MAQUINAS ELECTRICAS

I

Prof. Ing. Fredy Castro Salazar

esgroups.yahoo.com/group/maquinaselectricas_unac

CONTENIDO

Control de lectura

- Circuitos Magnetico
- Estudio del Reactor
- El Transformador
- El Auto Transformador
- Conexiones Trifasicas del Transformador
- Paralelo del Transformador

Bibliografia

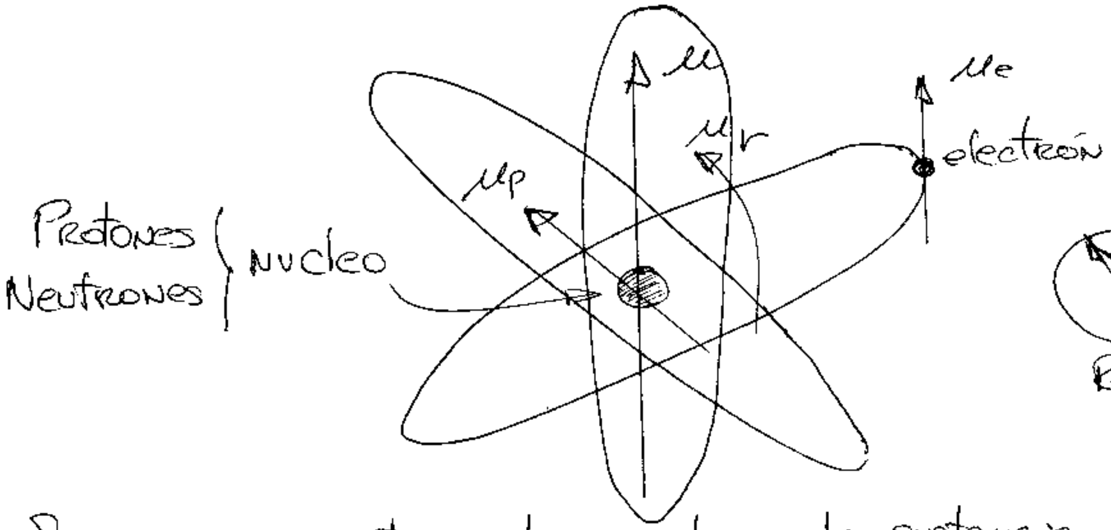
- Circuito Magneticos y Transformadores STAFF of MIT
- Maquinas Electricas I : Bielb - Bianchi
- " " : Chapman
- Transformadores : Enrique Ras

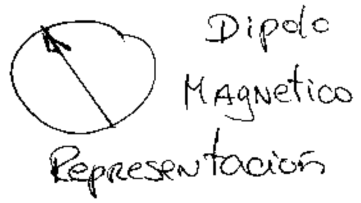
Sist. Evaluación

$$P.F. = \frac{P.P. + E.P. + LAB + E.F.}{4}$$

Propiedades Magneticas de la Materia

Origen del Magnetismo: Es fundamentalmente de origen magnetico en el atomo de Bohr.





Según su magnetismo hay 3 tipo de sustancia

- Materiales ferromagneticos
- " Paramagneticos
- " Diamagneticos

Materiales Ferromagneticos

Es un material el cual al aplicarle un campo magnetico externo, sus dipolo magneticos se orientan en el sentido del campo aplicado, luego al retirar dicho campo, trata de mantener la orientación.

