

Complemento para la enseñanza de la disciplina Sistemas Eléctricos

Zaid García
José A. González

Recibido: Enero del 2005
Aprobado: Marzo del 2005

Resumen / Abstract

En el trabajo se realiza un manual para la utilización de un paquete de programas denominado PSX, este paquete de programas se utiliza como complemento en la enseñanza de la disciplina Sistemas Eléctricos de Potencia. Se presentan todas las particularidades del programa en los estudios de flujo de carga, cortocircuito y estabilidad, además, relaciona valiosos ejemplos que permiten al estudiante una familiarización con el software. Palabras clave: enseñanza, sistemas eléctricos

In the following work a manual for the use of packages of programs is made denominated PSX, this packages of programs is used as complement in the education of the discipline Electrical Systems of Power. The work presents/displays all the particularities of the program in the studies of load flow, short circuit and stability, in addition it relates valuable examples that allow to the student a familiarization with software.

Key words: education, power system

INTRODUCCIÓN

Para lograr que el ingeniero de potencia pueda efectuar un análisis completo de un sistema eléctrico de potencia real, se hace necesario que se incluya, dentro de su plan curricular, el manejo de herramientas de simulación que le permitan realizar tareas comunes del análisis de sistemas de potencia, como son los flujos de carga, el análisis de corto circuito, los estudios de estabilidad, entre otros y que a su vez le posibiliten realizar un estudio de sensibilidad sobre los distintos elementos de un sistema de potencia. Los sistemas inicialmente empleados para la aplicación de dichas herramientas deben ser simples, buscando en un principio la familiarización del futuro ingeniero con los programas de simulación.

Actualmente en Cuba, a pesar de que muchas instituciones educativas cuentan con los programas necesarios para efectuar simulaciones en sistemas de potencia, muy pocas poseen un documento estructurado que sirva de guía para el alumno de sistemas de potencia y que esté orientado a los estudios más comunes realizados sobre sistemas reales. La ausencia de un documento de este tipo puede llevar al alumno a incurrir en errores de interpretación y análisis de resultados, además de hacer más lento el proceso de aprendizaje. Aunque son muchos los programas disponibles para la simulación de sistemas de potencia, en las universidades no se cuenta con un buen número de ellos. En este artículo se hace referencia a un manual para la utilización en aplicaciones docentes de un

programa comercial, denominado Power System Explorer (PSX), que se emplea en la simulación de sistemas eléctricos de potencia, para flujos de carga, análisis de corto-circuito y estudios de estabilidad en universidades cubanas. Dicho manual fue desarrollado para servir de complemento a los conceptos teóricos presentados en la disciplina de Sistemas de Eléctricos de Potencia.

DESARROLLO

Para elaborar un documento guía aplicado a la utilización de una herramienta de simulación determinada, no se deben perder de vista los fines pedagógicos perseguidos en la enseñanza del uso de un simulador. Según la referencia 1, el objetivo principal que se debe buscar cuando se utiliza un simulador, es facultar al estudiante para que logre una completa apreciación de la herramienta a utilizar y poder emplearla para aumentar la comprensión de los conceptos teóricos fundamentales del estudio a realizar. Es importante aclarar que el uso de las herramientas de simulación no sustituyen la capacidad de análisis del estudiante, sino que por el contrario la aumenta.

En la referencia 1 se presenta una metodología para la enseñanza del uso de una herramienta de simulación, que consta de cinco etapas y donde cada una de ellas persigue unos objetivos relacionados con el simulador como tal, así como con los modelos de los sistemas a emplear. Las etapas propuestas son:

1. Introducción: En esta etapa se debe alcanzar un conocimiento general de la herramienta de simulación y además se debe contar con un dominio de la teoría fundamental necesaria.

2. Creación del modelo de simulación: Con esta etapa se pretende estudiar y comprender el modelo a simular así como aprender la forma de ingresar los datos al simulador.

3. Características del ambiente de trabajo: Etapa donde se estudian las opciones de configuración del simulador así como los efectos de las mismas sobre el modelo.

4. Especificación de las entradas y salidas: En esta etapa se busca estudiar la forma de obtener e interpretar los resultados del simulador respecto al modelo de estudio.

5. Información avanzada: En esta última etapa se pretende explorar opciones avanzadas

disponibles en la herramienta de simulación así como usar ejemplos donde se apliquen dichas opciones.

