Examen Parcial de Estabilidad Transitoria 2006

Problema #1. Suponga que se tiene el problema:

$$\begin{cases} y''+xy+\dfrac{xy^3}{6}=0 \\ y(0)=0 \\ y'(0)=1 \end{cases}$$

Determinar el valor de $y(1)$, empleando:

1.1. un paso de integración h = 0.1, y el *Método de Euler* [3pts].

Resolución.

Se efectúa un cambio de variable pertinente:

$$u = y$$
$$v = y'$$

Donde resulta:

$$u' = v$$
$$v' = -xu + \frac{xu^3}{6}$$

Se tiene que el procedimiento aplicando el método de Euler resulta:

$$\begin{bmatrix} u_{k+1} \\ v_{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_k \\ v_k \end{bmatrix} + h\begin{bmatrix} v_k \\ -x_k u_k - \dfrac{x_k (u_k)^3}{6} \end{bmatrix}$$

Ahora lo que aplica es simplemente una sustitución de valores, conociendo:

$$\begin{bmatrix} u_0 \\ v_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Para k = 0, x_0 = 0

$$\begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_0 \\ v_0 \end{bmatrix} + h\begin{bmatrix} v_0 \\ -x_0 u_0 - \dfrac{x_0 (u_0)^3}{6} \end{bmatrix} \qquad \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} + h\begin{bmatrix} 1 \\ -0\times 0 - \dfrac{0(0)^3}{6} \end{bmatrix} \qquad \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Para k = 1, x_1 = 0.1

$$\begin{bmatrix} u_2 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \end{bmatrix} + h\begin{bmatrix} v_1 \\ -x_1 u_1 - \dfrac{x_1 (u_1)^3}{6} \end{bmatrix} \qquad \begin{bmatrix} u_2 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.1 \\ 1 \end{bmatrix} + h\begin{bmatrix} 1.1 \\ -0.1\times 0.1 - \dfrac{0.1(0.1)^3}{6} \end{bmatrix} \qquad \begin{bmatrix} u_2 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2000 \\ 0.9779 \end{bmatrix}$$

Para evitar el trabajo manual se procede al uso de un programa MATLAB™ script, **problema1.m**:

```
% Problema 1 Parcial de estabilidad transitoria
% Maracay, 28/03/2006
% Resolver y"+x*y+x*y^3/6 = 0, con y(0==0, y'(0)=1
x0=0
xn=1
h=0.1
n=(xn-x0)/h
% Se efectua un cambio de variable
Yk(1)=0; % y
Yk(2)=1; % v
disp('        i             xi            Yi            Y´i    ')
for k=1:n
    xk=x0+k*h;
    Yk1(1)=Yk(1)+h*Yk(2);
    Yk1(2)=Yk(2)+h*(-xk*Yk(1)-xk*Yk(1)^3/6);
    Yk=Yk1;
    disp(sprintf('     %2.2i          %3.2f         %3.8f          %3.8f         %3.8f',k,xk,Yk(1),Yk(2)))
end
```

Resultado de ese programa se tiene:

```
 i          xi          Yi               Y´i
01         0.10       0.10000000        1.00000000
02         0.20       0.20000000        0.99799667
03         0.30       0.29979967        0.99195667
04         0.40       0.39899533        0.97978504
05         0.50       0.49697384        0.95930595
06         0.60       0.59290443        0.92826008
07         0.70       0.68573044        0.88432512
08         0.80       0.77416295        0.82516737
09         0.90       0.85667969        0.74853304
10         1.00       0.93153299        0.65238645
```

j	1	2	3	4	5
Y_j	0.10000000	0.20000000	0.29979967	0.39899533	0.49697384
Y'_j	1.00000000	0.99799667	0.99195667	0.97978504	0.95930595

j	6	7	8	9	10
Y_j	0.59290443	0.68573044	0.77416295	0.85667969	0.93153299
Y'_j	0.92826008	0.88432512	0.82516737	0.74853304	0.65238645

1.2. Un paso de integración de h = 0.5, empleando *Runge-Kutta de 4to orden* [5 Pts].

$$\begin{cases} y''+xy+\dfrac{xy^3}{6}=0 \\ y(0)=0 \\ y'(0)=1 \end{cases}$$

Resolución.

