

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC QUẢN LÝ VÀ CÔNG NGHỆ HẢI PHÒNG



ISO 9001:2015

ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

NGÀNH : ĐIỆN TỰ ĐỘNG CÔNG NGHIỆP

Sinh viên : Đào Trọng Đại

Giảng viên hướng dẫn : GS.TSKH. Thân Ngọc Hoàn

HẢI PHÒNG – 2020

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC QUẢN LÝ VÀ CÔNG NGHỆ HẢI PHÒNG

**ĐỘNG CƠ 1 CHIỀU KHÔNG CHỖI THAN VÀ PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU
KHIỂN KHÔNG CẢM BIẾN SỬ DỤNG SĐĐ CỦA ĐỘNG CƠ NÀY
(BLDC)**

ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP ĐẠI HỌC HỆ CHÍNH QUY

NGÀNH: ĐIỆN TỰ ĐỘNG CÔNG NGHIỆP

Sinh viên : Đào Trọng Đại

Giảng viên hướng dẫn: GS.TSKH.Thân Ngọc Hoàn

HẢI PHÒNG – 2020

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC QUẢN LÝ VÀ CÔNG NGHỆ HẢI PHÒNG

NHIỆM VỤ ĐỀ TÀI TỐT NGHIỆP

Sinh viên: Đào Trọng Đại

Mã SV: 1612102013

Lớp : DC2001

Ngành : Điện tự động công nghiệp

Tên đề tài: Động cơ 1 chiều không chổi than và phương pháp điều khiển không cảm biến sử dụng sđđ của động cơ này (BLDC)

NHIỆM VỤ ĐỀ TÀI

1. Nội dung và các yêu cầu cần giải quyết trong nhiệm vụ đề tài tốt nghiệp

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Các tài liệu, số liệu cần thiết

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. Địa điểm thực tập tốt nghiệp

.....

CÁN BỘ HƯỚNG DẪN ĐỀ TÀI TỐT NGHIỆP

Họ và tên : Thân Ngọc Hoàn

Học hàm, học vị : GS.TSKH

Cơ quan công tác : Trường Đại học Quản lý và Công nghệ Hải Phòng

Nội dung hướng dẫn: Toàn bộ đề tài

Đề tài tốt nghiệp được giao ngày 30 tháng 03 năm 2020

Yêu cầu phải hoàn thành xong trước ngày 30 tháng 06 năm 2020

Đã nhận nhiệm vụ ĐTTN

Sinh viên

Đã giao nhiệm vụ ĐTTN

Giảng viên hướng dẫn

Hải Phòng, ngày tháng năm 2020

HIỆU TRƯỞNG

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM

Độc lập - Tự do - Hạnh phúc

PHIẾU NHẬN XÉT CỦA GIẢNG VIÊN HƯỚNG DẪN TỐT NGHIỆP

Họ và tên giảng viên: Thân Ngọc Hoàn

Đơn vị công tác: Trường Đại học Quản lý và Công nghệ Hải Phòng

Họ Và Tên Sinh Viên: Đào Trọng Đại

Chuyên Ngành: Điện tự động công nghiệp

Đề tài tốt nghiệp: Động cơ 1 chiều không chổi than và phương pháp điều khiển không cảm biến sử dụng sđđ của động cơ này (BLDC)

1.Tinh thần thái độ của sinh viên trong quá trình làm đề tài tốt nghiệp

Có tinh thần học tập trong quá trình làm đồ án tốt nghiệp

2.Đánh giá chất lượng của đồ án/khóa luận (so với nội dung yêu cầu đã đề ra trong nhiệm vụ Đ.T. T.N trên các mặt lý luận, thực tiễn, tính toán số liệu...)

Đây là nội dung tham khảo và tìm hiểu về máy điện một chiều không chổi than từ những tài liệu đã công bố. Sinh viên đã tìm hiểu được loại động cơ này tuy nhiên cách trình bày nhiều đoạn chưa hoàn thiện đọc còn chưa hiểu do dùng từ chưa chính xác do chuyển từ tiếng anh sang

3.Ý kiến của giảng viên hướng dẫn tốt nghiệp

Được bảo vệ Không được bảo vệ Điểm hướng dẫn

Hải Phòng, ngày.... thángnăm 2020.

Giảng viên hướng dẫn

GS.TSKH Thân ngọc Hoàn

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM

Độc lập - Tự do - Hạnh phúc

PHIẾU NHẬN XÉT CỦA GIÁNG VIÊN CHẤM PHẢN BIỆN

Họ và tên giảng viên: GS.TSKH Thân Ngọc Hoàn.

Đơn vị công tác: Trường Đại học Quản lý và công nghệ Hải Phòng

Họ và tên sinh viên: Đào Trọng Đại

Chuyên ngành: Điện tự động công nghiệp

Đề tài tốt nghiệp: Động cơ 1 chiều không chổi than và phương pháp điều khiển không cảm biến sử dụng sđđ của động cơ này (BLDC)

1. Phần nhận xét của giáo viên chấm phản biện

.....
.....
.....

2. Những mặt còn hạn chế

.....
.....
.....
.....

3. Ý kiến của giảng viên chấm phản biện

Được bảo vệ Không được bảo vệ Điểm hướng dẫn

Hải Phòng, ngày ... tháng ... năm 2020

Giảng viên chấm phản biện

(Ký và ghi rõ họ tên)

MỤC LỤC

| | |
|---|----|
| Lời mở đầu | 8 |
| GIỚI THIỆU..... | 13 |
| 1.1. MỞ ĐẦU..... | 13 |
| 1.2. ĐỘNG CƠ KHÔNG CHỖI THAN (BDLC) VÀ TRUYỀN ĐỘNG CÓ CẢM BIẾN..... | 15 |
| Chương 2. PHÁT HIỆN EMF TRỰC TIẾP CHO TRUYỀN ĐỘNG ĐỘNG CƠ BLDC KHÔNG CẢM BIẾN | 21 |
| 2.1. CÁC CHƯƠNG TRÌNH PHÁT HIỆN EMF TRỞ LẠI THÔNG THƯỜNG | 21 |
| 2.2. ĐỀ XUẤT PHÁT HIỆN TRỰC TIẾP EMF..... | 24 |
| 2.3. TRIỂN KHAI PHẦN CỨNG CỦA PHƯƠNG PHÁP PHÁT HIỆN EMF ĐƯỢC ĐỀ XUẤT..... | 31 |
| 2.4.CÁC DẠNG SÓNG THÍ NGHIỆM CƠ BẢN | 34 |
| 2.5. MỘT SỐ ỨNG DỤNG VÍ DỤ : BƠM NHIÊN LIỆU | 39 |
| 2.6. KẾT LUẬN | 40 |
| Chương 3. MẠCH CẢI TIẾN PHÁT HIỆN EMF TRỰC TIẾP SỨC PHẢN ĐIỆN ĐỘNG..... | 44 |
| 3.1 .QUAY LẠI PHÁT HIỆN EMF TRONG THỜI GIAN PWM..... | 44 |
| 3.2. MẠCH CẢI TIẾN CHO CÁC ỨNG DỤNG TỐC ĐỘ THẤP/ ĐIỆN ÁP THẤP..... | 45 |
| 3.2.1. Không đối xứng của tín hiệu EMF..... | 45 |
| 3.2.2. Mạch cải thiện hiện EMF cho các ứng dụng tốc độ thấp..... | 48 |
| 3.2.2.1. PMW bù | 48 |
| 3.2.2.2. Mạch tiền điều hòa để điều chỉnh tín hiệu EMF không đối xứng | 50 |
| 3.3. MẠCH CẢI TIẾN CHO CÁC ỨNG DỤNG ĐIỆN ÁP CAO | 53 |
| 3.4. KẾT LUẬN | 57 |

| | |
|---|----|
| Chương 4. KHỞI ĐỘNG ĐỘNG CƠ VỚI SƠ ĐỒ KHÔNG CẢM BIẾN VÀ NGHIÊN CỨU TRONG TƯƠNG LAI | 58 |
| 4.1. GIỚI THIỆU | 58 |
| 4.2. THIẾT LẬP THỬ NGHIỆM | 58 |
| 4.3. THỦ TỤC ĐIỀU CHỈNH KHỞI ĐỘNG..... | 59 |
| 4.4. KẾT LUẬN | 63 |
| 4.5. NGHIÊN CỨU TRONG TƯƠNG LAI | 64 |
| Kết luận | 66 |

Lời mở đầu

Ngày nay, thế giới đang chứng kiến sự thay đổi to lớn của nền sản xuất công nghiệp do việc áp dụng những thành tựu của cuộc cách mạng khoa học công nghệ. Cùng với sự thay đổi của nền sản xuất công nghiệp, ngành khoa học công nghệ về tự động hoá cũng có những bước phát triển vượt bậc và trở thành ngành mũi nhọn của thế giới.

Các hệ thống tự động hoá sử dụng động cơ điện truyền thống thường được thiết kế với những phần tử tương tự tương đối rẻ tiền. Điểm yếu của các hệ thống tương tự là chúng nhạy cảm với sự thay đổi của nhiệt độ và tuổi thọ của các thành phần. Một nhược điểm nữa của các hệ thống này là khó mở rộng và nâng cấp. Các cấu trúc điều khiển số khắc phục được tất cả những nhược điểm của các cấu trúc truyền động tương tự và bằng cách sử dụng các bộ xử lý có thể lập trình được việc nâng cấp trở nên rất dễ dàng do được thực hiện bằng phần mềm. Các bộ xử lý tín hiệu số tốc độ cao cho phép chúng ta thực hiện được những bài toán điều khiển số yêu cầu độ phân giải cao, tốc độ và khối lượng tính toán lớn chẳng hạn như các bài toán điều khiển thời gian thực. Ngoài ra, chúng còn cho phép tối thiểu hoá các thời gian trễ trong mạch vòng điều khiển. Những điều khiển hiệu suất cao này còn cho phép giảm được dao động momen, giảm đáng kể tổn thất công suất như tổn thất công suất do các điều hoà bậc cao gây ra trong rotor. Các dạng sóng liên tục cho phép tối ưu hoá các phần tử công suất và các bộ lọc đầu vào.

Những tiến bộ gần đây trong ngành Vật liệu từ (Nam châm vĩnh cửu), ngành điện tử công suất, trong chế tạo các bộ xử lý tín hiệu số tốc độ cao, kỹ thuật điều khiển hiện đại đã ảnh hưởng đáng kể đến việc mở rộng ứng dụng của các hệ truyền động động cơ một chiều không chổi than kích thích vĩnh cửu nhằm đáp ứng nhu cầu về sản xuất hàng hoá, thiết bị, các bộ xử lý của thị trường cạnh tranh khắp thế giới.

Động cơ một chiều không chổi than là loại động cơ có rất nhiều ưu điểm nên gần đây đã được chú ý nghiên cứu và đưa vào sử dụng rộng rãi nhất là trong các hệ thống tự động có yêu cầu cao về độ tin cậy trong các điều kiện làm việc đặc biệt: môi trường chân không, nhiệt độ thay đổi, va đập mạnh, dễ cháy nổ,... Do không có bộ phận đổi chiều cơ khí sử dụng vành góp, chổi than nên động cơ này khắc phục được hầu hết các nhược điểm của động cơ một chiều thông thường. Hiệu suất cao do giảm được tổn thất công suất, không cần bảo dưỡng và quán tính rotor nhỏ của động cơ một chiều không chổi than đã làm tăng nhu cầu sử dụng động cơ này trong những ứng dụng rô bốt và servo công suất lớn. Việc phát minh ra các thiết bị công suất hiện đại như MOSFET, IGBT, GTO và nam châm vĩnh cửu đất hiếm năng lượng cao đã tăng cường các ứng dụng của động cơ này trong các truyền động có yêu cầu điều chỉnh tốc độ.

Trong quá trình học tập tại trường Đại Học Quản lý và Công nghệ Hải Phòng. Với sự giúp đỡ của nhà trường và khoa Điện Dân Dụng và Công Nghiệp em đã được nhận đề tài tốt nghiệp là **“Động cơ một chiều không chổi than và phương pháp điều khiển không cảm biến sử dụng sđđ của động cơ này(BLDC)”**

Đề án gồm các nội dung sau:

Chương 1: Tổng quan về động cơ một chiều không chổi than.

Chương 2: Phát hiện EMF trực tiếp cho truyền động động cơ BLDC không cảm biến

Chương 3: Mạch cải tiến phát hiện trực tiếp sức phản điện động

Chương 4: Tìm hiểu phương pháp điều khiển động cơ với sơ đồ không cảm biến

Em xin chân thành cảm ơn sự hướng dẫn tận tình của thầy giáo Thầy giáo GS.TSKH. Thân Ngọc Hoàn, cùng với các thầy cô giáo trong khoa đã

giúp đỡ em hoàn thành đề án này.

Em mong nhận được sự đóng góp ý kiến của các thầy cô giáo và các bạn.

Chương 1.

GIỚI THIỆU

1.1. MỞ ĐẦU

Động cơ không chổi than (BLDC) là động cơ mong muốn cho động cơ điều khiển công suất nhỏ do hiệu quả cao, hoạt động im lặng, hình thức nhỏ gọn, độ tin cậy và bảo trì thấp. Tuy nhiên, độ phức tạp điều khiển để điều khiển tốc độ thay đổi và chi phí cao đã không cho phép sử dụng rộng rãi động cơ dc không chổi than. Trong thập kỷ qua, việc tiếp tục phát triển công nghệ trong chất bán dẫn điện, vi xử lý / IC logic, sơ đồ điều khiển tốc độ điều chỉnh (ASDs) và sản xuất động cơ điện không chổi than nam châm vĩnh cửu đã phát triển cho phép giải pháp đáng tin cậy, hiệu quả về chi phí cho phạm vi điều chỉnh tốc độ rộng các ứng dụng.

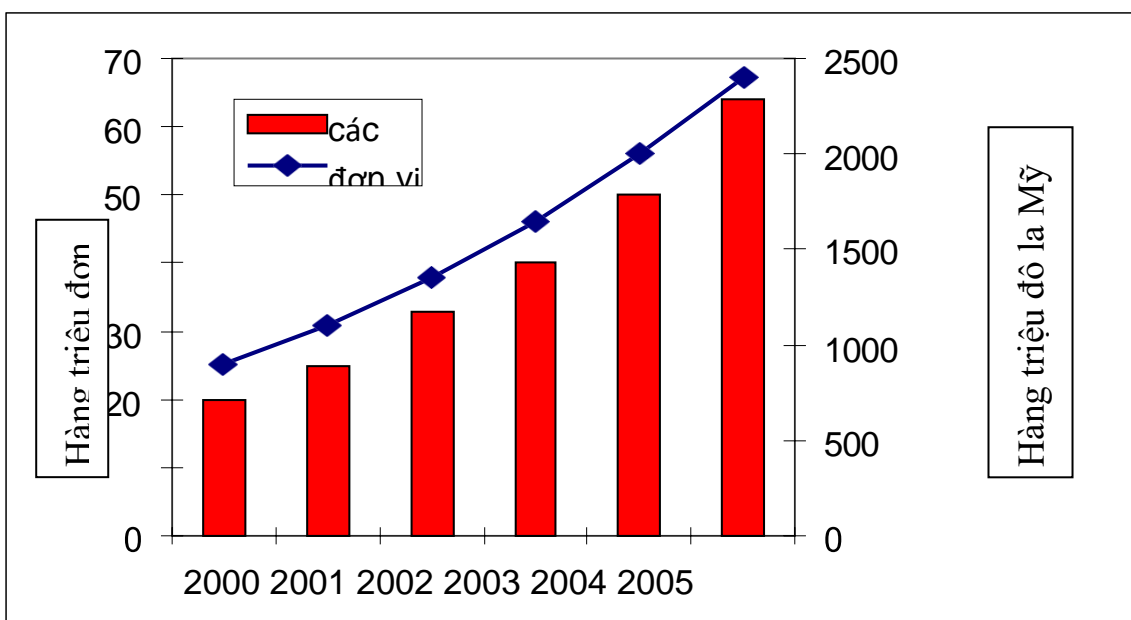
Thiết bị gia dụng dự kiến sẽ là một trong những thị trường sản phẩm cuối cùng phát triển nhanh nhất cho người lái xe máy điện tử (EMDs) trong năm năm tới [1]. Khối lượng thị trường được dự đoán là tốc độ tăng trưởng kép 26% hàng năm trong năm năm từ 2000 đến 2005 (Xem Hình.1.1). Các thiết bị chính trong hình bao gồm máy giặt quần áo, máy điều hòa không khí trong phòng, tủ lạnh, máy hút bụi, máy làm lạnh, v.v ... Máy nước nóng, bơm tản nhiệt nước nóng, dụng cụ điện, dụng cụ mở cửa nhà để xe và các thiết bị thương mại không được bao gồm trong các số liệu này. Theo truyền thống, thiết bị gia dụng thường dựa vào các công nghệ động cơ điện cổ điển lịch sử như cảm ứng xoay chiều một pha, bao gồm pha tách, khởi động tụ điện, các loại chạy tụ điện và động cơ vạn năng. Những động cơ cổ điển này thường được vận hành ở tốc độ không đổi trực tiếp từ nguồn điện xoay chiều chính mà không kể đến hiệu suất. Người tiêu dùng hiện nay yêu cầu chi phí năng lượng thấp hơn, hiệu suất tốt hơn, giảm tiếng ồn và nhiều tính năng tiện lợi hơn. Những công nghệ truyền thống không thể cung cấp các giải pháp này.

Mặt khác, trong năm gần đây, chính phủ Hoa Kỳ đã đề xuất các tiêu chuẩn

hiệu quả năng lượng cao hơn mới cho ngành công nghiệp thiết bị. Trong tương lai gần, những tiêu chuẩn đó sẽ được áp dụng [2]. Những đề xuất này đưa ra những thách thức và cơ hội mới cho các nhà sản xuất thiết bị.

Đồng thời, ngành công nghiệp ô tô và công nghiệp HVAC cũng sẽ chứng kiến sự phát triển bùng nổ phía trước đối với hệ thống động cơ điều khiển điện tử, phần lớn trong số đó sẽ thuộc loại BLDC [3,4]. Ví dụ, hiện nay, bơm nhiên liệu trong xe hơi được điều khiển bởi một động cơ một chiều có chổi than. Một động cơ bơm nhiên liệu loại có chổi than được thiết kế để làm việc 6.000 giờ vì giới hạn tuổi thọ của chổi than. Trong một số phương tiện hạng đội nhất định, điều này có thể được sử dụng trong vòng chưa đầy 1 năm. Tuổi thọ của động cơ BLDC thường khoảng 15.000 giờ, kéo dài tuổi thọ của động cơ gần gấp 3 lần. Đó là trong tình huống tương tự cho quạt điều hòa không khí và quạt làm mát động cơ.

Người ta hy vọng rằng đòi hỏi hiệu quả cao hơn, hiệu suất tốt hơn sẽ thúc đẩy các ngành công nghiệp áp dụng ASD với tốc độ nhanh hơn bao giờ hết. Hệ thống truyền động động cơ BLDC hiệu quả và chi phí cao sẽ đóng góp lớn cho quá trình chuyển đổi.

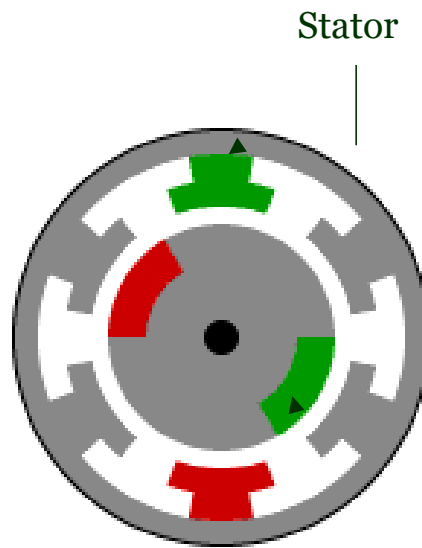


Hình 1. 1: Thị trường toàn cầu cho các chuyển động động cơ điện tử trong các thiết bị gia dụng.

1.2. ĐỘNG CƠ KHÔNG CHỖI THAN (BLDC) VÀ TRUYỀN ĐỘNG CÓ CẢM BIẾN

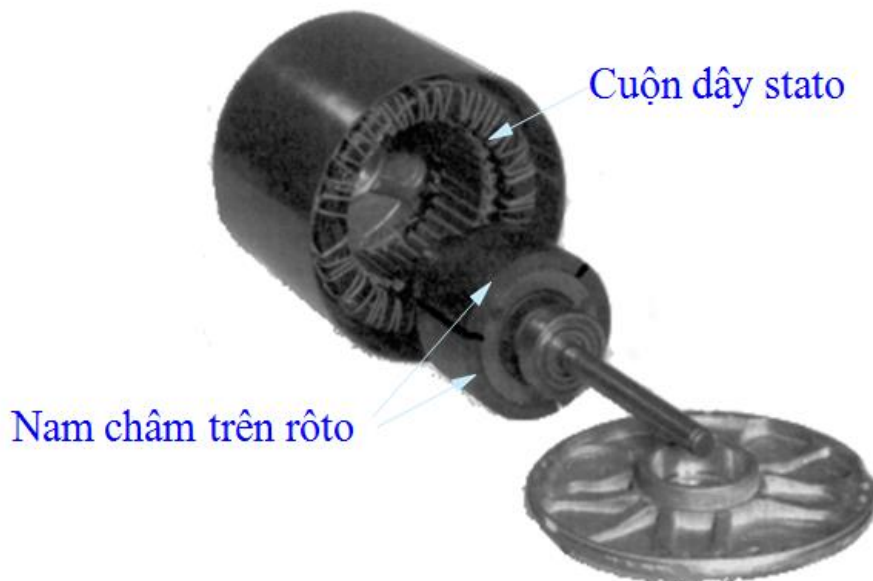
Động cơ dc không chổi than [5] là một loại động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu, có nam châm vĩnh cửu trên rôto và hình dạng hình thang sức phản điện động. Động cơ BLDC sử dụng nguồn điện một chiều được chuyển sang cuộn dây pha stato của động cơ bằng các thiết bị đóng ngắt được xác định từ vị trí rôto. Dòng pha của động cơ BLDC, trong hình dạng hình chữ nhật điển hình, được đồng bộ hóa với EMF phía sau để tạo ra mô-men xoắn không đổi ở tốc độ không đổi. Bộ chuyển đổi cơ học của động cơ dc chổi than được thay thế bằng các công tắc điện tử, cung cấp dòng điện cho cuộn dây động cơ như là một hàm của vị trí roto. Loại động cơ xoay chiều này được gọi là động cơ dc không chổi than, vì hiệu suất của nó tương tự như động cơ dc truyền thống với cổ góp. Hình.1.2 cho thấy cấu trúc của động cơ BLDC.

Những động cơ dc không chổi than này thường được điều khiển bằng biến tần ba pha, yêu cầu cảm biến vị trí rôto để khởi động và để cung cấp trình tự chuyển mạch thích hợp để điều khiển biến tần. Những cảm biến vị trí này có thể là cảm biến Hall, bộ phân giải hoặc cảm biến vị trí tuyệt đối. Một hệ thống điều khiển động cơ BLDC điển hình với các cảm biến vị trí được hiển thị trong Hình.1.3. Những cảm biến đó sẽ làm tăng chi phí và kích thước của động cơ, và một sự sắp xếp cơ học đặc biệt cần được thực hiện để gắn các cảm biến. Các cảm biến này, đặc biệt là cảm biến Hall, rất nhạy cảm với nhiệt độ, giới hạn hoạt động của động cơ dưới khoảng 75°C [6]. Mặt khác, chúng có thể làm giảm độ tin cậy của hệ thống vì các thành phần và hệ thống dây điện. Trong một số ứng dụng, thậm chí có thể không lắp được bất kỳ cảm biến vị trí nào trên động cơ. Vì thế, kiểm soát không cảm biến của động cơ BLDC đã nhận được sự quan tâm lớn trong những năm gần đây.

