

ESTABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE POTENCIA

Mag. Ing. Luis Milla Lostaunau

Profesor de la Facultad de Ingeniería Electrónica Universidad Nacional Mayor de San Marcos-Lima - Perú

RESUMEN: Nuestro país ha pasado a ser uno de los que cuenta con grandes líneas de transmisión las cuales interconectan todos los sistemas de generación de energía a través del territorio nacional, por este motivo es importante conocer la estabilidad de las líneas y centrales generadoras, más aún porque en la mayoría de centros superiores este punto no es tratado, probablemente por la poca información que existe.

ABSTRACT: Our country has become one of those that has big transmission lines which interconnect all the systems of energy generation through the national territory, for this reason it is important to know the stability of the lines and central generating, stiller because in most of superior centers this topic is not treated, probably for the little information that exists.

Palabras Claves: Potencia infinita, reactancia síncrona, polos salientes.

I. INTRODUCCIÓN

En el Perú, debido a que existe más de una entidad generadora de energía eléctrica se ha creado un comité de operación económica del sistema interconectado. Este sistema ayuda a tener un despacho de carga eficiente, ya que en caso de averiarse algunos de los generadores puedan reemplazarse por otros.

Esta situación hace que se tenga que estudiar cuales son las condiciones para que un sistema interconectado se mantenga en funcionamiento y no se produzca una pérdida del paso de las máquinas que puedan paralizar todo el sistema.

El Término Estabilidad de Potencia denota la condición en que todas las máquinas síncronas queden en sincronismo o en paralelo con otras, aun cuando existan perturbaciones. Del mismo modo, inestabilidad denota la condición, en la cual se pierde el sincronismo, la pérdida de sincronismo significa la desestabilización de todas las centrales eléctricas y luego la

paralización de las mismas, pudiendo de esta forma cortar la energía eléctrica a toda una población.

En una máquina síncrona, la estabilidad de un sistema de transmisión de energía consiste en su aptitud para funcionar sin que las diversas máquinas que lo componen salgan del paso. Por esta razón, la estabilidad está ligada a la manifestación de las fuerzas capaces de reaccionar ante cualquier causa perturbadora, de tal manera que se mantenga en estado de equilibrio, la característica de un sistema estable es la de poder reaccionar con rapidez frente a una falla repentina.

La estabilidad del estado estacionario relaciona la respuesta de una máquina síncrona con una carga incrementada gradualmente; la estabilidad dinámica relaciona la respuesta a pequeñas perturbaciones que ocurren en el sistema, produciendo oscilaciones. Si estas son de amplitudes sucesivamente más pequeñas, el sistema se considera dinámicamente estable. Si las oscilaciones crecen en amplitud el sistema es dinámicamente inestable. La respuesta del sistema a la perturbación puede no manifestarse durante 10 a 30 segundos. La estabilidad transitoria implica la respuesta a grandes perturbaciones, las cuales pueden causar más bien grandes cambios en la velocidad del rotor, en los ángulos de potencia y en la transferencia de potencia. La respuesta del sistema ante dichas perturbaciones se manifiesta normalmente en menos de un segundo. [Nasar, 1991]

II. LA RELACIÓN O FACTOR DE ESTABILIDAD

Expresa la relación entre la máxima potencia transmisible en régimen estable y la potencia nominal transmitida.

El estudio de estabilidad de sistemas complejos (redes interconectadas con varios centros de alimentación y consumo) es en general matemáticamente complicado y de difícil solución. El problema se ha resuelto a veces con métodos experimentales, mediante el uso de modelos de red.

La resolución analítica de los problemas se basa en las simplificaciones que la experiencia pueda sugerir en cada caso. Tanto para la resolución analítica como para el uso de métodos experimentales es necesaria la comprensión de los fenómenos que ocurren.

