
CHƯƠNG II

XÂY DỰNG HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN BẰNG MÔ HÌNH THUẬN VÀ NGƯỢC PHI TUYẾN

(Mô hình thuận – Mô hình ngược chính xác)

NỘI DUNG

- 2.1 Các phương trình cơ bản.
- 2.2 Mô hình trạng thái động cơ trên hệ tọa độ stator.
- 2.3 Xây dựng mô hình động cơ bằng Matlab (Hệ tọa độ stator).
- 2.4 Mô hình trạng thái động cơ trên hệ tọa độ rotor (mô hình thuận phi tuyến).
- 2.5 Xây dựng mô hình thuận phi tuyến bằng Matlab (Hệ tọa độ rotor).
- 2.6 Xây dựng mô hình ngược phi tuyến – mô phỏng Matlab.
- 2.7 Xây dựng phương trình và mô phỏng bộ biến đổi (Inverter).
- 2.8 Xây dựng và mô phỏng bộ lọc (IMC filter).
- 2.9 Kết quả mô phỏng.
 - a) Thông số thiết kế.
 - b) Đáp ứng danh định.
 - c) Tính bền vững đối với sự thay đổi của điện trở R_s , R_r .
 - d) Tính bền vững đối với sự thay đổi của điện cảm và hồ cảm L_s , L_r , L_m .
 - e) Tính bền vững đối với thay đổi của Moment quán tính J .
 - f) Tính bền vững khi tất cả các thông số đều thay đổi.
- 2.10 Nhận xét.

Trong mô hình thuận và mô hình ngược moment tải được xem như bằng không nên không cần phải ước lượng moment tải hay hồi tiếp thông số moment từ động cơ về. Điều này làm đơn giản được hệ phương trình động của động cơ – giảm khối lượng tính toán.

Để dàng thay đổi thời gian đáp ứng của hệ thống thông qua việc thay đổi thông số của bộ lọc.

- 2.1 Các phương trình cơ bản.

Đặc tính động của động cơ không đồng bộ được mô tả với một hệ phương trình vi phân. Khi xây dựng phương trình cho động cơ, ta thường lý tưởng hóa kết cấu dây quấn và mạch từ với các giả thuyết sau:

- * Các dây quấn được bố trí đối xứng trong không gian.
- * Bỏ qua các tổn hao sắt từ và sự bão hòa của mạch từ.
- * Dòng từ hóa và từ trường phân bố hình sin trong khe hở không khí.
- * Các giá trị điện trở và điện kháng xem như không đổi.

Phương trình điện áp trên 3 dây quấn stator:

$$u_{su}(t) = R_s i_{su}(t) + \frac{d\Psi_{su}(t)}{dt} \quad (2.1a)$$

$$u_{sv}(t) = R_s i_{sv}(t) + \frac{d\Psi_{sv}(t)}{dt} \quad (2.1b)$$

$$u_{sw}(t) = R_s i_{sw}(t) + \frac{d\Psi_{sw}(t)}{dt} \quad (2.1c)$$

Với $u_{su}(t), u_{sv}(t), u_{sw}(t)$: Điện áp trên 3 cuộn dây pha của stator.
 $\Psi_{su}(t), \Psi_{sv}(t), \Psi_{sw}(t)$: Từ thông móc vòng trên 3 dây quấn stator.
 R_s : Điện trở dây quấn pha của stator.

Biểu diễn điện áp theo dạng vector :

$$\bar{u}_s^p(t) = \frac{2}{3} \left[u_{su}(t) + u_{sv}(t).e^{j120^\circ} + u_{sw}(t).e^{j240^\circ} \right] \quad (2.2)$$

Thay các phương trình điện áp pha (2.1a),(2.1b),(2.1c) vào (2.2), ta được:

$$\bar{u}_s^s = R_s \cdot \bar{i}_s^s + \frac{d\bar{\Psi}_s^s(t)}{dt} \quad (2.3)$$

Trong đó:

$$\bar{i}_s^s(t) = \frac{2}{3} \left[i_{su}(t) + i_{sv}(t).e^{j120^\circ} + i_{sw}(t).e^{j240^\circ} \right] \quad (2.4)$$

$$\bar{\Psi}_s^s(t) = \frac{2}{3} \left[\Psi_{su}(t) + \Psi_{sv}(t).e^{j120^\circ} + \Psi_{sw}(t).e^{j240^\circ} \right] \quad (2.5)$$

Với:

- * $\bar{i}_s^s(t)$: Vector dòng stator.
- * $\bar{\Psi}_s^s(t)$: Vector từ thông stator.
- * Chỉ số “s” ở trên chỉ hệ quy chiếu stator.

Tương tự, ta có phương trình điện áp của mạch rotor. Khi quan sát trên hệ rotor (rotor gắn mạch) :

$$\bar{u}_r^r = \bar{0} = R_r \cdot \bar{i}_r^r(t) + \frac{d\bar{\Psi}_r^r(t)}{dt} \quad (2.6)$$

Với:

- * \bar{u}_r^r : Vector điện áp rotor.
- * $\bar{i}_r^r(t)$: Vector dòng rotor.
- * $\bar{\Psi}_r^r(t)$: Vector từ thông rotor.
- * R_r : Điện trở rotor đã tính quy đổi qua hệ stator.
- * $\bar{0}$: Vector không (modul bằng không).

Các cuộn dây của động cơ có giá trị điện cảm :

- * L_m : Hồ cảm giữa rotor và stator.
- * $L_{\sigma s}$: Điện kháng tản của dây quấn stator.
- * $L_{\sigma r}$: Điện kháng tản của dây quấn rotor.

Từ các giá trị điện cảm trên ta có:

- * $L_s = L_m + L_{\sigma s}$: Điện cảm stator.
- * $L_r = L_m + L_{\sigma r}$: Điện cảm rotor.

Các vector từ thông stator và rotor quan hệ với các dòng stator và rotor:

$$\bar{\Psi}_s = L_s \cdot \bar{i}_s + L_m \cdot \bar{i}_r \quad (2.7a)$$

$$\bar{\Psi}_r = L_m \cdot \bar{i}_s + L_r \cdot \bar{i}_r \quad (2.7b)$$

Đối với động cơ không đồng bộ là một hệ điện cơ nên ta có phương trình cơ:

$$M_c = M_T + \frac{J}{P} * \frac{d\omega}{dt} \quad (2.8)$$

Với:

- * J : Moment quán tính cơ.
- * P : Là số đôi cực của động cơ.
- * ω : Là tốc độ của động cơ.
- * M_T : Moment tải.
- * M_c : Moment điện từ.

$$M_c = \frac{3}{2} p(\bar{\Psi}_s \times \bar{i}_s) = -\frac{3}{2} p(\bar{\Psi}_r \times \bar{i}_r) \quad (2.9)$$

2.2 Mô hình trạng thái động cơ trên hệ tọa độ stator.

Từ phương trình (2.6), quy về hệ quy chiếu stator :

$$\begin{aligned} \bar{i}_r^r &= \bar{i}_r^s e^{-j\omega_s t} \\ \bar{\Psi}_r^r &= \bar{\Psi}_r^s e^{-j\omega_s t} \end{aligned}$$

$$0 = R_r \bar{i}_r^s + \frac{d\bar{\Psi}_r^s(t)}{dt} - j\omega \bar{\Psi}_r^s \quad (2.10)$$

Vậy từ các phương trình :(2.3),(2.7),(2.8) và(2.10) ta có hệ phương trình:

$$\bar{u}_s^s = R_s \bar{i}_s^s + \frac{d\bar{\Psi}_s^s}{dt} \quad (2.11a)$$

$$0 = R_r \bar{i}_r^s + \frac{d\bar{\Psi}_r^s(t)}{dt} - j\omega \bar{\Psi}_r^s \quad (2.11b)$$

$$\bar{\Psi}_s^s = L_s \bar{i}_s^s + L_m \bar{i}_r^s \quad (2.11c)$$

$$\bar{\Psi}_r^s = L_m \bar{i}_s^s + L_r \bar{i}_r^s \quad (2.11d)$$

$$M_c = \frac{3}{2} p(\bar{\Psi}_s \times \bar{i}_s) = -\frac{3}{2} p(\bar{\Psi}_r \times \bar{i}_r) \quad (2.11e)$$

$$M_c = M_T + \frac{J}{P} * \frac{d\omega}{dt} \quad (2.11f)$$

Để đưa về hệ phương trình với biến: Dòng điện stator và từ thông rotor, từ phương trình (2.11d) và (2.11c):

$$\bar{i}_r^s = \frac{1}{L_r} (\bar{\Psi}_r^s - L_m \bar{i}_s^s) \quad (2.12)$$

$$\bar{\Psi}_s^s = L_s \bar{i}_s^s + \frac{L_m}{L_r} (\bar{\Psi}_r^s - L_m \bar{i}_s^s) \quad (2.13)$$

Thay (2.12) & (2.13) vào (2.11a) & (2.11b) và chú ý thêm các định nghĩa sau:

$$T_s = \frac{L_s}{R_s} : \text{Hằng số thời gian stator.}$$

$$T_r = \frac{L_r}{R_r} : \text{Hằng số thời gian rotor.}$$

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_s L_r} \text{ là hệ số từ tản tổng.}$$

$$\bar{U}_s^s = R_s \bar{i}_s^s + \sigma L_m \frac{d\bar{i}_s^s}{dt} + \frac{L_m}{L_r} \frac{d\bar{\Psi}_r^s}{dt} \quad (2.24)$$

$$0 = -\frac{L_m}{F_r} \bar{i}_s^s + \left(\frac{1}{T_r} - j\omega \right) \bar{\Psi}_r^s + \frac{d\bar{\Psi}_r^s}{dt} \quad (2.25)$$

$$d\bar{i}_s^s = -\left(\frac{R_s}{\sigma L_s} + \frac{1}{\sigma L_s} \frac{L_m^2}{L_r T_r} \right) \bar{i}_s^s + \frac{1}{\sigma L_s} \frac{L_m}{L_r} \left(\frac{1}{T_r} - j\omega \right) \bar{\Psi}_r^s + \frac{1}{\sigma L_s} \bar{U}_s^s \quad (2.16)$$

$$\frac{d\bar{\Psi}_r^s}{dt} = \frac{L_m}{T_r} \bar{i}_s^s - \left(\frac{1}{T_r} - j\omega \right) \bar{\Psi}_r^s \quad (2.17)$$

Hay:

$$\frac{d\bar{i}_s^s}{dt} = -\left(\frac{1}{\sigma T_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r}\right)\bar{i}_s^s + \frac{1-\sigma}{\sigma L_m}\left(\frac{1}{T_r} - j\omega\right)\bar{\Psi}_r^s + \frac{1}{\sigma i_s}\bar{U}_s^s \quad (2.18)$$

$$\frac{d\bar{\Psi}_r^s}{dt} = \frac{L_m}{T_r}\bar{i}_s^s - \left(\frac{1}{T_r} - j\omega\right)\bar{\Psi}_r^s \quad (2.19)$$

Chuyển sang dạng các thành phần của vector trên 2 trục toạ độ ta được:

$$\frac{di_{s\alpha}}{dt} = -\left(\frac{1}{\sigma T_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r}\right)i_{s\alpha} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r L_m}\Psi_{r\alpha} + \frac{1-\sigma}{\sigma L_m}\omega\Psi_{r\beta} + \frac{1}{\sigma L_s}U_{s\alpha} \quad (2.20a)$$

$$\frac{di_{s\beta}}{dt} = -\left(\frac{1}{\sigma T_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r}\right)i_{s\beta} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r L_m}\Psi_{r\beta} + \frac{1-\sigma}{\sigma L_m}\omega\Psi_{r\alpha} + \frac{1}{\sigma L_s}U_{s\beta} \quad (2.20b)$$

$$\frac{d\Psi_{r\alpha}}{dt} = \frac{L_m}{T_r}i_{s\alpha} - \frac{1}{T_r}\Psi_{r\alpha} - \omega\Psi_{r\beta} \quad (2.20c)$$

$$\frac{d\Psi_{r\beta}}{dt} = \frac{L_m}{T_r}i_{s\alpha} - \frac{1}{T_r}\Psi_{r\beta} + \omega\Psi_{r\alpha} \quad (2.20d)$$

Chia 2 vế (2.20c), (2.20d) cho L_m đồng thời đặt:

$$\Psi'_{r\alpha} = \frac{\Psi_{r\alpha}}{L_m}; \Psi'_{r\beta} = \frac{\Psi_{r\beta}}{L_m} \quad (\text{gọi là từ thông chuẩn hoá}):$$

$$\frac{di_{s\alpha}}{dt} = -\left(\frac{1}{\sigma T_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r}\right)i_{s\alpha} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r}\Psi'_{r\alpha} + \frac{1-\sigma}{\sigma}\omega\Psi'_{r\beta} + \frac{1}{\sigma L_s}U_{s\alpha} \quad (2.21a)$$

$$\frac{di_{s\beta}}{dt} = -\left(\frac{1}{\sigma T_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r}\right)i_{s\beta} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r}\Psi'_{r\beta} + \frac{1-\sigma}{\sigma}\omega\Psi'_{r\alpha} + \frac{1}{\sigma L_s}U_{s\beta} \quad (2.21b)$$

$$\frac{d\Psi'_{r\alpha}}{dt} = \frac{1}{T_r}i_{s\alpha} - \frac{1}{T_r}\Psi'_{r\alpha} - \omega\Psi'_{r\beta} \quad (2.21c)$$

$$\frac{d\Psi'_{r\beta}}{dt} = \frac{L_m}{T_r} i_{s\alpha} - \frac{1}{T_r} \Psi'_{r\beta} + \omega \Psi'_{r\alpha} \quad (2.21d)$$

Thay phương trình (2.12) vào phương trình (2.11):

$$M_e = -\frac{3}{2} P \left[\bar{\Psi}'_{rx} (\bar{\Psi}'_r - L_m \bar{i}'_s) \frac{1}{L_r} \right] = \frac{3}{2} P \frac{L_m}{L_r} (\bar{\Psi}'_{rx} \bar{i}'_s)$$

Thay các thành phần của vector từ thông rotor và dòng stator, ta được:

$$M_e = \frac{3}{2} P \frac{L_m}{L_r} (\Psi_{r\alpha} i_{s\beta} - \Psi_{r\beta} i_{s\alpha}) \quad (2.22)$$

Vậy:
$$M_e = \frac{3}{2} P \frac{L_m^2}{L_r} (\Psi'_{r\alpha} i_{s\beta} - \Psi'_{r\beta} i_{s\alpha}) \quad (2.23)$$

Đặt
$$a_1 = \frac{1}{\sigma T_r} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r} ; \quad a_2 = \frac{1-\sigma}{\sigma T_r}$$

$$a_3 = \frac{1-\sigma}{\sigma} ; \quad a_4 = \frac{1}{\sigma L_s}$$

$$a_5 = \frac{1}{T_r} ; \quad a_6 = \frac{3}{2} p \frac{L_m^2}{L_r}$$

Hệ phương trình (2.21) và (2.23) trở thành:

$$\frac{di_{s\alpha}}{dt} = -a_1 i_{s\alpha} + a_2 \Psi'_{r\alpha} + a_3 \omega \Psi'_{r\beta} + a_4 u_{s\alpha} \quad (2.24a)$$

$$\frac{di_{s\beta}}{dt} = -a_1 i_{s\beta} - a_3 \omega \Psi'_{r\alpha} + a_2 \Psi'_{r\beta} + a_4 u_{s\beta} \quad (2.24b)$$

$$\frac{d\Psi'_{r\alpha}}{dt} = a_5 i_{s\alpha} - a_5 \Psi'_{r\alpha} + \omega \Psi'_{r\beta} \quad (2.24c)$$

$$\frac{d\Psi'_{r\beta}}{dt} = a_5 i_{s\beta} - \omega \Psi'_{r\alpha} - a_5 \Psi'_{r\beta} \quad (2.24d)$$

$$M_e = a_6 (\Psi'_{r\alpha} i_{s\beta} - \Psi'_{r\beta} i_{s\alpha}) \quad (2.24e)$$

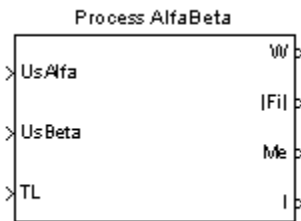
$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{P}{J} [M_c - M_T] \quad (2.24f)$$

2.3 Xây dựng mô hình động cơ bằng Matlab (Hệ tọa độ stator).

Để chứng minh cho các kết quả khảo sát, ta dùng chương trình Matlab với công cụ Simulink để xây dựng các khối cho hệ thống điều khiển.

