

LẬP MÔ HÌNH VÀ MÔ PHỎNG HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG XE Ô TÔ ĐIỆN

MODELING AND SIMULATION THE POWERTRAIN SYSTEM OF ELECTRIC VEHICLES

NGUYỄN ANH TUẤN¹ TRẦN MINH VIỆT^{2a}

¹Trường Cao đẳng Lý Tự Trọng TP.HCM

²Học viên cao học Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long

+ Tác giả liên hệ: ^aEmail: viettranminhckd05@gmail.com

Nhận bài (Received): 03/01/2023; Phản biện (Reviewed): 15/01/2023; Chấp nhận (Accepted): 01/04/2023

TÓM TẮT

Sự phát triển của các phương tiện động cơ đốt trong là một trong những thành tựu vĩ đại nhất của công nghệ hiện đại. Tuy nhiên, số lượng lớn ô tô đang được sử dụng trên khắp thế giới tiếp tục gây ra các vấn đề nghiêm trọng cho môi trường và đời sống con người như: Ô nhiễm không khí, sự nóng lên toàn cầu và sự cạn kiệt nhanh chóng tài nguyên của trái đất. Việc chuyển hướng sang sử dụng ô tô điện là một trong những giải pháp hiệu quả cao. Tuy nhiên về nhược điểm, xe điện bị giới hạn phạm vi lái xe và dự trữ năng lượng pin. Để tăng tiết kiệm năng lượng và cung cấp lực kéo cho động cơ điện tốt và hiệu quả hơn, các tác giả đã nghiên cứu về việc lập mô hình và mô phỏng hệ thống truyền động ô tô điện khi di chuyển qua các địa hình khác nhau. Việc điều khiển tốc độ động cơ không đồng bộ ba pha trên xe ô tô điện theo phương pháp tựa từ thông rô to. Các thông số đáp ứng của động cơ không đồng bộ được phân tích và đánh giá dựa vào phần mềm matlab simulink.

Từ khóa: Ô tô điện; Hệ thống truyền động; Matlab simulink.

ABSTRACT

The development of internal combustion engine vehicles is one of the greatest achievements of modern technology. However, the large number of vehicles being used around the world continues to cause serious problems for the environment and human life; e.g., air pollution, global warming and rapid depletion of resources of the earth. The shift to using electric vehicles is one of the highly effective solutions. However, on the downside, electric vehicles have limited driving range and battery power reserve. To increase energy savings and provide better and more efficient traction for electric motors, the authors have studied the modeling and the simulation of the powertrain of electric vehicles when moving on different terrains. The speed control of three-phase asynchronous motors in electric cars by the rotor flux-like method has also been studied. The response parameters of the asynchronous motor were analyzed and evaluated using Matlab simulink software.

Keywords: Electric vehicles; powertrain; Matlab simulink

1. Đặt vấn đề.

Sự phát triển của xe cộ sử dụng động cơ đốt trong, đặc biệt là ô tô, là một trong những thành tựu lớn nhất của kỹ thuật hiện đại. Tuy nhiên, một lượng lớn ô tô được sử dụng trên khắp thế giới đã và đang gây ra những vấn đề nghiêm trọng đối với môi trường và cuộc sống con người. Sự ô nhiễm không khí, hiện tượng ấm lên toàn cầu, và sự cạn kiệt nhanh chóng của nguồn dầu mỏ là vấn đề được quan tâm hàng đầu hiện nay. Do đó, xe ô tô điện được xem là giải pháp hiệu quả cho vấn đề này.

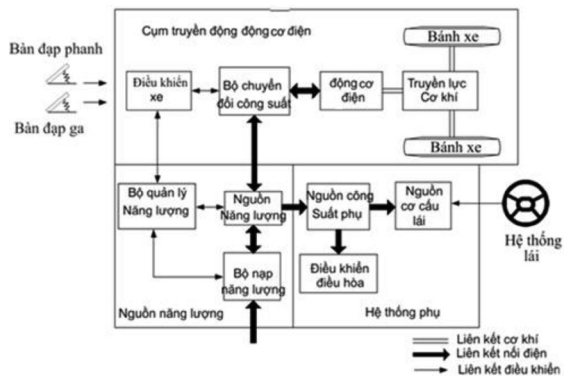
Hệ thống truyền động điện truyền năng lượng từ động cơ điện đến các bánh xe. Cấu trúc hệ thống bao gồm : Nguồn điện, Động cơ điện, truyền lực cơ khí và các bánh xe. Động cơ điện không đồng bộ rotor lồng sóc cấu tạo đơn giản nhất là loại rotor lồng sóc đúc nhôm nên chiếm một số lượng khá lớn trong loại động cơ công suất nhỏ và trung bình. Nhược điểm của động cơ này là điều chỉnh tốc độ khó khăn và dòng điện khởi động lớn thường bằng 6-7 lần dòng điện định mức. Để bổ khuyết cho nhược điểm này, người ta chế tạo động cơ không đồng bộ rotor lồng sóc nhiều tốc độ và dùng rotor rãnh sâu, lồng sóc kép để hạ dòng điện khởi động, đồng thời tăng mô men khởi động lên . Để tăng tiết kiệm năng lượng và cung cấp momen của động cơ điện tốt hơn hiệu quả hơn của ô tô điện, các thuật toán điều khiển như điều khiển tựa từ thông rotor và điều chế vector không gian có thể được sử dụng. Nghiên cứu sử dụng matlab simulink về các thông số của xe dựa trên mô hình hóa và mô phỏng động lực học của ô tô điện khi được tích hợp với một động cơ cảm ứng chạy bằng pin Li-ion để phân tích

chuyển đổi năng lượng và mô-men xoắn của xe đáp ứng yêu cầu vận hành trên đường.

