

ESTABILIDAD DE TENSION

Introducción

Bases matemáticas del análisis

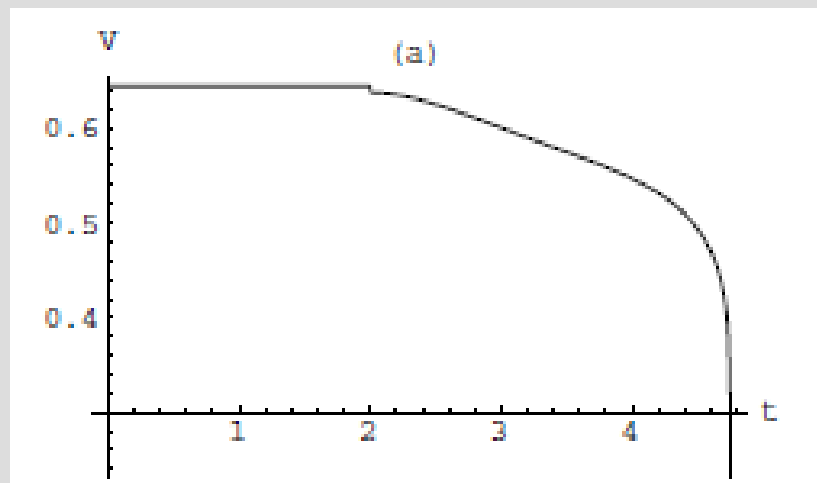
Métodos de análisis

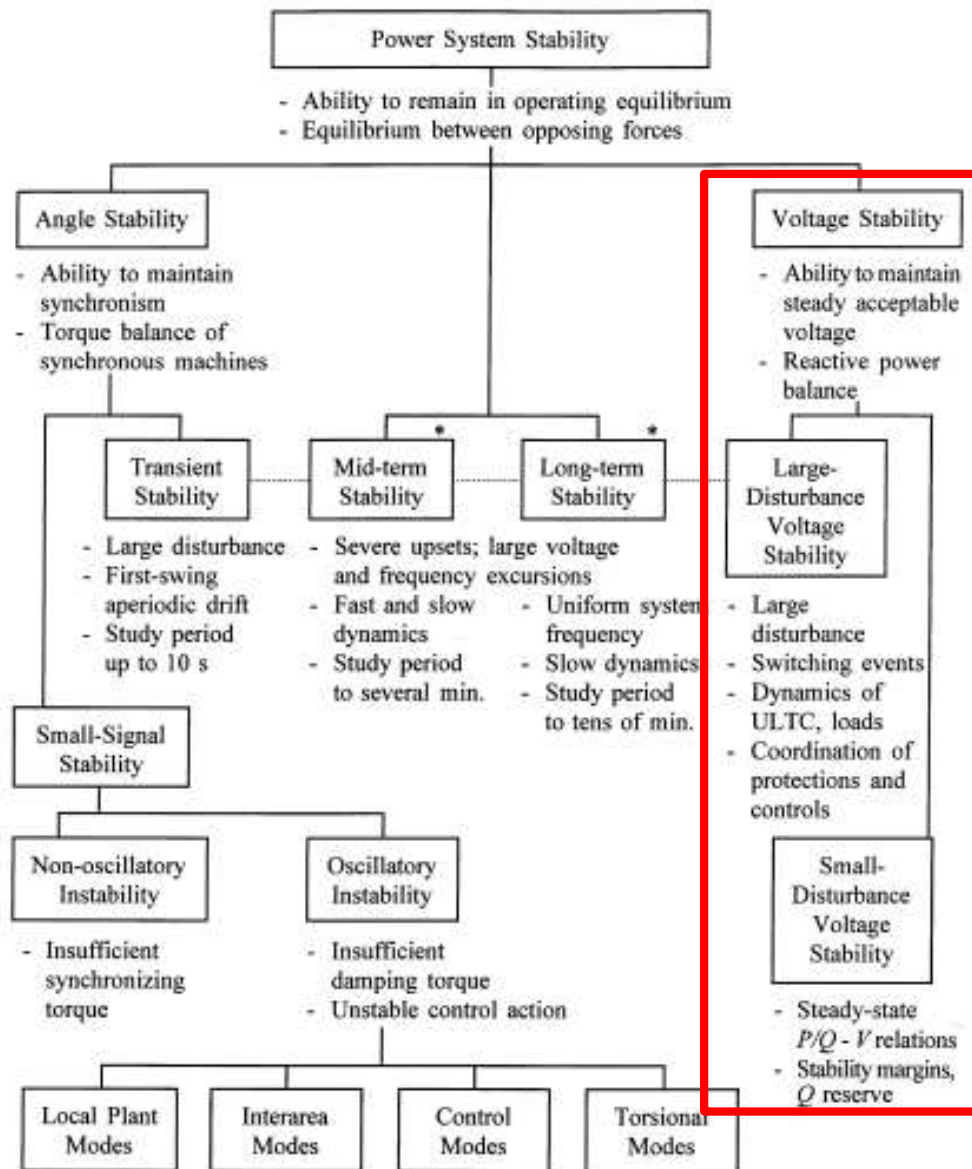
Indices y márgenes

Medidas correctivas

Criterios de planificación

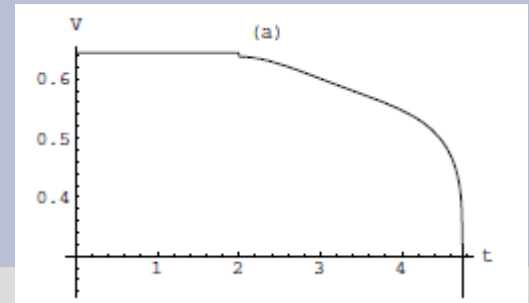
INTRODUCCION





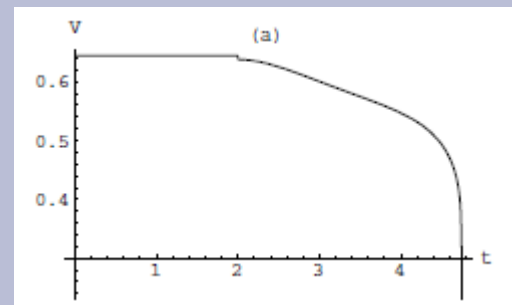
Descripción de casos reales de colapso de tensión

Bretaña (Francia), Enero 1987



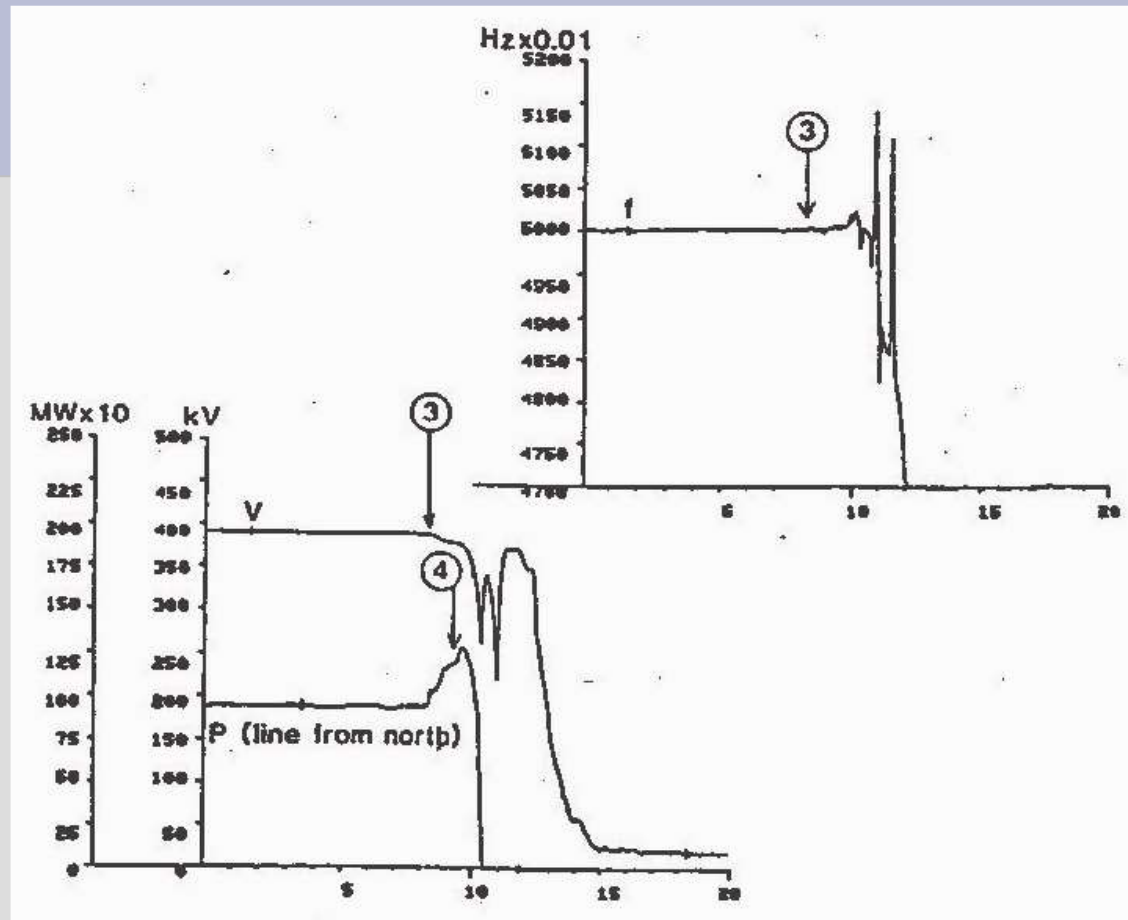
- Falla intempestiva de tres unidades generadoras en la central de Cordennais. **[Contingencia inicial]**
- El último generador de la central sale de servicio 13 segundos después (excesivo calentamiento del rotor provocado por el intento de mantener el suministro de potencia reactiva a la red). **[Límite de reactiva generador]**
- Caída de tensiones brusca en la zona. **[Colapso de tensión]**
- La frecuencia no varía significativamente, por lo que no actúan los relés de desenganche de carga por subfrecuencia. **[No actuación de relés convencionales]**
- El colapso se controla varios minutos después a costa del desenganche manual de cargas.

