

## **FUNDAMENTOS DE DISEÑO DE TRANSFORMADORES APLICADOS A LA REVISIÓN DEL DISEÑO**

### **Objetivo:**

Presentar los fundamentos del Diseño de Transformadores de Potencia, detallando todas las etapas del mismo, el cumplimiento de la normalización internacional y de las especificaciones del cliente, y la descripción de las herramientas de cálculo necesarias para su diseño y evaluación.

El curso está dirigido a profesionales que trabajen en empresas eléctricas y que tengan a su cargo la especificación, la adquisición, la revisión del diseño, la recepción en fábrica, la operación, el mantenimiento y la reparación de transformadores y reactores.

### **Contenido:**

Se estudia el diseño de transformadores desde tres puntos de vista fundamentales:

- Dimensionado Dieléctrico
- Dimensionado Térmico
- Dimensionado Mecánico

### **Programa:** POWER TRANSFORMER ENGINEERING

1. Introducción al Diseño de Transformadores
  - 1.1. Especificaciones del Usuario
  - 1.2. Marco Normativo (Normas Internacionales y Nacionales)
  - 1.3. Disciplinas Involucradas y Softwares de Cálculo
2. Circuito Magnético
  - 2.1. Materiales
  - 2.2. Tipos Constructivos
  - 2.3. Cálculo de las Pérdidas de Vacío

- 2.4. Cálculo de la Corriente de Vacío
- 2.5. Cálculo del Nivel de Ruido
- 2.6. Cálculo de la Corriente de Inrush
- 2.7. Fenómeno de Sobreexcitación
  
3. Bobinados
  - 3.1. Materiales
  - 3.2. Tipos Constructivos
  - 3.3. Proceso de Estabilización y Prensado
  - 3.4. Pérdidas de Cortocircuito
  - 3.5. Impedancia de Cortocircuito
  
4. Cálculo de la Reactancia de Cortocircuito
  - 4.1. Métodos Analíticos (Kapp, Roth, Rabins)
  - 4.2. Métodos Numéricos (Elementos Finitos)
  - 4.3. Cálculo de la Reactancia de Núcleo de Aire
  
5. Cálculo de las Pérdidas Adicionales
  - 5.1. Pérdidas Adicionales en los Bobinados debidas al Campo Magnético de Dispersión Axial y Radial
  - 5.2. Pérdidas Adicionales en los Bobinados por Corrientes de Circulación
  - 5.3. Pérdidas Adicionales en el Tanque y en las Partes Estructurales
  - 5.4. Efecto de los Armónicos en las Pérdidas Adicionales (Ej.: Converter Transformers, Rectificadores y otras aplicaciones)
  - 5.5. Corrección de las Pérdidas e Impedancia de Cortocircuito por Temperatura
  
6. Dimensionado Dieléctrico
  - 6.1. Ensayos Dieléctricos
  - 6.2. Materiales Aislantes
  - 6.3. Cálculo de la Respuesta al Impulso
  - 6.4. Cálculo de la Respuesta a Very Fast Transient Overvoltages (VFTO)
  - 6.5. Cálculo de Campos Eléctricos
  - 6.6. Análisis de la Soportabilidad del Aislamiento
  
7. Dimensionado Térmico
  - 7.1. Cálculo de la Temperatura del Núcleo
  - 7.2. Cálculo de la Temperatura de los Bobinados

- 7.3. Dimensionado del Sistema de Refrigeración Exterior
- 7.4. Modelado utilizando Circuitos Termo-Hidráulicos (THNM)
- 7.5. Modelado utilizando Elementos Finitos (CFD = Computational Fluid Dynamics)
  
- 8. Dimensionado Térmico y Dinámico de Cortocircuito
  - 8.1. Cálculo de las Corrientes de Cortocircuito
  - 8.2. Cálculo Térmico de Cortocircuito
  - 8.3. Cálculo de las Fuerzas de Cortocircuito
    - 8.3.1. Método de Roth
    - 8.3.2. Método de Rabins
    - 8.3.3. Método de las Imágenes
    - 8.3.4. Método de Elementos Finitos
  - 8.4. Cálculo de los Esfuerzos de Cortocircuito
  - 8.5. Anexo A de la Norma IEC 60076-5:2006
  
