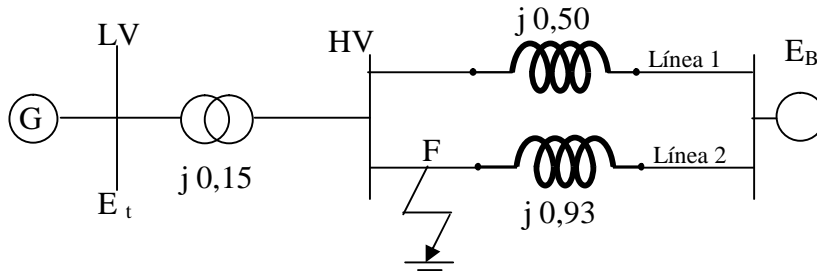


A EXAMEN RESUELTO

Fecha: __junio 2008 (primera semana)_____

Código asignatura: 524137

1. El generador, G, de la figura consta de cuatro unidades de 555 MVA cada una, que funcionan a una tensión entre fases de 24 kV y a 60 Hz, suministrando potencia a un nudo de potencia infinita, E_B a través de dos líneas tal y como se muestra en la figura. Las tres reactancias mostradas en la figura están en por unidad tomando como base 2200 MVA y 24 kV (referencia del lado de baja tensión – LV- del transformador elevador). Las resistencias se consideran despreciables.

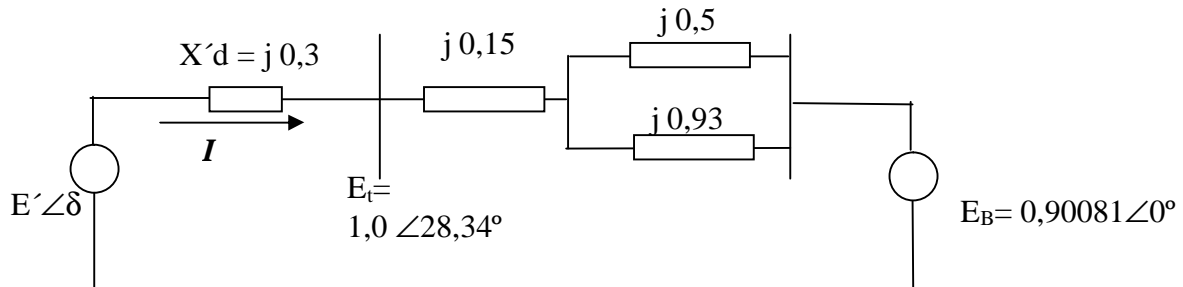


La condición de operación inicial con las magnitudes expresadas en por unidad de la base mencionada es la siguiente: la potencia entregada por el generador es $P = 0,9$ pu, $Q = 0,436$ pu (generador sobreexcitado); la tensión en bornes del generador es $E_t = 1,0 \angle 28,34^\circ$; la tensión en el nudo de potencia infinita es $E_B = 0,90081 \angle 0^\circ$; la reactancia transitoria del generador equivalente de las cuatro máquinas es $X'_d = 0,3$ pu y la constante de inercia normalizada del mismo generador equivalente es $H = 3,5$ s. La línea 2 sufre un cortocircuito trifásico a tierra en el punto F, de forma que la falta se despeja abriendo la línea 2 en defecto que quedará aislada del sistema de potencia.

Calcular la tensión interna del generador que se considerará constante en todo momento.

