**TÓM TẮT LUẬN VĂN THẠC SĨ**

Đề tài: **Mô hình hóa và điều khiển hệ truyền động sử dụng động cơ đồng bộ nhiều pha nam châm vĩnh cửu.**

Tác giả luận văn: Hoàng Phan Anh Khóa: K24

Người hướng dẫn: TS. Vũ Đức Tân

1. **Tính cấp thiết của đề tài**

Điện khí hóa giao thông được coi là một trong những giải pháp cho sự cạn kiệt các nguồn năng lượng hóa thạch và ô nhiễm không khí. Hệ thống truyền động điện cho xe điện, bao gồm cả xe điện thuần túy và xe điện lai, cần đáp ứng các yêu cầu cụ thể nhất định của thị trường ô tô, chẳng hạn như hiệu suất cao, mật độ công suất và mô-men xoắn lớn, chi phí thấp với khả năng bảo vệ chống lại các rủi ro về điện, độ tin cậy vận hành cao, và chất lượng mô-men xoắn cao. Trong bối cảnh này, bộ truyền động máy điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu nhiều pha đã trở thành ứng cử viên phù hợp để đáp ứng các yêu cầu được nêu ở trên.

1. **Đối tượng nghiên cứu của đề tài**

Đối tượng nghiên cứu của đề tài này là hệ truyền động sử dụng động cơ đồng bộ nhiều pha nam châm vĩnh cửu có sức điện động chứa nhiều sóng hài.

1. **Phạm vi nghiên cứu của đề tài**

Mô hình hóa và điều khiển hệ truyền động máy điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu nhiều pha có sức điện động chứa nhiều sóng hài.

1. **Mục tiêu nghiên cứu**

Mục tiêu chính của đề tài này là mô hình hóa và điều khiển các hệ truyền động của máy điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu nhiều pha với sức điện động không phải hình sin, đây là các máy điện có ít ràng buộc hơn trong quá trình thiết kế và sản xuất. Các phương pháp điều khiển trong chế độ bình thường và chế độ chịu lỗi được đề xuất dựa trên mô hình toán học của hệ truyền động nhiều pha.

1. **Phương pháp nghiên cứu**

* Xây dựng mô hình toán học của hệ truyền động điện nhiều phan nam châm vĩnh cửu dựa trên các nguyên lý cơ bản của máy điện và truyền động điện.
* Sử dụng phương pháp EMR (Energetic Macroscopic Representation-Biểu diễn vĩ mô hệ thống năng lượng) để biểu diễn mô hình đã xây dựng.

Sử dụng phương pháp EMR để xây dựng hệ thống điều khiển và các thuật toán điều khiển cho hệ truyền động điện nhiều pha.

1. **Kết cấu của luận văn:**

Luận văn sẽ gồm 3 phần chính:

Chương 1: Tổng quan về hệ truyền động điện nhiều pha

Chương 2: Mô hình hóa hệ truyền động điện nhiều pha

Chương 3: Điều khiển hệ truyền động điện nhiều pha

**CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN NHIỀU PHA**

**1.1. Giới thiệu chung**

**1.1.1. Tóm tắt**

Điện khí hóa giao thông vận tải được coi là một trong những giải pháp để giải quyết thiếu nguồn năng lượng hóa thạch và ô nhiễm không khí. Truyền động điện cho xe điện, bao gồm cả xe điện thuần túy và xe hybrid, cần đáp ứng một số yêu cầu cụ thể từ thị trường ô tô như hiệu suất cao, công suất lớn và mật độ mô-men xoắn cao, chi phí thấp nhưng an toàn khi chạm vào, độ tin cậy chức năng cao, chất lượng mô-men xoắn cao và kiểm soát suy yếu từ thông. Trong bối cảnh này, truyền động máy đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSM) nhiều pha đã trở thành những ứng viên phù hợp đáp ứng các yêu cầu trên.

Mục tiêu chính của luận văn này là đề xuất các phương pháp điều khiển chịu lỗi cho các truyền động PMSM nhiều pha không hình sin yêu cầu ít ràng buộc hơn đối với thiết kế của chúng.

