

1.3 Representación de los sistemas de potencia

Por: César Chilet

Representación de los SEP

- El comportamiento SEP debe ser:
 - seguido
 - analizadofrente a las contingencias y alteraciones para
 - Un diagnóstico correcto de los efectos
 - Adoptar medidas .
- Por ello, el sistema eléctrico debe ser representado por un modelo adecuado al tipo de estudio.

Diagrama unifilar

- El sistema trifásico se representa por una de las fases y el neutro.
- En este modelo el neutro está ligado a la referencia.
- Frecuentemente el diagrama es más simplificado suprimiéndose el neutro e indicando las partes componente por símbolos normalizados.

19/03/2013

cchilet@tecsup.edu.pe

3

Diagrama unifilar

- Representan simbólicamente el sistema trifásico equilibrado.
- Debe mostrar claramente la topología, y los datos principales del sistema de potencia.
- Dependiendo del tipo de estudio, las informaciones y los contenidos pueden ser diferentes. *Por Ejm: para flujo de potencia, cortocircuito, estabilidad, protección, operación, etc.*

19/03/2013

cchilet@tecsup.edu.pe

4

¿quiénes son representados?

- Máquinas síncronas.
- Transformadores.
- Líneas de transmisión.
- Cargas estáticas o dinámicas.
- también debe incluir:
 - Informaciones sobre cargas
 - Valores nominales de los G, T y reactancias de los diversos componentes.

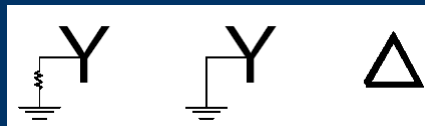
19/03/2013

cchilet@tecsup.edu.pe

5

Neutro

- Es importante conocer también los puntos donde el sistema esta ligado a tierra.
- Tipos de ligaciones:

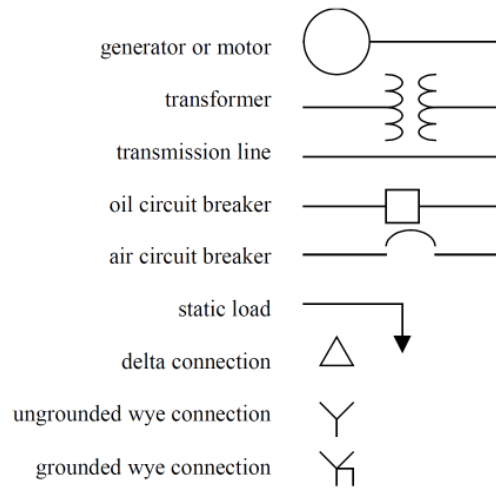


19/03/2013

cchilet@tecsup.edu.pe

6

Símbolos empleados

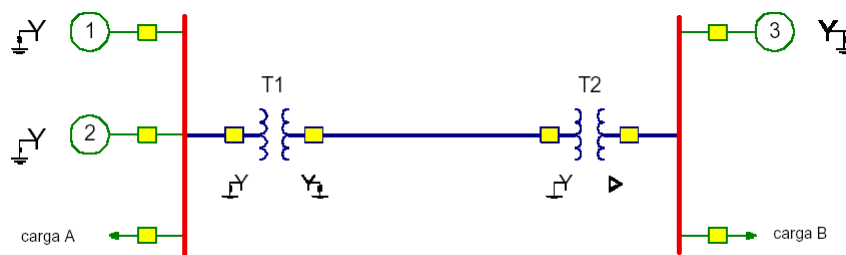


19/03/2013

cchilet@tecsup.edu.pe

7

Diagrama unifilar



19/03/2013

cchilet@tecsup.edu.pe

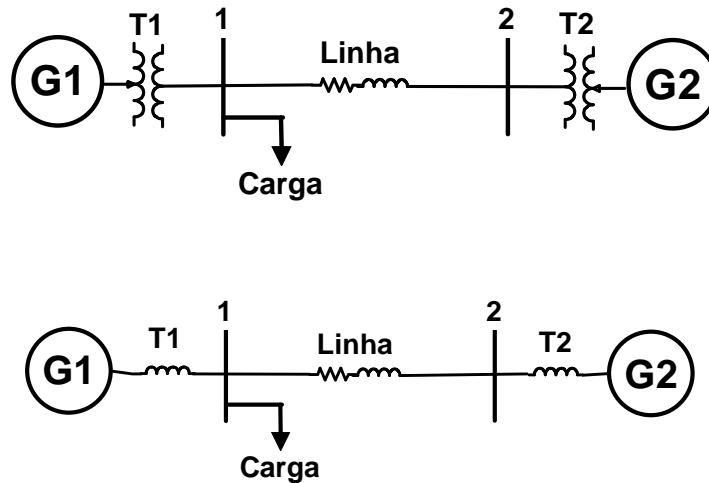
8

Sistema por unidad

Sistema p.u.

