

永磁同步及直流無刷馬達驅動器 之分析與設計

侯中權 Chung-Chuan Hou

國立清華大學電機系博士

中華大學電機系教授

IEEE Senior Member

課程綱要

- ◆ 直流機原理
- ◆ 直流機操作
- ◆ 直流伺服馬達驅動器設計
- ◆ 交流機原理
- ◆ 交流機操作
- ◆ 交流伺服馬達驅動器設計

電機機械基本定律

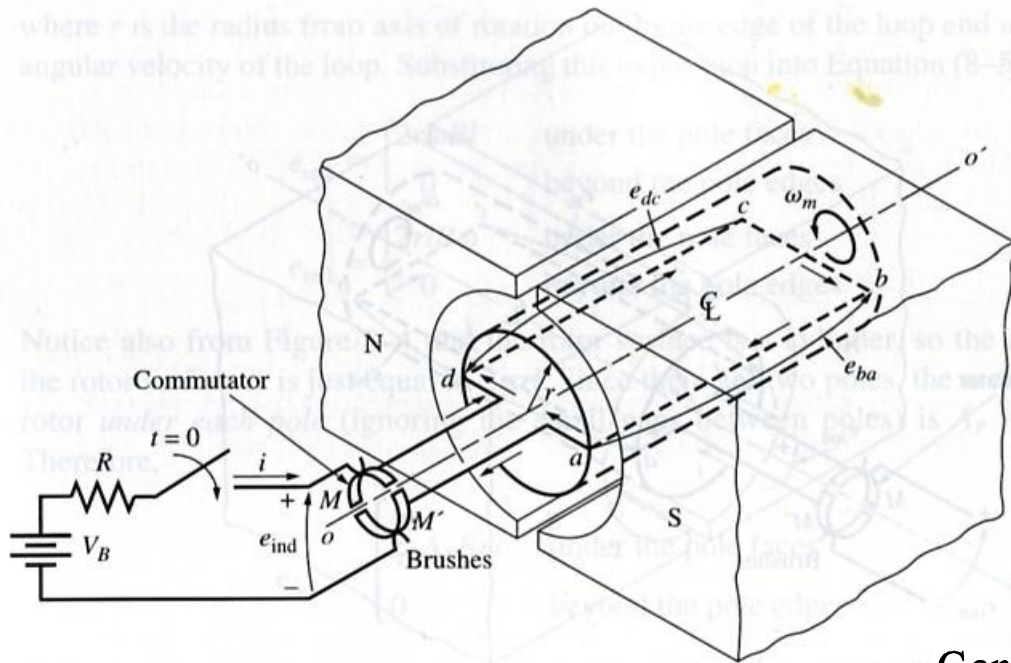
$$\textit{Ampere's Law: } \oint H \cdot dl = Ni$$

$$\textit{Faraday's Law: } e_{ind} = -N \frac{d\phi}{dt}$$

$$\textit{Induced Force on a Wire: } F = i(l \times B)$$

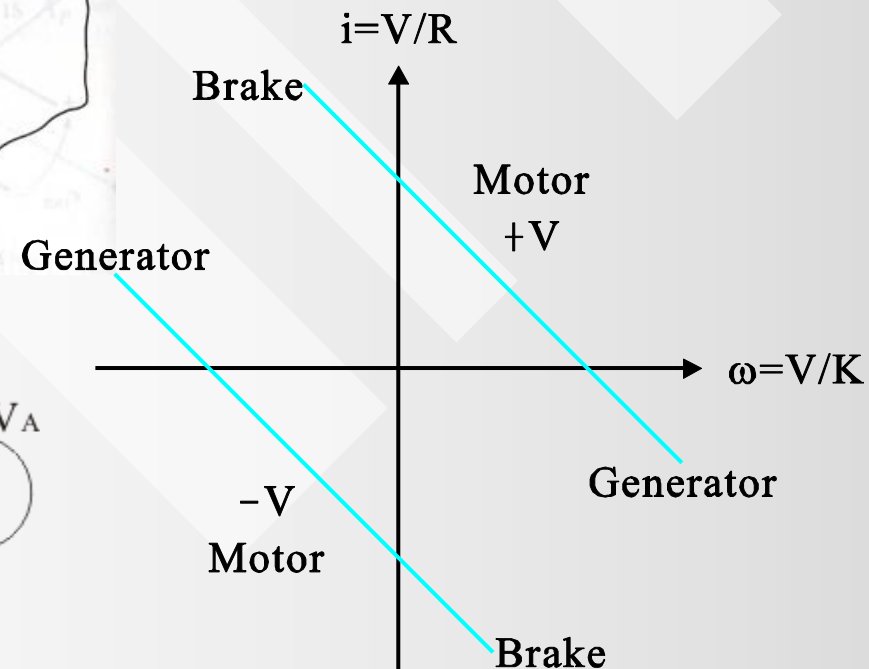
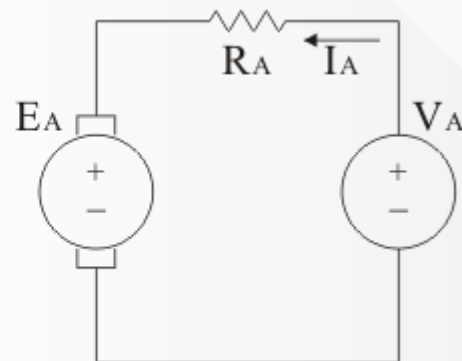
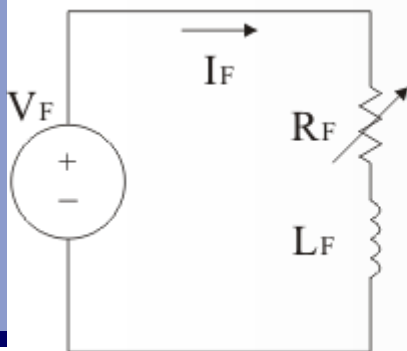
$$\textit{Induced Voltage on a Wire: } e_{ind} = (v \times B) \cdot l$$

直流電機



$$V = iR + K\omega$$

$$K\omega = V + iR$$



直流電機操作—啟動

- ◆ 旋轉直流電機，繞線電阻 $R=3\Omega$ ，常數 $K=2\text{ Nm/A}=2\text{ V}/(\text{rad}/\text{sec})$ ，靜止時，外加電壓 30V
- ◆ 求啟動電流
- ◆ 求啟動轉矩
- ◆ 求啟動瞬時輸入功率
- ◆ 求啟動瞬時效率

直流電機操作－穩態無載

- ◆ 旋轉直流電機，繞線電阻 $R=3\Omega$ ，常數 $K=2\text{ Nm/A}=2\text{ V}/(\text{rad}/\text{sec})$ ，無載，外加電壓 30V
- ◆ 求穩態轉速(rad/sec)
- ◆ 求穩態輸出功率
- ◆ 畫出轉矩（Y軸），轉速（X軸），電壓 30V 的直流電機特性圖

直流電機操作—加載變動

- ◆ 旋轉直流電機，繞線電阻 $R=3\Omega$ ，常數 $K=2\text{ Nm/A}=2\text{ V}/(\text{rad}/\text{sec})$ ，外加電壓 30V ，加載 10Nm
- ◆ 求直流電機的電流
- ◆ 求轉速（rpm）
- ◆ 求效率
- ◆ 提高外加電壓使轉速和加載前相同？此時若負載變動為零？此時若電壓改回 30V ？

直流電機操作—限流

- ◆ 旋轉直流電機，繞線電阻 $R=3\Omega$ ，常數 $K=2\text{ Nm/A}=2\text{ V/(rad/sec)}$ ，外加電壓 30V ，無載
- ◆ 限制啟動電流
- ◆ 求無載穩態轉速

直流電機操作—發電

- ◆ 旋轉直流電機，繞線電阻 $R=3\Omega$ ，常數 $K=2\text{ Nm/A}=2\text{ V/(rad/sec)}$ ，外加電壓 30V ，無載穩態轉速時，外加一負載轉矩(-10Nm)，即和旋轉方向同向
- ◆ 求此瞬時電流
- ◆ 求穩態轉速

直流電機操作—弱磁

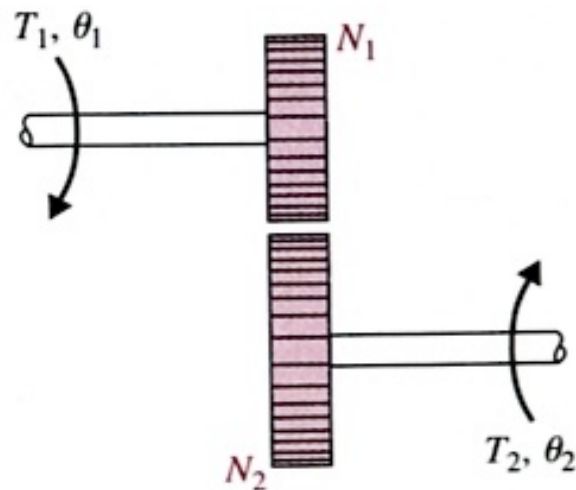
- ◆ 旋轉直流電機，繞線電阻 $R=3\Omega$ ，常數 $K=2\text{ Nm/A}=2\text{ V/(rad/sec)}$ ，外加電壓 30V ，無載穩態轉速時，控制場繞組電流使磁通減半
- ◆ 求此瞬時馬達轉矩
- ◆ 求無載穩態轉速

直流電機—齒輪

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{\theta_2}{\theta_1} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{r_1}{r_2}$$