**1.1.2. Ưu điểm của hệ truyền động nhiều pha**

EV là sự kết hợp phức tạp giữa kỹ thuật điện và ô tô. Về kỹ thuật điện, truyền động điện đóng vai trò quan trọng trong hoạt động của xe điện. Chúng thường bao gồm các máy điện, bộ chuyển đổi điện tử công suất, nguồn cung cấp năng lượng, các hệ thống điều khiển và các chiến lược quản lý năng lượng. Các công nghệ truyền động điện áp dụng cho xe điện chủ yếu phụ thuộc vào các công nghệ máy điện: DC, AC cảm ứng (IM) và AC đồng bộ. Cần lưu ý rằng công nghệ DC không còn hấp dẫn do bảo trì yêu cầu và giới hạn cơ học. Hiện nay máy đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSM) được tìm thấy nhiều hơn trong HEV, trong đó các hạn chế về không gian là quan trọng. Trong khi đó, IM và các máy điện đồng bộ kích từ một chiều, không có nam châm vĩnh cửu giá thành cao, nhiều hơn được quan sát thấy trong BEVs.

Đã có một số yêu cầu chính đối với truyền động điện để đảm bảo hiệu suất cao chuyển đổi cơ điện của EV ở tốc độ thay đổi và mô-men xoắn thay đổi.

1. ***Hiệu suất cao***
2. ***Mật độ công suất cao.***
3. ***Chi phí thấp nhưng an toàn khi chạm vào***
4. ***Độ tin cậy chức năng cao***
5. ***Chất lượng momen xoắn cao***
6. ***Kiểm soát suy yếu từ thông***

Các yêu cầu trên đối với truyền động điện được sử dụng trong xe điện có thể được tóm tắt như sau:

1) Hiệu suất cao để tiêu thụ tối ưu nguồn cung cấp năng lượng.

2) Mật độ công suất và mô-men xoắn cao do không gian hạn chế trong xe điện.

3) Chi phí thấp cho xe điện giá cả phải chăng trên thị trường phổ thông nhưng an toàn cho con người chạm vào.

4) Độ tin cậy chức năng cao với khả năng chịu lỗi và đảm bảo các giới hạn về điện.

5) Chất lượng mô-men xoắn cao cho EV mượt mà với độ rung và tiếng ồn thấp.

6) Kiểm soát suy yếu từ thông để lái xe tốc độ cao mà không cần truyền động điện quá khổ.

**1.1.3. Truyền động nhiều pha: Một ứng cử viên phù hợp cho xe điện.**

Việc sử dụng các máy cổ điển chỉ có ba pha ghép nối, hay đúng hơn là việc sử dụng biến tần nguồn áp (VSI) chỉ có ba chân, là một hạn chế do quá khứ áp đặt. Cần lưu ý rằng các bộ điều khiển này không thể hoạt động bình thường khi một pha không được cung cấp. Thuộc tính lịch sử này gây ra một hạn chế quan trọng đối với giới hạn an toàn cho VSIs và máy điện. Để giải quyết hạn chế này, các bộ điều khiển có VSI có nhiều hơn ba chân sẽ được xem xét trong luận văn này.

*A diagram of a machine

Description automatically generated*

*Hình 1. 1 Máy n-pha được cung cấp bởi VSI n chân trong EV.*

Các yêu cầu khác có thể được đáp ứng bằng cách khai thác các thuộc tính riêng biệt sau đây của truyền động nhiều pha.

- Tỉ lệ công suất thấp trên mỗi pha an toàn đối với EV

- Khả năng chịu lỗi cho độ tin cậy chức năng cao

- Mô-men xoắn gợn sóng thấp cho EV hoạt động mượt mà

- Những khả năng của cấu hình cuộn dây stato:

Tóm lại, trong EV sử dụng hệ truyền động nhiều pha, hộp số cơ học của nó có thể được thay thế bằng hộp số điện từ, không chỉ giảm tổn thất khi chuyển mạch mà còn tăng hiệu quả và độ tin cậy của EV. Ngoài ra, bạn có thể lái xe thoải mái hơn với hộp số điện từ.

**1.1.4. Cơ hội của truyền động nhiều pha trong ứng dụng ô tô**

Theo sáu yêu cầu đối với truyền động điện trong xe điện, năm thuộc tính đặc biệt trong phần **1.1.2** cho phép truyền động nhiều pha có thể trở thành lựa chọn ưu tiên cho các ứng dụng ô tô. Đặc biệt, PMSM nhiều pha thú vị hơn IM nhiều pha do hiệu suất cao, mô-men xoắn công suất lớn và mật độ công suất. Hai thuộc tính cuối cùng của truyền động nhiều pha có thể được kết hợp với các chiến lược làm suy yếu từ thông để mở rộng phạm vi tốc độ. Khác với truyền động ba pha, các chiến lược làm suy yếu từ thông không thể được thể hiện một cách phân tích trong truyền động nhiều pha do có quá nhiều dòng điện trong hệ d-q. Do đó, các hoạt động làm suy yếu từ thông trong truyền động nhiều pha có thể được thực hiện bằng cách áp đặt các ràng buộc đối với dòng điện và điện áp.

