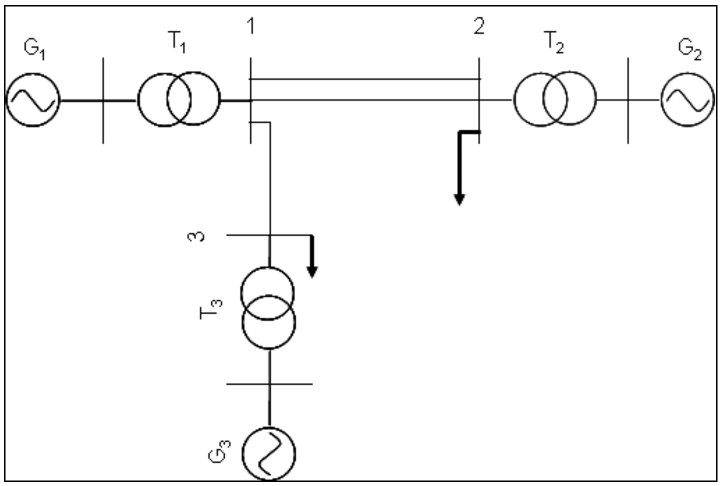
Clase Auxiliar Extra 25 de Junio de 2007

Profesor : Rodrigo Palma B.
Auxiliar : Daniel Olivares Q.
Fuente : Pablo Medina C.

PROBLEMA 1

Considere el siguiente SEP:



Barra	Capacidad Generación [MW]	Despacho [MW]	Estatismo [b.p.]	Retiros [MW]
1	200	0	0,05	0
2	250	140	0,04	100
3	160	120	0,06	160

a) Si se produce un aumento de 25 MW en la carga de la barra 3. Calcule:

- La variación de frecuencia en el sistema.
- El aporte de cada central a la regulación de frecuencia. Verificar que se está dentro de los límites.

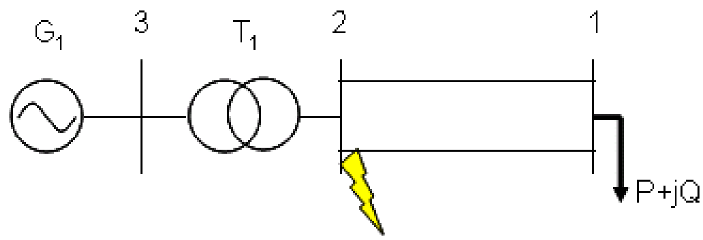
b) Considere este nuevo despacho:

Barra	Despacho [MW]
1	130
2	70
3	60

Además, suponga que las sensibilidades carga-frecuencia de las cargas son D_2=0,05 p.u. y D_3=0,02 p.u. en base común, y que sale de servicio el doble circuito que une las barras 1 y 2. Determine la variación de frecuencia en ambos "subsistemas" y las nuevas generaciones como así los nuevos consumos

PROBLEMA 2

Se tiene el siguiente SEP con sus características que se entregan a continuación:



Elementos	Valores
G_1	$X_d'=0{,}15$ $H=3[s]$
T_1	$X_T=0{,}1$
Línea	$X_L=0{,}6$ por circuito
Inyección al sistema	P=1 p.u. Q=0,021 p.u. (V_1=1 p.u.)

Si se produjese una falla trifásica a tierra muy cercana al comienzo de uno de los circuitos de la barra 2, la cual es posible despejar mediante la apertura de interruptores trifásicos en ambos extremos del circuito, ¿Cuál es el tiempo crítico de apertura?

Propuesto:

Algunos generadores poseen enrollados amortiguantes en el rotor que producen un efecto similar al de las máquinas de inducción, generando un torque que tiende a restituir la velocidad de sincronismo cuando existe un deslizamiento. Suponga que la maquina del problema posee estos enrollados y tiene una constante de amortiguamiento D_a (constante de proporcionalidad potencia-deslizamiento) de manera que la ecuación de movimiento para el ángulo del rotor queda como:

$$Pm - Pe = \frac{2H}{\omega_0} \cdot \frac{\partial^2 \delta}{\partial t^2} + D_a \cdot \frac{\partial \delta}{\partial t}$$

En dicho caso discuta la validez de sus resultados y del método utilizado.

