

# NGHIÊN CỨU ĐỘNG CƠ ĐIỆN TRANG BỊ TRÊN Ô TÔ ĐIỆN TESLA ANALYSIS INTO THE INDUCTION MOTOR OF TESLA VEHICLES

CAO HÙNG PHI<sup>1</sup>, PHẠM ĐĂNG HUY<sup>2a</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học SPKT Vĩnh Long,

<sup>2</sup>Trường Cao Đẳng Nghề Kiên Giang,

+ Liên hệ tác giả <sup>a</sup> Email: pdhuy@caodangnghekg.edu.vn

*Nhận bài (Received): 09/11/2022; Phản biện (Reviewed): 20/11/2022; Chấp nhận (Accepted): 07/1/2023*

## TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả khảo sát mối quan hệ giữa tần số dòng điện đến mô men xoắn và tốc độ của động cơ cảm ứng trên ô tô điện TESLA. Phương pháp chủ yếu là nghiên cứu lý thuyết, thiết kế mô hình mô phỏng trên và thử nghiệm khảo sát các thông số và đánh giá kết quả trên phần mềm Matlab-Simulink. Từ các kết quả khảo sát, tác giả đưa ra kết luận khi thay đổi tần số dòng điện cung cấp cho động cơ thì tốc độ và moment của động cơ có sự biến thiên theo, từ đó ta có thể biết được ứng với các trạng thái làm việc của ô tô bộ biến tần sẽ cung cấp một tần số tối ưu để điều khiển động cơ không đồng bộ trên ô tô, giúp cho ô tô có thể vận hành ổn định ở các chế độ khác nhau.

**Từ khóa:** xe điện; động cơ không đồng bộ, biến tần, moment, tần số

## ABSTRACT

*This paper presents the results of surveying the relationship between the current frequency to torque and the speed of induction motors on TESLA electric cars. The main method is to study the theory, design the above-mentioned simulation model, test the parameters and evaluate the results on Matlab-Simulink software. From the obtained survey results, it is concluded that when changing the frequency of the current supplied to the motor, the speed and the torque of the motor change accordingly. Therefore, it is revealed that with regard to different working states of the car, the inverter will provide an optimal frequency to control the asynchronous motor in the car, helping the car to operate stably in different modes.*

**Keywords:** electric vehicles; induction motor; inverter; torque; frequency

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Động cơ điện trang bị trên xe điện Tesla được xem như là nguồn động lực chính thay thế cho động cơ đốt trong cung cấp moment cho các bánh xe chủ động. Động cơ điện có rất nhiều ưu điểm so với

động cơ đốt trong. Những ưu điểm này được thể hiện thông qua tính chất động lực học của ô tô khi chuyển động, nó được thể hiện qua đặc tính động lực học, lực kéo, công suất kéo, các lực cản, nhân tố động lực học, thời gian và quãng đường

tăng tốc, vận tốc, gia tốc, khi chuyển động trong điều kiện mặt đường khác nhau hoặc do tác động điều kiện như tăng giảm ga, quay vòng khi phanh. Để giúp ô tô vận hành ổn định với các điều kiện trên thì nó phải được điều khiển thông qua phương pháp thay đổi tần số chính vì vậy bài báo này trình bày sự thay đổi tần số dòng điện cấp vào động cơ điện trên ô tô TESLA sẽ dẫn đến sự biến thiên của moment và tốc độ của động cơ điện.

## 2. ĐỘNG CƠ ĐIỆN TRÊN Ô TÔ ĐIỆN TESLA

### 2.1. Mô hình toán học động cơ điện trên ô tô Tesla

Để xây dựng mô hình mô tả chính xác đến mức tối đa đối tượng điều chỉnh. Đối tượng điều chỉnh ở đây chính là động cơ không đồng bộ ba pha trên ô tô điện Tesla, do đó mô hình toán học thu được không những cần phải thể hiện rõ các đặc tính thời gian của đối tượng điều chỉnh mà nó cần phải mô phỏng chính xác về mặt toán học đối tượng động cơ. Với yêu cầu như vậy dẫn đến cần có các điều kiện được giả thiết trong khi lập mô hình. Các điều kiện đó một mặt đơn giản hoá mô hình có lợi cho công việc thiết kế sau này, mặt khác chúng gây nên sai lệch nhất định; sai lệch trong phạm vi cho phép giữa đối tượng và mô hình. Sau này, các sai lệch đó phải được loại trừ bằng các biện pháp thuộc về kỹ thuật điều chỉnh.