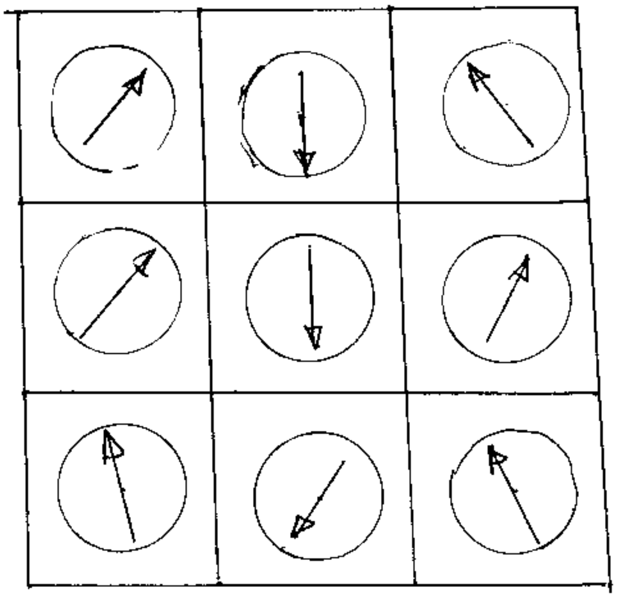
Materiales Paramagneticos

En este caso, al retirar el campo magnetico externo, los dipolos magneticos permanecen orientados al azar.

Materiales Diamagnetico:

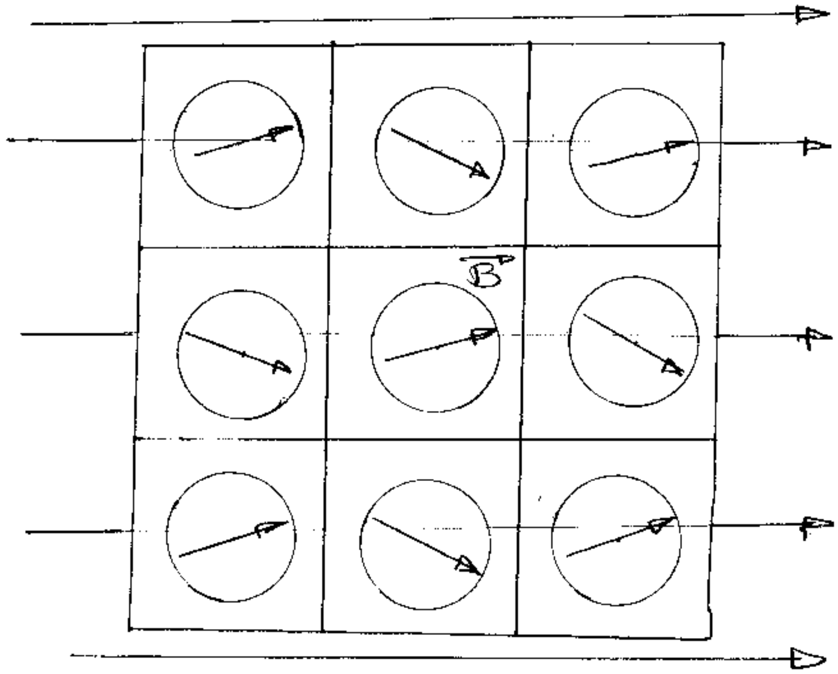
En este caso la imanación tiende a orientarse en el sentido contrario u opuesto al campo aplicado

COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL FERROMAGNETICO

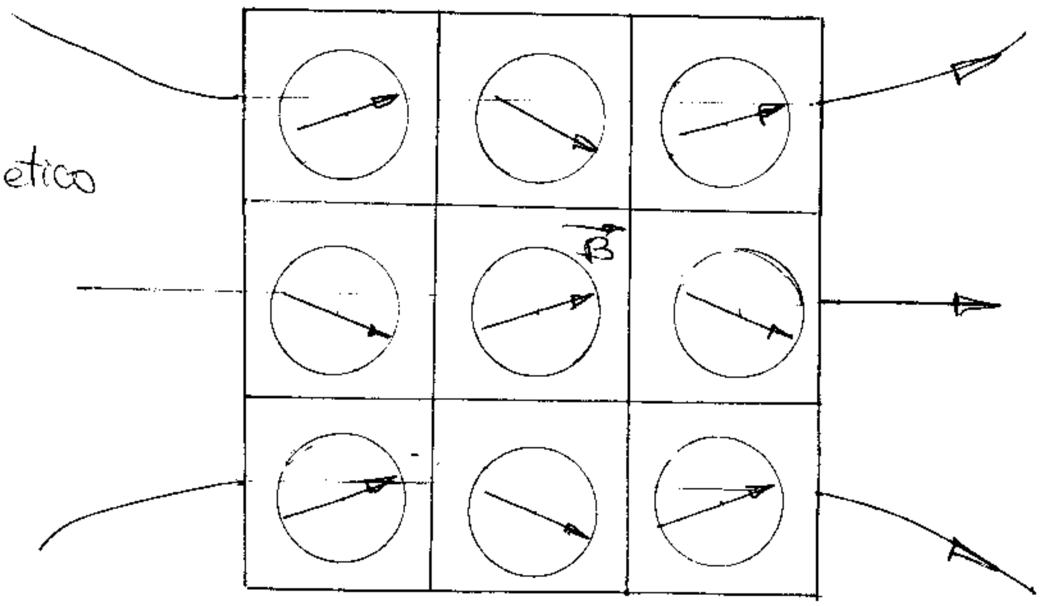


Sin aplicar
Campo Externo

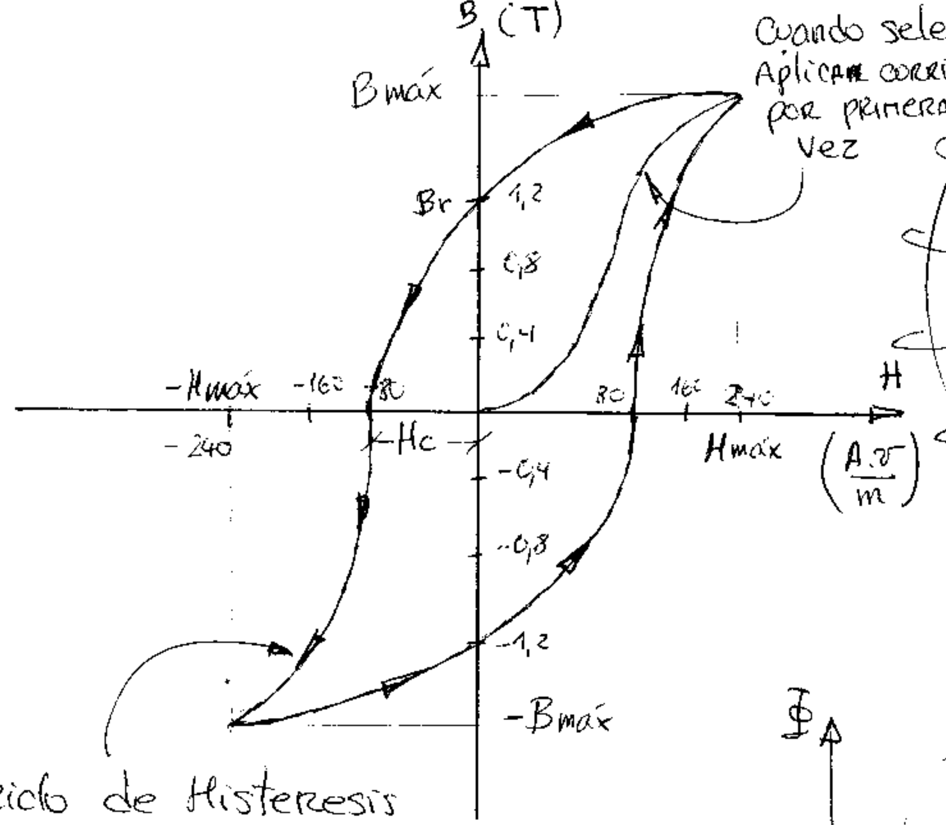
Al aplicar
Campo Externo H

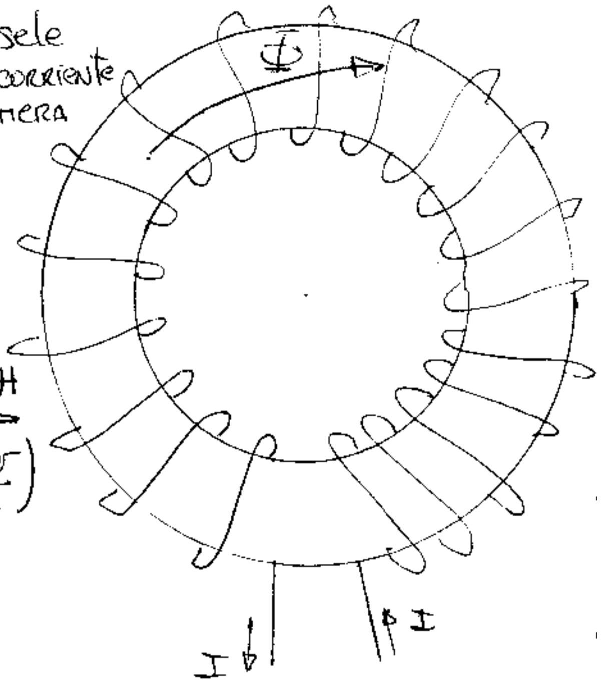


Al retirar
el campo Magnetico
(los dipolo tiende
a mantener la
orientación)

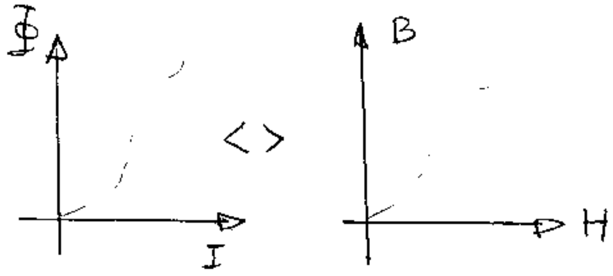


Curva Característica de Magnetización del fierro