2. Xây dựng mô hình và mô phỏng bộ điều khiển động cơ không đồng bộ theo phương pháp tựa từ thông FOC (Field Oriented Control)

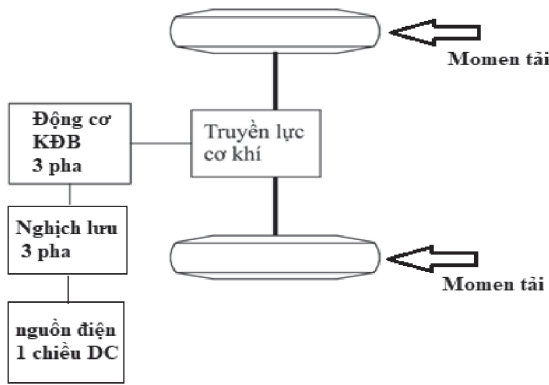
2.1.Cấu trúc hệ truyền động ô tô điện

Cấu trúc hệ truyền động ô tô điện cơ bản được trình bày như hình 1[1]. Hệ thống bao gồm 3 cụm chính: cụm mô tơ điện, nguồn năng lượng chính và nguồn các hệ thống phụ. Cụm động cơ điện gồm một bộ điều khiển xe, bộ chuyển đổi điện tử công suất, mô tơ điện, bộ truyền lực cơ khí và bánh xe dẫn động. Cụm nguồn năng lượng thì có nguồn năng lượng, bộ điều khiển năng lượng, bộ nạp năng lượng. Cụm nguồn các hệ thống phụ gồm nguồn cho cụm cơ cấu lái, cụm điều khiển điều hòa không khí và các hệ thống phụ khác.



Hình 1 : Hệ thống truyền lực cơ bản của xe điện [1]

Động cơ điện là loại động cơ điện không đồng bộ 3 pha, nguồn DC cung cấp cho động cơ 3 pha không đồng bộ thông qua bộ nghịch lưu 3 pha. Các bánh xe di chuyển trên địa hình đường khác nhau tạo ra momen cản tác động lên động cơ để khảo sát.



Hình 2 : Hệ thống truyền lực của xe điện dùng để khảo sát

2.2 Mô hình hóa và mô phỏng bộ điều khiển tốc độ động cơ theo phương pháp tọa độ từ thông FOC (Field Oriented Control).

Động cơ không đồng bộ 3 pha IM (Induction motor) hoạt động đáng tin cậy, hiệu quả cao, bền bỉ và bảo trì thấp yêu cầu. Tuy nhiên, để điều khiển chính xác của động cơ cảm ứng là không dễ dàng có thể thực hiện được do tính phức tạp và phi tuyến tính. Vì vậy, một trong những kỹ thuật được sử dụng để giải quyết những vấn đề này là phương pháp điều khiển tốc độ động cơ theo phương pháp tọa độ từ thông (FOC).

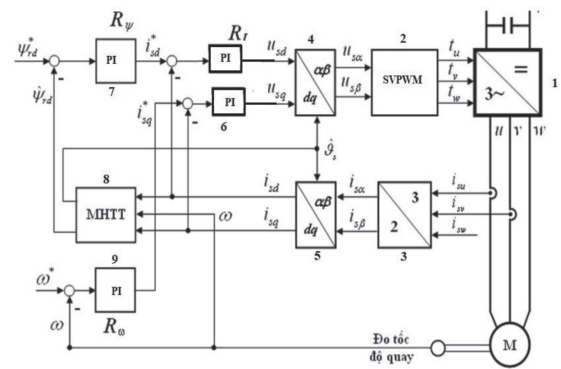
Ở hệ phương trình của mô hình toán học của động cơ KĐB trên hệ tọa độ dq

$$m_M = \frac{3}{2} z_p \frac{L_m^2}{L_r} \psi'_{rd} i_{sd} = \frac{3}{2} z_p (1 - \sigma) L_s \psi'_{rd} i_{sd}$$

ta có sự tương quan giữa từ thông rô to ψ'_{rd} và mô men điện từ M của động cơ KĐB được điều khiển bởi 2 thành phần i_{sd} và i_{sq} . Như vậy coi việc điều khiển từ thông rô to và điều khiển mô men của động cơ KĐB là độc lập và nếu xét trên hệ tọa độ dq thì đó là hai thành phần một chiều. Vậy việc điều khiển gần như độc lập (thực tế có sự tương tác) hai thành phần dòng i_{sd} và i_{sq} để điều khiển tốc độ động cơ KĐB trên hệ tọa độ véc tơ quay dq được gọi là phương pháp

điều khiển véc tơ FOC – Field Oriented Control.

Tuy nhiên, để điều khiển chính xác của động cơ cảm ứng là không dễ dàng có thể thực hiện được do tính phức tạp và phi tuyến tính. Vì vậy, một trong những kỹ thuật được sử dụng để giải quyết những vấn đề này là phương pháp điều khiển tọa độ từ thông rotor (FOC). Ứng dụng của FOC cho động cơ cảm ứng được thực hiện chủ yếu dựa trên động cơ mô hình cố định trong trục dq với hệ quy chiếu cố định. Như thể hiện trong Hình 3, điều khiển FOC cùng với điều chế vectơ không gian được sử dụng để xác định các xung kích chính xác được cấp cho nghịch lưu để cung cấp cho IM dòng điện ba pha.