Động cơ không đồng bộ được mô tả bởi hệ phương trình vi phân bậc cao. Với cấu trúc phân bố các cuộn dây phức tạp về mặt không gian và các mạch từ móc vòng ta phải chấp nhận một số các điều kiện sau đây khi mô hình hoá động cơ:

- Các cuộn dây đều có các thông số như nhau và được bố trí một cách đối xứng

về mặt không gian (các cuộn dây đặt lệch nhau  $120^\circ$ )

- Bỏ qua các tổn hao trong lõi sắt từ, không xét tới ảnh hưởng của tần số và thay đổi của nhiệt độ đối với điện trở, điện cảm tới các cuộn dây.

- Bỏ qua bão hoà mạch từ, tự cảm và hổ cảm của mỗi cuộn dây được coi là tuyến tính

- Dòng từ hoá và từ trường được phân bố hình sin trên bề mặt khe từ.

Đối với các hệ truyền động điện đã được số hoá hoàn toàn, để điều khiển biến tần người ta sử dụng phương pháp điều chế vectơ không gian. Khâu điều khiển biến tần là khâu ghép nối quan trọng giữa thiết bị điều khiển, điều chỉnh bằng số với khâu chấp hành. Như vậy cần mô tả động cơ thành các phương trình toán học.

Quy ước: A,B,C chỉ thứ tự pha các cuộn dây rotor và a,b,c chỉ thứ tự pha các cuộn dây stator.

Giả thiết :

- Cuộn dây stato, rotor đối xứng 3 pha, rotor vượt góc  $\theta$ .

- Tham số không đổi.

- Mạch từ chưa bão hoà.

- Khe hở không khí đồng đều.

- Nguồn ba pha cấp hình sin và đối xứng (lệch nhau góc  $2\pi/3$ ).

$$U_k = I_k R_k + d \frac{\Psi_k}{dt}$$

Với:

k là thứ tự cuộn dây A,B,C rotor và a,b,c stator.

$\psi_k$  là từ thông cuộn dây thứ k.

Phương trình cân bằng điện áp của mỗi cuộn dây k như sau:

$$\Psi_s = \begin{bmatrix} \Psi_a \\ \Psi_b \\ \Psi_c \end{bmatrix} \quad \Psi_r = \begin{bmatrix} \Psi_A \\ \Psi_B \\ \Psi_C \end{bmatrix} \quad \Psi = \begin{bmatrix} \Psi_a \\ \Psi_b \\ \Psi_c \\ \Psi_A \\ \Psi_B \\ \Psi_C \end{bmatrix}$$

$$i_s = \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad i_r = \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix} \quad u_s = \begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix} \quad u_r = \begin{bmatrix} u_A \\ u_B \end{bmatrix}$$

$$[R_s] = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} \quad [R_r] = \begin{bmatrix} R_r & 0 & 0 \\ 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & R_r \end{bmatrix}$$

$$[L_r] = \begin{bmatrix} L_{r1} & -M_r & -M_r \\ -M_r & L_{r1} & -M_r \\ -M_r & -M_r & L_{r1} \end{bmatrix}$$

$$[L_s] = \begin{bmatrix} L_{s1} & -M_s & -M_s \\ -M_s & L_{s1} & -M_s \\ -M_s & -M_s & L_{s1} \end{bmatrix}$$

$$[L_m(\theta)] = M \begin{bmatrix} \cos\theta & \cos(\theta+2\pi/3) & \cos(\theta-2\pi/3) \\ \cos(\theta-2\pi/3) & \cos\theta & \cos(\theta+2\pi/3) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \psi_s \\ \psi_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [L_s] & [L_m(\theta)] \\ [L_m(\theta)]^t & [L_r] \end{bmatrix} X \begin{bmatrix} i_s \\ i_r \end{bmatrix}$$