- 9. Dimensionado Mecánico del Tanque
  - 9.1. Tipos Constructivos de Tanques
  - 9.2. Cálculo de los Refuerzos del Tanque
  - 9.3. Dimensionado del Tanque de Expansión
  - 9.4. Dimensionado del Colchón de Aire
  - 9.5. Integridad ante Explosiones
  - 9.6. Comportamiento Sísmico
  
- 10. Fundamentos del Método de Elementos Finitos
  
- 11. Particularidades del Diseño de Reactores
  - 11.1. Reactores Serie y Derivación (Shunt)
  - 11.2. Tipos de Núcleos y Vibraciones
  - 11.3. Pérdidas Adicionales en el Bobinado
  - 11.4. Reactores Variables con OLTC
  - 11.5. Modelado de Reactores Shunt en Transitorios de Maniobra
  - 11.6. Transformadores de Puesta a Tierra
  
- 12. Particularidades del Diseño de los Transformadores Shell-Type
  
- 13. Particularidades del Diseño de los Phase-Shifting Transformers (PST)

14. Particularidades del Diseño de los HVDC Converter Transformers

15. Cálculo Óptimo – Minimización de una Función no Lineal con Condiciones no Lineales

15.1. Método de Penalización Exterior

15.2. Optimización Continua

15.3. Optimización Discreta

15.3.1. Algoritmos Genéticos

16. Selección de Aisladores y Conmutadores (DETC y OLTC)

**Duración:** 40 horas.

**Sugerencia:** Dictarlo en una semana de lunes a viernes, 8 horas por día.

**Antecedentes:**

- El curso fue dictado en dos ocasiones, en 1995 y 1997 en la Facultad de Ingeniería de Montevideo de la Universidad de la República del Uruguay como “Curso de Actualización Profesional”
- El curso fue dictado en cuatro ocasiones, en 2010, 2012, 2017 y 2019 en la Facultad de Ingeniería de Montevideo de la Universidad de la República del Uruguay como curso de postgrado válido para la Maestría en Ingeniería de Distribución y Transmisión
- El curso fue dictado en Costa Rica, en octubre de 2014, para profesionales de ICE (Instituto Costarricense de Electricidad)
- El curso fue dictado en la Universidad de Trondheim, Noruega, patrocinado por el SINTEF, en febrero de 2015, en una versión reducida de 24 horas, para 49 profesores, investigadores y profesionales de la Universidad, del SINTEF, de StatNett, de EDF y de otras empresas de más de 10 países europeos.
- El curso fue dictado en junio de 2015, en Medellín, Colombia, como curso de Capacitación del Comité de Transformadores del CIER (Comisión de Integración Energética Regional), para 41 profesionales de Colombia, Ecuador, Chile, Bolivia, Brasil, Panamá y República Dominicana.



## **POWER TRANSFORMER ENGINEERING S.A.S.**

- El curso fue dictado en mayo de 2016, en Bogotá, Colombia, como curso de Capacitación del Comité de Transformadores del CIER (Comisión de Integración Energética Regional), para 24 profesionales de Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Panamá y República Dominicana.
- El curso fue dictado en Salto, Uruguay, en noviembre de 2018, para profesionales de CTM (Comisión Técnica Mixta de Salto Grande)
- El curso fue dictado en Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, en diciembre de 2018, para profesionales de CRE (Cooperativa Rural de Electrificación)
- El curso fue dictado en junio de 2020, en forma virtual (Teams), como curso de Capacitación del Comité de Transformadores del CIER (Comisión de Integración Energética Regional), para 39 profesionales de Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Perú y Uruguay.
- El curso fue dictado en setiembre de 2020, en forma virtual, para ingenieros CELSIA de Colombia.

POWER TRANSFORMER ENGINEERING