

Estabilidad Transitoria

2.1 Cambio de Potencia

Supóngase que se tiene un generador sincrónico, de rotor liso 60 Hz que posee una constante de inercia $H = 9.94$ Mjoults/MVA, y reactancia transitoria de $X'_d = 0.3$ p.u. y esta conectado por medio de un sistema de transmisión netamente inductivo a una barra de potencia infinita (Figura 1):

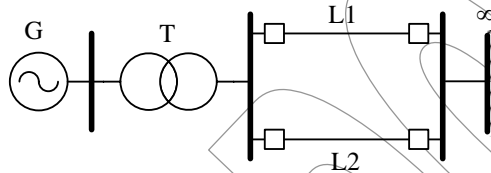


Figura 1. Sistema de Potencia de una máquina contra un sistema de potencia infinito

El generador entrega a la barra de potencia infinita una potencia $P = 0.8$ p.u., $Q = 0.074$ p.u., cuando el voltaje en la barra de potencia infinita es 1.0 por unidad.

Supóngase que súbitamente la potencia mecánica en el eje de máquina se eleva a $P_{mec}^1 = 0.9$ p.u., determine si el sistema es estable y el nuevo punto de operación.

Resolución.

Antes que suceda cualquier perturbación, se tienen que el sistema opera en condiciones estables. El diagrama de reactancias del sistema resultante es:

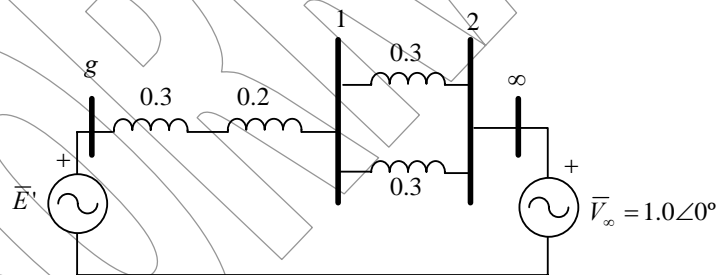


Figura 2. Diagrama de reactancias del sistema en estudio

Nótese, que además de las barras del sistema de transmisión se han incluido dos barras más “g” para indicar el punto detrás de la reactancia transitoria del generador, y “∞”, para indicar la barra de potencia infinita.

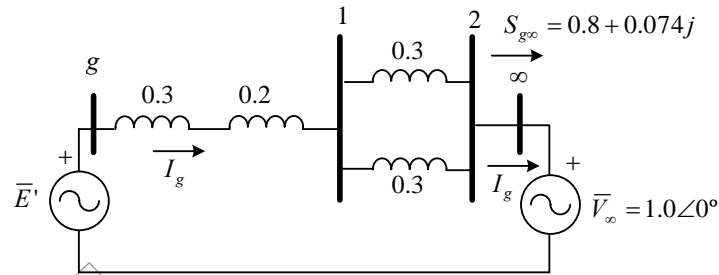


Figura 3. Diagrama de reactancias antes de la perturbación

Se determina el valor de la corriente que entrega el generador a la barra de potencia infinita I_g .

$$I_g = \frac{S_{g\infty}^*}{V_{\infty}^*} \quad I_g = \frac{(0.8 - 0.074j) p.u.}{1 \angle 0^\circ p.u.} \quad I_g = 0.803415 \angle -5^\circ.284821 p.u.$$

$$I_g = 0.8 - 0.074j p.u.$$

La reactancia de transferencia entre la fuente de voltaje interno de la máquina E' , y la barra de potencia infinita en condiciones estables es dada por:

$$X_{g\infty}^I = X'_d + X_T + X_{LT1} // X_{LT2} \quad X_{g\infty}^I = X'_d + X_T + \frac{X_{LT1} X_{LT2}}{X_{LT1} + X_{LT2}}$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$X_{g\infty}^I = 0.3 + 0.2 + \frac{0.3}{2} \quad X_{g\infty}^I = 0.65 p.u.$$

Por otra parte el voltaje interno de la máquina E' , puede ser calculado como:

$$\bar{E}' = jX_{g\infty}^I \bar{I}_g + \bar{V}_{\infty} \quad \bar{E}' = 0.65j(0.8034 \angle -5^\circ.28) + 1 \angle 0^\circ \quad \bar{E}' = 1.17001 \angle 26^\circ.387659$$

$$\bar{E}' = 1.0481 + 0.5200j$$

Se procede a calcular la ecuación potencia-ángulo, antes de que suceda cualquier perturbación:

$$P_{elec}^I = \frac{|\bar{E}'| |\bar{V}_{\infty}|}{X_{g\infty}^I} \text{sen } \delta \quad P_{elec}^I = \frac{1.17 \times 1.00}{0.65} \text{sen } \delta \quad P_{elec}^I = 1.8 \text{sen } \delta \quad P_{max}^I = 1.8$$

El punto inicial, estable de operación puede ser calculado en forma simple, ya que máquina se supone ideal (eficiencia del $\eta = 100\%$), toda la potencia activa entregada por el generador proviene de la potencia mecánica, de tal modo que se cumple: $P_{mec}^0 = P_{elec}^0 = 0.8$.

$$0.8 = P_{elec}^I = 1.8 \text{sen } \delta_0 \quad \frac{0.8}{1.8} = \text{sen } \delta_0 \quad \delta_0 = \text{sen}^{-1}\left(\frac{0.8}{1.8}\right) \quad \delta_0 = 26^\circ.3877$$

$$\delta_0 = 0.4606 \text{rad}$$

Se procede entonces a plantear la ecuación de oscilación:

$$\frac{2H}{\omega_s} \frac{d^2 \delta(t)}{dt^2} = M \frac{d^2 \delta(t)}{dt^2} = P_{acel} = P_{mec} - P_{elec}$$

