SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA I

Ing. César Chilet León

4 Prácticas
2 examenes

1. Introducción
2. Componentes de un SEP
3. Sistema en P.U.
4. Modelamiento
   * Generador
   * Transformadores
   * L.T.
   * Cargas
   *
5. Calculo de Fallas.

Dalmir Arias

Objetivo:

* Analizar y evaluar la operación delos SEP.
* Emplear modelos matemáticos para representar el desempeño de c/u delos componentes de un SEP.
* Calcular las corrientes de falla q'se representa en un SEP.

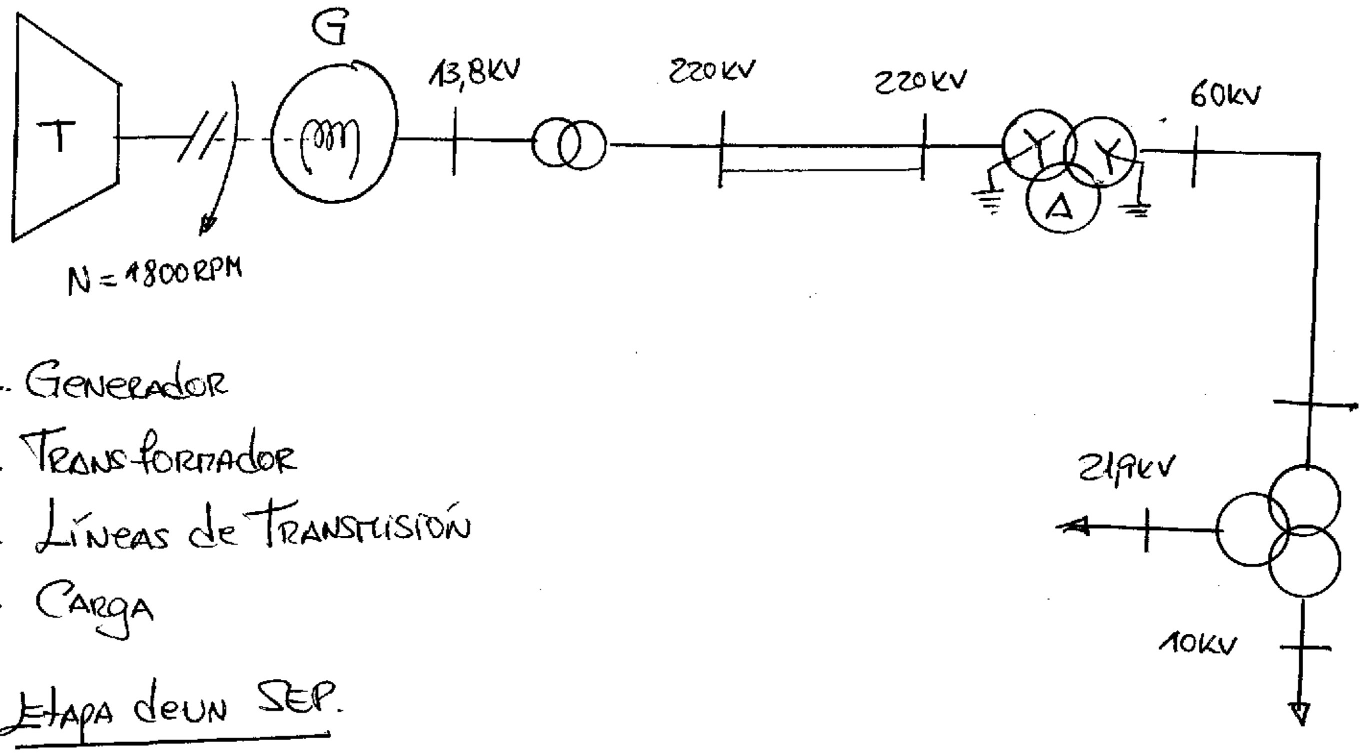
Autor

* Grover Duncan
* Prob. Resueltos. Gomez Expósito
* Khotary
* Wedy
* Hady Sadatt

Introducción

- Se analizará la operación de los SEP en estado estable.
- Los sistemas eléctrico de potencia se encargan de generar, transmitir y distribuir la energía eléctrica, de manera más eficiente y al menor costo económico como ecológico, de la forma y magnitud q' cumpla con los criterios de calidad de la energía.

Componentes de un SEP



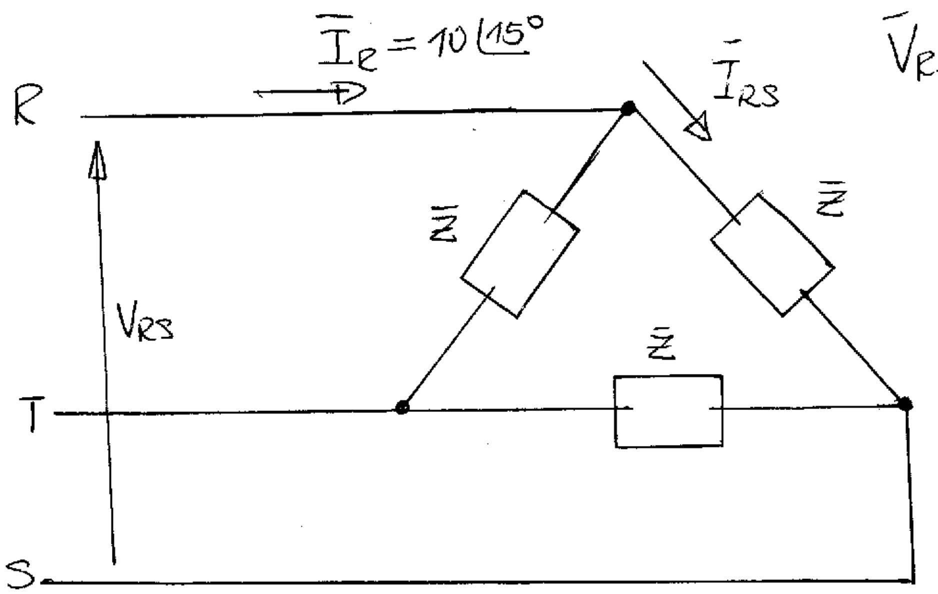
- Generador
- Transformador
- Líneas de Transmisión
- Carga

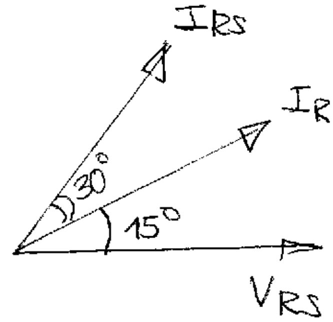
Etapa de un SEP.

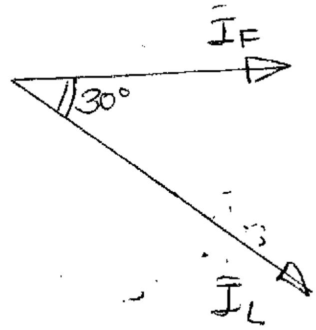
- Generación
- Transmisión
- Subtransmisión
- Distribución
- Utilización

Ejm:

$\bar{V}_{RS} = 60kV\angle 0°$



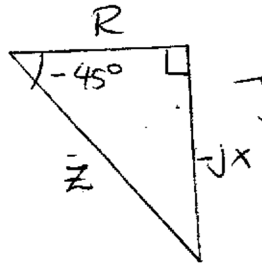




Hallar: a) $\bar{Z}$ b) $\cos\Phi$ c) $P_{3\Phi}$ d) $\bar{S}_{3\Phi}$ e) $Q_{3\Phi}$

a) $\bar{I}_{RS} = \frac{10}{\sqrt{3}}\angle 45° \, (A)$

$\Rightarrow \bar{Z} = \frac{\bar{V}_{RS}}{\bar{I}_{RS}} = \frac{60kV\angle 0°}{\frac{10}{\sqrt{3}}\angle 45°} \Rightarrow \bar{Z} = 6\sqrt{3}\, k\Omega \angle -45°$



Triangulo de Impedancias

b) $\cos\Phi = ?$

$\cos\Phi = \cos(45°) =$

c) $P_{3\Phi} = ?$

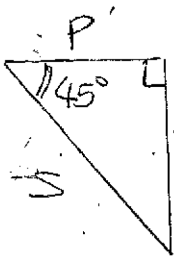
$P_{3\Phi} = \sqrt{3} \times 60 \times 10 \times \cos 45° \, (KW)$

$P_{3\Phi} =$.

d) $\bar{S}_{3\Phi} = 3\,\bar{S}_{1\Phi} = 3 \times \bar{V}_F \times \bar{I}_F^{*}$

$S_{3\Phi} = 3 \times 60kV\angle 0° \times \frac{10}{\sqrt{3}}\angle -45°$

$S_{3\Phi} =$



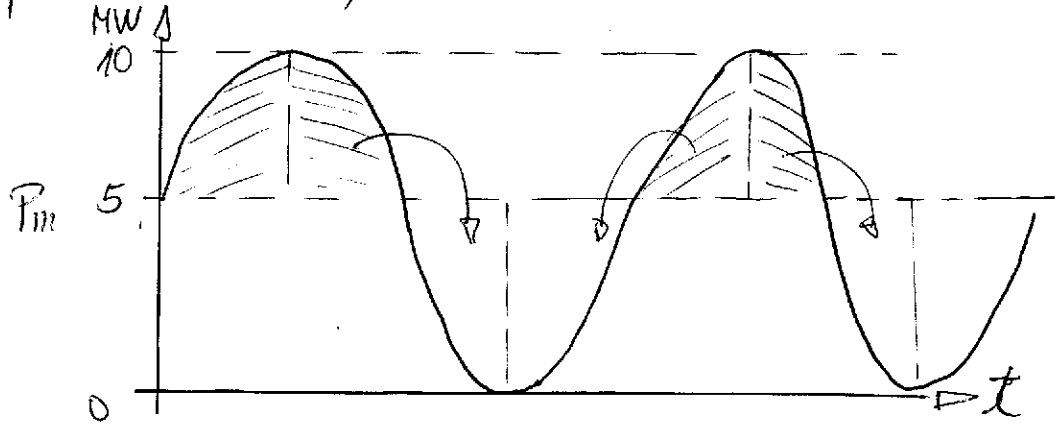
Triangulo de Potencias

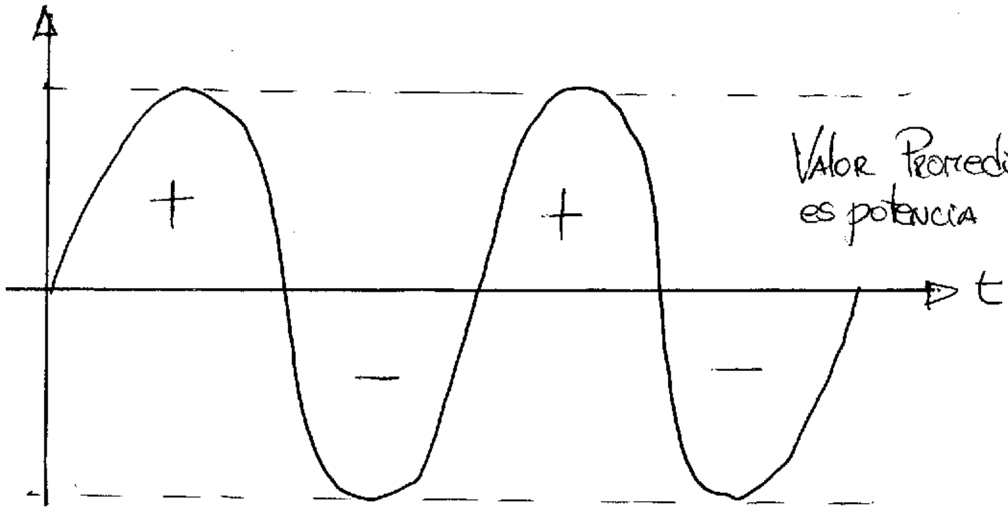
e) $Q_{3\Phi} = \sqrt{S_{3\Phi}^2 - P_{3\Phi}^2}$

$Q_{3\Phi} =$

Ejm:
Se tiene dos ondas de potencia en el tiempo. Identificar ¿Cuál de ellos es potencia activa y cual de ellos es potencia reactiva?

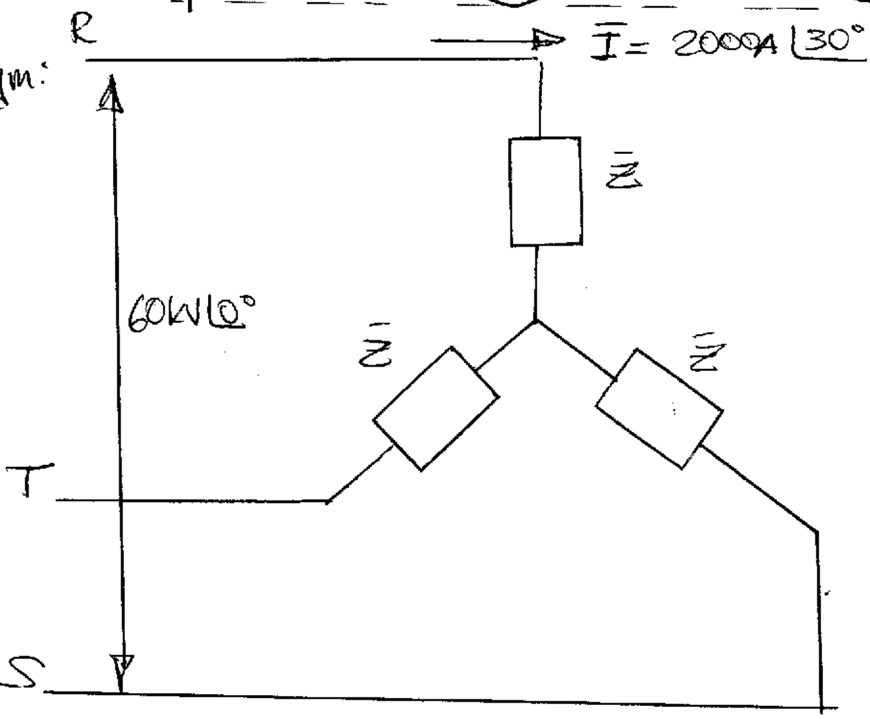
a)





Valor Promedio $= 0 \Rightarrow$ es potencia Reactiva.

Ejm:

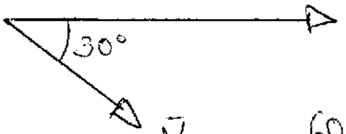


a) $\bar{Z}$

b) $P_{3\phi}$

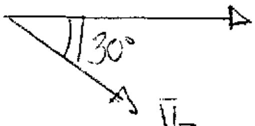
c) $\cos\phi$

d) $\bar{S}_{3\phi}$



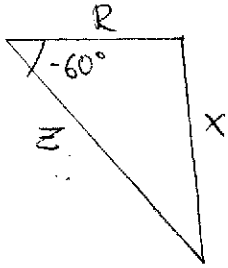
$\bar{V}_{RS} = 60kV\angle 0°$

$\bar{V}_{RN} = \frac{60kV}{\sqrt{3}}\angle -30°$



$\bar{Z} = \frac{\bar{V}_{RN}}{\bar{I}} = \frac{\frac{60kV}{\sqrt{3}}\angle -30°}{2000A\angle 30°}$

$\bar{Z} = \frac{30}{\sqrt{3}}\angle -60°$

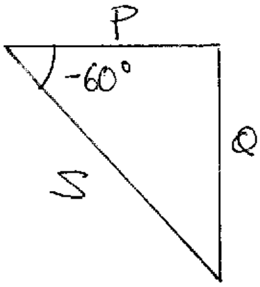


$P_{3\phi} = \sqrt{3} \times 60 \times 2000 \times \cos(60°)\ (kW)$

$\cos\phi = \cos(60°)$ en adelanto

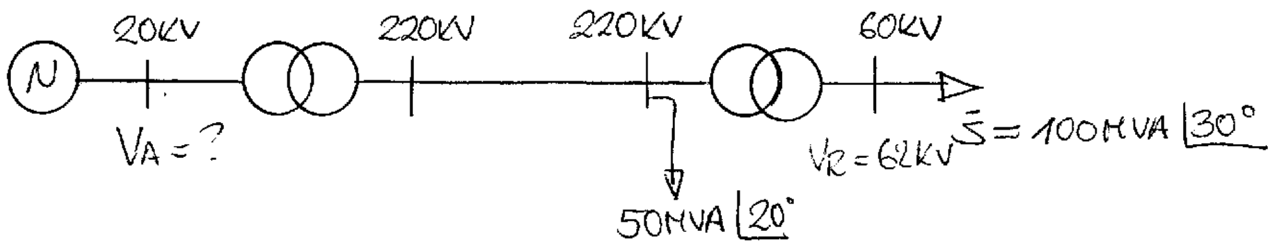
$S_{3\phi} = 3 \times \frac{60kV}{\sqrt{3}}\angle -30° \times 2000A\angle -30°$

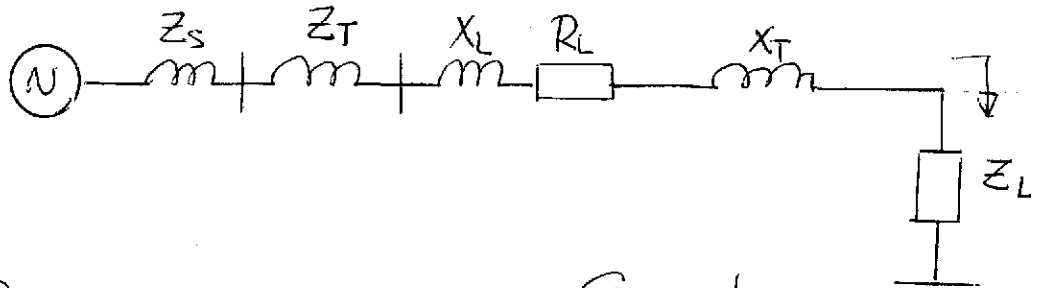
$S_{3\phi} = \qquad \angle -60°$



Sistema por unidad (P.U.)

$$\text{Valor P.U.} = \frac{\text{Valor Real}}{\text{Valor de referencia}}$$



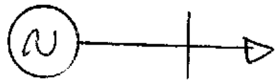


Trafo

U_{cc} (%)	Trafo
12-15%	Potencia
4-6%	Distribución
1%	Medida

$$\boxed{U_{cc}\% = 3\%_{cc}}$$

Generador



$U_N = 13,2\text{KV}$

$S_N = 125\text{MVA}$

$\bar{X}_{S(P.U.)} = ?$

$\bar{X}_{S(\Omega)} = 1,75\Omega$

La impedancia de referencia (Impedancia base)

$$Z_B = \frac{U_N^2}{S_N} = \frac{(13,2\times10^3)^2}{125\times10^6} = \frac{(13,2)^2\times10^6}{125\times10^6}$$

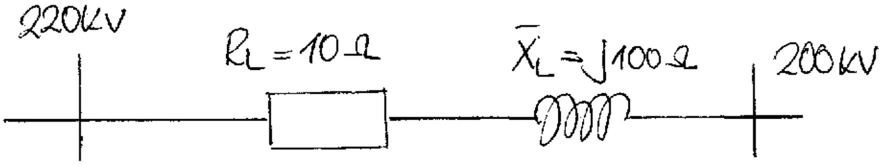
$$Z_B = \frac{(13,2)^2}{125} = 1,3939\Omega$$

Escalar

$$\bar{X}_{S(P.U.)} = j\frac{X_S}{Z_B} = j\frac{1,75}{1,3939} = j1,255\text{ P.U.}$$

$$\bar{X}_{S(P.U.)} = 1,255\text{ P.U.} \angle 90°$$

Línea de transmisión



Ejm: Expresar la impedancia de la Línea en valores P.U. tomando como valores base: 100MVA y 220 KV

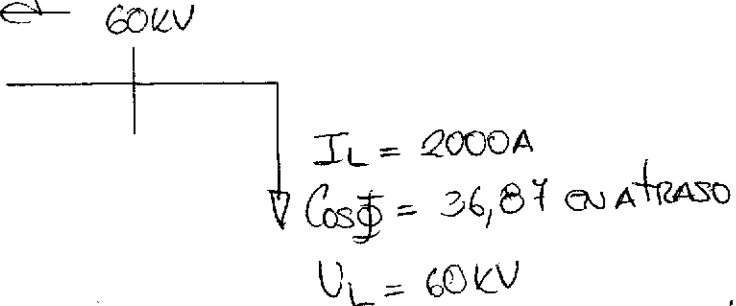
Sol:

$$Z_B = \frac{220^2}{100}(\Omega) = 484\,\Omega$$

$$Z_{L_{P.U.}} = \frac{10 + j100}{484} = (0{,}0207 + j\,0{,}2066)\ P.U.$$

$$Z_L = \frac{10{,}5\,\underline{|84{,}29^\circ}}{484} = 0{,}2076\,\underline{|84{,}29^\circ}\ (P.U.)$$

CARGA



Ejm: Expresar la potencia de la carga en términos de P.U. tomando como valores base: 60KV y 100 MVA

a) De forma cartesiana $(P + jQ)$ P.U.

b) De " polar $\bar{S} = S\,\underline{|\phi}$ (P.U.)