Suecia, Diciembre 1983

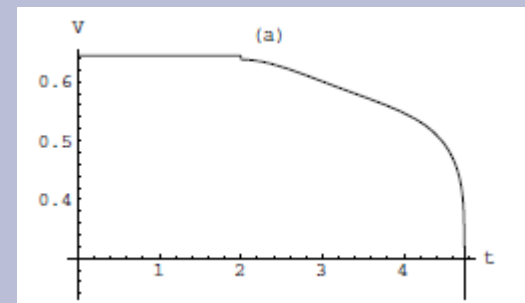


- Falta en una estación 400/220 kV en la zona de Estocolmo que provoca la salida de servicio de 2 de las 7 líneas 400 kV que alimentan Estocolmo desde las centrales hidráulicas del Norte. **[Contingencia inicial]**
- Las 5 líneas de 400 kV restantes se sobrecargan. **[Pérdidas de reactiva]**
- Los automatismos de los cambiadores bajo carga de los transformadores en la zona de Estocolmo tratan de restituir la tensión en las cargas. **[Efecto de los conmutadores bajo carga]**
- El aumento en la potencia de carga no es soportado por las líneas de 400 kV, que son disparadas por relés de sobrecarga o relés de distancia. **[Actuación de relés convencionales]**
- La zona de Estocolmo queda aislada, y el déficit de generación no puede ser resuelto por los esquemas de desenganche de carga por subfrecuencia, provocándose un apagón total en esa zona por algo así como 1 hora.

Duración total desde la falta inicial hasta el colapso: 1 min.

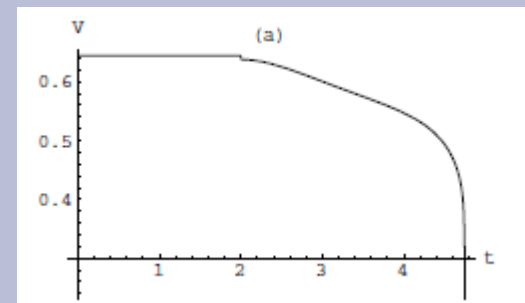


Colapso de tensión en Estocolmo, 1983
(escala de tiempo: minutos)



Japón, Julio 1987

- Aumento de demanda muy por encima de lo previsto en un día inusualmente caluroso. **[No hay una contingencia inicial]**
- Pese a que se entran en servicio todos los bancos de condensadores disponibles, la tensión comienza a decrecer. **[Poca utilidad de los bancos de condensadores]**
- La potencia de la carga se mantiene aprox. constante (aparatos de aire acondicionado) **[Influencia de la dinámica de la carga]**
- En aproximadamente 10 minutos (con tensiones del orden de 0.75 p.u) la actuación de relés provoca la salida de servicio de 3 estaciones 500 kV y un apagón importante en la zona de Tokyo.



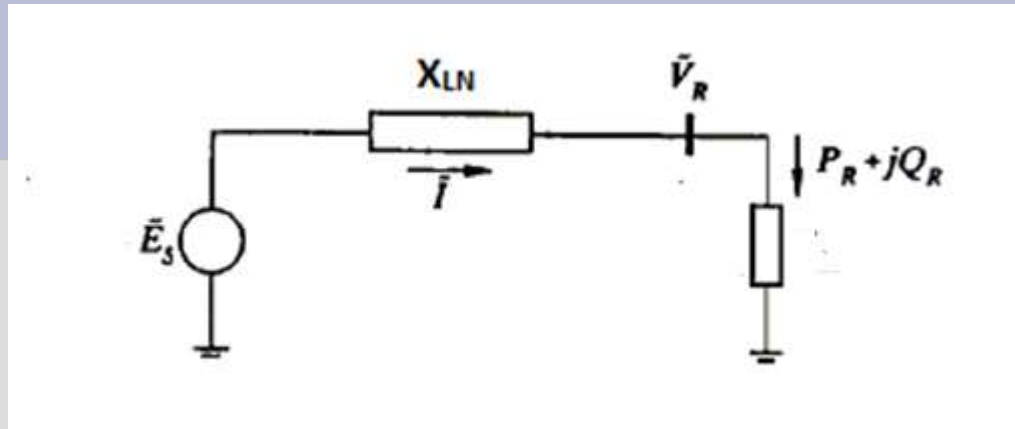
Características comunes de los incidentes:

- ✓ Perturbaciones importantes (salidas de líneas, generadores, etc.) o no (aumentos progresivos de carga).
- ✓ Se mantiene por un cierto tiempo el suministro de las cargas sin variaciones relevantes de frecuencia.
- ✓ Son fenómenos lentos, por lo que tienen tiempo de actuar los automatismos lentos de control de tensión.
- ✓ Se terminan produciendo caídas de tensión más allá de lo esperado (*colapso de tensión*).
- ✓ El despeje final de los incidentes lo realizan relés convencionales no específicos ($Z_{<,l>$, etc.) o por acción manual.

Principales factores que influyen en el colapso de tensión

- ✓ **Carga excesiva en el sistema.**
- ✓ **Balance inadecuado de potencia reactiva (demanda excesiva, caída de reactiva excesiva en líneas de transporte, generación de reactiva insuficiente).**
- ✓ **Variación de la carga con la tensión. Observar que la ley de variación de la carga con la tensión puede cambiar con el tiempo (ej:motores de inducción que se frenan por baja tensión).**
- ✓ **Acción de cambiadores de tomas bajo carga de los transformadores (si restituyen la tensión del lado de la carga, pueden contribuir a aumentar la carga, de acuerdo con la ley de variación potencia-tensión) y otros controles lentos (termostatos, relés de calentamiento, etc.) en períodos de baja tensión.**
- ✓ **Desempeño de equipos de compensación de reactiva (condensadores, compensadores síncronos, etc.) cuando la tensión baja en el sistema.**

Ejemplo introductorio :Línea radial,sin pérdidas



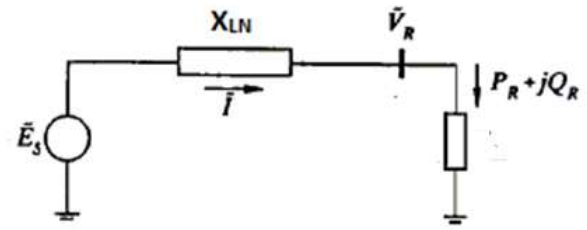
a)Carga con potencia independiente de la tensión

$$P_R = E_S \cdot V_R \cdot B_{LN} \cdot \text{sen}(\delta)$$

$$Q_R = E_S \cdot V_R \cdot B_{LN} \cdot \text{cos}(\delta) - V_R^2 \cdot B_{LN}$$

$$B_{LN} = 1/X_{LN}$$

δ =Angulo de V_R respecto de E_S



Suponiendo $Q_R = k \cdot P_R$, con $k = \tan \varphi$ ($\cos \varphi =$ factor de potencia de la carga), y eliminando δ :

