuộc pha nhất định, và inhibit chopping sẽ thực hiện ON/OFF tất cả các transistor trong mạch cầu nhờ tín hiệu inhibit (enable). Sự phân loại này căn cứ vào nguyên tắc giải phóng năng lượng trên cuộn dây khác nhau ở hai chế độ này.

Giả thiết điều khiển một cuộn dây động cơ bipolar như hình bên, và A đang có giá trị 1, B có giá trị 0. Dòng động cơ chạy qua Q1, cuộn dây, Q4 và R_s . Khi điện áp trên R_s đạt tới điện áp đặt (U_{ref}), nếu ở chế độ pha chopping thì khi đó ngay lập tức B phải có giá trị 1 để khóa transistor Q4 (hoặc A phải có giá trị 0 tương ứng với việc khóa Q1 tùy theo thiết kế). Khi đó năng lượng tích trữ trong cuộn dây động cơ sẽ tiêu tán bằng cách khép vòng qua



Hình 3.

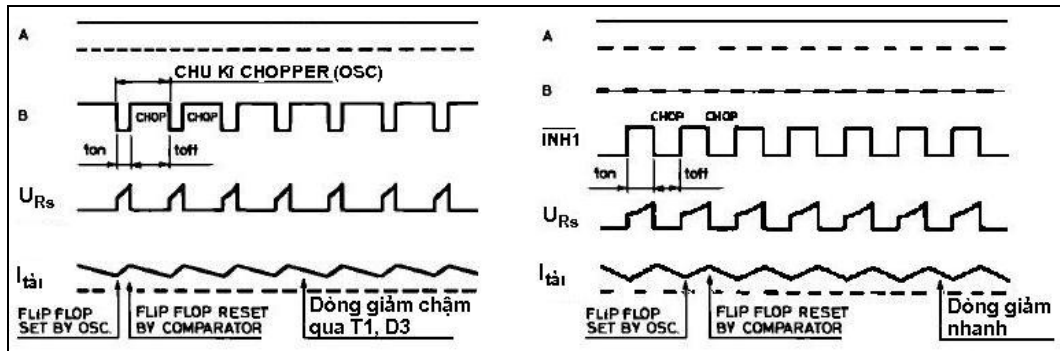


Hình 4: Cấu trúc Driver điển hình

Q1, cuộn dây, D3 (hoặc D2, cuộn dây, Q4, R_s nếu A có giá trị 0, tuy nhiên nên tránh trường hợp này). Do điện áp trong chế độ này chỉ bằng tổng điện áp thuận trên diốt và điện áp bão hòa trên transistor nên năng lượng trong cuộn dây giảm rất chậm dẫn đến dòng điện suy giảm chậm. Đồng thời, rõ ràng không thể thực hiện chế độ pha chopping đối với loại động cơ bước unipolar vì đối với loại động cơ unipolar các transistor nhánh A và B điều khiển các cuộn dây độc lập nhau nên không cho phép dẫn dòng cùng một lúc như với loại động cơ bipolar nêu trên. Do vậy nếu áp dụng chế độ pha chopping thì khi nhánh A dẫn dòng chopping lại được thực hiện đối với nhánh B (thay vì cho chính nhánh A) và ngược lại. Nếu động cơ bước hoạt động ở chế độ fullstep 2 cuộn dây thì chế độ này được gọi là chopping 2 pha, fullstep 1 cuộn dây là chopping 1 pha.

Vẫn trong trường hợp trên nếu thực hiện chế độ inhibit chopping, khi đó thay vì kéo A xuống mức 0 hay đưa B lên mức 1 thì tín hiệu INH1 sẽ khóa tất cả 4 transistor trong mạch cầu. Lúc này năng lượng trong cuộn dây sẽ giải phóng theo đường D2, cuộn dây, D3 và do đó lúc này điện áp trên cuộn dây rất lớn (bằng điện áp nguồn cộng với hai lần điện áp thuận trên diốt) làm dòng điện giảm rất nhanh trong chế độ này.

Rõ ràng việc dòng điện giảm nhanh (năng lượng tích trữ trong cuộn dây giảm nhanh) rất có ý nghĩa trong việc điều khiển động cơ bước ở tốc độ cao và đối với những động cơ có công suất lớn (R rất nhỏ trong khi đó L (tính cảm) lớn). Vì vậy, chế độ inhibit chopping cho phép điều khiển động cơ bipolar ở tốc độ lớn và là phương pháp duy nhất khi điều khiển động cơ unipolar. Dạng sóng cho hai chế độ pha chopping và inhibit chopping được trình bày trong hình 5.



