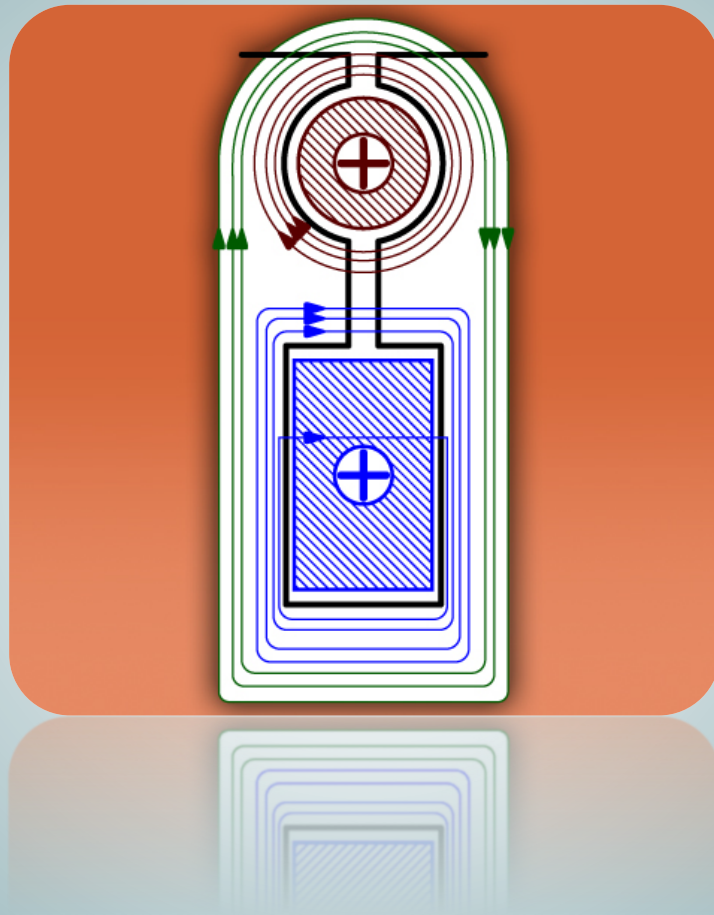


Máquinas Eléctricas II

Tema 3. Máquinas síncronas. Problemas propuestos



Miguel Ángel Rodríguez Pozueta

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética

Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

© 2018, Miguel Angel Rodríguez Pozueta

Universidad de Cantabria (España)

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/> or send a letter to Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.



Está permitida la reproducción total o parcial de este documento bajo la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Unported que incluye, entre otras, la condición inexcusable de citar su autoría (Miguel Angel Rodríguez Pozueta - Universidad de Cantabria) y su carácter gratuito.

Puede encontrar más documentación gratuita en la página web del autor: <http://personales.unican.es/rodrigma/primer/publicaciones.htm>

PROBLEMAS PROPUESTOS DE MÁQUINAS SÍNCRONAS

MÁQUINAS ELÉCTRICAS II

11) Se tienen dos alternadores trifásicos de rotor liso iguales conectados en paralelo. Estos generadores son de 60 Hz, 6600 V, 10000 kVA, conexión estrella, resistencia efectiva de $0,063 \Omega/\text{fase}$ y reactancia síncrona de $1,52 \Omega/\text{fase}$. Se supone que las resistencias y reactancias de estos generadores son constantes. Estos generadores en paralelo alimentan con una tensión de línea de 6600 V a una carga de tipo inductivo de 18000 kVA y factor de potencia 0,9 inductivo.

- a) Calcular las fuerzas electromotrices (f.e.m.s) de vacío de ambos generadores y sus ángulos de par cuando la carga se reparte entre ellos por igual y ambos operan con el mismo factor de potencia
- b) Se ajustan los reguladores de las turbinas que mueven a los alternadores, manteniendo invariable la frecuencia, hasta que el alternador 1 lleva los $2/3$ de la potencia del sistema. La excitación del alternador 1 se mantiene constante, pero la del alternador 2 se ajusta para mantener la tensión de línea en la carga en el valor de 6600 V. Bajo estas nuevas condiciones de trabajo encontrar los nuevos ángulos de carga y la nueva f.e.m. de vacío del alternador 2.