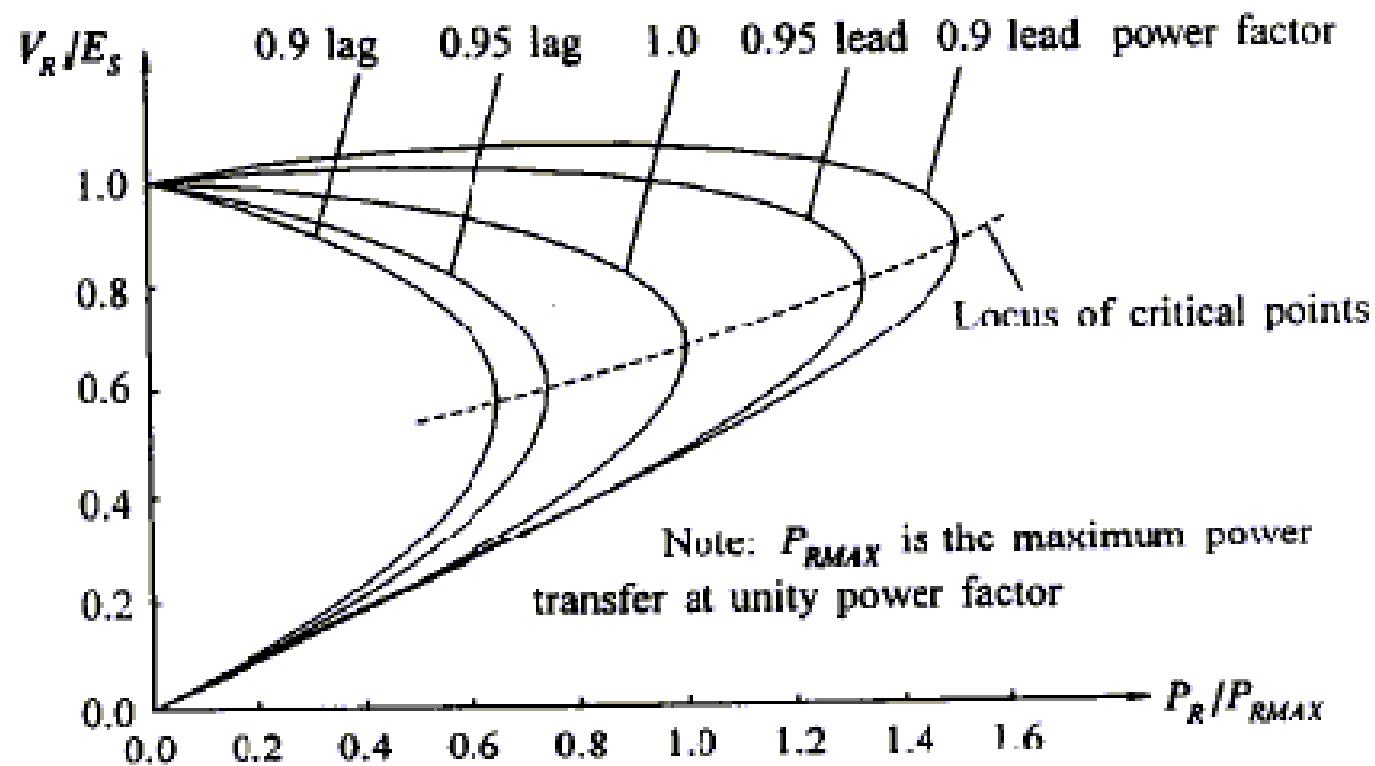
$$P_R^2 + (k \cdot P_R + V_R^2 \cdot B_{LN})^2 = (E_S \cdot B_{LN})^2 \cdot V_R^2$$

Dado E_S (tensión controlada en bornes del generador), para cada P_R :

-existen dos soluciones para V_R o

-existe un valor máximo de P_R para el cuál hay una sólo solución para V_R o

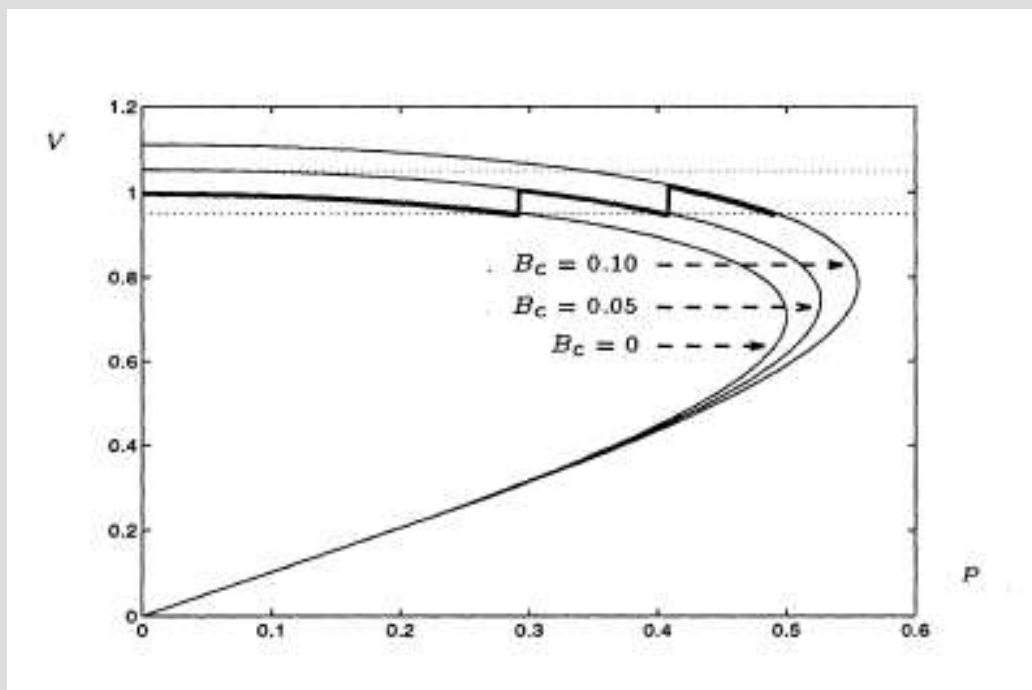
-por encima del valor máximo de P_R no hay solución para V_R
 (el sistema de potencia “pierde” su punto de equilibrio = colapso de tensión)



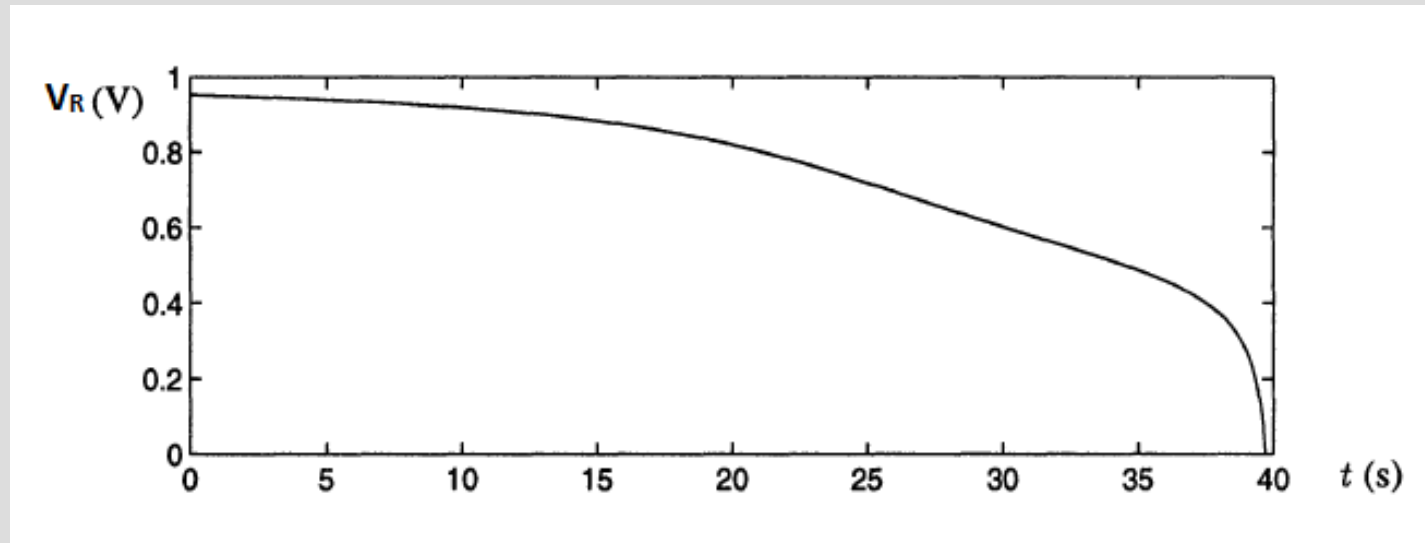
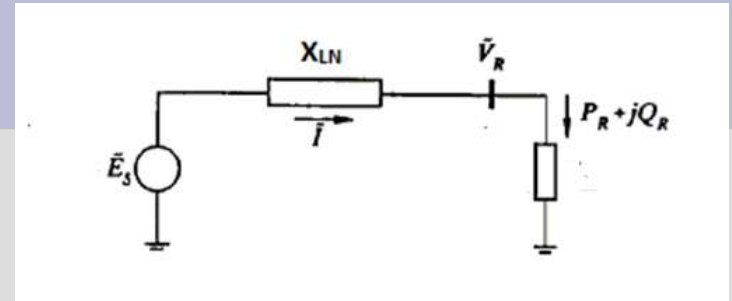
Si se agrega junto a la carga un banco de condensadores de admitancia B' :

$$P_R^2 + (k \cdot P_R + V_R^2 \cdot (B_{LN} - B'))^2 = (E_S \cdot B_{LN})^2 \cdot V_R^2$$

El banco de condensadores modifica el punto en que se produce el colapso de tensión, pero no lo evita.



