



Hệ thống điều khiển số

- Giới thiệu môn học
- Giới thiệu về điều khiển số
- PID



Giới thiệu môn học

Tên môn học: Hệ thống điều khiển số

Phân phối giờ: 42LT

Số tín chỉ: 2

Trang web cá nhân: www4.hcmut.edu.vn/~nntu



Tài liệu tham khảo

- *Digital Control of Dynamic Systems*, Addison-Wesley Co. 1990, G.F. Franklin, J.D. Powell, M.L. Workman.
- *High Performance Drives*, Engng 3028, E. Levi
- *Modern Power Electronics and AC Drives*, Bimal K. Bose
- Phần mềm Matlab/Simulink



Nội dung

Hệ thống điều khiển số cho máy điện

Phần 1: Đại cương về điều khiển số

Phần 2: Giới thiệu về biến tần

Phần 3: Mô hình máy điện – Các hệ qui chiếu

Phần 4: Điều khiển số động cơ điện (động cơ không đồng bộ ba pha) – Điều khiển vector (FOC)



Đánh giá

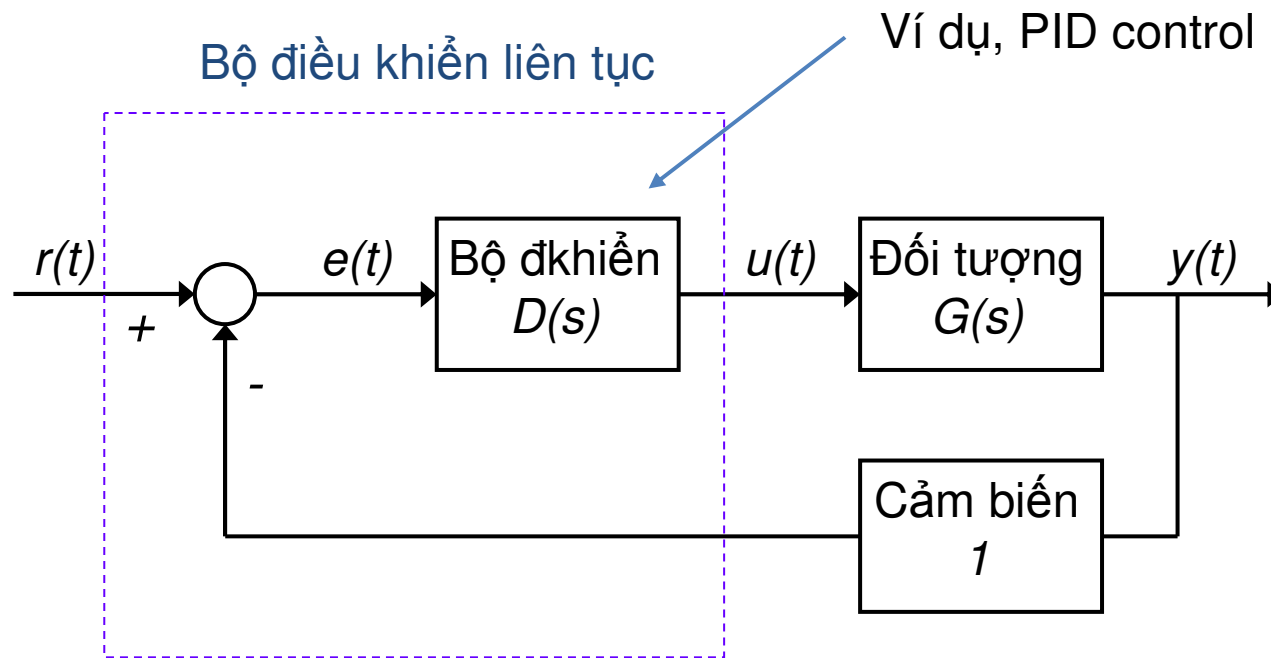
- Kiểm tra giữa kì: kiểm tra viết (20%) – dự kiến 45 phút
- Kiểm tra cuối kì: trắc nghiệm (80%) – dự kiến 75 phút

Không sử dụng tài liệu



Điều khiển tương tự

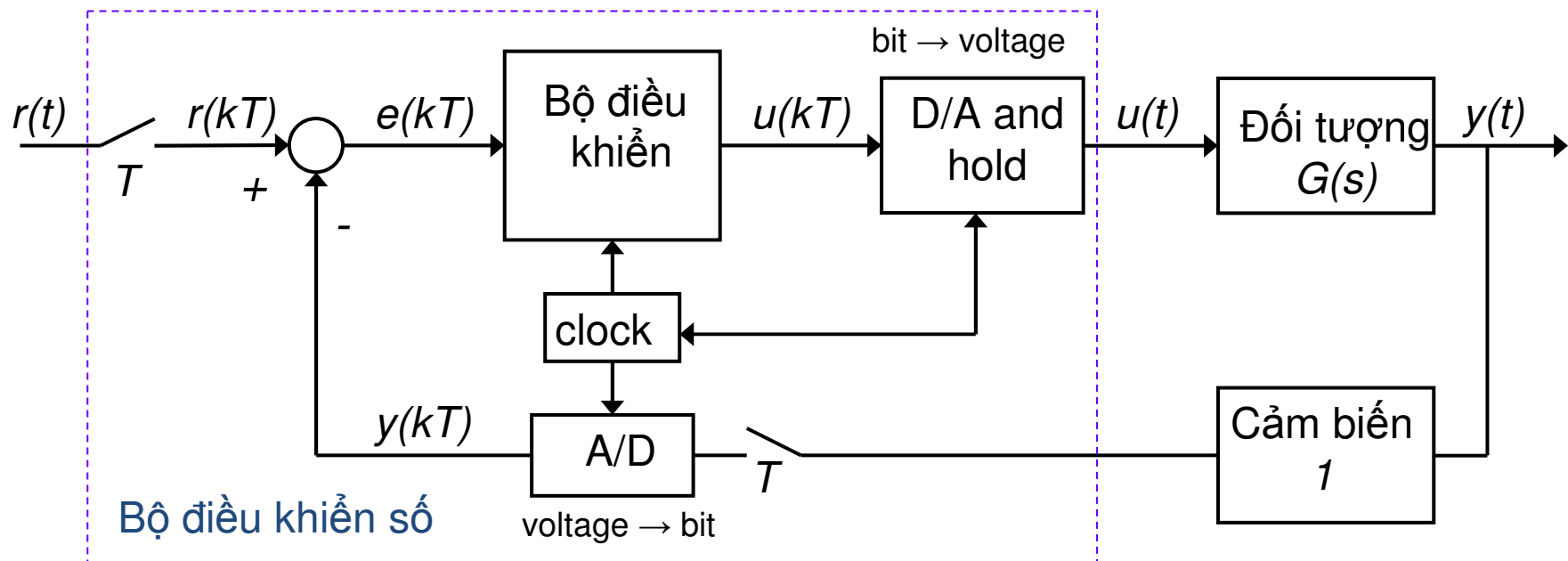
- Hệ thống điều khiển tương tự





Điều khiển số

- Hệ thống điều khiển số
 - T là thời gian lấy mẫu (s)
 - Tín hiệu lấy mẫu : $x(kT) = x(k)$





Hệ thống điều khiển động cơ

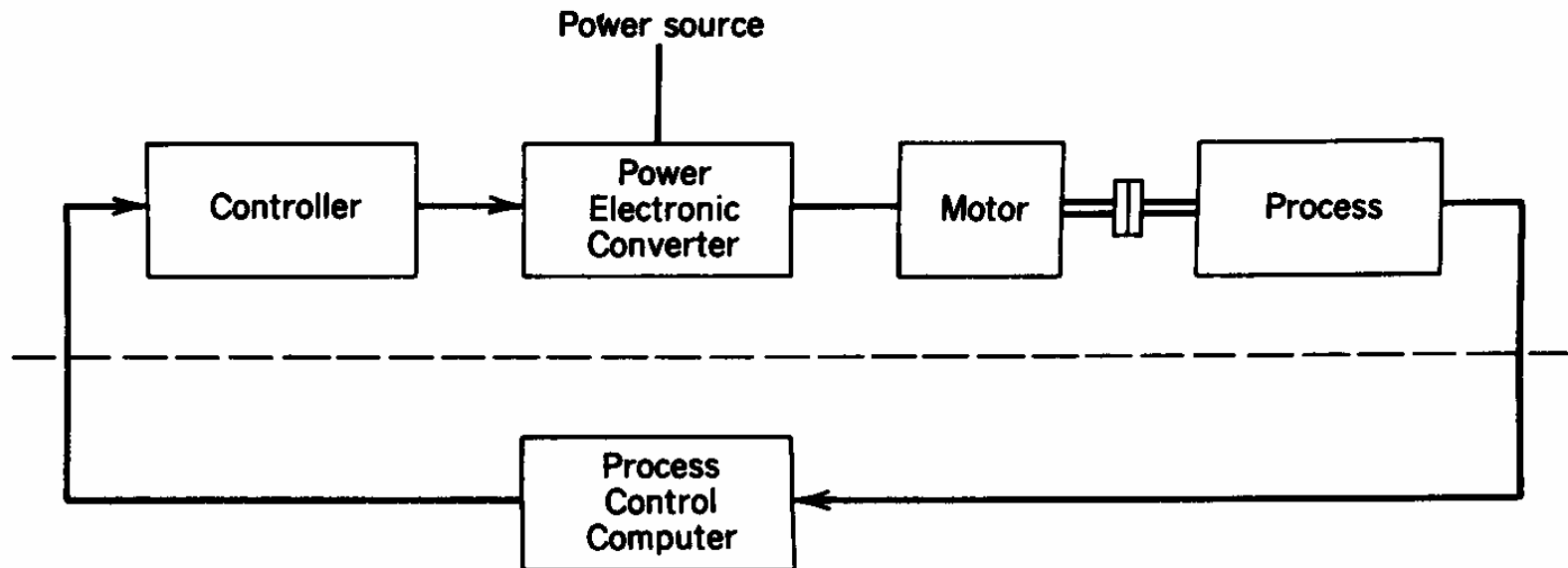
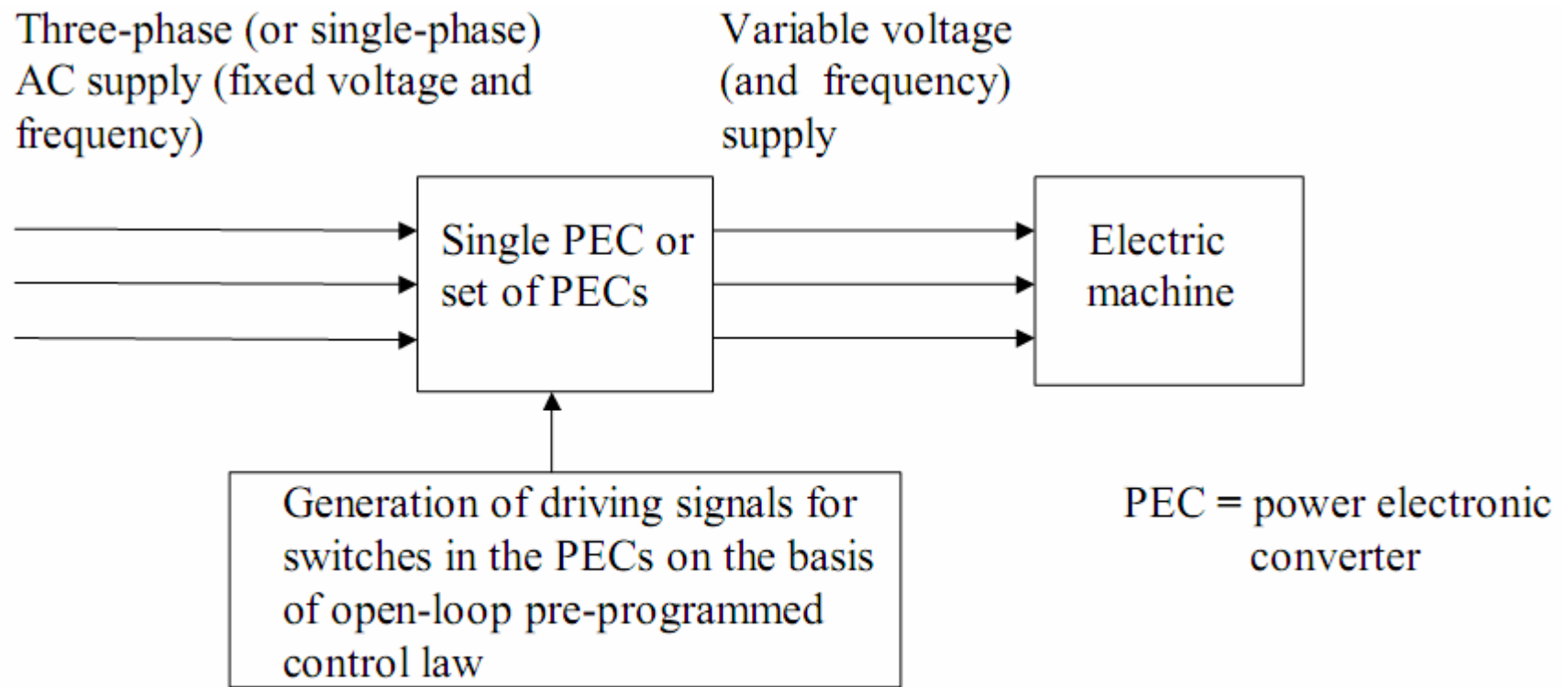


Figure 12-1 Control of motor drives.

- Điều khiển động cơ là một trong những ứng dụng quan trọng nhất trong lĩnh vực điện tử công suất



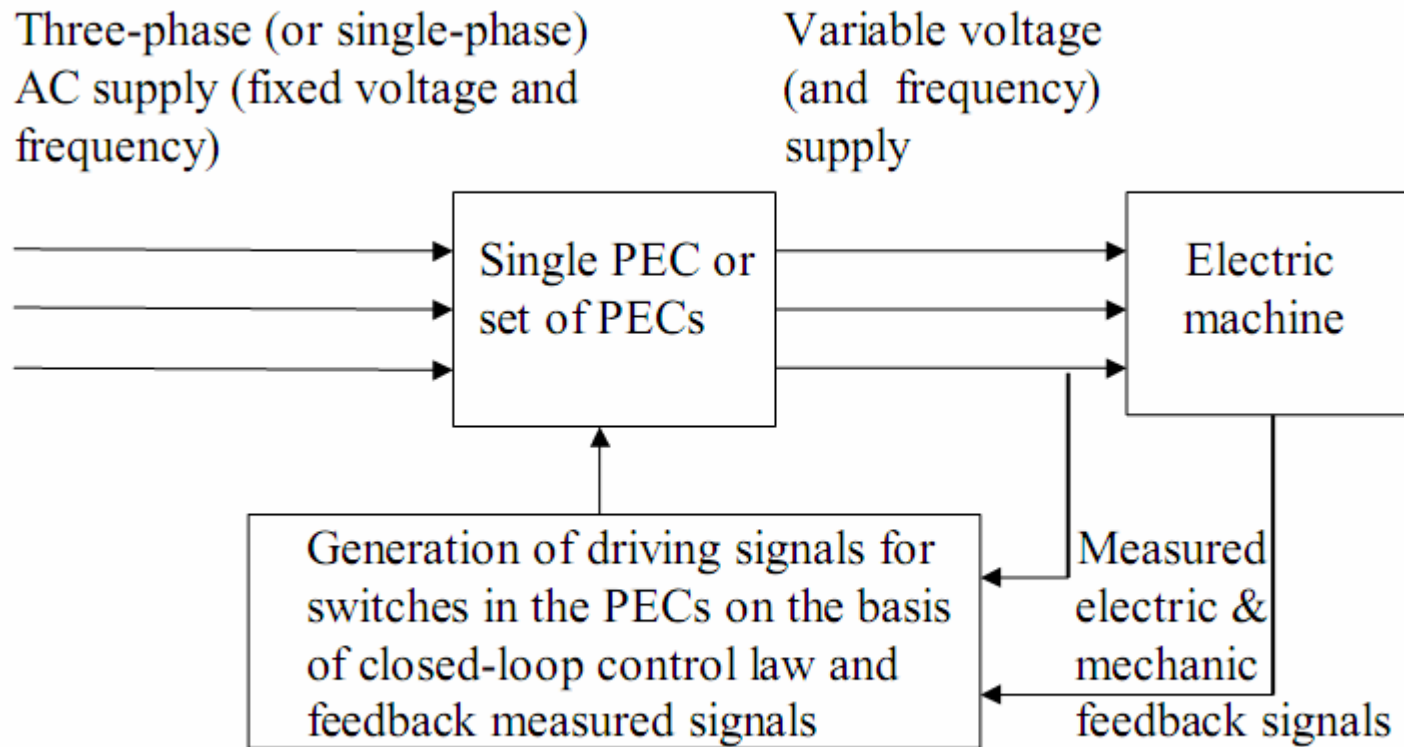
Điều khiển máy điện vòng hở



Open-loop low performance electric drive



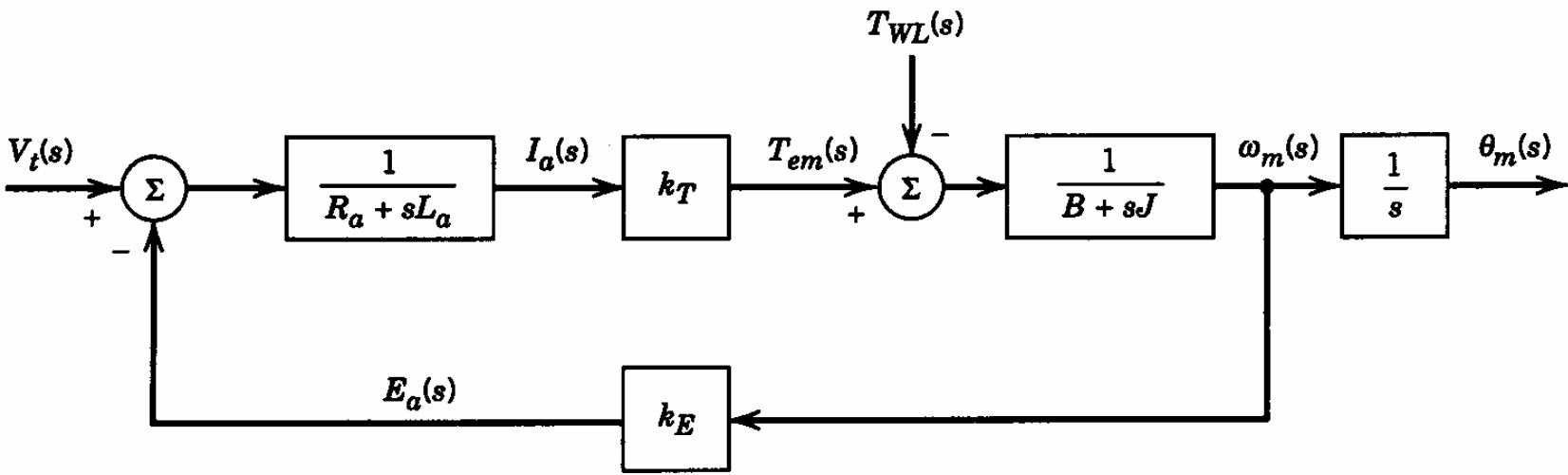
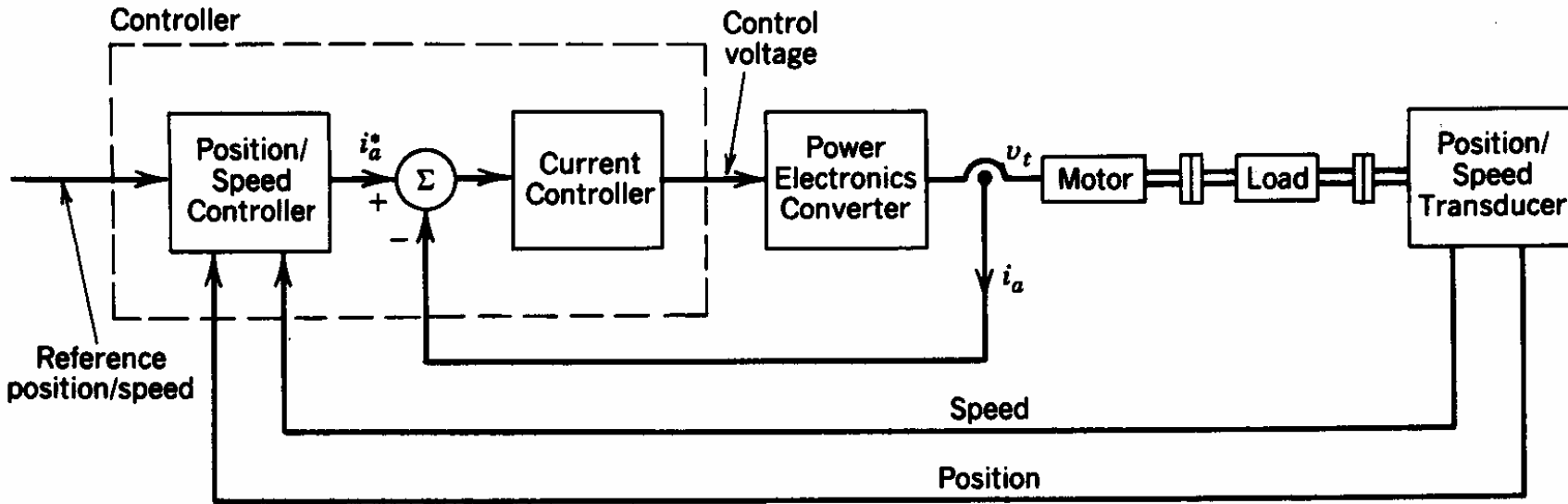
Điều khiển máy điện vòng kín



Closed-loop high performance electric drives



Hệ thống điều khiển động cơ DC



H Figure 13-7 Block diagram representation of the motor and load (without any feedback).