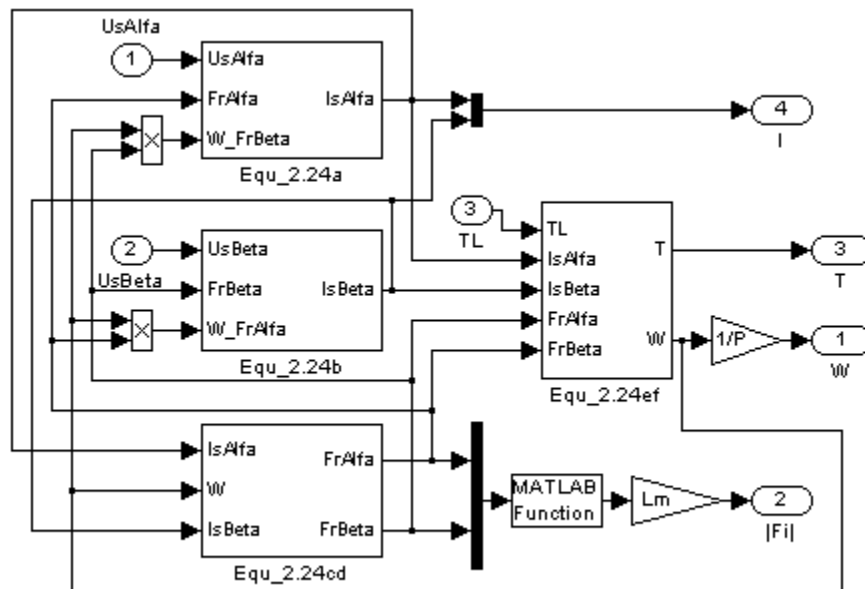
Phần này xây dựng khối động cơ không đồng bộ để thực hiện bài toán điều khiển ở phần sau.

Khối động cơ không đồng bộ được xây dựng dựa vào hệ phương trình liên tục của động cơ trong hệ tọa độ stator, có dạng tổng quát như sau:



Hình 2.1 mô hình động cơ không đồng bộ

Sơ đồ chi tiết trong khối mô phỏng động cơ (hình 2.2 – process alfabeta). Dựa vào hệ phương trình (2.24 a,b,c,d,e,f).

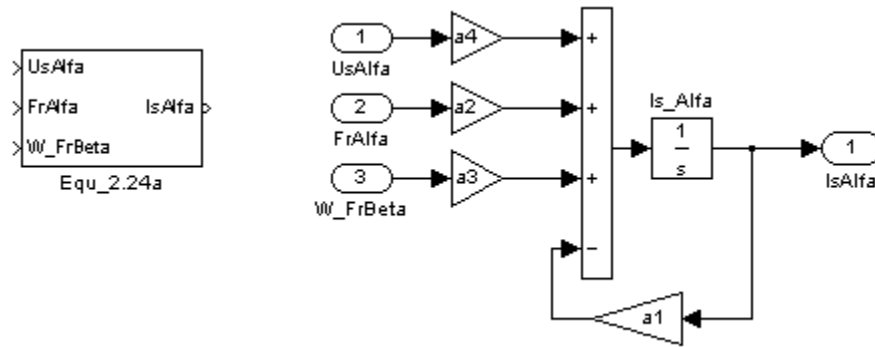


Hình 2.2 – process Alfabeta

* Ở ngõ ra của tốc độ chia cho P để đổi tốc độ từ tốc độ điện sang tốc độ cơ.

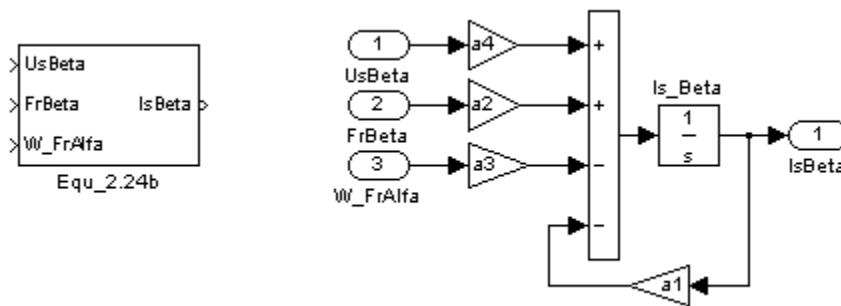
* Ở ngõ ra của từ thông, đại lượng L_m để đổi từ thông “chuẩn hoá” sang từ thông thực.

Khối mô phỏng dòng điện $i_{s\alpha}$ (hình 2.3) dựa vào phương trình (2.24a).



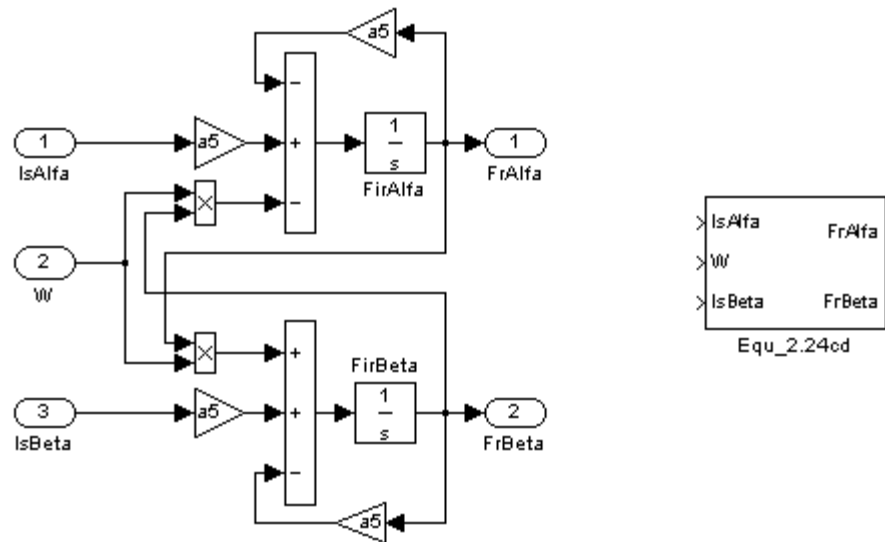
Hình 2.3 Equ_2.24a

Khối mô phỏng dòng điện $i_{s\beta}$ (hình 2.4) dựa vào phương trình (2.24b).



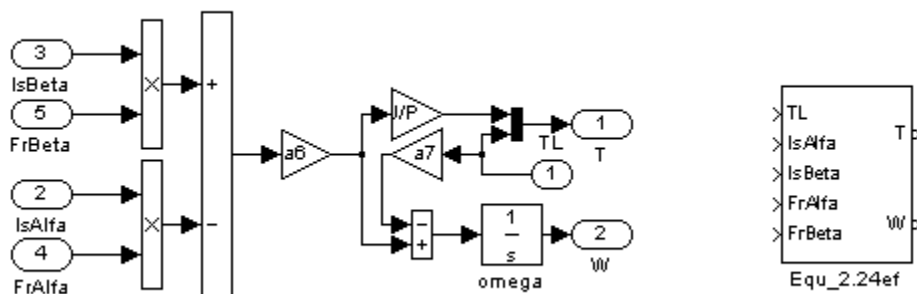
Hình 2.5 Equ_2.24b

Khối mô phỏng từ thông $\psi_{r\alpha}$; $\psi_{r\beta}$ (hình 2.5) dựa vào phương trình (2.24cd).



Hình 2.5: Equ_2.24c,d.

Khối mô phỏng để tính moment (T) và tốc độ (W). (hình 2.6) dựa vào phương trình (2.14e) và (2.24f).



Hình 2.6: Equ_2.24e,f.

ω_s : Tốc độ từ thông rotor so với hệ tọa độ đứng yên.

ω_{sl} : Tốc độ trượt - tốc độ của từ thông rotor so với rotor.

Chỉ số f chỉ cho biết ở hệ tọa độ từ thông rotor.

Kết hợp với hệ phương trình (2.7a),(2.7b) ta có:

$$\bar{u}_s^{-f} = R_s \bar{i}_s^{-f} + \frac{d\bar{\Psi}_s^{-f}}{dt} + j\omega \bar{\Psi}_s^{-f} \quad (2.27a)$$

$$0 = R_r \bar{i}_r^{-f} + j\omega_{sl} \bar{\Psi}_r^{-f} + \frac{d\bar{\Psi}_r^{-f}}{dt} \quad (2.27b)$$

$$\bar{\Psi}_s^{-f} = \bar{i}_s^{-f} L_s + \bar{i}_r^{-f} L_m \quad (2.27c)$$

$$\bar{\Psi}_r^{-f} = \bar{i}_s^{-f} L_m + \bar{i}_r^{-f} L_r \quad (2.27d)$$

Làm tương tự đối với việc xây dựng mô hình động cơ trên hệ tọa độ $\alpha\beta$, khử các biến vector \bar{i}_r^{-f} và $\bar{\Psi}_s^{-f}$ ta được hệ sau:

$$\frac{di_{sd}}{dt} = -\left(\frac{1}{\sigma T_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r}\right) i_{sd} + \omega i_{sq} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r L_m} \Psi_{rd} + \frac{1-\sigma}{\sigma L_m} \omega \Psi_{rq} + \frac{1}{\sigma L_s} u_{sd} \quad (2.28a)$$

$$\frac{di_{sq}}{dt} = -\left(\frac{1}{\sigma T_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r}\right) i_{sq} - \omega_s i_{sd} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r L_m} \Psi_{rq} + \frac{1-\sigma}{\sigma L_m} \omega \Psi_{rd} + \frac{1}{\sigma L_s} u_{sq} \quad (2.28b)$$

$$\frac{d\Psi_{rd}}{dt} = \frac{L_m}{T_r} i_{sd} - \frac{1}{T_r} \Psi_{rd} + (\omega_s - \omega) \Psi_{rq} \quad (2.28c)$$

$$\frac{d\Psi_{rq}}{dt} = \frac{L_m}{T_r} i_{sq} - \frac{1}{T_r} \Psi_{rq} - (\omega_s - \omega) \Psi_{rd} \quad (2.28d)$$

phương trình moment:

$$M_c = p \frac{L_m}{L_r} (\bar{\Psi}_s^{-f} \times \bar{i}_s^{-f})$$

$$M_c = \frac{3}{2} p \frac{L_m}{L_r} (\Psi_{rd} i_{sq} - \Psi_{rq} i_{sd}) \quad (2.29)$$

Đặt các tham số:

$$a_1 = \frac{1}{\sigma T_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r} \quad ; \quad a_2 = \frac{1-\sigma}{\sigma T_r}$$

$$a_3 = \frac{1-\sigma}{\sigma} \quad ; \quad a_4 = \frac{1}{\sigma L_s}$$

$$a_5 = \frac{1}{T_r} \quad ; \quad a_6 = \frac{3}{2} p \frac{L_m^2}{L_r}$$

$$\Psi'_{rd} = \frac{\Psi_{rd}}{L_m} \quad ; \quad \Psi'_{rq} = \frac{\Psi_{rq}}{L_m}$$

Hệ phương trình (2.28) và (2.29) được viết lại:

$$\frac{di_{sd}}{dt} = -a_1 i_{sd} + \omega_s i_{sq} + a_2 \Psi'_{rd} + a_3 \Psi'_{rq} + a_4 u_{sd} \quad (2.30a)$$

$$\frac{di_{sq}}{dt} = -a_1 i_{sq} - \omega_s i_{sd} + a_3 \omega \Psi'_{rd} + a_2 \Psi'_{rq} + a_4 u_{sq} \quad (2.30b)$$

$$\frac{d\Psi'_{rd}}{dt} = a_5 i_{sd} - a_5 \Psi'_{rd} + (\omega_s - \omega) \Psi'_{rq} \quad (2.30c)$$

$$\frac{d\Psi'_{rq}}{dt} = a_5 i_{sq} - (\omega_s - \omega) \Psi'_{rd} - a_5 \Psi'_{rq} \quad (2.30d)$$

$$M_c = a_6 (\Psi'_{rd} i_{sq} - \Psi'_{rq} i_{sd}) \quad (2.30e)$$

Chú ý rằng trong hệ tọa độ từ thông rotor khi vận hành ở chế độ xác lập thì $\Psi_{rq} = 0$ nên hệ (2.30) trở thành:

$$\frac{di_{sd}}{dt} = -a_1 i_{sd} + \omega_s i_{sq} + a_2 \Psi'_{rd} + a_4 u_{sd} \quad (2.31a)$$

$$\frac{di_{sq}}{dt} = -a_1 i_{sq} - \omega_s i_{sd} - a_3 \omega \Psi'_{rd} + a_4 u_{sq} \quad (2.31b)$$

$$\frac{d\Psi'_{rd}}{dt} = a_5 i_{sd} - a_5 \Psi'_{rd} \quad (2.31c)$$

$$M_e = a_6 \Psi'_{rd} i_{sq} \quad (2.31d)$$

Từ phương trình (2.30d) :

$$a_5 i_{sd} - (\omega_s - \omega) \Psi'_{rd} = 0$$

$$\Rightarrow \omega_s = a_5 \frac{i_{sd}}{\Psi'_{rd}} + \omega$$

$$\text{Với } \omega_{sl} = a_5 \frac{i_{sd}}{\Psi'_{rd}} : \text{tốc độ trượt.} \quad (2.32)$$

2.5 Xây dựng mô hình thuận phi tuyến bằng Matlab (Hệ tọa độ rotor).

Trong hệ tọa độ từ thông rotor. Ở chế độ xác lập từ thông $\Psi'_{rq} = 0$ ($\Psi_{rq} = 0$). Tuy nhiên để phản ánh tính trung thực trong quá trình quá độ ta vẫn giữ lại phương trình (2.30d) .

Trong hệ thống điều khiển mô hình của động cơ ở hệ tọa độ dq đóng vai trò khối \hat{p} (mô hình nội).

Mô hình thuận phi tuyến còn gọi là mô hình nội chính xác để phân biệt với mô hình nội gần đúng được mô tả ở phần sau.

Trong quá trình mô phỏng kiểm tra tính Robust của hệ thống điều khiển, ta cho thông số của động cơ thay đổi. Để đơn giản và phân biệt rõ ràng các thông số của mô hình và của đối tượng các thông số của mô hình được thêm ký tự “m” sau đó, hệ phương trình (2.30) được viết lại.

$$\frac{di_{sd}}{dt} = -a_{1m}i_{sd} + \omega_s i_{sq} + a_{2m} \Psi'_{rd} + a_{3m} \omega \Psi'_{rq} + a_{4m} u_{sd} \quad (2.33a)$$

$$\frac{di_{sq}}{dt} = -a_{1m}i_{sq} - \omega_s i_{sd} - a_{3m} \omega \Psi'_{rd} + a_{2m} \Psi'_{rq} + a_{4m} u_{sq} \quad (2.33b)$$

$$\frac{d\Psi'_{rd}}{dt} = a_{5m}i_{sd} - a_{5m} \Psi'_{rd} + (\omega_s - \omega) \Psi'_{rq} \quad (2.33c)$$

$$\frac{d\Psi'_{rq}}{dt} = a_{5m}i_{sq} - (\omega_s - \omega) \Psi'_{rd} - a_{5m} \Psi'_{rq} \quad (2.33d)$$

Đối với phương pháp mô hình nội (IMC) đáp ứng của hệ thống vẫn ổn định khi có nhiễu tác động vào đối tượng, nên moment tải không cần diễn tả trong mô hình mà xem như là nhiễu tác động vào đối tượng vì vậy phương trình cơ và phương trình Moment được viết lại như sau:

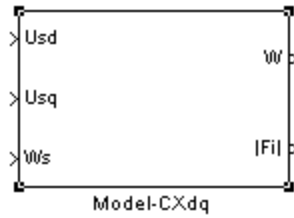
$$M_e = \frac{3 L_m^2 P}{2 L_r} (\Psi'_{rd} i_{sq} - \Psi'_{rq} i_{sd})$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{P}{J} M_e = \frac{3 L_m^2 P^2}{2 L_r J} (\Psi'_{rd} i_{sq} - \Psi'_{rq} i_{sd})$$

$$\text{Đặt} \quad a_{6m} = \frac{3 L_m^2 P^2}{2 L_r J}$$

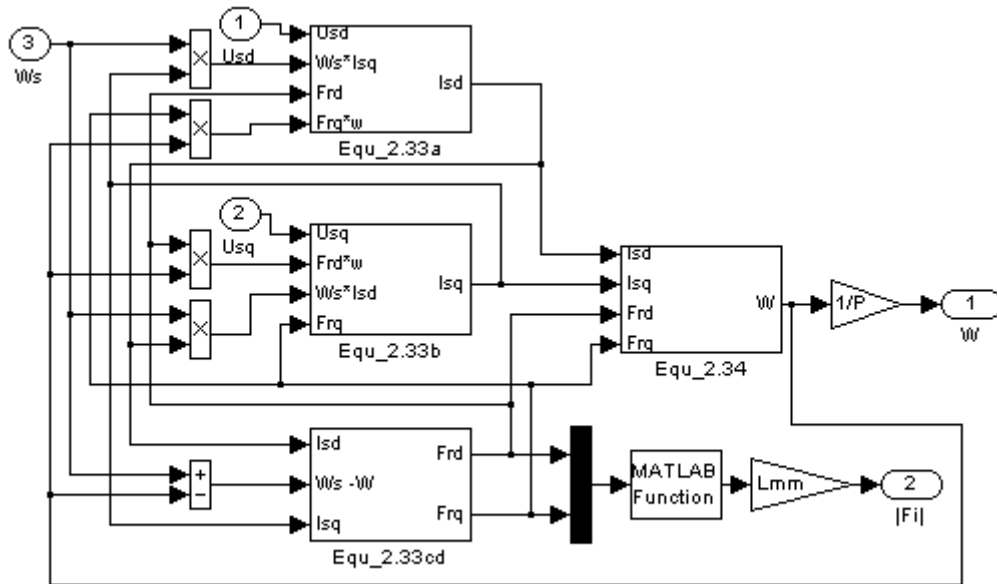
$$\Rightarrow \frac{d\omega}{dt} = a_{6m} (\Psi'_{rd} i_{sq} - \Psi'_{rq} i_{sd}) \quad (2.34)$$

Khối động cơ trong hệ tọa độ dq dạng tổng quát như sau (hình 2.8):



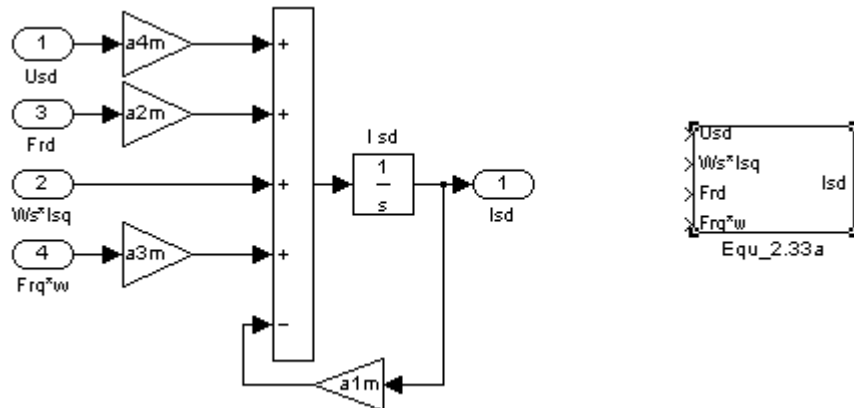
Hình 2.8: Mô hình chính xác của động cơ không đồng bộ trong hệ tọa độ rotor dq (Model_cxdq).