12) Se dispone de un motor síncrono de dos polos, 2300 V, 2500 C.V. y 50 Hz cuyo estator está conectado en estrella y que tiene una reactancia síncrona de $1,5 \Omega$.

Inicialmente este motor se alimenta con 2300 V, acciona una carga mecánica de 1800 kW y su excitación se ajusta para que el factor de potencia valga 1 ($\cos \varphi_m = 1$). Seguidamente se va aumentando paulatinamente la carga mecánica, manteniendo constante la corriente de excitación, hasta conseguir que esta máquina proporcione su par máximo.

- a) Calcular dicho par máximo y el factor de potencia correspondiente en estas dos situaciones:
 - 1) Si el motor está alimentado por una red de potencia infinita de 2300 V y 50 Hz.
 - 2) Si el motor está alimentado por un generador síncrono de dos polos, 2300 V, 2600 kVA y 50 Hz cuyo estator está conectado en estrella y que tiene una reactancia síncrona de 2Ω . La corriente de excitación de este generador también permanece constante e igual a la que se necesita para alimentar al motor en sus condiciones iniciales (1800 kW y $\cos \varphi_m = 1$).
- b) En este segundo caso obtener la tensión que se tendrá en ambas máquinas cuando el par es máximo.

NOTAS: Se acepta que las reactancias síncronas de estas dos máquinas son constantes.

Las resistencias de las fases de los inducidos dos máquinas y la impedancia de la línea que las une son despreciables.

Se desprecian las pérdidas de ambas máquinas.

- 13) Un alternador trifásico de rotor cilíndrico, 45 MVA, 13,6 kV y 50 Hz, tiene los siguientes parámetros:

$$X_d = 1 \text{ p.u.}; \quad X'_d = 0,3 \text{ p.u.}; \quad X''_d = 0,25 \text{ p.u.}; \quad T'_d = 5 \text{ s}; \quad T''_d = 0,04 \text{ s};$$

Este alternador se conecta a la red eléctrica a través de una línea cuyas fases tienen una resistencia despreciable y una reactancia de 0,5 p.u.

Mientras este alternador estaba funcionando a plena carga, con factor de potencia 0,8 inductivo y tensión asignada en el extremo de la línea donde se conecta a la red, se produce un cortocircuito brusco en bornes del alternador. Obtener:

- a) El máximo valor que puede llegar a alcanzar la componente unidireccional de cortocircuito.
 - b) Un interruptor automático protege a la instalación abriendo al cabo de 0,1 s de iniciarse el cortocircuito. Si en ese instante la componente unidireccional de la corriente de cortocircuito se ha anulado ¿cuál será el valor eficaz de la corriente que cortará dicho interruptor automático?
- 19) Un alternador trifásico de rotor liso, conexión estrella, 3500 kVA, 11 kV tiene estas reactancias síncrona, transitoria y subtransitoria:

$$X_d = 15 \Omega; \quad X'_d = 5 \Omega; \quad X''_d = 4 \Omega$$

- a) Estando el generador funcionando en vacío y suministrando la tensión asignada en sus bornes, se produce un cortocircuito trifásico brusco en bornes de la máquina. Calcular las corrientes subtransitoria I''_d , transitoria I'_d y permanente I_{ccp} de cortocircuito.

Este alternador se acopla en paralelo con otro de 3500 kVA, 11 kV, rotor liso y conexión estrella, cuya reactancia síncrona vale 20Ω . Ambos alimentan a la tensión asignada una carga con una potencia de 5000 kW y un factor de potencia de 0,8 inductivo. La excitación del primer alternador se ha ajustado para que proporcione una corriente de 150 A con un factor de potencia inductivo y los reguladores de los motores primarios para que ambos proporcionen la misma potencia. Determinar:

- b) El factor de potencia de cada alternador.
- c) La f.e.m. de vacío E_0 y el ángulo de carga de cada alternador.
- d) Repetir el apartado anterior si los dos alternadores están separados por una línea cuya reactancia es 6Ω y la carga está conectada a la tensión asignada justo en el punto medio de dicha línea.

NOTA: Se acepta que las reactancias de cada máquina son constantes y que, además, las resistencias de los alternadores y de la línea son despreciables.

