

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG CỦA BỘ BIẾN ĐỔI MERS TÁI SỬ DỤNG NĂNG LƯỢNG TỪ TRƯỜNG

RESEARCH ON THE APPLICATION OF MERS CONVERTER RENEWING MAGNETIC ENERGY

Mai Văn Duy¹, Tiêu Xuân Hoàng²¹Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp, ²Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 07/3/2025, ngày chấp nhận đăng: 20/04/2025. Phản biện: TS. Phạm Văn Cường

Tóm tắt:

Bài báo trình bày nghiên cứu ứng dụng bộ biến đổi MERS (Magnetic Energy Recovery Switch) nhằm nâng cao hiệu suất vận hành và tiết kiệm năng lượng cho động cơ không đồng bộ xoay chiều ba pha. Bộ MERS cho phép thu hồi và tái sử dụng năng lượng từ trường dư trong quá trình làm việc của động cơ, từ đó cải thiện đáng kể hệ số công suất và hiệu suất tổng thể của hệ thống. Kết quả mô phỏng cho thấy, khi tích hợp bộ MERS, công suất phản kháng gần như được triệt tiêu, hệ số công suất ổn định ở mức $\cos\varphi = 1$, và tốc độ động cơ duy trì gần với tốc độ định mức. Những kết quả này chứng minh tiềm năng ứng dụng thực tiễn của MERS trong các hệ thống truyền động công nghiệp, hướng đến mục tiêu tối ưu hóa năng lượng và phát triển bền vững.

Từ khóa: Tiết kiệm năng lượng, MERS, Magnetic Energy Recovery Switch, động cơ không đồng bộ xoay chiều ba pha.

Abstract:

In this paper, the application of the Magnetic Energy Recovery Switch (MERS) is investigated to improve energy efficiency and power factor in three-phase induction motors. By recovering and reusing the residual magnetic energy during motor operation, overall system efficiency can be enhanced. Through simulation, it is demonstrated that when the MERS is employed, reactive power is effectively eliminated, the power factor is stabilized at $\cos\varphi = 1$, and the motor speed is maintained close to its rated value. These results highlight the potential of the MERS to be applied in industrial drive systems, contributing to energy savings and sustainable development.

Keywords: Energy saving, MERS, Magnetic Energy Recovery Switch, three-phase asynchronous AC motor.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Năm 2005, giáo sư Shimada thuộc Viện Nghiên cứu Công nghệ Tokyo đăng ký bản quyền sở hữu trí tuệ bộ biến đổi năng lượng từ trường MERS (Bộ biến đổi tái sử dụng năng lượng từ trường), một loại thiết bị bán dẫn công suất mới với nhiều tính năng nổi bật, có nhiều ứng dụng trong công nghiệp và dân dụng [1]. MERS được xem như là một

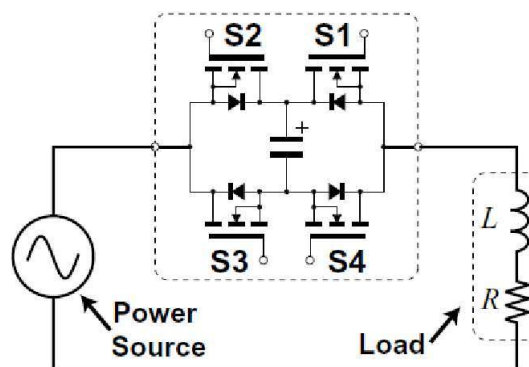
bộ biến đổi tiềm năng với nhiều tính năng nổi bật như cấu trúc điều khiển đơn giản, có thể điều khiển dòng điện theo hai chiều, tổn hao đóng cắt nhỏ, hứa hẹn là một thiết bị có thể ứng dụng trong nhiều lĩnh vực như tiết kiệm năng lượng, truyền tải điện năng linh hoạt (FACTS) như ứng dụng cho điều khiển đèn huỳnh quang, ứng dụng cho máy phát điện sức gió [4], ứng dụng trong động cơ không đồng bộ.

Ngày nay, đa phần các động cơ không đồng bộ đều làm việc dựa trên điều khiển của biến tần. Việc này dẫn đến tổn kém nếu động cơ như quạt, máy bơm chỉ cần giữ nguyên tốc độ cũng như không yêu cầu độ chính xác trong quá trình làm việc. Chính vì vậy mà sử dụng bộ MERS để điều khiển động cơ loại này đem lại hiệu quả rất cao trong việc giảm dòng khởi động trên stator, cũng như nâng cao hệ số công suất [6]. Bài báo trình bày những kết quả nghiên cứu bài toán dùng MERS cho động cơ ba pha.

Cấu trúc bộ MERS như nêu trên Hình 1, gồm 4 van bán dẫn điều khiển hoàn toàn, mỗi van được mắc song song ngược với một diode và một tụ điện. Các van bán dẫn có thể sử dụng là IGBT hoặc MOSFET, được bố trí theo kiểu cầu một pha, tụ điện một chiều. Cấu trúc bộ MERS tương tự với bộ biến đổi cầu H một pha, nhưng cách điều khiển khác và dung tích của tụ điện cũng nhỏ hơn vài lần. Bằng cách gắn nối tiếp MERS giữa tải điện cảm và nguồn điện xoay chiều, công suất phản kháng (hay năng lượng từ trường) có thể được sử dụng lại cho tải [2].