Ví dụ ứng dụng

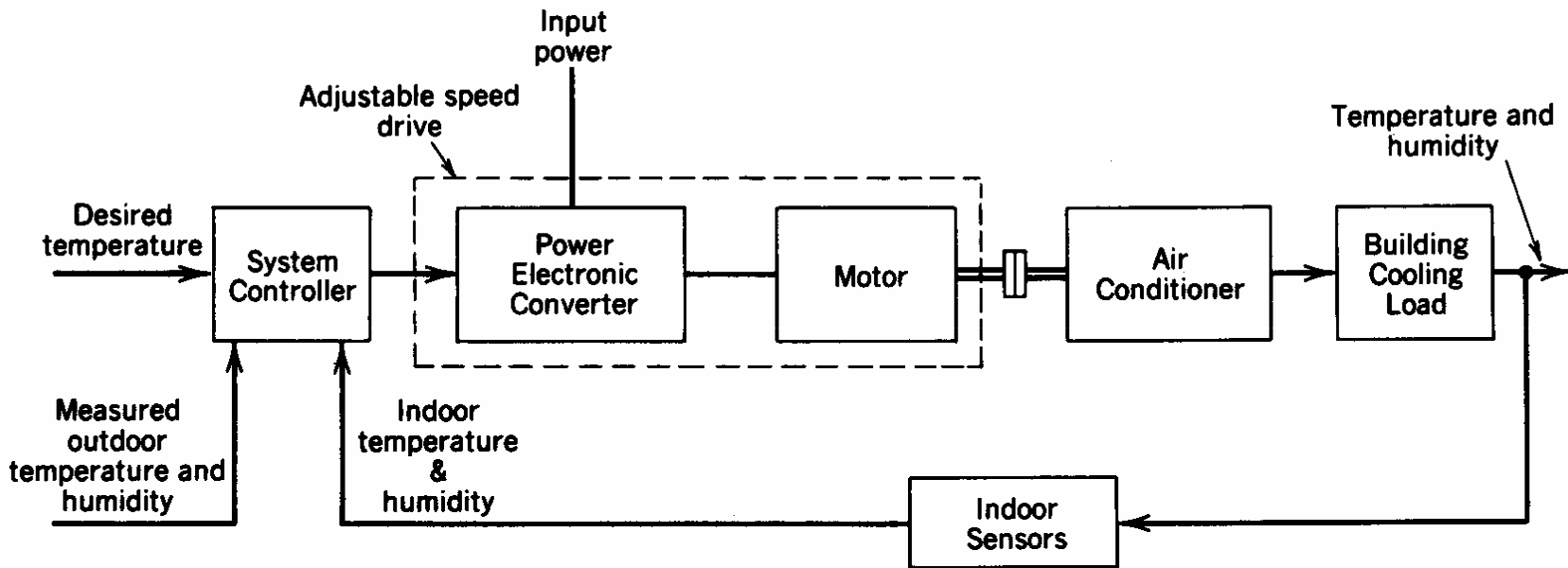
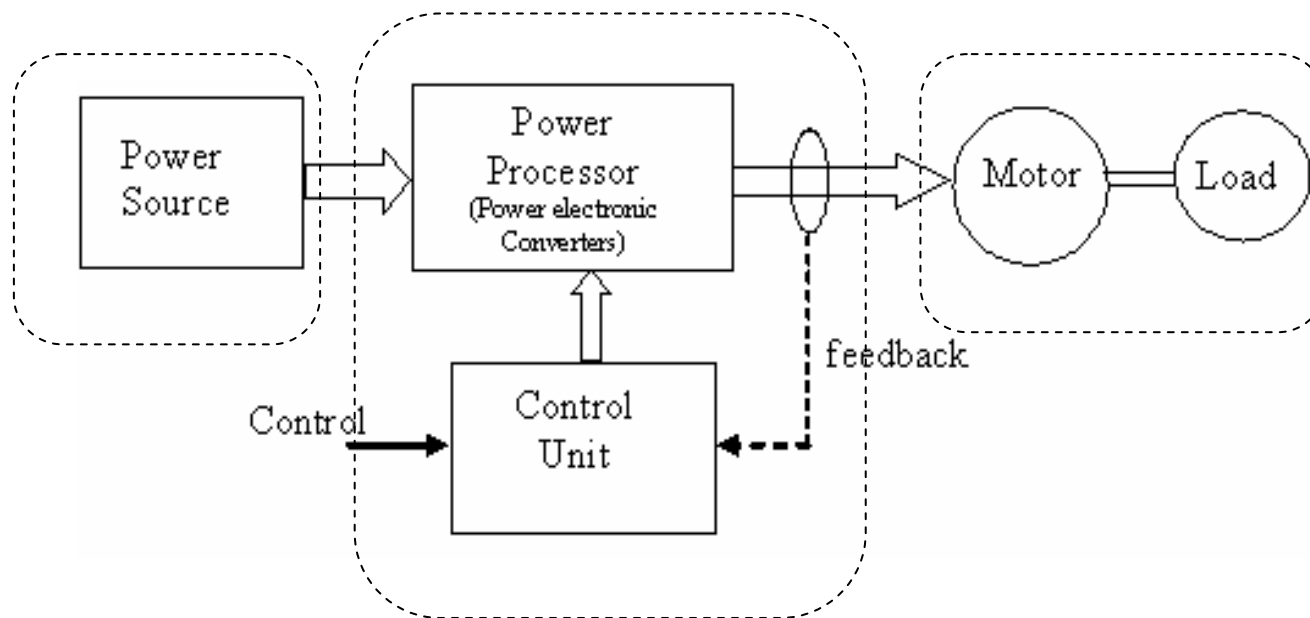


Figure 12-3 Adjustable-speed drive in an air conditioning system.



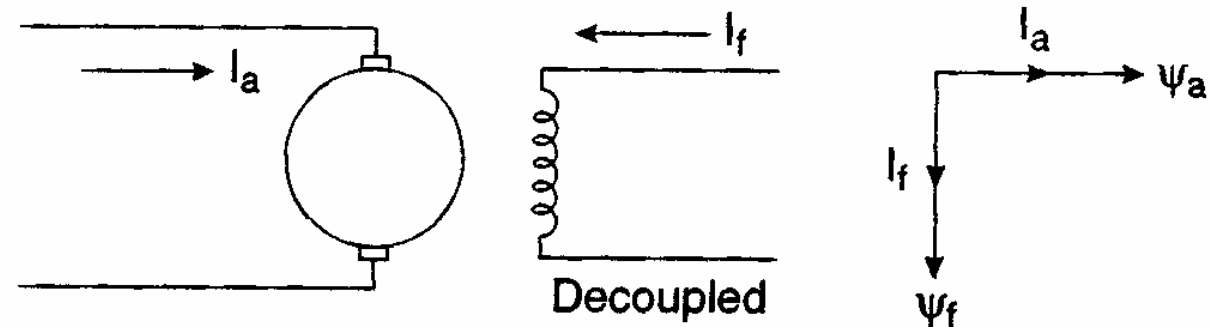
Khái niệm điều khiển vector

- *Điều khiển vector: điều khiển đơ AC giống như điều khiển động cơ DC (điều khiển moment và từ thông rotor).*





Điều khiển vector hay định hướng trường



$$T_e = K_t \psi_f \psi_a = K'_t I_a I_f$$

Torque component Field component

Động cơ không đồng bộ có thể được điều khiển bằng cách đưa về trạng thái như động cơ DC kích từ độc lập



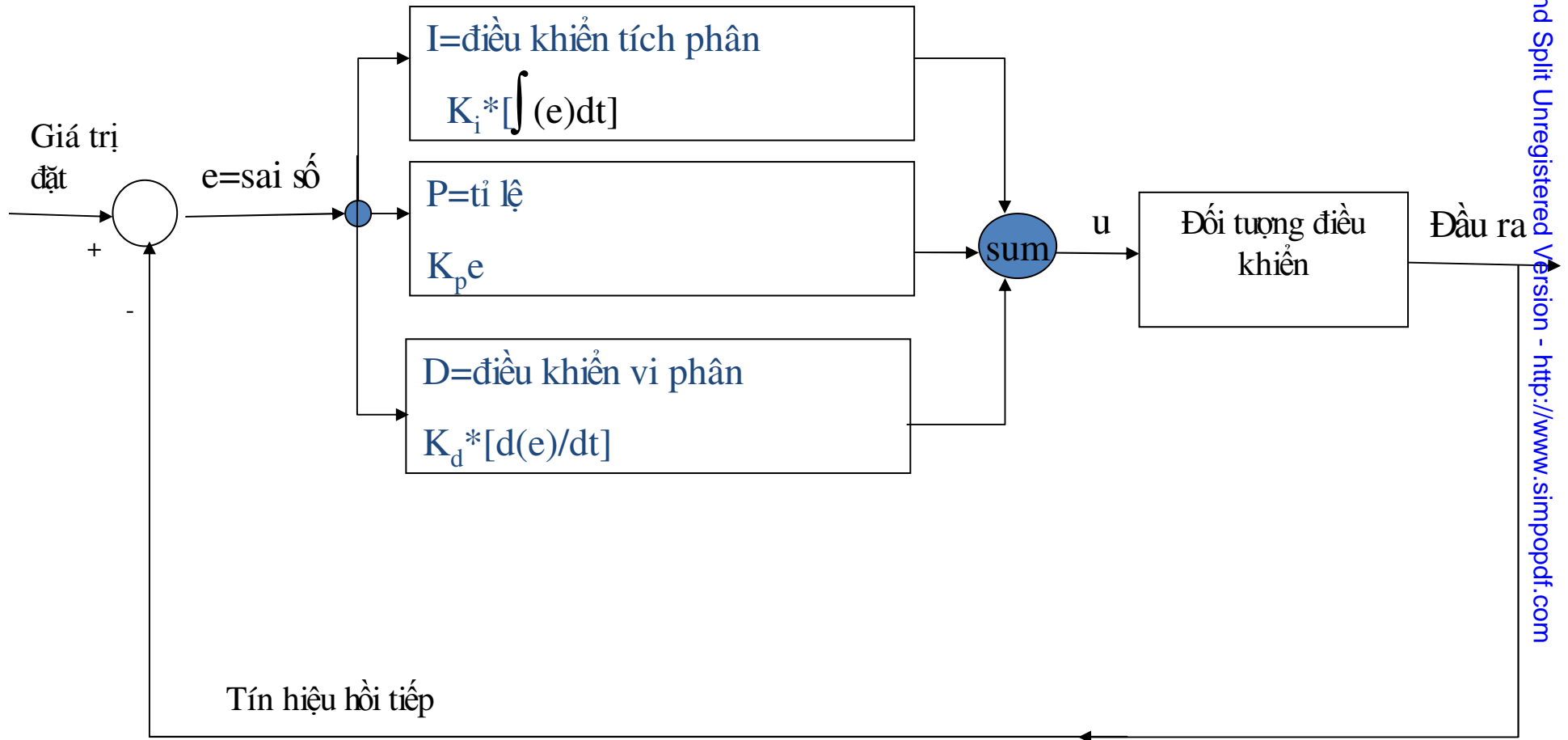
Bộ điều khiển PID

- Bộ điều khiển truyền thống đơn giản
- Bộ đkhiển PD có thể cải thiện đáp ứng quá độ trong khi vẫn giữ được sự ổn định.
- Bộ điều khiển PI có thể cải thiện sai số xác lập của hệ thống mà không làm giảm sự ổn định.

$$u = K_p e + K_d \frac{de}{dt} + K_i \int (e) dt$$



Bộ điều khiển PID



Hệ thống điều khiển số

Bộ môn Thiết bị điện



Phương trình bộ PID liên tục và rời rạc

Time domain $f(t) = K_p \times \text{Error}_{\text{sys}}(t) + K_i \times \int_0^t \text{Error}_{\text{sys}}(t) dt + K_d \times \frac{d}{dt}(\text{Error}_{\text{sys}}(t))$

↕

Discrete domain $f(X_T) = K_p \times \text{Error}_{\text{sys}_T} + (k_i \times T_s) \sum_0^T \text{Error}_{\text{sys}_i} + K_d \times (\text{Error}_{\text{sys}_T} - \text{Error}_{\text{sys}_{T-1}})$

(sampling done at $F_s = 1/T_s$ frequency)

$k_i \times T_s = K_i$

- Lúc ban đầu, set giá trị K_p , giá trị $K_i = 0$
- Tăng dần K_p cho tới khi đáp ứng đạt tới giá trị đặt (không có vọt lố quá lớn và dao động)
- Sau đó K_i được tăng chậm để sai số về 0



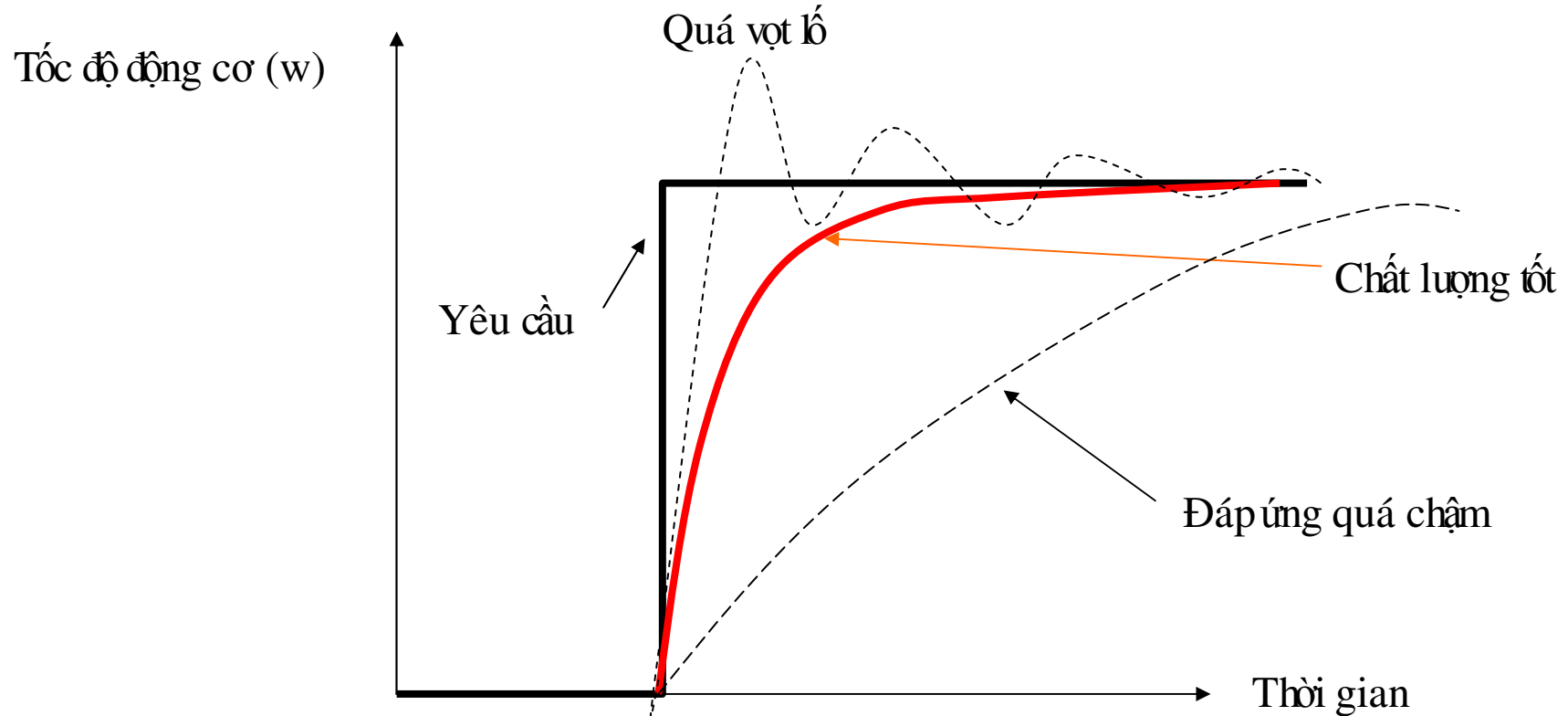
Tính chất của các hệ số P, I, và D

Chú ý rằng quan hệ ở dưới có thể không chính xác, vì K_p , K_i , và K_d phụ thuộc lẫn nhau. Bảng dưới chỉ được dùng để tham khảo khi chọn các giá trị K_i , K_p và K_d .

Thông số	Thời gian lên	Vọt lố	Thời gian xác lập	Sai số xác lập
K_p	Giảm	Tăng	Thay đổi ít	Giảm
K_i	Giảm	Tăng	Tăng	Triệt tiêu
K_D	Thay đổi ít	Giảm	Giảm	Thay đổi ít