**1.2. Cấu tạo của hệ truyền động nhiều pha**

Diagram of a diagram of a circle with wires and a blue circle with a red circle and green arrow

Description automatically generated

*Hình 1.1. Sơ đồ nguyên lý của PMSM n pha.*

**1.2.1. Mô hình hệ quy chiếu tự nhiên**

Điện áp và mômen điện từ của PMSM pha n được cho bởi:







**1.2.2.Mô hình hệ quy chiếu stato tách rời**

Các hệ tham chiếu stator tách rời là các hệ ảo thu được bằng phép biến đổi Clarke (hoặc Concordia). Các tham số của máy (EMF ngược, dòng điện và điện áp) trong hệ quy chiếu tự nhiên được chuyển đổi thành các hệ tham chiếu stato tách rời như sau:



****

Nói cách khác, sau phép biến đổi Clarke, máy thực n pha được phân tích toán học thành (n+1)/2 (nếu n là số lẻ) hoặc (n+2)/2 (nếu n là chẵn) máy ảo như được trình bày trong Hình. 1.2 và 1.3 tương ứng. Cụ thể, có k máy ảo hai pha với k hệ quy chiếu hai chiều từ (α1-β1) đến (αk-βk). Ngoài ra, chỉ có 1 máy không dãy duy nhất có 1 hệ quy chiếu một chiều (z1) nếu n lẻ.

Khi n chẵn thì tồn tại 2 máy thứ tự không có 2 hệ quy chiếu một chiều (z1, z2).

*A diagram of a tube with a tube and a tube with a tube and a tube with a tube with a tube and a tube with a tube with a tube and a tube with a tube with

Description automatically generated*

*Hình 1.2. Các máy ảo tương đương của máy n pha khi n lẻ.*

*A diagram of a cylinder

Description automatically generated*

*Hình 1.3. Các máy ảo tương đương của máy n pha khi n chẵn*

**1.2.3. Mô hình hệ quy chiếu rotor**

Các hệ tham chiếu rôto là các hệ tọa độ ảo trong đó các tham số hình sin của máy trong các hệ tọa độ tham chiếu stato tách rời được chuyển đổi thành tín hiệu không đổi bằng cách sử dụng phép biến đổi Park. Phép biến đổi Park tổng quát được cho bởi:





**1.2.4. Tình trạng nghiên cứu trong lĩnh vực điều khiển truyền động nhiều pha**

**1.2.5. Các kỹ thuật điều khiển hiện có của truyền động nhiều pha ở chế độ bình thường**

***1.2.5.A. FOC***

***1.2.5.B. DTC***

***1.2.5.C. MPC***

**1.2.6. Các chiến lược kiểm soát hiện có cho các hoạt động sau lỗi**

***1.2.6.A. Các lỗi có thể xảy ra trong bộ điều khiển nhiều pha***

Để phân tích các chiến lược kiểm soát khả năng chịu lỗi hiện có, cần trình bày các sự cố về điện có thể xảy ra trong truyền động nhiều pha. Trong Hình 1.4, các loại lỗi khác nhau trong truyền động nhiều pha bao gồm SC hoặc OC trong công tắc biến tần, cuộn dây pha hoặc đường dây kết nối giữa máy và biến tần. Trong số đó, lỗi OC được báo cáo nhiều hơn lỗi SC trong truyền động điện. Do đó, luận văn này sẽ chủ yếu tập trung vào các lỗi OC trong truyền động nhiều pha.