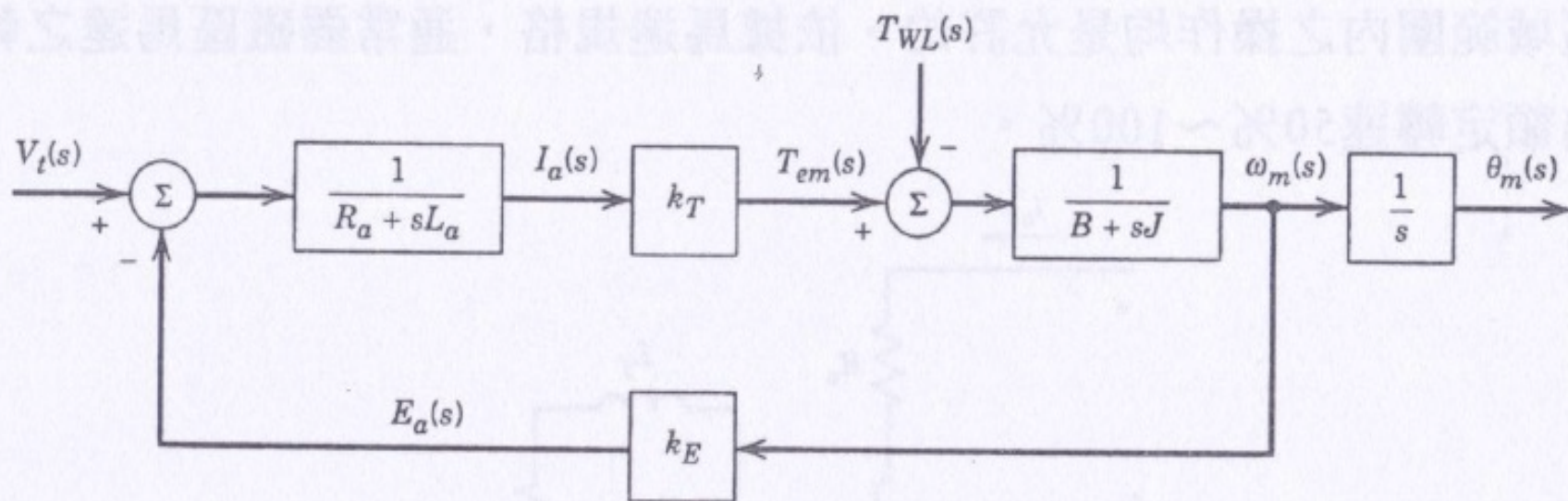
$$T_2(t) = J_2 \frac{d^2 \theta_2(t)}{dt^2} + B_2 \frac{d \theta_2(t)}{dt}$$

$$T_1(t) = \frac{N_1}{N_2} T_2(t) = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 J_2 \frac{d^2 \theta_1(t)}{dt^2} + \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 B_2 \frac{d \theta_1(t)}{dt}$$



直流電機—方塊圖

$$\frac{y_{out}}{y_{in}} = \sum_{k=1}^N \frac{M_k \Delta_k}{\Delta}$$

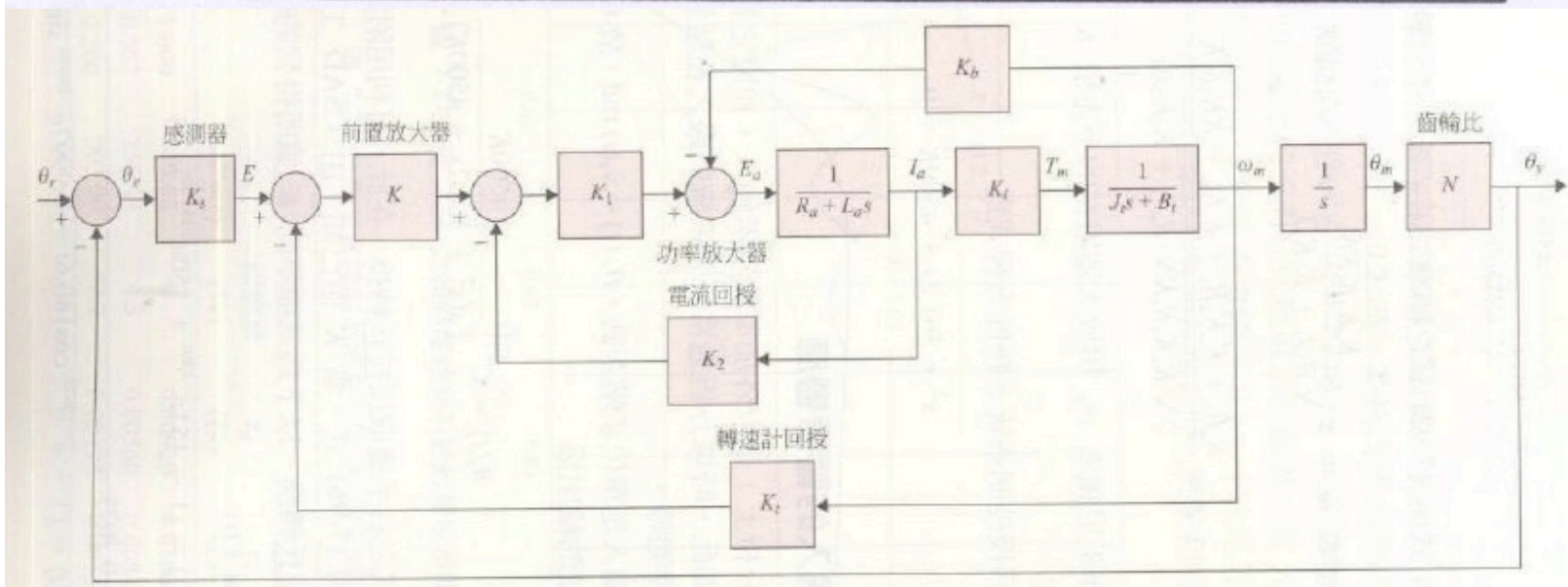
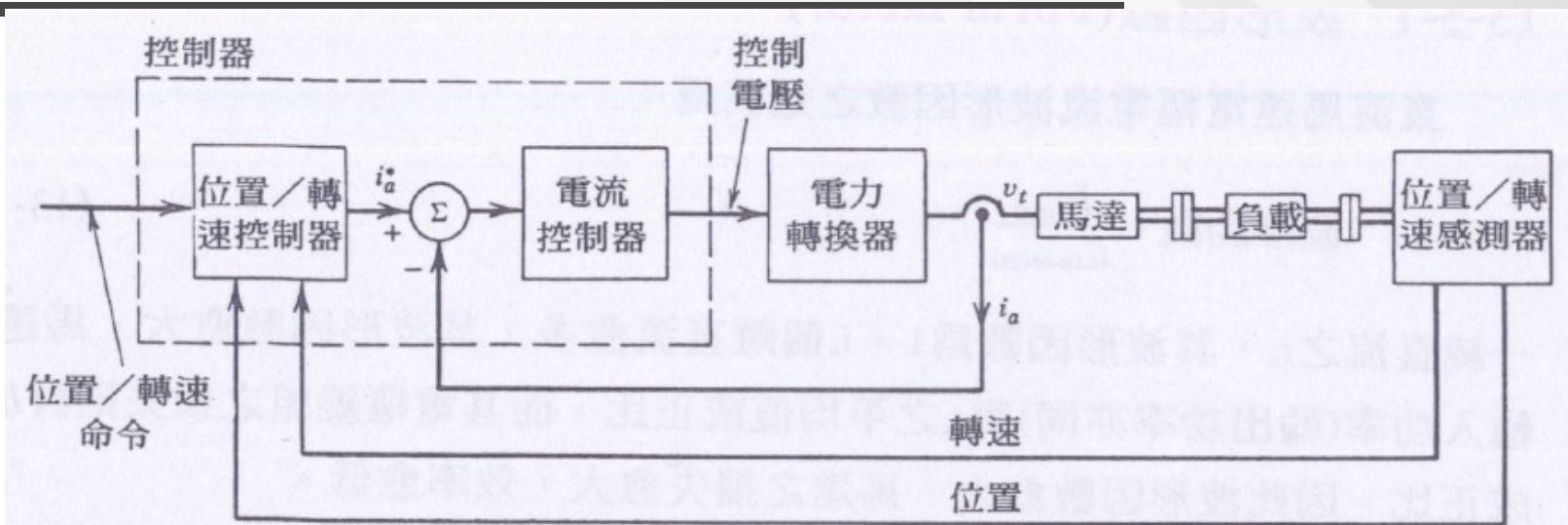


$$\omega_m(s) = \frac{k_T}{(R_a + sL_a)(sJ + B) + k_T k_E} V_t(s) - \frac{R_a + sL_a}{(R_a + sL_a)(sJ + B) + k_T k_E} T_{WL}(s)$$

$$\tau_m = \frac{R_a J_m}{k_T k_E} = \text{機械之時間常數}$$

$$\tau_e = \frac{L_a}{R_a} = \text{電之時間常數}$$

直流電機—控制方塊圖



直流電機—感測器

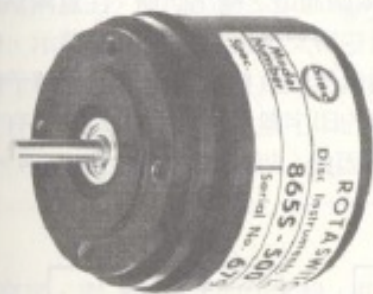


圖 4-31 旋轉增量編碼器 (Courtesy of DISC Instruments, Inc.)

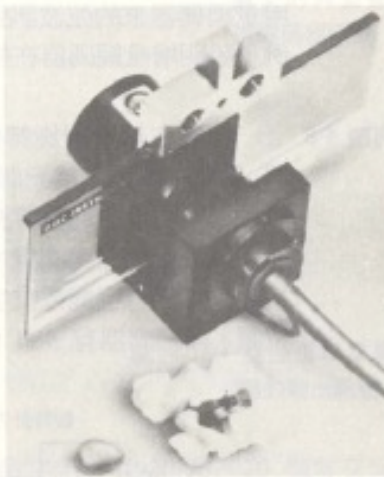


圖 4-32 線性增量編碼器 (Courtesy of DISC Instruments, Inc.)

