

# Sistemas de Transmisión I

## Contenido Sinóptico

### Generalidades

Este documento corresponde a la presentación del curso básico de Sistemas de Transmisión I, a nivel de pre-grado, cuya orientación es: Cuantificación de los parámetros eléctricos de líneas de transmisión aéreas de potencia y los fenómenos electro-magnéticos asociados; Uso de los parámetros eléctricos de las líneas de transmisión aéreas de potencia para modelar el sistema y poder evaluar el desempeño a frecuencia fundamental de la misma en condiciones de régimen estacionario.

### Contenido Sinóptico

A continuación se muestra un breve resumen del contenido sinóptico a ser tratado y desarrollado a lo largo del curso básico de Sistemas de Transmisión I.

### Introducción

Los sistemas de transmisión o transporte de energía son un subsistema dentro de las macro-estructuras dedicadas a atender el servicio eléctrico; los denominados sistemas eléctricos de potencia. A fin de contextualizar al participante del marco referencial para el diseño, operación y control de los sistemas de transmisión, formalmente se ha de definir los sistemas de potencia; como una red eléctrica de potencia, dedicada a la producción, transporte y distribución de la energía eléctrica, hasta los consumidores. En esta introducción se presenta una visión general de los sistemas de potencia, su estructura, modo de operación y elementos constitutivos, efectuando especial énfasis en la transmisión de los grandes bloques energéticos. Además se muestra una breve reseña histórica demostrativa de la evolución de los sistemas eléctricos, partiendo desde sus inicios en los tiempos de Thomas Alva Edison, hasta los actuales una muy breve referencia a la tecnología de los Super-conductores en aun se mantienen en ensayo y experimentación en muchos centros de investigación a nivel mundial. A fin de referencia general se muestra una evolución histórica del Sistema de Transmisión Venezolano.

### Capítulo 1. Elementos de Sistemas de Transmisión

En este capítulo se efectúa la conceptualización del sistema de transmisión, y se comienza el estudio de las líneas de transmisión aéreas de potencia estableciendo su clasificación. Luego se presenta los elementos que conforman el la línea de transmisión aérea de potencia: soportes, aisladores, conductores y elementos especiales. Cada uno de los elementos que conforman el sistema son tratados en una forma exhaustiva, argumentando cada uno de los mismos y sus propiedades. En particular, en este capítulo se efectúa especial énfasis en la normativa de las empresas eléctricas Venezolanas para los elementos del sistema de transmisión.

### Capítulo 2. Generalidades de Parámetros Eléctricos en Sistemas de Transmisión

En este capítulo, se realiza una breve y básica explicación a los fenómenos eléctricos y magnéticos que dan origen a los parámetros eléctricos que caracterizan el comportamiento de las líneas de transmisión. Se

evidencia la existencia de tres parámetros fundamentales: resistencia, inductancia, capacitancia; y en cada caso se comenta la naturaleza del fenómeno, su causas y consecuencias. Comentario particular merece, algunas consideraciones para la operación de los sistemas de transmisión en Extra Alta Tensión y fenómenos asociados a este: Efecto Corona, Efecto Ferranti y las Perturbaciones Electromagnéticas.

### Capítulo 3. Parámetro Resistivo de Sistemas de Transmisión

En particular en este Capítulo se aborda el parámetro resistivo asociado a la impedancia serie de la línea de transmisión de potencia aérea. Se presenta los diferentes tipos de conductores (según su material y características constructivas) y se muestran los medios cuantitativos para el cálculo de la resistencia eléctrica de los mismos. Se aborda el cálculo de la resistencia eléctrica en corriente continua y corriente alterna, mostrando el efecto de la variación de la frecuencia sobre este parámetro y pérdidas asociadas. Se muestra en forma muy general el efecto Piel. De igual modo se considera el efecto de la variación de la temperatura sobre la resistencia del conductor y las pérdidas que genera en la transmisión de potencia.

