

ETAP 275AR

Análisis de Estabilidad en Sistemas Eléctricos de Potencia

La planificación de la expansión y la programación de la operación de un sistema de potencia requieren de la realización continua de un conjunto de estudios eléctricos que permitan evaluar el comportamiento del sistema frente a diversas contingencias. Los temas cubiertos en este curso abarcan los fundamentos de dinámica y estabilidad de sistemas de potencia, así como la dinámica de las máquinas síncronas y asíncronas. Se discute el modelado de los sistemas de control asociados tales como regulador automático de tensión, regulador automático de velocidad del motor primario, y estabilizadores de potencia.

Los temas adicionales incluyen modelado de la red de transmisión, modelado de carga agregada, estimación de parámetros de motores asíncronos trifásicos, simulación de contingencias, efecto de los parámetros del sistema en la respuesta oscilatoria, y la aplicación de estudios de estabilidad transitoria a la determinación del tiempo crítico de eliminación de la contingencia, tiempo crítico de separación, transferencia rápida de carga, desprendimiento de carga por declinación de frecuencia (df/dt), dinámica de motores, etc.

A través de ejemplos y ejercicios desarrollados usando ETAP®19.5, los asistentes adquirirán experiencia, conocimientos y habilidades que les facilitarán la realización de estudios dinámicos y análisis de estabilidad en sistemas eléctricos de potencia.

El objetivo del curso es capacitar en los conceptos básicos, en los modelos matemáticos y en la metodología utilizados en la evaluación del comportamiento dinámico (transitorio electromecánico) aplicados a la planificación de la expansión, a la programación de la operación y a la operación en tiempo real de Sistemas Eléctricos de Potencia tanto industriales (con generación propia) como interconectados.

El curso está dirigido a Ingenieros Electricistas; en consecuencia, se supone que los participantes poseen una base de conocimiento teórico-práctico de Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia. Por otra parte, se asume que los participantes del curso tienen un conocimiento previo de las funciones de edición básicas del software **ETAP POWER SYSTEM SIMULATOR** en alguna de sus versiones. Los conceptos teóricos se complementarán con simulaciones numéricas que se implementarán empleando **ETAP®19.5**.

El curso tiene una duración total de cuarenta (40) horas reloj distribuidas según el cronograma siguiente:

Cronograma y Contenidos

PRIMER DÍA (8 Horas)

Mañana (09:00 – 13:00 Horas.)

Estabilidad de Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP): definiciones. Estabilidad Transitoria y Estabilidad Dinámica. Máquinas síncronas. Oscilaciones de potencia en líneas de transmisión. Efecto de un desbalance de potencia sobre los componentes del SEP. Métodos de simulación. Modelo matemático elemental: la ecuación de oscilación. Unidades. El par del motor primario: máquinas controladas y no controladas. El par electromagnético. Curva potencia vs. ángulo de una máquina síncrona. Representación clásica (o elemental) de una máquina síncrona en estudios de estabilidad. Coeficientes de potencia sincronizante. Frecuencia natural de oscilación de una máquina síncrona. Sistema de una máquina conectada a barra infinita – modelo elemental. Criterio de áreas iguales. Angulo crítico de corte. Modelo clásico de un sistema multimáquina. Ejemplo de estudio de estabilidad clásico para el sistema de nueve barras (IEEE 9 Bus). Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®19.5. Deficiencias del modelo elemental.



Tarde (14:00 – 18:00 horas.)

Respuesta del SEP a pequeños disturbios (Estabilidad Dinámica). La máquina síncrona no controlada. Efecto desmagnetizante de la reacción de armadura. Efectos de pequeños cambios de velocidad. Modos de oscilación de un SEP multimáquinas no controladas. La máquina síncrona controlada. Regulador automático de tensión con una constante de tiempo de retardo. Control de velocidad con una constante de tiempo de retardo. Distribución de los desbalances de potencia. Linealización. El caso especial $t=0^+$. Comportamiento promedio antes de la acción de control ($t=t_1$). Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®19.5.

SEGUNDO DÍA (8 Horas)

Mañana (09:00 – 13:00 Horas.)

