

**CURSO DE POSGRADO DEL PROGRAMA DE DOCTORADO Y MAESTRÍA EN INGENIERIA
ELECTRICA**

**ANALISIS DE FUNCIONAMIENTO DE SISTEMAS DE SUMINISTRO DE
ENERGIA ELECTRICA**

PLANIFICACION DEL CURSO DE POSGRADO

Año 2023

**Dr. Ing. Benjamín SERRANO
Director del Curso
IEE – UNSJ – CONICET**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN
FACULTAD DE INGENIERIA
INSTITUTO DE ENERGIA ELECTRICA

Curso del programa de Posgrado en Ingeniería Eléctrica
Año 2023

**ANALISIS DE FUNCIONAMIENTO DE SISTEMAS DE SUMINISTRO DE
ENERGIA ELECTRICA**

Unidad Ejecutora	: Instituto de Energía Eléctrica -UNSJ - CONICET
Dirección	: Dr. -Ing. Benjamín Serrano
Docentes	: Dr. Ing. Benjamín Serrano (11.921.801), Dr. Ing. Diego Ojeda (26.790.436), Dr. Ing. John Morales García (19.031.798), Dr. Ing. Leonardo Ontiveros (26287257), Ing. María del Carmen Giménez (16.020.081), Dr. Ing. Rodolfo Roses (14.074.172), Mg. Ing. Emmanuel Espejo (32.510.585) e Ing. Diego Bustos (30.972.514).
Tipo de Curso	: Válido los programas de Doctorado y de Maestría del IEE en el Área de “Sistemas Eléctricos” y de perfeccionamiento para alumnos fuera del programa citado.
Asignación Horaria	: 240 horas totales (120 horas presenciales y 120 horas no presenciales).
Duración	: Seis semanas.
Período de dictado	: del 27 de febrero al 10 de marzo de 2023 (Módulo I); del 20 al 31 de marzo de 2023 (Módulo II); del 10 al 21 de abril de 2023 (Módulo III); 21 de abril de 2023 (Módulo IV).
Horario	: Lunes a viernes: 16:30 a 20:30 hs.
Lugar	: Instituto de Energía Eléctrica.
Cupo	: Un máximo de 15 participantes.
Área	: Sistemas Eléctricos.
Modalidad	: Se desarrollará mediante el dictado de clases teóricas y prácticas con utilización de modelos digitales de cálculo. El desarrollo del curso es de modalidad intensiva, pudiendo dictarse según corresponda en forma presencial, con asistencia obligatoria en el Instituto de Energía Eléctrica, o bien virtual, utilizando el Sistema de Educación a Distancia (SIED) de la UNSJ, mediante las Plataformas MOODLE, ZOOM y Google Meet. El dictado según la modalidad virtual se desarrollará de acuerdo a las normas vigentes o bien a lo establecido por las autoridades al momento del dictado. Al culminar cada módulo se tomará una evaluación individual teórico – práctica.
Certificación	: Se certificará la aprobación del curso a los participantes que alcancen el 70 % en la evaluación escrita de cada uno de los módulos. Se controlará la asistencia, que no podrá ser menor que el 80 % del total de horas del curso.
Arancel	: \$150.000 a residentes de Argentina y U\$S 1.000 a no residentes. Se tendrán en cuenta los siguientes descuentos: 50% para alumnos de programas de posgrado, 15 % para egresados UNSJ, 15 % para docentes y/o investigadores universitarios. 15 % para profesionales, cuando en cantidad de dos o más pertenezcan a la misma institución/empresa. Es importante destacar que los descuentos no son acumulativos.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN
FACULTAD DE INGENIERIA
INSTITUTO DE ENERGIA ELECTRICA**

**Curso de Posgrado
Año 2023**

**ANALISIS DE FUNCIONAMIENTO DE SISTEMAS DE SUMINISTRO DE
ENERGIA ELECTRICA**

Programa Sintético

- MODULO I:** Flujo de Potencia. Introducción al estudio de SSEE. Requerimientos. Modelación de componentes activos y pasivos. Cálculo no lineal. Flujo de Potencia rápido desacoplado. Control de Tensión y Potencia Reactiva.
- MODULO II:** Análisis de Fallas en SSEE. Cálculos de fallas simétricas. Cálculo de fallas asimétricas particulares. Modo de operación de redes. Tratamiento de centro de estrella. Sistematización del cálculo de fallas.
- MODULO III:** Estabilidad en sistemas de transmisión. Introducción: Problemas de dinámica de redes. Conceptos básicos sobre el funcionamiento de la máquina sincrónica. Estabilidad estática y transitoria en sistemas eléctricos multimáquina.
- MODULO IV:** Operación en Tiempo Real (TR). Aplicaciones EMS (Energy Managment System). Configuración, Estimador de Estado, Flujo de Carga, Análisis de Contingencia, Análisis de Cortocircuito. SCADA, Interface Hombre-Máquina. Base de Datos Estática y de Tiempo Real de Aplicaciones EMS.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN
FACULTAD DE INGENIERIA
INSTITUTO DE ENERGIA ELECTRICA**

