

# Consideraciones acerca de Compensación Reactiva y Niveles de Cortocircuito en la Integración de Generadores de Inducción

Francisco González-Longatt

**Resumen**—Los generadores de inducción son más favorables para las aplicaciones de energías renovables debido a su bajo costo y alta confiabilidad. El objetivo de este artículo es concluir acerca de consideraciones generales de la compensación de potencia reactiva local y los niveles de corriente de cortocircuito al integrar generadores de inducción en las redes de distribución. En este artículo, un simple sistema de prueba que contiene un generador de inducción entregando potencia a la red es empleado para simular el comportamiento de un gran parque eólico con algunas turbinas de viento conectados a un alimentador. Entonces el efecto de la máquina de inducción en los requerimientos de reactivos y soporte de voltaje son investigados sobre la estabilidad del voltaje, todo esto mediante simulaciones numéricas.

**Palabras claves**—Generador de inducción (GI), redes de distribución, voltaje, corriente de cortocircuito.

## I. INTRODUCCIÓN

El generador de inducción, es una máquina eléctrica que por su simplicidad y robustez de construcción, es empleado en múltiples aplicaciones de generación distribuida [1]. Las características particulares de este tipo de tecnología de generación, aunado al hecho de su potencial para penetrar intensamente el mercado de la generación distribuida, hacen pertinente que en este artículo se dedique al análisis del comportamiento en régimen estacionario de este tipo de generador [2].

Ahora bien, el generador de inducción, en principio, es un motor de inducción en el cual se le aplica torque en el eje, y se hace girar por encima de la velocidad sincrónica. Aunque algunas modificaciones hechas al diseño de la máquina, optimizan el desempeño como generador [3]-[5].

Por su parte, las máquinas de rotor devanado, a pesar de ser utilizadas en algunas unidades de generación distribuida, no son de uso común; mientras que la máquina de inducción jaula de ardilla simple, se puede encontrar en una gran variedad de tipos de fuentes de generación distribuida, como por ejemplo:

micro turbinas de eje partido, turbinas de viento a velocidad variable e incluso en aplicaciones de mini hidráulica [5].

En éste artículo inicialmente se presenta los aspectos inherentes a la modelación de la máquina de inducción de rotor de simple jaula de ardilla, tanto en régimen estacionario como transitorio. Luego se presentan resultados de simulación en régimen estacionario, caracterizando la operación del generador de inducción haciendo uso de las curvas características. Luego se presentan resultados de la evaluación del régimen dinámico del generador de inducción, primero considerando la respuesta natural ante cambios de potencia mecánica, y luego la evaluación de la respuesta transitoria ante fallas por cortocircuitos.

## II. MODELACIÓN

### A. Régimen Estacionario

El comportamiento de un generador de inducción (jaula de ardilla) en condiciones balanceadas de régimen estacionario, puede ser entendido a plenitud a partir del circuito equivalente (circuito de *Steinmetz*) [1].

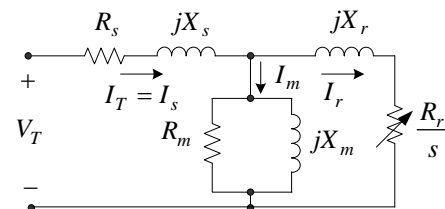


FIG. 1. Circuito equivalente en régimen estacionario del generador de inducción

Se consideran conocidos, el valor de la potencia mecánica que se inyecta en el eje ( $P_{mec}$ ), y el valor del voltaje en terminales de la máquina ( $V_T$ ). Se ha supuesto todas las cantidades en el sistema por unidad en sus correspondientes bases. Mediante simples relaciones sobre el circuito de la Fig. 1, se pueden establecer las relaciones de las principales variables electromecánicas en la máquina (ver Apéndice).

### B. Régimen Transitorio

La representación detallada de la dinámica de la máquina de inducción, está basada, generalmente, en un modelo de quinto orden [6], también llamado el modelo de Park, el cual corresponde a las ecuaciones diferenciales de la máquina de inducción idealizada [7]. Incluso, este modelo es más que una

Manuscrito recibido el 3 de Marzo de 2008.

F.G.L. está con la Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada Nacional, Carretera Tapa Tapa – Mariara, Sector Boca de Río, Maracay, Estado Aragua, Venezuela, Tlf. +58-414-5869605, E-mail: fglongatt@ieec.org y además pertenece al Grupo de Investigaciones Avanzadas en Energía Eléctrica (giaELEC), Maracay, Venezuela, Web: <http://www.giaeec.org>

representación simplificada de un sistema electromagnético complejo [6].

