

**NGHIÊN CỨU, PHÁT TRIỂN MÔ HÌNH TRỤC ĐÀN HỒI
 TRONG HỆ THỐNG TRUYỀN LỰC CỦA Ô TÔ**
**RESEARCH AND DEVELOPMENT OF THE FLEXIBLE SHAFT MODEL
 ON DRIVETRAIN OF VEHICLE**

LÃ QUỐC TIỆP^{1*}, NGUYỄN THANH HÀ², PHÙNG MINH TRUNG³

¹Khoa Động lực, Học viện Kỹ thuật Quân sự

²Viện Kỹ thuật Cơ giới quân sự

³Trường Cao đẳng Công nghệ và Kỹ thuật ô tô

*Email liên hệ: tiiep.laquoc@lqdtu.edu.vn

Tóm tắt

Bài báo trình bày phương pháp nghiên cứu và phát triển mô hình trục đàn hồi dựa lý thuyết động lực điện và phương trình Telegrapher. Trong kỹ thuật này được thực hiện bằng việc mở rộng lý thuyết đường truyền hai dây để mô hình hoá hệ thống động lực giúp mô tả hoàn chỉnh động lực học của trục đàn hồi. Do đó, mô hình trục đàn hồi được mô tả đầy đủ với các tính chất đặc trưng của nó. Kết quả nghiên cứu có thể ứng dụng để khảo sát các đặc tính của hệ thống truyền lực trên ô tô.

Từ khóa: Trục đàn hồi, lý thuyết đường truyền hai dây, hệ thống động lực, ô tô, đường truyền lực, động lực điện, phương trình Telegrapher.

Abstract

Paper presents research and development method of flexible shaft based on the theory of electric dynamics and the Telegrapher's Equation. Transmission line modelling techniques are based on the extension of the modelling theory of two-wire transmission lines to the modelling of dynamic systems to describe complex flexible shaft dynamic. Therefore, the specificities of the model are determined completely and accurately. The results can apply to consider characteristics of vehicle drivetrain.

Keywords: Flexible shaft, theory of two-wire transmission lines, drivetrain, vehicle, transmission line, electric dynamics, Telegrapher's Equation.

1. Đặt vấn đề

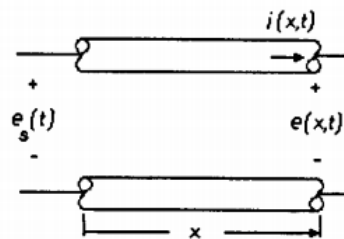
Hệ thống truyền lực của ô tô là một hệ thống phức tạp bao gồm nhiều cụm, nhiều phần tử có tính chất, đặc tính khác nhau như tính chất ma sát của ly hợp, tính chất đàn hồi của ly hợp, của các trục, bánh răng trong hộp số, trục các đăng, bán trục,... Các đặc tính của các cụm, phần tử ảnh hưởng lớn đến đặc tính

chung của hệ thống. Trong các nghiên cứu động lực học chuyên động thẳng ô tô trước đó, thường coi các trục là các cứng hoàn toàn nên không đánh giá được quá trình quá độ, cộng hưởng xảy ra trong hệ thống, [1]. Một số nghiên cứu cũng đã đánh giá ảnh hưởng của tính đàn hồi của các trục đến đặc tính chung song chưa đưa ra được mô hình toán học của các trục này, [2]. Từ đó, bài báo sẽ đi nghiên cứu, phát triển mô hình trục đàn hồi dựa trên lý thuyết động lực điện và phương trình Telegrapher để mô tả cụ thể các đặc tính của nó.

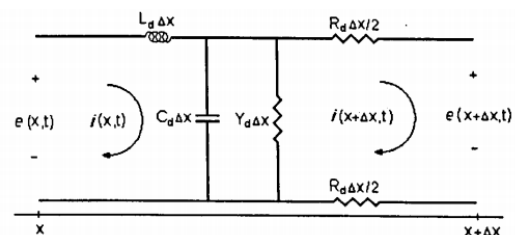
2. Cơ sở lý thuyết

2.1. Cơ sở lý thuyết đường truyền hai dây dẫn

Một đường truyền tải điện là một sự sắp xếp của một cặp dây dẫn song song mà trên đó năng lượng điện được truyền tải. Quá trình này được nghiên cứu bằng cách xem xét sự chênh lệch điện áp giữa các dây dẫn, $e(x,t)$ và dòng điện, $i(x,t)$, của đường dây truyền tải tại một khoảng cách tùy ý, x , từ nguồn, $e_s(t)$, tại thời điểm $t > 0$, như trong Hình 1.



