



Determinación de la capacitancia de autoexcitación de un generador asincrónico empleando MATLAB

Héctor Brito
Esther Bermello
Rolando Madiedo
Excelsa Guerra

Recibido: Junio del 2005

Aprobado: Septiembre del 2005

Resumen / Abstract

Se analiza uno de los métodos matemáticos empleados para el cálculo del valor de la capacitancia necesaria para la autoexcitación de un generador asincrónico; se reflejan los coeficientes del polinomio característico por ellos obtenidos y la diferencia existente con la fuente de referencia, así como se realiza una valoración de los resultados obtenidos y los que se obtuvieron con los coeficientes de la fuente bibliográfica.

Palabras clave: máquinas de inducción, generador asincrónico

Presently work the authors make a brief analysis of one of the methods mathematical employees for the calculation of the value of the necessary capacitor for the self-excitation of an asynchronous generator, as well as they reflect the coefficients of the characteristic polynomial for them obtained and the existent difference with the reference source, as well as they carry out a valuation the results obtained by them and those that were obtained with the coefficients of the bibliographical source.

Key words: induction machines, asynchronous generator

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha retomado el empleo de la máquina asincrónica, en el régimen de generador, debido a una serie de ventajas que la misma posee. Sin embargo, el generador asincrónico presenta una gran dificultad y es que no genera potencia reactiva, esto dificulta grandemente su empleo en forma aislada. Esta dificultad puede ser resuelta empleando una capacitancia conectada a sus bornes.

DESARROLLO

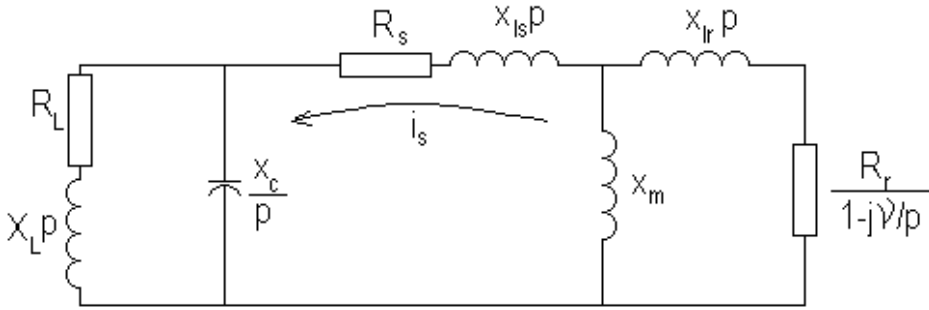
En el presente trabajo se realiza el análisis para la obtención de un programa en Matlab que permita la determinación de la magnitud de esta capacitancia.

Según lo planteado en la referencia 1 el circuito equivalente de un generador asincrónico, utiliza como carga una impedancia $Z_L = R_L + jX_L$, sustituyendo el término F (frecuencia relativa) por $F = jp$ (donde el

operador $p = \frac{1}{\omega} \cdot \frac{d}{dt}$ y $\omega = 2\pi f$), se obtiene el circuito de la figura 1.

El circuito de la figura 1 se considera como un modelo capaz de representar el efecto de la saturación durante el proceso de excitación del generador asincrónico, pero no como un modelo dinámico de este.

Refiriéndose al mismo circuito de la figura 1, se puede escribir la ecuación de malla.



Circuito equivalente del generador asincrónico con carga.²

1

$$\left[\frac{x_m p \left(x_{lr} p + \frac{R_r}{1-j\frac{v}{p}} \right)}{\frac{R_r}{1-j\frac{v}{p}} - x_{lr} p} + (R_s + x_{ls} p) + \frac{(R_L + X_L p) \cdot \frac{x_c}{p^2}}{R_L + X_L p + \frac{x_c}{p^2}} \right] \cdot i_s = 0 \quad \dots (1)$$

Resolviendo esta ecuación, se puede obtener un polinomio característico, que tiene la forma:

$$K_1 p^4 + K_2 p^3 + K_3 p^2 + K_4 p + K_5 = 0 \quad \dots (2)$$

donde $K_1, \dots, K_5$ son constantes (complejas) que dependen de los parámetros de la máquina, la capacitancia y la impedancia de la carga, los cuales tienen las siguientes expresiones.

$$K_1 = -jX_L x_l x_s$$

$$K_2 = -vX_L x_l (2x_m - x_l) - j[X_L (R_s + R_r)x_s - x_l R_L (2x_m + x_l)]$$

$$K_3 = -v x_l R_L (2x_m + x_l) - v R_s X_L x_s - j[x_l x_c (2x_m + x_l) + R_L (R_s + R_r)x_s]$$

$$K_4 = -v[x_c X_L x_s + R_s R_L x_s + x_l x_c (2x_m + x_l)] - j[x_c x_s (R_L + R_s + R_r) + R_s R_r R_L + x_c X_L R_r]$$

$$K_5 = -v x_c (R_s + R_L)x_s - j x_c R_L (R_s + R_r)$$

donde

$$x_{sl} = x_{lr} = x_l \quad y \quad x_s = x_m + x_l$$

Si la carga es resistiva pura, el polinomio de la ecuación (2) se convierte en una ecuación de tercer orden ya que $K_1 = 0$.