**Curso de Posgrado
Año 2023**

Programa Analítico

MODULO I: FLUJO DE POTENCIA

1. INTRODUCCIÓN GENERAL Y PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

Tareas requeridas a los sistemas de energía eléctrica. Requerimientos principales. Esquema de sistemas de suministro de energía eléctrica.

Cálculo de estados estacionarios en redes eléctricas.

- Presentación del problema. Clasificación de problemas específicos: Cálculo de flujos de carga. Cálculo de cortocircuitos. Estimación del flujo de carga. Despacho óptimo de cargas.
- Descripción de la configuración de la red. Simplificaciones. Conceptos de la teoría de grafos. Descripción matricial.
- Descripción de las fuentes de alimentación y de las cargas.

2. CÁLCULO DE FLUJOS DE POTENCIA

Cálculo lineal de flujos de carga.

- Definición del problema.
- Derivación de las ecuaciones generales del sistema: El método de las mallas. El método de los conjuntos de corte. El método de los nodos.
- Utilización en redes eléctricas de suministro de energía.
- Métodos de solución:
 - Método de Gauss-Seidel.
 - Método de eliminación de Gauss

Cálculo no lineal de flujos de carga.

- Definición del problema
- Métodos de solución:
 - Método de Gauss-Seidel.
 - Método iterativo de la matriz triangular de admitancias. (Eliminación de Gauss iterativo)
 - Método de Newton-Raphson completo. Formulación cartesiana
 - Métodos de optimización para el cálculo de flujos de carga.

Utilización de flujos de potencia en la planificación y operación de sistemas eléctricos.

- Aplicación en la planificación de sistemas eléctricos.
- Aplicación en la operación de sistemas eléctricos. Cálculos de seguridad. Análisis de contingencias. Estimación del flujo de carga (Estimación de estado)

Cálculo no lineal de flujos de carga.

- Método de Newton-Raphson completo. Formulación polar.
- Métodos de Newton-Raphson simplificados.
 - Flujo de carga desacoplado.
 - Flujo de carga desacoplado rápido.

- Flujo de carga de potencia activa.

Modelación de componentes de la red para el cálculo de flujos de carga

- Modelación de líneas y cables.
- Modelación de transformadores.
- Modelación de compensadores.
- Modelación de la generación y de la carga.
- Tratamiento de transformadores trifásicos regulables

3. CONTROL DE TENSIÓN — POTENCIA REACTIVA

El Problema de la potencia reactiva en sistemas eléctricos

Ventajas de un buen tratamiento de la potencia reactiva

Relación entre la tensión y la potencia reactiva

Control de tensión-Potencia reactiva en sistemas de transmisión

4. BIBLIOGRAFÍA.

- a) Serrano, B.: Publicaciones y Material de apoyo de Investigación y docencia. Apuntes del mismo curso dictado en 2020 y anteriores.
- b) A. Gómez Expósito. "Análisis y operación de sistemas de energía eléctrica". Mc Graw Hill-2002. ISBN: 94-481-3592-X.
- c) Kurt W. Edwin: Apuntes Seminario "Digitale Netzberechnung". RWTH Aachen 1985.
- d) Kurt W. Edwin: Apuntes Seminario "Elektrische Anlage II". RWTH Aachen 1985.
- e) Allen J. Wood, Bruce F. Wollenberg. "Power Generation, Operation, and Control". John Wiley & Sons, Inc -1996. ISBN: 0-471-58699-4.
- f) J. Grainger, W Stevenson. "Análisis de Sistemas de Potencia". Mc Graw Hill-1996. ISBN: 0-07-061293-5.

MODULO II: ANÁLISIS DE FALLAS SIMÉTRICAS Y ASIMÉTRICAS.

1. FALLAS EN INSTALACIONES Y SISTEMAS ELECTRICOS

Causas e implicancias de las fallas en sistemas eléctricos.

Solicitud eléctrica

Solicitud Mecánica

Manipulación errónea del hombre.

2. PRESENTACION DEL PROBLEMA.

Tipos de cortocircuito.