Hình 5: a, Dạng sóng pha chopping

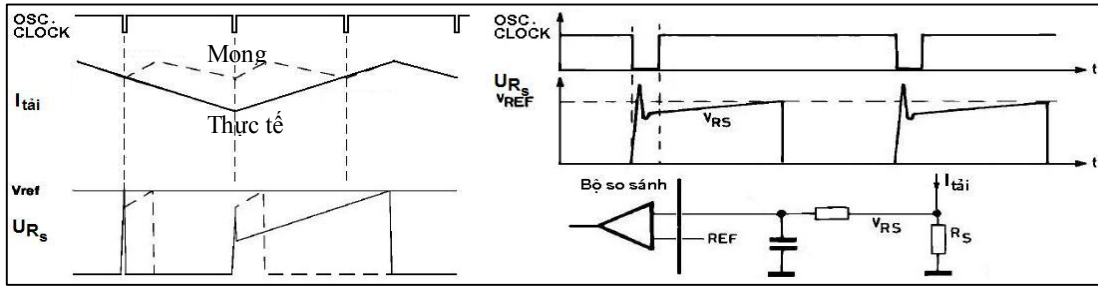
b, Dạng sóng inhibit chopping

Chú ý: Dòng điện qua R_s trong cả hai chế độ chopping này đều gián đoạn và mọi quá trình đều đồng bộ với xung oscillator clock. (OSC_tần số chopping được giữ không đổi)

Tuy nhiên, đối với chế độ pha chopping do tính chất giảm chậm của dòng điện trong cuộn dây nên được áp dụng đối với những động cơ có L (tính cảm) nhỏ. Nếu đối với những động cơ này ta áp dụng phương pháp inhibit chopping thì dòng điện ổn định trong cuộn dây có thể giảm xuống giá trị rất thấp làm giảm mạnh mô men trên trục động cơ.

Để tránh nhiều gây ra trong quá trình chopping đối với động cơ (đặc biệt đối với những động cơ công suất lớn) và đồng thời kiểm soát được nhiều này, tất cả quá trình chopping nên được đồng bộ với xung clock có tần số xác định (tần số này phụ thuộc vào động cơ, tốc độ làm việc của động cơ, loại chopping sử dụng, và vào khoảng 20KHz). Nếu trong hệ thống có sử dụng nhiều động cơ bước thì những động cơ này nên có cùng tần số chopping và được lấy theo tần số của động cơ có công suất lớn nhất.

Một điểm rất quan trọng phải đề cập đến trong phương pháp điều khiển chopping này là xét đến sự ổn định của hệ thống. Khi mạch điều khiển đang thực hiện chopping sẽ phát sinh ra nhiễu lớn cho mạch và ảnh hưởng tới sự ổn định của toàn bộ hệ thống. Những xung dòng nhiễu gây ra trên điện trở phản hồi dòng những xung kim đánh lừa bộ so sánh và chúng được tạo nên trong quá trình tiêu tán năng lượng trên cuộn dây khép vòng qua điện trở R_s . Tuy những xung kim này chỉ diễn ra trong thời gian rất ngắn (từ 50 \rightarrow 150ns) nhưng sẽ làm bộ so sánh hoạt động sai và reset RS FlipFlop dẫn đến các transistor bị khóa quá sớm (chúng sẽ chỉ được mở lại ở xung đồng bộ tiếp theo hình 6a). Chính điều này sẽ làm cho mạch điều khiển hoạt động ở một tần số thấp hơn tần số đồng bộ quy định (thường nhỏ hơn 2,3 thậm trí 4 lần tần số mong muốn). Đây chính là lý do tại sao không nên để dòng tiêu tán trên cuộn dây khép vòng qua điện trở phản hồi (R_s).



