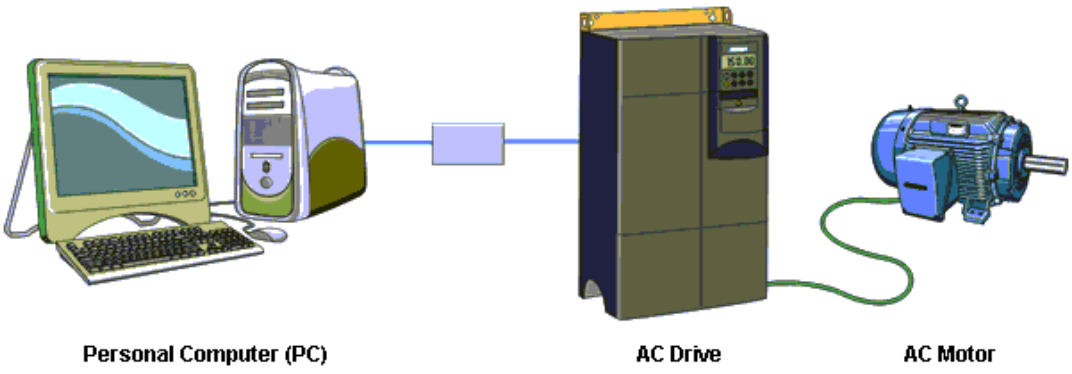
Thuviendientu.org

ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA
KHOA ĐIỆN – ĐIỆN TỬ

Bài giảng:

HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN SỐ
(ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ 3 PHA)

Biên soạn: ThS. Trần Công Binh



TP. HỒ CHÍ MINH, THÁNG 02 NĂM 2007

Thuviendientu.org

GIỚI THIỆU MÔN HỌC

1. Tên môn học: **HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN SỐ**
2. Mã số:
3. Phân phối giờ: 33LT + 12BT+Kiểm tra
4. Số tín chỉ: 2(2.1.4) Kiểm tra: 20%, Thi: 80%
5. Môn tiên quyết: Kỹ thuật điện 2, Cơ sở tự động học, Kỹ thuật số
6. Môn song hành:
7. Giáo trình chính:
8. Tài liệu tham khảo:
   -
9. Tóm tắc nội dung:
   - Phần Tiếng Việt:
   - Summary: Electrical Engineering

10. Đối tượng học: Sinh viên ngành Điện.

Thuviendientu.org

CHƯƠNG TRÌNH MÔN HỌC
HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN SỐ

Chương 1: **Bộ nghịch lưu ba pha và Vector không gian** (4,5T)
- Vector không gian.
- Bộ nghịch lưu ba pha.

Chương 2: **Hệ qui chiếu quay** (1,5T)
- Hệ qui chiếu quay.
- Chuyển đổi hệ toạ độ abc ↔ αβ ↔ dq.

Chương 3: **Mô hình ĐCKĐB 3 pha (αβ), (dq)** (9T)
- Sơ đồ tương đương của động cơ và một số ký hiệu.
- Mô hình động cơ trong HTĐ stator (αβ).
- Mô hình động cơ trong HTĐ từ thông rotor (Ψ_r).

Chương 4: **Điều khiển định hướng từ thông (FOC) ĐCKĐB** (6T)
- Điều khiển PID
- Điều khiển tiếp dòng.
- Điều khiển tiếp áp.
- Mô phỏng của FOC.

(21 tiết)

Chương 5: **Một số phương pháp ước lượng từ thông rotor** (6T)
- Từ Ψ_m và i_a, i_b hồi tiếp.
- Từ u_s và i_a, i_b hồi tiếp.
- Từ ω và i_a, i_b hồi tiếp.
- Ước lượng vị trí (góc) vector Ψ_r.
- Ước lượng (Ψ_r) trong HTĐ dq.
- Ước lượng từ thông rotor dùng khâu quan sát (observer)
- Đáp ứng mô phỏng FOC.

Chương 6: **Các phương pháp điều khiển dòng** (6T)
- Điều khiển dòng trong HQC (αβ): *vòng trễ* và *so sánh*.
- Điều khiển dòng trong HQC (dq).

Chương 7: **Một số phương pháp ước lượng tốc độ động cơ** (3T)
- Ước lượng vận tốc vòng hở (2 pp).
- Ước lượng vận tốc vòng kín (có hồi tiếp).
- Điều khiển không dùng cảm biến (sensorless).

Chương 8: **Bộ điều khiển động cơ không đồng bộ ba pha** (6T)
- Cấu trúc một hệ thống điều khiển động cơ.
- Cảm biến đo lường
- Một số ưu điểm khi sử dụng bộ điều khiển tốc độ động cơ
- Hệ thống điều khiển số động cơ không đồng bộ ba pha
- Bộ biến tần

(21 tiết)
(42 tiết)

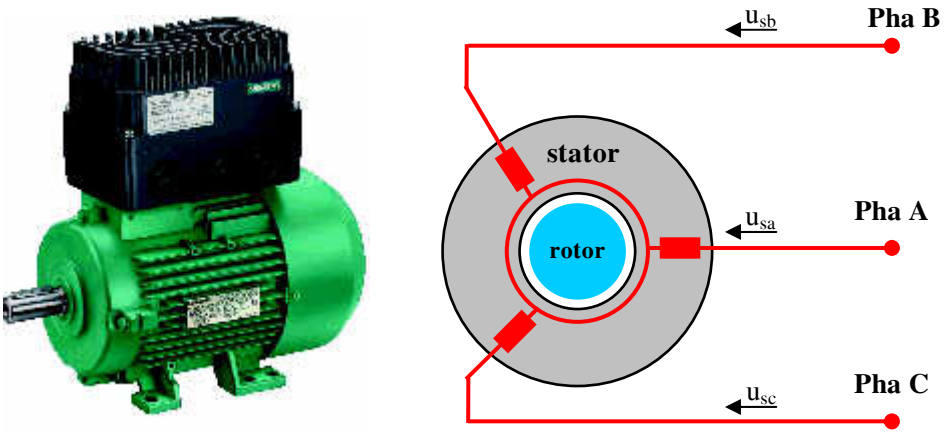
Thuviendientu.org

Chương 1: VECTOR KHÔNG GIAN VÀ BỘ NGHỊCH LƯU BA PHA

I. Vector không gian

I.1. Biểu diễn vector không gian cho các đại lượng ba pha

Động cơ không đồng bộ (ĐCKĐB) ba pha có ba (hay bội số của ba) cuộn dây stator bố trí trong không gian như hình vẽ sau:



Hình 1.1: Sơ đồ đấu dây và điện áp stator của ĐCKĐB ba pha.

(Ba trục của ba cuộn dây lệch nhau một góc 120^0 trong không gian)

Ba điện áp cấp cho ba đầu dây của động cơ từ lưới ba pha hay từ bộ nghịch lưu, biến tần; ba điện áp này thỏa mãn phương trình:

$$u_{sa}(t) + u_{sb}(t) + u_{sc}(t) = 0 \tag{1.1}$$

Trong đó:

$$\begin{cases} u_{sa}(t) = |u_s| \cos(\omega_s t) & (1.2a) \\ u_{sb}(t) = |u_s| \cos(\omega_s t - 120^0) & (1.2b) \\ u_{sc}(t) = |u_s| \cos(\omega_s t + 120^0) & (1.2c) \end{cases}$$

Với $\omega_s = 2\pi f_s$; f_s là tần số của mạch stator; $|u_s|$ là biên độ của điện áp pha, có thể thay đổi.

