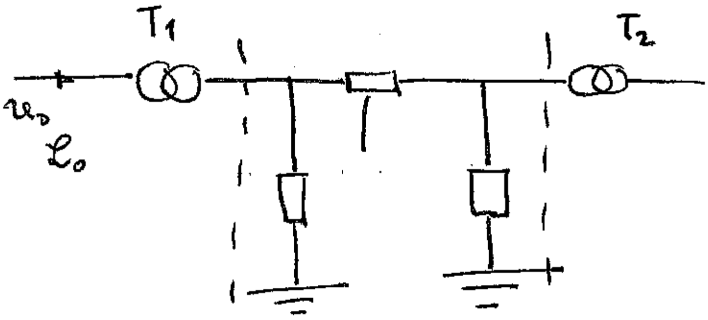
• Ejercicio: dada la red:



línea: $\underbrace{l = 50\ km}_{\text{Parámetros concentrados}}$, $Z = 0{,}1 + 0{,}35j\ \Omega/km$, $Y = 2{,}64 \cdot 10^{-5} j\ S/km$

$T_1 \rightarrow$ elevador: 20/66 kV, 10 MVA, $\varepsilon_{cc} = 10\%$

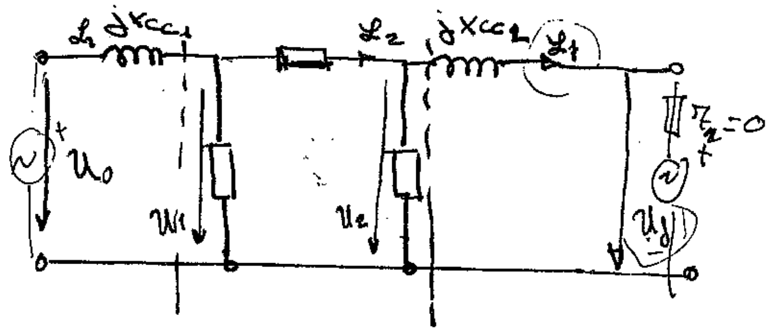
$T_2 \rightarrow$ reductor 66/6,6 kV, 10 MVA, $\varepsilon_{cc} = 10\%$

$U_f = 6{,}6$ kV
$S_f = 7{,}5$ MVA $\rightarrow I_f =$
$\cos\varphi = 0{,}8$ ind

¿U_0, I_0?

Resolvemos mediante el diagrama de impedancias tomando como tensión de referencia la tensión de línea (66 kV)

1) obtener diagrama de impedancias.



dividiendo la red en 3 fases se tienen 3 cuadripolos en serie.

La salida del primero es la entrada del segundo. El concepto es el mismo que el de la yuxtaposición pero entre 3 cuadripolos distintos.

$$\begin{bmatrix} U_0 \\ I_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix}$$ → primer cuadripolo: transformador

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_l & B_l \\ C_l & D_l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_2 \\ I_2 \end{bmatrix}$$ → segundo cuadripolo: línea entre

$$\begin{bmatrix} U_2 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A' & B' \\ C' & D' \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_f \\ I_f \end{bmatrix}$$ → tercer cuadripolo: ~~línea~~ transformador

tensión de referencia: 66 kV

relación de transformación lado de baja $T_1 \Rightarrow 6{,}6\ kV = a \cdot 66\ kV$

relación de transformación impedancias lado de baja $\Rightarrow$

$$V = Z \cdot I \rightarrow a V' = Z \frac{I'}{a} \Rightarrow a^2 \frac{V'}{I'} = Z ;\ a^2 Z' = Z \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Z' = \frac{Z}{a^2} \rightarrow \left\{ B' = j x_{cc} \cdot \frac{1}{\left(\frac{6{,}6}{66}\right)^2} = \right.$$

• relación de transformación lado de baja $T_1 \Rightarrow V_0 = a \cdot 66\ kV$

¿no se conoce? sí, vale 20

$$\cdot\ Z' = \frac{Z}{a^2} \Rightarrow \left\{ B = j x_{cc} \cdot \frac{1}{\left(\frac{20}{66}\right)^2} = \right.$$

