

B NOMBRE Y APELLIDOS _____ DNI _____

Fecha: junio 09 _____

Código asignatura: 524137

- Rellene todos sus datos, con el DNI. El tiempo total para la resolución del examen es de 2 horas. Se permite el uso de calculadora no programable.
 - Entregue la hoja del enunciado marcando con un círculo la respuesta correcta. Cada respuesta correcta suma 1 punto. Las respuestas erróneas o en blanco no puntúan.
 - En las preguntas cuya solución sea numérica, se detallarán los cálculos que justifican la respuesta. En caso de que la justificación no sea correcta se puntuará como cero. Se escogerá como respuesta la opción con el valor más aproximado al obtenido por el alumno. Utilizar hojas en blanco o el reverso de los enunciados para las justificaciones.
-

1. Se tiene un sistema eléctrico de potencia formado por dos generadores unidos por una línea de alta tensión. Los generadores no tienen asignados límites en cuanto a su potencia mínima o máxima. Los costes asociados por hora de funcionamiento y las pérdidas de potencia asociadas a la transmisión, son los siguientes:

$$\begin{aligned}C_1(\text{UM/hora}) &= 6 + 4 P_{G1} + 0,003 P_{G1}^2 \\C_2(\text{UM/hora}) &= 10 + 5 P_{G2} + 0,004 P_{G2}^2 \\P_{\text{pérdidas}} (\text{MW}) &= 0,0001 \cdot (P_{G1} + P_{G2} - 50)^2\end{aligned}$$

En las anteriores expresiones las potencias de los generadores se expresan en MW. Si la potencia demandada en la barra de conexión del generador 1 es de 250 MW y en la barra de conexión del generador 2 es de 100 MW, determinar utilizando el despacho económico:

La potencia óptima del generador 1:

- a) $P_{G1} = 265 \text{ MW}$
- b) $P_{G1} = 268 \text{ MW}$
- c) $P_{G1} = 271 \text{ MW}$
- d) $P_{G1} = 274 \text{ MW}$
- e) $P_{G1} = \mathbf{277 \text{ MW}}$

La potencia de pérdidas:

- a) $P_{\text{pérdidas}} = 1,6 \text{ MW}$
- b) $P_{\text{pérdidas}} = 3,6 \text{ MW}$
- c) $P_{\text{pérdidas}} = 5,6 \text{ MW}$
- d) $P_{\text{pérdidas}} = 7,6 \text{ MW}$
- e) $P_{\text{pérdidas}} = \mathbf{9,6 \text{ MW}}$
- f) $P_{\text{pérdidas}} = 12,6 \text{ MW}$

El factor de penalización del generador 2.

- a) $\mathbf{1,07}$
- b) 1,17
- c) 1,27
- d) 1,37
- e) 1,47
- f) 0,97

El coste incremental (CI) del sistema

- a) 4,2 UM/MWh

Fecha: junio 09 _____

Código asignatura: 524137

- b) 5,1 UM/MWh
- c) **5,7 UM/MWh**
- d) 6,5 UM/MWh
- e) 7,1 UM/MWh
- f) El coste incremental de cada generador es distinto al intervenir los factores de penalización que son distintos para cada generador y por tanto no cabe identificar un coste incremental único.

Calcular también el valor del coeficiente λ del sistema:

- a) $\lambda = 4,73$ UM/MWh
- b) $\lambda = 5,23$ UM/MWh
- c) $\lambda = 5,73$ UM/MWh
- d) **$\lambda = 6,03$ UM/MWh**
- e) $\lambda = 6,33$ UM/MWh

Solución:

En primer lugar se calculan los costes incrementales (CI_1, CI_2) y los factores de penalización:

$$CI_1 = 4 + 0,006P_{G1}$$

$$CI_2 = 5 + 0,008P_{G2}$$

$$L_1 = \frac{1}{1 - \frac{\partial P_p}{\partial P_{G1}}}, \quad L_2 = \frac{1}{1 - \frac{\partial P_p}{\partial P_{G2}}}$$

$$\frac{\partial P_p}{\partial P_{G1}} = 0,0002(P_{G1} + P_{G2} - 50)$$

$$\frac{\partial P_p}{\partial P_{G2}} = 0,0002(P_{G1} + P_{G2} - 50)$$

Si se aplica la regla del despacho económico se tienen dos ecuaciones:

$$L_1 CI_1 = \frac{4 + 0,006P_{G1}}{1,01 - 0,0002P_{G1} - 0,0002P_{G2}} = \lambda \quad (1)$$

$$L_2 CI_2 = \frac{5 + 0,008P_{G2}}{1,01 - 0,0002P_{G1} - 0,0002P_{G2}} = \lambda \quad (2)$$