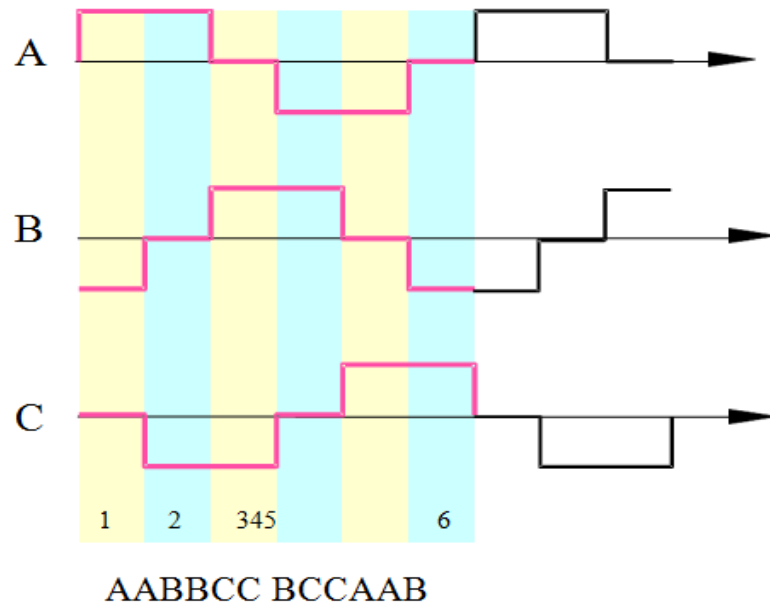
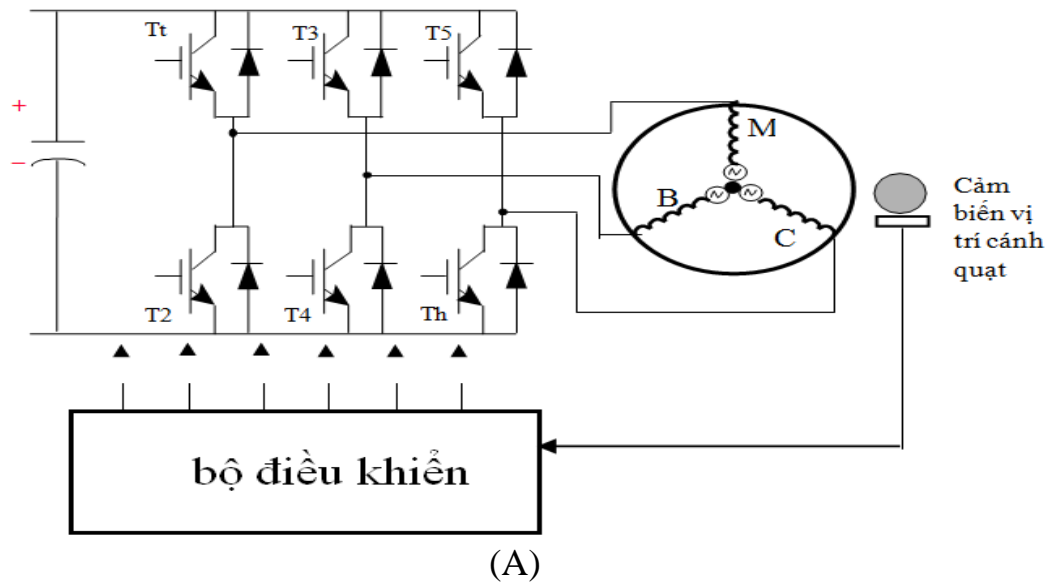


Rôto có nam châm vĩnh cửu

(A) Mặt cắt ngang của động cơ dc không chổi than



(B) Một hình ảnh của một động cơ dc không chổi than Hình.1. 2 Cấu trúc của động cơ dc không chổi than



Hình 1. 3: (A) Hệ thống điều khiển động cơ dc không chổi than điện hình; (B). Dạng sóng ba pha điện hình trong động cơ BLDC.

Thông thường, một động cơ dc không chổi than được điều khiển bởi một biến tần ba pha được gọi là chuyển mạch sáu bước. Khoảng thời gian tiến hành cho mỗi pha là 120° theo góc điện. Trình tự pha chuyển mạch là AB-AC-BC-BA-

CA-CB. Mỗi khoản dẫn điện được gọi là một bước. Do đó, chỉ có hai pha dẫn dòng điện bất cứ lúc nào, để lại pha thứ ba tự do. Để tạo ra mô-men xoắn cực đại, biên tần phải được chuyển mạch sau mỗi 60° để dòng điện cùng pha với EMF phía sau. Thời gian giao hoán được xác định bởi vị trí rôto, có thể được phát hiện bởi các cảm biến Hall hoặc ước tính từ các thông số động cơ, tức là sức phản điện động EMF (hay suất điện động cảm ứng) trên cuộn dây nối của động cơ nếu đó là hệ thống không cảm biến.

Về cơ bản, hai loại kỹ thuật điều khiển không cảm biến có thể được tìm thấy trong tài liệu [5,6]. Loại thứ nhất là cảm biến vị trí sử dụng sđđ cảm ứng EMF của động cơ, và loại thứ hai là ước tính vị trí bằng các tham số động cơ, điện áp đầu cuối và dòng điện. Sơ đồ loại thứ hai thường cần DSP để thực hiện tính toán phức tạp và chi phí của hệ thống tương đối cao. Vì vậy, kiểu cảm biến EMF phía sau của sơ đồ không cảm biến là phương pháp được sử dụng phổ biến nhất, là chủ đề của luận án này.

Trong động cơ dc không chổi than, chỉ có hai trong ba pha được kích thích cùng một lúc, để lại cuộn dây thứ tự do. Điện áp EMF trở lại trong cuộn dây nối có thể được đo để thiết lập trình tự chuyển mạch cho việc chuyển đổi các thiết bị điện trong biên tần ba pha. Erdman [7] và Uzuka [8] ban đầu đề xuất phương pháp cảm nhận lại EMF (sẽ được gọi là phương pháp phát hiện EMF ngược thông thường trong luận án này) để xây dựng một điểm trung tính ảo, theo lý thuyết, sẽ có cùng điện thế như tâm của một động cơ cuộn dây nối sao và sau đó để cảm nhận hiệu giữa điểm trung tính ảo và điện áp tại pha tự do. Tuy nhiên, khi sử dụng tín hiệu chopper, trung tính không phải là điểm dừng. Điện thế trung tính đang nhảy từ 0 lên đến gần điện áp bus dc, tạo ra điện áp chế độ chung lớn vì trung tính là điểm tham chiếu. Trong khi đó, tín hiệu PWM cũng được đặt lên trên điện áp trung tính, tạo ra một lượng lớn tín hiệu nhiễu điện trên tín hiệu được cảm nhận. Để cảm nhận sđđ cảm ứng đúng cách, nó đòi hỏi rất nhiều sự suy giảm và lọc. Sự chú ý là cần thiết để đưa tín hiệu về phạm vi chế độ chung cho phép của mạch cảm biến, và bộ lọc thông thấp là để làm giảm nhiễu tần số chuyển mạch cao. Lọc gây ra sự chậm trễ không mong muốn trong tín hiệu. Kết quả là tín hiệu nghèo so với tỷ lệ nhiễu của tín hiệu rất nhỏ, đặc biệt là khi khởi động, nơi cần thiết nhất. Hậu quả là, phương pháp này có xu hướng

có phạm vi tốc độ hẹp và đặc điểm khởi động kém. Để giảm nhiễu chuyển mạch, tích hợp EMF phía sau [9] và tích hợp điện áp hài thứ ba [10] đã được giới thiệu. Phương pháp tích hợp có ưu điểm là giảm độ nhạy nhiễu đáng kể. Tuy nhiên, chúng vẫn có vấn đề điện áp chùng cao ở điểm trung tính. Một cảm nhận gián tiếp về việc vượt qua 0 pha của EMF bằng cách phát hiện trạng thái dẫn của các điốt tự do trong pha không làm việc đã được trình bày trong [11]. Việc thực hiện phương pháp này rất phức tạp và tốn kém, trong khi hoạt động tốc độ thấp của nó vẫn còn là một vấn đề. Phương pháp tích hợp có ưu điểm là giảm độ nhạy nhiễu đáng kể. Tuy nhiên, họ vẫn có vấn đề điện áp phổ biến cao ở trung tính. Một cảm nhận gián tiếp về việc vượt qua 0 pha của EMF bằng cách phát hiện trạng thái dẫn của các điốt tự do trong pha không làm việc đã được trình bày trong [11]. Việc thực hiện phương pháp này rất phức tạp và tốn kém, trong khi hoạt động tốc độ thấp của nó vẫn còn là một vấn đề. Phương pháp tích hợp có ưu điểm là giảm độ nhạy chuyển đổi tiếng ồn. Tuy nhiên, họ vẫn có vấn đề điện áp phổ biến cao ở trung tính. Một cảm nhận gián tiếp về việc vượt qua 0 pha của EMF bằng cách phát hiện trạng thái dẫn của các điốt tự do trong pha không được trình bày đã được trình bày trong [11]. Việc thực hiện phương pháp này rất phức tạp và tốn kém, trong khi hoạt động tốc độ thấp của nó vẫn còn là một vấn đề.

Đã có phương pháp phát hiện EMF mới [18], không yêu cầu điện áp trung tính của động cơ. EMF trở lại thực sự có thể được phát hiện trực tiếp từ điện áp đầu cuối bằng cách chọn đúng chiến lược PWM và cảm biến. Các tín hiệu PWM chỉ được áp dụng cho các công tắc phía cao và EMF phía sau được phát hiện trong thời gian tắt PWM. Tín hiệu phản hồi kết quả không bị suy giảm hoặc lọc, cung cấp tín hiệu kịp thời với tỷ lệ tín hiệu / nhiễu rất tốt. Kết quả là bộ điều khiển BLDC không cảm biến có thể cung cấp phạm vi tốc độ rộng hơn nhiều, từ khởi động đến tốc độ tối đa, so với các phương pháp thông thường được đề cập ở trên.

Công trình của luận án này tiến hành phân tích lý thuyết về khái niệm sơ đồ phát hiện EMF trực tiếp mới được trình bày trong [18], cung cấp sự hiểu biết đầy đủ về phương pháp. Một số vấn đề hoặc hạn chế của sơ đồ trong các ứng dụng khác nhau được tìm thấy và phân tích. Dựa trên phân tích, nguyên nhân

của các vấn đề được xác định và các cải tiến được đề xuất, được xác minh bởi các ứng dụng thực tế.

Trước đây, một số mạch tích hợp dựa trên cấu trúc điện áp trung tính đã được thương mại hóa [12] [13] [14]. Thật không may, tất cả các IC này đều là các thiết bị tương tự, thiếu linh hoạt trong các ứng dụng, bất kể hiệu năng kém ở tốc độ thấp. DSP có thể áp dụng lý thuyết điều khiển rất phức tạp và ước tính tốc độ cho điều khiển động cơ BLDC không cảm biến. Tuy nhiên, chi phí của DSP vẫn tương đối cao. Vi điều khiển 8 bit đã là nền tảng chính của các hệ thống điều khiển nhúng trong một thời gian dài. Các thiết bị có sẵn với chi phí thấp; và các bộ hướng dẫn rất dễ sử dụng. Chi phí hệ thống thấp và tính linh hoạt cao là những động lực tốt để thiết kế một bộ vi điều khiển mới dành riêng cho ổ BLDC không cảm biến. Kết quả là, một bộ vi điều khiển tín hiệu hỗn hợp chi phí thấp được phát triển, thực hiện sơ đồ cảm biến EMF được đề xuất.

Chương 2.

PHÁT HIỆN EMF TRỰC TIẾP CHO TRUYỀN ĐỘNG ĐỘNG CƠ BLDC KHÔNG CẢM BIẾN

2.1. CÁC CHƯƠNG TRÌNH PHÁT HIỆN EMF TRỞ LẠI THÔNG THƯỜNG

Thông thường, đối với động cơ BLDC ba pha, nó được điều khiển với chế độ dẫn 120 độ sáu bước. Tại một thời điểm bất kỳ, chỉ có hai trong ba pha được dẫn điện. Ví dụ, khi pha A và pha B dẫn dòng điện, pha C không dẫn. Khoảng thời gian tiến hành này kéo dài 60 độ điện, được gọi là một bước.

Chuyển đổi từ bước này sang bước khác được gọi là chuyển mạch. Vì vậy, hoàn toàn, có 6 bước trong một chu kỳ. Như được hiển thị trong Hình.1.2B trong chương trước, bước đầu tiên là AB, sau đó đến AC, đến BC, BA, CA, tới CB và sau đó chỉ cần lặp lại mẫu này.

Thông thường, dòng điện được chuyển mạch theo cách sao cho dòng điện cùng pha với EMF ngược pha để có được điều khiển tối ưu và mô-men xoắn / ampe tối đa. Thời gian lặp lại được xác định bởi vị trí roto vì hình dạng EMF. Cho biết vị trí roto có thể xác định thời gian chuyển mạch nếu biết EMF. Trong hình.2.1, dòng pha cùng pha với EMF ngược pha. Nếu thời điểm vượt không của EMF có thể đo được, chúng ta sẽ biết khi nào nên chuyển mạch dòng điện.

Như đã đề cập trước đó, tại một thời điểm bất kỳ, vì chỉ có hai pha đang dẫn dòng điện, cuộn dây thứ ba được mở. Điều này mở ra một cửa sổ để phát hiện EMF phía sau trong cuộn dây hở. Sơ đồ phương pháp phát hiện [5,6,7] được hiển thị trong Hình.2.2.

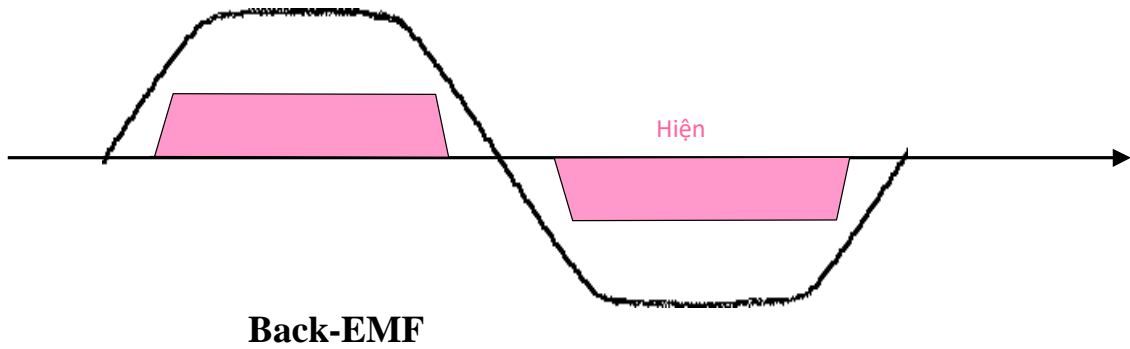
Điện áp đầu cuối của cuộn dây hở được đo. Sơ đồ này cần điện áp điểm trung tính của động cơ để có được điểm vượt zero của EMF, vì điện áp EMF phía sau được gọi là điểm trung tính của động cơ. Điện áp đầu cực được so sánh với điểm trung tính, sau đó có thể thu được điểm vượt zero của EMF .

Trong hầu hết các trường hợp, điểm trung tính động cơ là không có sẵn. Trong thực tế, phương pháp được sử dụng phổ biến nhất là xây dựng một điểm trung tính ảo, theo lý thuyết, sẽ có cùng điện thế với điểm trung tính của động cơ dây quấn nối sao Y và sau đó cảm nhận sự khác nhau giữa trung tính ảo và điện áp tại thiết bị đầu cuối nối. Điểm trung tính ảo được tạo bởi các điện trở, được

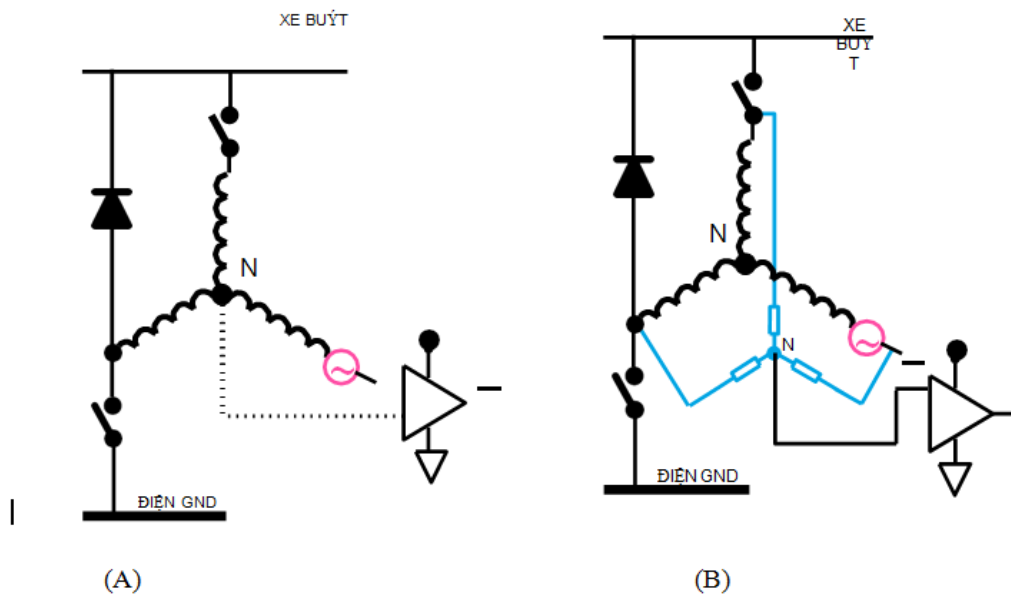
thể hiện trong hình 2.2 (B).

Đề án này khá đơn giản. Nó đã được sử dụng trong một thời gian dài kể từ khi phát minh [6].

Tuy nhiên, sơ đồ này có nhược điểm của nó.



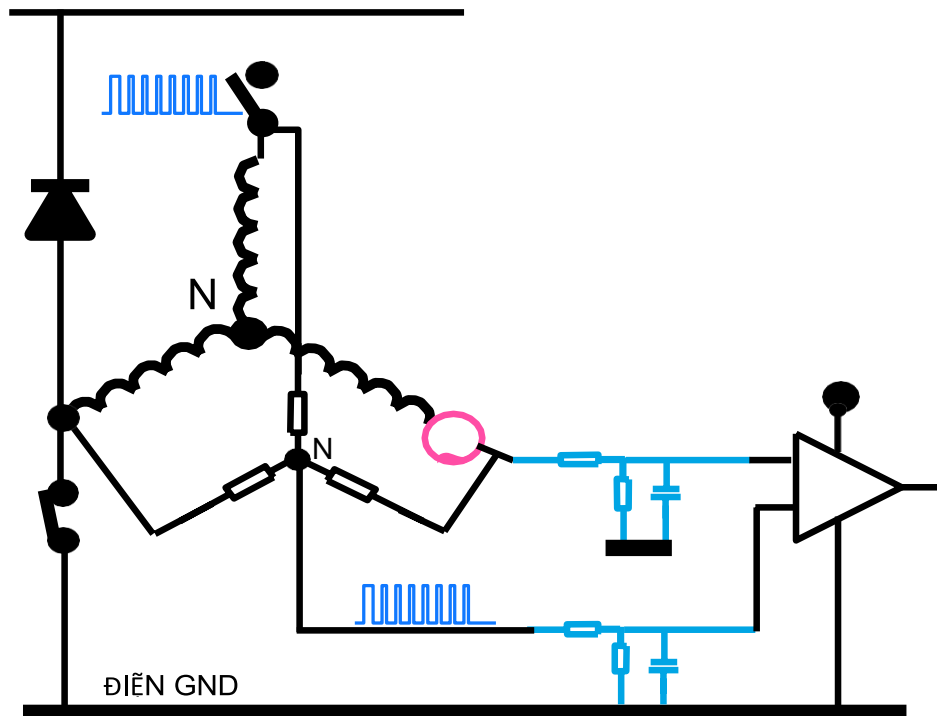
Hình.2.1: Dòng pha cùng pha với EMF phía sau trong động cơ dc không chổi than.



Hình 2. 2: (A) Sơ đồ phát hiện điểm cắt zero của EMF với điểm trung tính động cơ có sẵn; (B) Sơ đồ phát hiện điểm cắt zero của EMF với điểm trung tính ảo.

Do truyền động PWM, điểm trung tính không phải là điểm dừng. Điện thế của điểm này là nhảy lên nhảy xuống. Nó tạo ra điện áp chế độ chung rất cao và nhiều tần số cao. Vì vậy, chúng ta cần các bộ chia điện áp và các bộ lọc thông thấp để giảm điện áp chế độ chung và làm giảm nhiều tần số cao, như trong Hình.2.3. Chẳng hạn, nếu điện áp bus dc là 300 V, điện thế của điểm trung tính có thể thay đổi từ 0 đến 300 V. Điện áp chế độ chung cho phép đối với một bộ so sánh thường là vài volt, tức là 5 V. Chúng ta sẽ biết mức suy giảm là bao nhiêu nên là. Rõ ràng, bộ chia điện áp sẽ làm giảm độ nhạy tín hiệu ở tốc độ thấp, đặc biệt là khi khởi động. Mặt khác, bộ lọc thông thấp yêu cầu sẽ tạo ra độ trễ cố định không phụ thuộc vào tốc độ rôto. Khi tốc độ cánh quạt tăng, phần trăm đóng góp của sự chậm trễ trong giai đoạn tổng thể tăng lên. Sự chậm trễ này sẽ làm xáo trộn sự liên kết dòng điện với EMF phía sau và sẽ gây ra vấn đề nghiêm trọng cho chuyển mạch ở tốc độ cao. Do đó, phương pháp này có xu hướng có phạm vi tốc độ hẹp.

Trước đây, đã có một số mạch tích hợp, cho phép hoạt động không cảm biến của BLDC, dựa trên sơ đồ được mô tả ở trên. Chúng bao gồm UC3646 của Unitrode, ML4425 của Microlinear và 32M595 của Silicon Systems. Tất cả các chip có nhược điểm được đề cập. Ngoài ra, tất cả chúng đều là các thiết bị tương tự, thiếu linh hoạt trong các ứng dụng.



Hình 2. 3: Trở lại cảm biến EMF dựa trên điểm trung tính ảo

Một vài phương án khác để điều khiển động cơ BLDC không cảm biến cũng được báo cáo trong tài liệu.

Cách tiếp cận tích hợp EMF trở lại có ưu điểm là giảm độ nhạy nhiều chuyên mạch và tự động điều chỉnh các khoảng đóng cắt biến tần thành các thay đổi về tốc độ rôto [8]. Việc tích hợp EMF trở lại vẫn có vấn đề chính xác ở tốc độ thấp.

Vị trí rôto có thể được xác định dựa trên thành phần điện áp hài thứ ba của stator [9]. Nhược điểm chính là giá trị tương đối thấp của điện áp sóng hài thứ ba ở tốc độ thấp.

Trong [10], thông tin vị trí rôto được xác định dựa trên trạng thái tiến hành của điốt tự do trong pha không được kích thích. Mạch cảm biến tương đối phức tạp và hoạt động tốc độ thấp vẫn là một vấn đề.

