

Determinación de parametros del generador síncrono usando pruebas de simulación de rechazo de carga

José de Jesús Reyes Ramírez*, Yosniel†, Luis‡, Gary§, Aylem¶

Universidad de Guadalajara, CUCEI

Maestría en Ciencias en Ingeniería Eléctrica

Guadalajara, Jalisco, México

*jose.reyes0963@alumnos.udg.mx, †@alumnos.udg.mx, ‡@alumnos.udg.mx, §a@alumnos.udg.mx, ¶@alumnos.udg.mx

Abstract—En el presente se muestra como obtener los parámetros estándar del generador síncrono a partir simulaciones de pruebas de rechazo de carga en Matlab/Simulink.

I. INTRODUCCIÓN

El generador síncrono es ...

Los parámetros fundamentales del generador síncrono son:

$r_s, r_{fd}, r_{kd}, r_{kq1}, r_{kq2}, x_{Ls}, x_{1fd}, x_{lkd}, x_{lkq1}, x_{lkq2}, x_{md}$ y x_{mq} . Los cuales se calculan usando relaciones matemáticas.

Los parámetros estándar del generador síncrono son las reactancias síncronas, las reactancias síncronas transitorias, las reactancias síncronas subtransitorias, las constantes de tiempo transitorias y subtransitorias en circuito abierto y las constantes de tiempo transitorias y subtransitorias en cortocircuito; es decir, $x_d, x_q, x'_d, x'_q, x''_d, x''_q, T'_{do}, T'_{qo}, T''_{do}, T''_{qo}, T'_d, T'_q, T''_d, T''_q$.

La identificación de sus parámetros de estado permanente y transitorio es muy importante para el análisis de estabilidad, esto debido a ...

Existen principalmente 2 pruebas para la determinación de parámetros de un generador síncrono, los cuales han obtenido importancia debido al bajo nivel de riesgo y a su facilidad, los cuales son el método de respuesta en frecuencia y el método de rechazo de carga.

La prueba de respuesta en frecuencia consiste en aplicar una corriente con frecuencias que varíen en el rango de 0.001 Hz a 1 kHz, la cual es aproximadamente del % de la corriente nominal. Usando los datos de la respuesta en frecuencia obtenidos de la prueba se determinan parámetros estándar de la máquina, es decir, las constantes de tiempo y las reactancias síncronas, transitorias y subtransitorias de los ejes directo y en cuadratura.

El método de rechazo de carga consiste en realizar pruebas de rechazo de carga en dos puntos operativos, donde las componentes de corriente sólo existan en el eje de interés. La prueba en el eje directo se realiza subexcitando el generador, por lo que debe estar consumiendo potencia reactiva de la red y la potencia activa debe ser despreciable, debido a la excitación insuficiente. Lo cual garantiza la obtención de parámetros no saturados y evita sobretensiones indeseadas durante la prueba.

Los datos que permite obtener la prueba en el eje directo son $x_d, x'_d, x''_d, T'_{do}$ y T''_{do} .

La prueba en el eje de cuadratura se realiza encontrando un punto de carga en el cual el valor absoluto del ángulo del factor de potencia sea igual al ángulo de potencia, esto con el generador subexcitado.

II. PRUEBAS DE RECHAZO DE CARGA PARA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE GENERADORES SÍNCRONOS

Las pruebas de rechazo de carga constituyen una metodología estandarizada según las normas IEEE 115 para la determinación experimental de los parámetros operativos de generadores síncronos. Estas pruebas se realizan mediante la desconexión brusca del generador del sistema de potencia, manteniendo constante la tensión de campo y registrando la respuesta transitoria de las variables eléctricas.

A. Prueba de rechazo de carga en el eje directo $-d-$

La prueba de rechazo de carga en el eje $-d-$ se ejecuta con el generador entregando potencia activa nula y potencia reactiva máxima, condiciones bajo las cuales la corriente de armadura se alinea exclusivamente con el eje directo. Durante el rechazo de carga, se registra el decaimiento transitorio de la tensión terminal, cuyo análisis permite determinar las reactancias síncrona, transitoria y subtransitoria del eje directo (x_d, x'_d, x''_d) así como las constantes de tiempo en circuito abierto (T'_{qo}, T''_{qo})

B. Prueba de rechazo de carga en el eje en cuadratura $-q-$

Para esta prueba, se ajusta la operación del generador de modo que el ángulo de potencia coincida con el ángulo del factor de potencia, logrando que la corriente de armadura posea únicamente componente en cuadratura. El análisis del transitorio de tensión resultante del rechazo de carga permite calcular la reactancia síncrona y subtransitoria del eje q (x_q, x'_q)

C. Prueba de rechazo de carga en el eje arbitrario

Esta prueba representa la metodología más comprehensiva, ya que se realiza con el generador operando en condiciones de carga arbitrarias, con componentes de corriente tanto en el eje directo como en cuadratura. El procesamiento de la respuesta transitoria, particularmente de la componente en cuadratura de la tensión y corriente, permite determinar el conjunto completo de parámetros del eje q ($x_q, x'_q, x''_q, T'_{qo}, T''_{do}$)