(điện áp pha là các số thực)

Vector không gian của điện áp stator được định nghĩa như sau:

$$\vec{u}_s(t) = \frac{2}{3}\left[\vec{u}_{sa}(t) + \vec{u}_{sb}(t) + \vec{u}_{sc}(t)\right] \tag{1.3}$$

$$\vec{u}_s(t) = \frac{2}{3}\left[u_{sa}(t) + u_{sb}(t)e^{j120^0} + u_{sc}(t)e^{j240^0}\right] \tag{1.4}$$

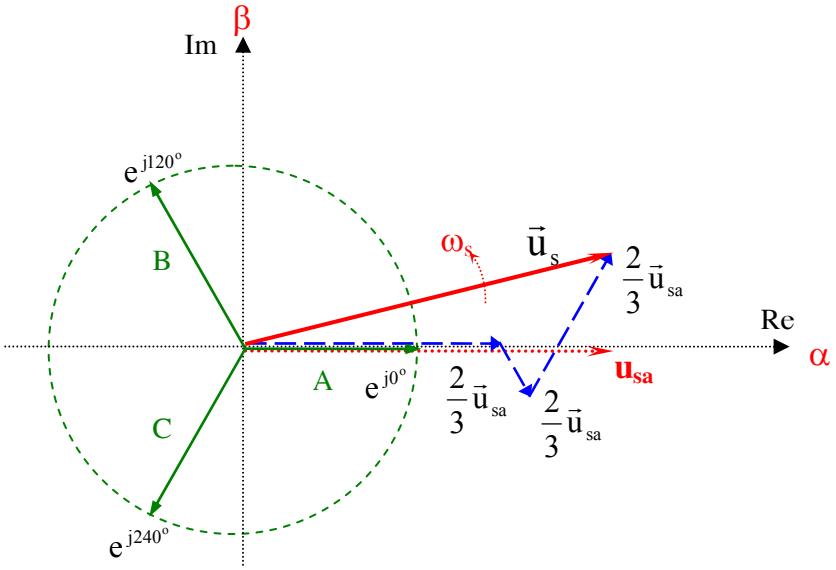
(tương tự như vector trong mặt phẳng phức hai chiều với 2 vector đơn vị)

Ví dụ 1.1: Chứng minh?

a) $$u_s = \frac{2}{3}\left(\left[u_{as} - 0{,}5u_{bs} - 0{,}5u_{cs}\right] + j\left[\frac{\sqrt{3}}{2}u_{bs} - \frac{\sqrt{3}}{2}u_{cs}\right]\right) \tag{1.5}$$

b) $$\vec{u}_s(t) = |u_s|e^{j\omega_s t} = |u_s|\angle(\omega_s t) \tag{1.6}$$

Thuviendientu.org

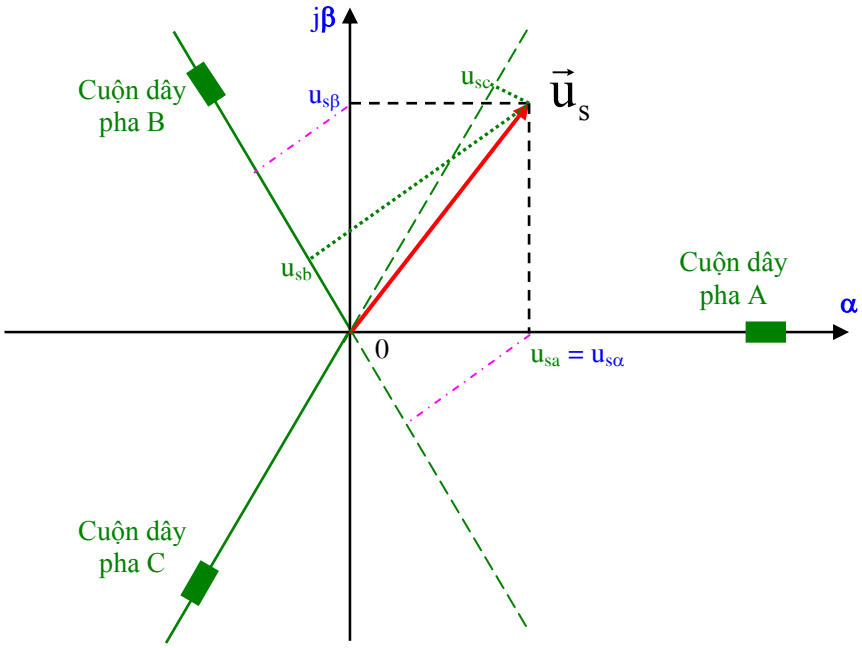


Hình 1.2: Vector không gian điện áp stator trong hệ tọa độ αβ.

Theo hình vẽ trên, điện áp của từng pha chính là hình chiếu của vector điện áp stator $\vec{u}_s$ lên trục của cuộn dây tương ứng. Đối với các đại lượng khác của động cơ: dòng điện stator, dòng rotor, từ thông stator và từ thông rotor đều có thể xây dựng các vector không gian tương ứng như đối với điện áp stator ở trên.

I.2. Hệ tọa độ cố định stator

Vector không gian điện áp stator là một vector có modul xác định ($|u_s|$) quay trên mặt phẳng phức với tốc độ góc ω_s và tạo với trục thực *(trùng với cuộn dây pha A)* một góc $\omega_s t$. Đặt tên cho trục thực là α và trục ảo là β, vector không gian (điện áp stator) có thể được mô tả thông qua hai giá trị thực ($u_{s\alpha}$) và ảo ($u_{s\beta}$) là hai thành phần của vector. Hệ tọa độ này là hệ tọa độ stator cố định, gọi tắt là **hệ tọa độ αβ**.



Hình 1.3: Vector không gian điện áp stator $\vec{u}_s$ và các điện áp pha.

Thuviendientu.org

Bằng cách tính hình chiếu các thành phần của vector không gian điện áp stator $(u_{s\alpha}, u_{s\beta})$ lên trục pha A, B (trên hình 1.3), có thể xác định các thành phần theo phương pháp hình học:

$$\begin{cases} u_{sa} = u_{s\alpha} & (1.7a) \\ u_{sb} = -\frac{1}{2}u_{s\alpha} + \frac{\sqrt{3}}{2}u_{s\beta} & (1.7b) \end{cases}$$

suy ra

$$\begin{cases} u_{s\alpha} = u_{sa} & (1.8a) \\ u_{s\beta} = \frac{1}{\sqrt{3}}(u_{sa} + 2u_{sb}) & (1.8b) \end{cases}$$

Theo phương trình (1.1), và dựa trên hình 1.3 thì chỉ cần xác định hai trong số ba điện áp pha stator là có thể tính được vector $\vec{u}_s$.

Hay từ phương trình (1.5)

$$u_s = \frac{2}{3}\left([u_{as} - 0{,}5u_{bs} - 0{,}5u_{cs}] + j\left[\frac{\sqrt{3}}{2}u_{bs} - \frac{\sqrt{3}}{2}u_{cs}\right]\right) \quad (1.9)$$

có thể xác định ma trận chuyển đổi abc → αβ theo phương pháp đại số:

$$\begin{bmatrix} u^s_{s\alpha} \\ u^s_{s\beta} \end{bmatrix} = \frac{2}{3}\begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} u_{as} \\ u_{bs} \\ u_{cs} \end{bmatrix} \quad (1.10)$$

Ví dụ 1.2: Chứng minh ma trận chuyển đổi hệ toạ độ αβ → abc?

$$\begin{bmatrix} u_{as} \\ u_{bs} \\ u_{cs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} u^s_{s\alpha} \\ u^s_{s\beta} \end{bmatrix} \quad (1.11)$$

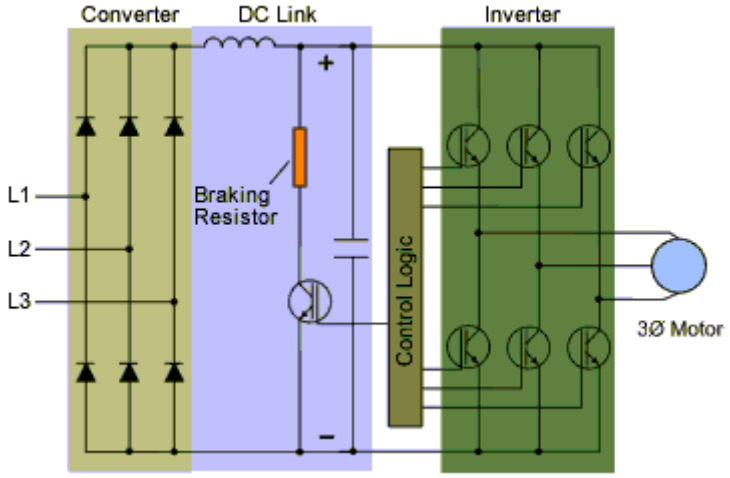
Bằng cách tương tự như đối với vector không gian điện áp stator, các vector không gian dòng điện stator, dòng điện rotor, từ thông stator và từ thông rotor đều có thể được biểu diễn trong hệ tọa độ stator cố định *(hệ tọa độ αβ)* như sau:

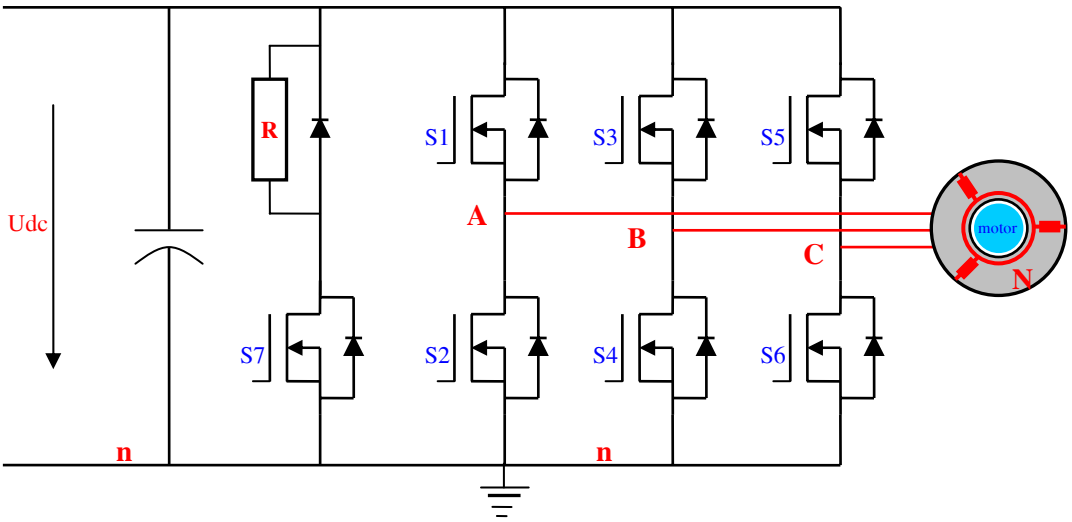
$$\begin{cases} \vec{u}_s = u_{s\alpha} + j\,u_{s\beta} & (1.12a) \\ \vec{i}_s = i_{s\alpha} + j\,i_{s\beta} & (1.12b) \\ \vec{i}_r = i_{r\alpha} + j\,i_{r\beta} & (1.12c) \\ \vec{\psi}_s = \psi_{s\alpha} + j\psi_{s\beta} & (1.12d) \\ \vec{\psi}_r = \psi_{r\alpha} + j\psi_{r\beta} & (1.12e) \end{cases}$$

Thuviendientu.org

II. Bộ nghịch lưu ba pha

II.1. Bộ nghịch lưu ba pha





Hình 1.4: Sơ đồ bộ nghịch lưu ba pha cân bằng gồm 6 khoá S1→S6.

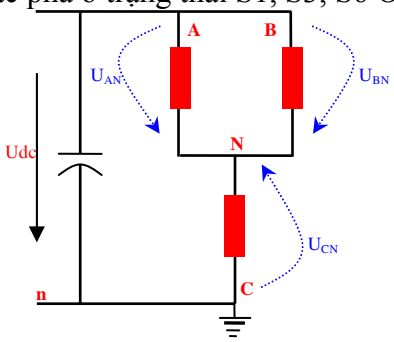
Ví dụ 1.3: Chứng minh các phương trình tính điện áp pha?

a) $U_{Nn} = \frac{1}{3}(U_{An} + U_{Bn} + U_{Cn})$

b) $U_{AN} = \frac{2}{3}U_{An} - \frac{1}{3}U_{Bn} - \frac{1}{3}U_{Cn}$

Phương pháp tính mạch điện:

Ví dụ 1.4: Tính điện áp các pha ở trạng thái S1, S3, S6 ON và S2, S4, S5 OFF?



Hình 1.5: Trạng thái các khoá S1, S3, S6 ON, và S2, S4, S5 OFF (trạng thái 110).

Thuviendientu.org

II.2. Vector không gian điện áp

Đơn vị (Udc)

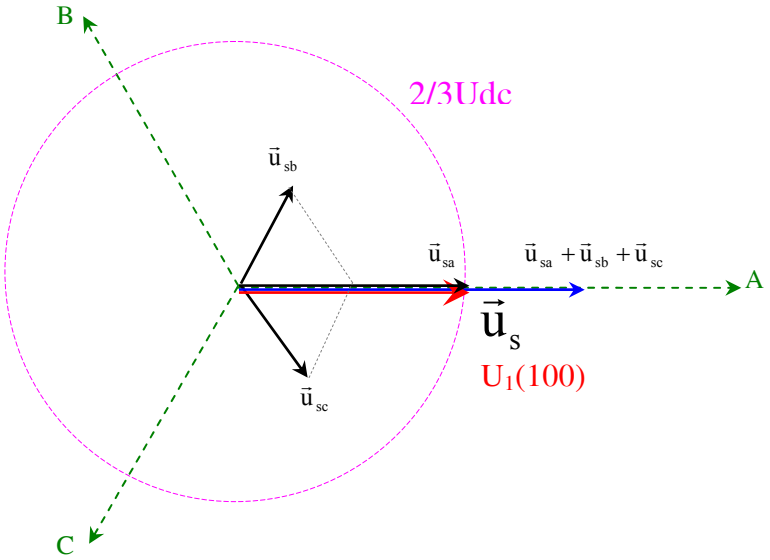
V_a	V_b	V_c	u_{sa}	u_{sb}	u_{sc}	u_{ab}	u_{bc}	u_{ca}	U	Deg	u_s	
S_1	S_3	S_5	U_{AN}	U_{BN}	U_{CN}	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}			$u_{s\alpha}$	$u_{s\beta}$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	U_0	U_{000}		
1	0	0	2/3	-1/3	-1/3	1	0	-1	U_1	0°		
1	1	0	1/3	1/3	-2/3	0	1	-1	U_2	60°		
0	1	0	-1/3	2/3	-1/3	-1	1	0	U_3	120°		
0	1	1	-2/3	1/3	1/3	-1	0	1	U_4	180°		
0	0	1	-1/3	-1/3	2/3	0	-1	1	U_5	240°		
1	0	1	1/3	-2/3	1/3	1	-1	0	U_6	300°		
1	1	1	0	0	0	0	0	0	U_7	U_{111}		

Bảng 1.1: Các điện áp thành phần tương ứng với 8 trạng thái của bộ nghịch lưu.

Ví dụ 1.5: Tính các điện áp thành phần $u_{s\alpha}$ và $u_{s\beta}$ tương ứng với 8 trạng thái trong bảng 1.1?

❖ **Điều chế vector không gian điện áp sử dụng bộ nghịch lưu ba pha**

Xét bộ nghịch lưu ở trạng thái 100, khi đó các điện áp pha u_{sa}=2/3Udc, u_{sb}=–2/3Udc, u_{sa}=2/3Udc. Theo phương trình (1.3), $\vec{u}_s(t) = \frac{2}{3}\left[\vec{u}_{sa}(t) + \vec{u}_{sb}(t) + \vec{u}_{sc}(t)\right]$, có:



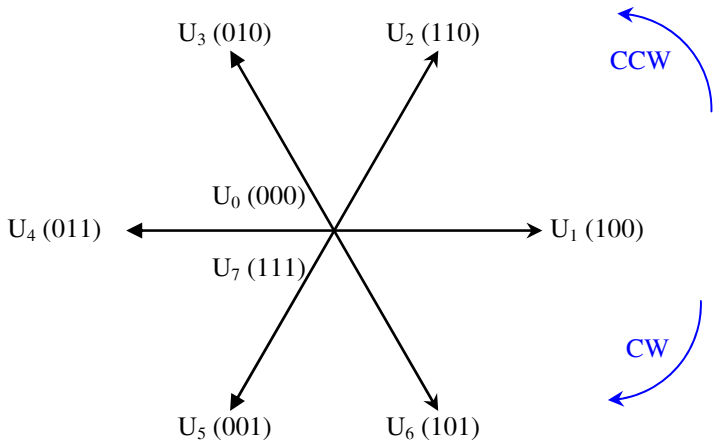
Hình 1.6: Vector không gian điện áp stator $\vec{u}_s$ ứng với trạng thái (100).