*Diagram, schematic

Description automatically generated*

*Hình 1.4. Các loại lỗi khác nhau trong truyền động n pha*

***1.2.6.B. Phân loại dựa trên tiêu chí của các tham chiếu mới hiện tại cho các hoạt động chịu lỗi.***

***1.2.6.C. Phân loại dựa trên các loại MMF cho các hoạt động chịu lỗi***

***1.2.6.D. Phân loại dựa trên mô hình bộ điều khiển nhiều pha cho các hoạt động chịu lỗi***

***1.2.6.E. Phân loại dựa trên kỹ thuật điều khiển cho các hoạt động chịu lỗi***

Một kỹ thuật điều khiển phổ biến cho truyền động nhiều pha sau sự cố là FOC trong đó vòng điều khiển tốc độ được điều chỉnh bởi bộ điều khiển tỷ lệ hoặc PI để tạo tham chiếu mô-men xoắn. Trong khi đó, bộ điều khiển vòng trong cho dòng điện có thể là một trong các tùy chọn sau:

1) PI

2) MPC và DTC

3) Điều khiển trễ

4) PI kép

5) Điều khiển bền vững

**1.3. Mục tiêu của luận văn**

Trong luận văn này sẽ có 3 mục tiêu chính để nghiên cứu:

- Nghiên cứu hệ truyền động điện năm pha, các lí do chính để lựa chọn nghiên cứu hệ truyền động điện năm pha là:

* + Hệ truyền động điện năm pha được thừa hưởng đầy đủ các ưu điểm cửa động cơ nhiều pha nói chung: Khả năng chịu lỗi (hở mạch, ngắn mạch dây pha), mật độ mô men cao, chất lượng mô men tốt…
* + Năm là số lượng pha tối thiểu của một động cơ nhiều pha có sự đơn giản về thiết kế và điều khiển.
* + Hiện nay, hệ truyền động điện năm pha đang được sử dụng nhiều hơn so với các hệ truyền động có động cơ với số pha nhiều hơn.

- Xây dựng mô hình toán học hệ truyền động năm pha.

- Điều khiển hệ truyền động năm pha.

**CHƯƠNG 2. MÔ HÌNH HÓA HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN NĂM PHA**

**2.1. Mô hình toán học hệ truyền động năm pha**

Phần này trình bày mô hình hóa máy nhiều pha ở chế độ bình thường. Để minh họa hiệu quả các đặc điểm của truyền động nhiều pha, trong luận văn này sẽ tập trung nghiên cứu truyền động PMSM năm pha. Dựa trên phép biến đổi Fortescue, một phương pháp mô hình véc tơ của động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu năm pha được nghiên cứu.

**2.1.1 Giới thiệu**

Trong các ứng dụng công suất cao, như tàu điện, một giải pháp cấu trúc bao gồm phân đoạn công suất của truyền động điện bằng cách tăng số pha của máy. Trong số các giải pháp khác nhau, động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu năm pha (PMSM) được cung cấp bởi biến tần nguồn điện áp có thể được xem xét.

Luận văn này đề cập đến việc phân tích hành vi của bộ điều khiển này dựa trên phương pháp phân tích sóng hài sử dụng phép biến đổi Fortescue [12]. Ảnh hưởng của chế độ cung cấp và sự phân vùng lại của MMF đối với chất lượng dòng pha được nghiên cứu.

*A picture containing diagram, line, circle

Description automatically generated*

*Hình 2. 1 Sơ đồ của PMSM năm pha.*

Trong các hệ quy chiếu tách rời mới, máy thực được phân tách thành 3 máy ảo bao gồm 2 máy ảo hai pha (FM1, FM2) và 1 máy thứ tự không (ZM) như mô tả trong Hình 2.2.

*A diagram of a cylinder

Description automatically generated*

*Hình 2. 2 Phân tách máy năm pha thành ba máy ảo.*

**2.1.2. Mô tả hệ thống**

Để mô hình hóa máy, một số ảo được xem xét như sau:

1) Năm pha của máy chuyển động như nhau với độ dịch góc trong không gian δ bằng 2π/5.

2) Máy có rôto hình trụ; do đó, điện cảm trong các máy ảo có thể được tính dễ dàng từ ma trận biến đổi Clarke.

3) Độ bão hòa của các mạch từ không được xem xét trong các tính toán của EMF ngược và từ thông.

**2.1.3. Phân tích sóng hài**

Trong hệ tọa độ abcde thực, phương trình điện áp của máy có thể được viết dưới dạng ma trận sau:



Theo Fortescue, một hệ thống n pha có thể được phân tích dưới dạng (n–1) hệ thống đối xứng và một hệ thống đại diện cho vectơ thứ tự không được gọi là đồng cực.



Trong trường hợp hệ thống 5 pha, ma trận *Mn* trở thành



Xác định trình tự liên tục của hệ tọa độ chính trên cơ sở và tìm kiếm thứ tự thứ tự của ma trận [*M5*], thứ tự thuận của hệ tọa độ phụ được lập chỉ mục tự động trên sóng hài thứ ba. Do đó, trong hệ tọa độ abcde tự nhiên, PMSM năm pha tương đương với ba PMSM năm pha ảo, được gọi tương ứng là máy chính có xung điện là ω, máy phụ có xung điện là 3ω và máy đơn cực.