Ciclo de Histeresis (fenomeno por el cual el material trata de conservar su campo magnetico)



Br: Inducción Residual
Es el campo residual o sobrante al quitar el campo externo

Hc: Campo Coercitivo
Es el campo externo, contrario y necesario para q' la inducción residual sea cero.

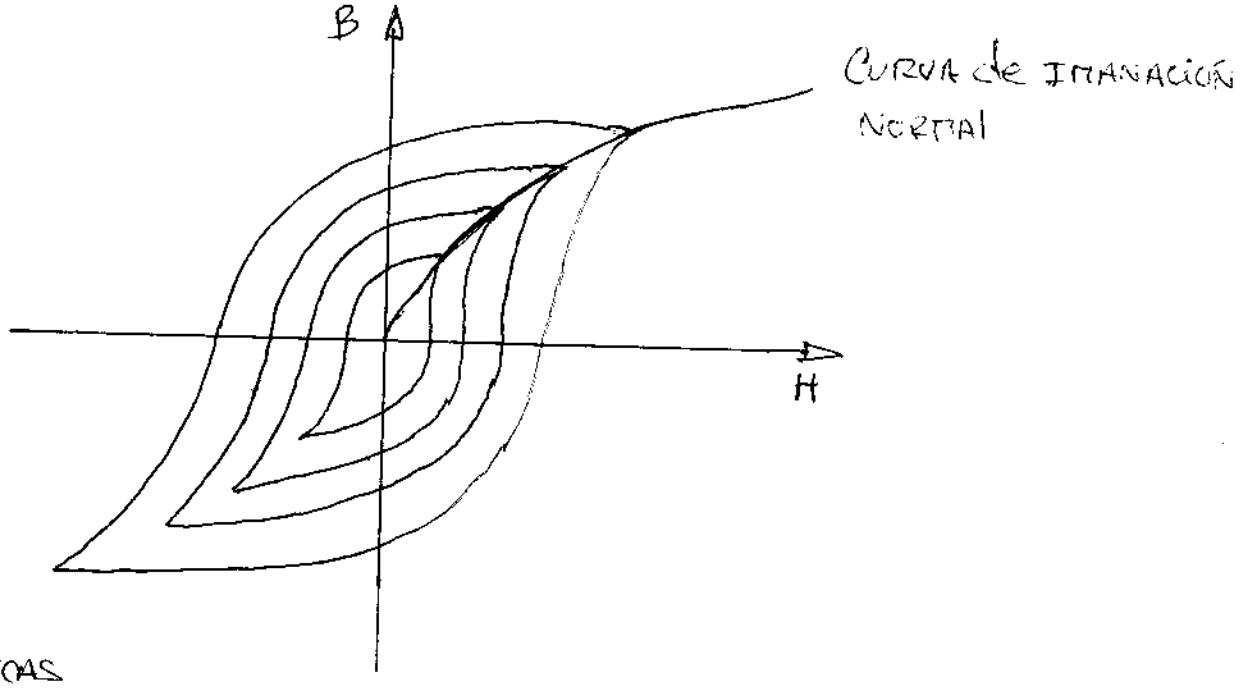
(No depende del Tiempo, depende del material si se está magnetizado o desmagnetizado)