Antes de la Perturbación

$$\frac{2H}{\omega_s} \frac{d^2 \delta(t)}{dt^2} = P_{mec} - P_{elec} \quad \frac{d^2 \delta(t)}{dt^2} = \frac{120\pi}{2 \times 9.94} (0.8 - 1.8 \text{sen} \delta)$$

$$\frac{d^2 \delta(t)}{dt^2} = 15.17067 - 34.134 \text{sen} \delta \quad \text{para } t < 0$$

Después de la Perturbación

$$\frac{d^2 \delta(t)}{dt^2} = 17.0670 - 34.134 \text{sen} \delta \quad \text{para } t > 0$$

De tal modo que para construir la curva de oscilación se debe encontrar la solución de $\delta(t)$, y ello implica resolver la ecuación de oscilación.

$$\begin{cases} \frac{d^2 \delta(t)}{dt^2} = 17.0670 - 34.134 \text{sen} \delta \\ \delta(t=0) = 26^\circ.38 \end{cases} \quad \text{para } t \in [0, 1.5]$$

En este caso se va a efectuar la construcción de la ecuación de oscilación, para un tiempo total de 1.5 segundos.

Se emplea el método de Euler, por simple formalismo académico, se emprende la solución para $t \in [0, 1.5]$, con $n = 10$ sub-intervalos, lo cual implica que el paso de integración es $h = 0.15$ segundos.

Se conoce que para la ecuación de oscilación en forma de sistema de ecuaciones diferenciales de primer orden se tiene:

$$\begin{cases} \frac{d\omega(t)}{dt} = 17.0670 - 34.134 \text{sen} \delta \\ \frac{d\delta(t)}{dt} = \omega(t) \\ \delta(t=0) = 26^\circ.38 \\ \omega(t=0) = 0 \end{cases} \quad \text{para } t \in [0, 1.5]$$

De tal modo se puede aplicar en forma directa el método de Euler:

$$\mathbf{Y}_{j+1} = \mathbf{Y}_j + h\mathbf{F}_j \quad \text{donde: } \mathbf{Y} = \begin{bmatrix} \delta(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix}$$

De tal modo que la ecuación aproximante resulta:

$$\begin{bmatrix} \delta(t_{j+1}) \\ \omega(t_{j+1}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta(t_j) \\ \omega(t_j) \end{bmatrix} + h \begin{bmatrix} \omega(t_j) \\ 17.0670 - 34.134 \text{sen} \delta(t_j) \end{bmatrix} \quad \text{con } \begin{bmatrix} \delta(t=0) \\ \omega(t=0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4606 \text{rad} \\ 0 \end{bmatrix}$$

Se procede a integrar para cada uno de los sub-intervalos:

Para $j = 0$, $t = 0$ segundos se tiene:

$$\begin{bmatrix} \delta(t_1) \\ \omega(t_1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta(t_0) \\ \omega(t_0) \end{bmatrix} + h \begin{bmatrix} \omega(t_0) \\ 17.0670 - 34.134 \text{sen} \delta(t_0) \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \delta(t_1) \\ \omega(t_1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.46 \\ 0 \end{bmatrix} + 0.15 \begin{bmatrix} 0 \\ 17.0670 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \delta(t_1) \\ \omega(t_1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.46 \\ 0 \end{bmatrix} + 0.15 \begin{bmatrix} 0 \\ 17.0670 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \delta(t_1) \\ \omega(t_1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.46 \\ 0.28445 \end{bmatrix}$$

Para $j = 1$, $t = 0.15$ segundos:

$$\begin{bmatrix} \delta(t_2) \\ \omega(t_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta(t_1) \\ \omega(t_1) \end{bmatrix} + h \begin{bmatrix} \omega(t_1) \\ 17.0670 - 34.134 \text{sen} \delta(t_1) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \delta(t_2) \\ \omega(t_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.46 \\ 0.28445 \end{bmatrix} + 0.15 \begin{bmatrix} 0.28445 \\ 17.0670 - 34.134 \text{sen}(0.15) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \delta(t_2) \\ \omega(t_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.5032 \\ 0.56890 \end{bmatrix}$$

Finalmente se procede a seguir integrando hasta que se logra la tabla completa de valores de velocidad y ángulo en el tiempo.

Tiempo	Velocidad	Angulo [Grados]
0.15	0.28445	26.38780
0.3	0.56890	28.83247
0.45	0.65978	33.72180
0.6	0.37735	39.39220
0.75	-0.31194	42.63530
0.9	-1.21989	39.95433
1.05	-1.94785	29.47017
1.2	-1.90674	12.72965
1.35	-0.47490	-3.65754
1.5	2.41177	-7.73904

En este caso el autor implemento un programa en MATLAB™, se resuelve la ecuación de oscilación y se llama, **Euler_Pmec_Change.m**.

```

% Método de Euler para Resolver una Ecuación Diferencial Ordinaria
% Resuelve por el Método de Euler Simple Hacia Adelante
% La ecuación de oscilación en el problema de estabilidad transitoria
% CAMBIO DE POTENCIA
% Autor: Francisco M. González-Longatt
% Fecha: March 9, 2006
%
% Precaución: Solamente para usos de enseñanza.
t0=0; % Tiempo Inicial
t(1)=t0;
tn=1.5; % Tiempo Final de simulación
n=10; % Subintervalos de integración
delta_t=(tn-t0)/n % Paso de Integración
delta0=asin(0.8/1.8); % Condición Inicial de ángulo
vel0=0; % Velocidad Inicial de la máquina
H=9.94; % Constante de Inercia en segundos
Pm1=0.9; % Potencia mecánica de entrada FINAL
f=60; % Frecuencia
Pmax1=1.8; % Potencia máxima de la máquina
t(1)=t0; velocidad(1)=vel0;
delta(1)=delta0;
for i = 1:1:n
    t(i+1)=t(i)+delta_t;
    delta(i+1)=delta(i)+delta_t*velocidad(i);
    Pmax=Pmax1;
    velocidad(i+1)=velocidad(i)+(pi*f/H*(Pm1-Pmax*sin(delta(i))))*delta_t;
end
    
```