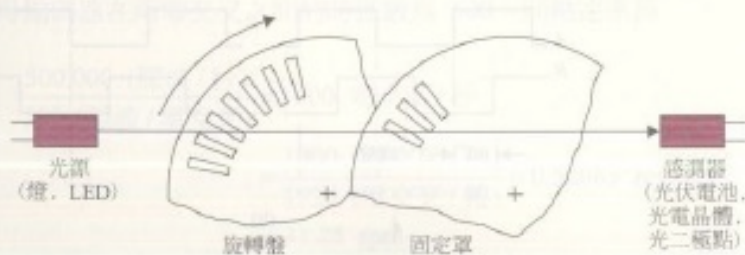
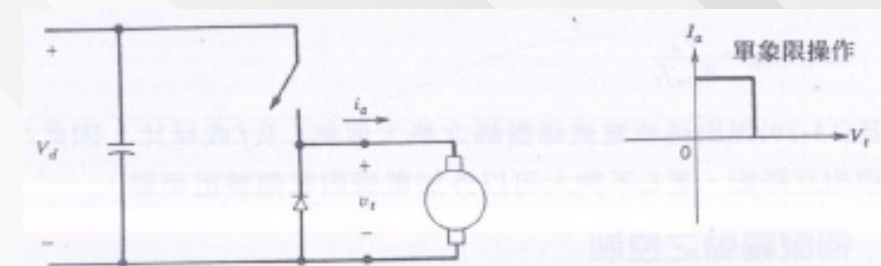
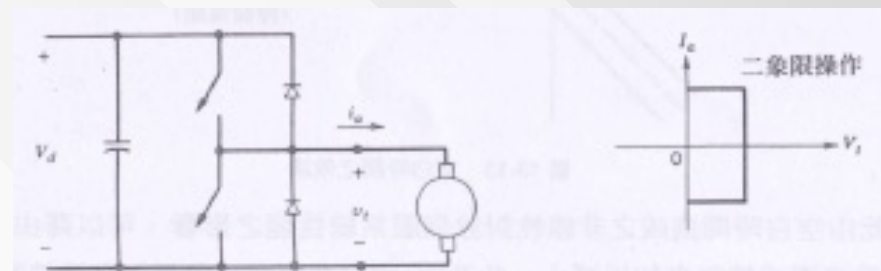
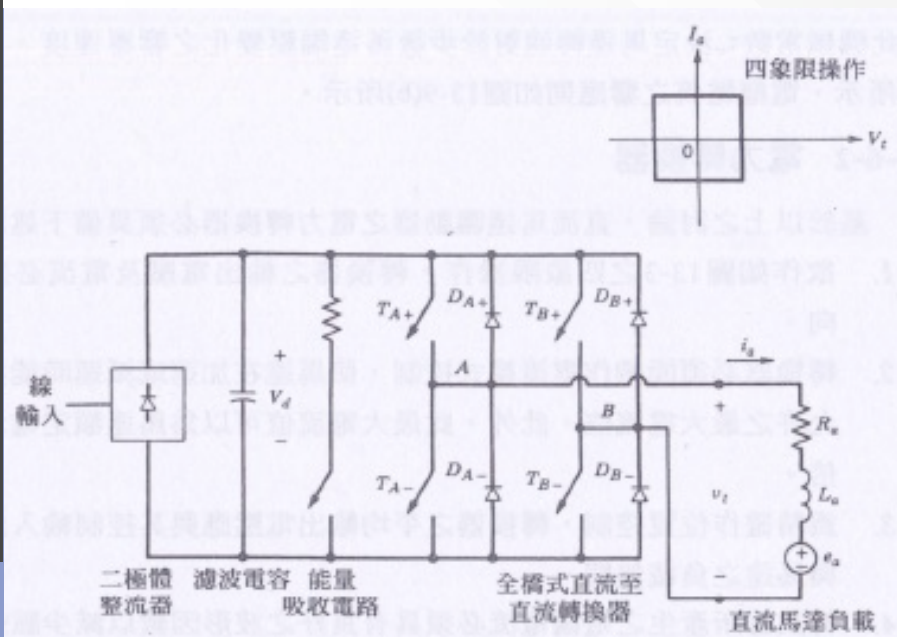