Característica de los Materiales Ferromagneticos

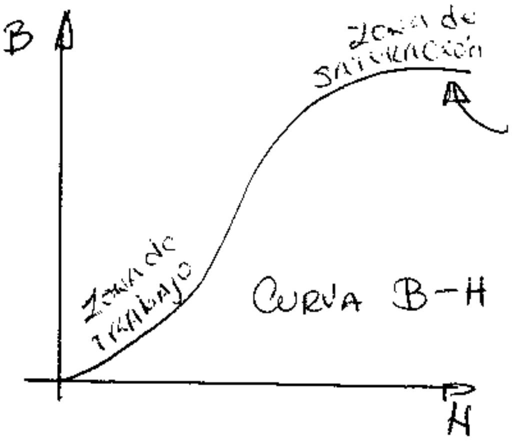
- Imanación más facil q' los demas materiales
- Inducción magnetica intrinseca maxima (Bmáx) muy elevada
- La facilidad de imanación depende del campo magnetico aplicado. Hay una relación "no lineal" entre B y H.
- Conserva la imanación al suprimir el campo magnetico externo
- Se opone a la inversión del sentido de la imanación una vez imanados.

Curva B-H

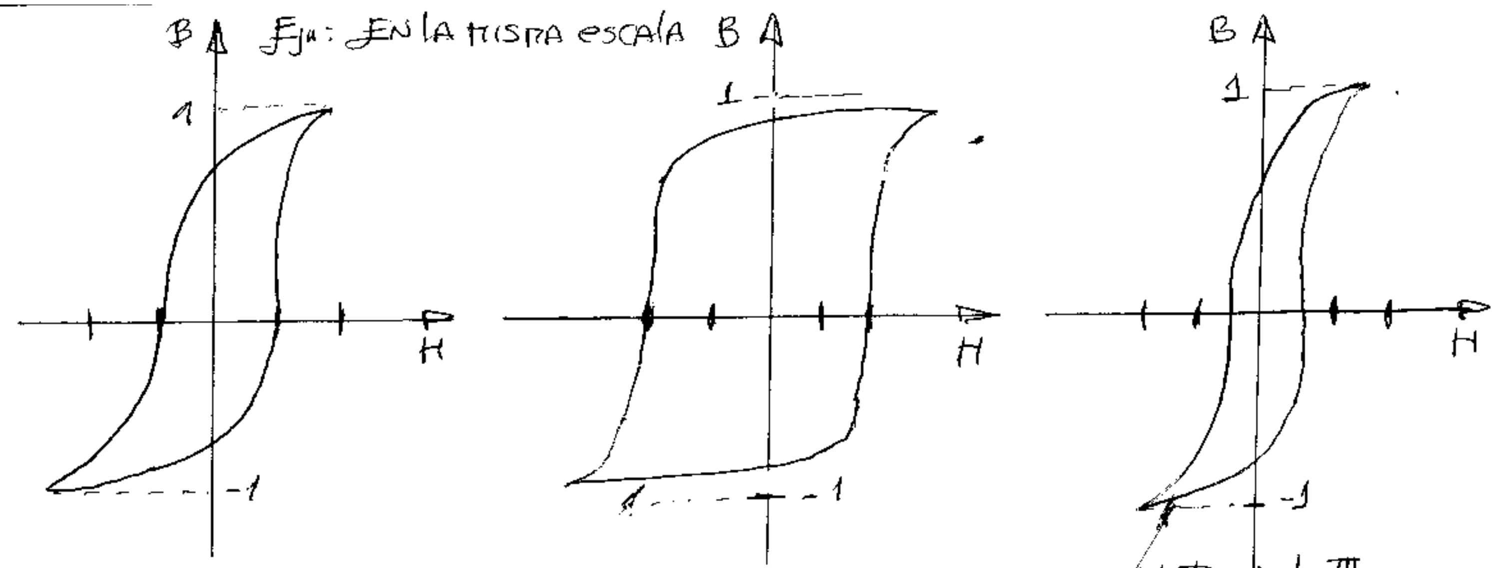
La inducción magnetica asociada a un campo magnetico dado "NO" tiene un solo valor definido, está entre ciertos limites, depende de la historia del material. Por ello se utiliza la "curva de imanación normal" en algunos calculo y en la solucion de problemas de circuitos magnéticos.