Se efectúa un cambio de variable pertinente:

$$\begin{cases} u=y \\ v=y' \end{cases}$$

Donde resulta:

$$\begin{cases} u'=v \\ v'=-xu+\dfrac{xu^3}{6} \end{cases}$$

Se tiene que el procedimiento aplicando el método de Runge-Kutta 4to Orden, donde:

$$\mathbf{Y}_k=\begin{bmatrix} u_k \\ v_k \end{bmatrix} \qquad \mathbf{F}(x_k,\mathbf{Y}_k)=\begin{bmatrix} v_k \\ -x_k u_k-\dfrac{x_k(u_k)^3}{6} \end{bmatrix} \qquad \mathbf{Y_0}=\begin{bmatrix} u_0 \\ v_0 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Aplicando Runge-Kutta de 4to orden:

$$\mathbf{Y_{k+1}}=\mathbf{Y_k}+\frac{1}{6}[\mathbf{k_1}+\mathbf{2k_2}+\mathbf{2k_3}+\mathbf{k_4}]$$

$$\mathbf{k_1}=h\mathbf{F}(x_k,\mathbf{Y_k})$$

$$\mathbf{k_2}=h\mathbf{F}\left(x_k+\frac{h}{2},\mathbf{Y_k}+\frac{\mathbf{k_1}}{\mathbf{2}}\right)$$

$$\mathbf{k_3}=h\mathbf{F}\left(x_k+\frac{h}{2},\mathbf{Y_k}+\frac{\mathbf{k_2}}{\mathbf{2}}\right)$$

$$\mathbf{k_4}=h\mathbf{F}(x_k+h,\mathbf{Y_k}+\mathbf{k_3})$$

De tal modo para k = 0, x_1 = 0.5

Se calcula la constante $\mathbf{k_1}$, para k = 0.

$$\mathbf{k_1} = h\mathbf{F}(x_0, \mathbf{Y}_0) = h\begin{bmatrix} v_0 \\ -x_0u_0 - \dfrac{x_0(u_0)^3}{6} \end{bmatrix} \qquad \mathbf{k_1} = 0.5\begin{bmatrix} 1 \\ -0\times 0 - \dfrac{0(0)^3}{6} \end{bmatrix} \quad \mathbf{k_1} = \begin{bmatrix} 0.5 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Se calcula la constante $\mathbf{k_2}$, para $k = 0$.

$$\mathbf{k_2} = h\mathbf{F}\left(x_0 + \frac{h}{2}, \mathbf{Y}_0 + \frac{\mathbf{k_1}}{\mathbf{2}}\right) = h\mathbf{F}\left(0 + 0.25, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} + 0.5\begin{bmatrix} 0.5 \\ 0 \end{bmatrix}\right) = h\mathbf{F}\left(0.25, \begin{bmatrix} 0.25 \\ 1 \end{bmatrix}\right) = 0.5\begin{bmatrix} 1 \\ -0.25\times 0.5 - \dfrac{0.25(0.5)^3}{6} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{k_2} = \begin{bmatrix} 0.5 \\ -0.0316 \end{bmatrix}$$

Se calcula la constante $\mathbf{k_3}$, para $k = 0$.

$$\mathbf{k}_3 = h\mathbf{F}\left(x_0 + \frac{h}{2}, \mathbf{Y}_0 + \frac{\mathbf{k}_2}{\mathbf{2}}\right) = h\mathbf{F}\left(0.25, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} + 0.5\begin{bmatrix} 0.5 \\ -0.0316 \end{bmatrix}\right) = h\mathbf{F}\left(0.25, \begin{bmatrix} 0.25 \\ 0.9842 \end{bmatrix}\right) = 0.5\begin{bmatrix} 0.9842 \\ -0.25\times 0.25 - \dfrac{0.25(0.25)^3}{6} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{k}_3 = \begin{bmatrix} 0.4921 \\ -0.0316 \end{bmatrix}$$

Se calcula la constante $\mathbf{k_4}$, para $k = 0$.

$$\mathbf{k_4} = h\mathbf{F}(x_0 + h, \mathbf{Y}_0 + \mathbf{k_3})$$

$$\mathbf{k}_3 = h\mathbf{F}(x_0 + h, \mathbf{Y_k} + \mathbf{k_3}) = h\mathbf{F}\left(0.5, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.4921 \\ -0.0316 \end{bmatrix}\right) = h\mathbf{F}\left(0.5, \begin{bmatrix} 0.4291 \\ 0.9684 \end{bmatrix}\right) = 0.5\begin{bmatrix} 0.8698 \\ -0.5\times 0.8698 - \dfrac{0.5(0.8698)^3}{6} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{k}_4 = \begin{bmatrix} 0.8698 \\ -0.5355 \end{bmatrix}$$

Se calcula $\mathbf{Y_1}$:

$$\mathbf{Y}_1 = \mathbf{Y}_0 + \frac{h}{6}[\mathbf{k_1} + \mathbf{2k_2} + \mathbf{2k_3} + \mathbf{k_4}]$$

$$\mathbf{Y}_1 = \begin{bmatrix} 0.49473741 \\ 0.95761764 \end{bmatrix}$$

De tal modo para $k = 1$, $x_2 = 1.0$, $\mathbf{Y}_1 = \begin{bmatrix} 0.49473741 \\ 0.95761764 \end{bmatrix}$

