



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**LABORATORIO DE CONVERSIÓN DE
ENERGÍA ELECTROMECHANICA III.**

ING. JOSÉ MENDEZ TELLEZ GIRÓN

Apunte 56

LABORATORIO DE CONVERSION

027000-G

DE

FAC. DE INGENIERIA
DOCUMENTACION

ENERGIA ELECTROMECHANICA III

PRACTICA No. 1

CURVAS DE SATURACION EN VACIO Y CON
ROTOR BLOQUEADO DE UN MOTOR DE IN-
DUCCION

G-600710

PROF: Ing. José Méndez T.G.

Alumno: _____

Grupo: _____

PRINCIPIO DEL MOTOR DE INDUCCION POLIFASICO:

Por simplicidad en la explicación del funcionamiento del motor de inducción, trabajaremos con dos fases solamente, pero debemos tener en cuenta que el motor de inducción funciona generalmente con tres fases (trifásicos).

Este tipo de motor de corriente alterna es el más empleado, debido a su fortaleza, simplicidad y poco mantenimiento. Se le llama motor de inducción y funciona basándose en la ley de Faraday y en la de Lenz.

Hay dos tipos de motores de inducción: El motor de inducción con rotor jaula de ardilla, y el motor de inducción con rotor devanado.

En el motor de inducción con rotor jaula de ardilla, como su nombre lo indica, la construcción del rotor se asemeja a la de una jaula de ardilla, es decir, está formada por una serie de conductores unidos en sus extremos por dos placas conductoras también, formando un circuito cerrado.

Dicho conjunto es contenido en una serie de laminaciones, que le dan resistencia mecánica, además sirve principalmente para completar el circuito magnético del campo.

El motor de inducción con rotor devanado, también como su nombre lo indica, se encuentra constituido con rotor laminado, sobre el cual se enrolla un devanado; generalmente trifásico y cuyos extremos se conectan a unos anillos deslizantes, los cuales están conectados a un banco de resistencias variables a través de un grupo de escobillas.

Supongamos, que alimentamos el motor con una línea de corriente bifásica, representada en la fig. V; ahora vamos a estudiar el campo magnético que producen estas dos corrientes en el interior del rotor.

Cuando el ángulo $\theta = 0^\circ$, vemos que solamente existe una corriente, esta es la fase A, observemos la fig. I y como se comporta el flujo.

Cuando el ángulo $\theta = 45^\circ$, observamos que existe corriente en las dos fases - (fase A y fase B) y estas son iguales, veamos en la fig. II como se comporta el flujo.

Cuando $\theta = 90^\circ$ observamos como se comporta el flujo en la fig. III, también - cuando $\theta = 135^\circ$.

Así analizamos las cuatro figuras que representan al motor de inducción y podemos concluir que el flujo gira, es decir, se comporta como un campo giratorio.

En el campo magnético, por efecto de la ley de Faraday, induce en el rotor - una tensión, la cual al encontrarse en un circuito cerrado produce una corriente. En este caso el efecto de ley de Lenz ocasiona una reacción tal en el rotor, tratando de oponerse a la causa que produjo la fuerza electromotriz; como dicha causa fué el campo magnético giratorio, el rotor girará en el mismo sentido que este último.

La velocidad del rotor no puede ser igual a la velocidad del campo magnético - ya que en el momento de ser iguales las velocidades del rotor y del campo magnético, dejaría de existir tensión inducida y por lo tanto cesaría la fuerza - de arrastre, parándose en ese instante el motor.

La diferencia de velocidades del rotor y del campo magnético, se llama deslizamiento.

$$S = \frac{N - N_o}{N}$$

S = deslizamiento

N = Velocidad síncrona.

N_o = Velocidad del rotor, o velocidad real.

A este tipo de motores se les conoce con el nombre de motores subsíncronos y - también como motores asíncronos.

La velocidad síncrona esta dada por la siguiente ecuación:

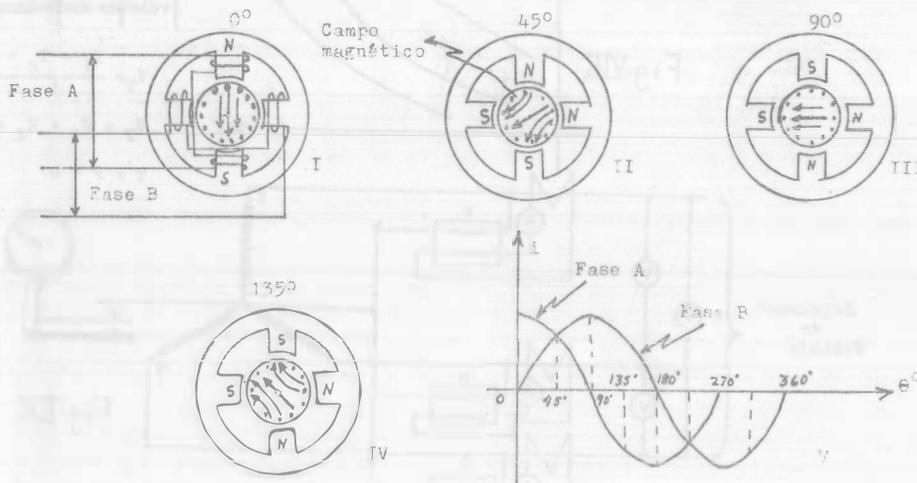
$$N = \frac{120 f}{P}$$

f = Frecuencia.

P = Número de polos.

a).- CURVAS DE SATURACION EN VACIO.

La saturación en vacío, nos indica el estado de saturación del circuito magnético, además nos ayuda a determinar de una manera más o menos precisa, las pérdidas que por fricción y ventilación que posee el motor; así -

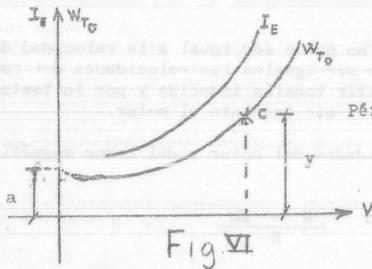


como las pérdidas en el núcleo y en el cobre en vacío.

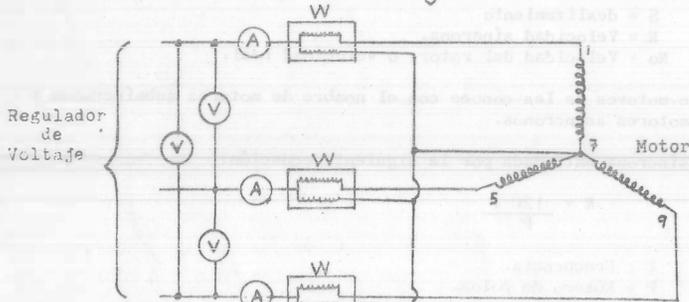
La prueba consisten en trabajar al motor sin carga, permitiéndole que opere durante 15 ó 20 minutos, con objeto de permitir al menos que los baleros se acerquen a su temperatura de operación. A continuación se operará la máquina hasta cerca de un 125% de su voltaje nominal o si la saturación es alta, bastará con el 125%. Así se tomarán los valores de corriente, voltaje y potencia. Posteriormente registrarán lecturas en partes subsecuentes y decrecientes hasta un punto tal, donde la reducción en voltaje ya no reduzca los valores de corriente. En este punto la máquina deberá pararse. Nuevamente deberá aplicarse un valor reducido de voltaje e incrementándolo paulatinamente hasta que la máquina arranque suavemente; a este punto se le denomina "tensión mínima de arranque"

Las pérdidas de fricción y ventilación, son practicamente constantes ya que la máquina girará en vacío y por lo tanto cerca de la velocidad síncrona.

La curva de potencia incluiría pérdidas magnéticas eléctricas en vacío y de fricción y ventilación, como las dos primeras son aproximadamente proporcionales al cuadrado del voltaje la parte inferior de esta curva representará de hecho a las pérdidas de fricción y ventilación, por lo que esta porción será aproximadamente una línea recta, la cual extrapolada a su intersección con el eje vertical nos dará el valor de estas últimas pérdidas.



a = Pérdidas mecánicas (Fricción y Ventilación)
 Pérd. Magnéticas (c) = y - a - Perd. Elect. y Vacío.
 En que:
 Perd. Elect. = 3 I² Rest.



$$I_E = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3}$$

$$W_{T_0} = W_1 + W_2 + W_3$$

V	I _T	W _{T0}
valor de Creciente	↓	↓

Fig. VII

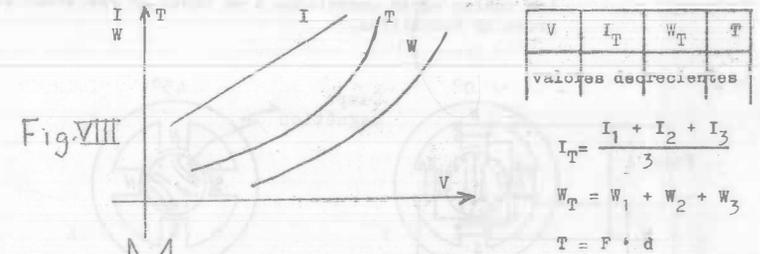
b).-CURVAS DE SATURACION CON ROTOR BLOQUEADO.

El objeto de esta prueba es el determinar la intensidad de la corriente, el par y el factor de potencia en el arranque. Estando el rotor frenado los devanados se calentarán demasiado, por está razón no es recomendable hacer la prueba a tensión nominal, a menos de que se trate de máquinas pequeñas o de baja velocidad; sin embargo, cuando está prueba se requiere a tensión nominal, pueden calcularse los valores por extrapolación, cuyas formulas son:

$$I_n = \frac{V_n}{V_1} (I_1) \quad T_n = \frac{(V_n)^2}{(V_1)^2} (T_1) \quad W_n = \frac{(V_n)^2}{(V_1)^2} (W_1)$$

Los valores de tensión que se aplicarán serán menores de la tensión nominal, y en forma decreciente a fin de estabilizar la temperatura.

En la figura B, se representan las curvas correspondientes y el diagrama de conexiones.



$$I_T = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3}$$

$$W_T = W_1 + W_2 + W_3$$

$$T = F \cdot d$$

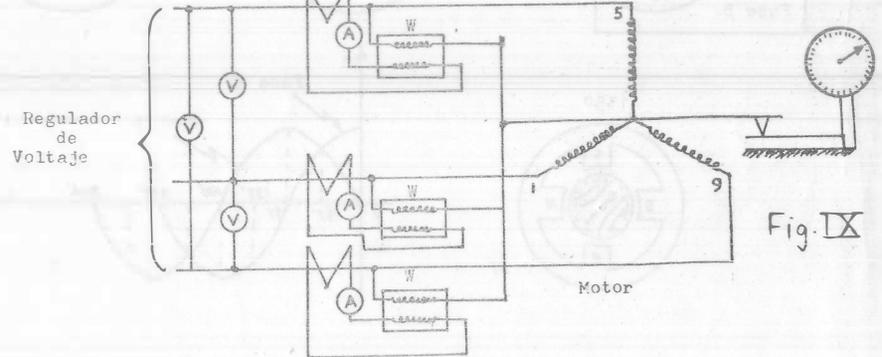


Fig. IX

LABORATORIO DE CONVERSION

DE

ENERGIA ELECTROMECHANICA III

PRACTICA No. 2

DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS DE
UN MOTOR DE INDUCCION, EN BASE AL DESA-
RROLLO DEL CIRCUITO EQUIVALENTE.

FAC. DE INGENIERIA
DOCUMENTACION

PROF: Ing. José Méndez T.G.

Alumno: _____

Grupo: _____

OBJETIVO: DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS DE UN MOTOR DE INDUCCION, EN BASE AL DESARROLLO DEL CIRCUITO EQUIVALENTE.

DESARROLLO: Por cursos anteriores se ha determinado que el motor de induccion con bastante aproximacion se representa por un diagrama electrico equivalente, parecido al del transformador, agrupando los elementos que representan a la corriente de excitacion a la izquierda, se obtiene la siguiente figura:

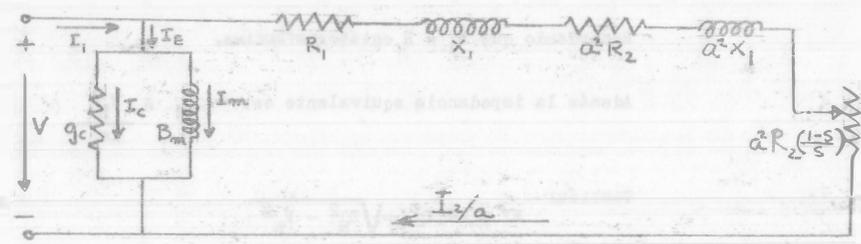


Fig. 1

En donde puede verse que:

$$I_1 = I_E + \frac{I_2}{a}$$

Haciendo notar además que el circuito se ha establecido para una sola fase.

De la curva de saturación en vacío se obtuvieron los siguientes parámetros:

$$V_1, I_E, W_{e0}$$

Es importante aclarar en este punto, que estos últimos valores deberán considerarse para condiciones nominales a voltaje nominal, por lo que de la curva de saturación en vacío (fig. 2) los valores mostrados deberán transformarse a tales condiciones:

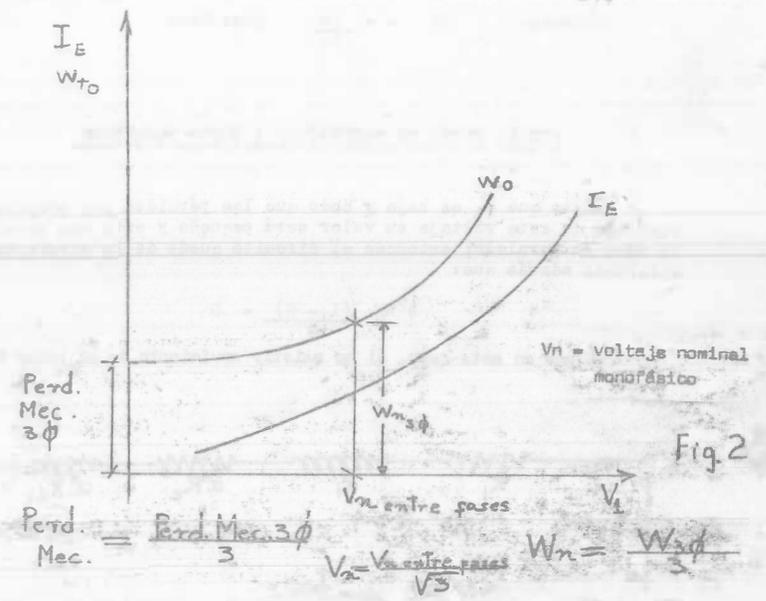


Fig. 2

$$Perd. Mec. = \frac{Perd. Mec. 3\phi}{3}$$

$$V_n = \frac{V_{entre\ fases}}{\sqrt{3}} \quad W_n = \frac{W_{mef}}{3}$$

Tenemos entonces que:

$$Pérd. Magn. = W_n - Pérd. Mecánicas - (I_E^2 R \text{ estator})$$

En este caso R estator = 1.1 a 1.25 valor de la Rcd. (efectiva)

$$\text{También: } Pérd. Magn. = V_n^2 g_c; \quad g_c = \frac{Pérd. Mag.}{V_n^2} \text{ mho/fase.}$$

$$\text{Por otro lado: } V_n = \frac{I_c}{g_c}$$

$$\text{Despejando } I_c. \quad I_c = V_n g_c$$

Tenemos en el diagrama que:

$$I_m = \sqrt{I_E^2 - I_c^2}$$

Entonces: $R_m = - \frac{I_m}{V_n}$ mhos/fase

DE LA CURVA DE SATURACION A ROTOR BLOQUEADO

Puesto que V_B es bajo y dado que las pérdidas son proporcionales al cuadrado de este voltaje su valor será pequeño y esto nos permite anular la rama en paralelo, entonces el circuito queda de la siguiente manera, considerando además que:

$$a^2 R_2 \frac{(1-s)}{s} = 0$$

Ya que en este caso, al no existir movimiento en el rotor $s = 1$.

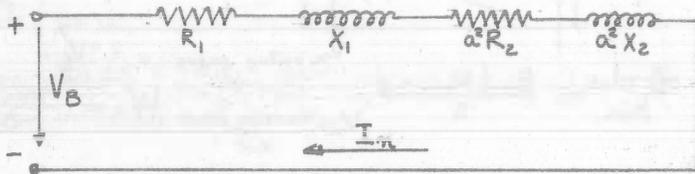


Fig. 3

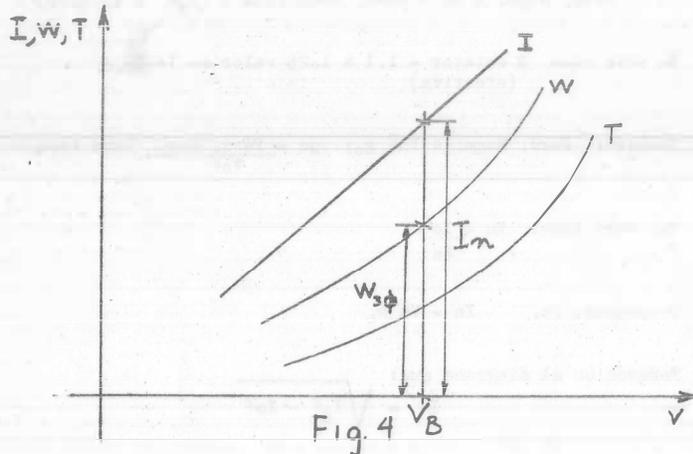


Fig. 4

Se tiene que: $W_B = \frac{W_{3\phi}}{3} = \frac{W_1 + W_2 + W_3}{3}$ para $I = I_n$

Por el diagrama: $I_n^2 (R_1 + a^2 R_2) = W_B$ (figura 3)

Por lo tanto: $R_1 + a^2 R_2 = \frac{W_B}{I_n^2} = R_E$ (resistencia equivalente)

Por lo que: $a^2 R_2 = \frac{W_B}{I_n^2} - R_1$

Recordando que $R_1 = R$ estator efectiva.