$j x_{cc} =$

Simple de fase | compuesta de línea

$\times\sqrt{3} \rightarrow$

T_2

$$\begin{bmatrix} U_2 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & jX_{cc_2} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_f \\ I_f \end{bmatrix}$$

$$X_{cc_2} = \frac{0{,}1\,[66\text{ kV}]^2}{10\cdot 10^6} = 43{,}56$$

Cálculo de U_0, I_0:

$$\begin{bmatrix} U_0^1 \\ I_0^1 \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & j43{,}56 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0{,}98_{\lfloor 10{,}19} & 18{,}20_{\lfloor 74{,}05} \\ 13\cdot 10^{-4}{}_{\lfloor 90} & 0{,}98_{\lfloor 10{,}19} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & j43{,}56 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot$$

$$\cdot \begin{pmatrix} U_f \\ I_f \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 38{,}11\cdot 10^3{}_{\lfloor 0} \\ 65{,}61_{\lfloor -36{,}87} \end{pmatrix} = \begin{cases} U_0' = 40{,}\cancel{00}10^3 \cdot \frac{20}{66} \lfloor 7{,}52 \Rightarrow U_0' = \cancel{40{,}00} \; 12{,}14 \; 11{,}5\,2 \text{ kV} \\ I_0' = 50{,}76_{\lfloor 15{,}44} \cdot \frac{66}{20} \Rightarrow I_0' = \cancel{50{,}76} \; 167{,}508 \text{ A}_{\lfloor 15{,}44} \end{cases}$$

$$U_f = \frac{66\text{ kV}}{\sqrt{3}} = 38{,}11\cdot 10^3{}_{\lfloor 0}$$

ojo, conjugado

$$I_f^{*} = \frac{\sqrt{3}S_f}{3U_f} = \frac{7{,}5\cdot 10^{6}{}^{3}_{\lfloor 136{,}87}}{\sqrt{3}\,66\text{ kV}} = 65{,}61_{\lfloor 136{,}87} \text{ A}$$

10^3

$$I_f = 65{,}61_{\lfloor -36{,}87}$$

$$S_f = \sqrt{3}\,U_f\,I_f^{*}$$

valor nominal

$$U_f = \frac{U_{fl}}{\sqrt{3}}$$

$\times 3 \downarrow$ para valor nominal

$$U_{f_n} = 3\cdot U_f = \sqrt{3}\,U_l$$

U_0 en cabecera (nominal, compuesta, línea) $= 21{,}03$ kV

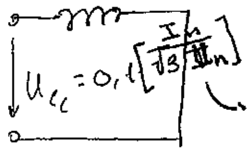
Matrices:

$\underline{T_1}$

$$\left.\begin{array}{l} U_0 = U_1 + jX_{cc}I_1 \\ I_0 = I_1 \end{array}\right\} \begin{bmatrix} U_0 \\ I_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & jX_{cc_1} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix}$$

$$X_{cc_1} = j43{,}56\,\Omega$$

$$\varepsilon_1 = 0{,}1$$



$$\varepsilon_c = \frac{U_{cc,n}}{U_{n}} = \frac{\sqrt{3}\cdot I_{n_1}\cdot Z_{cc}}{U_{n_1}} \Rightarrow Z_{cc} = \varepsilon_c \frac{U_{n_1}\cdot U_{n_1}}{\sqrt{3}\,I_{n_1}\,U_{n_1}} = \varepsilon_c \frac{U_{n_1}^2}{S_1} = 0{,}1\cdot\frac{(66\cdot10^3)^2}{10\cdot10^6} =$$

$$= 43{,}56\,\Omega$$

Línea:

$$A = \frac{Z_t \cdot Y_t}{2} + 1 = \frac{236\cdot10^{-4}}{2}\,|164{,}05 + 1 = 0{,}98 + j\,3{,}25\cdot10^{-3} = 0{,}98\,|0{,}19$$

$$B = Z_t = 18{,}20\,|74{,}05$$

$$C = \frac{Z_t\cdot Y_t^2}{4} + Y_t = 7{,}8\cdot10^{-6}\,|254{,}05 + 13\cdot10^{-4}\,|90 = -2{,}11\cdot10^{-6} + j\,13\cdot10^{-4} =$$

$$= 13\cdot10^{-4}\,|90{,}1$$

$$D = A =$$

$$Z_t = 5 + j17{,}5 = 18{,}20\,|74{,}05$$

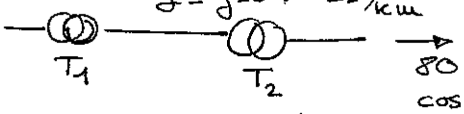
$$Y_t = j13\cdot10^{-4} = 13\cdot10^{-4}\,|90$$

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} 0{,}98\,|0{,}19 & 18{,}20\,|74{,}05 \\ 13\cdot10^{-4}\,|90{,}1 & 0{,}98\,|0{,}19 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} U_2 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

Ejercicio parámetros distribuidos:

$\bar{Z} = 0{,}0315 + j0{,}2902 \ \Omega/km$

$\bar{y} = j20\cdot 10^{-6} \ \Omega/km$



80 MVA

$\cos\varphi = 0{,}8$ ind

T1	T2	
20/380 kV	380/66 kV	referencia: 380 kV (línea)
125 MVA	100 MVA	
$\varepsilon_{cc} = 15\%$	$\varepsilon_{cc} = 12\%$	

matriz
$$\begin{pmatrix} \cosh \theta & Z_c \operatorname{senh} \theta \\ y_c \operatorname{senh} \theta & \cosh \theta \end{pmatrix}$$

Tema 3: Cálculo de cortos asimétricos:

Introducción a los transitorios eléctricos

régimen transitorio → variación de estado del sistema producidos normalmente por agentes **externos** que pueden llevar al sistema a un estado de emergencia.