Sơ đồ chi tiết trong khối Model_cxdq (hình 2.9) :



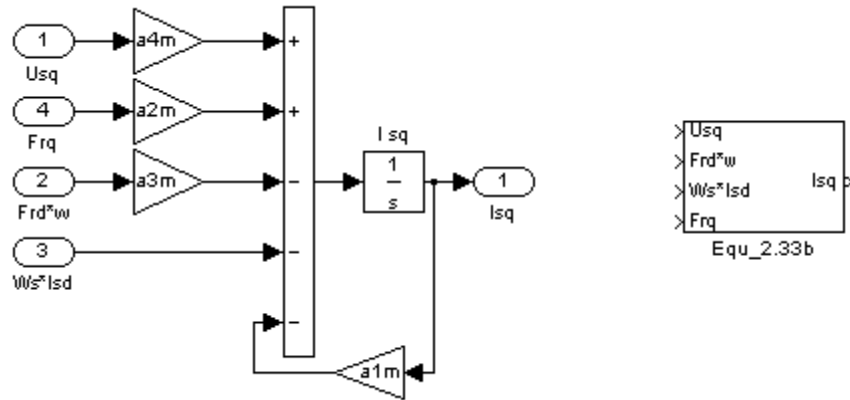
Hình 2.10 : Sơ đồ chi tiết trong khối Model_cxdq

Khối mô phỏng dòng điện i_{sd} (hình 2.10) dựa vào phương trình (2.33a):



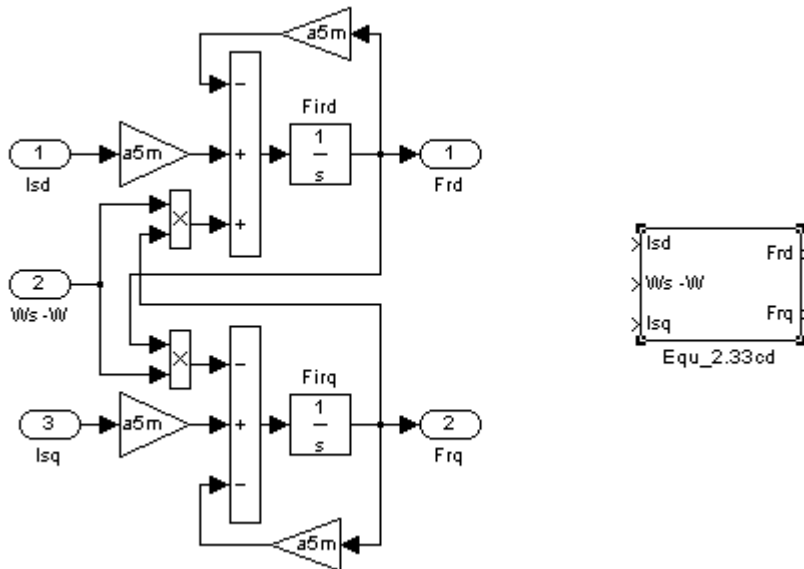
Hình 2.10 : Equ_2.33a

Khối mô phỏng dòng điện i_{sq} (hình 2.11) dựa vào phương trình (2.33b):



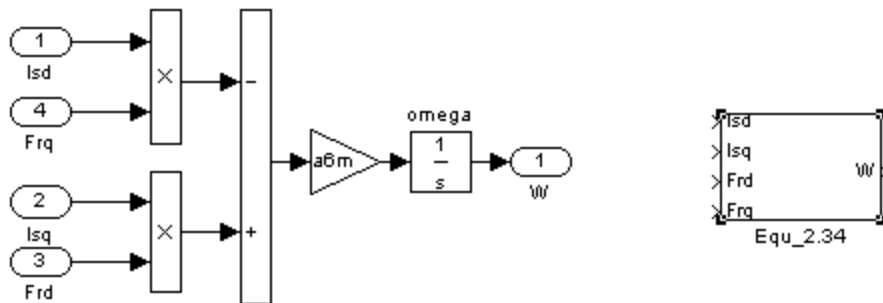
Hình 2.12 : Equ _ 2.33b

Khối mô phỏng từ thông ψ_{rd} ; ψ_{rq} (hình 2.13) dựa vào phương trình (2.33c) & (2.33d):



Hình 2.13 : Equ _ 2.33cd

Khối mô phỏng tốc độ (hình 2.13) dựa vào phương trình (2.34):



Hình 2.13 : Equ _ 2.34

Khối Matlab Function để tính toán giá trị từ thông tổng:

$$\Psi' = \sqrt{(\Psi'_{rd})^2 + (\Psi'_{rq})^2}$$

2.6 Xây dựng mô hình ngược phi tuyến – mô phỏng Matlab.

Dựa vào hệ phương trình toán mô tả động cơ trong hệ tạo độ rotor.(mô hình nội phi tuyến).

Từ hệ phương trình (2.31) khi thay a_1, a_2, a_3, a_4 bằng $a_{1m}, a_{2m}, a_{3m}, a_{4m}$ ta được :

$$\frac{di_{sd}}{dt} = -a_{1m}i_{sd} + \omega_s i_{sq} + a_{2m}\Psi'_{rd} + a_{4m}u_{sd} \quad (2.35a)$$

$$\frac{di_{sq}}{dt} = -a_{1m}i_{sq} - \omega_s i_{sd} - a_{3m}\omega\Psi'_{rd} + a_{4m}u_{sq} \quad (2.35b)$$

$$\frac{d\Psi'_{rd}}{dt} = a_{5m}i_{sd} - a_{5m}\Psi'_{rd} \quad (2.35c)$$

$$M_c = a_{6m}\Psi'_{rd} i_{sq} \quad (2.35d)$$

Từ phương trình (2.32) tốc độ trượt:

$$\begin{aligned} \omega_{sl} &= a_{5m} \frac{i_{sd}}{\Psi'_{rd}} = \omega_s - \omega \\ \Rightarrow \omega_s &= \omega + a_{5m} \frac{i_{sd}}{\Psi'_{rd}} \end{aligned} \quad (2.35e)$$

Ở mô hình ngược tín hiệu vào là $\bar{\omega}$ và $\bar{\Psi}'_r$ và tín hiệu ra là u_{sd} và u_{sq} .

Chú ý : Vì $\psi_{rq} = 0$ nên $\psi_{rd} = \psi_r$.

Từ phương trình (2.35d) ta có :

$$i_{sq} = \frac{1}{a_{6m}} \frac{s\bar{\omega}}{\bar{\Psi}'_{rd} sT_d + 1} \quad (2.36a)$$

Từ phương trình (2.35c) :

$$i_{sd} = \frac{1}{a_{5m}} \frac{s\bar{\Psi}'_{rd}}{sT_d + 1} \quad (2.36b)$$

Từ phương trình (2.35a) và phương trình (2.35b) :

$$u_{sd} = \frac{1}{a_{4m}} \left[\frac{s.i_{sd}}{sT_d + 1} + a_{1m}.i_{sd} - \omega_s.i_{sq} - a_{2m}.\bar{\Psi}_r \right] \quad (2.36c)$$

$$u_{sq} = \frac{1}{a_{4m}} \left[\frac{s.i_{sq}}{sT_q + 1} + a_{1m}.i_{sq} + \omega_s.i_{sd} + \frac{a_{3m}.\bar{\omega}}{\bar{\Psi}_r} \right] \quad (2.36d)$$

$$\text{Từ phương trình (2.35e) : } \omega_s = \bar{\omega} + a_{5m} \frac{i_{sd}}{\bar{\Psi}} \quad (2.36e)$$

Xây dựng sơ đồ khối: Hình 2.14 là sơ đồ khối của mô hình ngược động cơ (mô hình ngược chính xác trong hệ toạ độ dq) dựa trên hệ phương trình phi tuyến – Hệ phương trình (2.36) - (inverse –CXdq):

Trong đó hàm truyền đạt $\frac{S}{T_d.S+1}$ được sử dụng để xấp xỉ toán tử đạo hàm theo thời gian $\frac{d}{dt}$ (S là toán tử laplace). Tín hiệu vào $\bar{\Psi}_{ref}$ $\bar{\omega}_{ref}$ và tín hiệu ra u_{sd} , u_{sq} , ω_s .

Ta có:

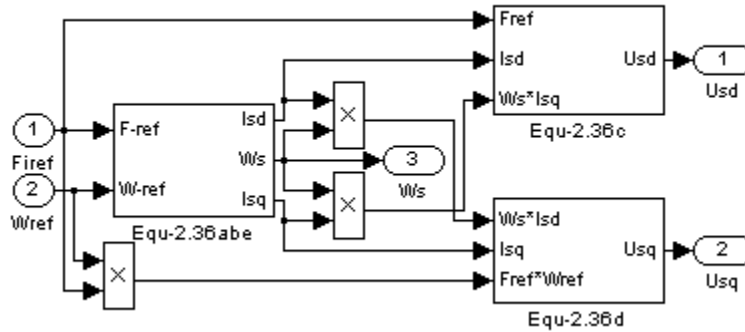
$$\frac{S}{T_d.S+1} = \frac{\frac{1}{T_d}.S}{S + \frac{1}{T_d}}$$

So sánh với công thức (1.5) thì:

$$K = \lambda = \frac{1}{T_d}; \quad n = 1.$$

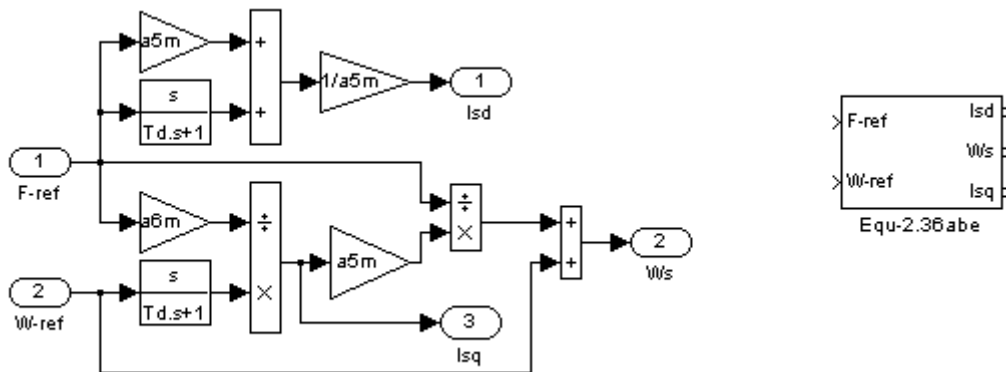


Hình 2.14: Mô hình ngược phi tuyến
Sơ đồ chi tiết (hình 2.15):



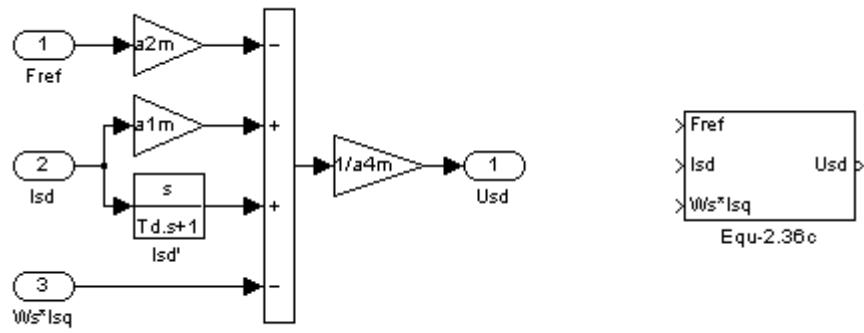
Hình 2.15: Sơ đồ chi tiết của mô hình ngược phi tuyến.

Khối tính I_{sd} , I_{sq} và ω_s (hình 2.16) dựa vào phương trình (2.36abe):



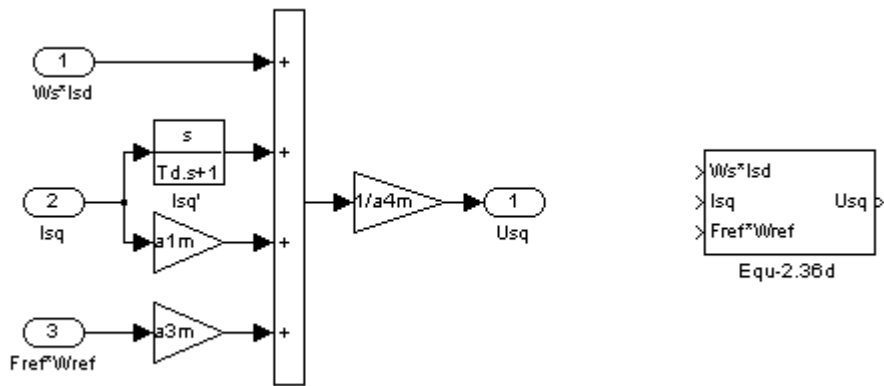
Hình 2.16: Equ – 2.36abe

Khối tính u_{sd} (hình 2.17) dựa vào phương trình (2.36c):



Hình 2.17: Equ – 2.36c

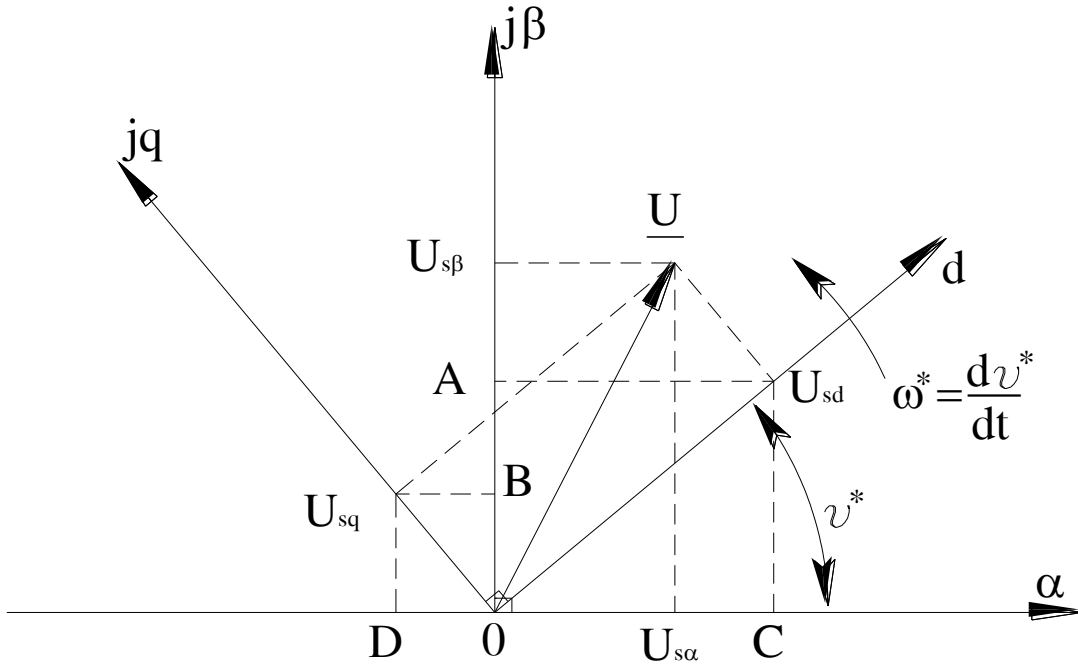
Khối tính u_{sq} (hình 2.18) dựa vào phương trình (2.36d)



Hình 2.18: Equ – 2.36d

2.7 Xây dựng phương trình và mô phỏng bộ biến đổi (Inverter).

Bộ biến đổi (inverter): đổi tín hiệu đầu vào u_{sd}, u_{sq}, ω_s thành tín hiệu đầu ra 2 pha xoay chiều: $u_{s\alpha}, u_{s\beta}$.