La autoexcitación se producirá si alguna de las raíces del polinomio de la ecuación (2) tiene su parte real positiva.¹ Para un valor de velocidad en valores por unidad n y una impedancia de carga Z_L , existe un valor mínimo de la capacitancia que hará la parte real de una de las raíces, positiva. La autoexcitación será posible para dicha velocidad para valores de capacitancia mayores que el valor mínimo. De hecho el valor crítico de la capacitancia hace la parte real de la raíz igual a cero.

Se considera la situación para una velocidad constante en la cual una capacitancia mayor que el valor crítico es conectada a los bornes del generador asincrónico. La parte real de una de las raíces de la ecuación (2) será mayor que cero; las otras dos raíces tendrán sus partes reales negativas, lo que significa que la corriente decrece rápidamente. Estas dos raíces caen en los cuadrantes segundo y tercero.

Para realizar el trabajo se comenzó por la confección de un programa en Matlab que permitiese calcular los coeficientes del polinomio de la ecuación (2), basado en las expresiones que se dan en la referencia 1, para poder hallar las raíces de dicho polinomio, con datos que se ofrecen en el propio artículo, arribando a la conclusión que los resultados obtenidos difieren considerablemente de los reflejados en el mencionado trabajo.

Los coeficientes obtenidos por los autores son:

$$K_1 = x_l X_L (2x_m + x_l)$$

$$K_2 = -j [R_L x_l (x_s + x_m) + X_L x_s (R_r + R_s)] - v X_L x_l (x_s - x_m)$$

$$K_3 = -j [R_L x_s (R_r + R_s) + x_c x_l (x_s + x_m) + X_L x_c x_s + R_s R_r X_L] - v [R_L x_l (x_s + x_m) + R_s X_L x_s]$$

$$K_4 = -j [x_s x_c (R_r + R_s + R_L) + x_c X_L R_r + R_s R_L R_r] - v [x_l x_c (x_s + x_m) + R_s R_L x_s + X_L x_c x_s]$$

$$K_5 = -j x_c R_r (R_s + R_L) - v x_s x_c (R_s + R_L)$$

Estas expresiones se introdujeron en el programa de computación, obteniéndose los resultados para una máquina cuyos parámetros son:

$$R_s = 3,0 \, \Omega; R_r = 3,4 \, \Omega; x_{sl} = x_{lr} = 4,5 \, \Omega \text{ y una resistencia de carga } R_L = 100 \, \Omega.$$

Empleando los coeficientes que aparecen en la referencia 1 con el programa elaborado por los autores y para una capacitancia de $C = 50 \mu F$, los resultados fueron:

$$Z_1 = 0,000 \, 6 + 0,825 \, 4 \, i \quad Z_2 = -2,521 \, 9 - 0,731 \, 4 \, i \quad Z_3 = -4,038 \, 1 - 1,094 \, 1 \, i$$

para la reactancia $X_m = 8 \, \Omega$.

Según la misma metodología, con los coeficientes obtenidos por los autores e igual capacitancia se obtuvieron que las raíces del polinomio son:

$$Z_1 = 0,000 \, 0 + 1,039 \, 1 \, i \quad Z_2 = -0,435 \, 2 - 2,362 \, 8 \, i \quad Z_3 = -0,496 \, 4 + 1,999 \, 9 \, i$$

para la reactancia $X_m = 52,5 \, \Omega$.