Hình 1. Đường truyền hai dây dẫn [7]



Hình 2. Phần tử của đường truyền với chiều dài Δx

Đường truyền này được phân tích bằng việc phân tích một phần tử của đường truyền có độ dài Δx . Mạch điện tương đương của nó được trình bày trong Hình 2.

Trong đó, R_d, L_d, Y_d, C_d đặc trưng cho điện trở, điện cảm, độ dẫn điện, điện dung trên một đơn vị chiều dài của đường dây (các thông số này có thể được coi là không đổi). Áp dụng định luật Kirchoff tại thời điểm t cho phần tử trên đường truyền như Hình 2, ở vị trí x , khi $\Delta x \rightarrow 0$:

$$\frac{\partial}{\partial t} L_d i(x,t) + R_d i(x,t) + \frac{\partial}{\partial x} e(x,t) = 0 \quad (1)$$

$$C_d \frac{\partial}{\partial t} e(x,t) + Y_d e(x,t) + \frac{\partial}{\partial x} i(x,t) = 0 \quad (2)$$

Loại bỏ cả e và i , các hệ số không đổi bậc 2 nhận được phương trình vi phân từng phần:

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} y(x,t) = L_d C_d \frac{\partial^2}{\partial t^2} y(x,t) + (R_d C_d + Y_d L_d) \frac{\partial}{\partial t} y(x,t) + R_d Y_d y(x,t) \quad (3)$$

Đặt: $\chi = \frac{1}{\sqrt{L_d C_d}}$; $\delta = \frac{R_d}{L_d}$; $\eta = \frac{Y_d}{C_d}$ và sắp xếp

lại phương trình (3), nhận được:

$$\chi^2 \frac{\partial^2}{\partial x^2} y(x,t) = \frac{\partial^2}{\partial t^2} y(x,t) + (\delta + \eta) \frac{\partial}{\partial t} y(x,t) + (\delta \eta) y(x,t) \quad (4)$$

Trong đó, $y(x,t)$ thay thế cho $e(x,t)$ hoặc $i(x,t)$. Phương trình vi phân từng phần trên được biết đến là phương trình Telegrapher, bởi vì nó xuất hiện lần đầu tiên khi xác định sự phân bố dòng điện và điện áp cùng với điện thoại cố định. Việc bỏ qua một số tham số trong phương trình (3) dẫn đến các trường hợp đặc biệt sau [4]:

Phương trình đạo hàm riêng Elliptic (phương trình Poisson):

$$L_d = C_d = 0 \text{ và } \kappa_1 = R_d Y_d$$

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} y(x,t) = \kappa_1 y(x,t)$$

Phương trình đạo hàm riêng Parabolic (phương trình khuếch tán):

$$R_d = C_d; R_d \text{ hoặc } Y_d = L_d, \kappa_2 = L_d Y_d \text{ hay } R_d C_d$$

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} y(x,t) = \kappa_2 \frac{\partial}{\partial t} y(x,t) \quad (5)$$

Phương trình vi phân từng phần Hyperbolic (phương trình Helmholtz hay phương trình sóng):

$$R_d = Y_d = 0 \text{ (giảm tổn thất đường truyền) và } \kappa_3 = L_d C_d:$$

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} y(x,t) = \kappa_3 \frac{\partial^2}{\partial t^2} y(x,t) \quad (6)$$

Do đó, phần tử đường truyền có thể được sử dụng dưới các điều kiện cụ thể để mô hình hóa các bài toán liên quan đến một phương trình vi phân từng phần elliptic, parabol hoặc hyperbolic.