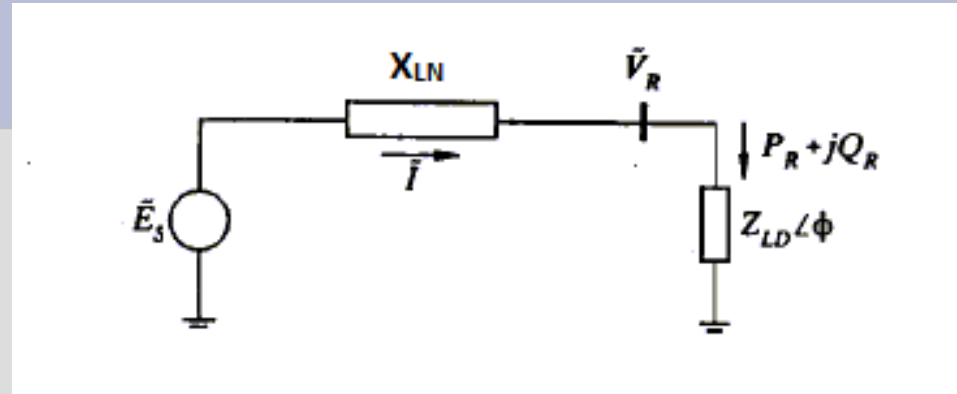
Variación de la tensión para P_R mayor que el máximo:



b) Carga de impedancia constante

$$V_R \cdot K' = E_S \cdot (B_{LN})$$

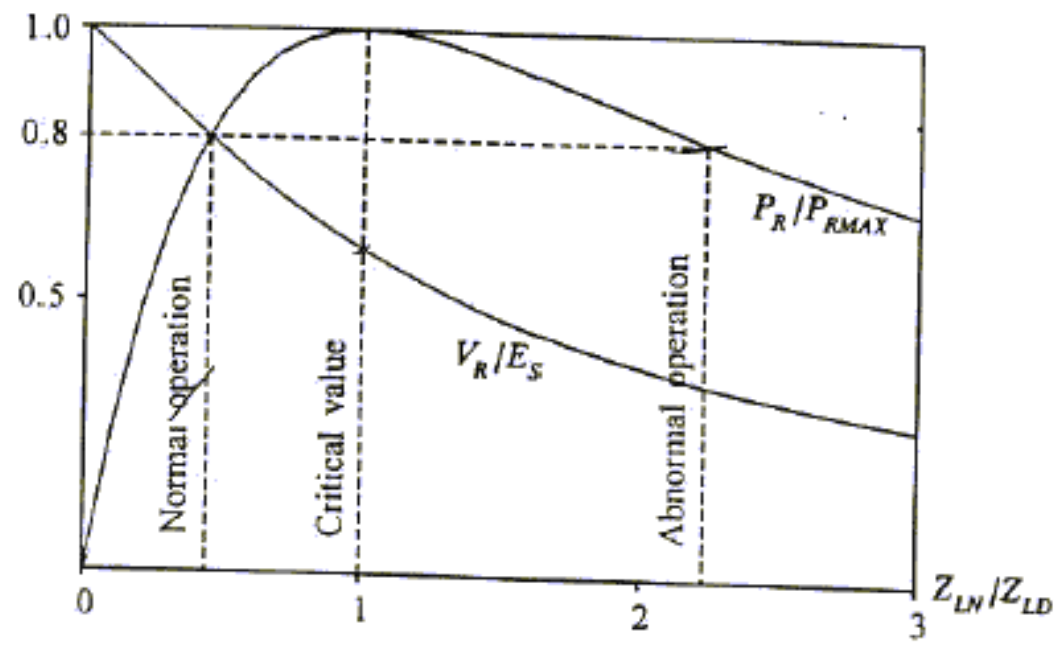
K' :función de la impedancia de carga Z_{LD}



-Existe una única solución para V_R

-Existe un valor máximo de P_R (función del factor de potencia de la carga) que se puede transportar a la carga.

-No se produce el colapso de tensión.



Definición de estabilidad de tensión

Un sistema de potencia está funcionando en un estado de equilibrio estable desde el punto de vista de la tensión cuando:

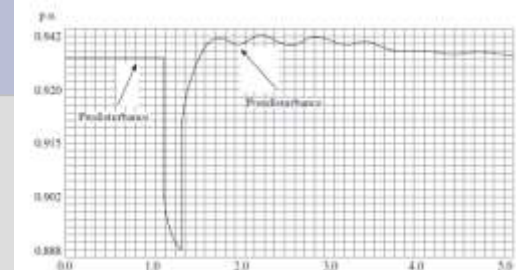
- a) Las tensiones en todas las barras están dentro de un rango aceptable.
- b) Si se produce una perturbación en el sistema, éste es capaz de retornar en un tiempo aceptable a un estado de equilibrio (igual o distinto al anterior) en que las tensiones en todas las barras están dentro de un rango aceptable.

Comentarios:

- observar la exigencia de que la tensión esté dentro de un rango aceptable luego de la perturbación (p.ej: luego de la falta se acepta que la tensión esté por debajo de 0,8 p.u durante no más de 700 ms).
- el colapso de tensión descrito anteriormente es sólo una de las posibles formas de inestabilidad de tensión.

Clasificación de casos

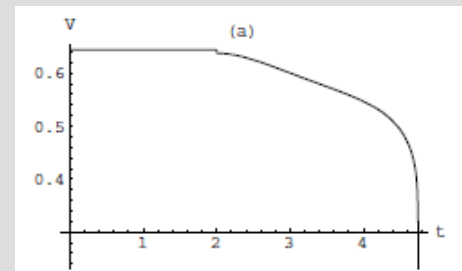
A) Perturbaciones rápidas



Se analizan en forma conjunta con la estabilidad transitoria de ángulo (simulaciones en el tiempo durante algunos seg.).

B) Perturbaciones lentas

Ejemplo: variación lenta de carga.



El colapso de tensión descrito anteriormente es la forma más habitual de inestabilidad de tensión a causa de perturbaciones lentas.

BASES MATEMATICAS DEL ANALISIS DE LA ESTABILIDAD DE TENSION PARA PERTURBACIONES LENTAS

Ecuaciones simplificadas del sistema de potencia

1) Ecuaciones diferenciales de las máquinas (Ecuación de swing)

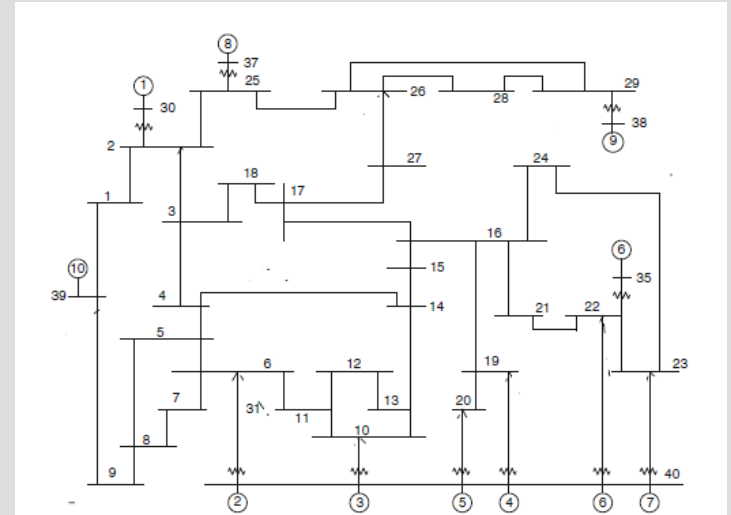
$$d\delta_i / dt = \omega_i$$

$$M_i \cdot d\omega_i / dt = P_i - \sum E_i \cdot V_l B_{il} \text{sen}(\delta_i - \varphi_l)$$

2) Ecuaciones algebraicas de la red (Flujo de cargas)

$$-P_k = \sum E_j \cdot V_k B_{jk} \text{sen}(\varphi_k - \delta_j) + \sum V_l \cdot V_k B_{lk} \text{sen}(\varphi_k - \varphi_l)$$

$$Q_k = \sum V_k \cdot E_j \cdot B_{jk} \text{cos}(\varphi_k - \delta_j) + \sum V_k \cdot V_l \cdot B_{lk} \text{cos}(\varphi_k - \varphi_l)$$



Modelo general DAE del sistema de potencia para análisis de estabilidad de tensión

$dx/dt=f(x,y,\lambda)$ (máquinas y sus sistemas de control,etc.)