2.2. ĐỀ XUẤT PHÁT HIỆN TRỰC TIẾP EMF

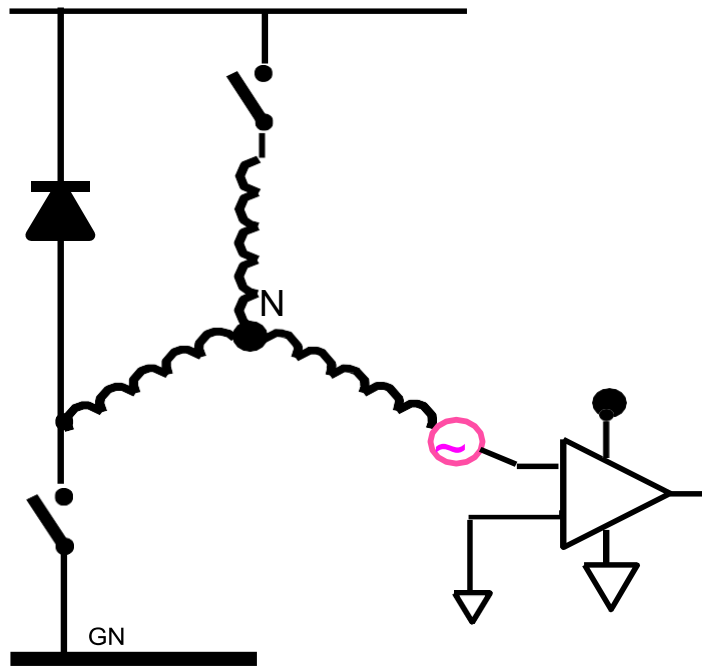
Như được mô tả trước đây, điểm trung tính động cơ ồn ào gây ra vấn đề cho hệ thống không cảm biến. Phát hiện EMF trở lại được đề xuất đang cố gắng tránh điện áp điểm trung tính. Nếu chiến lược PWM phù hợp được chọn, điện áp EMF trở lại được gọi là mặt đất có thể được trích xuất trực tiếp từ điện áp đầu cực động cơ.

Đối với truyền động BLDC, chỉ có hai trong ba pha được kích thích bất cứ lúc nào. Tín hiệu điều khiển PWM có thể được sắp xếp theo ba cách:

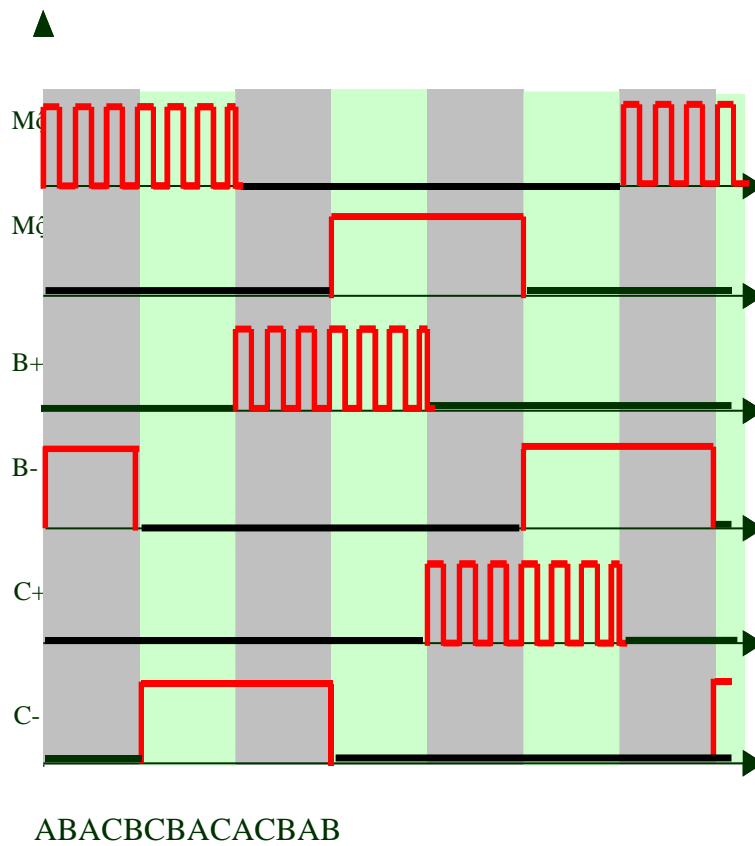
- Ở phía cao: PWM chỉ được áp dụng trên công tắc phía cao, phía thấp được bật trong bước.
- Ở phía thấp: PWM được áp dụng trên công tắc phía thấp, phía cao được bật trong bước.
- Ở cả hai bên: phía cao và phía thấp được bật / tắt cùng nhau.

Trong sơ đồ đề xuất, tín hiệu PWM chỉ được áp dụng cho các công tắc phía cao và tín hiệu EMF trở lại được phát hiện trong thời gian tắt PWM. Hình 2.4 cho thấy mạch phương pháp phát hiện. Sự khác biệt giữa Fig 2.4 và Fig 2.2 là điện áp trung tính của động cơ không tham gia vào quá trình xử lý tín hiệu trong Hình 2.4.

Giả sử tại một bước cụ thể, pha A và B đang dẫn dòng điện và pha C đang hở. Công tắc trên của pha A được điều khiển bởi PWM và công tắc dưới của pha B được bật trong toàn bộ bước. Điện áp đầu cuối V_c được đo. Hình 2.5 cho thấy sự sắp xếp tín hiệu PWM.

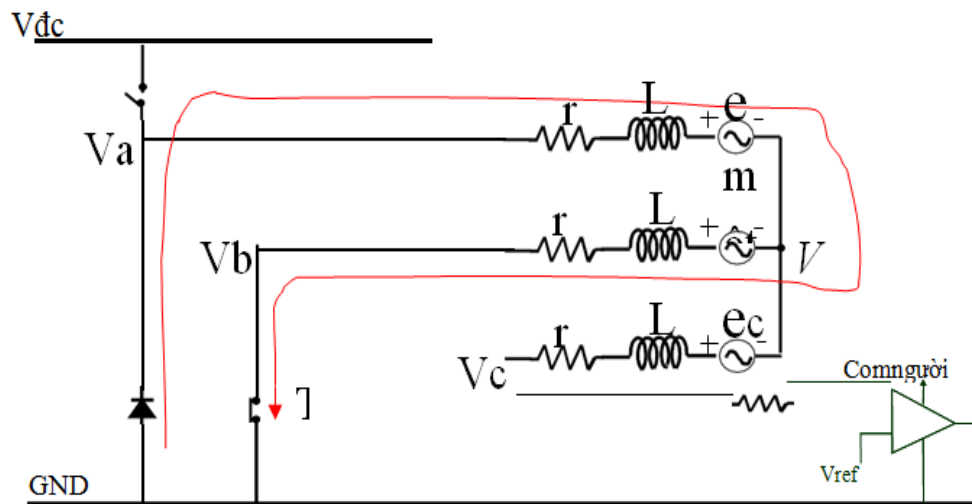


Hình 2. 4: Đề xuất trở lại sơ đồ phát hiện cắt ngang zero của EMF.



Hình 2. 5: Chiến lược đề xuất PWM cho sơ đồ phát hiện EMF trực tiếp

Hình 2.6 cho thấy mô hình mạch để tiến hành phân tích.



Hình 2. 6: Mô hình mạch phát hiện EMF Back được đề xuất trong thời điểm tắt PWM.

Khi bật công tắc trên của pha A, dòng điện chạy qua công tắc sang cuộn dây A và B. Khi bóng bán dẫn trên của nửa cầu bị tắt, dòng điện tự do chạy qua diode song song với công tắc dưới cùng của pha A. Trong khoảng thời gian tự do này, điện áp đầu cực V_c được phát hiện là EMF trở lại pha C khi không có dòng điện trong pha C.

Từ mạch dễ dàng thấy $v_c = e_c + v_n$ trong đó V_c là điện áp đầu cuối của pha nổi C, e_c là pha ngược EMF và V_n là điện áp trung tính của động cơ.

Từ pha A, nếu bỏ qua điện áp chuyển tiếp của diode, chúng ta có

$$v_n = 0 - r_i - L \frac{di}{dt} - e_a \quad (2.1)$$

Từ pha B, nếu bỏ qua điện áp trên công tắc, chúng ta có

$$v_n = 0 - r_i - L \frac{di}{dt} - e_b \quad (2.2)$$

Từ (2.1) và (2.2), chúng tôi nhận được

$$v_n = - \frac{e_a + e_b}{2} \quad (2.3)$$

Giả sử một hệ thống ba pha cân bằng, nếu chúng ta bỏ qua sóng hài thứ ba,

chúng ta có

$$e_a + e_b + e_c = 0 \quad (2.4)$$

Hoặc, nếu chúng ta không bỏ qua sóng hài thứ ba, chúng ta sẽ có

$$e_a + e_b + e_c = e_3 \quad (2.5)$$

trong đó e_3 là sóng hài thứ 3

Trước tiên hãy kết thúc phân tích mà không xem xét sóng hài thứ ba.

Từ (2.3) và (2.4),

$$v_n = \frac{e_c}{2} \quad (2.6)$$

Vì vậy điện áp đầu cuối V_c

$$v_c = e_c + v_n = \frac{3}{2}e_c \quad (2.7)$$

Từ các phương trình trên, có thể thấy rằng trong thời gian tắt của PWM, là khoảng thời gian dòng điện tự do, điện áp đầu cuối của pha nối tử lệ thuận với điện áp EMF phía sau mà không có bất kỳ nhiễu chuyển đổi chông chất nào. Cũng cần lưu ý rằng điện áp đầu cuối này được so sánh với đất thay vì điểm trung tính nối. Vì vậy, thông tin điện áp điểm trung tính là không cần thiết để phát hiện đường chéo EMF trở lại và chúng ta không cần phải lo lắng về điện áp chế độ chung. Vì EMF trở lại thực sự được trích xuất từ điện áp đầu cực động cơ, nên việc vượt qua EMF ngược pha có thể được phát hiện rất chính xác.

Nếu chúng ta xem xét các hài bậc ba, từ (2.3) và (2.5)

$$v_n = \frac{e_c}{2} - \frac{e_3}{2} \quad (2.8)$$

Vì vậy điện áp đầu cuối V_c ,

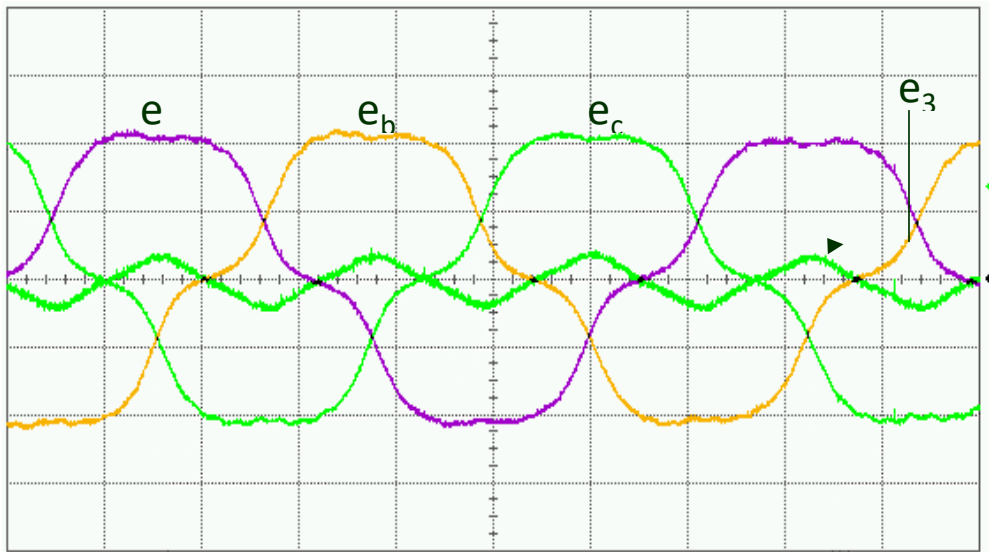
$$v_c = e_c + v_n = \frac{3}{2}e_c - \frac{e_3}{2} \quad (2.9)$$

Do đó, điện áp đầu cuối sẽ thấy sóng hài thứ ba. Tuy nhiên, vì sự vượt điểm 0 của sóng cơ bản sẽ trùng với điểm vượt 0 của sóng hài thứ ba, sóng hài thứ ba sẽ không ảnh hưởng đến điểm cắt zero của sóng cơ bản.

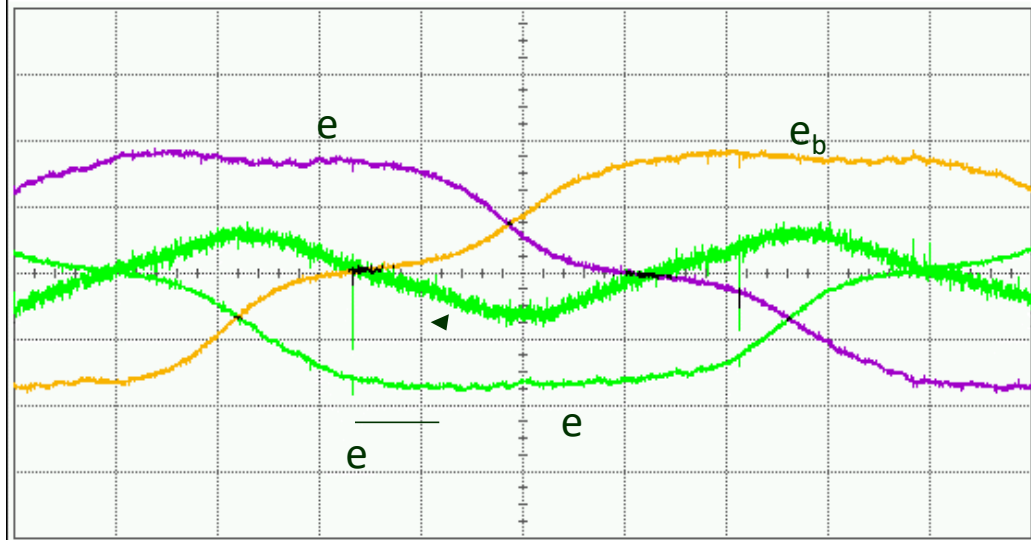
Một vài thử nghiệm đã được thực hiện để chỉ ra mối quan hệ giữa sóng hài cơ bản và thứ ba.

Hình 2.7 và Hình 2.8 cho thấy kết quả thử nghiệm đối với động cơ A. Hình 2.9

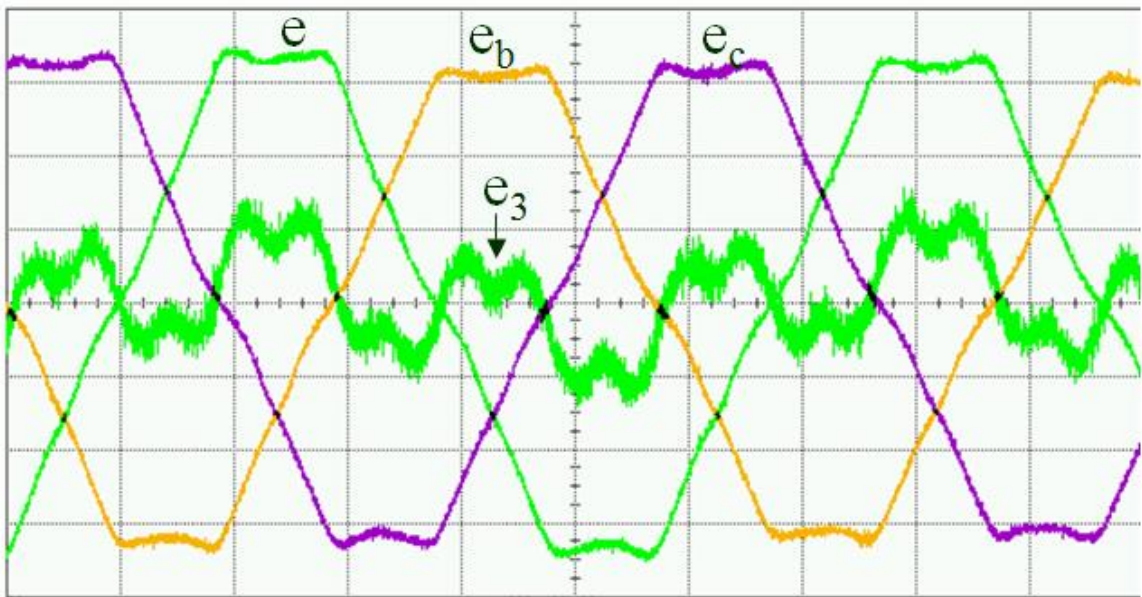
và Hình 2.10 cho thấy kết quả đối với động cơ B. Hình dạng của EMF trở lại khác với hai động cơ. Tuy nhiên, sự cắt điểm 0 của sóng hài thứ ba trùng lặp với điểm cắt cơ bản cho cả hai động cơ, điều đó có nghĩa là sóng hài thứ ba sẽ không ảnh hưởng đến điểm cắt 0 của sóng cơ bản. Đối với động cơ B, có một chút mất cân bằng cho ba pha. Ngay cả khi dưới tình trạng này, không giao thoa của sóng cơ bản và sóng hài thứ 3 vẫn còn chông chéo.



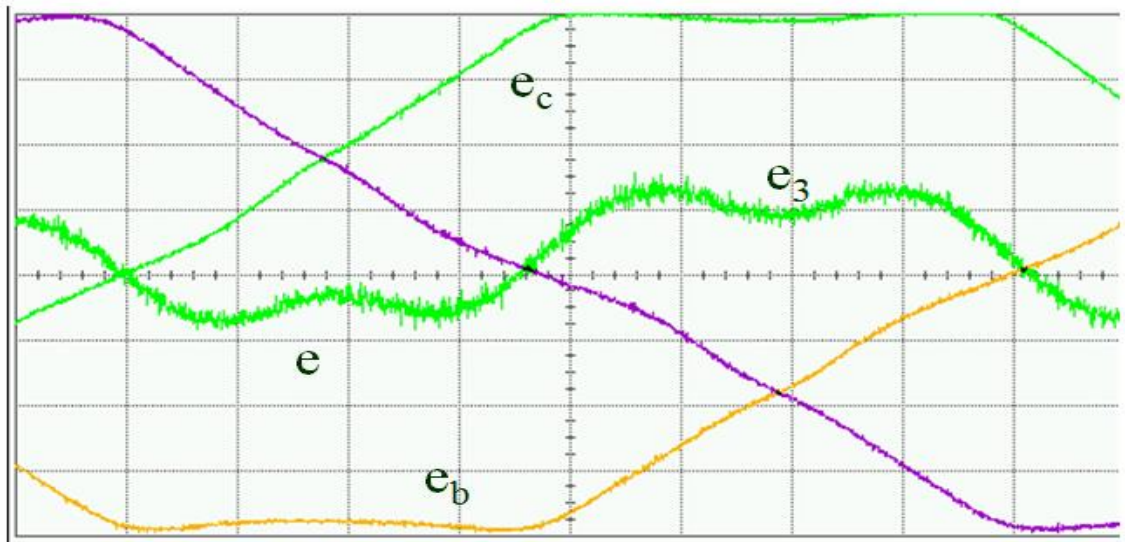
Hình 2.7: Sóng cơ bản và sóng hài thứ ba của EMF trở lại cho động cơ A



Hình 2.8: Dạng sóng mở rộng của sóng cơ bản và sóng hài thứ ba của EMF trở lại cho động cơ A



Hình 2.9: Sóng cơ bản và sóng hài thứ ba của EMF trở lại cho động cơ B

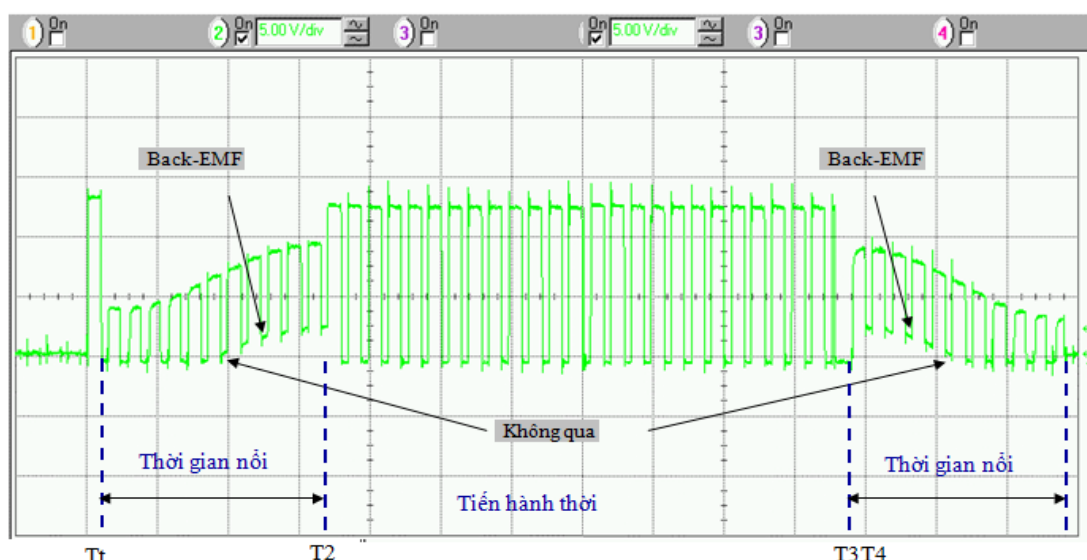


Hình 2.10: Dạng sóng mở rộng của sóng cơ bản và sóng hài thứ ba của EMF trở lại cho động cơ B

Do đó, chúng ta có thể bỏ qua nội dung sóng hài thứ ba trong điện áp đầu cực để phát hiện giao thoa bằng không. Phương trình 2.7 có giá trị cho mục đích phát hiện giao nhau bằng không.

Để minh họa lược đồ, Hình 2.11 cho thấy dạng sóng điện áp đầu cuối của sơ đồ. Từ dạng sóng này, rõ ràng tín hiệu EMF trở lại có thể được trích ra từ điện áp đầu cuối khi pha nổi. Từ thời điểm T1 đến T2, cuộn dây nổi; từ thời điểm T2 đến T3, cuộn dây được tiến hành; và từ thời điểm T3 đến T4, cuộn dây lại nổi. Tín hiệu EMF trở lại có thể được phát hiện khi PWM bị tắt. Nếu EMF phía sau âm, nó được kẹp vào khoảng 0,7v bởi diode song song với công tắc trong biến tần. Khi EMF trở lại dương, nó sẽ hiển thị trong điện áp đầu cực.

Giữa thời gian T1 và T2, phát hiện cạnh tăng của giao thoa 0; và giữa T3 và T4, có thể phát hiện ra điểm rơi của giao điểm 0.



Hình 2.11: Điện áp đầu cực pha và dạng sóng EMF trở lại.

Tóm lại, một số ưu điểm của kỹ thuật cảm biến trực tiếp EMF được đề xuất so với các sơ đồ thông thường có thể được liệt kê như sau:

1) Nó có độ nhạy cao. Trước hết, vì chúng ta không sử dụng bộ chia điện áp, không có sự suy giảm. Nó vẫn có độ phân giải tốt ngay cả khi hoạt động tốc độ thấp. Thứ hai, nhiều chuyển mạch tần số cao có thể bị loại bỏ vì EMF phía sau được lấy mẫu trong thời gian tắt PWM. Việc lấy mẫu đồng bộ có thể dễ dàng loại bỏ nhiễu chuyển đổi. Thứ ba, vì EMF phía sau được tham chiếu với mặt đất, nên điện áp chế độ chung được giảm thiểu.

2) Đó là giá trị tức thời vì không có bộ lọc trong mạch, sẽ tốt cho hoạt động tốc độ cao.

3) Kỹ thuật cảm biến này có thể dễ dàng được sử dụng cho các hệ thống điện áp cao hoặc điện áp thấp mà không cần nhiều nỗ lực để mở rộng điện áp.