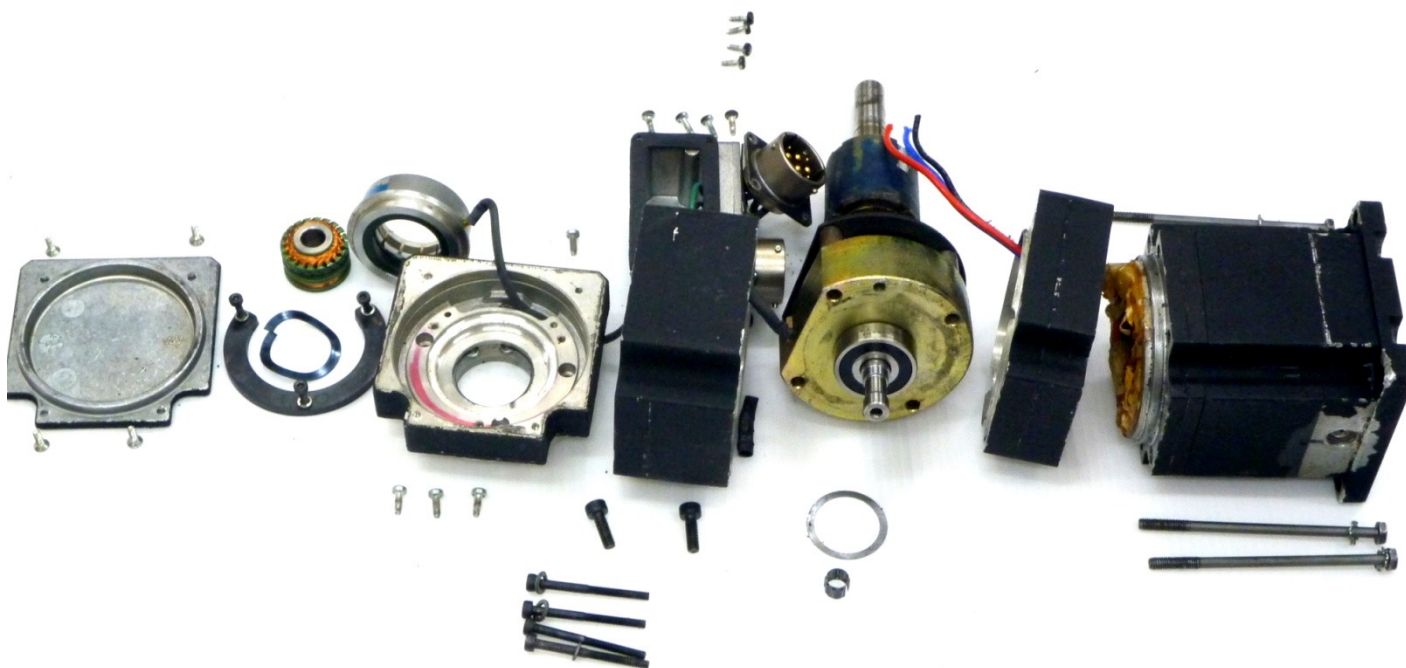
圖 4-33 典型增量光學機械裝置



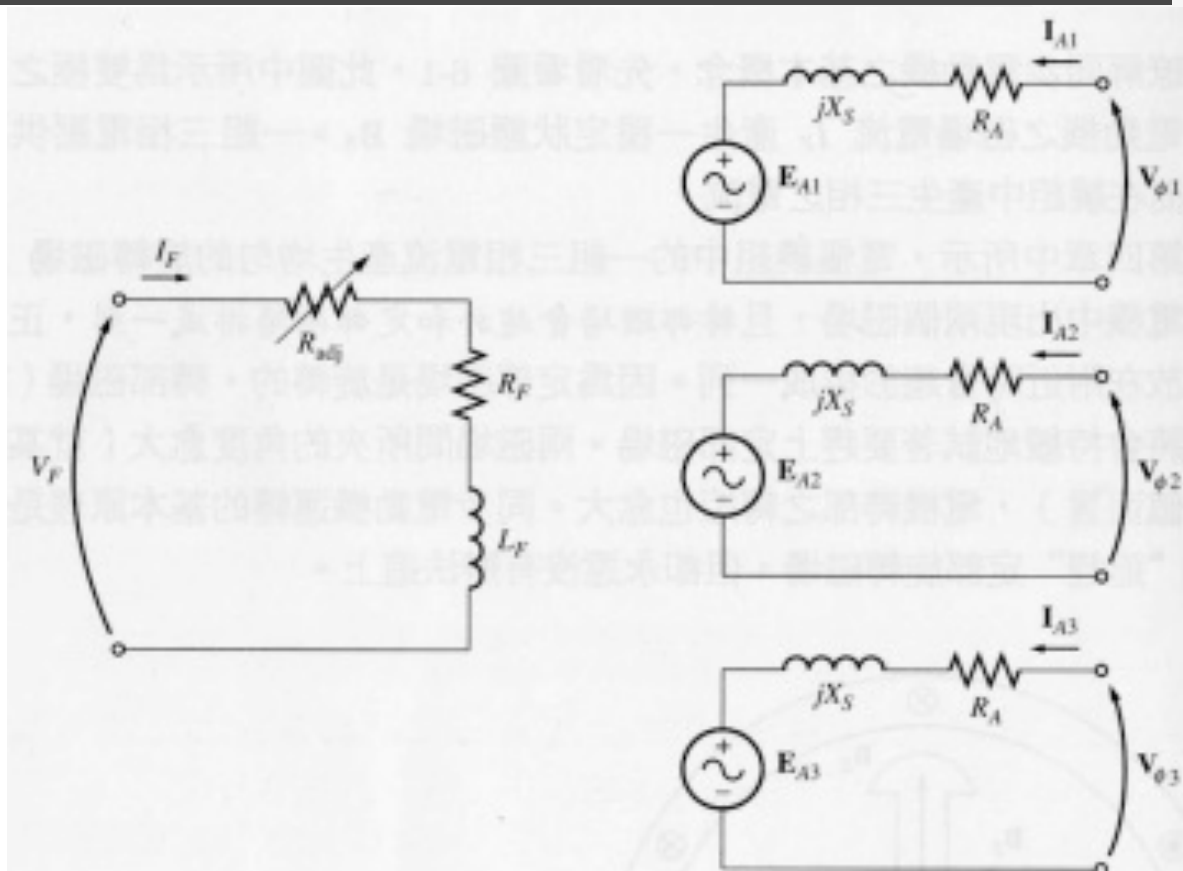
直流電機—電力轉換器



交流同步機—結構圖



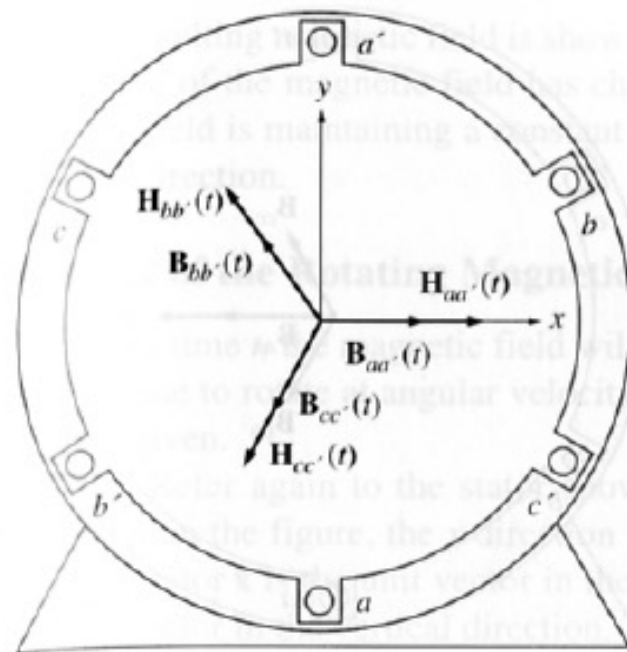
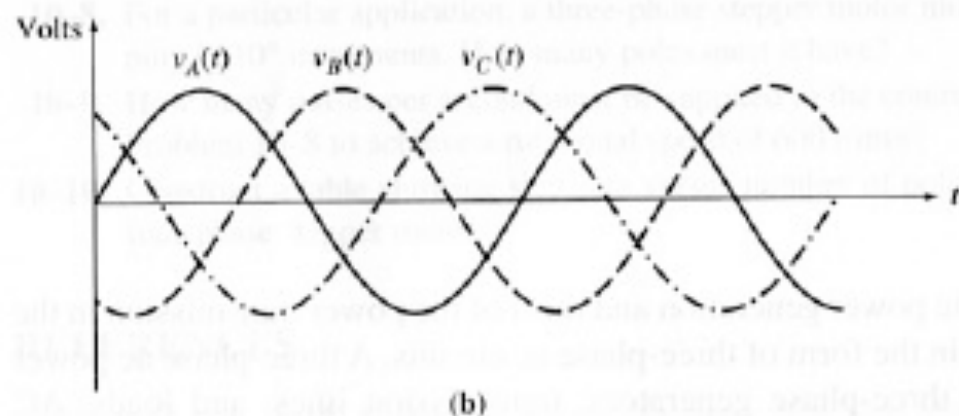
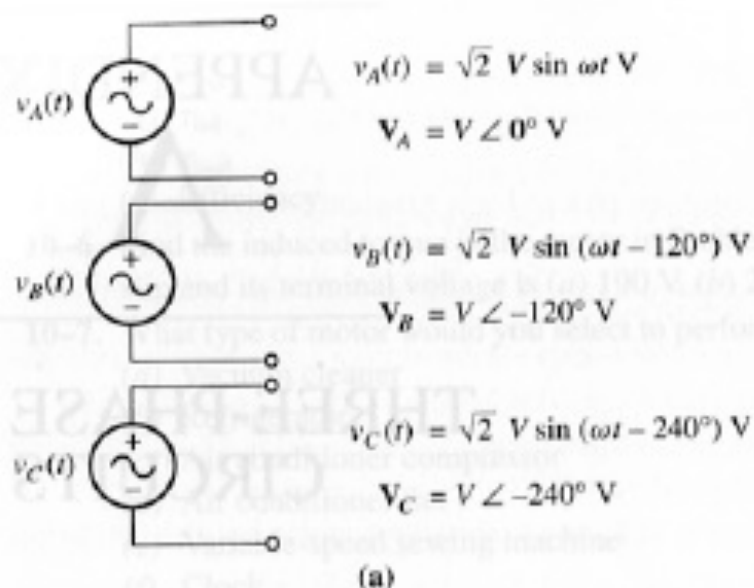
交流同步機—電路圖



$$V_{\phi} = E_A + jX_s I_A + R_A I_A \text{ motor}$$

$$E_A = V_{\phi} + jX_s I_A + R_A I_A \text{ generator}$$

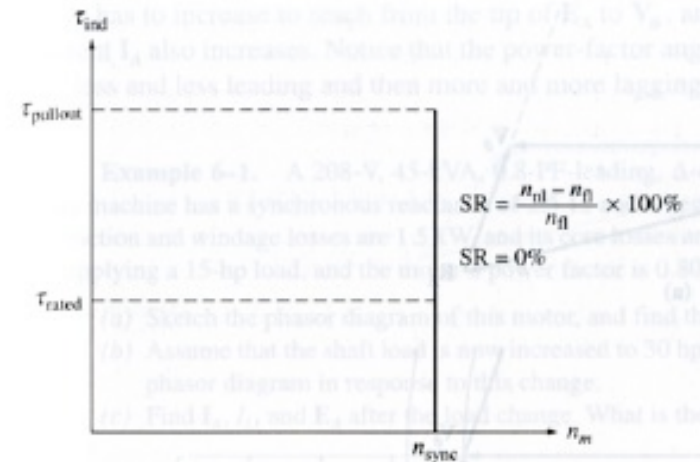
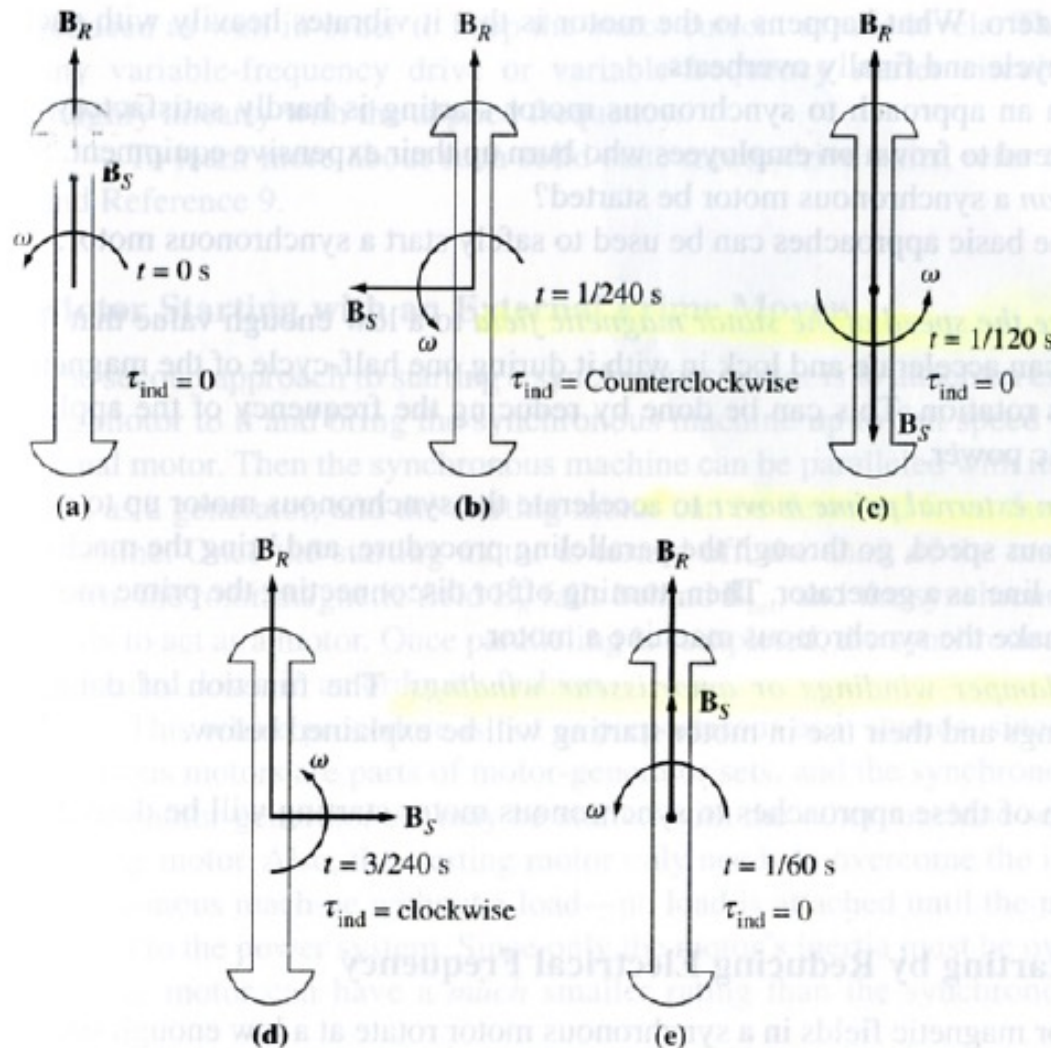
交流同步機操作