Bộ điều khiển PID

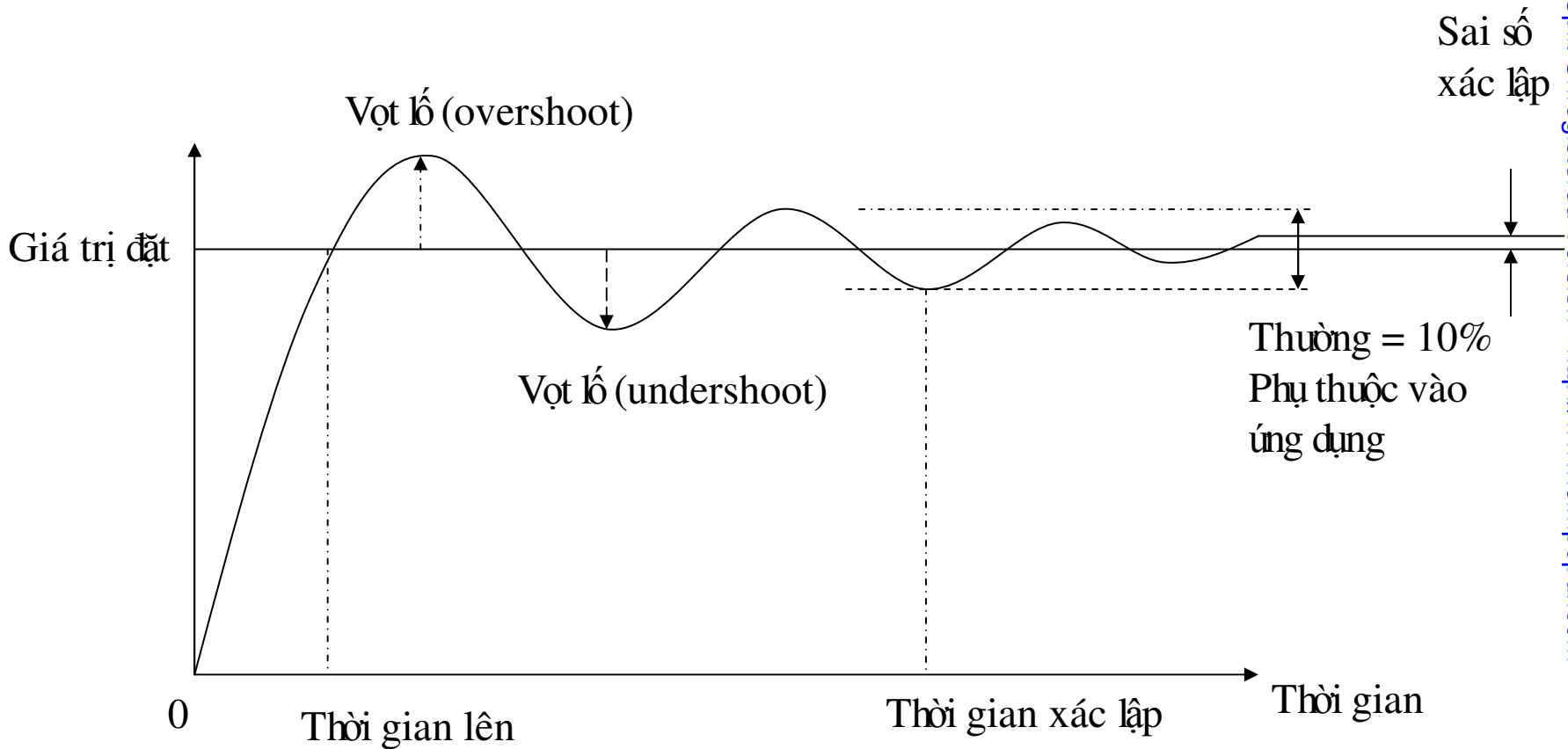


Hệ thống điều khiển số

Bộ môn Thiết bị điện

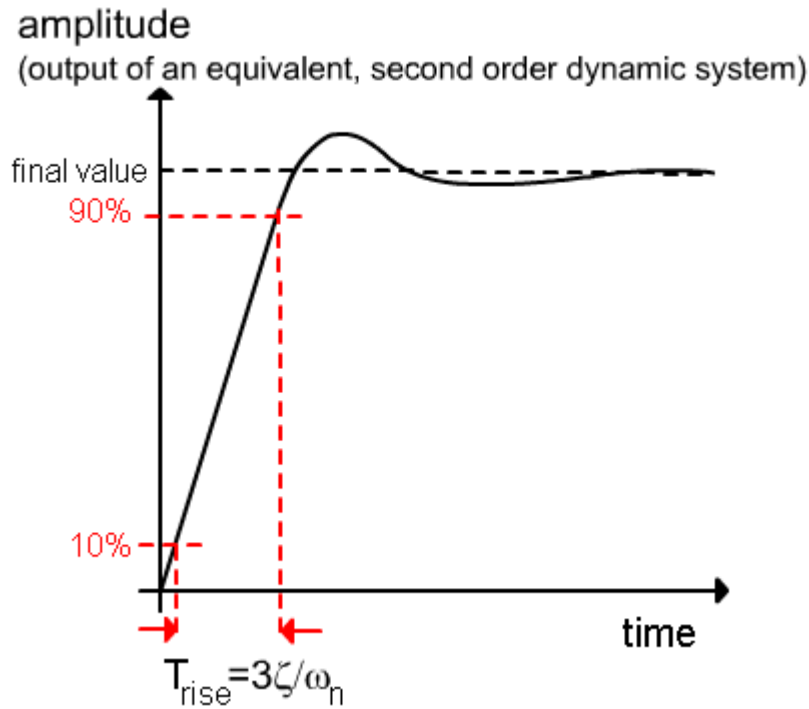


Bộ điều khiển PID

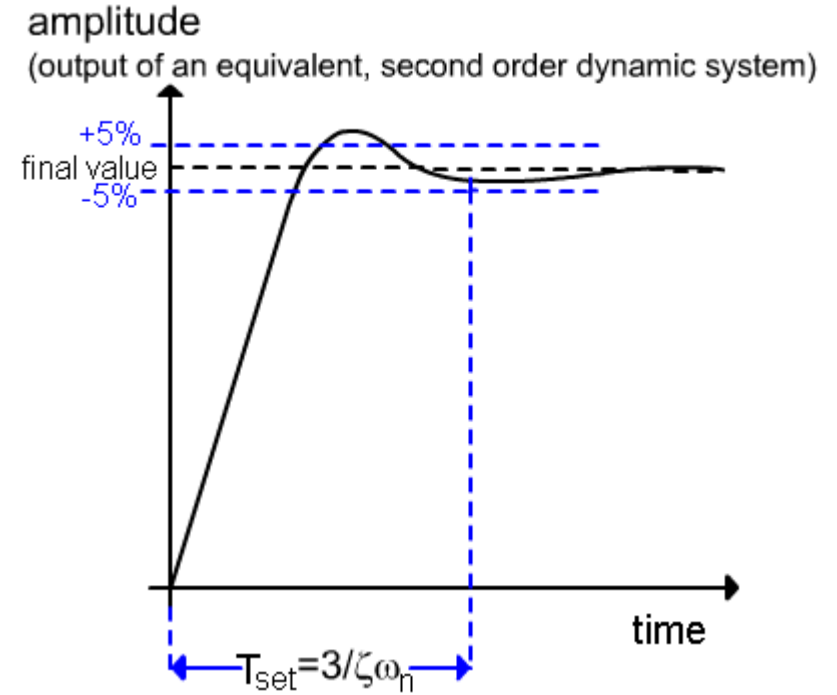




Thiết kế bộ điều khiển



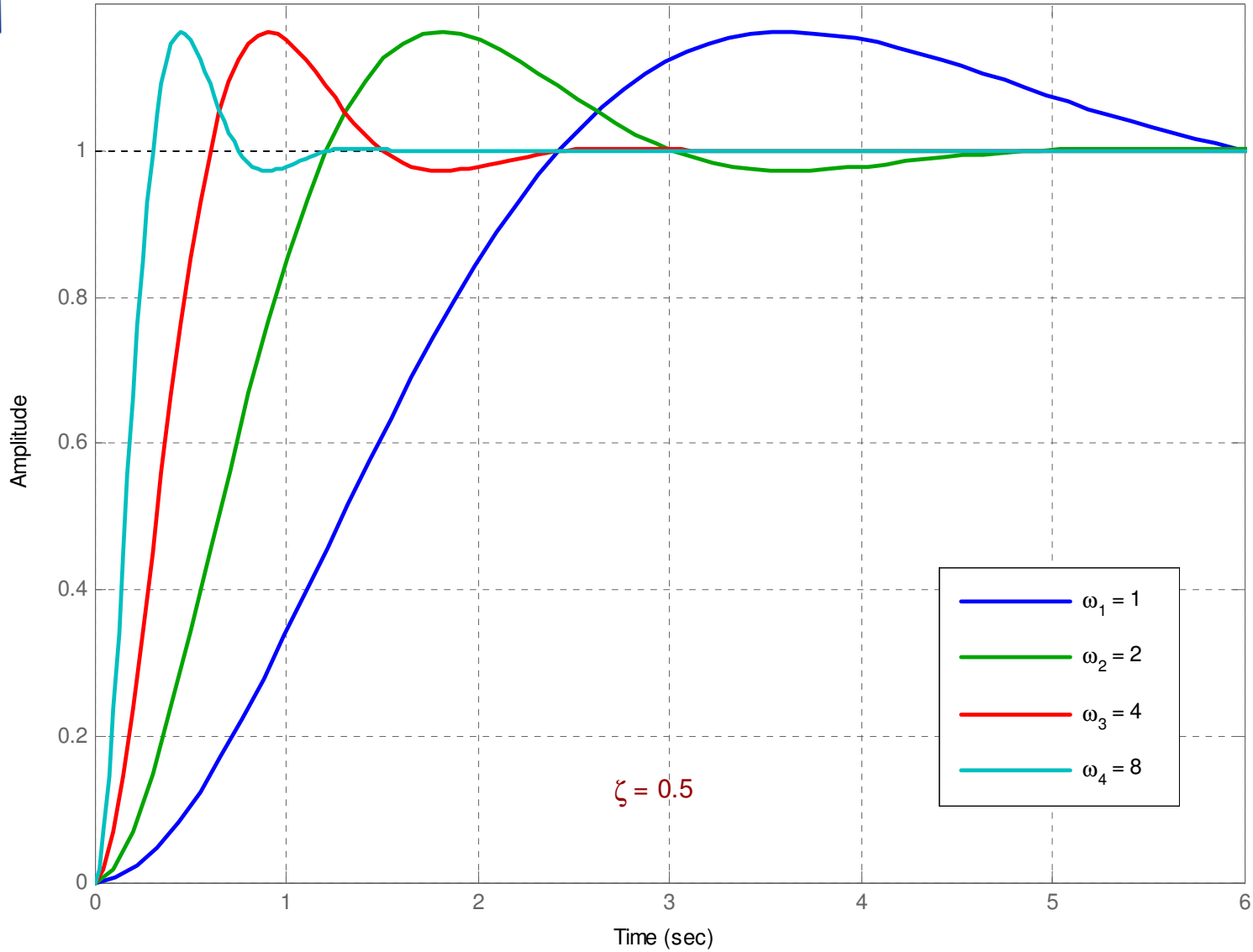
Thời gian lên T_{rise}



Thời gian xác lập T_{set}



Ảnh hưởng của tần số tự nhiên ω_n

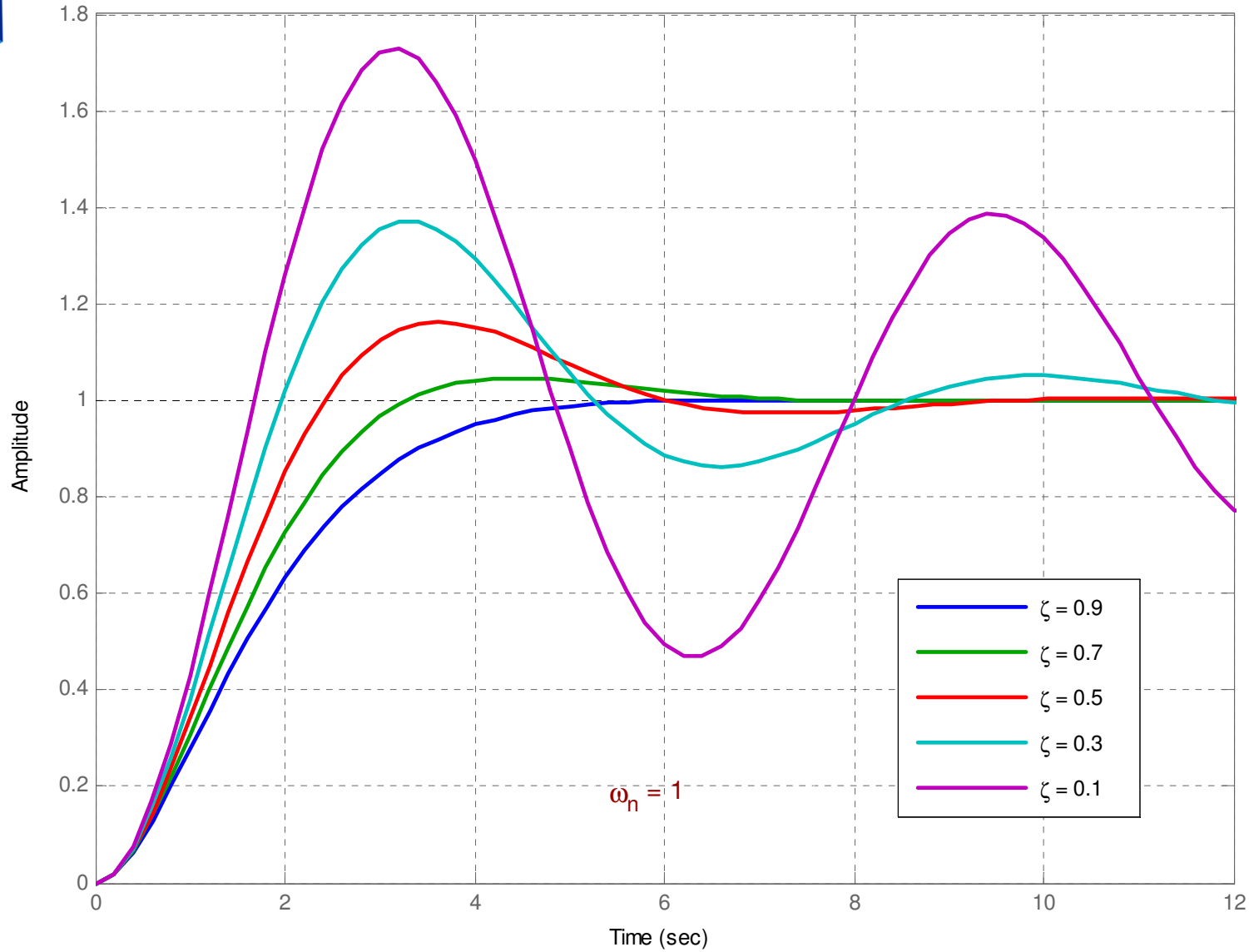


Hệ thống điều khiển số

Bộ môn Thiết bị điện



Ảnh hưởng của hệ số tắt dần



Hệ thống điều khiển số

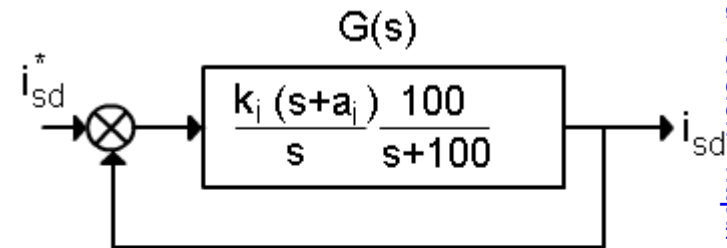
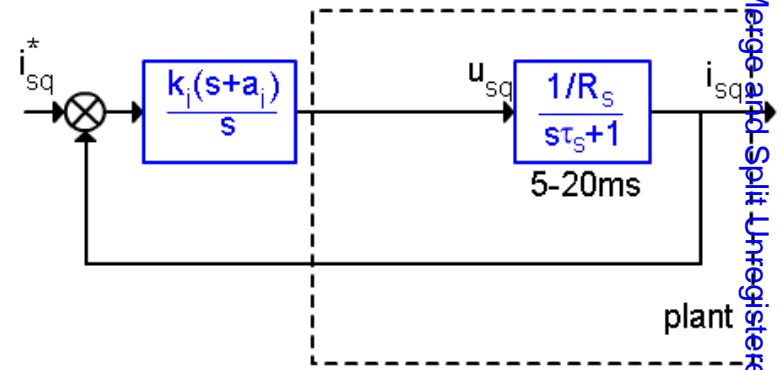
Bộ môn Thiết bị điện



Thiết kế bộ điều khiển PI (1)

Cho hệ thống:

$R_s=1\Omega$, $\tau_s=10\text{ms}$. Thiết kế bộ điều khiển PI có băng thông (tần số tự nhiên) 300Hz (1900 rad/s) và $\zeta=0.8$ (hệ số tắt dần)



closed loop transfer function

$$\frac{G(s)}{1+G(s)}$$



Thiết kế bộ điều khiển PI (2)

Cho hệ thống:

$R_s=1\Omega$, $\tau_s=10\text{ms}$. Thiết kế bộ điều khiển PI có băng thông (tần số tự nhiên) 300Hz (1900 rad/s) và $\zeta=0.8$ (hệ số tắt dần)

Hàm truyền vòng kín:

$$\frac{100k_i(s+a_i)}{s^2 + 100(1+k_i)s + 100k_i a_i}$$

Với $\omega_n = 1900\text{ rad/s}$ và $\zeta = 0.8$

Phương trình đặc tính

$$s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2$$

$$s^2 + 100(1+k_i)s + 100k_i a_i$$



$$s^2 + 3040s + 3610000$$

$$s^2 + 100(1+k_i)s + 100k_i a_i$$

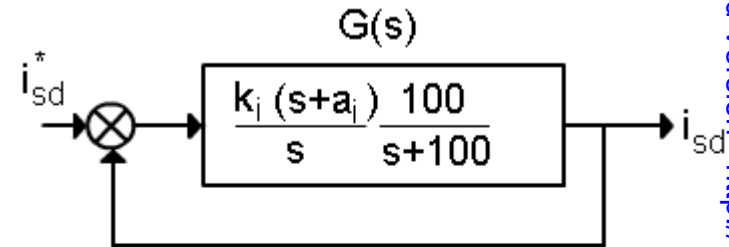
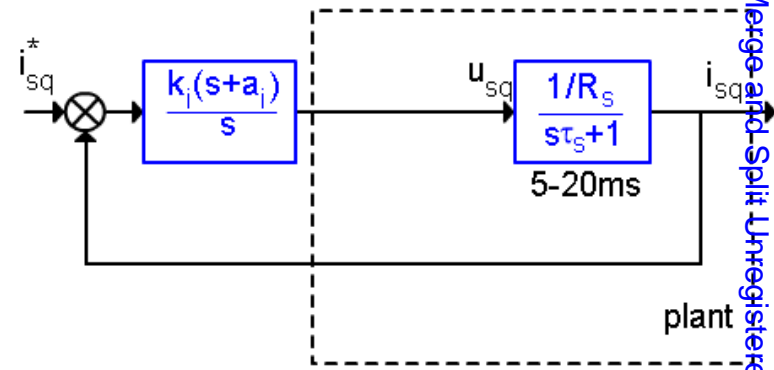


$$a_i = 1227.9$$

$$k_i = 29.4$$

Hệ thống điều khiển số

Bộ môn Thiết bị điện



closed loop transfer function

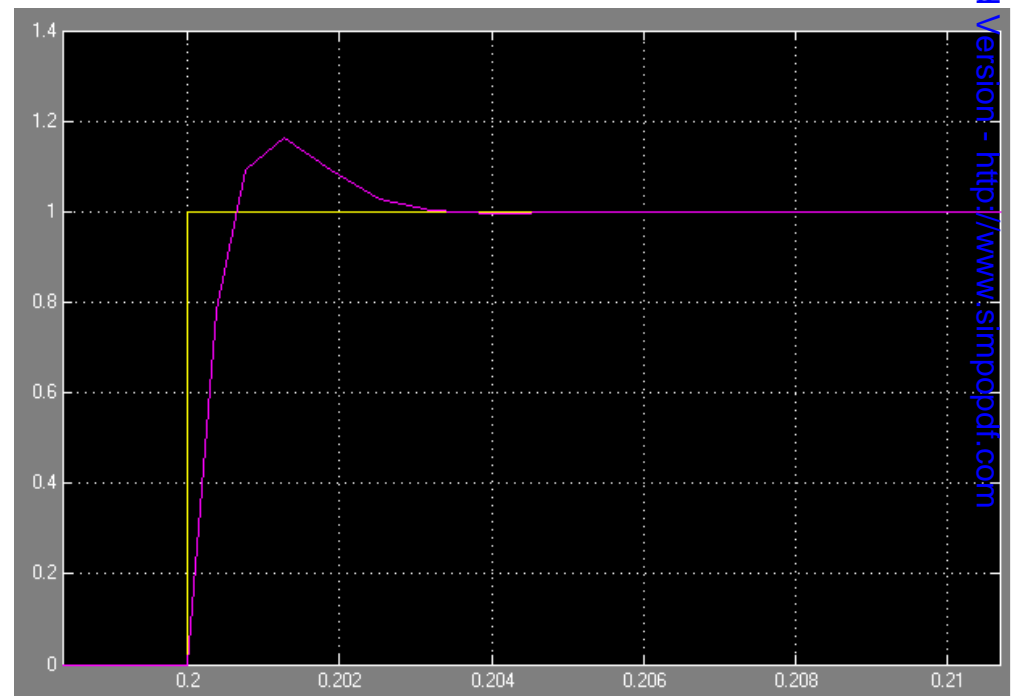
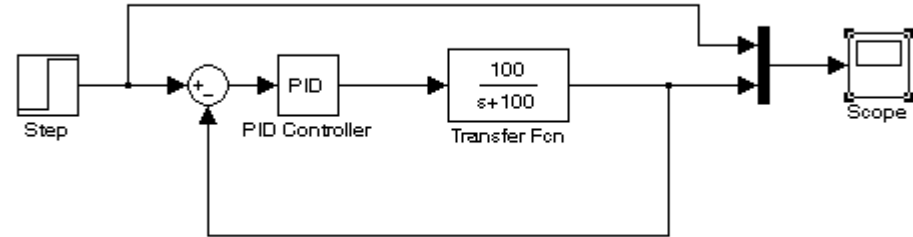
$$\frac{G(s)}{1+G(s)}$$



Thiết kế bộ điều khiển PI (3)

Cho hệ thống:

$R_S=1\Omega$, $\tau_S=10\text{ms}$. Thiết kế bộ điều khiển PI có băng thông (tần số tự nhiên) 300Hz (1900 rad/s) và $\zeta=0.8$ (hệ số tắt dần)



Hệ thống điều khiển số

Bộ môn Thiết bị điện



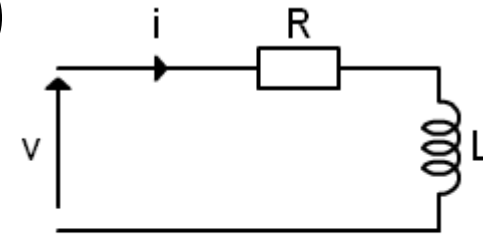
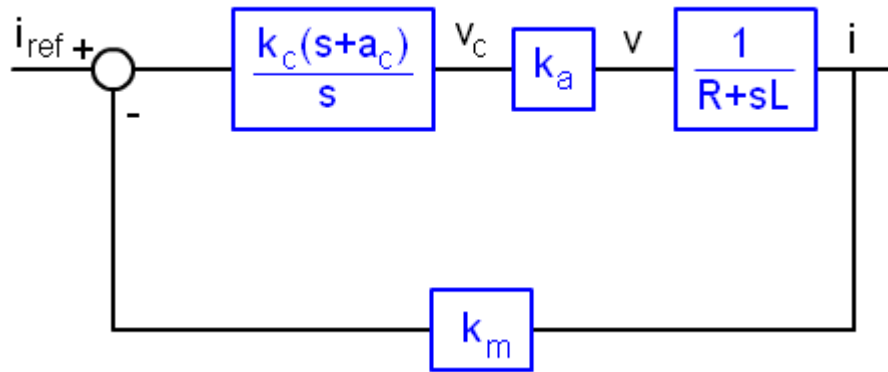
Hệ thống điều khiển số

- Giới thiệu bộ nghịch lưu
- Giới thiệu về vector quay
- Space vector



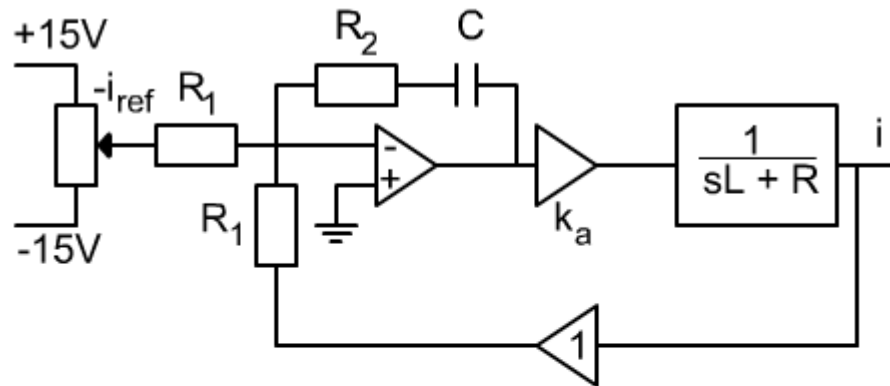
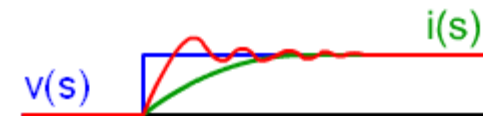
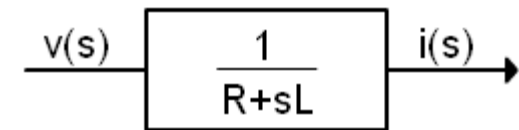
Review (1)

Mô hình động cơ DC
kích từ độc lập



$$v(t) = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt}$$

$$v(s) = Ri(s) + si(s)L$$



$$k_c = \frac{R_2}{R_1}$$

$$a_c = \frac{1}{R_2 C}$$

Đáp ứng có thời gian lên chậm (đường màu xanh) ̸ thiết kế bộ điều khiển để giảm thời gian lên như đường màu đỏ

Bộ môn Thiết bị điện



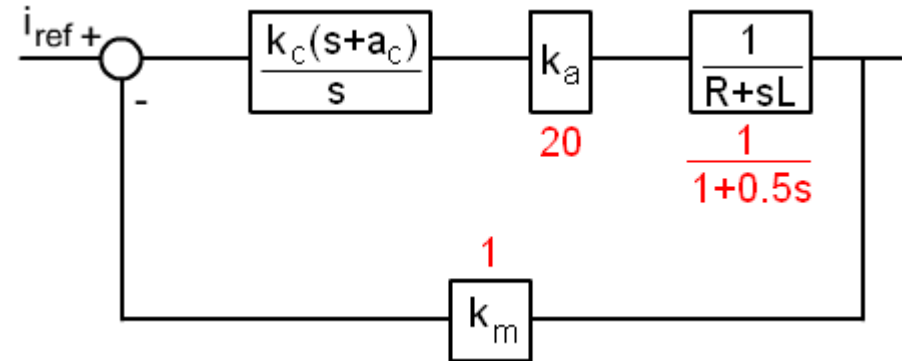
Review (2)