III. ESTABILIDAD ESTÁTICA

Este caso se verifica cuando un transductor de impedancia elevada (línea larga) une dos sistemas de gran potencia, cada uno de los cuales está constituido por un conjunto de generadores y aparatos de consumo y tiene una potencia considerable respecto a la máxima potencia transmisible a través del transductor.

Si V_s y $V_e = V_s e^{j\theta}$ son las tensiones en los extremos de un cuadripolo, entonces la potencia de salida se puede representar, por la siguiente ecuación:

$$P_s = \frac{V_e V_s}{B} - V_s^2 \cos(\beta - \alpha) \frac{A}{B} \quad (1)$$

Esta ecuación nos dice que la potencia transmisible es máxima cuando $\alpha = \beta$, como se muestra en la ecuación 2:

$$P_{s_{\max}} = \frac{V_e V_s}{B} - V_s^2 \frac{A}{B} \quad (2)$$

A y B son los parámetros de una línea de transmisión que transporta la energía generada en una central específica el valor máximo aumenta con el producto $V_e V_s$ de los módulos de las tensiones y decrece con el módulo de B. Ver Fig.1'.

Lo dicho también vale para dos máquinas sincras isoteras no saturadas, conectadas por medio de un transductor cualquiera, siempre que V_e y V_s tomen las respectivas f.e.m. en vacío, que se considere que las impedancias sincras de las dos máquinas se encuentran englobadas en el transductor de conexión y que también V_e y V_s son por definición independiente de las cargas.

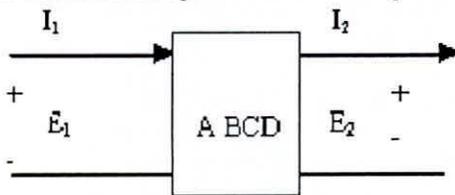


Fig. 1 – Red de dos puertos o cuadripolo

$$\begin{aligned} E_1 &= A.E_2 + B.I_2 \\ I_1 &= C.E_2 + D.I_2 \\ E_2 &= D.I_1 - B.I_1 \\ I_2 &= A.I_1 - C.I_1 \end{aligned} \quad (3)$$

Para obtener una apreciable simplificación cuando se puedan despreciar la admitancia transversal y las pérdidas del transductor, los parámetros de las ecuaciones de los

cuadripolos en (1) y (2) será $\bar{A} = \bar{D} = 1$; $\bar{C} = 0$ y $\bar{B} = \tau X$ (reactancia total en serie); y las ecuaciones (1) y (2) se transforma en:

$$P_s = \frac{V_e V_s}{X} - \text{Sen } \theta \quad \text{y} \quad P_{s_{\max}} = \frac{V_e V_s}{X}$$

Se observa en estas ecuaciones que una elevada relación de corto circuito de los generadores, donde si X aumenta, ayuda a aumentar la estabilidad. Ver figura 1.

IV. ESTABILIDAD ESTÁTICA DE UNA MÁQUINA Y DE UNA LÍNEA.

Es común tener el caso de un generador que funciona en paralelo con una red de potencia infinita y tensión V_s a través de un transformador elevador y de una línea de transmisión larga. La admitancia transversal del transformador y las resistencias no tiene prácticamente ninguna influencia y puede ser despreciada en una primera aproximación, tal como se muestra en la ecuación 4.

$$X_G = \left(\frac{n_2}{n_1} \right) X_s + X_\tau \quad (4)$$

En la que X_s es la reactancia sincra del generador y X_τ la de corto circuito del transformador, el sistema generador transformador equivaldría en las hipótesis hechas a un bipolo activo de reactancia jX_G y de f.e.m. E_e , donde:

$$E_e = E_v \frac{n_2}{n_1} \quad (5)$$

E_v es la f.e.m. en vacío del generador.