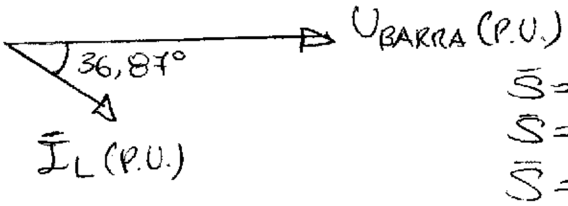
Sol:

$U_{BARRA} = 60KV$

$U_{BASE} = 60KV$

Lo tomamos como referencia

$$\bar{U}_{BARRA_{(P.U.)}} = 1{,}0\,\underline{|0^\circ}$$



$$\bar{I}_{L(P.U.)} = \frac{\bar{I}_L}{I_{BASE}} \quad \ldots(\alpha)$$

$$I_{BASE} = \frac{S_{BASE}}{\sqrt{3} \times U_{BASE}} = \frac{100\,MVA}{\sqrt{3} \times 60KV}$$

$$I_{BASE} = 962{,}25A$$

en (α):

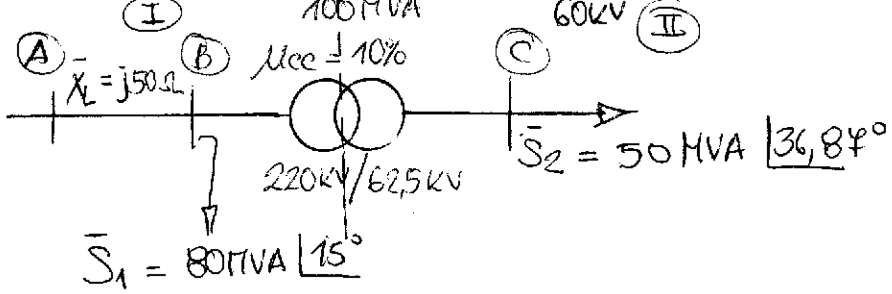
$$\bar{I}_{L\,(P.U.)} = \frac{2000\,\underline{|-36{,}87^\circ}}{962{,}25} = 2{,}078\ P.U.\,\underline{|-36{,}87^\circ}$$

$$\bar{S} = \bar{U}_{P.U.} \times \overset{*}{I}_{L(P.U.)} = 1{,}0\,\underline{|0^\circ} \times 2{,}078_{P.U.}\,\underline{|36{,}87^\circ}$$

$$\bar{S} = 2{,}078\,\underline{|36{,}87^\circ}\ (P.U.)$$

$$\bar{S} = (1{,}663 + j\,1{,}247)\ P.U.$$

Ejm:

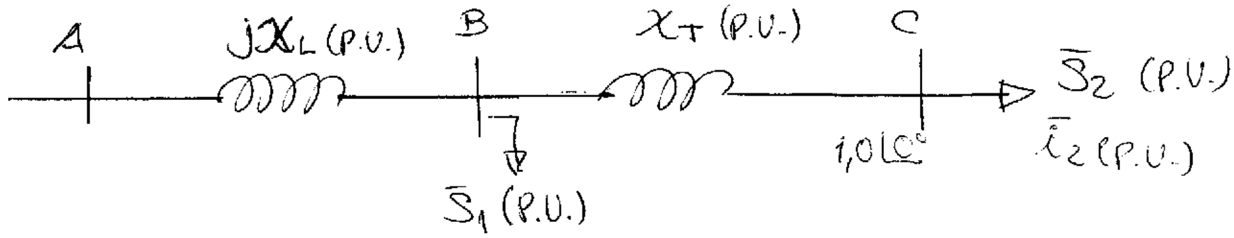


Resolver el circuito

* Tomar como referencia la tensión en la barra "C".

* Tomar como valores base 100MVA y la tensión de la barra "C".

Sol:



Carga S_2:

$\bar{S}_2 = 50MVA \angle 36,87°$

$V_C = 60KV$

$I_2 = \dfrac{S_2}{\sqrt{3} \times 60KV} = 481,13A$

Cálculo de los valores Base

$S_B = 100MVA$

$U_{B_{II}} = 60KV$

$U_{B_I} = U_{B_{II}} \times \dfrac{220}{62,5} = 211,2KV$

Corriente Base

$I_{B_{II}} = \dfrac{100MVA}{\sqrt{3} \times 60KV} = 962,25A$

$I_{B_I} = \dfrac{100MVA}{\sqrt{3} \times 211,2KV} = 273,37A$

Impedancia Base

$Z_{B_{II}} = \dfrac{60^2}{100} = 36\,\Omega$

$Z_{B_I} = \dfrac{(211,2)^2}{100} = 446,05\,\Omega$

VALORES BASE		
ZONA	I	II
U_B	211,2KV	60KV
I_B	273,37A	962,25A
Z_B	446,05Ω	36Ω

Carga 2 en P.U.

$I_{2(P.U.)} = \dfrac{481,13 \angle -36,87°}{962,25}$

$\boxed{I_{2(P.U.)} = 0,5 \angle -36,87°}$

Cálculo U_B

$$\bar{u}_{B\,(P.U.)} = \bar{u}_{C\,(P.U.)} + \bar{i}_2 \times \bar{X}_{T\,(P.U.)} \quad \dots \quad (\alpha)$$

Cálculo de $\bar{X}_{T\,(P.U.)}$

$$\bar{X}_{T\,(P.U.)} = 0{,}1 \times \left(\frac{U_N}{U_{B_I}}\right)^2 \cdot \left(\frac{S_B}{S_N}\right)$$ Cambio de valor base

$$\bar{X}_{T\,(P.U.)} = j\,0{,}1 \times \left(\frac{220}{211{,}2}\right)^2 \cdot (1) = j\,0{,}1085\,(P.U.)$$

en (α):

$$\bar{U}_{B\,(P.U.)} = 1{,}0\angle 0^\circ + 0{,}5\angle{-36{,}87^\circ} \times 0{,}1085\angle 90^\circ$$

$$\bar{U}_{B\,(P.U.)} = 1{,}0\angle 0^\circ + 0{,}05425\angle 53{,}13^\circ$$

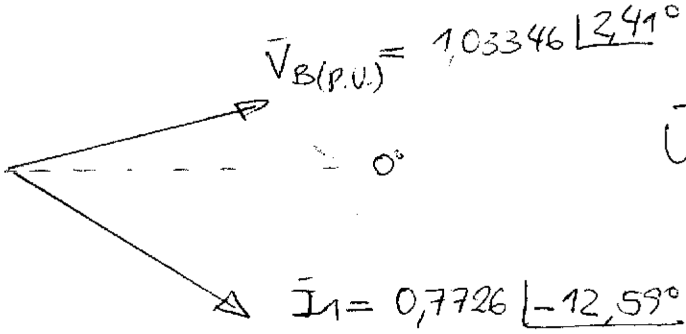
$$\boxed{\bar{U}_{B\,(P.U.)} = 1{,}03346\angle 2{,}41^\circ\,(P.U.)}$$

$$U_B = U_{B\,(P.U.)} \times U_{BI} = 1{,}03346 \times 211{,}6\,kV$$

$$\boxed{U_B = 218{,}68\,kV}$$

$$I_1 = \frac{S_1}{\sqrt{3} \cdot U_B} = \frac{80\,MVA}{\sqrt{3} \times 218{,}68} \Rightarrow \boxed{I_1 = 211{,}21\,A}$$

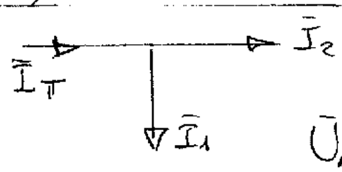
$$I_{1\,(P.U.)} = \frac{211{,}21}{273{,}37} = 0{,}7726\,(P.U.)$$



$$\bar{U}_{A_{PU}} = \bar{U}_{B_{PU}} + \bar{i}_{T_{PU}} \times \bar{Z}_{L_{PU}}$$

$$\bar{Z}_{L_{PU}} = \frac{\bar{Z}_L}{Z_{B_I}}$$

1era Ley de Kirchhoff



$$\bar{I}_T = 0{,}7726\angle{-12{,}59^\circ} + 0{,}5\angle{-36{,}87^\circ}$$

$$\bar{I}_T = 1{,}2454\angle{-22{,}09^\circ}\ _{PU}$$

$$\bar{U}_{A\,(P.U.)} = 1{,}03346\angle 2{,}41^\circ + 1{,}2454\angle{-22{,}09^\circ} \times \frac{50}{446{,}05}\angle 90^\circ$$

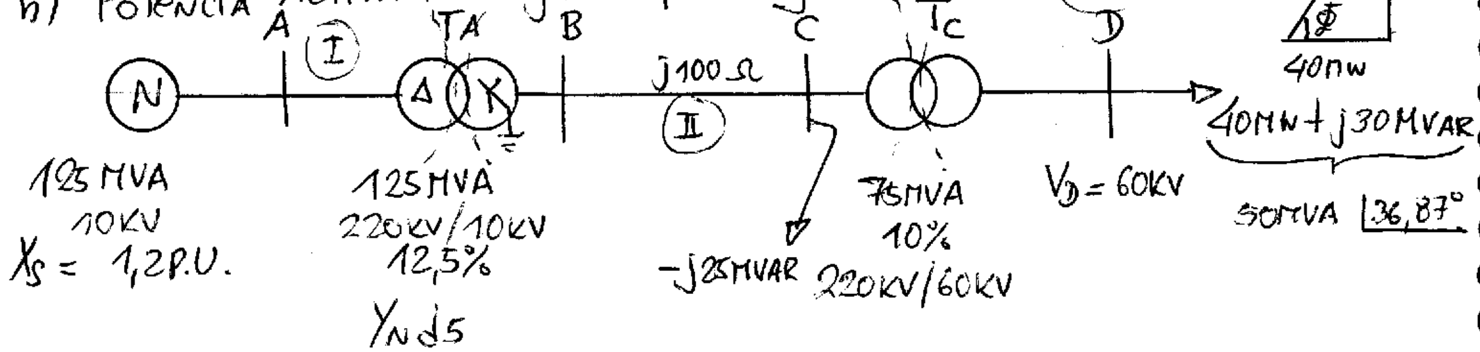
$$\bar{U}_{A\,(P.U.)} = 1{,}0987\angle 9{,}05^\circ$$

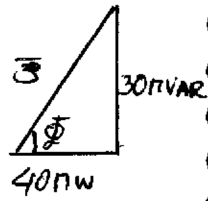
x la tensión base $\boxed{U_A = 232\,kV}$

Ejm:

En el sistema de potencia mostrado, se pide:

a) Determinar el # de zonas
b) Los valores base de c/u de las zonas
c) Las impedancias en P.U. del diagrama unifilar
d) La corriente en P.U. de cargas conectado en la barra D.
e) La tensión en la barra C
f) La corriente por la L.T. en P.U.
g) La tensión en la barra A
h) Potencia Activa entregada por el generador





Asumir: Potencia base = 100MVA
Tensión base = tensión Nominal del Generador = 10KV

Sol:

a) Se define 3 zonas
- Zona de generación
- " de la Línea de Transmisión
- " de la carga.

b) Cálculo de los valores base

S_B = 100MVA

U_{BI} = 10KV $\quad I_{BI}$ = ? $\quad Z_{BI}$ = ?

U_{BII} = ? $\quad I_{BII}$ = ? $\quad Z_{BII}$ = ?

U_{BIII} = ? $\quad I_{BIII}$ = ? $\quad Z_{BIII}$ = ?

Cálculo de las tensiones bases.

$$U_{B_{II}} = U_{B_I} * \frac{220kV}{10kV} = 220kV$$

$$U_{B_{III}} = U_{B_{II}} * \frac{60kV}{220kV} = 60kV$$

$$I_{B_I} = \frac{100MVA}{\sqrt{3} \times 10kV} = 5773,5A$$

$$I_{B_{II}} = \frac{100MVA}{\sqrt{3} \times 220kV} = 262,43A$$

$$I_{B_{III}} = \frac{100MVA}{\sqrt{3} \times 60kV} = 962,25A$$

ZONA	V_B (kV)	I_B (A)	Z_B
I	10	5773,5	1
II	220	262,43	484
III	60	962,25	36

$$Z_{B_I} = \frac{10^2}{100} = 1\Omega$$

$$Z_{B_{II}} = \frac{220^2}{100} = 484\Omega$$

$$Z_{B_{III}} = \frac{60^2}{100} = 36\Omega$$

c) Cálculo de las impedancias en P.U.

Impedancia en P.U. del generador

$$\bar{X}_{G\,p.u.} = j\,1,2\text{ P.U.} \times \left(\frac{10}{10}\right)^2 \times \left(\frac{100}{125}\right) = j\,0,96\text{ P.U.}$$

Impedancia en P.U. del trafo "A"

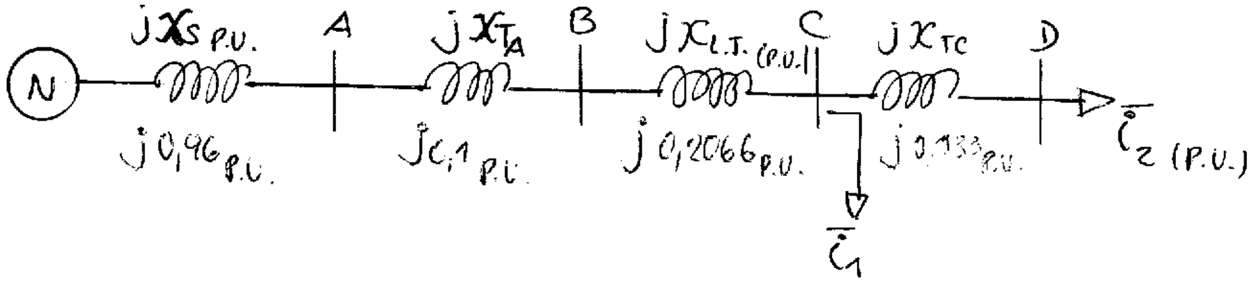
$$\bar{X}_{TA(p.u.)} = j\,0,125 \times \left(\frac{U_N}{U_{B_I}}\right)^2 \times \left(\frac{S_B}{S_N}\right) = j0,1$$

Impedancia en P.U. dela L.T.

$$\bar{Z}_{L.T.(P.U.)} = \frac{j100}{484} = j\ 0{,}2066\ P.U.$$

Impedancia en P.U. del Trafo Tc.

$$\bar{X}_{TC(P.U.)} = j\ 0{,}10\ (1)^2 \times \left(\frac{100}{75}\right) = j\ 0{,}133\ P.U.$$



d) Corriente en P.U. dela carga conectada en la barra "D".
(Tomando como referencia la tensión P.U. dela barra "D")

$$\bar{V}_D = \frac{60KV}{60KV}\angle 0^\circ = 1{,}0\angle 0^\circ\ P.U.$$

$$I_2 = \frac{50MVA}{\sqrt{3} \times 60KV} = 481{,}13A$$

$$\bar{I}_{2(P.U.)} = \frac{481{,}13\ \angle -36{,}87^\circ}{962{,}25} = 0{,}5\angle -36{,}87^\circ\ (P.U.)$$

e) Cálculo $\bar{U}_{C\,(P.U.)}$

$$\bar{U}_{C(P.U.)} = \bar{U}_{D(P.U.)} + \bar{i}_{2(P.U.)} \times \bar{X}_{TC\,(P.U.)}$$

$$= 1{,}0\angle 0^\circ + 0{,}5\angle -36{,}87^\circ \cdot 0{,}13\angle 90^\circ$$

$$\bar{U}_{C(P.U.)} = 1{,}041\angle 2{,}94^\circ\ (P.U.)$$

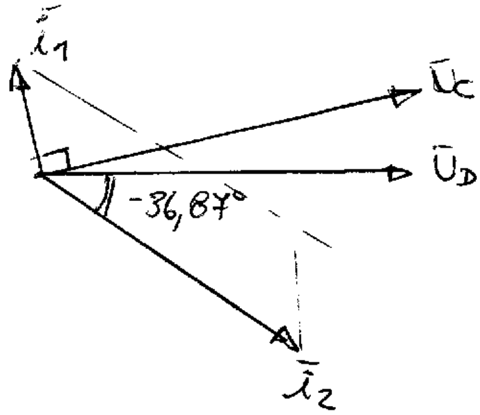
f) Cálculo dela corriente total $(\bar{i}_T)$

$$\bar{i}_T = \bar{i}_1 + \bar{i}_2 \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

* Cálculo dela corriente $\bar{i}_{1\,(P.U.)}$

$$I_1 = \frac{S_1}{\sqrt{3} \times 1{,}041 \times 220KV} = 63{,}024A$$

$$\bar{i}_1 = \frac{63,024}{262,43} \angle 2,94^\circ + 90^\circ$$



$$\bar{i}_1 = 0,24 \angle 92,94^\circ$$

en (1) $\bar{i}_T = 0,24 \angle 92,94^\circ + 0,5 \angle -36,87^\circ$

$$\bar{i}_T = 0,3924 \angle -8,84^\circ \text{ (p.u.)}$$

g) Calculo $\bar{U}_A$

$$\bar{U}_A = \bar{U}_C + \bar{i}_T (j0,1 + j0,2066)$$

$$= 1,041 \angle 2,94^\circ + 0,3924 \angle -8,84^\circ \times 0,3066 \angle 90^\circ$$

$$\bar{U}_A = 1,072 \angle 9,247^\circ \text{ (p.u.)}$$

$$V_A = U_{A\,(p.u.)} \times U_{BI}$$

$$V_A = 10,72 \text{ kV}$$

h) $\bar{S} = \bar{V}_A \times \bar{i}_T^*$

$$= 1,072 \angle 9,247^\circ \times 0,3924 \angle 8,84^\circ$$

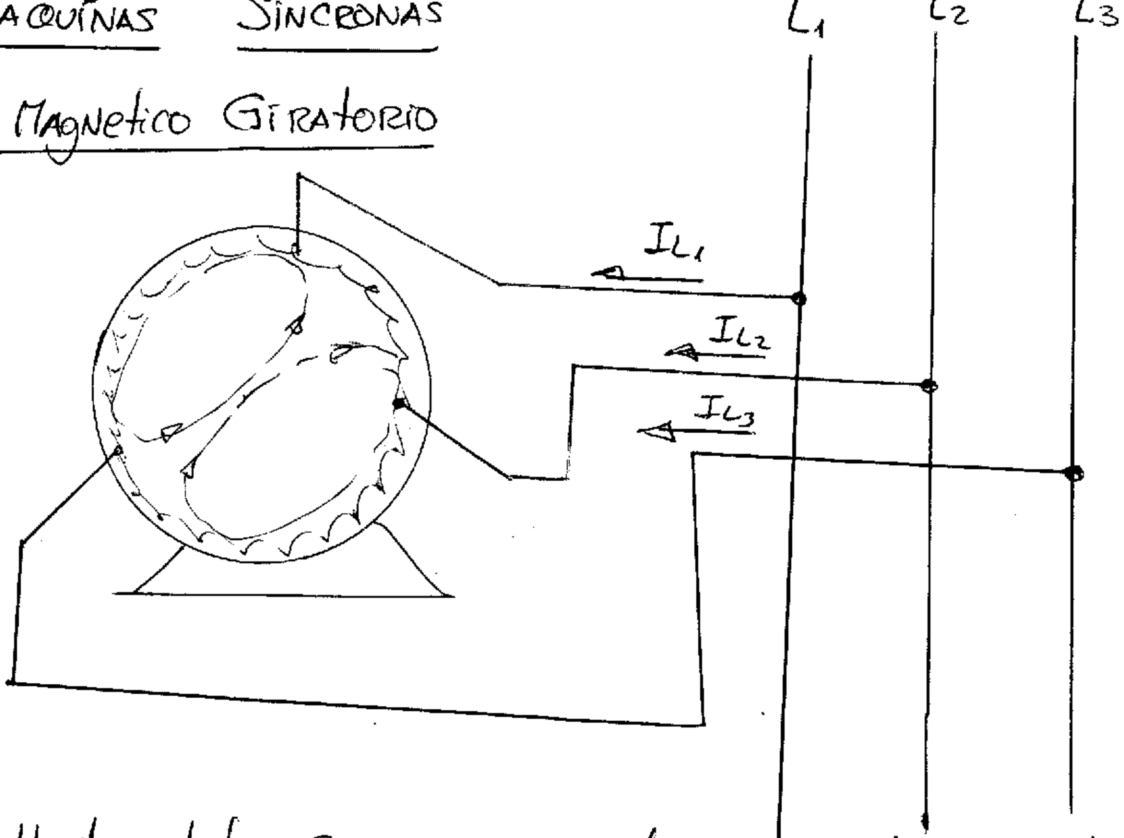
$$\bar{S} = 0,42065 \angle 18,087^\circ$$

$$P = 0,42065 \times \cos(18,087^\circ) = 0,4 \text{ p.u.}$$

$$P = 40 \text{ MW}$$

MÁQUINAS SINCRONAS

(A) Campo Magnetico Giratorio



- Es la resultante de los 3 campos magneticos, creados por c/u de los devanados del estator
- Se caracteriza por ser:
  * De magnitud constante
  * De velocidad y sentido de giro constante
- Velocidad de giro se le denomina Velocidad Sincrona (N_s)

$$\boxed{N_s = \frac{120 \times f}{p}} \ (\text{RPM})$$

$f \rightarrow$ (Hz)

$p \rightarrow$ # de polos

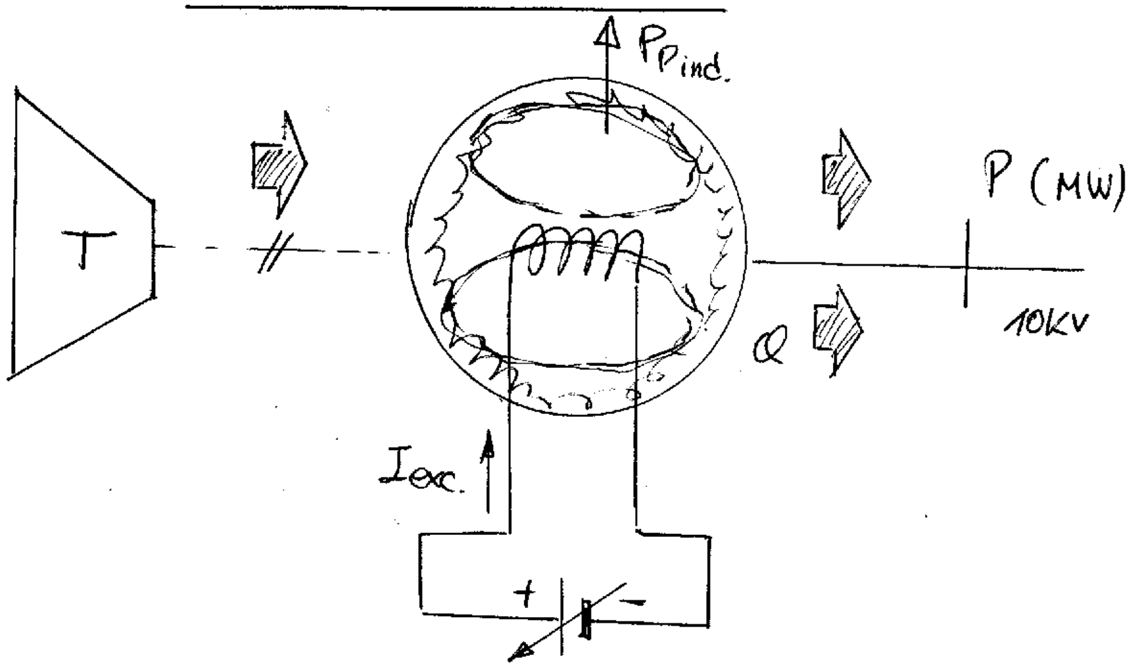
¿Porqué se denomina sincrona?