Hình 3 : Cấu trúc điều khiển tọa độ từ thông rotor [2]

Cấu trúc gồm 2 mạch vòng điều khiển, đó là vòng bên ngoài với bộ điều khiển từ thông (khối 7) và bộ điều khiển tốc độ quay (khối 9) theo luật PI (Proportional Integral), vòng bên trong bao gồm hai bộ điều khiển độc lập theo luật PI (khối 6), điều khiển hai thành phần dòng một chiều i_{sd} và i_{sq} bằng tính toán các giá trị mong muốn u_{sd} và u_{sq} . Các giá trị này được đưa đến khối chuyển tọa độ (khối 4) tiếp đến là khối điều chế vectơ không gian SVPWM (Space Vector Pulse Width Modulation) (khối 2) để tính toán đưa ra giá trị đóng cắt cho các van bán dẫn ở mạch động lực theo yêu cầu.

2.3 Phương pháp điều chế vector không gian SVPWM

Từ hình 3 ta thấy bộ SVPWM là dựa trên giá trị điện áp mong muốn (u_α, u_β) đầu vào để tính toán và tạo ra các chùm xung kích thích, điều khiển đóng/mở các van của bộ nghịch lưu xoay chiều ba pha

Mạch nghịch lưu gồm 6 IGBT, với 3 cặp van có thể tạo ra $2^3 = 8$ trạng thái logic.

Việc đóng mở các van IGBT được tính toán bởi vì điều khiển: Trạng thái van đóng/mở, thời gian đóng/mở cho mỗi van

Giá trị logic trạng thái của từng cuộn dây pha (v, u, w) được định nghĩa như sau:

+ Logic “0” nếu cuộn dây được nối với cực âm của điện áp DC-Link.

+ Logic “1” nếu cuộn dây được nối với cực dương của điện áp DC-Link.

Vì có $2^3 = 8$ trạng thái logic khác nhau nên chúng ta có tương ứng 8 vector điện áp chuẩn u_0, u_1, \dots, u_7 . Trong đó có 2 vector gọi là vector không (zero vector): u_0 tương ứng với tất cả 3 dây được nối vào cực âm, và u_7 tương ứng với tất cả 3 dây được nối vào cực dương.

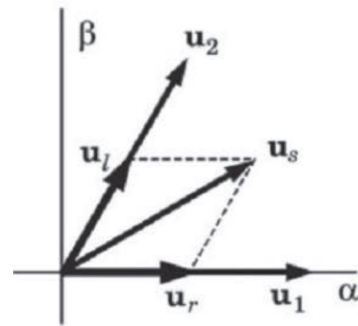
Bảng 8 vector điện áp chuẩn và trạng thái logic

	u_0	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	u_6	u_7
u	0	1	1	0	0	0	1	1
v	0	0	1	1	1	0	0	1
w	0	0	0	0	1	1	1	1

Giả sử khoảng thời gian tối đa để hoàn thành một vector u_s là T_p^* . Đó là khoảng thời gian để thực hiện vector điện áp có module tối đa là $2UDC/3$.

- u_s là tổng của hai vector u_1 và u_r
- u_1 và u_r được thực hiện bởi trạng thái logic của u_1 và u_2 trong khoảng thời gian:

$$T_r = T_p^* \frac{|u_r|}{|u_s|_{max}}; T_l = T_p^* \frac{|u_l|}{|u_s|_{max}}$$

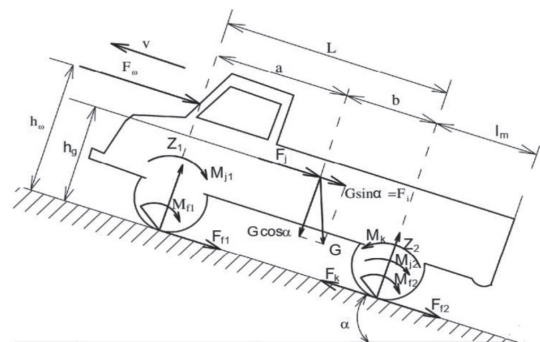


Do u_s đã được thực hiện trọn vẹn trong khoảng thời gian ($T_r + T_l$) nên trong khoảng thời gian còn lại $T_p^* - (T_r + T_l)$ chúng ta thực hiện một trong hai vector có module bằng không là u_0 hoặc u_7 .

Như vậy, chúng ta thực hiện điều chế theo phương trình sau:

$$u_s = u_r + u_l + u_0 \text{ (hoặc } u_7) \\ = \frac{T_r}{T_p^*} u_1 + \frac{T_l}{T_p^*} u_2 + \frac{T_p^* - (T_r + T_l)}{T_p^*} u_0 \text{ (or } u_7)$$

3. Xây dựng mô hình xe ô tô điện khi di chuyển trên đường



Sơ đồ các lực và mômen tác dụng lên ô tô khi chuyển động lên dốc. [3]

- G – Trọng lượng tồn bộ của ô tô.
- Fk – Lực kéo tiếp tuyến ở các bánh xe chủ động.
- Ff1 – Lực cản lăn ở các bánh xe bị động.
- Ff2 – Lực cản lăn ở các bánh xe chủ động.
- Fω – Lực cản không khí.
- Fi – Lực cản lên dốc.

F_j – Lực cản quán tính khi xe chuyển động không ổn định (có gia tốc).

$Z1, Z2$ – Phản lực pháp tuyến của mặt đường tác dụng lên các bánh xe ở cầu trước, cầu sau.

$Mf1$ – Mômen cản lăn ở các bánh xe bị động.

