ESTADO TRANSITORIO DEL GENERADOR DE INDUCCION

Ing. Edgar Salazar V.

Ing. Jorge Mora

Profesor
Escuela Politécnica Nacional.

RESUMEN

Este trabajo realiza el estudio del comportamiento dinámico de la máquina de inducción funcionando como generador autoexcitado. Se desarrolla un modelo digital y se compara los resultados prácticos y de la modelación. Se analiza el estado dinámico del generador de inducción cuando se producen contingencias tales como: variaciones de carga, cortocircuitos y apertura simultánea de las tres fases. Para la modelación matemática se ha hecho uso de la transformación de ejes abc a qdo. Además se incluyen métodos para determinar las condiciones de funcionamiento en estado estable del generador.

1.- INTRODUCCION

Las máquinas de inducción tienen una gran variedad de aplicaciones, debido a su versatilidad, confiabilidad, facilidad de control y bajo costo. Por lo mismo, son objeto de estudios e investigaciones, a fin de conocer sobre su comportamiento, sea este en estado estable o dinámico y la influencia que puede ejercer sobre el sistema del cual forma parte.

Una aplicación de las máquinas de inducción es su funcionamiento como generador. Para este tipo de trabajo, se requiere de una fuente de potencia reactiva, y además, hacer girar al rotor a una velocidad superior a la sincrónica. De este hecho parten las dos formas de funcionamiento como generador; la una cuando se acopla a una barra infinita, que proporciona la potencia reactiva necesaria; y la otra cuando funciona como generador autoexcitado, necesitándose condensadores conectados en sus terminales que proporcionen la potencia reactiva necesaria. Un estudio del generador de inducción autoexcitado, en el que se muestran las características de funcionamiento en estado estable, se presenta en la referencia [1].

El objetivo de este trabajo es realizar un estudio acerca del comportamiento dinámico del generador de inducción autoexcitado, en momentos que se presenten eventualidades tales como: variaciones de carga, cortocircuitos o apertura simultánea de las tres fases. Para esto, se ha hecho uso de una herramienta matemática que es la transformación de ejes abc a qdo al generador de inducción, a los condensadores y a la carga, resultando por tanto un método sumamente apropiado para cumplir con los objetivos propuestos.

También, se incluyen métodos para determinar las condiciones en estado estable del generador. Se incluye además, el comportamiento de un motor de corriente continua con excitación independiente, que para este caso es la máquina motriz.

Para la validación del modelo matemático propuesto, se contrastan los resultados con los presentados de pruebas realizadas en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Facultad de Ingeniería Eléctrica.

El sistema estudiado se muestra en la figura 1. Está compuesto por motor-generador - carga. El motor es de corriente continua de excitación independiente y para este caso es la máquina motriz.

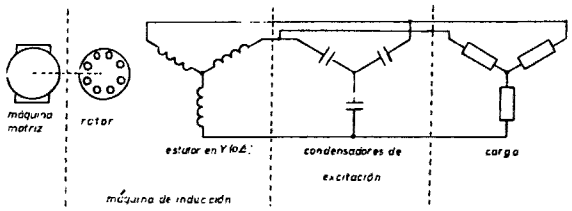


Fig. 1 SISTEMA MOTOR - GENERADOR - CARGA.

2.- EL GENERADOR EN CONDICIONES ESTABLES DE FUNCIONAMIENTO

La figura 2 muestra el circuito equivalente por fase, para el estado estable de un generador de inducción autoexcitado con condensador, bajo carga resistiva, inductiva o capacitiva.

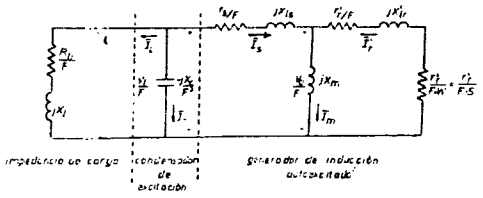


Fig. 2 CIRCUITO EQUIVALENTE POR FASE DEL GENERADOR DE INDUCCION AUTO-EXCITADO

Donde:

V : relación entre la velocidad angular de la máquina de inducción sobre velocidad angular base.
F : relación entre la frecuencia del generador y la frecuencia base.
Rli : resistencia de carga
Xli : reactancia de carga

Las reactancias Xls, X'lr, Xm, Xc, Xli vienen definidas a la frecuencia base.