- Frecuentemente, el análisis de los sistemas de energía eléctrica en vez de ser utilizadas las unidades originales para las magnitudes relacionadas (U, I, P, etc.) son utilizadas unidades relativas (por unidad o, simplemente, pu), obtenidas a través de la normalización de los valores originales de estas magnitudes (en V, A, W, etc.) por valores preestablecidos para cada magnitud, denominados valores base.

Sistema p.u.



19/03/2013

cchilet@tecsup.edu.pe

11

Objetivos

- Mantener los parámetros del sistema eléctrico dentro de un rango de valores conocidos evitando, por tanto errores groseros.
- Eliminar todos los transformadores ideales del sistema eléctrico.
- La tensión de operación del sistema permanece siempre próxima a la unidad.
- Todas las magnitudes poseen la misma unidad en p.u. (aunque que los valores base sean diferentes para cada una de las magnitudes).

19/03/2013

cchilet@tecsup.edu.pe

12

Valor pu

- Para realizar la transformación de las magnitudes para pu basta dividir el valor de estas por su valor base, ósea:

$$\text{valor en pu} = \frac{\text{Valor actual}}{\text{Valor base}}$$

- El valor base debe ser un número real; el valor actual puede ser un número complejo (si fuera utilizada la forma polar, se transforma apenas la magnitud del valor, manteniéndose el ángulo de la unidad original).

Valores base

El sistema en por unidad tiene por lo menos 4 cantidades base.

- S_B : potencia base (potencia 3ϕ), arbitrario.
- V_B : tensión base (tensión de línea), valor nominal.
 I_B y Z_B son dependientes de S_B y V_B .
- I_B : Corriente de línea.
- Z_B : Impedancia de fase

Valores relativos

$$S_{pu} = \frac{S}{S_B}$$

$$V_{pu} = \frac{V}{V_B}$$

$$I_{pu} = \frac{I}{I_B}$$

$$Z_{pu} = \frac{Z}{Z_B}$$

Potencia base (S_B)

- El valor base definida para todo el sistema de energía eléctrica es la potencia eléctrica, $S_{3\phi BASE}$ (generalmente 100 MVA).

$$S_{\phi BASE} = \frac{S_{3\phi BASE}}{3} \Leftrightarrow S_{3\phi BASE} = 3 \cdot S_{\phi BASE} \quad (\text{MVA})$$

Tensión base V_B

- La tensión base, V_{BASE} , generalmente corresponde a la tensión nominal del sistema en una región de interés:

$$V_{\phi BASE} = \frac{V_{L BASE}}{\sqrt{3}} \Leftrightarrow V_{L BASE} = \sqrt{3} \cdot V_{\phi BASE}$$

19/03/2013

cchilet@tecsup.edu.pe

17

Corriente base I_B – Impedancia base Z_B

- La corriente base, I_{BASE} , y la impedancia base, Z_{BASE} , son obtenidas a partir de la potencia y tensión base.

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot V_B}$$
$$Z_B = \frac{V_B}{\sqrt{3} \cdot I_B} = \frac{(V_B)^2}{S_B}$$

19/03/2013

cchilet@tecsup.edu.pe

18

Relaciones en por unidad

- Seleccionando S_B (arbitrario) y V_B (valor nominal):

$$I_{PU} = \frac{I_L}{I_B} = \frac{\left(\frac{S}{\sqrt{3} \cdot V_L}\right)^*}{\left(\frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot V_B}\right)} = \frac{S_{PU}^*}{V_{PU}^*}$$

$$Z_{PU} = \frac{Z_P}{Z_B} = \frac{\left(\frac{3V_P^2}{S}\right)}{\left(\frac{V_B^2}{S_B}\right)} = \frac{\left(\frac{V_L^2}{V_B^2}\right)}{\left(\frac{S}{S_B}\right)} = \frac{V_{PU}^2}{S_{PU}}$$

19/03/2013

cchilet@tecsup.edu.pe

19

Sistema en p.u.