Se calcula la constante $\mathbf{k_1}$, para $k = 1$.

$$\mathbf{k_1} = h\mathbf{F}(x_1, \mathbf{Y}_1) = \begin{bmatrix} v_1 \\ -x_1u_1 - \dfrac{x_1(u_1)^3}{6} \end{bmatrix} \qquad \mathbf{k_1} = h\begin{bmatrix} 0.9576 \\ -0.5\times 0.4947 - \dfrac{0.5(0.4947)^3}{6} \end{bmatrix} \qquad \mathbf{k_1} = \begin{bmatrix} 0.4788 \\ -0.1287 \end{bmatrix}$$

Se calcula la constante $\mathbf{k_2}$, para $k = 1$.

$$\mathbf{k_2} = h\mathbf{F}\left(x_1 + \frac{h}{2}, \mathbf{Y}_1 + \frac{\mathbf{k_1}}{\mathbf{2}}\right) = h\mathbf{F}\left(0.5 + 0.25, \begin{bmatrix} 0.4782 \\ 0.9120 \end{bmatrix} + 0.5\begin{bmatrix} 0.4788 \\ -0.1287 \end{bmatrix}\right) = k\mathbf{F}\left(0.75, \begin{bmatrix} 0.7341 \\ 0.8933 \end{bmatrix}\right)$$

$$\mathbf{k_2} = 0.5\begin{bmatrix} 0.8933 \\ -0.75\times 0.7341 - \dfrac{0.75(0.7341)^3}{6} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{k_2} = \begin{bmatrix} 0.4466 \\ -0.300 \end{bmatrix}$$

Se calcula la constante $\mathbf{k_3}$, para $k = 1$.

$$\mathbf{k}_3 = h\mathbf{F}\left(x_1+\frac{h}{2},\mathbf{Y}_1+\frac{\mathbf{k}_2}{\mathbf{2}}\right) = h\mathbf{F}\left(0.5+0.25,\begin{bmatrix}0.4782\\0.9120\end{bmatrix}+0.5\begin{bmatrix}0.4466\\-0.300\end{bmatrix}\right) = h\mathbf{F}\left(0.75,\begin{bmatrix}0.7191\\0.8076\end{bmatrix}\right)$$

$$\mathbf{k}_3 = 0.5\begin{bmatrix}0.8076\\-0.75\times0.7191-\dfrac{0.75(0.7191)^3}{6}\end{bmatrix}$$

$$\mathbf{k}_3 = \begin{bmatrix}0.4038\\-0.2924\end{bmatrix}$$

Se calcula la constante $\mathbf{k_4}$, para k = 1.

$$\mathbf{k_4} = h\mathbf{F}(x_1+h,\mathbf{Y}_1+\mathbf{k_3})$$

$$\mathbf{k}_4 = h\mathbf{F}(x_0+h,\mathbf{Y}_1+\mathbf{k_3}) = h\mathbf{F}\left(0.5+0.5,\begin{bmatrix}0.4782\\0.9120\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}0.4038\\-0.2924\end{bmatrix}\right) = f\mathbf{F}\left(1.0,\begin{bmatrix}0.8985\\0.6652\end{bmatrix}\right) = 0.5\begin{bmatrix}0.6652\\-1.0\times0.8985-\dfrac{1.0(0.8985)^3}{6}\end{bmatrix}$$

$$\mathbf{k}_4 = \begin{bmatrix}0.3326\\-0.5097\end{bmatrix}$$

Finalmente se calcula $\mathbf{Y_2}$:

$$\mathbf{Y}_2 = \mathbf{Y}_1+\frac{h}{6}[\mathbf{k_1}+\mathbf{2k_2}+\mathbf{2k_3}+\mathbf{k_4}]$$

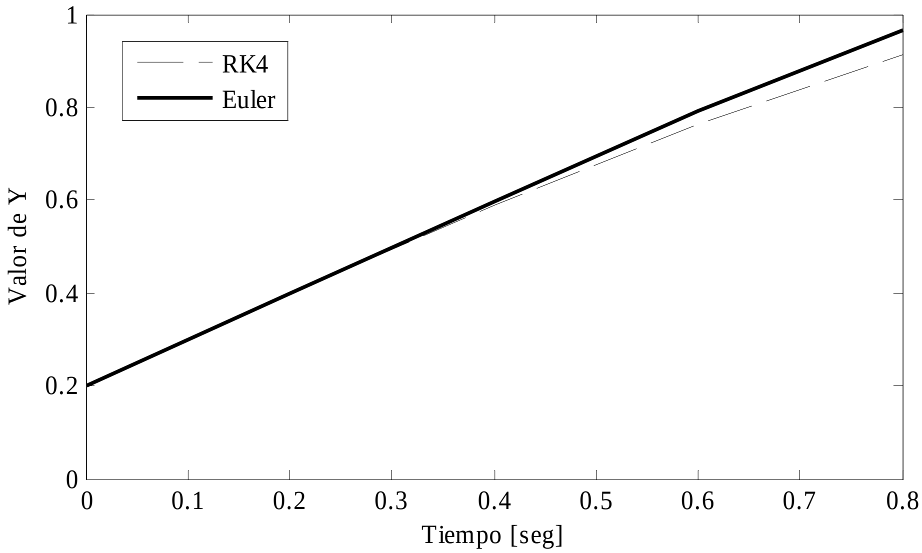
$$\mathbf{Y}_1 = \begin{bmatrix}0.91344866\\0.65372843\end{bmatrix}$$