*A diagram of a diagram of a diagram of a diagram of a diagram of a diagram of a diagram of a diagram of a diagram of a diagram of a diagram of a diagram of a diagram of

Description automatically generated*

*Hình 2. 3. Sự phân chia lại các pha ảo mới: a) máy chính, b) máy phụ.*

Do đó, có thể phân tách thành ba hệ tọa độ:









Trong đó p, s, 0 tương ứng là máy chính, máy phụ và máy đồng cực. Có thể nhận thấy ba phương trình điện được đưa ra được tách rời về điện.

**2.1.4. Mạch điện tương đương**

Trong mỗi hệ tọa độ, thông lượng qua pha a đặc hữu tạo bởi dòng điện stator tương ứng được cho bởi:



Các phương trình trước cho thấy hành vi điện của mỗi máy ảo tương đương với một mạch điện. Hình 2.4 đưa ra mạch tương đương của từng máy ảo.

*A diagram of a rectangle

Description automatically generated*

*Hình 2. 4. Mạch điện tương đương của từng máy ảo.*

**2.1.5. Mô hình toán học trong hai hệ tọa độ**

Mỗi máy ảo được mô tả trong hệ tọa độ Concordia của chính nó. Đối với máy chính, hệ tọa độ của Concordia được lập chỉ mục trên cơ sở trong hệ tọa độ chính. Vì máy thứ cấp, hệ tọa độ của Concordia được lập chỉ mục trên sóng hài thứ ba trong hệ tọa độ thứ cấp. Hình 2.5 cho thấy trục chiếu trong mỗi hệ tọa độ hình.

Trong hệ tọa độ (αp,βp) và (αs,βs) thu được ma trận biến đổi Concordia sau:





*A diagram of a graph

Description automatically generatedA diagram of a diagram of a diagram

Description automatically generated*

*Hình 2. 5. Trục chiếu của mỗi hệ tọa độ: a) hệ tọa độ chính, b) hệ tọa độ phụ.*

Nối hai phép biến đổi và tính đến phép đồng cực, phép biến đổi toàn cục chuẩn tắc được suy ra.



Ma trận biến đổi này cho phép chéo hóa ma trận điện cảm.

**2.1.6. Phân tích trạng thái PMSM 5 pha theo chế độ cung cấp**

*A graph of a function

Description automatically generatedA graph with a blue line

Description automatically generated*

*Hình 2.6. PMSM năm pha, điều khiển điện áp hình sin.*

*A graph with blue lines

Description automatically generatedA graph with blue and white bars

Description automatically generated*

*Hình 2.7.PMSM năm pha, điều khiển toàn sóng.*

*A graph with blue lines

Description automatically generatedA graph with blue lines

Description automatically generated*

*A graph with blue lines

Description automatically generatedA diagram of a blue and white line

Description automatically generated*

*Hình 2.8. PMSM năm pha, điều khiển PWM, FPWM = 10 kHz.*

**2.1.7. Kết luận**

Trong luận văn này, một phương pháp mô hình véc tơ dựa trên phép biến đổi Fortescue của PMSM 5 pha được nghiên cứu. Cách tiếp cận mới này có thể được tổng quát hóa cho máy n pha trong đó n là số nguyên tố. Nó chỉ ra rằng, trong hệ tọa độ abcde tự nhiên, PMSM 5 pha tương đương với ba PMSM 5 pha ảo, được gọi tương ứng là máy chính, máy phụ và máy đồng cực.

**2.2. Biểu diễn mô hình hệ truyền động điện nhiều pha bằng phương pháp EMR.**

**2.2.1. Giới thiệu chung phương pháp EMR**

***2.2.1.A. Phạm vi sử dụng phương pháp EMR***

Các hệ thống năng lượng (energetic systems) là một trong những đối tượng nghiên cứu và ứng dụng chính của ngành Điều khiển và Tự động hoá.

***2.2.1.B. EMR là gì?***

Energetic macroscopic representation (EMR) là một phương pháp đồ họa. Nó được sử dụng để biểu diễn mô hình của đối tượng (model representation/ organization) nhằm làm sáng tỏ các đặc tính năng lượng của hệ.