El rotor gira a la velocidad Sincrona

Formas de Operar:

- Generador Sincróno → Centrales eléctricas
- Motor Sincrono → Generalmente se emplea para accionar grandes Cargas. Por ejemplo: el molino SEG de Antamina
- Compensador Síncrono → { C → Sobreexcitado ; L → Subexcitado }

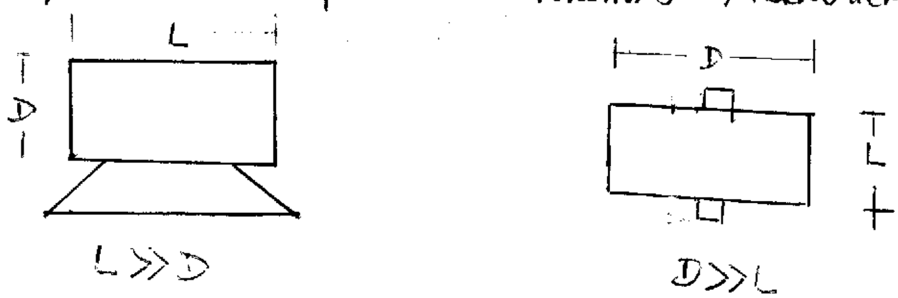
Operación como Generador



Tipos de Generadores Síncronos

En función del tipo de rotor

- Generador de polos lisos o de rotor cilíndrico:
  - → Son de 2 ó 4 polos → Son de alta velocidad
  - → Tipo motor primo → Son accionados por turbina a gas o a vapor.
- Generador de polos salientes:
  - → Son de gran # de polos. Por ejemplo: 16 polos → Son de baja Velocidad
  - → tipo de motor primo → Turbinas Hidráulicas.



G. polos Lisos　　　G. polos Salientes

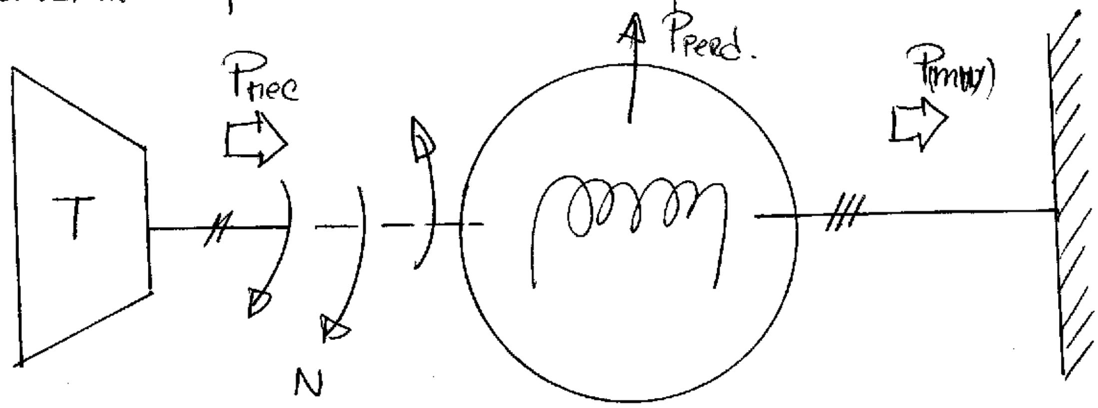
$f = 60Hz$

P	N(rpm)
2	3600
4	1800
8	900
12	600
16	450
24	300
30	240

GENERADOR SÍNCRONO

Se caracteriza por:

- Convertir la potencia mecánica en potencia Activa.



$$P_{méc} = P_{perd} + P$$

La frecuencia de la tensión generador varía directamente proporcional a la Velocidad.

$$f = \frac{P}{120} \times N$$

Circuito Equivalente Monofásico

a) Resistencia del devanado de armadura $R_{T-DC} = R_{20°C}[1 + \alpha \Delta T]$

$$R_{20°C} = \rho_{20} \cdot \frac{l}{S} \qquad R_{AC} = R_{T-DC} \times [1 + 7{,}5 \cdot f_x^2 \cdot D_{EXT}^4 \times 10^{-7}]$$

b) Reactancia de dispersión (X_d)

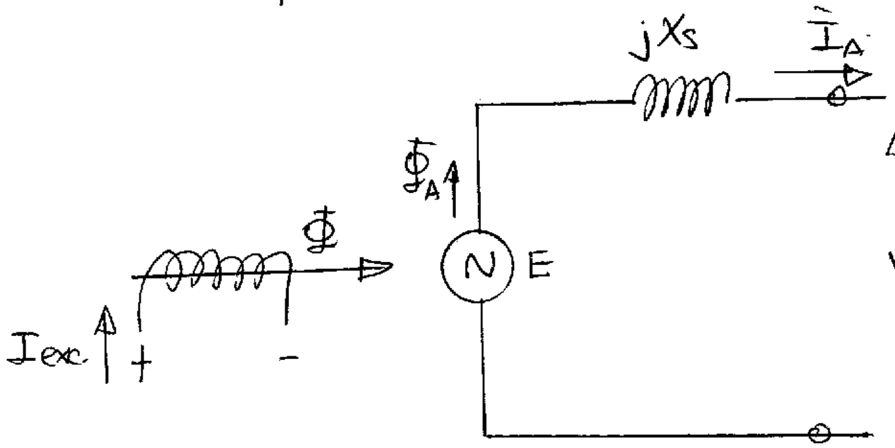
$$X_s = X_m + X_d$$

X_s → Reactancia Síncrona

Generalmente

$$X_s \ggg R_a$$

Circuito Equivalente Aproximado



V: Tensión en terminales

E: Tensión inducida internamente

I_A: Corriente por la armadura

Φ: Flujo de excitación

Φ_A: Flujo debido a la reacción de la armadura

Se cumple la 2da Ley de Kirchhoff

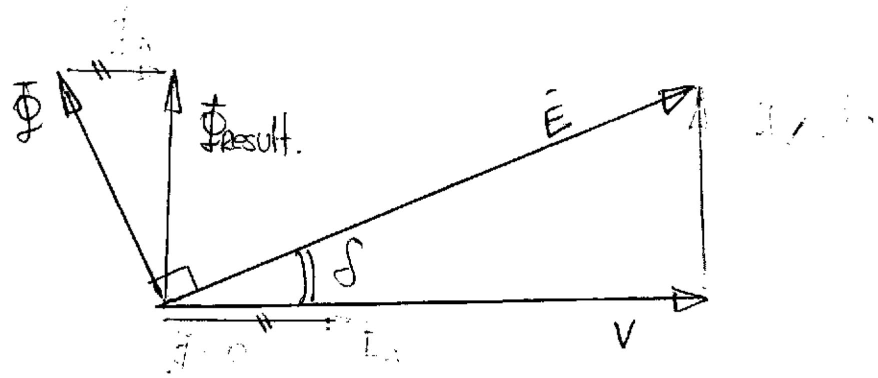
$$\boxed{E = V + I_A \cdot X_S} \quad \ldots (1)$$

Generador con Carga

Tomaremos en cuenta 3 tipos de carga.

a) Carga Resistiva
b) " Inductiva
c) " Capacitiva

a) ~~en~~ CARGA Resistiva.

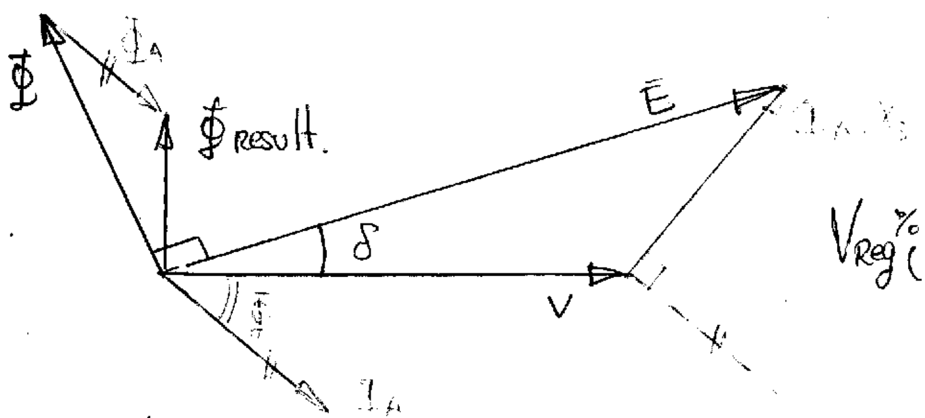


Se define Reg. tensión V_{reg} %

$$V_{reg} = \frac{V_{(\Phi)} - V_{(PC)}}{V_{(P.C)}} \times 100 = \frac{E - V_{(PC)}}{V_{(PC)}} \times 100$$

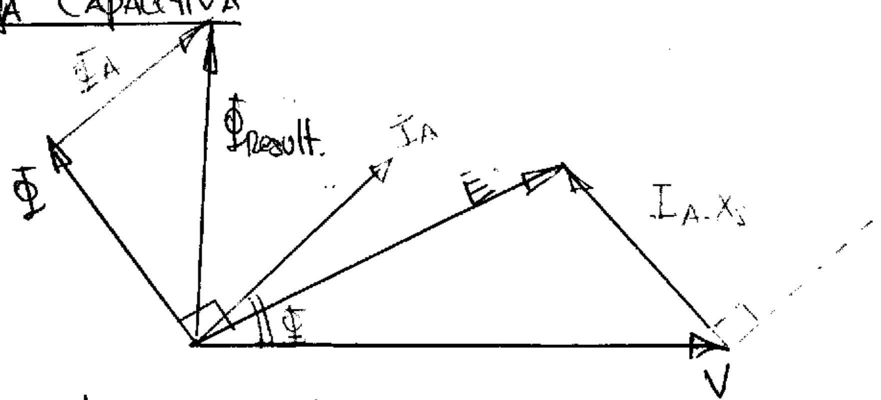
En (1): en vacío, $I_A = 0 \quad \wedge \quad V_{(\Phi)} = E$

b) CARGA Inductiva



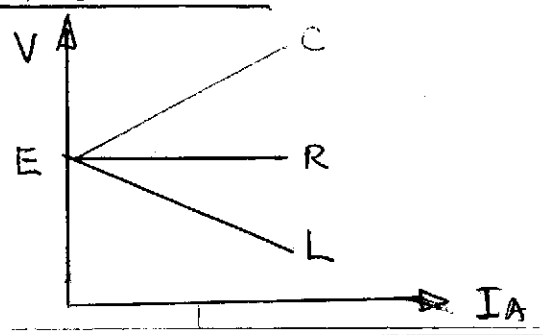
$V_{reg}\%_{(L)} > V_{reg}\%_{(R)}$

c) Carga Capacitiva



$V_{reg} < 0$

Tensión en terminales V vs I_A



Ejm:

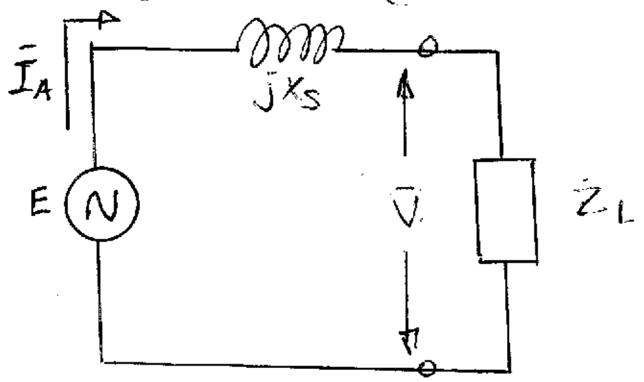
Un generador síncrono de 80MW, $\cos\phi = 0{,}8$, 10KV, P=2, 60Hz, $X_s = 1{,}25_{pu}$ y R_A despreciable, suministra 60MW y 45 MVAR a una carga, a la tensión de 10KV. Determinar:

a) La tensión interna (E) en P.U.

b) El ángulo de potencia (δ)

c) La regulación de tensión

d) El porcentaje a plena carga.



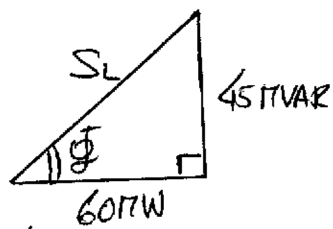
a) $\bar{E} = \bar{V} + \bar{I}_A \cdot \bar{X}_S \quad \ldots (1)$

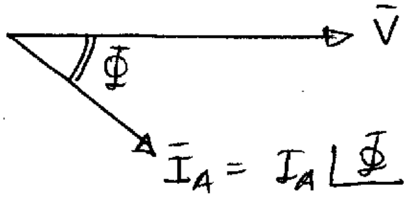
Tomando como referencia

$S_B = 100MVA$

$U_B = 10KV$

$\Rightarrow \bar{V} = 1{,}0\angle 0°$ (Tomándolo como referencia)





$\Phi = \operatorname{arctg}\left(\frac{45}{60}\right) = 36{,}87°$

$S_L = \sqrt{60^2 + 45^2}$ MVA

$S_L = 75$ MVA

$\boxed{S_{L\,(PU)} = 0{,}75}$

$\bar{S}_{L\,(PU)} = \bar{V}_{(P.U.)} \cdot \bar{I}^*_{A\,(PU)}$

$0{,}75\angle 36{,}87° = 1{,}0\angle 0° \times \bar{I}^*_{A\,(PU)}$

$\boxed{\bar{I}_A = 0{,}75\angle -36{,}87°}$

en (1)

$$\bar{E} = 1{,}0\angle 0^\circ + 0{,}75\angle -36{,}87^\circ \times 1{,}25\angle 90^\circ$$

$$\bar{E} = 1{,}733\ \angle 25{,}64^\circ (PU)$$

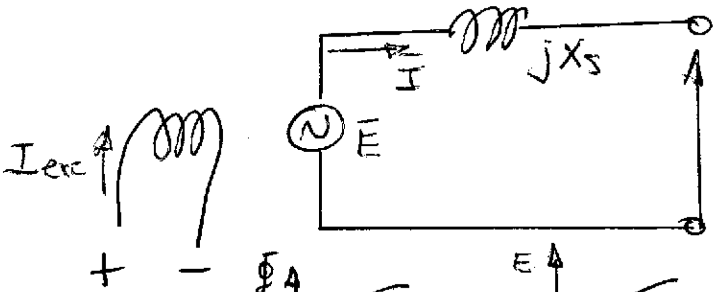
$$\bar{E} = 1{,}733\ (PU)$$

$\bar{E} = 17{,}33$ KV entre líneas.

b) $\delta = 25{,}64^\circ$

c) $$U_{reg}\% = \frac{1{,}733 - 1}{1} \times 100 = 73{,}3\%$$

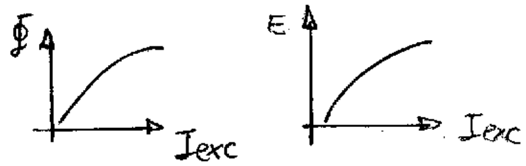
Ecuación Potencia - Ángulo

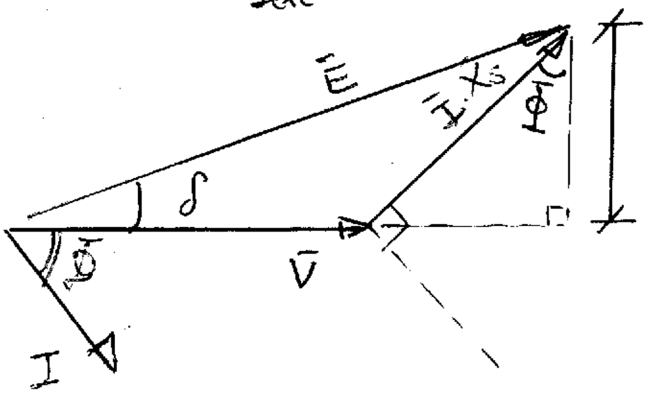


Se cumple:

$$\bar{E} = \bar{V} + \bar{I}.\bar{X}_S$$

$E = KN\Phi$

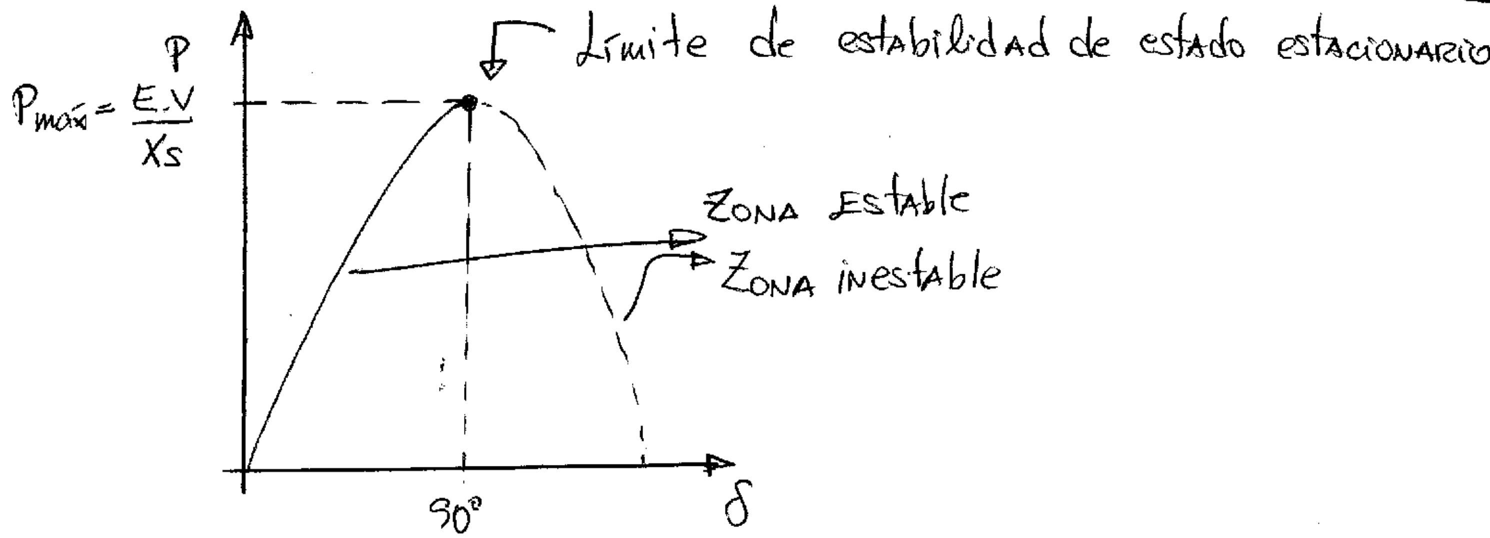


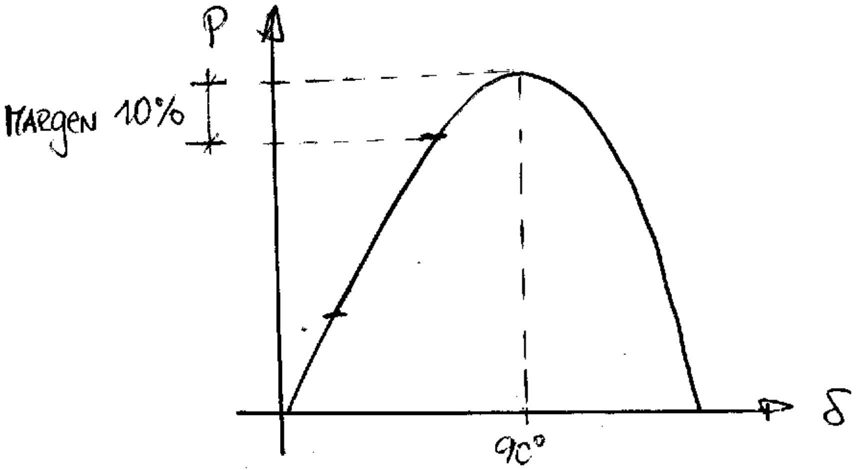


$$I.X_S \cos\Phi = E \operatorname{sen}\delta$$

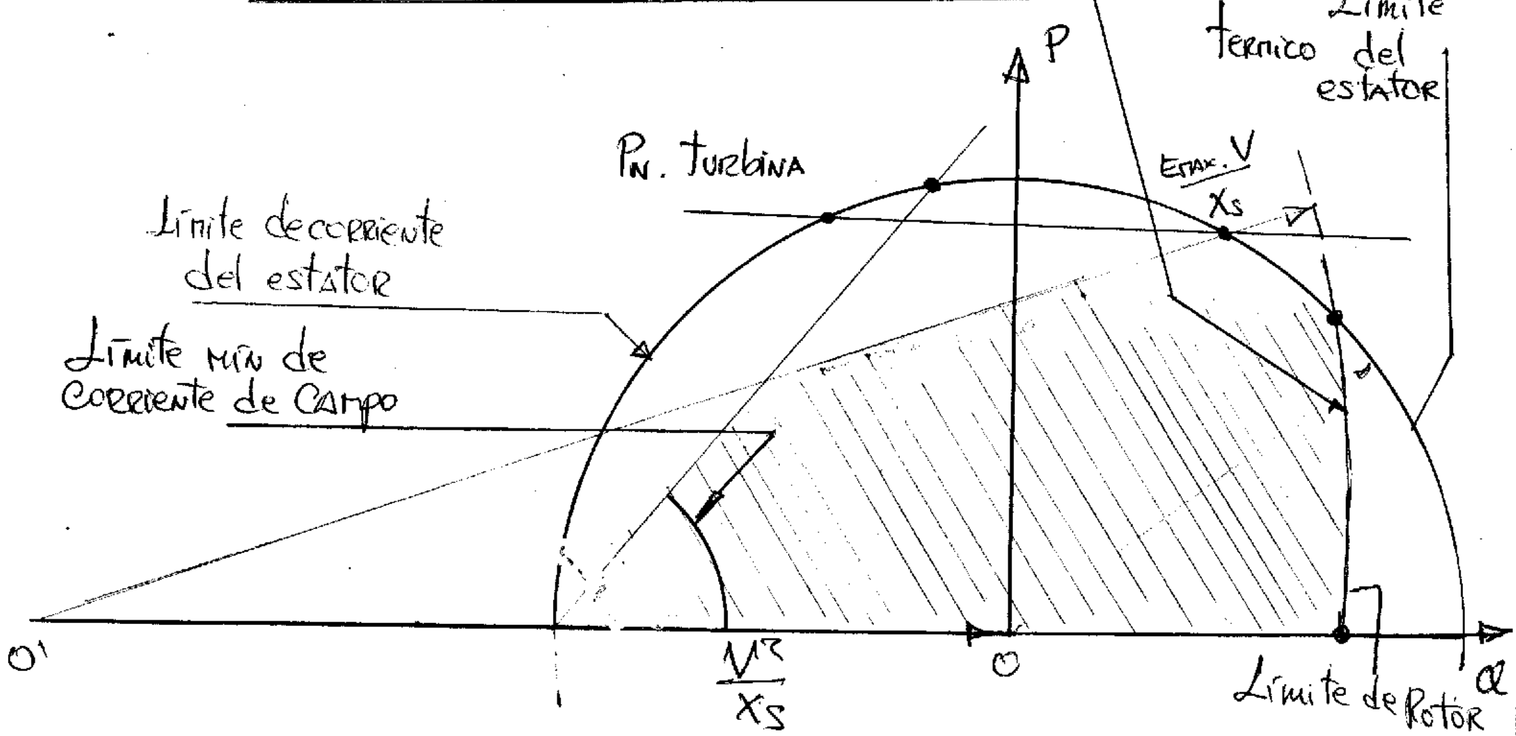
$$\frac{\cancel{V}_{(PU)}\, I_{(PU)} \,.\, X_{S(PU)} \,.\, \cos\Phi}{X_{S(PU)}} = E_{(PU)} \,.\, \operatorname{sen}\delta \,.\, \frac{\cancel{V}_{(PU)}}{X_{S(PU)}}$$