→ según el tiempo de duración:
- a) ultrarrápidos
- b) rápidos
- c) lentos.

* transitorio * → cambio en el sistema de un estado a otro

- **ultrarrápido** (microsegundos)
  - muy corta duración
  - las magnitudes eléctricas asociadas son de muy corta duración ⇒ - modelos con parámetros distribuidos incluso en líneas de $l < 150$ km
  - Muy alta frecuencia → - modelos que consideren variación de las bobinas y condensadores con la frecuencia.
  - Resistencia atenúa el fenómeno.
  - las protecciones contra sobretensiones (autovalvulares) o aisladores que rompan el dieléctrico permiten descargas a tierra que atenúan el fenómeno.
  - rayo sobre una línea
- **rápidos** (3-10-15 ciclos)
  - cambios no deseables del estado de la red
  - cortocircuitos
    - x trifásicos → simétrico → modelable unifilar y concentr.
    - x monofásico → asimétrico → derivación
    - x bifásico → asimétrico
      - o normal → entre 2 fases (aislado de tierra)
      - o contacto a tierra → entre 2 fases y a tierra
  - → forma de onda
    - x en un pico de tensión:
      - valor muy elevado inicial
      - se atenúa hasta régimen permanente
    - x en valor 0:
      - directo al régimen ~~transitori~~ permanente de cc
    - → El valor máximo es:

      $1{,}8 \cdot I_{pico_{cc\,\text{régimen permanente}}} = 1{,}8 \sqrt{2}\, I_{cc\,\text{régimen permanente}}$

      es lo que hay que calcular
- **Lentos** (100 ciclos, 200, 300) → afectan a la estabilidad del sistema
  - variaciones bruscas de generación o consumos

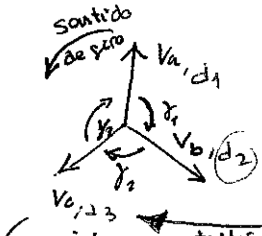
- métodos de resolución de circuitos
  - basados en ec. nodales
    - 1ª ley
      - métodos de los nudos
      - métodos de grupos de corte
  - basados en ec. de lazos
    - 2ª ley
      - mallas
      - lazos

o Teoría general de las componentes simétricas:

× Cuando queremos estudiar un desequilibrado simétrico:

× muchos nudos
× matrices no diagonalizables

} métodos anteriores no operativos ⇒ método de componentes simétricas.



↳ sistema trifásico equilibrado:

$|V_a| = |V_b| = |V_c|$

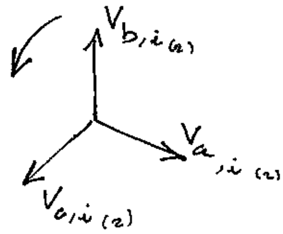
giran a $2\pi f$

$\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3$

sucesión de fases a, b, c → sistema directo

senoides decaladas

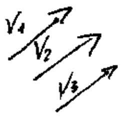
permuto una fase nosotra →



sucesión de fases indirecta   b, a, c
a, c, b

sistema desequilibrado

senoides decaladas



sistema trifásico equilibrado homopolar. Los ángulos entre fasores es 0

senoides coincidentes.

* Definimos el operador a como $a = 1_{|120}$, de forma que se pueden expresar los fasores de las fases b y c en función del fasor de la fase a.

directo	inverso	homopolar
$V_{b_d} = V_{a_d} \cdot a^2$	$V_{b_i} = V_{a_i} \cdot a$	$[V_{a_h} = V_{b_h} = V_{c_h}]$
$V_{c_d} = V_{a_d} \cdot a$	$V_{c_i} = V_{a_i} \cdot a^2$	

* ~~cada~~ uno de estos sistemas quedan representados con la fase a, por lo tanto se les llama componentes fundamentales o componentes simétricas o componentes básicas. *

▶▶ teorema de {Fortescue, Stokes} cualquier sistema trifásico de vectores desequilibrado (que represente una magnitud senoidal) puede descomponerse en la suma de tres sistemas equilibrados
- de secuencia directa
- de secuencia inversa
- de secuencia homopolar.

Demostración Fortescue:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \begin{matrix} = V_{a_d} + V_{a_i} + V_{a_h} \\ = V_{b_d} + V_{b_i} + V_{b_h} \\ = V_{c_d} + V_{c_d} + V_{c_h} \end{matrix} \not\Rightarrow$$

terna de vectores cualquiera