$Mf2$ – Mômen cản lăn ở các bánh xe chủ động.

α – Góc dốc của mặt đường

Lực kéo tiếp tuyến F_k :

F_k là phản lực từ mặt đường tác dụng lên bánh xe chủ động theo chiều cùng với chiều chuyển động của ô tô. Điểm đặt của F_k tại tâm của vết tiếp xúc giữa bánh xe với mặt đường:

$$F_k = \frac{M_k}{r_b} = \frac{M_e i_t \eta}{r_b} \quad (1)$$

Lực cản lăn F_f :

$$F_f = f \cdot G \cdot \cos(\alpha) = fmg \cos(\alpha) \quad (2)$$

f : Hệ số cản lăn của lốp xe;

g : gia tốc trọng trường (m/s²);

α : Góc nghiêng tạo bởi mặt đường và mặt phẳng ngang;

m : khối lượng của xe.

$$j = \frac{dv}{dt} = \frac{\frac{M_e i_t \eta}{r_b} - m \cdot g \cdot \sin(\alpha) - fmg \cos(\alpha) - \frac{1}{2} \rho C_x S (v_v + v_{gió})^2}{\delta_i \cdot m} \quad (8)$$

Sử dụng phương trình (5) để xây dựng mô hình mô phỏng động lực học ô tô điện trên Simulink.

Bảng thông số động học của ô tô điện để thực hiện tính toán và mô phỏng tổng lực kéo:

Bảng 1: Thông số động học của ô tô điện

Thông số	Giá trị
Khối lượng xe (kg)	2100
Hệ số lực cản không khí	0.24
Hệ số lực cản lăn	0.02
Bán kính bánh xe (m)	0.24

Lực cản gió F_ω :

$$F_\omega = \frac{1}{2} \rho C_x S (v_x + v_{gió})^2 \quad (3)$$

ρ : Khối lượng riêng của không khí;

C_x : là hệ số cản khí động học;

S : diện tích cản gió phía trước của xe;

v_x : là vận tốc của xe;

$v_{gió}$: là vận tốc gió.

Lực cản khi xe lên dốc F_i :

$$F_i = G \sin(\alpha) = m \cdot g \cdot \sin(\alpha) \quad (4)$$

Lực cản khi xe tăng tốc (lực quán tính) F_j :

$$F_j = \delta_i \cdot m \cdot j \quad (5)$$

δ_i là hệ số tính đến ảnh hưởng của các khối lượng chuyển động quay. Ta có thể tính δ_i gần đúng như sau:

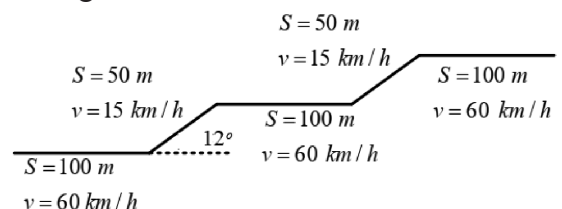
$$\delta_i = 1,05 + 0,05 i_h^2 \quad (6)$$

Xét trong trường hợp tổng quát, xe di chuyển trên đường dốc. ta xác định được phương trình mô tả gia tốc của xe như sau :

$$F_j = F_k - (F_f + F_i + F_\omega) \quad (7)$$

Thông số	Giá trị
Gia tốc trọng trường (m/s ²)	9.81
Tỉ số truyền hộp số	9.73
Hiệu suất truyền hộp số	0.7

Để thực hiện tính toán và mô phỏng tổng lực kéo, nghiên cứu thực hiện cho xe di chuyển trên địa hình đường bằng và đường dốc như sau :



Đoạn 1: Xe chuyển động đều Giả sử, trên đường bằng phẳng, xe chuyển động với vận tốc $v = 60 \text{ km/h}$, quãng đường di chuyển là $S = 100 \text{ m}$. Ta tìm được thời gian xe di chuyển hết quãng đường là: $t_1 = 6 \text{ (s)}$.

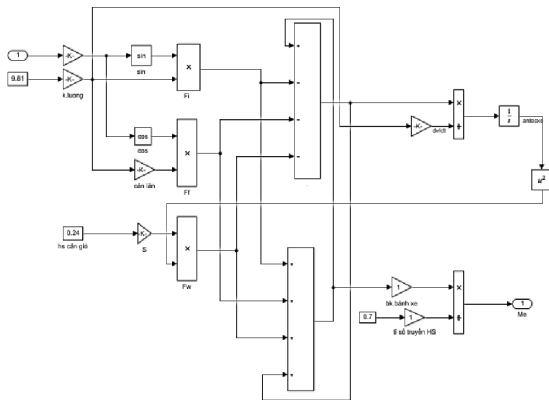
Đoạn 2: Xe chuyển động chậm dần đều (leo dốc) Giả sử xe leo dốc ở góc dốc 12° , vận tốc là $v = 15 \text{ km/h}$, quãng đường di chuyển là $S = 50 \text{ m}$. Ta tìm được thời gian di chuyển hết quãng đường là: $t_2 = 24 \text{ (s)}$.

Đoạn 3: Xe chuyển động đều: $t_3 = 6 \text{ (s)}$.

Đoạn 4: Xe chuyển động chậm dần đều (leo dốc): $t_4 = 24 \text{ (s)}$.