De la figura 2, se puede determinar la ecuación de lazo para la corriente del estator:

$$Zs\ Is = 0 \qquad (1)$$

Donde Zs es la impedancia de lazo vista por la corriente Is.

Bajo condiciones de autoexcitación, en estado estable la corriente Is es distinta de cero, por lo tanto, para cumplir la ecuación (1) la impedancia Zs dede ser cero, y por ser compleja, tanto la parte real como la imaginaria de esta impedancia deben ser nulas.

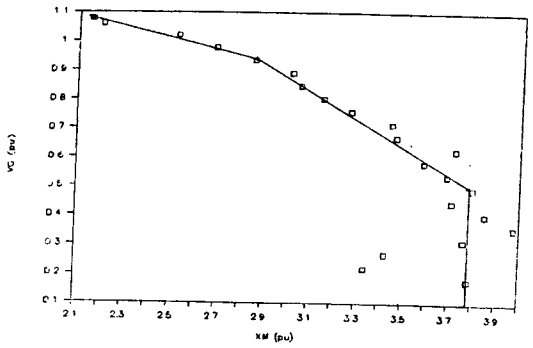


Fig. 3 CARACTERISTICA Vg/F - vs - Xm

Desarrollando con los valores de resistencias y reactancias la impedancia Zs, e igualando las partes real e imaginaria a cero, se puede llegar a dos ecuaciones no lineales que tienen por incógnitas F y Xm:

parte real:

$$\begin{aligned} P(Xm,F) = & (C1(1) + C2(1)\ Xm)\ F^5 \\ & +(C1(2) + C2(2)\ Xm)\ F^4 \\ & +(C1(3) + C2(3)\ Xm)\ F^3 \\ & +(C1(4) + C2(4)\ Xm)\ F^2 \\ & +(C1(5) + C2(5)\ Xm)\ F \\ & +(C1(6) + C2(6)\ Xm) \end{aligned} \qquad (2)$$

parte imaginaria:

$$\begin{aligned} G(Xm,F) = & (D1(1) + D2(1)\ Xm)\ F^5 \\ & +(D1(2) + D2(2)\ Xm)\ F^4 \\ & +(D1(3) + D2(3)\ Xm)\ F^3 \\ & +(D1(4) + D2(4)\ Xm)\ F^2 \\ & +(D1(5) + D2(5)\ Xm)\ F \\ & +(D1(6) + D2(6)\ Xm) \end{aligned} \qquad (3)$$

Donde los coeficientes C1(i), C2(i), D1(i), D2(i) dependen de V, Xc y la carga.

Encontrado F y Xm, se determina Vg/ F de la característica Vg/ F - vs - Xm (Fig 3), para luego por relaciones voltamperimétricas llegar a las otras de variables del circuito.

3.- ECUACIONES DE LA MAQUINA EN LOS EJES a, b, c.

El modelo matemático desarrollado para la máquina de inducción es lineal, se asume la máquina simétrica e ideal, no se considera la saturación magnética, armónicas en la onda de fuerza magnetomotriz (f.m.m); u otros fenómenos que carezcan de linealidad.

Considerar a la máquina de inducción como ideal y simétrica supone las siguientes características:

- Entrehierro uniforme.
- Circuito lineal magnético (despreciar la saturación y la histérisis)
- Los devanados del estator y del rotor deben ser simétricos y distribuidos de tal forma que produzcan una fuerza magnetomotriz de distribución senoidal en el entrehierro.
- Las inductancias propias de los devanados del estator y rotor son independientes de la posición del rotor.
- No se considera la alteración en la resistencia, debido a cambios de temperatura y frecuencia.

Se considera a la máquina como un conjunto de circuitos lineales acoplados, en los cuales los voltajes son proporcionales a las corrientes que las producen.

Se facilita el análisis, al representar una máquina trifásica de dos polos (Fig. 4), donde los devanados del estator se hallan desfazados 120° eléctricos entre sí, de igual manera para el rotor, siendo θr el desplazamiento angular entre los ejes magnéticos del estator y rotor.

