CONTROL VECTORIAL DE ACCIONAMIENTOS DE ALTERNA

Curso 2006/07

Mayo-2007

INDICE

- Introducción
- Vectores espaciales
- Transformación de coordenadas
- Modelo dinámico en coordenadas d-q
- Modelo dinámico del motor de inducción en coordenadas de campo orientado
- Control vectorial del motor asíncrono

Introducción

- Aplicaciones a velocidad variable
  - Motores de corriente continua
    - Fácil control
    - Mantenimiento caro
  - Motores de corriente alterna
    - Difícil control
    - Mantenimiento nulo

Introducción

- Motores de corriente continua
  - Aplicaciones a velocidad variable
  - Par proporcional a dos corrientes
- Motores de corriente alterna
  - Aplicaciones a velocidad constante

Introducción

- Objetivo del modelado dinámico

  Expresar el par desarrollado como producto de dos corrientes desacopladas

Concepto de vector espacial

- Dado un sistema trifásico de tensiones

  u_{s1}, u_{s2}, u_{s3}

  Se define el vector espacial de tensiones de estator como:

$$\vec{\boldsymbol{u}}_s = u_{s1} + u_{s2} e^{j\gamma} + u_{s3} e^{2j\gamma}$$

Siendo

$\gamma = 2\pi/3$

Concepto de vector espacial

Desarrollando

$$e^{j\gamma} = \cos(\gamma) + jsen(\gamma) = -0.5 + j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$e^{2j\gamma} = \cos(2\gamma) + jsen(2\gamma) = -0.5 - j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

Concepto de vector espacial

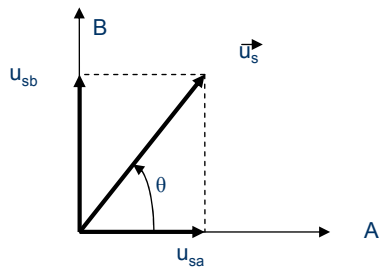
$$\vec{\boldsymbol{u}}_s = (u_{s1} - 0.5u_{s2} - 0.5u_{s3}) + j\frac{\sqrt{3}}{2}(u_{s2} - u_{s3})$$

$$u_{s1} + u_{s2} + u_{s3} = 0$$

$$\boxed{\vec{\boldsymbol{u}}_s = \frac{3}{2}u_{s1} + j\frac{\sqrt{3}}{2}(u_{s2} - u_{s3})}$$

Transformación de coordenadas

- Transformación en un sistema A-B fijo al estator



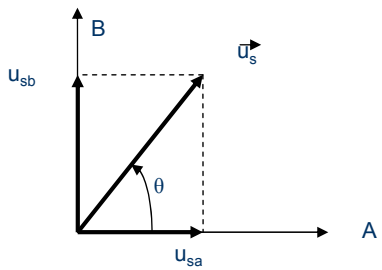
Transformación de coordenadas

Proyectando sobre los ejes A-B

$$\vec{\boldsymbol{u}}_s = u_{sa} + ju_{sb} = \left|\vec{\boldsymbol{u}}_s\right| e^{j\theta}$$