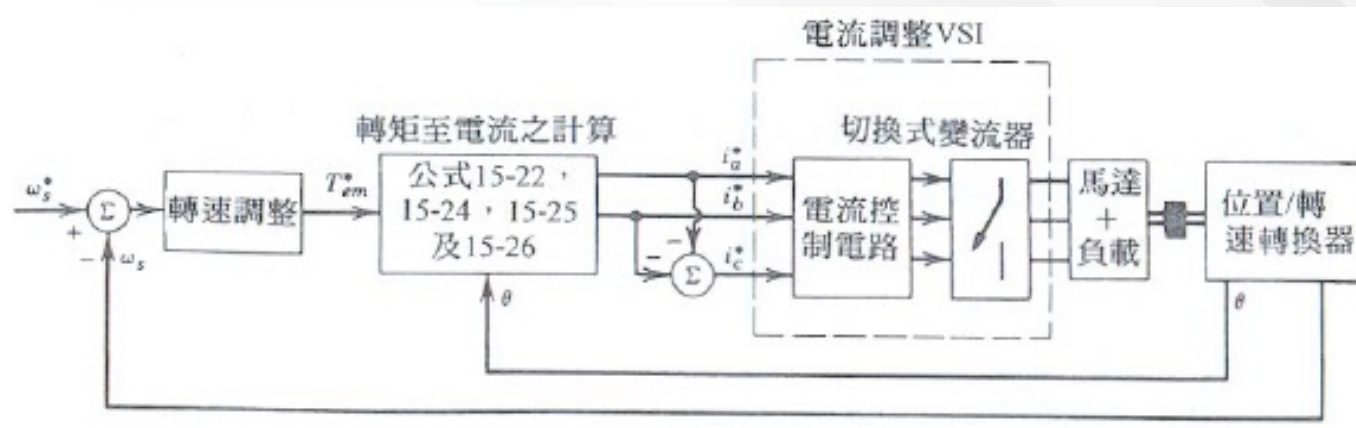
$$\begin{aligned}
 i_{aa'}(t) &= I_M \sin \omega t \quad \text{A} \\
 i_{bb'}(t) &= I_M \sin (\omega t - 120^\circ) \\
 i_{cc'}(t) &= I_M \sin (\omega t - 240^\circ)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B_{aa'}(t) &= B_M \sin \omega t \angle 0^\circ \quad \text{T} \\
 B_{bb'}(t) &= B_M \sin (\omega t - 120^\circ) \angle 120^\circ \\
 B_{cc'}(t) &= B_M \sin (\omega t - 240^\circ) \angle 240^\circ
 \end{aligned}$$

交流同步馬達操作—啟動



交流同步機—控制方塊圖

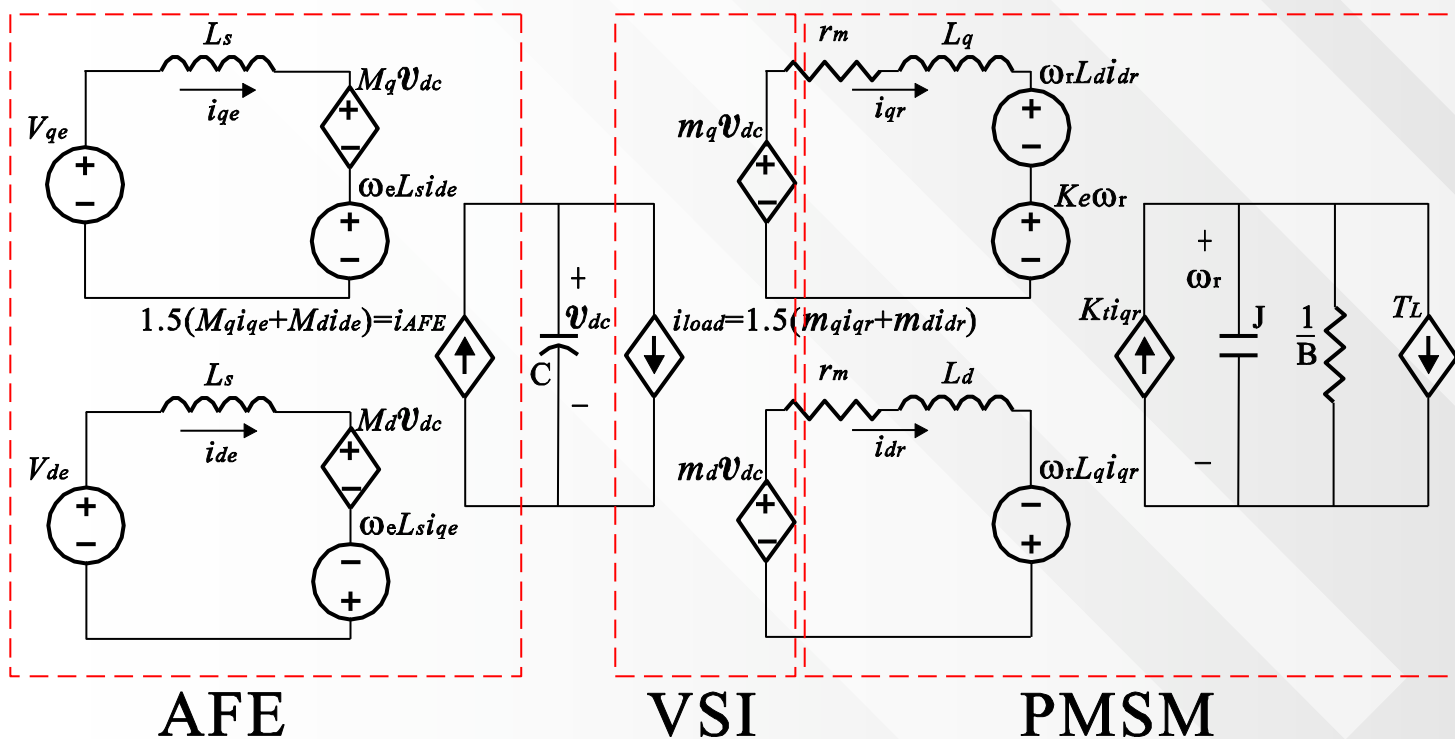


$$V_{qr} = m_q v_{dc} = r_m i_{qr} + L_q \frac{di_{qr}}{dt} + \omega_r L_d i_{dr} + K_e \omega_r$$

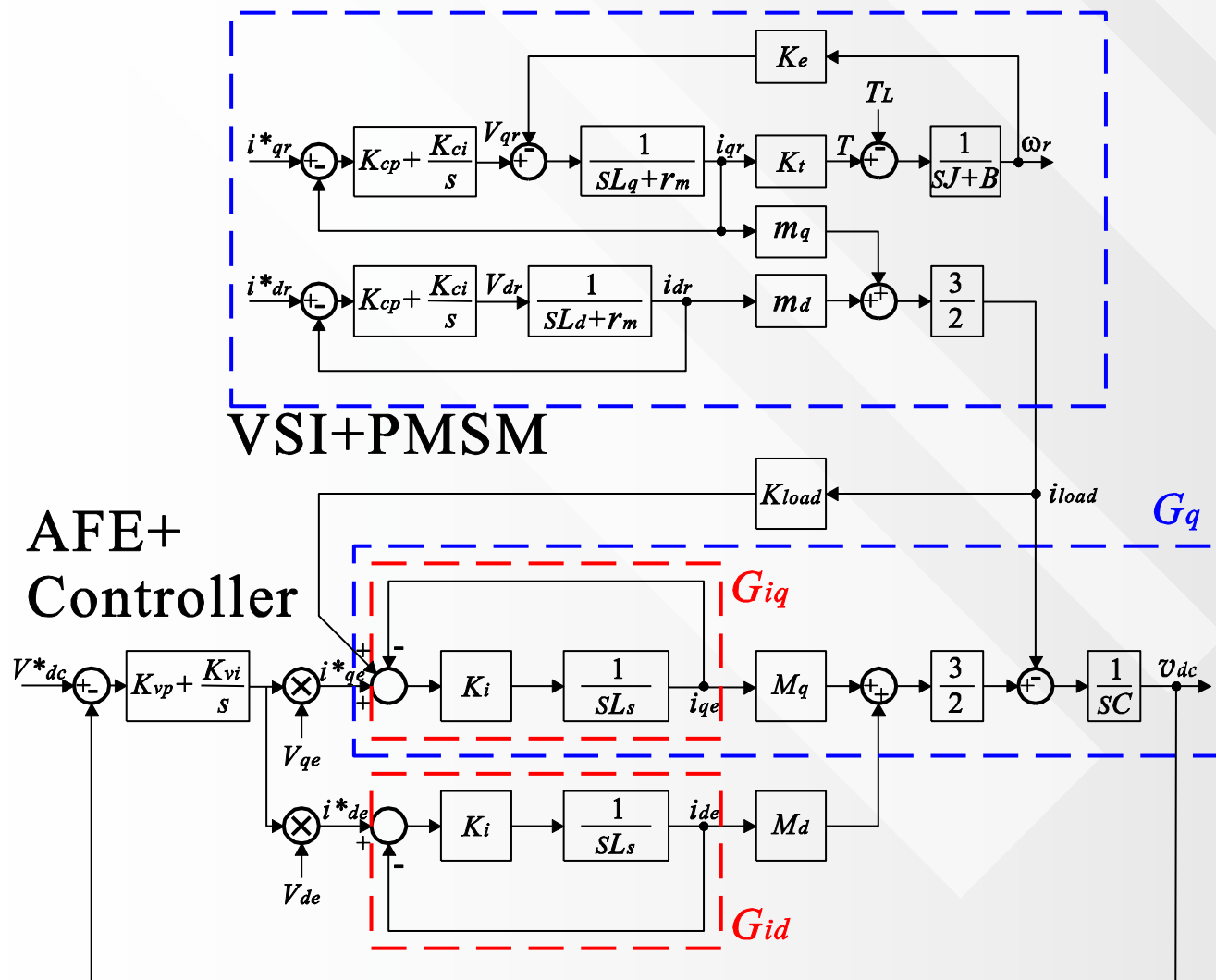
$$V_{dr} = m_d v_{dc} = r_m i_{dr} + L_d \frac{di_{dr}}{dt} - \omega_r L_q i_{qr}$$