3. CORTOCIRCUITO SIMETRICO (TRIPOLAR).

Cortocircuito tripolar en las redes de tensión rígida.

Cortocircuito tripolar en bornes del generador.

Circuito equivalente de un generador en cortocircuito.

Determinación de la corriente cortocircuito de choque I_S y de la corriente de interrupción I_a .

Determinación de la corriente de cortocircuito permanente.

El cortocircuito tripolar de máquinas asincrónicas.

4. MÉTODOS UTILIZADOS PARA EL CÁLCULO DE LAS CORRIENTES INICIALES DE CORTOCIRCUITO.

Método que considera el estado de carga del sistema

Método que no considera el estado de carga del sistema (simplificado)

Conclusiones

5. CÁLCULO DE CORTOCIRCUITO EN REDES CON ALIMENTACIÓN MÚLTIPLE Y REDES MALLADAS.

6. PLANIFICACIÓN DE INSTALACIONES RESISTENTES AL CORTOCIRCUITO.

Leyes estadísticas de crecimiento de la potencia de cortocircuito en redes.

Potencia de cortocircuito y economía en las instalaciones eléctricas.

Posibilidades para limitar los efectos producidos por las corrientes de cortocircuito.

Medidas constructivas.

7. CALCULO DE FALLAS ASIMÉTRICAS

Fundamentos del cálculo del método de los componentes simétricos en sistemas alternos trifásicos.

Formulación de los circuitos equivalentes de componentes de una red que satisface las condiciones de simetría cíclica.

Cuadripolo activo lineal alterno trifásico

La potencia expresada en función de las componentes simétricas.

Procedimientos para determinar las impedancias de secuencia.

Impedancia de secuencia de componentes de sistemas de energía eléctrica.

Líneas y transformadores.

Circuitos equivalentes de componentes de líneas.

Circuito equivalente en componentes simétricos de transformadores.

8. MODOS DE OPERACIÓN DE REDES.

Región de red.

Tratamiento del centro de estrella.

Cifra de puesta a tierra.

Formas del tratamiento del centro de estrella.

Cálculo de cortocircuito asimétrico.

Cálculo del cortocircuito bipolar aislado

Cálculo de cortocircuito bipolar con contacto a tierra

Cortocircuito unipolar con contacto a tierra.

Cálculo simplificado del contacto a tierra.

Puesta a tierra rígida (directa) del centro de estrella.

Centro de estrella aislado de la región de red.

Puesta a tierra inductiva (resonante) del centro de estrella.

Aspectos particulares de la operación en condiciones normales de redes con centro de estrella vinculado a tierra inductivamente (resonante). Efecto de la asimetría de las capacidades y de las conductancias a tierra.

Puesta a tierra de baja impedancia.

Cálculo de cortocircuito doble a tierra.

9. SISTEMATIZACION DEL CALCULO DE FALLAS EN SSEE.

Cálculo digital de fallas simétricas en SSEE.

Interpretación del significado de los elementos de la matriz de impedancia de barra.

Cálculo de la I_a (corriente de apertura) e I_s (corriente de choque).

Cálculo digital de fallas asimétricas en SSEE

Modelo circuital para llevar a cabo el estudio.

Circuitos de secuencia

Análisis del contacto unipolar a tierra.

10. BIBLIOGRAFÍA.

a) Vargas, A.: Publicaciones y Material de apoyo de Investigación y docencia. Apuntes del mismo curso dictado en 2017 y anteriores.

b) A. Gómez Expósito. "Análisis y operación de sistemas de energía eléctrica". Mc Graw Hill-2002. ISBN: 94-481-3592-X.

c) Stagg - El Abiad: "Computer Methods in Power Systems Analysis". Mc Graw Hill, 1968.

d) Richard Roeper: "Short Circuit Currents in Three Phases Systems". Siemens. Jhon Wiley and Sons. Second edition 1985.

e) Kurt W. Edwin: Apuntes Seminario "Elektrische Anlage II". RWTH Aachen 1985.

MODULO III: ESTABILIDAD EN SISTEMAS DE POTENCIA

1. ESTABILIDAD DE SISTEMAS DE POTENCIA

Conceptos básicos y definiciones.
Ordenamiento de los fenómenos transitorios.
Estabilidad de estado estacionario y Estabilidad transitoria.
Estabilidad de tensión.
Estabilidad de frecuencia.