Nguyên tắc hoạt động của bộ MERS dựa trên việc điều khiển dòng điện chảy qua nó. Do vậy mà pha của dòng điện cũng như độ lớn của điện áp đều có thể điều khiển được [3].

Chính vì vậy, sử dụng bộ biến đổi MERS để điều khiển động cơ không đồng bộ đem lại hiệu quả rất cao trong việc giảm dòng khởi động trên Stator cũng như nâng cao hệ số công suất [7].



Hình 1. Sơ đồ bộ biến đổi MERS

2. NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG CỦA BỘ BIẾN ĐỔI MERS

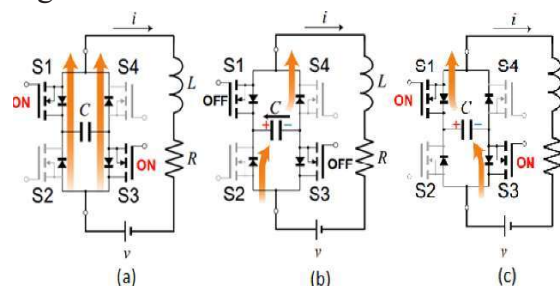
2.1. Các trạng thái hoạt động của bộ biến đổi MERS

Khi làm việc, các van bán dẫn của MERS đóng cắt theo từng cặp một lần trong mỗi chu kỳ của nguồn điện xoay chiều. Cặp van S1-S3 luôn đóng cắt ngược với cặp S2-S4. Có ba trạng thái hoạt động khi bộ MERS hoạt động:

Trạng thái ngắn mạch tụ (Hình 2a): Xảy ra khi tụ đã xả hết năng lượng ra tải, dòng điện chạy song song qua hai bán dẫn đang mở và qua hai diode song song với hai van bán dẫn đang khóa.

Trạng thái nạp điện cho tụ (Hình 2b): Dòng điện đi qua 2 diode mắc song song ngược.

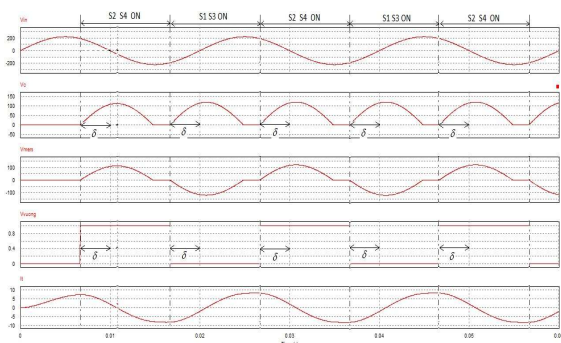
Trạng thái tụ xả năng lượng ra tải (Hình 2c): Tụ phóng điện thông qua cặp van bán dẫn đang mở.



Hình 2. Các trạng thái hoạt động của bộ biến đổi MERS

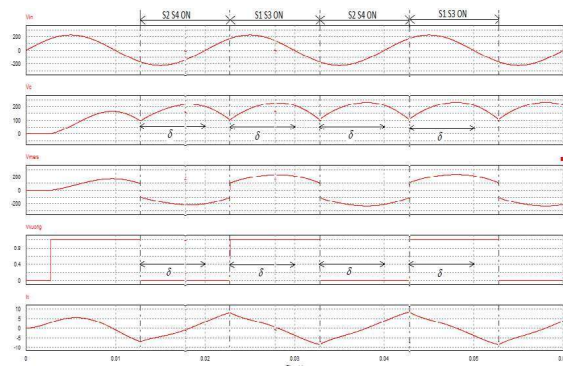
2.2. Các chế độ hoạt động của bộ biến đổi MERS

Chế độ không liên tục: Chế độ không liên tục xảy ra khi tụ điện phóng hết điện tích trên nó trước khi giá trị dòng điện đạt cực đại trên mỗi nửa chu kì đóng cắt. Ở chế độ này, MERS có đầy đủ cả 3 trạng thái hoạt động: trạng thái ngắn mạch, trạng thái nạp tụ và trạng thái xả tụ trong mỗi $\frac{1}{2}$ chu kì đóng cắt như hình 3.



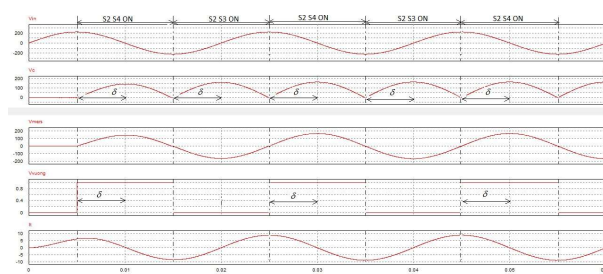
Hình 3. Đồ thị dòng điện và điện áp trong chế độ không liên tục

Chế độ liên tục: MERS hoạt động trong chế độ liên tục khi điện tích của tụ chưa về không, hay nói cách khác là chưa được xả hết trên mỗi nửa chu kì đóng - cắt. Do vậy mà trong chế độ liên tục MERS chỉ tồn tại hai trạng thái hoạt động: trạng thái nạp tụ và trạng thái xả tụ trong mỗi $\frac{1}{2}$ chu kì đóng cắt như trong Hình 4.



Hình 4. Đồ thị dòng điện và điện áp trong chế độ liên tục

Chế độ cân bằng: là chế độ biên giữa chế độ gián đoạn và liên tục, tức là khi điện áp trên tụ vừa được xả hết thì quá trình nạp điện cho tụ bắt đầu. Lúc này, điện áp trên MERS có dạng sin và dòng điện không bị biến dạng. Khi hoạt động ở chế độ này, cũng như chế độ liên tục, MERS tồn tại hai trạng thái hoạt động là nạp điện và xả điện. Đồ thị dòng điện và điện áp trong chế độ cân bằng được mô tả trên Hình 5.