Hình 2.19: chuyển hệ tọa độ không gian d, q sang α, β .

$u_{sd}; u_{sq}$ là hình chiếu của vector u lên hệ tọa độ từ thông rotor dq

$u_{s\alpha}; u_{s\beta}$ là hình chiếu của vector u lên hệ tọa độ tĩnh stator.

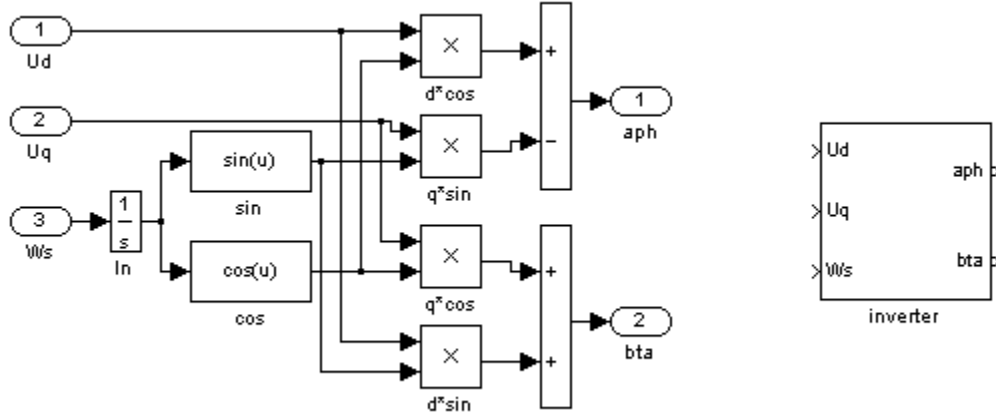
$u_{s\alpha}$ cũng bằng tổng đại số hình chiếu của $u_{sd}; u_{sq}$ lên trục α của hệ tọa độ tĩnh stator.

$u_{s\beta}$ cũng bằng tổng đại số hình chiếu của $u_{sd}; u_{sq}$ lên trục β của hệ tọa độ tĩnh stator.

$$\begin{aligned} u_{s\alpha} &= \overline{OC} + \overline{OD} \\ \Rightarrow u_{s\alpha} &= u_{sd} \cdot \cos \omega t - u_{sq} \sin \omega t \end{aligned} \quad (2.37)$$

$$\begin{aligned} u_{s\beta} &= \overline{OA} + \overline{OB} \\ \Rightarrow u_{s\beta} &= u_{sd} \cdot \sin \omega t + u_{sq} \cos \omega t \end{aligned} \quad (2.38)$$

Mô phỏng bằng Matlab:



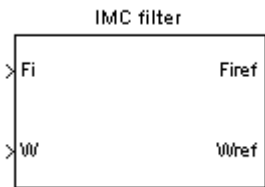
Hình 2.20: inverter :dq -> AlBta

2.8 Xây dựng và mô phỏng bộ lọc (IMC filter).

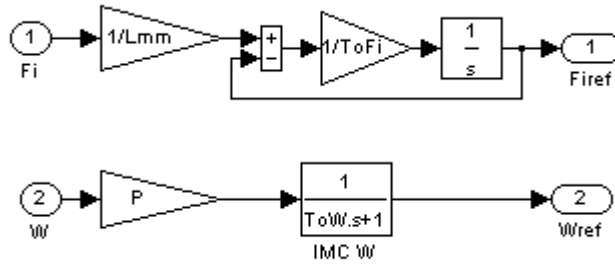
Trong phương pháp điều khiển dùng mô hình nội thì bộ lọc là một khâu không thể thiếu được vì lý do sau:

- Nếu không có bộ lọc thì tín hiệu đưa vào đối tượng điều khiển (động cơ) tương đối lớn lúc khởi động làm cho dòng điện khởi động và moment mở máy rất lớn có thể làm cháy hoặc hỏng trục động cơ.
- Khi có nhiễu hay có sai số ($p \neq \hat{p}$) thì tín hiệu hồi tiếp về ε tương đối lớn làm cho tín hiệu đưa vào khối nghịch đảo (Q) dao động mạnh; kết quả là hệ có thể làm việc mất ổn định.
- Theo công thức (1.0) và (1.5) thì $y = r$ nên hàm truyền từ ngõ vào đến ngõ ra chính là hàm truyền của bộ lọc.
- Đối với động cơ không đồng bộ thì thời gian đáp ứng của tốc độ phải đủ lớn vì thời hằng cơ của động cơ tương đối lớn so với thời hằng điện.

Bộ lọc thông thấp được thiết kế như sau:



Hình 2.21 Sơ đồ khối của bộ lọc thông thấp.



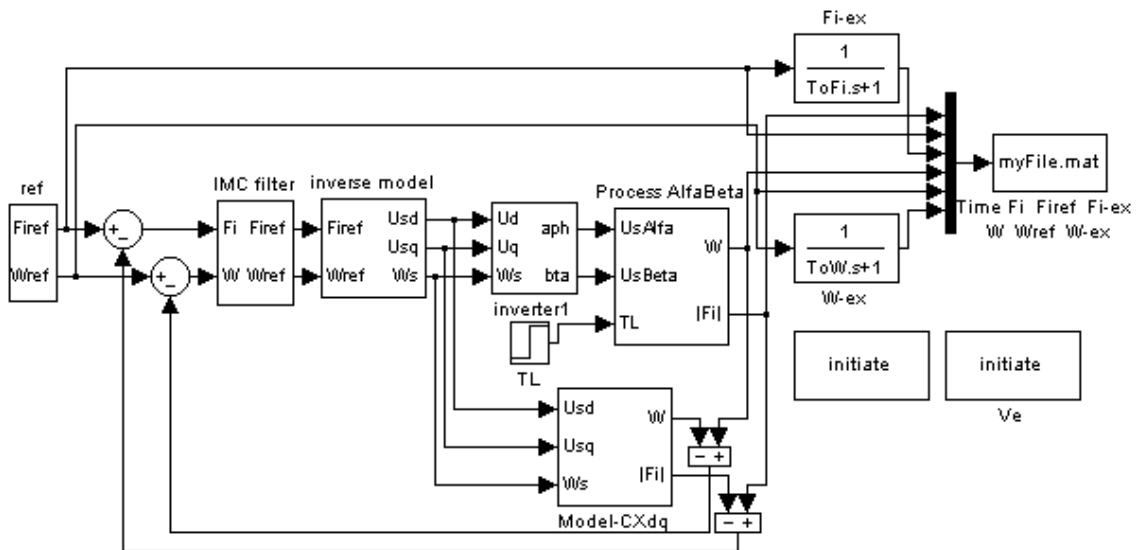
Hình 2.22 : Sơ đồ chi tiết của bộ lọc thông thấp.

Khối $1/L_{mm}$ để chuẩn hoá từ thông.

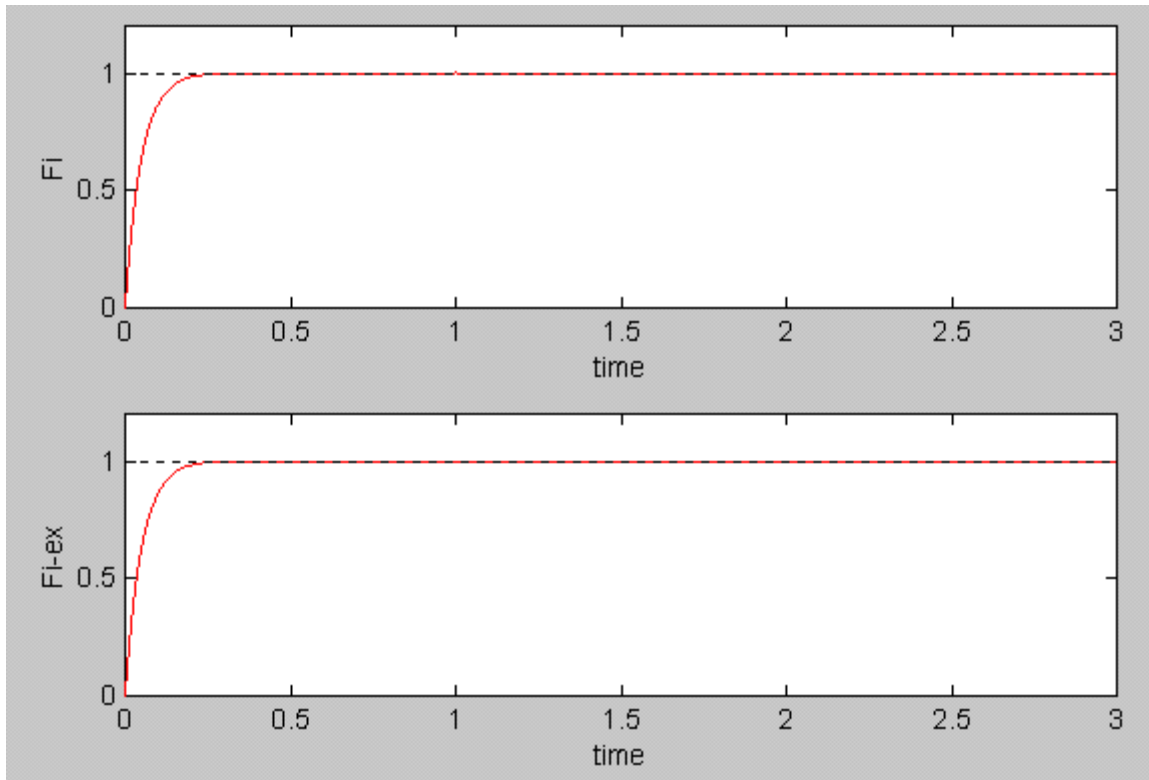
Khối P chuyển đổi từ tốc độ cơ sang tốc độ điện.

Theo công thức (2.32) thì $\omega = a_5 \frac{i_{sd}}{\Psi'_{rd}}$ vì vậy để tránh trường hợp ngay từ đầu ω_{sl} quá lớn (do Ψ'_{rd} quá nhỏ) ta cần gán giá trị ban đầu cho từ thông (trong tất cả các trường hợp mô phỏng đều lấy giá trị ban đầu là 0,2) nên bộ lọc từ thông có khác bộ lọc tốc độ.

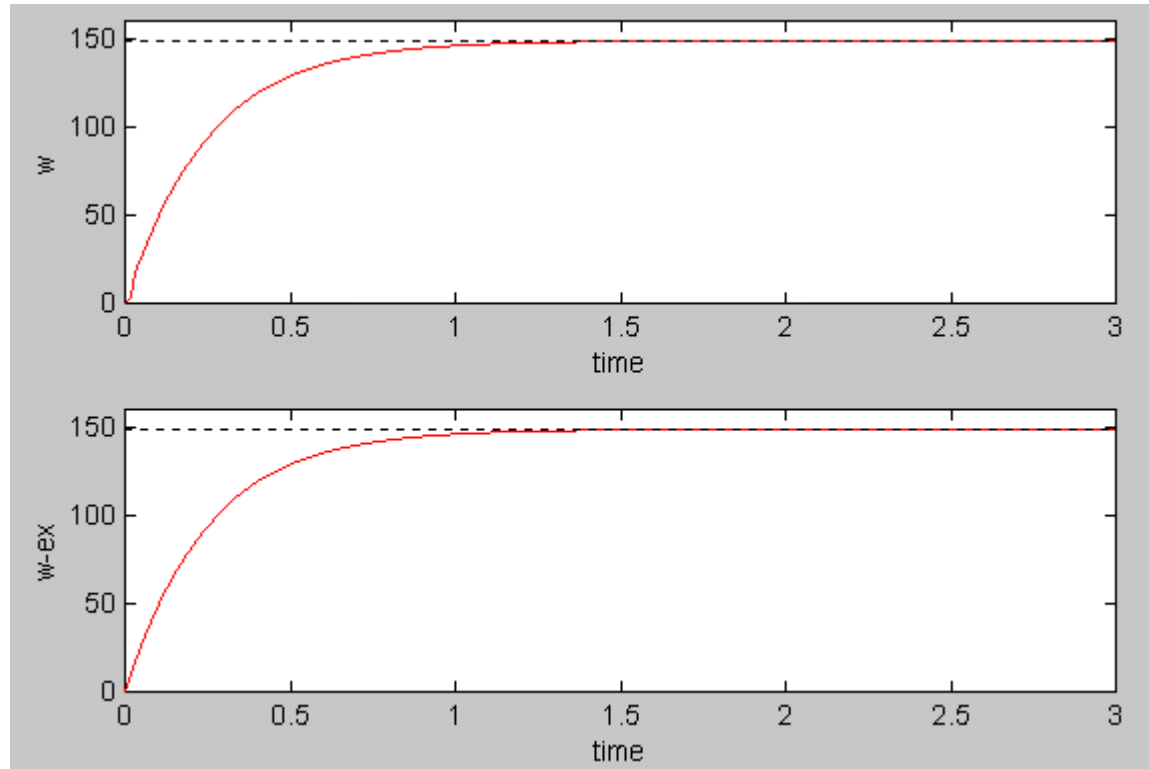
Hình (2.23), (2.24), (2.25) và (2.26) Minh họa cho vấn đề đáp ứng của hệ thống và bộ lọc : *Đáp ứng của hệ thống cùng dạng với đáp ứng của bộ lọc* .



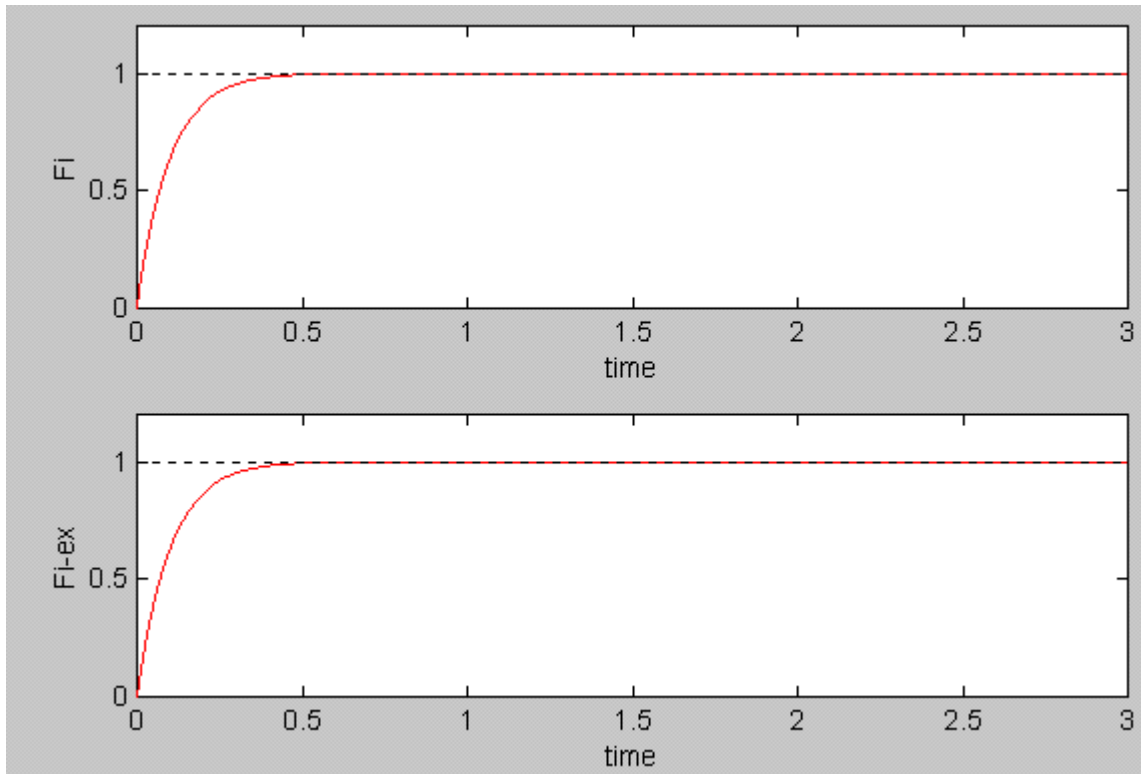
Hình 2.23: Mô phỏng minh họa đáp ứng của bộ lọc và của hệ thống điều khiển