- a) $E' = 1,06 \angle 42^\circ$
- b) $E' = 1,16 \angle 42^\circ$**
- c) $E' = 1,26 \angle 32^\circ$
- d) $E' = 1,36 \angle 32^\circ$
- e) $E' = 1,06 \angle 34^\circ$
- f) $E' = 1,16 \angle 32^\circ$

Solución: el circuito equivalente del sistema con los datos del problema es el siguiente:



Para este circuito se puede calcular la tensión interna del generador como:

$$E' = E_t + j X'_d \cdot I$$

A EXAMEN RESUELTO

Fecha: __junio 2008 (primera semana)_____

Código asignatura: 524137

Por otra parte, la potencia compleja suministrada por el generador se puede representar como:

$$S = E_t \cdot I^* = P + jQ$$

Por tanto, si se tiene en cuenta que un generador sobreexcitado inyecta reactiva (por lo tanto valor de Q positivo)

$$I^* = \frac{P + jQ}{E_t} \Rightarrow I = \frac{P - jQ}{E_t^*} = \frac{0,9 - j0,436}{1,0 \angle -28,34^\circ} = 1,000048 \angle 2,49^\circ$$

Una vez conocido el vector de intensidad se sustituye en la expresión:

$$E' = E_t + jX'_d \cdot I = 1,0 \angle 28,34^\circ + j0,3(1,000048 \angle 2,49^\circ) = 1,163 \angle 41,8^\circ$$

Calcular la potencia máxima que puede entregar generador una vez despejada la falta.

- a) **1,10 pu**
- b) 1,15 pu
- c) 1,25 pu
- d) 1,35 pu
- e) 1,45 pu
- f) 1,05 pu

Solución: una vez despejada la falta se abre la línea 2, por lo tanto la impedancia equivalente entre E' y E_B será:

$$X_t = j0,3 + j0,15 + j0,5 = j0,95$$

Por lo tanto:

$$P_{\text{máx(III)}} = \frac{E'_t \cdot E_B}{X_t} = \frac{1,163 \cdot 0,90081}{0,95} = 1,103 \text{ pu}$$

Calcular el ángulo crítico de despeje, o ángulo máximo con el cual los interruptores situados en los extremos de la línea en defecto deben disparar para que se mantenga el sincronismo.

- a) **52,3°**
- b) 53,3°
- c) 54,3°
- d) 55,3°
- e) 56,3°

Se aplicará el criterio de igualdad de áreas teniendo en cuenta las potencias activas entregadas por el generador al nudo B en los tres regímenes de funcionamiento:

Antes del fallo:

A EXAMEN RESUELTO

Fecha: junio 2008 (primera semana)

Código asignatura: 524137

$$P_{(I)} = \frac{E'_t \cdot E_B}{X_I} \text{sen} \delta = \frac{1,1626 \cdot 0,90081}{0,752} = 1,351 \text{sen} \delta$$

Como la potencia que suministra el generador es igual a 0,9 pu el ángulo de par inicial será:

$$P_{(I)} = 1,351 \text{sen} \delta_0 = 0,9 \Rightarrow \delta_0 = 41,77^\circ = 0,729 \text{radianes}$$

Durante el fallo:

$$P_{II} = 0$$

Después del fallo:

$$P_{(III)} = \frac{E'_t \cdot E_B}{X_{III}} \text{sen} \delta = \frac{1,1626 \cdot 0,90081}{0,95} = 1,1024 \text{sen} \delta$$

Como la potencia que suministra el generador sigue siendo igual a 0,9 pu el ángulo de par máximo a partir del cual ya no es posible sumar más área de deceleración se calcula como:

$$P_{(III)} = 1,1024 \text{sen} \delta_{\text{máx}} = 0,9 \Rightarrow \delta_{\text{máx}} = 125,27^\circ = 2,1864 \text{radianes}$$

Si se aplica el criterio de igualdad de áreas igualando las áreas de aceleración y de deceleración se obtiene el ángulo crítico:

$$\int_{\delta_0}^{\delta_{\text{crítico}}} (0,9 - 0) d\delta = \int_{\delta_{\text{crítico}}}^{\delta_{\text{máx}}} (1,1024 \text{sen} \delta - 0,9) d\delta$$

Resolviendo la ecuación con los datos anteriores se obtiene:

$$\delta_{\text{crítico}} = 52,3^\circ$$

Calcular el tiempo crítico para el cual los interruptores situados en los extremos de la línea en defecto deben disparar para que se mantenga el sincronismo del generador.

