



DEPARTAMENTO DE  
**INGENIERÍA  
ELÉCTRICA**  
UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE

Ingeniería Civil en Electricidad  
Magíster en Ciencias de la Ingeniería,  
Mención Ingeniería Eléctrica

# Primera Guía

## Preguntas Propuestas

### Curso Dinámica de Máquinas Eléctricas

*Matías Díaz*  
*Profesor de la asignatura*

1. Empleando ejes de referencia y algo de trigonometría, demuestre que las ecuaciones de las transformadas de Clarke y Park son:

$$\begin{bmatrix} \psi_\alpha \\ \psi_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & \sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \psi_a \\ \psi_b \\ \psi_c \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \psi_d \\ \psi_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_e) & \sin(\theta_e) \\ -\sin(\theta_e) & \cos(\theta_e) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \psi_\alpha \\ \psi_\beta \end{bmatrix}$$

2. Considerando un convertidor fuente de tensión de dos niveles, mencione las características principales de su operación como rectificador e inversor. Mencione y explique técnicamente las limitaciones.
3. Para el control vectorial de un convertidor fuente de tensión de dos niveles, demuestre matemáticamente como obtener las compensaciones de los lazos de corriente dq y tensión del DC-Link.
4. Para el control vectorial de una máquina de inducción jaula ardilla, demuestre matemáticamente como obtener las compensaciones de los lazos de corriente dq y velocidad.
5. Se tiene una máquina de inducción jaula de ardilla, dos pares de polos, corriente nominal 12A, con los siguientes parámetros:

$$R_s = 0.57\Omega \quad R_r = 0.733\Omega \quad \sigma = 0.06022$$

$$L_r = 0.1385H \quad L_s = 0.1385H \quad L_0 = 0.1353H$$

- a. Diseñe los sistemas de control necesarios para los lazos de corriente d y q. Estos lazos deben tener una frecuencia natural de al menos 60Hz y coeficiente de amortiguamiento  $\zeta=0.8$ .
- b. Dibuje un diagrama de bloques en que incluya todas las compensaciones necesarias a la salida de los controladores de corriente
- c. En el sistema de control anterior, se debe incluir un lazo que regule la corriente magnetizante para un generador de inducción. Para esto se debe utilizar una estructura de control anidada con un lazo externo que regula la corriente  $i_m$  y un lazo interno que regula la corriente  $i_d$ . Diseñe los lazos de control necesarios para obtener 3Hz de frecuencia natural en la corriente  $i_m$  y 60Hz de frecuencia natural en el lazo de control de la corriente  $i_d$ . Para ambos utilice un coeficiente de amortiguamiento de 0.707. ¿Como se puede calcular o medir la corriente  $i_m$  para cerrar el lazo de control?.

6. Una máquina con los parámetros de 5), se utiliza con una corriente  $i_m$  de 4.5A. La máquina se alimenta desde un inversor PWM tipo fuente de voltaje, con una tensión en el dc link de 600V.
  - a. Cuál es la máxima velocidad a la que se puede operar con corriente magnetizante nominal de 4.5A.
  - b. Cuál es el máximo torque que se puede obtener, a esa velocidad, considerando corriente nominal en la máquina.
  - c. ¿Cuál es la máxima corriente magnetizante que se puede utilizar a 1900rpm, considerando el margen de voltaje suficiente para regular la máxima corriente de torque posible?.
  
7. Compare el control vectorial directo e indirecto de máquinas de inducción jaula de ardilla, señalando las ventajas y desventajas de cada uno de estos métodos de control.
  
8. Se tiene la máquina de inducción del ejemplo 5), operando a 1000rpm, con corriente magnetizante nominal. La máquina está operando con control vectorial indirecto.
  - a. Encuentre la velocidad sincrónica, el deslizamiento y la corriente en cuadratura cuando la máquina opera con un 85% del torque nominal, condición motor.
  - b. La máquina se encuentra perfectamente orientada, en las condiciones de operación descritas. Debido al uso continuo, la jaula del rotor aumenta su temperatura y la resistencia del rotor se incrementa al doble del valor inicial. Encuentre las corrientes d y q verdaderas de la máquina. Cuál es el valor del torque de operación?, ¿ con que deslizamiento se encuentra operando la máquina?. ¿Cuál es deslizamiento a que debería operar si estuviera el sistema de control correctamente orientado?. Existe el riesgo de saturar la máquina?.
  