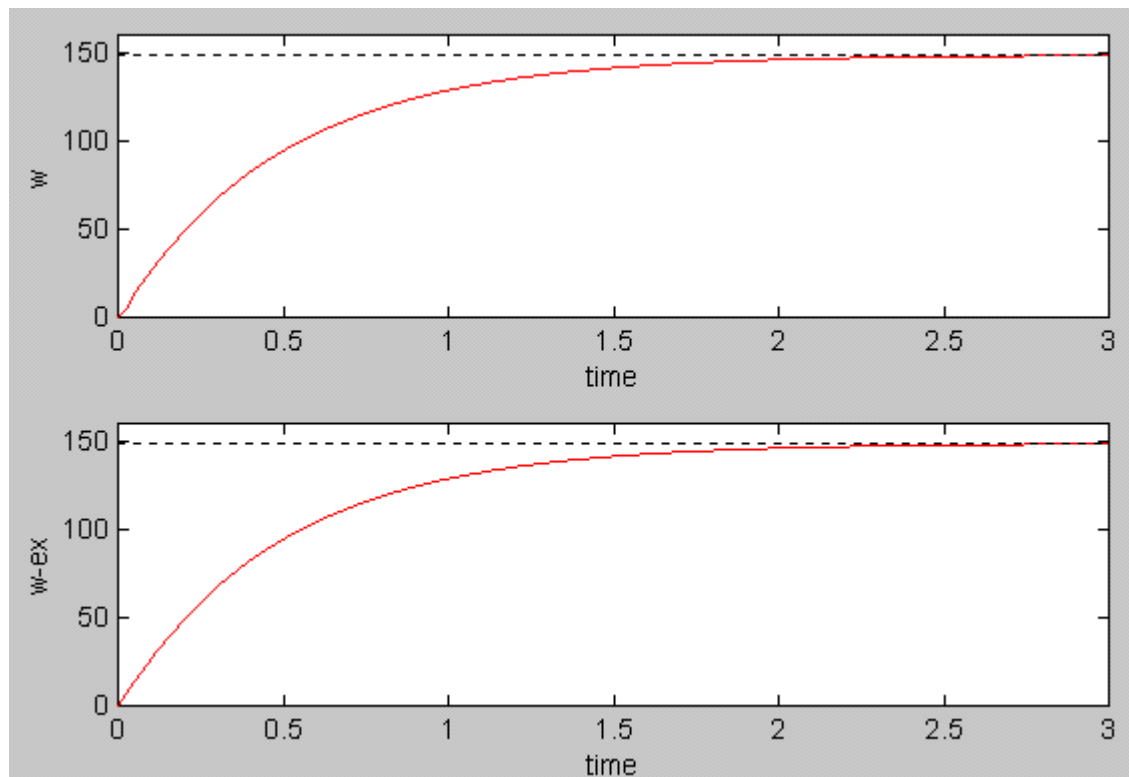
Hình 2.24: Minh họa cho đáp ứng từ thông ($T_{Fi} = 0,15s$)



Hình 2.25 : minh họa cho đáp ứng tốc độ ($T_{\omega} = 0,25s$)



Hình 2.26: minh họa cho đáp ứng từ thông ($T_{Fi} = 0,1$)



Hình 2.27: minh họa cho đáp ứng của từ thông ($T_w = 0,55$)

- Qua đó ta thấy được ưu điểm của phương pháp điều khiển dùng mô hình nội là ngoài tính đơn giản trong quá trình thiết kế hệ thống điều khiển còn dễ dàng điều chỉnh thời gian đáp ứng của hệ thống bằng cách thay đổi thông số của bộ lọc.
- Chú ý: Các chương trình mô phỏng trong luận văn được hướng dẫn cách sử dụng ở phần phụ lục 1

2.9 Kết quả mô phỏng.

a) Thông số thiết kế.

Hệ thống điều khiển [Bao gồm mô hình thuận (\tilde{p}); mô hình ngược (Q); và đối tượng điều khiển (p) (ở chế độ danh định)] được thiết kế theo các thông số cho trong [7]:

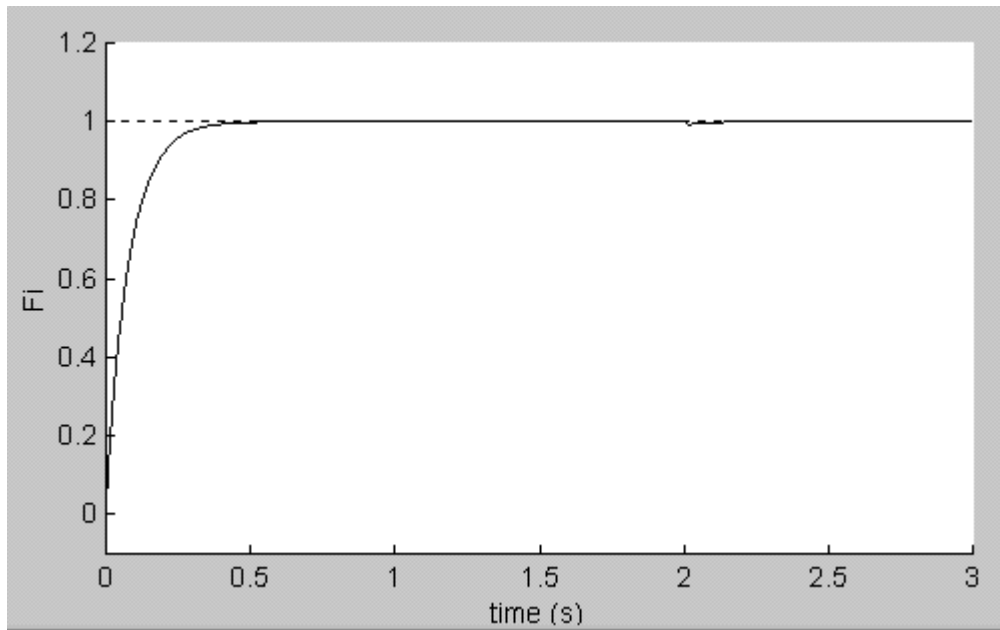
Điện trở stator	$R_s = 1,177$	(Ω).
Điện trở rotor	$R_r = 1,382$	(Ω).
Điện cảm stator	$L_s = 0,119$	(H).
Điện cảm rotor	$L_r = 0,118$	(H).
Hệ số hỗ cảm	$L_m = 0,113$	(H).
Cố đôi cực	$p = 2$	
Moment quán tính	$J = 0,00126$	(kgm^2).
Moment tải	$M_t = 5$ (Nm).	Xuất hiện ở thời gian $t=2$ (s)
Thời gian mô phỏng	$t=3$ (s).	

Thông số của bộ lọc :

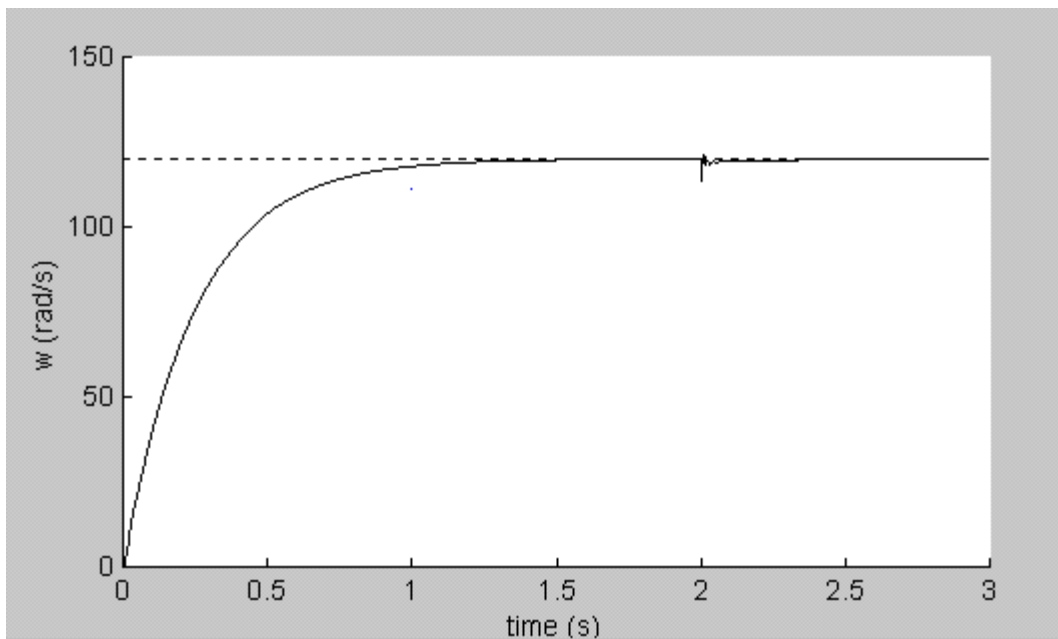
Thời hằng của bộ lọc từ thông	$T_{F0} = 80$	(ms).
Thời hằng của bộ lọc tốc độ	$T_w = 250$	(ms).
Thời hằng của phép toán xấp xỉ	$T_d = 1$	(ms).

b) Đáp ứng danh định:

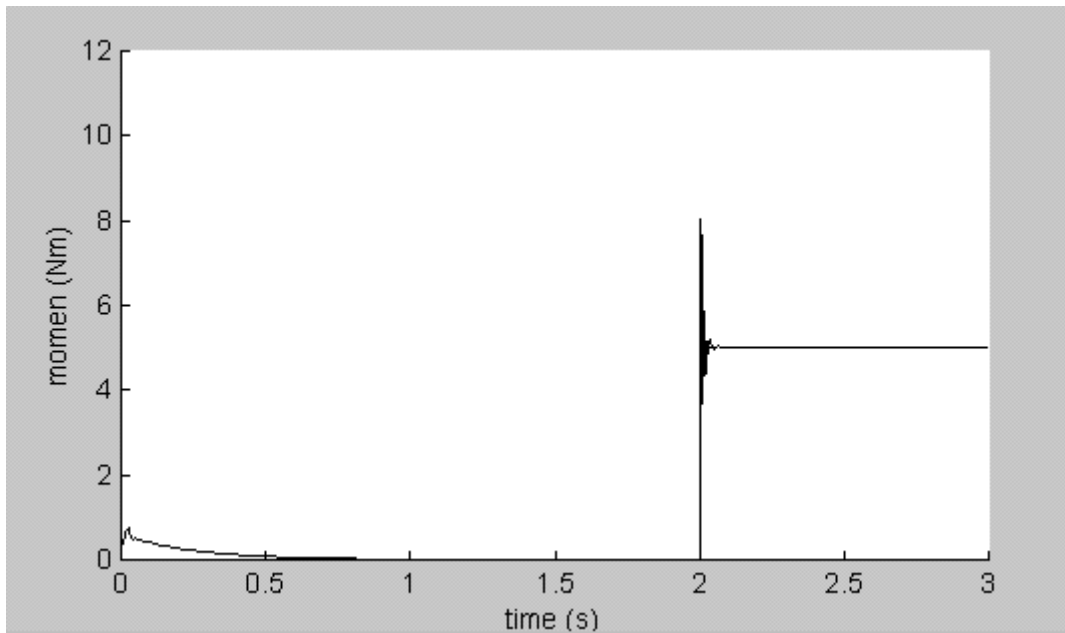
Thông số của động cơ (p) bằng với thông số của mô hình (\tilde{p}).



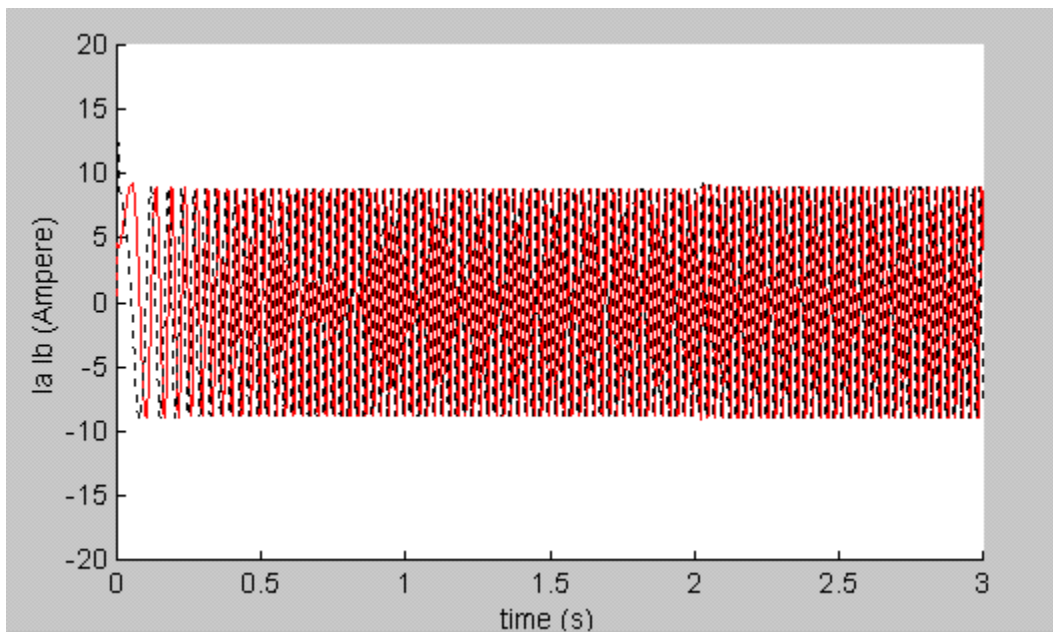
Hình 2.28: Đáp ứng của từ thông ψ_r .
 (--- từ thông đặt;— từ thông đáp ứng)



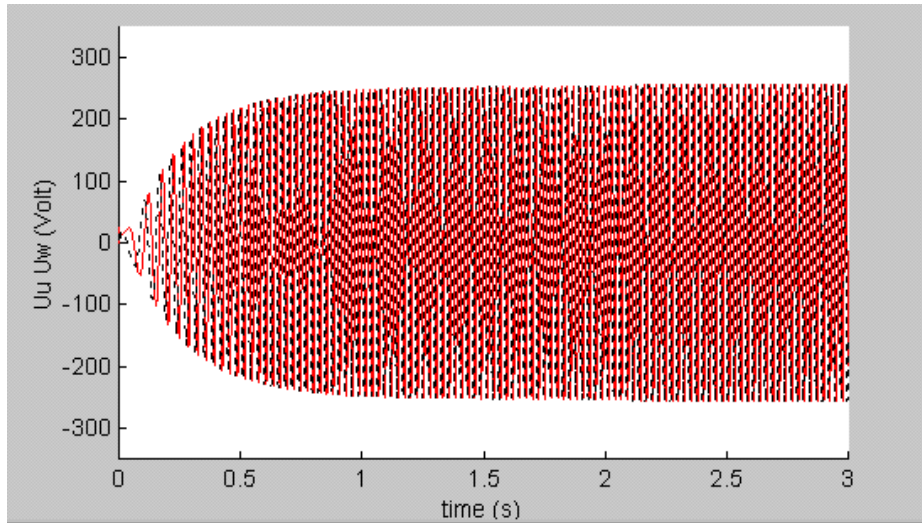
Hình 2.29: Đáp ứng tốc độ ω
 (--- tốc độ đặt;— tốc độ đáp ứng)



Hình 2.30: Đáp ứng Moment
 [--- :Moment tải M_l ; — :Moment điện từ M_e]



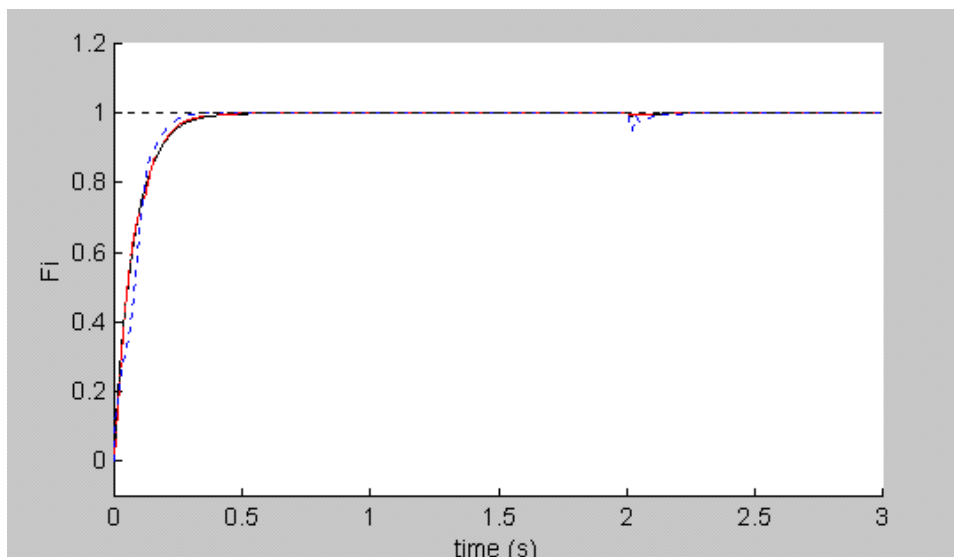
Hình 2.31: Đáp ứng dòng điện (dạng 2 pha)
 [---: $i_{s\alpha}$; — : $i_{s\beta}$]



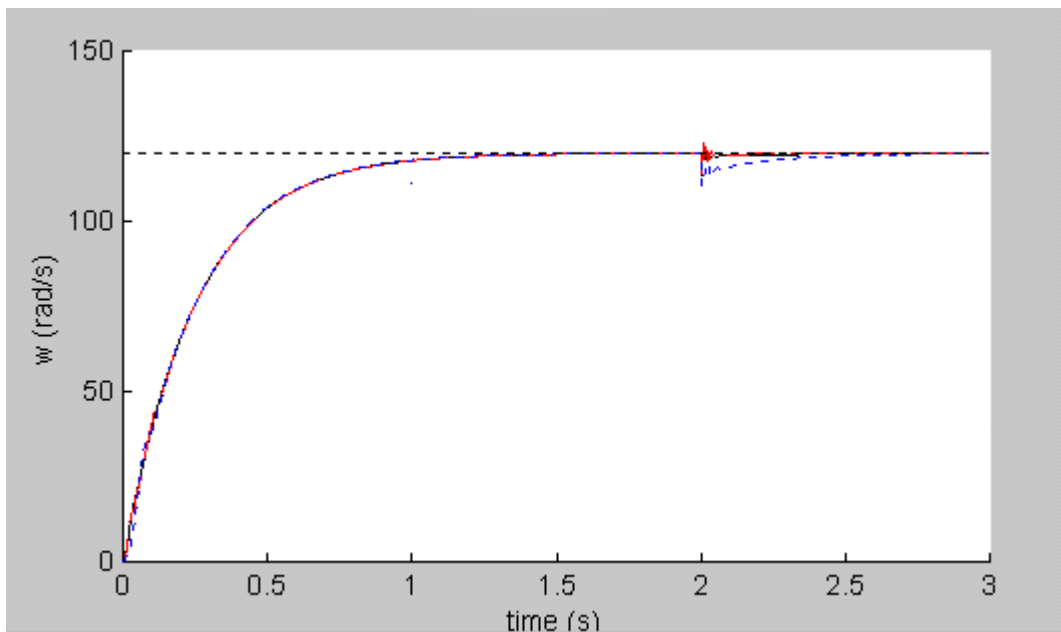
Hình 2.32: Đáp ứng điện áp (dạng 2 pha)[---:u_{sa}; — :u_{sβ}]

c) Tính bền vững đối với sự thay đổi của điện trở R_s, R_r .