$g(x,y,\lambda)=0$ (red de transmisión)

x:Variables de estado (ángulos y velocidades de los rotores de las máquinas respecto a una de referencia,variables de estado de los sistemas de control)

y:Variables de ligadura (módulos de tensiones , ángulos de todas las barras “reales” (excluyendo barras internas de máquinas),variables algebraicas de los sistemas de control)

λ :Parámetro escalar (parámetro de variación de carga)

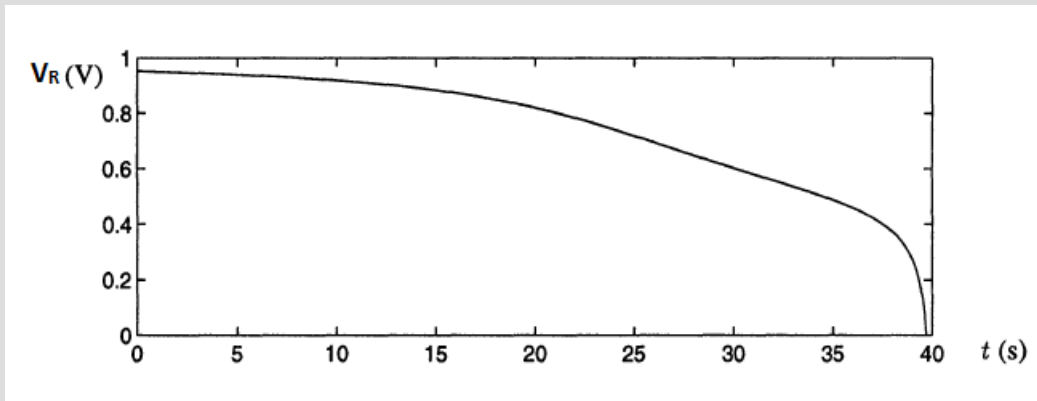
λ no depende del tiempo:se supone de variación lenta (análisis cuasiestático)

Si $g_y \neq 0 \Rightarrow$ se puede despejar “y” de las ecuaciones algebraicas (teorema de la función implícita) y el sistema se reduce a:

$dx/dt=h(x,\lambda)$ (Sistema dinámico puro)

El colapso de tensión y la teoría de bifurcaciones: motivación

En el análisis hecho de un colapso de tensión en un sistema radial se observa un cambio de comportamiento brusco en una de las variables del sistema (la tensión) al alcanzarse un cierto valor de la carga. Esta situación se ha observado también en los colapsos de tensión registrados en los sistemas reales



Interesa, por lo tanto, estudiar en forma abstracta como se comporta el modelo del sistema a medida que cambia el parámetro λ y, en particular, para qué valores de λ el comportamiento del sistema tiene cambios cualitativos importantes.

Bifurcaciones de sistemas dinámicos

A medida que λ varía (con continuidad) van cambiando los puntos de equilibrio y las trayectorias del sistema $dx/dt=h(x,\lambda)$

Un sistema se dice que es *localmente estructuralmente estable* para un valor del parámetro λ , si para variaciones pequeñas del parámetro las soluciones del sistema se comportan en forma cualitativamente “parecida” :

- Se mantiene el número de puntos de equilibrio $((x,\lambda)$ tal que $h(x,\lambda) = 0$).
- Los puntos de equilibrio se comportan “parecido” desde el punto de vista de la estabilidad de pequeña señal.

Si para un valor del parámetro el sistema no es estructuralmente estable en torno a un punto de equilibrio, se dice que éste es una bifurcación del sistema dinámico.

Caso particular: Sistemas Lineales

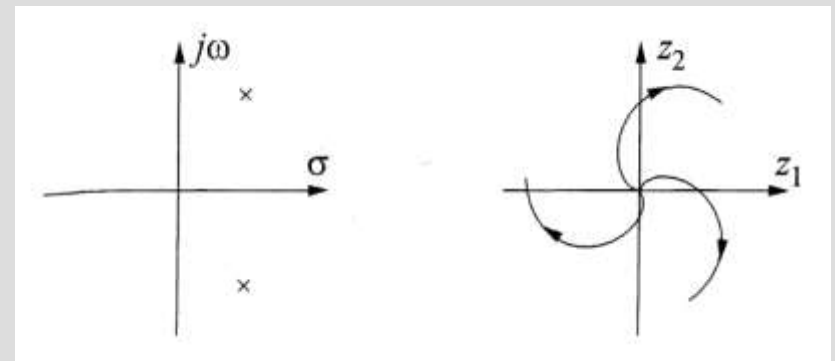
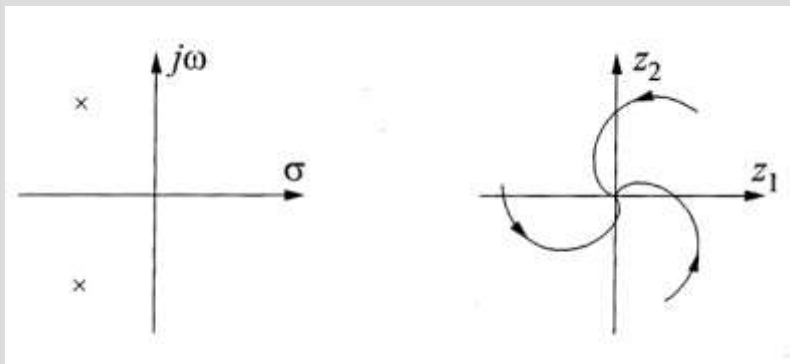
$$dx/dt = A(\lambda).x \quad \lambda \in \mathbb{R}, x \in \mathbb{R}^n, A_{n \times n}$$

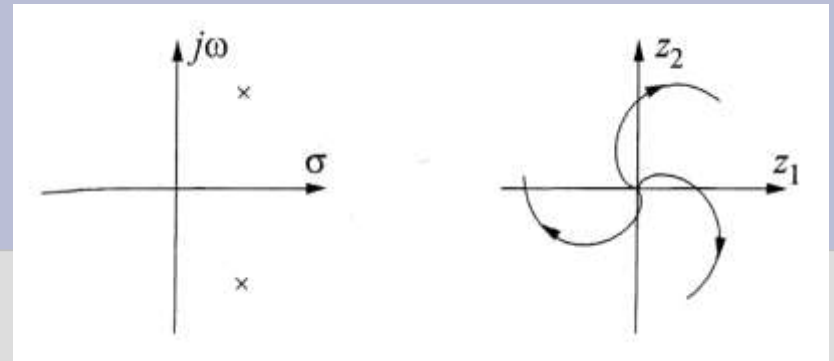
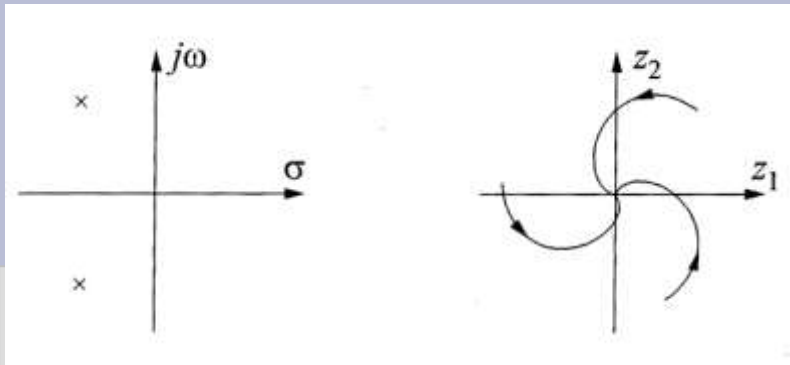
$x=0$ es el único punto de equilibrio si A es invertible.