$$u_{sa} = \frac{3}{2} u_{s1}$$

$$u_{sb} = \frac{\sqrt{3}}{2}(u_{s2} - u_{s3})$$



Transformación de coordenadas

Transformación inversa

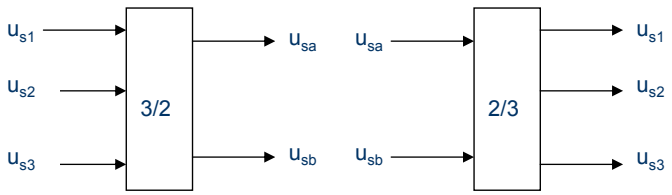
$$u_{s1} = \frac{2}{3} u_{sa}$$

$$u_{s2} = -\frac{1}{3} u_{sa} + \frac{1}{\sqrt{3}} u_{sb}$$

$$u_{s2} = -\frac{1}{3} u_{sa} - \frac{1}{\sqrt{3}} u_{sb}$$

Transformación de coordenadas

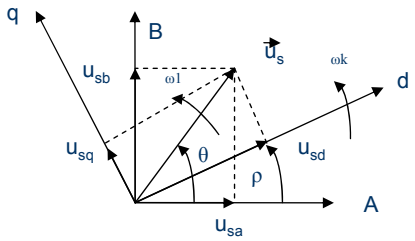
Representación en diagrama de bloques



Transformación de coordenadas

- Transformación en un sistema d-q

  Sistemas de referencia

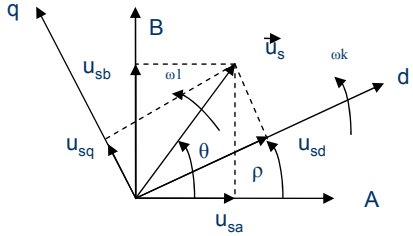


Transformación de coordenadas

$$\vec{u}_s = u_{sa} + ju_{sb} = |\vec{u}_s| e^{j\theta}$$

$$\vec{u}_{sk} = u_{sd} + ju_{sq} = |\vec{u}_s| e^{j(\theta-\rho)}$$

$$\vec{u}_{sk} = |\vec{u}_s| e^{j\theta} e^{-j\rho} = \vec{u}_s e^{-j\rho}$$



Transformación de coordenadas

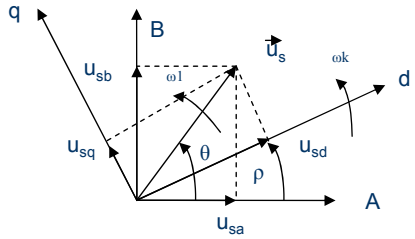
Proyecciones:

$$u_{sa} = |\vec{u}_s| \cos(\theta)$$

$$u_{sb} = |\vec{u}_s| sen(\theta)$$

$$u_{sd} = |\vec{u}_s| \cos(\theta - \rho)$$

$$u_{sq} = |\vec{u}_s| sen(\theta - \rho)$$



Transformación de coordenadas

Desarrollando las 2 últimas expresiones:

$$u_{sd} = |\vec{u}_s| \cos(\theta)\cos(\rho) + |\vec{u}_s| sen(\theta) sen(\rho)$$

$$u_{sq} = |\vec{u}_s| sen(\theta)\cos(\rho) - |\vec{u}_s| \cos(\theta) sen(\rho)$$

$$u_{sd} = u_{sa}\cos(\rho) + u_{sb} sen(\rho)$$

$$u_{sq} = -u_{sa} sen(\rho) + u_{sb}\cos(\rho)$$

Transformación de coordenadas

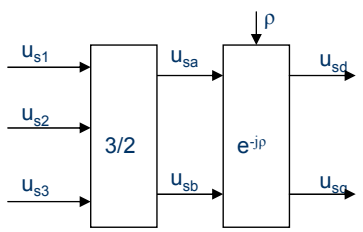
En forma matricial:

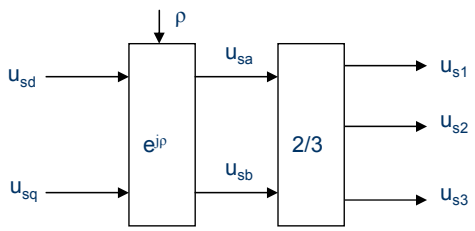
$$\begin{vmatrix} u_{sd} \\ u_{sq} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos(\rho) & sen(\rho) \\ -sen(\rho) & \cos(\rho) \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} u_{sa} \\ u_{sb} \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} u_{sa} \\ u_{sb} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos(\rho) & -sen(\rho) \\ sen(\rho) & \cos(\rho) \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} u_{sd} \\ u_{sq} \end{vmatrix}$$