Del circuito de la Fig. 4 se lluega a la siguiente ecuación para el voltaje en cualquiera de las tres fases:

$$v = r * i + p\lambda \qquad (4)$$

donde:

v : voltaje por fase
i : corriente por fase
r : resistencia de cada bobina
λ : concatenaciones de flujo totales de una bobina
p : operador d/dt

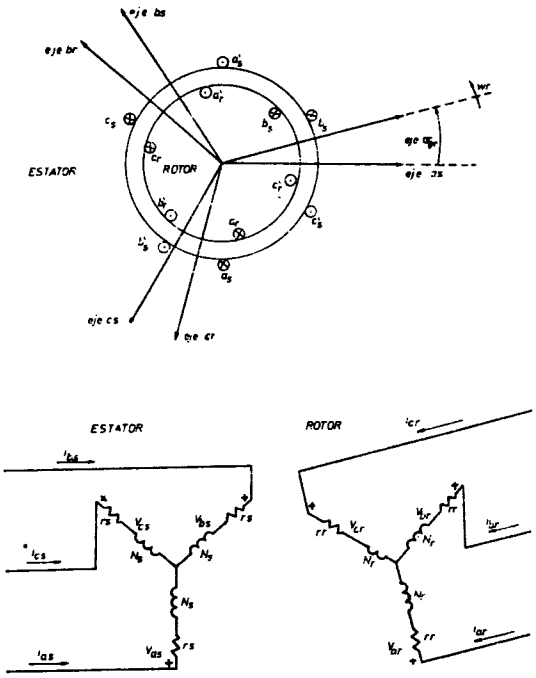


Fig. 4 MAQUINA SIMETRICA TRIFASICA DE DOS POLOS

En forma matricial para los devanados del estator y del rotor los voltajes fase-neutro serán:

$$\begin{bmatrix} [Vabcs] \\ \hline [Vabcr] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [rs] & [0] \\ \hline [0] & [rr] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [iabcs] \\ \hline [iabcr] \end{bmatrix} + p \begin{bmatrix} [\ abcs] \\ \hline [\ abcr] \end{bmatrix} \qquad (5)$$

4.- MODELO MATEMATICO DEL GENERADOR FUNCIONANDO EN CONDICIONES BALANCEADAS.

Las ecuaciones diferenciales para el generador, en los ejes qdo, cuando funciona en condiciones balanceadas y con carga inductiva son:

$$\begin{aligned}
p\psi qs &= we\ Vqs + we\ rs\,\psi mq / Xls - we\ rs\,\psi qs / Xls \\
p\psi ds &= we\ Vds + we\ rs\,\psi md / Xls - we\ rs\,\psi ds / Xls \\
p\psi' qr &= wr\ \psi' dr + we\ r'r\,\psi mq / X'lr - we\ r'r\,\psi' qr / X'lr \\
p\psi' dr &= -\ wr\ \psi' qr + we\ r'r\,\psi md / X'lr - we\ r'r\,\psi' dr / X'lr \\
p\ Vqs &= -\ (we\ Xc / Xls)\ (\psi qs - \psi mq) - (we\ Xc / Xli)\,\psi ql \\
p\ Vds &= -\ (we\ Xc / Xls)\ (\psi ds - \psi md) - (we\ Xc / Xli)\,\psi dl \\
p\psi ql &= we\ Vqs - (we\ Rli / Xli)\,\psi ql \\
p\psi dl &= we\ Vds - (we\ Rli / Xli)\,\psi dl
\end{aligned} \qquad (6)$$

En las cuales:

ψ . concatenaciones de flujo por segundo.

$$\begin{aligned}
\psi qs &= Xls\ iqs + \psi mq \\
\psi ds &= Xls\ ids + \psi md \\
\psi os &= Xls\ ios \\
\psi' qr &= X'lr\ i'qr + \psi mq \\
\psi' dr &= X'lr\ i'dr + \psi md \\
\psi' or &= X'lr\ i'or
\end{aligned} \qquad (7)$$

