

Estabilidad de Pequeña Señal

Parámetros de Cálculo (SSS)

Para configurar las opciones de cálculo, seleccione "Análisis – Estabilidad de Pequeña Señal - Parámetros..." en el menú.

Cálculo

Vectores Propios	Habilita el cálculo de los vectores propios
Factores de Participación	Habilita el cálculo de los factores de participación
Límite para factores de participación	Porcentaje del factor de participación máximo: Los factores de participación superiores a este valor serán almacenados. Si se requiere que todos los factores se almacenen, se debe ajustar este valor en cero (0).
Orden de clasificación de los valores propios	Determina el orden en el que se presentan los valores propios en las tablas y archivos de salida.
Intervalo de Valores Propios	Se almacenan los valores propios que se encuentren en este rango

Valores Propios

Todos	Se almacenan todos los valores propios
Parte Imaginaria ≥ 0	Se almacenan los valores propios cuya parte imaginaria es positiva.
De acuerdo a Límites	Se almacenan los valores propios del rango definido
Parte Real	Permite definir el rango de la parte real de los valores propios
Parte Imaginaria	Permite definir el rango de la parte imaginaria de los valores propios

Modelos

Máquinas Sincrónicas

Despreciar variaciones de velocidad en ecuaciones de voltaje del estator	Permite que el programa desprecie los términos de variación de velocidad en las ecuaciones de voltaje del estator.
Valor umbral de Saturación	Valor umbral de la curva de saturación.

Archivos de Resultados

Nombre de Archivo	Nombre del archivo o nombre completo de la ruta del archivo
...	Seleccionar nombre completo de la ruta del archivo
Crear después de los cálculos	El archivo se crea automáticamente una vez se hayan realizado los cálculos
Crear archivo de exportación	Se crea archivo.

Para dar inicio al análisis de Estabilidad de Pequeña Señal se selecciona "Análisis – Estabilidad de Pequeña Señal – Calcular" en el menú. Para ejecutar el análisis de Estabilidad de Pequeña Señal en una red parcial, se selecciona "Análisis – Estabilidad de Pequeña Señal – Redes Parciales...".

Resultados

Resultados Gráficos

Para abrir la ventana de Resultados Gráficos, se debe seleccionar "Análisis – Estabilidad de Pequeña Señal – Resultados Gráficos...".

Parámetros Subgráfico:

Tipo Subgráfico	Permite seleccionar los resultados a desplegar
-----------------	--

Propiedades de Ejes

Seleccionar Eje	Selecciona el eje, cuyos ajustes se deben desplegar y/o modificar.
Título	Título del eje. Sólo se habilita si la casilla correspondiente "Automático" no se ha seleccionado.
Resolución	Especifica la resolución de los pasos entre etiquetas. Sólo se habilita si la casilla correspondiente "Automático" no se ha seleccionado.
Nro. de decimales	Número de dígitos decimales de las etiquetas. Sólo se habilita si la casilla correspondiente "Automático" no se ha seleccionado.
Mín	Permite indicar el valor mínimo del eje. Sólo se habilita si la casilla correspondiente "Automático" no se ha seleccionado.
Máx	Permite indicar el valor máximo del eje. Sólo se habilita si la casilla correspondiente "Automático" no se ha seleccionado.
Cuadrícula	Si se selecciona, las líneas de la cuadrícula se despliegan

Leyenda

Mostrar leyenda	Si se marca, la leyenda se despliega.
Altura	Altura de la leyenda en % del tamaño del subgráfico.

Para agregar o editar curvas, se debe seleccionar la pestaña "Curvas". Presione el botón "Agregar Curva" para adicionar una nueva curva al subgráfico. Presione el botón "Editar Curva" para modificar los ajustes de la curva seleccionada.

Ajustes de Curvas:

Nombre Curva	Nombre de la curva que se utilizará en la leyenda del subgráfico. Este campo sólo se habilita si no se selecciona "Crear nombre automáticamente".
Crear nombre automáticamente	Si se marca, el nombre de la curva se crea automáticamente.
Variante	Permite seleccionar la variante
Valor Propio	Permite seleccionar los valores propios. Sólo se habilita para gráficos en modo "shape" y gráficos con factores de participación de valores propios.
Variable de Estado	Permite seleccionar la variable de estado. Sólo se habilita para gráficos con factores de participación de variables de estado.

Tablas de Resultados

Para abrir las tablas de resultados, se debe seleccionar "Análisis – Estabilidad de Pequeña Señal – Tablas de Resultados". Estas tablas despliegan todos los resultados numéricos calculados y almacenados.

Teoría

Introducción

La Estabilidad de Pequeña Señal mide la habilidad de un sistema de potencia para mantenerse en sincronismo cuando éste está sujeto a pequeñas perturbaciones. Se dice que las perturbaciones son pequeñas si las ecuaciones que describen la respuesta resultante del sistema se pueden linealizar con propósitos de análisis. Las ecuaciones lineales se derivan de las ecuaciones no lineales respectivas. Esto se logra por medio de la linealización en un punto específico de operación. El punto de operación corresponde a la condición de estado estable del flujo de carga.