2.2. Giải pháp phân tích của phương trình Telegrapher

Biến đổi Laplace phương trình (4) theo thời gian với điều kiện ban đầu bằng 0:

$$\chi^2 \frac{\partial^2}{\partial x^2} y(x,s) = s^2 y(x,s) + (\delta + \eta) s y(x,s) + (\delta \eta) y(x,s) \quad (7)$$

Sắp xếp lại phương trình (4) nhận được:

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} y(x,s) = \frac{1}{\chi^2} (s^2 + (\delta + \eta)s + \delta \eta) y(x,s) \quad (8)$$

Đặt:

$$\gamma^2 = \frac{1}{\chi^2} (s^2 + (\delta + \eta)s + \delta \eta) \text{ hay } \gamma^2 = \frac{1}{\chi^2} (s + \delta)(s + \eta)$$

Do đó:

$$\frac{d^2}{dx^2} y(x,s) = \gamma^2 y(x,s) \quad (9)$$

Áp dụng điều kiện biên và giải phương trình (9) dưới dạng ma trận:

$$\begin{bmatrix} e(x,s) \\ i(x,s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh(\gamma x) & -Z_0 \sinh(\gamma x) \\ -\frac{\sinh(\gamma x)}{Z_0} & \cosh(\gamma x) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e(0,s) \\ i(0,s) \end{bmatrix} \quad (10)$$

Trong đó, γ và Z_0 là hàm lan truyền và trở kháng của đường truyền.

$$\gamma = \sqrt{L_d C_d (s + \delta)(s + \eta)} \quad (11)$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L_d}{C_d} \frac{s + \delta}{s + \eta}} \quad (12)$$

Xét hai trường hợp cụ thể:

- $R_d = Y_d = 0$ (Cách tiếp cận của Whalley và cộng sự [5]), do đó:

$$\gamma = s\sqrt{L_d C_d} \text{ và } Z_0 = \sqrt{L_d / C_d} \quad (13)$$

- $\delta = \eta$ (cách tiếp cận của Abdul-Ameer, [6]):

$$\gamma = (s+b)\sqrt{L_d C_d} \text{ và } Z_0 = \sqrt{L_d / C_d} \quad (14)$$

Như có thể thấy, trường hợp 1 tương đương với trường hợp 2 khi $\delta = \eta = 0$. Với mục đích minh họa, chỉ trường hợp 2 được trình bày theo cách tiếp cận Whalley ($\zeta = Z_0$).

Nếu đầu ra của phần tử thứ j là đầu vào của phần tử tiếp theo và coi x là chiều dài của phần tử thứ j , nhận được:

$$e_j(l_j, s) = e_{j+1}(0, s) = e_{j+1}(s) \quad (15)$$

$$i_j(l_j, s) = i_{j+1}(0, s) = i_{j+1}(s) \quad (16)$$

$$\begin{bmatrix} e_{j+1}(s) \\ e_j(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\xi_j \text{ctnh}(\gamma_j l_j) & \xi_j \text{csnh}(\gamma_j l_j) \\ -\xi_j \text{csnh}(\gamma_j l_j) & \xi_j \text{ctnh}(\gamma_j l_j) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{j+1}(s) \\ i_j(s) \end{bmatrix} \quad (17)$$

Tần số lan truyền cho mỗi đoạn của đường dây được biểu thị theo đường dây có tần số lan truyền lớn nhất trong miền thời gian rời rạc hoặc tần số giả định. Vì vậy, thời gian lan truyền của các sóng trên đoạn đường truyền j có thể được giả định là:

$$\Delta t_j = 4l_j \sqrt{L_j C_j} \quad (18)$$

Whalley [3], đã chỉ ra rằng đường cơ bản $e^{s\Delta t_j/2}$ tạo ra tần số đủ cao để tạo ra mọi sóng khác từ bộ số nguyên của nó. Do đó, thời gian trễ trong quá trình lan truyền của thể được biểu thị:

$$\tau_j = \Delta t_j / 2 \quad (19)$$

τ_j và $e^{s\tau_j}$ là các giá trị phụ thuộc, và:

$$\beta_j = e^{\tau_j \delta} \quad (20)$$

$$\text{ctnh}(\gamma_j l_j) = w_j = (\beta_j z_j + 1) / (\beta_j z_j - 1) \quad (21)$$

$$\text{csnh}(\gamma_j l_j) = \sqrt{\text{ctnh}^2(\gamma_j l_j) - 1} \quad (22)$$

$$\text{csnh}(\gamma_j l_j) = \sqrt{w_j^2 - 1} \quad (23)$$

Khi đó phương trình (17) trở thành:

$$\begin{bmatrix} e_{j+1}(w_{j+1}) \\ e_j(w_j) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\xi_j w_j & \xi_j \sqrt{w_j^2 - 1} \\ -\xi_j \sqrt{w_j^2 - 1} & \xi_j w_j \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{j+1}(w_{j+1}) \\ i_j(w_j) \end{bmatrix} \quad (24)$$