Despejando las corrientes de las ecuaciones (7)

$$\begin{aligned}
iqs &= (\psi qs - \psi mq) / Xls \\
ids &= (\psi ds - \psi md) / Xls \\
ios &= \psi os / Xls \\
i'qr &= (\psi' qr - \psi mq) / X'lr \\
i'dr &= (\psi' dr - \psi md) / X'lr \\
i'or &= \psi' or / X'lr
\end{aligned} \qquad (8)$$

$$\begin{aligned}
\psi mq &= Xmq\ (\psi qs / Xls + \psi' qr / X'lr) \\
\psi md &= Xmd\ (\psi ds / Xls + \psi' dr / X'lr)
\end{aligned} \qquad (9)$$

donde :

$$\begin{aligned}
Xmq &= 1 / (1/Xm + 1/Xls + 1/X'lr) \\
Xmq &= Xmd
\end{aligned} \qquad (10)$$

5.- ECUACIONES DIFERENCIALES PARA CORTOCIRCUITO TRIFASICO

Las ecuaciones diferenciales para el generador, en los ejes qdo, cuando se produce un cortocircuito trifásico son:

$$\begin{aligned}
p\psi qs &= we\ rs\,\psi mq / Xls - we\ rs\,\psi qs / Xls \\
p\psi ds &= we\ rs\,\psi md / Xls - we\ rs\,\psi ds / Xls \\
p\psi' qr &= wr\ \psi' dr + we\ r'r\,\psi mq / X'lr - we\ r'r\,\psi' qr / X'lr \\
p\psi' dr &= -\ wr\ \psi' qr + we\ r'r\,\psi md / X'lr - we\ r'r\,\psi' dr / X'lr
\end{aligned} \qquad (11)$$

En las cuales ψmq y ψmd vienen definidas por las ecuaciones (9) y (10).

6.- ECUACIONES DIFERENCIALES PARA CORTOCIRCUITO FASE - TIERRA.

Las ecuaciones diferenciales para el generador, en los ejes qdo, cuando se produce un cortocircuito fase - tierra son:

$$p\psi qs = we\ Vqs + we\ rs\,\psi mq / Xls$$

$$
\begin{aligned}
& - we\ rs\ \psi qs\ /\ Xls \\
p\psi ds = \ & we\ Vds + we\ rs\ \psi md\ /\ Xls \\
& - we\ rs\ \ ds\ /\ Xls \\
p\psi os = \ & - we\ Vqs - we\ rs\ \psi os\ /\ Xls \\
p\psi' qr = \ & wr\ \psi' dr + we\ r'r\ \psi mq\ /\ X'lr \\
& - we\ r'r\ \psi' qr\ /\ X'lr \\
p\psi' dr = \ & - wr\ \psi' qr + we\ r'r\ \psi md\ /\ X'lr \\
& - we\ r'r\ \psi' dr\ /\ X'lr \\
p\ Vqs = \ & - (we\ Xc\ /\ 3\ Xls)\ (\psi qs - \psi mq) \\
& + (2\ we\ Xc\ /\ 3\ Xls)\ \psi os \\
& - (we\ Xc\ /\ Xli)\ \psi ql \\
p\ Vds = \ & - (we\ Xc\ /\ Xls)\ (\psi ds - \psi md) \\
& - (we\ Xc\ /\ Xli)\ \psi dl \\
p\ \psi ql = \ & we\ Vqs - (we\ Rli\ /\ Xli)\ \psi ql \\
p\ \psi dl = \ & we\ Vds - (we\ Rli\ /\ Xli)\ \psi dl
\end{aligned}
\tag{12}
$$

En las cuales ψmq y ψmd vienen definidas por las ecuaciones (9) y (10).

7.- ECUACIONES DIFERENCIALES PARA CORTOCIRCUITO FASE - FASE - TIERRA.

Las ecuaciones diferenciales para el generador, en los ejes qdo, cuando se produce un cortocircuito fase - fase-tierra son:

$$
\begin{aligned}
p\ \psi qs = \ & we\ Vqs + we\ rs\ \psi mq\ /\ Xls \\
& - we\ rs\ \psi qs\ /\ Xls \\
p\ \psi ds = \ & - \sqrt{3}\ we\ Vqs + we\ rs\ \psi md\ /\ Xls \\
& - we\ rs\ \psi ds\ /\ Xls \\
p\ \psi os = \ & - we\ Vqs - we\ rs\ \psi os\ /\ Xls \\
p\ \psi' qr = \ & wr\ \psi' dr + we\ r'r\ \psi mq\ /\ X'lr \\
& - we\ r'r\ \psi' qr\ /\ X'lr \\
p\ \psi' dr = \ & - wr\ \psi' qr + we\ r'r\ \psi md\ /\ X'lr \\
& - we\ r'r\ \psi' dr\ /\ X'lr \\
p\ Vqs = \ & (we\ Xc/Xls)\ ((-\psi qs + \psi mq)/6 \\
& + \sqrt{3}\ (\psi ds - \psi md)/6 + \psi os/3) \\
& - (we\ Xc\ /\ Xli)\ \psi ql \\
p\ \psi ql = \ & we\ Vqs - (we\ Rli\ /\ Xli)\ \psi ql
\end{aligned}
\tag{13}
$$