- 20) Se tiene un turboalternador síncrono de 20 kV, 575 MVA, 50 Hz y resistencia de las fases del estator despreciable.
- a) Este alternador se acopla en paralelo con otro de iguales características y ambos alimentan a la tensión asignada una carga de 500 MW con factor de potencia 0,8 inductivo. Se puede aceptar que la reactancia síncrona de estos alternadores va a ser constante e igual a $0,869 \Omega$. Inicialmente se ajustan los reguladores para que ambos alternadores se repartan por igual las potencias activas y reactivas de la carga. Después, sin modificar la carga, se reduce la potencia de uno de los alternadores en un 20% manteniendo invariable su corriente de excitación. A la vez se actúa sobre la excitación del otro para que la tensión en bornes no varíe. Calcular los nuevos valores de la fuerza electromotriz (f.e.m.) de vacío, la corriente, el factor de potencia y el ángulo de par de cada alternador.
 - b) El conjunto de estos dos alternadores en paralelo con la misma carga que en el apartado anterior vuelve a la situación de igualdad de potencias activas y reactivas. Seguidamente, sin modificar el reparto de las potencias activas entre ambas máquinas, se reduce la excitación de una de ellas de forma que su f.e.m. de vacío disminuye en un 20%, mientras que se modifica la excitación de la otra para que se siga manteniendo la tensión asignada. Calcular los nuevos valores de la f.e.m. de vacío, la corriente, el factor de potencia y el ángulo de par de cada alternador.
 - c) Si ahora uno de estos alternadores se lo acopla a una red de potencia infinita de 20 kV y 50 Hz, su excitación se mantiene constante de forma que la f.e.m. de fase en vacío E_0 sea 15000 V y su reactancia síncrona se pueda suponer constante e igual a $0,869 \Omega$; calcular la máxima potencia que puede proporcionar.

- 21) Se tienen dos turboalternadores síncronos de rotor cilíndrico iguales de 80 MVA, 11 kV y 50 Hz. La reactancia síncrona de ambas máquinas vale 1,1 p.u.

Estos dos alternadores se conectan en paralelo y alimentan a la tensión y frecuencia asignadas a una carga eléctrica que demanda 120 MW con factor de potencia 0,8 inductivo.

Inicialmente se han ajustado los reguladores de potencia de las turbinas que mueven a ambas máquinas y sus reguladores de excitación para que las potencias activa y reactiva totales se repartan por igual entre ambos alternadores. Calcular para cada uno de estos dos generadores:

- a) La fuerza electromotriz (f.e.m.) de vacío E_0 .
- b) El ángulo de par δ .

Ahora se incrementa la excitación de uno de los alternadores, manteniendo la misma carga y el mismo reparto de potencia activa entre los generadores, hasta conseguir que su f.e.m. de vacío E_0 se incremente en un 20%. A la vez se reduce la excitación del otro para no modificar la tensión asignada en bornes. Calcular para cada máquina en estas condiciones:

- c) Las potencias activa y reactiva
- d) La corriente y el factor de potencia
- e) El ángulo de par.

Partiendo de la igualdad de reparto de potencias activa y reactiva entre los dos alternadores síncronos y de la carga total de 120 MW, se actúa ahora sobre el regulador de potencia de uno de los motores primarios de forma que se logra incrementar su potencia en un 25%, en tanto que se regula la excitación del otro alternador para que la tensión en bornes permanezca constante. Se pide para cada alternador:

- f) Las potencias activa y reactiva
- g) La corriente y el factor de potencia
- h) El ángulo de par.

NOTAS: Se acepta que las reactancias síncronas de estas dos máquinas son constantes.

Las resistencias de las fases de los inducidos dos máquinas y la impedancia de la línea que las une son despreciables.

Se desprecian las pérdidas de ambas máquinas.

- 22) Un turboalternador tetrapolar de 10 MVA, 20000 V, 50 Hz, 4 polos y conexión estrella tiene la resistencia del inducido es despreciable.