Ở dạng ma trận chuyển hay trở kháng:

$$\begin{bmatrix} i_j(w_j) \\ i_{j+1}(w_{j+1}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \xi_j^{-1} w_j & -\xi_j^{-1} \sqrt{w_j^2 - 1} \\ \xi_j^{-1} \sqrt{w_j^2 - 1} & \xi_j^{-1} w_j \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_j(w_j) \\ e_{j+1}(w_{j+1}) \end{bmatrix} \quad (25)$$

Phương trình (24) được viết lại trong miền z :

$$e_j(z_j) = \xi_j \left(\frac{\beta_j z_j + 1}{\beta_j z_j - 1} \right) i_j(z_j) - 2\xi_j \left(\frac{\beta_j^{1/2} z_j^{1/2}}{\beta_j z_j - 1} \right) i_{j+1}(z_{j+1}) \quad (26)$$

$$e_{j+1}(z_{j+1}) = 2\xi_j \left(\frac{\beta_j^{1/2} z_j^{1/2}}{\beta_j z_j - 1} \right) i_j(z_j) - \xi_j \left(\frac{\beta_j z_j + 1}{\beta_j z_j - 1} \right) i_{j+1}(z_{j+1}) \quad (27)$$

Ở dạng trễ:

$$e_j(z_j^{-1}) = \xi_j \left(\frac{1 + \beta_j^{-1} z_j^{-1}}{1 - \beta_j^{-1} z_j^{-1}} \right) i_j(z_j^{-1}) - 2\xi_j \left(\frac{\beta_j^{-1/2} z_j^{-1/2}}{1 - \beta_j^{-1} z_j^{-1}} \right) i_{j+1}(z_{j+1}^{-1}) \quad (28)$$

$$e_{j+1}(z_{j+1}^{-1}) = 2\xi_j \left(\frac{\beta_j^{-1/2} z_j^{-1/2}}{1 - \beta_j^{-1} z_j^{-1}} \right) i_j(z_j^{-1}) - \xi_j \left(\frac{1 + \beta_j^{-1} z_j^{-1}}{1 - \beta_j^{-1} z_j^{-1}} \right) i_{j+1}(z_{j+1}^{-1}) \quad (29)$$

Bằng cách áp dụng cách xử lý tương tự đối với tính dẫn điện từ công thức (25), nhận được:

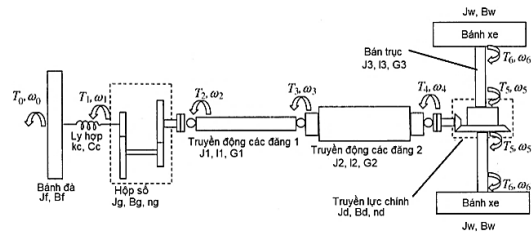
$$i_j(z_j^{-1}) = \xi_j^{-1} \left(\frac{1 + \beta_j^{-1} z_j^{-1}}{1 - \beta_j^{-1} z_j^{-1}} \right) e_j(z_j^{-1}) - 2\xi_j^{-1} \left(\frac{\beta_j^{-1/2} z_j^{-1/2}}{1 - \beta_j^{-1} z_j^{-1}} \right) e_{j+1}(z_{j+1}^{-1}) \quad (30)$$

$$i_{j+1}(z_{j+1}^{-1}) = 2\xi_j^{-1} \left(\frac{\beta_j^{-1/2} z_j^{-1/2}}{1 - \beta_j^{-1} z_j^{-1}} \right) e_j(z_j^{-1}) - \xi_j^{-1} \left(\frac{1 + \beta_j^{-1} z_j^{-1}}{1 - \beta_j^{-1} z_j^{-1}} \right) e_{j+1}(z_{j+1}^{-1}) \quad (31)$$

Cần lưu ý rằng $\beta = 1$ khi $\delta = 0$ (trường hợp 1, dòng ít tổn thất).