	j =1	K_1^1	K_2^1	K_3^1	K_4^1	j =2	K_1^2	K_2^2	K_3^2	K_4^2
Y_j	0.49473741	0.5000	0.5000	0.4921	0.4842	0.91344866	0.4788	0.4466	0.4038	0.3326
Y'_j	0.95761764	0	-0.0316	-0.0316	-0.1280	0.65372843	-0.1287	-0.3000	-0.2924	-0.5097

```
     i          xi          Yi                 Y´i
-------------------------------------------------------------
     01         0.00        0.49473741         0.95761764
     02         0.50        0.91344866         0.65372843
```

Si se considera h = 0.1.

```
        i           xi          Yi           Y´i
-------------------------------------------------------------
     01         0.00        0.09999166         0.99966634
     02         0.10        0.19986634         0.99732358
     03         0.20        0.29932140         0.99092956
     04         0.30        0.39784734         0.97838617
     05         0.40        0.49472162         0.95753159
     06         0.50        0.58900279         0.92615327
     07         0.60        0.67952717         0.88202862
     08         0.70        0.76491131         0.82300089
     09         0.80        0.84356405         0.74709629
     10         0.90        0.91371256         0.65268435
```



RK4
Euler
Valor de Y
Tiempo [seg]
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8

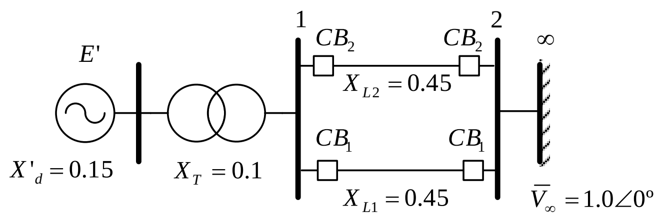
Para h = 0.2

Problema #2. Una máquina sincrónica, 60 Hz, H = 9.94 MW/MVA, esta conectada a una barra de potencia infinita a través de un transformador que posee una reactancia de 0.1 por unidad, y una línea de transmisión doble circuito, con 0.45 por unidad de reactancia cada circuito. Todas las reactancias están dadas en la base de la potencia nominal de la maquina. La reactancia transitoria de eje directo de la maquina es 0.15 por unidad. Asuma que el voltaje de la barra de potencia infinito es 1.0 por unidad. Este sistema está entregando una potencia aparente a la barra de potencia infinita de 1.1 por unidad a 0.85 de factor de potencia en atraso, con los dos circuitos de la línea en servicio. Súbitamente, en t = 0 segundos, ocurre una falla por cortocircuito trifásico sólido en la mitad de uno de los dos circuitos de transmisión. La falla es despejada en $t_{clearing}$ = 0.1 segundos, por la apertura instantánea y efectiva de los interruptores asociados al circuito fallado. Luego de 0.1 segundos se intenta un re-cierre, el cual no es exitoso, y dura 0.15 segundos, luego de lo cual se efectúa nuevamente el despeje del circuito fallado.

2.1. Construir la ecuación de oscilación, ANTES de la falla, DURANTE la falla, DESPUÉS de la falla, DURANTE el re-cierre no exitoso, LUEGO del despeje final [4Pts].