***2.2.1.C. Biểu diễn đồ họa***

EMR là một sự mô tả, biểu diễn hệ thống điều khiển: Nó là cách để tổ chức các mô hình của các hệ thống con để tăng một số tính chất của hệ thống. EMR sẽ có tính tổng quát hơn và hệ thống hơn là các cách biểu diễn trước đây.

***2.2.1.D. Quan hệ nhân quả vật lý***

Nguyên lý của quan hệ nhân quả đó là đầu ra của một hệ thống động học là một hàm tích phân của các tín hiệu đầu vào.

***2.2.1.E. Biểu diễn chức năng***

Sự biểu diễn về mặt chức năng của hệ thống bao gồm các hàm toán học biểu diễn các hệ thống con (ví dụ như mô hình không gian trạng thái). Ngược lại, biểu diễn cấu trúc bao gồm các phần tử vật lý tập trung vào cấu trúc hệ thống (ví dụ như Bond Graph). Bởi vì mục đích của EMR là xác định một cách có hệ thống cấu trúc điều khiển của một hệ thống, EMR là sự biểu diễn chức năng.

***2.2.1.F. Nhận thức có hệ thống và nguyên lý tương tác***

Hệ thống nhận thức là khoa học về sự tương tác giữa một hệ thống và môi trường xung quanh nó. Một hệ thống là một tập hợp các hệ thống con có sự tương tác được thiết kế nhằm một mục tiêu chung. Do đó, nguyên lý tương tác là cốt lõi trong hệ thống. Trong hệ thống nhận thức, các hệ thống con là đã biết. Bởi vì EMR nhằm đưa ra các biến đổi năng lượng hiệu quả trong mỗi hệ thống con, EMR đã được phát triển trong hệ thống nhận thức.

***2.2.1.G. Nguyên lý nghịch đảo***

Trong nguyên lý nghịch đảo, các bộ điều khiển thực chất là sự nghịch đảo của mô hình hệ thống. Một số sự nghịch đảo có thể trực tiếp có được, một số khác yêu cầu một vòng kín. EMR đưa ra một cấu trúc điều khiển có hệ thống từ hai nhóm nghịch đảo trên.

**2.2.2. Nội dung cơ bản về EMR**

***2.2.2.A. Các phần tử cơ bản trong hệ thống EMR***

***2.2.2.B. Nguyên lý về quan hệ nhân quả***

***2.2.2.C. Nguyên lý nghịch đảo***

***2.2.2.D. Sơ đồ nguyên lý của hệ thống EMR***

*Diagram of a diagram of a model

Description automatically generated*

*Hình 2.9. Sơ đồ nguyên lý cơ bản của một mô hình hệ thống EMR*

**Model (EMR)**: Được xây dựng từ các phần tử đã được định nghĩa trong phần 2.2.1.

**Local control (IBC- Inversion Based Control)**: Là bộ điều khiển dựa trên nguyên lý nghịch đảo.

**Measures**: Các tín hiệu đo.

**References**: Các tín hiệu đầu vào mong muốn.

**Strategy**: Thuật toán để quản lý năng lượng được xác định dựa vào từng yêu cầu kỹ thuật (có thể có hoặc không).

**2.2.3. Ví dụ minh họa về Mô hình hóa xe điện (Electric Vehicle- EV)**

*A diagram of a mechanical system

Description automatically generated*

*Hình 2.10. Cấu trúc cơ bản của xe điện*

*A diagram of energy management

Description automatically generated*

*Hình 2.11. Cấu trúc EMR của xe điện.*

**2.2.4. Biểu diễn của mô hình truyền động điện**

Để hiểu cách biểu diễn mô hình hệ thống bằng EMR, nghiên cứu điển hình với truyền động năm pha được xem xét được mô tả trong Hình 2.12

*A diagram of a machine

Description automatically generated*

*Hình 2. 12. Sơ đồ điều khiển của biến tần PMSM năm pha với điều khiển dòng điện được biểu thị bằng EMR.*

**2.2.5. Biểu diễn điều khiển truyền động điện**

Sơ đồ điều khiển sẽ được thiết kế theo cách biểu diễn mô hình với nguyên lý đảo ngược.

*A diagram of a machine

Description automatically generated*

*Hình 2. 13. Sơ đồ điều khiển chung của truyền động PMSM năm pha với điều khiển tốc độ và dòng điện được biểu thị bằng EMR.*

*A diagram of a machine

Description automatically generated*

*Hình 2.14. Sơ đồ điều khiển của biến tần PMSM năm pha với điều khiển dòng điện được biểu thị bằng EMR.*

**2.3. Kết luận**

- Chương 2 đã xây dựng mô hình toán học

- Đã sử dụng EMR để biểu dễ mô hình toán học theo biến đổi năng lượng, có tính logic cao và dễ dàng thiết kế các bộ điều khiển.