Transformación de coordenadas

Diagrama de bloques



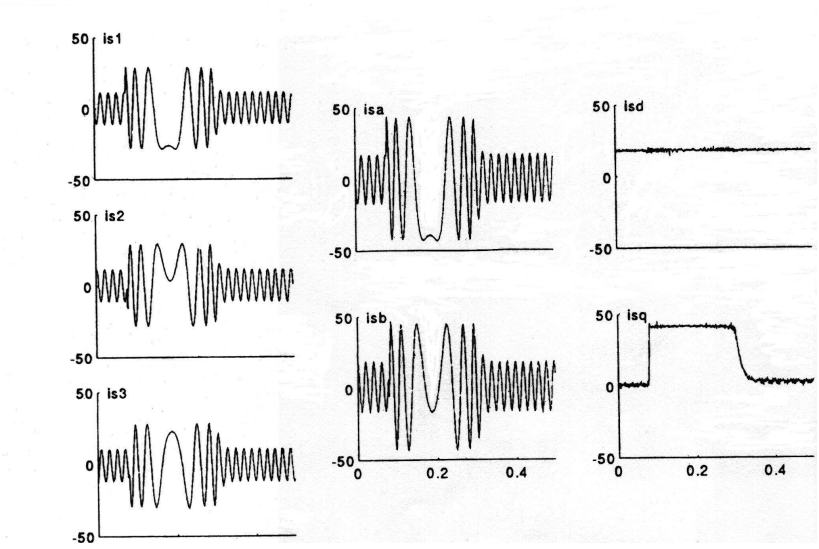


Características de las transformaciones

En régimen permanente:

- u_{s1}, u_{s2}, u_{s3} son senoidales
- u_{sa}, u_{sb} son senoidales
- u_{sd}, u_{sq} son constantes

Características de las transformaciones



Modelo dinámico en coordenadas d-q

Objetivo=Control desacoplado del par y flujo

- Control en coordenadas de flujo de estator
- Control en coordenadas de flujo de rotor (Campo orientado)
- Control en coordenadas de flujo en entrehierro

Modelo dinámico en coordenadas d-q

Modelo dinámico de Park

$$u_{sd} = R_s i_{sd} + L_s D i_{sd} + L_m D i_{rd} - L_s \omega_k i_{sq} - L_m \omega_k i_{rq}$$

$$u_{sq} = R_s i_{sq} + L_s D i_{sq} + L_m D i_{rq} + L_s \omega_k i_{sd} + L_m \omega_k i_{rd}$$

$$u_{rd} = R_r i_{rd} + L_m D i_{sd} + L_r D i_{rd} - L_m (\omega_k - \omega) i_{sq} - L_r (\omega_k - \omega) i_{rq}$$

$$u_{rq} = R_r i_{rq} + L_m D i_{sq} + L_r D i_{rq} + L_m (\omega_k - \omega) i_{sd} + L_r (\omega_k - \omega) i_{rd}$$

Modelo dinámico en coordenadas d-q

Modelo dinámico de Park

d/dt=D

$$\begin{vmatrix} u_{sd} \\ u_{sq} \\ u_{rd} \\ u_{rq} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} R_s + L_s D & -L_s\omega_k & L_m D & -L_m\omega_k \\ L_s\omega_k & R_s + L_s D & L_m\omega_k & L_m D \\ L_m D & -L_m(\omega_k - \omega) & R_r + L_r D & -L_r(\omega_k - \omega) \\ L_m(\omega_k - \omega) & L_m D & L_r(\omega_k - \omega) & R_r + L_r D \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \\ i_{rd} \\ i_{rq} \end{vmatrix}$$

Modelo dinámico en coordenadas d-q

- Los ejes d-q giran en sincronismo con el vector espacial de tensiones de estator
- Dependen de tensiones y corrientes de rotor
- Magnitudes de rotor no medibles
- No se puede utilizar en control