3. Ứng dụng khảo sát đặc tính của hệ thống truyền lực ô tô

Ứng dụng lý thuyết đường truyền hai dây, bài báo tiến hành khảo sát đặc tính của hệ thống truyền lực có sơ đồ như Hình 3.



Hình 3. Hệ thống truyền lực khảo sát

3.1. Thông số ban đầu

Hệ thống truyền lực khảo sát có thông số ban đầu như sau: Mô men quán tính khối lượng bánh đà (BĐ), bánh răng hộp số (HS), truyền lực chính và vi sai (TLC và VS), trục các đăng (CĐ), bán trục (BT), bánh xe (BX): $J_f=0,3076\text{kg.m}^2$; $J_g=0,003\text{kg.m}^2$; $J_d=0,435\text{kg.m}^2$; $J_1=1,531.10^{-7}\text{kg.m}^2$; $J_2=7,952.10^{-8}\text{kgm}^2$; $J_w = 2,0\text{kg.m}^2$; Độ cứng của ly hợp (LH): $k_c=27,12\text{Nm/rad}$; Hệ số giảm chấn xoắn của LH: $C_c=10\text{Nms/rad}$; Hệ số cản nhớt của HS, TLC và VS,

của BX với đường: $B_g=2,0\text{Nms/rad}$; $B_d=1,0\text{Nms/rad}$; $B_w=1015\text{Nms/rad}$; Mô đun đàn hồi trượt của CD, BT: $G_1=80,8.10^9\text{N/m}^2$; $G_2=7,3.10^9\text{N/m}^2$; Chiều dài CD, BT: $l_1=0,435\text{m}$; $l_2=0,877\text{m}$; Tỷ số truyền HS, TLC: $i_{hs}=2,08$; $i_d = 4,11$.

- Điều kiện mô phỏng: Hệ chịu tác dụng của mô men dạng xung với điều kiện ban đầu là hệ đang ở trạng thái tĩnh.

3.2. Kết quả và thảo luận

Trong các công thức tại Mục 2, thay thế các biến e, i bởi T (mô men), ω (vận tốc góc), $L_i, C_i, w_i, \tau_{is}, \xi_i$ bởi các công thức sau:

$$L_i = J_i \cdot \rho_i; \quad C_d = \frac{1}{G_i J_i}; \quad E_i = w_i = \frac{e^{i\omega T_{is}} + 1}{e^{i\omega T_{is}} - 1};$$

$$\tau_{is} = 2l_i \sqrt{L_i C_i} = 2l_i \sqrt{\frac{\rho_i}{G_i}}; \quad \xi_i = \sqrt{\frac{L_i}{C_i}} = J_i \sqrt{\rho_i G_i}$$

Với các thông số ở Bảng 1, các thông số tính được như sau:

$$C_1 = 8,08.10^{-5} [1/\text{Nm}^2]; \quad L_1 = 1,19.10^{-3} [\text{N/s}^2]$$

$$\tau_{1s} = 5,4.10^{-4} [\text{s}]; \quad \xi_1 = 3,84604 [\text{Nm/s}]$$

$$C_2 = 6,45.10^{-6} [1/\text{Nm}^2]; \quad L_2 = 14,97.10^{-3} [\text{N/s}^2]$$

$$\tau_{2s} = 11,9.10^{-4} [\text{s}]; \quad \xi_2 = 48,16546 [\text{Nm/s}]$$

$$C_3 = 1,62.10^{-4} [1/\text{Nm}^2]; \quad L_3 = 6,21.10^{-4} [\text{N/s}^2]$$

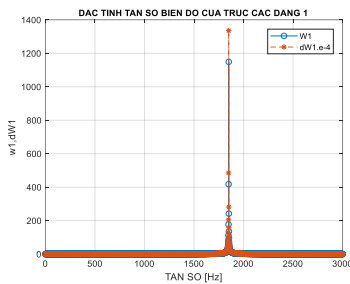
$$\tau_{3s} = 11,14.10^{-4} [\text{s}]; \quad \xi_3 = 0,95389 [\text{Nm/s}]$$