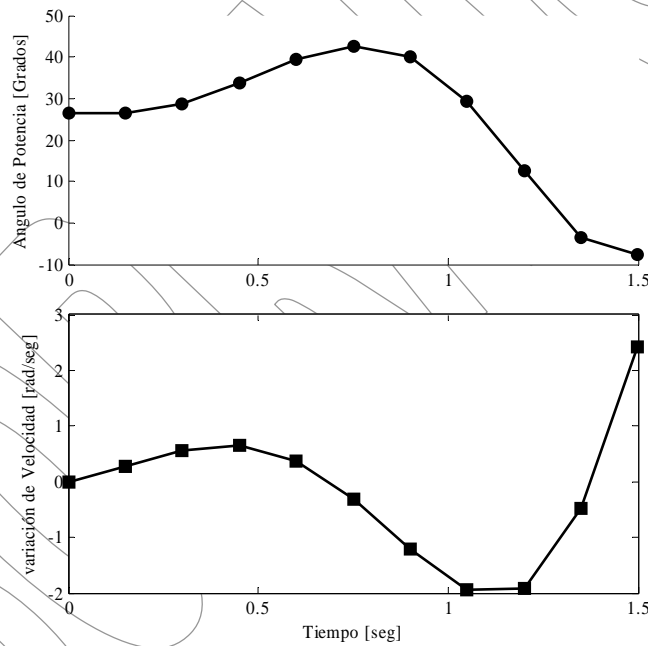


Figura 4. Curva de variación de velocidad y ángulo de potencia para la máquina considerada, $h = 0.15$ segundos.

Tabla 2.1.1. Comparación de Resultados de la Curva de oscilación para varios pasos de integración.

t_j	Euler $n = 10$		Euler $n = 1000$	
	$\omega(t_j)$	$\delta(t_j)$	$\omega(t_j)$	$\delta(t_j)$
0.15	0.28445	26.38780	0.25390	27.53345
0.3	0.56890	28.83247	0.34623	30.26284
0.45	0.65978	33.72180	0.22115	32.84919
0.6	0.37735	39.39220	-0.04102	33.68000
0.75	-0.31194	42.63530	-0.27979	32.23386
0.9	-1.21989	39.95433	-0.34682	29.38605
1.05	-1.94785	29.47017	-0.19441	26.91209
1.2	-1.90674	12.72965	0.08463	26.39787
1.35	-0.47490	-3.65754	0.31071	28.18962
1.5	2.41177	-7.73904	0.33947	31.14870

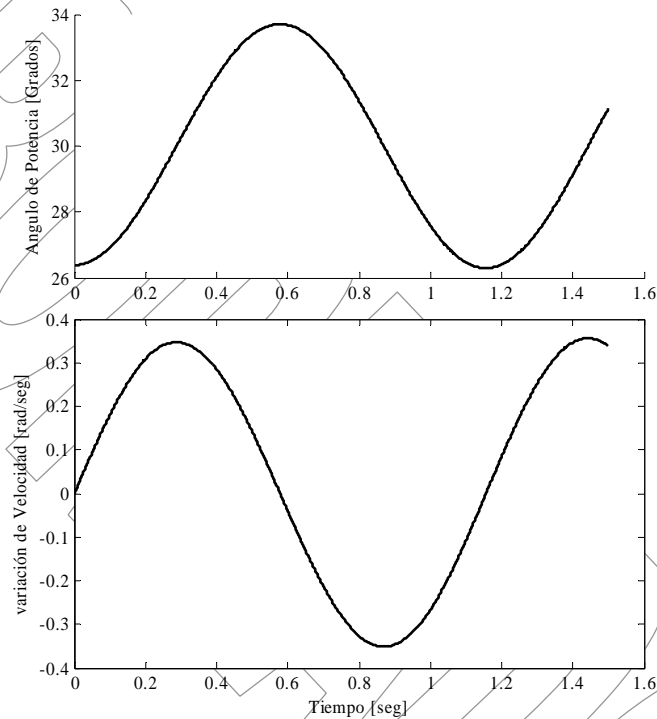


Figura 5. Curva de variación de velocidad y ángulo de potencia para la máquina considerada, $h = 0.0015$ segundos.

De la Tabla 1 y de la Figura 5, se observa que hay una gran diferencia, eso se debe al hecho de que el error cometido con el método del Euler depende del cuadrado del paso de integración, de modo que hay que emplear un paso de integración adecuado, $h = 0.15$ segundos, es muy grande para poder contemplar en forma adecuada el transitorio.

2.2 Limite de Estabilidad ante Cambio de Potencia

Supóngase el sistema de potencia que se ha considerado hasta ahora. Empleando el criterio de las áreas iguales se estimo que existía un límite de estabilidad, asociado al cambio de potencia. Y este resulta