Với hệ số tắt dần và tần số tự nhiên đã cho, thiết kế bộ điều khiển:

- A. $k_c = 0.65, a_c = 15.38$
- B. $k_c = 0.65, a_c = 200$
- C. $k_c = 0.75, a_c = 16.7$
- D. $k_c = 0.75, a_c = 15.34$

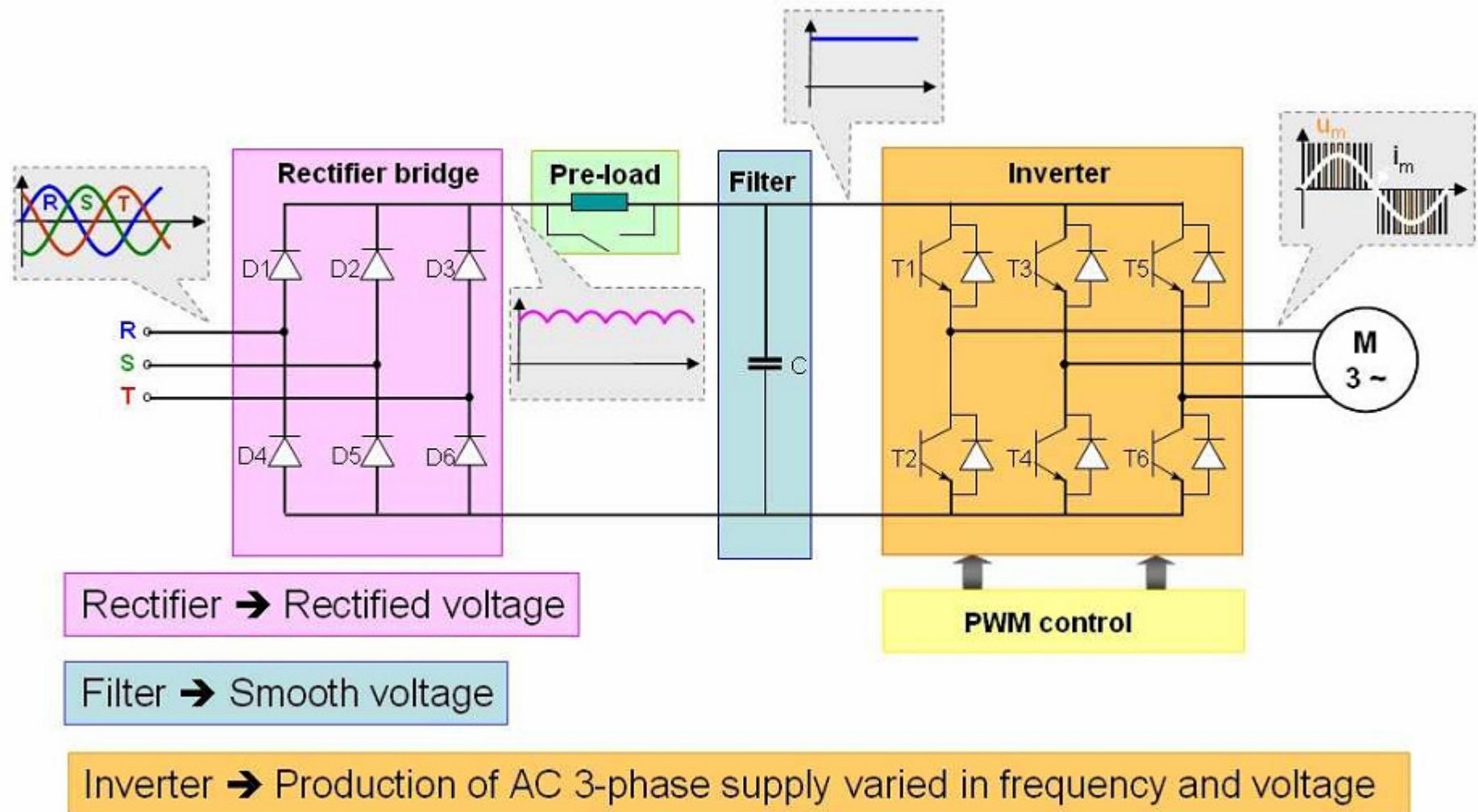
Áp dụng cho bộ điều khiển tương tự, tính R1, R2 và C:

- A. $R_1 = 100k\Omega, R_2 = 66k\Omega, C = 1\mu F$
- B. $R_1 = 10k\Omega, R_2 = 66k\Omega, C = 1\mu F$
- C. $R_1 = 10k\Omega, R_2 = 6.6k\Omega, C = 0.1\mu F$
- D. $R_1 = 100k\Omega, R_2 = 66k\Omega, C = 0.1\mu F$



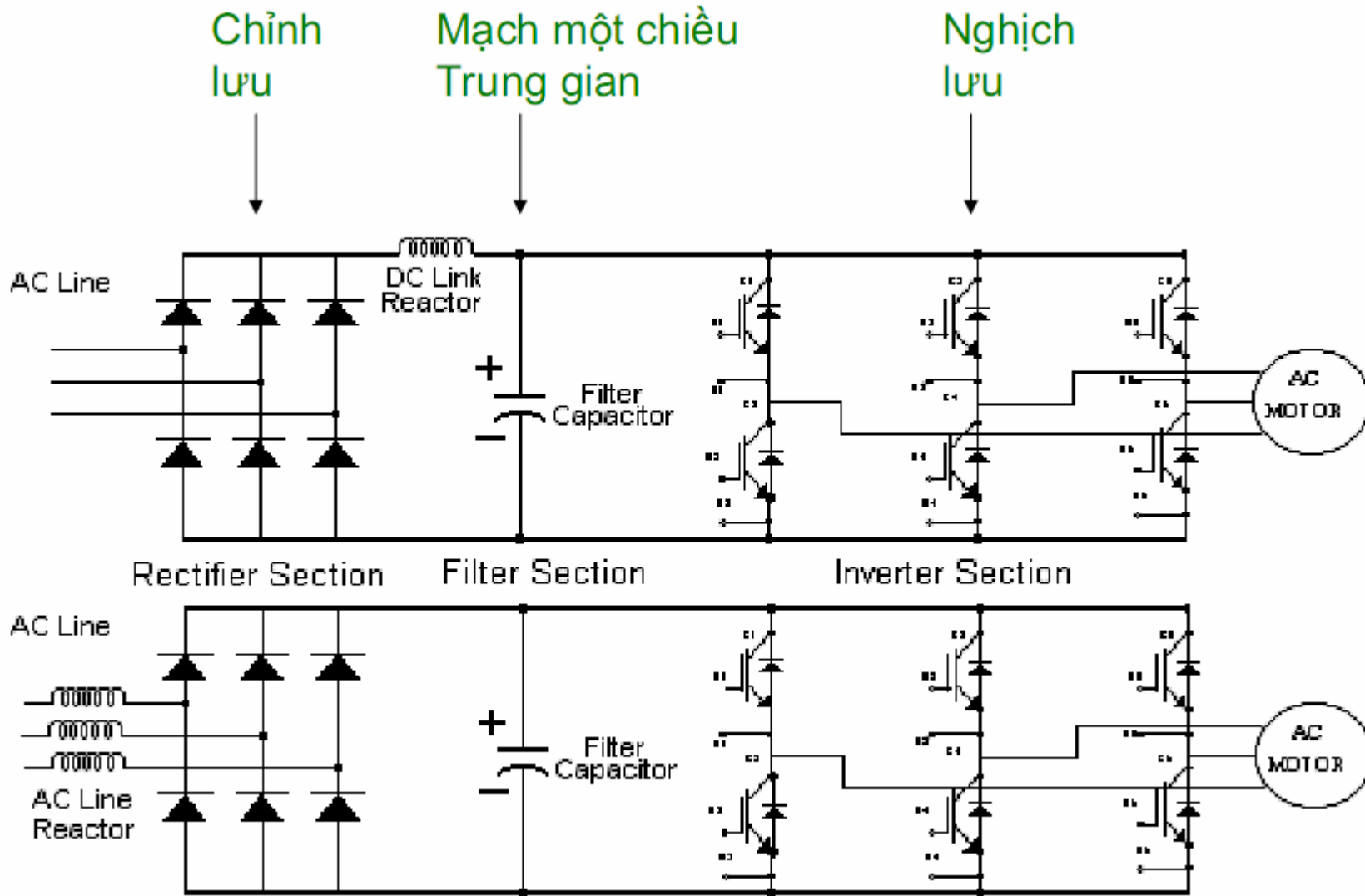
$$L = 500 \text{ mH}, R = 1 \text{ Ohm}, k_a = 20, k_m = 1$$
$$\zeta = 0.7 \quad \omega_n = 20 \text{ rad/s}$$

Cấu tạo biến tần



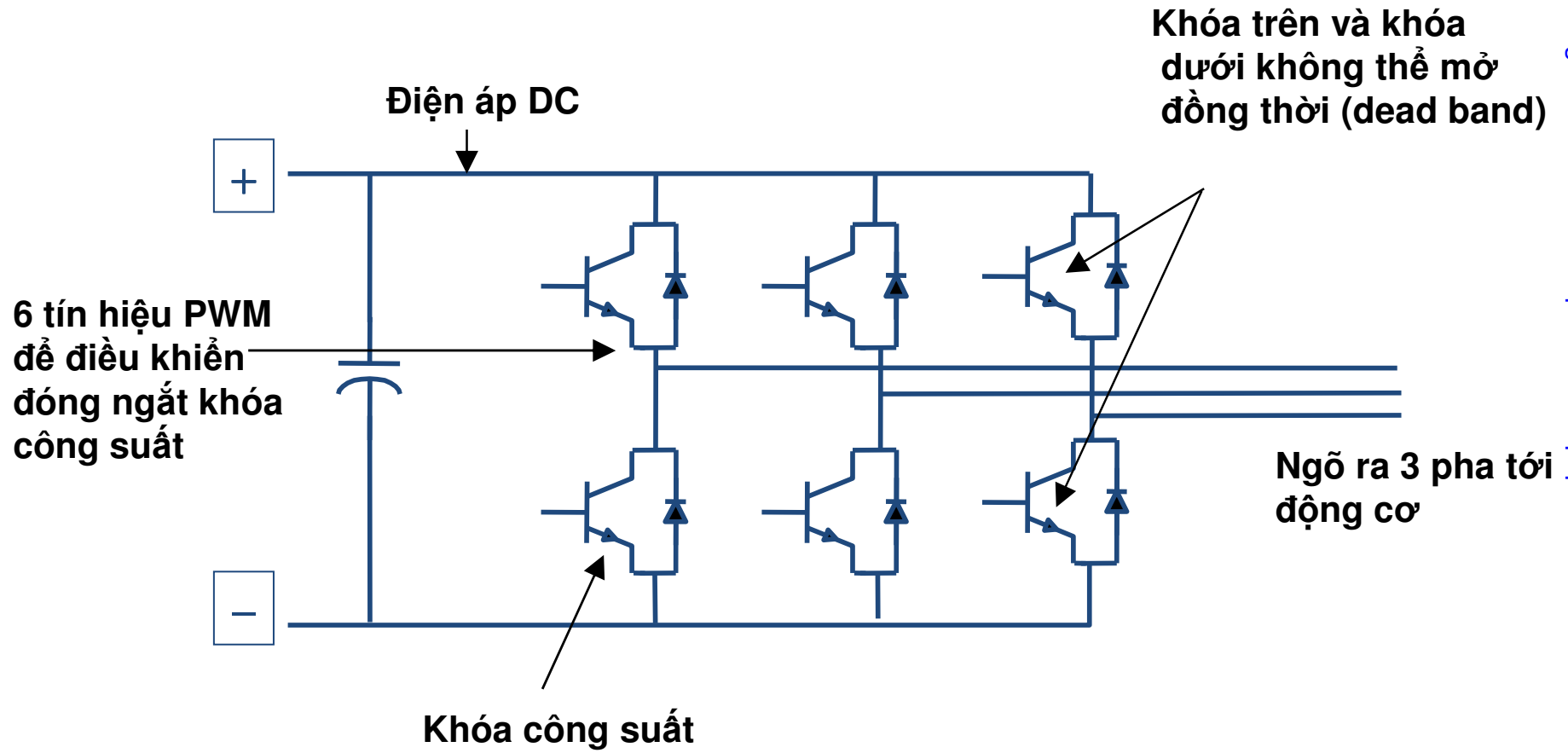
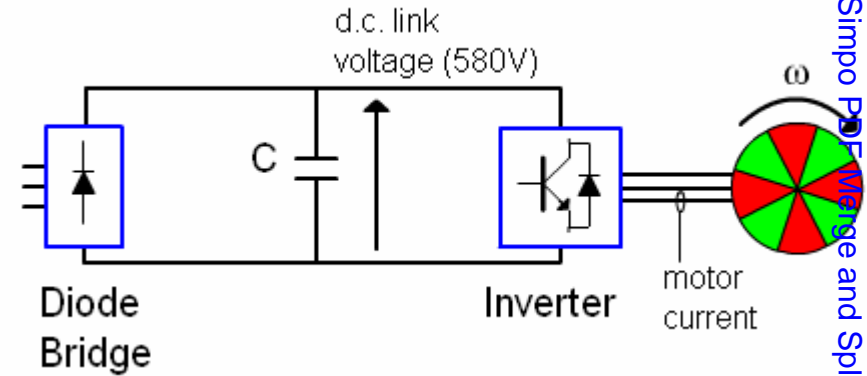


Cấu tạo biến tần





Bộ nghịch lưu áp 3 pha

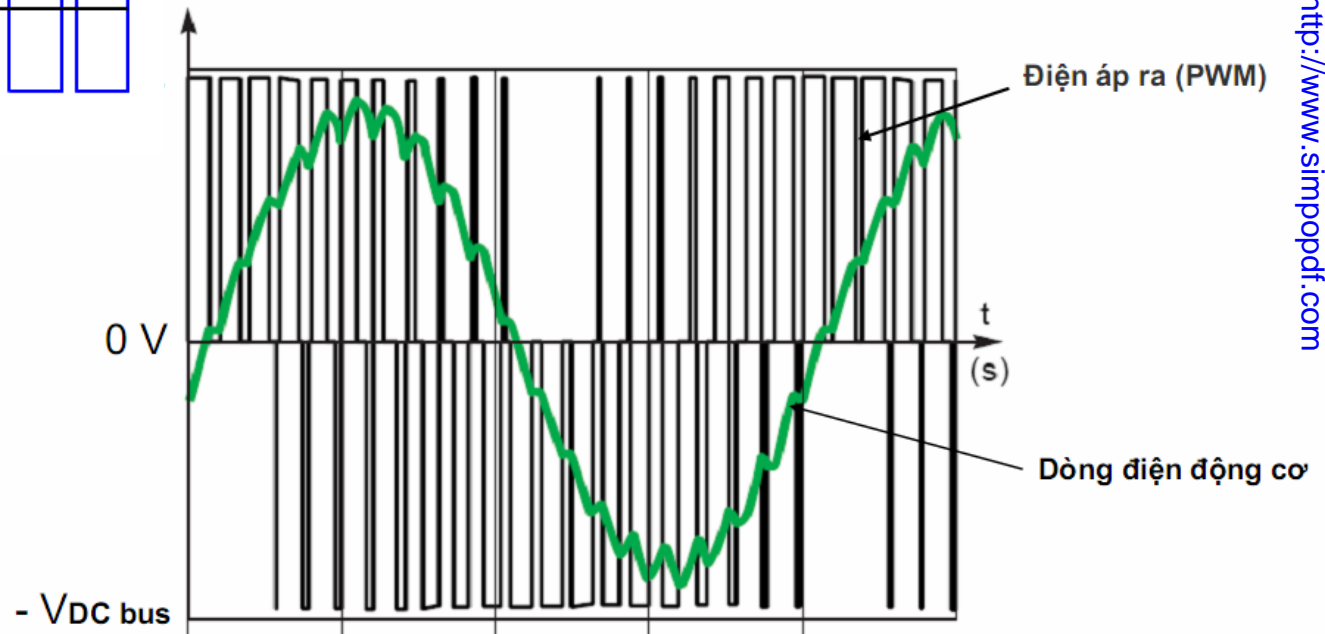
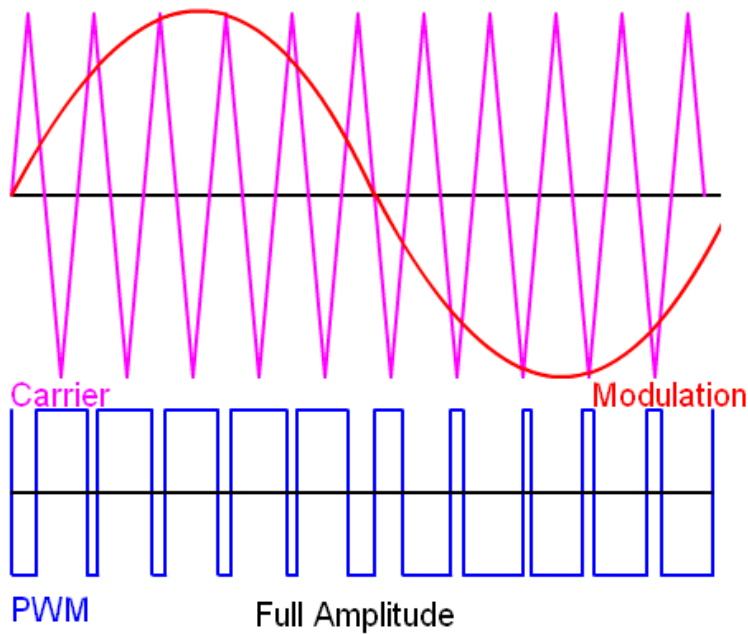


Hệ thống điều khiển số

Bộ môn Thiết bị điện



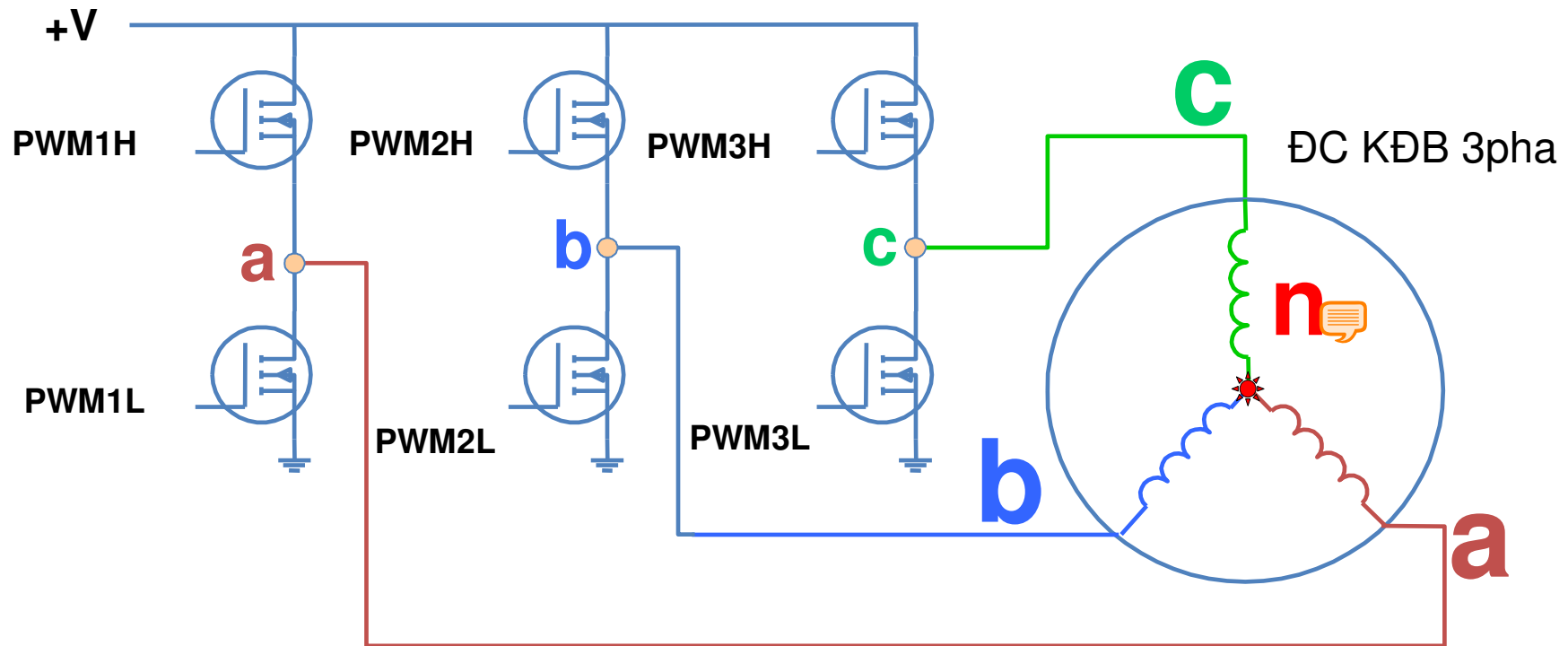
Dạng sóng ra bộ nghịch lưu 3 pha



Hệ thống điều khiển số



Mô hình bộ nghịch lưu DC – AC đơn giản



$$+V = V_{dc} = \text{DC link}$$

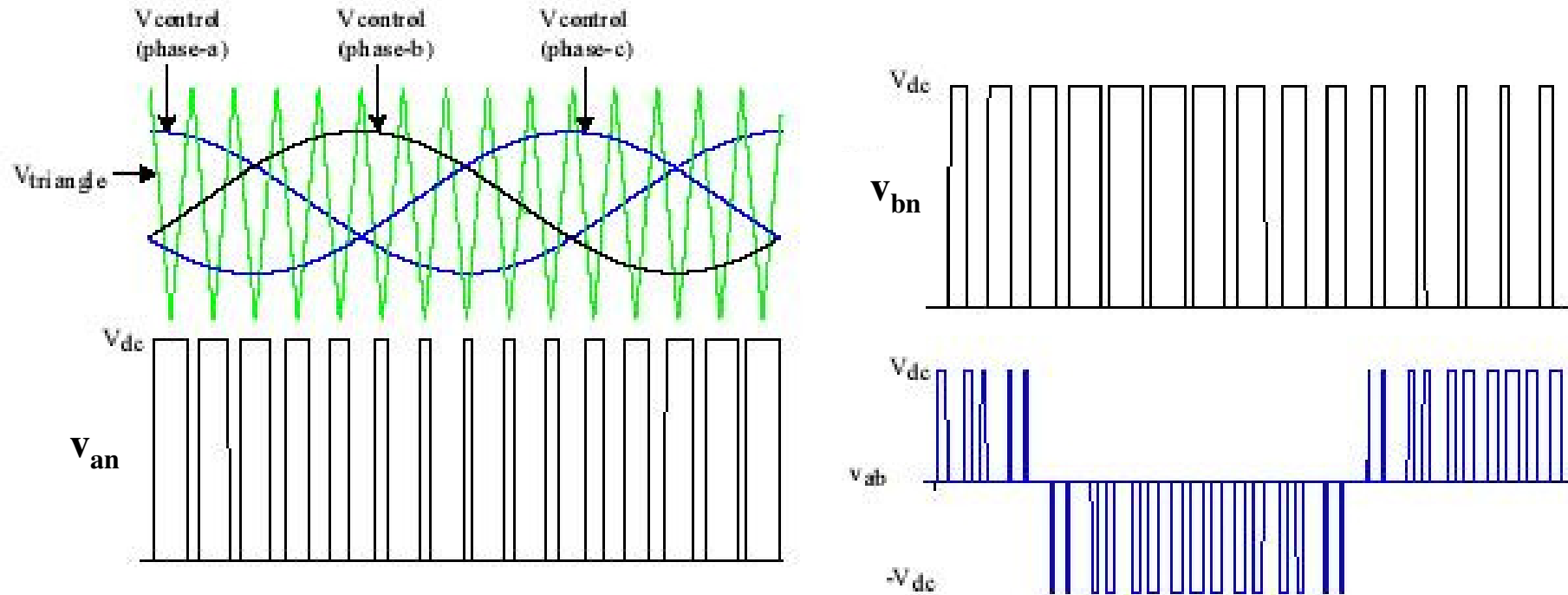
Hệ thống điều khiển số

$$V_{ab} = V_{an} - V_{bn}$$

Bộ môn Thiết bị điện



Sine PWM



Tín hiệu reference hình sine, sóng mang tam giác, PWM

Điện áp pha V_{an} và V_{bn} , và điện áp dây V_{ab}



ĐIỀU CHẾ VECTOR KHÔNG GIAN SVM

Trạng thái và vector khóa cơ bản

6 vector tích cực ($V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6$)