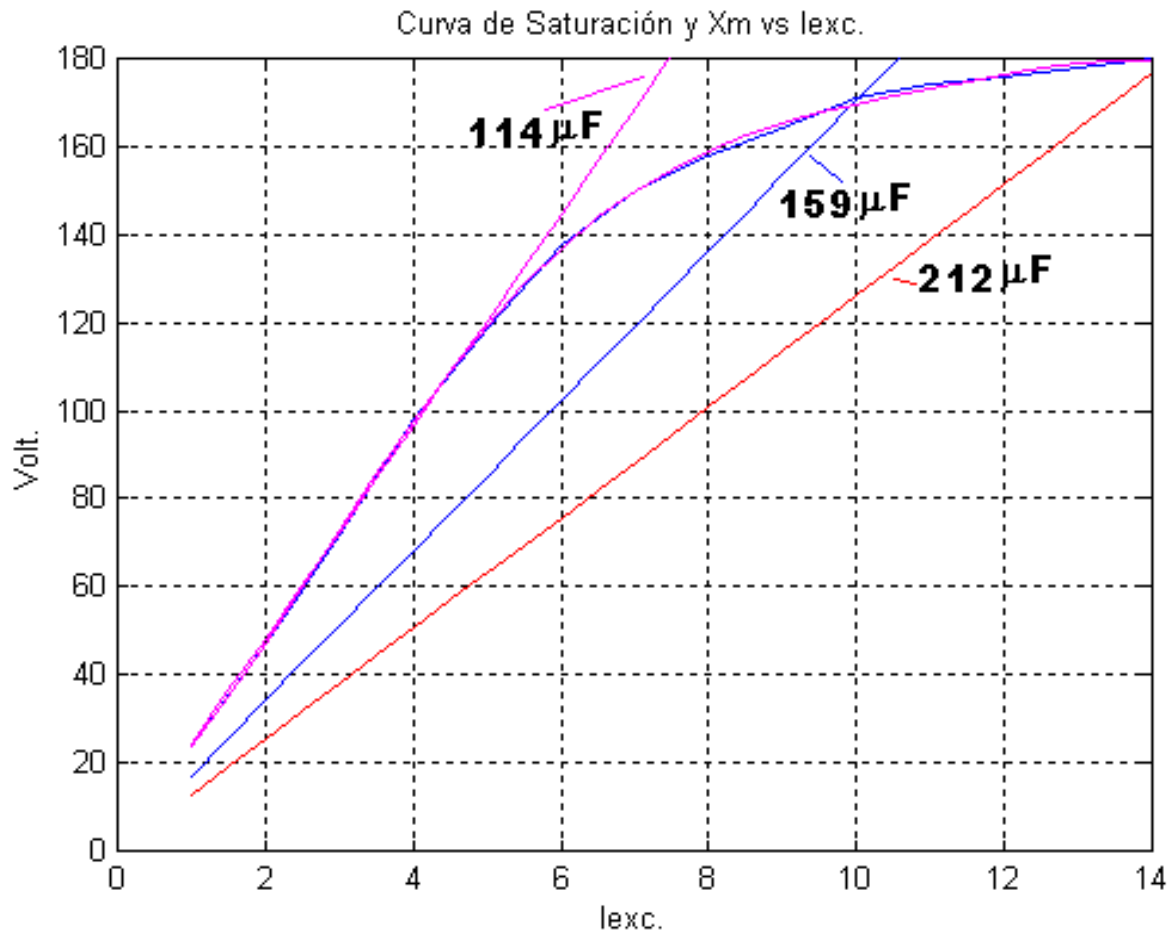
Mientras que por el método de 2,3, para la misma máquina los resultados fueron:

$$\begin{aligned} Z_1 &= 2,896 \, 9 + 1,877 \, i & Z_3 &= -2,624 \, 8 + 1,984 \, 9 \, i \\ Z_2 &= 2,896 \, 9 - 1,877 \, i & Z_4 &= -2,624 \, 8 - 1,984 \, 9 \, i & Z_5 &= 0,9244 \end{aligned}$$

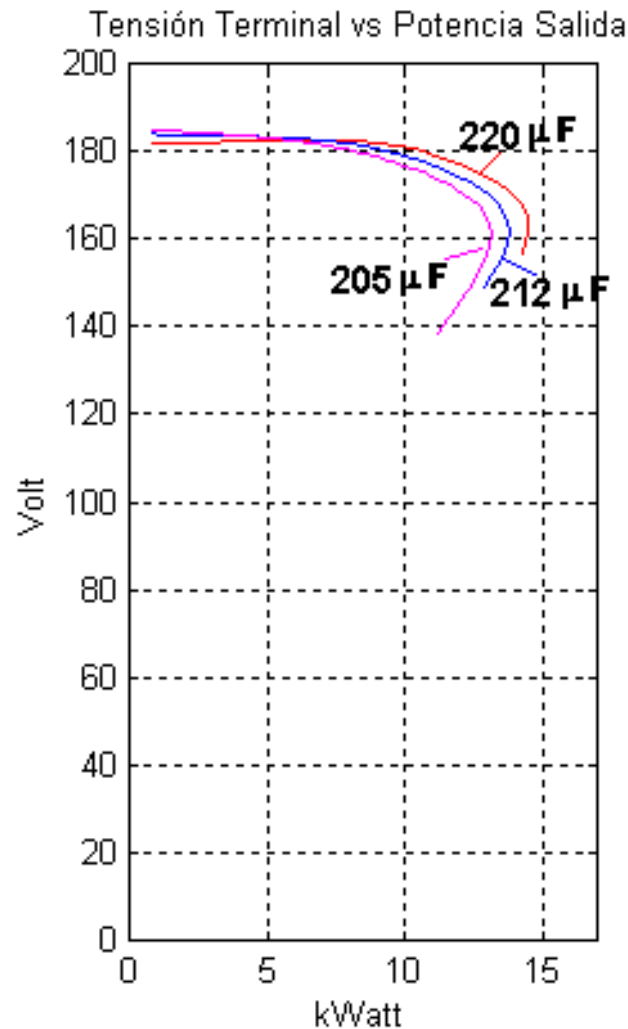
Y la $X_m = 60,99 \Omega$.