La línea sin pérdidas equivale a un cuadripolo de parámetros;

$$\begin{aligned} \bar{A}_2 &= \bar{D}_2 = \text{Cos}(awLC) \quad \text{con} \quad \alpha_2 = \delta_2 = 0 \\ \bar{B}_2 &= \tau \sqrt{\frac{L}{C}} \text{Sen}(awLC) \quad \text{con} \quad \beta_2 = \pi/2 \\ \bar{C}_2 &= \tau \sqrt{\frac{C}{L}} \text{Sen}(awLC) \quad \text{con} \quad \gamma_2 = \pi/2 \end{aligned} \quad (6)$$

Nota:

$$\begin{aligned} \bar{A} &= \bar{D} = A = D \text{Cos}(aw\sqrt{LC}) \quad \text{con} \quad \alpha = \delta = 0 \\ \bar{V} &= \tau^p = \tau \sqrt{\frac{L}{C}} \text{Sen}(aw\sqrt{LC}) \quad \text{con} \quad \beta = \pi/2 \\ \bar{C} &= \tau^c = \tau \sqrt{\frac{L}{C}} \text{Sen}(aw\sqrt{LC}) \quad \text{con} \quad \gamma = \pi/2 \end{aligned} \quad (7)$$

Todo el sistema se comporta como un cuadripolo único alimentado por la E_e y de parámetros:

$$\begin{aligned} \bar{A} &= \bar{A}_2 + \tau X_G \bar{C}_2 = \text{Cos}(aw\sqrt{LC}) - X_G \sqrt{\frac{C}{L}} \text{Sen}(aw\sqrt{LC}) \\ \bar{B} &= \bar{B}_2 + \tau X_G \bar{D}_2 = \tau \sqrt{\frac{L}{C}} \text{Sen}(aw\sqrt{LC}) + \tau X_G \text{Cos}(aw\sqrt{LC}) \\ \text{con} \quad \alpha &= 0 \quad \text{y} \quad \beta = \pi/2 \end{aligned}$$

En consecuencia con $(\beta - \alpha) = 0$ la potencia máxima transmitida (2) se transforma en:

$$P_M = \frac{E_e V_s}{L/C \operatorname{Sen}(awL) + X_G \operatorname{Cos}(awLC)} \quad (8)$$

que puede escribirse:

$$P_M = P_0 \frac{E_e}{V_s} \frac{G}{C \operatorname{Sen}(awLC) + \operatorname{Cos}(awLC)} \quad (9)$$

Si se desea que $P_M = P_0$ (potencia natural); es decir que la línea pueda transmitir su propia potencia característica dentro de los límites de estabilidad estática, se podrá expresar E_e en función de tal tensión de salida y de la caída de tensión determinada por la reactancia X_G escribiendo:

$$E_e = \sqrt{V_s^2 + I^2 X_G^2}$$

donde:

$$I = \frac{P_0}{V_0} = \frac{V_s}{\sqrt{L/C}}$$

Luego:

$$E_e = V_s = \sqrt{I + \frac{I}{G^2}} = \frac{V_s}{G} \sqrt{I + G^2}$$

Y sustituyendo

$$P_M = P_0 \frac{\sqrt{I + G^2}}{G \operatorname{Sen}(aw\sqrt{LC}) + \operatorname{Cos}(aw\sqrt{LC})} \quad (10)$$

Para que P_M sea igual a P_0 es necesario que sea:

$$\sqrt{I + G^2} = G \operatorname{Sen}(aw\sqrt{LC}) + \operatorname{Cos}(aw\sqrt{LC})$$

Resolviendo

$$G = \operatorname{Tg}(aw\sqrt{LC})$$

Fijada las características de las líneas y del generador, es decir; $w\sqrt{LC}$ y G , la ecuación encontrada nos permite determinar un valor de a_0 de a que representa la longitud límite de estabilidad estática de la línea, funcionando a su potencia natural, en relación con el valor G de la relación característica del circuito. La ecuación (4) adquiere particular importancia por las ventajas de funcionamiento de una línea a ser potencia natural. Esta longitud límite a_0 crece con la impedancia característica de la línea y decrece con la reactancia de la maquinaria que lo alimenta.