$$\boxed{P_{(PU)} = \frac{E_{(PU)} \,.\, V_{(PU)}}{X_{S(PU)}} \,.\, \operatorname{sen}\delta}$$





$$Q_{(pu)} = \frac{E_{(pu)} . V_{(pu)}}{X_{s(pu)}} . \cos\delta - \frac{V^2_{(pu)}}{X_{s(pu)}}$$



Límite de operación del generador síncrono (curva de capacidad)

Ejm:

Un turbogenerador de una central termica tiene la sgts caracteristicas:

776 MVA, 23 KV, 60 Hz, $X_S = 1{,}2$ (pu)

El funcionamiento de generador está sujeto a los sgts limites, ademas de a la propia intensidad y potencia nominales.

- La turbina del vapor q' acciona el generador proporciona una potencia motriz comprendida entre 660 y 194 MW
- La intensidad de excitación en el rotor, y el efecto de la saturación del cto magnetico, limita la fem disponible a un maximo de 1,96 pu.
- Para asegurar q' el generador se mantiene en sincronismo, la fase de la fem se limita a 70° como maximo.

Determinar los limite de funcionamiento del generador en terminos de potencia activa y reactiva.

$E_{máx} = 1{,}96$ pu

$\delta_{máx} = 70°$

$P_{máx} = 660$ MW

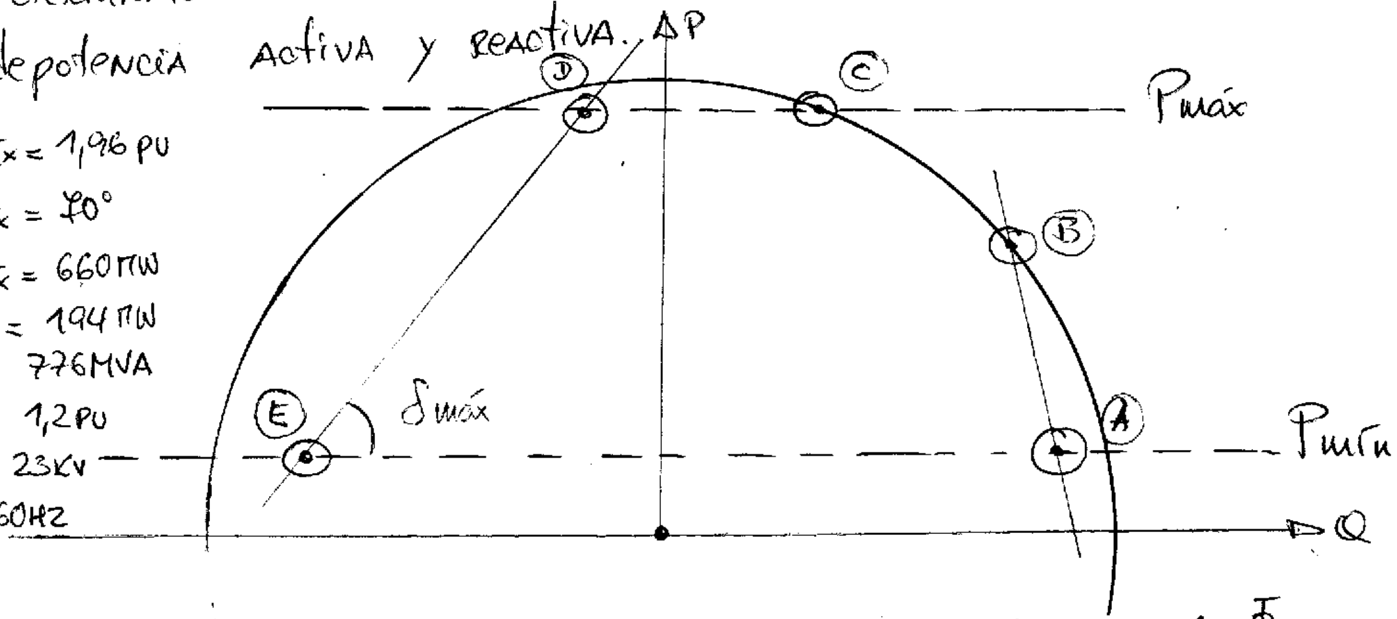
$P_{mín} = 194$ MW

$S_N = 776$ MVA

$X_S = 1{,}2$ pu

$V_N = 23$ KV

$f_N = 60$ HZ



Punto	P (MW)	Q (MVAR)	E (PU)	δ (°)	I (KA)	cos Φ
A	194	605	1,96	8,8°	15,95	0,31
B			1,96			
C	660					
D	660			70°		
E	194			70°		

2

$$P_{máx} = 660\,MW \rightarrow P_{máx}(pu) = \frac{660}{776} = 0{,}8505\,(pu)$$

$$P_{mín} = 194\,MW \rightarrow P_{mín}(pu) = \frac{194}{776} = 0{,}25\,(pu)$$

Asumiendo.

$S_B = 776\,MVA$

$U_B = 23\,KV$

$\bar{U}_{(pu)} = \frac{23}{23} \Rightarrow \bar{U}_{(pu)} = 1{,}0\angle 0°$

Punto (A)

$$P = \frac{E.V}{X_S}\,\text{sen}\,\delta \quad \cdots\cdots (1)$$

$$Q = \frac{E.V}{X_S}\cos\delta - \frac{V^2}{X_S} \quad \cdots\cdots (2)$$

en (1):

$$0{,}25 = \frac{1{,}96 \times 1{,}0}{1{,}2}\,\text{sen}\,\delta$$

$$\text{Sen}\,\delta = 0{,}15$$

$$\boxed{\delta = 8{,}8°}$$

en (2):

$$Q = \frac{1{,}96 \times 1{,}0}{1{,}2}\cos(8{,}8°) - \frac{1^2}{1{,}2}$$

$$Q = 0{,}78\,(pu)$$

$$Q_{(MVAR)} = 0{,}78 \times 776\,MVAR$$

$$\boxed{Q = 605\,MVAR}$$

$$S = \sqrt{194^2 + 605^2}$$

$$\boxed{S = 635{,}34\,MVA}$$

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \times U_N}$$

$$= \frac{635{,}34\,MVA}{\sqrt{3} \times 23\,KV}$$

$$I = 15{,}95\,KA$$

$$\cos\Phi = \frac{P}{S} = \frac{194}{635{,}34}$$

$$\cos\Phi = 0{,}31$$

Transformadores de Potencia

- Es un elemento muy efectivo
- Permite operar los equipamientos del SEP a tensiones donde desarrollen su maxiana eficiencia con la mayor seguridad posible.

Los generadores operan en 4,16 KV; 10 KV; 13,2 KV; 13,8 KV; 20 KV, 25 KV

Powerformer → 70 KV

Las L.T. operan en 110 KV, 138 KV, 220 KV, 500 KV, 750 KV

$$E = \frac{V}{d} \; (kV/cm)$$

El borne de alta tensión es el q' tiene mayor línea de fuga (más alto).

El Trafo sirve de aislador entre el primario y secundario lo q' no hace el autotransformador porq' hay continuidad del primario y secundario.

→ Como determinar si la potencia del trafo es la q' aparece en la placa

→ de conmutador en vacío y baja carga

→ Porq' un trafo en vacío podría calentarse inusualmente

→ entre interruptor de caja moldeada y de bastidor abierto

FACTS

- S → Sistema
- F → Flexible
- T → para la transmisión
- AC → De la corriente AC.

STATCOM → Compensador Estático

↳ Reemplaza al compensador síncrono.

Ciclo convertidor: Es un variador de velocidad q' sirve para accionar los motores síncronos

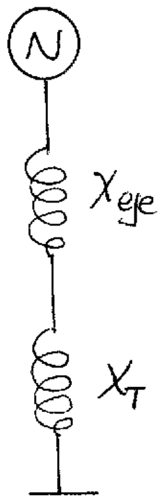
El primario generalmente es el de baja tensión

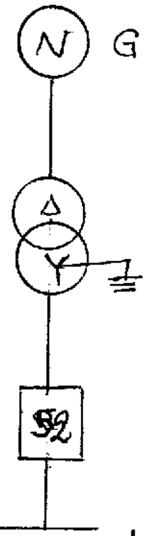
$$\mu_{cc}(\%) = Z_{cc}(\%)$$

tipos de Trafos	μ_{cc} (%)
Potencia	10 – 15%
Distribución	4 - 6% porq quiero la menor impedancia
Medida	1%

* Efecto Lorenz.

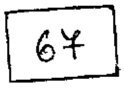
Cuando se esta en alta tensión se esta mas cerca de la fuente





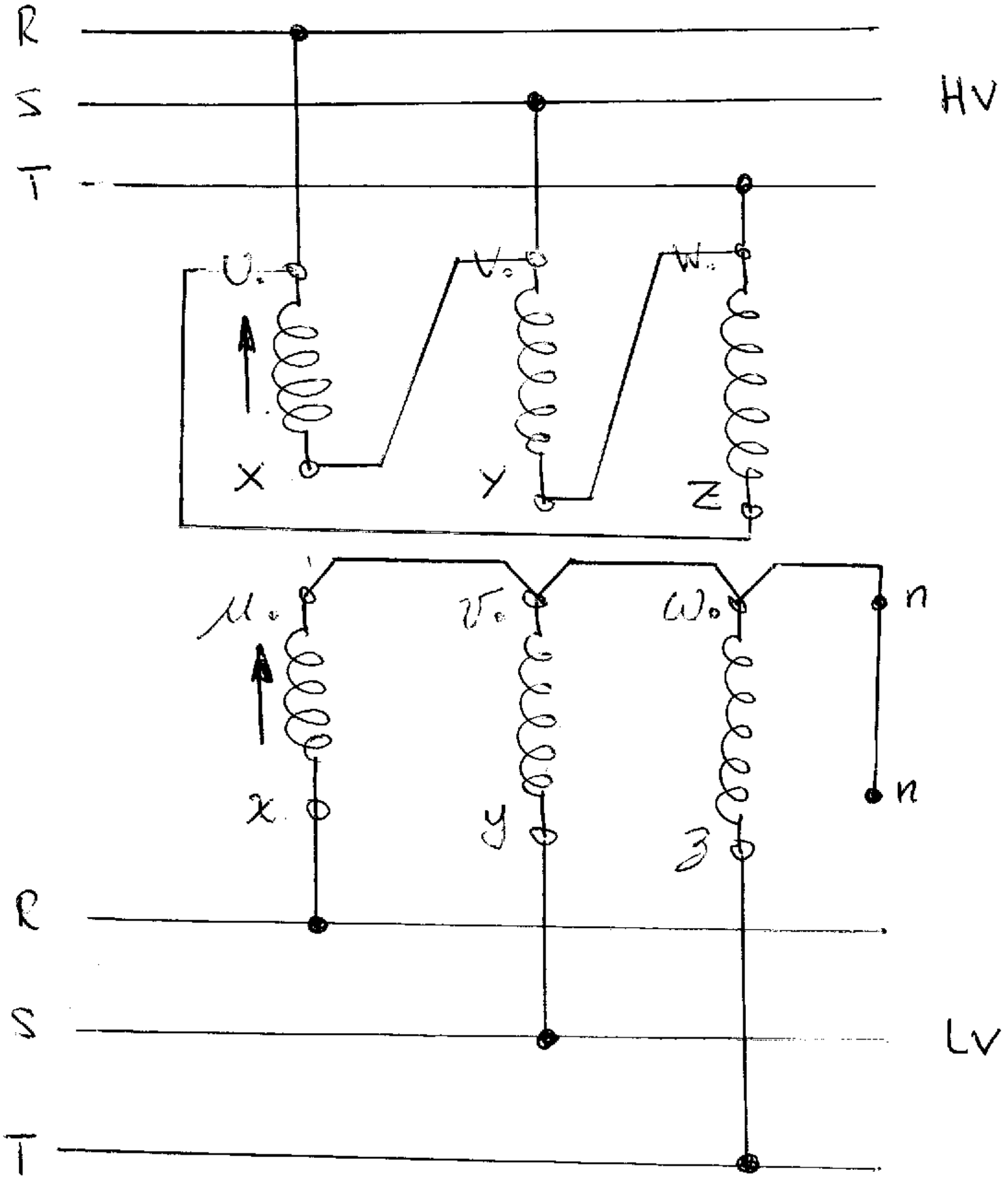
La reactancia tiene q' ser grande para q' límite su Icc

Interruptor de Potencia Extraible



Direccional de Corriente

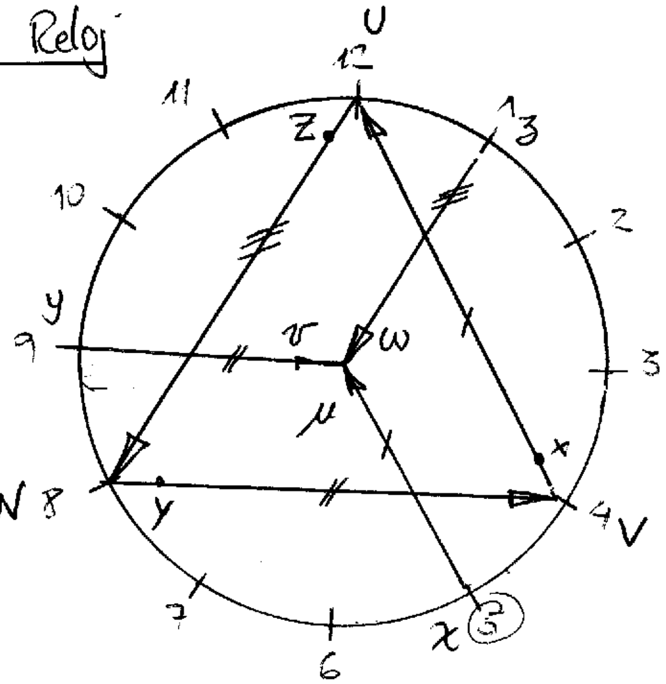
Grupo de conexión de Tranf. de Potencia



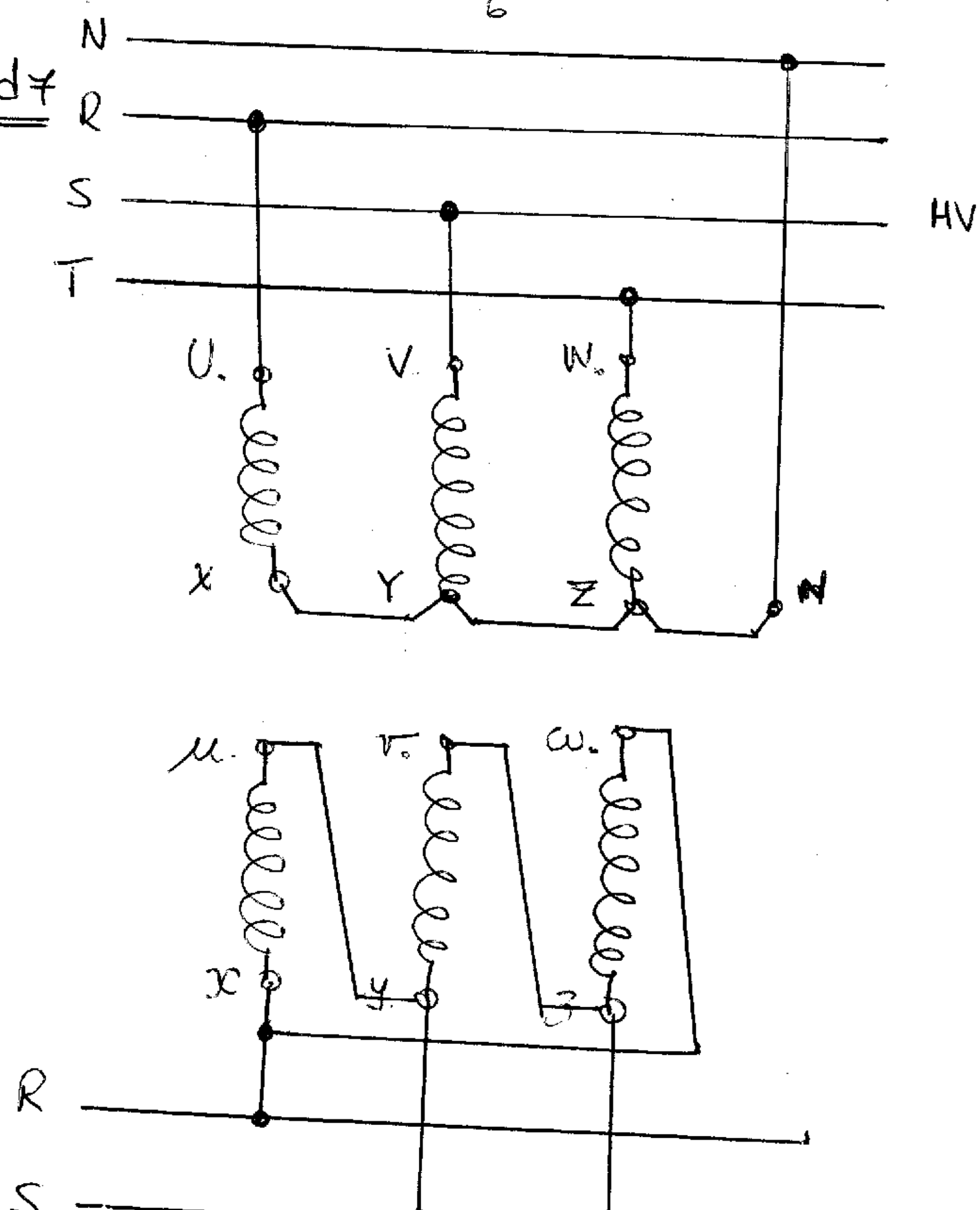
Dyn5

- índice → desfasaje = índice × 30°
- Neutro esaccesible
- Conexión del devanado de LV
- " " " " HV