Sử dụng phần mềm Matlab tiến hành mô phỏng xác định đặc tính tần số biên độ của các phần tử đàn hồi (Hình 4, 5, 6), hệ thống (Hình 7, 8, 9):

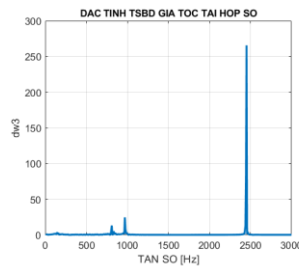
Đặc tính tần số biên độ của hệ thống truyền lực được thể hiện trên Hình 7, 8, 9.

Bài báo tiến hành mô phỏng đặc tính của hệ thống truyền lực đàn hồi (với các phần tử CD, BT đàn hồi) và hệ thống truyền lực cứng (với các phần tử CD, BT là cứng hoàn toàn) để có sự so sánh đặc tính động của hai hệ thống. Đặc tính của hệ thống truyền lực đàn hồi và hệ thống truyền lực cứng trong miền thời gian được thể hiện trên Hình 10, 11.

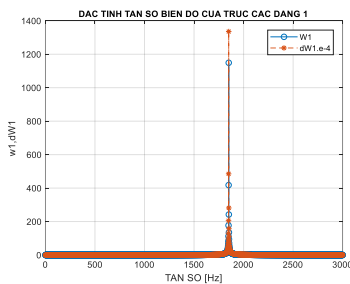
Qua kết quả khảo sát trên đồ thị từ Hình 4 đến Hình 9 nhận thấy, các tần số cộng hưởng của các thành phần đàn hồi trong hệ thống tương ứng với các tần số cộng hưởng của các hệ thống. Đối với ô tô, động cơ



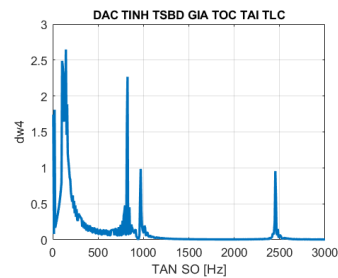
Hình 4. Đặc tính tần số biên độ của trục CD thứ nhất



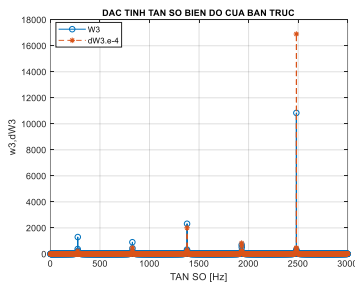
Hình 7. Đặc tính tần số biên độ của gia tốc tại hộp số



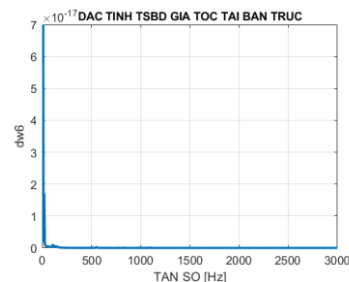
Hình 5. Đặc tính tần số biên độ của trục CD thứ 2



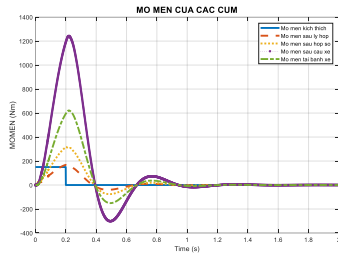
Hình 8. Đặc tính tần số biên độ của gia tốc tại TLC



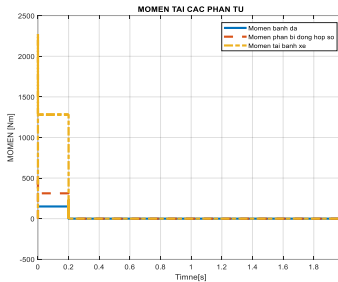
Hình 6. Đặc tính tần số biên độ của bán trục



