

TAREA 2: MÁQUINA DE INDUCCION EN COORDENADAS ESPACIALES

ORLANDO TREJO - 12-88982

ABSTRACT. En el presente trabajo se muestran los resultados de la simulación en MATLAB de una máquina de inducción (MI) en vectores espaciales. Se muestran los resultados referentes al Par Eléctrico, la Velocidad Angular del Rotor y las Corrientes de Fase de Estator y de Rotor, trabajando todas las unidades físicas en por unidad. Adicionalmente, se repetirá el procedimiento con inyección de secuencia negativa, mostrando las desventajas de operar la máquina de inducción bajo un desbalance de la red de suministro.

1. MODELO DE LA MÁQUINA DE INDUCCIÓN EN COORDENADAS ESPACIALES

El modelo de la máquina de inducción en vectores espaciales se obtiene al aplicar la transformación en componentes simétricos al modelo primitivo de la MI. Se usa una matriz T que se halla luego de realizar el análisis modal a las ecuaciones matriciales de la máquina en coordenadas primitivas y hallar los autovalores para formar una matriz de transformación, que cumpla con la condición de ser hermitiana. Se agrega posteriormente un factor para cancelar los coeficientes que aparecen de la construcción de la matriz y el resultado se muestra a continuación:

$$T = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \end{bmatrix}$$

Posteriormente, se aplica la matriz de transformación T al modelo de la MI en coordenadas primitivas. Luego realizar las operaciones algebraicas de las matrices y las derivadas correspondientes, el resultado tiene la siguiente forma:

$$\begin{bmatrix} v_{e1} \\ v_{r1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_e & 0 \\ 0 & R_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{e1} \\ i_{r1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_e & Me^{j\theta} \\ Me^{-j\theta} & L_r \end{bmatrix} p \begin{bmatrix} i_{e1} \\ i_{r1} \end{bmatrix} + j\dot{\theta} \begin{bmatrix} 0 & Me^{j\theta} \\ Me^{-j\theta} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{e1} \\ i_{r1} \end{bmatrix}$$

Este resultado corresponde a la secuencia positiva y la secuencia negativa será el conjugado de ésta. Para eliminar la dependencia de θ , se usa una transformación para obtener el rotor definido desde el estator. Luego de realizar este cambio, el modelo de la máquina en coordenadas espaciales referidas al estator tiene la siguiente forma:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{v}_e \\ \mathbf{v}_r^e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_e & 0 \\ 0 & R_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{i}_e \\ \mathbf{i}_r^e \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_e & M \\ M & L_r \end{bmatrix} p \begin{bmatrix} \mathbf{i}_e \\ \mathbf{i}_r^e \end{bmatrix} + j\dot{\theta} \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ M & L_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{i}_e \\ \mathbf{i}_r^e \end{bmatrix}$$

La ecuación del par eléctrico se muestra a continuación:

$$T_e = M \Im \{ \mathbf{i}_e (\mathbf{i}_r^e)^* \}$$

Este modelo será utilizado en el programa para las simulaciones en MATLAB. Los parámetros propios de la máquina de inducción a simular se muestran en la tabla 1

2. SIMULACIÓN DE LA MI CON RED BALANCEADA

Para el primer caso de estudio, se considera una MI sin desbalances en el suministro de energía. Desde el punto de vista del modelo en secuencia implica solo inyección de secuencia positiva. Al trabajar en por unidad $V_1 = 1$. Los voltajes de las fases de estator serán los siguientes:

$$v_a^e = \sqrt{2}V_1 \cos(wt)$$

$$v_b^e = \sqrt{2}V_1 \cos(wt - \frac{2\pi}{3})$$

$$v_c^e = \sqrt{2}V_1 \cos(wt - \frac{4\pi}{3})$$

El voltaje de estator será entonces:

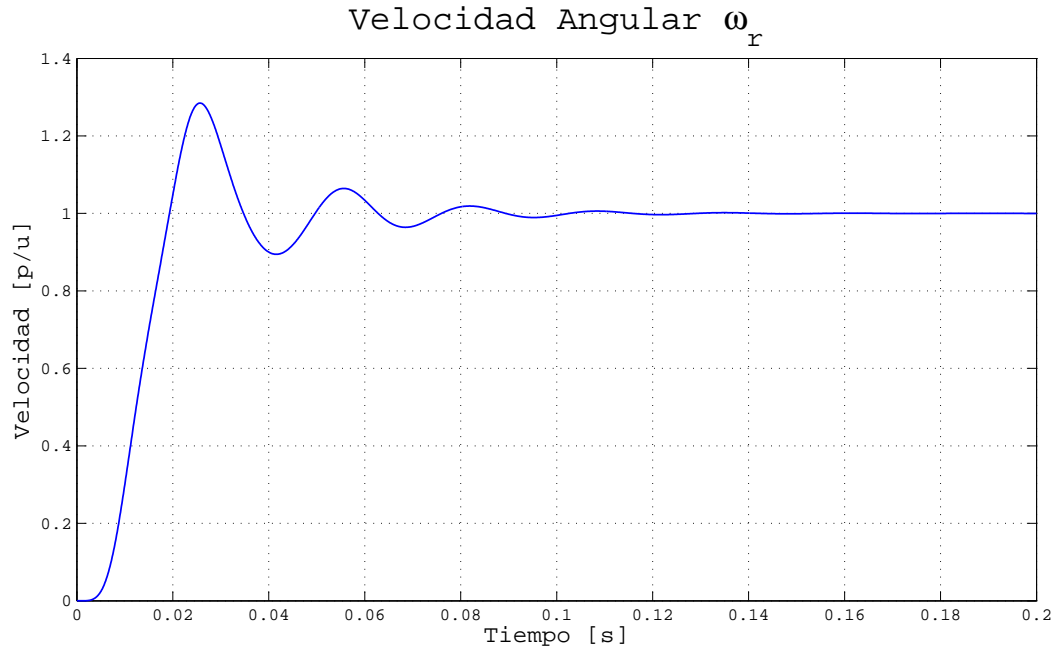
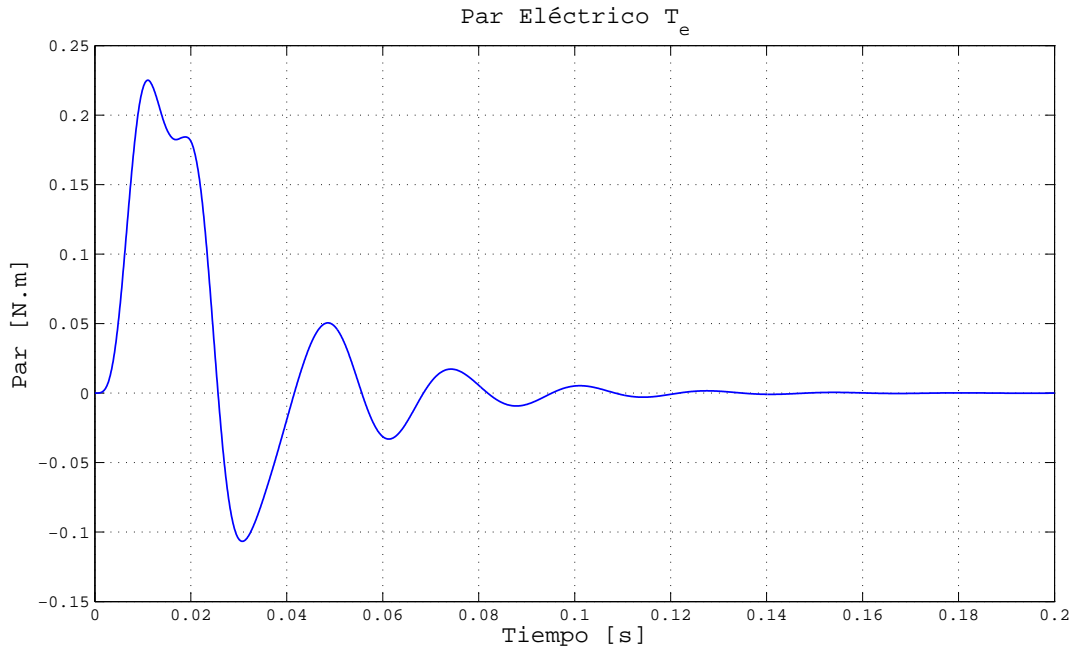
$$\mathbf{v_e} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & \alpha & \alpha^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_a^e & v_b^e & v_c^e \end{bmatrix}^t$$