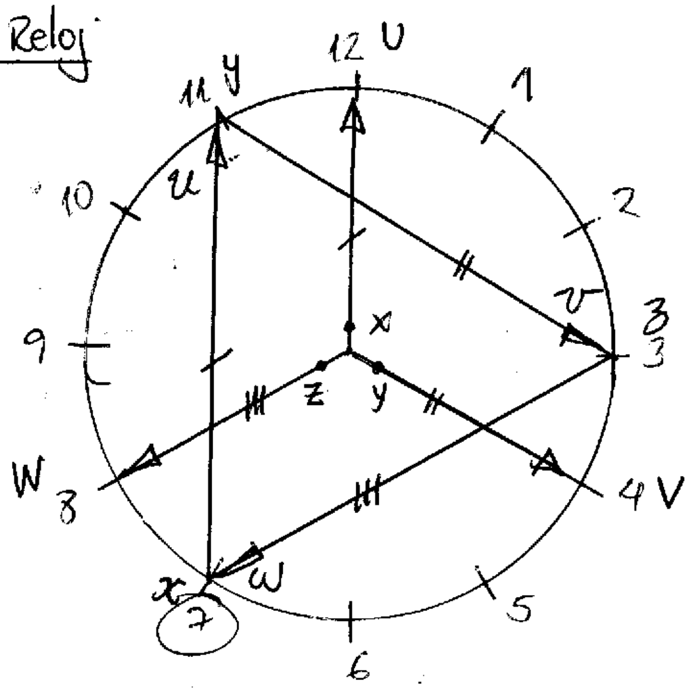
Método del Reloj

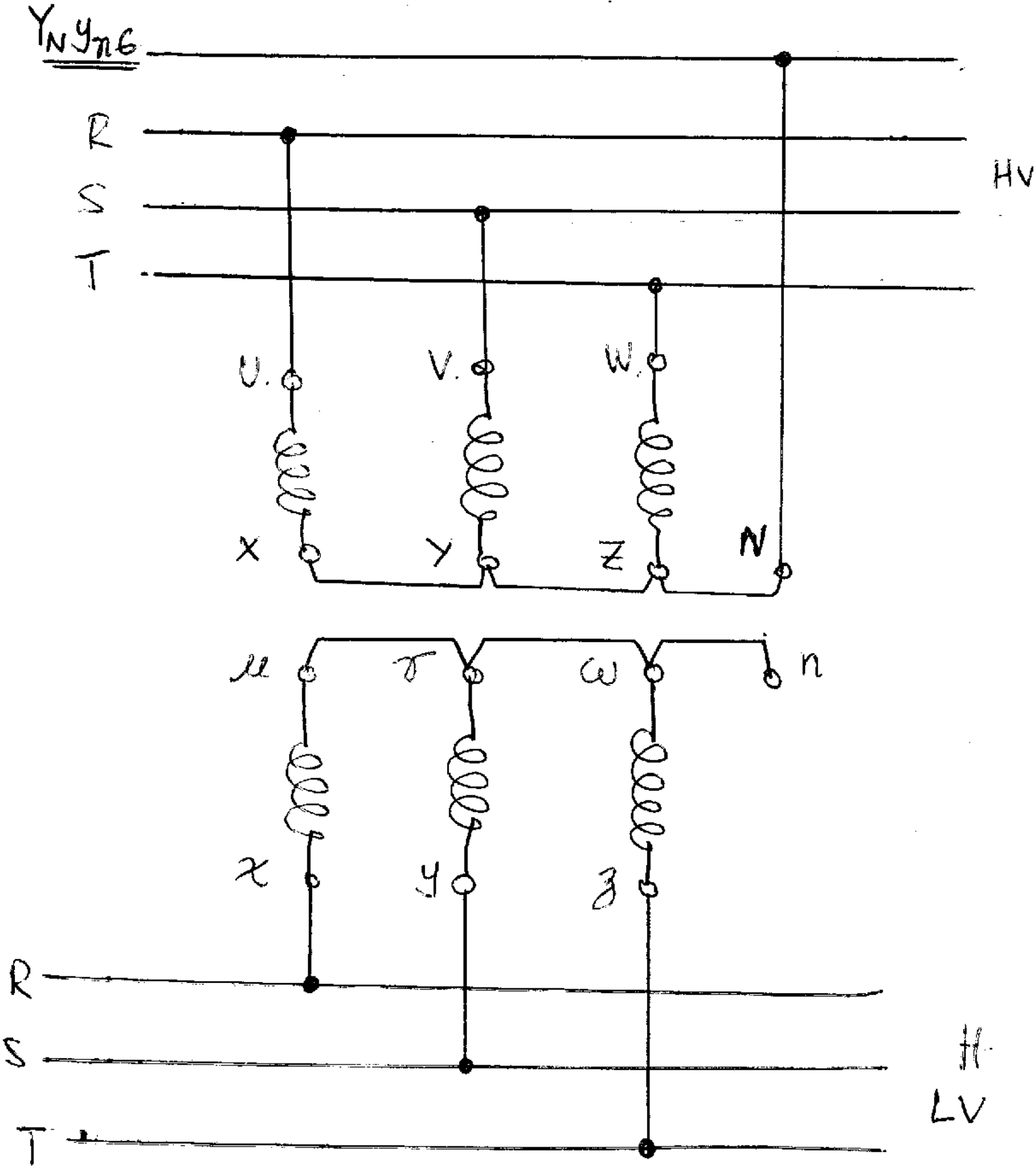


$\underline{\underline{Y_N d7}}$

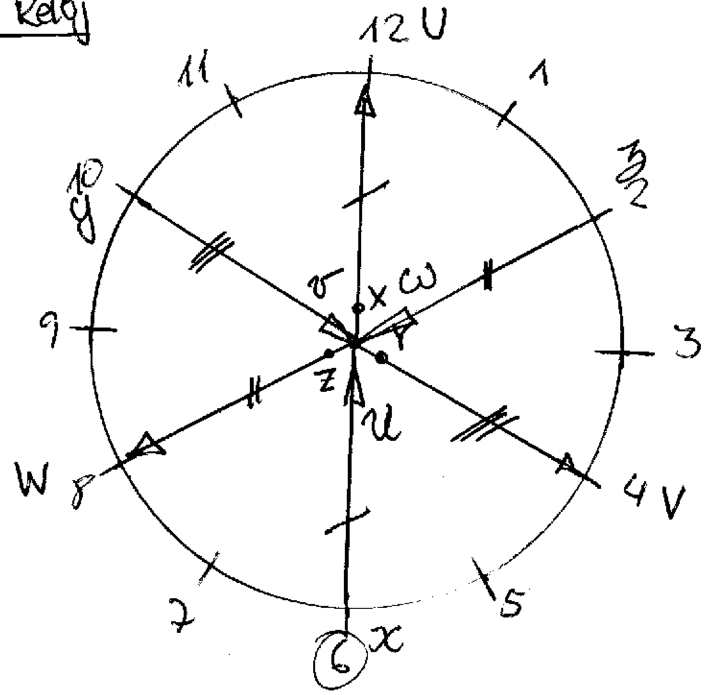


Método del Reloj





Método del Reloj

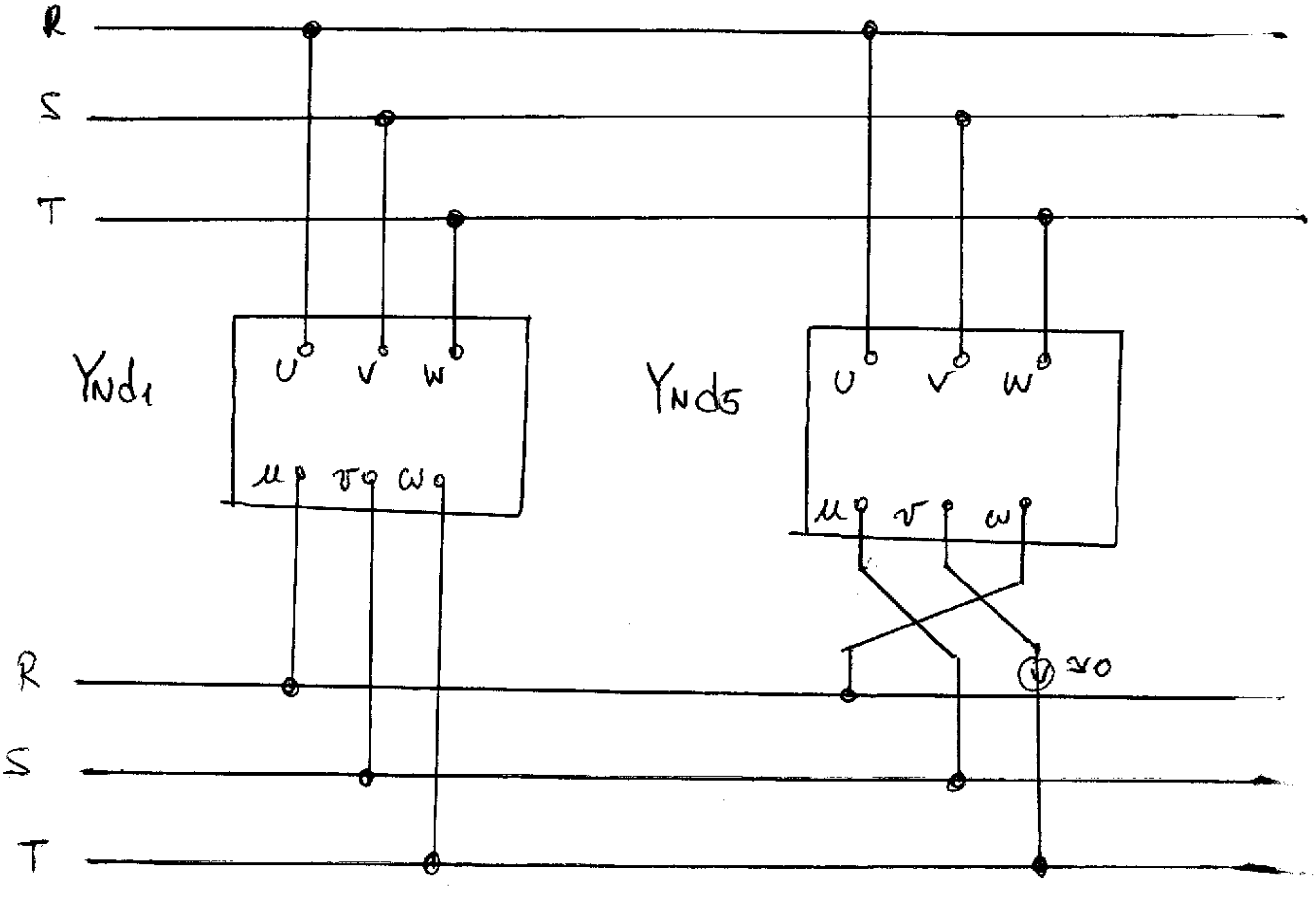


Paralelo de Transformadores trifásicos

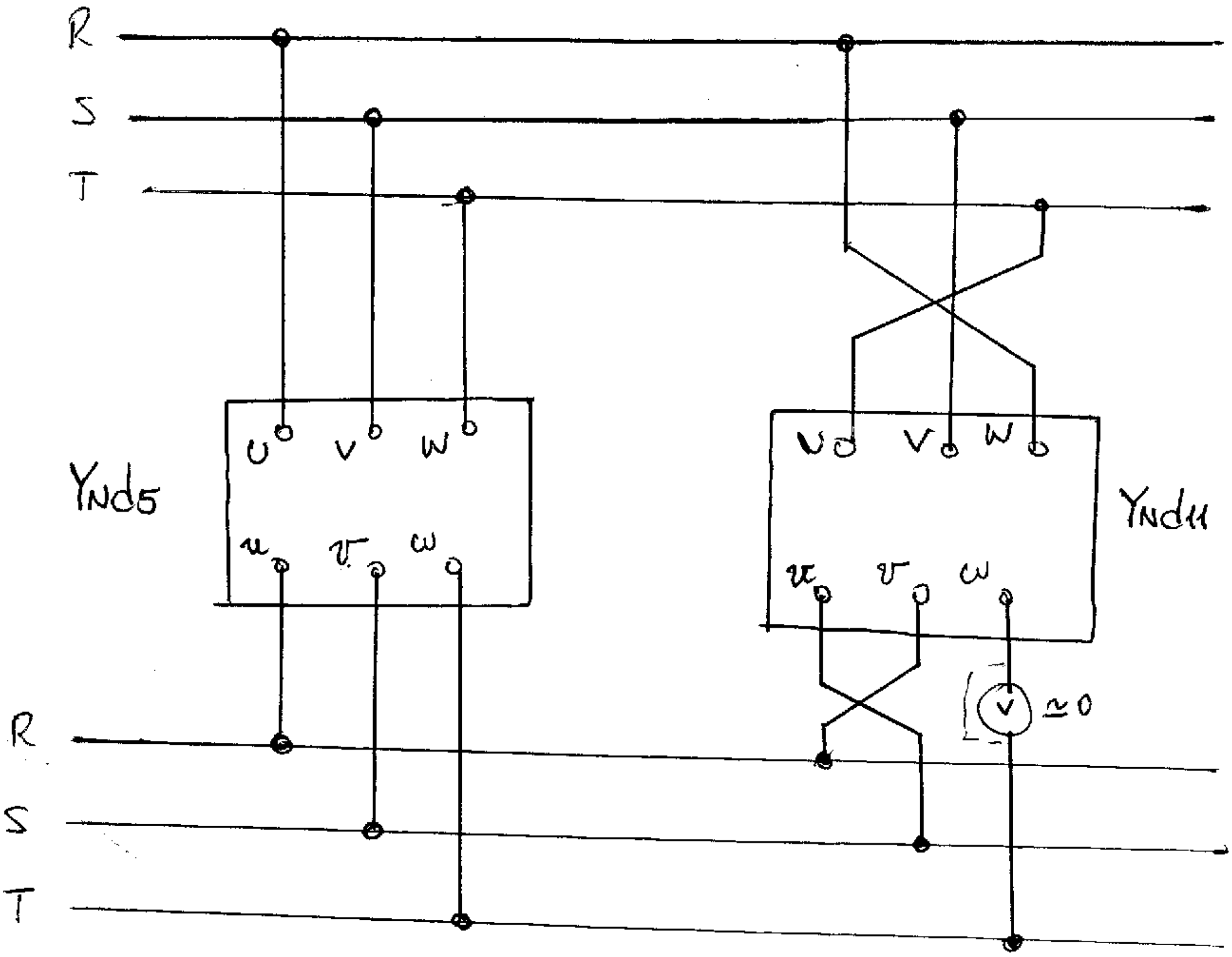
Se deben de cumplir 4 condiciones fundamentales. Las dos primeras son necesidad imperiosa y las dos últimas por razones de optimización.

① Ambos transformadores posean el mismo grupo de conexión o q' sean compatible.

De no tenerse en cuenta esta condición se puede ocasionar un cortocircuito.

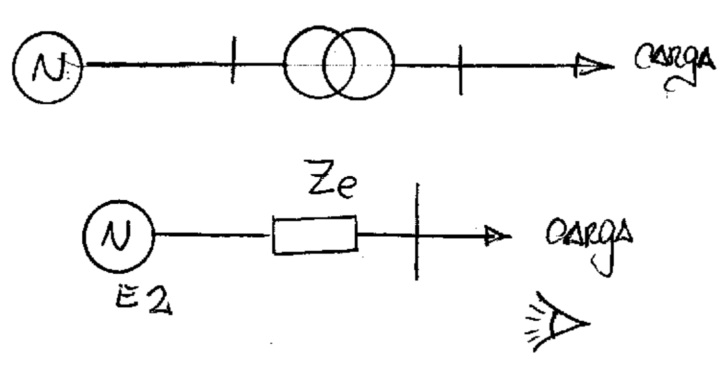


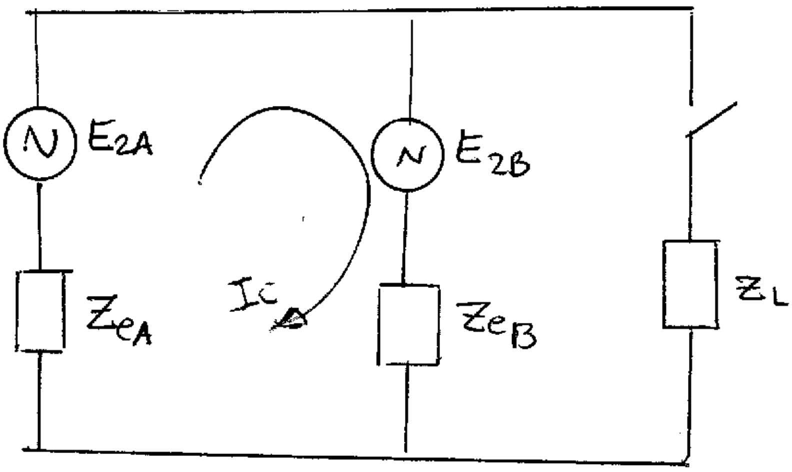
Grupo	Indice
I	2 6 10
II	5 1
III	7 11
IV	0 4 8



(2) Que ambos transformadores posean la misma relación de transformación (Tomar en cuenta la posición del conmutador de tomas)

No debe cumplirse con ésta condición aparecerá una corriente circulante





I_C: Corriente Circulante

$$\bar{I}_C = \frac{\bar{E}_1 - \bar{E}_2}{\bar{Z}_{e_1} + \bar{Z}_{e_2}}$$

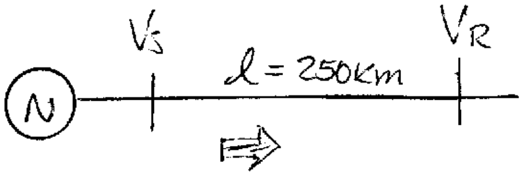
(3) Que ambos posean la misma tensión de Cortocircuito.

De no cumplirse con esta condición el reparto de carga no será proporcional, el de menor $u_{cc}\%$ asumirá mayor porcentaje de carga

Líneas de Transmisión

Líneas de transporte

Transporta la energía eléctrica en grandes volúmenes, cubriendo grandes distancias, emplea alta tensión.



$S = 250 MVA$ | Perd. Joule $= 3I^2R$

$U_1 = 10KV \Rightarrow I_1 = 14,43KA$ | $625 \times 10^6 \times R$

$U_2 = 60KV \Rightarrow I_2 = 2,41 KA$ | $17,36 \times 10^6 \times R$

$U_3 = 220KV \Rightarrow I_3 = 0,66 KA$ | $1,29 \times 10^6 \times R$

$U_4 = 500KV \Rightarrow I_4 = 0,29KA$ | $0,25 \times 10^6 \times R$

Las L.T. se caracterizan por tener reducidas pérdidas.

1.- Parámetros de la L.T.
2.- Modelamiento de la L.T.
3.- Evaluar el desempeño de la L.T.
4.- Analizar la capacidad de Transmisión de las L.T.

1.- Parámetros de una L.T.

Una L.T. tiene 4 efectos:

- Efecto Resistivo (R)
- " Inductivo (L)
- " Capacitivo (C)
- " Conductivo (G)

Efecto Resistivo (R)

en DC: $R_{20°C_{DC}} = \rho_{20°C} \times \frac{l}{S}$

$\rho_{20°C}$: Resistividad a 20°C $\left(\frac{\Omega \times mm^2}{m}\right)$

l : Longitud (m)

S : Sección transversal (mm^2)

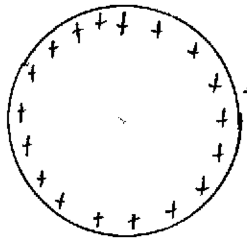
$R_{20°C}$: Resistencia a 20°C (Ω)

$$R_{75°C_{DC}} = R_{20°C_{DC}} \times [1 + \alpha(\underset{\substack{\uparrow \\ 75°C}}{T_F} - \underset{\substack{\uparrow \\ 20°C}}{T_i})]$$

EN AC:

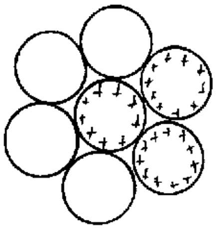
Se presenta el efecto peculiar SKIN

La sección efectiva se reduce.



Conductor Sólido.

Los cable de energía son cableados.