6. Programa de simulación de sistemas eléctricos de potencia.

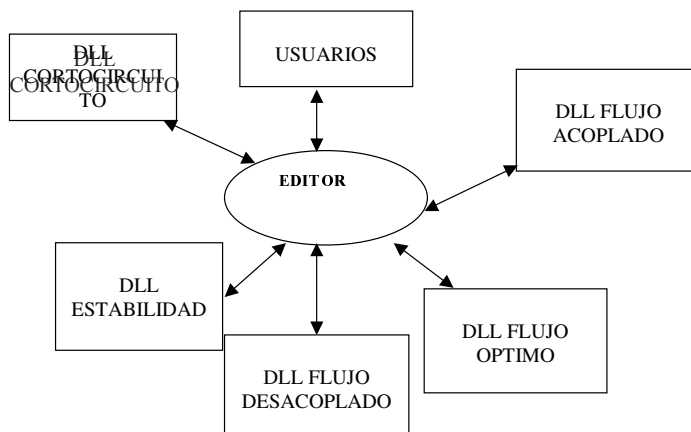
En el caso particular del manual desarrollado para la disciplina de Sistemas de Potencia de la Universidad Central Marta Abreu, el programa analizado fue el PSX. Este programa es una herramienta de simulación de sistemas de potencia que permite realizar, además de estudios de flujos de carga y análisis de corto circuito, otros estudios comunes en un sistema de potencia, como son el estudio de estabilidad lo que permite realizar el comportamiento dinámico del sistema ante determinadas perturbaciones, el flujo óptimo con despacho de potencia activa y despacho de reactivo.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PSX

El PSX es un simulador de sistemas eléctricos de potencia diseñado sobre las nuevas técnicas de orientación a objetos y que incluye los siguientes estudios básicos de análisis de redes:

1. Flujo de carga.
2. Flujo óptimo.
3. Cortocircuitos.
4. Estabilidad transitoria.

El programa está compuesto por una interface gráfica (editor) y cinco módulos de cálculo según se muestra en la figura 1.



Representación esquemática del programa.

Flujo de carga y cortocircuito

En el PSX se encuentran dos métodos para la solución del flujo de carga (FC), el método de Newton-Rapson desacoplado rápido y el Newton-Rapson acoplado rápido donde la principal diferencia que existe entre ambos es que el primero se ve afectado por la relación X/R de la red y el segundo no, permitiendo además el segundo una mayor variedad de soluciones ajustadas.

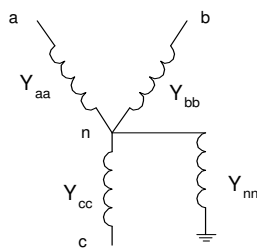
El modulo del flujo de carga permite encontrar todas las variables del sistema eléctrico partiendo de un estado de carga eléctrica dada y de las potencias que deben entregar las máquinas generadoras. Los resultados que muestra son: voltaje y ángulo en todas las barras o nodos, transferencias de potencia activa y reactiva por líneas y transformadores, los estados de generación de todas las máquinas y las pérdidas totales del sistema eléctrico de potencia. En el estudio de cortocircuito se permite hacer un estudio de los niveles de cortocircuito en todos las subestaciones del SEP, y además, realizar el análisis individual de cualquier tipo de falla en cualquier elemento del sistema.

Estabilidad

Uno de los aspectos novedosos con que cuenta el PSX es la representación de la falla, debido a que estas se representan mediante impedancias desbalanceadas.

Representación de la falla shunts

Las fallas shunts se modelan en forma general, como se muestra en la figura 3.



Representación general de una falla shunt.

2

Después de reducir por Kron para eliminar el neutro, la submatriz 3x3 que define este tipo de falla y que debe ser añadida en la diagonal correspondiente al nodo fallado dentro de la matriz del sistema será:

$$[Y_f] = [Ts]^{-1} \cdot \begin{bmatrix} Y_{aa} & Y_{ab} & Y_{ac} \\ Y_{ba} & Y_{bb} & Y_{bc} \\ Y_{ca} & Y_{cc} & Y_{cc} \end{bmatrix} \cdot [Ts]$$

Representación de la falla serie

La modelación de una falla serie se realiza de la misma forma que la del interruptor. En este caso, se permite la posibilidad de dar valores de impedancias de arco a cada una de las admitancias de fase representadas por la submatriz (1).

El interruptor implica un nodo adicional en la modelación de la red, por lo que solo se incluyen aquellos que son imprescindibles durante el estudio (en este caso se representan tres impedancias series Z_{aa} , Z_{bb} , Z_{cc}). De esta forma, un interruptor se describe mediante la submatriz siguiente:

$$[Y_{ik}]^{012} = [Ts]^{-1} \begin{bmatrix} Y_{aa} & 0 & 0 \\ 0 & Y_{bb} & 0 \\ 0 & 0 & Y_{cc} \end{bmatrix} \cdot [Ts] \quad \dots(1)$$

Aquí uno de los nodos de enlace (i o k), debe ser creado de forma artificial para poder intercalar el interruptor en la posición deseada. Los valores de admitancias de $1E-10$ y $1E+10$, para los estados de abierto y cerrado respectivamente, muestran buenos resultados durante la simulación.