4) Có thể khởi động động cơ nhanh là có thể vì phát hiện điểm vượt zero chính xác của EMF mà không bị suy giảm

5) Nó đơn giản và dễ thực hiện, sẽ được thảo luận trong phần tiếp theo.

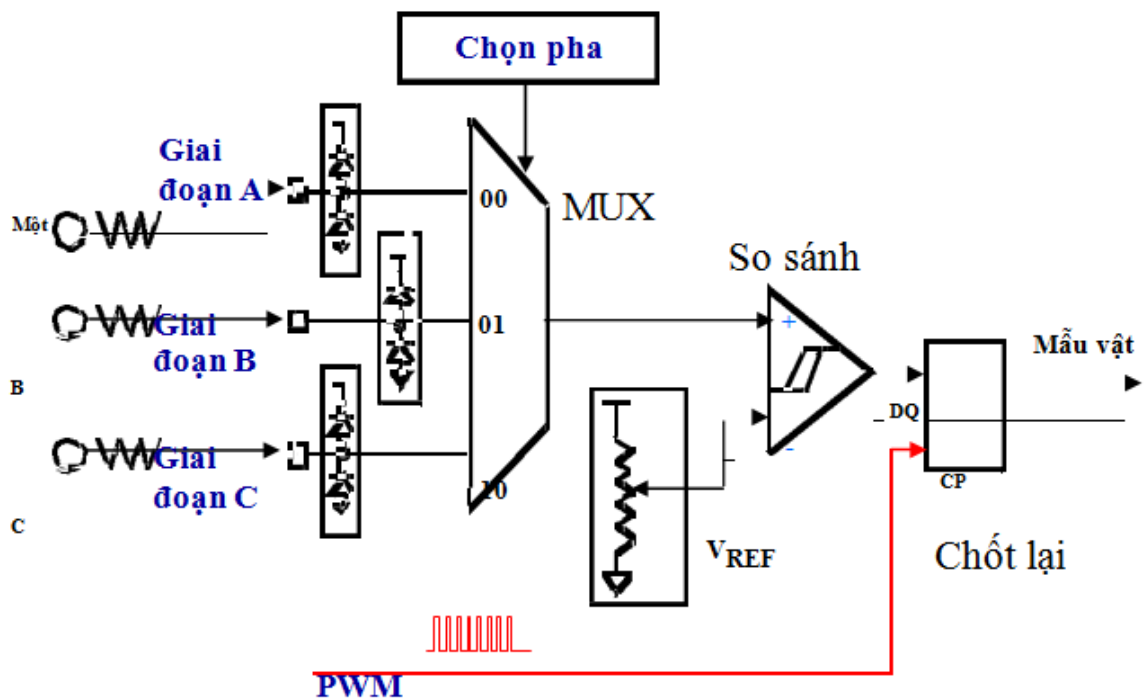
2.3. TRIỂN KHAI PHẦN CỨNG CỦA PHƯƠNG PHÁP PHÁT HIỆN EMF ĐƯỢC ĐỀ XUẤT

Mạch lấy mẫu đồng bộ được phát triển để phát hiện điểm vượt zero của EMF. Trong năm gần đây, với sự phát triển của công nghệ tín hiệu hỗn hợp IC, các thiết bị SOC (hệ thống trên chip) là khả thi. Bộ xử lý tương tự chính xác,

thông lượng cao và bộ nhớ lập trình trong hệ thống và các thiết bị ngoại vi khác có thể được tích hợp trên một mảng. Các thiết bị SOC có nhiều lợi thế, bao gồm chi phí hệ thống thấp hơn, giảm không gian bảng và hiệu suất và độ tin cậy của hệ thống vượt trội. Bộ vi điều khiển 8 bit đã là nền tảng chính của các hệ thống điều khiển nhúng trong gần 20 năm. Các thiết bị có sẵn với chi phí thấp; bộ hướng dẫn rất dễ sử dụng. Do đó, mạch phát hiện EMF phía sau được tích hợp với lõi họ vi điều khiển ST7 tiêu chuẩn để trở thành một vi điều khiển BLDC không cảm biến chuyên dụng chi phí thấp

Đầu tiên, chúng ta hãy xem việc thực hiện lấy mẫu đồng bộ của đường chéo EMF bằng không.

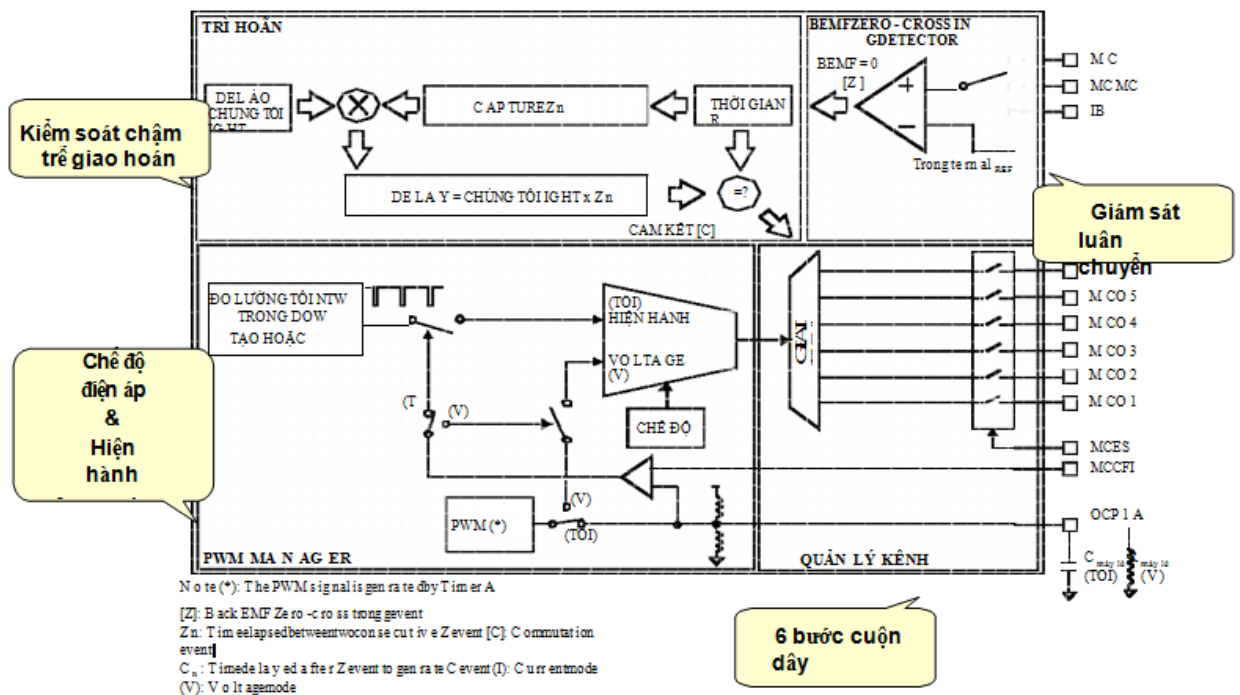
Hình 2.12 cho thấy việc triển khai phần cứng cho phát hiện cắt ngang EMF zero. Các tín hiệu EMF trở lại đi qua bộ ghép kênh và bộ điều khiển chọn đầu vào nào được cảm nhận theo các giai đoạn chuyển mạch của động cơ. Vì chỉ có điểm cắt 0 là đáng quan tâm, điện áp cực đại được kẹp ở mức 5v bằng điốt, do đó giữ điện áp trong phạm vi của bộ khuếch đại cảm biến. Tín hiệu được chọn được so sánh với điện áp tham chiếu cố định, gần bằng không. Trong thời gian tắt, EMF trở lại được so sánh với điện áp tham chiếu. Cạnh tăng của PWM, vào đầu thời gian của PWM, là thời điểm kết thúc của thời gian tắt off, sẽ chốt đầu ra của bộ so sánh để nắm bắt thông tin giao nhau bằng không.



Hình.2.12: Lấy mẫu đồng bộ của EMF trở lại.

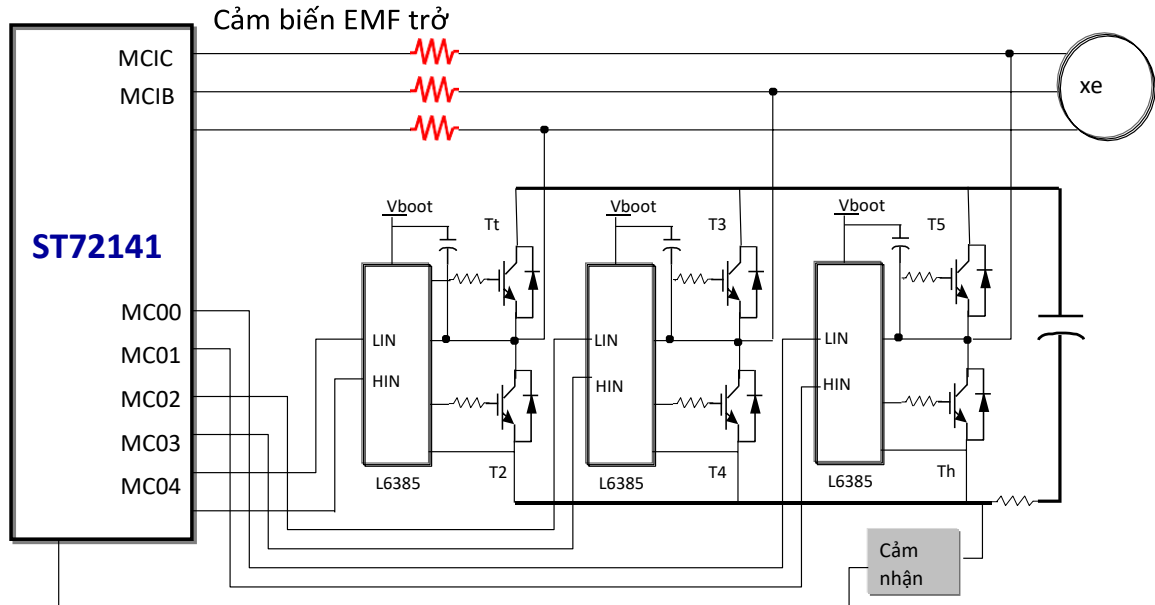
Mạch lấy mẫu đồng bộ được đề xuất đã được triển khai trong một tế bào macro phần cứng thành bộ vi điều khiển 8 bit giá rẻ ST72141 [11,13], dành riêng cho trình điều khiển BLDC không cảm biến. Sơ đồ khối của ô macro phần cứng được hiển thị trong Hình.2.13. Tế bào Macro được chia thành bốn phần chính.

- Đầu dò không giao nhau EMF phía sau là mạch lấy mẫu đồng bộ.
- Trình quản lý độ trễ với bộ hẹn giờ và hệ số nhân phần cứng 8 x 8 kiểm soát độ trễ thích hợp từ giao điểm 0 đến giao hoán.
- Trình quản lý PWM chọn chế độ điều khiển, điều khiển chế độ hiện tại hoặc điều khiển chế độ điện áp.
- Trình quản lý kênh gửi các tín hiệu PWM đến các công tắc bên phải để chuyển đổi sáu bước.



Hình 2.13: Sơ đồ khối của ô macro phần cứng điều khiển động cơ của ST72141

Sơ đồ hệ thống của trình điều khiển BLDC không cảm biến được vẽ trong Hình 2.14. Điện áp đầu cực động cơ được đưa trực tiếp vào vi điều khiển thông qua các điện trở giới hạn dòng điện. Đối với các ứng dụng điện áp khác nhau, chúng ta cần điều chỉnh giá trị điện trở để đặt dòng điện vào đúng.



Hình 2. 14 :Trình điều khiển động cơ BLDC không cảm biến dựa trên vi điều khiển mới

Đây là bộ vi điều khiển chuyên dụng thương mại đầu tiên có sẵn với tế bào macro phần cứng cho các truyền động của động cơ BLDC không cảm biến trên thị trường thương mại. So với các IC tương tự thương mại khác, vi điều khiển mới có hiệu suất vượt trội với chi phí thấp và linh hoạt và thông minh hơn, sẽ được thể hiện trong một ví dụ ứng dụng của bơm nhiên liệu ô tô.

Thuật toán chuyển mạch được sử dụng là thuật toán điều khiển BLDC tiêu chuẩn. Việc chuyển đổi sẽ xảy ra 30 độ điện sau khi vượt qua điểm 0 của EMF. Nhờ khả năng lập trình của vi điều khiển, hệ thống có nhiều tính linh hoạt, chạy động cơ theo vòng mở tốc độ hoặc vòng lặp tốc độ gần tùy thuộc vào ứng dụng. Ngoài ra nó là rất thuận tiện để điều chỉnh các thông số điều khiển.

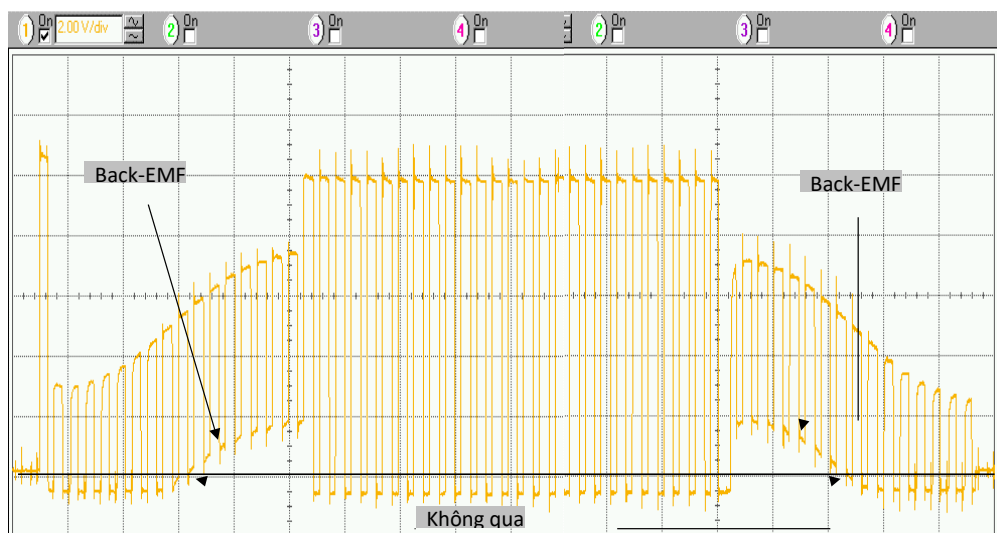
Ví dụ, độ trễ giữa giao nhau bằng 0 và chuyển mạch có thể dễ dàng điều chỉnh bằng phần mềm. Thông thường, độ trễ từ pha ngược EMF trở lại giao hoán là 300 để giữ cho dòng pha cùng pha với EMF ngược pha. Đối với một số ứng dụng tốc độ cao, chuyển mạch có thể được thực hiện trước để có hiệu ứng làm yếu từ trường để mở rộng phạm vi tốc độ. Quản lý độ trễ trong lõi phần cứng thực hiện điều chỉnh độ trễ được điều khiển bởi phần mềm.

2.4.CÁC DẠNG SÓNG THÍ NGHIỆM CƠ BẢN

Truyền động BLDC không cảm biến được đề xuất đã được áp dụng thành công cho một số thiết bị gia dụng cho máy nén khí, máy thổi khí, và các ứng

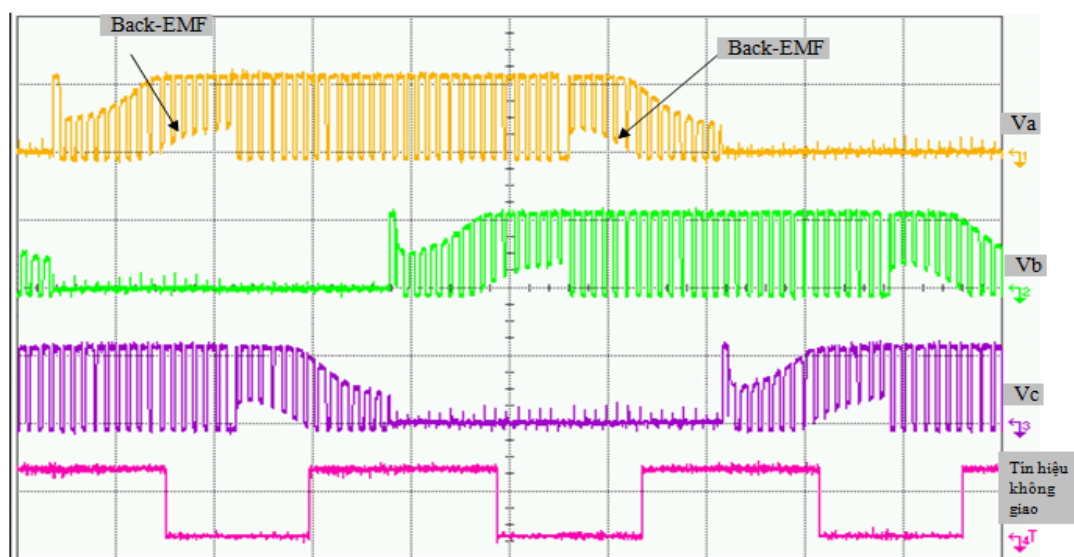
dụng máy hút bụi và bơm nhiên liệu ô tô và các ứng dụng HVAC.

Các dạng sóng sau đây cho thấy một số dạng sóng hoạt động chính của hệ thống truyền động BLDC không cảm biến. Hình.2.15 cho thấy điện áp đầu cực không bị nén và dạng sóng EMF trở lại. EMF ngược pha của cuộn dây nổi được trích ra từ điện áp đầu cực cuộn dây trong thời gian tắt PWM.



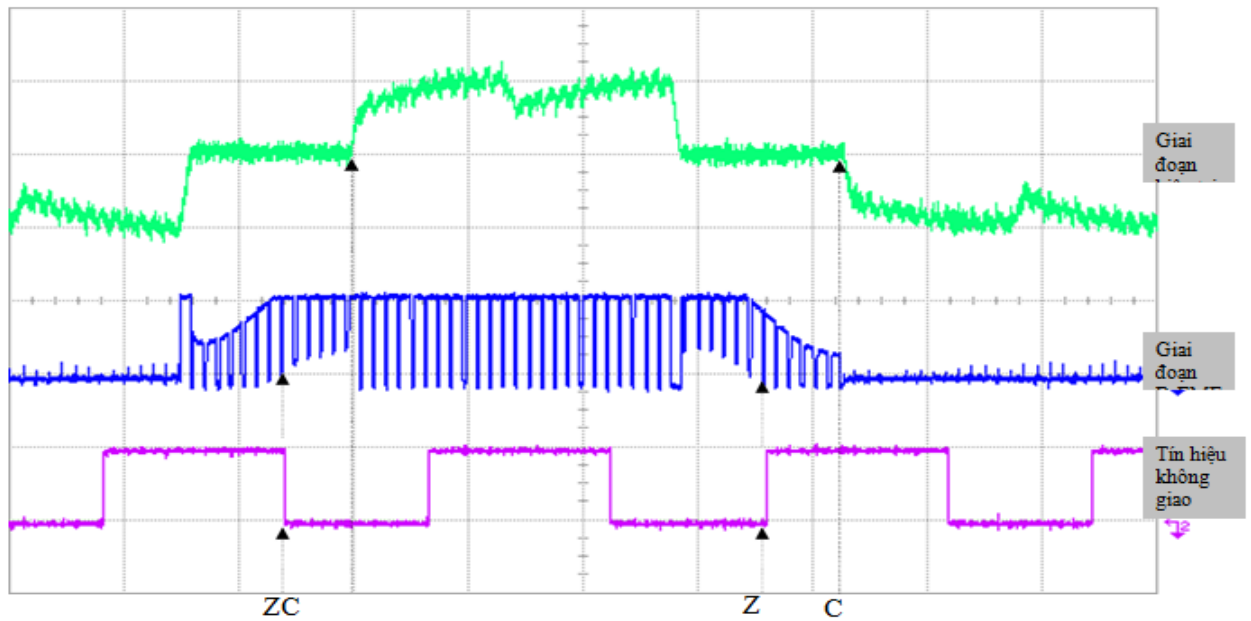
Hình 2.15: Điện áp đầu cực 15 pha và dạng sóng EMF ngược.

Hình.2.16 cho thấy điện áp đầu cực ba pha, EMF phía sau và tín hiệu cắt điểm không. Mỗi cạnh chuyển đổi của tín hiệu cắt điểm 0 tương ứng với cắt điểm 0 của EMF.



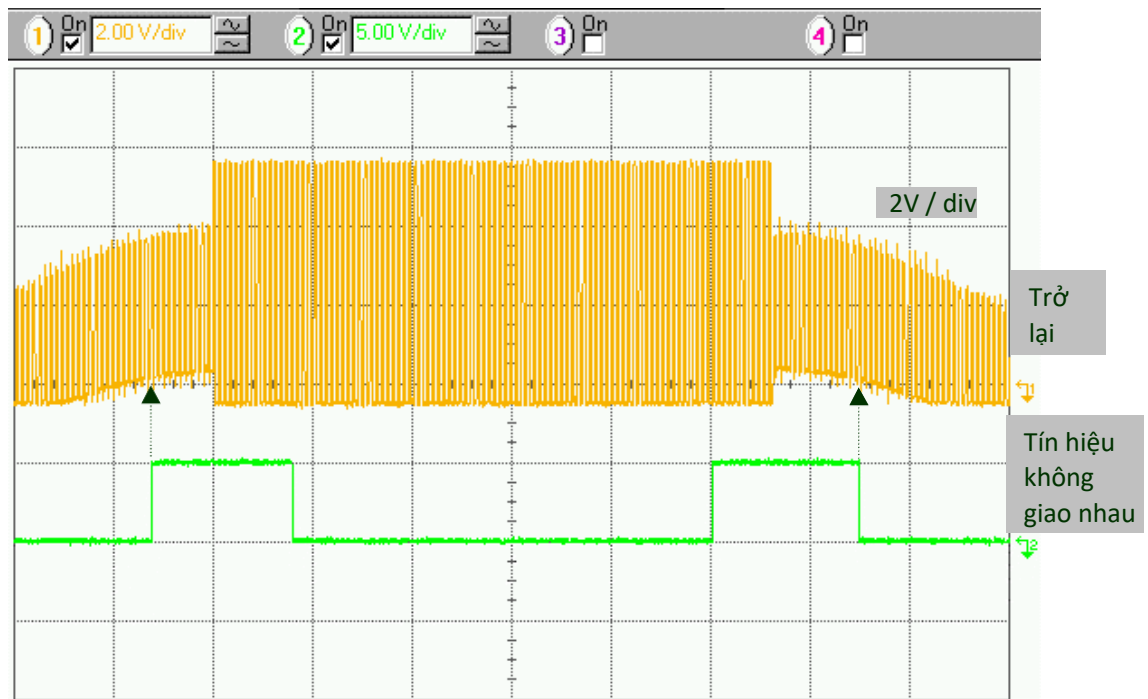
Hình 2.16 :EMFs ba pha trở lại và cắt điểm 0 của EMF.

Hình.2.17 cho thấy EMF ngược pha và dòng pha. Trình tự từ điểm cắt zero của EMF tới điểm chuyển mạch được thể hiện rõ ràng. Xấp xỉ, 30 độ điện tử sau khi vượt qua EMF trở lại, giao hoán sẽ xảy ra.



Hình.2.17: Trình tự giao nhau bằng 0 của EMF trở lại và chuyển pha.