- a) Calcular la corriente de choque si se produce un cortocircuito trifásico brusco en bornes del alternador, si previamente funcionaba con tensión y corriente asignadas y con factor de potencia unidad. La reactancia subtransitoria de este alternador vale 0,15 p.u.
- b) Este alternador se acopla en paralelo con una red de potencia infinita de 20000 V y 50 Hz. ¿Cuál será el máximo par que pedirá este alternador si su reactancia síncrona se puede considerar constante e igual a 40Ω y la corriente de excitación permanece constante dando lugar a una f.e.m. de vacío por fase E_0 igual a 12933 V?

- 23) Un alternador trifásico de rotor liso, conexión estrella, 3500 kVA, 11 kV tiene estas reactancias síncrona, transitoria y subtransitoria:

$$X_d = 15 \Omega; \quad X'_d = 5 \Omega; \quad X''_d = 4 \Omega$$

Estando el generador funcionando en vacío y suministrando la tensión asignada en sus bornes, se produce un cortocircuito trifásico brusco en bornes de la máquina. Calcular las corrientes subtransitoria I''_d , transitoria I'_d y permanente I_{ccp} de cortocircuito.

- 24) Un alternador síncrono de 10 MVA, 10 kV, 50 Hz, conexión estrella, resistencia de las fases del inducido despreciable, tiene estos parámetros:

$$X_d = 10 \Omega \quad X'_d = 2 \Omega \quad X''_d = 1,2 \Omega$$

Calcular las corrientes permanente, transitoria y subtransitoria en un cortocircuito trifásico si:

- El cortocircuito se produce en bornes de la máquina estando ésta previamente funcionando en vacío a la tensión asignada.
- El cortocircuito se produce en bornes de la máquina estando ésta previamente funcionando a $1/3$ de la carga asignada con factor de potencia unidad y con la tensión asignada en bornes del estator.
- La intensidad de choque en el caso de la marcha previa en vacío del apartado a).

NOTA: En todos los casos se supone que las reactancias X_d , X'_d y X''_d permanecen constantes.

- 25) Un alternador síncrono trifásico de 3 MVA, 15000 V, 50 Hz y conexión estrella tiene los siguientes parámetros:

$$X_d = 90 \Omega \quad X'_d = 13,5 \Omega \quad X''_d = 8,5 \Omega$$

Cuando esta máquina estaba alimentando a la tensión asignada una carga de 2 MVA con un factor de potencia 0,6 inductivo a través de una línea de reactancia $X_L = 1,5 \Omega$, se produjo un cortocircuito trifásico al final de la línea (en el lado de la carga). Calcular las corrientes permanente, transitoria, subtransitoria y de choque en este cortocircuito.

- 26) Un alternador síncrono de rotor liso, 15 MVA, 15000 V, 50 Hz y 4 polos está conectado en estrella, la resistencia de las fases de su estator es despreciable y tiene estos parámetros:

$$X_s = X_d = 0,7 \text{ p.u.} \quad X'_d = 0,2 \text{ p.u.} \quad X''_d = 0,15 \text{ p.u.}$$

Estando funcionando a la tensión asignada con la corriente asignada y factor de potencia unidad se produce un cortocircuito trifásico en bornes del estator:

- a) Calcular las corrientes permanente, transitoria, subtransitoria y de choque en este cortocircuito.

Ahora este alternador se acopla en paralelo con otro de iguales características y juntos alimentan a la tensión asignada a una carga que consume 25 MVA con factor de potencia 0,8 inductivo. El primero de los alternadores tiene ajustados sus reguladores para que tenga una f.e.m. de vacío E_0 igual a 1,5 p.u. y una potencia activa igual al 70% de la total. El otro alternador tiene sus reguladores ajustados de forma que haya la tensión asignada en bornes del estator y que proporcione el resto de la potencia activa total.

En estas condiciones calcular para cada alternador:

- b) F.e.m. de vacío y ángulo de par.
c) Corriente y factor de potencia.
d) Potencias activa y reactiva.

Ahora uno de estos alternadores se acopla a una red de potencia infinita de 15000 V y 50 Hz y se le ajusta su regulador de excitación para que su f.e.m. de vacío E_0 sea 1,5 p.u.:

- e) ¿Cuáles serán la potencia y el par máximos que puede proporcionar este generador en estas condiciones?