El módulo de estabilidad permite estudiar cómo se comporta el sistema ante determinados disturbios, algunos de los cuales pueden sacar de servicio plantas generadoras lo que produce cortes eléctricos que afectan la economía del país. Con esta herramienta es posible simular todo este proceso transitorio permitiendo que el usuario tenga un conocimiento previo y pueda tener un plan de medidas para evitar pérdidas apreciables. Mediante los switchings se pueden simular las fallas deseadas por el usuario. Después que se ha cargado el régimen con sus eventos y automáticas asociados (si tiene), se está en condiciones de comenzar la simulación. Tanto el tiempo final del estudio como el tiempo de impresión pueden ser definidos en ese momento.

Terminada la simulación PSX se puede analizar, en forma gráfica, todo el conjunto de resultados obtenidos durante el estudio. Los resultados gráficos permiten confirmar, de una forma rápida, la posible pérdida de estabilidad del sistema, coadyuvando además a decidir las áreas de mayor interés en el análisis. PSX brinda la posibilidad de obtener gráficos de velocidad y de ángulos de las máquinas, ya sean absolutos o relativos a cualquier otra máquina del sistema, así como gráficos de sus potencias activas y reactivas

entregadas. Es posible también obtener gráficos de frecuencias y de voltajes en cualquier nodo, así como de transferencias de potencias en elementos en serie.

Se analizaron primeramente tres aspectos fundamentales para que se logre una familiarización del usuario con el paquete de programas:

- **Diseño del diagrama monolineal.**
- **Entrada de los datos fundamentales de los estudios de Flujo de carga, Cortocircuito y Estabilidad.**
- **Errores que se cometen en la entrada de datos.**

Errores en la entrada de datos

En la entrada de datos se pueden presentar básicamente dos errores fundamentales que afectan significativamente la convergencia del problema:

- 1. Voltajes nominales y de operación en diferentes niveles.**
- 2. Altos valores de resistencias y reactancias.**
- 3. Altos valores de carga.**

Además se actualizaron mediante ejercicios resueltos, los diferentes inconvenientes que se pueden producir para lograr la convergencia de un ejercicio dado, haciendo especial énfasis en el cumplimiento de los requisitos técnicos exigidos en el proyecto de curso de Ingeniería Eléctrica de cuarto año, así como en los principales aspectos abordados sobre la estabilidad del sistema en la asignatura Procesos Transitorios.

En el manual para las aplicaciones docentes del PSX se detallan todos los aspectos fundamentales de paquetes de programas, excepto lo relacionado con el **flujo óptimo** debido a que este no es objetivo de este trabajo, donde se da una panorámica muy amplia, incluso con numerosas explicaciones gráficas, de la entrada de datos, el diseño del diagrama monolineal, la definición de fallas y switchings, las formas de ejecución de cada uno de los estudios y los resultados que se brindan ya sea en forma tabular o en forma gráfica.²

CONCLUSIONES

El manual de usuario del PSX permite:

1. Facilitar la realización del proyecto de curso de cuarto año de la disciplina de Sistemas Eléctricos.

2. Se ofrecen ejemplos sencillos que facilitan la comprensión de algunos conceptos básicos del funcionamiento dinámico de un sistema eléctrico.

3. En el trabajo se presentan varios ejemplos propuestos, que pueden ser de gran utilidad al estudiante.

4. El manual se encuentra sumamente detallado, con un gran número de gráficas lo que permite al usuario un eficiente uso.

REFERENCIAS

1. **Antao, B. A.; A. J. Brodersen,; J.R. Bourne and J.R. Cantwell:** "Building Intelligent tutorial Systems for Teaching Simulation in Engineering Education", *IEEE Transactions on Education*, Vol 35, No. 1, February 1992.
2. "Flujos de carga, Estudios de corto circuito", *IEEE Recommended Practice for Industrial and Commercial Power System Analysis*, IEEE Std 399-1990.

AUTORES

Zaid García Sánchez

Ingeniera Electricista, Centro de Estudios Electroenergéticos, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Villa Clara, Cuba.

e-mail: zaid@uclv.edu.cu

José A. González Cueto Cruz

Ingeniero Electricista, Centro de Estudios Electroenergéticos, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Villa Clara, Cuba

e-mail: jcueto@uclv.edu.cu