Se debe cumplir además el balance potencias

$$P_{G1} + P_{G2} = 350 + P_p \quad (3)$$

Para resolver el problema se puede iterar partiendo de un valor arbitrario de λ , por ejemplo $\lambda = 6$, mediante las ecuaciones (1) y (2), de forma que se obtiene:

$$P_{G1} = 272,83 \text{ MW}$$

$$P_{G2} = 79,63 \text{ MW}$$

B NOMBRE Y APELLIDOS _____ DNI _____

Fecha: junio 09 _____

Código asignatura: 524137

Con estos valores de potencias generadas se puede calcular mediante la fórmula de la potencia de pérdidas del enunciado:

$$P_p = 9,15 \text{ MW}$$

$$\text{Como: } P_{G1} + P_{G2} < 350 + P_p$$

Será necesario aumentar el valor de λ . Tras varias iteraciones se puede calcular que para un valor $\lambda = 6,035 \text{ UM/MWh}$ se tienen los siguientes valores:

$$P_{G1} = 276,9 \text{ MW}$$

$$P_{G2} = 82,70 \text{ MW}$$

$$P_p = 9,60 \text{ MW}$$

Además se calcula tal y como solicita el enunciado el coste incremental del sistema que será igual para los dos generadores, al ser iguales en este ejemplo los valores de los factores de penalización). Se calcula por último el factor de penalización del generador 2 cuyo valor es idéntico para el generador 1.

$$CI_1 = 4 + 0,006P_{G1} = 5,66 \text{ UM / MWh}$$

$$CI_2 = 5 + 0,008P_{G2} = 5,66 \text{ UM / MWh}$$

$$L_2 = \frac{1}{1 - \frac{\partial P_p}{\partial P_{G2}}} = \frac{1}{1 - 0,0002(P_{G1} + P_{G2} - 50)} = \frac{1}{1,01 - 0,0002(P_{G1} + P_{G2})} = 1,066$$

2. Marcar la respuesta correcta:

- a) La OMEL se encarga de la operación del sistema eléctrico desde un punto de vista técnico.
- b) La ley del sector eléctrico de 1997 garantiza la viabilidad de las empresas eléctricas en régimen de monopolio cada una en su zona geográfica de implantación.
- c) REE es la encargada de la operación del mercado español de la electricidad.
- d) La ley de sector eléctrico prohíbe la integración en la misma empresa de las actividades de generación y distribución de energía eléctrica.**
- e) UNESA fue creada en 1984 con la entrada en vigor del marco legal estable del sector eléctrico.

3. Indicar la respuesta correcta que explica una característica del funcionamiento de una central nuclear.

- a) Los reactores lentos utilizan como moderador para disminuir la velocidad de los neutrones agua ligera, agua pesada o grafito.**
- b) Los reactores rápidos utilizan como moderador únicamente barras de grafito.
- c) Las centrales nucleares españolas utilizan como moderador barras de grafito.

Fecha: junio 09 _____

Código asignatura: 524137

d) Las centrales nucleares con reactor de agua a presión disponen de un contenedor de acero alrededor del reactor para evitar fugas de agua a presión.

4. Calcular la velocidad de giro de un alternador que funciona a una frecuencia de 50 Hz, si se conoce que su frecuencia mecánica de giro es de 25 Hz.