- a) 0,21 s
- b) 0,18 s
- c) 0,15 s
- d) 0,12 s
- e) **0,09 s**

El tiempo crítico se obtiene partiendo de la ecuación de la oscilación, partiendo de la situación inicial (ángulo δ_0), integrando dicha ecuación hasta el tiempo crítico de aceleración del rotor, instante en el cual el ángulo habrá llegado al ángulo crítico ya calculado.

Ecuación de la oscilación.

A EXAMEN RESUELTO

Fecha: junio 2008 (primera semana) _____

Código asignatura: 524137

$$\frac{2H}{\omega_0} \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_m(t) - P_e(t)$$

Teniendo en cuenta que durante el período de aceleración la potencia mecánica es constante e igual a 0,9 por unidad y que la potencia eléctrica cedida al nudo B es nula ya que la línea 2 está en cortocircuito, se tiene que:

$$\frac{2H}{\omega_0} \frac{d^2\delta}{dt^2} = 0,9$$

La solución de esta ecuación se obtiene directamente por integración, teniendo en cuenta que en el origen de tiempos (t=0) que coincide con el inicio de la falta:

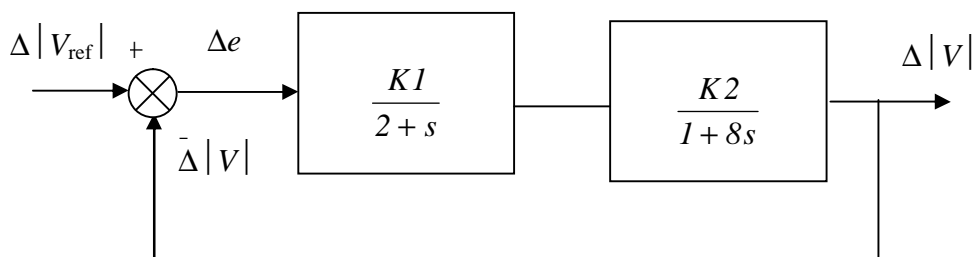
$$\frac{d\delta}{dt} = 0$$

ya que se parte de la situación de regimen permanente previa al cortocircuito.

Integrando la ecuación se obtiene que

$$T_{crítico} = \sqrt{\frac{2H(\delta_{crítico} - \delta_0)}{\pi \cdot f_0 \cdot P_{m,0}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,5(52,29 - 41,77)}{\pi \cdot 60 \cdot 0,9}} \cdot \frac{\pi}{180} = 0,09 \text{ s}$$

2. Un sistema de regulación de tensión con compensación tiene el siguiente diagrama de regulación:



Donde K1=19,8 y K2= 10. Frente una variación de tipo escalón de la tensión de referencia de entrada, determinar el tipo de variación de la tensión de salida en el dominio del tiempo:

- a) Función de primer orden sobre amortiguada.
- b) Función de segundo orden sobre amortiguada
- c) Función de segundo orden críticamente amortiguada.
- d) Función de segundo orden subamortiguada.**
- e) Sistema inestable.

A EXAMEN RESUELTO

Fecha: __junio 2008 (primera semana)_____

Código asignatura: 524137

Si se definen como

$$G_1(s) = \frac{9,9}{1+0,5s}; \quad G_2(s) = \frac{10}{1+8s} \quad G(s) = G_1(s) \cdot G_2(s)$$

Se puede calcular la función de transferencia en bucle cerrado como:

$$\frac{\Delta|V|}{\Delta|V_{ref}|} = \frac{G(s)}{1+G(s)} = \frac{\frac{99}{(1+0,5s) \cdot (1+8s)}}{1 + \frac{99}{(1+0,5s) \cdot (1+8s)}} = \frac{99}{100 + 4s^2 + 8,5s} = \frac{\frac{99}{100}}{1 + 0,04s^2 + 0,085s}$$

La respuesta en régimen transitorio dependerá de las raíces (valores de s que hacen cero el denominador de la función de transferencia).

$$s = \frac{-0,085 \pm \sqrt{0,085^2 - 4 \cdot (0,04)}}{2}$$

Como las raíces son complejas conjugadas el sistema es subamortiguado.