Hình 9. Đặc tính tần số biên độ của gia tốc tại bán trục

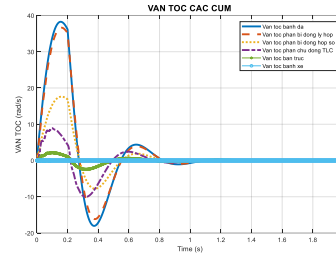


a. Mô hình đàn hồi

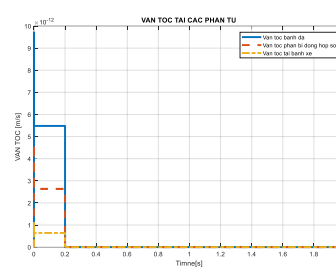


b. Mô hình cứng

Hình 10. Mô men của các cụm trong hệ thống truyền lực



a. Mô hình đàn hồi



b. Mô hình cứng

Hình 11. Vận tốc của các cụm trong hệ thống truyền lực

thường làm việc trong khoảng vận tốc từ 1000 đến 6000 vòng/phút tương ứng với tần số làm việc từ 16,67 đến 100Hz, do đó các tần số cộng hưởng của các thành phần đàn hồi nằm ngoài vùng làm việc của động cơ, không gây rung động cộng hưởng làm phát sinh tải trọng động trong hệ thống truyền lực. Kết quả này hoàn toàn phù hợp trong thiết kế ô tô.

Khi mô phỏng trên miền thời gian (Hình 10, 11), với hệ thống có phần tử đàn hồi hệ thống mềm hơn thể hiện sự xuất hiện dao động trong hệ thống do đó thời gian để hệ trở lại trạng thái ổn định dài hơn. Đây chính là tính chất của hệ thống có các phần tử đàn hồi (*phần tử tạo dao động*) trong các lĩnh vực kỹ thuật.

4. Kết luận

Bài báo đã tiến hành xây dựng và phát triển mô hình trục đàn hồi dựa trên lý thuyết đường truyền hai dây trong kỹ thuật điện. Đồng thời đã ứng dụng mô hình để khảo sát đặc tính của một hệ thống truyền lực. Kết quả khảo sát đã đánh giá được ảnh hưởng của các trục đàn hồi đến đặc tính chung của hệ thống. Từ đó có những so sánh cụ thể với mô hình cứng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Nguyễn Sĩ Đình, Lã Quốc Tiệp, *Khảo sát chất lượng động lực học chuyển động thẳng của ô tô sau diesel hoá*, Tạp chí Cơ khí Việt Nam, tr.108-113, 2018.
 [2] Ngô Văn Thanh, Nguyễn Thành Công, Nguyễn Tiến Hán, Vũ Văn Thuyết, *Phân tích dao động riêng hệ trục-bánh răng hộp số cơ khí ô tô bằng phương pháp phần tử hữu hạn*, Tạp chí Khoa học

và công nghệ xây dựng, Số 4, tr.90-94, 2017.
 [3] Bartlett, H & Whalley, R, *The Response of Distributed-Lumped Parameter Systems*, Proceedings of Institution of Mechanical Engineers, Part C, Journal of Mechanical Engineering Science, Part C, Vol.202, No.6, pp. 421-429, 1998.
 [4] Sadiku, M.N.O, Agba, L.C, *A Simple Introduction to the Transmission Line Modeling*, IEEE Transaction on Circuits and Systems, Vol.31, No.8, pp.991-999, 1990.
 [5] Bartlett, H., Whalley, R, *Analogue Solution To The Modelling And Simulation Of Distributed-Lumped Parameter Systems*, Proceedings of Institution of Mechanical Engineers, Part I, Vol.212, pp.99-114, 1998.
 [6] Abdul-Ameer, A.A, *Mathematical Modelling And Simulation Of Hybrid Mechanical Systems*, PhD Thesis. University of Bradford (UK), 2001.
 [7] Breitholtz, C., Molander, M, and Navarro-Adlemo, R, *Space and time continuous lumped transmission line model*, IEE Proceedings G, Vol. 138, No.6: pp 661-670, 1991.
 [8] Singer, S. and Shmilovitz, D, *Transformer matrix of some transmission lines topologies*, IEE Proceedings Circuits, Devices and Systems, Vol.142, No.1: pp.21-26, 1995.

Ngày nhận bài: 27/6/2021
 Ngày nhận bản sửa: 09/8/2021
 Ngày duyệt đăng: 15/8/2021