- a) 3000 rpm
- b) 1500 rpm**
- c) 750 rpm
- d) 375 rpm
- e) 6000 rpm

Solución:

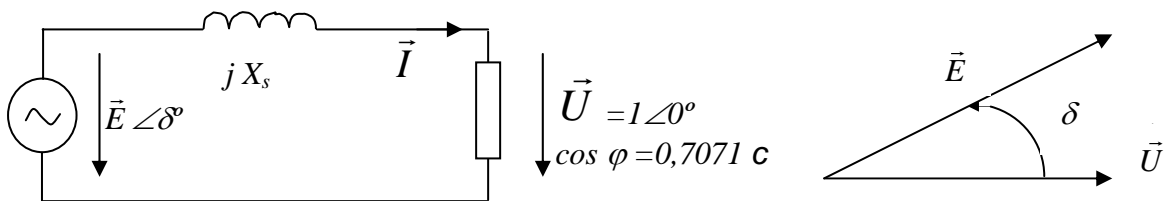
$$f_m = \frac{f_e}{p} \Rightarrow p = 2$$

$$n = \frac{60 \cdot f_e}{p} = \frac{3000}{2} = 1500 \text{ rpm}$$

O bien,

$$f_m = 25 \text{ Hz} = 25 \text{ rps} = 25 \cdot 60 \text{ rpm} = 1500 \text{ rpm}$$

5. Un generador síncrono alimenta a una carga de potencia activa $P=1,0$ pu formada por una resistencia en paralelo con un condensador. El factor de potencia de la carga es 0,7071 capacitivo, y la tensión en sus bornes de $U=1,0$ pu. La fuerza electromotriz interna del generador tiene un módulo de $E=0,8$ pu, y el ángulo de par, δ , se mantiene por debajo de 30° para garantizar su estabilidad transitoria. Si la carga se conecta directamente en bornes del generador calcular los parámetros siguientes:



El valor de la reactancia síncrona del generador en valores por unidad.

- a) 0,13 pu
- b) 0,18 pu
- c) 0,21 pu
- d) 0,23 pu**
- e) 0,28 pu
- f) 0,76 pu

El valor de la fuerza electromotriz interna del generador en valores por unidad.

- a) 0,8 pu $\angle 16^\circ$

- b) **0,8 pu $\angle 17^\circ$**
- c) 0,8 pu $\angle 18^\circ$
- d) 0,8 pu $\angle 19^\circ$
- e) 0,8 pu $\angle 20^\circ$
- f) 0,8 pu $\angle 73^\circ$

Solución.

Se parte de la expresión de la potencia compleja entregada por el generador, teniendo en cuenta que si el factor de potencia es de 0,7071 capacitivo, quiere decirse que el ángulo de la carga es de 45° capacitivo y que la potencia activa consumida por la carga es igual a la reactiva inyectada. La potencia reactiva consumida por la carga debe ser forzosamente negativa ya que la carga es capacitiva (por lo tanto la carga cede o inyecta reactiva).

$$S = P + jQ = 1 - j = U \cdot I^* = 1,0 \cdot I^* = I^* \Rightarrow I = 1 + j = \sqrt{2} \angle 45^\circ = \sqrt{2} (\cos 45^\circ + j \sin 45^\circ)$$

Por otra parte:

$$E = U + jX_s \cdot I = 1,0 + jX_s \cdot \sqrt{2} (\cos 45^\circ + j \sin 45^\circ) = (1 - X_s) + jX_s$$

$$|E| = 0,8 = \sqrt{(1 - X_s)^2 + X_s^2}$$

Resolviendo la ecuación de segundo grado se obtiene dos soluciones:

$$X_s = 0,7645 \text{ pu}$$

$$X_s = 0,2354 \text{ pu}$$

Para cada uno de los valores posibles de la inductancia se puede obtener el ángulo de par delta, δ , como:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{X_s}{1 - X_s}$$

De manera que se obtienen también dos soluciones posibles para el valor del ángulo de par.

$$X_s = 0,7645 \text{ pu}, \Rightarrow \delta = 72,89^\circ$$

$$X_s = 0,2354 \text{ pu}, \Rightarrow \delta = 17,11^\circ$$

Como el ángulo de par está limitado según el enunciado por debajo de 20° por motivos de estabilidad transitoria, la solución correcta para la fuerza electromotriz y para la reactancia síncrona del generador son:

$$E = 0,8 \angle 17,11^\circ$$

$$X_s = 0,2354 \text{ pu}$$