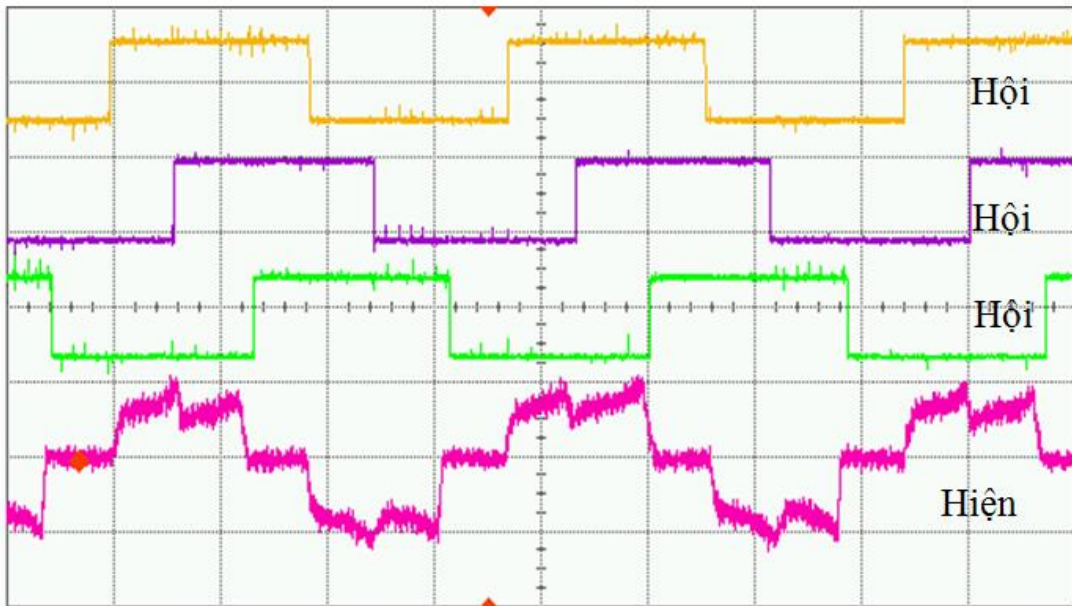
Như đã mô tả trước đây, phát hiện điểm cắt ngang bằng 0 này có độ phân giải rất tốt ngay cả ở tốc độ thấp, khi biên độ của EMF trở lại thấp. Hình.2.18 cho thấy dạng sóng của EMF trở lại và tín hiệu cắt điểm 0 ở tốc độ động cơ thấp. Hệ thống vẫn có thể hoạt động rất tốt ngay cả khi đỉnh EMF trở lại dưới 1V.



Hình.2.18 : Quay lại EMF và không giao nhau khi vận hành tốc độ thấp

Nếu tốc độ cần phải xuống thấp hơn nữa, một mạch cải tiến sử dụng OP AMP được phát triển để khuếch đại tín hiệu EMF trở lại. Chương tiếp theo sẽ thảo luận về mạch cải tiến.

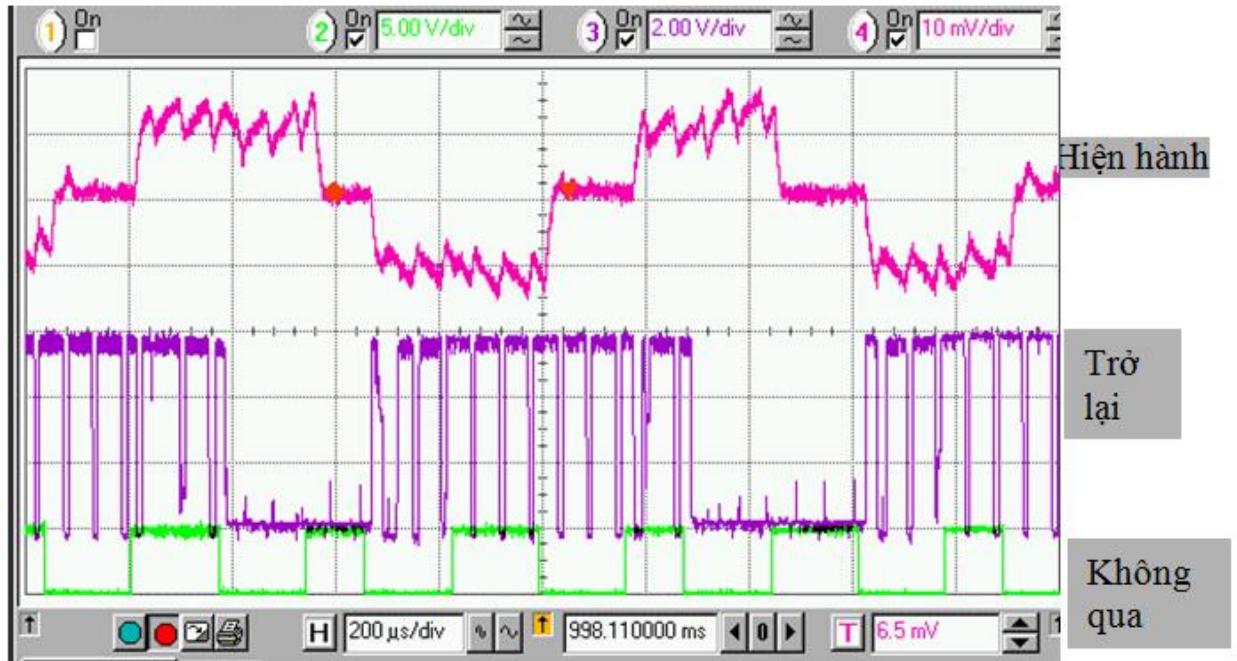
Để đánh giá độ chính xác của cắt điểm 0 và thời gian chuyển mạch, một động cơ có cảm biến Hall được điều khiển với sơ đồ không cảm biến. Hình.2.19 cho thấy các tín hiệu cảm biến Hall và thời gian chuyển mạch dòng điện. Thời điểm chuyển mạch dòng điện được căn chỉnh với tín hiệu cảm biến Hall rất tốt, điều này cho thấy phát hiện cắt ngang bằng 0 là chính xác.



Hình.2.19: Tín hiệu cảm biến Hall so với dòng pha.

Đối với phương pháp thông thường, rất khó để đi đến tốc độ rất cao do độ trễ gây ra bởi bộ lọc thông thấp.

Đối với phương pháp phát hiện EMF trực tiếp được đề xuất, giới hạn tốc độ là tốc độ lấy mẫu của tín hiệu EMF trở lại do EMF trở lại được lấy mẫu ở tần số F_s chuyển mạch. Kết quả kiểm tra cho thấy số mẫu của EMF trở lại phải có ít nhất 3 trong mỗi bước để có độ phân giải tốt. Vì vậy, tần số chuyển mạch tối đa là $F_s / 3$. Như chúng ta biết, có 6 bước trong một chu kỳ. Do đó, tần số cơ bản là $F_s / 18$. Nếu tần số chuyển đổi là 18 KHz, tần số cơ bản là 1 KHz. Nếu động cơ là động cơ 4 cực, tốc độ tối đa có thể lên tới 30.000 vòng / phút, đó là tốc độ hoạt động khá cao. Hình 2.20 cho thấy một động cơ 4 cực đang chạy ở tốc độ 30.000 vòng / phút.



Hình 2. 20 dạng sóng hoạt động tốc độ cao

2.5. MỘT SỐ ỨNG DỤNG VÍ DỤ : BƠM NHIÊN LIỆU

Một động cơ bơm nhiên liệu dc loại có công suất thường được thiết kế để kéo dài 6.000 giờ. Trong một số phương tiện hạn chế nhất định, điều này có thể được sử dụng trong vòng chưa đầy 1 năm. Tuổi thọ của động cơ không chổi than thường khoảng 15.000 giờ, kéo dài tuổi thọ của động cơ gần gấp 3 lần. Khi một bộ vi điều khiển được sử dụng để thực hiện chuyển đổi không chổi than, các tính năng khác có thể được tích hợp vào ứng dụng. Các tính năng như điều khiển hệ thống nhiên liệu hoàn nguyên điện tử, xử lý mức nhiên liệu và cảm biến áp suất bình nhiên liệu có thể được tích hợp. Những tính năng bổ sung này giúp đơn giản hóa các hệ thống xe cũng như giảm chi phí chung. Do đó, truyền động bơm nhiên liệu là một ứng dụng rất tốt cho sơ đồ truyền động không cảm biến BLDC dựa trên bộ điều khiển vi mô được đề xuất [19].

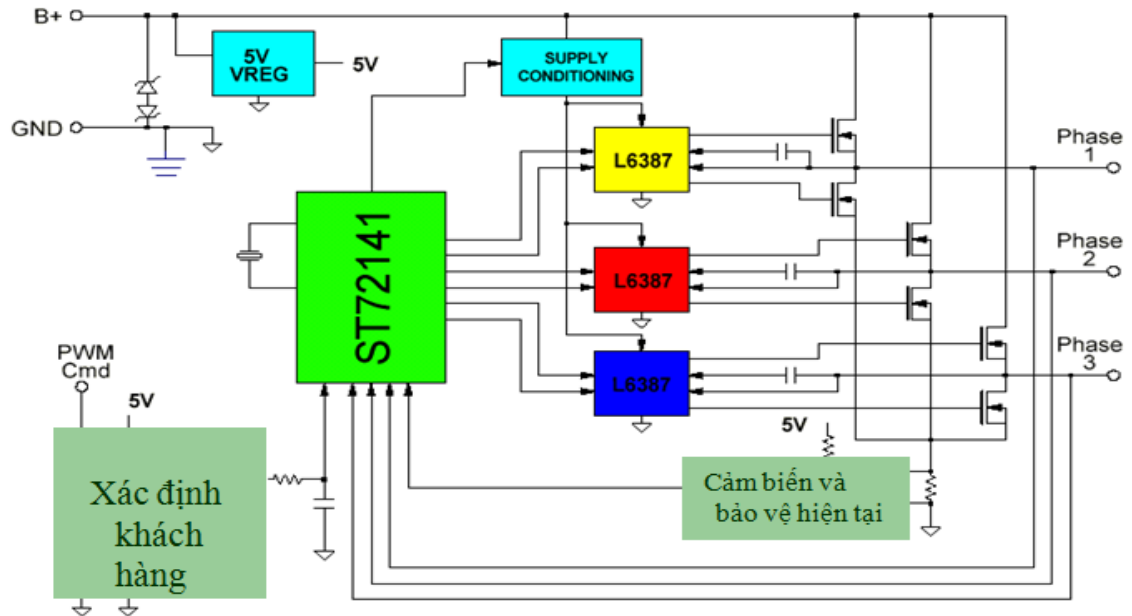
Những thách thức của ứng dụng bơm nhiên liệu ô tô bao gồm:

- 1). Phạm vi điện áp hoạt động đầu vào rộng từ 6v ~ 24v. Vấn đề là làm thế nào để hệ thống hoạt động ở đầu vào 6v;
- 2) Khởi động nhanh và rất đáng tin cậy của động cơ trong vòng 200ms;
- 3). Giao diện tương thích cho lệnh tốc độ và giao tiếp; 4). Giá thấp.

Nhờ sơ đồ cảm biến EMF trở lại độc đáo và tính linh hoạt do vi điều khiển

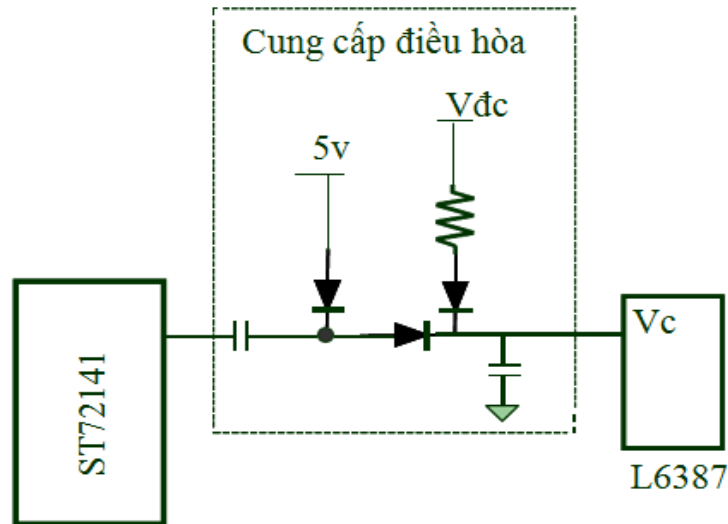
mang lại, tất cả những vấn đề này đã được giải quyết.

Hình 21 cho thấy sơ đồ khối hệ thống cho hệ thống truyền động không cảm biến. Các sơ đồ chi tiết là trong phụ lục 1.



Hình 2.21: Sơ đồ khối hệ thống cho hệ thống truyền động không cảm biến của bơm nhiên liệu.

Điện áp pin có thể thay đổi từ 6v đến 24v. Ở 6v, trình điều khiển công sẽ không hoạt động tốt. Điện áp tối thiểu cho chip điều khiển công L6387 là khoảng 6,5v. Một mạch điều hòa cung cấp, là một mạch bơm sạc đơn giản, được sử dụng để tăng điện áp cho trình điều khiển công. Hình 2.22 cho thấy mạch điều hòa cung cấp. Bộ vi điều khiển sẽ theo dõi điện áp bus dc (điện áp pin). Khi điện áp dc dưới mức điện áp ngưỡng nhất định (8v), mạch bơm sạc sẽ được kích hoạt. Mạch điều hòa cung cấp này giải quyết vấn đề phạm vi điện áp rộng.

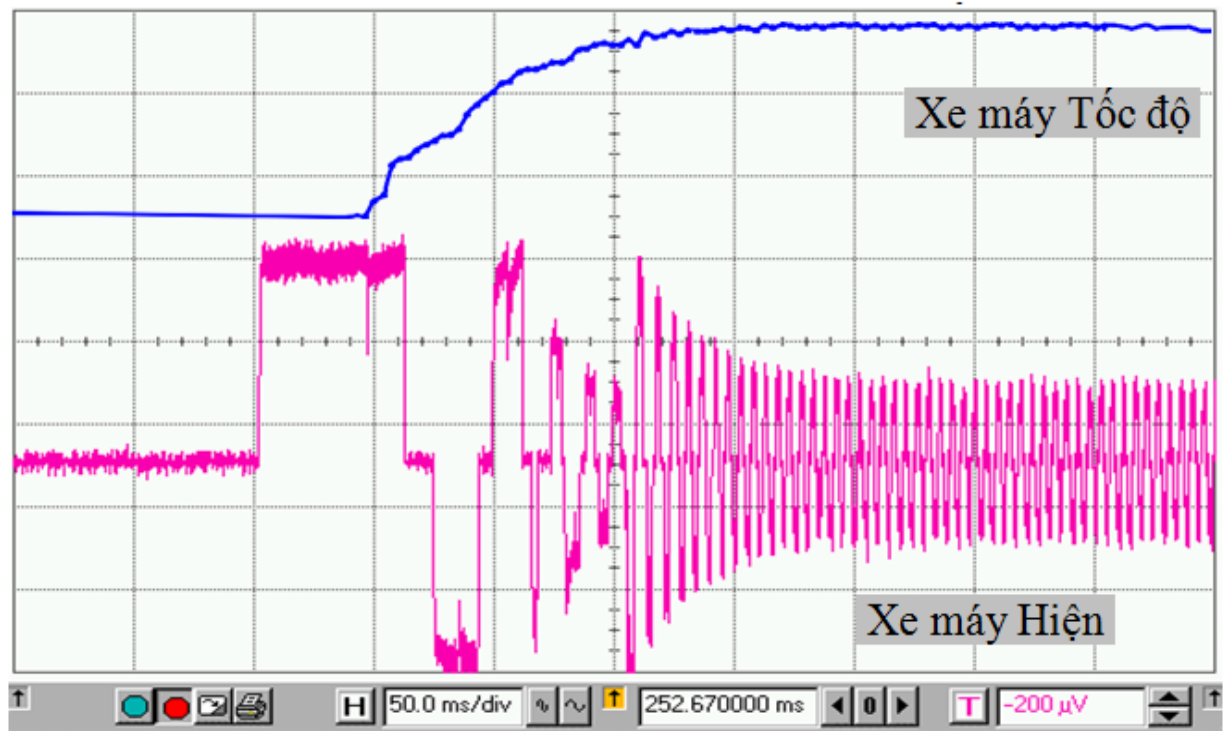


Hình 2.22: Cung cấp mạch điều hòa ứng dụng bơm nhiên liệu.

Vấn đề thứ hai là động cơ phải khởi động đủ nhanh để tạo áp lực khi động cơ khởi động. Với phương pháp không cảm biến thông thường, rất khó để khởi động động cơ rất nhanh. Nhờ phát hiện EMF trở lại độ chính xác cao được đề xuất của ST72141, việc khởi động nhanh động cơ BLDC có thể được thực hiện.

Khi động cơ dừng lại, không có EMF trở lại. Thông thường, bộ điều khiển buộc động cơ quay với chuyển mạch vòng mở. Động cơ sẽ cố gắng tăng tốc độ nếu tần số chuyển mạch tăng. Sau khi động cơ tạo đủ EMF trở lại, nó sẽ chuyển sang chuyển mạch đồng bộ, được xác định bằng giao thoa EMF bằng 0 .. Vì chúng ta không làm giảm tín hiệu EMF, bộ điều khiển có thể phát hiện ra điểm cắt zero của EMF với tốc độ thấp hơn. Do đó, động cơ có thể kết thúc quá trình khởi động sớm hơn phương pháp thông thường. Sử dụng phát hiện EMF mới này, có thể chuyển sang chuyển đổi đồng bộ khi biên độ EMF trở lại cực đại chỉ là 0,5v.

Hình 2.23 cho thấy dạng sóng bắt đầu của bơm. Bơm nhiên liệu kết thúc khởi động trong vòng 150ms. Làm thế nào để đạt được khởi nghiệp tốt nhất này sẽ được thảo luận trong chương IV.



Hình 2.23: Dạng sóng khởi động của bơm nhiên liệu

Máy bơm có thể được điều khiển bằng cảm biến áp suất hoặc Mô-đun điều khiển Powertrain (PCM). Nếu nó được điều khiển bởi cảm biến áp suất, tốc độ động cơ sẽ được điều chỉnh theo cảm biến áp suất phản hồi để duy trì áp suất nhiên liệu mong muốn. Nếu nó được điều khiển bởi PCM, lệnh tốc độ sẽ là chuỗi xung PWM. Tốc độ động cơ sẽ trực tiếp theo chu kỳ công tác của tín hiệu PWM từ PCM. Bộ vi điều khiển có thể dễ dàng xác định chế độ điều khiển và điều khiển động cơ. Việc giao tiếp tương đối dễ dàng khi có một vi điều khiển trong hệ thống. Trong khi đó, mức nhiên liệu, áp suất bình nhiên liệu và nhiệt độ nhiên liệu cũng có thể được giám sát bởi vi điều khiển. Tất cả những thông tin này có thể được gửi trở lại Mô-đun điều khiển Powertrain (PCM) thông qua giao thức nhất định. Các chức năng giám sát này được tích hợp trong Mô-đun trình điều khiển bơm nhiên liệu (FPDM) này. Việc tích hợp giảm hơn tất cả chi phí hệ thống.

2.6. KẾT LUẬN

Một kỹ thuật không cảm biến EMF mới không có điện áp trung tính cho các truyền động BLDC được trình bày trong chương này. EMF trở lại thực sự có thể được phát hiện đồng bộ trong thời gian tắt của PWM vì điện áp đầu cuối của

động cơ tỷ lệ thuận với EMF ngược pha trong khoảng thời gian này. Phương pháp cảm biến EMF trở lại này miễn dịch với việc chuyển nhiễu bằng cách lấy mẫu đồng bộ. Ngoài ra, thông tin EMF phía sau được nổi bật mà không có bất kỳ nhiễu chế độ chung nào.

Do đó, phương pháp cảm biến EMF trở lại độc đáo này có hiệu suất vượt trội so với các phương pháp khác dựa vào thông tin điện áp trung tính, cung cấp phạm vi tốc độ động cơ rộng hơn nhiều với chi phí thấp.

Mặc dù tín hiệu EMF phía sau có thể chứa sóng hài bậc cao, nó sẽ không ảnh hưởng đến việc phát hiện giao nhau bằng không.

Hơn nữa, sơ đồ cảm biến EMF trở lại này được nhúng trong một vi điều khiển chi phí thấp. Bộ vi điều khiển này tích hợp mạch phát hiện tương tự và các thiết bị ngoại vi khác để điều khiển động cơ với lỗi vi tiêu chuẩn, giảm tổng chi phí hệ thống.

Các kết quả thử nghiệm xác minh phân tích và chứng minh những ưu điểm của sơ đồ phát hiện EMF mới này và hệ thống vi điều khiển tín hiệu hỗn hợp. Một ứng dụng ví dụ của hệ thống ổ đĩa BLDC không cảm biến dựa trên vi điều khiển này được mô tả trong chương này. Các ứng dụng của BLDC không cảm biến này có thể bao gồm ổ đĩa cứng, quạt, máy bơm, máy thổi và thiết bị gia dụng, v.v.

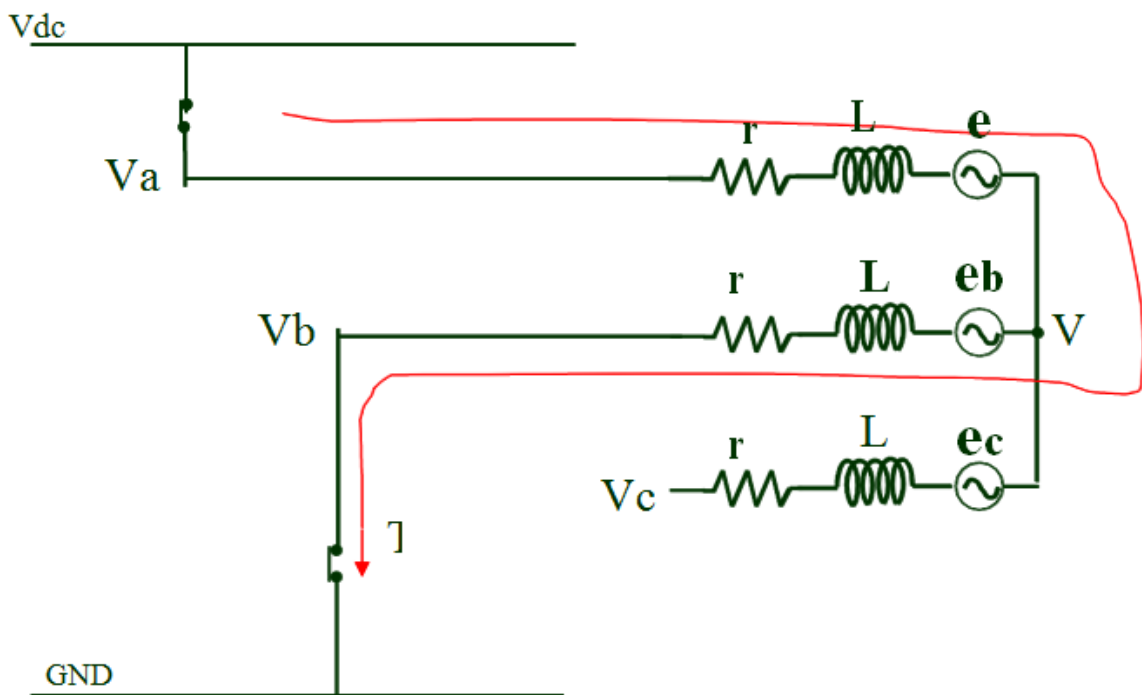
Chương 3.