La literatura recoge en forma completa [8]-[14], los modelos de la máquina de inducción; desde el modelo detallado completo de 5<sup>to</sup> orden [9] hasta el modelo reducido de 1<sup>er</sup> orden, donde se combina la ecuaciones de régimen estacionario con la ecuación de movimiento [9].

En este artículo, para la simulación de la dinámica de sistemas de potencia, se ha escogido la representación de la máquina de inducción por el modelo de 3<sup>er</sup> orden, como es descrito en [8] y [14]. Este modelo considera los efectos transitorios, pero desprecia los efectos subtransitorios del rotor. Adicionalmente, el modelo asume una red balanceada y desprecia los efectos de la dinámica del estator. Además de que todas las cantidades son expresadas en los ejes  $dq0$ , sobre un sistema de referencia rotatorio [8], [14]. Entonces la máquina puede ser modelada como una fuente de voltaje  $E'$ , detrás de una impedancia  $R_s + jX'$  (Fig. 2) [13], [14].

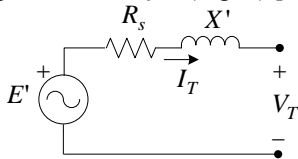


FIG. 2. Circuito equivalente para el modelo de 2<sup>do</sup> orden del generador de inducción

Las ecuaciones dinámicas asociadas al voltaje interno de la máquina  $E'$  son dadas por [8], [11]:

$$\begin{aligned} \frac{dE_d}{dt} &= -\frac{1}{\tau'_0} E_d - \frac{(X - X')}{\tau'_0} I_q + sE_q \\ \frac{dE_q}{dt} &= -\frac{1}{\tau'_0} E_q + \frac{(X - X')}{\tau'_0} I_d - sE_d \end{aligned} \quad (1)$$

Donde  $\tau_0$ , es la *constante de tiempo transitoria de circuito abierto* de la máquina de inducción; ésta caracteriza el decaimiento de los transitorios del rotor, cuando el estator está en circuito abierto; y  $s$  es el deslizamiento de la máquina.

$$\tau_o = \frac{X_r + X_m}{2\pi f R_r} \quad (2)$$

$$s = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s} \quad (3)$$

La corriente en terminales ( $I_T$ ) queda dada por:

$$I_T = \frac{E' - V_T}{R_s + jX'} \quad (4)$$

El modelo eléctrico de una máquina de inducción puede ser representado por el siguiente diagrama de bloques (Fig. 3).

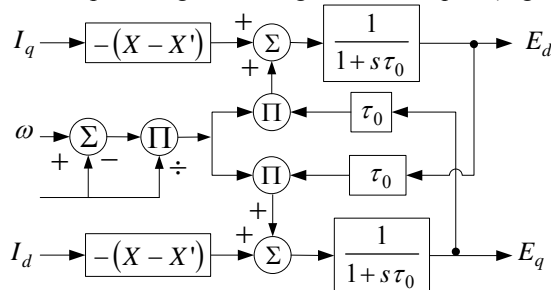


FIG. 3. Representación, en diagrama de bloques, para la dinámica eléctrica del modelo de 2<sup>do</sup> orden de la máquina de inducción

La ecuación que gobierna la dinámica inercial del rotor es dada por [8], [15]:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{2H} T_{mec} - \frac{1}{2H} T_{elec} - D(\omega - \omega_s) \quad (5)$$

En este caso (5) ha sido escrito que, para la operación de la máquina de inducción como generador,  $T_{elec}$ , y  $T_{mec}$ , representan el torque electromagnético y el mecánico, respectivamente, siendo  $\omega_s$ , la velocidad sincrónica.

$$T_{elec} = \frac{E_d I_d + E_q I_q}{\omega_s} \quad (6)$$

En este trabajo, se ha preferido el uso de la formulación directa de la razón de cambio del voltaje detrás de la reactancia, definido por [14]:

$$\frac{dE'}{dt} = -j2\pi f s E' - \frac{1}{T_o} [E' - j(X - X') I_T] \quad (7)$$

Y para la parte electromecánica del modelo, en formulación de potencias [8]:

$$\frac{ds}{dt} = \frac{1}{2H} \left[ \frac{P_{mec}}{1-s} - P_{elec} \right] \quad (8)$$