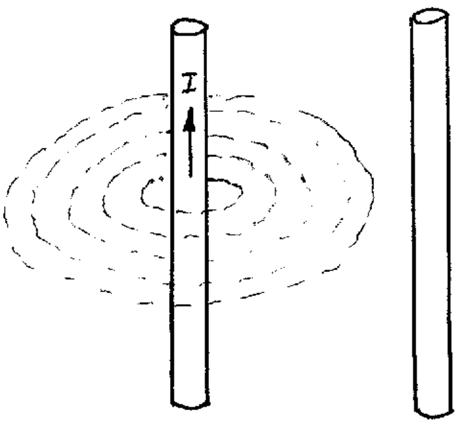
$$S_{ef_{CABLE}} > S_{ef_{\substack{conducto \\ Sólido}}}$$

$$\boxed{R_{AC_{CABLE}} = 1{,}03 - 1{,}05\ R_{DC_{CABLE}}}$$

Debido al efecto resistivo se tiene perdidas por efecto Joule.

$$\boxed{P_{Pérd.\,Joule} = 3 \times I^2 R_{AC}}$$

Efecto Inductivo (L)



Ejm:

Estimar el nivel de Tensión de una L.T. q' transportará 200 MW cubriendo una distancia de 120 km.

$$\boxed{U = 5{,}5\sqrt{\frac{l}{1{,}61} + \frac{P}{100}}}$$

l: km

P: KW

Sol:

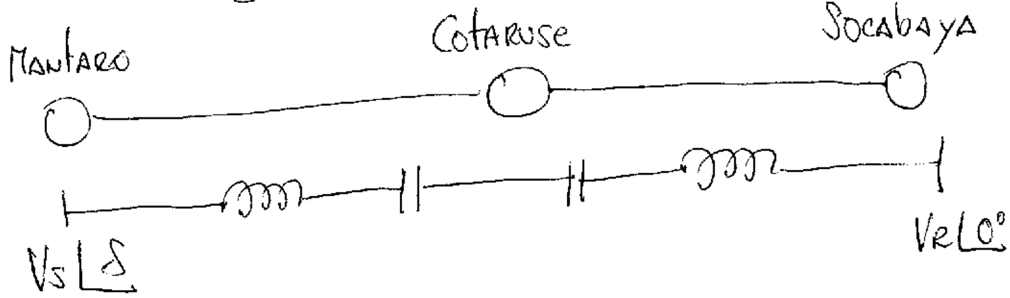
$$U = 5{,}5\sqrt{\frac{120}{1{,}61} + \frac{200000}{100}}$$

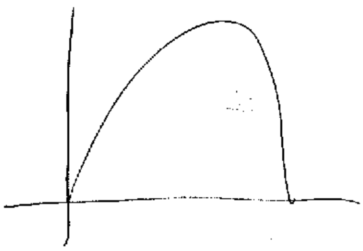
$U \simeq 250\ \text{kV}$

$\Rightarrow \boxed{U = 220\ \text{kV}}$

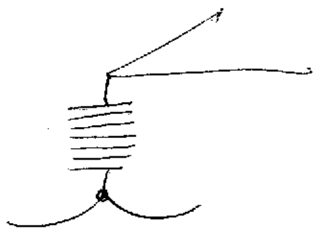
Tension Línea - Línea (KV)	Espaciamiento Equivalente (m)
11	1
33	1,3
66	2,6
110	5
132	6
166	8
230	10,2

$$SIL = \frac{U^2}{Z_c}$$ SIL: Potencia Natural

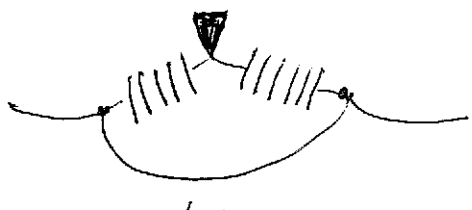




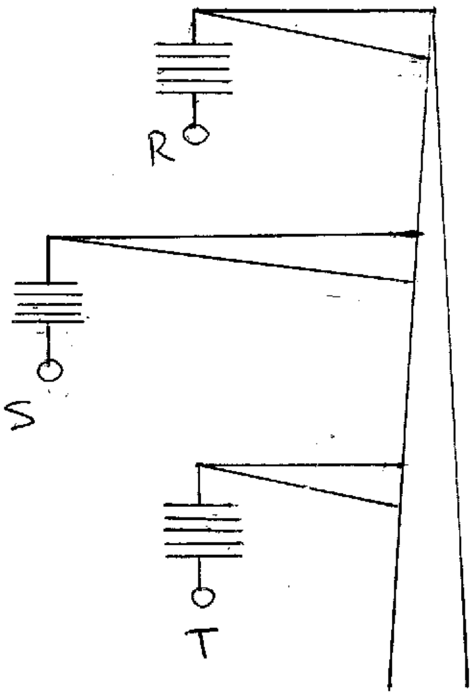
$$P = \frac{V_R \cdot V_S}{(X_L - X_C)} \operatorname{sen}\delta$$

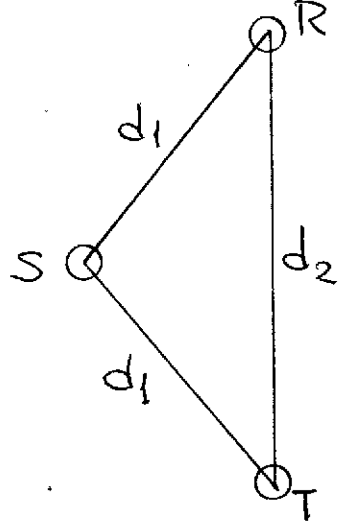


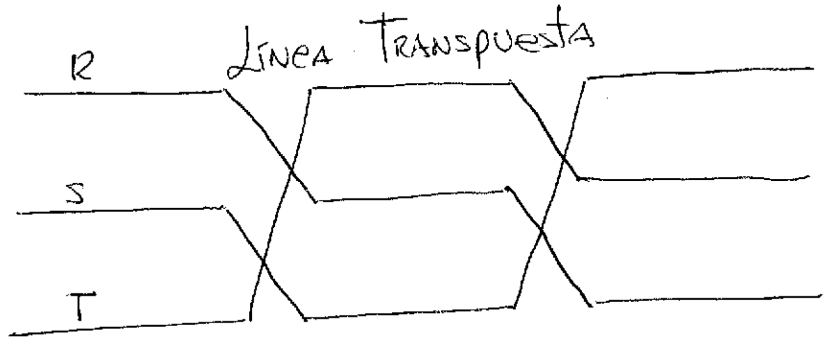
Suspensión



Anclaje







Transposición de Líneas.

Ejm:

Una línea trifásica de alta tensión está constituida por conductores múltiple dúplex (dos conductores por fase de cobre), tal y como se muestra.

Cada conductor lleva la mitad de la corriente de fase.

Además la línea está totalmente transpuesta.

Se debe de calcular:

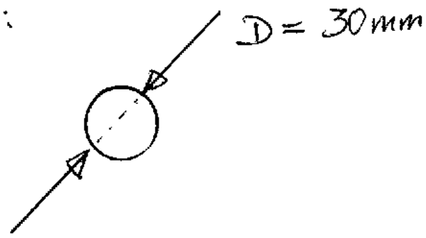
a) r (Ω/Km) / fase

b) X_L (Ω/Km) / fase

c) X_C (Ω/Km) / fase

Considerar como temperatura de servicio 80°C y la separación entre conductores es

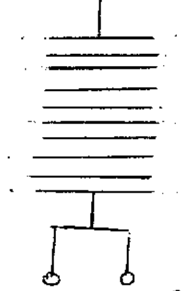
Nota:



$S = 0{,}5m$

$\alpha_{cu} = 0{,}0039\ 1/°C$

$\rho_{cu} = 17{,}6 \left(\frac{\Omega - mm^2}{Km}\right)$



dúplex

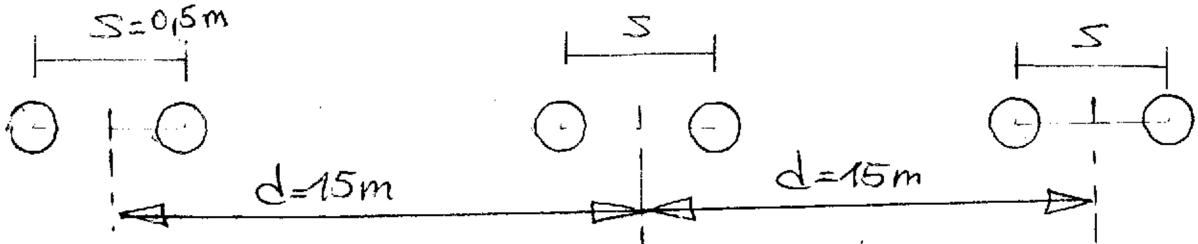
haz de 2conductores

$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln\left(\frac{DMG}{RMG}\right)$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \left(\frac{H}{m}\right)$$

$$RMG = \sqrt{e^{-1/4} \cdot r \cdot s}$$

$$C = \frac{2\pi \varepsilon_0}{\ln\left(\frac{DMG}{RMG'}\right)} \qquad RMG' = \sqrt{r \cdot s}$$



<u>Sol</u>: a) Cálculo de la resistencia de un conductor

$$r_{\substack{20°C \\ DC}} = \rho_{20°C} \times \frac{1}{\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)} \qquad DMG = \sqrt[3]{d \times d \times (2d)}$$

Distancia Media Geométrica

$$r_{\substack{20°C \\ DC}} = 17{,}6 \left(\frac{\Omega \times mm^2}{Km}\right) \times \frac{1\,Km}{\left(\frac{\pi \times (30mm)^2}{4}\right)}$$

$$r_{\substack{20°C \\ DC}} = 0{,}02489 \frac{\Omega}{Km}$$

$$r_{\substack{80°C \\ DC}} = r_{20°C} \cdot [1 + 0{,}0039(80-20)]$$

$$r_{\substack{80°C \\ DC}} = 0{,}030725 \frac{\Omega}{Km}$$

Considerando un 3% adicional por el efecto peculiar (skin)

$$\boxed{r_{\substack{80°C \\ AC}} = 1{,}05 \times r_{\substack{80°C \\ DC}}}$$

$$r_{\substack{80°C \\ AC}} = 0{,}03165 \frac{\Omega}{Km}$$

Como se tiene 2 conductores por fase

$$R_T = \frac{R\ 80°C\ AC}{2}$$

$$\boxed{R_T = 0{,}01582 \frac{\Omega}{Km}}$$

b) Cálculo de la X_L (Ω/km)

$$L = \frac{4\pi \times 10^{-7}}{2\pi} \times \ln\left(\frac{DMG}{RMG}\right)$$

$$DMG = \sqrt[3]{15 \times 15 \times 30} = 18,8988 m$$

$$RMG = \sqrt{e^{-1/4} \times 15 \times 500} = 76,43 mm$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln\left(\frac{18,8988 \times 10^{3}}{76,43}\right) H/m$$

$$L = 1,102 \times 10^{-6} \frac{H}{m}$$

$$X_L = 2\pi \times f \times L = 2\pi \times 60 \times 1,102 \times 10^{-6} \frac{\Omega}{m}$$

$$X_L = 4,15 \times 10^{-4} \frac{\Omega}{m} \Rightarrow \boxed{X_L = 0,415 \left(\frac{\Omega}{km}\right)}$$

c) Cálculo de la X_C (Ω/km):

$$C = \frac{2\pi \times 8,89 \times 10^{-12}}{\ln\left(\frac{DMG}{RMG'}\right)}$$

$$DMG = 18,8988 m$$

$$RMG' = \sqrt{15 \times 500} = 86,6 mm$$

$$C = \frac{2\pi \times 8,89 \times 10^{-12}}{\ln\left(\frac{18,8988 \times 10^{3}}{86,6}\right)} (F/m)$$

$$C = 1,0372 \times 10^{-11} \left(\frac{F}{m}\right)$$

$$C = 1,0372 \times 10^{-8} \left(\frac{F}{m}\right)$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f \cdot C} = \frac{1}{2\pi \times 60 \times 1,0372 \times 10^{-8}}$$

$$\boxed{X_C = 255,75 \times 10^{3} \frac{\Omega}{km}}$$

954 MCM

Laboratorio en tesup

- Poner en servicio un grupo generador de una central.
- Realizar maniobras de cambio de barra.
- Sincronizaran a una barra infinita.

Fechas: 4 Lu 18 - Ju 28

L.T.

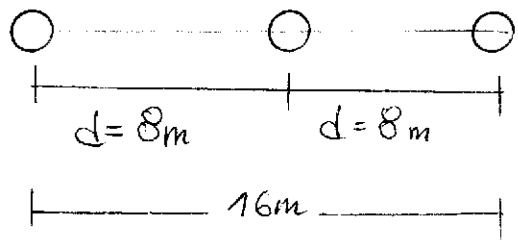
$U_N = 230 KV$

$f_N = 60 Hz$

Completamente Transpuesta.

$S = 954$ MCM

$RMG = 0{,}0123\ m$



$$DMG = \sqrt[3]{8 \times 8 \times 16} = 10{,}079\ m$$

$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln\left(\frac{DMG}{RMG}\right) \quad \cdots \left(\frac{H}{m}\right)$$

$$L = \frac{4\pi \times 10^{-7}}{2\pi} \ln\left(\frac{DMG}{RMG}\right)$$

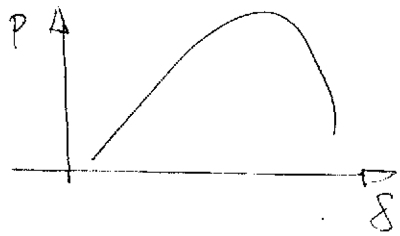
$$L = 2 \times 10^{-7} \cdot \ln\left(\frac{DMG}{RMG}\right)$$

$$DMG = \sqrt[3]{8m \times 8m \times 16m} = 10079 m$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \left(\frac{10{,}079}{0{,}0125} \right) \; H/m$$

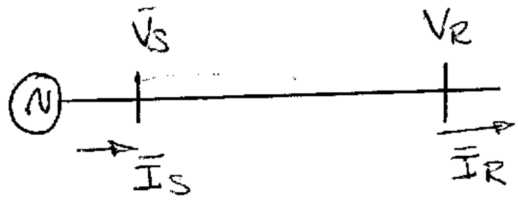
$$L = 1{,}342 \times 10^{-6} \; (H/m)$$

$$X_L = 2\pi f L = 0{,}506 \; (\Omega/km)$$

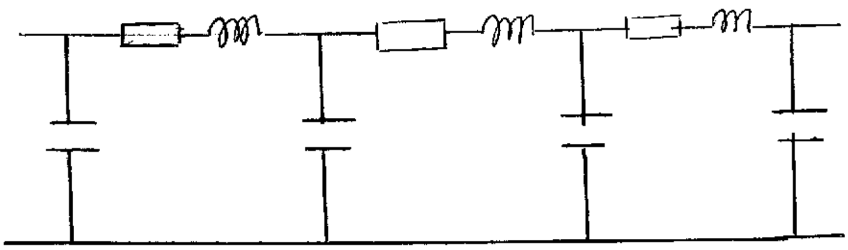


$$P \cong \frac{V_1 V_2}{X_L} \operatorname{sen} \delta$$

Desempeño de una L.T.

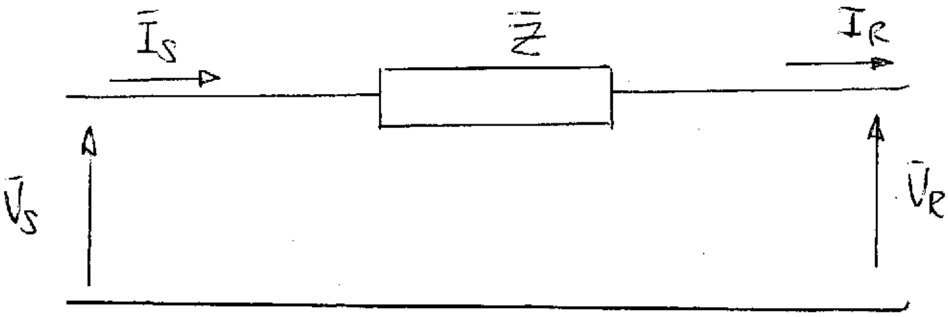


$$\bar{V}_S = \bar{A} \cdot \bar{V}_R + \bar{B} \cdot \bar{I}_R$$
$$\bar{I}_S = \bar{C} \cdot \bar{V}_R + \bar{D} \cdot \bar{I}_R$$



Parametros distribuidos

MODELO DE LINEA CORTA



$$\bar{V}_S = \bar{A}\cdot\bar{V}_R + \bar{B}\cdot\bar{I}_R \quad \text{------} (1)$$

$$\bar{I}_S = \bar{C}\cdot\bar{V}_R + \bar{D}\cdot\bar{I}_R \quad \text{------} (2)$$

$$\bar{V}_S = \bar{V}_R + \bar{Z}\cdot\bar{I}_R \quad \text{------} (\alpha)$$

Comparando (1) y (α)

$\bar{A} = 1$

$\bar{B} = \bar{Z}$

V_S: Tensión de envío

V_R: " " recepción

Asimismo.

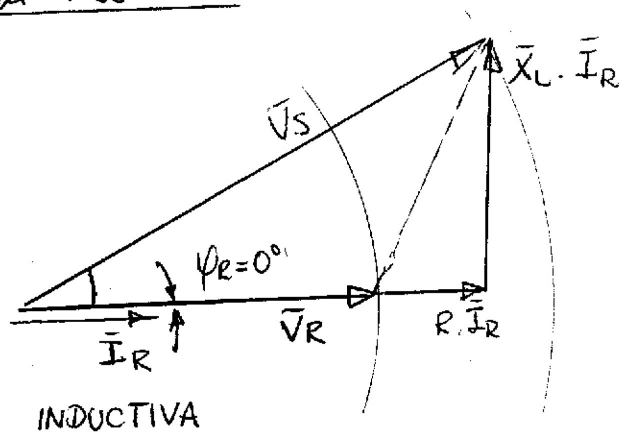
$$\bar{I}_S = \bar{I}_R \quad \text{......} (\beta)$$

Comparando (2) y (B)

$\bar{C} = 0$

$\bar{D} = 1$

CARGA RESISTIVA

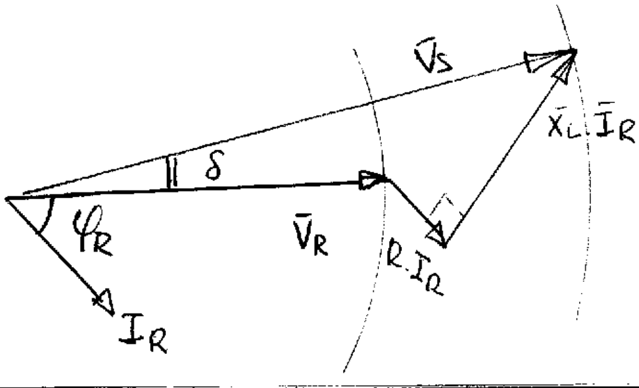


$$\bar{S}_R = 3\cdot\bar{V}_R\cdot\bar{I}_R^*$$

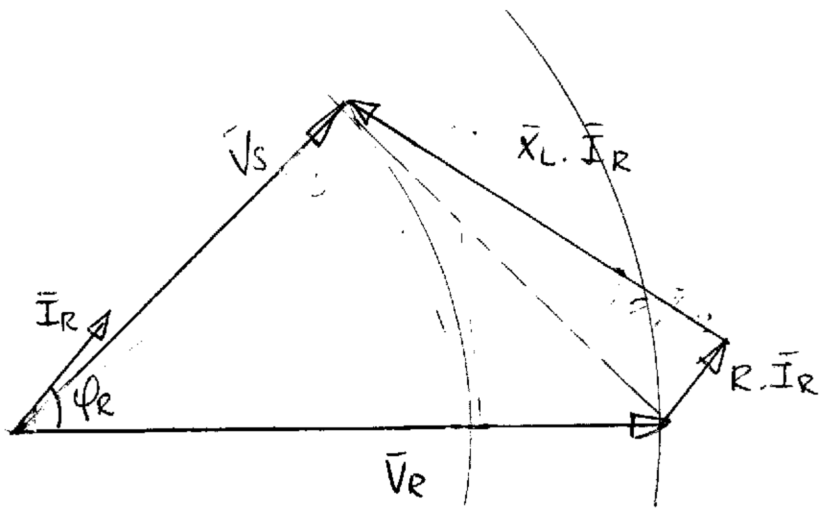
$$\bar{I}_R^* = \frac{S_R}{3\bar{V}_R}$$

$$\boxed{\bar{I}_R = \frac{S_R^*}{3\bar{V}_R^*}}$$

CARGA INDUCTIVA



CARGA CAPACITIVA



REGULACIÓN DE TENSIÓN

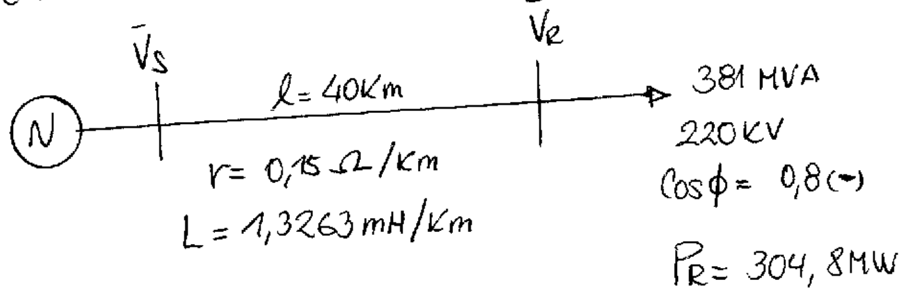
$$\boxed{V_{Reg}\% = \frac{V_R(\phi) - V_R(P.C.)}{V_R(P.C.)} \times 100\%}$$

Ejm:

A 220KV. UNA L.T. TRIFASICA ES 40Km de LARGO. LA RESISTENCIA POR FASE ES 0,15Ω POR Km Y LA INDUCTANCIA POR FASE ES 1,3263 mH POR Km. LA CAPACITANCIA SHUNT ES DESPRECIABLE. USE EL MODELO DE LINEA CORTA PARA ENCONTRAR EL VOLTAJE Y POTENCIA, EN EL EXTREMO DEL ENVIO Y LA REGULACIÓN DE TENSIÓN Y EFICIENCIA CUANDO LA LÍNEA ESTA ALIMENTANDO LA CARGA TRIFASICA DE:

a) 381MVA a Fd = 0,8 EN ATRAZO A 220KV

b) 381MVA a Fd = 0,8 EN ADELANTO A 220KV.