SOLUCIÓN PROBLEMA 1

a) Primero pasar los estatismos a base común. Dado que las unidades de R son [Hz/MW], para pasar a base común se hace lo siguiente:

- Sea R_0 el estatismo en base propia. La base propia de estatismo es:

$$R_{bp} = \frac{50[Hz]}{S_{bp}[MVA]}$$

- Para pasar a base común:

$$R_{bc} = \frac{R_0 \cdot R_{bp}}{R_{bc}} = \frac{R_0 \cdot \dfrac{50[Hz]}{S_{bp}[MVA]}}{\dfrac{50[Hz]}{S_{bc}[MVA]}} = R_0 \cdot \frac{S_{bc}[MVA]}{S_{bp}[MVA]}$$

De esta manera:

$$R_1 = 0,025$$
$$R_2 = 0,016$$
$$R_3 = 0,0375$$

Antes de calcular, notemos que la reserva en giro de los generadores 2 y 3 es de 110 MW y 40 MW respectivamente.

Frente a un aumento de carga de 25 [MW], se tiene que:

$$\Delta f = \frac{-\Delta P_L}{\dfrac{1}{R_2} + \dfrac{1}{R_3}} = \frac{-0,25}{89,1666} = -0,0028[p.u.] = -0,1402[Hz]$$

Veamos como debieran quedar las generaciones de las máquinas:

$$\Delta P_{GEN\_i} = \frac{-\Delta f}{R_i} \Rightarrow \begin{cases} \Delta P_{gen2} = \dfrac{0,0028}{0,016} = 0,175[p.u.] \\ \Delta P_{gen3} = \dfrac{0,0028}{0,0375} = 0,0746[p.u.] \ (corregido) \end{cases}$$

Se puede apreciar que los aumentos de generación que deben realizar las máquinas por concepto de control de frecuencia son menores a sus reservas en giro, por lo que no se tiene problemas. Además, dado que no existe sensibilidad carga-frecuencia, se debe cumplir que $\sum_i \Delta P_{gen\_i} = \Delta P_L$

b) En este problema se analizarán dos subsistemas por separado, pero primero veamos como se relacionan.

- Haciendo un balance generación-carga, es fácil ver que hay un flujo de potencia desde 1 hacia 2 de 30 MW.

- Por lo anterior, si se desconecta el doble circuito 2-3, el "área 1" (barras 1 y 3) verá una desconexión de 30 MW, mientras que el área 2 (barra 2) verá un aumento de carga de 30 [MW].

<u>Para el área 1:</u>

$$\Delta f = \frac{-\Delta P_L}{\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_3}+0,02} = \frac{--0,30}{66,6667} = 0,0045\left[p.u.\right] = 0,225\left[Hz\right]$$

$$\Delta P_{GEN\_i} = \frac{-\Delta f}{R_i} \Rightarrow \begin{cases} \Delta P_{gen1} = -\frac{0,0045}{0,025} = -0,18\left[p.u.\right] \\ \Delta P_{gen3} = -\frac{0,0045}{0,0375} = -0,12\left[p.u.\right] \end{cases}$$

La variación de la carga por la variación de frecuencia:

$$\Delta P_{con} = 0,02 \cdot 0,0045 = 0,00009\left[p.u.\right]$$

<u>Para el área 2:</u>

$$\Delta f = \frac{-\Delta P_L}{\frac{1}{R_2}+0,05} = \frac{-0,30}{62,5+0,05} = -0,0048\left[p.u.\right] = -0,24\left[Hz\right]$$

$$\Delta P_{GEN\_i} = \frac{-\Delta f}{R_i} \Rightarrow \Delta P_{gen2} = \frac{0,0048}{0,016} = 0,3\left[p.u.\right]$$