V. ESTABILIDAD TRANSITORIA

Para el estudio conviene sólo considerar las reactancias del circuito, por lo tanto:

$$P = \frac{E_1 E_2}{X} \operatorname{Sen}\theta = P_M \operatorname{Sen}\theta \quad (11)$$

Que representa la potencia transmitida, a régimen estable en un sistema sin pérdidas (potencia igual en la salida que en la entrada).

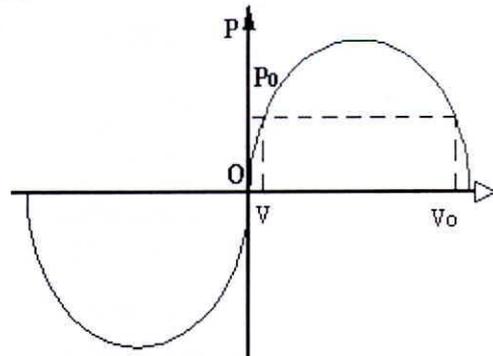


Fig. 2 - P en función de V

En este caso se tendrán (cuadripolos cualquiera) dos curvas distintas para P_e y P_s , que se pueden deducir de las ecuaciones (1) o bien de la figura 2.

Considerando una determinada potencia transmitida P_0 , para un valor positivo de θ la transmisión de potencia se realiza en un sentido (θ_0) y para un valor negativo en sentido contrario (θ'); en correspondencia con el ángulo θ_0 la transmisión es estable porque a un aumento de θ corresponde un incremento de potencia; en θ' el funcionamiento es inestable porque a un aumento de θ' corresponde una disminución de la potencia.

Para las máquinas sincras, cuando la variación de la carga se efectúa rápidamente con respecto a la constante de tiempo de los arrollamientos de las máquinas (que es de algunos segundos), ya no se pueden tomar en cuenta, en el comportamiento de la máquina, la f.e.m en vacío E_v y la reactancia sincra X_s suponiendo que la reacción de inducido tenga tiempo de desarrollarse, debe considerarse en cambio la f.e.m. resultante E_0 de régimen antes de la variación y la reactancia de dispersión X_d y si el período transitorio es suficientemente largo se debe tomar en cuenta el hecho que X_d llega gradualmente a X_s .

Los primeros instantes después de la perturbación, justamente en el régimen transitorio, la reacción de armadura no puede intervenir a causa de la inercia electromagnética de los arrollamientos. (Stevenson, 1996).

5.1 Estabilidad Transitoria entre una máquina Sincrona y una Red de Potencia Infinita.

Consideramos el caso de una máquina sincra conectada por medio de una línea a una red de potencia infinita, en donde se pueden presentar los siguientes casos:

a) Presencia súbita de potencia mecánica

Se presenta súbitamente un exceso de potencia mecánica ΔP en el eje de la máquina respecto a la potencia eléctrica transmitida, este exceso de energía da lugar a una aceleración de la máquina. El par de aceleración es igual a:

$$\Delta_{cc} = \frac{\Delta P}{v}$$

Donde v es la velocidad angular, este par determina un aumento de velocidad del rotor, y por lo tanto un gradual aumento del ángulo θ desde θ_0 a θ_1 . A medida que el ángulo θ aumenta el par acelerador disminuye hasta acumularse para $\theta = \theta_1$.

Si se considera el triángulo mixtilíneo P_0DA de la figura 2, cada una de las áreas de éste, comprendidos entre las dos occisas θ y $\theta+d\theta$ infinitamente cercanas, son proporcionales a la potencia disponible en ese instante. Toda el área del triángulo es proporcional al trabajo efectuado por el par motor más el trabajo que sale de la máquina en forma de energía eléctrica, en el tiempo que sea necesario para que el rotor llegue hasta el ángulo eléctrico θ_1 . [Kimbark,1961].