$$\delta_c = 1.02437756364959 \text{ rad}$$

$$\delta_c = 58^\circ.69251102501559$$

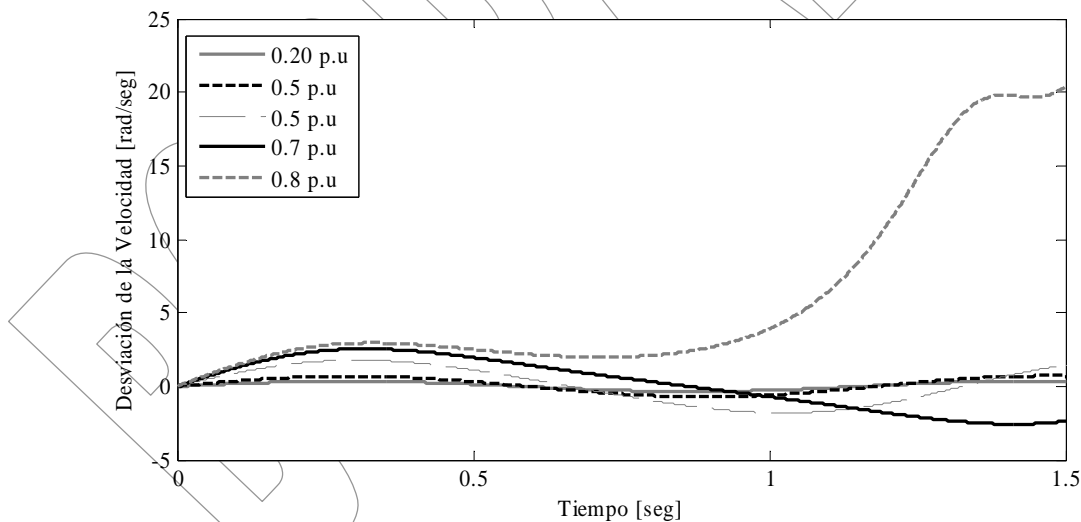
De tal modo que el valor de la máxima potencia que se le puede llevar desde el punto de operación estable inicial, sin que se pierda la estabilidad es:

$$P_{elec}^I = 1.8 \text{ sen } \delta_c \quad P_{elec}^I = 1.53790365223558 \text{ p.u}$$

De tal modo que el incremento: $\Delta P_{mec} = 0.73790365223558 \text{ p.u}$, es el máximo que se puede aplicar, si que el sistema pierda estabilidad.

El autor ha decidido mostrar en forma ilustrativa, el comportamiento, de la respuesta del ángulo δ , de la máquina para diferentes cambios en la potencia mecánica, partiendo del mismo punto estable de operación inicial. En este caso se resolvió la ecuación de oscilación, considerando $P_{mec}^0 = 0.8$ y $\delta_0 = 26^\circ.38$, y se procedió a simular incrementos en la entrada de potencia mecánica de la red, $\Delta P_{mec} = \{0.2, 0.5, 0.7, 0.8\}$. En cada caso se procedió a graficar la curva de en el tiempo del ángulo de potencia y de la velocidad del rotor.

De las curvas de oscilación se observa que para $\Delta P_{mec} = 0.8$, la oscilación del ángulo de la máquina indica una pérdida de estabilidad. Esto confirma el hecho de que para un cambio de potencia mayor a $\Delta P_{mec} = 0.73790 \text{ p.u}$, origina una pérdida de estabilidad de la máquina.



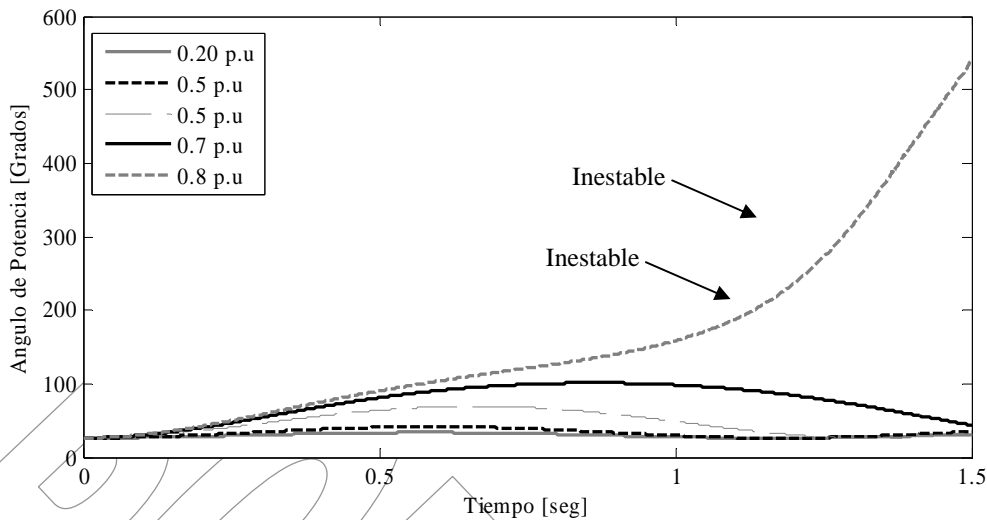


Figura 6. Curva de Angulo de potencia y velocidad del rotor, diferentes tiempos de despeje

2.3 Operaciones de Maniobra o Suicheo

El límite de estabilidad transitoria para operaciones de maniobra puede ser investigado usando el criterio de áreas iguales. En este documento preliminar no se ha incluido ejemplo de este tipo de maniobra.

2.4 Fallas y Subsecuentes Despejes

El tercer y más importante tipo de perturbación transitoria proviene de la aplicación de fallas y subsecuentes cambios en la topología de la red que son requeridos para aislar la falla. Para tales perturbaciones tres o más condiciones circuitales requieren consideración: (1) la condición inicial, inmediatamente antes a la falla, (2) la condición durante la falla, y (3) la condición subsiguiente al despeje de la falla.

2.4.1. Falla Sin Potencia Transferida

Supóngase que el generador se encuentra conectado a la barra de potencia infinita a través de dos líneas de transmisión en paralelo, como es mostrado en la figura anterior. Asuma que la potencia mecánica de entrada es constante, y se encuentra operando el sistema en condiciones de régimen estacionario, entregando una potencia a un ángulo δ_0 . Una falla temporal por cortocircuito trifásico sólido ocurre en el extremo de envío de una de las líneas (barra 1). Cuando la falla es despejada, ambas líneas permanecen intactas. Determine el ángulo crítico, o el máximo valor de ángulo al cual puede ser despejada la falla sin que el sistema pierda la estabilidad.

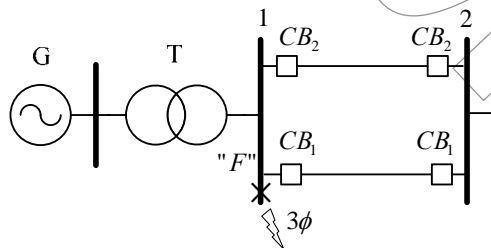


Figura 7. Sistema de Potencia de una máquina contra un sistema de potencia infinito, con falla en una barra

ANTES DE LA PERTURBACIÓN

Las condiciones de régimen estacionario ANTES de la perturbación son conocidas.