$$T = K_t i_{qr} = T_L + J \frac{d\omega_r}{dt} + B \omega_r$$

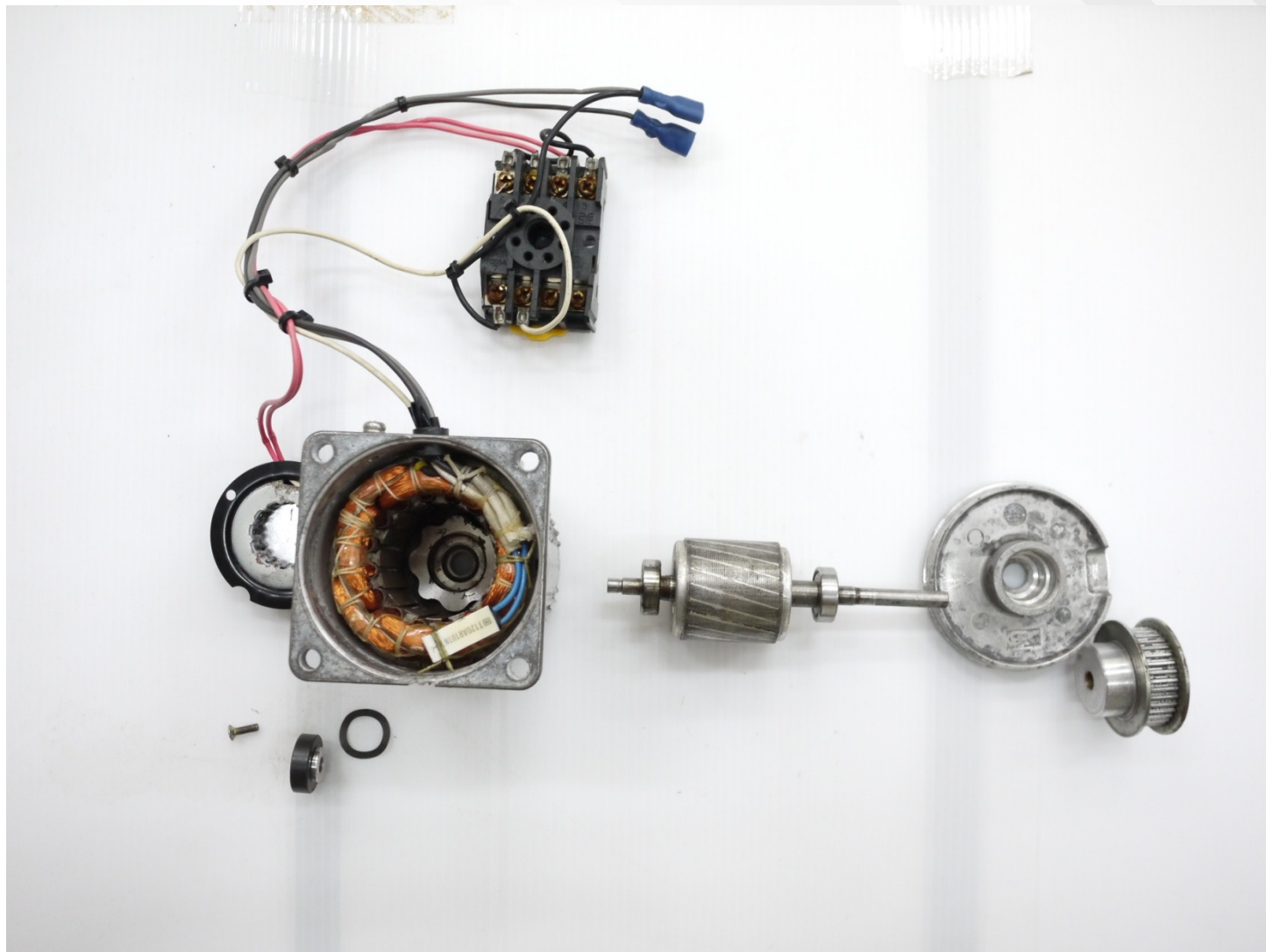
交流同步機—同步座標等效電路



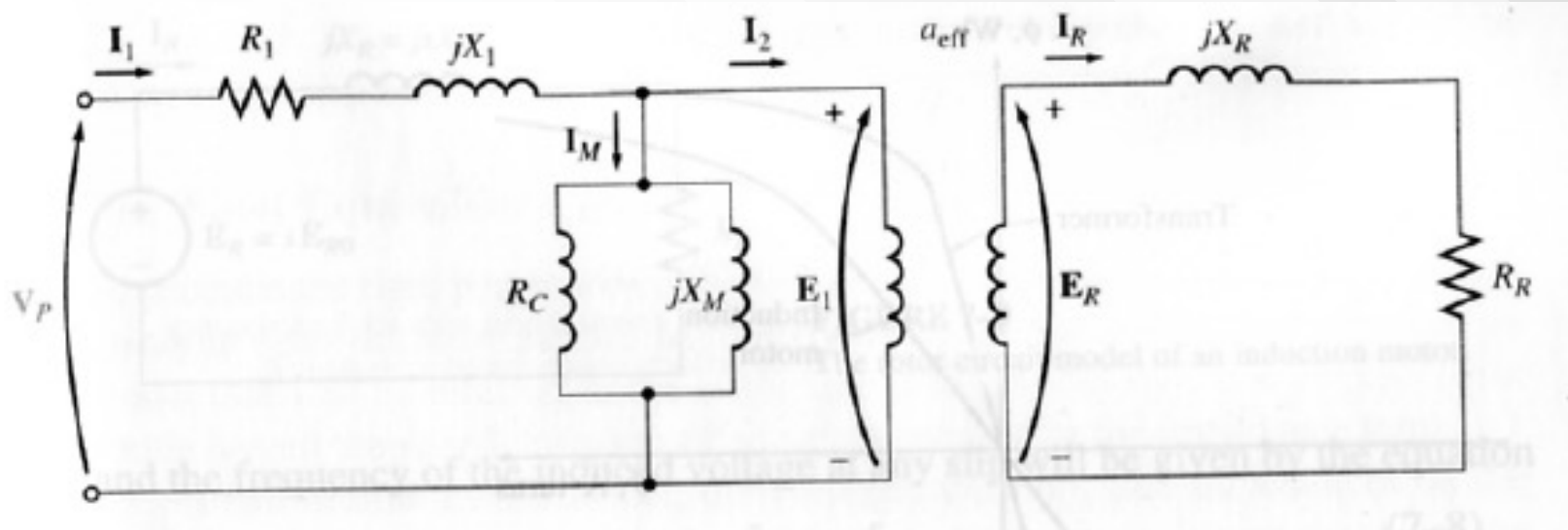
交流同步機—同步座標方塊圖



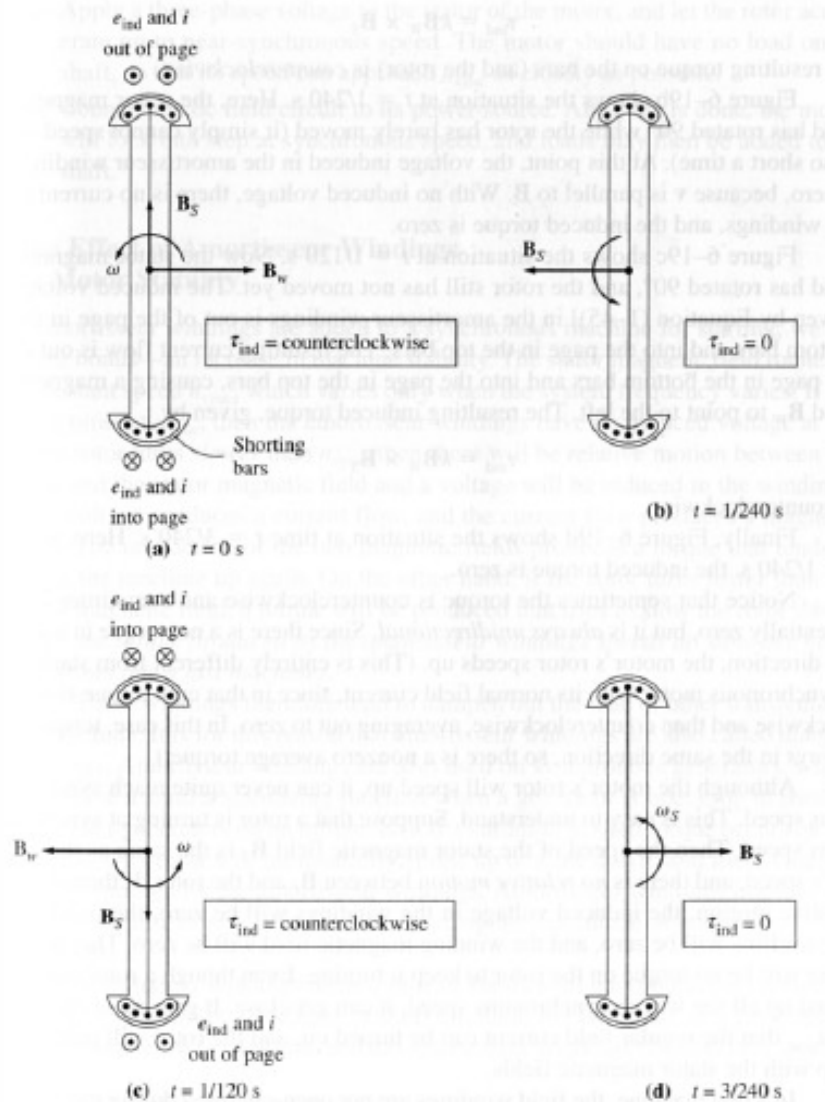
交流感應機—結構圖



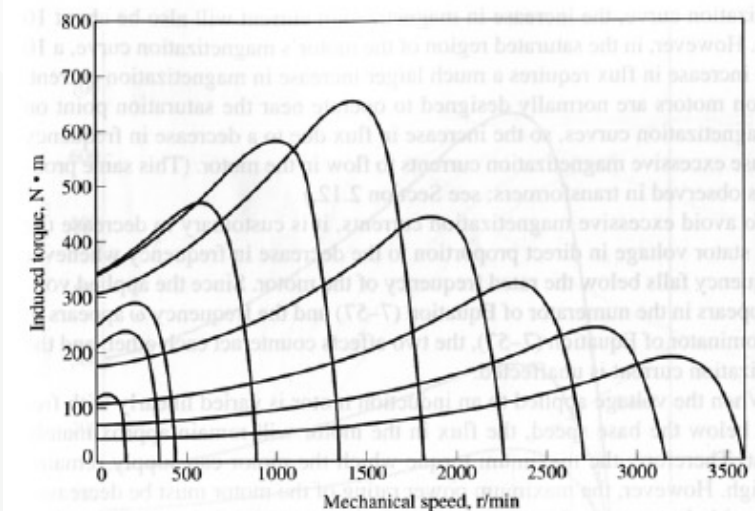
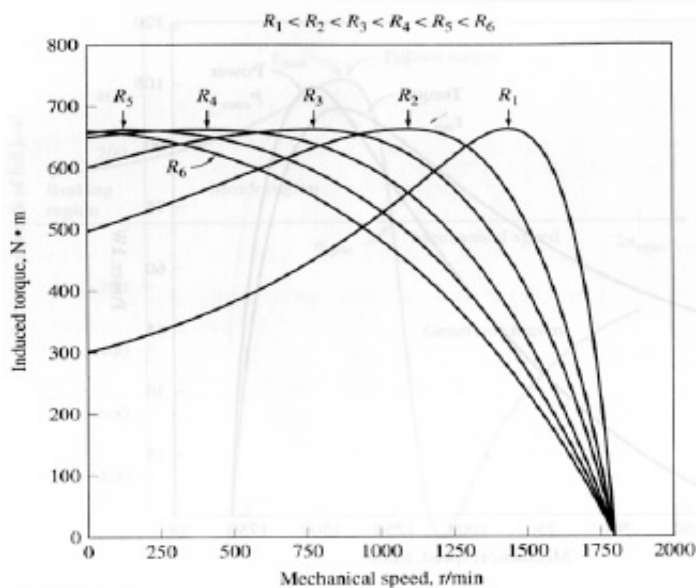
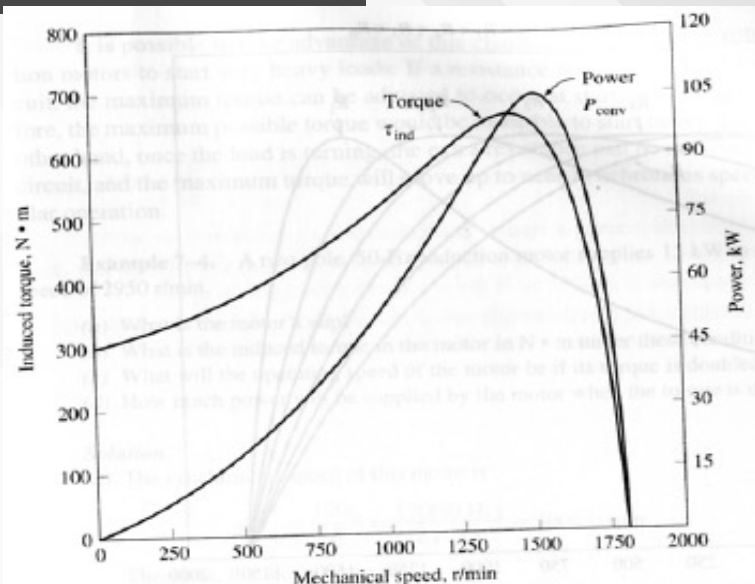
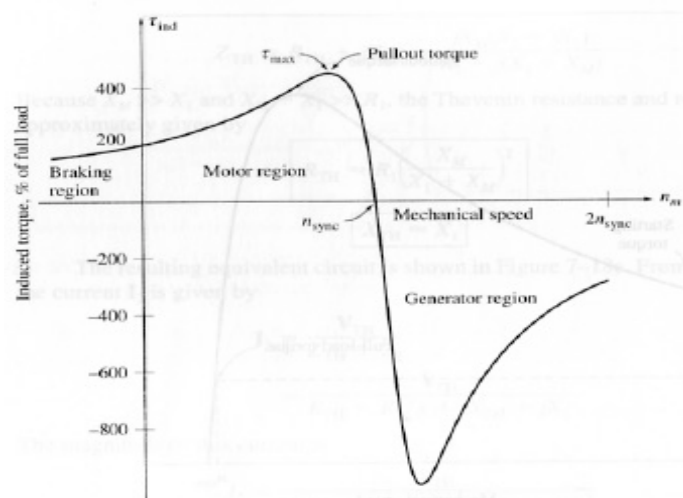
交流感應機—電路圖