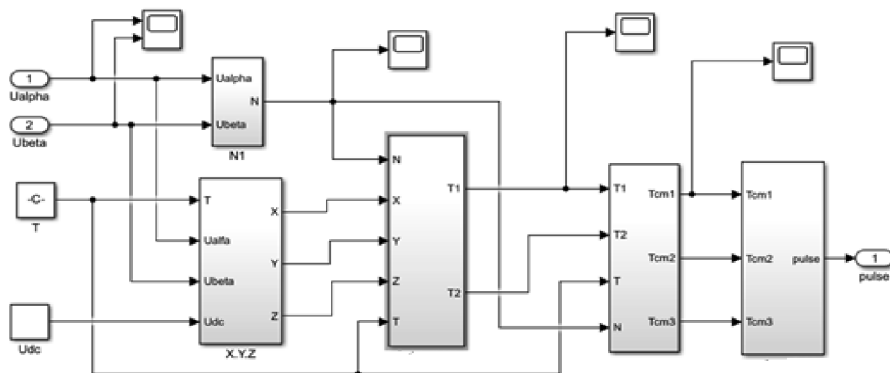
Đoạn 5: Xe chuyển động đều: $t_5 = 6 \text{ (s)}$.

Mô hình được xây dựng trong matlab/simulink như sau:



Hình 12: Mô hình xe ô tô điện khi di chuyển trên đường

Tín hiệu vào của mô hình là góc dốc, mô hình sẽ tính toán các lực cản tác dụng

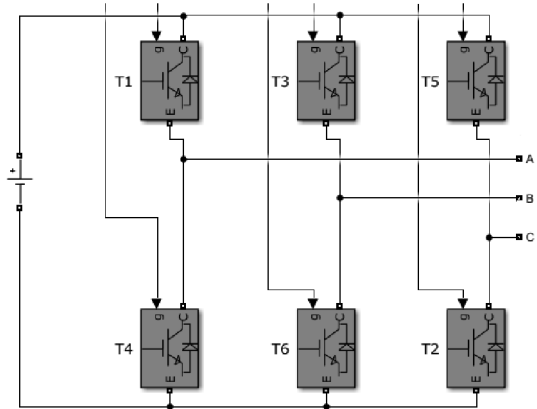


Hình 14: Khâu điều chế vector không gian SVPWM

lên xe, sau đó thông qua tỉ số truyền hộp số và bán kính bánh xe sẽ tính ra mômen cản. Momen này chính là tải tác dụng lên động cơ điện.

4. Mô hình mô phỏng hệ truyền động ô tô điện

4.1. Xây dựng khối nghịch lưu 3 pha (bộ biến đổi điện tử công suất sử dụng IGBT)



Hình 13: Khối nghịch lưu 3pha

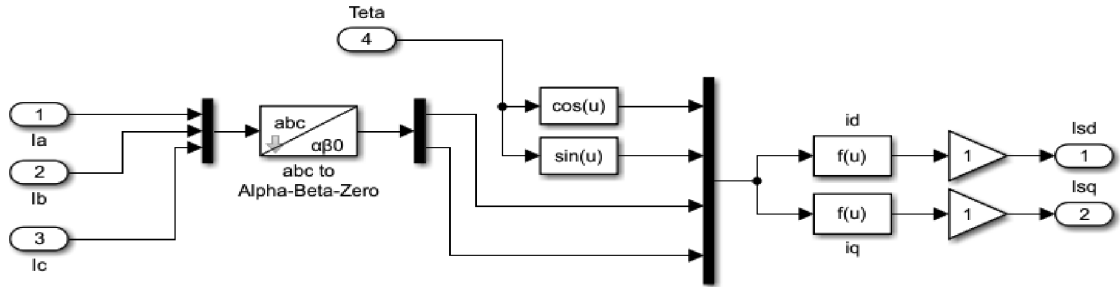
Tín hiệu đầu vào của khối là 6 xung kích: T1,T2,T3,T4,T5,T6 từ bộ điều khiển để tạo ra các điện áp pha A,B,C để cấp cho động cơ điện 3 pha.

4.2. Mô phỏng bộ phát xung điều khiển nghịch lưu

Khâu điều chế vector không gian SVPWM nhận các giá trị điện áp mong muốn u_{sa} và u_{sb} , tính toán và đưa ra tín hiệu thời gian đóng ngắt t_u, t_v, t_w .

Tín hiệu đầu vào của khâu là điện áp U_α và U_β và tín hiệu ngõ ra là các xung kích cho khối nghịch lưu 3 pha.

4.3. Xây dựng khối chuyển tọa độ $uvw \Rightarrow \alpha\beta \Rightarrow dq$

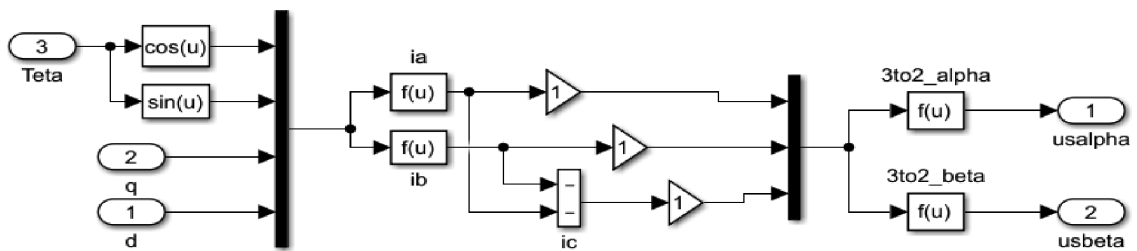


Hình 15: Khâu chuyển tọa độ abc sang dq

Tín hiệu đầu vào của khâu là dòng điện i_a, i_b, i_c và tín hiệu ra là dòng điện i_{sd}, i_{sq}

4.4. Xây dựng khối chuyển tọa độ $dq \Rightarrow \alpha\beta$

Sử dụng công thức chuyển đổi Park ngược, chuyển từ hệ tọa độ quay dq sang tọa độ đứng yên $\alpha\beta$.