Transformación de Park. Formulación de las ecuaciones en el espacio de estado. Corrientes como variables de estado. Circuito equivalente de una máquina síncrona. Flujos concatenados como variables de estado. Inductancias subtransitorias, transitorias y constantes de tiempo. Modelos simplificados de la máquina síncrona. Ensayos de frecuencia con la máquina síncrona detenida. IEEE Std 115™ – 2009. Ecuaciones de régimen permanente y diagramas fasoriales. Máquina conectada a barra infinita a través de una línea de transmisión. Máquina conectada a barra infinita con carga local a bornes de la máquina. Determinación de las condiciones de régimen permanente. Condiciones de precontingencia para un sistema multimáquina. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®19.5.

Tarde (14:00 – 18:00 horas.)

Determinación de los parámetros de máquina a partir de los datos de los fabricantes. Simulación computacional de la máquina síncrona. IEEE Std 1110™ – 2002. Linealización del modelo del generador síncrono con las corrientes como variables de estado. Linealización de la carga para el problema de una máquina. Linealización del modelo del generador síncrono con los flujos concatenados como variables de estado. Modelo lineal simplificado (DeMello&Concordia). Coeficientes Heffron&Phillips. Efecto de la carga en la estabilidad. Diagrama de bloques del modelo lineal simplificado. Representación del modelo lineal simplificado en el espacio de estado.

TERCER DÍA (8 Horas)

Mañana (09:00 – 13:00 Horas.)

Configuraciones y definiciones del control automático de tensión (AVR: Automatic Voltage Regulator). Normas IEEE: Std 421.1™ – 2007; Std 421.2™-1990; Std 421.3™-1997; Std 421.4™-2004; Std 421.5™-2005. Informes IEEE: Committee Reports 1968, 1969, 1973, 1981, 1996. Requerimientos y componentes del AVR. Tipos de sistemas de excitación. Índices de comportamiento dinámico. Funciones de control y protección. Representación computacional del AVR. Parámetros típicos. Respuesta del AVR. Descripción por variables de estado del AVR. Efecto del AVR sobre los límites de potencia del generador síncrono. Efecto del AVR sobre la estabilidad transitoria. Efecto del AVR sobre la estabilidad dinámica. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®19.5. Señales estabilizantes suplementarias (PSS). El regulador de velocidad de Watt. El regulador de velocidad isócrono (astático con realimentación). Ecuaciones incrementales de la turbina. El regulador de velocidad con estatismo (droop). Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®19.5.

Tarde (14:00 – 18:00 horas.)

Modelado de la carga. Modelos estáticos de carga compuesta. Modelos dinámicos de la carga. Modelado de motores asíncronos trifásicos. Modelado de motores síncronos trifásicos. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®19.5. Estimación de parámetros de Motores Asíncronos. Módulo PE. Editor del Caso de Estudio. Editor de actualización de parámetros del motor. Edición de Informes. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®19.5.

www.raien.com.ar



CUARTO DÍA (8 Horas)

Mañana (09:00 – 13:00 Horas.)

Representación matricial de una red pasiva. Conversión de coordenadas de máquina a coordenadas del sistema. Relación entre corrientes y tensiones de máquina. Orden del sistema. Máquinas representadas por métodos clásicos. Modelos lineales para la red. Formulación híbrida. Ecuaciones de red con el modelo de máquina con los flujos concatenados como variables de estado. Ecuaciones del sistema completo. Ejemplo de estudio de Estabilidad Transitoria en un SEP multimáquina con cargas de impedancia constante utilizando ETAP®19.5.

Tarde (14:00 – 18:00 horas.)

Análisis de Estabilidad Transitoria. Módulo TS. Editor del Caso de Estudio. Inicialización de la simulación, aplicación de contingencias, análisis de resultados. Edición de Informes. Aplicación de los estudios de Estabilidad Transitoria: tiempo crítico de eliminación de falla, tiempo crítico de separación, transferencia rápida de carga, desprendimiento de carga por declinación de frecuencia (df/dt), dinámica de motores. Análisis de energización de transformadores. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®19.5.

QUINTO DÍA (8 Horas)

Mañana (09:00 – 13:00 Horas.)