Hình 5. Đồ thị dòng điện và điện áp trong chế độ cân bằng

3. MÔ HÌNH HÓA VÀ TÍNH TOÁN MẠCH LỰC BỘ BIẾN ĐỔI MERS

3.1. Mô hình hóa hệ thống

Để dòng điện sớm pha hơn so với điện áp, khi đó góc lệch pha giữa dòng và áp sẽ được giảm và do đó, tăng hệ số công suất. Mục tiêu của mô hình hóa bộ biến đổi là để tìm ra hàm truyền đạt thể hiện mối liên hệ giữa đầu vào là góc mở van δ với đầu ra là điện áp trên tải [8].

Hàm truyền của đối tượng:

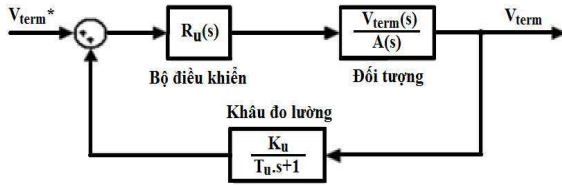
$$G(s) = \frac{V_{\text{term}}(s)}{A(s)} = \frac{V_m L(1 + 2RI_m)}{\omega RI_m \left(1 + \frac{2L}{R}s\right)} \quad (1)$$

Đặt $\beta = \frac{V_m L(1 + 2RI_m)}{\omega RI_m}$ là hệ số tỉ lệ, $T = \frac{2L}{R}$ là

hằng số thời gian của bộ biến đổi. Khi đó hàm

truyền đạt của bộ biến đổi với đầu vào là góc mở van, đầu ra là điện áp tải có dạng như sau:

$$G(s) = \frac{\beta}{(1+Ts)} \quad (2)$$



Hình 6. Vòng điều khiển MERS trong chế độ liên tục

Áp dụng tiêu chuẩn tối ưu đối xứng ta có hàm truyền tối ưu hệ kín có dạng:

$$G_{kín}(s) = \frac{1}{1 + 2T_\delta s + 2T_\delta^2 s^2} \quad (3)$$

Bộ điều khiển được tính theo công thức:

$$R(s) = \frac{1}{\frac{\beta K_u}{(1+Ts)(1+T_u s)} \left(1 - \frac{1}{1 + 2T_\delta s + 2T_\delta^2 s^2}\right)} \quad (4)$$

Biến đổi biểu thức (3) ta được:

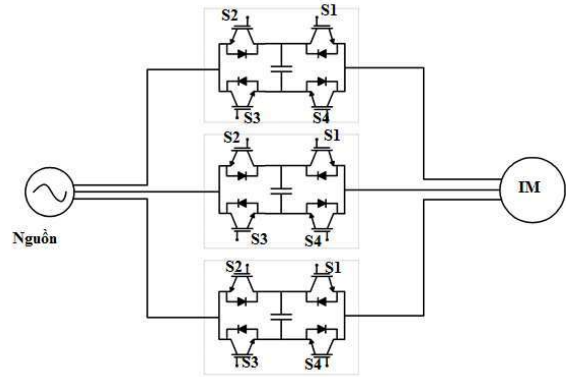
$$R(s) = \frac{(1+Ts)(1+T_u s)}{2T_\delta s \beta K_u (1+T_\delta s)} \quad (5)$$

Đặt $T_\delta = T_u$ ta có:

$$\begin{aligned} R(s) &= \frac{(1+T_u s)(1+Ts)}{2T_u s \beta K_u (1+T_u s)} = \frac{1+Ts}{2T_u s \beta_2 K_u} \\ &= \frac{T}{2T_u \beta_2 K_u} + \frac{1}{2T_u \beta_2 K_u s} = k_p + \frac{k_i}{s} \end{aligned} \quad (6)$$

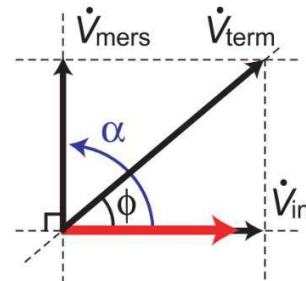
3.2. Tính toán mạch lực

Cấu trúc mạch điện Nguồn–MERS–Động cơ như Hình 7.



Hình 7. Cấu trúc mạch điện nguồn – MERS – động cơ

Trong phần thiết kế mạch điện điều khiển động cơ không đồng bộ dùng MERS, ta chỉ xét mạch làm việc ở chế độ cân bằng. Có thể biến đổi sơ đồ mạch điện Nguồn–MERS–Động cơ thành sơ đồ Nguồn–MERS–Tải trở cảm như 1. Từ đó, ta có được sơ đồ vector điện áp như Hình 8.



Hình 8. Sơ đồ vector điện áp

Khi đó, điện áp V_{MERS} và điện áp vào V_{in} lệch pha nhau 90° . Từ đồ thị vec-tơ ta cũng nhận thấy rằng góc lệch pha V_{in} và dòng điện I cùng pha, dẫn đến công suất của nguồn đạt hiệu quả cao nhất là $\cos\phi=1$.