Nằm trên 6 vị trí đỉnh của hình lục giác

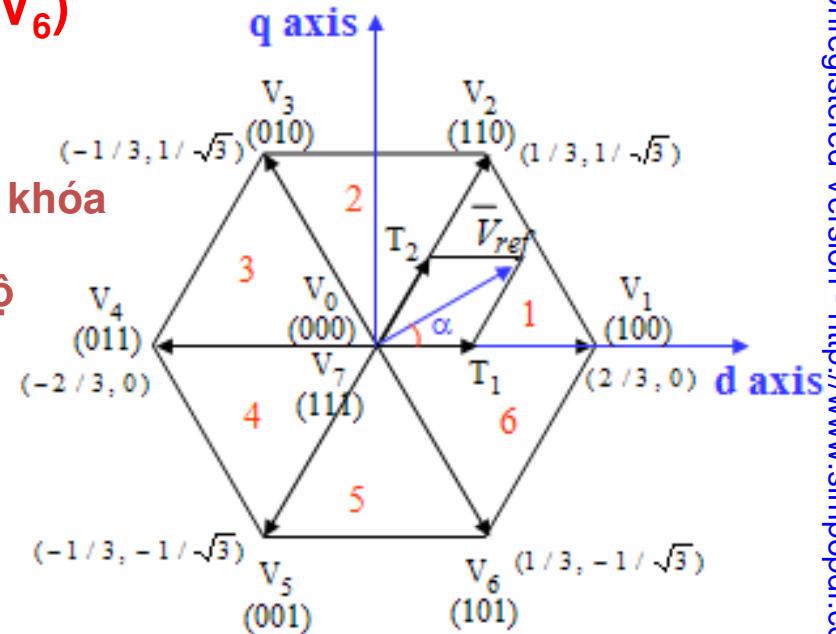
Điện áp DC được cung cấp cho tải qua các khóa

Mỗi vecto cơ bản (1 to 6) lệch nhau 60 độ

2 vector zero (V_0, V_7)

Nằm tại gốc O với module bằng 0

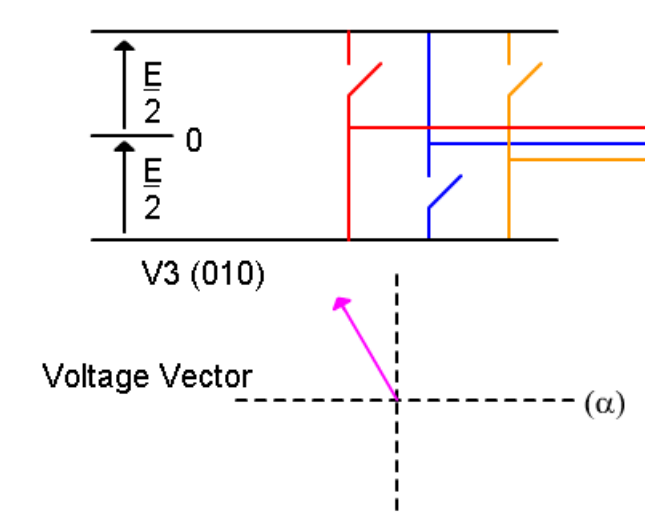
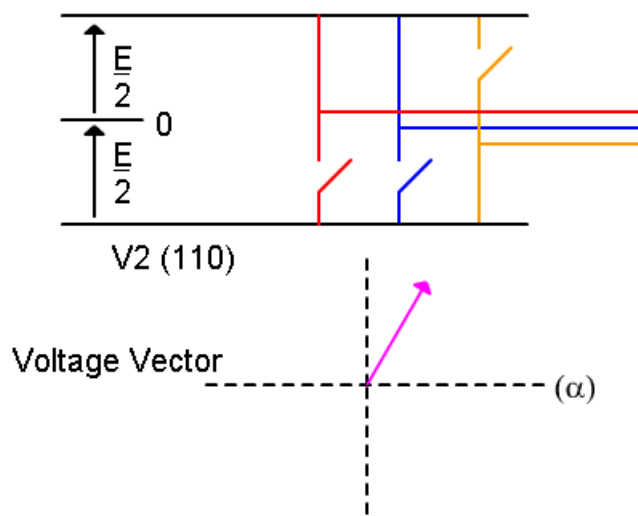
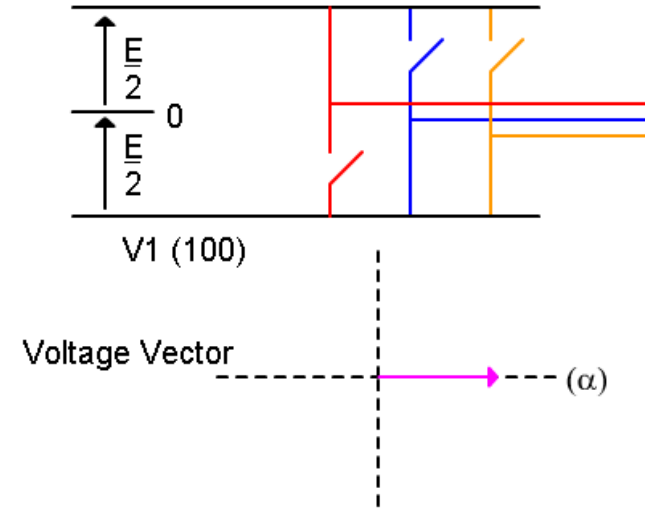
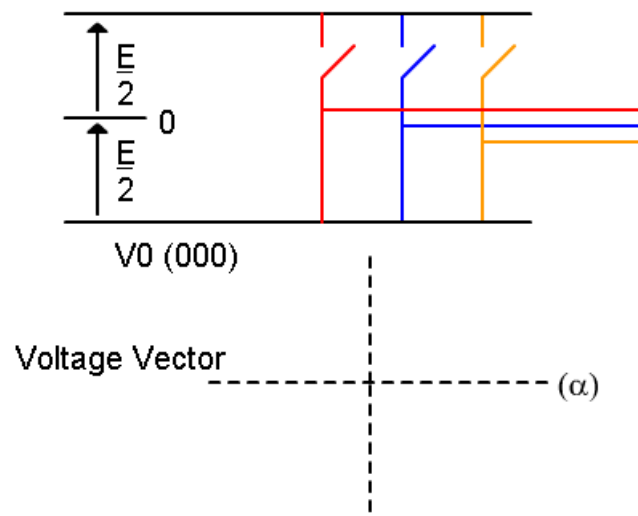
Không có điện áp cấp cho tải



Vector đóng ngắt cơ bản



Vector $V_0 - V_3$

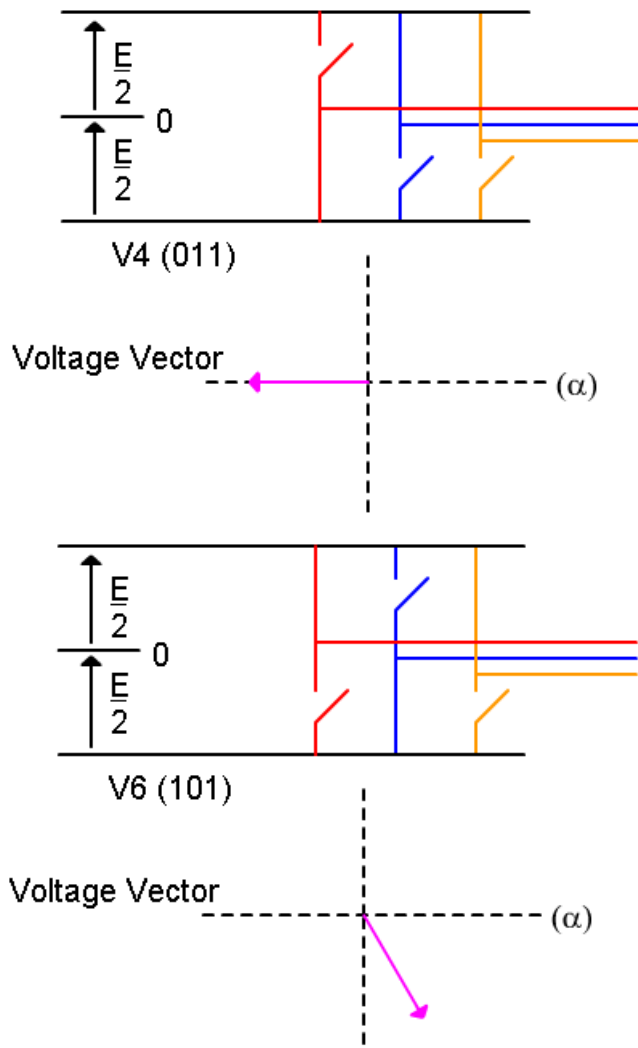


Hệ thống điều khiển số

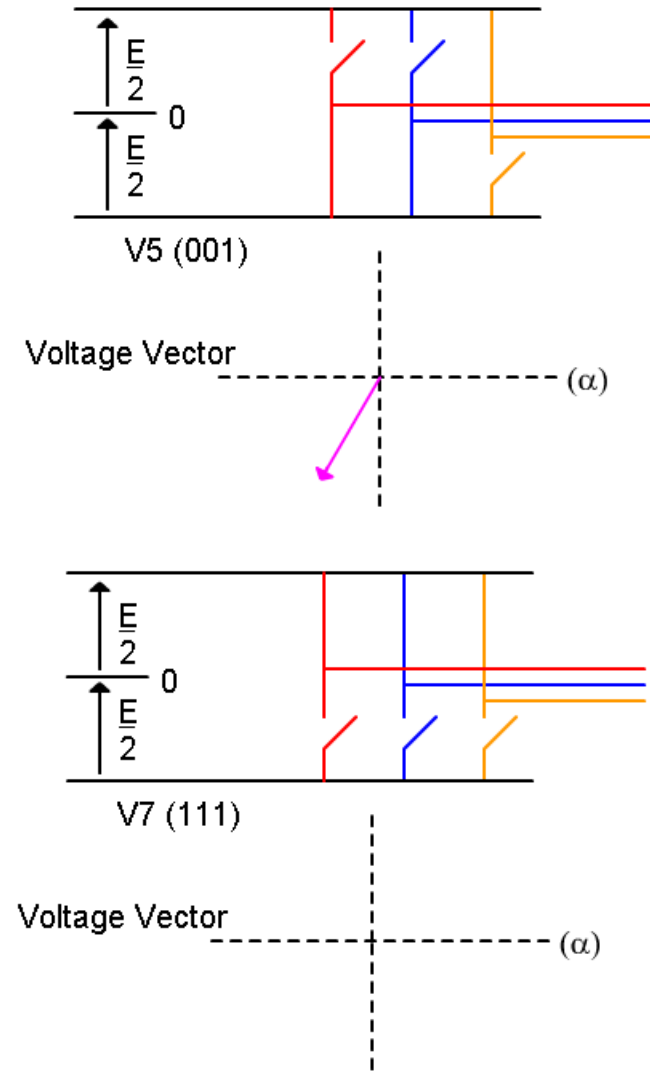
Bộ môn Thiết bị điện



Vector V4 – V7



Hệ thống điều khiển số



Bộ môn Thiết bị điện

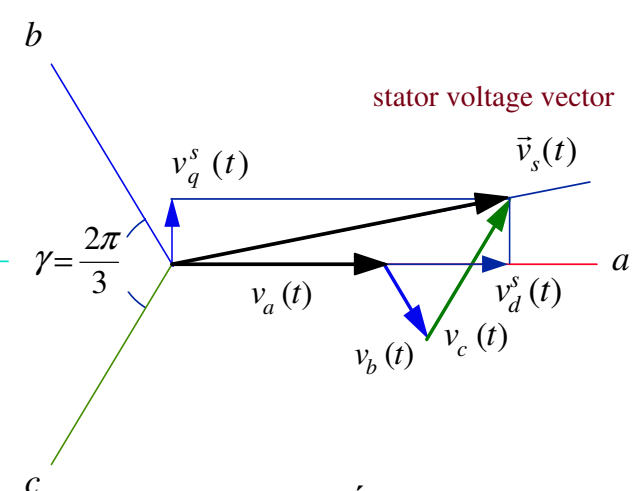
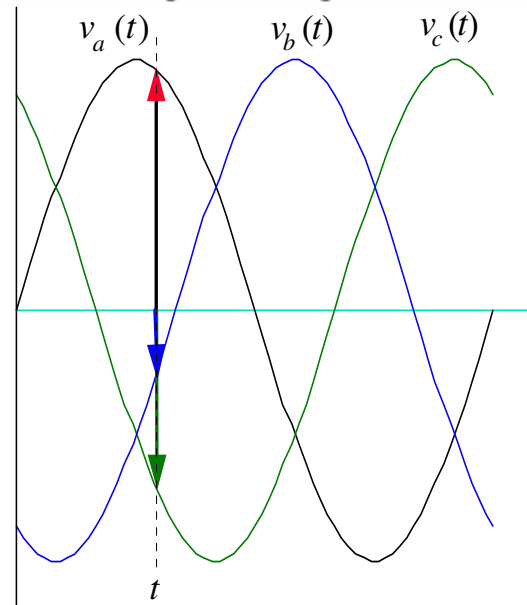
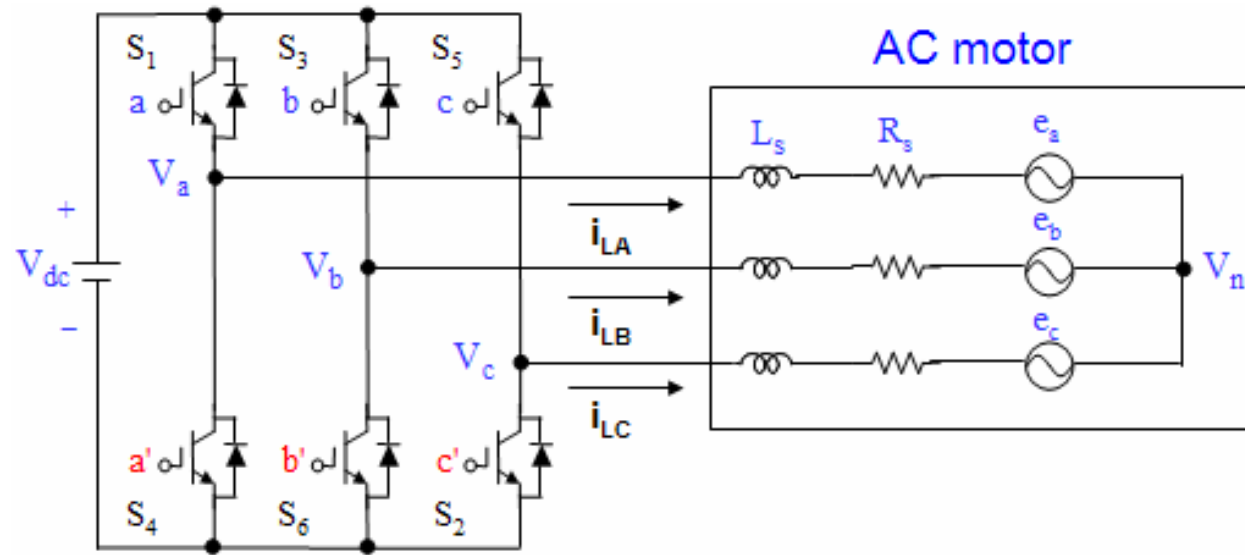


Nguyên lý của Space vector PWM

- Coi điện áp sine như một vector độ lớn không đổi quay với vận tốc không đổi
- PP này xấp xỉ điện áp chuẩn V_{ref} bằng một tổ hợp 8 switching patterns (V_0 tới V_7)
- Chuyển hệ qui chiếu abc sang $\alpha\beta$: vector điện áp 3 pha được chuyển thành vector trong hệ qui chiếu tĩnh $\alpha\beta$
- Các vector V_0 tới V_7 chia thành 6 sector, mỗi sector chiếm 60°
- V_{ref} được tính từ 2 vector kề nhau và hai vector 0



Nguyên lý

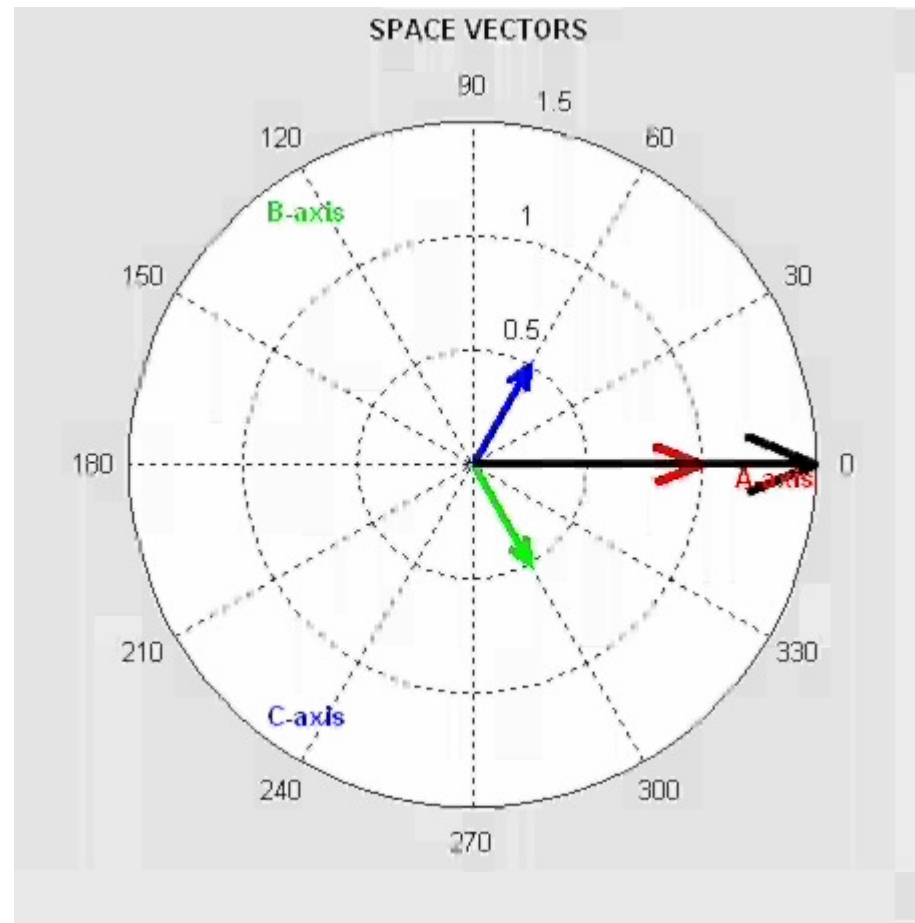


Bộ môn Thiết bị điện

Hệ thống điều khiển số



Vector không gian quay



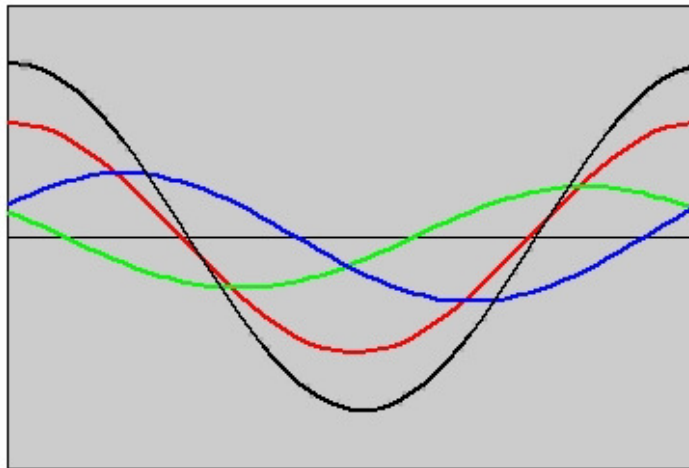
Hệ thống điều khiển số

Bộ môn Thiết bị điện



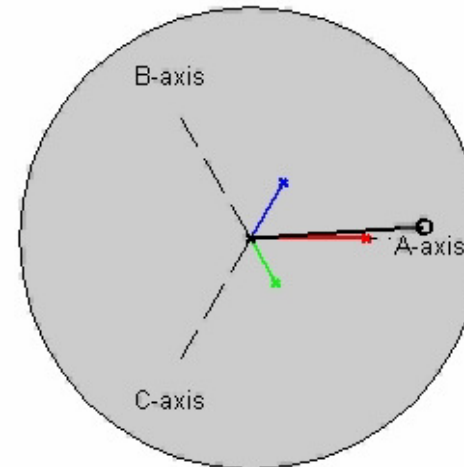
Vector không gian – dòng điện mỗi pha theo thời gian

