

PRÁCTICA 2

MODELO DINÁMICO DEL GENERADOR ASÍNCRONO EN RÉGIMEN TRANSITORIO.

1. OBJETIVO DE LA PRÁCTICA

El objetivo de esta práctica es simular y analizar un modelo en el sistema de referencia estacionario de una máquina asíncrona o de inducción simétrica trifásica con P polos, realizado en Simulink. Se utilizarán las simulaciones para determinar las características de frenado, generación o motor de la máquina de inducción.

2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO.

El fichero m1.m utiliza los parámetros especificados en el fichero p1.m de un motor trifásico de inducción de 200 V, 4 polos, 60Hz y 1 hp. La simulación se efectuará satisfactoriamente con el tamaño de paso mínimo de $2e^{-4}$, un paso máximo de $1e^{-2}$ y una tolerancia de $1e^{-7}$ utilizando el método numérico “ode15s o Adams/Gear”.

Las entradas al modelo son las tensiones de los arrollamientos del estátor y del rotor para las conexiones dadas del neutro.

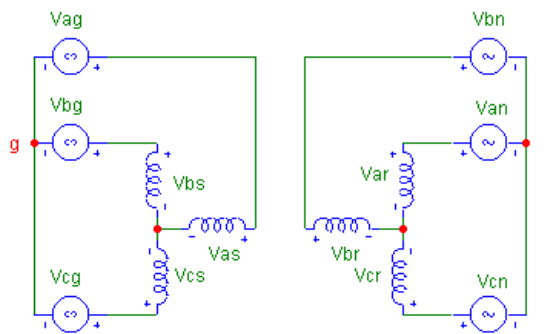


Figura 1. Conexiones del estátor y del rotor

Los voltajes de fase del estator son:

$$v_{as} = v_{ag} - v_{sg}$$

$$v_{bs} = v_{bg} - v_{sg}$$

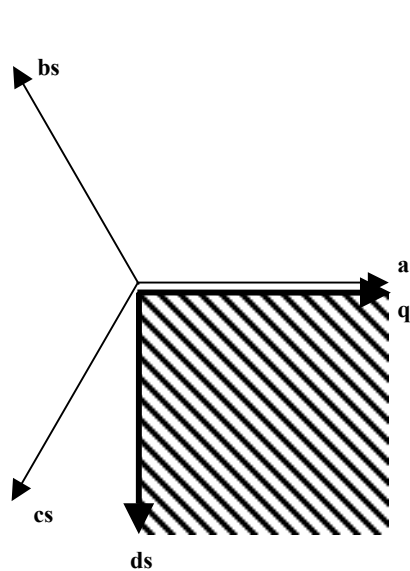
$$v_{cs} = v_{cg} - v_{sg}$$

El voltaje v_{sg} se calcula en la simulación a partir de las corrientes de fase:

$$v_{sg} = R_{sg}(i_{as} + i_{bs} + i_{cs}) + L_{sg} \frac{d}{dt}(i_{as} + i_{bs} + i_{cs}) = 3 \left(R_{sg} + L_{sg} \frac{d}{dt} \right) i_{os}$$

Siendo R_{sg} y L_{sg} la resistencia y la inductancia de la conexión entre los dos puntos neutrales s y g.

Transformación entre ejes abc y ejes qd0 estacionarios.



$$\begin{bmatrix} i_q^s \\ i_d^s \\ i_0^s \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}$$

$$T_{qd0}^s = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix}$$

Si se realiza la transformación de los voltajes de fase a los voltajes estacionarios qd0, considerando el eje q del sistema estacionario de referencia alineado con el eje de la fase a del estátor se obtienen las siguientes relaciones:

$$v_{qs}^s = \frac{2}{3} v_{as} - \frac{1}{3} v_{bs} - \frac{1}{3} v_{cs} = \frac{2}{3} v_{ag} - \frac{1}{3} v_{bg} - \frac{1}{3} v_{cg} - v_{sg}$$

$$v_{ds}^s = \frac{1}{\sqrt{3}} (v_{cs} - v_{bs}) = \frac{1}{\sqrt{3}} (v_{cg} - v_{bg})$$

$$v_{0s} = \frac{1}{3} (v_{as} + v_{bs} + v_{cs}) = \frac{1}{3} (v_{ag} + v_{bg} + v_{cg}) - v_{sg}$$

Las ecuaciones correspondientes a los voltajes del rotor son similares a los del estátor. La prima indica que los variables del rotor se encuentran referidas al estátor.

$$v_{qr}' = \frac{2}{3} v_{ar}' - \frac{1}{3} v_{br}' - \frac{1}{3} v_{cr}' = \frac{2}{3} v_{an}' - \frac{1}{3} v_{bn}' - \frac{1}{3} v_{cn}' - v_{rn}'$$

$$v_{dr}' = \frac{1}{\sqrt{3}} (v_{cr}' - v_{br}') = \frac{1}{\sqrt{3}} (v_{cn}' - v_{bn}')$$

$$v_{0r}' = \frac{1}{3} (v_{ar}' + v_{br}' + v_{cr}') = \frac{1}{3} (v_{an}' + v_{bn}' + v_{cn}') - v_{rn}'$$