- Las cantidades en p.u. cumplen con lo siguiente:

$$S_{PU} = V_{PU} \cdot I_{PU}^*$$

$$V_{PU} = Z_{PU} \cdot I_{PU}$$

- Las cantidades de línea de y de fase en un sistema p.u. son las mismas.

$$V_{PU(L)} = \frac{V_L}{V_{B(L)}} = \frac{\sqrt{3} \cdot V_P}{\sqrt{3} \cdot V_{B(P)}} = V_{PU(P)}$$

19/03/2013

cchilet@tecsup.edu.pe

20

Cambio de base

- Operación bastante frecuente en la modelación de los sistemas eléctricos es el cambio de valores base de las impedancias.
- Por ejemplo, la necesidad de cambio de base y la compatibilización del valor de las impedancias de los transformadores (%), teniendo como valores base la potencia nominal del equipo y la tensión nominal de los arrollamientos.

19/03/2013

cchilet@tecsup.edu.pe

21

Cambio de base

- Recalcular el valor por unidad usando una nueva base.

$$Z_{PU}^V = \frac{Z}{Z_B^V}$$

$$Z_{PU}^N = \frac{Z}{Z_B^N} = \frac{Z_{PU}^V \cdot Z_B^V}{Z_B^N} = Z_{PU}^V \cdot \frac{\left(\frac{V_B^V}{V_B^N}\right)^2 \cdot \frac{S_B^V}{S_B^N}}{S_B^N}$$

$$Z_{PU}^N = Z_{PU}^V \cdot \left(\frac{S_B^N}{S_B^V}\right) \cdot \left(\frac{V_B^V}{V_B^N}\right)^2$$

19/03/2013

cchilet@tecsup.edu.pe

22

Ventajas del sistema en p.u.

- Los fabricantes especifican normalmente en % o en p.u. las Z , como los que aparecen en la placa de un transformador (primario o secundario) y generador.
- Los valores en p.u. son similares para máquinas del mismo tipo aún dentro de un gran amplio rango de capacidad.

19/03/2013

cchilet@tecsup.edu.pe

23

Ventajas del sistema en p.u.

- Las Z en p.u. de los transformadores no dependen del lado que se esté analizando.
- La forma en que los transformadores se conectan en los sistemas 3ϕ no afectan a los valores de Z p.u., aunque la conexión es la que determina la relación de transformación entre las tensiones base del transformador

19/03/2013

cchilet@tecsup.edu.pe

24

Procedimiento...

1. Definir S_B para todo el sistema.
2. Identificar las diferentes zonas de tensión.
3. Definir para una "cualquier" zona una tensión base.
4. Para las restantes zonas definir las bases de tensión teniendo en consideración las relaciones de transformación.
5. Calcular las restantes bases (Z, I) para cada zona a partir de S_B y V_B – si es necesario.

19/03/2013

cchilet@tecsup.edu.pe

25

Procedimiento

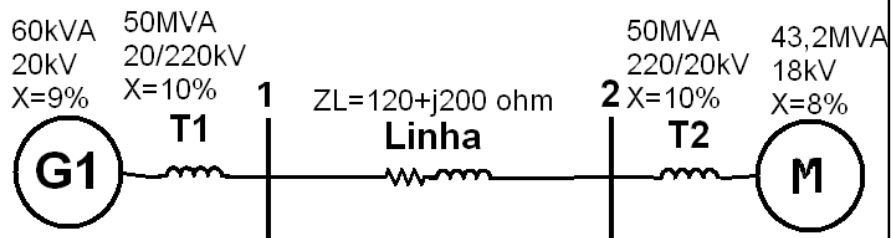
6. Convertir todos los datos necesarios a valores p.u.
7. Proceder con todos los cálculos necesarios y resolver el problema.
8. Convertir todos los resultados en p.u. a las respectivas unidades.