Ở trạng thái (100), vector không gian điện áp stator $\vec{u}_s$ có độ lớn bằng 2/3Udc và có góc pha trùng với trục pha A.

Ví dụ 1.6: Tìm (độ lớn và góc của) vector không gian điện áp stator U_2 (110)?

Xét tương tự cho các trang thái còn lại, rút ra được công thức tổng quát $U_k = \frac{2}{3} U_{dc} e^{j(k-1)\frac{\pi}{3}}$ với k = 1, 2, 3, 4, 5, 6.

Thuviendientu.org

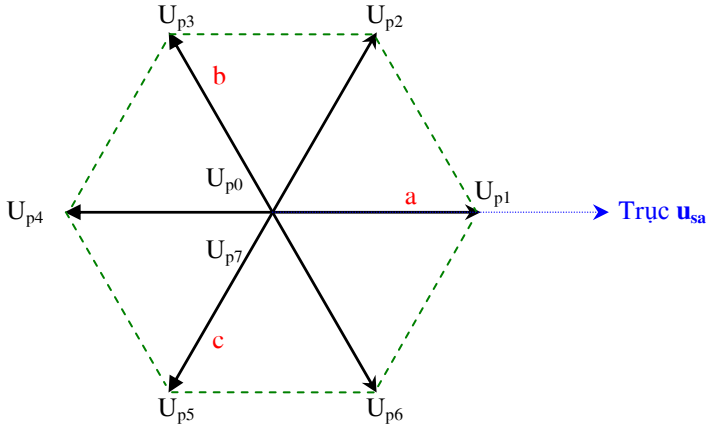


Hình 1.7: 8 vector không gian điện áp stator tương ứng với 8 trạng thái.

$$U_k = \frac{2}{3} U_{dc} e^{j(k-1)\frac{\pi}{3}} \qquad k = 1, 2, 3, 4, 5, 6.$$

U_0 và U_7 là vector 0.

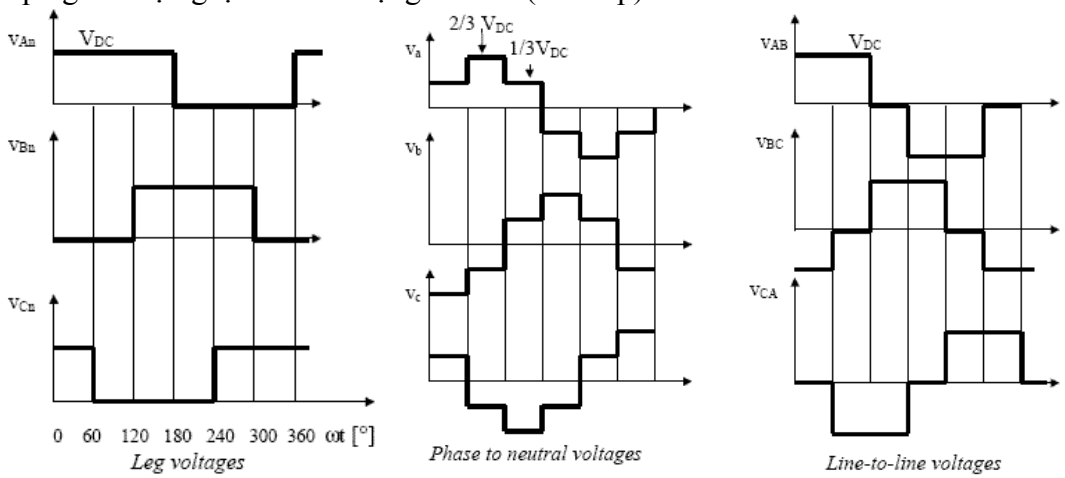
Các trường hợp xét ở trên là vector không gian điện áp **pha** stator.



Hình 1.8: Các vector không gian điện áp **pha** stator.

$$U_{phase_k} = \frac{2}{3} U_{dc} e^{j(k-1)\frac{\pi}{3}} \qquad k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

Bằng cách điều khiển chuyển đổi trạng thái đóng cắt các khóa của bộ nghịch lưu dễ dàng điều khiển vector không gian điện áp "quay" thuận nghịch, nhanh chậm. Khi đó dạng điện áp ngõ ra bộ nghịch lưu có dạng 6 bước (six step).

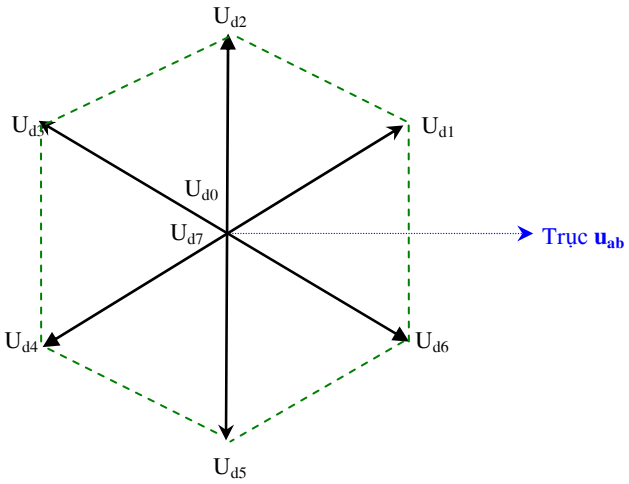


Hình 1.9: Các điện áp thành phần tương ứng với 6 trạng thái.

Thuviendientu.org

Trong một số trường hợp, cần xét vector không gian điện áp **dây** của stator.

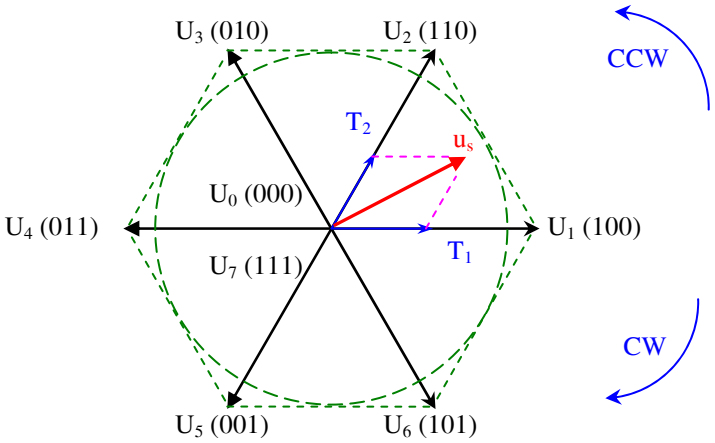
$$\vec{u}_d(t) = \frac{2}{3}\left[\vec{u}_{ab}(t) + \vec{u}_{bc}(t) + \vec{u}_{ca}(t)\right]$$



Hình 1.10: Các vector không gian điện áp **dây** stator.

$$U_{line_k} = \frac{2}{3}\sqrt{3}U_{dc}e^{j(2k-1)\frac{\pi}{6}} \qquad k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

❖ **Điều chế biên độ và góc vector không gian điện áp dùng bộ nghịch lưu ba pha**



Hình 1.11: Điều chế biên độ và góc vector không gian điện áp.

$$u_s = \frac{T_1}{T_{PWM}}U_1 + \frac{T_2}{T_{PWM}}U_2 + \frac{T_0}{T_{PWM}}U_0(U_7) \qquad \text{hay} \quad u_s = a.U_1 + b.U_2 + c.U_0(U_7)$$

$$a = \frac{3}{2}\frac{\sqrt{2}|u_s|}{Udc}\frac{\sin(\frac{\pi}{3}-\alpha)}{\sin\frac{2\pi}{3}} \qquad b = \frac{3}{2}\frac{\sqrt{2}|u_s|}{Udc}\frac{\sin\alpha}{\sin\frac{2\pi}{3}} \qquad c = (a+b)\left(\frac{2U_{dc}}{3|u_s|} - 1\right)$$