La variación de la carga por la variación de frecuencia:

$$\Delta P_{con} = 0,05 \cdot 0,0048 = 0,00024\left[p.u.\right]$$

SOLUCIÓN PROBLEMA 2

Primero se deben calcular las condiciones iniciales de la máquina:

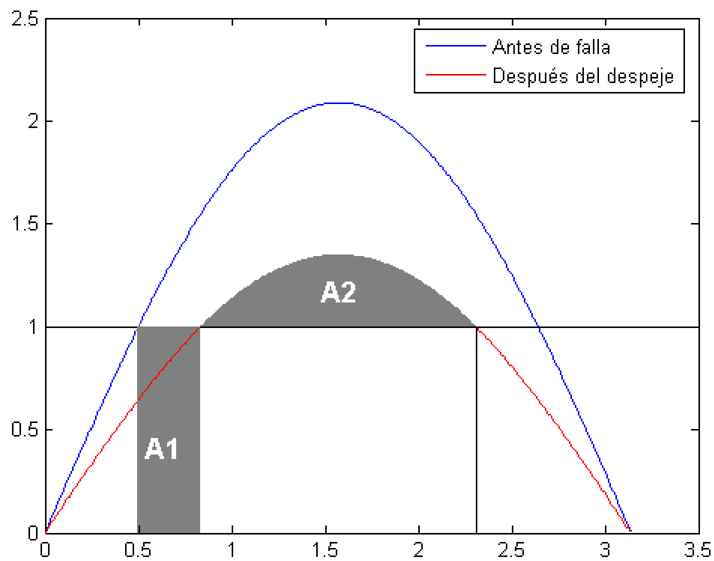
$$P_e = \frac{E_q' V_1}{X_d' + X_T + X_L/2} sen(\delta_0) = 1$$

$$Q_e = \frac{E_q' V_1}{X_d' + X_T + X_L/2} cos(\delta_0) - \frac{V_1^2}{X_d' + X_T + X_L/2} = 0,021$$

Reemplazando los valores de la reactancia y del voltaje de la barra 1, se llega a:

$$\left.\begin{array}{l} E_q' sen(\delta_0) = 0,55 \\ E_q' cos(\delta_0) = 1,0116 \end{array}\right\} \Rightarrow E_q' = 1,1514;\ \delta_0 = 0,49801[rad] = 28,5339°$$

El criterio de las áreas iguales establece que el caso más extremo es cuando $A_1 = A_2$



$$A_1 = 1 \cdot (\delta_c - \delta_0)$$

$$A_2 = \int_{\delta_c}^{90-\delta_1} \frac{E_q' V_1}{X_d' + X_T + X_L} sen(\delta)\, d\delta - 1 \cdot (\pi - \delta_1 - \delta_c)$$

$$= \frac{E_q' V_1}{X_d' + X_T + X_L} \left[cos(\delta_c) - cos(\pi - \delta_1)\right] - 1 \cdot (\pi - \delta_1 - \delta_c)$$

Es el ángulo máximo que puede alcanzar la fem. Más allá de eso se tienen áreas que aceleran a la máquina. Este se calcula como:

$$\delta_1 = arcsen\left(\frac{X_d' + X_T + X_L}{E_q' V_1}\right) = 0,83045[rad]$$

Ahora se tiene todo para calcular el ángulo crítico:

$$\delta_c = arcos\left[\frac{X_d' + X_T + X_L}{E_q' V_1}(\pi - \delta_0 - \delta_1) + cos(\pi - \delta_1)\right] = 0,84468[rad] = 48,3966°$$

La pregunta que surge ahora es: ¿Cuánto se demora la máquina en tener un ángulo crítico de 48,3966°?