- Sử dụng EMR giúp kiểm tra lỗi khi điều khiển một cách dễ dàng.

**CHƯƠNG 3. ĐIỀU KHIỂN HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN NĂM PHA**

**3.1. Điều khiển trong chế độ bình thường**

**3.1.1. Lựa chọn phương pháp điều khiển**

*Diagram

Description automatically generated*

*Hình 3. 1 Sơ đồ điều khiển động cơ PMSM bằng phương pháp điều khiển FOC*

Hàm truyền đối với bộ điều khiển PI (tích hợp tỉ lệ) được biểu diễn bằng công thức sau:



Giá trị của được tính toán dựa theo công thức:



Khâu hiệu chỉnh tốc độ (PID):

Hàm truyền của bộ điều khiển PID có dạng:



Phương trình vi tích phân mô tả mối tương quan giữa tín hiệu ra u(t) với tín hiệu vào e(t) của bộ điều khiển PID là:



Khi đó, ta tiến hành phân tách máy thực PMSM 5 pha thành 3 máy ảo:

*A diagram of a cylinder with a couple of words

Description automatically generated*

*Hình 3. 2 Sơ đồ phân tách máy thực PMSM 5 pha.*

Ta có ma trận biến đổi dòng điện trong hệ tọa độ tự nhiên sang hệ tọa độ  :



Ma trận biến đổi dòng điện từ hệ  sang hệ tọa độ d-q :



Dòng điện trong hệ tọa độ d-q :

*A graph with numbers and letters

Description automatically generated*

*Hình 3.3. Dòng điện trong hệ tọa độ d-q.*

Từ hình 3.4 ta thấy, dòng điện trong hệ tọa độ d-q là hằng số, dòng điện iz=0 (A) do động cơ được nối hình sao. Do đó, ta sử dụng phương pháp PID để điều khiển.

**3.1.2. Mô phỏng bằng MATLAB**

Ta có mô hình trong MATLAB như sau:

*A diagram of a diagram

Description automatically generated with medium confidence*

*Hình 3.4. Mô hình mô phỏng điều khiển trong MATLAB*

Mô hình bộ điều khiển PI dòng điện id1:

*A diagram of a computer program

Description automatically generated*

*Hình 3. 10 Khối điều khiển PI của id1*

Mô hình bộ điều khiển PI iq1:

*A diagram of a diagram

Description automatically generated*

*Hình 3. 11 Khối điều khiển PI của iq1*

Kết quả mô phỏng:

+ Đồ thị mô phỏng dòng điện các pha iabcde ở chế độ bình thường:

*A diagram of a graph

Description automatically generated*

*Hình 3. 14 Đồ thị mô phỏng dòng điện các pha ở chế độ bình thường*

+ Đồ thị momen:

*A graph with a blue line

Description automatically generated*

*Hình 3. 15 Đồ thị mô phỏng Momen ở chế độ bình thường.*

+ Đồ thị điều khiển:

*A white background with black text

Description automatically generated*

*Hình 3. 16 Đồ thị mô phỏng dòng điện idq1\_ref ở chế độ bình thường.*

+ Đồ thị id1:

*A sound wave graph with numbers

Description automatically generated with medium confidence*

*Hình 3. 18 Đồ thị mô phỏng dòng điện id1 ở chế độ bình thường.*

+ Đồ thị iq1:

*A graph with numbers and a line

Description automatically generated*

*Hình 3. 19 Đồ thị mô phỏng dòng điện iq1 ở chế độ bình thường.*

**3.2. Điều khiển trong chế độ lỗi**

**3.2.1. Tóm tắt**

Luận văn này nghiên cứu các chiến lược điều khiển sử dụng ma trận biến đổi có điều kiện khi máy điện 5 pha vận hành trong sự cố một pha hở.

