

Nuevo método para el cálculo del flujo de cargas eléctricas Newton–Raphson basado en matrices dispersas

A novel method for calculation of Newton–Raphson electric load flow based on sparse matrix

Salah Kamel¹, Mamdouh Abdel-Akher^{1,2}, Francisco Jurado³

¹ Aswan Faculty of Engineering (Egipto)

² Qassim University (Arabia Saudi)

³ Universidad de Jaén (España)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8296>

El método de *Newton–Raphson* (NR) convencional se considera como el algoritmo para la resolución del flujo de cargas más avanzado y siendo ampliamente aceptado en aplicaciones industriales. Presenta muchas ventajas tales como: una convergencia robusta es más exacto y fiable, y menos sensible a los factores que causan una convergencia pobre. A medida que crece la dimensión del sistema eléctrico, el método de *Newton Raphson* va perdiendo la capacidad de converger rápidamente. Así, la principal desventaja del método Newton Raphson es la necesidad de factorizar y actualizar la matriz Jacobiana durante el proceso de solución iterativa. Por lo tanto, se propuso el método de flujo de cargas desacoplado rápido para acelerar la convergencia y disminuir el tamaño de la memoria. Sin embargo, la convergencia se ve afectada en el caso de sistemas mal condicionados con valores elevados para el cociente R/X y con cargas elevadas [1].

En general, la matriz de admitancias de las redes eléctricas es dispersa, donde cada barra en la red es normalmente conectada a unas pocas barras. En la matriz de admitancias, cada uno de los elementos que no pertenecen a la diagonal no nulos corresponden a una rama de la red que conecta el par de barras indicados por la fila y columna del elemento. Por lo tanto, la conectividad de la red eléctrica tiene una estructura dispersa y todas las matrices construidas para el análisis del flujo de cargas tienen la estructura dispersa [2].

La solución del flujo de cargas necesita un programa de solución lineal para el manejo de las operaciones matriciales asociadas con el proceso de solución. En este trabajo, se ha utilizado la librería *SuperLU* para realizar los cálculos de todas las matrices del flujo de cargas [3]. Esta

librería es de propósito general para sistemas dispersos y no simétricos de ecuaciones lineales en ordenadores de alto rendimiento.

El nuevo método propuesto de flujo de cargas Newton–Raphson con inyección de corriente basado en matrices dispersas (CIM) se ha validado y comparado con el método NR convencional. Los sistemas de transporte IEEE de 14, 30, y 118 barras se han utilizado para estudiar el comportamiento este algoritmo.

Se han llevado a cabo simulaciones para estudiar el comportamiento del método CIM a diferentes niveles de carga. Las cargas de los sistemas originales se han multiplicado por un factor de carga que ha variado de 0.5 a 4.0 a incrementos de 0.5. Los resultados se han presentado en tablas para el método CIM y para el método NR convencional. Para un factor de carga igual a 4 los dos métodos no alcanzaron la convergencia.

La fiabilidad de los métodos NR y CIM en sistemas mal condicionados se investiga aumentando la resistencia de las líneas del sistema, de forma que los cocientes R/X sean elevados. El sistema de transporte considerado es el IEEE de 30 barras. Se usan tres valores para el cociente R/X. Estos valores son 300%, 350% y 400% del cociente original y con diferentes tolerancias. Se presenta el comportamiento de la convergencia en los dos métodos para el sistema mal condicionado. Se observa que el método propuesto alcanza una convergencia adecuada incluso con un elevado cociente R/ X y con una tolerancia exi-

gente, pero con un número de iteraciones mayor que el método NR.

La técnica presentada mejora la factorización y la actualización de la matriz Jacobiana alcanzadas con el flujo de cargas NR convencional. Se considera que el cálculo de la matriz Jacobiana es la principal ventaja de este método de flujo de cargas. El método CIM propuesto se considera un flujo de cargas robusto, especialmente cuando las barras son de tipo PQ. En el caso de barras tipo PV, se precisan de ecuaciones adicionales de residuos de tensión.

En este método, la matriz Jacobiana es casi constante, donde, los elementos no pertenecientes a la diagonal y algunos elementos diagonales son constantes e iguales a los elementos correspondientes de la matriz de admitancias. La técnica de matrices dispersas se puede aplicar para el estudio de redes a gran escala. La matriz Jacobiana se manipula para tener la misma estructura de la matriz de admitancias y almacenar sólo los elementos no nulos. El algoritmo propuesto ha sido satisfactoriamente probado usando los sistemas de transporte IEEE.

REFERENCIAS

- [1] Kamel S, Jurado F, Chen Z, Abdel-Akher M, Ebeed M. Developed generalised unified power flow controller model in the Newton–Raphson power-flow analysis using combined mismatches method. *IET Generation, Transmission & Distribution*. 2016;10(9):2177–84. DOI: <http://dx.doi.org/10.1049/ietgtd.2015.1247>
- [2] Kamel S, Abdel-Akher M, Jurado F. Improved NR current injection load flow using power mismatch representation of PV bus. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2013;53:64–8. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijepes.2013.03.039>
- [3] Kamel S, Abdel-Akher M, Jurado F. NewtonRaphson current injection load flow solution based on sparse matrix calculations. *DYNA New Technologies*, 2017 4(1) [9 p.]. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/NT8132> dx.doi.org/10.6036/NT8132.

