

INSTITUTO NACIONAL DE ELECTRICIDAD  
Y ENERGÍAS LIMPIAS

## **Principios de sistemas de transmisión en corriente continua (HVDC)**

**24 horas**

### **Objetivo**

Proporcionar una introducción a la tecnología de transmisión de corriente continua en alta tensión (HVDC), contemplando las diversas topologías de estos sistemas, sus equipos asociados y su impacto en el sistema eléctrico.

### **Temario**

#### 1. Introducción a los sistemas HVDC

- 1.1 Topologías básicas de los sistemas HVDC
- 1.2 Características y beneficios
- 1.3 Aplicaciones típicas
- 1.4 Aspectos relevantes a considerar para escoger HVDC o HVAC

#### 1.4.1 Control de la potencia activa

#### 1.4.2 Niveles de corto circuito

#### 1.4.3 Frecuencia

#### 1.4.4 Propagación de disturbios

#### 1.4.5 Capacidades de transmisión de LT CA vs HVDC

#### 1.4.6 Efectos de distancia en LT CA vs LT HVDC

#### 1.4.7 Costos de inversión vs longitud

#### 1.5 Esquemas de LT HVDC

##### 1.5.1 Bipolar

##### 1.5.2 Monopolar

##### 1.5.3 Punto a punto

##### 1.5.4 Multi-terminal

#### 1.6 Disponibilidad y confiabilidad

##### 1.6.1 Mecanismos de falla LT AC vs LT HVDC

##### 1.6.2 Ventajas y desventajas

#### 1.7 Principales tecnologías de convertidores para sistemas HVDC

##### 1.7.1 LCC

##### 1.7.2 VSC

#### 1.8 Principios de funcionamiento de los sistemas HVDC

##### 1.8.1 Prestaciones

##### 1.8.2 Diagrama de bloques de los sistemas HVDC

- 1.8.3 Funciones del HVDC
- 1.8.4 Demanda de reactivos del convertidor
- 1.8.5 Armónicos en el lado de CA
- 1.8.6 Controladores para sistemas HVDC
- 1.9 Componentes de una estación HVDC
  - 1.9.1 Interruptor de AC
  - 1.9.2 Filtro y banco de capacitores
  - 1.9.3 Transformador del convertidor
  - 1.9.4 Válvulas de tiristores
  - 1.9.5 Reactor de filtrado
  - 1.9.6 Filtro de DC
  - 1.9.7 Interruptor de DC
- 2. Modelado, análisis y simulación de enlaces HVDC.
  - 2.1 Introducción
  - 2.2 Modelado de sistemas de transmisión HVDC
  - 2.3 Funciones básicas de control de enlaces HVDC
  - 2.4 Análisis de flujos de carga en sistemas de potencia con enlaces HVDC
  - 2.5 Análisis de estabilidad de pequeña señal
  - 2.6 Análisis de estabilidad transitoria
- 3 Conceptos de electrónica de potencia para HVDC
  - 3.1 Introducción
    - 3.1.1 Definición
    - 3.1.2 Conversiones de energía
    - 3.1.3 Aplicación de dispositivos: potencia vs frecuencia
    - 3.1.4 Aplicaciones de la electrónica
    - 3.1.5 Ventajas y desventajas
  - 3.2 Dispositivos semiconductores
    - 3.2.1 Introducción
    - 3.2.2 Diodo semiconductor
    - 3.2.3 Tiristores
    - 3.2.4 Transistor bipolar BJT
      - 3.2.4.1 Impulsor para el control del dispositivo
    - 3.2.5 Transistor bipolar de compuerta aislada IGBT
  - 3.3 Rectificadores
    - 3.3.1 Monofásicos no controlados
    - 3.3.2 Trifásicos controlado y no controlado
    - 3.3.3 Rectificadores Multipulso (12)
    - 3.3.4 Contenido armónico y factor de potencia
    - 3.3.5 Protecciones
  - 3.4 Inversores
    - 3.4.1 Introducción

- 3.4.2 Inversores monofásicos
  - 3.4.3 Inversores trifásicos
  - 3.4.4 Inversor trifásico multinivel
  - 3.4.5 Modulación PWM
  - 3.5 Análisis detallado de topologías
    - 3.5.1 LCC
    - 3.5.2 VSC
  - 4. Equipo para HVDC
    - 4.1 Transformadores para HVDC
    - 4.2 Interruptores para HVDC
    - 4.3 Cables para HVDC
    - 4.4 Líneas aéreas para HVDC
    - 4.5 Aisladores para HVDC
    - 4.6 GIS para HVDC
    - 4.7 Reactores limitadores
    - 4.8 Filtros
    - 4.8 Electrodo y conductores de retorno para HVDC
    - 4.9 Apartarrayos
    - 4.10 Protecciones
  - 5. Aislamientos de equipo de alta tensión para HVDC
    - 5.1 Introducción
    - 5.2 Mecanismos de conducción, técnicas de medición y normativa
  - 5.3 Efecto de la conductividad del aceite en transformadores para HVDC
  - 5.4 Diseño de aislamientos aceite-papel para HVDC
  - 5.5 Carga atrapada en aislamientos sólidos para HVDC
  - 5.8 Principios de diseño de cables y aisladores para HVDC. (Estado actual y mejoras)
  - 5.9 Subestaciones aisladas en gas
  - 5.10 Efectividad de pruebas dieléctricas y confiabilidad en equipos de HVDC
  - 5.11 Revisión de requerimientos de prueba
  - 5.12 Fallas y disturbios
  - 5.13 Transitorios electromagnéticos
- 6. Temas selectos
    - 6.1 Snubbers
    - 6.2 Control
    - 6.3 Cuantificación de pérdidas
    - 6.4 Protecciones
    - 6.5 Aspectos térmicos y enfriamiento
    - 6.6 Corrosión de electrodos e instalaciones vecinas
    - 6.7 Impacto ambiental, Implicaciones sociales, entre otros.

## Instructor



**Dr. Carlos Gustavo  
Azcárraga Ramos**

Doctor en Ingeniería Electrotécnica por la Universidad de Bolonia, Italia; Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica con mención honorífica en la SEPI-ESIME del Instituto Politécnico Nacional e Ingeniero Electromecánico (Honores) por el Instituto Tecnológico de Zacatepec. Desde 1997, el Dr. Azcárraga trabaja en la Gerencia de Equipos Eléctricos del Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL) en el desarrollo de técnicas de alta sensibilidad para el diagnóstico de transformadores de potencia y equipo primario de subestaciones. Representa al INEEL en diversos foros y grupos de trabajo de especialistas nacionales e internacionales. Fue el representante mexicano en el Comité SC A3 High Voltage Equipment de Cigré del 2009 al 2014. Es autor y coautor de más de 30 artículos técnicos relacionados con la evaluación del sistema dieléctrico de equipos de alta tensión. Ha liderado varios proyectos para la Comisión Federal de Electricidad, Pemex y sector privado en el rubro de diagnóstico de equipo de alta tensión y adopción de nuevas tecnologías. Ha sido Profesor en la Universidad Cuauhnáhuac, la Universidad Fray Luca Paccioli, la Universidad Morelos y el Centro de Posgrado del INEEL, impartiendo cursos

relacionados con diseño mecánico y teoría electromagnética aplicada. Ha dirigido becarios de Adiestramiento en Investigación Tecnológica y tesis de Licenciatura y Maestría.