Las reactancias  $X$  y  $X'$  deben ser obtenidas desde el modelo convencional, en estado estacionario, de la máquina de inducción (Fig. 1):

$$X = X_s + X_m \quad (9)$$

La reactancia de rotor bloqueado  $X'$  resulta:

$$X' = X_s + \frac{X_m X_r}{X_m + X_r} \quad (10)$$

### III. RÉGIMEN ESTACIONARIO

Para propósitos de este artículo se está interesado en el desempeño en régimen estacionario de las variables asociadas a máquina de inducción de jaula de ardilla, que son de aplicación típica en sistemas de conversión de energía del viento.

Se han considerado cuatro (04) máquinas de inducción de jaula simple de ardilla, cuyos datos se relacionan en la Tabla 1, y en cada caso se ha indicado la fuente donde fue tomada.

TABLA 1.

DATOS DE LA MÁQUINA DE INDUCCIÓN DE SIMPLE JAULA DE ARDILLA				
Símbolo	Máquina #1 [16]	Máquina #2 [17]	Máquina #3 [18]	Máquina #4 [19]-[20]
$V_{nom}$	0.66 kV	660 V	545 V	1000 V
$S_{nom}$	350 kVA	330 kVA	1.5 MVA	2 MVA
$f$	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz
$R_s$	0.00571 p.u.	0.00708 p.u.	0.004843 p.u.	0.01 p.u.
$R_r$	0.00612 p.u.	0.00759 p.u.	0.004377 p.u.	0.01 p.u.
$X_r$	0.06390 p.u.	0.23289 p.u.	0.1791 p.u.	0.08 p.u.
$X_s$	0.18780 p.u.	0.07620 p.u.	0.1248 p.u.	0.10 p.u.
$X_m$	2.78000 p.u.	3.44979 p.u.	3.77 p.u.	3.00 p.u.
$H$	3.02500 s	3.0 s	0.5 s	0.50 s

Un programa desarrollado en MATLAB<sup>TM</sup> fue empleado para evaluar inicialmente algunos valores extremos de la operación de las máquinas de inducción consideradas, los resultados se agrupan en la Tabla 2.

Inicialmente se ha de observar que para todas las máquinas de inducción de jaula de ardilla consideradas el torque máximo en el modo de motor y como generador son diferentes, lo que delata que la curvas de torque versus deslizamiento no es

simétrica respecto al origen, situación fácilmente demostrable con la Fig 4.

TABLA 2.

PUNTOS DE INTERÉS DE MÁQUINA DE INDUCCIÓN DE SIMPLE JAULA DE ARDILLA [21]

Símbolo	Máquina #1	Máquina #2	Máquina #3	Máquina #4
$T_{base}$	1856.80	1750.70	7957.74	10610.32
$T_{max1}$	1.79152	1.24626	1.53860	2.51188
$T_{max2}$	-1.86795	-1.92603	-1.58586	-2.79245
$s_{max1,2}$	0.02551	0.02401	0.01459	0.05648
$I_{rb}$	3.991	3.285	3.379	5.586
$s_{nom,mot}$	0.0062	0.0078	0.004359	0.0097
$s_{nom,gen}$	-0.0061	-0.0068	-0.004300	-0.0095
$I_0$	0.3369	0.2836	0.2568	0.3226