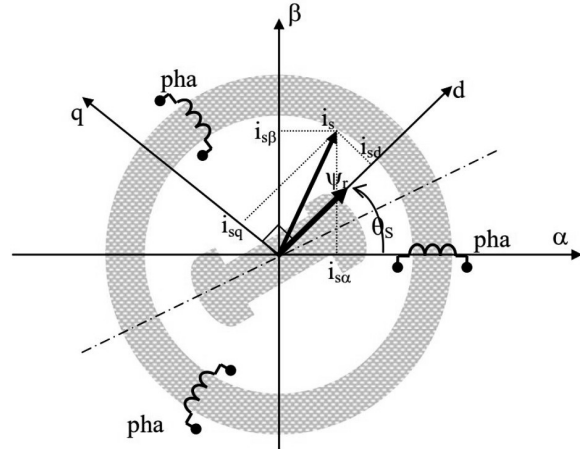
$$\begin{bmatrix} u_s \\ u_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s + L_s \frac{d}{dt} & \frac{d}{dt} L_m(\theta) \\ \frac{d}{dt} L_m(\theta) & R_r + L_r \frac{d}{dt} \end{bmatrix} X \begin{bmatrix} i_s \\ i_r \end{bmatrix}$$

$$M = \bar{i}_s^t \frac{d}{d\theta} \{ L_m(\theta) \bar{i}_r \}$$

Các hệ phương trình trên là các hệ phương trình vi phân phi tuyến có hệ số biến thiên theo thời gian vì góc quay  $\theta$  phụ thuộc thời gian:  $\theta = \theta^0 + \int \omega(t) dt$

Tuy nhiên nếu mô tả toán học như trên thì rất phức tạp nên cần phải đơn giản bớt đi. Tới năm 1959 Kôvacs(Liên

Xô) đề xuất phép biến đổi tuyến tính không gian vectơ và Park (Mỹ) đưa ra phép biến đổi d, q.



Hình 1. Mô hình động cơ điện của ô tô điện TESLA trên hệ tọa độ  $\alpha\beta$ , tọa độ  $dq$  và tọa độ ba pha  $a,b,c$

## 2.2. Các phương trình cơ bản động cơ trên hệ tọa độ $\alpha\beta$

Phương trình cân bằng điện áp:

$$u_{s\alpha} = R_{s\alpha} i_{s\alpha} + \frac{d\Psi_{s\alpha}}{dt}$$

$$u_{s\beta} = R_{s\beta} i_{s\beta} + \frac{d\Psi_{s\beta}}{dt}$$

$$u_{r\alpha} = R_{r\alpha} i_{r\alpha} + \frac{d\Psi_{r\alpha}}{dt} + \omega_r \cdot d\Psi_{r\beta} = 0 \quad (1)$$

$$u_{r\beta} = R_{r\beta} i_{r\beta} + \frac{d\Psi_{r\beta}}{dt} + \omega_r \cdot d\Psi_{r\alpha} = 0$$

Phương trình từ thông móc vòng:

$$\Psi_{s\alpha} = L_s \cdot i_{s\alpha} + M \cdot i_{r\alpha}$$

$$\Psi_{s\beta} = L_s \cdot i_{s\beta} + M \cdot i_{r\beta}$$

$$\Psi_{r\alpha} = L_r \cdot i_{r\alpha} + M \cdot i_{s\alpha} \quad (2)$$

$$\Psi_{r\beta} = L_r \cdot i_{r\beta} + M \cdot i_{s\beta}$$

Phương trình mômen:

$$M_c = (3/2) \cdot P/2 \cdot (\Psi_{s\alpha} \cdot i_{s\beta} - \Psi_{s\beta} \cdot i_{s\alpha}) \quad (3)$$