MẠCH CẢI TIẾN PHÁT HIỆN EMF TRỰC TIẾP SỨC PHẢN ĐIỆN ĐỘNG

3.1 .QUAY LẠI PHÁT HIỆN EMF TRONG THỜI GIAN PWM

Trong chương II, chúng ta mô tả phát hiện EMF trực tiếp trở lại trong thời gian tắt PWM. Tín hiệu EMF trở lại thực sự có thể được ghi lại trong khoảng thời gian đó. Tuy nhiên, một hạn chế của phương pháp đó là nó không thể đi đến chu kỳ làm việc 100% vì chúng tôi cần thời gian nghỉ tối thiểu để có cửa sổ thời gian để phát hiện EMF trở lại. Đối với một số ứng dụng, nó là không mong muốn. Chúng ta có thể phát hiện EMF trở lại trong thời gian PWM để chúng ta không cần thời gian nghỉ tối thiểu đó không?

Chúng ta cần tìm ra tín hiệu điện áp đầu cuối trong thời gian PWM cho pha hở. Nếu pha A và B đang dẫn dòng điện, pha C hở. Điện áp đầu cuối V_c được phát hiện.



Hình 3.1: Quay lại phát hiện EMF trong thời gian PWM tức thời

Từ pha A chúng ta có

$$V_n = V_{dc} - V_{mos} - r_i - L \frac{di}{dt} - e_a \quad (3.1)$$

Từ pha B chúng ta có

$$V_n = v_{mos} + r_i + L \frac{di}{dt} - e_b \quad (3.2)$$

Trong đó V_d là điện áp rơi của diode, V_{mos} là điện áp rơi trên MOSFET.

Từ 3.1 và 3.2,

$$V_n = \frac{V_{dc}}{2} - \frac{e_a + e_b}{2} \quad (3.3)$$

Cũng từ hệ thống ba pha cân bằng, bỏ qua các hài bậc cao giống như những gì chúng ta đã làm trong chương II, chúng ta có

$$e_a + e_b + e_c = 0 \quad (3.4)$$

từ 3.3 và 3.4 ta có

$$V_n = \frac{V_{dc}}{2} + \frac{e_c}{2} \quad (3.5)$$

Vì vậy điện áp đầu cuối V_c

$$V_c = e_c + v_n = \frac{3}{2}e_c + \frac{V_{dc}}{2} \quad (3.6)$$

Từ phương trình 3.6, điện áp đầu cuối bằng với EMF trở lại cộng với một nửa điện áp bus dc. Nếu chúng ta so sánh V_c với $V_{dc} / 2$, thì chúng ta có thể có được điểm cắt 0 của EMF trở lại. Để giảm điện áp chế độ chung, chúng ta cần làm giảm tín hiệu. Vì chúng ta chỉ cần làm điều này ở tốc độ cao, EMF phía sau có biên độ cao. Độ suy giảm sẽ không ảnh hưởng đến độ chạy tín hiệu.

Do đó, nếu chu kỳ làm việc 100% là cần thiết cho một số ứng dụng, việc phát hiện EMF trở lại có thể được thực hiện trong thời gian PWM. Ở tốc độ thấp hơn, EMF trở lại có thể được phát hiện trong thời gian tắt. Sau khi chu kỳ nhiệm vụ cao hơn mức nhất định, việc phát hiện có thể được thực hiện trong thời gian. Tham chiếu điểm cắt zero thay đổi thành một nửa điện áp dc, thay vì nối đất.

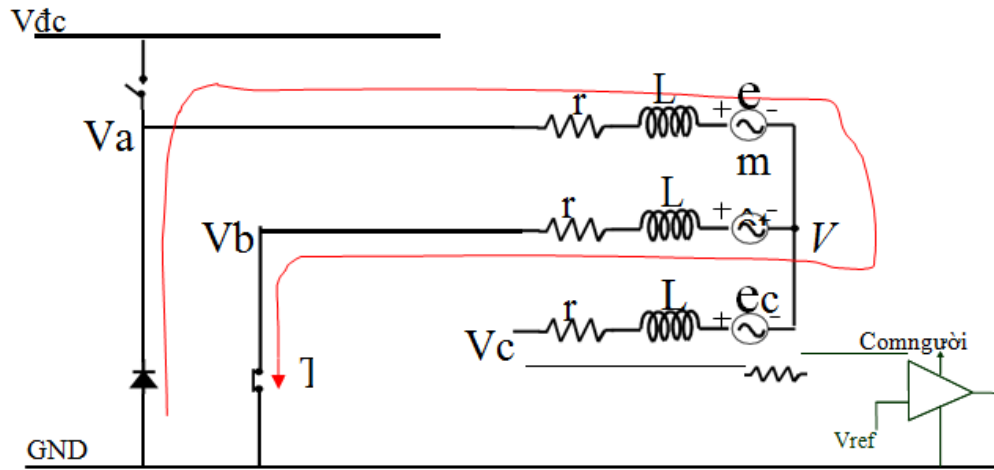
Tính năng này đã được triển khai vào ST7MC, phiên bản mới của ST72141 [25].

3.2. MẠCH CẢI TIẾN CHO CÁC ỨNG DỤNG TỐC ĐỘ THẤP/ ĐIỆN ÁP THẤP

3.2.1. Không đối xứng của tín hiệu EMF

Trong chương trước, khi chúng ta thực hiện phân tích mạch, chúng ta bỏ qua sự sụt giảm điện áp trong diode và công tắc. Khi biên độ của EMF trở lại rất thấp, việc giảm điện áp trên các thiết bị này sẽ ảnh hưởng đến độ chính xác của phát hiện cắt ngang bằng không.

Chúng ta hãy phân tích mạch một lần nữa xem xét sự sụt giảm điện áp trên diode và công tắc. Đối với ứng dụng điện áp thấp, công tắc nguồn là MOSFET có điện trở thấp và diode là diode của cầu tạo của MOSFET.



Hình 3.2 mạch phát hiện trực tiếp EMF

Giống như trong chương II, điện áp đầu cực của pha C hở được tính trong khoảng thời gian tắt PWM.

Từ pha A chúng ta có

$$v_n = 0 - v_d - ri - L \frac{di}{dt} - e_a \quad (3.7)$$

từ pha B chúng ta có

$$v_n = v_{mos} + ri + L \frac{di}{dt} - e_b \quad (3.8)$$

Trong đó v_d là điện áp rơi của diode, v_{mos} là điện áp rơi trên MOSFET.

Từ (3.7) và (3.8), chúng tôi nhận được

$$2v_n = v_{mos} - v_d - (e_a + e_b) \quad (3.9)$$

Và

$$v_n = \frac{v_{mos} - v_d}{2} - \frac{e_a + e_b}{2} \quad (3.10)$$

Cũng từ hệ thống 3 pha cân bằng chúng ta có

$$e_a + e_b + e_c = 0 \quad (3.11)$$

từ 3.9 và 3.10 ta có

$$v_n = \frac{v_{mos} - v_d}{2} + \frac{e_c}{2} \quad (3.12)$$

Vì vậy điện áp đầu cuối V_c

$$V_c = e_c + v_n = \frac{3}{2}e_c + \frac{v_{mos} - v_d}{2} \quad (3.13)$$

Nếu chúng ta bỏ qua số hạng thứ hai của (3.13), kết quả sẽ giống như (2.6) trong chương II. Tuy nhiên, ở tốc độ thấp và điện áp thấp, bản thân EMF lại rất nhỏ, số hạng thứ hai sẽ đóng một vai trò quan trọng ở đây. Đối với MOSFET điện áp thấp, R_{dson} rất thấp, V_{mos} có thể bị bỏ qua, vì vậy (3.11) có thể được viết lại thành,

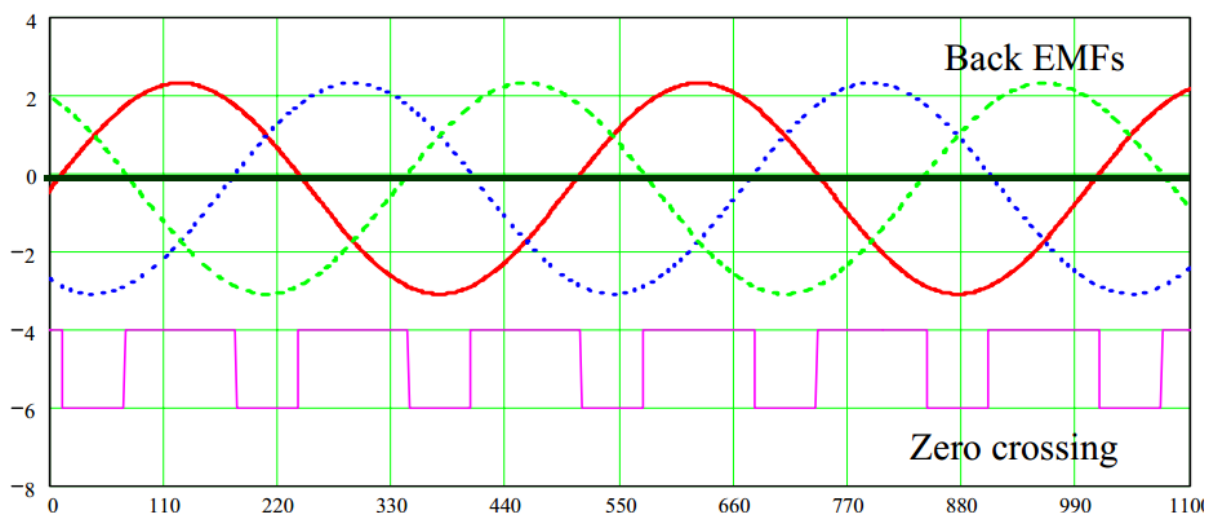
$$V_c = e_c + v_n = \frac{3}{2}e_c - \frac{v_d}{2} \quad (3.12)$$

Do đó, điện áp rơi trên diode sẽ làm lệch điện áp đầu cực. Khi EMF e_c đủ cao ở tốc độ cao, tác động của biểu thức thứ hai (3.12) là tối thiểu và có thể bị bỏ qua. Ở tốc độ thấp, chúng ta cần xem xét hiệu quả.

Để xác minh phân tích, chúng tôi sử dụng Mathcad để mô phỏng mạch xem xét giảm điện áp trên diốt khi biên độ của EMF thấp.

Hình.3.4 và Hình.3.3 hiển thị kết quả mô phỏng và thử nghiệm tương ứng. Hình 3.3 cho thấy khi sóng hình sin bị sai lệch bởi điện áp bù, các điểm cắt 0 bị dịch chuyển, phân bố không đều. Các kết quả mô phỏng và kiểm tra xác nhận phân tích.

Trong khi đó, ở tốc độ thấp, độ dốc của EMF gần đường cắt điểm 0 rất bằng phẳng. Phần bù và vòng trễ của bộ so sánh cũng có thể dịch chuyển điểm cắt 0 chính xác.



Hình 3.3: Kết quả mô phỏng cắt EMF zero ở tốc độ thấp.



Hình.3.4: Kết quả thử nghiệm cắt EMF zero ở tốc độ thấp.

3.2.2. Mạch cải thiện hiện EMF cho các ứng dụng tốc độ thấp

3.2.2.1. PWM bù

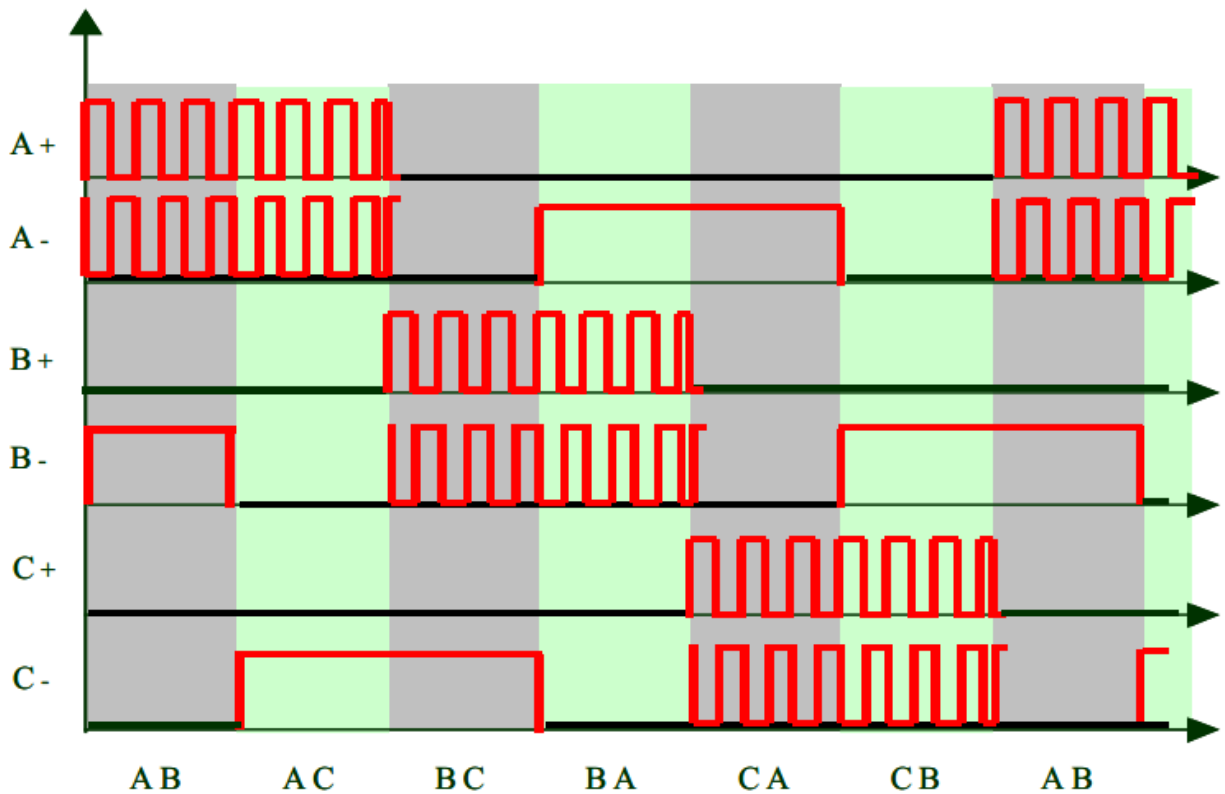
Phương pháp đầu tiên để điều chỉnh điện áp bù của tín hiệu EMF là sử dụng bổ sung PWM. Trong chương trước, PWM chỉ được áp dụng cho phía cao, được hiển thị trong Hình 2.5. Khi tắt PWM, dòng điện sẽ tự do chạy qua diode cơ thể của công tắc phía dưới. Sự sụt giảm điện áp trên diode gây ra tín hiệu EMF.

Nếu áp dụng PWM bổ sung, dòng điện tự do sẽ chạy qua MOSFET thay vì diode. Cả hai cuộn dây đầu cực động cơ được gắn với mặt đất bằng MOSFET, do đó, điện áp bù do diode cơ thể bị loại bỏ. Thuật toán PWM được hiển thị trong Hình 3.5.

Một lợi ích khác của PWM bổ sung này, cũng được gọi là chỉnh lưu đồng bộ, giúp giảm tổn thất dẫn trong giai đoạn dòng tự do.

Để thực hiện thuật toán PWM bổ sung, thời gian chết là cần thiết để ngăn chặn sự dẫn truyền chéo giữa MOSFET bên cao và bên thấp trong cầu. Đối với

ST72141, nó phải thực hiện điều này bởi các thành phần bên ngoài. Phiên bản mới ST7MC [25] sẽ có thể hệ thời gian chết tích hợp.



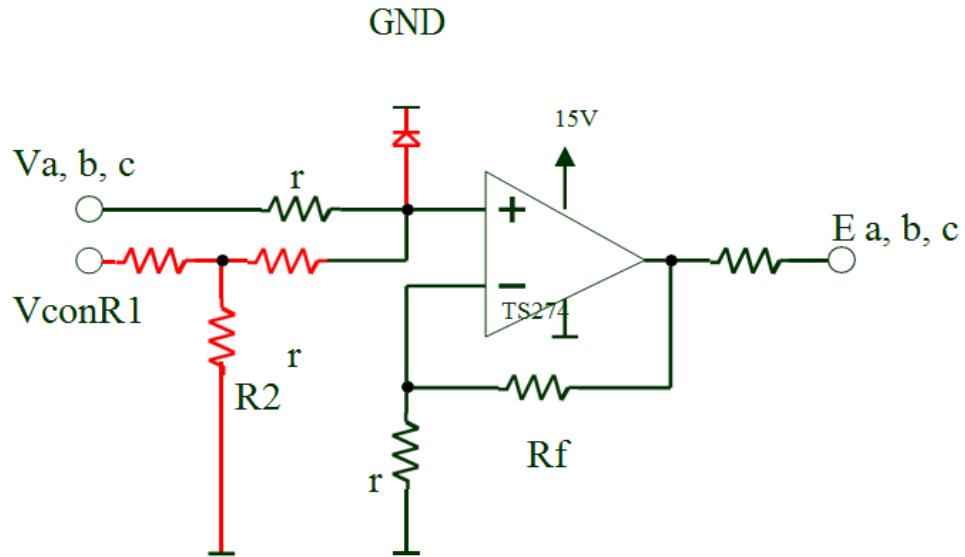
Hình 3. 5 Tín hiệu bổ sung PWM

3.2.2.2. Mạch tiền điều hòa để điều chỉnh tín hiệu EMF không đối xứng

Để loại bỏ ảnh hưởng của việc giảm điện áp diode, chúng ta cũng có thể thêm một điện áp bù để bù hiệu ứng của diode trước khi tín hiệu EMF được gửi đến bộ so sánh [15].

Để giảm bớt vấn đề gây ra bởi điện áp bù và trễ của bộ so sánh, chúng ta cần làm sắc nét độ dốc của EMF trong khoảng thời gian cắt điểm 0. Chúng ta có thể sử dụng bộ khuếch đại để khuếch đại tín hiệu Back EMF.

Một mạch tiền điều hòa để phát hiện chéo EMF được phát triển để bù cho sự sụt giảm điện áp diode và làm sắc nét độ dốc của tín hiệu EMF gần đường cắt điểm 0. Mạch tiền điều hòa được thể hiện trong hình.3.7.



Hình 3. 7: Một mạch tiền điều hòa để phát hiện lại EMF zero.

TS274 là một khuếch đại thuật toán tốc độ cao. Chọn R1 và R2 sao cho $V_{con} * R2 / (R1 + R2) = V_d / 2$. Đầu vào tích cực của khuếch đại thuật toán được kẹp ở mức 0,7v bởi một diode bởi vì chỉ tín hiệu gần với điểm cắt 0 mới được quan tâm. Vì vậy, chúng tôi chỉ làm sắc nét độ dốc của EMF gần đường giao nhau.

Đầu vào tích cực của khuếch đại thuật toán là

$$V_+ = V_x + V_{con} * \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (3.13)$$

Trong đó V_x có thể là V_a , V_b hoặc V_c , điện áp đầu cực của ba cuộn dây. Từ phân tích trước,

$$V_x = \frac{3}{2} e_x - \frac{v_d}{2} \quad (3.14)$$

Nếu để $V_{con} * \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{v_d}{2}$ thì

$$V_+ = \frac{3}{2} e_x \quad (3.15)$$

Đầu ra của khuếch đại thuật toán sẽ là

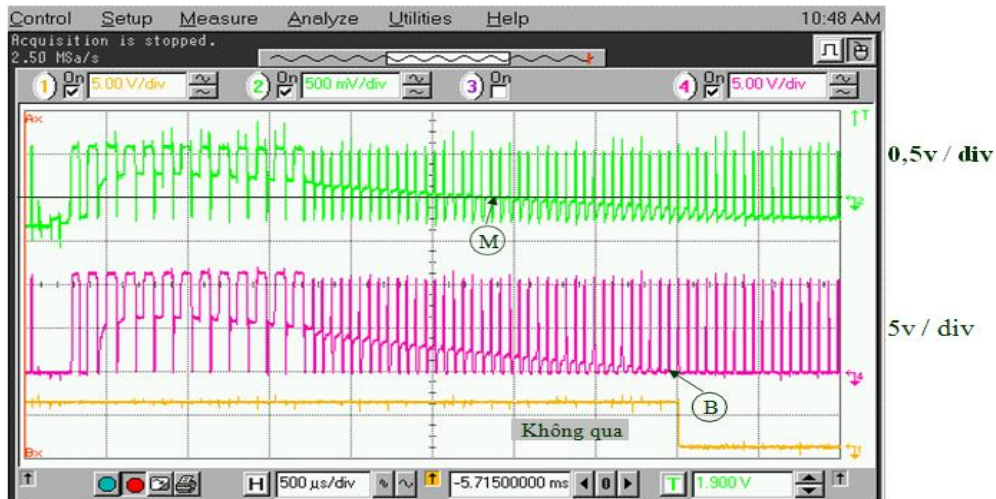
$$E_x = (1 + R_f/r) * \frac{3}{2} e_x \quad (3.16)$$

Do đó, mạch tiền điều hòa này không chỉ loại bỏ phần bù gây ra bởi điện áp trên diode, mà còn làm sắc nét độ dốc của tín hiệu EMF bằng cách khuếch

đại tín hiệu.

Hình.3.8 và Hình.3.9 cho thấy kết quả của mạch tiền điều hòa.

Trong hình.3.8, biên độ của EMF rất thấp. Nếu không có mạch tiền điều hòa, điểm giao nhau bằng 0 là A. mạch tiền điều hòa không chỉ bù cho phần bù, mà còn làm sắc nét độ dốc của tín hiệu gần điểm cắt 0. Điểm cắt 0 được phát hiện tại B với mạch tiền điều hòa. Hãy chú ý rằng thang đo điện áp biên độ cho hai tín hiệu chênh lệch 10 lần.



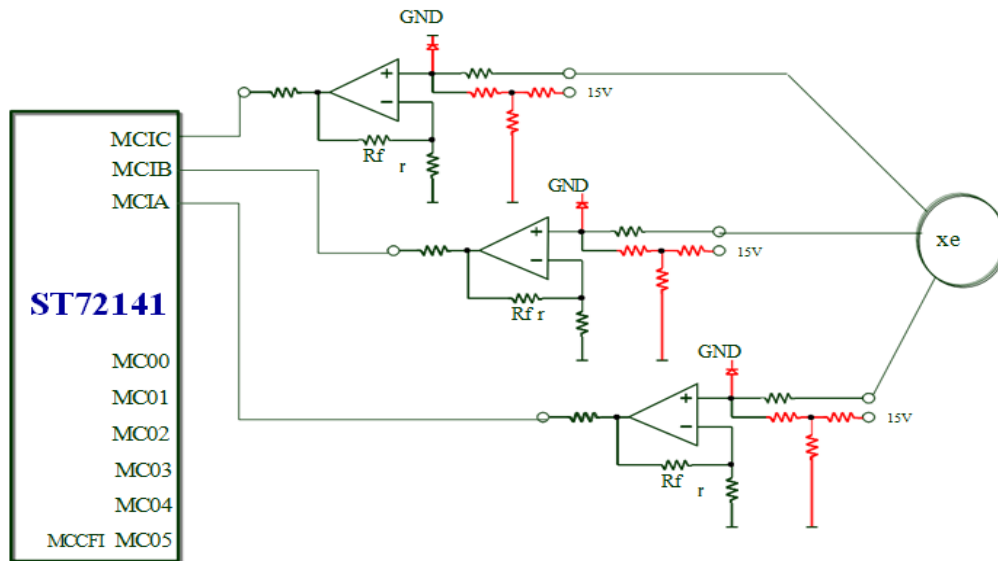
Hình.3.8: Kênh trên: tín hiệu đầu vào của mạch tiền điều hòa; kênh giữa: tín hiệu đầu ra từ mạch tiền điều hòa; kênh dưới: không phát hiện giao nhau.

Hình.3.9 cho thấy các điểm cắt 0 được phân bố đều sau khi sử dụng mạch tiền điều hòa.