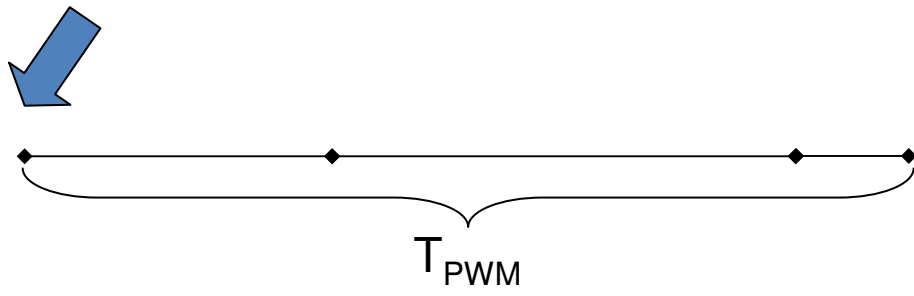
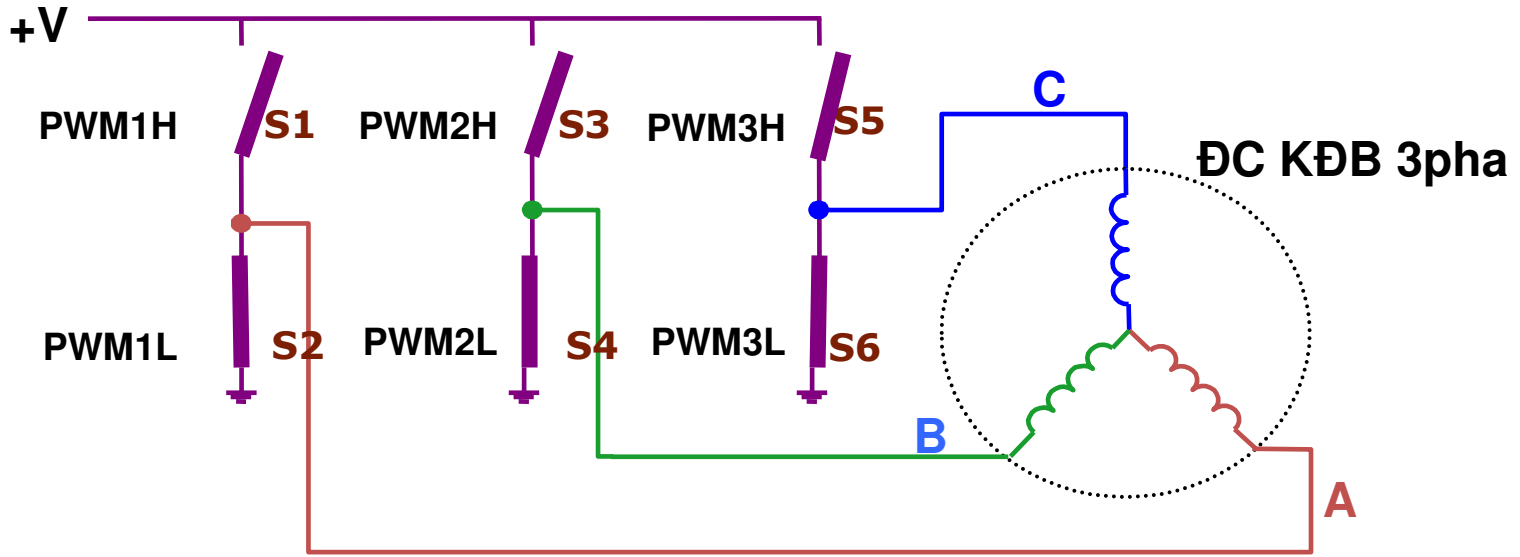
WAVE SPACE DISTRIBUTION



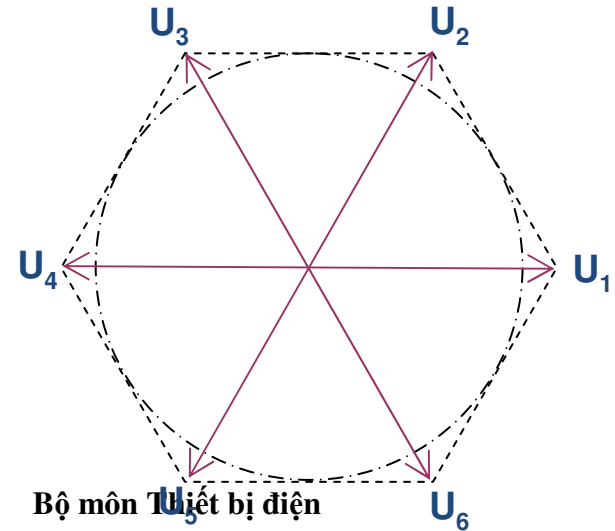
Phase A
Phase B
Phase C
Resultant

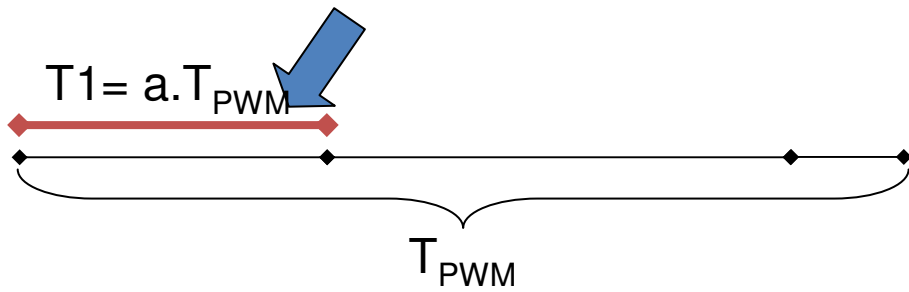
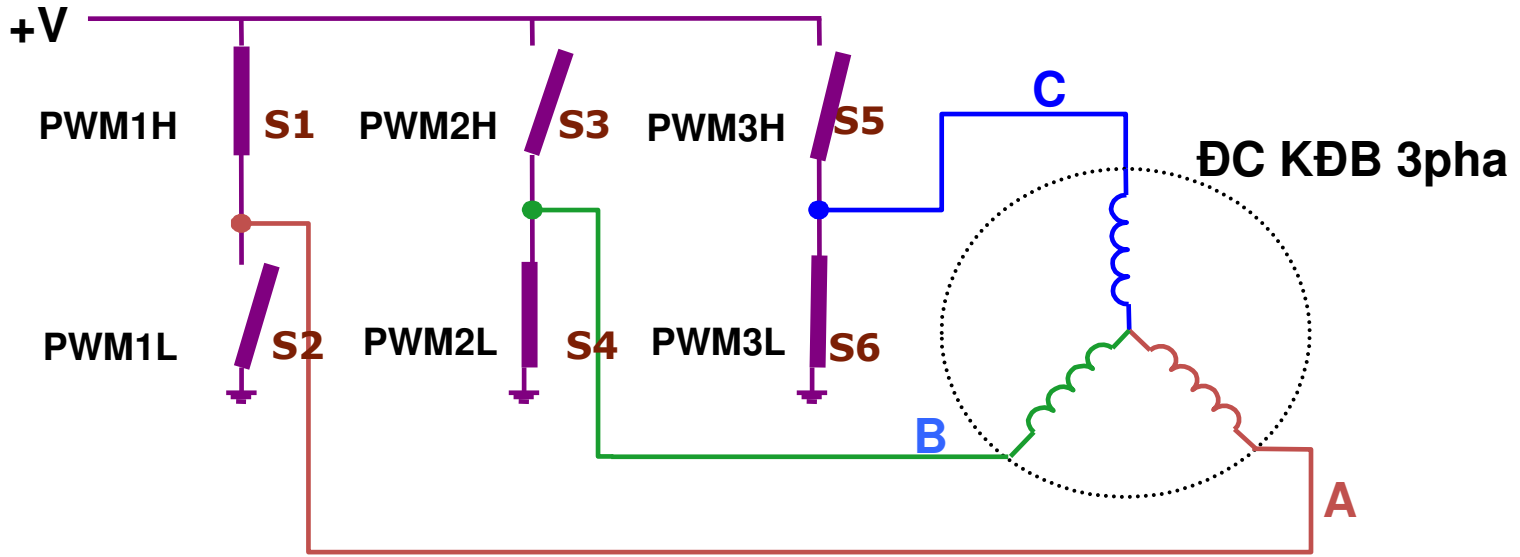
SPACE VECTORS



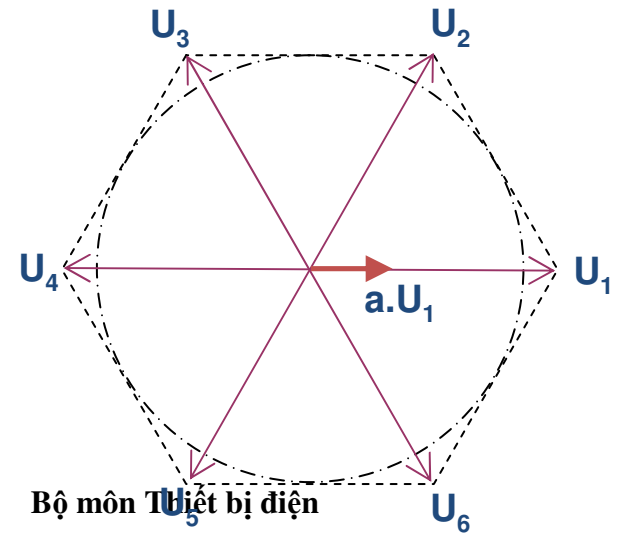


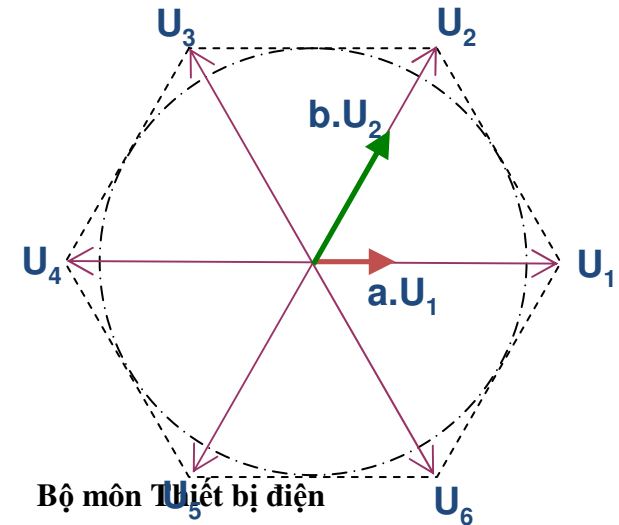
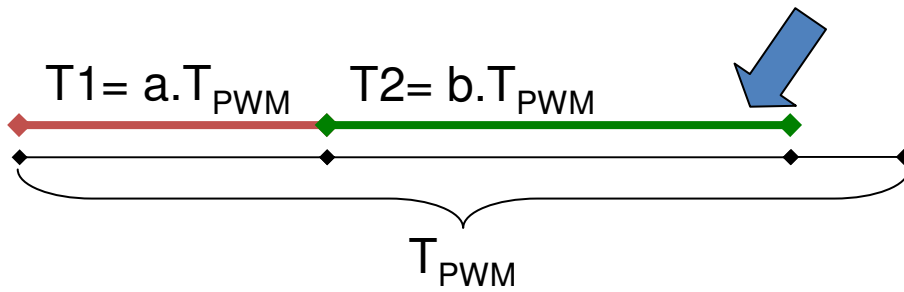
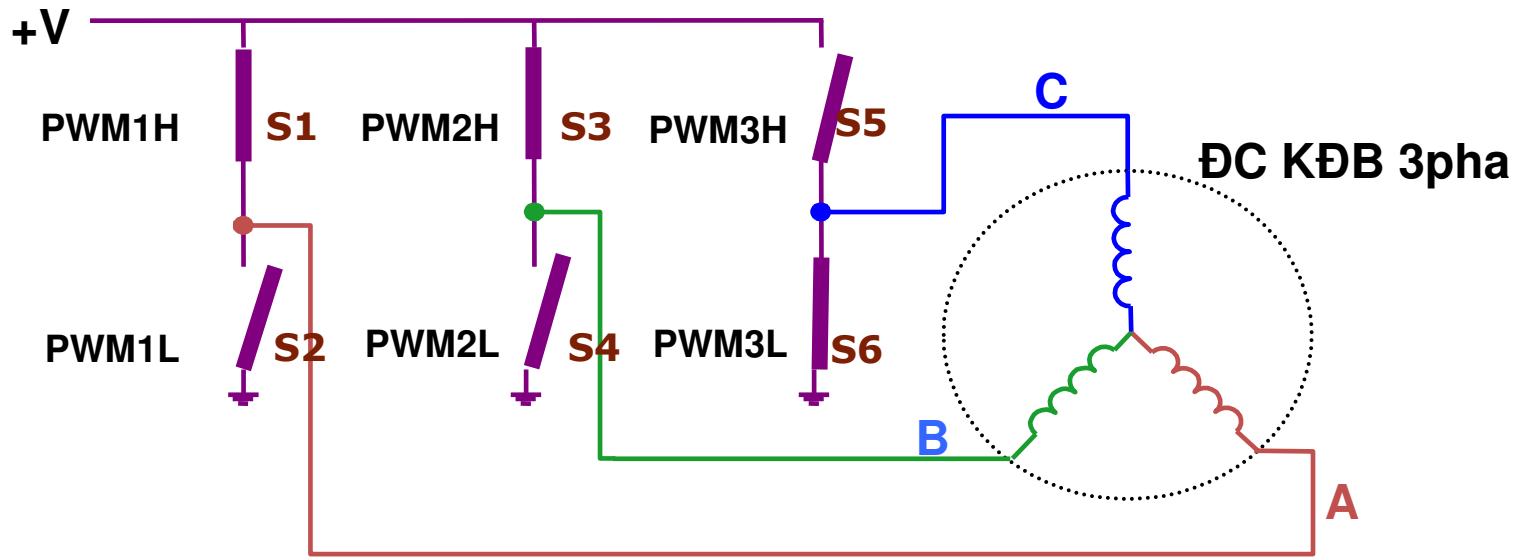
Hệ thống điều khiển số



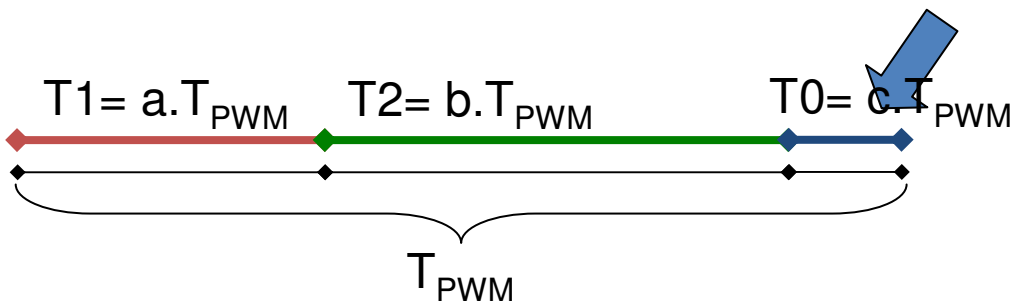
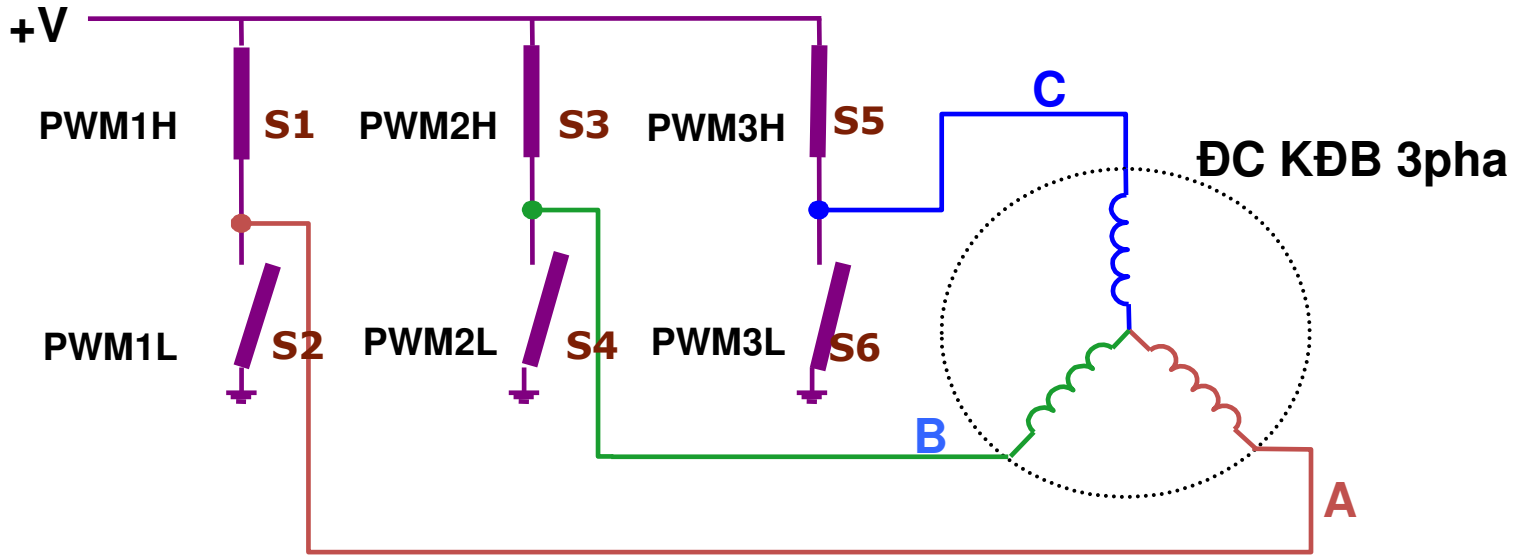


Hệ thống điều khiển số

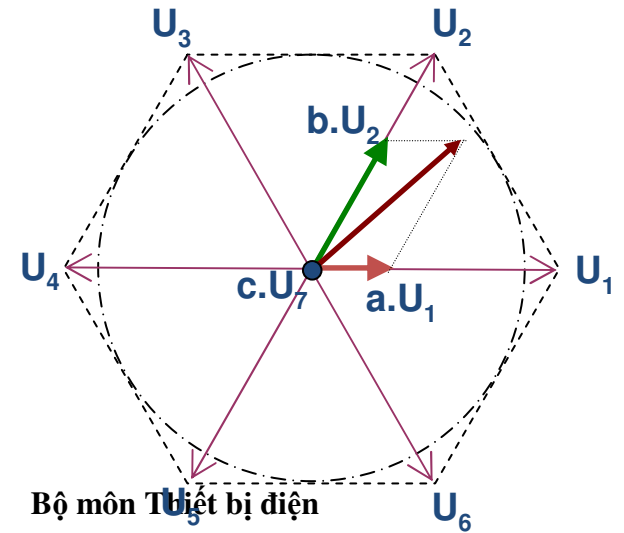




Hệ thống điều khiển số

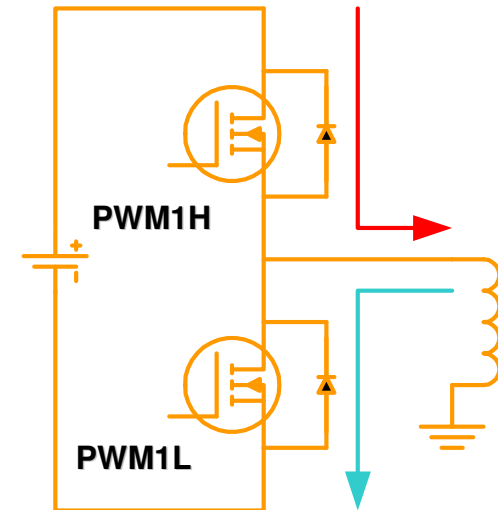
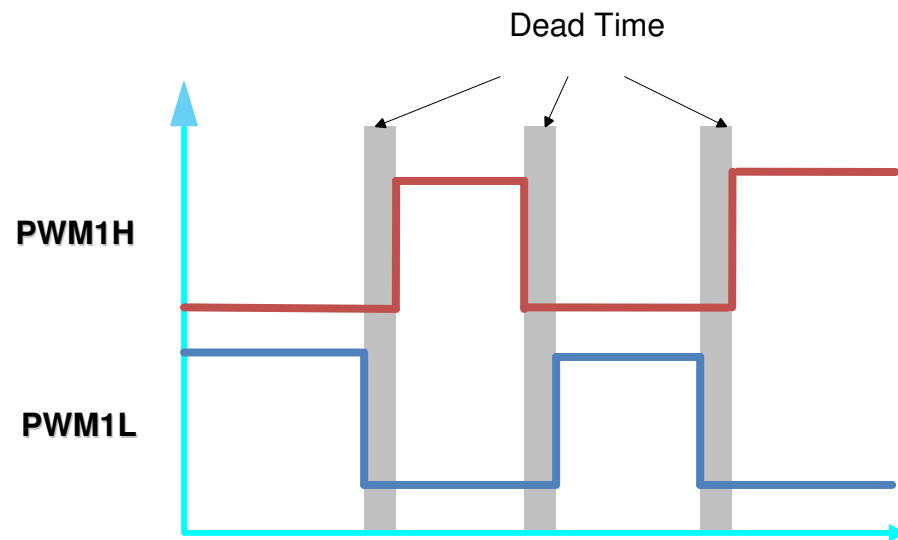