Chế độ cân bằng là biên giới giữa chế độ làm việc gián đoạn và chế độ liên tục của mạch điện. Hoạt động của bộ MERS trong chế độ cân bằng làm giảm các thành phần sóng hài của điện áp và dòng điện tải.

Điều kiện để đạt được chế độ cân bằng khi điện kháng của bộ MERS bằng điện kháng của tụ điện theo công thức (7).

$$X_{Mers} = X_c = \frac{1}{C} \quad (7)$$

Tụ điện tối ưu khi mà góc lệch pha giữa điện áp nguồn V_{in} và điện áp MERS (V_{Mers}), α chính bằng góc mở van δ trong chế độ liên tục. Và tại chế độ này $\alpha = 90^\circ$. Như vậy, tụ điện C được xác định theo công thức (8).

$$C = \frac{1}{\omega^2 L} \quad (8)$$

Trong đó: $\omega = 2\pi f$

3.2.1. Tính toán chọn tụ điện

Động cơ có thông số: $U_{dm}=400V$, $P=1,5 \text{ kW}$, $\cos\phi=0.8$. Cuộn dây stator nối sao. Ta có công thức (9):

$$\begin{aligned} I_{dmday} &= \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_{dmday} \cdot \cos\phi} \\ &= \frac{1500}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.8} = 2.7(A) \end{aligned} \quad (9)$$

Vì cuộn dây stator nối sao nên $I_{dmday} = I_{dmpha}$, ta có Z_{dm} theo công thức (10), X_{tai} theo công thức (11), R_{tai} theo công thức (12):

$$Z_{dm} = \frac{U_{pha}}{I_{pha}} = \frac{220}{2.7} = 81.5(\Omega) \quad (10)$$

$$\begin{aligned} X_{tai} &= Z_{dm} \cdot \sin\phi = \\ &= 81.5 \times 0.6 = 48.9(\Omega) \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} R_{tai} &= Z_{dm} \cdot \cos\phi = \\ &= 81.5 \times 0.8 = 65.2(\Omega) \end{aligned} \quad (12)$$

Giá trị tụ C được chọn sao cho $X_L = X_C$. Công thức (13) tính giá trị tụ C và công thức (14) tính giá trị cuộn cảm L :

$$\begin{aligned} C &= \frac{1}{X_C} = \frac{1}{2\pi f \cdot X_C} = \\ &= \frac{1}{2\pi \times 50 \times 48.9} = 65.1(\mu F) \end{aligned} \quad (13)$$

$$L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{48.9}{2\pi \times 50} = 0.156(H) \quad (14)$$

3.2.2. Tính toán chọn van

Từ các thông số trên tính toán ta có giá trị điện áp và dòng điện trong mạch theo tham số đầu vào, dòng điện tải được xác định theo công thức (15).

$$I_{tai} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} \quad (15)$$

với chế độ cân bằng thì $X_L = X_{Mers}$.

Tuy nhiên, do tải ở đây là động cơ điện ba pha không đồng bộ nên khi làm việc có những thay đổi nhất định tùy thuộc vào chế độ làm việc của động cơ. Vì vậy, ta chọn van tính toán theo tham số tải như công thức (16).

$$I_{dm} = \frac{P_{dm}}{\eta U_{dm}} = \frac{1.5kW}{0.8 \times 400} = 4.68A \quad (16)$$

Vì vậy, van phải chọn theo hai chỉ tiêu chính là chỉ tiêu dòng điện theo công thức (17) và chỉ tiêu điện áp theo công thức (18).

$$I_{tban} = 3 \times I_{dm} = 3 \times 4.68 = 14.06 A \quad (17)$$

với chỉ tiêu dòng điện: Động cơ điện ở các chế độ làm việc mà dòng điện làm việc lớn hơn dòng điện định mức, do vậy, hệ số dự trữ của dòng điện có thể chọn là 3.

$$U_{van} = 1.3 \times U_{dm} = 1.3 \times 400 = 520V \quad (18)$$

với chỉ tiêu điện áp: Động cơ làm việc ở các chế độ làm việc mà điện áp có thể lớn hơn định mức. Do đó, hệ số dự trữ điện áp có thể chọn là 1.3.

Như vậy, với hai tiêu chí này ta có thể chọn van IGBT: HGTP20N60B3[12] có các thông số như bảng 1.

Bảng 1. Bảng tham số van IGBT HGTP20N60B3

Đại lượng	Giá trị
V_{ces}	600V
$I_{c \max}$	20 A
$P_{d \max}$	165W
$V_{ce(sat)}$	1.8V
I_{ces}	250 μA

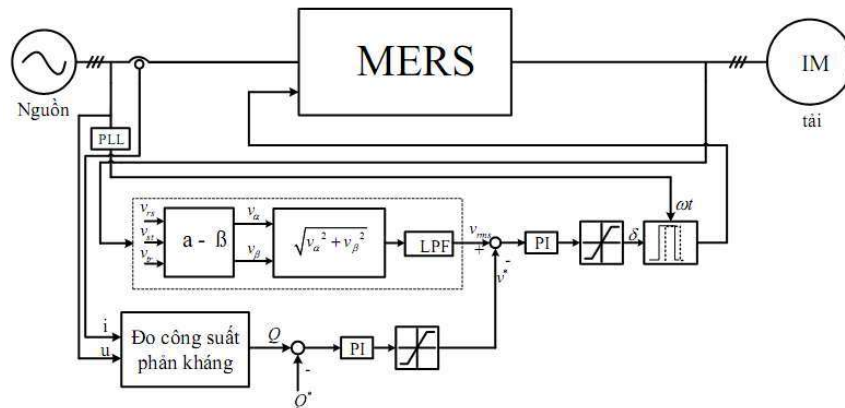
4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