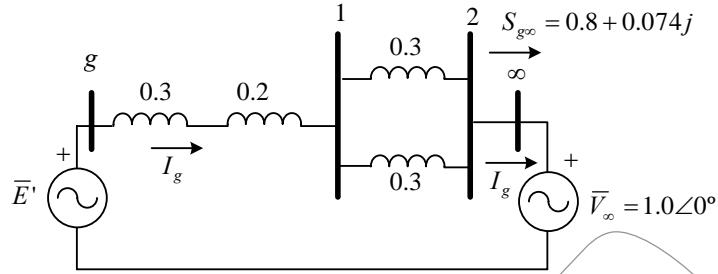


Figura 8. Diagrama de reactancia de un sistema de potencia de una máquina contra un sistema de potencia infinito, condiciones previas a la falla

La reactancia de transferencia entre la fuente de voltaje interno de la máquina E' , y la barra de potencia infinita en condiciones estables es dada por:

$$X_{gsc}^I = X'_d + X_T + X_{LT1} // X_{LT2} \qquad X_{gsc}^I = X'_d + X_T + \frac{X_{LT1} X_{LT2}}{X_{LT1} + X_{LT2}} \qquad X_{gsc}^I = 0.65 p.u.$$

Por otra parte el voltaje interno de la máquina es conocido de las condiciones de operación, $\bar{E}' = 1.17001 \angle 26^\circ.387659$, de modo que la ecuación de potencia de la máquina resulta:

$$P_{elec}^I = \frac{|\bar{E}'| |\bar{V}_\infty|}{X_{gsc}^I} \sin \delta \qquad P_{elec}^I = 1.8 \sin \delta \qquad P_{max}^I = 1.8$$

DURANTE LA PERTURBACIÓN

DURANTE la perturbación se tiene que se modifica la topología por la inserción de la impedancia de falla.

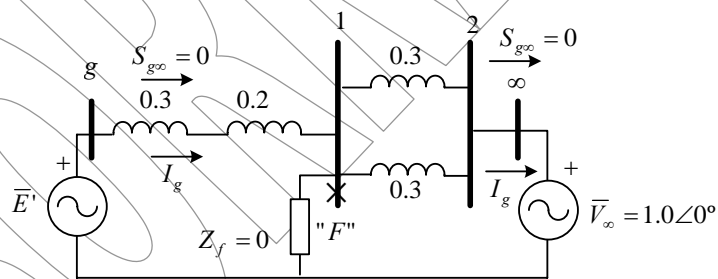


Figura 9. Diagrama de reactancia de un sistema de potencia de una máquina contra un sistema de potencia infinito, condiciones durante la falla

Bajo la situación de falla, la potencia transferida a la barra de potencia infinita desde el generador es:

$$P_{elec}^{II} = 0$$

Por tanto, la máquina no tendrá potencia eléctrica, y toda la potencia mecánica aplicada en el eje será potencia acelerante, que provocará un aumento de velocidad de la máquina y además un aumento en el ángulo de potencia.

DESPUÉS LA PERTURBACIÓN

Luego que la perturbación, la falla es retirada, y ambas líneas de transmisión, resultan intactas, de modo que la condición luego de la falla, es semejante a la previa a la falla.

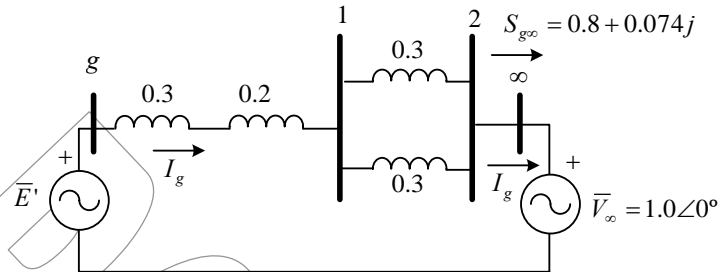


Figura 10. Diagrama de reactancia de un sistema de potencia de una máquina contra un sistema de potencia infinito, condiciones después de la falla

La reactancia de transferencia entre la fuente de voltaje interno de la máquina E' , y la barra de potencia infinita en condiciones estables resulta ser: $X_{g\infty}^{III} = 0.65 p.u$, mientras que la ecuación de potencia es:

$$P_{elec}^{III} = 1.8 \text{sen} \delta$$

Ante cualquier duda hay que aclarar, que el voltaje interno de la máquina E' , es constante a lo largo de todo el estudio, esto es debido a que no se considera la presencia o actuación de los dispositivos de control asociados al generador sincrónico (excitatriz o gobernador).

En este caso, esta red va a tener tres ecuaciones de oscilación:

Antes de la Perturbación

$$\frac{d^2 \delta(t)}{dt^2} = 15.17067 - 34.134 \text{sen} \delta \quad \text{para } t < 0$$

Durante de la Perturbación

$$\frac{d^2 \delta(t)}{dt^2} = 15.17067 \quad \text{para } t \in [0, t_c]$$

Después de la Perturbación

$$\frac{d^2 \delta(t)}{dt^2} = 15.17067 - 34.134 \text{sen} \delta \quad \text{para } t > t_c$$

Donde t_c , se considera el tiempo de despeje de la falla. Se conoce que por el criterio de las áreas iguales el $t_c = 0.36652920 \text{seg}$. En este caso se emprende la simulación por el Método de Euler, hasta 1.5 segundos empleando $n = 10$ sub-intervalos.