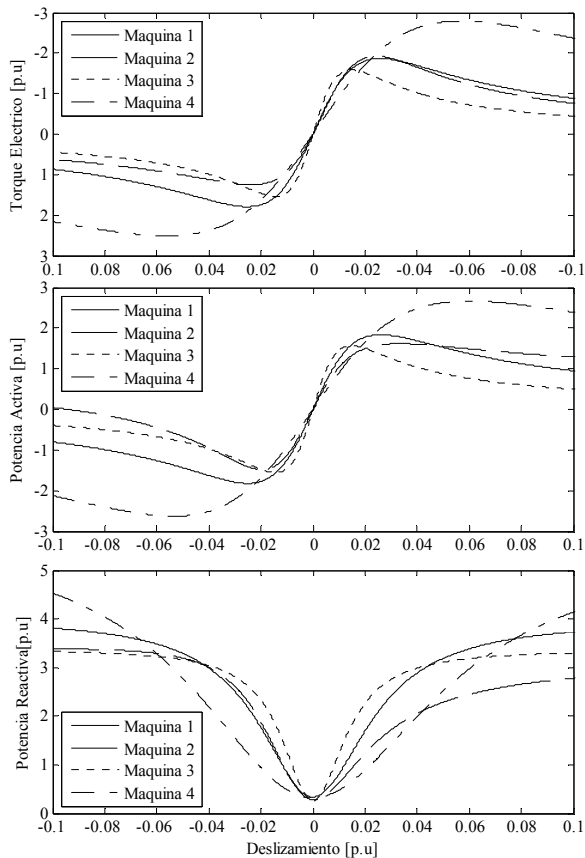


FIG. 4. Curva Característica varias variables versus Deslizamiento para las diferentes máquinas para la zona de  $\pm 10\%$  de deslizamiento

Se puede observar que el torque máximo en operación como motor es menor que el alcanzado cuando las máquinas operan como generador. En las máquinas consideradas como pequeñas #1, 350 kVA y #2, 330 kVA, el deslizamiento al que se logra el máximo torque es mucho más bajo que la máquina considerada como grande #4, 2MW, sin embargo la máquina #3 exhibe un bajo deslizamiento.

La máquina #3 posee la menor curva de toque (en por unidad referido a los valores de placa) y de hecho es la más aguda; es decir, ésta máquina limita su operación normal en condiciones de régimen permanente a un deslizamiento pequeño por debajo de 1%. Las máquinas consideradas como pequeñas, máquinas #1 y #2, poseen curvas de toque similares, aunque una mayor asimetría entre los valores extremos de torque en ambos modos es logrado con la máquina de 330 kVA, 660 V, máquina #2.

La máquina que posee la mayor curva de torque es la máquina #4 de 2MW, que posee el mayor pico que se alcanza en el mayor deslizamiento de todas las máquinas, lo que permite inferir que esta máquina está diseñada y permite una operación en una regulación de velocidad más amplia.

En la Tabla 2, al evaluar la corriente de rotor bloqueado ( $I_{rb}$ , para  $s = 1.0$  p.u.) de las máquinas consideradas, se observa que la máquina de mayor capacidad (#4, 2MW), es la que posee mayor corriente de rotor bloqueado, sin embargo sorprende que la máquina #1, 350 kVA sea la segunda con mayor valor.

La máquina de inducción de jaula de ardilla funcionando en el modo de generador, posee un límite estático de estabilidad de la potencia activa máxima que puede entregar.

Este límite es impuesto por el máximo valor de torque electromagnético que puede ser desarrollado por la máquina en su operación). El valor de éste límite de potencia eléctrica máxima ( $P_{elec,max}$ ) es mostrado en la Tabla 3, con el respectivo torque al que se alcanza. Sin embargo, hay que advertir que este límite rara vez es alcanzado en forma estática, debido a que la máquina de inducción de jaula de ardilla operando en modo de generación requiere un suministro de potencia reactiva, lo cual hace que primero se alcance el límite de capacidad (Volt-Amperes), antes que se logre el límite de potencia activa.

TABLA 3.

PUNTOS CARACTERÍSTICOS DE POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA PARA LAS MÁQUINAS DE INDUCCIÓN CONSIDERADAS

Símbolo	Máquina #1	Máquina #2	Máquina #3	Máquina #4
$P_{elec,max}$	-1.822	-1.481	-1.558	-2.63
$s_{max}$	-0.025	-0.0196	-0.0143	-0.0544
$Q_0$	0.3369	0.2835	0.2568	0.3226

La máquina de inducción de jaula de ardilla, en modo de operación como generador tiene requisitos de consumo de potencia reactiva ( $Q_{elec}$ ) que aumentan conforme aumenta la potencia activa generada y el deslizamiento. En vacío estas máquinas poseen un consumo de potencia reactiva ( $Q_0$ ), cuyo valor es necesario para reflejar la necesidad de compensación local de potencia reactiva.

En la Tabla 3, se muestra que los menores requerimientos de potencia en reactivo para las diferentes máquinas, donde la máquina #3 de 1.5 MW registra los menores valores, mientras que la máquina #1, 350 kVA, 660 V, requiere los valores más altos de reactivo en vacío.

