

## **CORTOCIRCUITO EN TRANSFORMADORES DE POTENCIA**

### **Objetivo:**

Análisis del diseño de transformadores de potencia para soportar los requerimientos térmicos y mecánicos producidos por las corrientes de cortocircuito.

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

### **Contenido:**

El curso se divide en cinco partes:

- Cálculo de las corrientes de cortocircuito y de su efecto térmico
- Cálculo de las fuerzas de cortocircuito
- Características mecánicas de los materiales conductores y aislantes
- Cálculos de los esfuerzos sobre los materiales
- Ensayos de cortocircuito

### **Programa:**

1. Cálculo de las corrientes de cortocircuito y de su efecto térmico
  - 1.1. Características de la corriente de cortocircuito en sistemas de potencia
  - 1.2. Transformadores con terciario
    - 1.2.1. Cortocircuito monofásico
    - 1.2.2. Cortocircuito bifásico
    - 1.2.3. La potencia del terciario
    - 1.2.4. IEEE PC57.158/D1 "Draft Guide for the Application of Tertiary and Stabilizing Windings on Power Transformers"
  - 1.3. Cálculo del efecto térmico de las corrientes de cortocircuito
2. Métodos de cálculo de fuerzas de cortocircuito en transformadores
  - 2.1. Principios básicos y ecuaciones de Maxwell
    - 2.1.1. Ley de Biot-Savart

- 2.1.2. Ley de Ampere
  - 2.1.3. Ley de Ampere-Laplace
  - 2.1.4. Ecuaciones de Maxwell
  - 2.1.5. Problemas bidimensionales
    - 2.1.5.1. Coordenadas cartesianas (Métodos Planos)
    - 2.1.5.2. Coordenadas cilíndricas (Métodos Cilíndricos)
  - 2.2. Métodos de cálculo del campo magnético de dispersión y de las fuerzas de cortocircuito en transformadores
    - 2.2.1. Campo de dispersión y fuerzas resultantes
      - 2.2.1.1. Transformadores "Core-Type"
      - 2.2.1.2. Transformadores "Shell-Type"
    - 2.2.2. Principio del Trabajo Virtual
    - 2.2.3. Ley de Ampere-Laplace
    - 2.2.4. Método de los Ampere-Vuelta Residuales
    - 2.2.5. Método de la Imágenes (Ley de Biot-Savart)
    - 2.2.6. Método de Roth
    - 2.2.7. Método de Rabins
    - 2.2.8. Método de los Elementos Finitos
  - 2.3. Informe del CIGRE – Electra N°67 – Dic 1979
    - 2.3.1. Objetivos del estudio
    - 2.3.2. Requerimientos dinámicos y estáticos
    - 2.3.3. Métodos de cálculo investigados
    - 2.3.4. Método de trabajo y variantes a analizar
    - 2.3.5. Análisis de los resultados
      - 2.3.5.1. Fuerzas axiales
      - 2.3.5.2. Fuerzas radiales
    - 2.3.6. Conclusiones
- POWER TRANSFORMER ENGINEERING**
- 3. Características mecánicas de los materiales utilizados en la construcción de transformadores
    - 3.1. Materiales conductores: cobre y aluminio
    - 3.2. Materiales aislantes: papel, cartón prensado y madera laminada
  - 4. Dimensionado de los bobinados y elementos de prensado de un transformador basados en las fuerzas radiales y axiales que se producen en el mismo durante un cortocircuito
    - 4.1. Esfuerzos debidos a las fuerzas radiales de cortocircuito
      - 4.1.1. Cálculo de la tracción (Hoop Stress) en los conductores

- 4.1.2. Cálculo de la tensión de compresión-flexión en los conductores
- 4.1.3. Pérdida de estabilidad radial (Pandeo, Buckling o Flambage)
- 4.2. Esfuerzos debidos a las fuerzas axiales de cortocircuito
  - 4.2.1. Flexión de los conductores entre espaciadores radiales
  - 4.2.2. Compresión de los espaciadores radiales
  - 4.2.3. Compresión del aislamiento de los conductores
  - 4.2.4. Compresión del aislamiento superior e inferior de las bobinas
  - 4.2.5. Pérdida de estabilidad axial (Tilting)
  - 4.2.6. Esfuerzos sobre los elementos de prensado de cada columna bobinada (aros de prensado comunes, bloques de prensado, tensores y tirantes)
- 4.3. Esfuerzos Especiales: "Spiraling"
- 4.4. El Anexo A de la Norma IEC 60076-5:2006 ("Theoretical evaluation of the ability to withstand the dynamic effects of short circuit")
5. Ensayos de cortocircuito
  - 5.1. Laboratorios para realizar ensayos de cortocircuito
  - 5.2. Tasa de falla en los ensayos de cortocircuito
  - 5.3. Modalidades de ensayo
    - 5.3.1. Trifásico o monofásico
    - 5.3.2. Energización y aplicación del cortocircuito (Pre-set o post-set)
  - 5.4. Ensayo de los devanados terciarios de compensación no accesibles
  - 5.5. Detección de fallas y evaluación de los resultados

**Duración:** 40 horas.

**Sugerencia:** Dictarlo en dos semanas de lunes a viernes, 8 horas por día.

**Antecedentes:**

- El curso fue dictado entre junio y julio de 2010 en Blumenau (Brasil), como docente invitado por la FURB (Universidad Regional de Blumenau), para Ingenieros de la WEG. en el marco del "Mestrado em Engenharia Elétrica"
- Está previsto dictar el curso en Costa Rica, en el segundo semestre de 2015, para profesionales de ICE (Instituto Costarricense de Electricidad)
- El curso fue dictado en Julio de 2016, en Medellín, Colombia, como curso de Capacitación del Comité de Transformadores del CIER (Comisión de



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

---

Integración Energética Regional), para profesionales de Colombia, Bolivia, y Panamá.



POWER TRANSFORMER ENGINEERING