Tiempo	Velocidad	Angulo [Grados]
0.15	2.27560	26.38780
0.3	2.27560	45.94514
0.45	0.87152	65.50249
0.6	-1.51207	72.99261
0.75	-4.13265	59.99733
0.9	-6.29107	24.47979
1.05	-6.13710	-29.58798
1.2	-1.33340	-82.33245
1.35	6.01652	-93.79218
1.5	13.40101	-42.08398

En este caso el autor implemento un programa en MATLAB™, se resuelve la ecuación de oscilación y se llama, **Euler_Fault_0.m**.

```

% Método de Euler para Resolver una Ecuación Diferencial Ordinaria
% Resuelve por el Método de Euler Simple Hacia Adelante
% La ecuación de oscilación en el problema de estabilidad transitoria
% FALLA SIN POTENCIA TRANSMITIDA
% Autor: Francisco M. González-Longatt
% Fecha: March 9, 2006
%
% Precaución: Solamente para usos de enseñanza.
t0=0; % Tiempo Inicial
t(1)=t0;
tn=1.5; % Tiempo Final de simulación
tc=0.3; % Tiempo de despeje de la falla
n=10; % Subintervalos de integración
delta_t=(tn-t0)/n % Paso de Integración
delta0=asin(0.8/1.8); % Condición Inicial de angulo
vel0=0; % Velocidad Inicial de la máquina
H=9.94; % Constante de Inercia en segundos
Pm=0.8; % Potencia mecánica de entrada INICIAL
f=60; % Frecuencia
Pmax1=1.8; % Potencia máxima de la máquina ANTES
Pmax2=0; % Potencia máxima de la maquina DURANTE
Pmax3=1.8; % Potencia máxima de la maquina DESPUÉS
t(1)=t0; velocidad(1)=vel0;
delta(1)=delta0;
for i = 1:1:n
    t(i+1)=t(i)+delta_t;
    delta(i+1)=delta(i)+delta_t*velocidad(i);
    if t(i+1)<tc
        Pmax=Pmax2;
    end
    if (t(i+1))>=tc
        Pmax=Pmax3;
    end
    velocidad(i+1)=velocidad(i)+(pi*f/H*(Pm-Pmax*sin(delta(i))))*delta_t;
end

```

A continuación se presentan las graficas obtenidas con un paso $n = 10$.

Solo para ser empleado con objetivo de evaluación, o académicos. Prohibido la reproducción total o parcial de este documento.

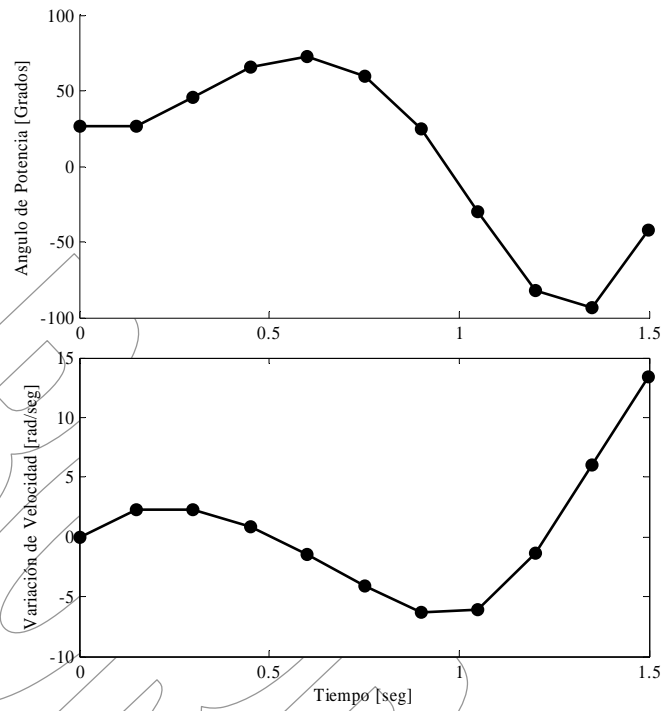


Figura 11. Curva de Angulo de potencia y velocidad del rotor, por el Método de Euler con $n = 10$.

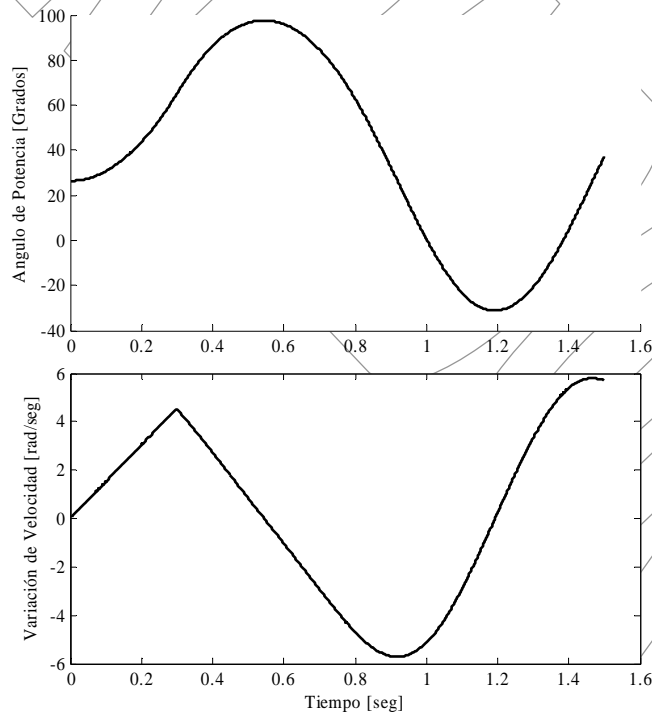


Figura 12. Curva de Angulo de potencia y velocidad del rotor, por el Método de Euler con $n = 1000$.

El autor consideró, importante demostrar al lector, la existencia de este valor de tiempo crítico y su importancia.

De tal modo que se efectuaron varias simulaciones, para verificar el comportamiento en el tiempo del ángulo de potencia y la velocidad del rotor de la máquina, ante diferentes tiempos de despeje de la falla. Tiempos de despeje de 0.1, 0.2, 0.3 y 0.4 segundos fueron examinados, a continuación se muestran las graficas realizadas con ayuda de MATLAB™.