Además la impedancia equivalente es: $Z_E = \frac{V_B}{I_n}$

También: $X_1 + a^2 X_2 = \sqrt{Z_E^2 - R_E^2}$

Sustituyendo Z_E y R_E por sus valores.

$$X_1 + a^2 X_2 = \sqrt{\left(\frac{V_B}{I_n}\right)^2 - \left(\frac{W_B}{I_n^2}\right)^2}$$

Para la determinación de las reactancias nos referimos a la siguiente tabla:

Clase Nema	X_1	$a^2 X_2$
A	$0.5 X_E$	$0.5 X_E$
B	$0.4 X_E$	$0.6 X_E$
C	$0.3 X_E$	$0.7 X_E$
D	$0.5 X_E$	$0.5 X_E$
Rotor devanado	$0.5 X_E$	$0.5 X_E$

Determinación del % de eficiencia (η).

Utilizando el siguiente circuito, bajo condiciones nominales.

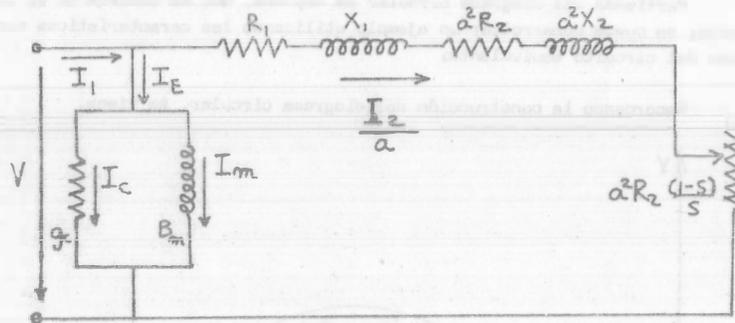


Fig.5

Sabemos que: $\% \eta = \frac{\text{Potencia de salida} \times 100}{\text{Potencia de entrada}} = \frac{\text{Pot. salida.} \times 100}{\text{Pot. salida} + \text{Pérd.}}$

En que pérdida = Pérd. Mag. + Pérd. Mec. + Pérd. Eléct.

Por otro lado: $\text{Pot. salida} = \left(\frac{I_2}{a}\right)^2 \times a^2 R_2 \frac{(1-S)}{S}$

Ahora las pérdidas por efecto joule en el cobre, son iguales a:

$$P_{cu1} = \left(\frac{I_2}{a}\right)^2 R_1$$

$$P_{cu2} = \left(\frac{I_2}{a}\right)^2 a^2 R_2$$

Por supuesto los valores de las resistencias R_1 y R_2 son efectiva (es decir 1.25 de R_{0q}) y extrapoladas al valor de la temperatura nominal de operación. Según la siguiente expresión:

FAC. DE INGENIERIA
DOCUMENTACION

$$\frac{R_{t1}}{R_{t2}} = \frac{234.5 + t_1}{234.5 + t_2}$$

Reagrupando los valores de la resistencia del circuito secundario:

$$a^2 R_2 + a^2 R_2 \frac{(1-S)}{S}; \quad a^2 R_2 + a^2 R_2 - S a^2 R_2 = \frac{a^2 R_2}{S}$$

Del valor de la impedancia:

$$Z = \frac{V_n}{\frac{I_2}{a}} = \sqrt{\left(R_1 + \frac{a^2 R_2}{S}\right)^2 + (X_1 + a^2 X_2)^2} \quad (\text{ohms})$$

De aquí podemos despejar "S" siendo desde luego posible calcularla - por medio de iteraciones hasta obtener un valor igual a Z.

Para obtener el par: $T = \frac{\text{Pot. salida}}{\text{Velocidad angular real (rad/seg.)}}$

$$T = \frac{(I_2/a)^2 a^2 R_2 \frac{1-S}{S}}{\omega_m}$$

$$\omega_m = \frac{2\pi}{60} \times N_r$$

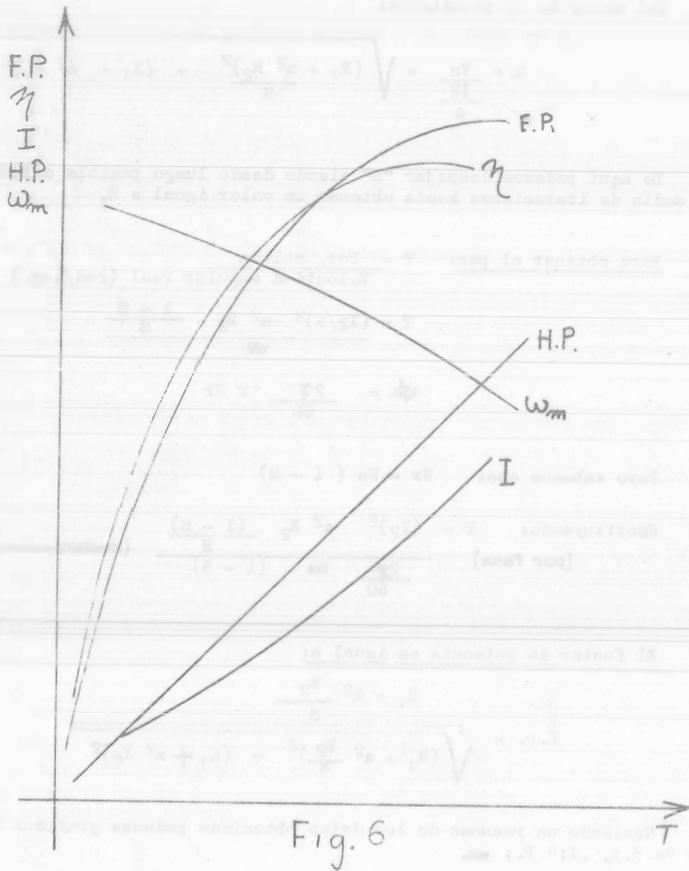
Pero sabemos que: $N_r = N_s (1-S)$

Sustituyendo: $T = \frac{(I_2)^2 a^2 R_2 \frac{(1-S)}{S}}{\frac{2\pi}{60} N_s (1-S)}$ (Newton-metro)

El factor de potencia es igual a:

$$f.p. = \frac{R_1 + a^2 \frac{R_2}{S}}{\sqrt{\left(R_1 + a^2 \frac{R_2}{S}\right)^2 + (X_1 + a^2 X_2)^2}}$$

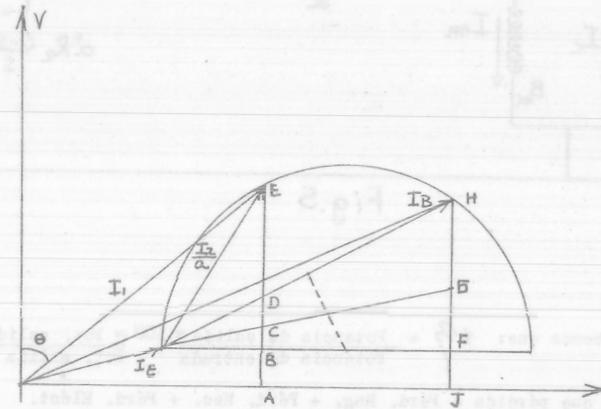
Haciendo un resumen de los datos obtenidos podemos graficar las curvas de P.P., I;H.P.; ω_m .



Ejemplo práctico:

Partiendo del diagrama circular de Heyland, que se estudió en el curso pasado, se puede desarrollar un ejemplo utilizando las características analíticas del circuito equivalente.

Recordando la construcción del diagrama circular, se tiene.



Tomando un punto cualquiera E y determinando gráficamente la magnitud de las corrientes I, e I_2 se puede determinar analíticamente según el método expuesto los valores de eficiencia (η), factor de potencia (cos ϕ) y par (T) a partir del valor de I_2 .

a

Posteriormente estos mismos valores podrán comprobarse gráficamente, utilizando el diagrama anterior.

Así se recordará que:

Eficiencias: $\% \eta = \frac{DE}{AE} \times 100$

Factor de potencia:

Se mide directamente el ángulo θ y de este valor se determina $\cos\theta$.

FAH:

$$T = 9.55 \frac{n v CE}{Ns} \text{ (Newton-metro)}$$

$$T = 0.975 \frac{n v CE}{Ns} \text{ (kg-metro)}$$

$$T = 7.04 \frac{n v CE}{Ns} \text{ (lb-pie)}$$

En que: n = número de fases.

Obviamente el par que así se obtiene es el par total del motor.

Desde luego que el valor CE deberá estar representado en amperes obtenido a partir del valor de la escala del diagrama.

FAC. DE INGENIERIA
DOCUMENTACION

LABORATORIO DE CONVERSION

DE

ENERGIA ELECTROMECANICA III

PRACTICA No. 3

OBTENCION DE LAS CURVAS PAR-VELOCIDAD
DE UN MOTOR DE INDUCCION.

FAC. DE INGENIERIA
DOCUMENTACION

PROF: Ing. José Méndez T.G.

Alumno: _____

Grupo: _____

OBTENCION DE LAS CURVAS PAR-VELOCIDAD DE UN MOTOR DE INDUCCION

De estudios anteriores, conocemos la curva de la figura 1. En ella podemos identificar, claramente, dos regiones que corresponden a las zonas de operación inestable y operación estable de un motor de inducción.

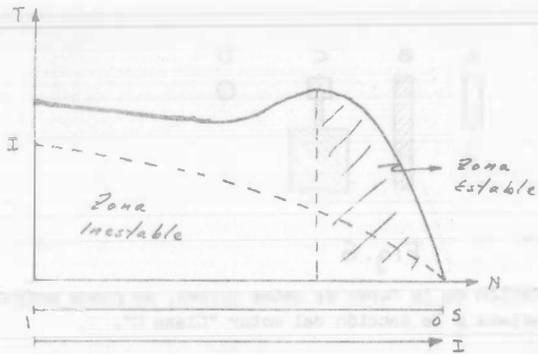


FIG. 1

La curva es considerablemente afectada por un parámetro propio del motor que es el de la resistencia del rotor, la cual da característica blanda o dura a la máquina.

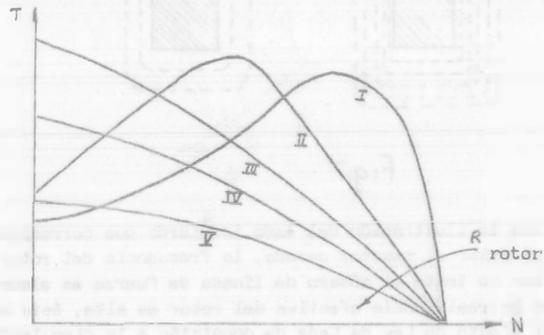


FIG. 2

Los motores con característica blanda son los que tienen curva más inclinada (pendiente negativa menor).

Para una misma condición de par, un motor con curva semejante a la III, de característica blanda, debe disminuir más sus revoluciones que un motor con curva semejante a la I, de característica dura.

En las normas de la "National Electrical Manufacturers Association" (NEMA), los motores se clasifican designándolos mediante letras, de acuerdo con la relación entre la intensidad de la corriente de arranque y la nominal.

Los cuatro patrones o curvas características principales a las cuales se asocia la mejoría de los motores, son las mostradas en las figuras 3 y 4.

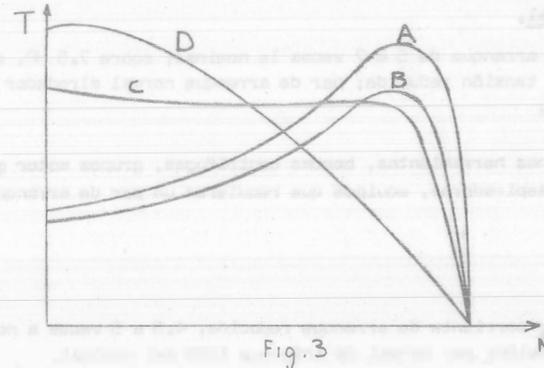


Fig. 3

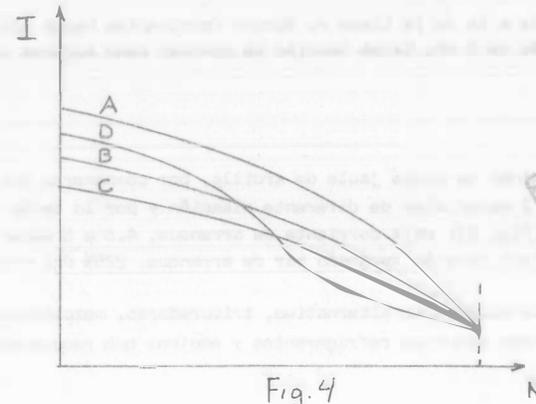


Fig. 4

FAC. DE INGENIERIA
DOCUMENTACION

Motores de rotor devanado.

La ventaja de los motores de rotor devanado, es poder lograr cualquiera de las curvas de la figura 2, ya que la conexión de las terminales del embobinado del rotor a un grupo de resistencias externas, permite variar la resistencia de dicho rotor y por lo tanto variar la curva a las características requeridas.

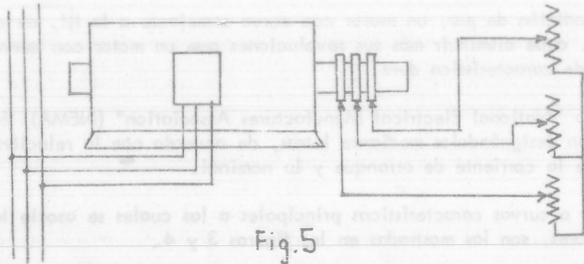


Fig.5

Clase A o tipo normal.

Corriente normal de arranque de 5 a 7 veces la nominal; sobre 7.5 HP, se requiere arranque con tensión reducida; par de arranque normal alrededor del 150% del de régimen.

Aplicaciones: Máquinas herramientas, bombas centrifugas, grupos motor generador, ventiladores, aspiradoras, equipos que requieren un par de arranque bajo.

Clase B.

Con alta reactancia; corriente de arranque reducida, 4.5 a 5 veces a nominal; arranque a plena tensión; par normal de arranque 150% del nominal.

Aplicaciones: Semajante a la de la Clase A. Muchos fabricantes hacen sólo motores de Clase B de más de 5 HP. Estos también se conocen como motores de ranura profunda.

Clase C.

Estos motores se denominan de doble jaula de ardilla, por componerse los conductores de estos por 2 materiales de diferente aleación y por lo tanto de diferente resistividad (fig. 6); baja corriente de arranque, 4.5 a 5 veces la nominal, arranque a plena tensión devanado par de arranque, 225% del nominal.

Aplicaciones: Bombas de movimiento alternativo, trituradoras, mezcladoras, compresores de aire, grandes máquinas refrigerantes y equipos que requieran un par de arranque.

Clase D.

Alta resistencia. Baja corriente de arranque; arranque a plena tensión, elevado par de arranque, 275% del nominal.

Aplicaciones: Prensas de embutir, gillotinas, martinets, pequeñas gruas, máquinas con volante, centrifugas de azucareras.

Para la determinación de las curvas características, se considera también la forma de las ranuras, (ver figura 6).

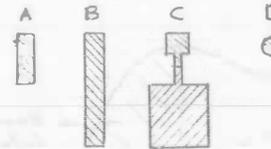


Fig.6

La interpretación de la forma de estas curvas, se puede entender fácilmente - si nos referimos a la sección del motor "Clase C".

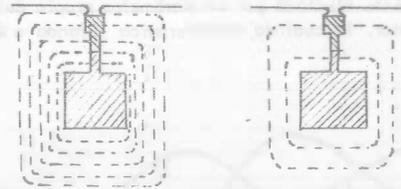


Fig.7

Observase que la ilustración del lado izquierdo que corresponde al punto de arranque, al estar el reactor parado, la frecuencia del rotor es la misma del estator y por lo tanto el número de líneas de fuerza es elevado, en estas circunstancias la resistencia efectiva del rotor es alta, ésto ocasionado por un lado por el efecto de Ley de Lenz de oposición a la circulación de corriente que es mayor en la parte inferior y por otro lado por la alta resistencia de la parte superior.

En las condiciones de marcha la frecuencia del rotor disminuye y con ello el número de líneas de fuerza, lo cual permite una circulación mayor de corriente, principalmente en la parte inferior. Con ésto se logra aproximar la forma de la curva a la indicada por el número III (fig. 2) durante el arranque y a la marcada por el número I (fig. 2) en condiciones de marcha.

