



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
19, 20 y 21 de Setiembre de 2012

Diseño e Implementación de un Programa para el

Análisis y Simulación de Flujos de Cargas

Mirian R. González Fariña¹

Victor J. Roy Acosta²

Anastacio S. Arce Encina³

Faculta Politécnica - Universidad Nacional del Este

Campus Universitario Km 8. Ciudad del Este. Alto Paraná.

mirian_gonzalez88@hotmail.com¹

victorjoelroy@hotmail.com²

RESUMEN

Los estudios de sistemas eléctricos de potencia han sido simplificados mediante el uso de programas y herramientas computacionales, ofreciendo así, tanto al estudiante como al ingeniero un poderoso instrumento para realizar estudios de desempeño de sistemas eléctricos, sin importar la complejidad de los mismos. En virtud a lo expuesto, este trabajo promueve el “*Diseño e Implementación de una Herramienta Computacional en ambiente Matlab para el Análisis y Simulación de Flujos de Potencia*”. Inicialmente se presenta una breve descripción del problema de Flujo de Potencia, su formulación matemática, como así también del método de Newton – Raphson, en cuyo algoritmo se basa la herramienta computacional desarrollada. Posteriormente se presentan los resultados obtenidos para las diferentes simulaciones realizadas, tomando como referencia el sistema interconectado ITAIPU-ANDE-FURNAS, con el objeto de verificar los beneficios que se obtendrían con el seccionamiento de las cuatro líneas de 500 kV – 50 Hz en la subestación Margen Derecha. Finalmente, conclusiones y recomendaciones para futuros trabajos son presentadas.

PALABRAS CLAVES: Flujo de Potencia, Herramienta Computacional, MATLAB, Seccionamiento ITAIPÚ – ANDE – FURNAS.

1. INTRODUCCIÓN

Bajo condicionales normales de operación, los sistemas eléctricos de potencia, operan en estado estable y el cálculo básico requerido para determinar las características de dicho estado es llamado de flujo de potencia.

El objetivo del flujo de potencia es determinar las características en régimen permanente de operación del sistema de generación y transmisión de potencia, para un conjunto de cargas en las barras. Estas características permiten el uso frecuente de flujos de potencia en estudios de planeamiento.

X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
19, 20 y 21 de Setiembre de 2012

La potencia activa es normalmente especificada de acuerdo a las prácticas de despacho para suministrar a la demanda y la magnitud de tensión del generador es normalmente mantenida a un nivel para suministrar la demanda de potencia reactiva especificado, en tanto que las cargas son especificadas por sus constantes de potencia activa y reactiva requeridas, asumiéndose invariables para pequeños cambios de tensión y frecuencia durante la operación normal en régimen permanente.

La solución del flujo de potencia consiste en conocer los niveles de tensión en todas las barras del sistema, tanto en magnitud como en ángulo, las pérdidas y el flujo de potencia activa y reactiva a través de las líneas de transmisión, como así también, la potencia reactiva generada o absorbida en las barras de tensión controlada.

Las dificultades con las que se tropiezan al desarrollar el flujo de potencia son principalmente: el tamaño de los sistemas a ser resueltos; el procesamiento en tiempo real de los controles automáticos y; los sistemas de optimización.

En virtud a esto, cinco requisitos básicos son requeridos de un método de solución del flujo de potencia:

- Gran velocidad computacional. Esto es importante cuando se trata con sistemas grandes y procesamiento en tiempo real.
- Bajo consumo de memoria. Esto es importante para grandes sistemas y para el uso de computadoras con pequeña capacidad de memoria.
- Confiabilidad en la solución.
- Versatilidad, es decir, capacidad para manejar características convencionales y especiales, y adaptabilidad para incorporar procesos complicados.
- Simplicidad, lo cual implica fácil codificación de los algoritmos en programas de computadoras.

A todo lo expuesto, es importante señalar que no existe un método con el cual siempre se pueda obtener una solución que reúna los requisitos mencionados anteriormente, esto debido a que existen métodos que presentan gran velocidad computacional, sin embargo son de convergencia sensible, como también existen otros que presentan buenas características de convergencia, sin embargo son muy lentos computacionalmente.

2. FORMULACION MATEMATICA

El problema del flujo de potencia eléctrica puede ser formulado como un sistema cuasilineal de ecuaciones.