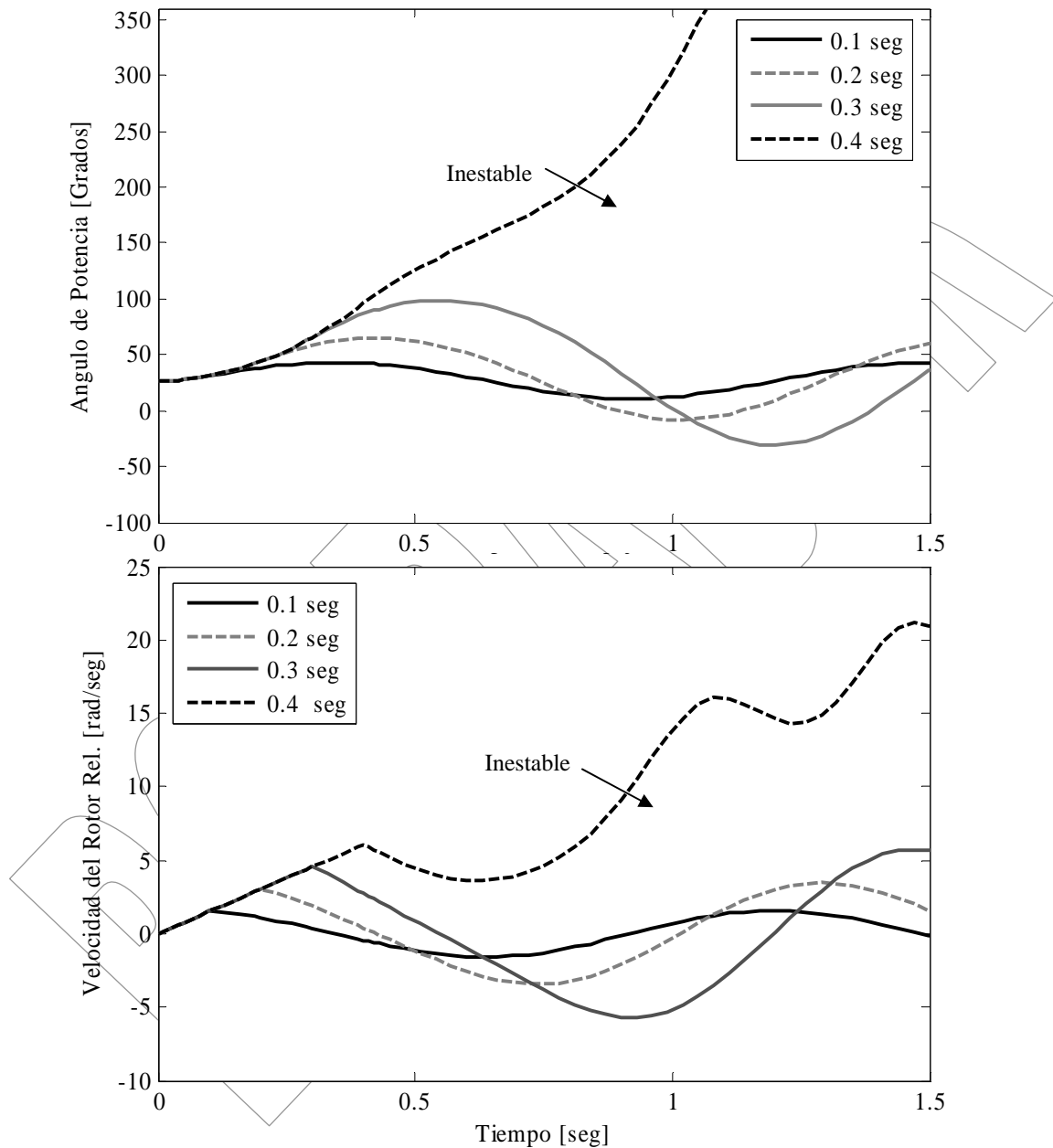


Figura 13. Curva de Angulo de potencia y velocidad del rotor, diferentes tiempos de despeje

Se puede observar que para $t = 0.4$ segundos, la máquina pierde estabilidad, como se muestra en el crecimiento acelerado del ángulo de potencia, y un proceso de escalada de la velocidad de la máquina. En

Solo para ser empleado con objetivo de evaluación, o académicos. Prohibido la reproducción total o parcial de este documento.

cambio para tiempos de $t = 0.3$ segundos, la maquina es estable. De modo que se evidencia que existe un tiempo diferencial, al partir del cual la persistencia de la falla hace que el sistema pierda la estabilidad, este tiempo, corresponde al tiempo critico, $t = 0.36$ segundos.

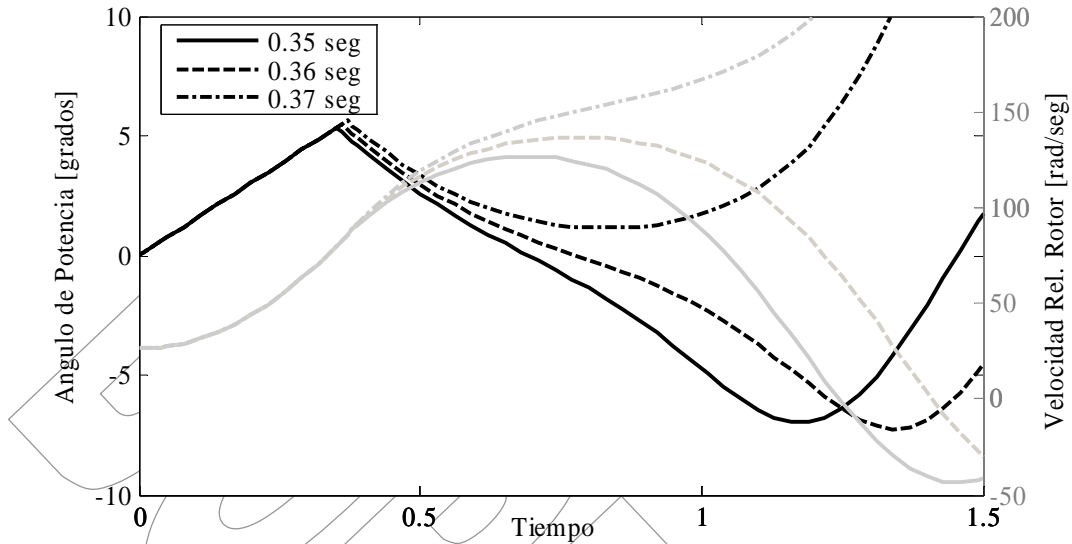


Figura 14. Curva de Ángulo de potencia y velocidad del rotor, diferentes tiempos de despeje alrededor del tiempo crítico de despeje