Hình.3.9: Cải thiện phát hiện vượt không bằng mạch điều hòa trước.

Mạch cải tiến này tiếp tục mở rộng ứng dụng của các truyền động BLDC không cảm biến. Đối với sơ đồ phát hiện EMF thông thường, phạm vi tốc độ của động cơ (tốc độ tối thiểu của câu thơ tốc độ tối đa) thường là khoảng 5: 1. Đối với sơ đồ phát hiện EMF được đề xuất mà không có mạch tiền điều hòa, phạm vi tốc độ có thể lên tới 10: 1. Phạm vi tốc độ có thể được mở rộng đến ít nhất 50: 1, nếu sử dụng mạch tiền điều hòa. Hình 3.1 cho thấy mạch tiền điều hòa ba pha.



Hình 3. 10: Mạch tiền điều hòa ba pha

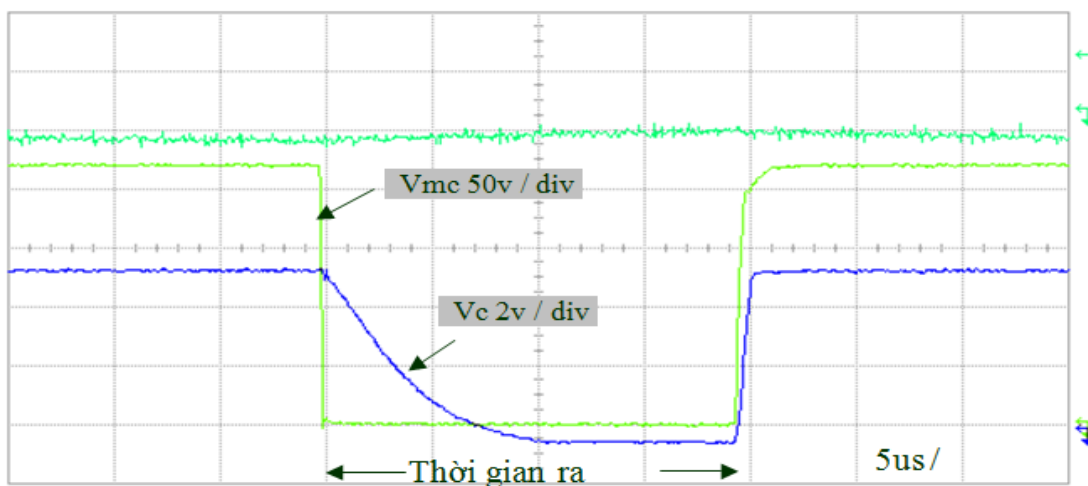
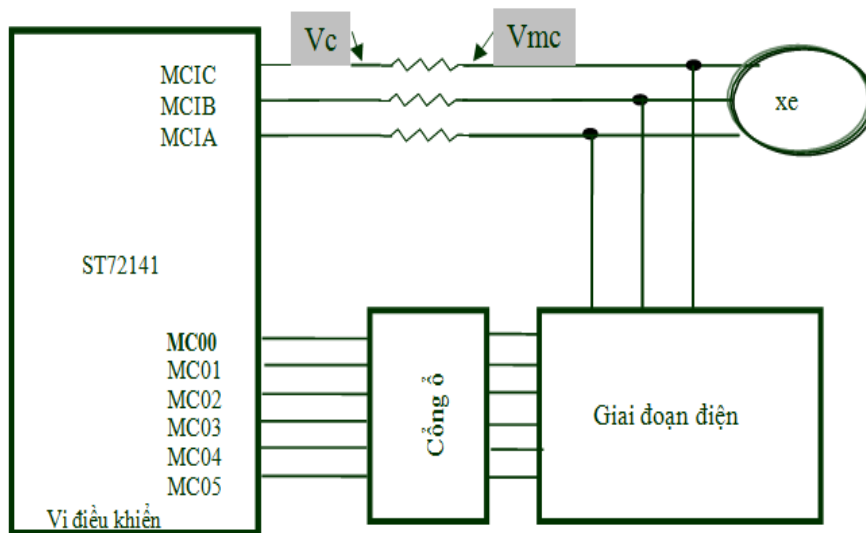
3.3. MẠCH CẢI TIẾN CHO CÁC ỨNG DỤNG ĐIỆN ÁP CAO

Trong chương II, người ta đã đề cập rằng điện áp đầu cực ba pha được đưa trực tiếp vào vi điều khiển thông qua các điện trở, làm hạn chế dòng được đưa vào. Đối với các ứng dụng điện áp khác nhau, chúng ta cần chọn điện trở khác nhau cho phù hợp. Dòng bơm vào nên được giới hạn khoảng 2 mA. Đối với một số ứng dụng thiết bị gia dụng, điện áp dc có thể là 300 v. Giá trị điện trở được chọn 160kΩ.

Chúng tôi thấy rằng việc phát hiện điểm cắt 0 đôi khi không chính xác khi chu kỳ công tác của PWM cao. Vấn đề được gây ra bởi hằng số thời gian lớn của các điện trở giới hạn dòng điện. Bên trong vi điều khiển, có một số điện dung ký sinh. Vì điện trở bên ngoài đủ cao, mặc dù điện dung thấp, hiệu ứng của hằng số thời gian RC sẽ hiển thị. Hình.3.7 cho thấy điện áp đầu cực cuộn dây V_{mc} và điện áp VC ở chân đầu vào của vi điều khiển.

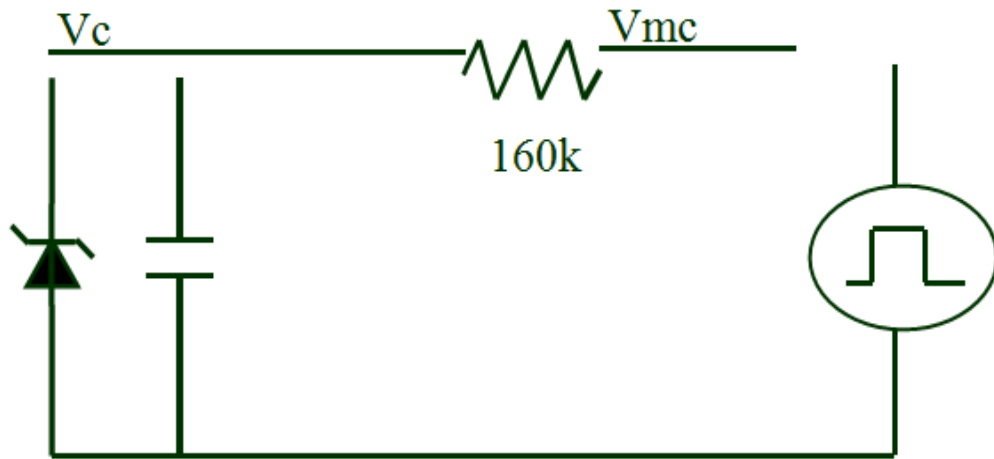
Rõ ràng là VC có thời gian trễ khác nhau ở cạnh tăng và cạnh giảm. Cạnh rơi có thể kéo dài khoảng 10 μ s và cạnh tăng rất nhanh. Lý do gây ra độ dốc khác nhau là nguồn điện áp thứ vị khác nhau cho mạch RC. Ở cạnh tăng, nguồn kích từ là điện áp đầu cuối động cơ. Vì điện áp đầu cực cao (~ 300 v), dòng bơm có thể sạc tụ điện nhanh chóng. Vì vậy, cạnh tăng là ngắn. Ở cạnh rơi, điện áp nguồn xả chỉ 5v, do đó, dòng xả rất nhỏ. Do đó, cạnh giảm dài hơn nhiều so với cạnh tăng.

Tín hiệu EMF được lấy mẫu vào cuối thời gian tắt PWM. Nếu chu kỳ công tác của PWM đủ cao để thời gian tắt ít hơn 10 μ s, kết quả không chính xác vì thời gian xả chưa kết thúc.



Hình.3.11: Dạng sóng của điện áp và điện áp đầu cực cuộn dây ở chân đầu vào của Micro

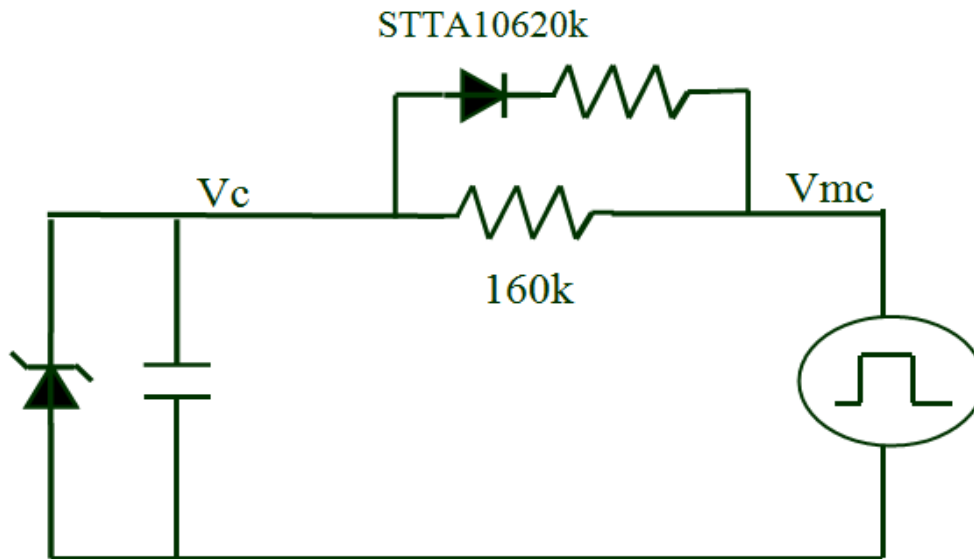
Hình.3.12 cho thấy mạch tương đương để sạc và xả tụ điện ký sinh.



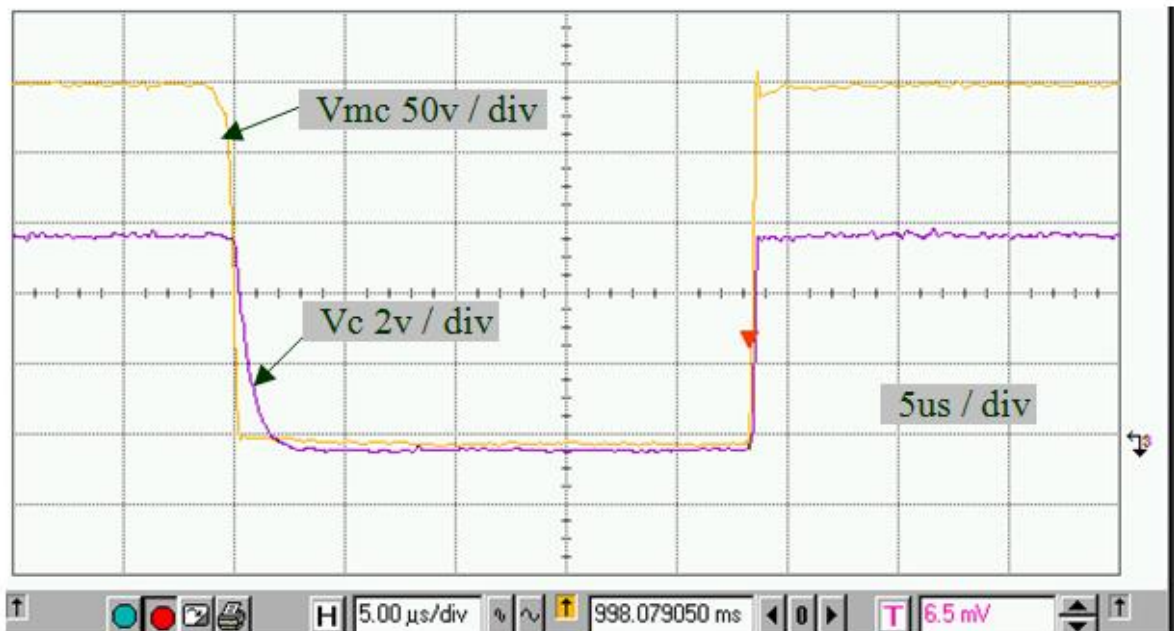
Hình.3.12: Mạch tương đương để sạc và xả tụ điện ký sinh.

Để rút ngắn thời gian xả, chúng ta nên giảm hằng số thời gian RC. Chúng ta không thể thay đổi điện dung, nhưng chúng ta có thể thay đổi giá trị điện trở. Hình.3.13 cho thấy một mạch mà các hằng số thời gian khác nhau cho cạnh tăng và cạnh giảm. Ở cạnh tăng của V_{mc} , V_{mc} sẽ sạc tụ điện qua điện trở 160k. Ở cạnh rơi của V_{mc} , thời gian phóng điện và diode sẽ tiến về phía trước và tụ điện sẽ được phóng qua điện trở 20k. Hình.3.14 cho thấy kết quả thử nghiệm của mạch với hằng số thời gian RC thay đổi. Thời gian xả chỉ khoảng 1us.

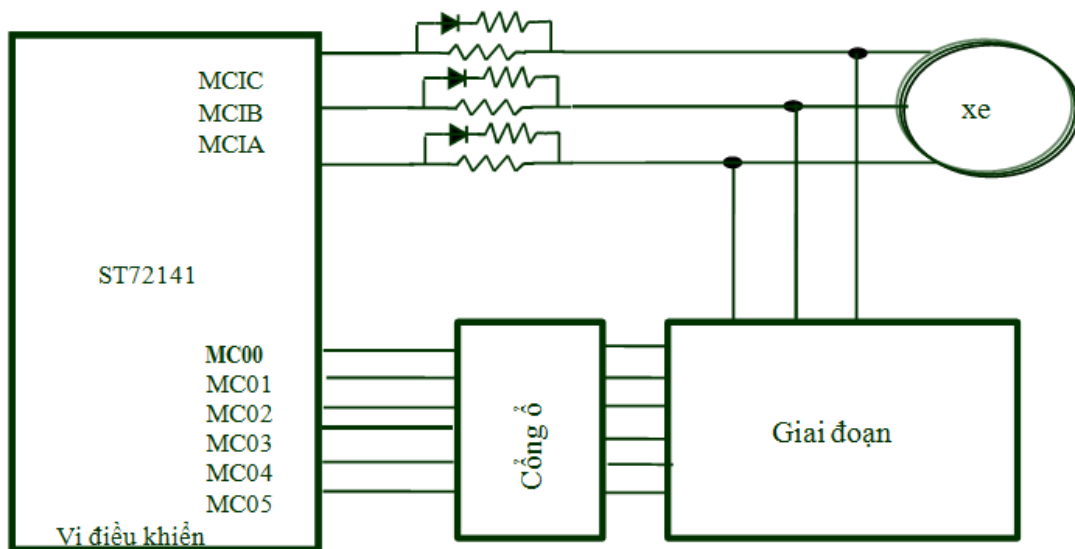
Hình.3.15 cho thấy sơ đồ mạch cải tiến phát hiện EMF ngược cho các ứng dụng điện áp cao.



Hình.3.13: Mạch của các hằng số thời gian khác nhau để sạc và xả.



Hình 3.14: Kết quả thử nghiệm của mạch không đổi thời gian RC thay đổi.



Hình 3.15 : Mạch phát hiện EMF được cải tiến cho các ứng dụng điện áp cao.

3.4. KẾT LUẬN

Trong chương này, mạch cải tiến cho các ứng dụng tốc độ thấp / điện áp thấp và điện áp cao được mô tả.

Hạn chế của việc phát hiện EMF trong thời gian nghỉ là yêu cầu phải có thời gian nghỉ tối thiểu. Đôi khi điều này là không mong muốn cho các ứng dụng điện áp thấp. Một phát hiện EMF thay thế đúng thời điểm được đề xuất để làm cho chu kỳ nhiệm vụ lên đến 100%, do đó điện áp dc có thể được sử dụng đầy đủ.

Thuật toán PWM bổ sung được đề xuất để loại bỏ điện áp bù gây ra bởi điện áp diode của cấu trúc MOSFET khi dòng điện tự do đi qua diode. Điện áp bù có thể gây ra điểm cắt 0 không trung thực, đặc biệt là ở tốc độ thấp.

Mạch tiền điều hòa cho các ứng dụng tốc độ thấp không chỉ bù điện áp bù do điốt, mà còn làm sắc nét độ dốc của tín hiệu EMF gần điểm cắt 0.

Hằng số thời gian thay đổi của mạch cảm biến EMF sẽ tránh được sự sụt giảm dài của các tín hiệu gây ra bởi hằng số thời gian RC lớn.

Các mạch cải tiến mở rộng đáng kể phạm vi tốc độ động cơ. Ví dụ, đối với động cơ 48 V, phạm vi hoạt động tốc độ có thể từ 50 vòng / phút đến 2500 vòng / phút. Đối với hoạt động điện áp cao, hệ thống không cảm biến đã được sử dụng thành công cho các ứng dụng máy thổi khí tốc độ cao 300v / 30.000 vòng / phút.

Chương 4.

KHỞ ĐỘNG ĐỘNG CƠ VỚI SƠ ĐỒ KHÔNG CẢM BIẾN VÀ NGHIÊN CỨU TRONG TƯƠNG LAI

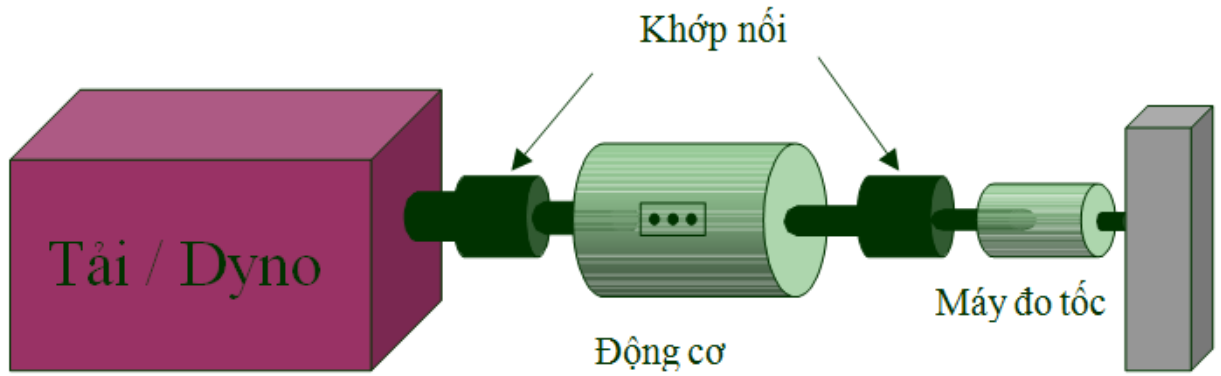
4.1. GIỚI THIỆU

Các sơ đồ không cảm biến không tự khởi động. Để cảm nhận EMF, trước tiên động cơ phải được khởi động và đưa đến một tốc độ nhất định nơi có thể phát hiện điện áp EMF. Trong thực tế, vòng lặp mở [16] khởi động động cơ được thực hiện bằng cách cung cấp từ trường quay stato với dạng tần số tăng nhất định. Khi từ trường rôto bắt đầu bị hút vào từ trường stato đủ để vượt qua ma sát và quán tính, rôto sẽ quay. Sau khi tốc độ đạt đến giá trị điện áp ngưỡng, EMF có thể được phát hiện, cung cấp thông tin vị trí, hệ thống chuyển sang chế độ chuyển mạch đồng bộ và động cơ hoạt động như một máy đồng bộ nam châm vĩnh cửu. Nếu không có yêu cầu cụ thể cho khởi động, như người ứng dụng yêu cầu, thì khởi động vòng lặp mở này có thể thỏa đáng. Tuy nhiên, đối với một số ứng dụng, như bơm nhiên liệu ô tô, khởi động phải được hoàn thành với 200ms để xây dựng áp lực. Rất khó điều chỉnh khởi động bằng thuật toán khởi động vòng lặp mở. Mặt khác, nếu mô-men khởi động ở mức trung bình hoặc cao, thường thì rất khó để khởi động động cơ bằng thuật toán vòng hở.

Trong phần này, một quy trình điều chỉnh khởi động thực tế với sự trợ giúp của máy đo tốc độ dc sẽ được hủy bỏ. Chuyển mạch trong quá trình khởi động được điều chỉnh theo cách này sao cho tốc độ động cơ có gia tốc tối đa. Quy trình này thường được áp dụng cho tất cả các hệ thống BLDC không cảm biến khác nhau.

4.2. THIẾT LẬP THỬ NGHIỆM

Kết nối động cơ với tải và một máy đo tốc độ dc dọc theo trục thông qua các khớp nối. Đầu ra của máy đo tốc độ là điện áp một chiều tỷ lệ thuận với tốc độ. Từ điện áp kế, chúng ta sẽ biết tốc độ tức thời của động cơ. Hình 4.1 cho thấy thiết lập.



Hình.4.1: Thiết lập thử nghiệm để khởi động động cơ điều chỉnh.

4.3. THỦ TỤC ĐIỀU CHỈNH KHỞI ĐỘNG

Khi động cơ dừng, bộ điều khiển không biết vị trí ban đầu của rôto. Bước đầu tiên là căn chỉnh động cơ đến một vị trí đã biết bằng kích thích hai pha thứ vị của động cơ. Chẳng hạn, chúng ta có thể chọn pha A và pha B để được kích thích để đặt vị trí ban đầu. Sau khi rôto ở vị trí ban đầu, một mẫu kích thích cài sẵn sẽ được gửi đi. Nếu ba pha được kích thích xen kẽ, động cơ sẽ bắt đầu tăng tốc. Bảng 4.1 và 4.2 cho thấy mô hình kích từ cho vòng quay tiến / lùi. Động cơ được điều khiển với chế độ 6 bước và pha kích từ lặp lại cùng một kiểu sau một chu kỳ (6 bước).

Bảng 4.1 Mô pha kích từ cho quay về phía trước

| | Sắp xếp (Bước 0) | Bước 1 | Bước 2 | Bước 3 | Bước 4 | Bước 5 |
|---------------------|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Thứ vị giai đoạn | AB | AC | BC | BA | CA | CB |

Bảng 4.2 Mô hình thứ vị pha cho quay ngược

| | Sắp xếp (Bước 0) | Bước 1 | Bước 2 | Bước 3 | Bước 4 | Bước 5 |
|---------------------|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Thứ vị giai đoạn | AB | CB | CA | BA | BC | AC |

Câu hỏi là làm thế nào để thiết lập thời gian phù hợp cho mỗi bước. Nếu chúng ta biết tốc độ động cơ tức thì, chúng ta sẽ đặt thời gian cho mỗi bước để tốc độ động cơ tiếp tục tăng tốc. Chúng ta có thể nhận được tốc độ động cơ ngay lập tức từ máy đo tốc độ dc.