III. SIMULACIÓN Y RESULTADOS OBTENIDOS

Para determinar los parámetros del generador se utilizó como base el esquema mostrado en la Fig. 1

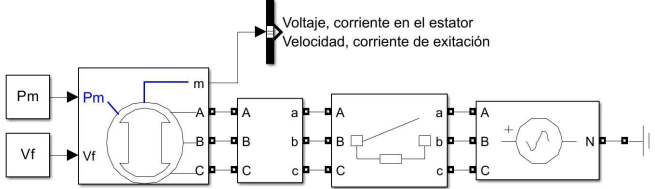


Fig. 1: Modelo base implementado en Simulink

A. Prueba de rechazo de carga en el eje $-d-$

Para esta prueba se verifica antes del rechazo de carga que $P_0 = 0$ pu, $Q_0 = 0.1239$ pu (capacitive load), $V_{t0} = 1$ pu, $i_{t0} = 0.1239$ pu y $v_f = 0.87$ pu.

Para el rechazo de carga en $t = 25$ s, se obtiene el comportamiento para la tensión en los terminales de generador (v_t) mostrados en la Fig. 2.

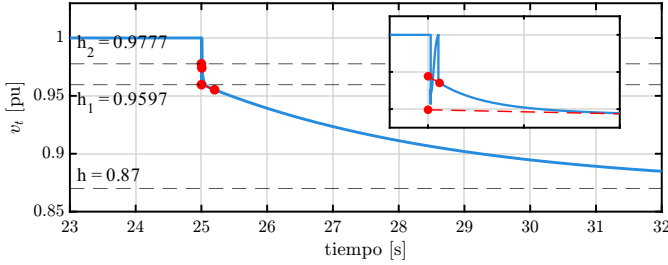


Fig. 2: Voltaje en terminales de la máquina durante el rechazo de carga

Para calcular los valores de reactancias se obtiene las intersecciones en las tendencias del voltaje terminal con el eje del voltaje terminal en el momento que ocurre el rechazo de carga como muestra la Fig. 2. Utilizando estos valores se calculan las reactancias como se muestra a continuación, donde $A = 1 - h_2$, $B = 1 - h_1$ y $C = 1 - h$:

$$x_d = \frac{C}{i_{t0}} = \frac{1 - 0.87}{0.1239} = 1.0492 \text{ pu}$$

$$x'_d = \frac{B}{i_{t0}} = \frac{1 - 0.95965}{0.1239} = 0.3257 \text{ pu}$$

$$x''_d = \frac{A}{i_{t0}} = \frac{1 - 0.97770}{0.1239} = 0.18 \text{ pu}$$

Para determinar las constantes de tiempo de circuito abierto se utiliza la curva de corriente de campo obtenida durante el rechazo de carga mostrado en la Fig. 3

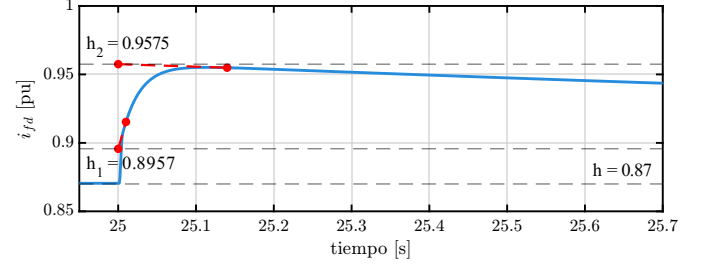


Fig. 3: Corriente de excitación durante el rechazo de carga

B. Prueba de rechazo de carga en el eje $-q-$

Para esta prueba se verifica antes del rechazo de carga que $P_0 = 0.6249$ pu, $Q_0 = 0.3054$ pu (carga capacitiva), $V_{t0} = 1$ pu, $i_{t0} = i_{q0} = 0.6665$ pu, $v_f = 0.87$ pu, $\delta_0 = \varphi_0 = 26.05^\circ$.

Durante esta prueba se obtiene el comportamiento para ω_r y V_t mostrados en las Fig. 4 respectivamente.

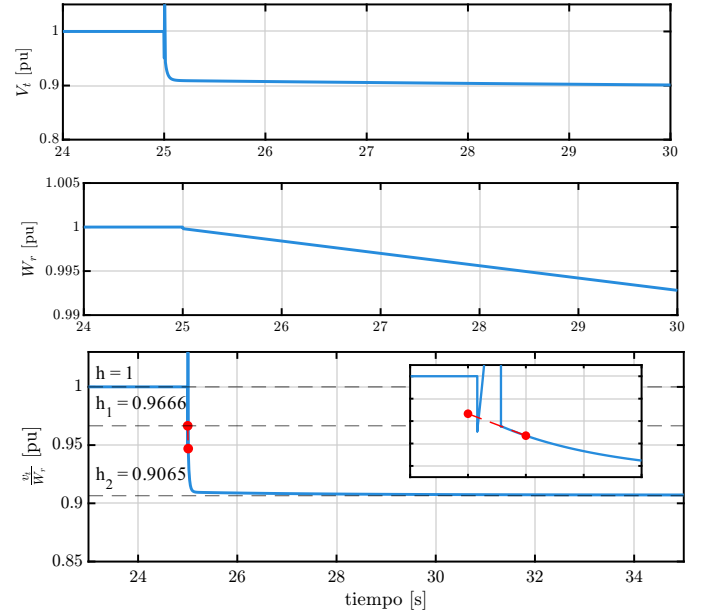


Fig. 4: Comportamiento de V_t y ω_r durante la prueba de rechazo de carga en el eje $-q-$