4.1. Các mạch vòng điều khiển

Với các động cơ không cần phải điều khiển vận tốc thay đổi như quạt, bơm nước thì việc sử dụng MERS sẽ có rất nhiều ưu điểm như: chi phí giá thành thấp hơn khi phải sử dụng biến tần, thuật toán dễ điều khiển hơn so với có bộ FACTs, vùng điều khiển điện áp dòng điện lớn hơn nhiều, tổn thất điện áp ít hơn do tần số đóng, ngắt mạch của của bộ MERS bằng tần số cơ bản của nguồn điện cung cấp (trong bài báo này, điện áp nguồn có tần số $f = 50Hz$) [11].

Trong mạch điều khiển MERS ở hình 9, ta sử dụng hai vòng điều khiển [5]:

Vòng điều khiển điện áp: Giúp giảm dòng điện khởi động bằng cách tăng dần điện áp MERS theo yêu cầu công nghệ khởi động, tránh hiện tượng quá tải dòng và áp. Điện áp của tải có thể lớn hoặc nhỏ hơn điện áp nguồn, chính vì thế, theo yêu cầu cụ thể nào đó, hoặc điện áp nguồn bị sụt áp do yếu tố nào đó, điện áp tải vẫn có thể đạt giá trị định mức để đạt hiệu quả công suất như mong đợi.



Hình 9. Hai mạch vòng điều khiển MERS

Bảng 2. Bảng số liệu các dữ kiện khi mô phỏng

Hạng mục	Thông số kỹ thuật				
Nguồn cung cấp	Điện áp: ba pha 380/220V		Tần số: 50Hz		
Động cơ không đồng bộ xoay chiều ba pha	P	U_{dm}	$\cos\varphi$	n_{dm}	f
	1.5kW	400V	0.8	1400V/ph	50Hz
	L_s	R_s	L_r	R_r	L_m
	0.005839	1.405	0.005839	1.395	0.1722
Các thiết bị trên MERS	Tụ C	Van IGBT			
	65.1 μ F	V_{ces}	$I_{c\ max}$	$P_{d\ max}$	$V_{ce\ (sat)}$
		600V	20A	165W	1.8V
Tham số các bộ điều khiển đã tính toán	Mạch vòng điều khiển điện áp		Mạch vòng điều khiển công suất phản kháng		
	K_p	K_i	K_p		K_i
	8.36	1671.4	0.35		7.2

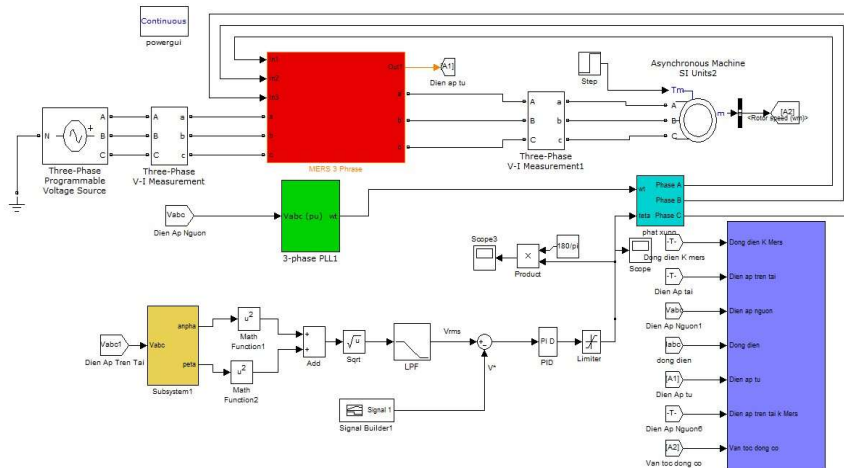
Vòng điều khiển công suất phản kháng: Bên cạnh điện áp, ta bổ sung mạch vòng điều khiển công suất phản kháng của nguồn Q, với tín hiệu công suất phản kháng đặt của nguồn là $Q^* = 0$, với tín hiệu vào là $Q - Q^*$ đưa giá trị đặt vào vòng điều chỉnh điện áp sẽ khiến vừa điều chỉnh được điện áp đồng thời vừa can thiệp điều khiển hệ số công suất của nguồn cung cấp [9].

4.2. Mô phỏng Simulink và kết quả

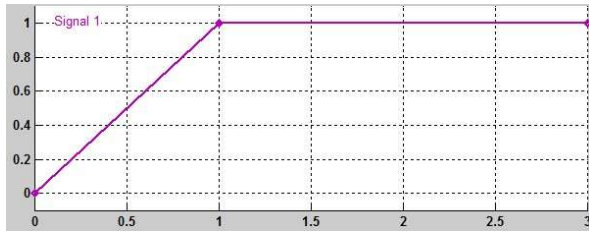
4.2.1. Mô hình mạch với một mạch vòng điện áp

Điện áp trên tải được đo về và tính toán ra V_{rms} , điện áp này được so sánh với giá trị đặt được thiết kế bằng khối Signal Builder. Bộ điều khiển PI được sử dụng để triệt tiêu sai lệch và tạo góc điều khiển cho khối phát xung. Khối phát xung nhận nhiệm vụ dịch pha và phát xung điều khiển cho 12 IGBT như Hình 10.