Trong đó: $a + b + c = (a+b)\left(\frac{2U_{dc}}{3|u_s|}\right) \approx 1$

$\Rightarrow$ $T_1 = a.T_{PWM}$ $T_2 = b.T_{PWM}$ $T_0 = c.T_{PWM}$

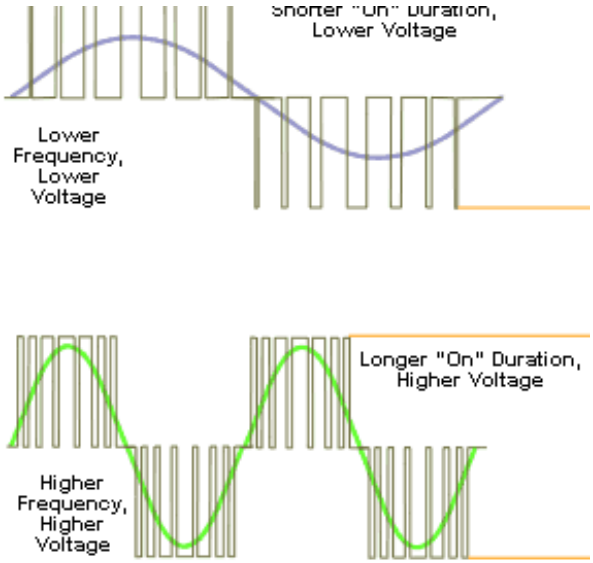
với chu kỳ điều rộng xung: $T_{PWM} \approx (T_1 + T_2) + T_0$ hay $T_0 \approx T_{PWM} - (T_1 + T_2)$

với $T_{PWM} \approx$ const

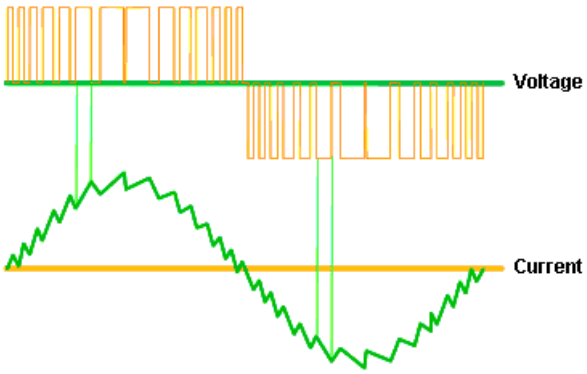
Tổng quát: $u_s = a.U_x + b.U_{x+60} + c.\{U_0, U_7\}$

Thuviendientu.org

Bằng cách điều khiển chuyển đổi trạng thái đóng cắt các khóa của bộ nghịch lưu thông qua T_1, T_2 và T_0, dễ dàng điều khiển **độ lớn** và **tốc độ quay** của vector không gian điện áp. Khi đó dạng điện áp ngõ ra bộ nghịch lưu có dạng PWM sin.



Hình 1.12: Điều chế biên độ và tần số điện áp.



Hình 1.13: Dạng điện áp và dòng điện PWM sin.

Ví dụ 1.7: Chứng minh $|u_s|e^{j\alpha} = T_1\left(\frac{2}{3}U_{dc}\right) + T_2\left(\frac{2}{3}U_{dc}e^{j\frac{\pi}{6}}\right)$

Bài tập 1.1. Điện áp ba pha 380V, 50Hz. Tại thời điểm t = 6ms. Tính u_{sa}, u_{sb}, u_{sc}, $u_{s\alpha}$ và $u_{s\beta}$, |us|? Biết góc pha ban đầu $\theta_o = 0$.

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.

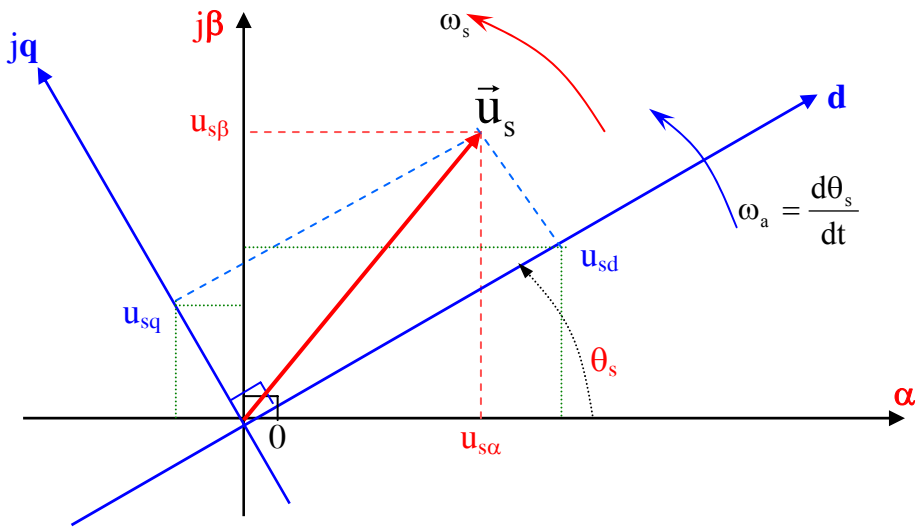
Bài tập 1.4. Điện áp ba pha cấp cho bộ nghịch lưu là 380V, 50Hz. Điện áp pha bộ nghịch lưu cấp cho đồng cơ là 150V và 50Hz. Tại thời điểm t = 6ms. Tính T_1, T_2 và T_0? Biết góc pha ban đầu $\theta_o = 0$ và tần số điều rộng xung là 20KHz.

Thuviendientu.org

Chương 2: HỆ QUI CHIẾU QUAY

I. Hệ qui chiếu quay

Trong mặt phẳng của hệ tọa độ αβ, xét thêm một hệ tọa độ thứ 2 có trục hoành d và trục tung q, hệ tọa độ thứ 2 này có chung điểm gốc và nằm lệch đi một góc θ_s so với hệ tọa độ stator (hệ tọa độ αβ). Trong đó, $\omega_a = \frac{d\theta_s}{dt}$ quay tròn quanh gốc tọa độ chung, góc $\theta_s = \omega_a t + \omega_{a0}$. Khi đó sẽ tồn tại hai tọa độ cho một vector trong không gian tương ứng với hai hệ tọa độ này. Hình vẽ sau sẽ mô tả mối liên hệ của hai tọa độ này.



Hình 2.1: Chuyển hệ toạ độ cho vector không gian $\vec{u}_s$ từ hệ tọa độ αβ sang hệ tọa độ dq và ngược lại.

Từ hình 1.5 dễ dàng rút ra các công thức về mối liên hệ của hai tọa độ của một vector ứng với hai hệ tọa độ αβ và dq. Hay thực hiện biến đổi đại số:

$$\begin{cases} u_{s\alpha} = u_{sd}\cos\theta_s - u_{sq}\sin\theta_s & (1.10a) \\ u_{s\beta} = u_{sd}\sin\theta_s + u_{sq}\cos\theta_s & (1.10b) \end{cases}$$

Theo pt (1.9a) thì: $\vec{u}_s^{\alpha\beta} = u_{s\alpha} + ju_{s\beta}$ (1.11)

và tương tự thì: $\vec{u}_s^{dq} = u_{sd} + ju_{sq}$ (1.12)

Khi thay hệ pt (1.10) vào pt (1.11) sẽ được:

$$\vec{u}_s^{\alpha\beta} = \left(u_{sd}\cos\theta_s - u_{sq}\sin\theta_s\right) + j\left(u_{sd}\sin\theta_s + u_{sq}\cos\theta_s\right)$$

$$= \left(u_{sd} + ju_{sq}\right)\left(\cos\theta_s + j\sin\theta_s\right) = \vec{u}_s^{dq}e^{j\theta_s} \quad (1.13)$$

Hay $\vec{u}_s^{\alpha\beta} = \vec{u}_s^{dq}e^{j\theta_s} \Leftrightarrow \vec{u}_s^{dq} = \vec{u}_s^{\alpha\beta}e^{-j\theta_s}$ (1.14)