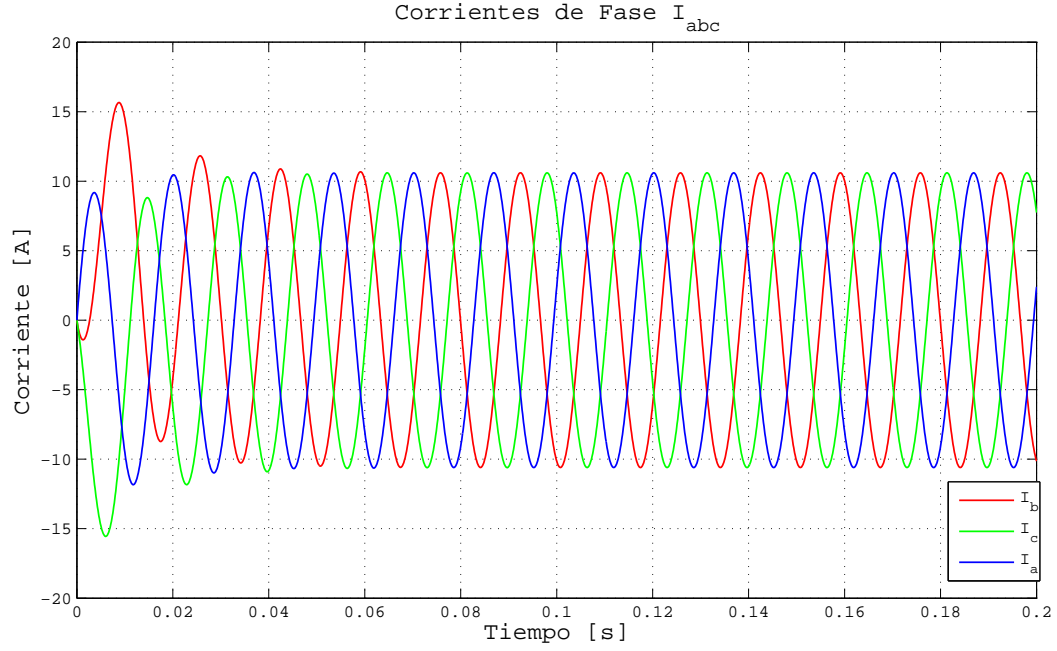
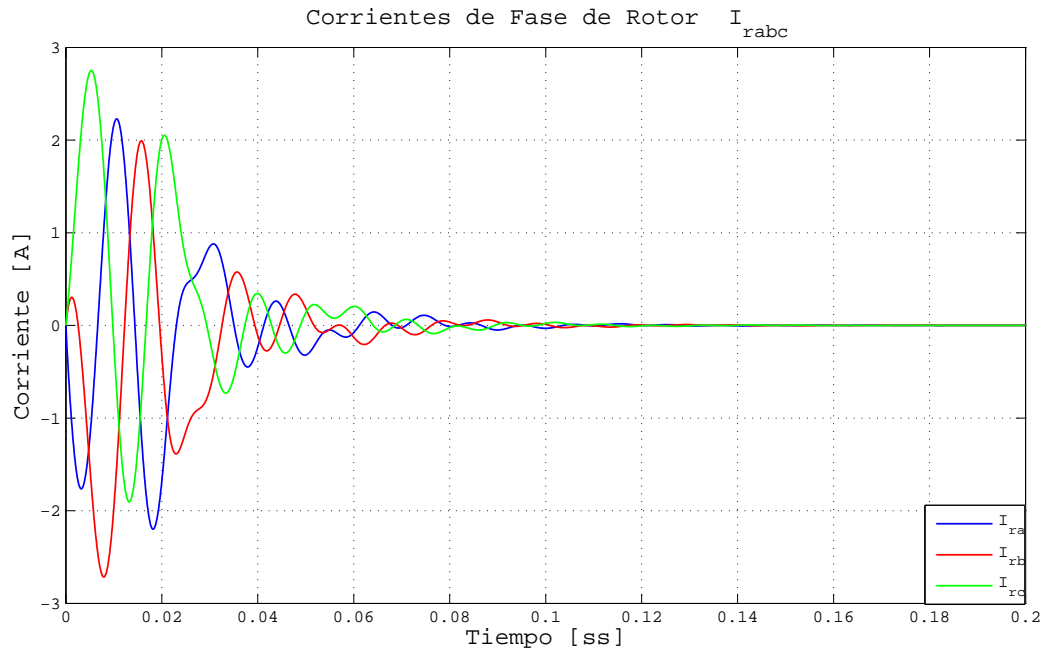
Los resultados obtenidos de la simulación de la MI con el modelo y parámetros presentados en la sección anterior son los siguientes:

Para llevar las corrientes de estator y rotor de Vectores Espaciales a Coordenadas Primitivas (Fases) se aplica la matriz transformada T al vector de componente en secuencia. La componente cero es nula y la componente negativa es el conjugado de la positiva.

TABLE 1. Parámetros de la Máquina de Inducción a Simular

Parámetro	Valor en Por Unidad
$L_{\gamma e}$	0.1
$L_{\gamma r}$	0.1
L_{er}	0.02
L_e	$L_{\gamma e} + \frac{3}{2}L_{er} = 0.13$
L_r	$L_{\gamma r} + \frac{3}{2}L_{er} = 0.13$
M	$\frac{3}{2}L_{er} = 0.03$
R_e	0.03
R_r	0.03

FIGURE 2.1. Velocidad Angular w_r de la MI con Red balanceadaFIGURE 2.2. Par Eléctrico T_e de la MI con la Red Balanceada

FIGURE 2.3. Corrientes de Fase del Estator I_{ea} , I_{eb} , I_{ec} con la red balanceadaFIGURE 2.4. Corrientes de Fase del Rotor I_{ra} , I_{rb} , I_{rc} con la red balanceada

3. SIMULACIÓN DE LA MI CON 3% DE INYECCIÓN DE SECUENCIA NEGATIVA EN RED

En este caso, se evalúa el efecto que tiene sobre la operación de la MI la incorporación de componente en secuencia negativa de 3%. Para lograr la simulación de esta situación particular, se debe reescribir la expresión de los voltajes de fases de estator incluyendo el desequilibrio. V_2 tendrá un valor de 0.03 en sistema por unidad. El voltaje del estator queda de la siguiente manera:

$$v_a^e = \sqrt{2}V_1 \cos(\omega t) + \sqrt{2}V_2 \cos(\omega t)$$

$$v_b^e = \sqrt{2}V_1 \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) + \sqrt{2}V_2 \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3})$$

$$v_c^e = \sqrt{2}V_1 \cos(\omega t - \frac{4\pi}{3}) + \sqrt{2}V_2 \cos(\omega t - \frac{4\pi}{3})$$

Se aplica la misma transformación del caso anterior para llevar la expresión de voltajes de fase de estator (coordenadas primitivas) a vectores espaciales:

$$\mathbf{v}_e = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & \alpha & \alpha^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_a^e & v_b^e & v_c^e \end{bmatrix}^t$$

Los resultados obtenidos de la simulación de la MI con el modelo y parámetros presentados en la sección anterior son los siguientes:

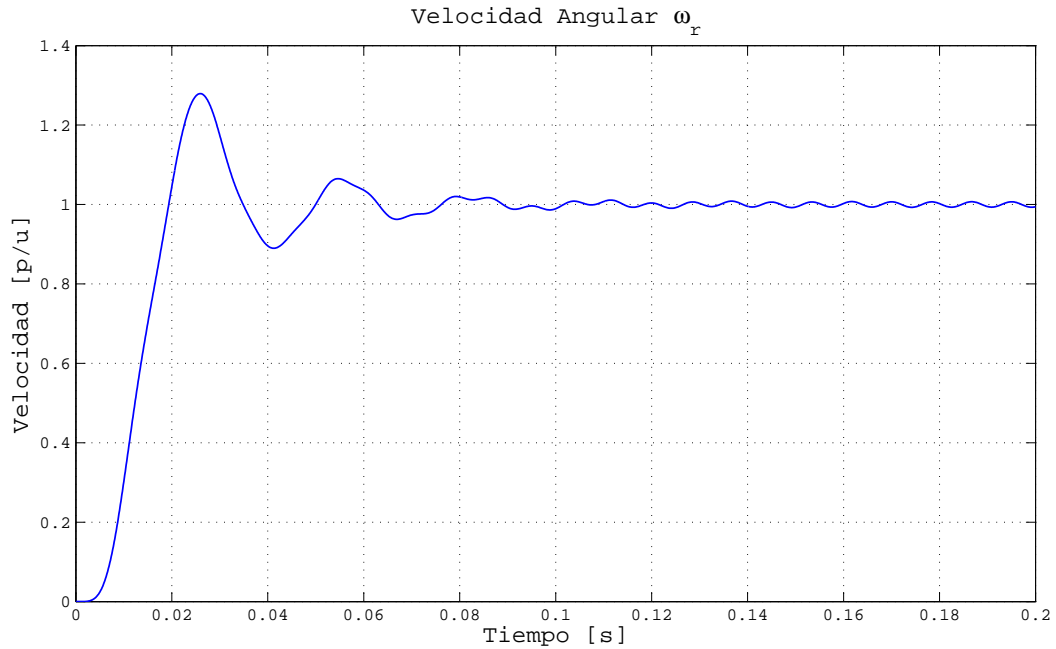
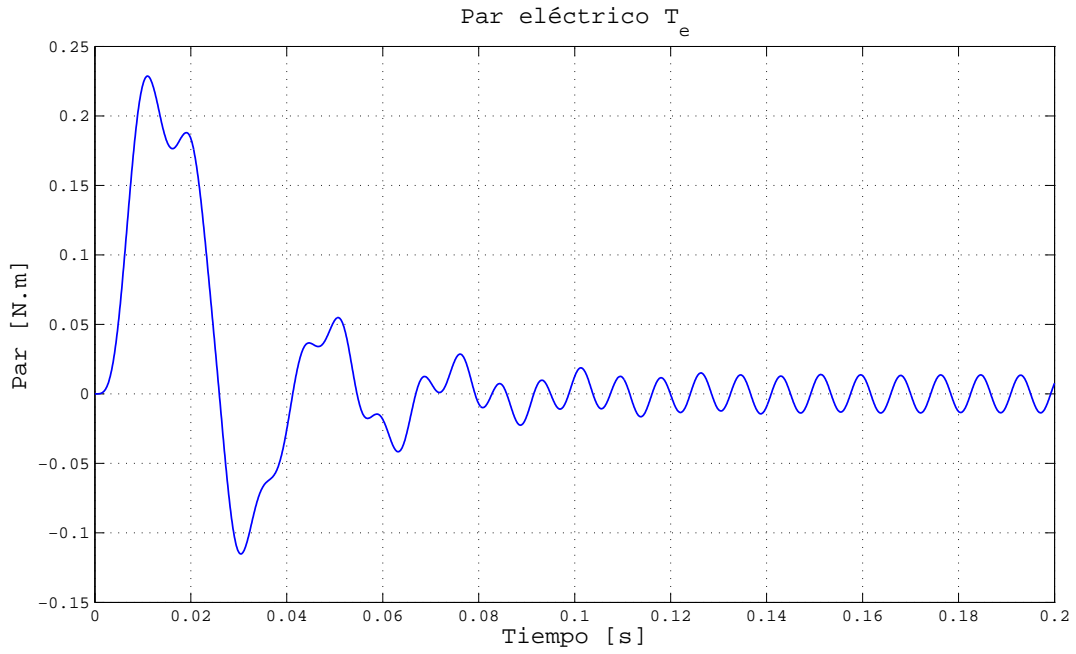
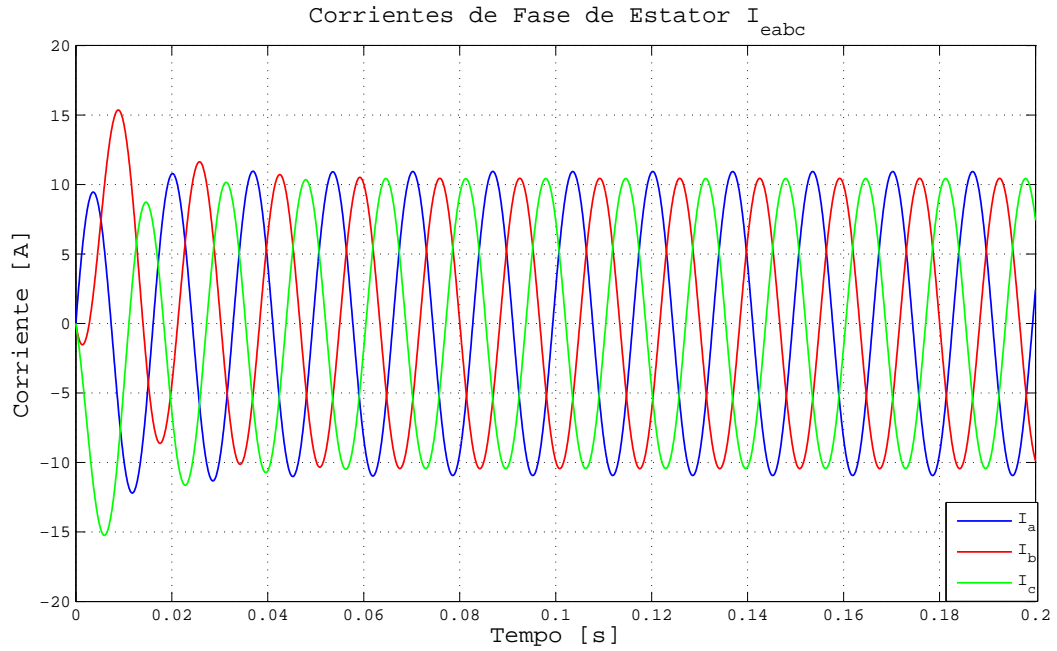