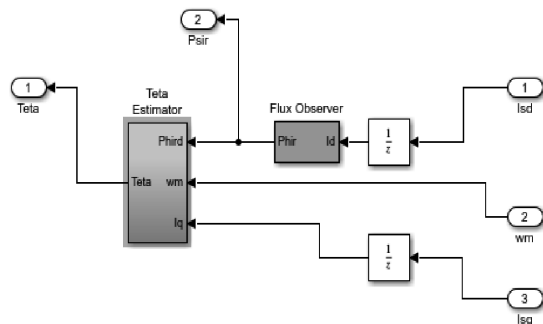


Hình 16 : Khâu chuyển tọa độ từ dq sang $\alpha\beta$

Tín hiệu vào của khâu là góc quay Teta, thành phần dòng điện trục d, và trục q để tạo thành tín hiệu điện áp ra là u_α và u_β

4.5. Xây dựng khâu mô hình từ thông

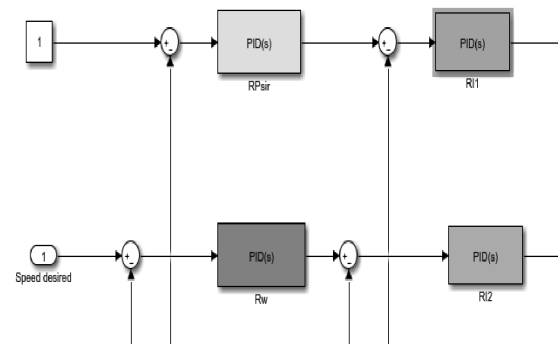
Khối mô hình từ thông có nhiệm vụ tính các giá trị từ thông rotor Ψ_r và góc quay θ_s dựa trên cơ sở các đại lượng đo được i_{sd}, i_{sq} và ω_m .



Hình 17 : Khâu mô hình từ thông

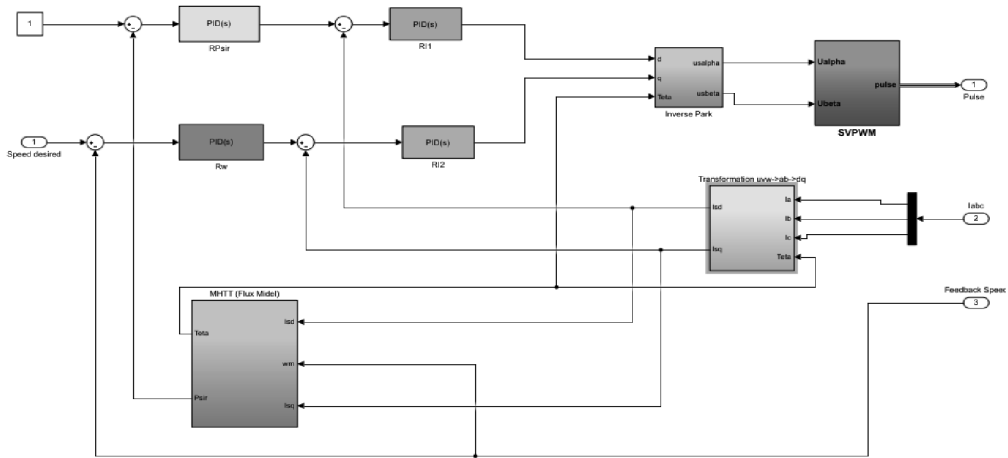
4.6. Xây dựng các khâu điều chỉnh tốc độ, điều chỉnh dòng và từ thông

Các bộ điều khiển bao gồm: 1 bộ điều khiển từ thông, 1 bộ điều khiển tốc độ, 2 bộ điều khiển dòng điện (dòng i_{sq} và dòng i_{sd}). Các bộ điều khiển này hoạt động dựa trên thuật toán PI.



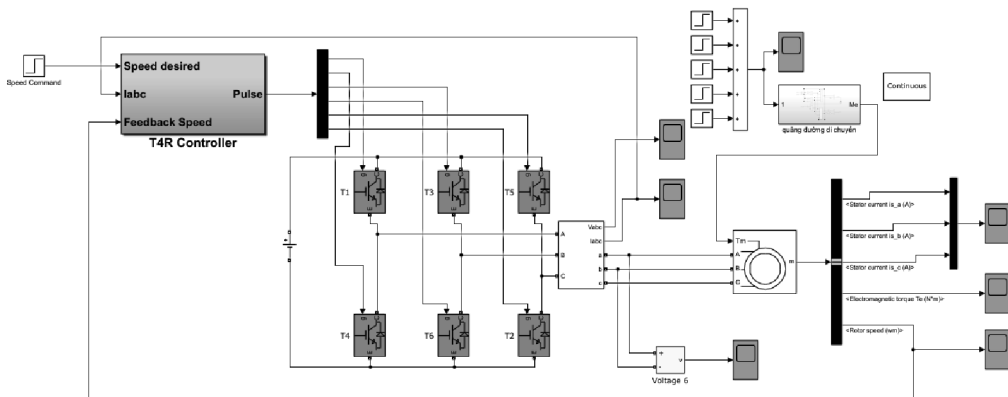
Hình 18 : Các bộ điều khiển PI

4.7. Sơ đồ khối tổng hợp bộ điều khiển tựa từ thông xây dựng trong matlab-simulink :



Hình 19. Sơ đồ khối tổng hợp bộ điều khiển tựa từ thông rotor

Kết hợp các khâu và khối ta được mô hình mô phỏng bộ điều khiển tốc độ động cơ theo phương pháp tựa từ thông FOC trong matlab simulink như sau:

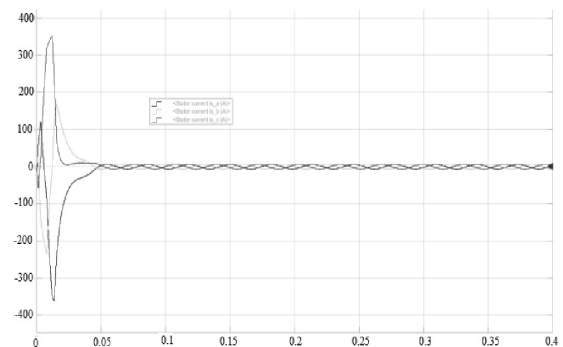


Hình 20 : Mô hình tổng quát mô phỏng hệ thống truyền động điện trên xe ô tô điện.

Sơ đồ Simulink mô phỏng hệ truyền động được xây dựng như hình . Trong đó, bao gồm các khối bộ nghịch lưu, tín hiệu điều khiển bộ nghịch lưu bằng phương pháp FOC, khối hệ thống truyền động khi xe ô tô di chuyển trên đường tính ra momen cần thiết, momen này chính là tải tác động lên động cơ không đồng bộ ba pha. Từ phản hồi tốc độ động cơ khi có tải, bộ điều khiển FOC sẽ so sánh với tốc độ đặt ban đầu và tính toán ra xung kích điều khiển bộ nghịch lưu cấp dòng điện cho động cơ hoạt động bám theo tốc độ đặt một cách chính xác.

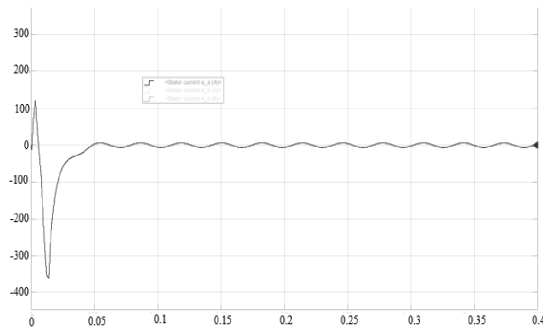
5. Kết quả mô phỏng

Sau khi chạy mô phỏng ta có kết quả như sau :

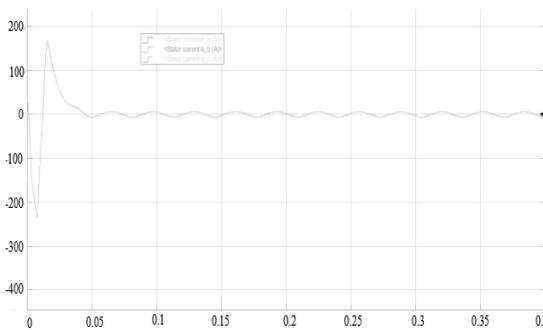


Hình 21 : Cường độ dòng điện đi vào stator khi khởi động

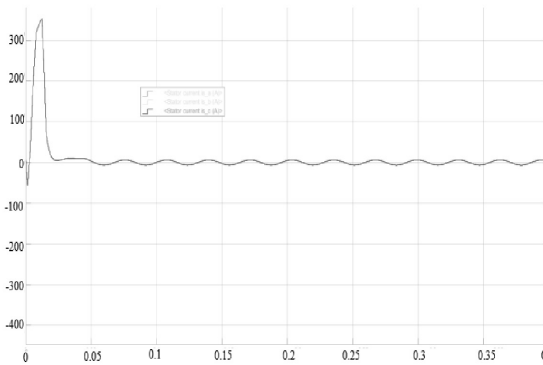
Trong quá trình khởi động ban đầu, dòng điện trong 3 cuộn dây stator tương đối lớn, tuy nhiên sau 0,05s cũng ổn định ngay trở lại. Khi mới khởi động, giá trị mô men của động cơ luôn ở vị trí cao để thắng được mô men cản quán tính, do mô men tỉ lệ thuận với cường độ dòng điện nên trên hình 21, 22, 23 và 24 cường độ dòng điện cũng mang giá trị cao tương ứng. Điều này phù hợp về nguyên lý và chứng tỏ được sự đáp ứng tốt của động cơ điện.



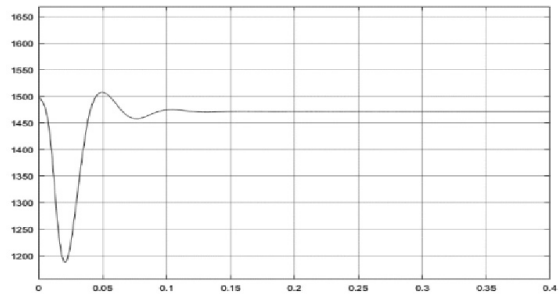
Hình 22 : Cường độ dòng điện trên stator khi khởi động của pha A



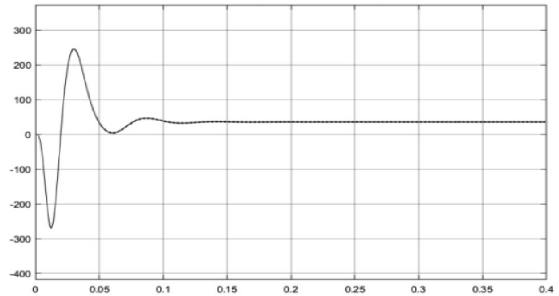
Hình 23 : Cường độ dòng điện trên stator khi khởi động của pha B