Mạch mô phỏng trên Hình 10 được xây dựng dựa trên cấu hình điều khiển Hình 9 và các thông số mạch lực như trong bảng 2.



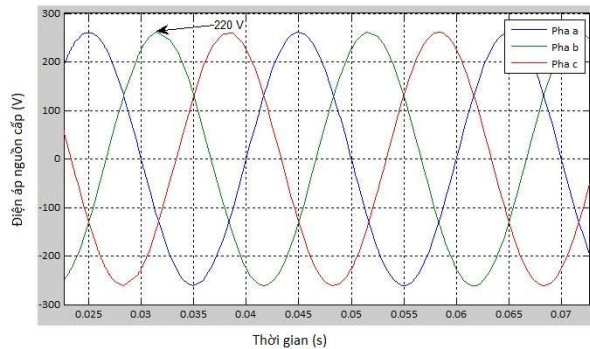
Hình 10. Sơ đồ cấu trúc mô phỏng mạch vòng điện áp – Matlab Simulink



Hình 11. Đồ thị điện áp đặt cho mạch vòng điện áp

Điện áp đặt có dạng như Hình 11 là do với mạch vòng điện áp, bộ MERS có tác dụng như một bộ khởi động mềm. Do đó, điện áp được tăng từ từ tới giá trị định mức sau 1s chứ không ngay lập tức đặt điện áp làm việc lên đầu trục động cơ.

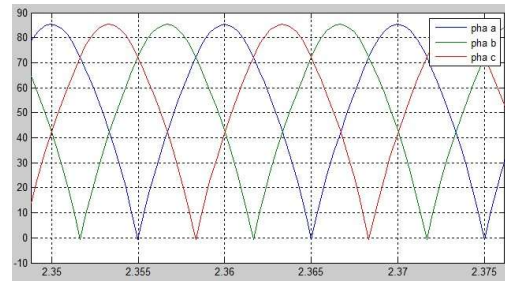
Đồ thị Hình 12 mô tả điện áp 3 pha của lưới. Điện áp này hoàn toàn là hình sin và lệch pha nhau 120° , biên độ điện áp pha là 220V.



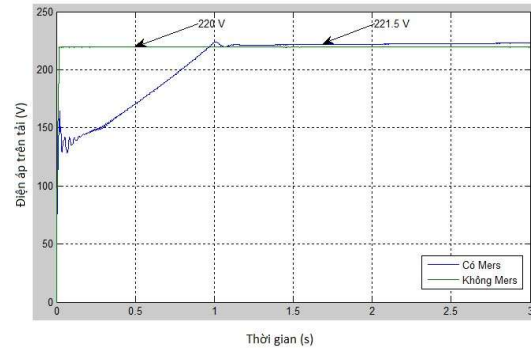
Hình 12. Đồ thị điện áp 3 pha nguồn

Từ đây có thể thấy rõ bộ MERS đã khắc phục được điện áp bị méo do tải điện cảm mà cụ thể ở đây là động cơ không đồng bộ 3 pha gây ra.

Đồ thị Hình 13 mô tả điện áp 3 pha trên tụ. Điện áp trên tụ cân bằng và lệch nhau 120° , ngoài ra vì MERS được điều khiển để chạy ở chế độ cân bằng nên điện áp trên tụ về 0 sau mỗi nửa chu kỳ điện.



Hình 13. Đồ thị điện áp trên tụ



Hình 14. Đồ thị điện áp tải với mạch vòng điện áp

Đồ thị Hình 14 cho thấy điện áp 3 pha hiệu dụng trên tải. Điện áp này được tính theo công thức (19):

$$V_{tRMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t-T}^T V_t(t)^2 dt} \quad (19)$$

Với: T là chu kỳ lưới điện: $T = 0.02s$.

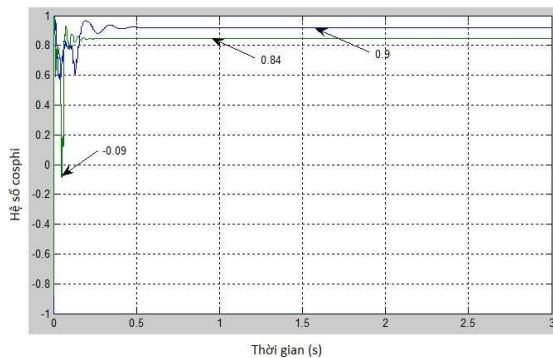
V_t là điện áp trên tải.

Điện áp trên tải được điều khiển khi có MERS và ổn định tại giá trị điện áp pha là 221.5V 220V.

Với đồ thị Hình 14, MERS hoàn toàn có tác dụng tương đương bộ khởi động mềm. Điện áp trên tải tăng dần đến giá trị định mức sau 1s chứ không tăng đột ngột như khi không có MERS.

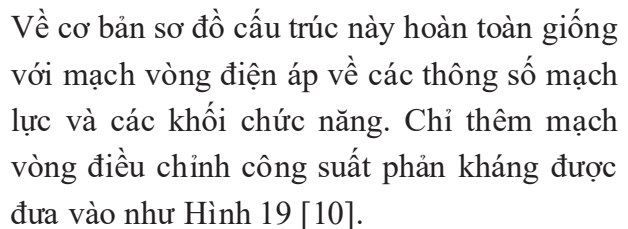
Một trong những vấn đề cần chú ý khi khởi động động cơ là dòng khởi động. Dòng khởi động quá lớn sẽ ảnh hưởng tới tuổi thọ cũng như hoạt động của động cơ.