FIGURE 3.1. Velocidad Angular w_r de la MI con Inyección de Secuencia negativa en la red

FIGURE 3.2. Par Eléctrico T_e de la MI con Inyección de Secuencia negativa en la redFIGURE 3.3. Corrientes de Fase del Estator I_{ea}, I_{eb}, I_{ec} con Inyección de Secuencia negativa en la red

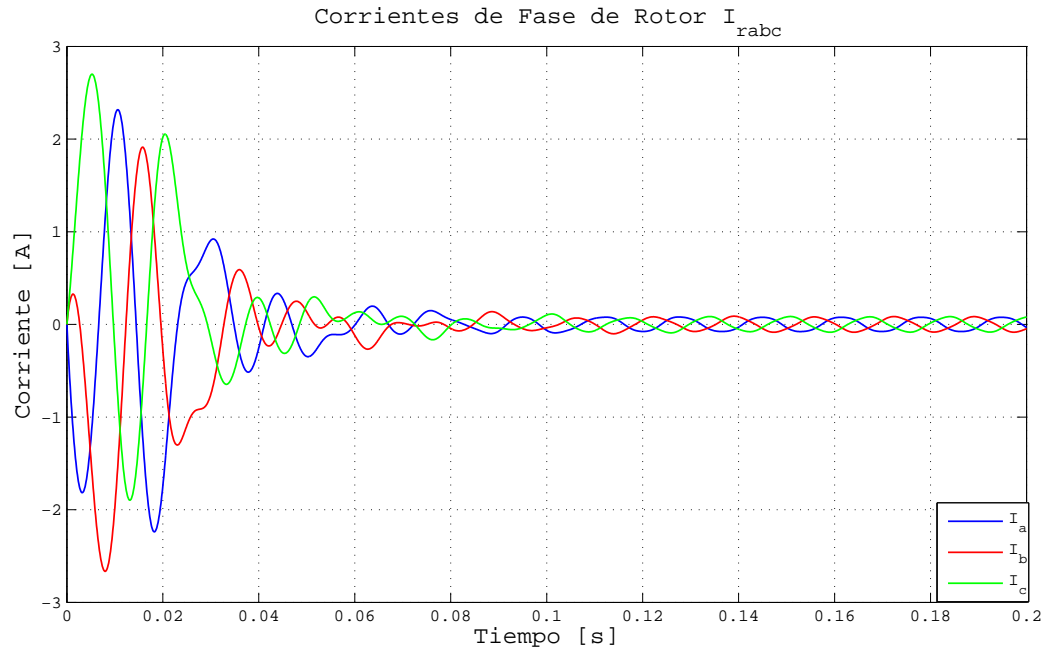


FIGURE 3.4. Corrientes de Fase del Rotor I_{ra} , I_{rb} , I_{rc} con Inyección de Secuencia negativa en la red