Modelo dinámico en campo orientado

- Eliminar del modelo de Park las corrientes de rotor
- Eje d apunte en la dirección del flujo máximo en el rotor y el eje q ortogonal a el.
- El vector espacial de flujo en el rotor solo tendrá componente real sobre el eje d
- Ejes d-q giran a ω_{mR} frecuencia de giro del campo magnético en el rotor

Modelo dinámico en campo orientado

- Ecuación del par desarrollado

$$m_e = \frac{2}{3} p L_m \operatorname{Im}\left[\vec{\boldsymbol{i}}_{sk} \vec{\boldsymbol{i}}_{rk}^{*}\right]$$

$$k = \frac{2}{3} \frac{L_m}{1+\sigma_r}$$

$$\boxed{m_e = p \cdot k \cdot i_{mR} \cdot i_{sq}}$$

Modelo dinámico en campo orientado

- Ecuaciones de corrientes y tensiones

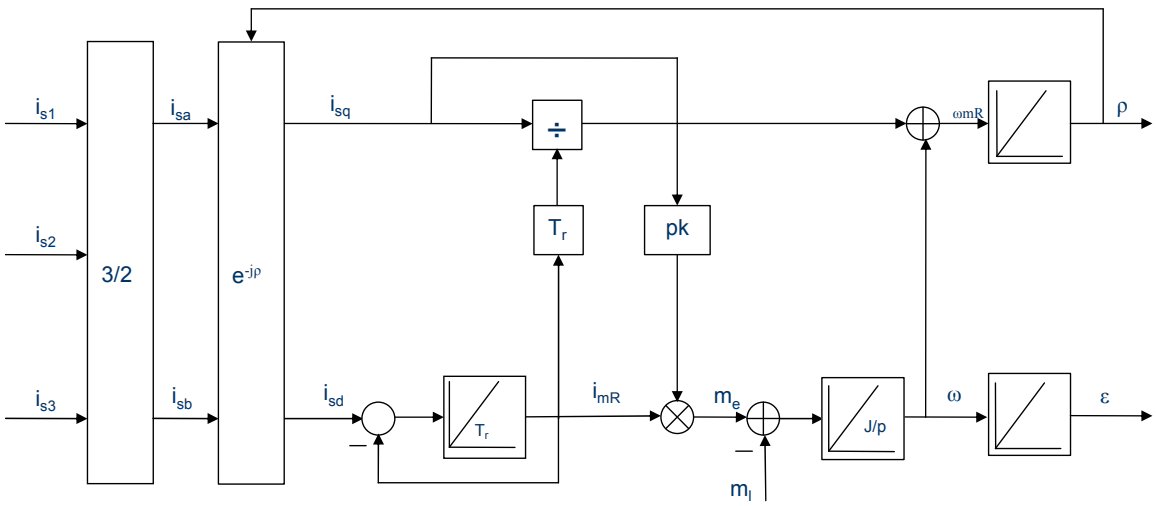
$$\sigma T_s \frac{di_{sd}}{dt} + i_{sd} = \frac{u_{sd}}{R_s} + T_s \sigma \omega_{mR} i_{sq} - (1-\sigma) T_s \frac{di_{mR}}{dt}$$

$$\sigma T_s \frac{di_{sq}}{dt} + i_{sq} = \frac{u_{sq}}{R_s} - T_s \sigma \omega_{mR} i_{sd} - T_s (1-\sigma) \omega_{mR} i_{mR}$$