2. GENERADOR SINCRÓNICO

Descripción y comportamiento operativo de la máquina sincrónica.
Campos magnéticos presentes. Ángulo de carga.
Constante de inercia y tiempo de arranque mecánico.
Ecuación diferencial de movimiento.
Teorema de la constancia de los enlaces de flujo magnético.
Cortocircuito en bornes del generador sincrónico.
Reactancias de eje directo y de eje en cuadratura del generador sincrónico.
Reactancia de secuencia cero y reactancia de secuencia inversa.
Diagrama fasorial del generador sincrónico.
Cálculo de las potencias activas y reactivas entregadas a la red por el generador sincrónico.
Cálculo del módulo y el ángulo de fase de la tensión de la rueda polar.
Diagrama fasorial de la máquina sincrónica de polos salientes. Carga inductiva y capacitiva.
Cálculo de la tensión transitoria.
Línea característica de potencia en función de ángulo de la transmisión.
Funcionamiento del generador sincrónico conectado a una red rígida.

3. CONCEPTOS BÁSICOS Y METODOS PARA EL CÁLCULO DE ESTABILIDAD DE ESTADO ESTACIONARIO

Estabilidad ante pequeñas y grandes perturbaciones.
Caracterización de los puntos de funcionamiento del generador sincrónico en la característica $P-\delta$.
Condición de estabilidad estática.
Cálculos básicos empleados para analizar problemas de estabilidad estática.
Tensiones nodales: Procedimiento de cálculo.
Influencia de la regulación de tensión del generador sincrónico sobre la estabilidad estática.
Respuesta de los reguladores de velocidad y de tensión.
Potencia límite estática, Natural y Artificial.
Influencia de las pérdidas en la estabilidad estática de un sistema de transmisión.
Sistema de transmisión de dos máquinas sincrónicas. Expresiones de las potencias activas y reactivas entregadas por cada máquina.
Criterio de estabilidad de estado estacionario.

4. CONCEPTOS BÁSICOS Y METODOS PARA EL CÁLCULO DE ESTABILIDAD TRANSITORIA

Comportamiento del generador ante cortocircuitos alejados y en bornes.
Potencia acelerante.

Pérdida de estabilidad transitoria por efecto de un cortocircuito de duración ilimitada.
Estabilidad transitoria garantizada por la rápida interrupción del cortocircuito trifásico.
Estabilidad transitoria y sus criterios prácticos.
Método de la igualdad de áreas. Caso crítico.
Reserva de estabilidad.
Pérdida de estabilidad.
Reconexión automática de la línea afectada por la falla.
Ángulo límite y tiempo límite de desconexión de la falla.
Influencia de la regulación automática en los procesos transitorios.
Regulación de excitación del generador.
Métodos de cálculo para el problema de estabilidad transitoria.
Método de integración paso a paso: Fórmulas de utilidad práctica.
Consideración de la resistencia óhmica en las líneas de transmisión.
Lugar donde se produce la falla.
Relación entre la potencia de transmisión máxima admisible y el tiempo máximo admisible de duración de la falla.
Estabilidad transitoria ante diferentes tipos de cortocircuitos.

5. BIBLIOGRAFÍA

- a. Prabha Kundur. Power System Stability and Control. Power System Engineering Series of the Electric Power Research Institute. 1994.
- b. A. Gómez Expósito. "Análisis y operación de sistemas de energía eléctrica". Mc Graw Hill-2002. ISBN: 94-481-3592-X.
- c. Giménez, M del Carmen: Publicaciones y Material didáctico de apoyo a la enseñanza y al aprendizaje del tema Estabilidad de Sistemas de Potencia. Apuntes del mismo curso dictado en 2020 y anteriores
- d. W. H. Peralta: Material de apoyo a la enseñanza y al aprendizaje del tema Estabilidad de Sistemas de Potencia.
- e. Kraus-Fleisch: ELECTOMAGNETÍSMO con Aplicaciones. Mc Graw-Hill. Quinta Edición. 1999
- f. Kimbark, E. W.: Power System Stability: Synchronous Machines. Dover Publications, Inc., New York, 1956.
- g. Kaminski, A.: Stabilität des elektrischen Verbundbetriebes, VEB Verlag Technik Berlin, 1959.

MODULO IV: HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO APLICADO A LA OPERACIÓN EN TIEMPO REAL.

- 1. APLICACIONES EMS (ENERGY MANAGMENT SYSTEM)**
- 2. CONFIGURACIÓN, ESTIMADOR DE ESTADO, FLUJO DE CARGA, ANÁLISIS DE CONTINGENCIA, ANÁLISIS DE CORTOCIRCUITO.**
- 3. SCADA, INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA.**
- 4. BASE DE DATOS ESTÁTICA Y DE TIEMPO REAL DE APLICACIONES EMS.**