

INTRODUCCIÓN

Las variables eléctricas que se deben regular en un sistema eléctrico de potencia son el voltaje y la frecuencia, mientras que el ángulo de par de cada generador se debe limitar, al igual que la corriente y las potencias activas y reactivas por sus diferentes elementos. Estas variables reguladas indican el estado del sistema y deben permanecer dentro de un rango operativo permitido para garantizar la calidad y la seguridad del sistema eléctrico y de los equipos conectados de los usuarios.

Este objetivo se alcanza cuando se obtiene el balance en cada una de las diferentes potencias presentes en un sistema eléctrico de potencia: activa y reactiva. Esto significa que las potencias generadas deben estar en equilibrio con las potencias consumidas más las pérdidas. Sin embargo, mantener este balance de potencias en el sistema no es sencillo, debido a los continuos disturbios que se presentan por cambios en la generación, variación en el consumo de las cargas, fallas y la configuración de la red eléctrica.

Si hay una perturbación en la potencia generada o consumida (carga o pérdidas), estas variables reguladas de voltaje y frecuencia que están relacionadas entre sí, buscan un nuevo punto de operación para que el sistema recupere el equilibrio. Es decir, estas variables oscilan de manera natural y se amortiguan para operar estacionariamente en un nuevo punto de equilibrio, esto indica que el sistema permanece estable. Un sistema eléctrico de potencia podrá mantenerse estable después de un disturbio dependiendo de: su punto de operación, el tamaño y tipo del disturbio, el sitio donde ocurre el disturbio, las reservas de activos y reactivos y el ajuste de sus protecciones.

Sí el sistema después de una perturbación no puede restablecer el equilibrio de cualquiera de sus potencias debido a la escasez o exceso de recursos en el sistema, o una pobre coordinación de protecciones, las oscilaciones de estas variables eléctricas no se amortiguarán sino mantendrá su estado de oscilación permanente o crecerán o disminuirán indefinidamente y no podrán mantenerse dentro del rango operativo permitido, es decir el sistema se volvió inestable.

Cuando este estado de oscilación o incremento o disminución rápido se manifiesta en alguna de sus variables eléctricas, se producen disparos de los equipos de protección y se desencadena fraccionamiento del sistema en islas y si estas no pueden alcanzar su equilibrio interno se producirá el apagón en cada uno, produciendo el apagón de todo el sistema, que es lo que se denomina colapso del sistema.

Desde 1920 se han reportado fenómenos de inestabilidad que afectan el funcionamiento normal de los sistemas de potencia, disminuyendo la confiabilidad y calidad del servicio de energía entregada a los usuarios. Estos fenómenos de inestabilidad en los sistemas eléctricos

de potencia a nivel mundial se han incrementado debido a: aumento constante de la demanda, las grandes distancias de transmisión, aumento de cargas no lineales, aumento de reactores en las líneas, interconexiones cada vez más grandes y la construcción de generadores menos robustos.

Un sistema de potencia se diseña para que sea estable para determinadas perturbaciones, pero si las condiciones del sistema cambian: la carga del sistema, el programa de generación, las redes de interconexión o el tipo de protección de los circuitos, los resultados de la estabilidad para la misma perturbación pueden dar resultados completamente diferentes.

Los resultados de un estudio de estabilidad para una condición de operación dada del sistema eléctrico de potencia, deben entregar márgenes de operación segura. Estos márgenes deben permanecer amplios durante la operación del sistema para evitar que el sistema se acerque a sus límites de estabilidad. Si para un determinado estudio de despacho operativo del sistema los márgenes de estabilidad están por debajo de lo permitido, el sistema se despacha de otra forma, de tal manera que se cumpla con los valores de márgenes permitidos de estabilidad y opere con mayor seguridad ante diferentes disturbios.

La estabilidad de un sistema eléctrico de potencia es similar a la estabilidad de cualquier sistema dinámico, por lo tanto, las herramientas matemáticas utilizadas para su estudio son las mismas. Y aunque, la estabilidad del sistema de potencia es un problema único, dado los diferentes tipos de potencia o energía que existen en estos sistemas, su alta dimensionalidad y complejidad se realizan hipótesis que simplifican su análisis y lo separan en tres tipos de estudios. Permitiendo para cada caso, un apropiado grado de detalle en su representación y una técnica matemática de análisis apropiada. Esta clasificación de estabilidad en sistemas eléctricos de potencia, está asociada a cada variable regulada y limitada: estabilidad de voltaje, estabilidad de frecuencia y estabilidad de ángulo de par.

En este libro se presenta en el capítulo 1 la clasificación de la IEEE sobre la estabilidad en sistemas de potencia y plantea la relación que existe entre cada variable regulada del sistema con su correspondiente balance de potencia.

En el capítulo 2 se presentan los conceptos de estabilidad de voltaje, sus técnicas de análisis, las causas de disminución del margen de estabilidad y los métodos de solución de inestabilidad. Se presentan ejemplos de sistemas de potencia sencillos realizados a mano, donde se puede apreciar la aplicación de las herramientas matemáticas, luego se presenta el tutorial de estabilidad de voltaje que permite paso a paso analizar cualquier sistema de potencia y finalmente se presentan ejemplos con mayor número de nodos analizados mediante la herramienta computacional NEPLAN.

En el capítulo 3 se ilustran los conceptos de estabilidad transitoria, se describe la ecuación de oscilación sin incluir la potencia amortiguadora, la ecuación de potencia eléctrica transferida y el límite de estabilidad transitoria. También se presentan ejemplos de aplicación

sobre sistemas de potencia sencillos donde se ilustra la aplicación analítica de la herramienta matemática utilizada para este estudio. Además, se presenta un tutorial sobre esta aplicación de estabilidad transitoria utilizando la herramienta computacional NEPLAN, finalmente se presentan ejemplos simulados de sistemas eléctricos de potencia más complejos.

En el capítulo 4 se exponen los conceptos de estabilidad de pequeña señal, se analiza la estabilidad de pequeña señal de un generador conectado a un barraje infinito, representando el generador por el modelo clásico, luego con el modelo transitorio y luego se incluye el circuito de campo, AVR y el PSS. También se presentan ejercicios más complejos analizados con la herramienta computacional NEPLAN y finalmente, se ilustra el tutorial paso a paso sobre esta aplicación de estabilidad.

Espero con este texto contribuir a la comprensión y difusión de esta temática de una manera más simple, estructurada, didáctica y con aplicación directa sobre ejemplos de sistemas eléctricos de potencia.

Gladys Caicedo Delgado, Ph.D
Profesora Titular
Escuela de Ingeniería eléctrica y electrónica
Universidad del Valle
Cali – Valle del Cauca - Colombia