El resultado neto lo representa la curva "c" de la figura 3.

Nótese que en el caso del motor de ranura profunda clase "B" se tiene un efecto semejante, excepto mas atenuado al usarse el conductor de esa forma.

Obsérvese que todas las ranuras del motor excepto en el de rotor devanado son completamente cerradas. En la Clase B se obtiene una elevada reactancia y una corriente de arranque reducida, por medio de ranuras profundas y angostas. En la Clase C, la corriente reducida y el gran par de arranque se consiguen con rotores de doble jaula de ardilla. En la Clase D, estas mismas características se obtienen disponiendo en el rotor un devanado de alta resistencia. Debe observarse que este motor se adapta sólo a un trabajo intermitente con arranque y paros sucesivos y no a los casos en que se requiere velocidad constante, ya que su deslizamiento es demasiado elevado y su rendimiento demasiado reducido.

Determinación de la prueba.

En esta prueba debido a las condiciones anormales a que se sujeta al motor, la temperatura de los devanados también se eleva, por lo que es conveniente efectuarla bajo condiciones de voltaje reducido y posteriormente extrapolar los valores obtenidos al voltaje nominal.

El objeto primordial de esta prueba es la obtención del valor del par máximo - que el motor puede desarrollar, aunque en muchos casos se toma un gran número de lecturas. Para trazar las curvas unos 10 ó 12 puntos bien elegidos, son suficientes.

El electrodinámometro, que es indispensable en esta prueba se va excitando lenta y progresivamente para cargar al motor acoplado a él hasta el punto en que el par leído sobre la báscula deja de aumentar aunque la velocidad siga disminuyendo.

La lentitud de la aplicación de la carga es primordial, sobre todo en las cercanías de dicho punto en que el par leído sobre la báscula debe de aumentar - aunque la velocidad siga disminuyendo.

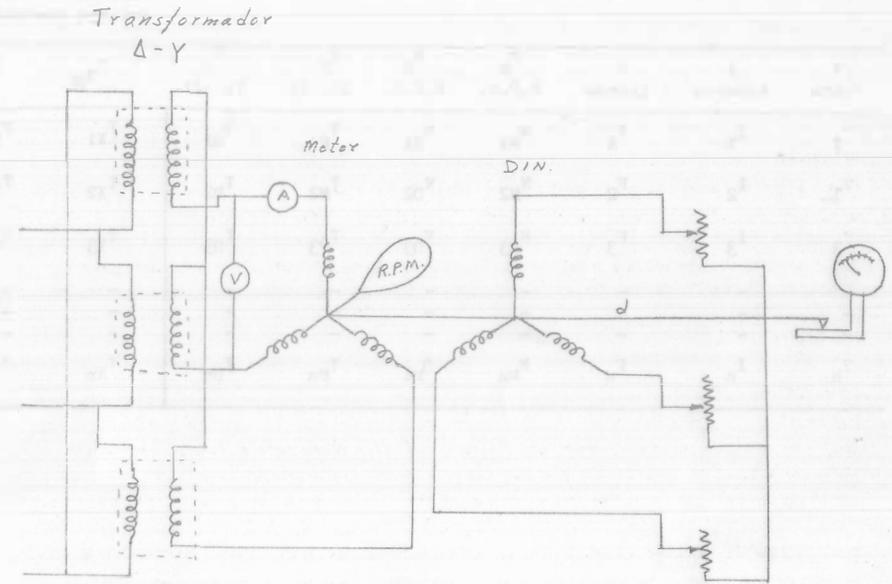
La lentitud de la aplicación de la carga, sobre todo en las cercanías de este punto, tiene por objeto evitar lecturas falsas de pares mayores, debido a la energía cinética de rotación del conjunto motor-electrodinámometro. Después -

de este punto y a velocidades menores, se tomarán otras lecturas.

En algunos diseños existe un par mínimo, menor aún que el de arranque, y su valor, así como el de la velocidad a que ocurre necesitan conocerse. Para obtener estos datos, se arranca el motor con la máxima carga que resista - (casi frenado) y se disminuye lentamente la excitación del electrodinámometro, hasta que el par leído sea el mínimo, aunque la velocidad siga aumentando; éste sería el par buscado.

Para la parte de arranque, se utilizan los valores obtenidos de otro de las pruebas; la curva de rotor bloqueado. Estas pruebas se llevan a cabo a tensión aplicada constante y lo más cerca posible de la normal, cuando esto no sea posible, los valores de par e intensidad de corriente, se corregirán por esa variación de tensión.

El diagrama de las conexiones necesarias para la obtención de la curva par-velocidad es el mostrado en la figura 8.



REGULADOR DE INDUCTANCIAS

Figura 8

El acoplamiento de ambas máquinas debe ser directo. En nuestro caso, por limitación de equipo, tenemos que reducir al acoplamiento por banda, con poleas de diámetro diferente, debido a lo cual, habremos de considerar que:

$$T_M^N = T_D^N \text{ del acoplamiento.}$$

Aunque esta eficiencia no la podemos medir, por lo que suponrá igual a 1.

Asimismo, la curva, que obtendremos será a voltaje reducido, para limitar la corriente. Para obtener puntos a voltaje nominal, será necesario que **extrapolemos**.

$$\frac{I_x}{I_1} = \frac{V_n}{V_1} \quad \frac{T_x}{T_1} = \left(\frac{V_n}{V_1}\right)^2$$

El brazo de palanca, del dinamómetro a la báscula es de: $d = 0.875'$ pies.

Valores extrapolados a voltaje nominal.

V Volts	I Amperes	F Libras	N _M R.P.M.	N _D R.P.M.	T _M lb.-ft.	T _D lb.-ft.	T _{X_M}	T _{X_D}
V ₁	I ₁	F ₁	N _{M1}	N _{D1}	T _{M1}	T _{D1}	T _{X1}	T _{X1}
V ₂	I ₂	F ₂	N _{M2}	N _{D2}	T _{M2}	T _{D2}	T _{X2}	T _{X2}
V ₃	I ₃	F ₃	N _{M3}	N _{D3}	T _{M3}	T _{D3}	T _{X3}	T _{X3}
-	-	-	-	-	-	-	-	-
V _n	I _n	F _n	N _{Mn}	N _{Dn}	T _{Mn}	T _{Dn}	T _{Xn}	T _{Xn}

LABORATORIO DE CONVERSION

DE

ENERGIA ELECTROMECHANICA III

Práctica No. 4

OPERACION DEL MOTOR DE INDUCCION
COMO GENERADOR ASINCRONO.

FAC. DE INGENIERIA
DOCUMENTACION

PROF: Ing. José Méndez T.G.

Alumno: _____

Grupo: _____

OBJETO: DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS DE UN MOTOR DE INDUCCION, TRABAJANDO COMO GENERADOR ASINCRONO.

DESARROLLO:

Si un motor de inducción se hace girar a mayor velocidad que la de sincronismo, su deslizamiento se hace negativo, los conductores del rotor cortan entonces el flujo del equipo giratorio en sentido opuesto al que corresponde al funcionamiento de la máquina como motor. Las corrientes se invierten entonces con relación al sentido que tenían cuando la máquina marchaba como motor. Por su acción como transformador, estas corrientes del rotor inducen corrientes en el estator que están en sensible en oposición de fase, con relación a la componente "energética" de la corriente del estator que existía cuando la máquina trabajaba como motor.

El motor de inducción por lo tanto, puede emplearse como generador, pero con ciertas limitaciones que el alternador sincrónico no posee.

El tránsito de motor a generador puede explicarse mediante un estudio combinado de los diagramas circular de Heyland y vectorial.

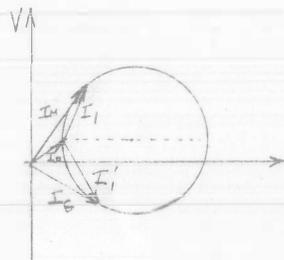


Fig. 1

La parte superior del círculo corresponde al funcionamiento de la máquina como motor y la inferior cuando trabaja como generador.

Las limitaciones de estos generadores son: a).- Que suministran una corriente en avance con factor de potencia con θ_G , lo que es una desventaja del generador de inducción, que solo puede producir corrientes con avance de fase, mientras que muchos receptores requieren corrientes en retraso. b).- Los generadores de inducción requieren la acción de un campo producido por la rotación de los polos N y S que es producto a su vez de

las corrientes polifásicas del estator, con lo que toda su excitación procede de la corriente de la línea de alimentación, como sucede con los motores de inducción, por lo que solo generará cuando este conectado a la línea.

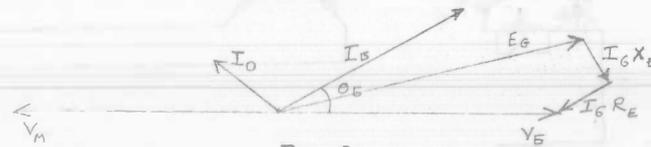


Fig. 2

Ya especificamos que un generador asíncrono no puede trabajar por sí solo a un factor de potencia atrasado, así pues, si la carga lo requiere es necesario balancearlo con la ayuda de un generador sincrónico. La figura muestra dicha conexión y el cambio de factor de potencia.

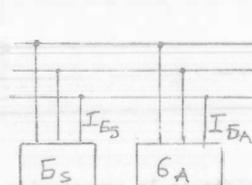


Fig. 3

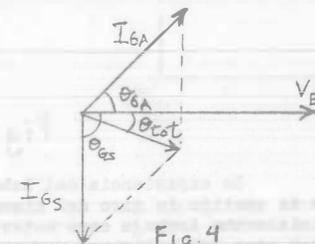


Fig. 4

Las principales ventajas de los generadores asíncronos son:

- a).- No tiene velocidad síncrona y por tanto no puede perderla.
- b).- Genera siempre a la misma frecuencia, la del sistema a que esté conectado y la velocidad del rotor no influye.
- c).- En caso de corto circuito, la máquina no resiente dicho efecto.

CONEXION EN EL LABORATORIO

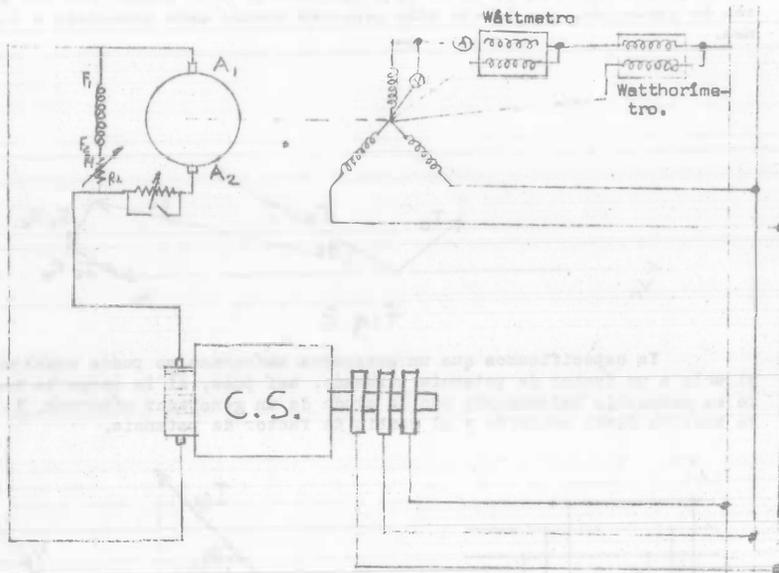


Fig. 5

La experiencia del laboratorio consiste en la apreciación del cambio de sentido de giro del disco del Watthorímetro, cuando la máquina que inicialmente trabaja como motor de inducción cambiaba su tipo de trabajo, ahora como generador.

Para lograr tal efecto la velocidad de la máquina asíncrono se regula con el campo de la máquina de directa.

El acoplamiento del conjunto a la línea se logra fácilmente operando a la máquina de directa como motor y conduciendo a la máquina de inducción a la velocidad sincrónica, habiendo desde luego verificado con anterioridad que la secuencia de fases es la correcta. Dicho efecto se comprueba fácilmente, haciendo trabajar inicialmente a la máquina de inducción como motor y observando su sentido de giro el cual deberá coincidir cuando éste es conducido por la máquina de directa.

LABORATORIO DE CONVERSION

DE

ENERGIA ELECTROMECANICA III

PRACTICA No.5

CURVA DE SATURACION EN VACIO Y
PERDIDAS EN VACIO PARA UN GENERADOR DE CORRIENTE ALTERNA.

FAC. DE INGENIERIA
DOCUMENTACION

PROF: Ing. José Méndez T.G.

Alumno: _____

Grupo: _____

CURVA DE SATURACION EN VACIO Y PERDIDAS EN VACIO PARA UN GENERADOR DE CORRIENTE ALTERNA

La determinación de las curvas de saturación en vacío se obtienen a partir de las siguientes consideraciones:

Refiriéndose inicialmente a la curva de magnetización en su forma original:

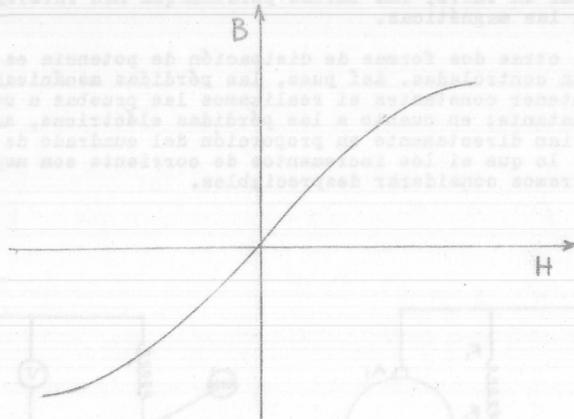


Fig. 1

En que: H = Intensidad de campo magnético
B = Densidad de flujo.

Los perímetros de la anterior curva pueden transformarse:

Así, deberá recordarse que:

1.- $H = \frac{N i e x c}{l}$ y 2.- $B = \frac{\phi}{A}$

En nuestro caso específico los siguientes parámetros permanecen constantes debido a que ya no es posible modificarlos al menos durante la prueba, en el generador en cuestión.

N = Número de vueltas
l = Longitud del conductor del campo de excitación.
A = Sección del hierro por donde circula el campo magnético.

Según esto las expresiones anteriores adoptarán la siguiente forma:

$H = \frac{i e x c}{K'}$ $B = \frac{\phi}{K''}$

En que:

$K' = \frac{l}{N}$ $K'' = A$

Por lo tanto:

(3) $i e x c = K' H$ $\phi = B K''$ (4)

Para un generador de este tipo se recordará que:

(4) $E = K''' n \phi$

En que n = r.p.m.

Por lo que sustituyendo (4) en (5)

$E = K''' n B K''$ (6)

Si la RPM se mantiene constante durante la prueba la expresión (6) tomará la siguiente forma:

$E = K^I V B$ (7)

En que: $K^I V = K''' n K''$

Por lo tanto la curva de magnetización original podrá expresarse en función de $i e x c$ y E afectando los valores de H y B por K' y $K^I V$ respectivamente.

Se obtiene entonces así la curva de saturación:

F.A.G. DE INGENIERIA DOCUMENTACION

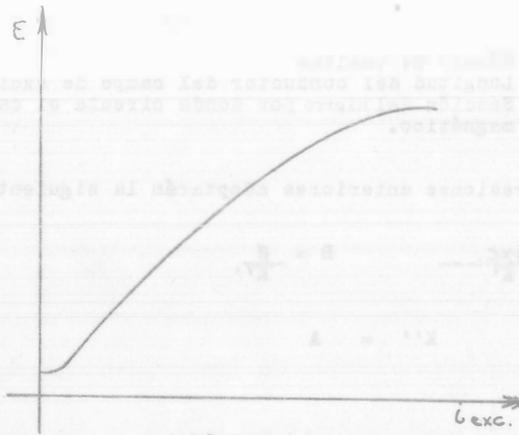


Fig.2

Es por lo tanto necesario, como condición durante la prueba mantener las RPM a un valor constante. Así mismo también se requiere que la curva se vaya obteniendo siempre en valores ascendentes o descendentes, ya que de esta manera se elimina el efecto de histéresis. De otra manera se podría obtener algo como lo mostrado en la figura siguiente:

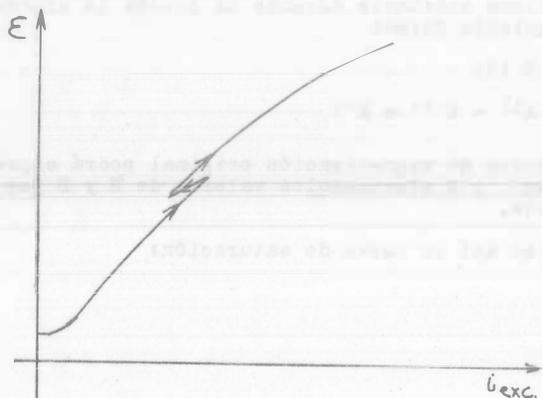


Fig.3

También será necesario disponer de una fuente externa de corriente directa para excitar el campo y de esta manera tener un control completo sobre él, cosa que no es posible lograrla en un generador autoexcitado.