Phương trình chuyển động:

$$\frac{J}{p} \cdot \frac{d\omega_m}{dt} = M_e - M_c \quad (4)$$

Như vậy, từ các phương trình từ (1) và (2) có thể thành lập được phương trình điện áp của mô hình chuyển mạch:

$$\begin{bmatrix} u_{s\alpha} \\ u_{s\beta} \\ u_{r\alpha} \\ u_{r\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s i_{s\alpha} + L_s \frac{di_{s\alpha}}{dt} & 0 & M \frac{di_{r\alpha}}{dt} & 0 \\ 0 & R_s i_{s\beta} + L_s \frac{di_{s\beta}}{dt} & 0 & M \frac{di_{r\beta}}{dt} \\ M \frac{di_{s\alpha}}{dt} & \omega_r M i_{s\beta} & R_r i_{r\alpha} + L_r \frac{di_{r\alpha}}{dt} & \omega_r L_r i_{r\beta} \\ -\omega_r M i_{s\alpha} & M \frac{di_{s\beta}}{dt} & -\omega_r L_r i_{r\alpha} & R_r i_{r\beta} + L_r \frac{di_{r\beta}}{dt} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Ta có thể viết ma trận trên đơn giản hơn bằng cách thay các đại lượng điện bằng các véc tơ và các thông số của mạch bằng ma trận thông số. Sau khi thay đổi ta được phương trình cân bằng điện áp:

$$u = R \cdot i + L \cdot \frac{di}{dt} + \omega_r \cdot G \cdot i \quad (6)$$

Từ (3) và (4) ta có:

$$M_e = (3/2) \cdot p \cdot M \cdot (i_{r\alpha} \cdot i_{s\beta} - i_{r\beta} \cdot i_{s\alpha}) \quad (7)$$

### 2.3. Các phương trình cơ bản của động cơ trên hệ tọa độ dq

Phương trình cân bằng điện áp:

$$\begin{aligned} u_{sd} &= R_s \cdot i_{sd} + \frac{d\Psi_{sd}}{dt} - \omega \cdot \Psi_{sq} \\ u_{sq} &= R_s \cdot i_{sq} + \frac{d\Psi_{sq}}{dt} - \omega \cdot \Psi_{sd} \end{aligned} \quad (8)$$

$$u_{rd} = R_r \cdot i_{rd} + \frac{d\Psi_{rd}}{dt} - (\omega - \omega_r) \cdot \Psi_{rd} = 0$$

$$u_{rq} = R_r \cdot i_{rq} + \frac{d\Psi_{rq}}{dt} - (\omega - \omega_r) \cdot \Psi_{rq} = 0$$

Trong đó:

-  $u_{sd}, u_{sq}, u_{rd}, u_{rq}, i_{sd}, i_{sq}, i_{rd}, i_{rq}$  - điện áp và dòng điện trên stato và rôto theo các trục d và q.

-  $R_s, R_r$  - trở kháng trên các cuộn stato và rôto.

-  $\Psi_{sd}, \Psi_{sq}, \Psi_{rd}, \Psi_{rq}$  - từ thông stato và rôto theo các trục d và q.

Phương trình từ thông:

$$\begin{aligned} \Psi_{sd} &= L_s \cdot i_{sd} + L_M \cdot i_{sq} \\ \Psi_{sq} &= L_s \cdot i_{sq} + L_M \cdot i_{sd} \\ \Psi_{rd} &= L_r \cdot i_{rd} + L_M \cdot i_{rq} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\Psi_{rq} = L_r \cdot i_{rq} + L_M \cdot i_{rd}$$

$$\begin{cases} L_s = L_M + i_s \\ L_r = L_M + i_r \end{cases}$$

Trong đó:  $L_s, L_r$  - điện cảm của các cuộn stato và rôto.

$i_s, i_r$  - điện cảm tản của các cuộn dây stato và rôto.

$L_M$  - hồ cảm giữa các cuộn dây.

Phương trình mômen:

$$M_e = (3/2) \cdot P/2 \cdot (\Psi_{sd} \cdot i_{sq} - \Psi_{sq} \cdot i_{sd}) \quad (10)$$

Phương trình chuyển động:

$$\frac{J}{P} \frac{d\omega_m}{dt} = M_e - M_c \quad (11)$$

Với:

$$\omega_r = P \cdot \omega_m ;$$

$M_e$  - moment điện từ.

$M_c$  - mômen cản.

$P$  - số đôi cực.