**3.2.2. Các phương pháp điều khiển chịu lỗi bằng cách sử dụng giảm bậc ma trận chuyển đổi.**

***A.Tổng quan về các phương pháp hiện nay***

*A diagram of a phase

Description automatically generated*

*Hình 3. 22 Điều kiện không đối xứng của từ trường quay của máy điện năm pha khi pha a hở mạch.*

***B.Phân loại các phương pháp giảm bậc ma trận chuyển đổi***

Khi mở pha a thì cường độ dòng điện qua pha a bằng không; do đó, ma trận biến đổi Clarke trở thành []



1. Phương pháp 1



Khi đó ta có:

+ Dòng điện các pha khi pha a hở mạch:

*A graph of a graph showing a number of different colored lines

Description automatically generated with medium confidence*

*Hình 3. 26 Dòng điện các pha khi ia=0.*

1. Phương pháp 2

Phương pháp 2 được phát triển từ phương pháp 1, được áp dụng cho máy nam châm vĩnh cửu và cảm ứng năm pha có hệ số 𝑥 trong phương trình bằng −1.

1. Phương pháp 3

Ma trận biến đổi mới được đề xuất cho PMSM năm pha EMF ngược hình sin mà không có hệ số x bổ sung





*A diagram of a mathematical equation

Description automatically generated*

*Hình 3. 27 Các tham chiếu dòng điện mới khi pha a được mở trong phương thức 3.*

1. Phương pháp 4



1. Phương pháp 5









***C.Tổng hợp các phương pháp đã nghiên cứu***

* Đồ thị mô phỏng của máy khi ở chế độ bình thường:

*A diagram of a graph

Description automatically generated*

*Hình 3. 28 Dòng điện các pha khi máy ở chế độ bình thường.*

*A graph with a blue line

Description automatically generated*

*Hình 3. 29 Momen của máy khi máy ở chế độ bình thường.*

*A sound wave graph with numbers

Description automatically generated with medium confidenceA sound wave with numbers and lines

Description automatically generated with medium confidenceA graph with numbers and a line

Description automatically generatedA graph with orange lines

Description automatically generated with medium confidence*

*Hình 3. 30 Dòng điện điều khiển của các pha ở chế độ bình thường.*

* Đồ thị mô phỏng của máy khi ở chế độ lỗi:

*A graph of a graph showing a number of different colored lines

Description automatically generated with medium confidence*

*Hình 3. 31 Dòng điện các pha của máy khi pha a hở mạch.*

A graph of a graph

Description automatically generated with medium confidenceA graph of a graph

Description automatically generated with medium confidenceA graph showing a number of lines

Description automatically generated with medium confidence

*Hình 3. 32 Dòng điện điều khiển của các pha khi pha a hở mạch.*

*A graph of a graph showing a number of numbers

Description automatically generated with medium confidence*

*Hình 3. 33 Đồ thị momen của máy khi pha a hở mạch.*

* Đồ thị mô phỏng của máy sau khi áp dụng phương pháp điều khiển giảm bậc ma trận chuyển đổi:

*A graph of a graph

Description automatically generated with medium confidence*

*Hình 3. 34 Dòng điện các pha của máy sau khi áp dụng ROTM.A graph of a pulse

Description automatically generated with medium confidenceA graph showing a number of lines

Description automatically generated with medium confidenceA graph of a wave

Description automatically generated with medium confidenceA graph with numbers and lines

Description automatically generated*

*Hình 3. 35 Dòng điện điều khiển của các pha sau khi áp dụng ROTM.*

*A graph with a blue line

Description automatically generated*

*Hình 3. 36 Đồ thị momen của máy sau khi áp dụng ROTM*

**KẾT LUẬN**

Luận văn đã giới thiệu tổng quan về một số phương pháp sử dụng ma trận biến đổi bậc giảm để điều khiển khả năng chịu lỗi cho máy điện 5 pha trong sự cố một pha hở mạch. Luận văn đã phân tích các ý tưởng và chiến lược cơ bản để tìm ra các ma trận biến đổi mới. Với các phương pháp (1 đến 4), các thành phần cơ bản của EMF dòng điện và ngược được coi là để thu được mô-men xoắn không đổi. Tuy nhiên, các phương pháp này không còn phù hợp với các máy EMF ngược không sin do gợn sóng mô-men xoắn. Phương pháp thứ năm đề xuất các ma trận biến đổi mới cho các EMF ngược không sin. Do đó, các tham chiếu dòng điện không sin được tính đến để tạo ra mô-men xoắn không gợn sóng. Phương pháp này có tiềm năng cao để áp dụng cho tất cả các máy đa pha EMF ngược không sin với một số pha nhất định. Tuy nhiên, nhược điểm của tất cả các phương pháp trên là cần phải xác định một ma trận mới cho một lỗi pha hở cụ thể.