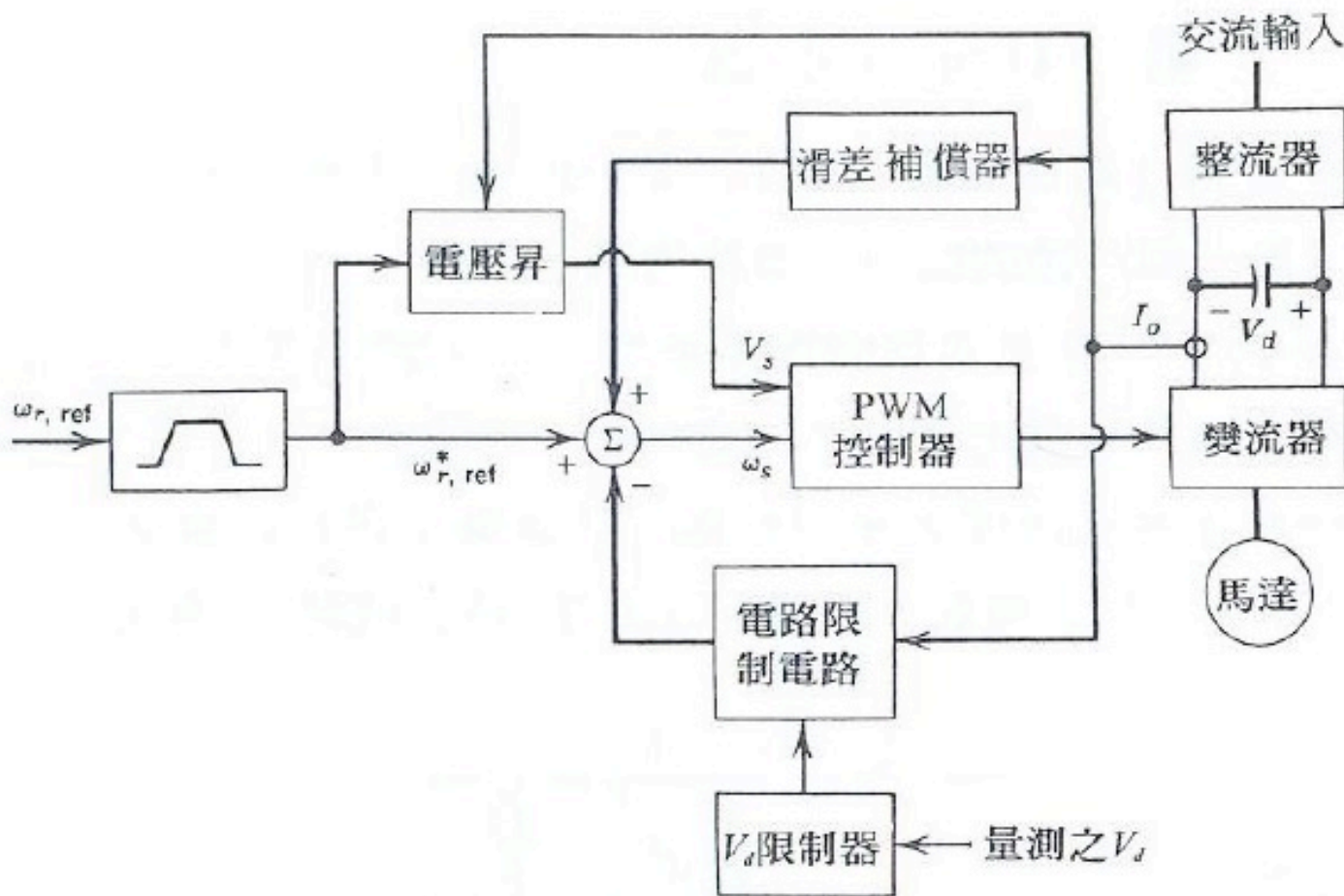
交流感應機操作—啟動



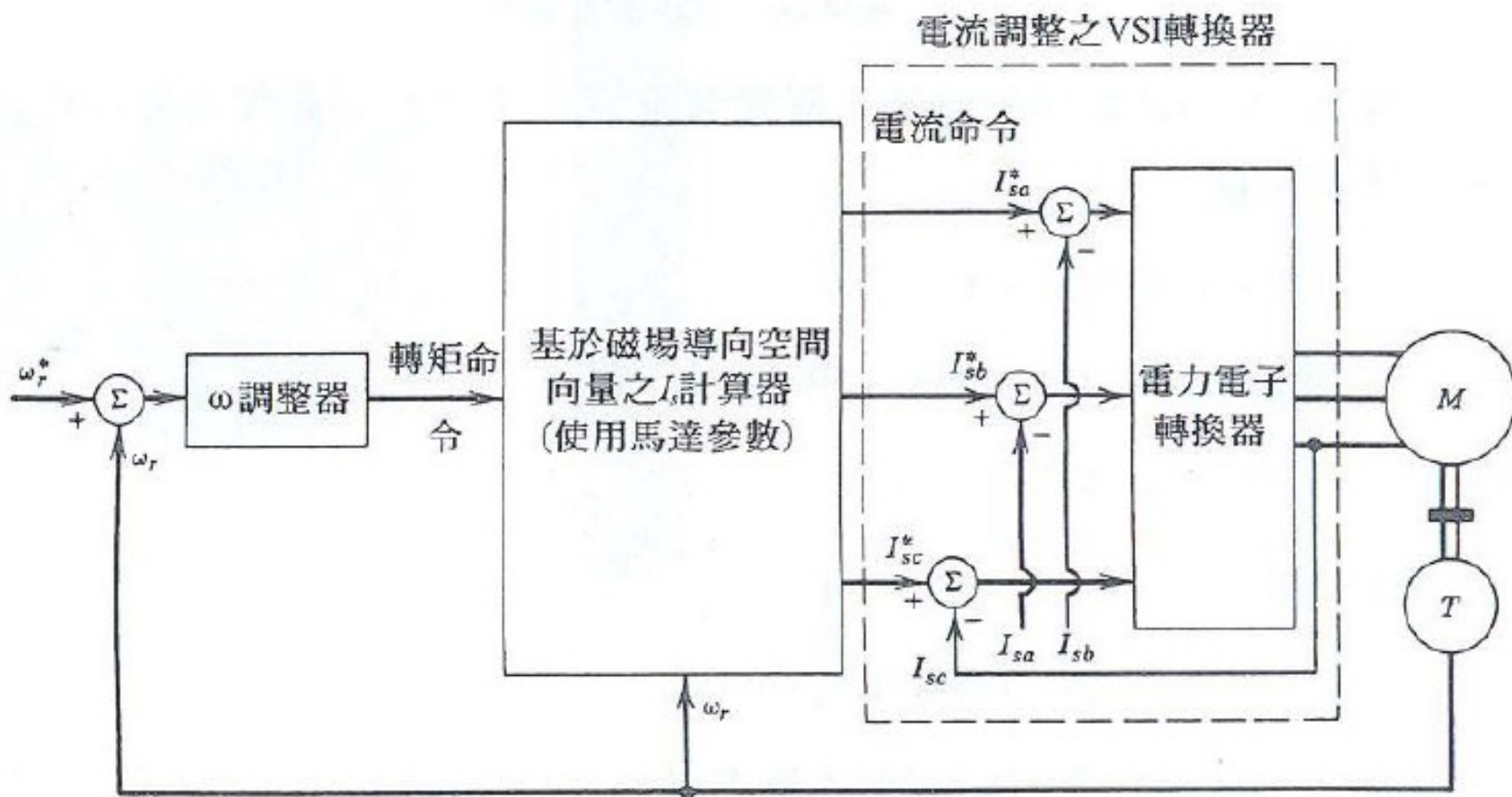
交流感應機特性