Cuando una máquina es puesta a trabajar en vacío, toda la potencia que se le suministra es disipada principalmente por pérdidas mecánicas y magnéticas y en forma reducida por pérdidas eléctricas.

Para la obtención de las curvas de saturación en vacío y las pérdidas en vacío, las únicas pérdidas que nos interesarán realmente son las magnéticas.

Las otras dos formas de disipación de potencia es necesario que sean controladas. Así pues, las pérdidas mecánicas las podremos mantener constantes si realizamos las pruebas a una velocidad constante; en cuanto a las pérdidas eléctricas, sabemos que estas varían directamente en proporción del cuadrado de la corriente, por lo que si los incrementos de corriente son muy pequeñas, las podremos considerar despreciables.

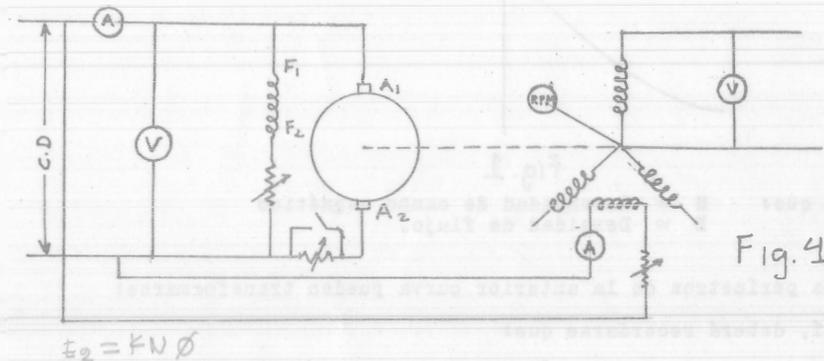


Fig.4

FIGURA 4

Determinación de pérdidas en vacío.

Las mediciones que se efectuarán en el alternador o generador de corriente alterna son: La de voltaje, la de corriente de campo y la de velocidad, siendo necesario que ésta última permanezca constante.

Las mediciones que realizaremos en el motor de corriente continua serán de voltaje y corriente y a partir de estas podremos calcular la potencia.

Al inicial las mediciones iniciales tendremos que:

$$W_1 = \text{Pérdidas Eléctricas (campo motor)} + \text{Pérdidas Eléctricas (armadura motor)} + \text{Pérdidas Mecánicas (motor y generador)} + \text{Pérdidas Magnéticas del Motor.}$$

$$W_1 = VI \text{ (voltaje de alimentación al motor por corriente de línea del motor).}$$

En este punto inicial no se alimenta I_{exc}

Quando se incrementa la I_{exc} el voltaje del alternador sube, al realizar las mediciones para este segundo punto encontramos:

$$W_2 = \text{Pérdidas Eléctricas (campo motor)} + \text{Pérdidas Eléctricas (armadura motor)} + \text{Pérdidas Mecánicas (motor y generador)} + \text{Pérdidas Magnéticas (generador).}$$

Las pérdidas mecánicas y pérdidas eléctricas en el campo del motor, son iguales al permanecer la velocidad y voltaje constantes.

Al realizar la diferencia de ambas potencias queda:

$$W_2 - W_1 = \text{Pérdidas magnéticas} + I_{a2}^2 R_a - I_{a1}^2 R_a \quad I_a = \text{corriente de armadura.}$$

La diferencia de estas cantidades se puede considerar despreciable, por lo tanto:

$$W_2 - W_1 = \text{Pérdidas magnéticas.}$$

La tabulación de los valores se hará de la manera siguiente:

E_o	I_c	RPW	V	I_L	W	$W_i - W_1$	
V_{rem}	0	Crea.	V_1	I_1	$W_1 = V_1 I_1$		
E_1	I_1		V_2	I_2	$W_2 = V_2 I_2$	$W_2 - W_1$	W_a
						$W_3 = V_3 I_3$	$W_3 - W_1$

Voltaje Generado E_o en el campo del Generador
 Voltaje de ajuste del motor V
 Corriente de línea del motor I_L

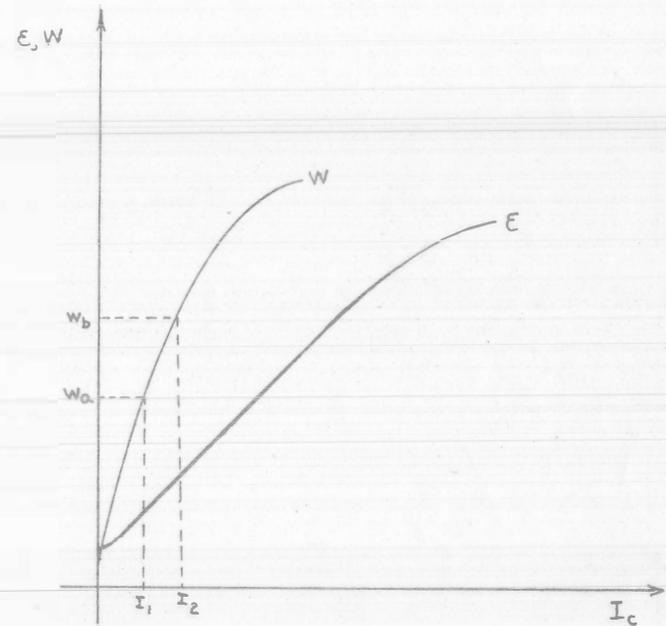


Fig. 5

LABORATORIO DE CONVERSION

DE

ENERGIA ELECTROMECANICA III

PRACTICA No. 6

CURVA DE SATURACION EN CORTO CIRCUITO,
CURVA DE PERDIDAS DE CARGA Y OBTENCION
DE LA IMPEDANCIA SINCRONA NO SATURADA,
PARA UN ALTERNADOR.

FAC. DE INGENIERIA
DOCUMENTACION

PROF: Ing. José Méndez T.G.

Alumno: _____

Grupo: _____

Las curvas que tendremos son del siguiente tipo:

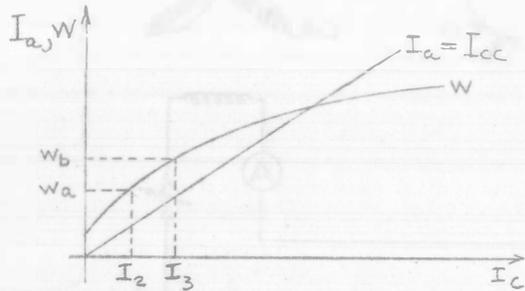


Fig. 2

DIAGRAMA VECTORIAL DEL GENERADOR SINCRONO

El diagrama vectorial que se representará a continuación es aplicable enteramente al caso de generadores con polos lisos, sin embargo, por efectos de la reacción de armadura deberá considerarse como una aproximación cuando se aplica a generadores con polos salientes. No obstante en algunos casos los resultados obtenidos en este diagrama para estos últimos generadores llegan a ser satisfactorios.

Sea:

- \bar{F} = Fuerza magnetomotriz original (F.M.M.) debida a la corriente de excitación.
- \bar{A} = Reacción de armadura.
- \bar{R} = Campo resultante.

Cuando la máquina opera en vacío la tensión inducida es: $e_o = - \frac{N d \phi}{dt}$

Según la anterior ecuación, puede establecerse que la tensión inducida se encuentra en cuadratura con el flujo, el cual a su vez estará en fase con la F.M.M.

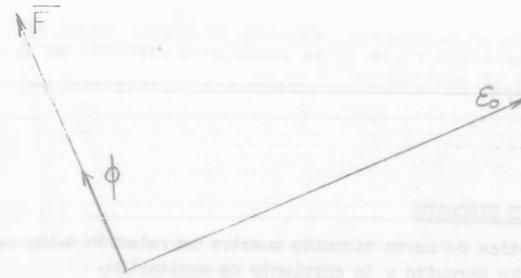


Fig. 3

Si a la máquina se le aplica carga, aparecerá de inmediato la reacción de armadura $\frac{A}{A}$.

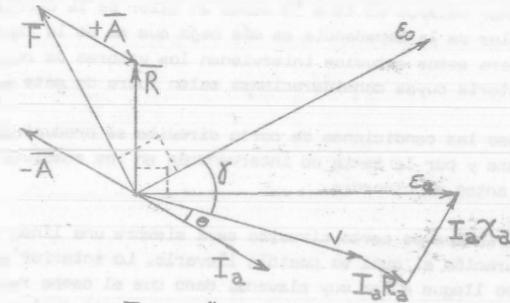


Fig. 4

La tensión inducida E_a y la tensión terminal V difieren en la caída ohmica y la caída reactiva, siendo R_a la resistencia de armadura y X_a la reactancia de dispersión de la armadura, al igual que en el transformador todos los valores deben estar referidos a una fase.

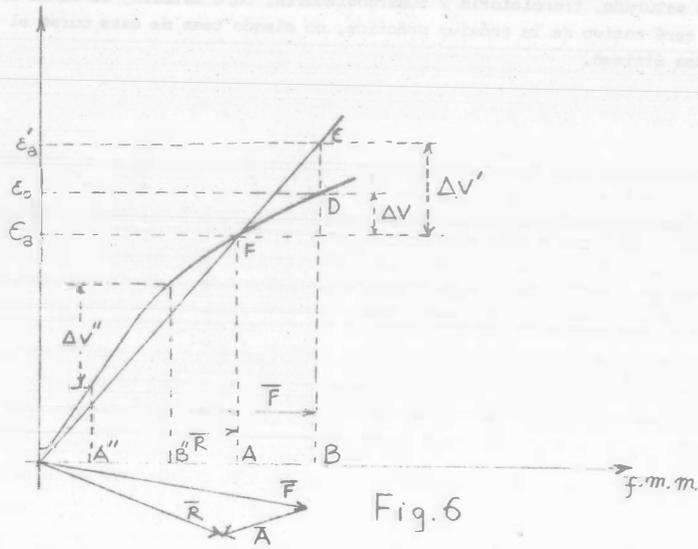
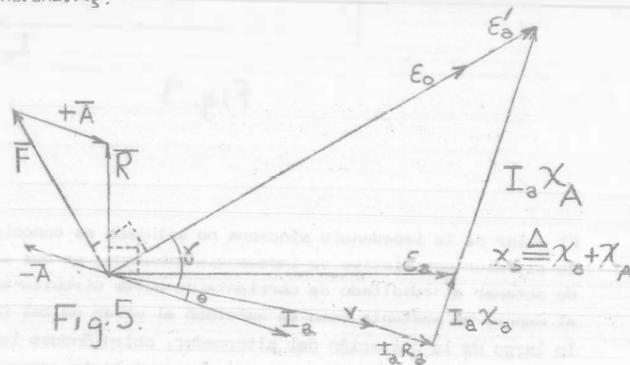
La fuerza electromotriz inducida E_a deberá ser normal a la fuerza magnetomotriz resultante \bar{R} que es la suma de \bar{F} y \bar{A} .

En el diagrama fasorial anterior se muestra también el ángulo de potencia γ formado entre las tensiones terminales con carga o en vacío.

REACTANCIA SINCRONA

Volviendo a la figura 4, se observa que la diferencia entre la tensión inducida en vacío E_0 y la de carga E_a , es debida a la reacción de armadura.

Con el objeto de poder trabajar con un diagrama de tensiones exclusivamente y no mixto, el efecto de la reacción de armadura sobre las tensiones, que es precisamente la diferencia arriba mencionada, puede substituirse por una caída reactiva equivalente que en la figura 5 está señalada por la X_A y que representa la caída de tensión que produciría A actuando sola. De esta manera a la suma de $X_a + X_A$ se define como la reactancia sincrónica: X_s .



Para las condiciones señaladas en la figura 6 la reacción de armadura, estará produciendo realmente solo la diferencia de tensiones ΔV entre E_a y E_0 y no ΔV^1 (E_a y E_a^1).

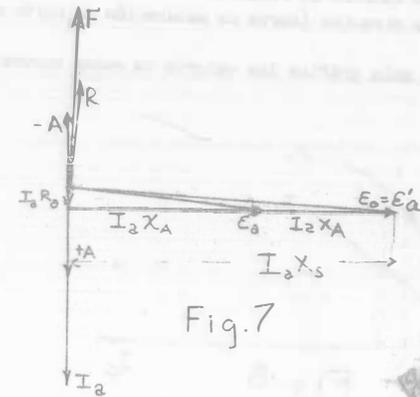
Esto es debido a que X_s que es la reactancia sincrónica, correspondiente al estado real de saturación de la máquina cuando hay carga y actúa \bar{R} . Obsérvese que esa condición de misma saturación para ese punto es mantenido a lo largo de toda línea que une el origen con el punto F por lo que de mantenerse hasta el punto C se obtendría la diferencia de potencial técnica ΔV^1 y no la real ΔV . Por lo tanto el valor que obtiene empleando dicha X_s para el cálculo de la tensión de vacío tendrá que ser corregido, ya que en vacío la saturación es otra y estará determinada por F .

- Así: $E_a^1 = \overline{BC}$ = Tensión terminal si la saturación existente en E_a se conservara en vacío.
- $E_0 = \overline{BD}$ = Tensión real en vacío.

Puede interpretarse también, que cuando la diferencia entre las magnitudes \bar{F} y \bar{R} AB actúa sobre una parte del circuito menos saturado su efecto sería mayor así si $A''B'' = AB$ el valor de $\Delta V''$ será mayor que ΔV . Como X_A sustituye el efecto de A (reacción de armadura) su valor tiene que disminuir con la saturación y por lo tanto el del valor de la reactancia sincrónica. (Conclusión: Sat. X_s).

REACTANCIA E IMPEDANCIA SINCRONA NO SATURADAS

Al obtener la curva de saturación de cierto circuito, en el laboratorio podrá establecerse un diagrama fasorial como el representado por la figura 7.



FAC. DE INGENIERIA
 DOCUMENTAL

La interpretación del diagrama anterior se basa en que al no existir voltaje terminal y por lo tanto carga externa, la única limitación de la corriente será la impedancia interna, sin embargo en el caso de los generadores síncronos, así como en otra máquina eléctrica el valor de X_s es varias veces mayor que R_a (alrededor de 10) por lo que el valor de la carga interna será prácticamente reactiva y con un ángulo de factor de potencia muy atrasado.

Lo anterior conduce a tener a la reacción de armadura \bar{A} prácticamente en oposición con \bar{F} , que como se mencionaba al principio de esta práctica, produce un valor muy bajo de \bar{A} aún con valores altos de excitación \bar{F} ; más aún en los rangos de obtención de la curva de corto circuito al no tenerse carga externa, el valor de corriente de excitación será muy baja para hacer circular la corriente nominal de carga I_a , o valores semejantes a ella, por lo que definitivamente puede concluirse que no hay saturación alguna y por lo tanto esta curva se obtiene en forma de línea recta. Bajo estas condiciones $E_o = E_a'$.

De esta manera puede partirse a obtener el valor de las reactancia e impedancia síncronas no saturadas como a continuación se indica:

Según la expresión general para E_a' : (ver figura 5).

$$E_a' = V + I_a (R_a + j X_s)$$

Como en este caso $V = 0$, $I_a = I_{cc}$ y $E_a' = E_o$

Se obtendrá: $E_o = I_{cc} (R_a + j X_s)$

si $R_a + j X_s = Z_s$ (impedancia síncrona no saturada).

Por lo tanto: $Z_s = \frac{E_o}{I_{cc}}$

Se concluye que el valor de la impedancia síncrona no saturada se puede determinar en función de un valor de tensión en vacío (área de saturación en vacío) y un valor de corriente en corto circuito (curva de saturación de corto circuito).

Además, dibujando en una sola gráfica los valores de ambas curvas:

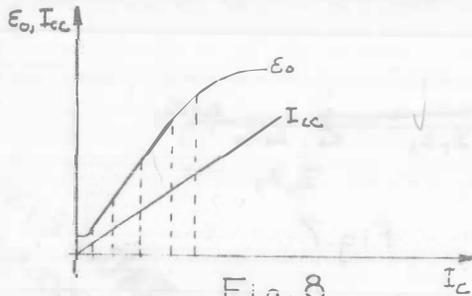


Fig. 8

Dividiendo los valores de E_o e I_{cc} pero mismos valores de corriente de excitación solo dentro de la parte lineal de la curva de saturación, se podrá determinar el valor de la impedancia síncrona no saturada, representandola como se muestra en la siguiente figura.

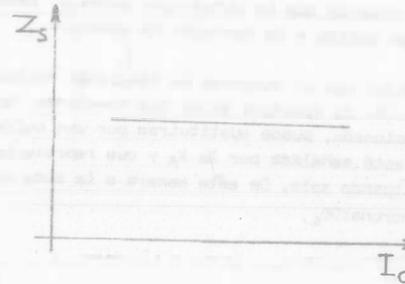


Fig. 9

El valor de la impedancia síncrona no saturada es conocido por muchos autores, como el valor optimístico de impedancia síncrona, ya que al ser el mayor que se puede obtener el resultado de corriente de corto circuito bajo tales condiciones será el menor. No obstante como se mencionó el valor de tal impedancia podrá variar a lo largo de la operación del alternador, obteniéndose los valores de impedancia síncrona saturada, transitoria y subtransitoria, cuyo estudio, al menos el de la primera será motivo de la próxima práctica, no siendo tema de este curso el estudio de las dos últimas.