- 27) Se tiene un alternador síncrono trifásico de rotor cilíndrico, 1800 r.p.m., 1 MVA, 3000 V y 60 Hz, conectado en estrella, su reactancia síncrona (X_s) vale 10Ω y la resistencia de las fases del estator es despreciable.

- a) Estando este alternador funcionando en vacío a la tensión asignada se produce un cortocircuito trifásico en bornes del inducido. La corriente subtransitoria (I''_d) de este cortocircuito vale 9,1 p.u. (por unidad).

Calcular la corriente de choque (I_{ch}) de este cortocircuito en amperios, la reactancia subtransitoria (X''_d) en Ω y el número de polos de la máquina.

- b) Ahora este alternador se conecta a una red de potencia infinita de 3000 V y 60 Hz y se ajusta su corriente de excitación para que la fuerza electromotriz (f.e.m.) de vacío entre fases sea $E_{0L} = 4900 \text{ V}$. Seguidamente se actúa sobre el regulador de potencia para que proporcione la máxima potencia activa.

En estas condiciones calcular: el ángulo de par (δ), la corriente de línea (I_L), el factor de potencia ($\cos \varphi$), las potencias activa (P) y reactiva (Q) y el par (M) de la máquina.

SOLUCIONES A LOS PROBLEMAS PROPUESTOS DE MAQUINAS SÍNCRONAS

- 11) a) 7798,2 V (de línea); 13,6° b) 7770 V (de línea); 18,2°; 8,9°
- 12) a1) 12,6 kNm; 0,747 inductivo a2) 6,53 kNm; 0,997 capacitivo
b) 1777 V (tensión de línea)
- 13) a) 16966 A (= 8,88 p.u.) b) 10283 A (= 5,38 p.u.)
- 19) a) 423,4 A; 1270,2 A; 1587,7 A b) 0,875 y 0,726
c) 13329 y 15963 V (de línea); 14,82° y 16,54°
d) 13880 y 16782 V (de línea); 13,71° y 14,8°
- 20) a) 17419 V y 17519 V; 8260,4 A y 9959 A; 0,699 y 0,870 inductivo; 16,74° y 25,44°
b) 13935 V y 21014 V; 7288,7 A y 12165 A; 0,990 y 0,593 inductivo; 26,74° y 17,37°
c) 597,9 MW
- 21) a) 11539,7 V b) 27° c) 60 y 60 MW; 74 y 15,9 Mvar
d) 5000,5 y 3262,85 A; 0,63 y 0,97 inductivo e) 22,2° y 34,1°
f) 75 y 45 MW; 36,1 y 53,9 Mvar
g) 4367,7 y 3686,8 A; 0,90 y 0,64 inductivo h) 34,58° y 19,6°
- 22) a) 4865 A b) 71294 Nm
- 23) 1587,7 A; 1270,2 A; 423,4 A
- 24) a) 577,4 A; 2887 A; 4811 A; b) 608,5 A; 2893 A; 4815 A;
c) 12028 A
- 25) 163 A; 641 A; 929 A; 2322 A
- 26) a) 1007 A; 2945 A; 3892 A; 9729 A
b) 22499 y 20677 V (de línea); 25,8° y 11,7°
c) 611 y 370 A; 0,881 y 0,626
d) 14 y 6 MW; 7,51 y 7,48 Mvar
e) ($\Omega_1 = 157$ rad/s); $P_{\text{máx}} = 32,14$ MW; $M_{\text{máx}} = 204,6$ kNm
- 27) $V_{NL} = 3000$ V; $V_N = 1732$ V; $I_{NL} = 192,5$ A; $I_N = 192,5$ A; $Z_N = 9 \Omega$;
a) $X''_d = 0,11$ p.u. = 0,99; $I_{chL} = 22,75$ p.u. = 4379 A; 2p = 4 polos.
b) ($E_0 = 2829$ V)
 $\delta = 90^\circ$; $I = I_L = 331,7$ A; ($\varphi = 31,48^\circ$); $\cos \varphi = 0,853$ capacitivo
 $P = P_{\text{máx}} = 1,47$ MW; $Q = -0,9$ Mvar (capacitivo);
 $M = M_{\text{máx}} = 7798$ Nm = 7,8 kNm