Resolución

Se tiene el siguiente sistema de potencia:



La potencia entregada a la barra de potencia infinita es:

$S_{g\infty} = 1.1\angle \cos^{-1} 0.85 \qquad S_{g\infty} = 0.9350 + 0.5795\, jp.u$

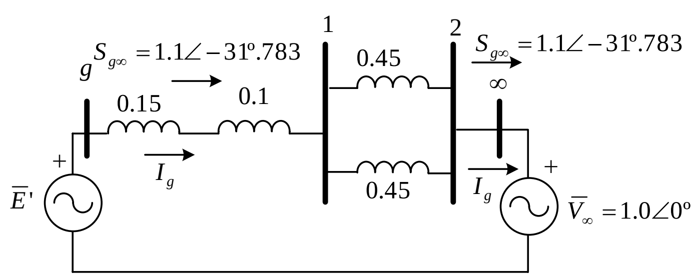
$P^0_{elec} = P^0_{mec} = 1.1 \times 0.85 = 0.935\, p.u$

La corriente puede ser fácilmente calculada por:

$I_g = \left(\dfrac{S_{g\infty}}{V_\infty}\right)^* \qquad I_g = \dfrac{1.1}{1}\angle -\cos^{-1} 0.85 \qquad I_g = 1.1\angle -31º.78\overset{\frown}{3}$

$I_g = 0.9350 - 0.5795\text{j}$

El diagrama de reactancias en esta situación resulta:



T

La impedancia entre la fuente de voltaje interna de la máquina y la red de potencia infinita es:

$X^I_{g\infty} = X'_d + X_T + X_{LT1} // X_{LT2} \qquad X^I_{g\infty} = 0.15 + 0.1 + 0.45/2$

G

$X^I_{g\infty} = 0.475\, p.u$

Finalmente el voltaje interno de la máquina, o voltaje de excitación es dado por:

$E\angle\delta = V_\infty + jX^I_{g\infty} I_g \qquad E\angle\delta = 1\angle 0º + j0.475(1.1\angle -31º.79)$

$E\angle\delta = 1.35037\angle 19º.2015\, p.u$

$E\angle\delta = 1.2752 + 0.4441\, jp.u$

De tal modo que:

$E = 1.35037\, p.u$

$\delta_0 = 19º.2015$

La ecuación de transferencia de potencia, entre el generador y la barra de potencia infinita con los dos circuitos en operación queda dado por:

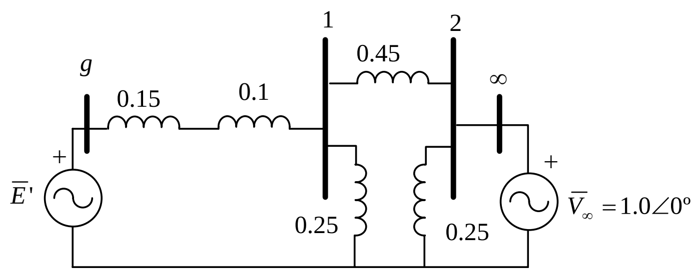
$$P_{elec}^{I} = \frac{EV_{\infty}}{X_{g\infty}^{I}} sen\delta \qquad P_{elec}^{I} = \frac{1.35}{0.475} sen\delta \qquad P_{elec}^{I} = 2.8429 sen\delta$$

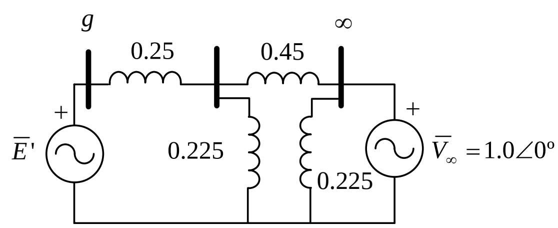
La ecuación de oscilación:

$$\frac{d^2\delta(t)}{dt^2} = \frac{60\pi}{9.94}\left[0.935 - 2.8429 sen\delta\right]$$

$$\boxed{\frac{d^2\delta(t)}{dt^2} = 17.73072 - 53.91087 sen\delta \qquad \text{ANTES DE LA PERTURBACIÓN}}$$

Durante la falla, la red ofrece una configuración diferente, la cual se muestra, en la siguiente Figura:





Se puede reducir la red, por medio de una conversión estrella-delta. Consecuentemente:

$$X_{g\infty}^{II} = 0.45 + 0.25 + \frac{0.45 \times 0.25}{0.225} = 1.2$$

De tal modo que la curva de potencia ángulo para estas condiciones:

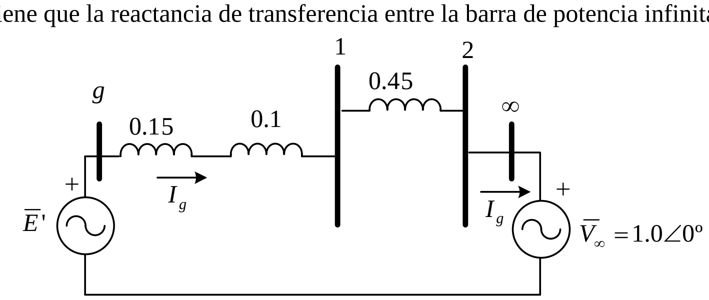
$$P_{elec}^{II} = 1.1253 sen\delta$$

La ecuación de oscilación:

$$\frac{d^2\delta(t)}{dt^2} = \frac{60\pi}{9.94}\left[0.935 - 1.12531 sen\delta\right]$$

$$\boxed{\frac{d^2\delta(t)}{dt^2} = 17.73072 - 21.33963 sen\delta \qquad \text{DURANTE DE LA PERTURBACIÓN}}$$