LABORATORIO DE CONVERSION

DE

ENERGIA ELECTROMECHANICA III

PRACTICA No. 14
7

DETERMINACION DE LAS CURVAS DE SATURACION
A CORRIENTE NOMINAL Y FACTOR DE POTENCIA
0 Y 0.9 PARA UN GENERADOR DE C.A.

FAC. DE INGENIERIA
DOCUMENTACION

PROF: Ing. José Méndez T.G.

Alumno: _____

Grupo: _____

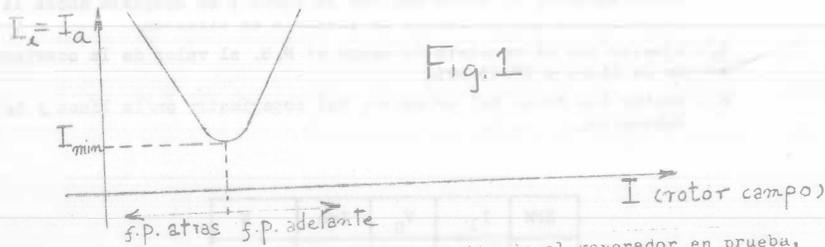
-/-

DETERMINACION DE LAS CURVAS DE SATURACION A CORRIENTE NOMINAL Y FACTOR DE POTENCIA 0 Y 0.9 PARA UN GENERADOR DE C.A.

La obtención de la curva de saturación a corriente nominal y factor de potencia 0, requiere de una técnica especial que a continuación se describe. Dicha curva es una herramienta muy útil en la operación y conocimiento del generador de corriente alterna y algunas aplicaciones se describen al final de esta práctica tal como lo es la curva de saturación a corriente nominal y factor de potencia 0.9.

La máquina en prueba es aquella de alterna perteneciente al grupo MG II, y las conexiones necesarias se muestran en el siguiente diagrama de la figura número tres y otra alternativa en la figura 3¹. En caso de utilizar el diagrama de conexión de la figura 3, deberá observarse que el motor-generator I (MGI) sirve exclusivamente para sobre-alimentar el campo de la máquina en prueba.

Para que la máquina trabaje a factor de potencia cero, a plena carga utilizamos un motor síncrono como carga, para lo cual será necesario recordar la curva característica del motor síncrono mostrada en la figura número 1 de la cual se deriva que variando la excitación (I rotor de campo) puede variarse el factor de potencia aún -trabajando la máquina en vacío.



Quando el incremento de voltaje, sobre-excitando al generador en prueba, se provoca el desajuste de la curva del motor síncrono hacia la derecha, como lo muestra la figura número 2, por lo tanto el efecto neto que se obtiene al sobreexcitar al generador cuando el factor de potencia es igual a 1 (punto a es pasar al punto b) es de factor de potencia muy atrasado; esto desde luego siempre y cuando no se modifique la excitación del motor síncrono.

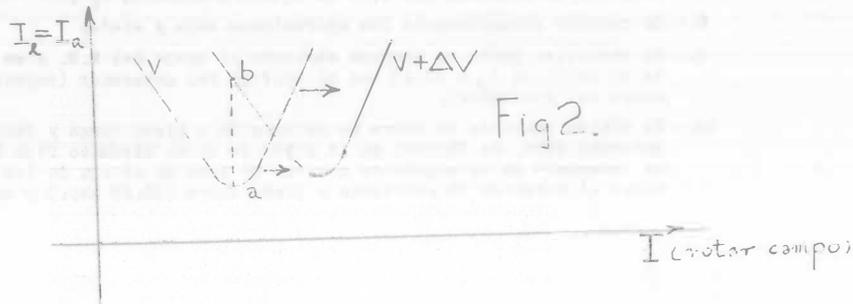


Diagrama de Conexiones -

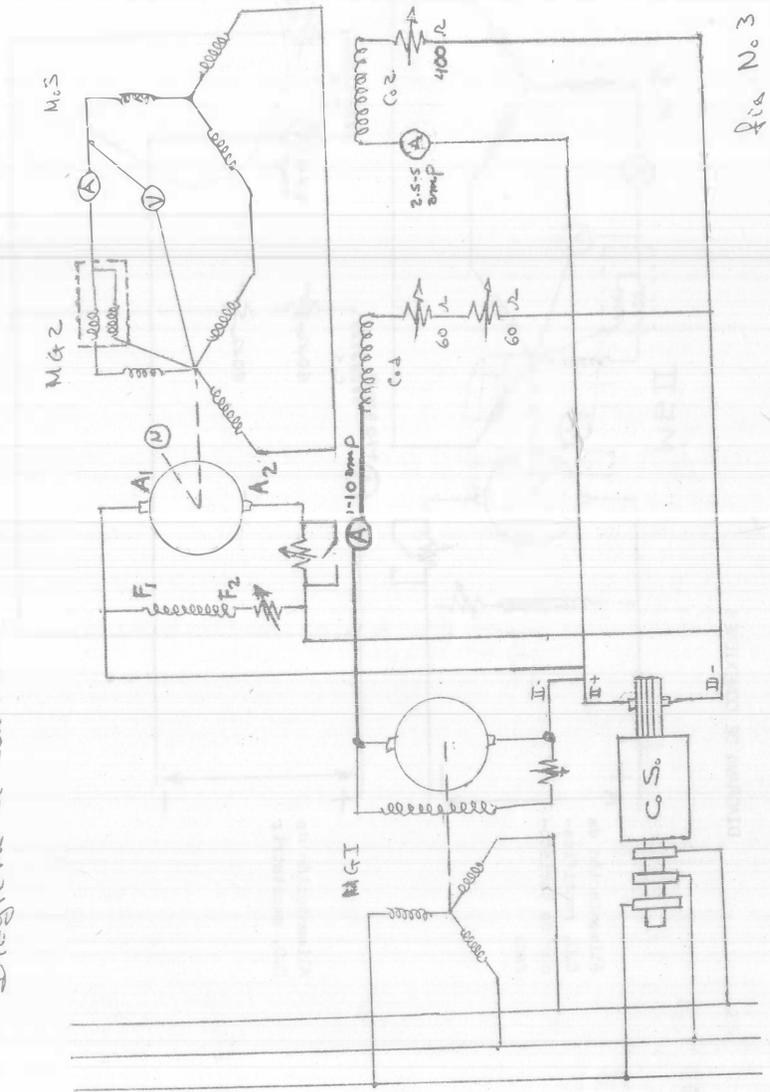


DIAGRAMA DE CONEXIONES

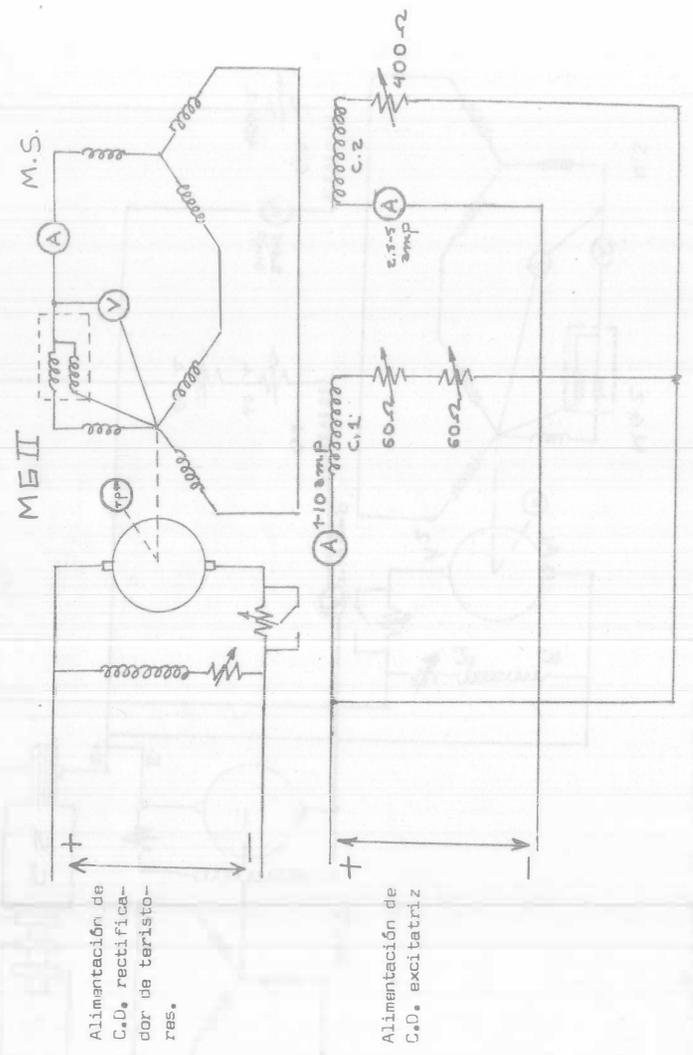


Fig. 3'

El factor de potencia mínimo que podemos obtener en el laboratorio es de 0.15 por las condiciones del equipo existente, ya que existe siempre cierta resistencia que no se puede despreciar, aunque de hecho la curva a obtener se ha venido denominando factor de potencia = 0.

La corriente a carga plena será de 10.45 amp. que es la corriente nominal de la máquina en prueba.

La secuencia de las operaciones a realizar es la siguiente:

- 1.- Operar el alternador a las revoluciones de placa y al voltaje nominal (MG-II).
- 2.- Poner a trabajar al motor síncrono (MS) sin excitación.
- 3.- Conectar la excitación del M.S. (campo 2) y ajustar su factor de potencia a la unidad ($fp = 1$) de la gráfica de la figura número - uno se observa que esto ocurre cuando la corriente de línea es mínima (I_1 mín.).
- 4.- Sobre-excitar el alternador hasta alcanzar 190v. Con esto se obtiene el punto mas alto de la curva; las mediciones se hacen de valores crecientes a decrecientes, para evitar el sobre calentamiento; al sobre-excitar la curva "v" se desplaza hacia la derecha por lo que el factor de potencia es atrasado.
- 5.- Ajustar con el reostato de campo el M.S. el valor de la corriente de la línea a 10.45 amp.
- 6.- Anotar los datos del voltmetro, del amperímetro en la línea y del Wátmetro.

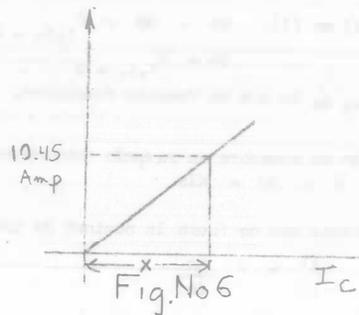
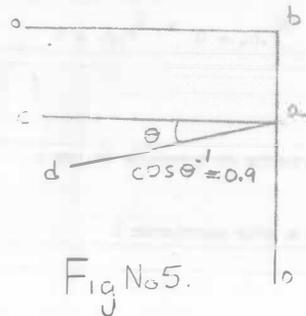
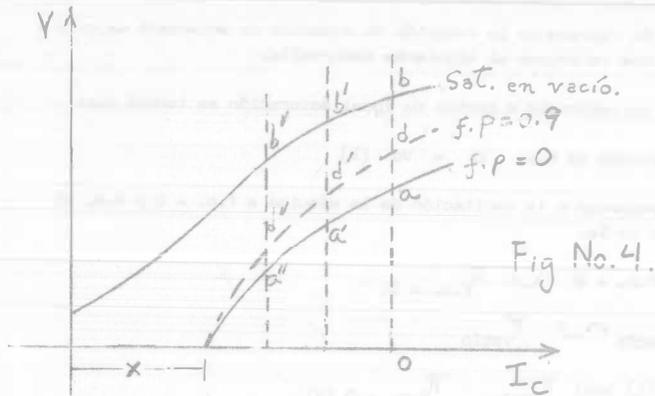
RFM	I_1	V_G	I_{co}	W
1000	10.45	190	I_{C1}	W_1
Ctes.	Ctes.	↓	↓	↓

- 7.- Para tomar otra serie de lecturas, se baja la excitación del generador. Con el reostato del M.S. se ajusta nuevamente I_1 .
- 8.- Se repiten sucesivamente las operaciones seis y siete.
- 9.- El penúltimo punto se obtiene abriendo el campo del M.S. y se ajusta el valor de I_1 a 10.45 con el voltaje del generador (reostato de campo del generador).
- 10.- El último punto de la curva de saturación a plena carga y factor de potencia cero, se obtiene de la curva de corto circuito fijo (reporte anterior) de la siguiente manera: Se toma en el eje de las ordenadas el valor de la corriente a plena carga (10.45 amp.) y en el -

eje de las abscisas se lee el valor de la correspondiente I_c , (dimensión "X") siendo ese el punto buscado y que corresponde al punto inicial ($V = 0$) de la curva que se ha determinado (ver figura No.6)

Al fin y al cabo se recordará que en la curva de corto circuito se obtiene un factor de potencia muy atrasado o practicamente igual a 0.

Para determinar la curva de saturación a factor de potencia = 0.9 nos auxiliamos de la curva de saturación en vacío (reporte anterior), y de la curva a factor de potencia 0, como se muestra en las figuras número cuatro y cinco.



Ejemplo:

Donde: θ = ángulo $\cos. 0.9 = 25.89^\circ$
 $a0$ = Voltaje a plena carga $f.p. = 0$
 ac = Voltaje a plena carga $f.p. = 1$
 ad = Voltaje a plena carga $f.p. = 0.9$

Se traza un cuadrante de radio "ob" en su extremo vertical se marca la distancia eb y por el se traza una línea horizontal hasta cortar la circunferencia en "C", a partir de ac se traza el ángulo θ ($f.p. = 0.9$) y se traza la recta "ad" la cual representa la magnitud en ese punto de la curva a factor de pot. = 0.9.

Obteniendo varios puntos se puede trazar la curva a factor de potencia 0.9. a partir de trazar diagramas semejantes para un número determinado de segmentos verticales que se construyen a lo largo de las dos curvas.

OTRAS APLICACIONES

Curvas a diferente factor de potencia y a diferente carga.

Como es fácil de comprender con los diagramas anteriores, se pueden determinar las características de la máquina trabajando a cualquier factor de potencia. Además nos permiten conocer el voltaje terminal de un generador para carga y factor de potencia cualesquiera que sean a una corriente de excitación dada, ya que la construcción anterior puede hacerse repetitiva para cualquier factor de potencia que se desee; así también puede conducirse nuevamente para otro tipo de carga.

Ejemplo: $\frac{1}{2}$ carga, $\frac{1}{4}$ de carga, etc. Con lo anterior puede determinarse el porcentaje de regulación del generador ($\% R_g. = \frac{V \text{ vacío} - V \text{ carga}}{V \text{ carga}} \times 100$)

METODO DE POTIER PARA LA DETERMINACION DE LA REACTANCIA DE DISPERSION X_d Y LA REACCION DE ARMADURA.

La determinación de este método, impone la necesidad de disponer de la curva de saturación en vacío y de la curva de saturación a corriente nominal y factor de potencia cero, mismas que ya fueron encontradas en el transcurso de estas prácticas.

El voltaje terminal de un generador sincrónico bajo carga, difiere del que se obtiene a circuito abierto con la misma corriente de excitación. Lo anterior es ocasionado por 3 efectos: (referirse a la figura 5 de la práctica anterior). La reacción de armadura y las caídas de potencial en la reactancia de dispersión y resistencia de la armadura.

La relativa influencia de los 3 factores depende principalmente del factor de potencia de la carga, lo que se apreciaría mejor si se construye el diagrama fasorial al referirnos a la condición de factor de potencia = 0 y corriente nominal.

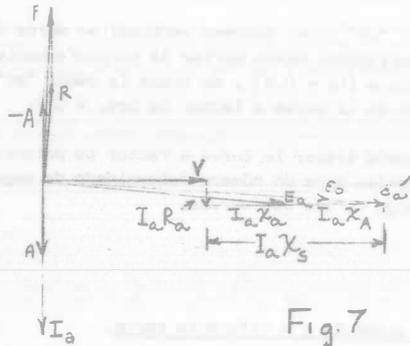


Fig. 7

Según estas condiciones, el decremento en el voltaje terminal es debido prácticamente a la reacción de armadura y a la reactancia de dispersión, ya que el efecto de la resistencia de por sí es pequeño y ahora en cuadratura es prácticamente despreciable. Así el campo resultante \bar{R} es de hecho igual a la diferencia algebraica entre \bar{F} y \bar{A} y el voltaje terminal V es igual a la diferencia algebraica entre E_a a $I_a X_s$.

Refirámonos ahora a las figuras 8 en la que nuevamente se han reflejado las curvas de saturación en vacío y a corriente nominal y factor de potencia 0. Elijamos dos puntos de las curvas que tengan el mismo grado de saturación; sean ellos C y A .