$$i_{sd} = i_{mR} + T_r \frac{di_{mR}}{dt}$$

$$\frac{d\rho}{dt} = \omega_{mR} = \omega + \frac{i_{sq}}{T_r i_{mR}}$$

Modelo dinámico en campo orientado



Control vectorial del motor asíncrono

Ecuaciones de control

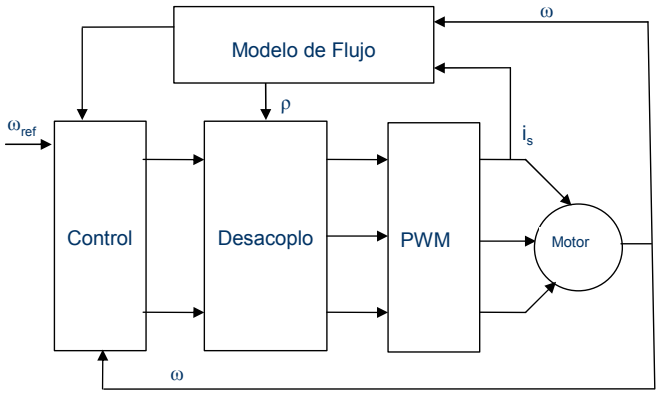
$$m_e = p \cdot k \cdot i_{mR} \cdot i_{sq}$$

$$\psi_{rd} = L_m i_{mR}$$

$$i_{sd} = i_{mR} + T_r \frac{di_{mR}}{dt}$$

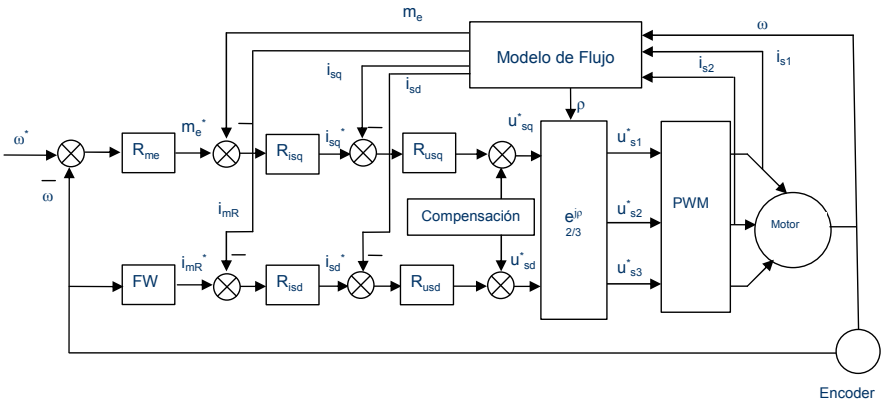
$$m_e - m_l = \frac{J}{p}\frac{d\omega}{dt}$$