Khi có MERS công suất phản kháng đã được giảm xuống đáng kể, xuống còn 183,5 Var. Tuy nhiên công suất phản kháng vẫn chưa được triệt tiêu, điều đó có nghĩa động cơ không sử dụng hết công suất phản kháng được cấp cho, hay nói cách khác lượng công suất phản kháng cấp cho động cơ là thừa và vẫn còn tồn tại trên lưới điện. Điều này sẽ được khắc phục bằng mạch vòng công suất phản kháng sẽ trình bày ở dưới.

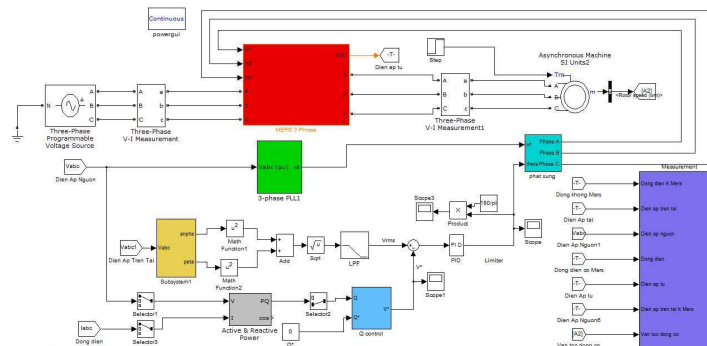


Hình 17. Đồ thị hệ số công suất với mạch vòng điện áp

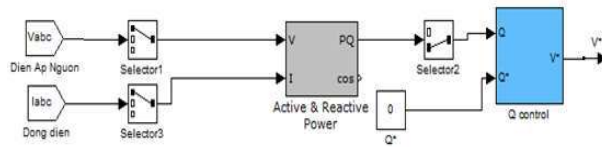
4.2.2. Mô phỏng kết hợp mạch vòng công suất phản kháng



Hình 16. Đồ thị công suất phản kháng với mạch vòng điện áp



Hình 18. Sơ đồ cấu trúc mô phỏng kết hợp mạch vòng công suất phản kháng

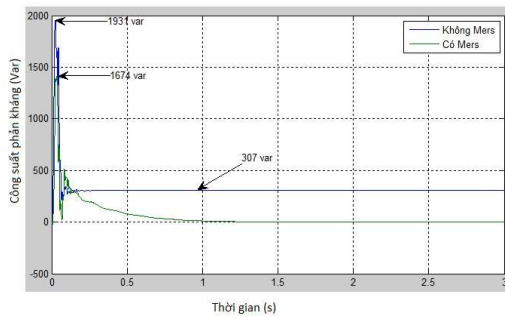


Hình 19. Mạch vòng điều chỉnh công suất phản kháng

P, Q được tính toán theo công thức:

$$P = \frac{1}{T} \int_{t-T}^t V(\omega t) \times I(\omega t) dt$$

$$Q = \frac{1}{T} \int_{t-T}^t V(\omega t) \times I(\omega t - \frac{\pi}{2}) dt$$
(20)



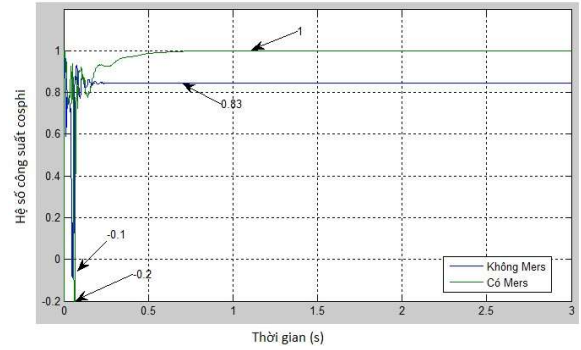
Hình 20. Đồ thị công suất phản kháng khi kết hợp cả mạch vòng công suất phản kháng

Hình 20 biểu diễn công suất phản kháng khi có và không có MERS. Có thể thấy, công suất phản kháng đã được cải thiện rõ rệt so với chỉ một mạch vòng điện áp, và càng rõ rệt hơn khi động cơ hoạt động mà không có bộ MERS.

Khi không có MERS, công suất phản kháng đạt đỉnh 1931 Var và ổn định ở 307 Var. Tuy nhiên, khi điều khiển kết hợp với mạch vòng công suất phản kháng, công suất phản kháng đạt đỉnh 1674 Var và được triệt tiêu về 0 sau khoảng 1s.

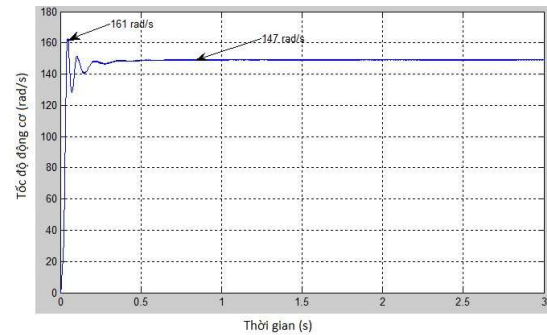
Hình 21 biểu diễn hệ số công suất khi có và không có MERS. Khi có thêm mạch vòng điều khiển công suất phản kháng, cũng như công suất phản kháng, hệ số cosφ đã cải thiện

rõ rệt. Bộ MERS phát công suất phản kháng vào lưới nhưng được vòng điều khiển đưa về giá trị cân bằng.