Hệ thống điều khiển số





Dead time



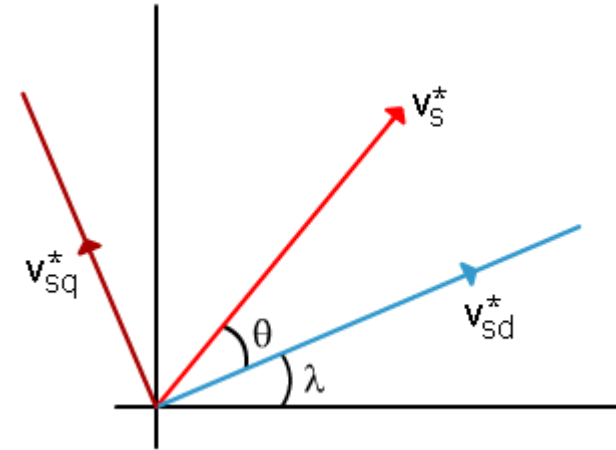
Hệ thống điều khiển số

Bộ môn Thiết bị điện



Space Vector: hệ thống liên tục

Với V_s^* và θ được cập nhật mỗi t_s , các khóa converter sẽ đóng cắt để nhận được V_s





Switching Vectors

- Để tạo ra sức từ động quay cần thiết trong stator của máy KĐB, bộ inverter cần được lái với các switching variable vector [a, b, c]

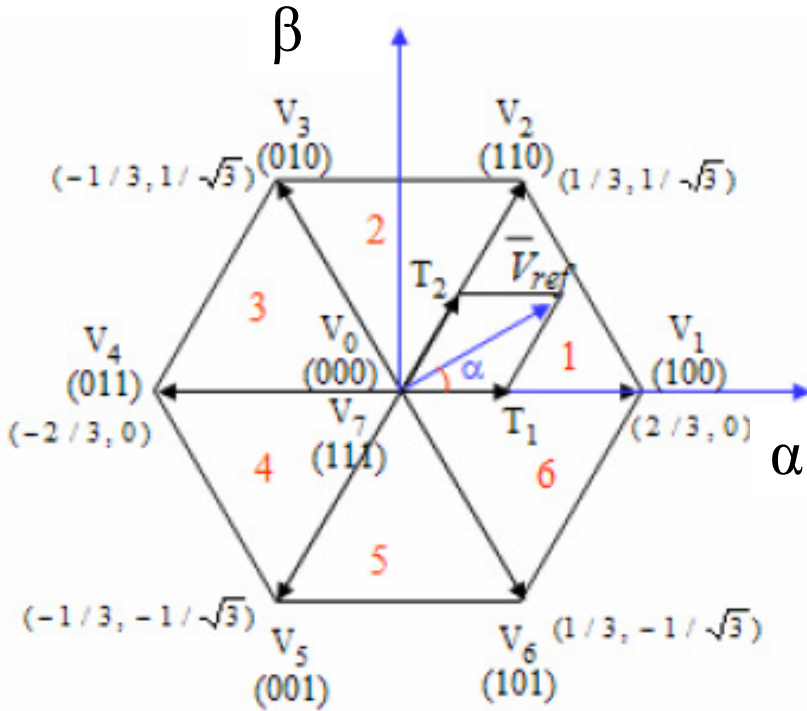
Voltage Vectors	Switching Vectors			Line to neutral voltage			Line to line voltage		
	a	b	c	V_{an}	V_{bn}	V_{cn}	V_{ab}	V_{bc}	V_{ca}
V_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	1	0	0	2/3	-1/3	-1/3	1	0	-1
V_2	1	1	0	1/3	1/3	-2/3	0	1	-1
V_3	0	1	0	-1/3	2/3	-1/3	-1	1	0
V_4	0	1	1	-2/3	1/3	1/3	-1	0	1
V_5	0	0	1	-1/3	-1/3	2/3	0	-1	1
V_6	1	0	1	1/3	-2/3	1/3	1	-1	0
V_7	1	1	1	0	0	0	0	0	0

$$\begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} = \frac{V_{dc}}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix}$$

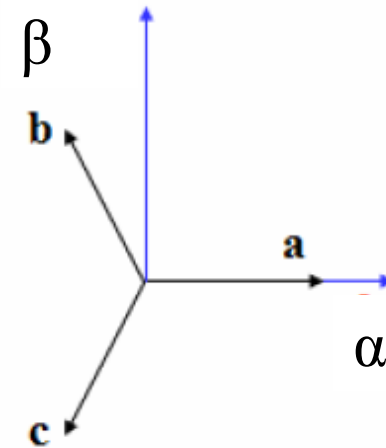
$$\begin{bmatrix} V_{ab} \\ V_{bc} \\ V_{ca} \end{bmatrix} = V_{dc} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix}$$



Biến đổi abc \rightarrow $\alpha\beta$



$$\begin{bmatrix} f_\alpha \\ f_\beta \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_a \\ f_b \\ f_c \end{bmatrix}$$



- Khi rotor động cơ quay, reference vector (vector điện áp stator) cũng phải quay theo, vì thế điều này đòi hỏi phải thay đổi sector khi vector quay quanh trục α .



BT: xác định tọa độ của các vector không gian

V_a	V_b	V_c	u_{sa}	u_{sb}	u_{sc}	u_{ab}	u_{bc}	u_{ca}	V	u_s	
S1	S3	S5	U_{An}	U_{Bn}	U_{Cn}	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}		$u_{s\alpha}$	$u_{s\beta}$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	V_0		
1	0	0	2/3	-1/3	-1/3	1	0	-1	V_1		
1	1	0	1/3	1/3	-2/3	0	1	-1	V_2		
0	1	0	-1/3	2/3	-1/3	-1	1	0	V_3		
0	1	1	-2/3	1/3	1/3	-1	0	1	V_4		
0	0	1	-1/3	-1/3	2/3	0	-1	1	V_5		
1	0	1	1/3	-2/3	1/3	1	-1	0	V_6		
1	1	1	0	0	0	0	0	0	V_7		

Hệ thống điều khiển số

Bộ môn Thiết bị điện



Thiết lập

- Xác định V_α , V_β , V_{ref} (giá trị đỉnh) và góc α

$$V_{ref} = f_{ref} \times (V/f) = [V_\alpha \ V_\beta]'$$

$$\alpha = \omega_{ref} \times T$$

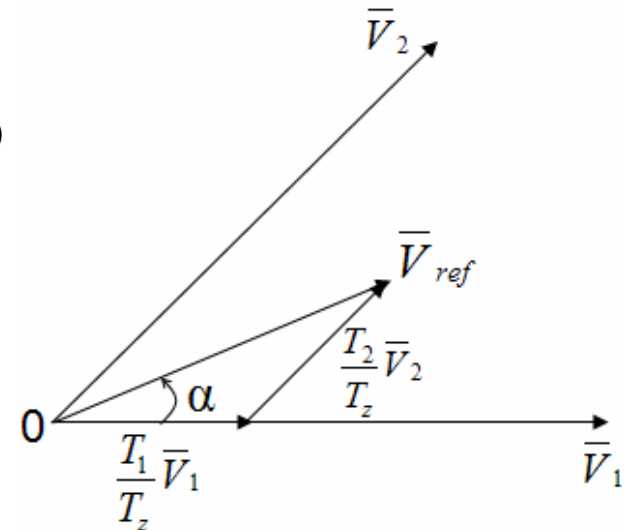
- Xác định các khoảng thời gian T_1 , T_2 , T_0

$$(T_s = T_0 + T_1 + T_2)$$

$$T_s V_{ref} = T_1 V_x + T_2 V_{x \pm 60} + T_0 (0_{000} \text{ or } 0_{111})$$

$$\begin{bmatrix} T_1 & T_2 \end{bmatrix}^T = T_s \begin{bmatrix} V_x & V_{x \pm 60} \end{bmatrix}^{-1} V_{ref}$$

- Xác định thời gian đóng ngắt cho các khóa S_1 tới S_6





Thiết lập

Sector 1

$$\int_0^{T_s} \bar{V}_{\text{ref}} dt = \int_0^{T_1} \bar{V}_1 dt + \int_{T_1}^{T_1+T_2} \bar{V}_2 dt + \int_{T_1+T_2}^{T_s} \bar{V}_0 dt$$

$$\therefore T_s \cdot \bar{V}_{\text{ref}} = (T_1 \cdot \bar{V}_1 + T_2 \cdot \bar{V}_2)$$

$$\Rightarrow T_s \cdot |\bar{V}_{\text{ref}}| \cdot \begin{bmatrix} \cos(\alpha) \\ \sin(\alpha) \end{bmatrix} = T_1 \cdot \frac{2}{3} \cdot V_{\text{dc}} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} + T_2 \cdot \frac{2}{3} \cdot V_{\text{dc}} \cdot \begin{bmatrix} \cos(\pi/3) \\ \sin(\pi/3) \end{bmatrix}$$

(where, $0 \leq \alpha \leq 60^\circ$)

$$\therefore T_1 = T_s \cdot a \cdot \frac{\sin(\pi/3 - \alpha)}{\sin(\pi/3)}$$

$$\therefore T_2 = T_s \cdot a \cdot \frac{\sin(\alpha)}{\sin(\pi/3)}$$

$$\therefore T_0 = T_s - (T_1 + T_2), \quad \left(T_s = \frac{1}{f_s}, \quad a = \frac{|\bar{V}_{\text{ref}}|}{\frac{2}{3} V_{\text{dc}}} \right)$$



Thiết lập

Tại Sector bất kì

$$\begin{aligned} \therefore T_1 &= \frac{\sqrt{3} \cdot T_s \cdot |\bar{V}_{ref}|}{V_{dc}} \left(\sin \left(\frac{\pi}{3} - \alpha + \frac{n-1}{3} \pi \right) \right) \\ &= \frac{\sqrt{3} \cdot T_s \cdot |\bar{V}_{ref}|}{V_{dc}} \left(\sin \frac{n}{3} \pi - \alpha \right) \\ &= \frac{\sqrt{3} \cdot T_s \cdot |\bar{V}_{ref}|}{V_{dc}} \left(\sin \frac{n}{3} \pi \cos \alpha - \cos \frac{n}{3} \pi \sin \alpha \right) \end{aligned}$$

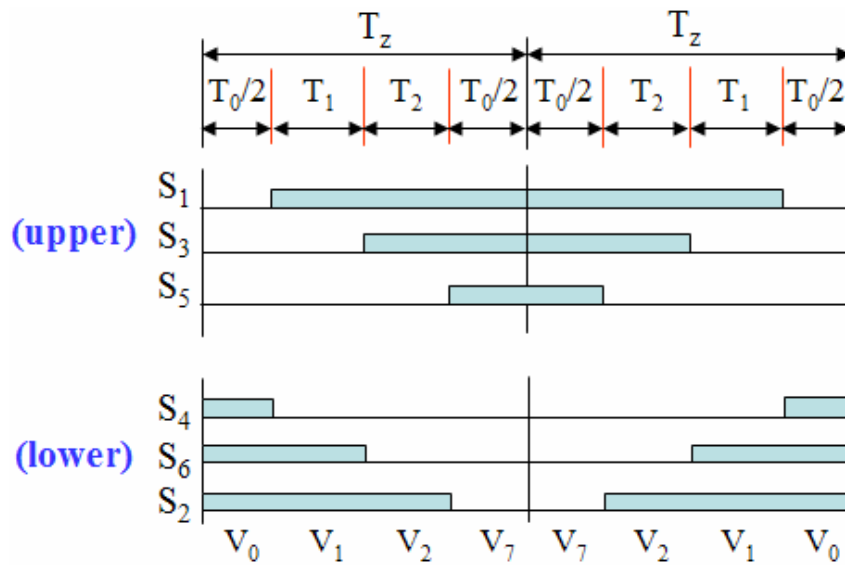
$$\begin{aligned} \therefore T_2 &= \frac{\sqrt{3} \cdot T_s \cdot |\bar{V}_{ref}|}{V_{dc}} \left(\sin \left(\alpha - \frac{n-1}{3} \pi \right) \right) \\ &= \frac{\sqrt{3} \cdot T_s \cdot |\bar{V}_{ref}|}{V_{dc}} \left(-\cos \alpha \cdot \sin \frac{n-1}{3} \pi + \sin \alpha \cdot \cos \frac{n-1}{3} \pi \right) \end{aligned}$$

$$\therefore T_0 = T_s - T_1 - T_2, \quad \left(\begin{array}{l} n = 1 \rightarrow 6 \text{ (Sector 1} \rightarrow 6) \\ 0 \leq \alpha \leq 60^\circ \end{array} \right)$$

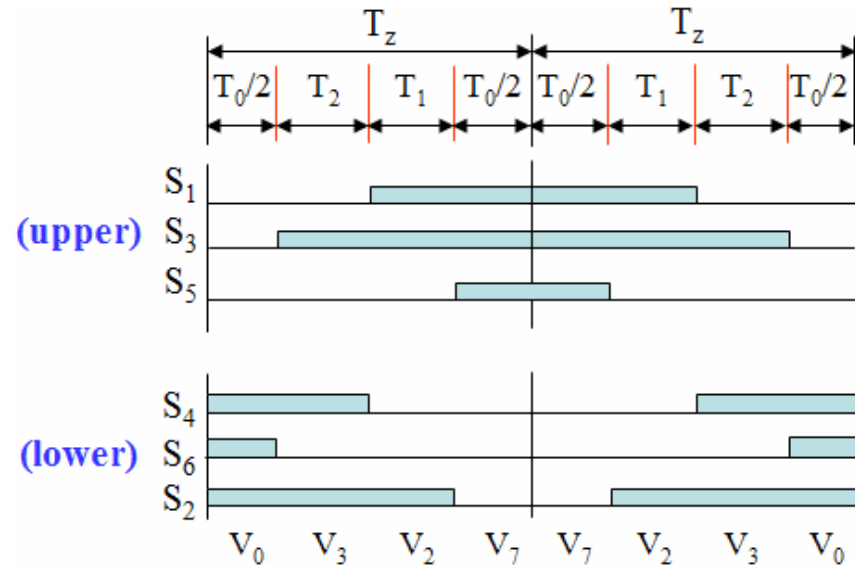


Thiết lập

Thời gian đóng ngắt của các khóa (S_1 tới S_6) (1)



(a) Sector 1.

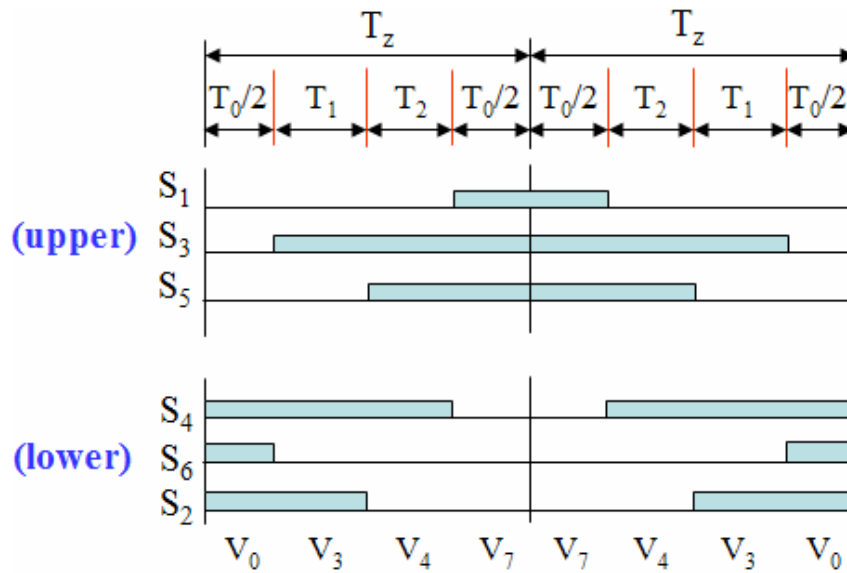


(b) Sector 2.

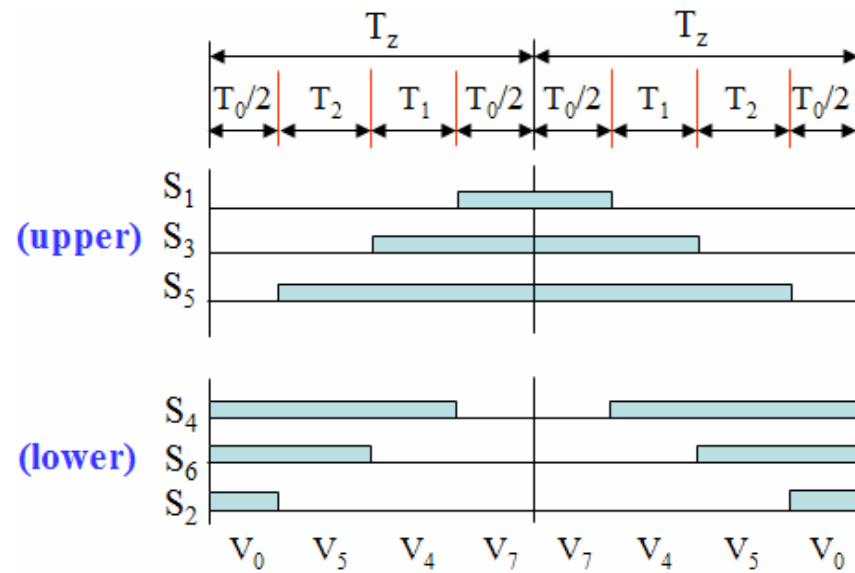


Thiết lập

Thời gian đóng ngắt của các khóa (S_1 tới S_6) (21)



(c) Sector 3.

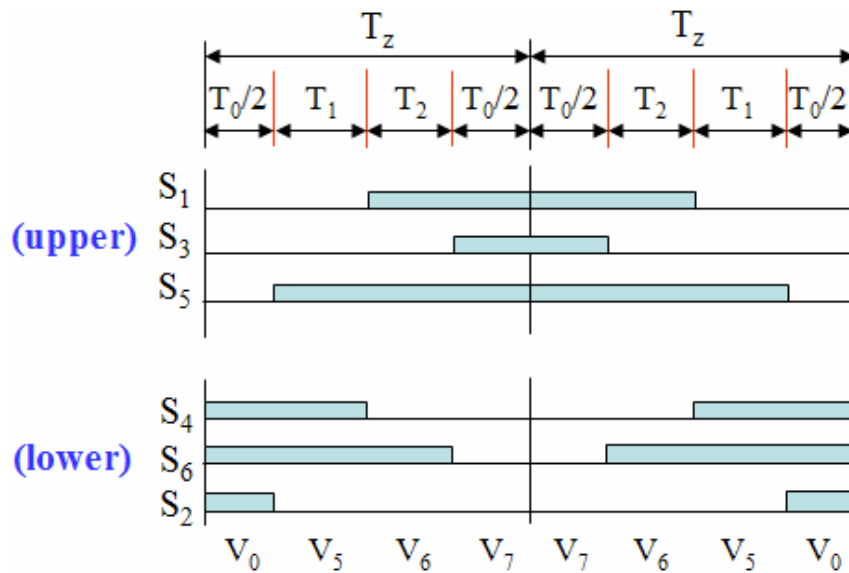


(d) Sector 4.

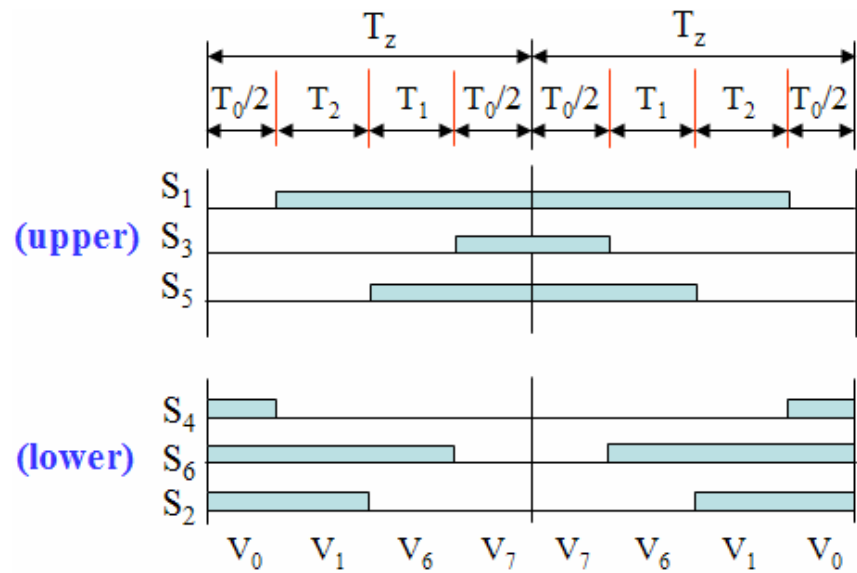


Thiết lập

Thời gian đóng ngắt của các khóa (S_1 tới S_6) (3)



(e) Sector 5.



(f) Sector 6.