Con un circuito abierto se tiene que la reactancia de transferencia entre la barra de potencia infinita y la máquina se modifica:



La nueva ecuación de potencia ángulo es obtenida por:

$P_{elec}^{II} = \frac{EV_\infty}{X_{g\infty}^{II}} sen\delta$ $\quad$ $P_{elec}^{II} = \frac{1.35}{0.70} sen\delta$ $\quad$ $P_{elec}^{II} = 1.9291 sen\delta$

La ecuación de oscilación:

$$\frac{d^2\delta(t)}{dt^2} = \frac{60\pi}{9.94}[0.935 - 1.9291 sen\delta]$$

$$\boxed{\frac{d^2\delta(t)}{dt^2} = 17.73072 - 36.58217 sen\delta \qquad \text{DESPUÉS DE LA PERTURBACIÓN}}$$

DURANTE EL PRECIERRE NO EXITOSO, se tiene que la falla persiste, de modo que la ecuación de oscilación resulta ser la misma de durante la falla.

$$\boxed{\frac{d^2\delta(t)}{dt^2} = 17.73072 - 21.33963 sen\delta \qquad \text{DURANTE EL RE-CIERRE NO EXITOSO}}$$

DESPUÉS DEL DESPEJE NO EXITOSO, una vez que la falla es despejada, el resultado es que la línea fallada es puesta fuera de servicio de modo que la ecuación de oscilación,

$$\boxed{\frac{d^2\delta(t)}{dt^2} = 17.73072 - 36.58217 sen\delta \qquad \text{DESPUÉS DEL RE-CIERRE NO EXITOSO}}$$

2.2. Resolver la ecuación de oscilación, pertinente, para la perturbación antes mencionada, empleando el método de Euler hacia adelante, considerando un paso de integración de $\Delta t = 0.05$, hasta $t_{final} = 0.6$ segundos [8 Pts].

Resolución

Se conoce que la ecuación de oscilación puede ser resuelta por el método de Euler hacia delante, empleando la siguiente ecuación aproximante.

$$\begin{cases} \frac{d\delta(t)}{dt} = \omega(t) \\ \frac{d\omega(t)}{dt} = \frac{\pi f}{H}[P_{mec} - P_{\max} sen\delta(t)] \end{cases}$$

Donde:

$$\begin{bmatrix} \delta(t_{j+1}) \\ \omega(t_{j+1}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta(t_j) \\ \omega(t_j) \end{bmatrix} + \Delta t \begin{bmatrix} \omega(t_j) \\ \frac{\pi f}{H}[P_{mec} - P_{\max} sen\delta(t_k)] \end{bmatrix} \quad \text{siendo: } \begin{bmatrix} \delta(t_0) \\ \omega(t_0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.33514 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Se procede:

Para j = 0, se tiene que t_1 = 0.05 segundos, DURANTE LA FALLA. $\frac{d^2\delta(t)}{dt^2} = 17.73072 - 21.33963 sen\delta$

$$\begin{bmatrix} \delta(t_1) \\ \omega(t_1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta(t_0) \\ \omega(t_0) \end{bmatrix} + \Delta t \begin{bmatrix} \omega(t_0) \\ \frac{\pi f}{H}[P_{mec} - P_{\max} sen\delta(t_0)] \end{bmatrix} \qquad \begin{bmatrix} \delta(t_1) \\ \omega(t_1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.3351 \\ 0 \end{bmatrix} + \Delta t \begin{bmatrix} 0 \\ 17.13 - 21.339 sen(0.3351) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \delta(t_1) \\ \omega(t_1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.33514 \\ 0.53558 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 19^\circ.2021 \\ 0.53558 \end{bmatrix}$$

Para j = 1, se tiene que t_2 = 0.10 segundos, DURANTE LA FALLA.

$$\begin{bmatrix}\delta(t_2)\\ \omega(t_2)\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\delta(t_1)\\ \omega(t_1)\end{bmatrix}+\Delta t\begin{bmatrix}\omega(t_1)\\ \frac{\pi f}{H}\left[P_{mec}-P_{\max}sen\delta(t_1)\right]\end{bmatrix}\qquad \begin{bmatrix}\delta(t_2)\\ \omega(t_2)\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0.3351\\ 0.5355\end{bmatrix}+\Delta t\begin{bmatrix}0.5355\\ 17.13-21.339sen(0.3351)\end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}\delta(t_2)\\ \omega(t_2)\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0.36192\\ 1.07121\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}20^{\circ}.7365\\ 1.07121\end{bmatrix}$$