Hình 21. Đồ thị hệ số công suất khi kết hợp cả mạch vòng công suất phản kháng

Hệ số công suất dao động và ổn định tại cosφ = 1. Điều đó có nghĩa dòng điện và điện áp đồng pha, điều này dẫn đến giảm tổn hao trên lưới điện và tăng hiệu suất sử dụng cũng như tuổi thọ của động cơ.



Hình 22. Đồ thị vận tốc trên trục động cơ

Hình 22 cho thấy tốc độ trên đầu trục động cơ. Tốc độ động cơ tăng dần và đạt 147 rad/s xấp xỉ 1400 vòng/phút (bằng với tốc độ định mức của động cơ).

Tốc độ động cơ dao động với độ quá điều chỉnh khoảng 9% (đỉnh là 161 rad/s) và xác lập sau khoảng 0.4s. Điều này hoàn toàn có thể chấp nhận được với tải là động cơ.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã khẳng định tính hiệu quả của bộ biến đổi MERS trong việc nâng cao hiệu suất và tiết kiệm năng lượng cho động cơ không đồng bộ ba pha. Nhờ khả năng tái sử dụng năng lượng từ trường, MERS giúp triệt tiêu công suất phản kháng, nâng hệ số công suất lên mức tối ưu ($\cos\varphi = 1$), đồng thời duy trì tốc độ động cơ gần với giá trị định mức.

Kết quả mô phỏng cho thấy hệ thống hoạt động ổn định, hiệu quả năng lượng cải thiện

rõ rệt, mở ra hướng ứng dụng rộng rãi trong công nghiệp. Tuy nhiên, vẫn còn một số vấn đề cần tiếp tục nghiên cứu như tối ưu thiết kế mạch điều khiển MERS, đánh giá ảnh hưởng trong điều kiện tải thay đổi và kiểm chứng thực nghiệm. Những hướng nghiên cứu này sẽ là cơ sở để triển khai MERS trong thực tế, góp phần phát triển các giải pháp điều khiển động cơ thông minh và tiết kiệm năng lượng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. www.nr.titech.ac.jp/~rshimada/
- [2]. Ahmed M., Singh B., "Reactive power compensation techniques in induction motor drives: A review", Electric Power Systems Research, 2022.
- [3]. Kim S., Park J., "Energy-efficient control of induction motors using magnetic energy recovery techniques", Energy Reports, 2020.
- [4]. Tran Q. H., Nguyen V. D., "Power factor improvement in industrial motors using passive and active compensation circuits", Journal of Electrical Engineering & Technology, 2023.
- [5]. Zhao L., Chen Y., "Sustainable motor drive systems with energy recovery technologies", Sustainable Energy Technologies and Assessments, 2024.
- [6]. Li Y., Zhang H., Wang Y., "Improved MERS topology for energy recovery in industrial motor drives", IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2021.
- [7]. Takanori Isobe, Jan A. Wiik, Tadayuki Kitahara, Shuhei Kato, Kouta Inoue, Nobuyuki Arai, Kazuhiro Usuki, Ryuichi Shimada, "Control of series compensated induction motor using magnetic energy recovery switch" Proc Power Electronics and Application, 2 - 5 Sept. 2007, Page(s): 1 - 10
- [8]. Võ Minh Chính, Phạm Quốc Hải, Trần Trọng Minh, Điện tử công suất, Nhà xuất bản khoa học kỹ thuật, 2008
- [9]. Bùi Quốc Khánh, Nguyễn Văn Liễn, Phạm Quốc Hải, Dương Văn Nghi, Điều chỉnh tự động truyền động điện, Nhà xuất bản khoa học kỹ thuật, 2012
- [10]. R. Sastry Vedam, Mulukutla S.Sarma, "Power Quality VAR Compensation In Power System " ISBN 978-1-4200-6480-3
- [11]. Wiik, J.A.; Wijaya, F.D.; Shimada, R. "Characteristics of the Magnetic Energy Recovery Switch (MERS) as a Series FACTS Controller", Power Delivery, IEEE Transactions on, On page(s): 828 - 836 Volume: 24, Issue: 2, April 2009
- [12]. Fairchild Semiconductor, "hgt1s20n60c3s, hgtg20n60c3, hgtg20n60c3", datasheet, December 2001

Giới thiệu tác giả:



Tác giả **Mai Văn Duy** tốt nghiệp Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp chuyên ngành CNKT điện, điện tử vào năm 2011. Năm 2015 nhận bằng thạc sĩ chuyên ngành Điều khiển và Tự động hóa tại Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội. Hiện, tác giả là giảng viên tại Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp.

Lĩnh vực nghiên cứu: các bộ biến đổi sử dụng thiết bị điện tử công suất, ứng dụng của các bộ biến đổi trong lưới điện thông minh, năng lượng tái tạo, vi điều khiển trong hệ thống đo lường và điều khiển.



Tác giả **Tiêu Xuân Hoàng** tốt nghiệp Trường Đại học Điện lực chuyên ngành Nhiệt điện năm 2015. Năm 2017 nhận bằng Thạc sĩ chuyên ngành Kỹ thuật năng lượng tại Trường Đại học Điện lực. Hiện, tác giả là nghiên cứu sinh tại **Khoa Công nghệ năng lượng** và là giảng viên Trường Đại học Điện lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: tiết kiệm năng lượng; công nghệ năng lượng; kỹ thuật Nhiệt và năng lượng tái tạo.