Este trabajo aumenta la energía cinética almacenada en el rotor y por lo tanto el área P_0DA es proporcional al cuadrado de la velocidad angular relativa de la máquina considerada respecto de un sistema dotado

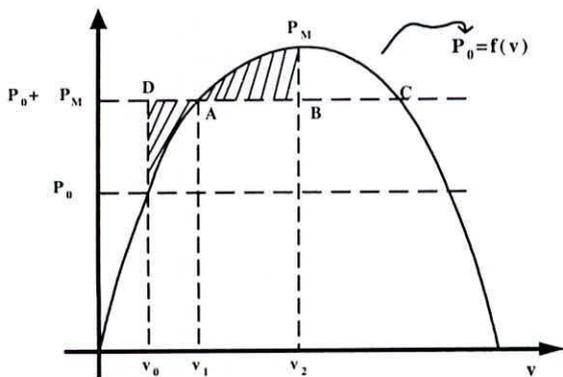


Fig.3 - Curva Potencia-Angulo

de movimiento uniforme (como el de las máquinas que constituyen el sistema de potencia infinita al que hemos considerado que la máquina este conectada) para $\theta = \theta_1$, es decir, para el ángulo correspondiente a la nueva condición de equilibrio estático se tiene el máximo exceso de velocidad y por lo tanto el rotor continua desplazándose hacia delante ya que después del punto A el área comprendida entre la curva $P = F(\theta)$ y las rectas $P_0 + \Delta P_0$ cambia de signo, la velocidad relativa disminuye progresivamente y se reduce a cero en correspondencia con el punto B, definido por la igualdad del área rayada verticalmente con el área cuadrículado en la figura anterior. Para el ángulo θ_2 correspondiente al punto B, no corresponde un equilibrio estático porque la potencia eléctrica aumenta (Fig. 2) en exceso con respecto a la

máquina, por lo tanto, el rotor esta obligado a reducir su velocidad para nuevamente volver al punto A...

Esto seguiría indefinidamente de no intervenir las acciones de frenado que disipando una parte de la energía provocan un amortiguamiento de las oscilaciones, alrededor del punto A, que representa en definitiva definida la nueva condición de régimen.

Debido a las causa disipativas mencionadas no se alcanza naturalmente el punto B, ni siquiera en la primera oscilación, pero la consideración del caso límite es muy instructiva porque muestra que la posibilidad de alcanzar un nuevo régimen de estabilidad esta determinada por la condición que el punto B se encuentre en la izquierda del punto C, es decir en el área ACP_M sea mayor que P_0DA si el punto B se encuentra al otro lado del punto C, la estabilidad del sistema que daría irremediamente comprometida. (Fitzgerald, 1994).

Lo que demuestra que no es posible utilizar la transmisión en correspondencia con el límite estático de potencia máxima transmisible P_m , porque en tal caso el área ACP_M se reducirá a cero, en tal caso hasta una pequeñísima perturbación comprometería la estabilidad.

b) Aumento brusco de impedancia de la línea.

Puede ocurrir cuando en una línea de dos ternas en paralelo una de ellas se excluya abriendo los interruptores terminales, por lo tanto implica pasar del ángulo θ_0 al θ_1 . La oscilación se extiende, en ausencia de amortiguación, hasta el desfase de θ_2 , sin embargo, la condición de estabilidad permanece porque el punto B se encuentra a la izquierda del punto C (Fig...3).

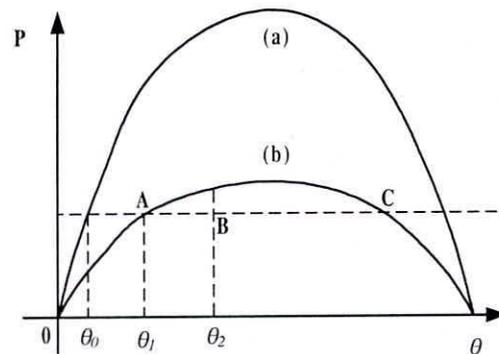


Fig.4.- Determinación del Límite de Estabilidad para una falla sostenida.

c) Cortocircuito Neto Tripolar.