En las cuales ψmq y ψmd vienen definidas por las ecuaciones (9) y (10).

8.- ECUACIONES DIFERENCIALES PARA UNA FALLA FASE - FASE.

Las ecuaciones diferenciales para el generador, en los ejes qdo, cuando se produce un cortocircuito fase - fase son:

$$
\begin{aligned}
p\ \psi qs = \ & we\ Vqs + we\ rs\ \psi mq\ /\ Xls \\
& - we\ rs\ \psi qs\ /\ Xls \\
p\ \psi ds = \ & - \sqrt{3}\ we\ Vqs + we\ rs\ \psi md\ /\ Xls \\
& - we\ rs\ \psi ds\ /\ Xls \\
p\ \psi' qr = \ & wr\ \psi' dr + we\ r'r\ \psi mq\ /\ X'lr \\
& - we\ r'r\ \psi' qr\ /\ X'lr \\
p\ \psi' dr = \ & - wr\ \psi' qr + we\ r'r\ \psi md\ /\ X'lr \\
& - we\ r'r\ \psi' dr\ /\ X'lr \\
p\ Vqs = \ & (we\ Xc\ /\ Xls)(-\psi qs + \psi mq)/4 \\
& + \sqrt{3}\ (\psi ds - \psi md)/4 \\
& - (we\ Xc\ /\ 4\ Xli)(\sqrt{3}\ \psi dl - \psi ql) \\
p\ \psi ql = \ & we\ Vqs - (we\ Rli\ /\ Xli)\ \psi ql \\
p\ \psi dl = \ & - \sqrt{3}\ we\ Vqs - (we\ Rli\ /\ Xli)\ \psi ql
\end{aligned}
\tag{14}
$$

En las cuales ψmq y ψmd vienen definidas por las ecuaciones (9) y (10).

9.- ECUACIONES DIFERENCIALES PARA APERTURA SIMULTANEA DE LAS TRES FASES.

Las ecuaciones diferenciales para el generador, en los ejes qdo, cuando se produce una apertura simultánea de las tres fases son:

$$
\begin{aligned}
p\ \psi' qr = \ & wr\ \psi' dr + we\ r'r\ \psi mq\ /\ X'lr \\
& - we\ r'r\ \psi' qr\ /\ X'lr \\
p\ \psi' dr = \ & - wr\ \psi' qr + we\ r'r\ \psi md\ /\ X'lr \\
& - we\ r'r\ \psi' dr\ /\ X'lr
\end{aligned}
\tag{15}
$$

En las cuales ψmq y ψmd se calculan de la siguiente manera:

$$
\begin{aligned}
\psi mq &= Xm\ \psi' qr\ /\ (Xm + X'lr) \\
\psi md &= Xm\ \psi' dr\ /\ (Xm + X'lr)
\end{aligned}
\tag{16}
$$

Además:

$$
\begin{aligned}
Vqs &= p\ \psi qs\ /\ we \\
Vds &= p\ \psi ds\ /\ we
\end{aligned}
\tag{17}
$$

10.- ECUACIONES DIFERENCIALES DEL COMPORTAMIENTO ELECTROMECANICO.

Se introducen ecuaciones adicionales, tanto para el torque electromagnético desarrollado por el generador como para el torque que entrega el motor DC al generador:

La expresión del Torque Electromagnético, se obtiene considerando lo siguiente:

$$p\ wr = (Te + Tm)/\ J \tag{18}$$

en donde :

- wr : velocidad angular del rotor en radianes mecánicos por segundo.
- Te : torque electromagnético.
- Tm : torque mecánico de entrada.
- J : momento de inercia del conjunto máquina motriz y generador de inducción.