#### A. Efecto de la Impedancia de la Red

En operación conectada a la red del generador de inducción, serias restricciones operativas son impuestas por la magnitud de la impedancia del circuito de conexión ( $X_c$ ). Es evidente, una sensible dependencia de la magnitud del voltaje en terminales del generador de inducción con rotor de simple jaula de ardilla, ante las variaciones de la magnitud de la impedancia del circuito de conexión; afectando de tal modo, la regulación del voltaje en la barra de conexión de este tipo de unidad, dicho efecto es especialmente acentuado con aumentos de la potencia activa que se extrae de la máquina.

En la Fig. 5, se muestra el comportamiento de la magnitud del voltaje en terminales ( $V_T$ ) de la máquina #1 operando generador de inducción considerado, para diferentes magnitudes de la impedancia del circuito de conexión ( $X_c$ ) y

posibles valores de potencia activa para operación estable del generador ( $P_{elec}$ ).

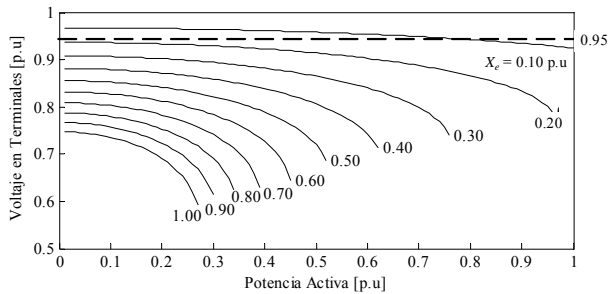


FIG. 5. Curvas características voltaje en terminales ante varias impedancias de alimentación (sin compensación reactiva)

Se evidencia, que a valores altos de la magnitud de la impedancia del circuito de conexión del generador de inducción a la red de suministro, pueden ocurrir, en régimen de operación normal, perfiles de voltaje drásticamente bajos, violando los límites de regulación (0.95p.u). Con magnitudes de impedancias que se consideran pequeñas ( $X_c < 0.02$  p.u), y para valores mayores de impedancia del circuito de conexión ( $X_c > 0.14$  p.u), se desencadenan valores prohibitivos de voltaje ( $< 0.95$  p.u) incluso en vacío.

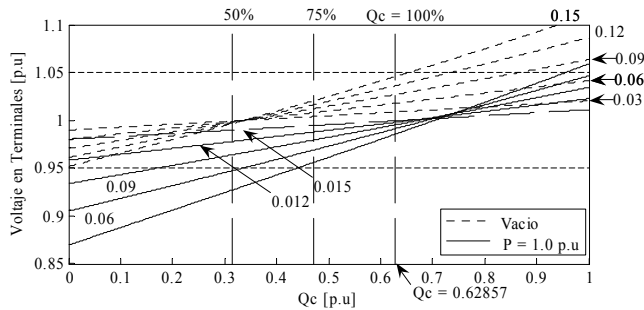


FIG. 6. Voltaje en terminales para diferentes impedancias de conexión, efecto de la compensación de reactivos ( $Q_c$ )

Un análisis de la sensibilidad del voltaje versus potencia reactiva (Fig. 6), demuestra que el voltaje en terminales posee una dependencia de la magnitud de la impedancia del circuito de conexión, y que al aumentar ésta, los requerimientos de potencia reactiva para compensar el factor de potencia local aumentan, hecho que se ve afectado de igual modo, con incrementos de la potencia generada por la máquina.

#### IV. RÉGIMEN DINÁMICO

Para el análisis de la respuesta dinámica se muestran los resultados de las simulaciones efectuadas con un programa de la dinámica de sistemas de potencia, desarrollado por el autor en Matlab™, y que incluye el modelo ya presentado; además emplea una solución alternativa del flujo de potencia y cálculos dinámicos. Se ha considerado la máquina #1 (solo se presentan los resultados de esta por limitaciones de espacio), está operando como generador en paralelo a una red de gran potencia.

Inicialmente se evalúa la dinámica lenta del generador de inducción asumiendo la máquina no posee ningún tipo de control de generación asociado. Se procedió a imponer un cambio súbito en la potencia mecánica ( $P_{mec}$ ) aplicada en el eje y medir el efecto que esto tiene sobre la respuesta en la velocidad de la máquina y la potencia activa (Fig. 7).

La velocidad del rotor sigue una respuesta sub-amortiguada con un error de estado estable, que aumenta, conforme ocurra un incremento en el tamaño de la perturbación ( $\Delta P_{mec}$ ). Esto se debe a que esta máquina debe aumentar el deslizamiento y en consecuencia, su velocidad rotórica, para atender el estado de operación solicitado. La potencia activa igualmente muestra un comportamiento sub-amortiguado, con características semejantes a la velocidad, en cuanto a sobre impulso y tiempo pico.