Análisis de conexión a la red de generadores síncronos. Módulo Generator Start-Up. Editor del Caso de Estudio. Edición de Informes. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®19.5. Modelos Dinámicos definidos por el Usuario (UDM). Editor gráfico-lógico (GLE). Importación de UDM desde Matlab Simulink®. Creación de modelos dinámicos utilizando GLE. Estimación y ajuste de parámetros dinámicos. Módulo DPET. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®19.5.

Tarde (14:00 – 18:00 horas.)

Análisis de estabilidad de tensión. Sensibilidad V-Q. Análisis P-V. Análisis Q-V. Editor del Caso de Estudio. Edición de Informes. Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®19.5. Mecanismos de inestabilidad y contramedidas. Criterio y métodos para evaluación de seguridad de tensión.

Bibliografía

- P. Anderson & A. Fouad **Power System Control and Stability**. Second Edition. IEEE Press – Wiley Interscience, USA. 2.003.
- J. Machowski; J. Bialek; J. Bumby **Power System Dynamics: Stability and Control**. Second Edition. Wiley, USA. 2.008.
- K. R. Padiyar **Power System Dynamics: Stability and Control**. Second Edition. Anshan Limited, UK. 2.004.
- P. Kundur **Power System Stability and Control** McGraw-Hill, Inc. USA- 1.994.
- P. Sauer; M. A. Pai **Power System Dynamics and Stability**. Stipes Publishing L.L.C., USA. 2.006.
- G. Rogers **Power Systems Oscillations**. Kluwer Academic Publishers, USA. 2.000.
- C.W. Taylor **Power System Voltage Stability**. EPRI Power System Engineering Series. McGraw Hill, 1994.
- T. Van Cutsem & C. Vournas **Voltage Stability of Electric Power Systems**. Springer, 2.008.
- P. Anderson **Power System Protection** IEEE Press – Wiley Interscience, USA. 1.999.
- K. Ogata **Modern Control Engineering**. Fifth Edition Prentice –Hall, USA. 2.009
- EPRI Power Systems Dynamics Tutorial** EPRI, Palo Alto, CA, USA, July 2.009, 1019042.
- IEEE Tutorial on the Protection of Synchronous Generators** Catalog Number: 95 TP 102, 1.995.
- IEEE Tutorial Course Power System Stabilization via Excitation Control** Catalog Number: 09 TP 250, 2.009.
- IEEE Tutorial Course Transient Analysis of Power System. Solution Techniques, Tools, and Applications**. Catalog Number: 11 TP 255E, 2.011.
- IEEE Technical Report: Dynamic Models for Turbine-Governors in Power System Studies**. PES-TR1, 2.013.



IEEE Technical Report: Interconnected Power System Response to Generation Governing. Present Practice and Outstanding Concerns. PES-TR13, 2.007.

Argonne National Laboratory: Review of Existing Hydroelectric Turbine-Governor Simulation Models. ANL/DIS-13/05, 2.013.

IEEE Std 399™-1997: (Brown Book) IEEE Recommended Practice for Industrial and Commercial Power Systems Analysis.

IEEE Std 1110™ - 2002: IEEE Guide for Synchronous Generator Modeling Practices and Applications in Power Systems Stability Analysis.

IEEE Std 858™-1993: IEEE Standard Definitions in Power Operations Terminology.

ETAP®19.5 User Guide

NOTA: Se entregarán copias en soporte magnético del material teórico presentado por el instructor, así como los archivos ETAP de los ejemplos y ejercicios desarrollados durante el curso.

Instructor ETAP

Diego Moitre obtuvo el grado académico de Magíster en Ciencias de la Ingeniería por la Pontificia Universidad Católica, Chile. Egresó como Ingeniero Mecánico-Electricista y como Licenciado en Matemática de la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC), Córdoba, Argentina. Actualmente jubilado, se desempeñó como Profesor Titular con dedicación exclusiva en la UNRC, desarrollando su actividad académica en el Grupo de Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia (GASEP) de la Facultad de Ingeniería de la UNRC. Es Senior Member de la IEEE, Power & Energy Society, Reliability Society. Está matriculado en el Colegio de Ingenieros Especialistas de Córdoba, Argentina. En su actividad profesional se desempeña como Consultor en Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia, habiendo realizado distintos estudios para sistemas eléctricos industriales e interconectados, en Argentina, Ecuador, Panamá y Perú.