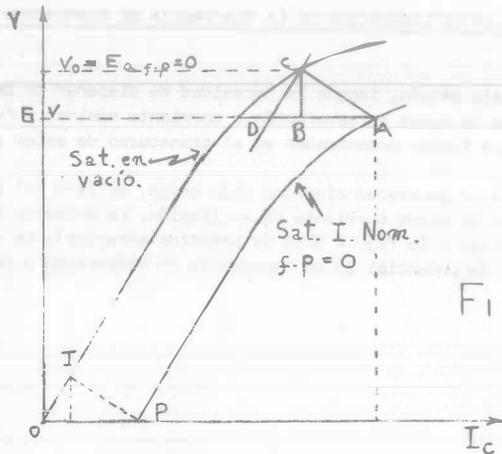


Fig. 8

Según se indicaba, en este caso la diferencia de voltaje o desplazamiento entre ambas curvas dependerá: horizontalmente por la reacción de armadura cuyo efecto proviene de la diferencia algebraica entre \bar{F} y \bar{R} para dar \bar{A} (segmento BA) y verticalmente por la caída $I_a X_s$ en la reactancia de dispersión de la armadura (segmento CB).

De acuerdo a la figura : $E_a - V = I_a X_s$

pero: $I_a X_s = CB$

de donde: $X_s = \frac{CB}{I_a}$

El porque el segmento BA representa la reacción de armadura se entenderá mejor y quedará demostrado si nos referimos al siguiente desarrollo.

Como los puntos C y A corresponden a partes de igual saturación se tendrá que:

$$(E_a) \text{ prueba de } f.p. = 0 = V_0 \quad (1)$$

Los puntos: $G.A.$ corresponden a la excitación de la máquina a $f.p. = 0$ y $G.B.$ al punto en excitación en vacío.

Sin embargo: $E_a \text{ } f.p. = 0 \sim \bar{R}_{f.p. = 0}$

$V_0 \text{ vacío} \sim \bar{F}_{\text{vacío}}$

Puede concluir según (1) que: $\bar{F}_{\text{vacío}} = \bar{R}_{f.p. = 0} \quad (2)$

Según la figura 8: $GA = \bar{F}_{f.p. = 0}$ y $GB = \bar{F}_{\text{vacío}}$

Entonces: $GA - GB = \bar{F}_{f.p. = 0} - \bar{F}_{\text{vacío}} \quad (3)$

Sustituyendo (2) en (3): $GA - GB = \bar{F}_{f.p. = 0} - \bar{R}_{f.p. = 0} = \bar{A}_{f.p. = 0}$

$BA = \bar{A}_{f.p. = 0}$

que es lo que se deseaba demostrar.

Como la reacción de armadura es un efecto neto de la corriente de armadura I_a , se concluye que: $\bar{A} = BA = KI_a$

Para otra corriente que no fuera la nominal I_a llámese a esta corriente I

$$\bar{A}' = I \frac{BA}{I_a}$$

Para poder trazar el triángulo de Potier es necesario disponer de algún método para localizar los dos puntos correspondientes a la misma saturación; a continuación se describe uno de ellos.

Refiriéndonos a la figura 8, se observará que ambas curvas son paralelas, por lo tanto el triángulo rectángulo C BA se podrá repetir en cualquier parte entre ellas. De esta manera conducíase hasta apoyarse en el eje de las abscisas, aquí un nuevo triángulo I OP se formará. Eligiendo el punto A a partir de él, se dibujará un segmento paralelo e igual a OP, lo que conducirá a obtener el punto D, a través de este punto se dibujará un segmento paralelo a la parte inferior de la curva de saturación en vacío, cuya intersección con esta última curva localizará el punto C, - equivalente en saturación al punto A de la curva de saturación a corriente nominal y f.p. = 0.

NOTA: El diagrama de Potier aunque permite determinar experimentalmente la reacción de armadura y la reactancia de dispersión, supone condiciones normales de saturación pero a un factor de potencia igual a cero, que nunca se logra en la práctica. Por lo tanto en generadores de polos salientes en que el valor de la reacción de armadura se ve afectada considerablemente por el factor de potencia, dicho valor será más elevado que el real, al determinarse por este método.

Reactancia síncrona saturada.

Como se demostró en la práctica anterior el valor de reactancia síncrona decrece conforme aumenta la saturación, así el valor de la reactancia bajo condiciones de saturación es llamada reactancia síncrona saturada. Su valor puede determinarse prácticamente, utilizando el diagrama de Potier y las curvas de saturación en vacío y saturación a corriente nominal, con factor de potencia igual a cero.

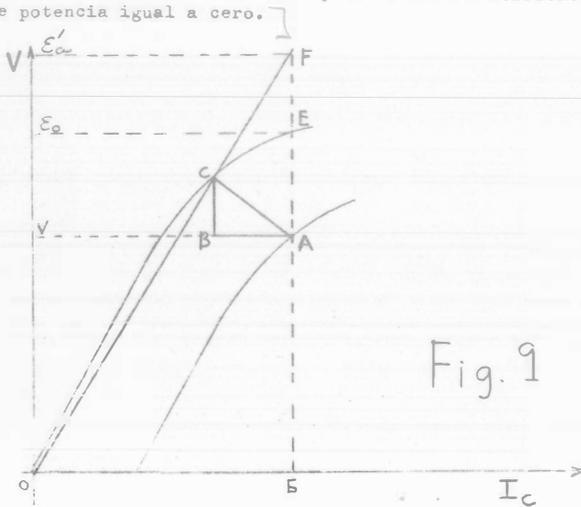


Fig. 9

En el anterior diagrama, si la corriente a cero factor de potencia fuera removida, sin alterar la excitación de la máquina OG, el voltaje terminal V se incrementaría de GA a GE (valor E₀), sin embargo en este cambio la saturación ha aumentada. El segmento AE que representa el cambio de voltaje anterior, estará ocasionado por la caída debida a la reactancia de dispersión X_a, más otra caída producida por el cambio del flujo causado por el efecto de reacción de armadura y que ha sido sustituido por el elemento reactivo X_A (referirse a la práctica anterior). En resumen esta caída representa el efecto total de la reactancia denominada síncrona X_s = X_a + X_A (referencia Figura 7).

Sin embargo esta caída en el diagrama vectorial de la fig. 7 no es coincidente con el voltaje terminal en vacío E₀, ya que según dicho diagrama, la caída reactiva producida por X_s estará representada por la que produce X_a y por la caída producida por el efecto de la reacción de armadura X_A siempre y cuando la saturación hubiera permanecido igual a la condición de corriente nominal, lo cual se cumple en el segmento A F de la figura 9 y que se representa la X_s de la figura 7. Esto es cierto ya que la saturación que se mantenía en "A", bajo la condición de corriente nominal y que es la misma que en "C" se mantuvo constante a través de este punto al trazar la línea OCF. En este punto el voltaje terminal en vacío hubiera sido E_A y no E₀ cuyo valor del primero, estará representado por GF.

En estas condiciones se tendrá: $X_s = \frac{AF}{I_a}$

I_a = Corriente nominal de armadura

En todo caso será necesario trabajar siempre bajo las condiciones de la saturación impuestas por la corriente nominal, ya que siempre la construcción de diagramas fesoriales supone condiciones de saturación constantes.

LABORATORIO DE CONVERSION

DE

ENERGIA ELECTROMECHANICA III

PRACTICA No. 8

OBTENCION DE LA CURVA DE SATURACION A
ROTOR BLOQUEADO PARA UN MOTOR SINCRONO

PROF: Ing. José Méndez T.G.

Alumno: _____

Grupo: _____

Laboratorio de:

Conversión de Energía Electromecánica III

Obtención de la curva de Saturación a Rotor bloqueado, para un Motor Síncrono.

- a) Con el campo abierto (Voltaje inducido)
- b) Con el campo cerrado a través de una resistencia. (Corriente inducida)

MOTORES SINCRONOS

Un alternador puede funcionar como motor, sin realizar ningún cambio en su disposición constructiva. Cuando así sucede se dice que la máquina es un motor síncrono.

El estudio de los motores síncronos y de los alternadores de igual potencia y la misma velocidad puede diferir en algún detalle. Salvo en tipos especiales bipolares de alta velocidad, los motores síncronos generalmente son de polos salientes, mientras que los alternadores pueden ser indistintamente de polos salientes o no salientes.

Principio de funcionamiento.

En la figura número uno se representa un conductor "a" por el que circula una corriente hacia el observador y esta colocado frente a un polo N.

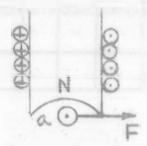


Fig. 1

$$\vec{F} = i(\vec{B} \times \vec{L})$$

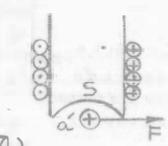


Fig. 2

Por la conocida ley de las acciones electromagnéticas, se desarrolla una fuerza que tiende a arrastrar el conductor del rotor de izquierda a derecha. Si la corriente aplicada al estator es alterna el campo que producirá se invertirá en la segunda mitad del período y la fuerza actuará entonces de derecha a izquierda. Por lo tanto el par resultante, para cualquier número de períodos completos es nulo, y no puede dar origen a un movimiento continuado. Así ocurre en los motores síncronos en reposo, la corriente en los conductores del estator es alterna y el rotor tiene una polaridad fija por estar excitado con corriente continua y, por lo tanto, el motor síncrono estático como tal no desarrolla par alguno.

Sin embargo, si el conductor del rotor "a" puede llevarse de alguna manera hasta colocarlo delante del polo S, durante el semi-período en que la corriente ha cambiado sentido, figura número dos, el par que se produzca actuará también de izquierda a derecha y el conductor tenderá a moverse de una manera continua.

El mismo resultado se obtiene al principio de polos repelentes, siendo substituido el conductor a, durante los dos semi-períodos por un polo norte y un polo sur respectivamente al semi-período positivo y al negativo de la corriente.

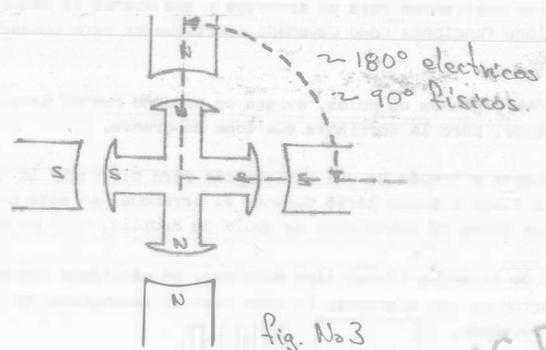
Cuando el motor es de solo dos polos:

$$1 \text{ rev/seg} = 1 \text{ ciclo/seg}$$

$$\therefore \text{RPM} = 60 f$$

Si el motor es de cuatro polos, figura número tres, tenemos que:

$$\text{RPM} = \frac{60 f}{2}$$



FAC. DE INGENIERIA
DOCUMENTACION

U ser que conforme aumenta el número de polos la velocidad disminuye, en general la velocidad en un motor síncrono esta dada por:

$$N = \frac{60 f}{\text{No. de pares de polos}}$$

que es lo que denominamos como velocidad síncrona y esta en función del número de tal de polos es:

$$N_s = \frac{120 f}{\text{No. de polos}}$$

Arranque de un motor síncrono.

Se ha visto que el motor síncrono como tal, no arranca por si solo y ha de llevar se antes a la velocidad de sincronismo o próxima a ella. Existen varios métodos para conseguirlos.

- a).- Con un motor auxiliar.
- b).- Excitatriz de corriente continua (como motor)
- c).- Con una jaula de ardilla auxiliar.

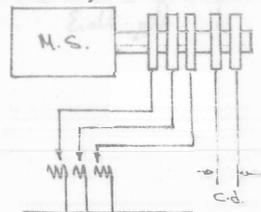
El segundo método es utilizado en plantas generadoras donde la excitatriz de los generadores puede alimentarse con corriente directa actuando como motor moviendo en este caso al generador que se desea hacer trabajar como motor síncrono, casi generalmente para mejorar el factor de potencia.

El último método es el mas empleado, para ello se le dota de una pequeña jaula de ardilla, en la que se inducen corrientes para el arranque y que cuando la máquina funciona como generador, tiene funciones como devanado amortiguador para conservar la velocidad de sincronismo.

Cuando el motor tiene un número grande de polos, existe un pequeño par de arranque que puede hacer girar el rotor, pero la corriente que toma es grande.

En ocasiones el campo se cierra a través de una resistencia para disminuir la tensión inducida, tan alta que llega a presentarse durante el arranque, en este caso el embobinado de campo hace las veces de embobinado de jaula de ardilla, tipo monofásico.

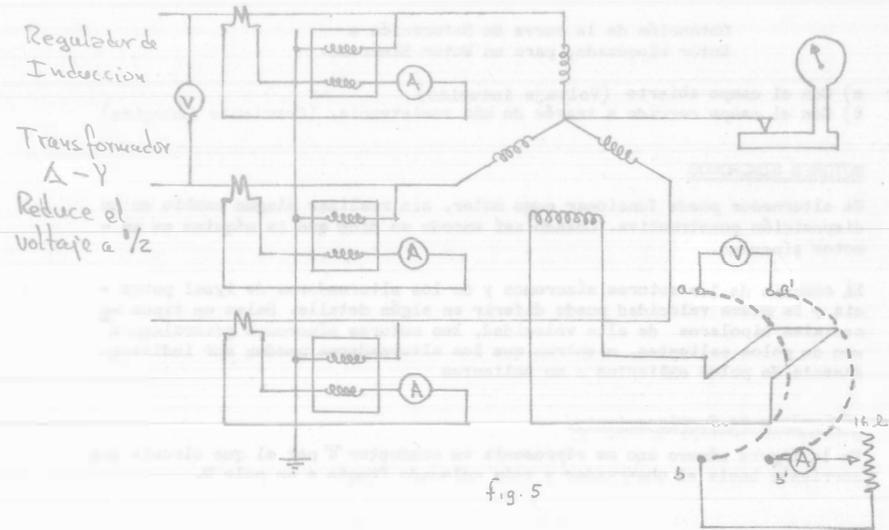
Motor síncrono de alto par de arranque (Rotor tipo Simplex). Es utilizado cuando los requerimientos de par de arranque son elevados. En este caso el embobinado de la sección de inducción es tipo devanado.



Tres anillos hacen la función del rotor devanado y los otros dos dan entrada a la corriente directa.

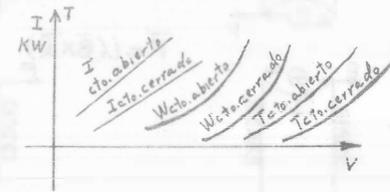
Diagrama para la obtención de la curva de saturación a rotor bloqueado, para un motor síncrono.

- a) Campo abierto.
- b) Campo cerrado a través de una resistencia.



Las lecturas que nos interesan, son las siguientes:

	V	I ₁	I ₂	I ₃	W ₁	W ₂	W ₃	V	I _c	T
a). Circuito Abierto (Cto. Ab)	V ₁	-	-	-	-	-	-	-	-	-
b). Circuito Cerrado (atraves de una resistencia)	V ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-



El objeto de la práctica es concluir cuando el par es mayor, si cuando, se tiene el campo abierto o cuando lo tenemos cerrado a través de una resistencia. Así también como constatar el efecto inductivo tan alto que se presenta cuando el campo queda abierto.

En el caso de la prueba a circuito abierto no conviene elevar demasiado el voltaje en el campo, por lo que solo con dos lecturas a voltaje reducido serán suficientes, un valor máximo de 300 volts se recomienda obtener en el lado de campo, con objeto de no dañarlo.

Para la prueba a circuito cerrado a través de una resistencia, se recomienda obtener también dos puntos a voltaje reducido sin sobre pasar 200 ó 300 por ciento el valor nominal de la corriente de armadura.

Como solo se tomarán dos lecturas para cada caso, será necesario extrapolar, de acuerdo a las formulas conocidas:

$$I_x = \frac{V_n}{V_1} I_1$$

$$W_x = \left(\frac{V_n}{V_1}\right)^2 W_1$$

$$T_x = \left(\frac{V_n}{V_1}\right)^2 T_1$$

La corriente nominal de arranque, en porcentaje, es:

$$\% \text{ Inom. arranque} = \frac{I_a \text{ rotor bloqueado y } V_n}{\text{Inom. de placa}} \times 100 = \frac{I_{rb}}{I_n} \times 100$$

El par de arranque, en porcentaje es:

$$\% \text{ Tarranque} = \frac{(P - P') 1.34}{H.F. \text{ nominal}} \times 100$$

Donde:

$$P^1 = 3 I_{rb}^2 \times R_{estator} = \text{Pérdidas en el Estator (a Inominal)}$$

$$P = KW_1 + KW_2 + KW_3 \text{ (a } V_{\text{nominal}})$$

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CALDERÓN
DOCUMENTACIÓN

DE

ENERGIA ELECTROMECHANICA III

PRACTICA No. 9

DETERMINACION DE LA EFICIENCIA DE UN ALTERNADOR POR EL METODO DE PERDIDAS.

PROF: Ing. José Méndez T.G.

Alumno: _____

Grupo: _____

DETERMINACION DE LA EFICIENCIA DE UN ALTERNADOR POR EL METODO DE PERDIDAS.

La medida directa de la eficiencia de un alternador mediante la aplicación de una carga real, presenta las dificultades de suministrar la potencia necesaria y de encontrar una carga conveniente de ahí que utilizamos la forma más fácil que es el método de pérdidas; en forma semejante al procedimiento utilizado para determinar la eficiencia de un generador de C.D. en el curso anterior.