HALLAR:

$\bar{V}_S = ?$

$\bar{S}_S = ?$

$V_{Reg}\% = ?$

$\eta_{LT} = ?$

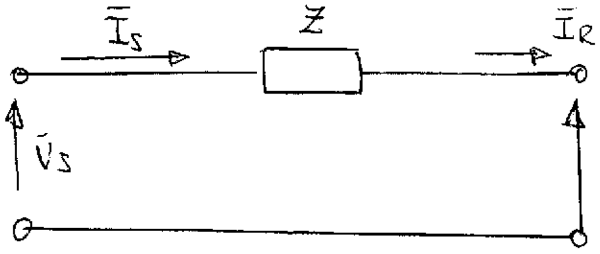
SOLUCIÓN:

CALCULO DE LA IMPEDANCIA DE LA LINEA

$$\bar{Z} = (r + j\,2\pi f.L)\,\ell$$

$$= (0,15 + j\,2\pi \times (60) \times 1,3263 \times 10^{-3}) \times 40Km$$

$$\bar{Z} = (6 + j\,20)\Omega$$

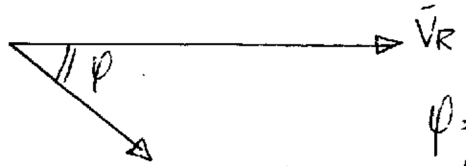


(EQUIVALENTE MONOFASICO)

$\bar{V}_R = \frac{220KV}{\sqrt{3}} \angle 0°$

$$\bar{V}_S = \bar{V}_R + \bar{I}_R \cdot \bar{Z} \;\ldots\ldots (1)$$

$$I_R = \frac{S_R}{\sqrt{3} \times V_R} = \frac{381 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 220 \times 10^3} \Rightarrow I_R = 1000\,A$$



$\bar{I}_R = 1000 \angle -36{,}87°$

$\varphi = \arccos(0{,}8)$

$\varphi = 36{,}87°$

$$\bar{V}_S = \frac{220KV}{\sqrt{3}} \angle 0° + 1000 \angle -36.87° \times (6 + j20)$$

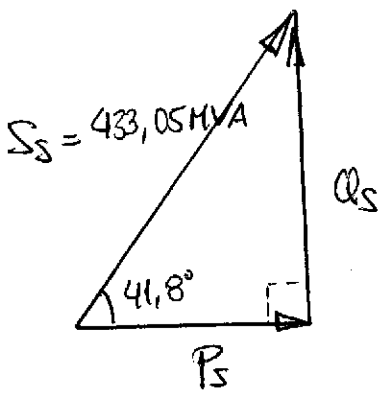
$$\bar{V}_S = 144{,}35 \angle 4{,}93° \ KV$$

$$\bar{U}_S = \sqrt{3} \times V_S = \underline{250KV}$$

$$\bar{S}_S = 3 . \bar{V}_S . \bar{I}_S^*$$

$$= 3 \times 144{,}35\,KV \angle 4{,}93° \times 1000\,A \angle 36{,}87°$$

$$\boxed{\bar{S}_S = 433{,}05\ MVA \angle 41{,}8°}$$



$$P_S = 433{,}05\,MVA \cdot \cos(41{,}8°)$$

$$\boxed{P_S = 322{,}83MW}$$

$$P_{PERD.} = P_S - P_R = 18{,}03MW$$

$$\boxed{\eta = 94{,}42\%}$$

PARAMETROS ABCD Y EL CIRCUITO π NOMINAL: LÍNEA DE LONGITUD MEDIA

UNA LÍNEA TRIFASICA DE 60HZ, COMPLETAMENTE TRANSPUESTA DE 345KV Y DE 200KM DE LONGITUD TIENE DOS CONDUCTORES ACSR 26/2 de 795000 cmil POR HAZ Y LAS SIGUIENTES CONSTANTES DE LA LÍNEA DE SECUENCIA POSITIVA.

$$\bar{Z} = 0{,}032 + j0{,}35 \ \Omega/Km$$
$$\bar{y} = j\,4{,}2 \times 10^{-6} \ S/Km$$

LA CARGA PLENA EN EL EXTREMO RECEPTOR DE LA LÍNEA ES DE 700 MW, CON UN F.D. DE 0,99 ADELANTADO Y A 95% DE LA TENSIÓN NOMINAL. SUPONIENDO UNA LÍNEA DE LONGITUD MEDIA, DETERMINE LO SIGUIENTE:

a) LOS PARAMETROS ABCD DEL CIRCUITO π NOMINAL.

b) LA TENSIÓN V_S, LA CORRIENTE I_S Y LA POTENCIA REAL P_S EN EL EXTREMO EMISOR

c) LA REGULACIÓN DE TENSIÓN EN %

d) EL LÍMITE TERMICO, CON BASE EN LA CAPACIDAD APROXIMADA DE TRANSMISIÓN DE CORRIENTE DADA EN LA TABLA A4

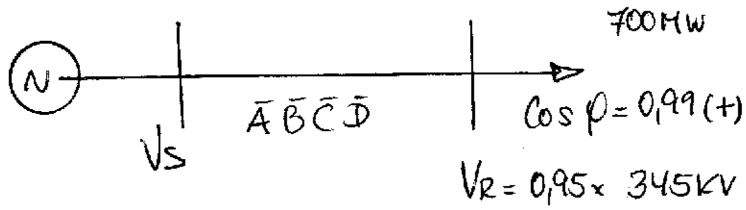
e) LA EFICIENCIA DE LA LÍNEA A PLENA CARGA.

SOLUCIÓN

$$\bar{A} = \left(1 + \frac{\bar{Z}\bar{Y}}{2}\right)$$

$$\bar{B} = \bar{Z}$$

$$\bar{C} = \left(1 + \frac{\bar{Z}.\bar{Y}}{4}\right)$$



$$\bar{D} = \bar{A}$$

$f = 60HZ$

$U_N = 345\ KV \qquad \ell = 200Km$

ACSR 26/2 de 795 MCM (mil circular mil)

$$\bar{Z} = 0{,}032 + j\,0{,}35 \ \Omega/Km$$
$$\bar{Y} = j\,4{,}2 \times 10^{-6} S/Km$$

$$\bar{Z} = Z.\ell = (0{,}032 + j\,0{,}35)\,200 \ (\Omega)$$
$$\bar{Z} = 70{,}292 \angle 84{,}78° \ (\Omega)$$

$$\bar{Y} = Y.\ell = (j\,4{,}2 \times 10^{-6}) \times 200 \ (S)$$
$$\bar{Y} = 8{,}4 \times 10^{-4} \angle 90° \ (S)$$

$$\bar{A} = 1 + \frac{70{,}292 \angle 84{,}78° \times 8{,}4 \times 10^{-4} \angle 90°}{2}$$

$$\boxed{\bar{A} = 0{,}9706 \angle 0{,}16°} \qquad \bar{A} = \bar{D}$$

$$\boxed{\bar{B} = \bar{Z} = 70{,}292 \angle 84{,}78° \ (\Omega)}$$

$$\bar{C} = 8{,}4\times10^{-4}\angle 90^\circ \left[1 + \frac{70{,}292\angle 84{,}78^\circ \times 8{,}4\times10^{-4}\angle 90^\circ}{4}\right]$$

$$\bar{C} = 8{,}277\times10^{-4}\angle 90{,}08^\circ$$

$$I_R = \frac{P_R}{\sqrt{3}\cdot U_R\cdot \cos\varphi} = \frac{700\,MW}{\sqrt{3}\times(0{,}95\times345\,kV)\times 0{,}99}$$

$$\boxed{I_R = 1245{,}55\,A}$$

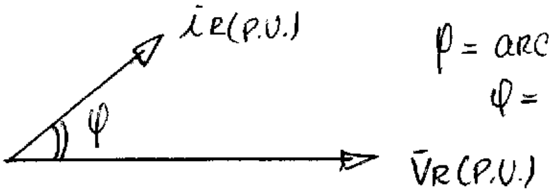
TOMANDO COMO VALOR BASE 1000 MVA

$$U_B = 345\,kV$$

$$Z_B = \frac{345^2}{1000} = 119{,}025$$

$$I_B = \frac{1000\,MVA}{\sqrt{3}\times 345\,kV} = 1673{,}48\,A$$

$$i_{R(P.U.)} = \frac{I_R}{I_B} = 0{,}7443$$



$$\varphi = \arccos(0{,}99)$$
$$\varphi = 8{,}11^\circ$$

$$\bar{i}_{R(P.U.)} = 0{,}7443\angle 8{,}11^\circ$$

$$\bar{V}_{S(P.U.)} = \bar{A}_{(P.U.)}\,\bar{V}_{R(P.U.)} + \bar{B}_{(P.U.)}\cdot\bar{I}_{R\,(P.U.)}$$

$$\bar{V}_{S(P.U.)} = 0{,}9706\angle 0{,}16^\circ \times 0{,}95\angle 0^\circ + \frac{70{,}292\angle 84{,}78^\circ}{119{,}025}\times 0{,}7443\angle 8{,}11^\circ$$

$$\bar{V}_{S(P.U.)} = 1{,}0\angle 26{,}14^\circ\ (P.U.)$$

$$U_S = 345\,kV \times 1{,}0$$

$$\boxed{U_S = 345\,kV}$$

$$\bar{I}_{S\,(P.U.)} = \bar{C}_{P.U.} \times \bar{V}_{R\,P.U.} + \bar{D}_{P.U.} \times \bar{I}_{R\,P.U.}$$

$$\bar{I}_{S(P.U.)} = 8{,}274 \times 10^{-4} \angle 90{,}08^\circ \times Z_B \times \bar{V}_{R\,(P.U.)} + 0{,}9706 \angle 0{,}16^\circ \cdot \bar{I}_{R\,(P.U.)}$$

$$\bar{I}_{S\,(P.U.)} = 0{,}7415 \angle 15{,}45^\circ$$

$$\bar{S}_S = \bar{V}_{S\,(P.U.)} \times \bar{I}_S^{*}{}_{(P.U.)}$$

$$\bar{S}_S = 1{,}0 \angle 26{,}14^\circ \times 0{,}7415 \angle -15{,}45^\circ$$

$$\boxed{\bar{S}_S = 0{,}7415 \angle 10{,}69^\circ}$$

$$\bar{V}_S = \bar{A} \cdot \bar{V}_R + \bar{B} \cdot \bar{I}_R$$

en vacío: $I_R = 0$

$$\bar{V}_{R(\phi)} = \frac{\bar{V}_S}{\bar{A}} = \frac{1{,}0}{0{,}9706} = 1{,}0303$$

$$P_S = 0{,}7415 \times \cos(10{,}69^\circ)$$

$$P_S = 0{,}7286 (P.U.)$$

$$\boxed{P_S = 728{,}6\,MW}$$

$$P_{perd.} = P_S - P_R = 728{,}6\,MW - 700\,MW = 28{,}6\,MW$$

$$\eta = \frac{700}{728{,}6} \times 100$$

$$\boxed{\eta = 96{,}07\%}$$

$$V_{reg}\,\% = \frac{V_{R(\phi)} - V_{R\,(P.C.)}}{V_{R\,(P.C.)}}$$

$$= \frac{1{,}0303 - 0{,}95}{0{,}95} \times 100$$

$$\boxed{V_{reg}\,\% = 8{,}45\%}$$

MODELO DE LÍNEA LARGA

CONSTANTE DE PROPAGACIÓN : $\bar{\gamma}$

A : $\measuredangle$ PEQUEÑO

B : $\measuredangle$ GRANDE

$$\bar{\gamma} = \sqrt{\bar{Z} \cdot \bar{Y}}$$

$$\bar{Z} \cdot \bar{Y} = \gamma^2$$

$$\bar{\gamma} = \alpha + jB$$

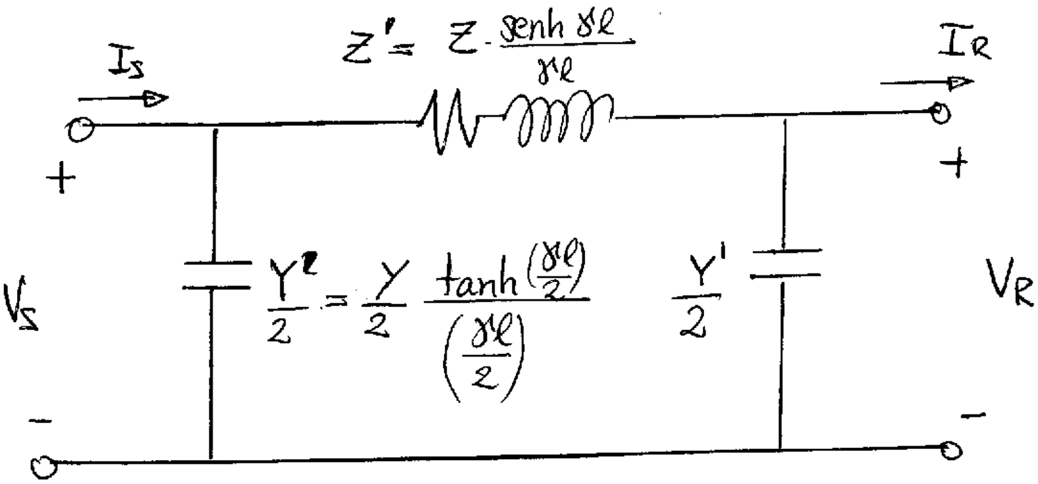
IMPEDANCIA CARACTERISTICA : $\bar{Z}_C$

$$\bar{Z}_C = \sqrt{\frac{\bar{Z}}{\bar{Y}}}$$

$$V_S = \left(1 + \frac{Z'Y'}{2}\right) \cdot V_R + Z' \cdot I_R$$

$$\tanh \frac{\gamma l}{2} = \frac{\cosh \gamma l - 1}{\operatorname{senh} \gamma l}$$

$$I_S = Y'\left(1 + \frac{Z'Y'}{4}\right) V_R + \left(1 + \frac{Z'Y'}{2}\right) \cdot I_R$$



$$Z' = Z_c \operatorname{senh} \gamma l = Z \cdot \frac{\operatorname{senh} \gamma l}{\gamma l}$$

$$\frac{Y'}{2} = \frac{1}{Z_c} \tanh \frac{\gamma l}{2} = \frac{Y}{2} \frac{\tanh(\gamma l/2)}{(\gamma l/2)}$$

Ejm:

Parametros ABCD exactos: Línea Larga

Una línea trifasica de 765kV, 60Hz y 300km de longitud, completamente transpuesta, tiene la impedancia y admitancia, en secuencia positiva sgt:

$$Z = 0{,}0165 + j\,0{,}3306 = 0{,}3310 \angle 87{,}14^\circ \ \Omega/Km$$

$$Y = j\,4{,}674 \times 10^{-6}\ S/Km$$

Suponiendo operación en secuencia positiva, calcule los parametros ABCD exactos de la línea. Compare los parametros exactos B con el del circuito π nominal.

Calcular:

a) La impedancia caracteristica

b) El ángulo caracteristico $\bar{\gamma}l$

c) $e^{\bar{\gamma}l}$

d) $e^{-\bar{\gamma}l}$

e) $\bar{A}$

f) $\bar{B}$

g) $\bar{C}$

Solución

a) $$\bar{Z}_C = \sqrt{\frac{\bar{Z}}{\bar{Y}}} = \sqrt{\frac{0{,}3310 \angle 87{,}14^\circ}{4{,}674 \times 10^{-6} \angle 90^\circ}} \Rightarrow \bar{Z}_C = 266{,}12 \angle -1{,}43^\circ\ (\Omega)$$

b) $$\bar{\gamma} = \sqrt{\bar{Z} \cdot \bar{Y}} = \sqrt{(0{,}3310 \angle 87{,}14^\circ)(4{,}674 \times 10^{-6} \angle 90^\circ)} \Rightarrow \gamma = 1{,}24 \times 10^{-3} \angle 88{,}57^\circ$$

$$\bar{\gamma} \cdot l = (0{,}00931 + j\,0{,}3730) \cdot (p.u.) = 0{,}37312 \angle 88{,}57^\circ$$

c) $$e^{\bar{\gamma}l} = e^{0{,}00931 + j0{,}3730} = 1{,}009353473 \angle 21{,}37^\circ = 0{,}93995 + j\,0{,}36782$$

d) $$e^{-\bar{\gamma}l} = e^{-(0{,}00931 + j0{,}3730)} = 0{,}990733 \angle -21{,}37^\circ = 0{,}92261 + j\,0{,}36103$$

$$\operatorname{Cosh}(\gamma l) = \frac{e^{\gamma l} + e^{-\gamma l}}{2}$$

$$\operatorname{Senh}(\gamma l) = \frac{e^{\gamma l} - e^{-\gamma l}}{2}$$

$$\cosh(\gamma\ell) = \frac{(0{,}93995 + j\,0{,}36782) + (0{,}92261 - j\,0{,}36103)}{2}$$

$$\cosh(\gamma\ell) = 0{,}93128 + j\,0{,}0034 = 0{,}93129\angle 0{,}209^\circ$$ (TIENE MENOR ÁNGULO)

$$\operatorname{Senh}(\gamma\ell) = \frac{(0{,}93995 + j\,0{,}36782) - (0{,}92261 - j\,0{,}36103)}{2}$$

$$\operatorname{Senh}(\gamma\ell) = 0{,}00867 + j\,0{,}36443 = 0{,}36453\angle 88{,}637^\circ$$ (TIENE MAYOR ÁNGULO)

$A = D = \cosh(\gamma\ell)$ (P.U.)

$B = Z_c \cdot \operatorname{Senh}(\gamma\ell)$ (Ω)

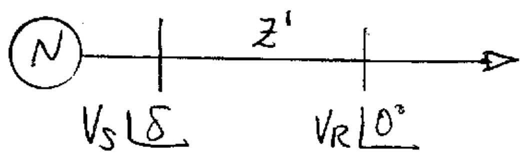
$C = \dfrac{1}{Z_c}\operatorname{Senh}(\gamma\ell)$ (S)

$A = D = 0{,}93129\angle 0{,}209^\circ$ (P.U.)

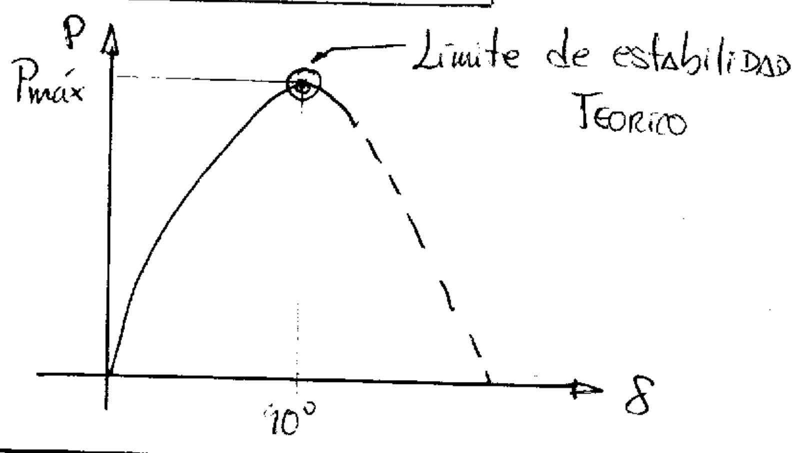
$B = (266{,}12\angle -1{,}43^\circ) \times (0{,}36453\angle 88{,}637^\circ) = 97{,}0\angle 87{,}21^\circ$ (Ω)

$C = \dfrac{0{,}36453\angle 88{,}637^\circ}{266{,}12\angle -1{,}43^\circ} = 1{,}37 \times 10^{-3}\angle 90{,}067^\circ$ (S)

EN LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN SIN PÉRDIDAS



$$\boxed{P = \frac{V_S \cdot V_R}{X'} \cdot \operatorname{Sen}\delta}$$



$$P = \frac{V_R \cdot V_S}{Z_c \cdot \operatorname{Sen}\beta l} \times \operatorname{Sen}\delta$$

$$P = \left(\frac{V_R V_S}{Z_c}\right) \cdot \frac{\operatorname{Sen}\delta}{\operatorname{Sen}\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot l\right)}$$

$\therefore \left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot l\right)$ se opera en Radianes.

$$P = \frac{V_S}{V_N} \cdot \frac{V_R}{V_N} \cdot \underbrace{\frac{V_N^2}{Z_c}}_{SIL} \cdot \frac{\operatorname{Sen}\delta}{\operatorname{Sen}\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot l\right)}$$

$$\boxed{P = V_{S(P.U.)} \times V_{R(P.U.)} \times SIL \times \frac{\operatorname{Sen}\delta}{\operatorname{Sen}\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot l\right)}}$$

$$\boxed{SIL = \frac{V_N^2}{Z_c}}$$

Si : $\delta = 90°$

$$\boxed{P_{\substack{máx \\ Teorica}} = V_{S(P.U.)} \times V_{R(P.U.)} \times \frac{SIL}{\operatorname{Sen}\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot l\right)}}$$

Ejm:

Despreciando las perdidas en las líneas, encuentre el límite teorico de estabilidad en estado estacionario para la línea de 300 Km. Suponga una impedancia caracteristica de 266,1 Ω, su longitud de onda de 5000 Km y $V_S = V_R = 765\text{ KV}$.

Si: $U_N = 765\text{ KV}$

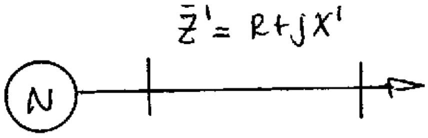
$U_{S(P.U.)} = 1.0$ P.U.

$U_{R(P.U.)} = 1.0$ P.U.

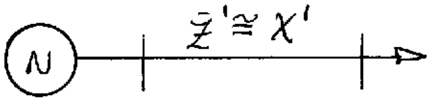
$$SIL = \frac{U_N^2}{Z_c} = \frac{765^2}{266,1} = 2199,3\text{ MW}$$

$$P_{\substack{máx\ teorica \\ L.T.\ sin\ perd.}} = 1,0 \times 1,0 \times \frac{2199.3}{\operatorname{Sen}\left(\underbrace{\frac{2\pi}{5000} \times 300}_{\text{Radianes}}\right)}$$

$$= 5974\text{ MW}$$

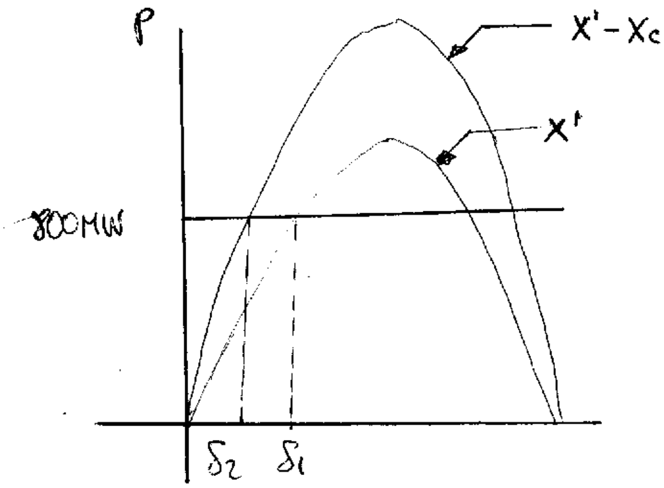


EN L.T. SIN PÉRDIDAS



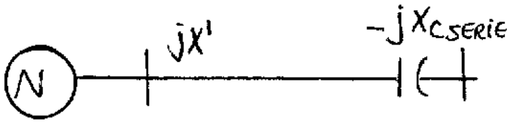
$P \sim \frac{1}{X'} \rightarrow X' \sim \ell$

EN LÍNEAS MUY ·· $X' \rightarrow$ ALTO $\Rightarrow P\downarrow$



$\delta_2 < \delta_1$

GRACIAS A LA COMPENSACIÓN

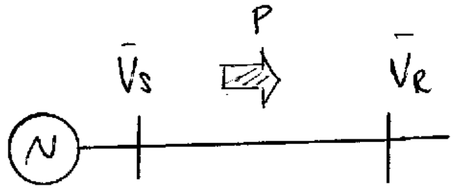


LA COMPENSACIÓN SERIE ELEVA LA CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN A MEJOR LÍMITE DE ESTABILIDAD.