En las figuras 2 y 3, se muestran los resultados obtenidos con programas de simulación en Matlab, en las que se observa el comportamiento de un generador asincrónico.

En la figura 2, se muestran las características de saturación de una máquina dada, tanto la determinada experimentalmente, así como la trazada a través del polinomio característico, las cuales prácticamente coinciden, y los voltajes obtenidos para diferentes valores de capacitancia de excitación. En la figura 3, se muestra el comportamiento del voltaje terminal como una función de la potencia de salida para una carga dada y diferentes valores de capacitancia de excitación.



Características de saturación de una máquina experimental, y trazada a través del polinomio característico, así como los voltajes obtenidos para diferentes valores de capacitancia de excitación.



Comportamiento del voltaje terminal como una función de la potencia de salida para una carga dada y diferentes valores de capacitancia de excitación.

3

CONCLUSIONES

Del análisis de los métodos para la determinación de la capacitancia necesaria para la autoexcitación del generador asincrónico se puede señalar:

El método tratado en la referencia 3 obtiene la ecuación característica de la conservación de la energía entre el estator y el rotor, mientras que el de la referencia 1 la obtiene aplicando la segunda Ley de Kirchhoff al circuito equivalente del generador asincrónico. En el caso de carga resistiva pura, la ecuación característica obtenida,² se reduce a un polinomio de 3er. orden, del cual una de las raíces tendrá su parte real positiva, mientras que las otras dos son aproximadamente complejas conjugadas, cayendo en los cuadrantes 2do. y 3ro. respectivamente.

Por otra parte, en la referencia 1 se señala que después de determinar el valor de x_m que hace cero la parte real de la raíz cuya parte real era mayor que cero, se entra en la dependencia de $E_{\phi 0} = f(x_m)$ y se determina el correspondiente valor de $E_{\phi 0}$ para a partir de ahí poder determinar las características de trabajo del generador asincrónico.

De los resultados numéricos se puede concluir que al aplicar los coeficientes,¹ los resultados obtenidos se pueden valorar como ilógicos y que no coinciden con los dados en dicho trabajo,

por lo cual fue necesario la rectificación de los coeficientes, obteniéndose resultados que se pueden evaluar como aceptables, validándose así el programa confeccionado.

REFERENCIAS

1. Tandon, A. K.; S.S. Murthy and G. J. Berg: "Steady State Analysis of Capacitor Self-Excited Induction Generators", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-103, No. 3, p. 612-617, March, 1984.
2. McPherson, G.: "An introduction to Electrical Machines and Transformers", s/f.
3. McPherson G. and L. Ovanzene: "Analysis of the Isolated Induction Generator", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-102, No. 8, p. 2793-2798, August 1983.

AUTORES

Héctor Brito Socarrás

Ingeniero Electricista, Profesor Titular, Departamento de Electroenergética, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba
e-mail: brito@fie.uo.edu.cu

Esther Bermello Crespo

Ingeniera Electricista, Asistente, Departamento de Electroenergética, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba
e-mail: estherb@ee.fie.uo.edu.cu

Rolando Madiedo Comendador

Ingeniero Electricista, Profesor Auxiliar, Departamento de Electroenergética, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba
e-mail: rmadiedo@ee.fie.uo.ud.edu.cu

Excelsa Guerra Cedeño

Ingeniería Electricista, Ministerio de Salud Pública, Granma, Cuba
e-mail: css.grm@infomed.sld.cu

***Disponemos de un departamento informatizado,
dotado con tecnologías que nos permiten realizar
todo el proceso de edición de revistas científicas
así como de otros materiales.***

Visítenos!!!