Para $\lambda = \lambda_0$ suponemos que $A(\lambda_0)$ no tiene autovalores de parte real nula.
(el punto $x=0$ se denomina hiperbólico).

Las soluciones del sistema para $\lambda = \lambda_0$ son de la forma $x = \sum c_j \exp(\mu_j t)$.
(μ_j = autovalor).

Las propiedades de estabilidad local quedan definidas por el signo de la parte real de los autovalores





Por continuidad ,esta situación se mantendrá en un entorno de $\lambda_0 \Rightarrow$ en λ_0 el sistema es estructuralmente estable

Para los sistemas lineales las bifurcaciones se deben buscar para los valores del parámetro en que la matriz tiene autovalores de parte real nula (el punto de equilibrio se dice no hiperbólico)

Caso general: Sistemas no lineales

$$dx/dt=h(x,\lambda) \quad \lambda \in \mathbb{R}, h : \mathbb{R}^n \times \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^n$$

Se prueba (Teorema de Hartmann- Großman) que para que un punto de equilibrio (x_0, λ_0) sea de bifurcación es necesario que sea no hiperbólico para el jacobiano $h_x(x, \lambda)$ calculado en (x_0, λ_0) .

Tipos de bifurcación

Según que el autovalor de parte real nula tenga o no también su parte imaginaria nula, se distinguen los siguientes dos tipos de bifurcaciones:

Bifurcación silla-nodo: Cuando el jacobiano tiene un autovalor igual a cero. (*)

Bifurcación de Hopf: Cuando el jacobiano tiene un autovalor no nulo de parte real cero.

(*) Hay otros tipos de bifurcación asociados a la aparición de un autovalor nulo, pero son muy poco frecuentes (no son “genéricas”)

Bifurcaciones silla-nodo

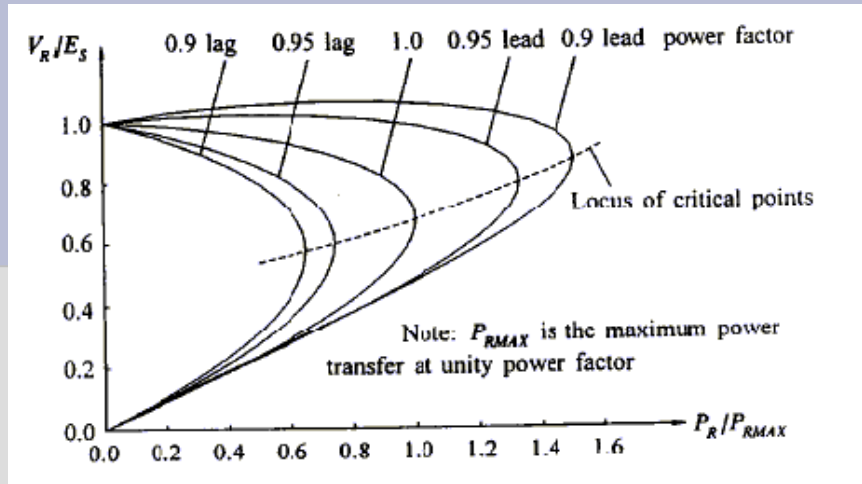
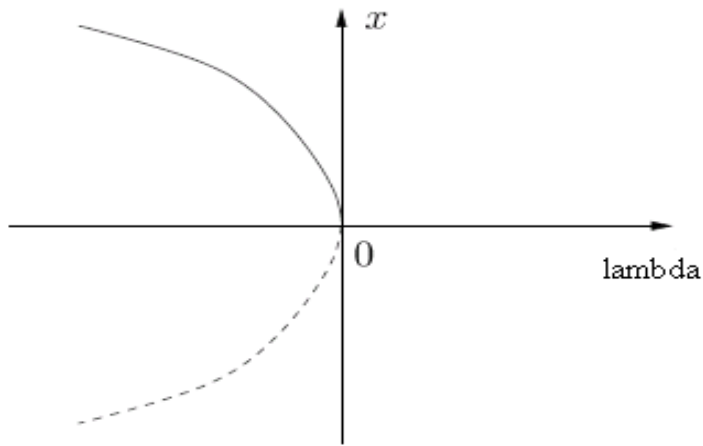
El modelo clásico de la bifurcación silla-nodo es:

$dx/dt = -x^2 - \lambda$, $x, \lambda \in \mathbb{R}$ (“Forma normal” de la bifurcación silla-nodo).

-Los puntos de equilibrio describen la parábola $x^2 = -\lambda$, en que la rama superior es de puntos de equilibrio estables y la inferior de puntos de equilibrio inestables

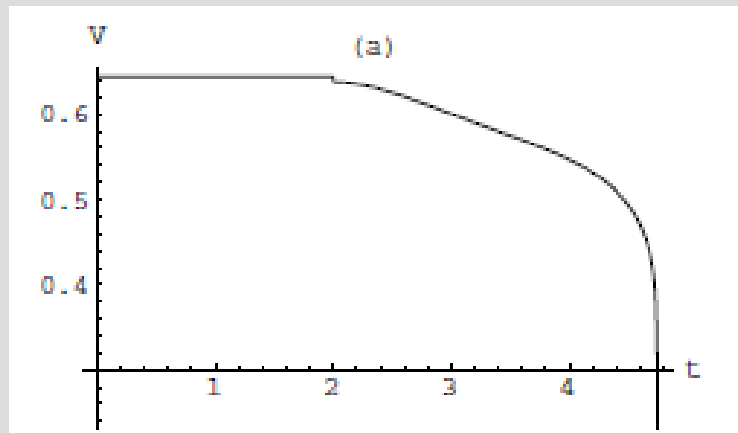
-El origen es un punto de bifurcación silla-nodo, y respecto a ese punto el comportamiento del sistema es:

- ✓ con 2 puntos de equilibrio, uno estable y el otro inestable, si $\lambda < 0$
- ✓ con 1 punto de equilibrio inestable si $\lambda = 0$
- ✓ sin puntos de equilibrio si $\lambda > 0$



Observar la similitud del diagrama de bifurcación con los diagramas V-P del sencillo ejemplo de la línea radial !!

También la variación de $x(t)$ para $\lambda > 0$ es similar a la variación de la tensión durante el colapso de tensión.



Relación entre el colapso de tensiones y la bifurcación silla-nodo

La moderna teoría de la estabilidad de tensión asocia el fenómeno del colapso de tensión a la aparición de una bifurcación silla-nodo en el sistema de ecuaciones diferenciales algebraicas que modela un sistema de potencia con un parámetro de carga variable.

Esta asociación se basa en que los incidentes ocurridos de colapso de tensión se caracterizan por la desaparición del punto de equilibrio, y una declinación posterior monótona (a diferencia de la bifurcación de Hopf, que se evidencia por tener modos oscilatorios) e inicialmente lenta de algunas de las tensiones de barra.

Todas estas propiedades son típicas de los sistemas que sufren una bifurcación silla nodo.

Esta asociación, por lo tanto, sugiere la necesidad de calcular los puntos de anulación del jacobiano del sistema a efectos de detectar el punto de colapso.

METODOS DE ANALISIS DE LA ESTABILIDAD DE TENSION

Tipos de métodos

A) Dinámicos: simulación numérica del sistema de ecuaciones diferenciales y algebraicas.

✓ Válidos tanto para perturbaciones rápidas como lentas.

✓ Períodos de estudio más largos que los de estabilidad transitoria en el caso de las perturbaciones lentas.

✓ Modelos de dinámica lenta que no se necesitan en los estudios de estabilidad transitoria: conmutadores bajo carga, variación de las cargas con las tensiones cuando las tensiones son muy bajas, controles térmicos, etc.

✓ Métodos precisos (simulaciones “post-mortem” de incidentes reales)

METODOS DE ANALISIS DE LA ESTABILIDAD DE TENSION

Tipos de métodos

B) Estáticos: resolución del sistema de ecuaciones algebraicas que modelan el sistema en régimen, a fin de encontrar la bifurcación silla-nodo.

- ✓ Válidos para analizar perturbaciones lentas.
- ✓ Menos precisos que los métodos dinámicos.
- ✓ Métodos más rápidos (adecuados para aplicaciones on-line: márgenes de estabilidad, detección de las barras más comprometidas, etc.)