Los voltajes qd0 de los terminales del estátor y del rotor referidos al mismo sistema de referencia estacionario pueden ser utilizados junto con el par de carga como entradas a las ecuaciones del modelo de la máquina de inducción en el sistema estacionario para obtener las correspondientes corrientes qd0.

$$\begin{aligned}
 i_{as} &= i_{qs}^s + i_{os} \\
 i_{bs} &= -\frac{1}{2}i_{qs}^s - \frac{\sqrt{3}}{2}i_{ds}^s + i_{os} \\
 i_{cs} &= -\frac{1}{2}i_{qs}^s + \frac{\sqrt{3}}{2}i_{ds}^s + i_{os} \\
 i'_{ar} &= i'_{qr} + i'_{or} \\
 i'_{br} &= -\frac{1}{2}i'_{qr} - \frac{\sqrt{3}}{2}i'_{dr} + i'_{or} \\
 i'_{cr} &= -\frac{1}{2}i'_{qr} + \frac{\sqrt{3}}{2}i'_{dr} + i'_{or}
 \end{aligned}$$

Las ecuaciones del modelo de la máquina de inducción en el sistema de referencia estacionario son las siguientes:

$$\begin{aligned}
 \varphi_{qs}^s &= w_b \int \left\{ v_{qs}^s + \frac{r_s}{x_{ls}} (\varphi_{mq}^s - \varphi_{qs}^s) \right\} dt & \varphi'_{qr} &= w_b \int \left\{ v'_{qr} + \frac{w_r}{w_b} \varphi'_{dr} + \frac{r'_r}{x'_{lr}} (\varphi_{mq}^s - \varphi'_{qr}) \right\} dt \\
 \varphi_{ds}^s &= w_b \int \left\{ v_{ds}^s + \frac{r_s}{x_{ls}} (\varphi_{md}^s - \varphi_{ds}^s) \right\} dt & \varphi'_{dr} &= w_b \int \left\{ v'_{dr} - \frac{w_r}{w_b} \varphi'_{qr} + \frac{r'_r}{x'_{lr}} (\varphi_{md}^s - \varphi'_{dr}) \right\} dt \\
 i_{os} &= \frac{w_b}{x_{ls}} \int \{ v_{os} - i_{os} r_s \} dt & i'_{or} &= \frac{w_b}{x'_{lr}} \int \{ v'_{or} - i'_{or} r'_r \} dt
 \end{aligned}$$

Donde:

$$\begin{aligned}
 \varphi_{qs}^s &= x_{ls} i_{qs}^s + \varphi_{mq}^s & \varphi_{mq}^s &= x_m (i_{qs}^s + i'_{qr}) \\
 \varphi_{ds}^s &= x_{ls} i_{ds}^s + \varphi_{md}^s & \varphi_{md}^s &= x_m (i_{ds}^s + i'_{dr}) \\
 \varphi'_{qr} &= x'_{lr} i'_{qr} + \varphi_{mq}^s \\
 \varphi'_{dr} &= x'_{lr} i'_{dr} + \varphi_{md}^s
 \end{aligned}$$

La ecuación del par es:

$$T_{em} = \frac{3}{2} \frac{P}{2w_b} (\varphi_{ds}^s i_{qs}^s - \varphi_{qs}^s i_{ds}^s)$$

3. SIMULACIONES A REALIZAR

a) Simular el arranque del motor de inducción aplicando el voltaje nominal y ninguna carga mecánica.

Representar la curva par-velocidad de la máquina de inducción dinámica.

Comparar la curva par-velocidad obtenida bajo condiciones dinámicas y la correspondiente a las condiciones de operación en estado estacionario.

b) El modelo del rotor utilizado en la simulación es tal que la máquina funcionará como motor cuando T_{mech} sea negativo y como generador cuando T_{mech} sea positivo. Determinar el par base T_b de la máquina que se está simulando y aplicar cambios escalonados en el par de carga desde cero al valor base T_b en dos incrementos consecutivos. Representar la respuesta transitoria de i_{as} , T_{em} y w_r ante el cambio del par de carga aplicado.

Representar el funcionamiento de la máquina funcionando como motor bajo condiciones sin carga y con los siguientes cambios escalón en el par aplicado respecto al valor del par nominal aplicado:

(1) $t= 0.8s, 0 \% \rightarrow 50 \%$	(2) $t= 0.6s, 0 \% \rightarrow 35 \%$
$t= 1.2s, 50 \% \rightarrow 100 \%$	$t= 1s, 35 \% \rightarrow 15 \%$
$t= 1.6s, 100 \% \rightarrow 50 \%$	$t= 1.8s, 15 \% \rightarrow 100 \%$

c) Repetir el apartado b) cambiando el signo de los valores del par de carga. Comentar y representar la velocidad del rotor alcanzada en estado estacionario después de cada incremento.

d) Modificar el fichero S1.mdl y guardarlo con otro nombre cambiando la conexión entre las fases b y c de los voltajes del estator. Explicar el funcionamiento de la máquina según los resultados obtenidos.