Para responder la pregunta (que es lo que se pregunta en el enunciado), ahora debemos resolver la ecuación de oscilación de la máquina durante la falla:

$$\frac{2H}{\omega_0}\frac{d^2\delta(t)}{dt^2} = 1 - 0 = \delta(t) = \frac{\omega_0}{2H}\frac{t^2}{2} + k_1 t + k_0$$

Las condiciones iniciales son $\delta(0) = \delta_0 \;\; y \;\; \dot{\delta}(0) = 0$. Considerando esto último y reemplazando con los datos del enunciado, la ecuación para el ángulo es:

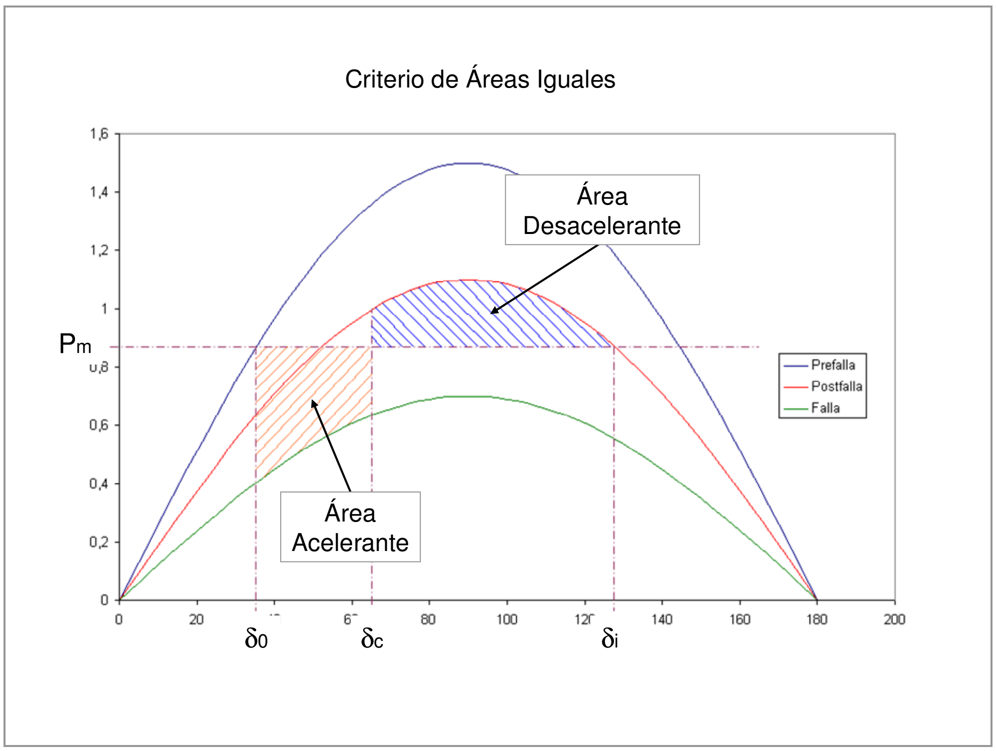
$$\delta(t) = 26,1799t^2 + 0,49801$$

Igualando la ecuación anterior al valor del ángulo crítico, se llega a que el tiempo crítico de despeje es de 0,155[s].

CRITERIO DE LAS AREAS IGUALES (EAC)

$$\boxed{\frac{2H}{\omega_0} \cdot \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_m - P_e = P_a}$$

P_a	:	Potencia acelerante [p.u.]
P_m	:	Potencia mecánica en el eje de la máquina [p.u.]
P_e	:	Potencia eléctrica [p.u.]
δ	:	Ángulo entre el voltaje interno del rotor de la máquina y la barra infinita [rad-ele]
ω_0	:	Frecuencia angular nominal [rad-elec/seg]
H	:	Constante de inercia de la máquina [seg]



Condición crítica:

$$\int_{\delta_0}^{\delta_c} P_{acelerante} \cdot \partial\delta = \int_{\delta_c}^{\delta_i} P_{desacelerante} \cdot \partial\delta$$