$J$  - moment quán tính.

Từ điện áp ba pha  $u_a, u_b, u_c$  chuyển sang dạng điện áp hai pha  $u_{s\alpha}, u_{s\beta}$  cố định. Bộ biến đổi đó gọi là biến đổi thuận Clarke.

Phương trình biến đổi có dạng:

$$\begin{cases} u_{s\alpha} = \frac{2}{3} \cdot \left( u_a - \frac{u_b}{2} - \frac{u_c}{2} \right) \\ u_{s\beta} = \frac{2}{3} \cdot \left( \frac{\sqrt{3}u_b}{2} - \frac{\sqrt{3}u_c}{2} \right) \end{cases} \quad (12)$$

Bộ biến đổi ngược từ hệ hai pha  $i_{s\alpha}, i_{s\beta}$  sang hệ ba pha  $i_a, i_b, i_c$  ta dùng bộ biến

đổi ngược Clarke. Phương trình biến đổi có dạng:

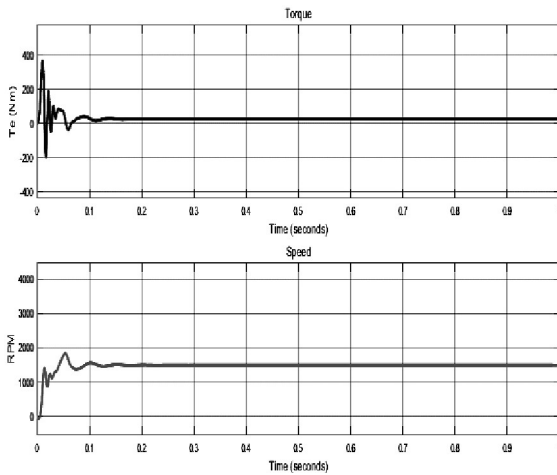
$$\begin{cases} i_a = i_{s\alpha} \\ i_b = \frac{-i_{s\alpha}}{2} + \frac{\sqrt{3}i_{s\beta}}{2} \\ i_c = \frac{-i_{s\alpha}}{2} - \frac{\sqrt{3}i_{s\beta}}{2} \end{cases} \quad (13)$$

Mô hình động cơ điện trên ô tô điện TESLA đã xây dựng được mô phỏng bằng phần mềm mô phỏng Matlab các kết quả mô phỏng được trình bày trong phần tiếp theo

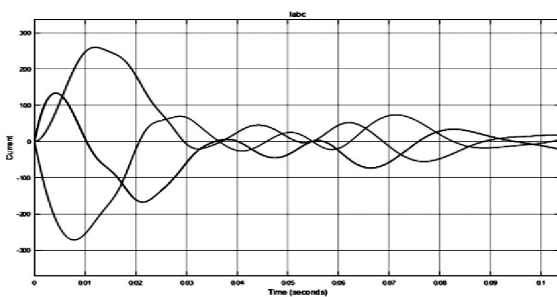
### 2.4. Kết quả mô phỏng

Để lấy kết quả mô phỏng của khối động cơ không đồng bộ ba pha ta lấy đầu vào là điện áp ba pha với các tần số lần lượt là:

+ Tần số  $f = 25\text{Hz}$

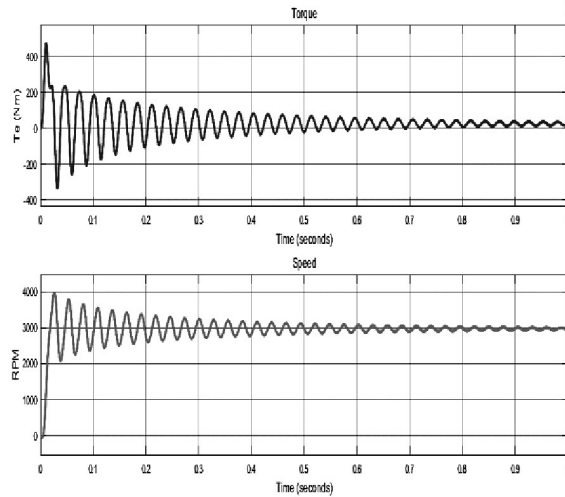


Hình 2. Moment điện từ và tốc độ của động cơ ứng với tần số  $f = 25\text{Hz}$

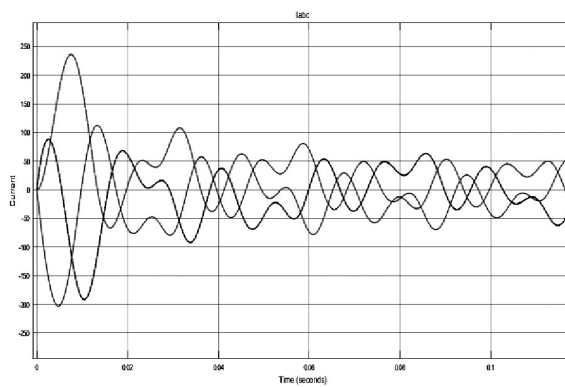


Hình 3. Dòng điện của động cơ ứng với tần số  $f = 25\text{Hz}$

+ Tần số  $f = 50\text{Hz}$

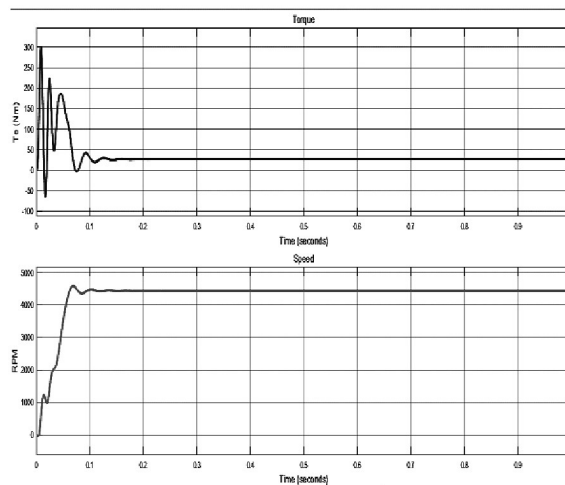


Hình 4. Moment điện từ và tốc độ của động cơ ứng với tần số  $f = 50\text{Hz}$

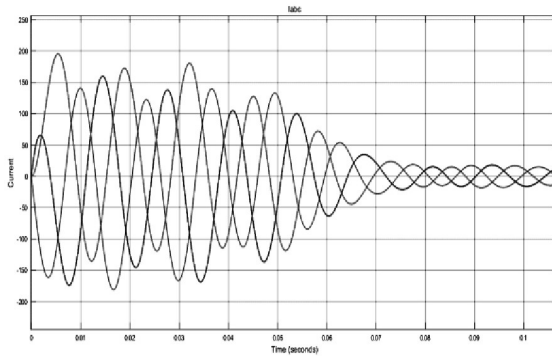


Hình 5. Dòng điện của động cơ ứng với tần số  $f = 50\text{Hz}$

+ Tần số  $f = 100\text{Hz}$



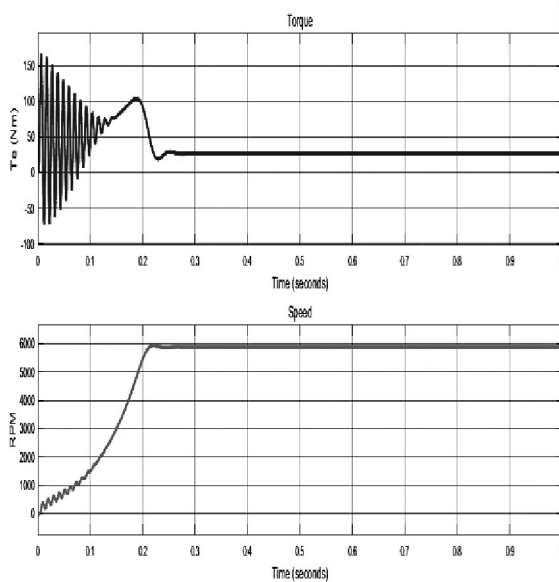
Hình 6. Moment điện từ và tốc độ của động cơ ứng với tần số  $f = 100\text{Hz}$



