

Tema 4: Líneas de transporte y distribución

Índice

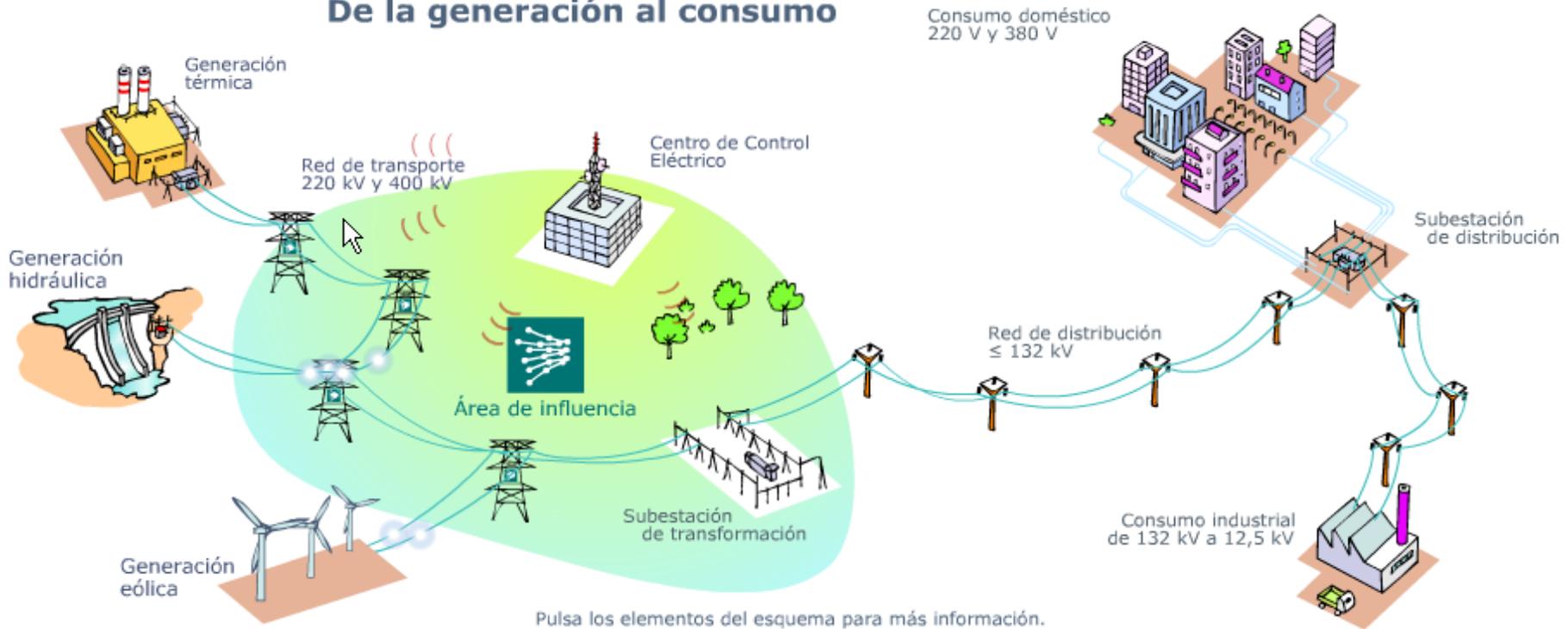
01 Sistema Eléctrico de Potencia

02 Sistema en Valores por Unidad

03 Flujo de Cargas

Sistema Eléctrico de Potencia. Generación, Transporte y Distribución.