Control vectorial del motor asíncrono



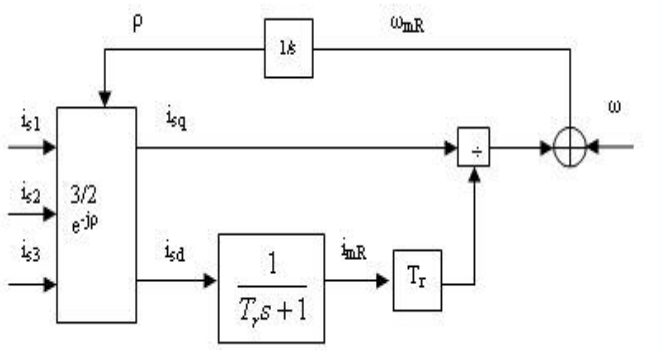
Control vectorial del motor asíncrono

- Control alimentando en tensión



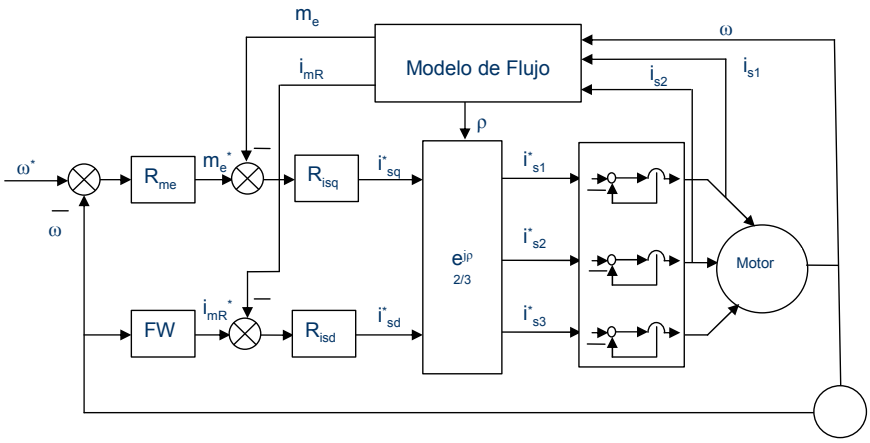
Control vectorial del motor asíncrono

Modelo de flujo



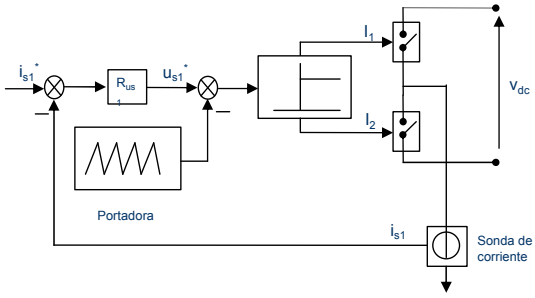
Control vectorial del motor asíncrono

Control alimentando en corriente



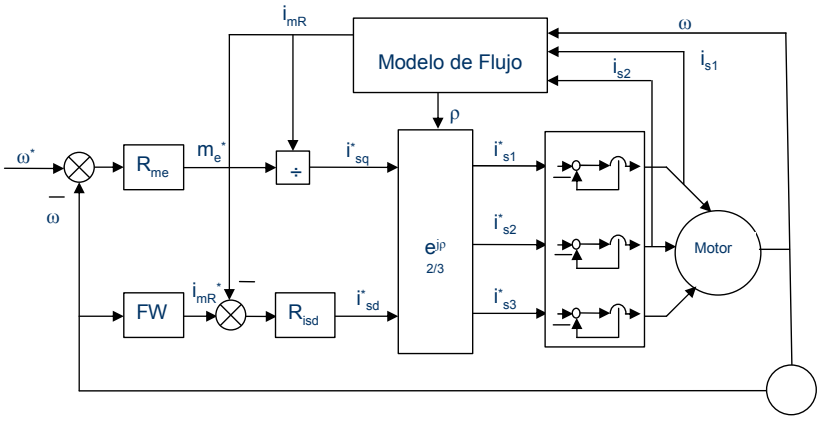
Control vectorial del motor asíncrono

- Lazo interno de corriente