Hình 6: a, Ảnh hưởng của nhiễu với hệ thống; b, Tăng độ rộng xung SET cho FlipFlop - Thêm bộ lọc nhiễu RC

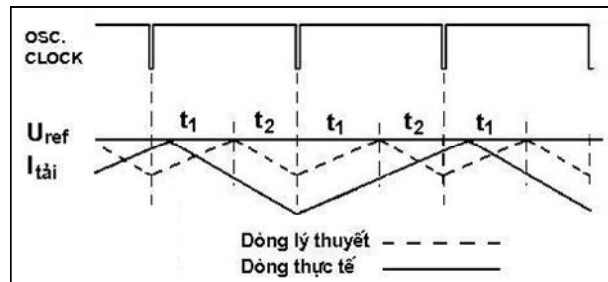
Có hai cách khắc phục vấn đề trên, một là thêm vào mạch một bộ lọc RC có tác dụng lọc nhiễu xung kim (phải thêm phân tử vào trong mạch) và hai là, tăng độ rộng xung SET cho RS FlipFlop (thời gian này phải lớn hơn thời gian xảy ra nhiễu trên R_S). Cả hai phương pháp này được trình bày trên hình 6b.

Một vấn đề khác có ảnh hưởng lớn đến sự ổn định của hệ thống chính là chọn chế độ thực hiện chopping. Nếu sử dụng phương pháp inhibit chopping như đã trình bày ở phần trên, năng lượng trong cuộn dây được giải phóng rất nhanh. Chính nhờ khả năng này mà chế độ này có thể điều khiển được những động cơ bước công suất lớn ở tốc độ làm việc cao. Tuy nhiên cũng chính sự giảm rất nhanh của dòng này sẽ làm mất ổn định hệ thống. Thật vậy, nếu bỏ qua ảnh hưởng của sức phản điện động (EMF) ta có thể tính được điện áp trên cuộn dây trong thời gian dẫn dòng (t_1) và thời gian khoá của các transistor (t_2) như sau:

$$U_1 = U_{nguồn} - 2U_{bảo\ hoà} - U_{RS} \quad \text{và} \quad U_2 = U_{nguồn} + 2U_{điốt\ thuận} \quad (1)$$

$$\text{Mặt khác, tốc độ tăng và giảm dòng bị giới hạn bởi công thức: } U=Ldi/dt \quad (2)$$

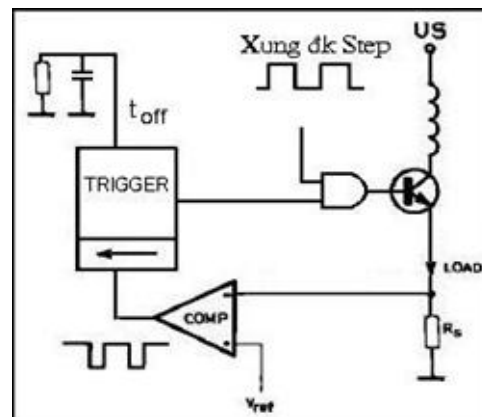
Rõ ràng điện áp trên cuộn dây trong thời gian giải phóng năng lượng (U_2) lớn hơn điện áp đặt vào cuộn dây trong thời gian dẫn của các transistor (U_1) tức là theo (2) ta sẽ có thời gian t_1 sẽ lớn hơn t_2 ($t_1 > t_2$). Như vậy, thời gian dẫn dòng (t_1) sẽ lớn hơn 50% chu kỳ xung đồng bộ (OSC. CLOCK). Nếu tính tới sức phản điện động thì t_1 thậm trí sẽ còn lớn hơn nhiều vì sức phản điện động có xu hướng ngăn cản sự tăng dòng và hỗ trợ sự giảm dòng. Trong điều kiện này, nếu ngẫu nhiên trong lần đầu tiên dòng điện đạt tới giới hạn ngay sau khi có xung tín hiệu đồng bộ (Hình 7), khâu so sánh sẽ ngay lập tức ra lệnh khoá các transistor và dòng sẽ giảm dần.



Hình 7: Hiện tượng mất đồng bộ

Vì tốc độ giảm dòng là rất nhanh và thời gian giảm dòng lớn (xấp xỉ 1 chu kỳ xung đồng bộ) nên khi có xung đồng bộ tiếp theo mở các transistor dòng đã giảm xuống một giá trị rất nhỏ. Chính vì vậy dòng điện sẽ không kịp tăng đến giá trị giới hạn trong 1 chu kỳ xung đồng bộ và chỉ đạt tới giá trị đặt này tại xung đồng bộ thứ 2. Quá trình sẽ lặp lại như vậy dẫn đến động cơ sẽ hoạt động ở tần số chỉ bằng 1/2 tần số chopping mong muốn. Trong thực tế, mạch điều khiển sẽ hoạt động ở 1 trong 2 tần số nêu trên tùy thuộc vào ngẫu nhiên.