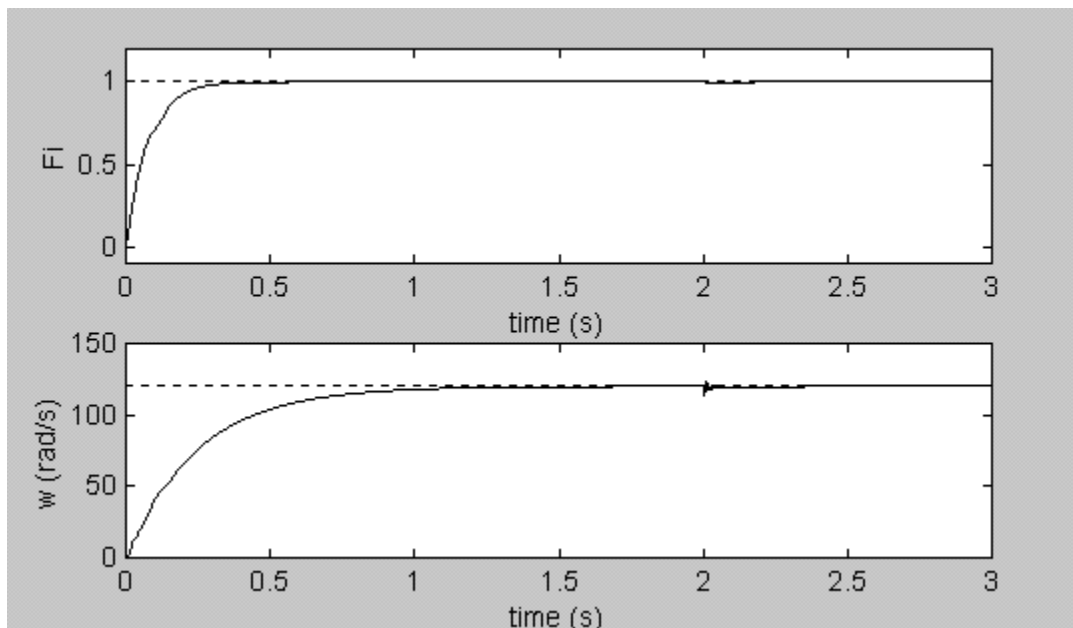
Thông số R_s, R_r của động cơ (p) được thay đổi trong tầm 0,5 và 5 giá trị thông số của mô hình. Để rõ ràng và tiện theo dõi, thứ tự các hình vẽ được trình bày như sau: đáp ứng từ thông và tốc độ ($R = R_m; R = 0,5R_m; R = 5R_m$) chung 1 hình. Sau đó ứng với mỗi giá trị $R=0,5R_m$ hay $R=5R_m$ ta có mỗi hình riêng, đồng thời các hình của đáp ứng Moment, dòng điện và điện áp cũng được trình bày tương tự khi thay đổi (L_m, L_s, L_r, J_m).



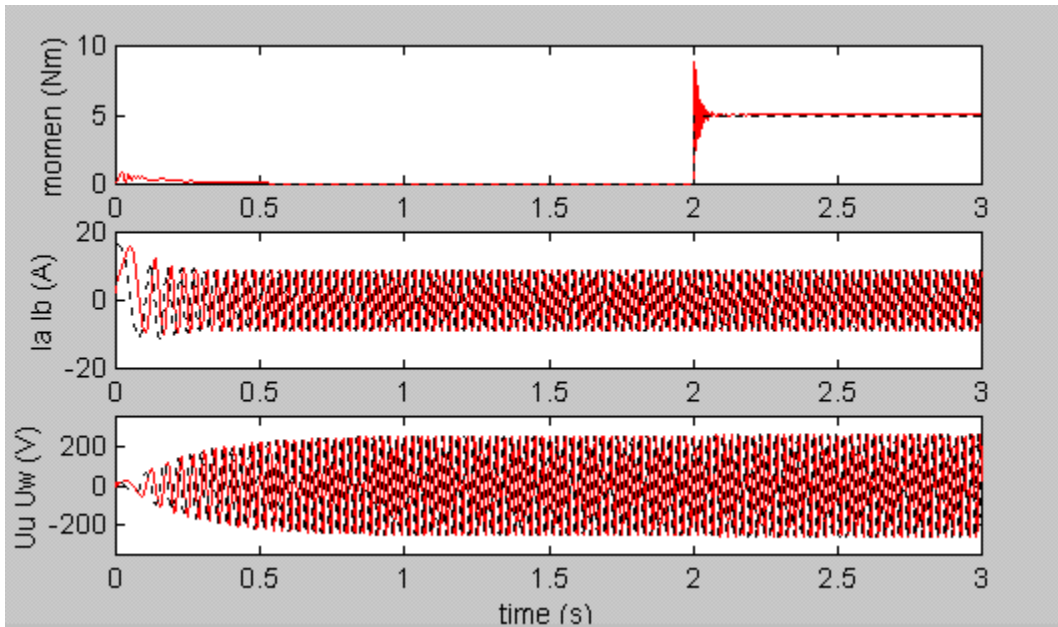
Hình 2.33: Tính bền vững về đáp ứng từ thông của hệ thống đối với sự thay đổi của các thông số R_s, R_r (--- : giá trị thực bằng 0,5 giá trị thiết kế; giá trị thực bằng 5 giá trị thiết kế)



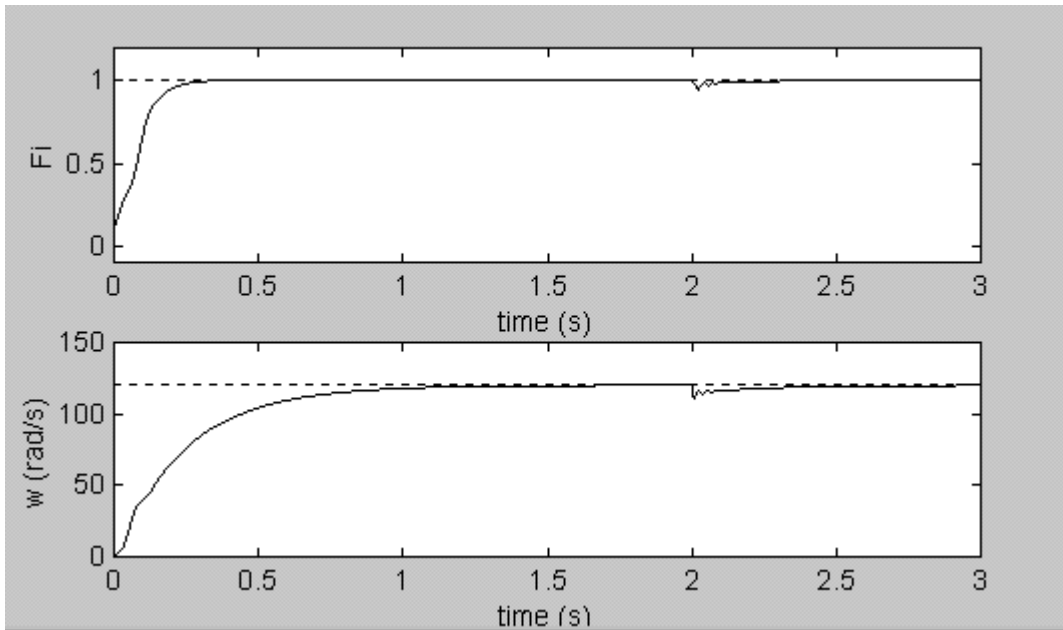
Hình 2.34: Tính bền vững về đáp ứng tốc độ của hệ thống đối với sự thay đổi của các thông số R_s, R_r (---: giá trị thực bằng 0,5 giá trị thiết kế; giá trị thực bằng 5 giá trị thiết kế)



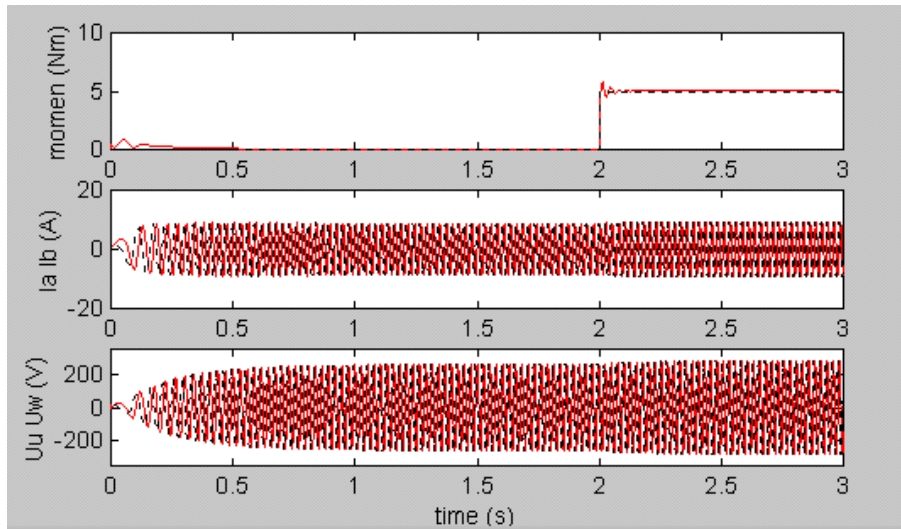
Hình 2.35: Đáp ứng từ thông và tốc độ khi $R_s=0,5R_{sm}; R_r=0,5R_{rm}$



Hình 2.36: Đáp ứng về Moment, dòng điện, điện áp khi $R_s=0,5R_{sm}; R_r=0,5R_{rm}$



Hình 2.37: Đáp ứng từ thông và tốc độ khi $R_s=5R_{sm}; R_r=5R_{rm}$

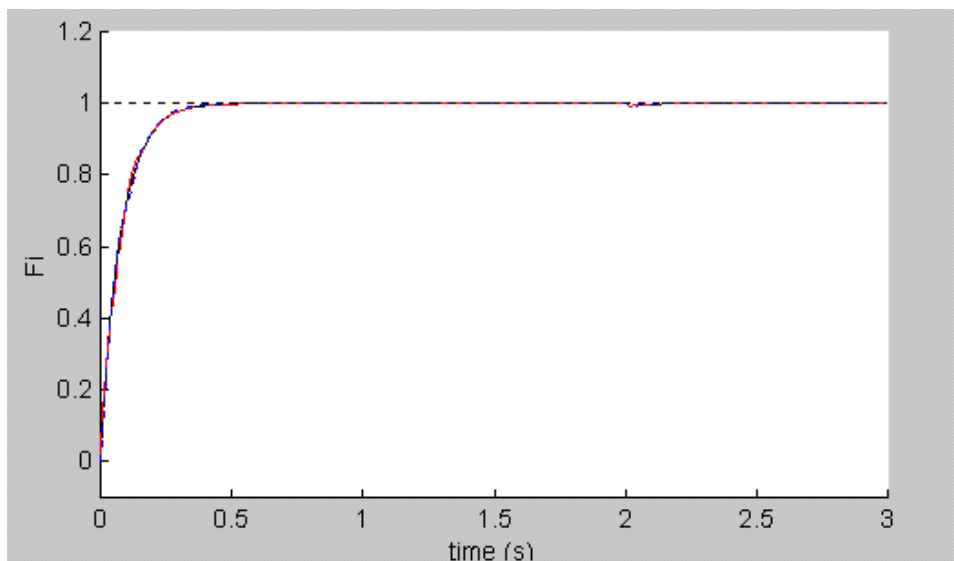


Hình 2.38: Đáp ứng về Moment, dòng điện, điện áp khi $R_s=5R_{sm}$; $R_r=5R_{rm}$.

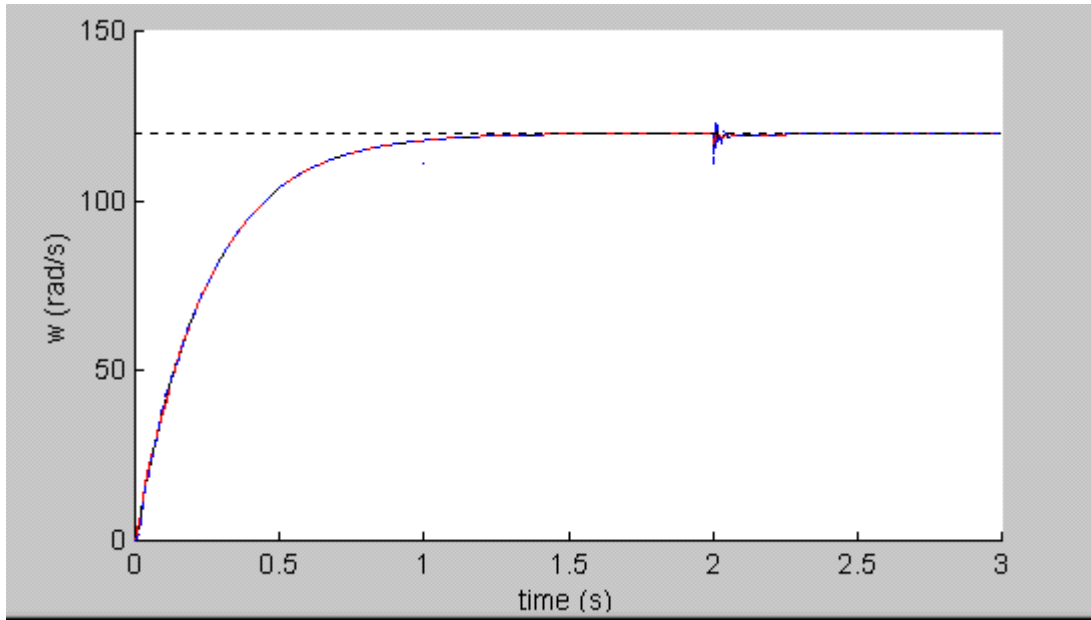
d) Tính bền vững đối với sự thay đổi của điện cảm và hồ cảm L_s, L_r, L_m .

Đáp ứng của từ thông ψ_r và tốc độ ω khi các hệ số tự cảm và hồ cảm của động cơ khác với giá trị thiết kế được cho ở hình (2.39) và (2.40)

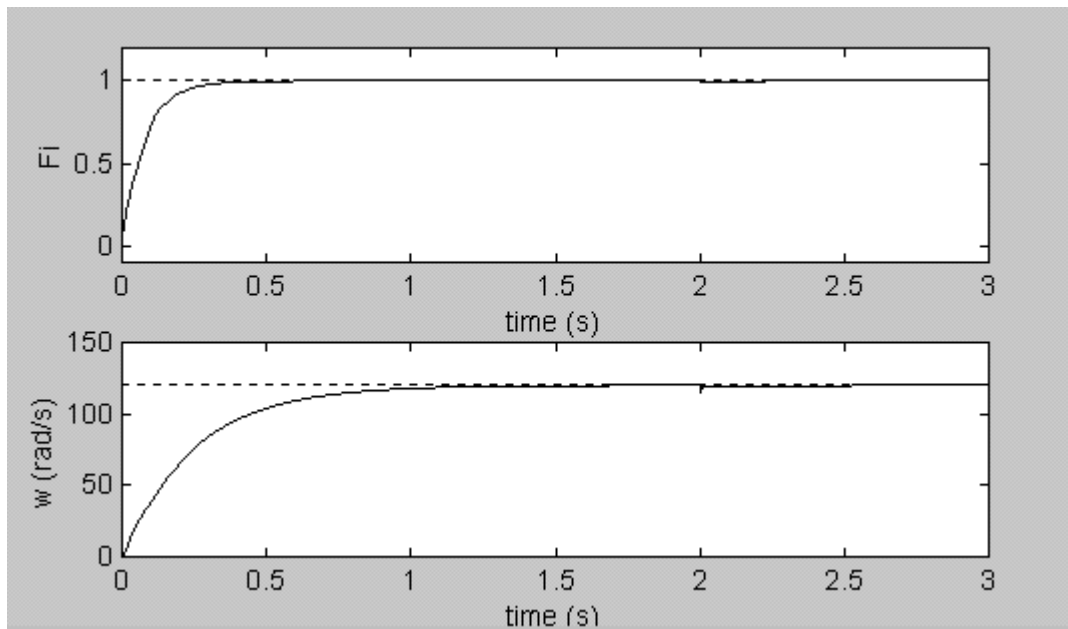
Các hình (2.41, 2.42, 2.43, 2.44), đáp ứng (từ thông, tốc độ, moment tải M_T dòng điện $I_{s\alpha}, I_{b\beta}$, và điện áp $u_{s\alpha}, u_{b\beta}$) cho từng trường hợp thay đổi của L_s, L_r, L_m .