El análisis de valores propios (Análisis Modal) es una importante herramienta de evaluación para el análisis de Estabilidad de Pequeña Señal en sistemas de potencia. Este provee información acerca de la característica dinámica inherente del sistema de potencia y por lo tanto puede asistir y ayudar en su diseño. Típicamente se utiliza en estudios de oscilaciones entre áreas.

Teoría de Valores Propios

Las ecuaciones espaciales de estado linealizadas, de un sistema no lineal son:

$$\Delta \dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A} \cdot \Delta \mathbf{x} + \mathbf{B} \cdot \Delta \mathbf{u}$$

$$\Delta \mathbf{y} = \mathbf{C} \cdot \Delta \mathbf{x} + \mathbf{D} \cdot \Delta \mathbf{u}$$

La estabilidad en la pequeña señal está dada por los valores propios λ_i de la matriz de estado $\mathbf{A}$. Para cualquier valor propio λ_i , existe al menos un vector columna con un valor diferente de cero $\mathbf{r}_i$ que satisface la siguiente ecuación:

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{r}_i = \lambda_i \cdot \mathbf{r}_i$$

Al vector $\mathbf{r}_i$ se le llama el vector propio derecho de su valor propio λ_i . Al vector $\mathbf{l}_i$ que satisface la ecuación

$$\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{l}_i = \lambda_i \cdot \mathbf{l}_i$$

se le llama el vector propio izquierdo de su valor propio λ_i .

La estabilidad de un sistema de potencia está condicionada por sus valores propios, de la siguiente forma:

Un *valor propio real* corresponde a un modo no oscilatorio. Un vector propio real negativo representa un modo decauyente. Entre mayor sea su magnitud, más rápido será decaimiento. Un valor propio real positivo representa una inestabilidad no periódica.

Los Valores Propios Complejos se presentan en pares conjugados (debido a que la matriz de estado es real), y cada par corresponde a un modo oscilatorio. La componente real de los valores propios es una medida del amortiguamiento, y la parte imaginaria indica la frecuencia de oscilación. Una parte real negativa indica que la oscilación es amortiguada, mientras que una parte real positiva corresponde a una oscilación de amplitud creciente. Para un par complejo de valores propios $\lambda = \sigma \pm j\omega$, la frecuencia de oscilación en Hz está dada por:

$$f = \frac{\omega}{2\pi}$$

La relación de amortiguamiento está dada por

$$\zeta = \frac{-\sigma}{\sqrt{\sigma^2 + \omega^2}}$$

Modo Shape

Un vector propio derecho determina el modo shape, es decir, la actividad relativa de las variables de estado cuando un modo en particular es excitado. Por ejemplo, el grado de actividad de la variable de estado x_k en el modo $i^{\text{ésimo}}$, está dado por el elemento k del vector propio derecho $\mathbf{r}_i$. Las magnitudes de los elementos de $\mathbf{r}_i$ determinan la extensión de las actividades de las variables de estado en el modo $i^{\text{ésimo}}$, y los ángulos de los elementos determinan los desplazamientos de fase de las variables de estado con respecto al modo. Debido a que las diferentes variables del sistema tienen diferentes unidades, no es conveniente comparar los elementos de un vector propio para diferentes tipos de variables. Generalmente, sólo se comparan variables del mismo tipo (p.e. velocidad del rotor).

Factor de Participación

Para la $k^{\text{ésima}}$ variable de estado y el $i^{\text{ésimo}}$ valor propio, el factor de participación asociado se calcula como

$$p_{ki} = l_{ki} \cdot r_{ki}$$

donde l_{ki} y r_{ki} son las $k^{\text{ésimas}}$ entradas del vector propio izquierdo $\mathbf{l}_i$ y el vector propio derecho $\mathbf{r}_i$, respectivamente. Un factor de participación es una medida de

participación relativa de la $k^{\text{ésima}}$ variable de estado en el $i^{\text{ésimo}}$ modo, y viceversa. Debido a que que r_{ki} mide la actividad de la variable de estado k en el $i^{\text{ésimo}}$ modo y l_{ki} es el peso de la contribución de esta actividad al modo, su producto es una medida de la participación neta. El efecto de multiplicar los elementos de los vectores propios izquierdo y derecho es también hacer que los factores de participación sean adimensionales (es decir, independientes de la selección de las unidades).

Teniendo en cuenta la normalización de los vectores propios, la suma de los factores de participación asociados con cualquier valor propio o con cualquier variable de estado, es igual a $1.0 + j 0.0$:

$$\sum_{k=1}^n p_{ki} = 1 + j0$$

$$\sum_{i=1}^n p_{ki} = 1 + j0$$

Los factores de participación son valores complejos. Sin embargo, sus magnitudes proveen suficiente información para el análisis dinámico.

Algoritmo

El procedimiento de cálculo del módulo de Estabilidad de Pequeña Señal de NEPLAN contiene los siguientes pasos:

1. Cálculo de Flujo de Carga
2. Linealización de las ecuaciones espaciales de estado de todos los elementos del sistema de potencia (p.e. generadores, cargas, etc.)
3. Construcción de la matriz **A** de estado del sistema.
4. Cálculo de los valores y vectores propios, usando el algoritmo LR-QR.
5. Cálculo de los factores de participación, etc.

Sólo se presentan resultados si no ocurren errores.