Métodos estáticos

Formulación general:

$$\frac{dx}{dt} = f(x, y, \lambda)$$

$$0 = g(x, y, \lambda)$$

con $x \in \mathbb{R}^m$, $y \in \mathbb{R}^n$, $\lambda \in \mathbb{R}$, $f: \mathbb{R}^{n+m+1} \rightarrow \mathbb{R}^m$, $g: \mathbb{R}^{n+m+1} \rightarrow \mathbb{R}^n$

Bajo la hipótesis de g_y no singular, eliminando las variables de ligadura se obtiene la ecuación de estado $\frac{dx}{dt} = h(x, \lambda)$, con $h: \mathbb{R}^{m+1} \rightarrow \mathbb{R}^m$

El colapso de tensión se identifica con el estado en que el Jacobiano $H = h_x(x, \lambda)$ de este sistema se hace singular, por lo que los métodos estáticos consisten en resolver $\det(H) = 0$ para un (x, λ) tal que $h(x, \lambda) = 0$.

Una dificultad de aplicación práctica es realizar la eliminación de las variables de ligadura.

Sea $J=(f,g)_{x,y}(x,y,\lambda)$ el jacobiano del sistema de ecuaciones completo original:

$$f(x,y,\lambda)=dx/dt$$

$$g(x,y,\lambda)=0$$

Se puede ver que $\det J=0 \Leftrightarrow \det H=0$, por lo que no es necesario realizar la “eliminación” de las variables de ligadura “y” para encontrar las bifurcaciones silla-nodo: basta con buscar las singularidades del jacobiano J del sistema diferencial-algebraico “completo”

Relación con la convergencia del flujo de cargas

Si se simplifican las ecuaciones de oscilación de la máquina y de sus reguladores las barras de generación pasan a ser, simplemente, nodos en que se inyecta al sistema una potencia activa constante a tensión constante (barras “PV”), y las ecuaciones de equilibrio del sistema no son más que las ecuaciones del flujo de cargas clásico.

$f(x,y,\lambda)=0$:ecuaciones de equilibrio de potencia activa en las barras PV

$g(x,y,\lambda)=0$: ecuaciones de equilibrio de potencia activa y reactiva en las barras PQ

x :ángulos de la tensión en las barras de generación, referidos a la barra “slack”

y :módulos de tensiones en todas las barras y ángulos de la tensión de barras de carga (barras “PQ”) referidos a la barra “slack”.

λ :parámetro que describe la variación de cargas

Cuando el sistema llega al colapso (al ir aumentando la carga en las barras seleccionadas), de acuerdo a la teoría de la bifurcación silla-nodo el flujo de cargas deja de tener solución.

Por lo tanto:es posible calcular aproximadamente el estado de colapso corriendo flujos de cargas sucesivos al ir variando el parámetro, hasta que el flujo deja de tener solución.

La detección del colapso de esta forma es computacionalmente costosa y no muy precisa, dado que los flujos de carga habitualmente necesitan que el jacobiano del sistema sea invertible para poder buscar la solución.

Por lo tanto:los programas de flujos de carga comerciales dejan de converger “un poco antes” del estado de colapso,a causa de que el jacobiano del sistema se hace “casi” singular.

Método del punto de colapso

Consiste, simplemente, en resolver el sistema de ecuaciones algebraicas que definen la bifurcación silla-nodo:

$$f(x,y,\lambda)=0$$

$$g(x,y,\lambda)=0$$

$$J(x,y,\lambda)v=0, \quad ||v||=1 \quad (v \text{ es vector propio de } J \text{ en el punto de bifurcación})$$

Este sistema se puede resolver por métodos clásicos (Newton-Raphson, p.ej)

Desventaja de este método: no se puede tener en cuenta en forma sencilla los límites a los que pueden llegar algunos elementos del sistema (límites de generación de reactiva de máquinas, límites de conmutadores bajo carga que regulan tensión automáticamente, etc.) al aumentar el parámetro λ .

(al llegar a uno de esos límites el sistema de ecuaciones $f=0, g=0$ cambia: si se trata de un límite de generación de reactiva, p.ej, la barra PV de la máquina cambia por barra PQ)

Método de continuación

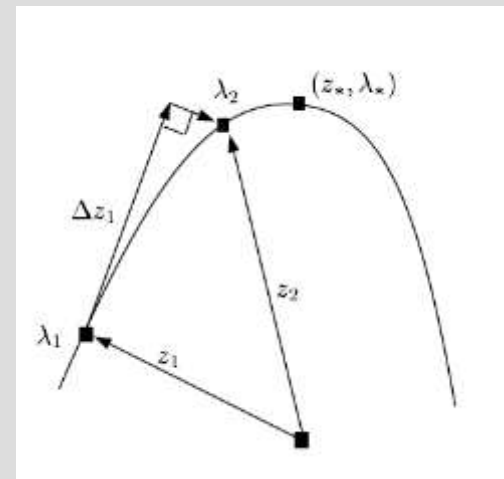
Se va resolviendo paso a paso la ecuación de puntos de equilibrio $f=0, g=0$ a medida que el parámetro λ va aumentando en “steps” discretos .

Puede verse como un “conjunto de flujos de carga sucesivos” al variar el parámetro de carga, pero realizado mediante una técnica que permite evitar los problemas de convergencia al acercarse al colapso.

En cada paso se verifica si no se han violado límites, reformulando el sistema de ecuaciones de ser necesario, a efectos de seguir avanzando.

Es uno de los métodos habitualmente usado en programas comerciales.

(Ver Apuntes por más detalles).



INDICES Y MARGENES DE ESTABILIDAD DE TENSION

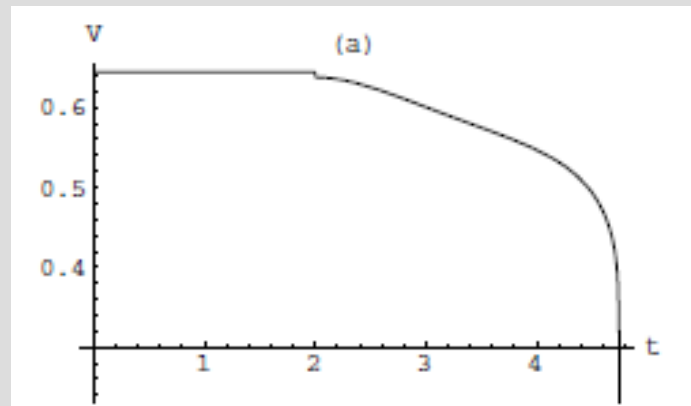
Introducción

Se desea tener una idea cuantitativa de qué “tan lejos” está el sistema de sufrir un colapso de tensión.

Indices :parámetros matemáticos sin una clara interpretación física (p.ej:el módulo de un valor propio)

Márgenes :magnitud física (p.ej:cantidad de potencia activa)

Comentario: la magnitud de la tensión en las barras del sistema no es un buen indicador (alta alinealidad entre las tensiones y el aumento de carga cerca del colapso).

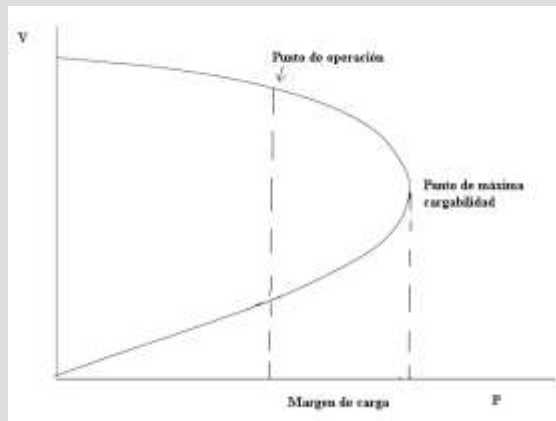


Indices y márgenes derivados de las curvas P-V

A) Margen de carga

Aumento de potencia total (activa, reactiva o aparente) en todo el sistema a partir de un punto de operación para llegar al colapso = distancia horizontal entre el punto de operación y el de bifurcación en la “curva P-V”.