19/03/2013

cchilet@tecsup.edu.pe

26

Ejercicio 1

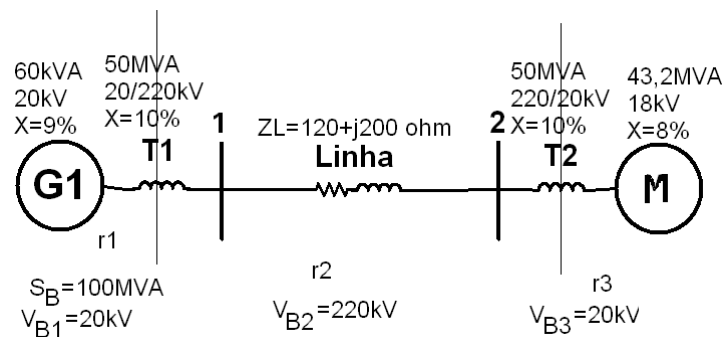


19/03/2013

cchilet@tecsup.edu.pe

27

Ejercicio 1



19/03/2013

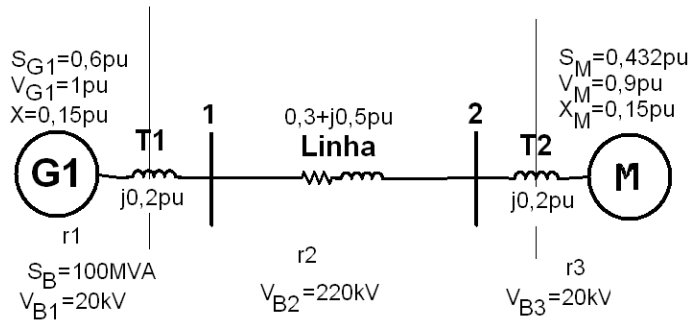
cchilet@tecsup.edu.pe

28

Ejercicio 1

- Cambio de base para las impedancias

$$Z_{pu2} = Z_{pu1} \frac{(V_{B1})^2}{(V_{B2})^2} \frac{S_{B2}}{S_{B1}}$$

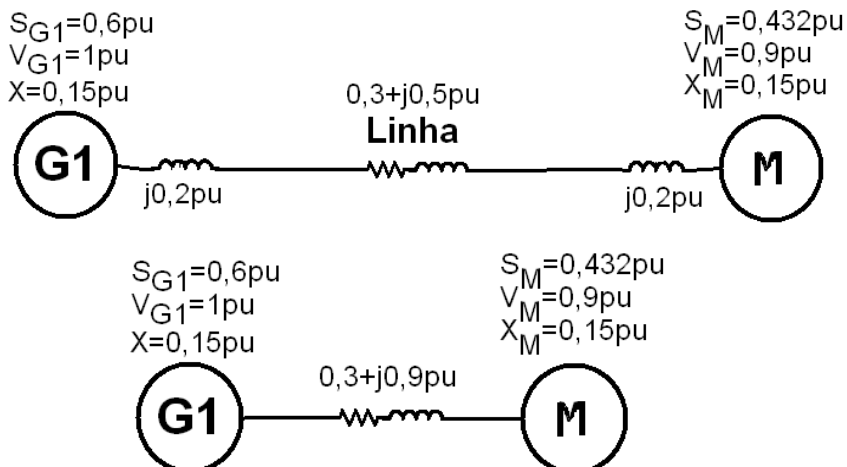


19/03/2013

cchilet@tecsup.edu.pe

29

Ejercicio 1



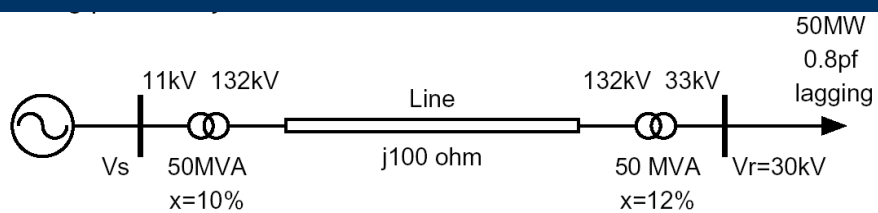
19/03/2013

cchilet@tecsup.edu.pe

30

Ejercicio 2

- Encontrar la tensión de envío V_s usando el sistema en *p.u.*
- Teniendo como base común a 100 MVA. Usar, las tensiones nominales del transformador como tensiones base.



19/03/2013

cchilet@tecsup.edu.pe

31