Hình 2.39: Tính bền vững về đáp ứng từ thông của hệ thống đối với sự thay đổi của L_s, L_r, L_m (---: giá trị thực bằng 0,6 giá trị thiết kế;: giá trị thực bằng 2 giá trị thiết kế)

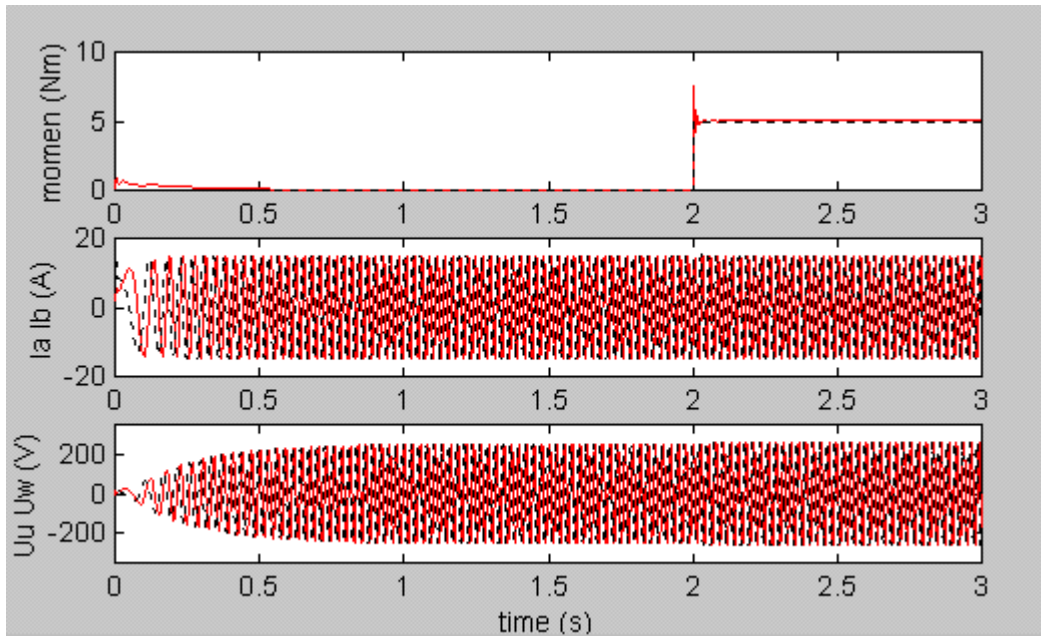


Hình 2.40: Tính bền vững về đáp ứng tốc độ của hệ thống đối với sự thay đổi của L_s, L_r, L_m (--- giá trị thực bằng 0,6 giá trị thiết kế; giá trị thực bằng 2 giá trị thiết kế)

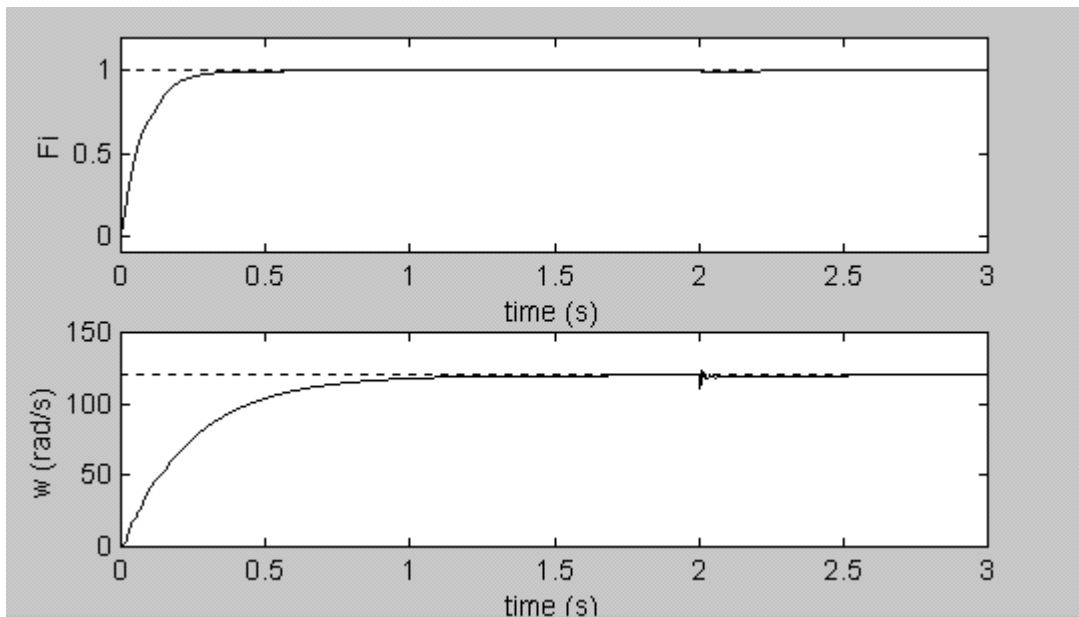


Hình 2.41: Đáp ứng từ thông và tốc độ khi

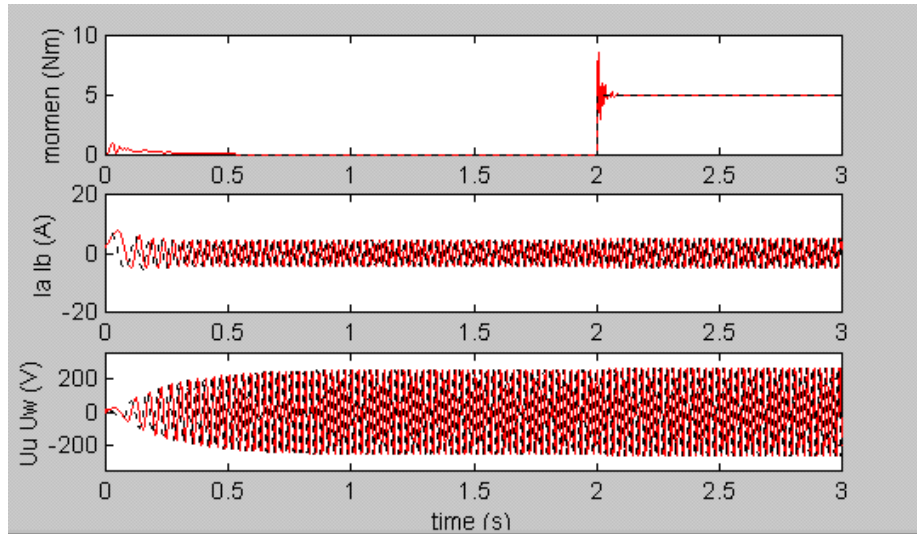
$$L_s = 0,6 L_{sm}; L_r = 0,6 L_{rm}; L_m = 0,6 L_{mm}$$



Hình 2.42: Đáp ứng về Moment, dòng điện, điện áp khi
 $L_s = 0,6 L_{sm}$; $L_r = 0,6L_{rm}$; $L_m = 0,6L_{mm}$



Hình 2.43: Đáp ứng từ thông và tốc độ khi
 $L_s = 2 L_{sm}$; $L_r = 2L_{rm}$; $L_m = 2L_{mm}$



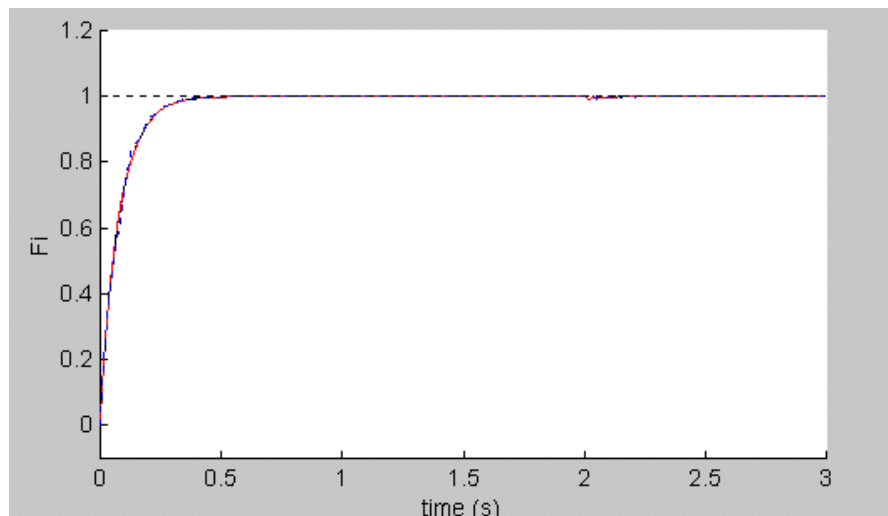
Hình 2.44: Đáp ứng về Moment, dòng điện, điện áp khi

$$L_s = 2 L_{sm}; L_r = 2L_{rm}; L_m = 2L_{mm}$$

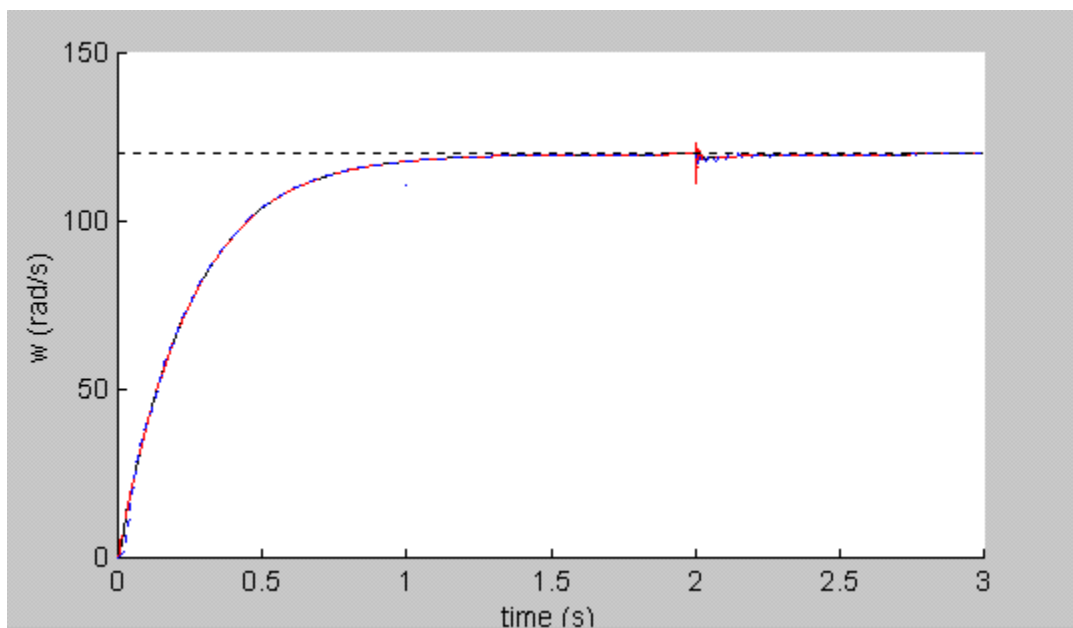
e) Tính bền vững đối với thay đổi của Moment quán tính J.

Đáp ứng của từ thông ψ_r và tốc độ ω khi moment quán tính của động cơ khác với giá trị thiết kế được cho hình (2.45) và hình (2.46)

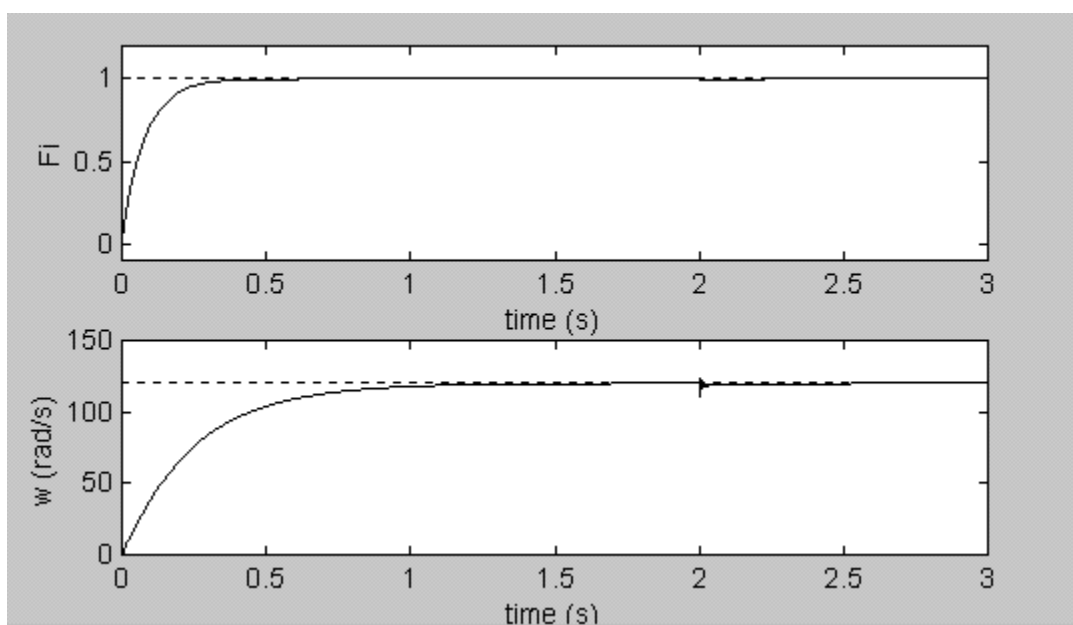
Các hình (2.47, 2.48, 2.49, 2.50), đáp ứng (từ thông ψ_r , tốc độ ω , moment tải M_T ; dòng điện $I_{s\alpha}, I_{s\beta}$, điện áp $u_{s\alpha}, u_{s\beta}$) cho từng trường hợp thay đổi của J.