Para j = 2, se tiene que t_3 = 0.15 segundos, DESPUÉS DE LA FALLA. $\frac{d^2\delta(t)}{dt^2}=17.73072-36.58217sen\delta$

$$\begin{bmatrix}\delta(t_3)\\ \omega(t_3)\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0.36192\\ 1.0712\end{bmatrix}+\Delta t\begin{bmatrix}1.0712\\ 17.13-36.58217sen(0.36192)\end{bmatrix}\qquad \begin{bmatrix}\delta(t_3)\\ \omega(t_3)\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0.4148\\ 1.21007\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}23^{\circ}.8035\\ 1.21007\end{bmatrix}$$

Para j = 3, se tiene que t_4 = 0.20 segundos, DESPUÉS DE LA FALLA.

$$\begin{bmatrix}\delta(t_4)\\ \omega(t_4)\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0.41548\\ 1.31007\end{bmatrix}+\Delta t\begin{bmatrix}1.31007\\ 17.13-36.58217sen(0.41548)\end{bmatrix}\qquad \begin{bmatrix}\delta(t_4)\\ \omega(t_4)\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0.48098\\ 1.45829\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}27^{\circ}.5585\\ 1.45829\end{bmatrix}$$

Para j = 4, se tiene que t_5 = 0.25 segundos, RECIERRE FALLADO. $\frac{d^2\delta(t)}{dt^2}=17.73072-21.33963sen\delta$

$$\begin{bmatrix}\delta(t_5)\\ \omega(t_5)\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0.48098\\ 1.45829\end{bmatrix}+\Delta t\begin{bmatrix}1.45829\\ 17.13-21.33963sen(0.48098)\end{bmatrix}\qquad \begin{bmatrix}\delta(t_5)\\ \omega(t_5)\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0.55389\\ 1.851726\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}31^{\circ}.7364\\ 1.851726\end{bmatrix}$$

Para j = 5, se tiene que t_6 = 0.30 segundos, RECIERRE FALLADO.

$$\begin{bmatrix}\delta(t_6)\\ \omega(t_6)\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0.55389\\ 1.851726\end{bmatrix}+\Delta t\begin{bmatrix}1.851726\\ 17.13-21.33963sen(0.55389)\end{bmatrix}\qquad \begin{bmatrix}\delta(t_6)\\ \omega(t_6)\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0.64645\\ 2.176561\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}37^{\circ}.0399\\ 2.176561\end{bmatrix}$$

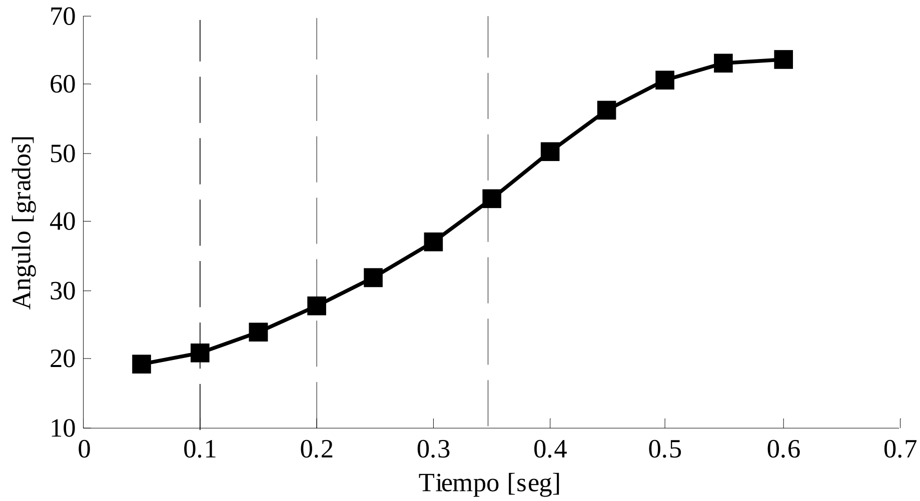
Para j = 6, se tiene que t_7 = 0.35 segundos, RECIERRE FALLADO.