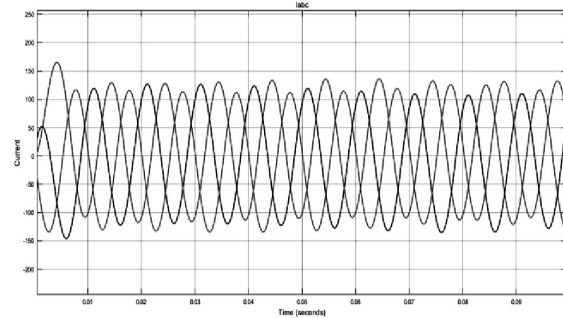
Hình 7. Dòng điện của động cơ ứng với tần số

$$f = 100\text{Hz}$$

+ Tần số  $f = 150\text{Hz}$



Hình 8. Moment điện từ và tốc độ của động cơ ứng với tần số  $f = 150\text{Hz}$



Hình 9. Dòng điện của động cơ ứng với tần số  $f = 150\text{Hz}$

### 3. KẾT LUẬN

Từ các nghiên cứu trong bài báo này, ta có thể rút ra một số kết luận như sau:

- Để nghiên cứu về động cơ điện trên ô tô TESLA ta có thể sử dụng phương pháp nghiên cứu thông qua mô phỏng lý thuyết
- Sử dụng phần mềm Matlab/Simulink để mô phỏng các trạng thái hoạt động của động cơ điện với các tần số khác nhau.

- Trong kết quả trên ta thấy, khi thay đổi tần số dòng điện cung cấp cho động cơ thì tốc độ và moment của động cơ có sự biến thiên theo, từ đó ta có thể biết được ứng với các trạng thái làm việc của ô tô bộ biến tần sẽ cung cấp một tần số tối ưu để điều khiển động cơ không đồng bộ trên ô tô, giúp cho ô tô có thể vận hành ổn định ở các chế độ khác nhau.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Phùng Quang (1999), Điều khiển tự động truyền động điện xoay chiều ba pha, Nhà xuất bản giáo dục, Hà nội.
- [2]. Nguyễn Phùng Quang (2006). “Matlab & Simulink”. Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật Hà Nội.
- [3]. Adel Aktaibi & Daw Ghanim “ Dynamic Simulation of a Three-Phase Induction Motor Using Matlab Simulink” the 20th Annual Newfoundland Electrical and Computer Eng. Conference (NECEC 2011), IEEE, November 2011
- [4]. Alfredo Munoz-Garcia, Thomas Lipo, Donald Novotny, A New Induction Motor V/f Control Method Capable of High-Performance Regulation at Low Speeds, IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 34, No. 4, pp. 813-821, 1998.

- [5]. Chee Mun Ong (1997) - Dynamic Simulations of Electric Machinery Using MATLAB SIMULINK -Prentice Hall PTR
- [6]. G. Sieklucki, “An Investigation into the Induction Motor of Tesla Model S Vehicle,” 2018 International Symposium on Electrical Machines (SME), Andrychów, Poland, 2018, pp. 1-6.
- [7]. R. Thomas, L. Garbuio, L. Gerbaud, H. Chazal,” Modeling and design analysis of the Tesla Model S induction motor,” 2020 International Conference on Electrical Machines (ICEM), August 2020.
- [8]. Y.Tang, “Induction Motor with Improved Torque Density”, U.S. Patent 7,741,750 B1, Jun. 22, 2010.
- [9]. DragTimes, “2014 Tesla Model S P85 Dyno Dynamometer Results Graph”, 2014. [Online]. Available: <https://www.dragtimes.com/2014-Tesla-Model-S-Dyno-Results-Graphs-27027.html> .
- [10]. EVcompare.io, “Tesla Model S 85”, 2013. [Online]. Available: [https://evcompare.io/fr/cars/tesla/tesla\\_model\\_s\\_85/](https://evcompare.io/fr/cars/tesla/tesla_model_s_85/) .
- [11]. Evans Electric. “HOW ITS MADE: Tesla Electric Motor Manufacture” [Online]. Youtube, June 18, 2021. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=v66vBb1FK2k>