Điều này không xảy ra với chế độ pha chopping do tính giảm chậm của dòng điện. Để khắc phục hiện tượng này ta có thể tăng tần số



Hình 8. Cấu trúc bộ i u khi n

chopping sao cho tần số này lớn hơn tần số chopping nhỏ nhất (tùy thuộc vào hệ thống), hay sử dụng xung đồng bộ ngoài nhằm tăng độ rộng xung set cho RS FlipFlop lên tới 30% chu kì xung và trong quá trình quá độ khởi động mạch điều khiển, mạch lực nên được tách khỏi mạch điều khiển.

Một điểm đáng quan tâm cuối cùng về phương pháp điều khiển chopping này là ảnh hưởng của sức phản điện động đối với động cơ. Sức phản điện động như đã phân tích có xu hướng kéo dài chu kì chopping nhỏ nhất của động cơ (làm giảm tần số chopping giới hạn được quyết định bởi xung đồng bộ OSC. CLOCK, tần số này càng lớn dòng điện trên tải càng mịn và tạo ít sóng hài trong mạch). Trong những trường hợp đặc biệt khi điện áp nguồn cấp nhỏ hơn so với sức phản điện động khi đó trường hợp mất ổn định như trên có thể xảy ra. Khi này, phương pháp chopping duy trì tần số không đổi là không thể thực hiện được, ta buộc phải sử dụng những phương pháp chopping khác (như phương pháp chopping duy trì thời gian t_{off} , thả nổi thời gian t_{on} là thích hợp nhất sẽ được trình bày chi tiết dưới đây).

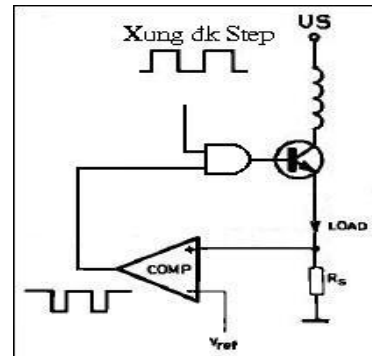
4. Phương pháp Chopping duy trì thời gian T_{OFF} không đổi

Đặc điểm khác biệt cơ bản của phương pháp này với phương pháp nêu trên có thể nhận thấy rõ qua chính tên gọi của phương pháp. Thay vì duy trì tần số chopping không đổi phương pháp này chỉ duy trì thời gian t_{off} không đổi. Chính vì chỉ cần duy trì thời gian khoá của các transistor lực nên phương pháp này không bị mất đồng bộ như phương pháp trên và đặc biệt thích hợp với những loại động cơ bước có sức phản điện động lớn. Cấu trúc bộ điều khiển được trình bày trong hình 8. Thay vì sử dụng RS FlipFlop như phương pháp chopping tần số không đổi, phương pháp này sử dụng một trigger để tạo thời gian trễ t_{off} (được quyết định bởi thông số mạch RC). Khi dòng điện đạt tới giá trị đặt, bộ so sánh sẽ kích hoạt trigger khoá các transistor mạch lực và bắt đầu tính thời gian t_{off} . Kết thúc t_{off} các transistor lại dẫn dòng.

Phương pháp này có tính bổ xung cho phương pháp thứ nhất đã trình bày ở phần trên. Nhược điểm của phương pháp là tần số chopping không cố định không biết trước và tùy thuộc tải nên khó kiểm soát nhiều hơn so với phương pháp trên.

5. Phương pháp Chopping với tần số tự do

Đây là phương pháp chopping đơn giản nhất. Phương pháp này không yêu cầu kiểm soát tần số chopping cũng như thời gian t_{off} nên tần số hoạt động là tùy thuộc vào đặc tính của hệ thống. Do vậy phương pháp mang tất cả những nhược điểm của cả 2 phương pháp đã phân tích ở trên và đặc biệt nhiều do mạch gây ra không thể kiểm soát được, tùy thuộc vào đặc tính của hệ thống và tốc độ hoạt động của động cơ. Tuy nhiên ưu điểm của phương pháp là có cấu trúc mạch điều khiển cực kì đơn giản. Tín hiệu phản hồi dòng điện sau khi qua khâu so sánh sẽ trực tiếp ra lệnh ON/OFF các transistor. Như vậy động cơ sẽ luôn duy trì được dòng làm việc không đổi đối với mọi cấp tốc cho phép. Cấu trúc mạch điều khiển được mô tả như hình 9.