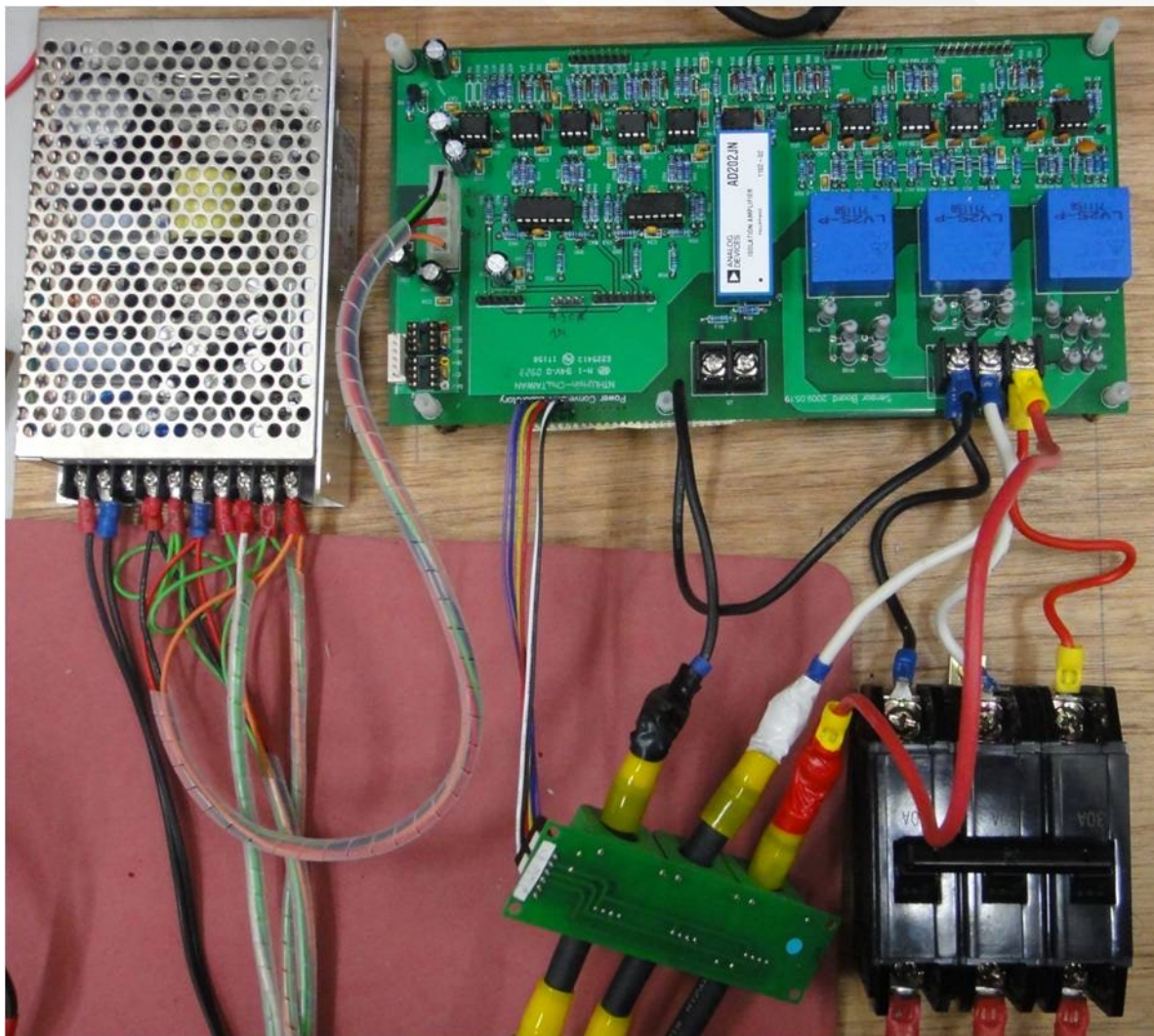
交流感應機—控制方塊圖1



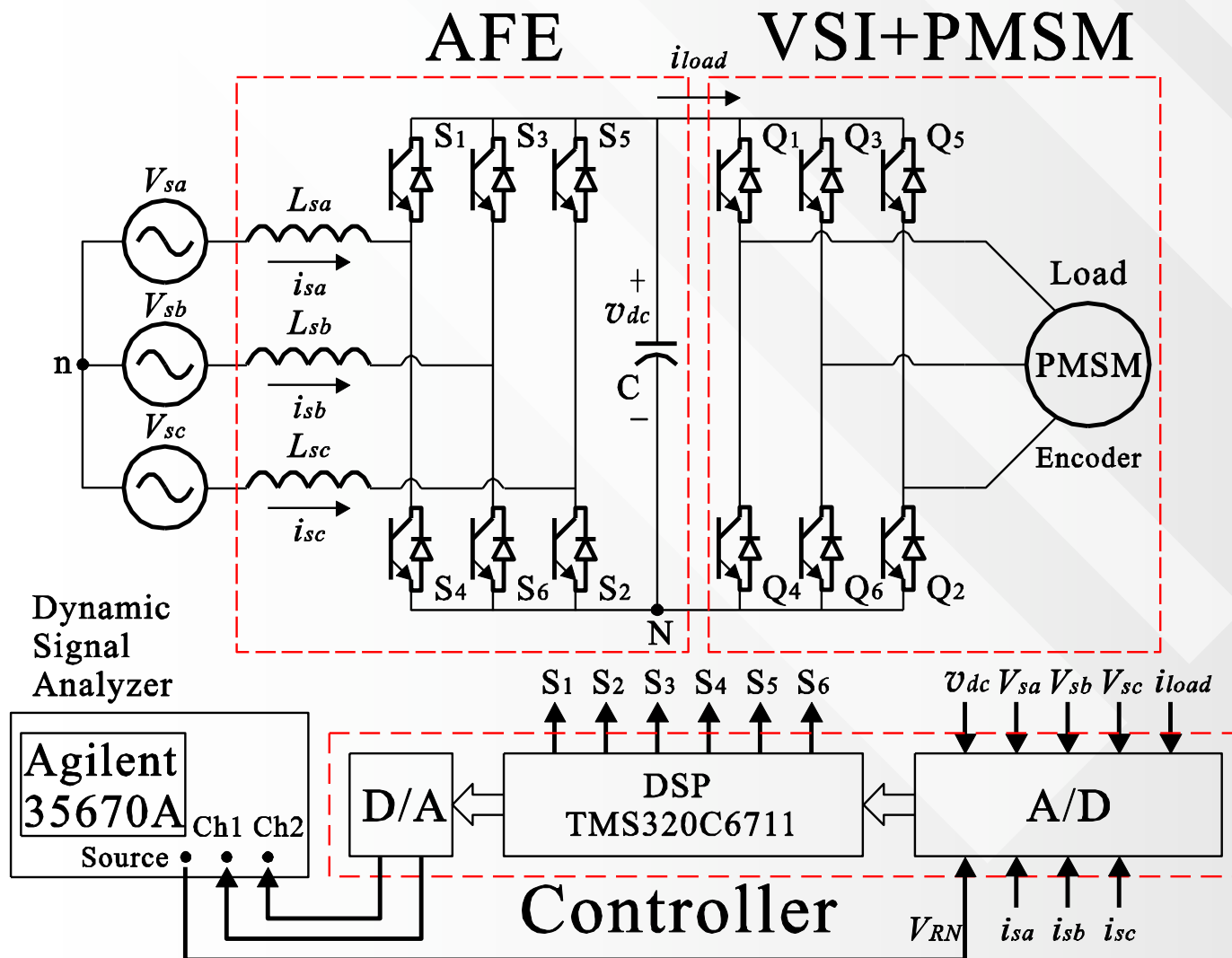
交流感應機—控制方塊圖2



交流感測器



AC-DC-AC



直交流轉換器