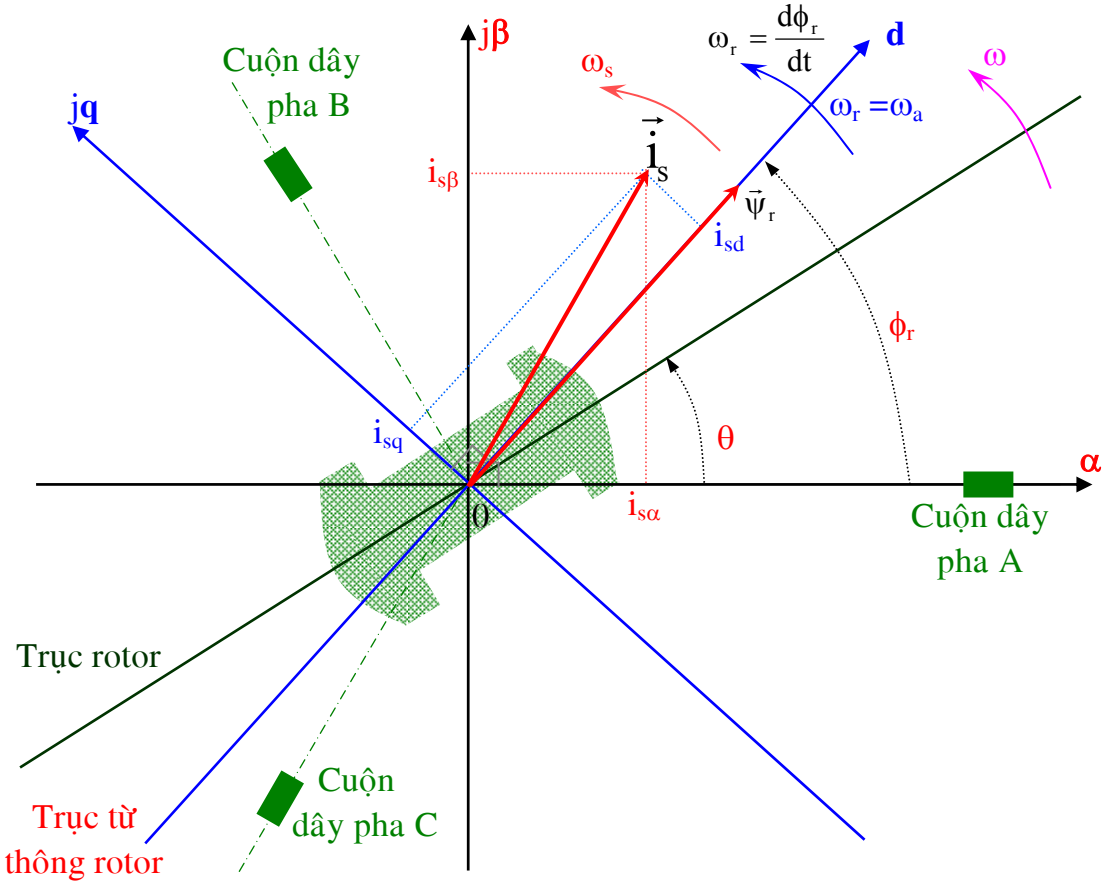
Thuviendientu.org

Thay pt (1.11) vào pt (1.14), thu được phương trình:

$$\begin{cases} u_{sd} = u_{s\alpha}\cos\theta_s + u_{s\beta}\sin\theta_s & (1.15a) \\ u_{sq} = -\,u_{s\alpha}\sin\theta_s + u_{s\beta}\cos\theta_s & (1.15b) \end{cases}$$

II. Biễu diễn các vector không gian trên hệ tọa độ từ thông rotor

Mục này trình bày cách biểu diễn các vector không gian của động cơ không đồng bộ (ĐCKĐB) ba pha trên hệ tọa độ từ thông rotor. Giả thiết một ĐCKĐB ba pha đang quay với tốc độ góc $\omega = \frac{d\theta}{dt}$ (tốc độ quay của rotor so với stator đứng yên), với θ là góc hợp bởi trục rotor với trục chuẩn stator (qui định trục cuộn dây pha A, chính là trục α trong hệ tọa độ αβ).



Hình 2.2: Biểu diễn vector không gian $\vec{i}_s$ trên hệ toạ độ từ thông rotor, còn gọi là hệ toạ độ dq.

Thuviendientu.org

Trong hình 1.6 biểu diễn cả hai vector dòng stator $\vec{i}_s$ và vector từ thông rotor $\vec{\psi}_r$. Vector từ thông rotor $\vec{\psi}_r$ quay với tốc độ góc $\omega_r = \frac{d\phi_r}{dt} \approx \omega_s = 2\pi f_s$ (tốc độ quay của từ thông rotor so với stator đứng yên). Trong đó, f_s là tần số của mạch điện stator và ϕ_r là góc của trục d so với trục chuẩn stator (trục α).

Độ chênh lệch giữa ω_s và ω (giả thiết số đôi cực của động cơ là p=1) sẽ tạo nên dòng điện rotor với tần số f_{sl}, dòng điện này cũng có thể được biểu diễn dưới dạng vector $\vec{i}_r$ quay với tốc độ góc $\omega_{sl} = 2\pi f_{sl}$, ($\omega_{sl} = \omega_s - \omega \approx \omega_r - \omega$) so với vector từ thông rotor $\vec{\psi}_r$.

Trong mục này ta xây dựng một hệ trục tọa độ mới có hướng trục hoành (trục d) trùng với trục của vector từ thông rotor $\vec{\psi}_r$ và có gốc trùng với gốc của hệ tọa độ $\alpha\beta$, hệ tọa độ này được gọi là hệ tọa độ từ thông rotor, hay còn gọi là hệ tọa dq. Hệ tọa độ dq quay quanh điểm gốc chung với tốc độ góc $\omega_r \approx \omega_s$, và hợp với hệ tọa độ $\alpha\beta$ một góc ϕ_r.

Vậy tùy theo quan sát trên hệ tọa độ nào, một vector trong không gian sẽ có một tọa độ tương ứng. Qui định chỉ số trên bên phải của ký hiệu vector để nhận biết vector đang được quan sát từ hệ tọa độ nào:

- s: tọa độ $\alpha\beta$ (stator coordinates).
- f: tọa độ dq (field coordinates).

Như trong hình 1.6, vector $\vec{i}_s$ sẽ được viết thành:

- $\vec{i}_s^{\,s}$: vector dòng stator quan sát trên hệ tọa độ $\alpha\beta$.
- $\vec{i}_s^{\,f}$: vector dòng stator quan sát trên hệ tọa độ dq.

Theo pt (1.8a) và pt (1.11) thì:

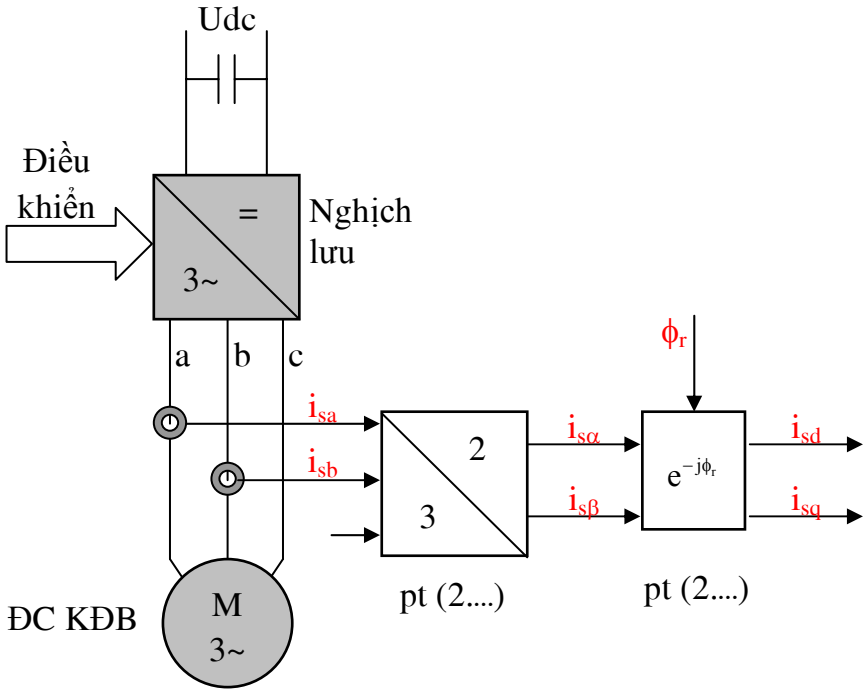
$$\begin{cases} \vec{i}_s^{\,s} = i_{s\alpha} + j\, i_{s\beta} & (1.16a) \\ \vec{i}_s^{\,f} = i_{sd} + j\, i_{sq} & (1.16b) \end{cases}$$

Nếu biết được góc ϕ_r thì sẽ xác định được mối liên hệ:

$$\begin{cases} \vec{i}_s^{\,s} = \vec{i}_s^{\,f} e^{j\phi_r} & (1.17a) \\ \vec{i}_s^{\,f} = \vec{i}_s^{\,s} e^{-j\phi_r} & (1.17b) \end{cases}$$

Theo hệ pt (???) và pt (1.17b) thì có thể tính được vector dòng stator thông qua các giá trị dòng i_a và i_b đo được (hình 1.7).

