

TECNOLOGÍA ELÉCTRICA. UNIDAD DIDÁCTICA 3

CONCEPTOS BÁSICOS A RETENER Y PROBLEMAS RESUELTOS

1.- CARACTERÍSTICAS DE LA MÁQUINA SÍNCRONA

- Las máquinas síncronas son máquinas eléctricas cuya velocidad de rotación n está vinculada con la frecuencia de la red con la que trabaja f mediante la siguiente expresión:

$$n = 60f/p$$

donde p es el número de pares de polos de la máquina

- Estas máquinas puede funcionar en régimen motor o en régimen generador, es decir, transformando energía eléctrica en mecánica o mecánica en eléctrica. Si se emplean como generadores para producir corriente alterna se denominan alternadores.

Aplicaciones como motor	Aplicaciones como generador
En accionamientos industriales que requieren velocidades de transmisión constantes	En los grupos electrógenos junto a motores de combustión interna Acopladas a las turbinas hidráulicas o térmicas para generar energía eléctrica

- Las máquinas síncronas están formadas por:
 - Un **devanado inductor** en forma de arrollamiento o distribuido entre ranuras y alimentado por **corriente continua** que da lugar a los polos (colocado normalmente en el **rotor**, sobre todo en las máquinas más grandes)
 - Un **devanado inducido** distribuido formando un arrollamiento trifásico recorrido por **corriente alterna** (colocado en el **estátor** sobre todo en las máquinas más grandes)
- Según la forma constructiva del rotor se pueden clasificar en **polos salientes** o **rotor liso**. Si se desea obtener velocidades altas para una determinada frecuencia es mejor tener menos polos por lo que es más adecuado el rotor liso.

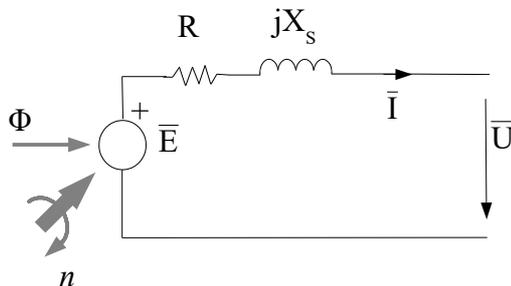
2.- FUNCIONAMIENTO EN CARGA. CIRCUITO EQUIVALENTE.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Cartagena99



Circuito equivalente máquina síncrona

donde aplicando la segunda Ley de Kirchhoff

$$\bar{U} = \bar{E} - (R + jX_s)\bar{I}$$

$$U \angle 0^\circ = E \angle \delta - (R + jX_s)I \angle -\varphi$$

Es importante resaltar que el ángulo formado entre la tensión de vacío (\bar{E}) y la tensión de salida en bornes del alternador (\bar{U}) se denota como δ y se denomina **ángulo de potencia**, y las potencias generadas por el alternador se pueden expresar en función de este parámetro:

$$P = 3[(U \cdot E)/X_s] \text{sen} \delta$$

$$Q = 3U[(E \cos \delta - U)/X_s]$$

donde E y U son los valores de fase de las tensiones en módulo.

Otra magnitud característica de la máquina es la **regulación de tensión ε** que se define:

$$\varepsilon = (E - U)/U \%$$

3.- PROBLEMAS RESUELTOS.

P1.- Un alternador trifásico conectado en estrella de 1000 kVA, 4600 V tiene una impedancia síncrona de $2 + j20 \Omega/\text{fase}$. Determinar la regulación a plena carga para un factor de potencia unidad.

Con los datos de potencia y tensión podemos calcular la corriente a plena carga del alternador:

$$I = S/(\sqrt{3} \cdot U) = 1000000/(\sqrt{3} \cdot 4600) = 125,5 \text{ A}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

que corresponde a una tensión de línea de $E_{línea} = \sqrt{3} * E = 6650,88 \text{ V}$ y la regulación será:

$\varepsilon = (E - U)/U = (6650,88 - 4600)/4600 = 44,58 \%$ donde hemos empleado las tensiones nominales o de línea

b) De igual modo

$$\bar{E} = (4600/\sqrt{3}) \angle 0^\circ + (2 + j20) * 125,5 \angle -41,4^\circ \text{ ya que } \arccos(0,75) = 41,4^\circ$$

operando

$$\bar{E} = 4820,24 \angle 20,86^\circ \text{ V que corresponde a una tensión de línea de } E_{línea} = 8348,9 \text{ V}$$

$$\varepsilon = (E - U)/U = (8348,9 - 4600)/4600 = 81,49 \%$$

P2.- Un alternador trifásico tiene una impedancia síncrona de $0 + j5 \Omega$ y está conectado a una red de potencia infinita de 6600 V. La excitación es tal que la f.e.m inducida en vacío es de 6000 V. Determinar la potencia activa máxima que en estas condiciones podrá suministrar la máquina sin que exista pérdida de estabilidad. Calcular también la corriente de inducido y el factor de potencia para dicha carga.