Ejm:

DETERMINE LA POTENCIA MÁXIMA TEÓRICA, EN MW Y POR UNIDAD DE LA CARGA SIL, QUE LA LÍNEA PUEDE ENTREGAR. SUPONGA QUE $V_S = V_R = 765\,KV$

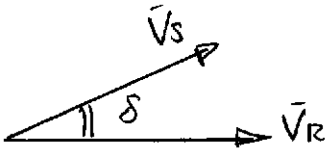
$A = 0,9313$ POR UNIDAD

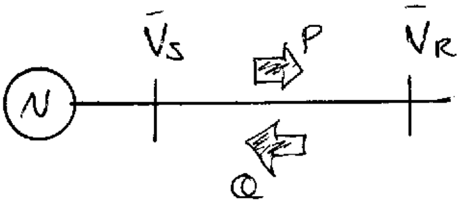


FACTS

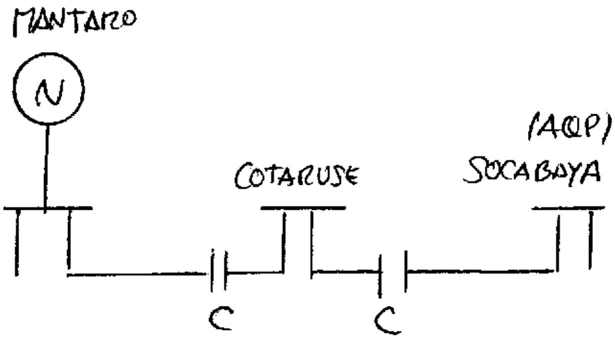
: SISTEMA FLEXIBLE DE TRANSMISIÓN DE LA AC.

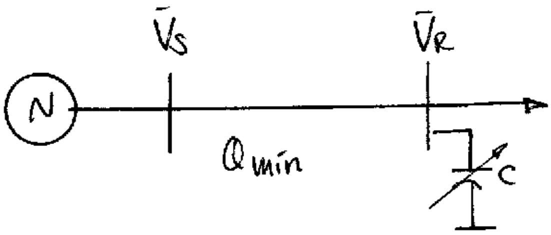
⟶ CAPACITOR VIRTUAL



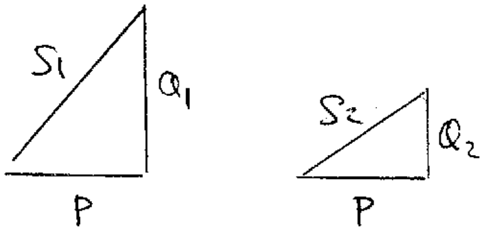


$V_S < V_R$





$|\bar{V}_S|$ CERCANO $|\bar{V}_R|$



$S_1 > S_2$

$I_1 > I_2$

$P_{perd} \sim I^2$

Cálculo de corrientes de cortocircuitos

1) Objetivos:
Calcular la corriente de cortocircuito en un sistema eléctrico de Potencia.

2) Procedimiento.
- Para desarrollar el cálculo de la corriente de corto circuito 3∅ se empleará el circuito equivalente monofásico en P.U.
- Para el cálculo de C.C. desbalanceados se empleará el método componentes simétricos

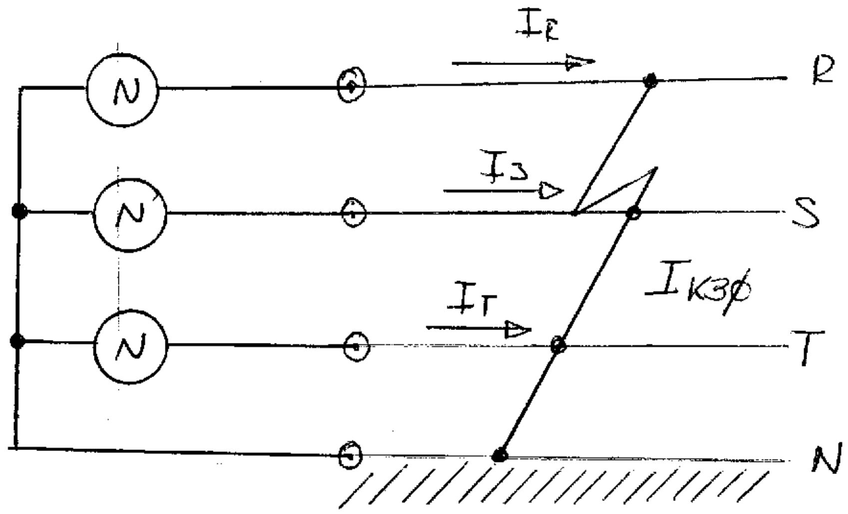
Los cortocircuito Dependen bastante de donde se ubique

Tipos de C.C.

Según su ubicación:
a) Alejado de los centros de generación
b) Próximo a los centros de generación

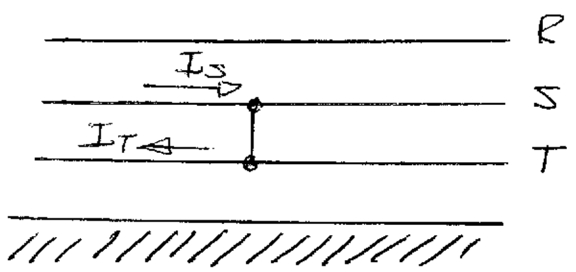
Según el Nº de fases involucrados en la falla:

a) Cortocircuito trifásico

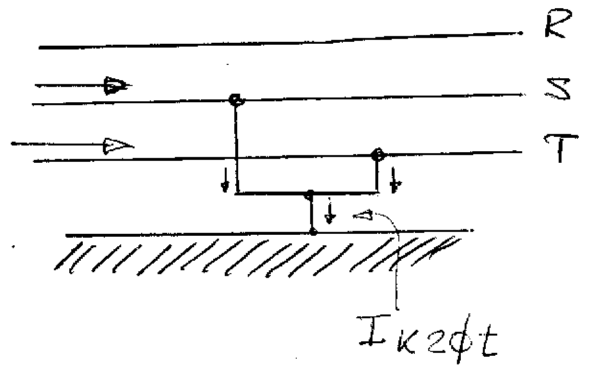


$I_R = I_S = I_T$ (C.C. balanceado)

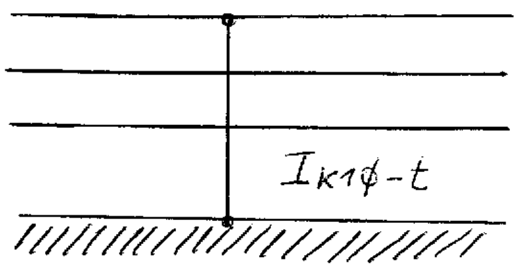
b) Cortocircuito Bifásico



c) Cortocircuito bifásico a tierra



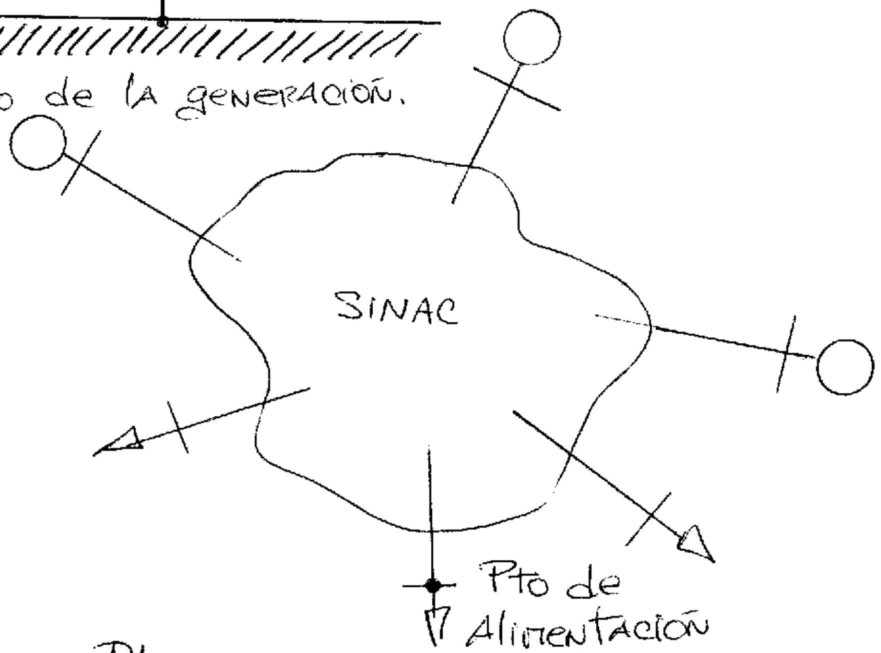
d) Cortocircuito monofásico a tierra

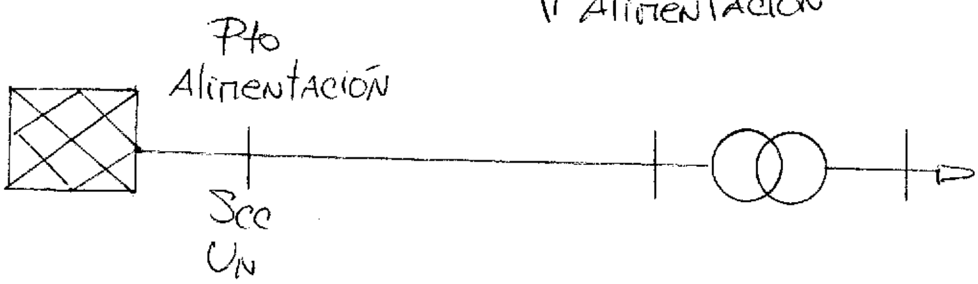


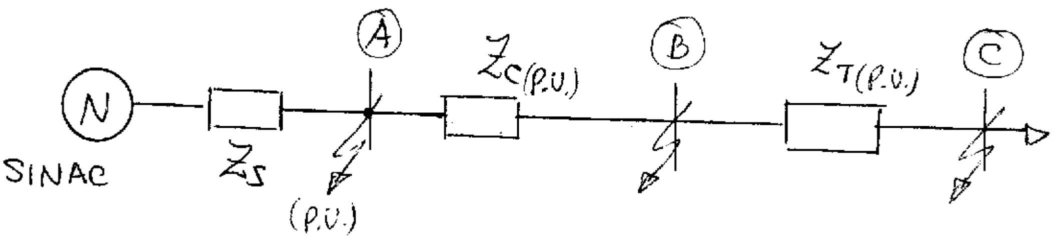
Normas:

* IEC – 60909
* ANSI – C37,10

A) C.C: Alejado de la generación.



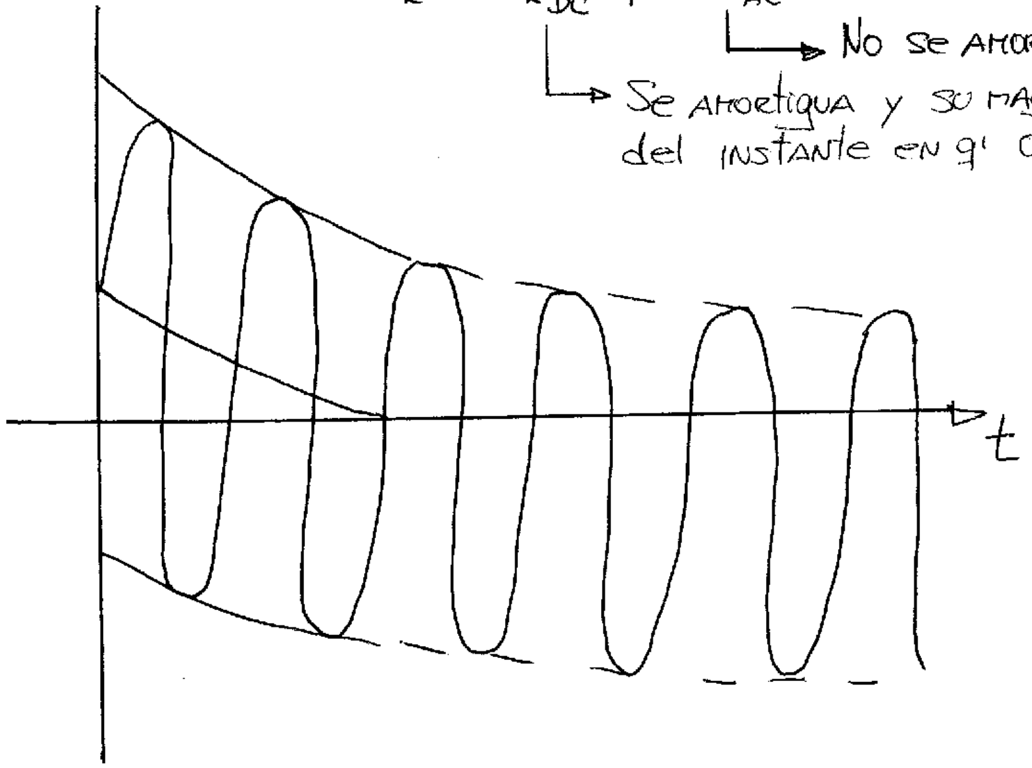




$I_K = I_{K_{DC}} + I_{K_{AC}}$

$I_{K_{AC}}$ → No se amortigua

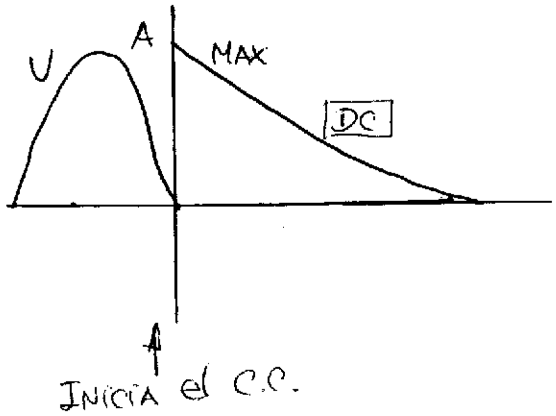
$I_{K_{DC}}$ → Se amortigua y su magnitud depende del instante en q' ocurre el C.C.

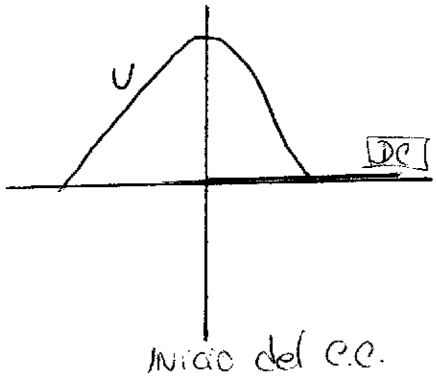


simetrica

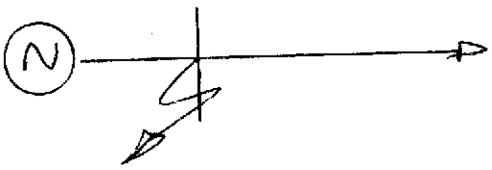
$I_{K-SYM} \rightarrow DC = 0$

$I_{K-ASYM} \rightarrow DC = Máx$

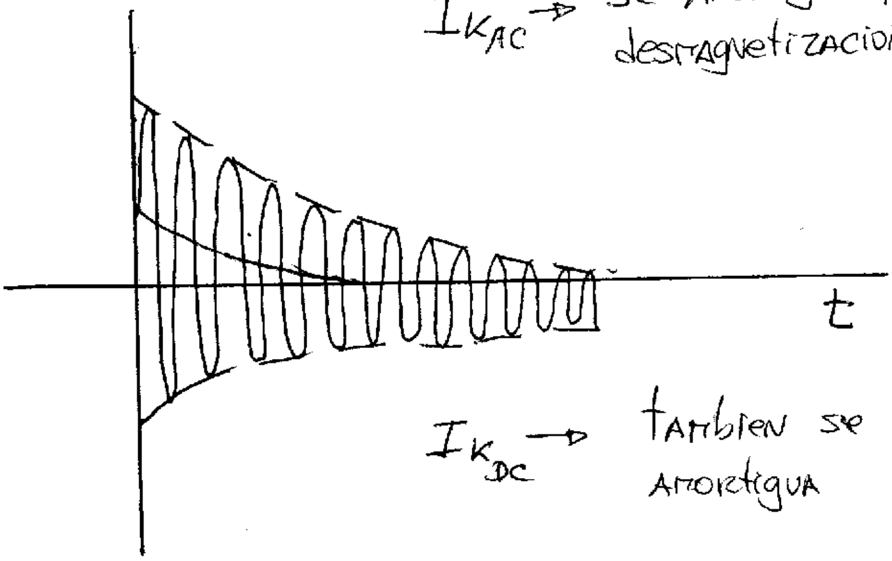




B) C.C. en próximo a la Generación

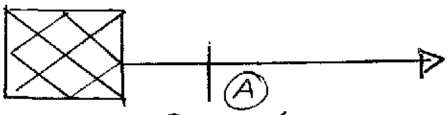


$I_{K_{AC}}$ → Se amortigua producto de la desmagnetización del generador



$I_{K_{DC}}$ → tambien se amortigua

Ejm ① Calcular I_{cc} 3ϕ en la barra Ⓐ



$S_{cc} = 4500$ MVA

$U_N = 60$ KV

Tensión previo a la falla 1,0 P.U.

$$S_{cc\,3\phi} = \sqrt{3} \cdot U_N \times I_{cc}$$

$$I_{cc} = \frac{4500\,MVA}{\sqrt{3} \times 60\,KV} = 43{,}3\,KA$$

Ejm ②:

Calcular la I_{cc} 3ϕ en la barra Ⓐ empleando valores en P.U.

* Valores base:

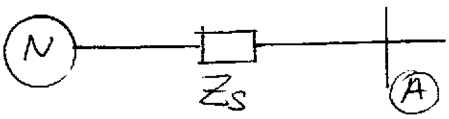
$S_B = 100$ MVA

$U_B = 60$ KV

$S_{cc} = 4500$ MVA

$U_N = 60$ KV

* Tensión previo a la falla 1,05 p.u.



Cálculo de Z_S.

$$\boxed{S_{cc} = \frac{S_B}{Z_{S\,(P.U.)}}}$$

$$Z_{S\,P.U.} = \frac{100\,MVA}{4500\,MVA}\ (P.U.)$$

$$Z_S = 0{,}0\hat{2}\ (P.U.)$$

$$I_{cc\,(P.U.)} = \frac{u_{(P.U.)}}{Z_{S\,(P.U.)}}$$

$$I_{c.c\,(P.U.)} = \frac{1{,}05}{Z_S} = \frac{1{,}05}{0{,}0\hat{2}}$$

$$I_{cc\,P.U.} = 47{,}25\ (P.U.)$$

Cálculo de la I_{BASE}.

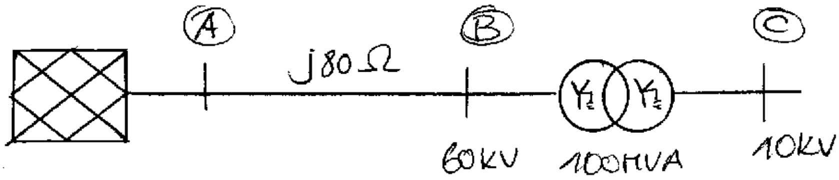
$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} \times U_B} = \frac{100\,MVA}{\sqrt{3} \times 60\,KV}$$

$$I_B = 962,25\,A$$

$$\Rightarrow I_{cc} = I_{cc\,(P.U.)} \times I_B$$

$$I_{cc} = 45,47\,KA$$

Ejm ③:



$Scc_{3\phi} = 10\,000\,MVA$ 100MVA

$U_N = 60KV$ 60/10KV

$R_S = 0$ $\mu cc = 10\%$

Empleando valores en P.U. hallar la $I_{cc\,3\phi}$ en las barras Ⓐ, Ⓑ y Ⓒ

Asumir q' la tensión previa a la falla es 1,05 P.U.

Tomar como valores bases 100MVA y 60KV en el lado de la fuente.

a) Cálculo de Zs en P.U.

$$Z_S = j\,\frac{S_B}{S_{cc}} = j\,\frac{100\,MVA}{10\,000\,MVA}$$

$$Z_S = j\,0,01\ P.U.$$

$$\bar{I}_{cc\,A} = \frac{1,05\angle 0^\circ}{Z_S\angle 90^\circ} = \frac{1,05\angle -90^\circ}{0,01} = 105_{P.U.}\angle -90^\circ$$

b) Cálculo Z_{cc_B} en P.U.

$$Z_{LINEA\,(P.U.)} = \frac{Z_L}{Z_B} = \frac{j\,80\,\Omega}{36\,\Omega} = j\,2,\hat{2}\ (P.U.)$$

$$Z_B = \frac{60^2}{100} = 36\,\Omega$$

$$\bar{Z}_{cc_B} = \bar{Z}_{S\,(P.U.)} + \bar{Z}_{LT\,(P.U.)}$$

$$= (j\,0,01 + j\,2,\hat{2})_{P.U.}$$

$$\bar{Z}_{cc_B} = j\,2,23\hat{2}\ (P.U.)$$

$$\bar{I}_{cc_B} = \frac{1,05\angle 0^\circ}{2,232\angle 90^\circ}\ (P.U.)$$

$$\bar{I}_{cc_B} = 0,47\ (P.U.)\ \angle -90^\circ$$

c) Cálculo Z_{cc_c} en P.U.

$$\bar{Z}_T = j\,0{,}1$$

$$\Rightarrow \bar{Z}_{cc_c} = j\,2{,}232 + j\,0{,}1$$

$$\bar{Z}_{cc_c} = 2{,}332 \angle 90^\circ$$

$$\bar{I}_{cc_c} = \frac{1{,}05 \angle 0^\circ}{2{,}332 \angle 90^\circ} \text{ P.U.}$$

$$\bar{I}_{cc_c} = 0{,}4502 \text{ p.u.} \angle -90^\circ$$