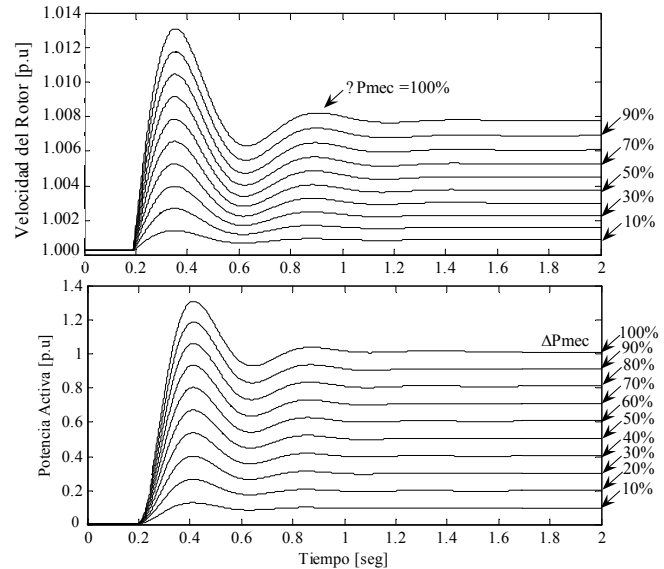


FIG. 7. Comportamiento de la velocidad y potencia activa para diferentes cambios en la potencia mecánica

Bajo las perturbaciones examinadas, el generador de inducción resulta estable. La razón fundamental, es el amortiguamiento intrínseco en esta máquina, que es proveído por la diferencia de velocidad entre las FMM del rotor y el estator (el deslizamiento). Sin embargo, a medida que el generador de inducción es de mayor tamaño, su deslizamiento natural comienza a disminuir, de tal modo que su comportamiento dinámico comienza a recordar el del generador sincrónico.

Para evaluar el comportamiento transitorio de la máquina de inducción se ha observado la respuesta de la corriente y velocidad del rotor antes una falla por cortocircuito trifásico sólido en terminales de la unidad.

La Fig. 8, presenta la respuesta dinámica de un generador de inducción para una falla trifásica aplicada en sus terminales, la cual es eliminada a diferentes tiempos de despeje ( $t_c$ ).

La respuesta temporal de la corriente del generador de inducción exhibe inicialmente un pico elevado, que depende de la condición operativa y los parámetros de la máquina; esta corriente disminuye rápidamente, debido a que la falla impide el suministro de potencia reactiva desde la red, de modo que se amortigua rápidamente la corriente de falla. En el instante que se retira la falla, se hace presente en la respuesta de corriente un pico secundario, el cual, depende del tiempo de despeje de la misma.

Y que dependiendo de los parámetros del generador, la impedancia de cortocircuito en los terminales de la unidad y la duración de la falla, puede llegar a ser mayor a la corriente de falla.

La velocidad del rotor del generador de inducción, aumenta durante la duración de la falla y una vez que es despejada exitosamente la velocidad puede retornar al equilibrio. Las desviaciones en la velocidad del rotor del generador, va a depender del tiempo de duración de la falla; en la Fig. 9, se muestra que el valor máximo aumenta, conforme lo haga el tiempo de exposición del generador a la falla; esta situación también se produce en la duración del transitorio

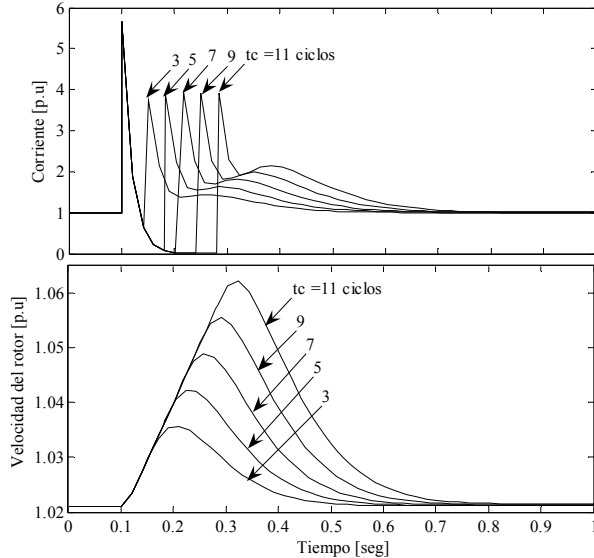


FIG 8. Comportamiento dinámico del generador de inducción considerando para diferentes tiempos de despeje