Pérdidas de un alternador (fig. 1)

a).- Pérdidas eléctricas en el rotor - (campo)

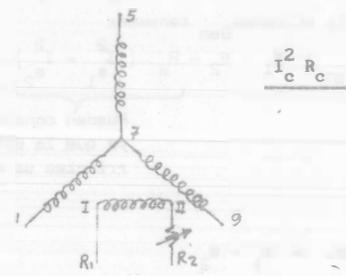


Fig. 1

b).- Pérdidas en el reostato (propio de la planta)

$$I_a^2 R_{reost.}$$

c).- Pérdidas eléctricas en las escobillas (algunos casos es despreciable).

d).- Pérdidas eléctricas en el Estator (armadura).

1.- For carga = $3 I_A^2 R_{C.d.}$

2.- For corrientes parásitas $c_u = 3 I_A^2 R_{ef.} - 3 I_A^2 R_{C.d.}$

En que $R_{ef.}$ es la resistencia efectiva al paso de la corriente alterna.

e).- Pérdidas magnéticas tanto en el rotor como en el estator.- Son debidos a las pérdidas histéresis y pérdidas por corriente parásitas en el hierro, prácticamente proporcionales al voltaje aplicado al cuadrado.

f).- Pérdidas mecánicas.- Chumaceras, escobillas. Estas pérdidas son proporcionales a la velocidad.

g).- Otras pérdidas adicionales:

- Excitador o excitatriz.
- Excitador piloto.

DIAGRAMA EMPLEADO EN EL LABORATORIO PARA LA OBTENCION DE PERDIDAS

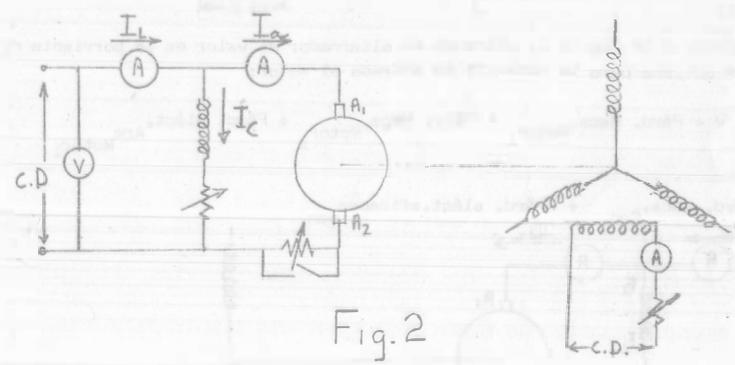


Fig. 2

Pérdidas eléctricas.

Pérdidas eléctricas en el campo = $I_c^2 R_{C.d.}$ a 75°C recordando que:

$$\frac{R_{75^\circ}}{R_{\text{amb}}} = \frac{234.5 + 75}{234.5 + T_{\text{amb}}}$$

En que el valor de la corriente de campo se obtendrá de la lectura obtenida para ella en la prueba de excitación en circuito abierto (fig. 7).

Pérdidas eléctricas en el estator: Carga = $3 I_A^2 R_{C.d.}$

Pérdidas por corrientes parásitas = $3 I_A^2 R_{e.f.} - 3 I_A^2 R_{C.d.}$

En que $3 I_A^2 R_{C.f.}$ = Pérdidas eléctricas eficaces.

Para obtener las pérdidas eficaces se cortocircuita la armadura del generador y se hace circular la corriente nominal por los embobinados de armadura.

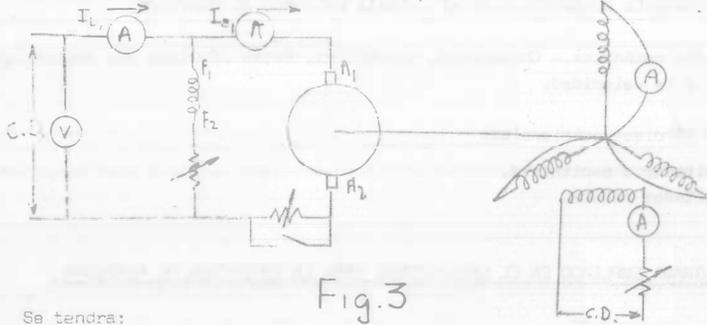


Fig. 3

Se tendrá:

Refiriéndonos a la figura 3, operando el alternador al valor de la corriente nominal, se obtiene para la potencia de entrada al motor:

$$W_1 = I_{a1} V = \text{Pérd. Mecs. Motor}_1 + \text{Pérd. Mags. Motor}_1 + \text{Pérd. eléct. Arm Motor}_1$$

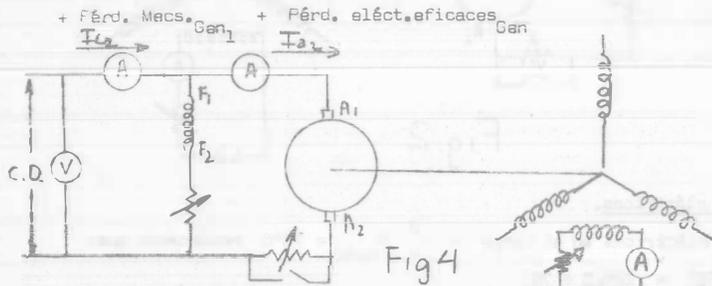


Fig. 4

por otro lado, según la figura 4, si ahora desconectamos la excitación del alternador, cesarán de suministrarse las pérdidas eléctricas al alternador teniendo ahora:

$$W_2 = I_{a2} V = \text{Pérd. Mecs. Motor}_2 + \text{Pérd. Mags. Motor}_2 + \text{Pérd. eléct. Arm Motor}_2 + \text{Pérd. Mecs. Gen}_2$$

Restando W_1 y W_2 , se obtiene:

$$W_1 - W_2 = \text{Pérd. eléct. eficaces Gen} + \text{Pérd. eléct. Arm Motor}_1 - \text{Pérd. eléct. Arm Motor}_2$$

Lo anterior es cierto ya que las pérdidas mecánicas de ambas máquinas y las pérdidas magnéticas del motor se mantienen constantes en ambas situaciones, al no variar la velocidad y el voltaje aplicado al motor. El valor de las pérdidas eléctricas en la armadura, no se mantiene constante, ya que la corriente en este caso varía conforme se suministran o no las pérdidas eléctricas del generador.

Paro: Pérdidas eléctricas en la armadura = $I_a^2 R_a$

Sustituyendo en la Ec. anterior:

$$W_1 - W_2 = \text{Pérd. eléct. eficaces Gen} + R_a (I_{a1}^2 - I_{a2}^2)$$

Despejando pérdidas eléct. eficaces Gen tenemos:

$$\text{Pérd. eléct. eficaces Gen} = W_1 - W_2 - R_a (I_{a1}^2 - I_{a2}^2)$$

Fueden considerarse despreciables, ya que la diferencia entre las corrientes es mínima.

Así:

$$\text{Pérd. eléct. eficaces Gen.} = W_1 - W_2$$

$$\text{Pérdidas por corrientes parásitas} = \text{Pérd. eléct. eficaces} - 3 I_A^2 R_{c.d.}$$

El valor de pérdidas se determinará, con la lectura de un puente.

Deberá calcular posteriormente el valor de las pérdidas eléctricas eficaces a 75°C según se señalan las normas A.S.A.

$$\text{Así: } 3 I_A^2 R_{c.d. 75^\circ\text{C}} = 234.5 + 75$$

$$3 I_A^2 R_{c.d. \text{ temp. de prueba}} = 234.5 + \text{temp. de prueba}$$

$$\begin{aligned} \text{Pérd. corrientes parásitas } 75^{\circ}\text{C} &= \frac{234,5 + \text{temp. de prueba.}}{234,5 + 75} \\ \text{Pérd. corriente parásita temp. de prueba} & \end{aligned}$$

Nótase que las pérdidas ($3 I_A^2 R_{c.d.}$) son proporcionales al incremento de temperatura y las pérdidas por corrientes parásitas, inversamente - proporcionales a dicho incremento.

Finalmente:

$$\text{Példs. eléct. eficaces } 75^{\circ}\text{C} = 3 I_A^2 R_{c.d. } 75^{\circ}\text{C} + \text{Példs. corrientes parásitas } 75^{\circ}\text{C}$$

Del valor de pérdidas eléctricas eficaces, puede determinarse la resistencia - efectiva de la armadura que será necesaria para determinar el valor de las pérdidas magnéticas.

$$\text{Así: } R_e = \frac{\text{Példas eléctricas eficaces}}{3 I_{\text{nominal}}^2}$$

Como esta resistencia debe extrapolarse a 75°C deberá hacerse en forma aproximada como a continuación se indica:

$$\frac{R_e 75}{R_e \text{ temp.}} = \frac{234,5 + 75}{234,5 + \text{Temp.}}$$

En este caso el efecto superficial de la corriente alterna en los conductores se desprecia.

Pérdidas magnéticas.

Para la obtención de dichas pérdidas se requiere conocer la tensión inducida bajo carga, ya que como se observa de la figura 5 (diagrama fasorial de un generador de C.A.) la tensión inducida y el voltaje terminal son diferentes, dependiendo - de la diferencia de ambos, de la corriente de línea, el factor de potencia y del valor de la resistencia R_e y X_a

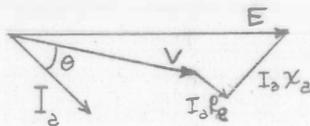


Fig 5

Sin embargo, para poder calcular la tensión inducida se siguen las normas de la A.S.A. para este caso, las cuales nos indican que debe considerarse un factor de potencia = 1. Sin tomar en cuenta, la reactancia (X).

Así:

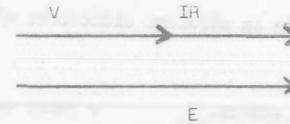


Fig. 6

$$E = V + I R_{\text{efectiva}}$$

V = Voltaje de placa
I = Corriente de placa
R efectiva a 75°C

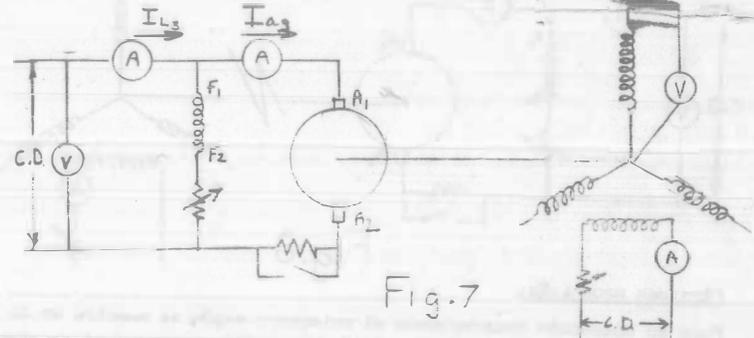


Fig. 7

Refiriéndonos a la figura 7 operando al alternador al valor de la tensión inducida arriba indicada se obtiene para la potencia de entrada al motor:

$$\begin{aligned} W_3 = I_{a3} V &= \text{Példs. Mec. Motor}_3 + \text{Péld. magn. Motor}_3 + \text{Példs. eléct. Arm Motor}_3 \\ &+ \text{Példs. mecs. Gen}_3 + \text{Példs. mags Gen} \end{aligned}$$

Por otro lado; según la figura 4, en esta conexión no se suministrarán las pérdidas magnéticas así:

$$\begin{aligned} W_2 = I_{a2} V &= \text{Példs. mecs. Motor}_2 + \text{Példs. mags. Motor}_2 + \text{Példs. eléct. Arm Motor}_2 \\ &+ \text{Példs. mecs. Gen}_2 \end{aligned}$$

Restando W_3 y W_2 tenemos:

$$W_3 - W_2 = \text{Példs.mags.}_{\text{Gen}} + \text{Példs.eléct.}_{\text{Arm Motor}_3} - \text{Példs.eléct.}_{\text{Arm Motor}_2}$$

Al igual que en la determinación de pérdidas eléctricas eficaces.

Así:

$$\text{Példs.eléct.}_{\text{Arm Motor}_3} - \text{Példs.eléct.}_{\text{Arm Motor}_2} = \text{Valor despreciable}$$

$$W_3 - W_2 = \text{Példidas magnéticas Gen.}$$

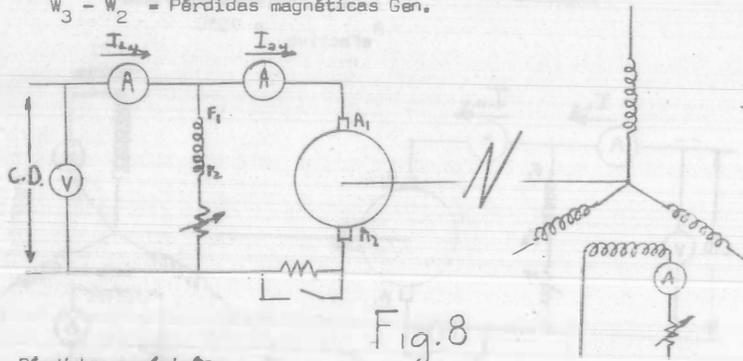


Fig. 8

Példidas mecánicas.

Para su obtención desacoplamos el primotor; según se muestra en la figura 8. Bajo estas condiciones, puede fácilmente comprobarse que si se efectúa la diferencia de potencias de W_2 menos W_4 , representando esta última el valor de la potencia con el alternador desacoplado, lo que se determinaría serán las pérdidas mecánicas del de este último, ya que en la condición de W_2 , lo único que proporcionará el motor al alternador serán justamente sus dichas pérdidas mecánicas.

Lo anterior será posible, al considerar en forma semejante, como en los casos anteriores, constantes las pérdidas del motor y despreciable la diferencia - $R_a (I_{A2}^2 - I_{A4}^2)$

$$\text{Así si } W_4 = V I_{A4}$$

$$W_2 - W_4 = \text{Példidas mecánicas.}$$

Como no tenemos excitador no consideramos sus pérdidas. Finalmente calcularemos la eficiencia.

$$\% \eta = \frac{\text{Potencia de salida}}{\text{Pot. salida} + \text{példidas}} \times 100$$

Donde:

Pot. de salida es la de placa. Como la potencia de un alternador generalmente se expresa en términos de potencia aparente (KVA) deberá suponerse un factor de potencia para determinar la capacidad real en KW, - ve ahí que en este caso el factor de potencia supuesto de operación será igual a 0.9.

$$\text{Példidas} = \text{Példs.mags.} + \text{Példs. mec.} + \text{Példs. en el campo}_{75^\circ\text{C}} + \text{Példs. elects. armadura}_{\text{Ef. } 75^\circ}$$

LABORATORIO DE CONVERSION

DE

ENERGIA ELECTROMECANICA III

PRACTICA No. 10

CURVAS DE TEMPERATURA Y METODO DE DAR
CARGA A LOS GENERADORES DE C.A.

FAC. DE INGENIERIA
DOCUMENTACION

PROF: Ing. José Méndez T.G.

Alumno: _____

Grupo: _____

CURVAS DE TEMPERATURA Y METODOS DE DAR CARGA A LOS GENERADORES DE C.A.

La prueba de temperatura sirve para verificar si el alternador trabaja a la capacidad de diseño dentro del límite normal de temperatura que se le asigna.

Capacidad nominal de carga de una máquina.

Es aquella que puede entregar continuamente una máquina a sus valores de tensión, velocidad y corriente de excitación nominales sin exceder una cierta temperatura máxima permisible.

Esto significa que si excede la temperatura, está mal su diseño o el valor de placa esta equivocado, sobrecalentándose y dañándose los aislamientos de la máquina (Ref. práctica 5.- Prueba de temperatura y métodos de carga para transformadores) Consejo de Energía Electromecánica II.

Determinación de la temperatura.

Debido a que las pérdidas se manifiestan en forma de calor, se necesita conocer la temperatura en varias partes de la máquina ya que la temperatura no es uniforme en toda ella; y estas partes son:

Núcleos, chumaceras, devanados de estator.

En estas partes la temperatura se mide por medio de termómetros o termopares.

Partes rotatorias.

En las partes rotatorias es difícil medir la temperatura ya que dicha temperatura se tiene que tomar cuando este trabajando la máquina; pero por medio de la medición de su resistencia eléctrica y también por la fórmula para extrapolación.

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{234.5 + t_1}{234.5 + t_2}$$

Se puede conocer su temperatura final.

El método consiste en:

Se toma la temperatura inicial y la resistencia inicial de rotor y se pone a trabajar la máquina durante todo el tiempo que dure la prueba de temperatura. Después

al finalizarla en el momento de parar se empieza a contar el tiempo midiendo su resistencia R_a, R_b, R_c con el puente de Wheatstone o Kelvin a intervalos de más o menos un minuto t_a, t_b, t_c llevando estos valores a una gráfica resistencia-tiempo.

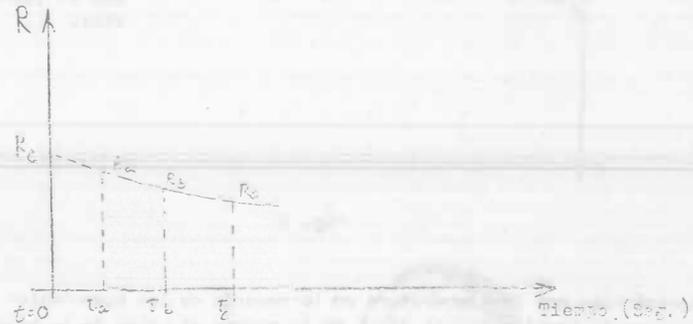


Fig. 1

Y prolongando la curva como se ve en la gráfica se encuentra "R" para $t = 0$ que llevado a la fórmula de extrapolación nos es el valor " t_2 " para la máquina en movimiento, al momento de haber finalizado la prueba.