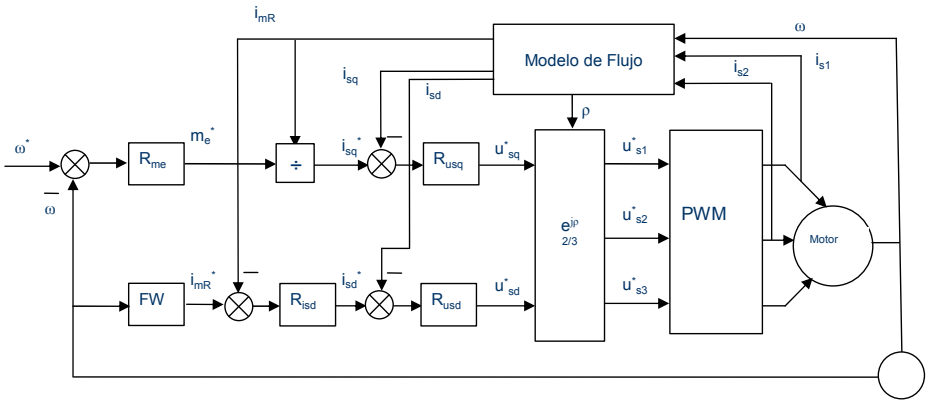
Control vectorial del motor asíncrono

Regulador estacionario



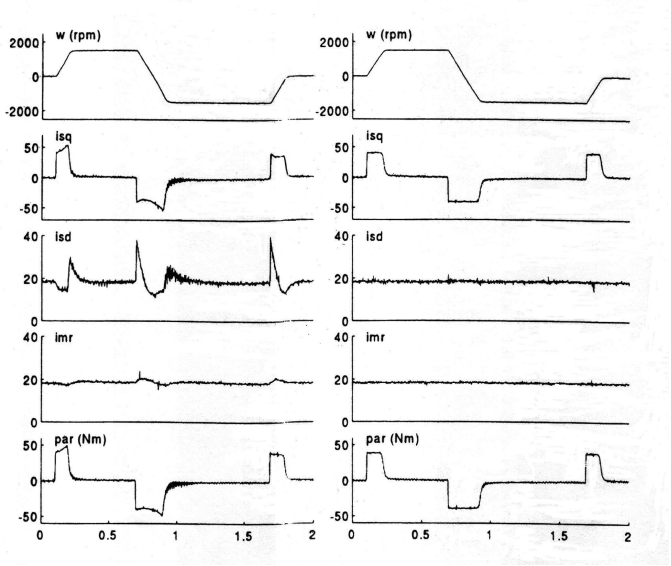
Control vectorial del motor asíncrono

Control con regulador síncrono

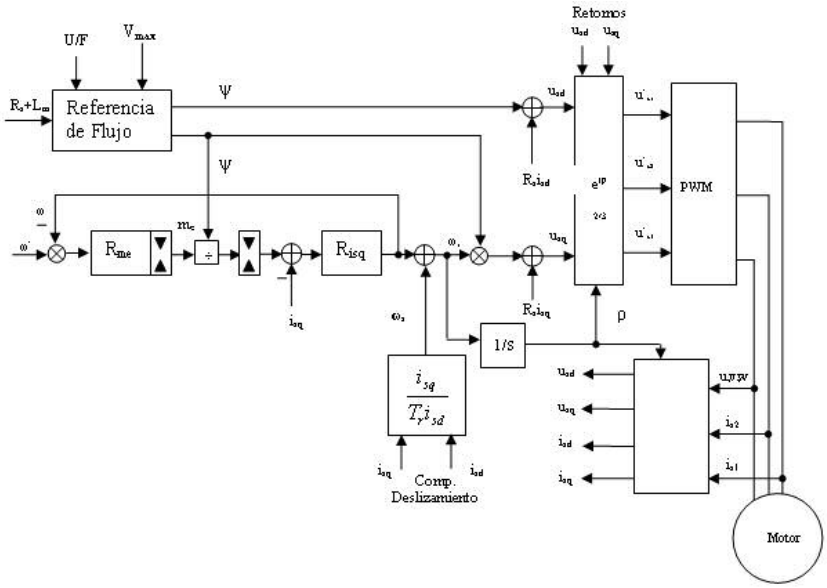
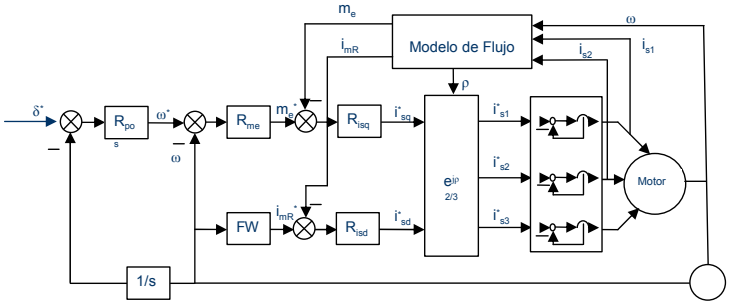


Control vectorial del motor asíncrono

Regulador estacionario-Regulador síncrono



Control vectorial del motor asíncrono



Control vectorial del motor asíncrono