Además:

$$Te = (n/2)*(P/2)*(\lambda' qr\ i'dr - \lambda' dr\ i'qr) \tag{19}$$

- λ : concatenaciones de flujo.
- n : es el número de fases.
- P : es el número de polos.

La ecuación del Torque Mecánico de entrada, se obtiene considerando lo siguiente:

Para el circuito de armadura de un motor DC con excitación independiente se tiene:

$$p\ ia = (Vt - Ea - Ra\ ia)\ /\ La \tag{20}$$

Donde:

- Vt : tensión en bornes del circuito de inducido.
- Ea : tensión inducida.
- ia : corriente de armadura.
- La : autoinducción del circuito de inducido
- Ra : resistencia del circuito de inducido.

Ea es igual a:

$$Ea = Kf\ if\ wr \tag{21}$$

siendo Kf una constante.

El par magnético desarrollado por el motor y entregado al generador es:

$$Tm = Kf\ if\ ia \qquad (22)$$

11.- MODELACION

La modelación del generador de inducción con su máquina motriz y carga, considera las condiciones siguientes:

* Toda la modelación se realiza en un sistema en por unidad.
* Se calcula al generador en condiciones estables de funcionamiento.
* Se calculan las condiciones iniciales de acuerdo al ángulo de falla en el que se produce la falla.
* Se integra las ecuaciones diferenciales con el Método de Runge-Kutta de cuarto orden.
* Se realiza la transformación de qdo a abc.
* Se presentan los resultados.

El diagrama de flujo del programa digital desarrollado para simular al generador, se presenta en la figura 5.

12.- RESULTADOS

Para verificar la bondad del modelo matemático, se seleccionó como ejemplo los parámetros de la máquina de inducción:

Vs = 200V., Is = 6.35085 A.
frecuencia = 60 Hz., 4 polos

Xls = 2.1356 Ω., X'lr = 4.971Ω.
rs = 2 Ω., r'r = 1.8207 Ω.

Puntos de la curva Vg - vs - Xm

P1 : (1.03 , 2.15)
P2 : (0.97 , 2.87)
P3 : (0.6 , 3.77)

Momento de inercia del sistema:

J = 0.1494 [m² Kg / s²]

Parámetros del motor DC:

Va = 110 V., Ia = 18.2 A.
Ra = 0.9784 Ω., La = 18.5475 mH.
Kf = 1.5056 V . s / A.

12.1.- VARIACION DE CARGA:

Condiciones del sistema antes de la falla:

ZB = 34.641 Ω., C = 40 uF., RPM = 1700.
Vdc = 120 V., Rl = 2.0207 p.u.
Vab = 199 V., Ias = 3.9 A., T = 17 ms.
frecuencia = 58.82 Hz.

Se pasa a:

Rli = 2.0207, Xli = 1.4039 p.u.

Angulo de falla en la corriente: -150°

Los resultados de las pruebas experimentales y la simulación para esta falla se presentan en los gráficos 1 y 2, en los cuales se puede ver el comportamiento de la corriente en la fase a del estator.

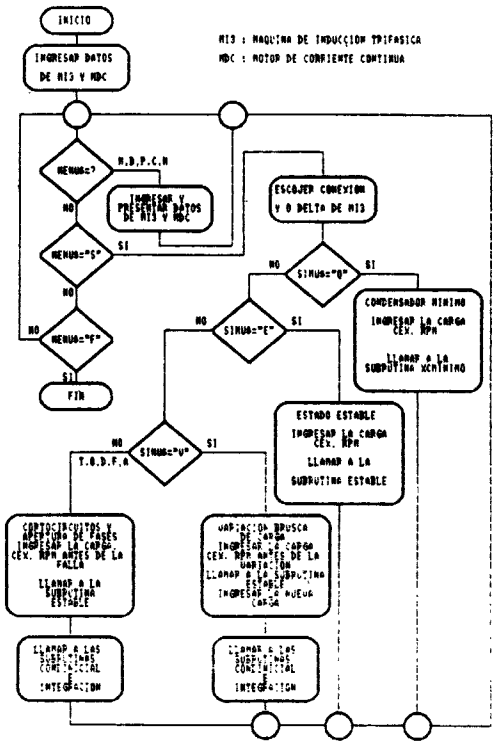
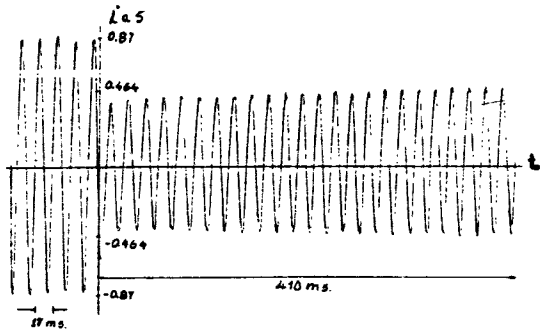