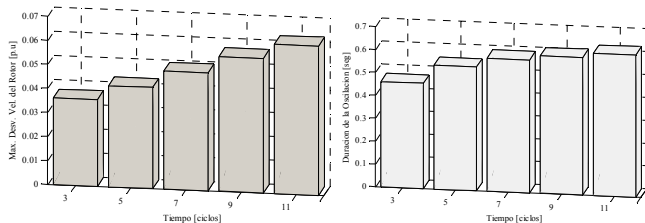


FIG. 9. Máxima desviación de la velocidad del rotor y duración de la oscilación, en el generador de inducción, para varios tiempos de despeje de falla

## V. CONCLUSIONES

En éste artículo, inicialmente se ha analizado en desempeño en régimen estacionario de las variables principales asociadas a la operación de cuatro máquinas de inducción, de jaula simple de ardilla, que son consideradas de uso de uso común en aplicación de aerogeneradores con turbinas de viento de velocidad fija; según lo que la literatura reporta. Mediante el trazado de las curvas y puntos característicos de operación se ha evidenciado características operativas de las mismas.

El análisis ha revelado que un generador de inducción conectado a una red de potencia mediante un sistema de transmisión débil puede ocasionar en régimen estable de operación normal, perfiles de voltaje prohibitivamente bajos, incluso violando el límite inferior de regulación. De igual modo la robustez de la red de transmisión afecta los requerimientos de potencia reactiva para compensar el factor de potencia local y eso influenciado por la potencia generada por la máquina.

El comportamiento dinámico del generador de inducción

muestra una respuesta natural subamortiguada, ante cambios de potencia mecánica en el eje.

Finalmente la respuesta transitoria de la corriente del generador de inducción, ante un cortocircuito en terminales exhibe un pico primario que depende de la condición operativa y los parámetros de la máquina; siendo altamente amortiguada. Pero al extinguirse la falla, aparece un pico secundario en la corriente, el cual, depende del tiempo de despeje de la misma; pero que puede llegar a ser mayor al primario. Esto hace que sea necesario su consideración y discusión al ajustar los dispositivos de protección por sobre corriente.

## APÉNDICES

Partiendo de la potencia mecánica que se inyecta en el eje ( $P_{mec}$ ), y el valor del voltaje en terminales de la máquina ( $V_T$ ) se puede calcular el deslizamiento ( $s$ ) de operación mediante el cálculo de las raíces del siguiente polinomio:

$$\alpha_0 s^2 + \alpha_1 s + \alpha_2 = 0 \quad (a.1)$$

Donde los coeficientes del polinomio vienen dados por:

$$\alpha_0 = P_{mec} R_{eq}^2 + P_{mec} (X_{eq} + X_r)^2 + R_r |V_{eq}|^2 \quad (a.2)$$

$$\alpha_1 = 2R_{eq} R_e P_{mec} - R_r |V_{eq}|^2$$

$$\alpha_2 = R_r^2 P_{mec}$$

Una vez que se obtienen los valores de las raíces del polinomio cuadrático del deslizamiento, se toma la raíz más positiva.

## SÍMBOLOS

$V_{nom}$	Voltaje Nominal [V]
$S_{nom}$	Potencia Nominal [kVA]
$f$	Frecuencia Nominal [Hz]
$R_s$	Resistencia del Estator [p.u.]
$R_r$	Resistencia del Rotor [p.u.]
$X_r$	Reactancia del Rotor [p.u.]
$X_s$	Reactancia del Estator [p.u.]
$X_m$	Reactancia Magnetizante [p.u.]
$H$	Constante de Inercia [s]
$T_{base}$	Torque Nominal [N.m]
$T_{max1}$	Torque máximo, motor [p.u.]
$T_{max2}$	Torque máximo, generador [p.u.]
$s_{max1,2}$	Deslizamiento al que ocurre el torque máximo [p.u.]
$I_{rb}$	Corriente de rotor bloqueado [p.u.]
$s_{nom,mot}$	Deslizamiento a Corriente nominal, motor [p.u.]
$s_{nom,gen}$	Deslizamiento a Corriente nominal, generador [p.u.]
$I_0$	Corriente en Vacío [p.u.]
$P_{elec,max}$	Potencia Eléctrica Máxima, generador [p.u.]
$s_{max}$	Deslizamiento para $P_{elec,max}$ [p.u.]
$Q_0$	Potencia reactiva en vacío [p.u.]

## AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar su agradecimiento al profesor titular de la Universidad Central de Venezuela, Celso L. Fortoul P, PhD, por sus colaboraciones en el desarrollo de esta investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] N. Jenkins, R. Allan, P. Crossley, D. Kirschen, G. Strbac. **Embedded Generation**. IEE Power and Energy Series. The Institute of Electrical Engineers, London, UK, 2000.
- [2] F. González-Longatt. "**Impact of Distributed Generation over Power Losses on Distribution System**", 9th International Conference on Electrical Power Quality and Utilization, Barcelona, Spain, 9-11 October, 2007.
- [3] F. González-Longatt, O. Amaya, M. Cooz, L. Duran. "**Dynamic Behavior of Constant Speed WT based on Induction Generator Directly connected to Grid**". World Wind Energy Conference and Exhibition. Mar del Plata Argentina, 2-4 October, 2007.
- [4] Simões, Renewable Energy System. **Design and Analysis with Induction Generators**. CRC Press. 2004.
- [5] F. Gonzalez-Longatt. "**Impacto de la Generación Distribuida en el Comportamiento de los Sistemas de Potencia**". Tesis Doctoral. Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela, Marzo, 2008.
- [6] H.C. Stanley, "**An Analysis of the Induction Motor**", AIEE Trans., Vol. 57 (supplement), 1938, pp. 751-755.
- [7] D.S. Brereton, D.G. Lewis and C.C. Young. "**Representation of Induction motor loads during power system stabilities studies**", AIEE Transactions, vol. 46, pp. 451-461, August 1957.
- [8] P. Kundur, **Power System Stability and Control**. New York: McGraw-Hill, 1994.
- [9] Torbjörn Thiringer and Jorma Luomi, "**Comparison of Reduced-Order Dynamic Models of Induction Machines**", IEEE Transactions On Power Systems, Vol. 16, No. 1, February 2001. pp. 119-126.
- [10] J. Arrillada, C.P. Arnold and B.J. Harker. **Computer Modeling of Electrical Power Systems**. John Wiley and Sons, 1983.
- [11] P.C. Krause and C.H. Thomas, "**Simulation of Symmetrical Induction Machinery**", IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, Vol. 84, November, 1965, pp. 1038-1053..
- [12] G. Richards, "**Reduced Order Models for an Induction Motor GrouD During Bus Transfer**" IEEE / PAS Summer Meeting, 88gM685-0, 1988
- [13] S. Ertem, and Y. Baghzouz, "**Simulation of Induction Machinery for Power System Studies**" IEEE /PAS Summer Meeting, 88SM608-2, 1988
- [14] Stagg and El-Abiad. **Computer Methods in Power Systems Analysis**, McGraw-Hill, 1981.
- [15] P.W. Sauer and M.A. Pai, **Power System Dynamics and Stability**. Prentice Hall, EE.UU, 1998.
- [16] Rajesh G. Kavasseri, "**Steady State Analysis of an Induction Generator Infinite Bus System**" (Paper no: 409 - 084)", accepted for the Third IASTED International Conference on Power and Energy Systems (EuroPES 2003).
- [17] Andres E. Feijoo and Jose Cidras. "**Modeling of Wind Farms in the Lad Flow Analysis**". IEEE Transaction on Power Systems. Vol. 15, No. 1, February, 2000.
- [18] Richard Gagnon (Hydro-Quebec). "**Operation of Induction Generators (IG) Driven by Variable-Pitch Wind Turbines**". Getting Started Demos of Matlab™ R2006a.
- [19] Thomas Ackermann. **Wind Power in Power System**. John Wiley & Sons, Ltd. England, 2005.
- [20] Slootweg J.G. "**Modeling Wind Turbines in Power System Dynamics Simulations**." PhD Thesis on Delft University of Technology. Netherland, 2003.
- [21] F. González-Longatt "**Desempeño en Régimen Estacionario de Máquinas de Inducción para Aplicación en Aerogeneradores**". Reporte de Investigación 2007-17, Venezuela Junio, 2007. (on Line) Available at: <http://www.giaelec.org/ReportesInv/RPT2007-17.pdf>