El valor de fase de la tensión y de la f.e.m generada es:

$$E = 6000/\sqrt{3} = 3464,1 \text{ V}$$

$$U = 6600/\sqrt{3} = 3810,5 \text{ V}$$

La expresión de la potencia activa en función del ángulo de potencia:

$$P = 3[(U * E)/X_s] \text{sen} \delta \text{ que será máxima si } \text{sen} \delta = 1, \text{ es decir, } \delta = 90^\circ$$

$$P_{max} = 3 * [(U * E)/X_s] = 3 * [(3810,5 * 3464,1)/5] = 7920 \text{ kW}$$

Para calcular la corriente de inducido resolvemos el circuito equivalente:

$$E \angle \delta = U \angle 0^\circ + (R + jX_s) I \angle -\varphi$$

$$3464,1 \angle 90^\circ = 3810,5 \angle 0^\circ + 5j(I \cos(-\varphi) + j I \text{sen}(-\varphi)) = 3810,5 \angle 0^\circ - 5I \text{sen}(-\varphi) + j5I \cos(-\varphi)$$

IMPORTANTE tenemos que calcular I y φ y lo podemos hacer igualando en la ecuación anterior las partes reales por un lado y las imaginarias por otro. Es decir, la ecuación queda:

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70**

Cartagena99

Despejando en (*) podemos hallar la intensidad:

$$I = 1029,4 \text{ A}$$

Comprobamos otro modo de calcular la potencia activa:

$$P = \sqrt{3}UI\cos(\varphi) = \sqrt{3}*6600*1029,4*0,673 = 7919,6 \text{ W}$$

P3.- Un alternador trifásico conectado en estrella tiene una resistencia de inducido despreciable y una reactancia síncrona de $30 \Omega/\text{fase}$. Está acoplado a una red de potencia infinita de 11 kV y desarrolla 4000 kVA con factor de potencia unidad. Si se aumenta la f.e.m. en un 20%, permaneciendo constante la entrada de potencia a la máquina motriz, determinar el nuevo factor de potencia con el que trabajará la máquina y la potencia aparente que suministra.

Calculamos la corriente que suministra a la red

$$I = S/(\sqrt{3}*U) = 4000000/(\sqrt{3}*11000) = 209,9 \text{ A}$$

Aplicando la ecuación del circuito equivalente calculamos la f.e.m inicial para un $\cos(\varphi) = 1$, $\varphi = 0^\circ$

$$\bar{E} = (11000/\sqrt{3})\angle 0^\circ + j30) * 209,9\angle 0^\circ = 6350,8\angle 0^\circ + 6297\angle 90^\circ = 8943,4\angle 44,7^\circ \text{ V}$$

El modulo de la nueva f.e.m inducida será:

$$\bar{E}' = 1,2*8943,4 = 10732,08 \text{ V}$$

Como la entrada de potencia a la máquina permanece constante, inicialmente

$$P = \sqrt{3}UI \cos(\varphi) = \sqrt{3}*11000*209,9\cos*1 \approx 4000 \text{ kW}$$

como también podemos expresar $P = [(U*E)/X_s]\text{sen}\delta$ tenemos

$$4000000 = 3*[(6350,8* 10732,08)/30]\text{sen}\delta \text{ de donde } \text{sen}\delta = 0,586 \text{ y } \delta = 35,9^\circ$$

escribiendo la ecuación de la f.e.m para este caso:

$$E \angle \delta = U \angle 0^\circ + (R+jX_s)I \angle -\varphi$$

$$10732,08\angle 35,9 = 6350,8\angle 0^\circ + j30I\angle -\varphi$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

4.- ASPECTOS PRÁCTICOS. PLACA DE CARACTERÍSTICAS DE UN GENERADOR SÍNCRONO

En la placa de características de un generador síncrono o alternador debemos encontrar los siguientes valores:

- Frecuencia
 - Velocidad de giro
 - Factor de potencia
 - Tensión en bornes
 - Potencia aparente (kVA)
 - Corriente de excitación
 - Modo de conexión del inducido
- } permite calcular el nº de polos
 } permite calcular la corriente a plena carga



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99