El tiempo, $t = 0.36$ segundos, es evidenciado claramente en la grafica anterior, donde se ve que ángulo y velocidad crecen en forma constante, para tiempos mayores al tiempo critico.

2.4.2. Falla con Potencia Transmitida

Considere el sistema de potencia de la Figura siguiente.

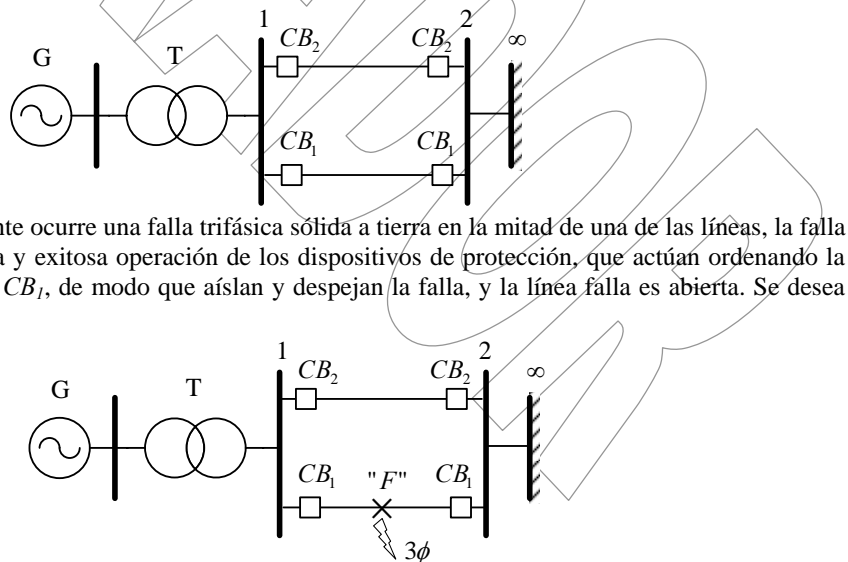


Figura 15. Sistema de Potencia de una máquina contra un sistema de potencia infinito, con una falla con transmisión de potencia

Solo para ser empleado con objetivo de evaluación, o académicos. Prohibido la reproducción total o parcial de este documento.

Se asume la potencia mecánica de entrada permanece constante, P_{mec}^0 y la máquina opera en régimen permanente, estable $P_{elec}^0 = P_{mec}^0$. Esto es completamente verdadero, si se considera que los dispositivos de control de la máquina no actúan (governador y excitatriz).

DURANTE LA PERTURBACIÓN

Al ocurrir la falla por cortocircuito, la topología de la red de transmisión se modifica, y del diagrama de reactancias resulta.

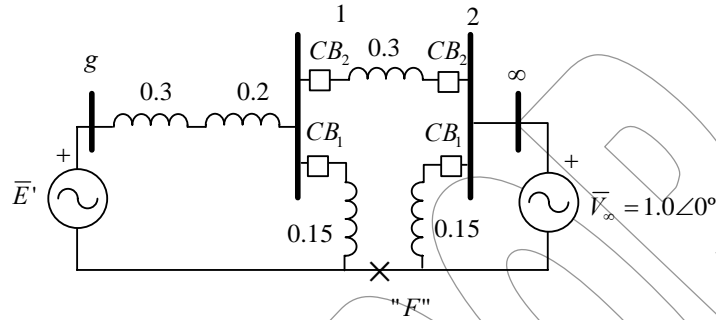
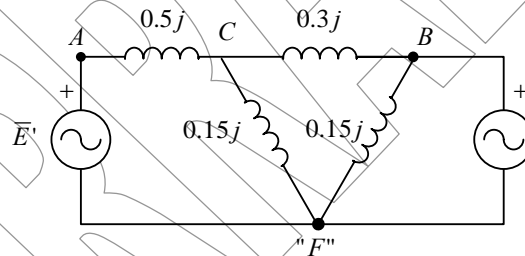


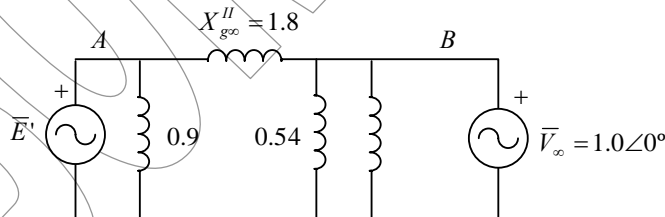
Figura 16. Diagrama de reactancia de un sistema de potencia de una máquina contra un sistema de potencia infinito, condiciones durante la falla

De tal modo se hace necesario estimar la ecuación que defina la potencia que el generador puede entregar a la barra de potencia infinita, y ello implica encontrar la impedancia de transferencia entre el voltaje interno de la máquina y la barra de potencia infinita $X''_{g\infty}$.

En el diagrama de reactancias resulta fácil evidenciar la existencia de una conexión estrella, entre los puntos marcados como A, B y F.



Se puede efectuar una transformación estrella, a delta.



Solo para ser empleado con objetivo de evaluación, o académicos. Prohibido la reproducción total o parcial de este documento.