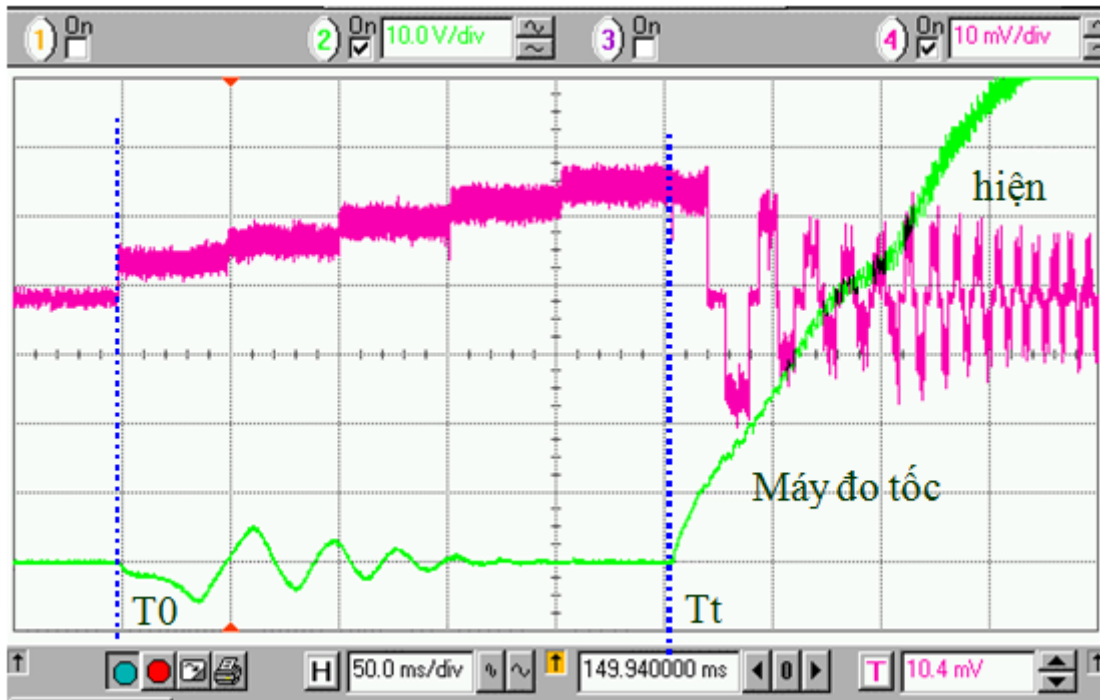
Chúng tôi lấy vòng quay về phía trước làm ví dụ cho việc điều chỉnh khởi động.

Trước khi bắt đầu, vị trí của rô to là không rõ. Một định vị trước là cần thiết để đặt động cơ ở một vị trí đã biết. Định vị trước cũng được gọi là căn chỉnh. Sau khi pha A và pha B được kích thích, rôto sẽ thẳng hàng với hướng từ thông được tạo bởi pha A và pha B.

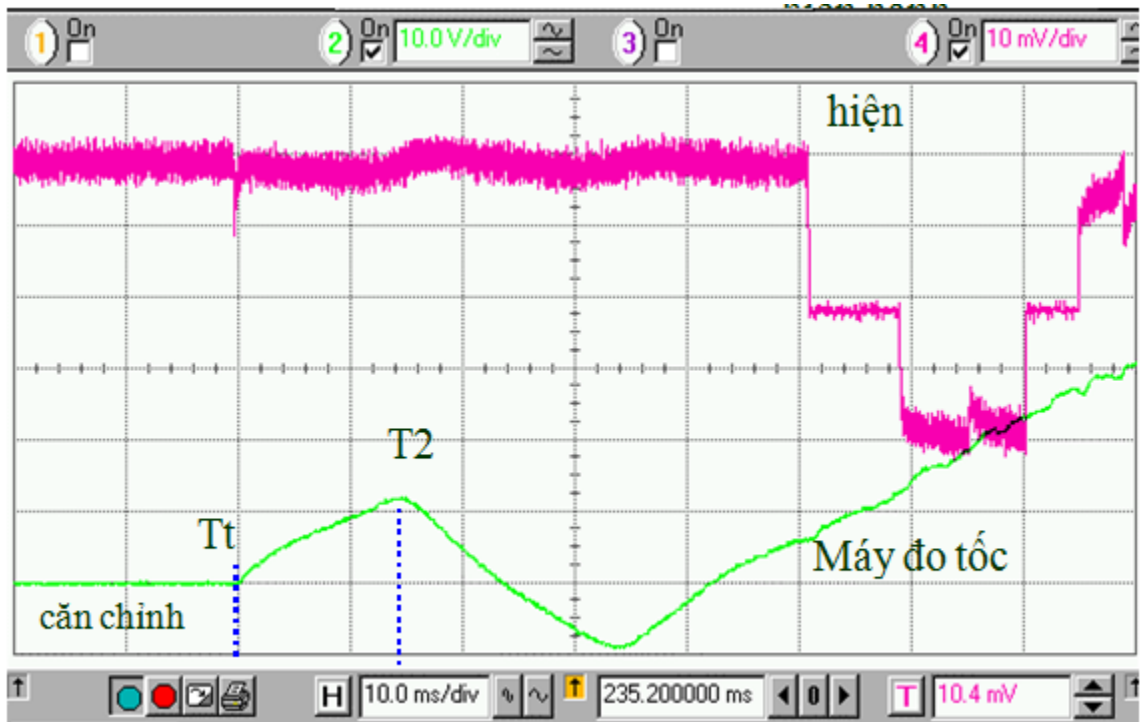
Khi rôto tiếp cận vị trí căn chỉnh, nó sẽ dao động. Đầu ra của máy đo tốc độ sẽ cho biết dao động kéo dài bao lâu. Hình.4.2 cho thấy dòng điện của pha A và dạng sóng dao động trong pha A. Để giảm dao động, một dòng tăng dần lũy tiến có thể được thiết lập để đưa rôto vào vị trí mong muốn. Áp dụng một mức dòng mạnh trực tiếp vào cuộn dây sẽ làm cho rôto di chuyển nhanh hơn và đến lượt nó sẽ làm cho nó dao động nghiêm trọng hơn xung quanh vị trí cuối cùng.

Thời gian định vị trước phải đủ dài để dao động dừng lại. Nếu không, rôto sẽ ở vị trí không xác định nếu nó vẫn dao động. Trong hình.4.2, khoảng thời gian, từ T_0 đến T_1 , là khoảng thời gian định vị trước. Dao động dừng lại trước khi kết thúc định vị trước. Tín hiệu đo tốc độ cho thấy sự dao động của rôto.

Sau khi kết thúc giai đoạn định vị trước, động cơ có thể được chuyển sang bước đầu tiên, pha A và C dẫn dòng điện. Khi bắt đầu chuyển mạch, động cơ sẽ bắt đầu quay vì mô-men tăng tốc được tạo ra. Tuy nhiên, nếu bước này kéo dài quá lâu, tốc độ động cơ trước tiên sẽ tăng và sau đó giảm xuống. Hình.4.3 cho thấy dạng sóng.



Hình 4.2: Định vị trước khi khởi động động cơ.

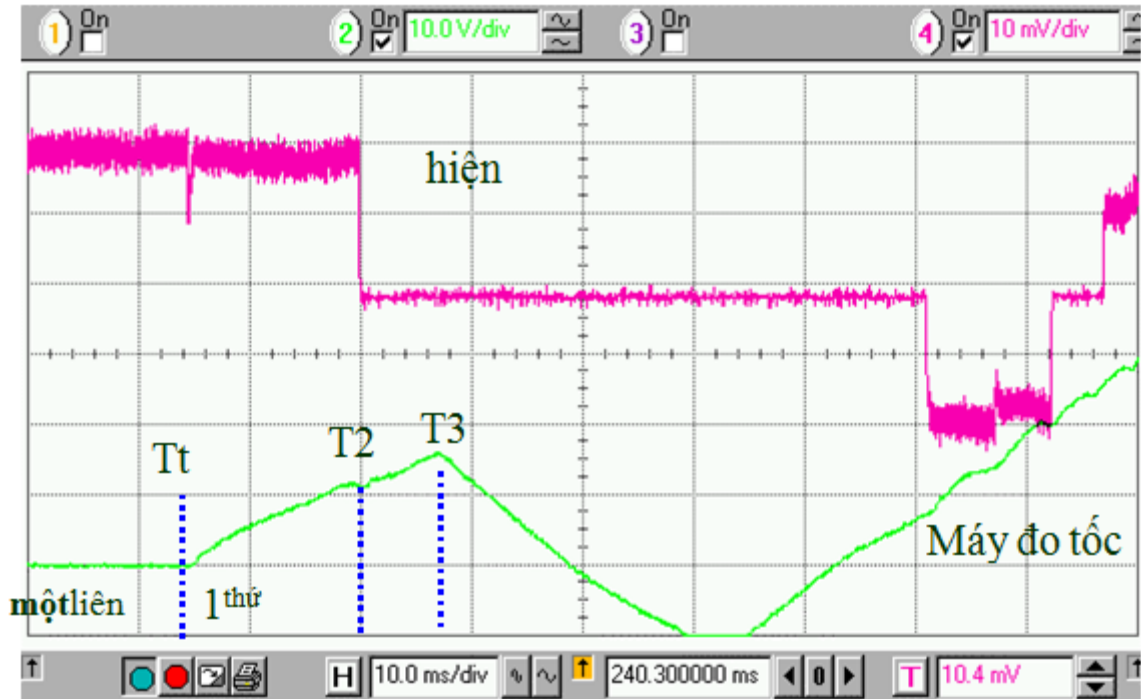


Hình.4.3: Dạng sóng hiện tại và tốc độ kế ở bước đầu tiên.

Từ dạng sóng tốc độ của động cơ tăng từ thời gian T1 cho đến thời gian T2 , vì bước này được đặt quá lâu. Vì vậy, chúng ta lên đặt thời gian cho bước này là T2 – T1.

Tại thời điểm T2, động cơ lên chuyển tiếp sang bước tiếp theo.

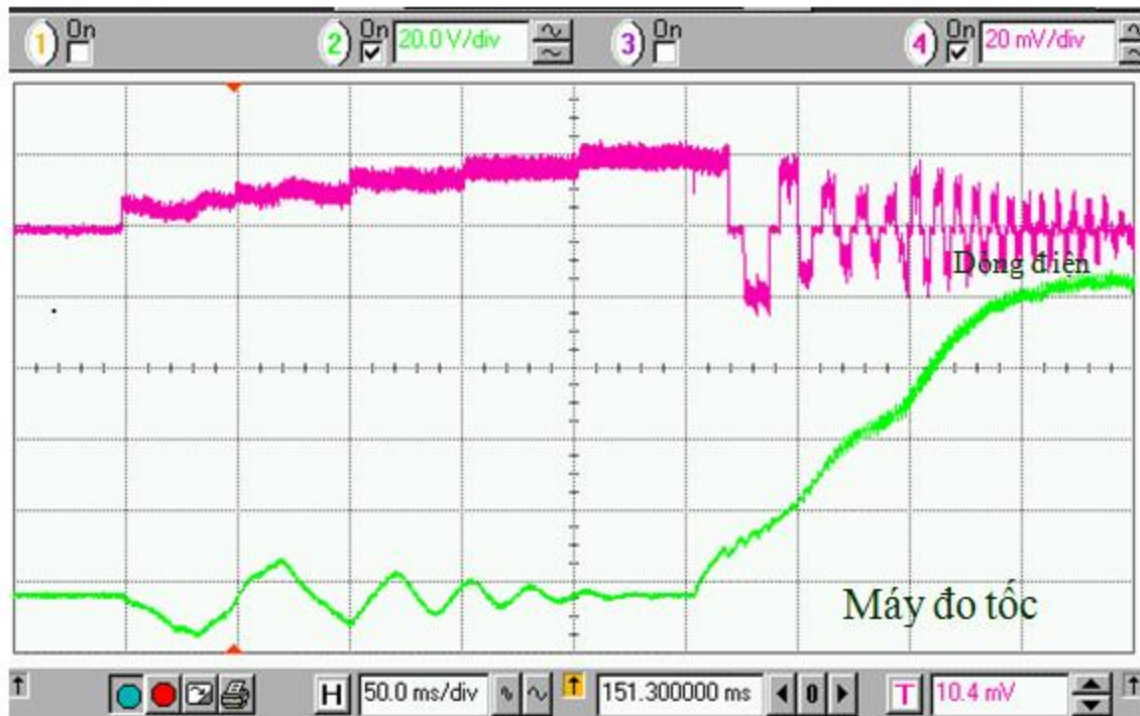
Bước thứ 2 là khi pha B và pha C được kích thích theo bảng 4.1. Tương tự, chúng tôi đặt thời gian bước rất dài trước tiên và xem đầu ra của máy đo tốc độ. Từ hình 4.4 chúng ta có thể tìm thấy thời điểm thích hợp, T3 – T2 cho bước thứ 2.



Hình 4.4: Dạng sóng hiện tại và tốc độ kế ở bước thứ 2

Tiếp tục thực hiện điều chỉnh, chúng ta có thể có thời gian thích hợp cho các bước sau cho đến khi vi điều khiển có thể phát hiện EMF và chuyển sang chế độ chuyển mạch đồng bộ. Với sự trợ giúp của máy đo tốc độ, chúng ta có thể tăng tốc tốt nhất trong quá trình khởi động.

Hình.4.5 cho thấy kết quả cuối cùng của sự khởi động.



Hình.4.5: Dạng sóng hiện tại và Máy đo tốc độ trong giai đoạn khởi động

4.4. KẾT LUẬN

Các ứng dụng của động cơ và truyền động DC không chổi than (BLDC) đã phát triển đáng kể trong những năm gần đây trong ngành công nghiệp thiết bị và công nghiệp ô tô. Truyền động không cảm biến BLDC rất thích hợp cho hệ thống nhỏ gọn, chi phí thấp, bảo trì thấp và độ tin cậy cao. Phương pháp không cảm biến thông thường dựa trên điểm trung tính của động cơ đã giới hạn ứng dụng của nó vì nó có dải tốc độ tương đối, chịu nhiều điện áp chế độ phổ biến cao và tiếng ồn chuyển đổi tần số cao. Ở đây, một kỹ thuật cảm biến EMF mới, cảm biến EMF trực tiếp, không có điểm trung tính điện áp động cơ cho các truyền động BLDC được đề xuất, phân tích và mở rộng, khắc phục những nhược điểm của sơ đồ thông thường.

Sơ đồ cảm biến EMF trực tiếp tránh điểm trung tính của động cơ làm tham chiếu cho phát hiện điểm vượt 0 của EMF. Trong sơ đồ này, PWM được áp dụng cho các công tắc phía cao của biến tần, EMF được đo trong thời gian tắt PWM trong cuộn dây tự do. Nó đã được chứng minh rằng điện áp đầu cuối của cuộn dây hở tỷ lệ thuận với EMF của pha đó.

Một số ưu điểm của sơ đồ cảm biến EMF trực tiếp được tóm tắt như sau.

- i. Sơ đồ có thể phát hiện EMF với độ phân giải rất cao, vì nó không bị suy giảm tín hiệu;
- ii. Nhiễu chuyên mạch bị loại bỏ bằng cách lấy mẫu đồng bộ;
- iii. Không có bộ lọc để gây ra sự dịch hoặc làm chậm pha;
- iv. Không có vấn đề nhiễu điện áp chung.

Một mạch lấy mẫu đồng bộ cho cảm biến EMF được phát triển và mạch được tích hợp với bộ vi điều khiển 8 bit giá rẻ tiêu chuẩn để trở thành bộ điều khiển truyền động cảm biến BLDC chuyên dụng. Bộ vi điều khiển này đã được thương mại hóa và áp dụng trong các ứng dụng thực tế như máy bơm nhiên liệu ô tô và thiết bị gia dụng.

Một phiên bản cải tiến của cảm biến EMF trực tiếp, phát hiện tín hiệu EMF trong thời gian PWM, được trình bày. Vì phương thức ban đầu phát hiện tín hiệu EMF trong thời gian tắt PWM, nên nó không thể chuyển sang chu kỳ công tác 100%. Phương pháp cải tiến sẽ vượt qua giới hạn chu kỳ công tác.

Thuật toán PWM bổ sung có thể loại bỏ điện áp bù trong tín hiệu EMF gây ra bởi sự sụt giảm điện áp của diode và cũng làm tăng hiệu quả hệ thống bằng cách giảm tổn thất dẫn. Mạch tiền điều hòa không chỉ bù điện áp bù mà còn khuếch đại tín hiệu EMF mạnh hơn. Điều này mở rộng hệ thống truyền động động cơ BLDC không cảm biến đến phạm vi tốc độ rộng hơn nhiều.

Một mạch cảm biến không đổi có thời gian thay đổi cho ứng dụng điện áp cao được trình bày để giải quyết vấn đề trễ bất ngờ gây ra bởi điện dung ký sinh trong mạch.

Hệ thống BLDC không cảm biến không phải là hệ thống tự khởi động. Phương pháp xác định cấu hình tần số truyền thống không thể phù hợp với tất cả các ứng dụng khác nhau. Một quy trình khởi động với sự trợ giúp của máy đo tốc độ được thiết lập. Quy trình điều chỉnh khởi động đã tối ưu hóa hiệu năng khởi động và nó phù hợp với tất cả các hệ thống truyền động động cơ BLDC không cảm biến.

4.5. NGHIÊN CỨU TRONG TƯƠNG LAI

Điều chỉnh khởi động được mô tả trong chương IV được thực hiện bằng

tay. Công việc trong tương lai là mong muốn để đạt được một khởi động tăng tốc tối đa tự động. Rô to cực lõi có thể được sử dụng để ước tính vị trí rô to [21].

Thiết kế máy mới cũng là một giải pháp thay thế cho hoạt động không cảm biến. Một số nghiên cứu đang diễn ra để thêm cuộn dây cảm biến đặc biệt vào máy để chỉ ra vị trí rô to [22]. Không có cảm biến kiểu Hall, do đó, hệ thống này rất mạnh.

Thiết kế của động cơ BLDC chưa được tiêu chuẩn hóa. Thiết kế tối ưu của động cơ BLDC đạt được hiệu quả cao hơn với chi phí thấp hơn là mong muốn.

Kết luận

Sau một khoảng thời gian ngắn thực hiện đề tài tốt nghiệp, cùng với nỗ lực cố gắng của bản thân và sự giúp đỡ tận tình của các thầy cô giáo, bạn bè cùng lớp, đến nay em đã hoàn thành đề tài tốt nghiệp của mình. Trong đề tài của mình em đã tìm hiểu và thực hiện được các yêu cầu sau:

- Tìm hiểu tổng quan về động cơ 1 chiều không chổi than.
- Phát hiện EMF trực tiếp cho truyền động động cơ BLDC không cảm biến.
- Mạch cải tiến phát hiện EMF trực tiếp sức phản điện động.
- Tìm hiểu phương pháp điều khiển động cơ với sơ đồ không cảm biến.

Tuy nhiên trình độ có hạn và cũng như trình độ của bản thân còn nhiều hạn chế nên đề tài thực hiện còn nhiều sơ sót.

Em rất mong nhận được sự chỉ bảo, sửa chữa đóng góp ý kiến của các thầy cô giáo, các bạn trong lớp để em có thể thực hiện và hoàn thành đề tài được tốt hơn.

Một lần nữa em xin chân thành cảm ơn sự chỉ bảo, hướng dẫn tận tình của GS.TSKH. Thân Ngọc Hoàn, các thầy cô trong khoa, các bạn bè trong lớp đã giúp đỡ em trong quá trình thực hiện đề tài.

Em xin chân thành cảm ơn!

Hải Phòng, ngày tháng năm 2020

Sinh viên thực hiện

Đào Trọng Đại

Tài liệu tham khảo

- [1] Thomas Kaporch, ***Thúc đẩy tương lai***, Sản xuất thiết bị gia dụng, tháng 9 năm 2001, tr43-46.
- [2] Joe Mattingly, ***Tiêu chuẩn hiệu quả cao hơn trên Horizon***, Sản xuất thiết bị gia dụng, tháng 10 năm 2001, được công bố trên Internet.
- [3] J.Filla, ECMs ***Di chuyển vào HVAC***, Sản xuất thiết bị gia dụng, Mar.2002, tr25-27.
- [4] J.Jancsurak, ***Chuyển động thành DSP***, Sản xuất thiết bị gia dụng, tháng 9 năm 2000, tr57-60.
- [5] TJE Miller, ***Nam châm không chổi than và ổ đĩa động cơ bất đắc dĩ***, không dây, Oxford Oxford,1989.
- [6] K.Rajashekara, A.Kawamura, et al, ***Cảm biến điều khiển cảm biến của trình điều khiển động cơ AC***, báo chí IEEE IEEE, 1996.
- [7] Bằng sáng chế số 46454566 của Hoa Kỳ, ***Hệ thống điều khiển***, phương pháp vận hành một động cơ giao hoán điện tử và thiết bị rửa tiền, được cấp cho GE.
- [8] K.Uzuka, H.Uzhashi, et al., ***Điều khiển máy vi tính cho động cơ không chổi than cảm biến***, cảm ứng IEEE Trans. Ứng dụng công nghiệp, tập 21, tháng 5-6 / 1985.
- [9]. R.Becerra, T.Jahns, và M.Ehsani, ***Ổ đĩa bốn không cảm biến Quadrant Quadless không cảm biến***, một cuộc hội thảo và triển lãm điện tử ứng dụng của IEEE IEEE 1991, tr 202-209
- [10]. J.Moreira, ***Cảm biến gián tiếp cho vị trí thông lượng cánh quạt của động cơ AC nam châm vĩnh cửu hoạt động trong phạm vi tốc độ rộng***, Hội nghị thường niên của Hiệp hội ứng dụng công nghiệp IEEE IEEE 1994, pp401-407.
- [11]. S.Ogasawara và H.Akagi, ***Một cách tiếp cận Vị trí ổ đĩa cảm biến***

cho động cơ không chổi than, Động cơ IEEE Trans. trên các ứng dụng công nghiệp, tập 27, số 5, tháng 9 / tháng 10. 1991.

[12] D.Peter và J.Hath, *IC cung cấp điều khiển cho động cơ DC không cảm biến*, tạp chí ED EDN, tr. 85-94, tháng 4 năm 1993.

[13]. Bảng dữ liệu của ML4425 từ Fairchild S bán dẫn. [14]. Bảng dữ liệu của A8902CLBA từ Allegro Micro Systems.

[15] J.Shao, D.Nolan và T.Hopkins, *Hội A Phát hiện EMF trực tiếp trở lại cho ổ đĩa động cơ DC không chổi than (BLDC)*, Hội nghị điện tử điện áp dụng (APEC 2002), tr33-38.

[16] J.Johnson, *Đánh giá về các phương pháp không cảm biến cho DC không chổi than*, IAS IAS, tr143-150, 1999.

[17] Bảng dữ liệu ST72141 từ STMicroelectronics

[18] Bằng sáng chế Hoa Kỳ 5859520, *Điều khiển của một động cơ không chổi than*, được cấp cho STMicroelectronics.

[19] Đơn xin cấp bằng sáng chế của Hoa Kỳ, *Mạch Mạch để Phát hiện EMF trở lại được cải tiến*, STMicroelectronics.

[20] R.Krishnan và R. Ghosh, *Thuật toán khởi động và hiệu suất của hệ thống truyền động không chổi than PM DC không có cảm biến vị trí*, Hội IEEE PSEC 1989, tr.815-821.

[21] N.Mastui, *Ổ đĩa cảm biến không chổi than PM không cảm biến PM, cảm biến IEEE Trans.* về Điện tử công nghiệp, Tập. 43 tháng 4 năm 1996.

[22] DEHesmondhalgh, D. Tipping, và M <rani, *Hiệu suất và Thiết kế của một cảm biến điện từ cho Động cơ DC không chổi than*, IE IEE Proc. Vol.137, tháng 5 năm 1990.

[23] J.Shao, D.Nolan, T.Hopkins, *Hội Một ổ đĩa động cơ cảm biến không chổi than (BLDC) dựa trên vi điều khiển Novel cho máy bơm nhiên liệu ô tô*, Hội nghị thường niên ứng dụng công nghiệp IAS'2002.

[24] J.Shao, D.Nolan, T.Hopkins, *Hội A Phát hiện EMF trực tiếp trở lại cho ổ đĩa cảm biến không chổi than (BLDC) không cảm biến và điều*

chỉnh khởi động, Hội nghị công nghệ điện tử điện tử (PCIM trước đây) 2002.

[25] ***Bảng dữ liệu sơ bộ của ST7MC từ STMicroelectronics.***