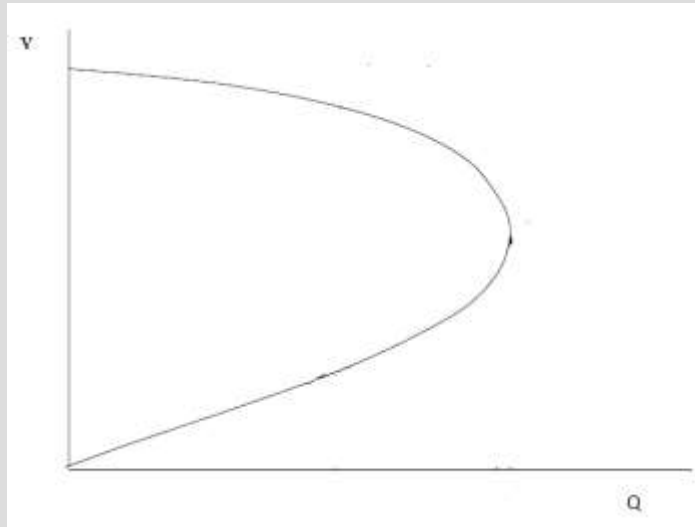
El margen depende de la forma en que se carga el sistema



Existen métodos que permiten detectar los “peores casos” de aumento de carga, de forma que el margen sea mínimo

B) Caso particular del margen de carga: curvas Q-V

Se aumenta progresivamente la carga reactiva en cada barra hasta encontrar el punto de colapso.



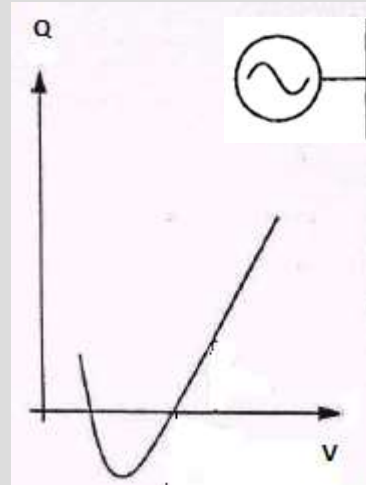
Aplicación práctica del método de las curvas Q-V

En la práctica se opera distinto, para evitar los problemas de convergencia del flujo cerca del punto de colapso :

Se toman una por una las barras de carga del sistema, y se corren sucesivos flujos de carga, haciendo variar progresivamente la reactiva Q generada en la barra , mediante el siguiente procedimiento:

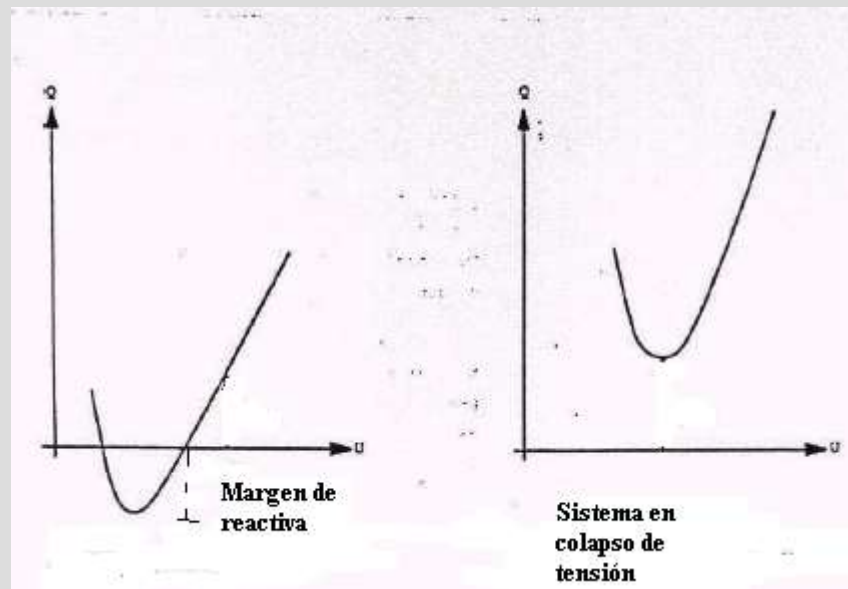
-Se introduce en la barra PQ en la que se está variando la reactiva un generador ficticio, que genera o consume exclusivamente reactiva (la barra PQ se transforma en barra PV)

-Los sucesivos puntos Q-V se obtienen haciendo variar la consigna de tensión en esa barra P-V.



Si se grafica la correspondiente curva Q-V de cada barra, el mínimo de la curva corresponde al punto de colapso de tensión.

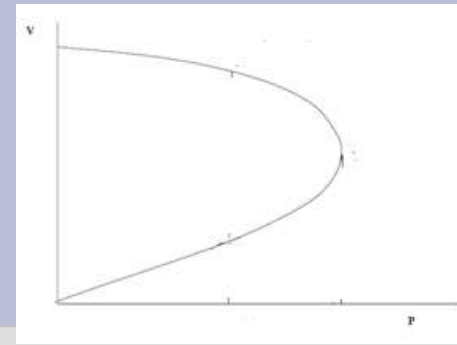
La ordenada de la potencia reactiva en el mínimo (cambiada de signo) es el margen de reactiva de la barra.



El menor margen de reactiva entre todas las barras del sistema se toma como el margen al colapso de todo el sistema

Existen regulaciones que especifican los márgenes al colapso de tensión en función de este método.

Otros índices



C) Valor propio mínimo del jacobiano

Se toma el módulo del valor propio más pequeño en módulo como índice de estabilidad (recordar que en el punto de colapso hay un valor propio=0)

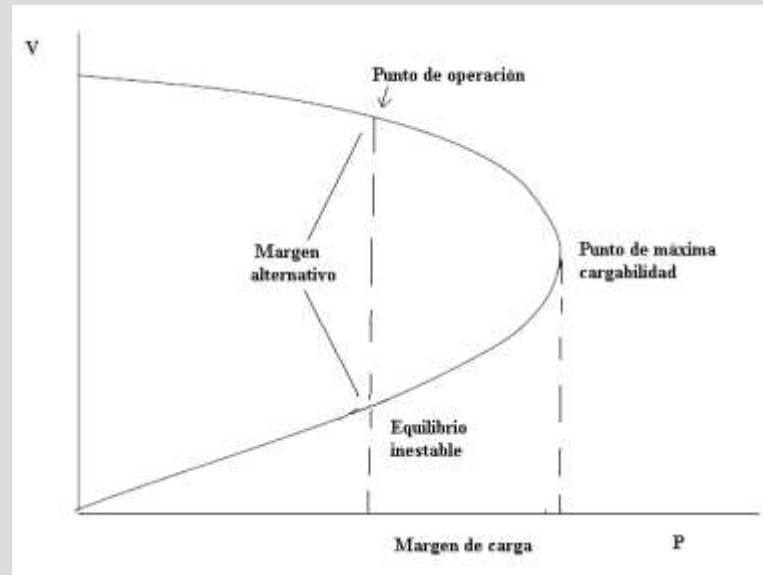
Comentario: Dado que nada asegura que el valor propio más pequeño sea siempre el mismo cerca de la bifurcación, es habitual “rastrear” simultáneamente un conjunto de valores propios más pequeños, en vez de sólo uno.

D) Factor de sensibilidad de tensión (VSF)

$VSF = \max (| dV_k / d\lambda |)$ (el máximo se toma sobre todas las barras “k”).

(Observar que las derivadas $dx/d\lambda$ de los puntos de equilibrio respecto del parámetro se hacen infinitas en el punto de colapso (“nariz” de la curva P-V)).

E) Distancia entre los 2 equilibrios que se “funden”



MEDIDAS CORRECTIVAS

Síntesis de las principales medidas correctivas

a) **Conexión de equipos de generación de reactiva (condensadores, compensadores estáticos, etc.)**

La velocidad con que se conectan estos equipos puede ser importante para definir si la medida es o no efectiva.

Es más efectivo conectar equipos cuya producción de reactiva no depende de la tensión (compensadores síncronos, compensadores estáticos STATCOM).

b) **Bloqueo de conmutadores bajo carga de transformadores a tensiones bajas, para evitar que se restituya la carga antes que se mejore la tensión del lado de alta tensión de los transformadores.**

c) **Despeje de carga (“load shedding”) por medio de relés de subtensión.**

d) **Ajuste de las consignas de tensión de barras de generación y otras barras controladas (es una forma indirecta de ajustar la producción de reactiva del sistema)**

CRITERIOS DE PLANIFICACIÓN DE LA RED EN RELACIÓN AL COLAPSO DE TENSIÓN

Mantener un margen de seguridad respecto al colapso de tensión es un criterio de diseño adicional al criterio habitual de mantener la tensión de la red dentro de un margen prefijado.

- ✓ Margen de carga en condición “n” para una evolución de carga prevista (7 % pej)
- ✓ Margen de carga en condición “n-1” para una evolución de carga prevista (6 % pej)
- ✓ Los criterios en base a curvas QV (menor margen de reactiva entre todas las barras del sistema) son menos usados actualmente
- ✓ Se puede agregar un criterio de margen de carga en condición “n” para la peor evolución de carga prevista (pej: >0% partiendo de un peor caso de evolución de carga prevista)