Un cortocircuito neto tripolar sobre la línea, reduciendo a cero en la sección en la que se manifiesta, hace que en cierto sentido se anule la emisión considerada entre la máquina y la red. La persistencia de esta condición durante un tiempo (no breve), lleva inevitablemente a la salida del paso de la máquina, aún más si ésta por razones de protección, está

provista de dispositivos de desexcitación automática. Este caso es extremadamente raro.

Lo más frecuente se presenta bajo la forma de arcos a tierra entre dos o raramente tres fases. En este caso la resistencia del llamado cortocircuito, no es nulo y se puede suponer, en una representación simplificada y esquemática que la característica de la potencia transmitida se modifique, como en el caso considerado de a) y b).

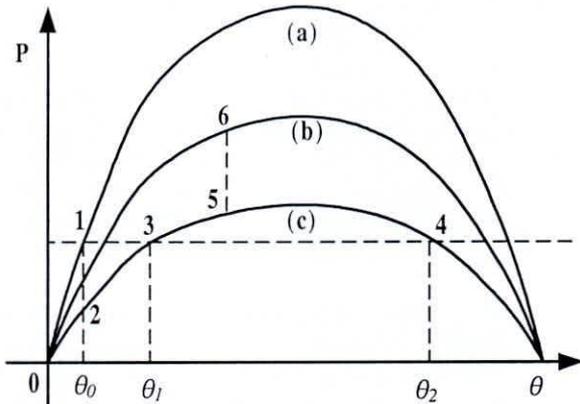


Fig. 5.- Determinación del límite de estabilidad para fallas libres de tiempo finito.

La potencia transmitida baja desde 1 hasta 2, como se muestra en la figura figura 5, la máquina acelera y el ángulo crece desde θ_0 hasta θ_1 (punto 3), y a partir de aquí ulteriormente la máquina saldría del paso en correspondencia con θ_2 (punto 4).

Si el fenómeno perturbador cesa antes de que esto suceda (por ejemplo el correspondiente al punto 5) o si se trata de eliminar el cortocircuito (seccionando con un interruptor automático *ad hoc* el tramo de línea averiado, lo que es posible si el corto circuito se produce en una derivación o si existen en funcionamiento dos líneas en paralelo, se vuelve en forma brusca al funcionamiento característico de la curva a) o eventualmente a una curva intermedia c) (punto 6). En tal caso el sistema puede volver espontáneamente al estado de equilibrio del punto 3, si la nueva característica es la c) o al punto 1 si la característica es la a).

De cualquier modo, esto se produce por medio de una serie de oscilaciones amortiguadas, como en los casos antes considerados. (Kimbark ,1965).

5.2 Estabilidad Transitoria entre dos Máquinas Sincronas.

Este caso difiere del considerado anteriormente tanto para el caso de las aceleraciones positivas o negativas. Lo que interesa para los fines de estabilidad es el movimiento relativo, ya que si el sistema se acelera o disminuye la velocidad sin perder el sincronismo es estable [Nasar, 1991].

5.3 Estabilidad de una máquina Sincrona con polos salientes.

Si se desprecian, como es razonable, las resistencias, el funcionamiento de un generador sincrónico está caracterizado por dos fuerzas electromotrices.

La E_v debido al flujo ϕ_v producido por la corriente de excitación, y la IX_s , producido por la reactancia sincrónica X_s asociada al flujo ϕ_s (disperso y de reacción) generado por la corriente del inducido.

El flujo ϕ_s se puede considerar como resultado de dos flujos ϕ_q y ϕ_d producidos separadamente por las dos componentes de la corriente I , respectivamente en fase (I_q) y en retraso $\pi/2$ (I_d) con la f.e.m. en vacío E_v . El flujo ϕ_d en consecuencia tiene el mismo circuito magnético que el flujo ϕ_v y por lo tanto se superpone a éste; en cambio ϕ_q tiene un circuito magnético distinto del de ϕ_v .