Fig. 5 DIGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA PRINCIPAL



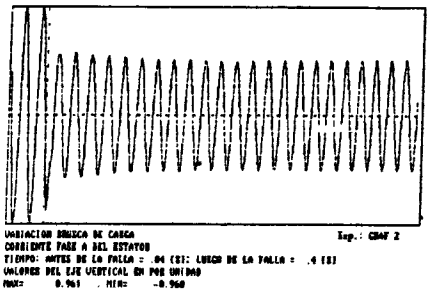


Gráfico 2

12.2.- CORTOCIRCUITOS Y APERTURA SIMULTANEA DE LAS TRES FASES.

Para las condiciones de funcionamiento del sistema antes de producirse la falla indicadas a continuación, se presenta en el gráfico 3 la forma de onda de la corriente en la fase a del estator, y en el gráfico 4 la correspondiente simulación. Además se presentan en los gráficos 5 al 8 las simulaciones para cortocircuito fase - tierra, dos fases-tierra, dos fases y apertura simultánea de las tresa fases.

ZB = 34.641 Ω., C = 40 uF., RPM = 2020.
Vdc = 128 V., Rli = 2.0207.
Xli = 1.4039 p.u., Vab = 225 V.
Ias = 2.55 A., T = 15.25 ms.
frecuencia = 65.57 Hz.