Thuviendientu.org



Hình 2.3: Thu thập giá trị thực của vector dòng stator trên hệ tọa độ dq.

Tương tự như đối với vector dòng stator, có thể biểu diễn các vector khác của ĐCKĐB trên hệ tọa độ dq:

$$\begin{cases} \vec{i}_s^{\,f} = i_{sd} + j\, i_{sq} & (1.18a) \\ & (1.18b) \\ \vec{u}_s^{\,f} = u_{sd} + j\, i_{sq} & (1.18c) \\ & (1.18d) \\ \vec{i}_r^{\,f} = i_{rd} + j\, i_{rq} & (1.18e) \\ \vec{\psi}_s^{\,f} = \psi_{sd} + j\psi_{sq} & \\ \vec{\psi}_r^{\,f} = \psi_{rd} + j\psi_{rq} & \end{cases}$$

Tuy nhiên, để tính được i_{sd} và i_{sq} thì phải xác định được góc ϕ_r, góc ϕ_r được xác định thông qua $\omega_r = \omega + \omega_{sl}$. Trong thực tế chỉ có ω là có thể đo được, trong khi (tốc độ trượt) $\omega_{sl} = 2\pi f_{sl}$ với f_{sl} là tần số của mạch điện rotor (lồng sóc) không đo được. Vì vậy phương pháp điều khiển ĐCKĐB ba pha dựa trên các mô tả trên hệ tọa dộ dq bắt buột phải xây dựng phương pháp tính ω_r chính xác. Chú ý khi xây dựng mô hình tính toán trong hệ tọa độ dq, do không thể tính tuyệt đối chính xác góc ϕ_r nên vẫn giữ lại ψ_{rq} (ψ_{rq}=0) để đảm bảo tính khách quan trong khi quan sát.

III. Ưu điểm của việc mô tả động cơ không đồng bộ ba pha trên hệ tọa độ từ thông rotor

Trong hệ tọa độ từ thông rotor (hệ tọa độ dq), các vector dòng stator $\vec{i}_s^{\,f}$ và vector từ thông rotor $\vec{\psi}_r^{\,f}$, cùng với hệ tọa độ dq quanh (gần) đồng bộ với nhau với tốc độ ω_r quanh điểm gốc, do đó các phần tử của vector $\vec{i}_s^{\,f}$ (i_{sd} và i_{sq}) là các đại

Thuviendientu.org

lượng một chiều. Trong chế độ xác lập, các giá trị này gần như không đổi; trong quá trình quá độ, các giá trị này có thể biến theo theo một thuật toán điều khiển đã được định trước.

Hơn nữa, trong hệ tọa độ dq, $\psi_{rq}=0$ do vuông góc với vector $\vec{\psi}_r^f$ (trùng với trục d) nên $|\vec{\psi}_r^f|=\psi_{rd}$. (1.19)

Đối với ĐCKĐB 3 pha, trong hệ tọa độ dq, **từ thông** và **mômen quay** được biểu diễn theo các phần tử của vector dòng stator:

$$\begin{cases} \psi_{rd} = \dfrac{L_m}{1+T_r s} i_{sd} & (1.20a) \\ T_e = \dfrac{3}{2}\dfrac{L_m}{L_r} p\psi_{rd} i_{sq} = T_L - \dfrac{J}{P}\dfrac{d\omega}{dt} & (1.20b) \end{cases}$$

(Hai phương trình trên sẽ được chứng minh trong chương sau).

với: T_e momen quay (momen điện) của động cơ
L_r điện cảm rotor
L_m hỗ cảm giữa stator và rotor
p số đôi cực của động cơ
T_r hằng số thời gian của rotor
s toán tử Laplace

Phương trình (1.20a) cho thấy có thể điều khiển từ thông rotor $\psi_{rd} = |\vec{\psi}_r|$ thông qua điều khiển dòng stator i_{sd}. Đặc biệt mối quan hệ giữa hai đại lượng này là mối quan hệ trễ bậc nhất với thời hằng T_r.

Nếu thành công trong việc áp đặt nhanh và chính xác dòng i_{sd} để điều khiển ổn định từ thông ψ_{rd} tại mọi điểm làm việc của động cơ. Và thành công trong việc áp đặt nhanh và chính xác dòng i_{sq}, và theo pt (1.20b)7 thì có thể coi $\mathbf{i_{sq}}$ là đại lượng điều khiển của momen T_e của động cơ.

Bằng việc mô tả ĐCKĐB ba pha trên hệ tọa độ từ thông rotor, không còn quan tâm đến từng dòng điện pha riêng lẻ nữa, mà là toàn bộ vector không gian dòng stator của động cơ. Khi đó vector $\vec{i}_s$ sẽ cung cấp hai thành phần: $\mathbf{i_{sd}}$ để điều khiển từ thông rotor $|\vec{\psi}_r|$, $\mathbf{i_{sq}}$ để điều khiển momen quay T_e, từ đó có thể điều khiển tốc độ của động cơ.

$$\begin{cases} i_{sd} \rightarrow |\vec{\psi}_r| & (1.21a) \\ i_{sq} \rightarrow T_e \rightarrow \omega & (1.21b) \end{cases}$$

Khi đó, phương pháp mô tả ĐCKĐB ba pha tương quan giống như đối với động cơ một chiều. Cho phép xây dựng hệ thống điều chỉnh truyền động ĐCKĐB ba pha tương tự như trường hợp sử dụng động cơ điện một chiều. Điều khiển tốc độ ĐCKĐB ba pha ω thông qua điều khiển hai phần tử của dòng điện $\vec{i}_s$ là i_{sd} và i_{sq}.