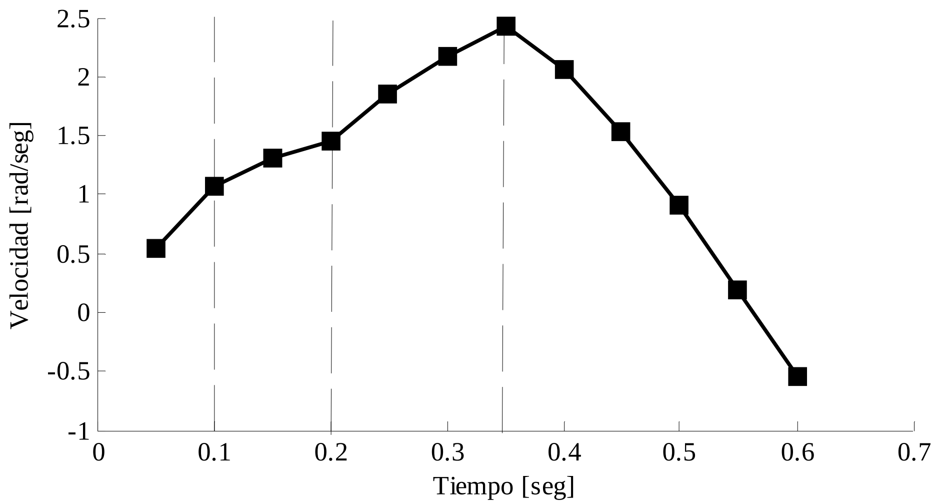
$$\begin{bmatrix}\delta(t_7)\\ \omega(t_7)\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0.64645\\ 2.176561\end{bmatrix}+\Delta t\begin{bmatrix}2.176561\\ 17.13-21.33963sen(0.64645)\end{bmatrix}\qquad \begin{bmatrix}\delta(t_7)\\ \omega(t_7)\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0.75527\\ 2.42027\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}37^{\circ}.0399\\ 2.42027\end{bmatrix}$$

Para j = 7, se tiene que t_8 = 0.40 segundos, RECIERRE FALLADO DESPEJADO. $\frac{d^2\delta(t)}{dt^2}=17.73072-36.58217sen\delta$

$$\begin{bmatrix}\delta(t_8)\\ \omega(t_8)\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0.75527\\ 2.42027\end{bmatrix}+\Delta t\begin{bmatrix}2.42027\\ 17.13-36.58217sen(0.75527)\end{bmatrix}\qquad \begin{bmatrix}\delta(t_8)\\ \omega(t_8)\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0.87628\\ 2.05305\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}43^{\circ}.27531\\ 2.05305\end{bmatrix}$$

t_k	$\omega(t_k)[rad/seg]$	$\delta(t_k)[grados]$
0.05	0.53560736	19.20210755
0.01	1.07121471	20.73650959
0.15	1.31011664	23.80531369
0.20	1.45836923	27.55852141
0.25	1.85126590	31.73644151
0.30	2.17656100	37.03992765
0.35	2.42038346	43.27531561
0.40	2.05305681	50.20920346
0.45	1.53413073	56.09077797
0.50	0.90264833	60.48573878
0.55	0.19743346	63.07163576
0.60	-0.54681521	63.63724096





Se procedió a implementar una MATLAB™ script, **Problema2.m**:

```
% Problema 2, Parcial de estabilidad Transitoria de SP2-2006
% 28 de Marzo de 2006.
f=60; H=9.94; t0=0; tn=0.6; Delta_t=0.05;
n=(tn-t0)/Delta_t; Pmec=0.935;
wk=0;
deltak=0.33514
% Estado de condiciones
Pmax0=2.8429;          % Antes de la falla
Pmax1=1.1253;          % Durante la falla
Pmax2=1.9291;          % Después de la falla
Pmax3=1.1253;          % Durante el Recierre no exitoso
Pmax4=1.9291;          % Luego del Recierre
for j=1:n
   tj=t0+j*Delta_t;
   if tj>0 & tj<=0.1  % Durante la falla
       Pmax=Pmax1;
   end
   if tj>0.1 & tj<=0.2  % Después de la falla
       Pmax=Pmax2;
   end
   if tj>0.2 & tj<=0.35  % Recierre de la falla
       Pmax=Pmax3;
   end
    if tj>0.35  % Despues del recierre
       Pmax=Pmax4;
   end
   deltak1=deltak+Delta_t*wk;
   wk1=wk+Delta_t*f*pi/H*(Pmec-Pmax*sin(deltak));
   deltak=deltak1;
```

```
   wk=wk1;
   disp(sprintf('   %i      %2.2f   %3.8f    %3.8f',j,tj,wk,deltak*180/pi))
end
```

Los resultados de este programa son:

```
   1     0.05   0.53560736    19.20210755
   2     0.10   1.07121471    20.73650959
   3     0.15   1.31011664    23.80531369
   4     0.20   1.45836923    27.55852141
   5     0.25   1.85126590    31.73644151
   6     0.30   2.17656100    37.03992765
   7     0.35   2.42038346    43.27531561
   8     0.40   2.05305681    50.20920346
   9     0.45   1.53413073    56.09077797
   10    0.50   0.90264833    60.48573878
   11    0.55   0.19743346    63.07163576
   12    0.60  -0.54681521    63.63724096
```

Se procede a resolver con un paso de integración mas pequeño.