Angulo de falla en la corriente ias =-90°

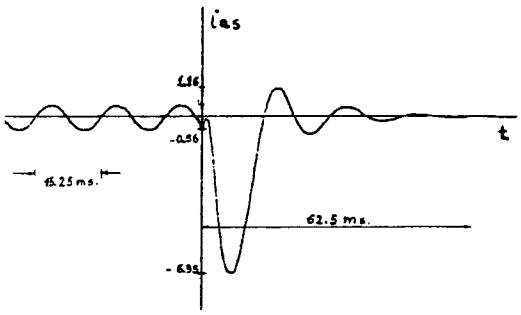


Gráfico 3

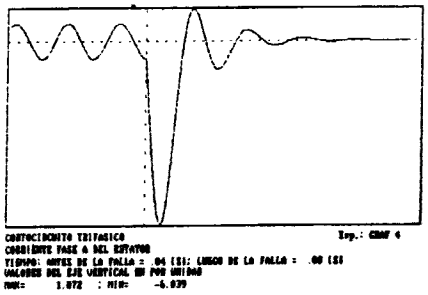


Gráfico 4

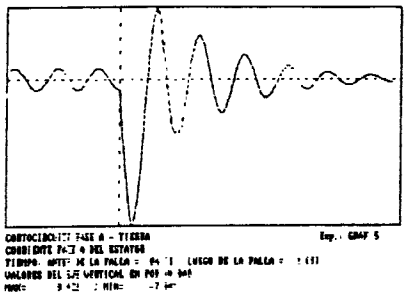


Gráfico 5

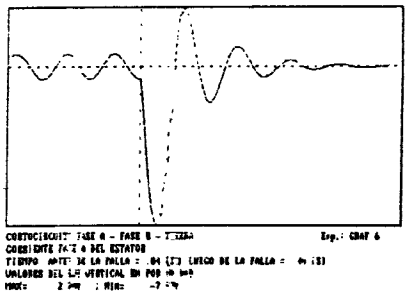


Gráfico 6

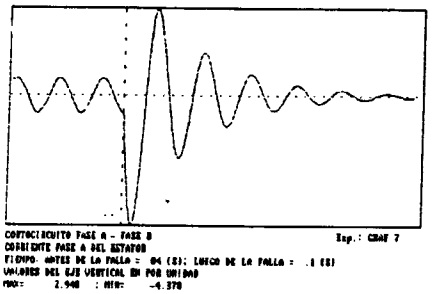


Gráfico 7

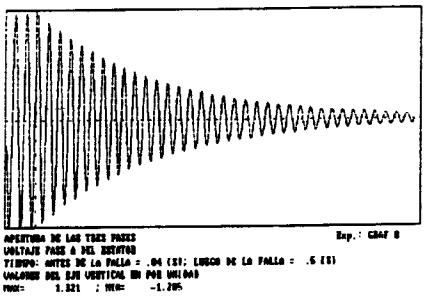


Gráfico 8

13.- CONCLUSIONES.

En el generador de inducción en cortocircuitos al producirse una falla de cortocircuito, la corriente de cortocircuito se hace cero; esto se debe a que el generador de inducción no posee excitación interna. Mientras que en las máquinas sincrónicas mantienen corrientes de cortocircuito.

Al producirse la apertura brusca de las fases, se produce un fenómeno que matemáticamente significa realizar una derivada en una discontinuidad; en este caso la corriente. Por lo tanto, se producirán picos de voltaje elevados en las fases, siendo mayores cuando se tengan valores de corriente máximos. Esto se observa en el gráfico Nº 8.

Se comprueba el hecho de que el generador de inducción no tiene posibilidad de generar potencia reactiva, siendo necesario que ésta provenga de una barra infinita o de condensadores.

La diferencia fundamental entre los generadores de inducción y sincrónicos, radica en que el primero no posee una fuente interna de excitación, por lo cual se hace necesario esta fuente, que para el caso estudiado son condensadores instalados en los terminales de la máquina de inducción. En cambio, al poseer la máquina sincrónica bobina de campo, ésta es su excitación interna. Esto hace que entre otras cosas el generador de inducción baje el factor de potencia del sistema, por ejemplo al estar acoplado a una barra infinita, o no mantenga corriente de falla, ya que en el caso de autoexcitado, los voltajes en los condensadores se hacen cero rápidamente.

La modelación y simulación de fallas realizada en este trabajo, es útil desde el punto de vista de las protecciones que se debe instalar en un generador de inducción, y se ve que son básicamente las mismas que se instalan en un motor de inducción.

Desde el punto de vista técnico, un generador de inducción autoexcitado, es conveniente instalarlo cuando se tenga una máquina motriz en la cual su velocidad no se matenga contante, o sea muy difícl mantenerla.

BIBLIOGRAFIA:

1.- RIVERA FREDDY, La Máquina de Inducción como generador, Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito 1987.

2.- MALIK N.H., MAZI A.A., "Capacitance requirements for Isolated Self Excited Induction Generators", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol EC-2, No. 1, pp 62 - 69, March 1987.

3.- SALAZAR EDGAR, Modelación Digital de un Generador de Inducción en Estado Dinámico, Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito 1990.

4.- MANCERO FERNANDO, Comportamiento dinámico de Motores de Inducción con capacitores serie y paralelo, Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito 1983.

5.- KRAUSE P.C., THOMAS C.H., "Simulation of Symetrical Induction Machinery", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol PAS-84, No. 11, pp 1038 -1053, November 1965.

6.- FITZGERALD A.E., KINGSLEY C.H., KUSKO A., "Teoría y Análisis de las Máquinas Eléctricas", Editorial Hispano Europea, Barcelona 1975.

BIOGRAFIAS:

ING. SALAZAR EDGAR. Nació en Riobamba el 7 de septiembre de 1963. Realizó sus estudios secundarios en el Colegio "Pedro Vicente Maldonado" de la ciudad de Riobamba, obteniendo el título de Bachiller en 1981. Se graduó de Ingeniero en Electrónica y Control en la Escuela Politécnica Nacional en mayo de 1990.

ING. MORA JORGE. Nació en Quito el 2 de febrero de 1958. Se graduó de Ingeniero Eléctrico especialización Potencia en la Escuela Politécnica Nacional en abril de 1983. Egresó del Postgrado en Gerencia Empresarial en la E.P.N. en abril de 1990. Profesor de la Facultad de Ingeniería Eléctrica en el Departamento de Potencia.