De la generación al consumo

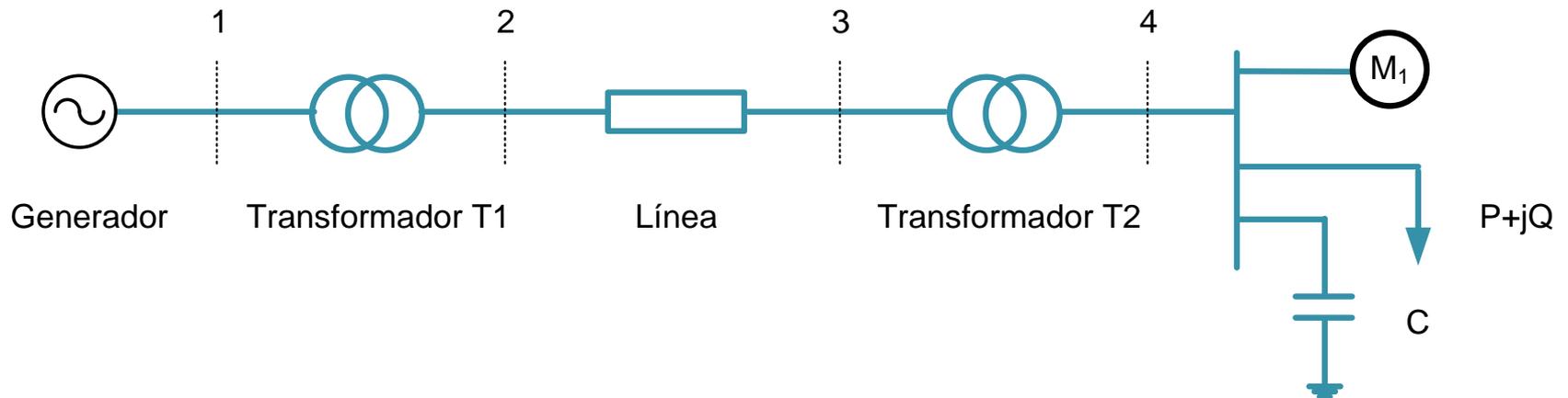


Sistema Eléctrico de Potencia

- Sistema Eléctrico: conjunto de instalaciones, conductores y equipos necesarios para la generación, el transporte y la distribución de la energía eléctrica.
- Elementos básicos:
 - **Generador:** Produce la energía eléctrica que se inyecta al sistema.
 - **Transformador:** Adapta los niveles de tensión de la generación y el transporte.
 - **Línea:** Junto con los transformadores y los elementos de maniobra y protección forman la **red de transporte y distribución** de la red eléctrica.
 - **Cargas:** elementos que consumen la energía generada.

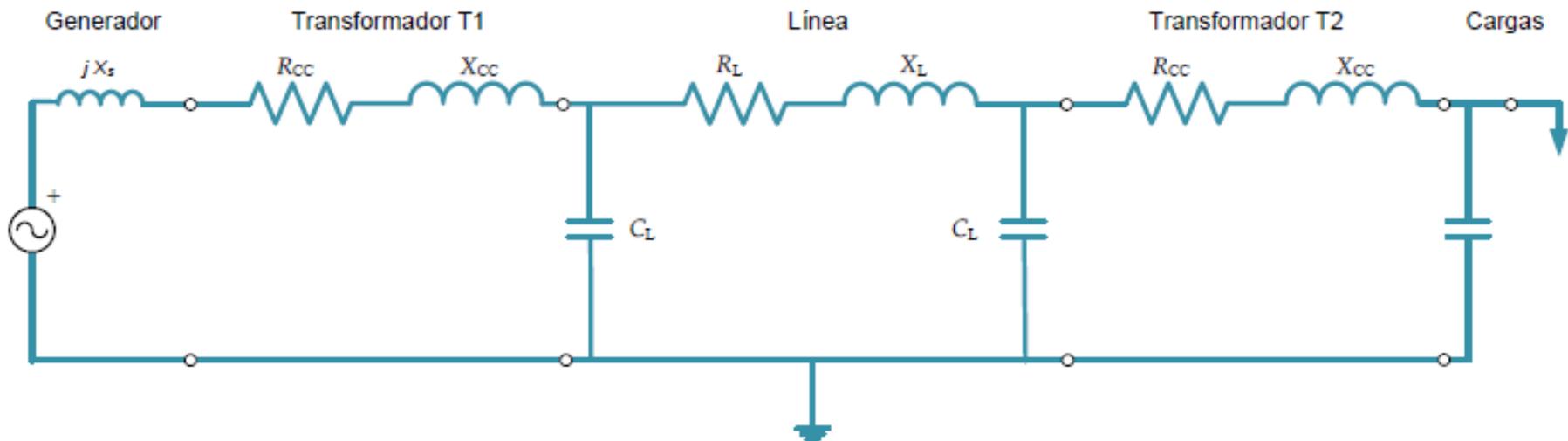
Representación del Sistema Eléctrico de Potencia

- **Diagrama Unifilar:** Representación esquemática del sistema. Se resuelve como un **sistema monofásico**.