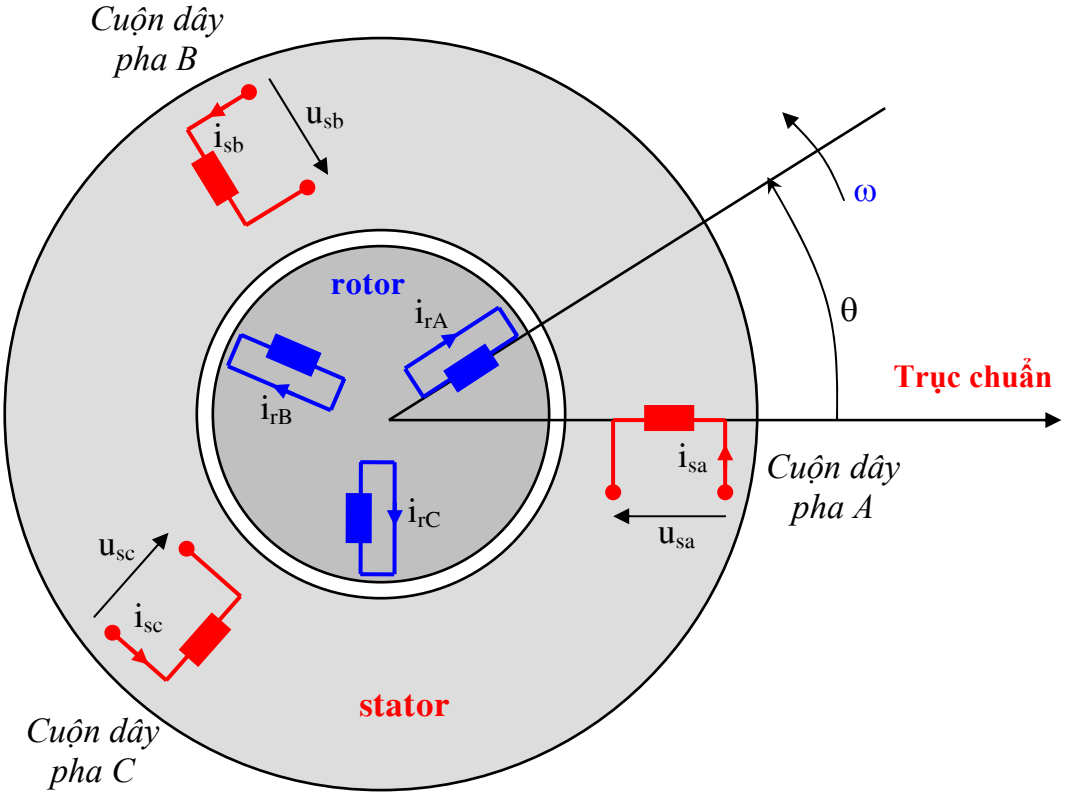
Thuviendientu.org

Chương 3: MÔ HÌNH ĐCKĐB TRONG HỆ QUI CHIẾU QUAY

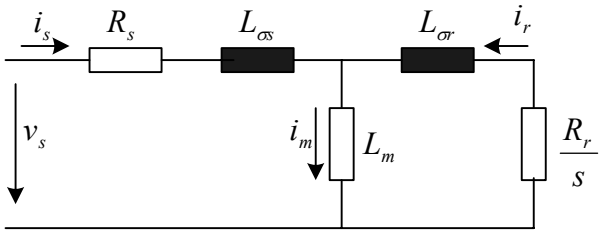
I. Một số khái niệm cơ bản của động cơ không đồng bộ ba pha

I.1. Một số qui ước ký hiệu dùng cho điều khiển ĐCKĐB ba pha

Để xây dựng mô hình mô tả động cơ KĐB ba pha, ta thống nhất một số qui ước cho các ký hiệu cho các đại lượng và các thông số của động cơ.



Hình 2.1: Mô hình đơn giản của động cơ KĐB ba pha



Hình 2.2: Mạch tương đương của động cơ KĐB ba pha

Trục chuẩn của mọi quan sát được qui ước là trục của cuộn dây pha A như hình 2.1. Mọi công thức được xây dựng sau này đều tuân theo qui ước này. Sau đây là một số các qui ước cho các ký hiệu:

- **Hình thức và vị trí các chỉ số:**

Thuviendientu.org

- *Chỉ số nhỏ góc phải trên:*
  - s đại lượng quan sát trên hệ qui chiếu stator (hệ tọa độ αβ).
  - f đại lượng quan sát trên hệ qui chiếu từ thông rotor (hệ tọa độ dq).
  - r đại lượng quan sát trên hệ tọa độ rotor với trục thực là trục của rotor (hình 1.6).
  - * giá trị đặt
  - e giá trị ước lượng
- *Chỉ số nhỏ góc phải dưới:*
  - *Chữ cái đầu tiên:*
    - s đại lượng của mạch stator.
    - r đại lượng của mạch rotor.
  - *Chữ cái thứ hai:*
    - d, q phần tử thuộc hệ tọa độ dq.
    - α, β phần tử thuộc hệ tọa độ αβ.
    - a, b, c đại lượng ba pha của stator.
    - A, B, C đại lượng ba pha của rotor, lưới.
- *Hình mũi tên (→) trên đầu:* ký hiệu vector (2 chiều).
- *Độ lớn (modul) của đại lượng:* ký hiệu giữa hai dấu gạch đứng (| |).

▪ **Các đại lượng của ĐCKĐB ba pha:**

u điện áp (V).
i dòng điện (A).
ψ từ thông (Wb).
T_e momen điện từ (N.m).
T_L momen tải (momen cản - torque) (hay còn ký hiệu là M_T) (Nm).
ω tốc độ góc của rotor so với stator (rad/s).
ω_a tốc độ góc của một hệ toạ độ bất kỳ *(arbitrary)* (rad/s).
ω_s tốc độ góc của từ thông stator so với stator ($\omega_s = \omega + \omega_{sl}$) (rad/s).
ω_r tốc độ góc của từ thông rotor so với stator ($\omega_r \approx \omega_s$) (rad/s).
ω_{sl} tốc độ góc của từ thông rotor so với rotor (tốc độ trượt) (rad/s).
θ góc của trục rotor (cuộn dây pha A) trong hệ toạ độ αβ (rad).
θ_s góc của trục d (hệ toạ độ quay bất kỳ) trong hệ toạ độ αβ (rad).
θ_r góc của trục d (hệ toạ độ quay bất kỳ) so với trục rotor (rad).
ϕ_s góc của từ thông stator trong hệ toạ độ αβ (rad).
ϕ_r góc của từ thông rotor trong hệ toạ độ αβ (rad).
ϕ_r^e góc của từ thông rotor ước lượng *(estimated)* trong hệ toạ độ αβ (rad).
φ góc pha giữa điện áp so với dòng điện.

▪ **Các thông số của ĐCKĐB ba pha:**

R_s điện trở cuộn dây pha của stator (Ω).
R_r điện trở rotor đã qui đổi về stator (Ω).
L_m hỗ cảm giữa stator và rotor (H).
$L_{\sigma s}$ điện kháng tản của cuộn dây stator (H).
$L_{\sigma r}$ điện kháng tản của cuộn dây rotor đã qui đổi về stator (H).
p số đôi cực của động cơ.
J momen quán tính cơ ($Kg.m^2$).

▪ **Các thông số định nghĩa thêm:**

Thuviendientu.org

$L_s = L_m + L_{\sigma s}$ điện cảm stator.

$L_r = L_m + L_{\sigma r}$ điện cảm rotor.

$T_s = \dfrac{L_s}{R_s}$ hằng số thời gian stator.

$T_r = \dfrac{L_r}{R_r}$ hằng số thời gian rotor.

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

T_{samp} chu kỳ lấy mẫu.

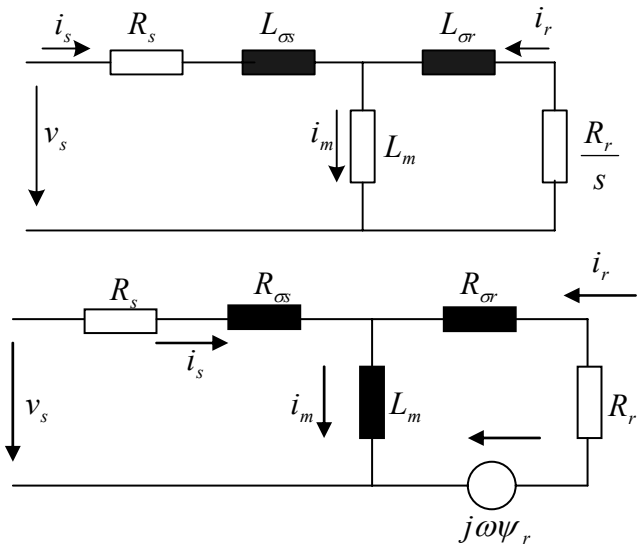
- **Cc đại lượng viết bằng chữ thường – chữ hoa:**

  Chữ thường: Đại lượng tức thời, biến thin theo thời gian.
  Đại lượng là các thành phần của các vector.

  Chữ hoa: Đại lượng vector, module của vector, độ lớn.

I.2. Các phương trình cơ bản của ĐCKĐB ba pha

Các phương trình toán học của động cơ cần phải thể hiện rõ các đặc tính thời gian của đối tượng. Việc xây dựng mô hình ở đây không nhằm mục đích mô phỏng chính xác về mặc toán học đối tượng động cơ. Việc xây dựng mô hình ở đây chỉ nhằm mục đích phục vụ cho việc xây dựng các thuật toán điều chỉnh. Điều đó cho phép chấp nhận một số điều kiện giả định trong quá trình thiết lập mô hình, tất nhiên sẽ tạo ra một số sai lệch nhất định giữa đối tượng và mô hình trong phạm vi cho phép. Các sai lệch này phải được loại trừ bằng kỹ thuật điều chỉnh.

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

- Các cuộn dây stator được bố trí đối xứng trong không gian.
- Bỏ qua các tổn hao sắt từ và sự bảo 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.