### Capítulo 4. Parámetro Inductivo de Sistemas de Transmisión

En éste Capítulo, se aborda en primera instancia los fenómenos electromagnéticos asociados a la transmisión de energía eléctrica por un medio conductor. Se estudian las interacciones magnéticas entre conductores que transportan corriente eléctrica, y se considera el efecto proximidad, sobre la distribución no uniforme de la corriente. De igual modo se cuantifica el campo magnético y todas las características asociadas al mismo, para de este modo poder determinar el impacto que los sistemas de transporte tienen sobre otros sistemas, como el caso de las perturbaciones causadas sobre los sistemas telefónicos, y otros sistemas de transporte. Se estudia la inductancia creada por la interacción de los campos magnéticos de los conductores de la línea, en particular se aborda los conceptos de Radio Medio Geométrico (RMG) y de Distancia Media Geométrica (DMG), el caso de líneas de transmisión que utilizan conductores compuestos, finalizando el estudio de la inductancia para líneas de transmisión de potencia trifásicas a frecuencia fundamental, con conductores en haz y de varios circuitos. Se evidencia la necesidad de la transposición y su efecto sobre el parámetro de inductancia serie de la línea de transmisión trifásica. Se incluye en este capítulo el cálculo de la inductancia de las líneas de transmisión de potencia por medio de métodos abreviados para el cálculo del parámetro inductivo con el uso de tablas.

### Capítulo 5 Parámetro Capacitivo de Sistemas de Transmisión

Se reserva un Capítulo completo al tratamiento del parámetro capacitivo, debido a lo complejo del tratamiento de ésta, y a los múltiples variables que tiene efecto sobre el mismo. En primera etapa se efectúa un análisis del campo eléctrico que produce un cuerpo cargado, y se estudia cuantitativamente el efecto de estos campos cuasi-estacionarios en la capacitancia del sistema de transmisión. Se establece el efecto que tiene la tierra y los conductores de guarda sobre el parámetro capacitivo de la línea de transporte, para ello se hace uso de la teoría de imágenes, y todo esto con la ayuda del álgebra matricial y se incluye el método de reducción de Kron, como una forma de reducción del orden del problema. Se cierra el estudio de la capacitancia de las líneas de transmisión, con el análisis del comportamiento de la corriente de descarga de la línea. Todo el análisis de la capacitancia se realiza para líneas de transmisión de potencia aéreas de corriente alterna de tipo trifásico a frecuencia fundamental, con el empleo de conductores sencillos, en haz y se finaliza con el uso de varios circuitos.

### Capítulo 6. Operación en Régimen Estacionario de Líneas de Transmisión

En este Capítulo inicialmente se efectúa una clasificación de las líneas de transmisión de potencia aéreas de acuerdo a su longitud: Cortas, Medias y Largas. Es justificada para cada modelo circuital en función a los fenómenos dominantes, los elementos y parámetros presentes en el modelo. Se presentan los modelos circuitales equivalentes  $\Pi$  y  $T$ . Para el caso particular de las líneas de transmisión largas, se incluye el estudio de la ecuación de ondas y su solución en forma de onda viajera, incluyendo la definición de impedancia característica, constante de propagación, etc. Se aborda el problema de transmisión de energía, y se analiza las

características de caída de voltaje, pérdidas de potencia, regulación de voltaje y los efectos de la circulación de potencia reactiva en la regulación. Por último se realiza el análisis de una línea de transmisión larga operando en carga, diagrama del círculo.

## Referencias Bibliográficas Recomendadas

- Briceño, Hildemaro. *Teoría de las Líneas de Transmisión Aéreas de Transmisión de Potencia Eléctrica*. Editorial de la Universidad de Los Andes, 1987.
- EPRI. *Transmission Lines Reference Book, 345 kV and above*. Fred Weiner and Son Printers, Inc. 1975.
- Grainger J., Stevenson W. *Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia*. Mc Graw Hill, Primera Edición, 1996.
- Siegert, Luis A. *Alta Tensión y Sistemas de Transmisión*. Editorial Limusa, 1989.
- CADAFE (1976). *Normas Para Proyecto de línea de Transmisión NL-P*. Dirección de Desarrollo. Gerencia de Proyectos de Líneas de Transmisión. Compañía Anónima de Administración y Fomento Eléctrico.
- *Criterios de Diseño de Líneas de Transmisión a 115 y 230 KV*. Curso de Actualización para Ingenieros Electricistas. Universidad de Los Andes, 1988.
- Hernando Torrealba, R. *Líneas de Transmisión*. Universidad de Carabobo, 1981.
- Raul Marti, *Sistemas de Transmisión*. Apuntes de clases de la Universidad Central de Venezuela, 1979.
- Anderson, P. *Analysis of Faulted Power Systems*. Iowa State Press. 1973.
- Beeman, D (1955). *Industrial Power System Handbook*. Mc Graw Hill. New York. 1955.
- Westinghouse (1964). *Electrical Transmission and Distribution Reference Book*. Pittsburg. EE.UU.
- Carson, J.R. *Wave propagation overhead wires with ground return*. Bell Syst. Tech. Journ, Vol. 5, pp. 539, 1929.

Solo para ser empleado con objetivo de evaluación, o académicos. Prohibido la reproducción total o parcial de este documento.