Hình 9. Mạch i u khi n d n g i n

6. Kết luận

Sau đây là một vài lưu ý cho nhà thiết kế trong việc chế tạo hệ thống điều khiển có sử dụng động cơ bước. Thông thường trên nhãn của một động cơ bước có ghi 3 thông số quan trọng sau: dòng điện định mức, điện áp cơ bản (điện áp này bằng tích số giữa nội trở cuộn dây động cơ và dòng điện định mức), và góc quay cho mỗi bước (thông thường là $1,8^\circ$). Hai thông số đầu tiên thực sự quan trọng trong việc thiết kế mạch điều khiển cho động cơ bước vì ta có thể xác định được dòng điện đặt (U_{ref}) và điện áp nguồn cấp (yêu cầu ít nhất lớn hơn 8 lần điện áp cơ bản).

Như đã phân tích ở trên, vai trò của các điốt sử dụng trong mạch ở chế độ chopping là đặc biệt quan trọng. Vì vậy, yêu cầu phải chọn loại điốt có đặc tuyến nhanh (fast diode) và chịu đủ dòng. Các họ điốt như 1N4001 không thoả mãn các yêu cầu nêu trên. Một điều cần chú ý nữa khi bố trí các điốt này trong mạch là các điốt phía dưới của mạch cầu nên được nối với đất thay vì nối với cực Emiteer của các transistor lực nhằm tránh các xung kim trên điện trở phản hồi gây nhiễu đánh lừa bộ so sánh phát sinh trong quá trình vận hành động cơ.

Tuỳ thuộc vào yêu cầu kinh tế, kĩ thuật mà nhà thiết kế nên chọn phương pháp chopping phù hợp. Chỉ chú ý rằng trong hai chế độ pha và inhibit chopping, chế độ inhibit chopping làm nóng động cơ và cầu điều khiển hơn cả, do thời gian dòng chạy qua các thiết bị công suất lớn hơn các chế độ khác. Đối với các chế độ pha chopping thì chopping 1 pha ít gây phát nhiệt trên cầu điều khiển hơn so với chế độ chopping 2 pha.

Đối với mạch điều khiển động cơ bước công suất vừa và lớn, các biện pháp bảo vệ quá dòng, ngắn mạch... phải được chú ý nhằm tránh những hư hỏng không đáng có.

Trên cơ sở những nghiên cứu và phân tích nêu trên, chúng tôi đã thiết kế rất thành công mạch driver điều khiển động cơ bước đa năng có độ chính xác cao, tần số làm việc lớn và rất ổn định:

- Driver có khả năng điều khiển chính xác động cơ các loại: động cơ bước bipolar, unipolar, hỗ trợ cả hai chế độ chopping pha và inhibit với tốc độ động cơ lên đến gần 300 vòng/phút.
- Phù hợp với những động cơ có dòng điện định mức < 2A.
- Điện áp làm việc của driver từ 7 đến 40VDC.
- Có khả năng hỗ trợ điều khiển PWM cho hai động cơ điện một chiều.
- Tương thích ghép nối (TTL, CMOS) với các loại vi điều khiển thông dụng.
- Có bảo vệ quá nhiệt và ngắn mạch cho mạch điều khiển.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Sax, Herbert., "Stepper Motor Driving"
- [2] Sax, Herbert., "Constant Current Chopper Drive Ups Stepper- Motor Performance"
- [3] Hopkins, Thomas., "Using the L6506 for Current Control of Stepping Motors"
- [4] SGS-Thomson Microelectronics., "The L297 Steper Motor Controller"
- [5] Leenouts, Albert., "The Art and Practice of Step Motor Control." Ventura CA: Intertec Communications Inc. 1987
- [6] Hopkins, Thomas., "Controlling Voltage Transisnts in Full Bridge Drivers"
- [7] ScrocchiG. and Fusaroli G., "Short Circuit Protection on L6203".

Người phân biệ̣n: TS. Trần Sinh Biên