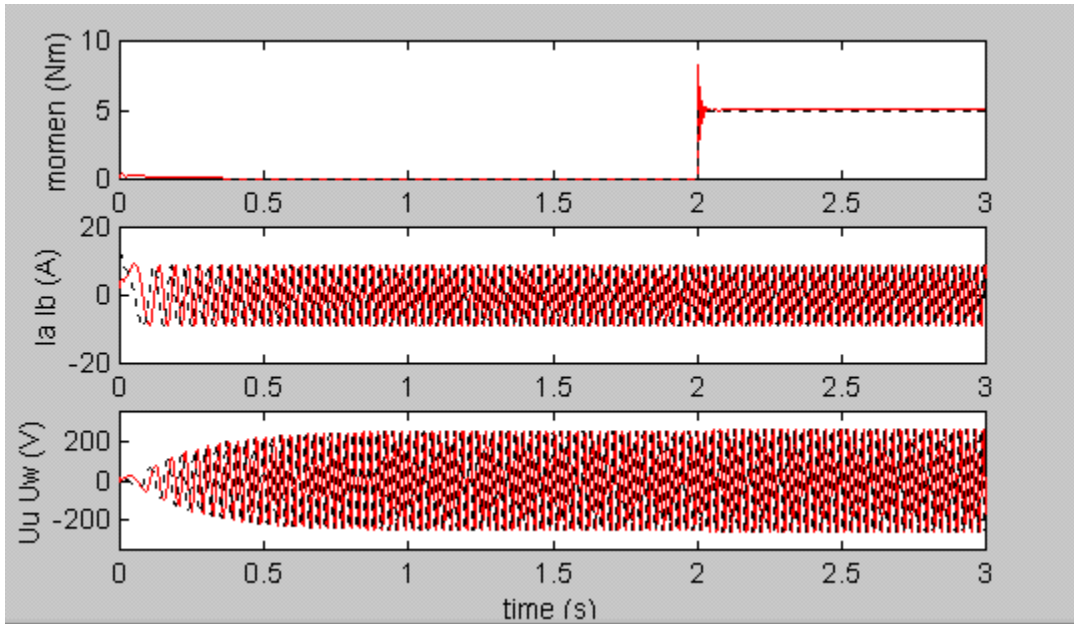
Hình 2.45: Tính bền vững về đáp ứng từ thông của hệ thống đối với sự thay đổi của J (--- J=0,5J_m; J=5J_m)



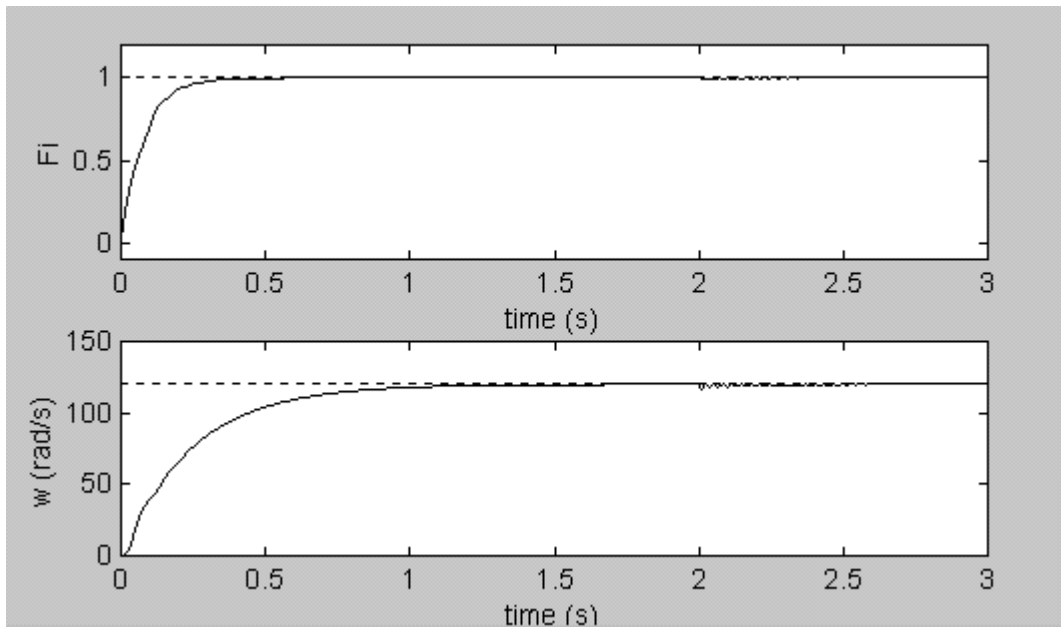
Hình 2.46: Tính bền vững về đáp ứng tốc độ của hệ thống đối với sự thay đổi của Moment J (--- $J=0,5J_m$; $J=5J_m$)



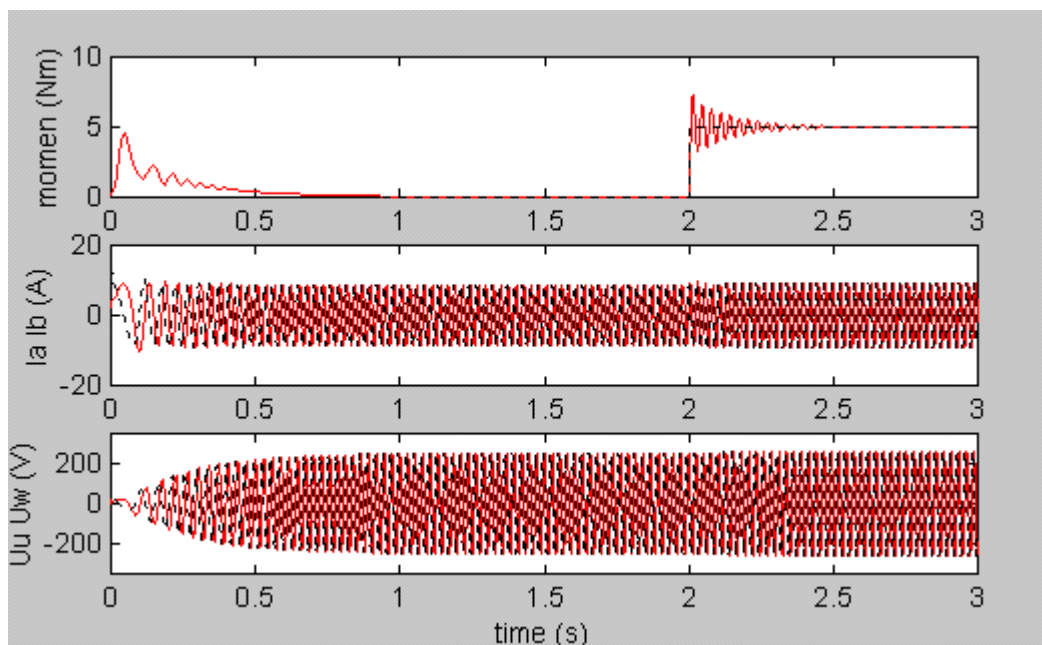
Hình 2.47: Đáp ứng từ thông và tốc độ khi $J=0,5J_m$



Hình 2.48: Đáp ứng về Moment, dòng điện, điện áp khi $J=0,5J_m$



Hình 2.49: Đáp ứng từ thông và tốc độ khi $J=5J_m$



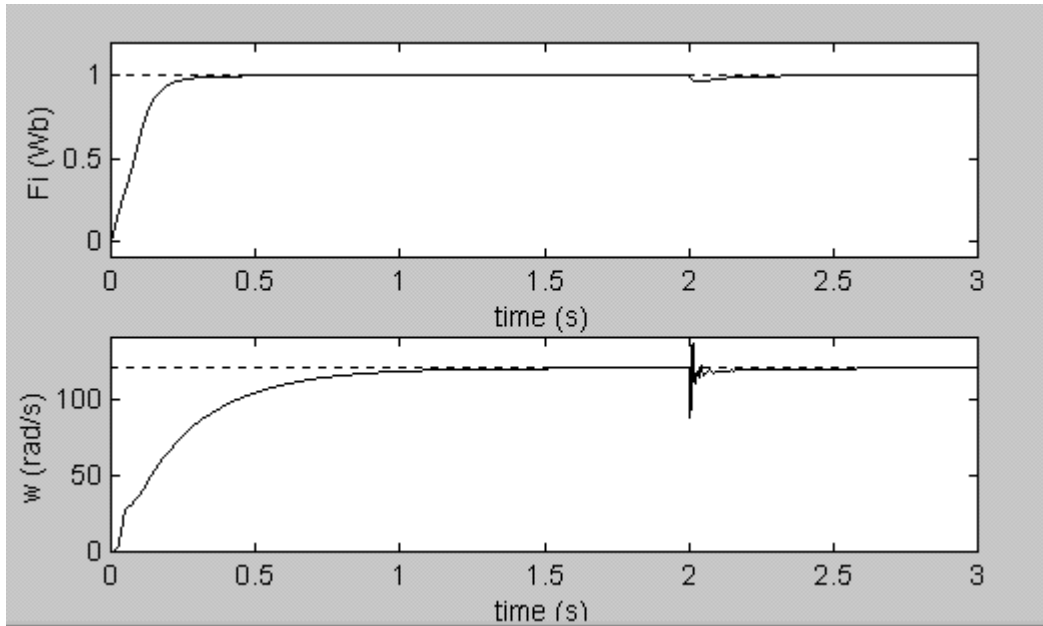
Hình 2.50: Đáp ứng về Moment, dòng điện, điện áp khi $J=5J_m$

f) Tính bền vững khi tất cả các thông số đều thay đổi.

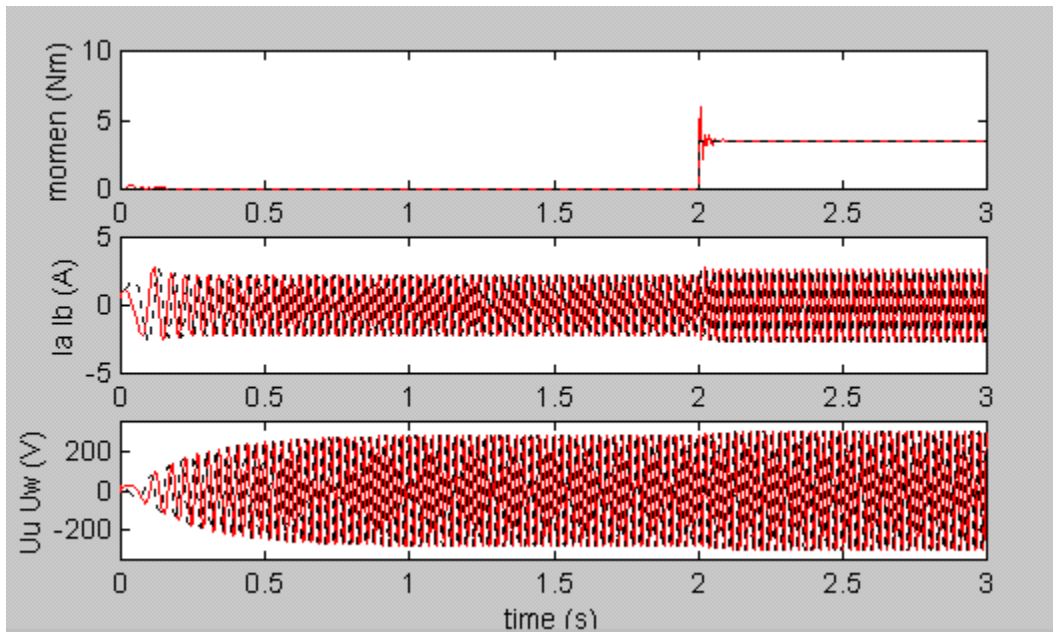
Để thuyết phục hơn về tính robust của hệ thống ta xét hệ thống điều khiển IMC với thông số của bộ điều khiển \hat{P} và Q là thông số của động cơ được sử dụng trong phần 2.9a để điều khiển một động cơ có cấp công suất nhỏ hơn (hình 2.51 & 2.52) và một động cơ có cấp công suất lớn hơn (hình 2.53 & hình 2.54):

Thông số của động cơ có cấp công suất nhỏ:

Điện trở stator	$R_s = 9,53$	(Ω).
Điện trở rotor	$R_r = 5,619$	(Ω).
Điện cảm stator	$L_s = 0,525$	(H).
Điện cảm rotor	$L_r = 0,505$	(H).
Hệ số hỗ cảm	$L_m = 0,447$	(H).
Cố đôi cực	$p = 2$	
Moment quán tính	$J = 0,00026$	(kgm^2).
Moment tải	$M_t = 3,5$ (Nm).	Xuất hiện ở thời gian $t=2$ (s)



Hình 2.51: Đáp ứng từ thông và tốc độ



Hình 2.52: Đáp ứng moment, dòng điện và điện áp

Thông số của động cơ cấp công suất lớn:

Điện trở stator $R_s = 0,294$ (Ω).

Điện trở rotor $R_r = 0,156$ (Ω).

Điện cảm stator $L_s = 0,04239$ (H).

Điện cảm rotor $L_r = 0,04174$ (H).

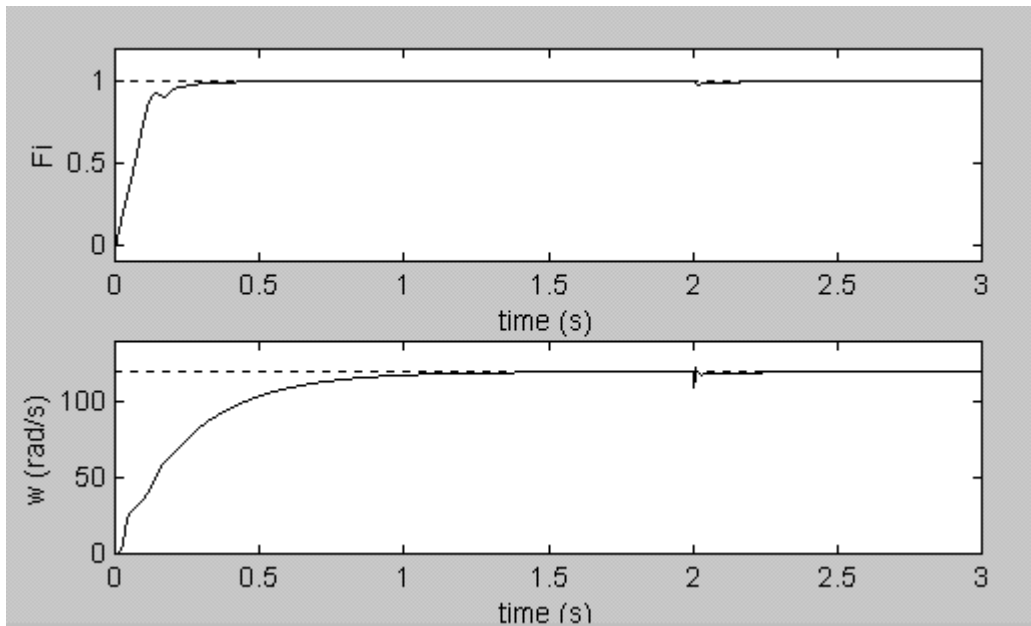
Hệ số hỗ cảm $L_m = 0,041$ (H).

Cố đôi cực $p = 2$

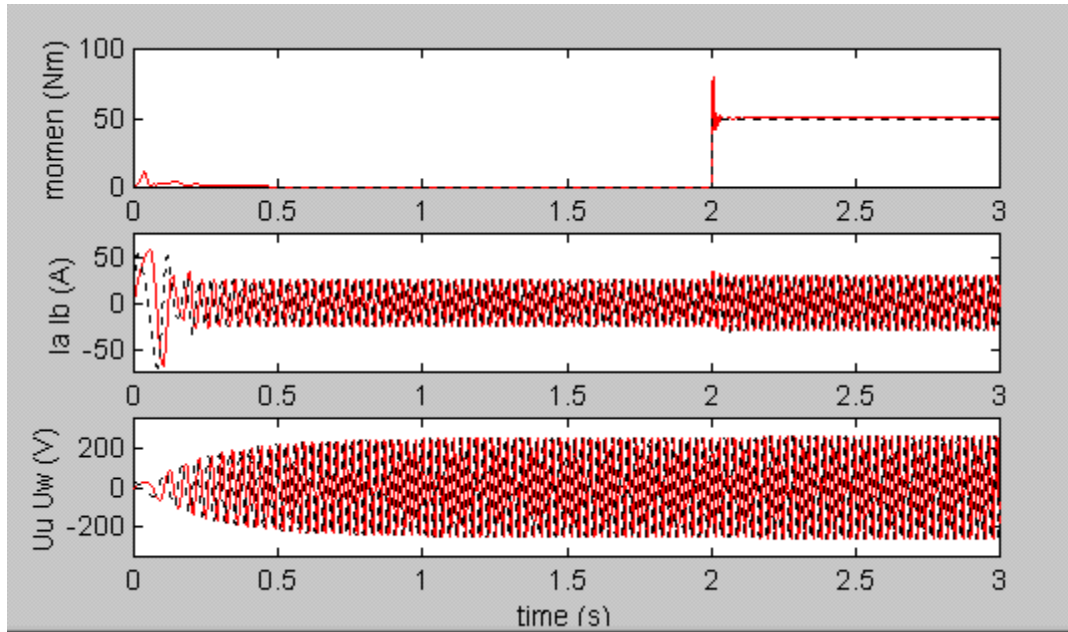
Moment quán tính $J = 0,01$ (kgm^2).

Moment tải $M_t = 30$ (Nm). Xuất hiện ở thời gian $t=2$ (s)

Thời gian mô phỏng $t=3$ (s).



Hình 2.53: Đáp ứng từ thông và tốc độ



Hình 2.54: Đáp ứng moment, dòng điện và điện áp

2.10 Nhận xét.

Việc áp dụng phương pháp IMC điều khiển đối tượng phi tuyến là động cơ không đồng bộ đã khắc phục được các vấn đề mà trước đây và hiện nay vẫn cho là hết sức khó khăn:

- * Giải quyết được vấn đề thông số của động cơ thay đổi theo nhiệt độ và theo tải làm ảnh hưởng đến chất lượng của hệ thống điều khiển.

- * Động cơ không đồng bộ là một hệ thống phi tuyến phức tạp nên hệ thống điều khiển có rất nhiều thông số. Ở các phương pháp điều khiển khác việc xác định các thông số rất khó khăn. Phương pháp IMC thông số điều khiển rất ít.

Thông qua kết quả mô phỏng:

- * Chất lượng đáp ứng danh định tốt.

- * Hệ thống vẫn ổn định khi có sự thay đổi của thông số động cơ, điện trở, điện cảm, hồ cảm và moment quán tính trong tầm rộng.

* Khi tất cả các thông số của động cơ đều thay đổi hệ thống vẫn ổn định điều này cho phép bộ điều khiển có thể sử dụng cho các cấp công suất khác nhau (trong giới hạn cho phép).

* Trong mô hình thuận và mô hình ngược moment tải được xem như bằng không nên không cần phải ước lượng moment tải hay hồi tiếp thông số moment tự động cơ về. Điều này làm đơn giản được hệ phương trình động của động cơ, giảm khối lượng tính toán trong bộ điều khiển tức là giảm khối lượng tính toán cho vi xử lý.

Để dàng thay đổi thời gian đáp ứng của hệ thống thông qua việc thay đổi thông số của bộ lọc.