Hình 24 : Cường độ dòng điện trên stator khi khởi động của pha C

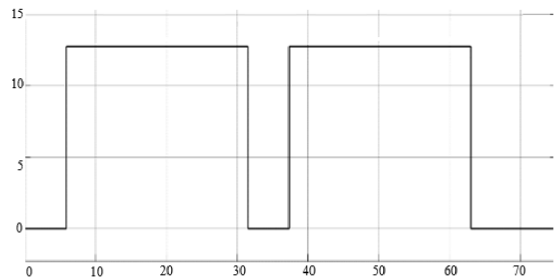


Hình 25 : Đặc tính tốc độ động cơ

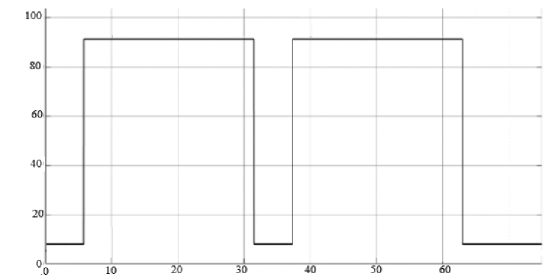


Hình 26 : Đặc tính mô men của động cơ

Theo hình 25 và 26 ta thấy, khi xe mới khởi động trong khoảng 0,02 giây, tốc độ động cơ giảm mạnh đồng thời mô men động cơ cũng tăng mạnh nhằm thắng được mô men quán tính của xe ban đầu. Ở giai đoạn chuyển tiếp từ đường bằng qua đường dốc, tốc độ và mô men động cơ có chút dao động nhưng sau đó đã ổn định để đáp ứng nhu cầu từ xe.



Hình 27 : Hình Đồ thị di chuyển của xe theo góc dốc



Hình 28 : Đồ thị momen theo góc dốc

Theo Hình 27 ta thấy xe di chuyển trên các quãng đường với các góc dốc thay đổi từ 0° đến 12° . với chiều dài tuyến đường toàn bộ 400m gồm 3 tuyến đường bằng dài toàn bộ 300m và đường dốc 100m. Đồng thời theo Hình 28 thì mô men cũng thay đổi tương ứng theo từng đoạn đường.

6. Kết luận

Với ưu điểm thân thiện môi trường, xe ô tô điện đang là xu hướng tất yếu của ngành công nghiệp ô tô thế giới nói chung và Việt Nam nói riêng. Vì vậy, việc nghiên cứu, lập mô hình và mô phỏng hệ thống truyền động xe ô tô điện khi di chuyển trên qua các địa hình khác nhau là cần thiết và có tính thực tiễn cao.

Mô hình hóa và mô phỏng hệ thống

truyền động trong Matlab/Simulink đã chứng minh là phương pháp hiệu quả trong việc khảo sát đặc tính của hệ thống truyền động trên ô tô điện. Kết quả mô phỏng cho thấy quá trình chuyển đổi năng lượng và mô-men xoắn của xe đáp ứng yêu cầu vận hành trên đường, hệ thống truyền động vận hành chính xác, ổn định và hiệu quả, có tính năng động lực học tốt. Nghiên cứu đã lập được mô hình động học động cơ không đồng bộ ba pha với phương pháp điều khiển FOC được áp dụng phù hợp trên động cơ không đồng bộ. Nghiên cứu này sẽ làm cơ sở để phát triển thêm hệ thống quản lý tiêu thụ năng lượng, kiểm soát nhiệt độ để mô hình hệ thống truyền động thực tế trên ô tô điện hoạt động hiệu suất cao.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Mehrdad Ehsani, Yimin Gao, Ali Emadi “ Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory and Design (Second edition). NXB Taylor&Francis Group an informa business (2018).
- [2]. GS.TS. Nguyễn Phùng Quang (2016), Điều khiển tự động truyền động điện xoay chiều ba pha, NXB Bách Khoa Hà Nội
- [3]. GVC. MSc. Đặng Quý (2010), Lý thuyết ô tô, Trường đại học sư phạm kỹ thuật TP.HCM
- [4] Rajesh Rajamani (2012), Vehicle dynamics and control. Springer New York.
- [5] Reza N. Jazar (2012), Vehicle dynamics theory and application. Springer Switzerland.
- [6] Journal of the Society of Automotive Engineers Malaysia Volume 2, Issue 1, pp 23-34, January 2018 e-ISSN 2550-2239.
- [7] Mô hình hóa động cơ không đồng bộ ba pha có xét đến sự thay đổi của các tham số động cơ ;Tạp chí khoa học công nghệ giao thông vận tải, số 29-08/2018
- [8]. Nguyễn Hữu Cẩn, Dư Quốc Thịnh, Phạm Minh Thái, Nguyễn Văn Tài, Lê Thị Vàng (1996), Lý thuyết Ôtô Máy kéo, NXB Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội - 1996.
- [9]. Cao Trọng Hiền, Đào Mạnh Hùng (2010), “Lý thuyết ô tô“, NXB Giao thông vận tải, Hà Nội.
- [10]. PGS.TS. Bùi Quốc Khánh (2008), Điều chỉnh tự động truyền động điện, NXB Bách Khoa
- [11]. PGS.TS. Bùi Quốc Khánh (2006) Cơ sở Truyền động điện, NXB Khoa học Kỹ thuật