- R_1 = Resistencia inicial.
- R_2 = Resistencia final (para $t = 0$ en la gráfica).
- t_1 = Temperatura inicial.
- t_2 = Temperatura final.

Trazo de la curva de temperatura.

Para las partes fijas de la máquina (estator) no existe problema ya que generalmente traen instalados termómetros o termopares que no dificultan su medición aunque este funcionando la máquina.



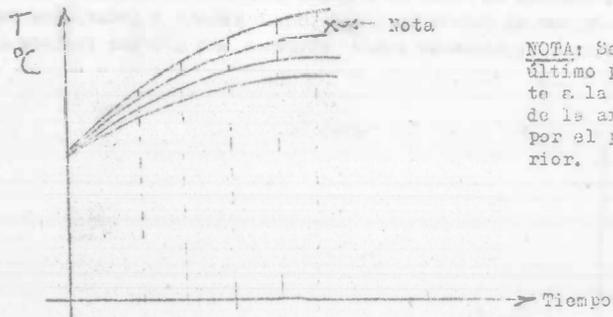


Fig. 2

NOTA: Se deberá incluir el último punto correspondiente a la temperatura final de la armadura determinada por el procedimiento anterior.

Encontrándose así la temperatura en la mayoría de los componentes de la máquina.- Es necesario también que al final de la prueba el valor de la temperatura ambiente no varíe apreciablemente.

Determinación de la prueba.

Para hacer la prueba en el generador, es necesario la carga completa, velocidad síncrona y voltaje nominal. Existen dos métodos de dar carga: carga real y carga figurada. La carga real se da con reostatos. La carga figurada se puede dar con un motor síncrono trabajando a f.p. muy bajo, otro método es trabajar al generador como tal, pero dándole carga reactiva con un motor síncrono. También se puede dar carga con corriente directa a través del bobinado del inducido y un cuarto método sería devolviendo la corriente a la línea

Método de carga real.

El método de la carga real solo se usa para máquinas pequeñas, ya que de lo contrario el consumo de energía sería muy alto. El circuito para el método de la carga real se muestra en la figura No. 3

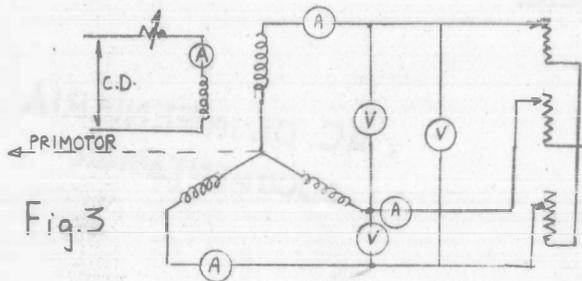


Fig. 3

METODO DE CARGA FIGURADA

1.- Trabajando el generador como motor síncrono.

Para aplicar el método del generador trabajando como motor a bajo factor de potencia, es necesario alimentar a tensión y frecuencia nominales para suministrar también las pérdidas magnéticas y mecánicas nominales y ya con la máquina operando se ajusta para sobreexcitarla y obtener la corriente nominal. Lo anterior produce un bajo factor de potencia. El circuito para esta prueba se muestra en la figura 4.

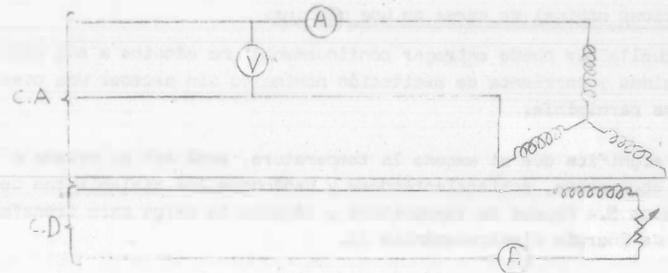


Fig 4

2.- Suministrando carga reactiva con un motor síncrono.

Lo anterior ya se hizo cuando se obtuvo la curva de saturación con carga a bajo factor de potencia. Se da la carga reactiva con el motor y el bajo factor de potencia necesario, se logra modificando la corriente de excitación del motor síncrono hasta tener la corriente nominal baseca; será necesario también operar el generador a su voltaje y velocidad nominales.

El circuito se muestra a continuación.

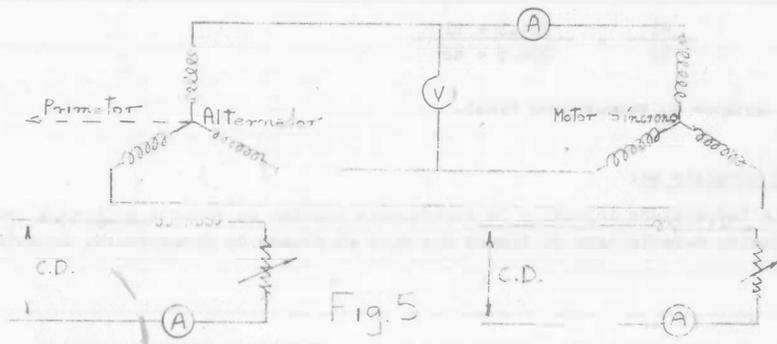
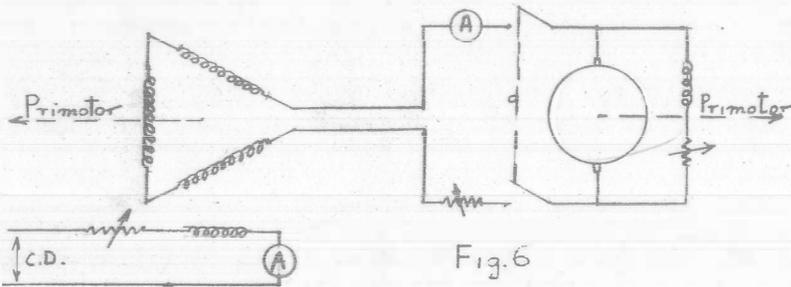


Fig. 5

3.- Circulación de corriente directa por el bobinado de la máquina a prueba.

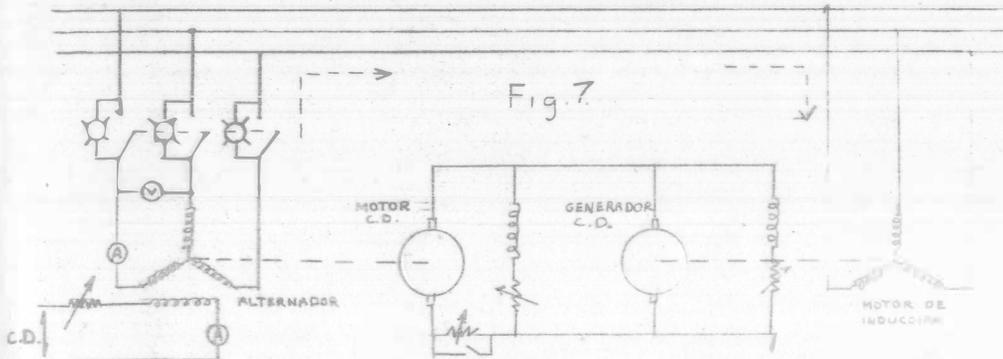
Esta prueba se puede realizar si se tienen las terminales accesibles (de la armadura) y se conectan en delta abierta y en la parte abierta de la delta - se introduce corriente directa para suministrar las pérdidas eléctricas, de esta manera, se gira la máquina a velocidad de sincronismo para proporcionar las pérdidas mecánicas y se excita el campo hasta obtener en el devanado del inducido la tensión nominal y suministrar así las pérdidas magnéticas. Procedimiento: Se arranca la máquina y ya con su velocidad y excitación nominales, se cierra el switch alimentando a la delta para proporcionar C.D.. Antes de cerrarse la delta deberá verificarse que no existe voltaje en sus terminales al ser la polaridad de las fases la indicada. Si la máquina es pequeña se puede usar un banco de baterías en lugar del generador de corriente directa. El circuito se muestra a continuación:



Deberá tenerse en cuenta que al igual que en el caso de los transformadores el valor de la potencia suministrada será tal que $3I_{ca}^2 R_{ef} = 3I_{c.d.}^2 R_{cd}$.

Regresando la corriente a la línea.

Este método ya se vió en parte cuando se realizó la prueba de sincronización de generadores. El diagrama es el circuito mostrado abajo (figura 7).



En este caso después de efectuar la sincronización, se ajusta la corriente de línea del generador de C.A. a su valor nominal operando al reóstato de campo del motor de C.D., tratando de aumentar la velocidad de este: sin embargo como el generador de C.A. se encuentra en sincronismo, no aumentará la velocidad del conjunto, siendo resultado neto la circulación de corriente hacia la línea.

Desde luego que el valor del voltaje de la línea y la velocidad de sincronismo deberá coincidir con los valores correspondientes nominales del generador, para que la prueba sea válida y se suministren así las condiciones también nominales de pérdidas.

El único consumo de energía que se tiene es el correspondiente a las pérdidas - de las 4 máquinas.

Si las condiciones de las otras máquinas lo permiten, la prueba de temperatura podrá ser aplicable no tan solo al generador de C.A., sino también a aquellas - que también pueden suministrarse condiciones nominales de pérdidas.

FAC. DE INGENIERIA
LABORATORIO DE INVESTIGACION

LABORATORIO DE CONVERSION

DE

ENERGIA ELECTROMECANICA III

Práctica No. 11 y 12

BALANCEO DE CORRIENTE, BALANCEO DE VOLTAJE.
RESISTENCIA DE AISLAMIENTO Y PRUEBA DIELEC
TRICA.

FAC. DE INGENIERIA
DOCUMENTACION

PROF: Ing. José Méndez T.G.

Alumno: _____

Grupo: _____

LABORATORIO DE CONVERSION DE ENERGIA ELECTROMECHANICA III

en caso contrario es recomendable usar un solo ampermetro para tomar la corriente en las tres fases.

V	I ₁	I ₂	I ₃
---	----------------	----------------	----------------

BALANCEO DE CORRIENTE, BALANCEO DE VOLTAJE, RESISTENCIA DE AISLAMIENTO Y PRUEBA DIELECTRICA.

1.- BALANCEO DE CORRIENTE

Esta prueba se realiza para verificar si la corriente en la máquina - sincrónica permanece estable y del mismo valor en las tres fases, cuando se somete a variación de carga.

Por lo general ésta se efectúa con la máquina trabajando como motor, utilizando para tal efecto el siguiente circuito de conexiones.

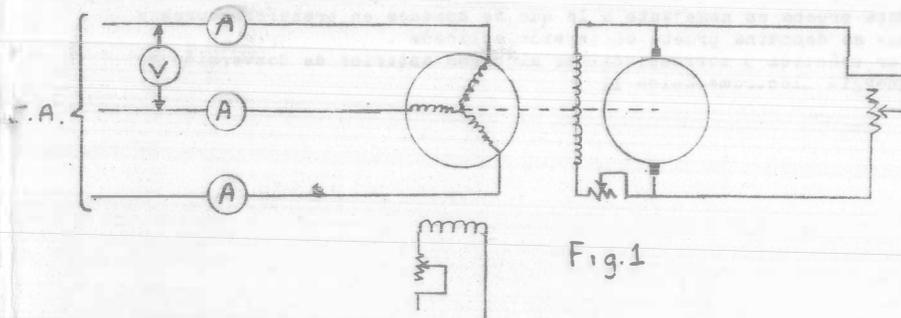


Fig.1

Para su realización seguiremos el procedimiento indicado a continuación:

- a).- Se arrancará la máquina en prueba aplicándole su voltaje nominal (se conservará constante durante todo el proceso), llevándola a su velocidad de sincronismo.
- b).- En estas condiciones se empezará a aplicarle carga paulatinamente y en pasos escalonados hasta llevarla a aproximadamente el 150% de su corriente nominal de placa.
- c).- Se registrarán los valores del voltaje aplicado y de la corriente en sus tres fases, según se indica en la tabla indicada a continuación, procurando que los amperímetros usados tengan la misma calibración con objeto de evitar errores en los aparatos, o -

2.- BALANCEO DE VOLTAJE

Como en el caso anterior de balanceo de corriente, esta prueba se efectúa para verificar el voltaje generado entre las tres fases de la máquina es exactamente el mismo para cualquier grado de excitación.

El circuito de conexiones por usar es similar al utilizado en la prueba de saturación en vacío, e sea:

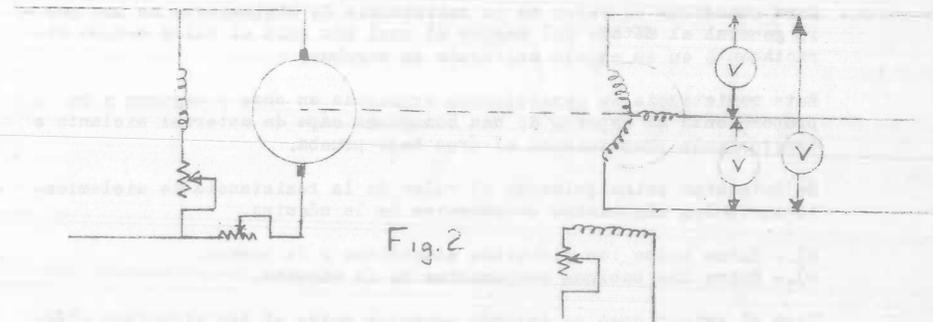


Fig.2

El proceso se efectuará de la siguiente manera:

- a).- Se hará girar al generador en prueba a su velocidad de sincronismo.
- b).- Se excitará el alternador con mínima corriente, y se irá incrementando en pasos escalonados, hasta obtener aproximadamente el 130% del voltaje nominal.

- c).- Se registrarán en cada paso la lectura de los tres voltímetros, procurando como en el caso anterior que estén perfectamente calibrados, o de lo contrario será preferible usar un solo aparato para hacer la medición entre las tres fases.
- d).- La máquina estará en correcto balance de voltaje si los voltajes entre fases son los mismos para cualquier grado de excitación.

I_{exc}	V_1	V_2	V_3
-----------	-------	-------	-------

3.- RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

La medición de la resistencia de aislamiento nos dará una indicación del aislamiento de la máquina, que deberá conocerse antes de efectuar la prueba dieléctrica.

En transformadores, una resistencia de aislamiento de 1 megohm por cada 1000 volts de su tensión de trabajo, se considera suficiente para garantizar la prueba dieléctrica que le precederá. En cambio, en máquinas rotatorias su nivel de aislamiento no es tan alto como en los transformadores, recomendando las normas estándares del IEEE que para encontrar el valor de su resistencia de aislamiento se utilice la siguiente expresión.

$$\text{Res. de aislamiento en megohms} = \frac{\text{Voltaje nominal}}{\frac{\text{KVA nominales} + 1000}{100}}$$

Para encontrar el valor de la resistencia de aislamiento se usa por lo general el método del megger el cual nos dará el valor medido directamente en su escala calibrado en megohms.

Esta resistencia es generalmente expresada en ohms o megohms y es proporcional al espesor de una homogénea capa de material aislante e inversamente proporcional al área bajo prueba.

Se determina principalmente el valor de la resistencia de aislamiento entre los siguientes componentes de la máquina.

- a).- Entre todos los circuitos eléctricos y la coraza.
- b).- Entre las bobinas componentes de la máquina.

Para el primer caso se deberán conectar entre sí los circuitos eléctricos de la máquina, colocando una punta del megger en los mismos y la otra en la coraza; en el caso de obtener una resistencia muy baja, se irán eliminando circuitos hasta determinar en cual de ellos se encuentra la falla.

Con el segundo caso podremos conocer si existe alguna falla de aislamiento entre bobinas.

El megger por lo general mide el valor de las resistencias con una -

corriente directa de 500 volts que se generan en el mismo aparato.

PRUEBA DIELECTRICA

Esta prueba se realiza después de la obtención de la resistencia de aislamiento y debe efectuarse entre cada embobinado y todos los demás circuitos eléctricos y las partes metálicas por lo general conectadas a tierra.

Ambas terminales de los embobinados deberán estar interconectadas, de esa manera el voltaje impuesto será uniformemente distribuido sobre todo el embobinado previniendo de un alto voltaje que se desarrollaría en el extremo libre debido a la distorsión de su onda.

La magnitud, frecuencia y duración de la prueba son generalmente determinadas de las normas del IEEE.

Para su realización el equipo probador se conectará a la máquina, y su voltaje se irá elevando gradualmente hasta obtener el valor deseado; esta tensión se mantendrá en ese valor por el tiempo requerido - (por lo general un minuto), reduciéndola posteriormente en forma gradual hasta un límite de seguridad antes de abrir el circuito.

Esta prueba es semejante a la que se conduce en transformadores y que se denomina prueba de tensión aplicada. (ver práctica 5 correspondiente al curso anterior de Conversión de Energía Electromecánica II)