(1)

Donde Y es la matriz de las admitancias, con E y I representa el vector de las tensiones, e el vector de la corriente I .
En términos generales, el problema se reduce a resolver [1]

(2)



donde:

(3)

es la conductancia del elemento conectado entre las barras k e i.

es la susceptancia del elemento conectado entre las barras k e i.

K es el conjunto de todas las barras adyacentes a k y la propia barra k.

El criterio de parada utilizado es generalmente el desajuste de potencia (o power mismatch) que debe ser menor que una tolerancia especificada.

3. EL METODO DE NEWTON – RAPHSON

El punto central del proceso de solución mediante el método de Newton - Raphson consiste en determinar el vector de corrección , lo que exige la resolución del siguiente sistema lineal:

(4)

donde:

(5)

(6)

— —
— — (7)

Utilizando las expresiones anteriores (5), (6), y (7), el sistema puede ser expresado como sigue:

(8)

4. ALGORITMO [1]

El método de Newton aplicado a la solución del flujo de potencia es descripto a seguir:

- 1) Hacer θ_i y escoger los valores iniciales de los ángulos de las tensiones en las barras PQ y PV y las magnitudes de las tensiones de las barras PQ V_i .
- 2) Calcular P_i para las barras PQ y PV, y Q_i para las barras PQ, y determinar los mismatches ΔP_i y ΔQ_i .
- 3) Verificar la convergencia: si $\max |\Delta P_i| < \epsilon_P$ y $\max |\Delta Q_i| < \epsilon_Q$, el proceso iterativo convergió para la solución; caso contrario pasar para (4).
- 4) Calcular la matriz Jacobiana J .
- 5) Determinar la nueva solución $\theta_i^{(k+1)}$ y $V_i^{(k+1)}$:

siendo ΔP_i y ΔQ_i determinados, se resuelve el sistema lineal

- 6) Hacer $\theta_i^{(k+1)}$ y volver al paso (2).

5. RESULTADOS

Con el objetivo de verificar el desempeño de la herramienta computacional desarrollada, se realizaron varias simulaciones, tomando como referencia el Sistema Interconectado ITAIPÚ – ANDE – FURNAS con la intención de analizar los beneficios asociados al seccionamiento de las dos líneas de 500 kV que conecta la Central de Itaipu y la Subestación Convertidora de Furnas en Foz de Iguazú. Para el efecto dos configuraciones fueron simuladas: La primera; con dos líneas de 500 kV – 50 Hz seccionadas en la subestación Margen Derecha (SE - MD), y las otras dos

directamente interconectadas con la subestación de Foz do Iguazú (SE - FI). Esta es la configuración actual de la interconexión ITAIPÚ – ANDE – FURNAS [2] [3]. La segunda; con las cuatro líneas de 500 kV – 50 Hz seccionadas en la subestación SE - MD.