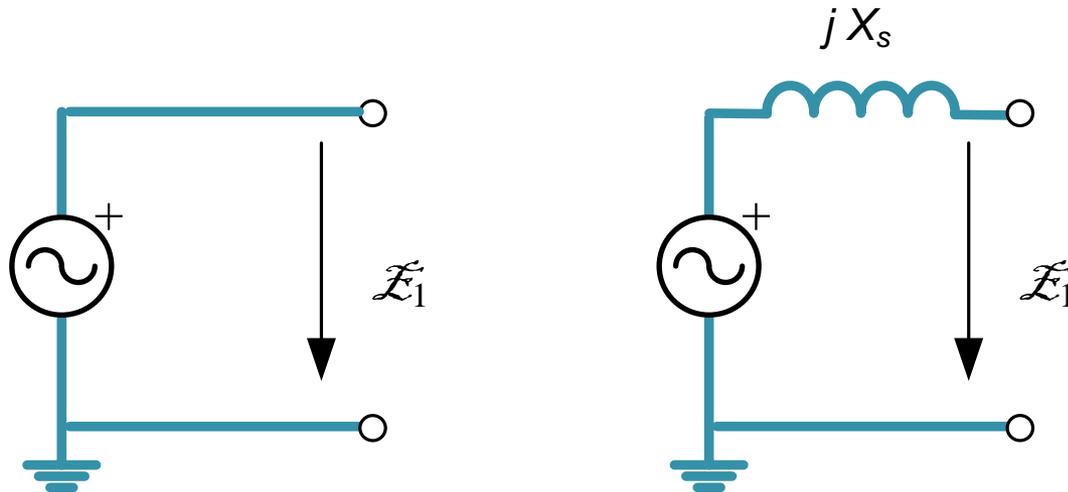
Representación del Sistema Eléctrico de Potencia

- **Diagrama de impedancias y admitancias.** Sustitución de cada elemento del sistema por la impedancia o admitancia según su modelo. El sistema se queda representado por un circuito eléctrico formado por fuentes de tensión e intensidad, por impedancias y admitancias y por consumos de potencia constante.



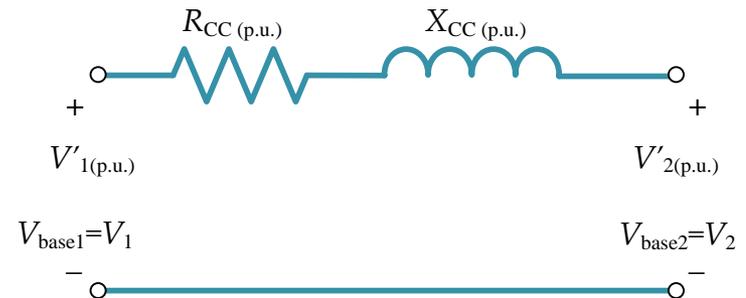
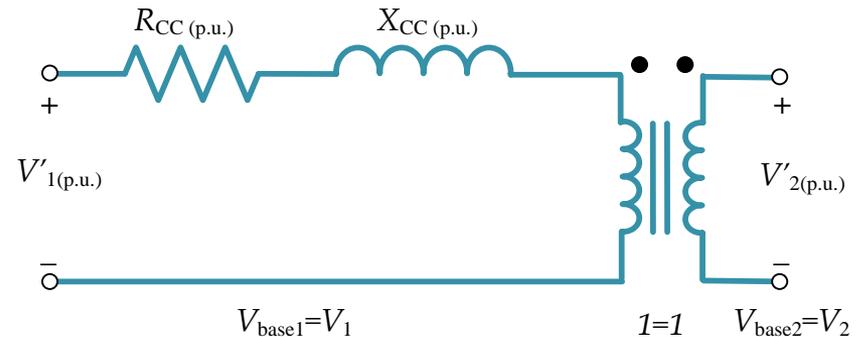
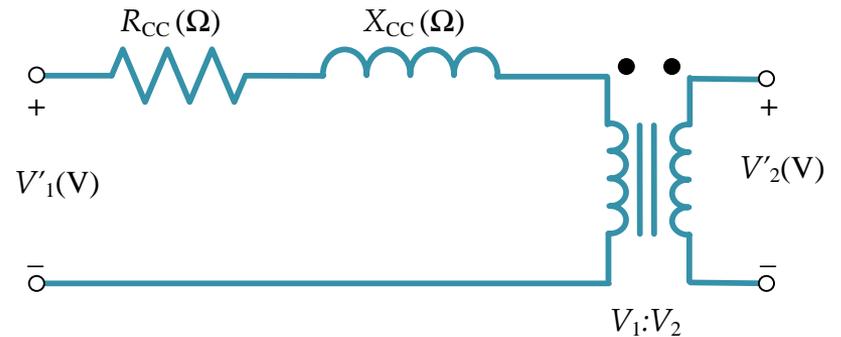
Modelo Eléctrico del Generador