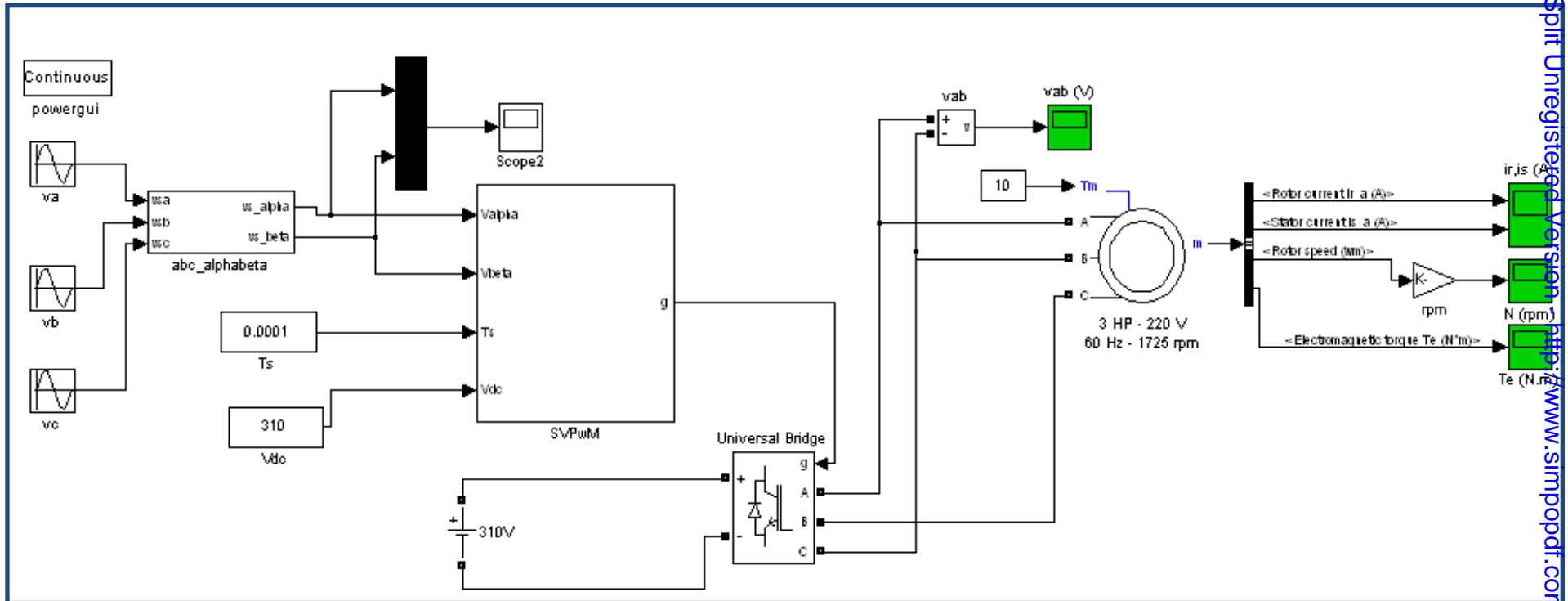
Thiết lập

Thời gian đóng ngắt của các khóa (S_1 tới S_6) (4)

Sector	Upper Switches (S_1, S_3, S_5)	Lower Switches (S_4, S_6, S_2)
1	$S_1 = T_1 + T_2 + T_0 / 2$ $S_3 = T_2 + T_0 / 2$ $S_5 = T_0 / 2$	$S_4 = T_0 / 2$ $S_6 = T_1 + T_0 / 2$ $S_2 = T_1 + T_2 + T_0 / 2$
2	$S_1 = T_1 + T_0 / 2$ $S_3 = T_1 + T_2 + T_0 / 2$ $S_5 = T_0 / 2$	$S_4 = T_2 + T_0 / 2$ $S_6 = T_0 / 2$ $S_2 = T_1 + T_2 + T_0 / 2$
3	$S_1 = T_0 / 2$ $S_3 = T_1 + T_2 + T_0 / 2$ $S_5 = T_2 + T_0 / 2$	$S_4 = T_1 + T_2 + T_0 / 2$ $S_6 = T_0 / 2$ $S_2 = T_1 + T_0 / 2$
4	$S_1 = T_0 / 2$ $S_3 = T_1 + T_0 / 2$ $S_5 = T_1 + T_2 + T_0 / 2$	$S_4 = T_1 + T_2 + T_0 / 2$ $S_6 = T_2 + T_0 / 2$ $S_2 = T_0 / 2$
5	$S_1 = T_2 + T_0 / 2$ $S_3 = T_0 / 2$ $S_5 = T_1 + T_2 + T_0 / 2$	$S_4 = T_1 + T_0 / 2$ $S_6 = T_1 + T_2 + T_0 / 2$ $S_2 = T_0 / 2$
6	$S_1 = T_1 + T_2 + T_0 / 2$ $S_3 = T_0 / 2$ $S_5 = T_1 + T_0 / 2$	$S_4 = T_0 / 2$ $S_6 = T_1 + T_2 + T_0 / 2$ $S_2 = T_2 + T_0 / 2$

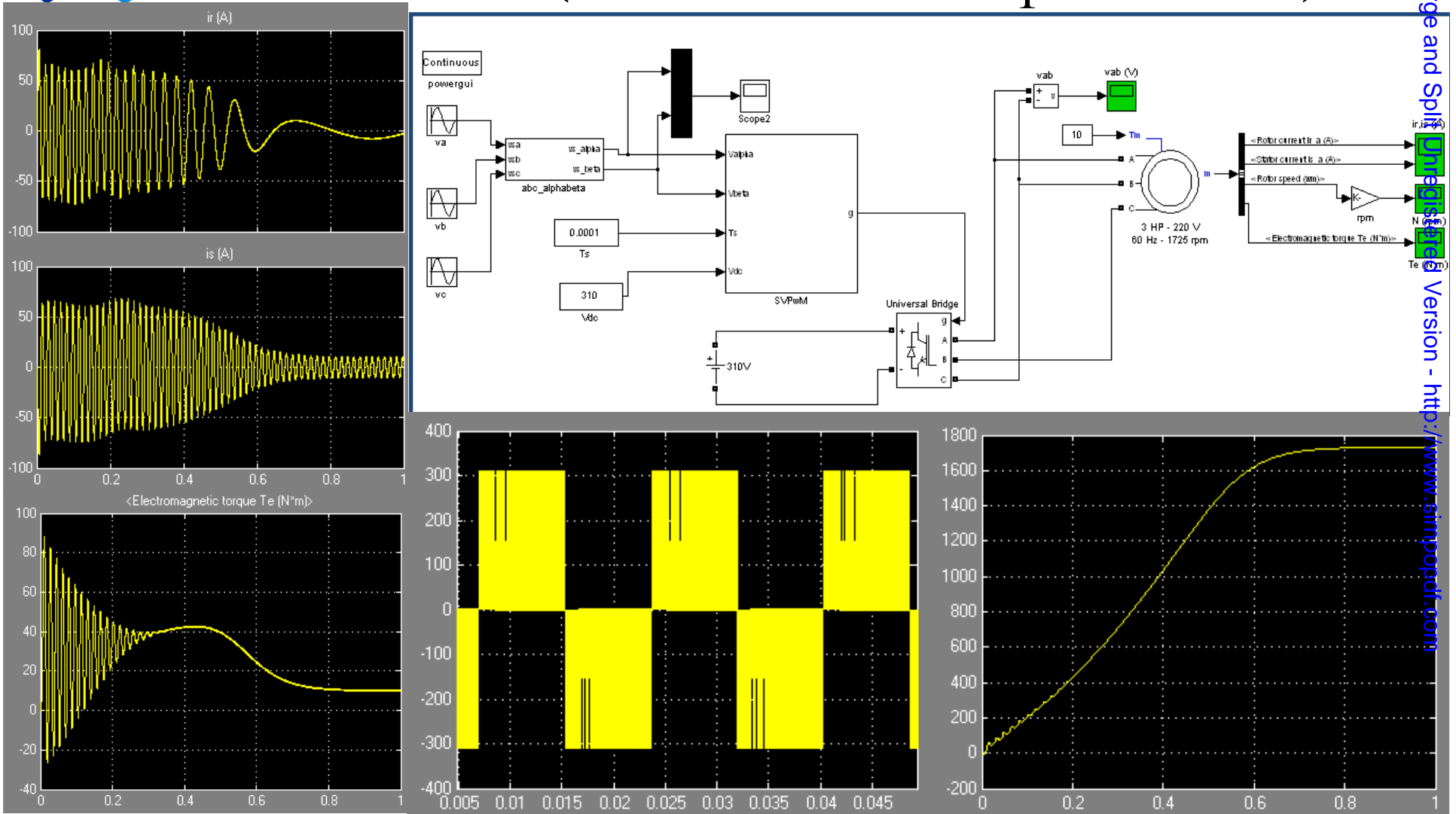


Điều khiển vòng hở dùng SVPWM





Điều khiển vòng hở V/f dùng SVPWM ($F_s = 10\text{kHz}$, $f_1 = 60\text{Hz}$)



Hệ thống điều khiển số

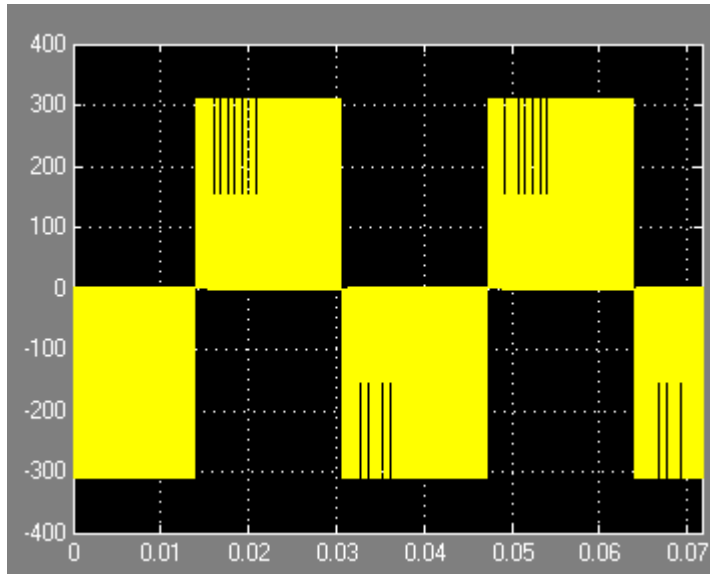
Bộ môn Thiết bị điện



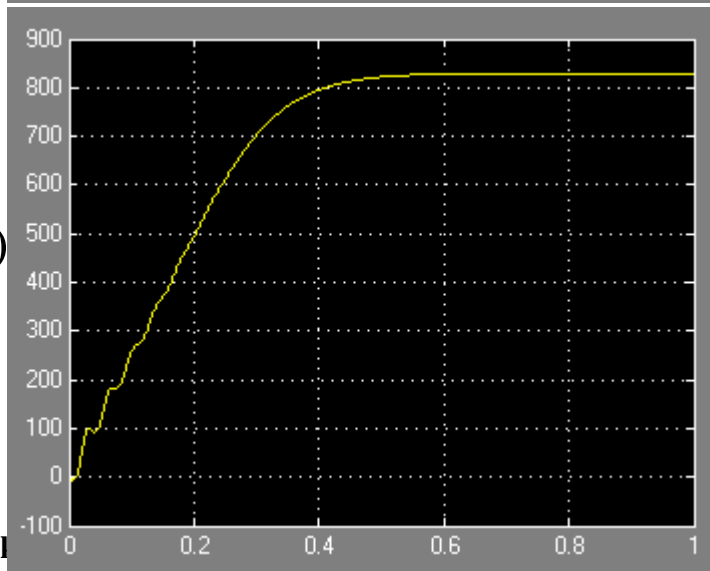
$F_s = 10\text{kHz}$

$f_1 = 30\text{Hz}$

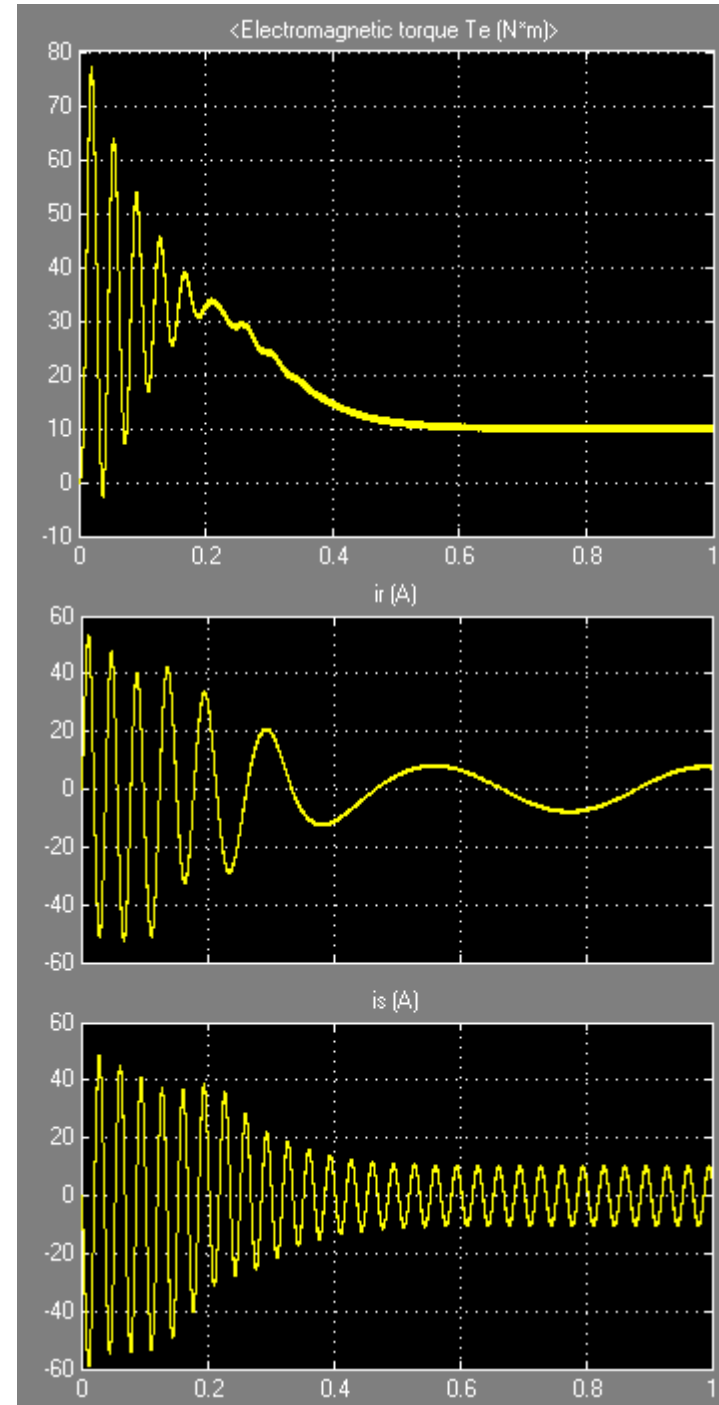
V_1 (đây)



n
(vòng/phút)



Hệ thống điều khiển



T_m

I_2

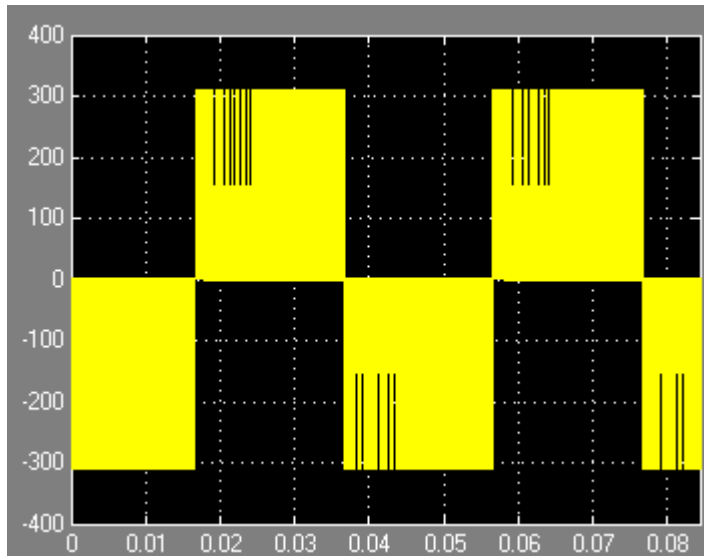
I_1



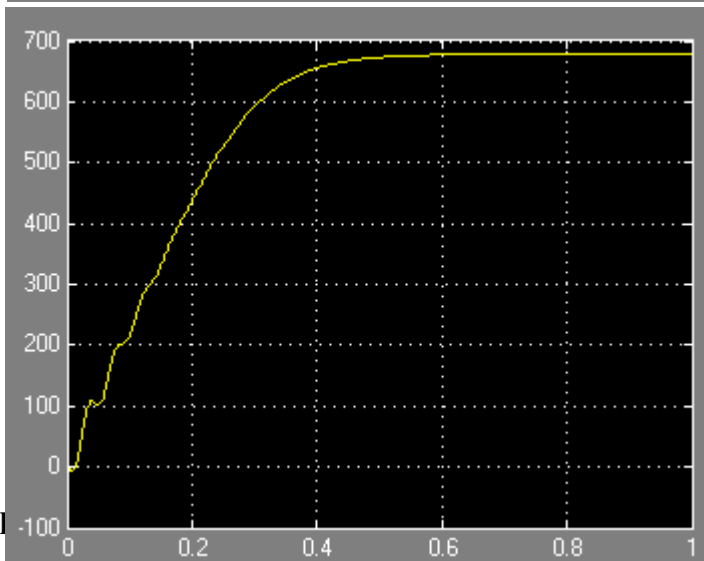
$F_s = 20\text{kHz}$

$f_1 = 25\text{Hz}$

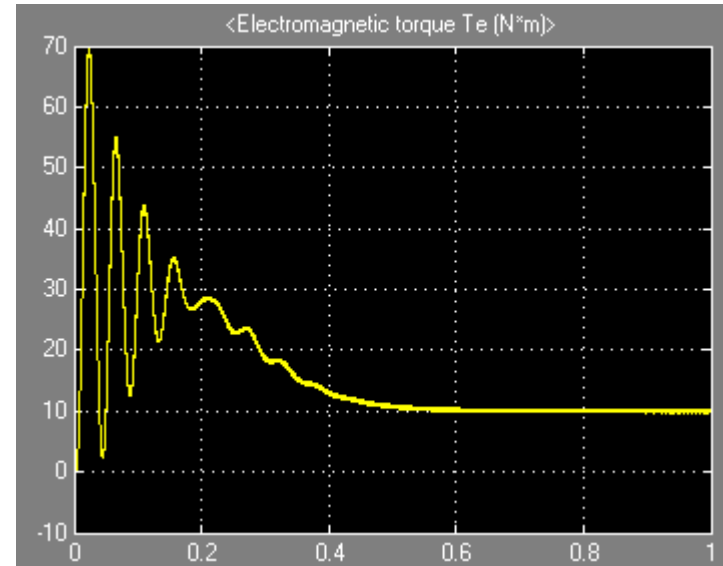
V_1 (đây)



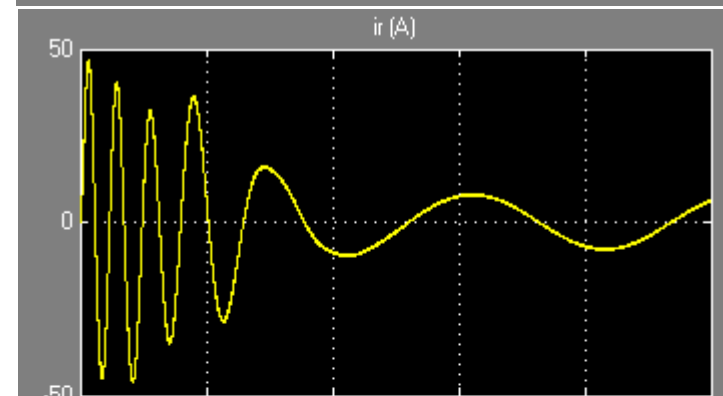
n
(vòng/phút)



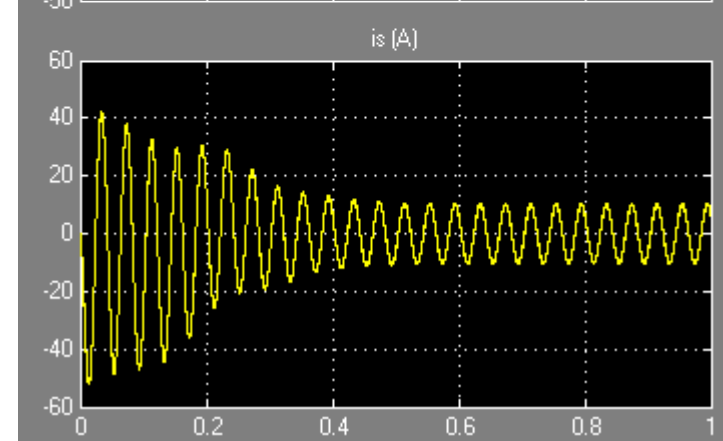
Hệ thống điều khiển



T_m



I_2



I_1



Bài tập

- *Bài tập 1.1.* Điện áp ba pha 380V, 50Hz. Tại thời điểm $t = 6\text{ms}$. Tính u_{sa} , u_{sb} , u_{sc} , $u_{s\alpha}(=u_{d0})$ và $(u_{s\beta}=u_{q0})$, $|u_{s\alpha}|$? Biết góc pha ban đầu $\theta_0 = 0$.
- *Bài tập 1.2.* Điện áp ba pha cấp cho bộ nghịch lưu là 380V, 50Hz. Tính điện áp pha lớn nhất mà bộ nghịch lưu có thể cung cấp cho động cơ.
- *Bài tập 1.3.* Điện áp một pha cấp cho bộ nghịch lưu là 220V, 50Hz. Tính điện áp dây lớn nhất mà bộ nghịch lưu có thể cung cấp cho động cơ.
- *Bài tập 1.4.* Điện áp DC cấp cho bộ nghịch lưu là 460V. Điện áp pha bộ nghịch lưu cấp cho động cơ là 150V và 50Hz. Tại thời điểm $t = 6\text{ms}$. Tính $T1$, $T2$ và $T0$? Biết góc pha ban đầu $\theta_0 = 0$ và tần số đóng cắt của bộ nghịch lưu là 20KHz.