El problema también se podría resolver calculando el valor del coeficiente de amortiguamiento y comprobando que es menor que la unidad:

$$G_1(s) = \frac{K_1}{1+sT_a} = \frac{9,9}{1+0,5s}; \quad G_2(s) = \frac{K_2}{1+sT_g} = \frac{10}{1+8s}$$

$$\xi = \frac{T_g + T_a}{2\sqrt{T_g T_a (K_1 K_2 + 1)}} = \frac{8,5}{2\sqrt{4 \cdot 100}} = \frac{8,5}{40} < 1$$

Manteniendo el valor de K1, calcular cual debería ser el valor de K2 para que la variación de la tensión de salida en el dominio del tiempo fuera críticamente amortiguada.

- a) 0,58
- b) 0,48
- c) **0,38**
- d) 0,28
- e) 0,18

Se debe calcular cual debe ser el valor de K2 = K₂ para conseguir que el coeficiente de amortiguamiento sea igual a la unidad.

$$\xi = \frac{T_g + T_a}{2\sqrt{T_g T_a (K_1 K_2 + 1)}} = \frac{8,5}{2\sqrt{4 \cdot (1 + K_1 \cdot K_2)}} = \frac{8,5}{2\sqrt{4 \cdot (1 + 9,9 \cdot K_2)}} = 1 \Rightarrow K_2 = 0,355$$

A EXAMEN RESUELTO

Fecha: __junio 2008 (primera semana)_____

Código asignatura: 524137

3. Si la tec (tonelada equivalente de carbón) son 7000 termias, calcula a cuantas tec equivale 1 kWh.

- a) $2,93 \cdot 10^{-10}$
- b) $8,601 \cdot 10^{-5}$
- c) $3,413 \cdot 10^{-6}$
- d) $2,777 \cdot 10^{-7}$
- e) **$1,229 \cdot 10^{-4}$**
- f) Depende si la tonelada de carbón es importada (de mayor calidad) o de las minas de Teruel.

Basta con recordar que:

1 caloría = 4,18 J

1 termia = 10^6 calorías.

$1 \text{ kWh} = 1000\text{W} \cdot 3600 \text{ s} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J} = (3,6 \cdot 10^6) / 4,18 \text{ calorías} = 0,86124 \cdot 10^6 \text{ calorías} = 0,86124 \text{ termias} = (0,86124 / 7000) \text{ tec} = 1,23 \cdot 10^{-4} \text{ tec}$

4. Seleccionar la afirmación relacionada con las protecciones del generador incorrecta:

- a) La parada en caliente implica la apertura del interruptor automático de línea.
- b) Un defecto interno implica la apertura del interruptor de grupo que lo conecta a red.
- c) Una parada en frío implica el cierre de las válvulas de entrada de vapor de la turbina.
- d) **Un defecto externo implica la apertura del interruptor automático que alimenta la excitación del generador.**
- e) Una parada en frío implica la interrupción de la entrada de combustible en la caldera.

5. Indica una desventaja de la protección 64 R por el método de inyección de corriente respecto del método potenciométrico:

- a) El primer método no tiene zona ciega y el segundo sí.
- b) **El primer método requiere de alimentación auxiliar y el segundo no.**
- c) El primer método requiere de un sistema complejo con pulsadores para eliminar la zona ciega.
- d) El primer método sólo es capaz de detectar un segundo defecto a tierra, mientras que el segundo actúa al primer defecto.

6. Indicar que tipo de relé se puede utilizar para proteger al 100% el devanado del estator:

- a) De máxima tensión de neutro de tercer armónico.
- b) De sobreintensidad de neutro de tercer armónico.
- c) De mínima tensión de neutro.
- d) **De mínima tensión sintonizado a 150 Hz.**
- e) De sobrevelocidad del rotor.