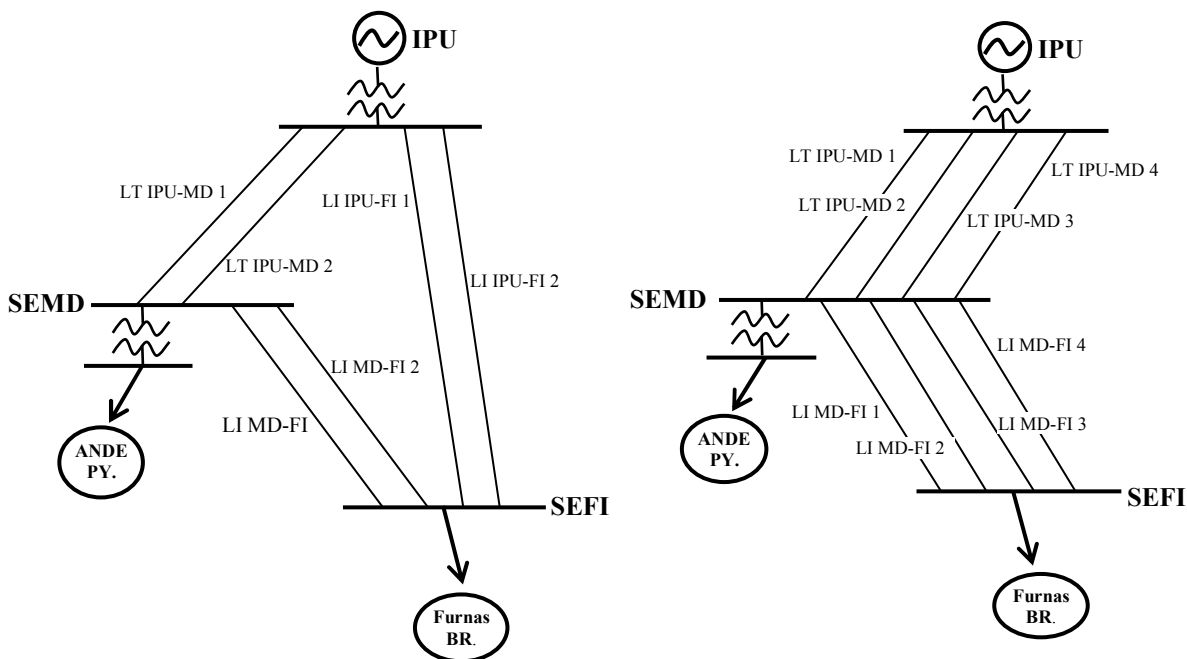


Figura 1: Configuración interconectada ITAIPÚ-ANDE-FURNAS actual y futura.

Los datos fueron proveídos por la Itaipú Binacional. Corresponden a una condición operativa de intercambio de ITAIPÚ – ANDE – FURNAS en el periodo de carga pesada (Carga activa=1878 / 4916 MW; Carga reactiva=678 / 2401 MVar para ANDE / FURNAS respectivamente).

La Tabla I, muestra los resultados obtenidos, considerando 2 situaciones. Una en configuración completa y otra en que se lleva en cuenta la desconexión de una de las líneas entre Itaipu y la SE - MD.

Se puede notar que la desconexión de una línea entre Itaipu y la SE-MD lleva a operar la línea remanente en sobrecarga . Para superar esta situación se debe reducir la carga en el sistema ANDE y/o Furnas.

Tabla I: Resultados obtenidos para la configuración ITAIPU-ANDE-FURNAS actual.

Líneas de transmisión	Corriente [A]	
	<i>Sin desconexión</i>	<i>Con desconexión</i>
LI IPU-FI 1	1455.7	1639.5
LI IPU-FI 2	1455.7	1639.5
LT IPU-MD 1	2078.1	DESCONECTADO
LT IPU-MD 2	2051.2	3779.2
LI MD-FI 1	1268.6	1091.8
LI MD-FI 2	1292.7	1112.5

La Tabla II, muestra los resultados para la configuración de todas las líneas seccionadas en la SEMD con la misma condición de carga de ANDE y Furnas. Se puede notar que la condición de sobrecarga con la desconexión de una de las líneas desaparece.

Tabla II: Resultados obtenidos para la configuración ITAIPU-ANDE-FURNAS futura.

Líneas de transmisión	Corriente [A]	
	<i>Sin desconexión</i>	<i>Con desconexión</i>
LT IPU-MD 1	1770.3	2369.5
LT IPU-MD 2	1747.3	2338.8
LT IPU-MD 3	1770.3	DESCONECTADO
LT IPU-MD 4	1747.3	2338.8
LI MD-FI 1	1482.3	1483.4
LI MD-FI 2	1510.6	1511.7
LI MD-FI 3	1241.1	1242
LI MD-FI 4	1241.1	1242

6. CONCLUSION

El objetivo del presente trabajo ha sido corroborar las facilidades que hoy en día brindan los programas computacionales en los estudios de sistemas eléctricos de potencia. En prosecución directa de este objetivo se desarrollaron los conceptos físicos y matemáticos necesarios para el diseño de una herramienta computacional que permita realizar la simulación de flujos de potencia. El programa fue íntegramente escrito en MATLAB y su desempeño fue evaluado mediante un estudio de casos mencionados en la sección 5. En función a los resultados obtenidos se ha podido constatar que el programa desarrollado:



X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
19, 20 y 21 de Setiembre de 2012

- Brinda resultados precisos, confiables y coherentes con la teoría expuesta en la variada literatura referente al tema.
- Proporciona los resultados con rapidez computacional.
- Sus requisitos de memoria son mínimos, alrededor de los 20 KB como máximo.
- Presenta flexibilidad y simplicidad para modificaciones.

7. BIBLIOGRAFIA

[1] Monticelli A., *Flujo de Carga em Redes de Energía Eléctrica*, Ed.. Edgard Blucher LTDA, Sao Paulo – Brasil, 1983.

[2] IOPI 02 (Instrucciones de Operación de Itaipu).

[3] IOPI 40 (Instrucciones de Operación de Itaipu).



Comité Nacional Paraguay



Unión de Ingenieros de ANDE

X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
19, 20 y 21 de Setiembre de 2012