- Mediante una fuente ideal de tensión
- Mediante una fuente real, tensión interna del generador y una reactancia serie, que es la reactancia síncrona X_s



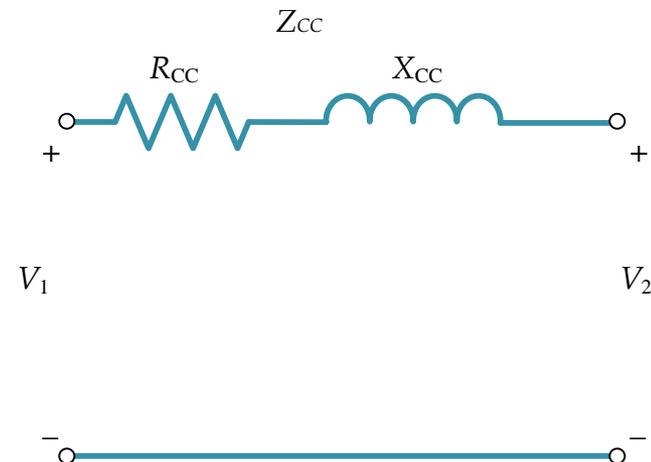
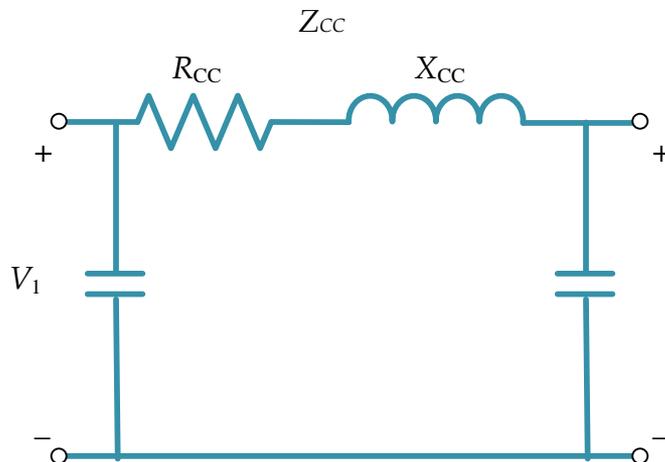
Modelo Eléctrico del Transformador

- Un transformador (trafo) se representa por una **impedancia**, Z_{CC} , que permite calcular las pérdidas y caídas de tensión en el trafo en función de la corriente de carga, en serie con un **trafo ideal**.
- Al representarlo en valores por unidad, el trafo se puede representar mediante su impedancia serie de cortocircuito Z_{CC} .



Modelo Eléctrico de la Línea

- Línea **larga** (longitud > 250 km): Modelos de parámetros distribuidos.
- Línea **media** (longitud superior a 80 km): Modelos de parámetros concentrados mediante su equivalente en π (pi).
- Línea **corta** (longitud inferior a 80 km): Impedancia serie.