Para determinar los parámetros de x'_q y x''_q se procede como se muestra a continuación, donde $A = 1$, $B = h_1 = 0.9666$ pu y $C = h_2 = 0.9065$ pu.

$$x_q = \frac{\sqrt{A^2 - C^2}}{i_{q0}} = \frac{\sqrt{1^2 - 0.9065^2}}{0.6665} = 0.6334 \text{ pu}$$

$$x_q'' = \frac{\sqrt{A^2 - C^2} - \sqrt{A^2 - B^2}}{i_{q0}} = \dots$$

$$\dots = \frac{\sqrt{1^2 - 0.9065^2} - \sqrt{1^2 - 0.9666^2}}{0.6665} = 0.2489 \text{ pu}$$

C. Prueba de rechazo de carga en el eje arbitrario

Las cantidades electricas en el instante antesa que se realiza el rechazo de carga son: $P_0 = 0.8437 \text{ pu}$, $Q_0 = 0.5222 \text{ pu}$, $V_t = 1.0003 \text{ pu}$, $i_{t0} = 0.5729 \text{ pu}$, $v_f = 1.7688 \text{ pu}$, $\delta_0 = 20.8946$. Usando las expresiones dadas em ***, en los datos de las Fig.5, los parametros x_q y x_q'' se pueden calcular de la siguiente manera:

$$x_q = \frac{(V_t \sin(\delta))_0}{i_{q0}} = \frac{0.3566}{0.5729} = 0.6224 \quad (1)$$

$$x_q'' = x_q \frac{h}{i_{q0}} = 0.6224 \times \frac{0.2425}{0.5729} = 0.1991 \quad (2)$$

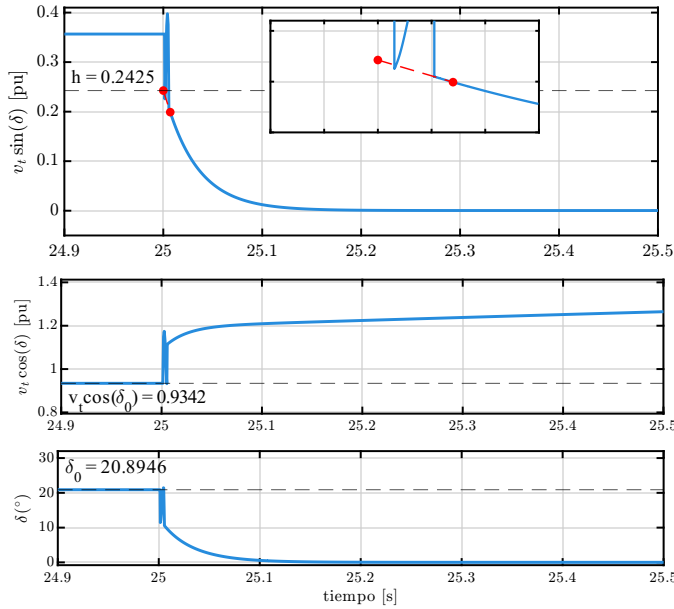


Fig. 5: Comportamiento de V_t y δ_0 durante la prueba de rechazo de carga en el eje arbitrario

D. Resultados generales

IV. CONCLUSIONES

Se concluye que

REFERENCES

- [1] M. H. Rashid, Power Electronics: Devices, Circuits & Applications, Pearson Education, 2013.
- [2] Mohan N., Undeland T. M., Robbins W. P. (2002) Power Electronics: Converters, Applications, and Design, Wiley.

TABLE I: Parametros en p.u.

Parametro	Rechazo de carga en el eje directo	Rechazo de carga en el eje directo	Rechazo de carga en eje arbitrario	Calculados	Valores de diseño
T_{do}'	3.8955	—	—	—	3.7724
T_{do}''	0.0245	—	—	—	0.0238
T_{qo}''	—	—	0.0333	—	0.0334
x_d	1.0492	—	—	—	1.0495
x_q	—	0.6334	0.6224	—	0.6313
x_d'	0.3257	—	—	—	0.3320
x_d''	0.18	—	—	—	0.1963
x_q''	—	0.2489	0.1991	—	0.2496
T_d'	—	—	—	1.2093	1.1939
T_d''	—	—	—	0.0135	0.0140
T_q''	—	—	—	0.0131	0.0132