Las máquinas de polos salientes, por el hecho de que la reactancia del circuito magnético recorrido por ϕ_d , es distinto de la del circuito magnético recorrido por ϕ_q , las componentes I_d e I_q de la corriente están relacionadas con dos valores distintos X_d e X_q de la reactancia (aproximadamente $X_q = 0.5X_d$), ya que las f.e.m. producidas están retrasadas de $\pi/2$ con respecto a los flujos que generan la caída de tensión, $X_d I_d$ estarán en posición E_v e I_q ; y la caída de tensión $I_q X_q$ estará en atraso de $\pi/2$ con respecto a E_v y por lo tanto en fase con $I_d(x)$. En consecuencia, de los campos magnéticos al inducido confluirán los siguientes suministros de potencia:

- $E_v I_q$ del campo principal del inductor.
- $I_q X_d I_d + I_d X_q I_q$ de los campos de autoinducción y reacción. (Fitzgerald, 1994).

La potencia P que sale de la máquina es igual a su suma algebraica:

$$P = E_v I_q - I_d I_q (X_d - X_q)$$

De otro lado, la caída de tensión en fase con E_v no es otra cosa que $\beta_2 = \pi/2$; (donde v es la tensión en los bornes de retardo de θ respecto a E_v); la caída en cuadratura con E_v es $V \text{ Sen } \theta$; inmediatamente se observa que:

$$I_d = \frac{E_v - V \cdot \text{Cos } \theta}{X_d} ; I_q = \frac{V \cdot \text{Sen } \theta}{X_q}$$

Sustituyendo en P :

$$P = \frac{E_v V \cdot \text{Sen } \theta}{X_d} + \frac{X_d - X_q}{2 X_d X_q} V^2 \text{Sen } 2\theta \quad (12)$$

Para una máquina con rotor liso ($X_d - X_q$) la ecuación (7) se identifica con la fórmula:

$$P_s = \frac{V_e V_s}{X} \text{Sen}\theta \quad \text{y} \quad P_{sMax} = \frac{V_e V_s}{X}$$

El circuito magnético ϕ_d coincide con el de ϕ_v y por lo tanto se concatena con los arrollamientos del inductor. Por presencia de rápidas variaciones de la corriente I , intervienen para ϕ_d la acción retardada de estos; a los inicios del periodo transitorio la variación de ϕ_d se reduce en el orden del 20% de la variación $\Delta\phi_d$; así que la reactancia X_d es sustituida temporalmente por una reactancia $X_d=0,2X_d$.

En cambio en la reactancia X_q se puede escribir $X'_q = X_q$. De aquí se deduce que el valor de θ para el P es máximo en el periodo transitorio del régimen. [Nasar, 1993].

Por lo tanto de:

$$\frac{\partial P}{\partial \theta} = 0$$

Se tiene:

$$E_v \text{Cos}\theta + V \frac{X_d - X_q}{X_q} \text{Cos}2\theta = 0$$

En primera aproximación (siendo V igual a E_v) se tiene:

$$\text{Cos}\theta + \frac{X_d - X_q}{X_q} \text{Cos}2\theta = 0$$

El régimen donde $X_q=0,5X_d$ se satisface para $\theta \cong 60^\circ$; mientras que al comenzar el transitorio donde $X'_q=2,5X_d$ ($X_d=0,2X_d$, $X'_q=X_q$) se satisface para $\theta \cong 110^\circ$. Por consiguiente, la tendencia a la estabilidad de una máquina de polos salientes es la de superar las perturbaciones del régimen estático. Este hecho se debe a la circunstancia que en el transitorio la reacción del inducido tarda en manifestarse y por lo tanto inicialmente el flujo ϕ_v no se reduce en $\Delta\phi_d$ sino sólo a $0,2\Delta\phi_d$. La situación transitoria facilita la intervención benéfica de los reguladores rápidos de tensión siempre que estos sean capaces de aumentar adecuadamente ϕ_v antes que ϕ_d alcance su nuevo valor de régimen.