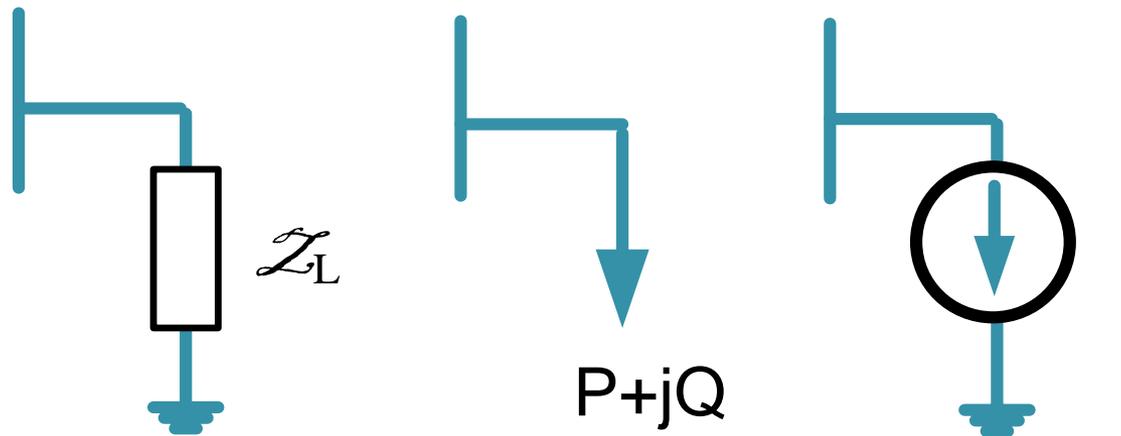


Modelos Eléctricos de las cargas

- **Cargas de impedancia constante.** La potencia que consumen depende de la tensión que haya en cada instante en el nudo al que estén conectadas. Ejemplos: baterías de condensadores o de inductancias.
- **Cargas de potencia constante.** Los valores de P y Q consumidos son constantes, no dependen de la tensión en el nudo. Ejemplos: grandes consumidores, motores eléctricos y otras redes de distribución de menor tensión.
- **Cargas de intensidad constante.** Poco frecuentes. Ejemplos: rectificadores de grandes instalaciones.

Modelos Eléctricos de las cargas

- Cargas de impedancia constante.
- Cargas de potencia constante.
- Cargas de intensidad constante.



Sistema en Valores por Unidad (p.u.)

- Representación del circuito eléctrico de forma **adimensional**.
- Ventaja del sistema **p.u.** frente a %: el producto de dos valores en **p.u.** es directamente un valor en **p.u.** En % hay que dividir por 100.
- Las magnitudes del sistema (potencias, tensiones, intensidades e impedancias) se dividen por un conjunto de valores denominados **valores base** para expresar dichas magnitudes en tanto por uno (**por unidad**) y se representa mediante el símbolo **p.u.**

$$V_{p.u.} = \frac{V_{real}}{V_b} \quad S_{p.u.} = \frac{S_{real}}{S_b} \quad Z_{p.u.} = \frac{Z_{real}}{Z_b} \quad I_{p.u.} = \frac{I_{real}}{I_b}$$

Sistema en Valores por Unidad (p.u.)

Elección de las magnitudes base:

- Se toma un único valor de potencia como **potencia base**, S_b , para todo el sistema.
- Los transformadores delimitan zonas con distintos niveles de tensión, denominadas **secciones**. En una sección se toma una tensión **como tensión base de la sección**, V_b , y, a partir de ella, se determinan las tensiones de base de las demás secciones, conforme a las **relaciones de transformación** nominal, r_t , de los trafos.
- Para cada sección, establecidas la potencia base y la tensión base, se calculan las impedancias o admitancias en valores p.u., mediante la **impedancia base en cada sección**, Z_b , de la zona

$$Z_b = \frac{V_b^2}{S_b} \quad \longrightarrow \quad I_b = \frac{V_b}{Z_b} = \frac{S_b}{V_b}$$

Sistema en Valores por Unidad (p.u.)

Cambio de base:

- Si en una determinada sección se tienen los datos en valores p.u. respecto de unos valores base distintos de los seleccionados para esa sección, se deben **cambiar de base** los datos, para convertirlos en valores p.u. respecto de los valores base fijados para el sistema.

Ejemplo:

En una sección de un sistema se tiene como dato una impedancia $Z_{1p.u.}$ en función de unos valores base $S_{b1}, V_{b1},$ y Z_{b1} . Tras elegir los valores base del sistema, resulta que los valores base para esa sección resultan ser distintos, $(S_{b2}, V_{b2},$ y $Z_{b2})$ Para resolver el sistema deben pasarse todos los datos a los nuevos valores base.

$$Z_{1p.u.} = \frac{Z_{real}}{Z_{b1}}; Z_{2p.u.} = \frac{Z_{real}}{Z_{b2}} \quad \longrightarrow \quad Z_{2p.u.} = Z_{1p.u.} \frac{Z_{b1}}{Z_{b2}} = Z_{1p.u.} \frac{S_{b1}}{V_{b2}^2} = Z_{1p.u.} \frac{V_{b1}^2}{V_{b2}^2} \frac{S_{b2}}{S_{b1}}$$

y de igual manera para $S_{b2p.u.}, V_{b2p.u.}$.

Sistema en Valores por Unidad (p.u.)