9. ¿Cuáles son las desventajas de utilizar control vectorial indirecto cuando se opera una máquina de inducción, con diseño comercial, a flujo debilitado?
  
10. Si las ecuaciones de la máquina orientada en el flujo del estator son:

$$V_d = (R_s + \sigma L_s p)i_d - \omega_e \sigma L_s i_q$$

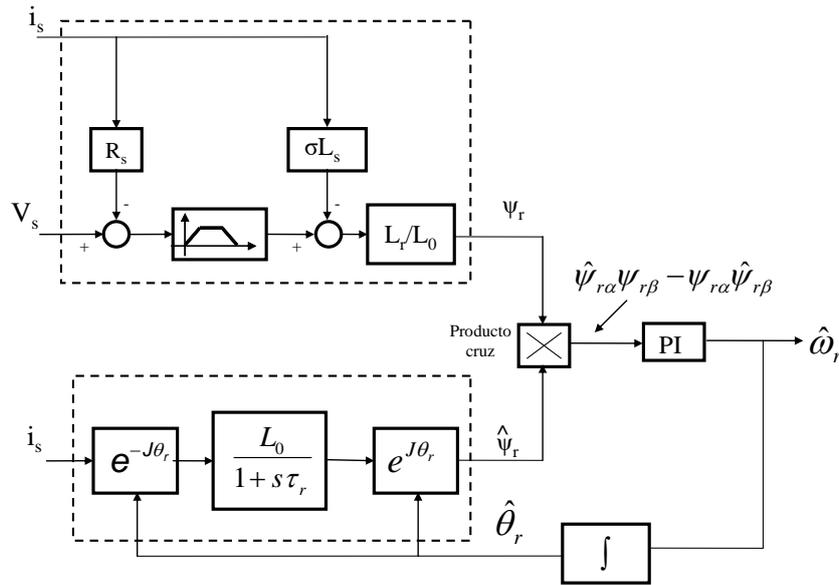
$$V_q = \omega_e \sigma L_s i_d + (R_s + \sigma L_s p)i_q + \omega_e \frac{L_o}{L_r} \psi_{rd}$$

La potencia de entrada de la máquina es el producto punto entre el vector voltaje de estator y el vector corriente de estator. Demuestre que la potencia de entrada es:

$$P_{in} = k \left[ R_s(i_d^2 + i_q^2) + \left(\frac{L_o}{L_r}\right)^2 R_r i_q^2 + \omega_r \frac{L_o^2 i_d}{L_r} + \frac{1}{2} \sigma L_s \left(\frac{di_q^2}{dt} + \frac{di_d^2}{dt}\right) \right]$$

Donde  $k$  es una constante que depende del tipo de transformadas  $\alpha$ - $\beta$  y d-q que esté utilizando. Si la máquina se encuentra en estado estacionario identifique las pérdidas y el término que refleja transferencia de potencia al eje de la máquina.

11. La figura muestra un sistema utilizado para medir la velocidad conocido como “MRAS observer” (Model Referente Adaptive System). Explique como en estado estacionario, asumiendo correcta estimación de los parámetros, la salida del estimador es la velocidad rotacional de la máquina jaula de ardilla.



12. Se tiene un convertidor de frente activo conectado a la red con los siguientes parámetros:

$$L_g=20 \text{ [mH]} ; R_g= 0.5 \text{ [\Omega]}$$

- De las ecuaciones en eje d-q del conversor Front-End, deduzca y explique el esquema de control vectorial. Explique qué suceda al considerar o no las compensaciones
- Si el convertidor opera como inversor y su lazo DC es alimentado por un rectificador trifásico, proponga un método de control que proteja el condensador en caso de sobretensiones originadas por flujo inverso de potencia. Calcule el valor de resistencia “R” que debe conectarse en paralelo al condensador para disipar potencia.