VI MÉTODO PARA AUMENTAR LA ESTABILIDAD DE UN SISTEMA

La máxima potencia transmisible de un sistema es directamente proporcional a la tensión e inversamente proporcional con la reactancia de los generadores; de los transformadores y las de las líneas.

La aptitud de las máquinas sincronicas de mantenerse en paralelo, aumenta con el aumento de la potencia máxima

transmisible, y puede quedar comprometida por la perturbación de régimen del sistema (causadas por bruscas variaciones de la carga o de las impedancias comprometidas). La perturbación da lugar a oscilaciones pendulares y están acompañadas por sobre corrientes que a través de la reacción de inducido reducen su fuerza electromotriz. Por lo tanto, para aumentar la estabilidad se requiere:

1. Reducir las reactancias en serie entre máquinas sincronicas de cortocircuito, lo cual es difícil de lograrlo en las máquinas sincronicas rotativas, es conviene que la reactancia del inducido, así como la de dispersión sean débiles.
2. Es aconsejable también, reducir la reactancia de los transformadores por debajo del 12%; la disminución de la reactancia de las líneas puede obtenerse utilizando varias ternas en paralelo, otra medida eficaz consiste en la instalación de baterías de condensadores en serie con la línea. Una batería de condensadores en serie de capacidad adecuada puede aumentar convenientemente el límite de estabilidad a 20% ó 30%. Se debe tener presente que en el caso de cortocircuitos, las consecuencias son dañinas para las baterías.
3. Si estas medidas no son suficientes puede ser necesario subdividir las líneas muy largas en tramos de menor longitud interponiendo máquinas sincronicas en función de condensadores rotativos, de potencia suficiente para mantener constante la tensión en los puentes intermedios; esto equivale a reducir la reactancia X a la del tramo más largo.
4. Para tener en cuenta la estabilidad dinámica, la potencia transportada en régimen no debe superar el 70% de la potencia máxima transportable en régimen estático.
5. Es de utilidad para la estabilidad todos aquellos dispositivos que aseguren una rápida sobre excitación automática de las máquinas, en los periodos de perturbación, en forma tal que compensen la intervención de la reacción de inducido. Es conveniente la adopción de excitatrices con pequeñas constantes de tiempo y con respuesta rápida, de tal manera que la tensión varíe rápidamente, cuando en su circuito de campo se excluya o se inserte de modo repentino una resistencia. Un aumento de la inercia mecánica de las partes rotativas, favorece la estabilidad, porque aumenta el período propio de oscilación, retardando el instante en que la estabilidad está irremediamente comprometida, dando así más tiempo para la intervención de los órganos reguladores

VII CONCLUSIÓN

El estudio de la Estabilidad de los Sistemas de Potencia es muy importante, no sólo en la parte de generación sino también en la de transmisión. Los desperfectos en las centrales son mucho más controlables debido a que tienen una ubicación fija cuyas fallas son de menor magnitud y se solucionan por reparación programada o forzada. En cambio, en las líneas de transmisión las perturbaciones son más frecuentes ya sea por puesta a tierra, corto circuito, caídas de línea, etc. o por fenómenos atmosféricos. Por este motivo, es conveniente que las fallas y soluciones se puedan encontrar desde las centrales eléctricas, tal como es el caso de un sistema interconectado, en donde por este hecho se incrementa la estabilidad del sistema.

VIII BIBLIOGRAFIA

Nasar S.A-Sistemas Eléctricos de Potencia.Mc. Graw Hill Interamericana de Mexico, S.A. 1991. Weedy B.M. Electric Power Systems. John Wiley & Sons.1975. Stevenson W.D. Jr. Análisis de Sistemas de Potencia. Mc Graw Hill.1996. Kimbark. Power Systems Stability. John Wiley& Sons.N.Y.1965. Fitzgerald. Máquinas Eléctricas.Ed. Mc Graw Hill.1994.