Sistemas trifásicos:

- Se toma como potencia base la **potencia aparente trifásica** y como tensión base la **tensión de línea**:

$$S_{b3F} = 3S_b ; V_{blinea} = \sqrt{3}V_b$$

- Se calculan los valores p.u. respecto de estas bases

$$S_{p.u.3F} = \frac{S_{real3F}}{S_{b3F}} = \frac{3 \cdot S_{real}}{3 \cdot S_b} = S_{p.u.} ; V_{p.u.3F} = \frac{V_{real\ linea}}{V_{blinea}} = \frac{\sqrt{3} \cdot V_{real}}{\sqrt{3} \cdot V_b} = V_{p.u.}$$

!!! Los valores p.u. de tensión y potencia son iguales calculados respecto de la base monofásica con tensiones y potencias monofásicas que respecto de la trifásica con tensiones de línea y potencias trifásicas!!!

Sistema en Valores por Unidad (p.u.)

Sistemas trifásicos:

- Para la impedancia base:

$$Z_{b3F} = \frac{V_{b\text{linea}}^2}{S_{b3F}} = \frac{(\sqrt{3} \cdot V_b)^2}{3 \cdot S_b} = \frac{V_b^2}{S_b} = Z_b$$

!!! Las impedancias base son iguales, y por tanto los valores p.u. de las impedancias calculados respecto de la base monofásica con tensiones y potencias monofásicas que respecto de la base trifásica con tensiones de línea y potencias trifásicas!!!

- Para las corrientes de base se cumplen las siguientes relaciones:

$$I_{b3F} = \frac{S_{b3F}}{\sqrt{3} \cdot V_{b\text{linea}}} = \frac{3 \cdot S_b}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{3} \cdot V_b} = \frac{S_b}{V_b} = I_b$$

$$I_b = \frac{S_{b3F}}{\sqrt{3} \cdot V_{b\text{linea}}}$$

Modelo de Admitancias e Impedancias de la red

$$\begin{bmatrix} \bar{I} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Y} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{V} \end{bmatrix}$$

- Análisis por nodos.

$\begin{bmatrix} \bar{I} \end{bmatrix}$ Vector de Intensidades entrantes en cada nodo

$\begin{bmatrix} \bar{V} \end{bmatrix}$ Vector de tensiones en cada nodo respecto al de referencia.

Valores incógnita.

$\begin{bmatrix} \bar{Y} \end{bmatrix}$ Matriz de admitancias de nodo, resultante del análisis por nodos del circuito que representa el sistema eléctrico monofásico equivalente fase neutro y se representa por $[Y_{bus}]$

- $[Y_{bus}]$ es una matriz simétrica, con dimensiones $n \times n$ siendo n el número de nodos.

Modelo de Admitancias e Impedancias de la red

- Partiendo de una matriz vacía todos los elementos de la matriz $[Y_{bus}]$ se calculan:
 - Elementos de la diagonal Y_{ii} : suma de todas las admitancias conectadas al nodo i
 - $Y_{ik}=Y_{ki}$: suma cambiada de signo de todas las admitancias que unen directamente los nodos i, k

Flujo de Cargas

- Herramienta básica del análisis de los sistemas eléctricos de potencia en régimen permanente.
- Partiendo de la potencia generada y demanda en cada nudo, el flujo de cargas calcula la tensión, en módulo y argumento, que existe en cada nodo del sistema y las potencias que circulan por la red de transporte. De esta forma, se puede analizar el sistema en régimen permanente estable y comprobar si el punto de funcionamiento corresponde a un estado de funcionamiento normal.

Flujo de Cargas

- La potencia activa P y reactiva Q generadas y consumidas en cada nodo, aunque son conocidas, dependen de las tensiones en los nodos, que a su vez son las incógnitas en el modelo de admitancias e impedancias, es decir, el problema de flujo de cargas, así planteado, es un problema no lineal que se resuelve por métodos numéricos iterativos.

La resolución del problema de flujo de cargas, mediante el cálculo de la potencia inyectada en cada nudo $P_i + jQ_i$ y el cálculo de las ecuaciones de flujo de carga, que representan el balance de potencias en el sistema, queda fuera del alcance de este curso....

- [621.313 FRA MAQ] Máquinas Eléctricas. Jesús Fraile Mora. McGraw-Hill. 6ª edición
- [621.3.049 TEO DEC VOL. 1 y 2] Teoría de Circuitos. V. Parra, J. Ortega, A. Pastor, A. Pérez. UNED
- [621.3 TEC ELE] Tecnología Eléctrica. R. Guirado, R. Asensi, F. Jurado, J. Carpio. Mc.Graw-Hill

B

BIBLIOGRAFÍA