Caracteristicas



Al aumentar H la inducción magnetica B se mantiene constante (ya no aumenta)



Material I　　　Material II　　　Material III

El area encerrada en un lazo de histeresis presenta la perdida de energia en el Fe

(Para crear imanes permanentes se utiliza esta curva porque es mas dificil desmagnetizarlo)

(Para transformadores se utiliza esta curva porq. es mas facil magnetizarlo y desmagnetizarlo)

(El material se calienta porq. en la corriente alterna van cambiando de sentido los dipolos y hay se consume trabajo - friccion)

Materiales magneticamente densos

" 　　" 　　Blandos

Circuitos Magneticos

<u>Concepto</u>: Un circuito magnetico consiste en su mayor parte de su longitud de un material de gran permeabilidad, de seccion sustancialmente uniforme y en el cual queda confinado el flujo magnetico. El concepto de circuito magnetico simplifica el problema porq. transforma el campo tridimensional en un circuito unidimensional.

<u>Unidades Relacionadas</u>

$\vec{B}$: Inducción Magnetica → Unidad: $1[\text{Teslas}] = 1\left[\frac{\text{Weber}}{m^2}\right] = 1[T]$

$\vec{H}$: Intensidad de Campo → Unidad: $1\left[\frac{A.v}{m}\right] = 1[\text{Lenz}]$

Relación (no lineal):

$$\boxed{\vec{B} = \mu \vec{H}}$$

Hipotesis: Estado Cuasiestacionario (Φ; i=cte)

Problemas.

a) Dado: Configuración, Corriente, Material $\longrightarrow$ Hallar: B

b) Dado: Configuración, Inducción Magnética, Material $\longrightarrow$ Hallar: H

Ecuaciones Necesarias

1) $\vec{H} = \dfrac{\vec{B}}{\mu}$ donde: $\mu = f(B)$

2) $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$ (2^{da} ec. Maxwell)

3) $i = \int \vec{H} \cdot d\vec{l}$ (ley de Ampere)

4) $\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{s}$ (3^{ra} ec. Maxwell)

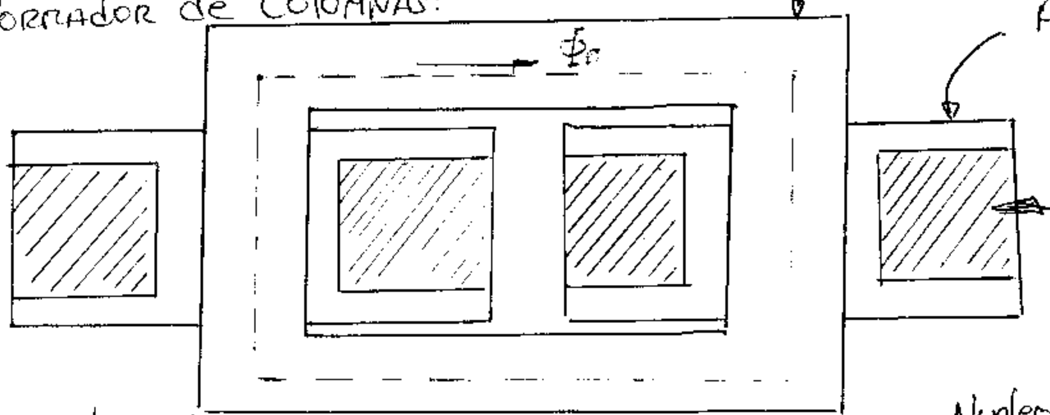
Algunos Circuitos Magneticos

Transformador de Columnas:

Nucleo de fierro laminado

Aislante

devanado

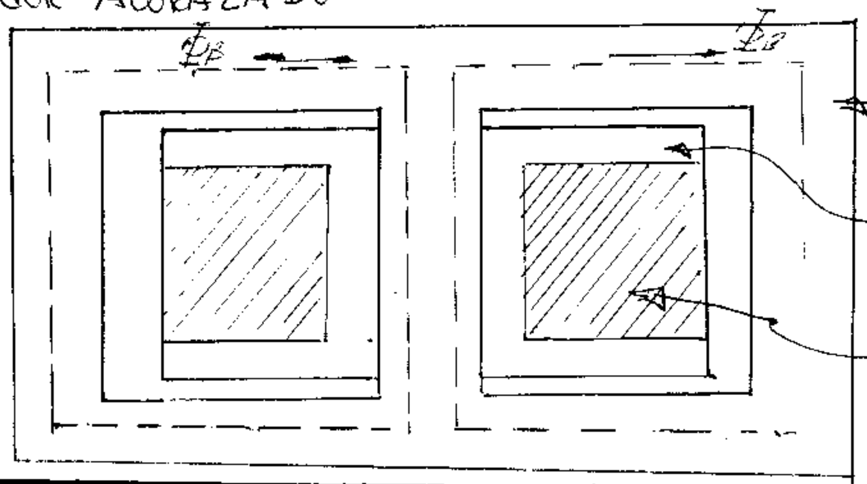


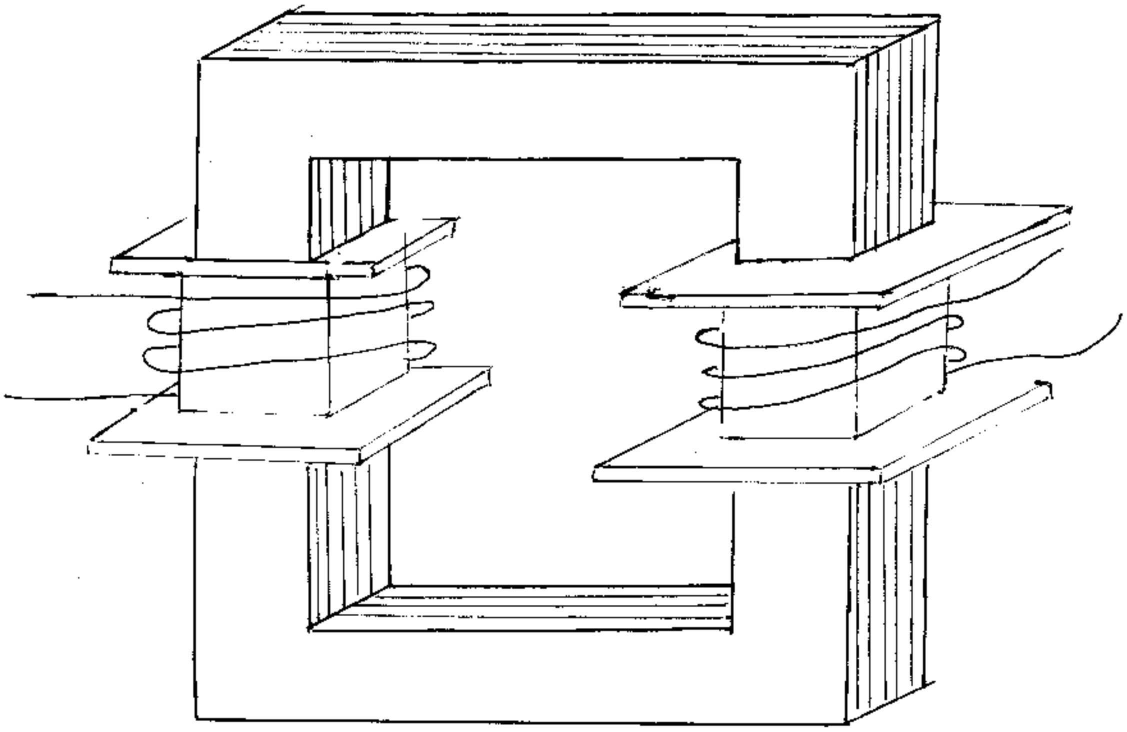
Transformador Acorazado:

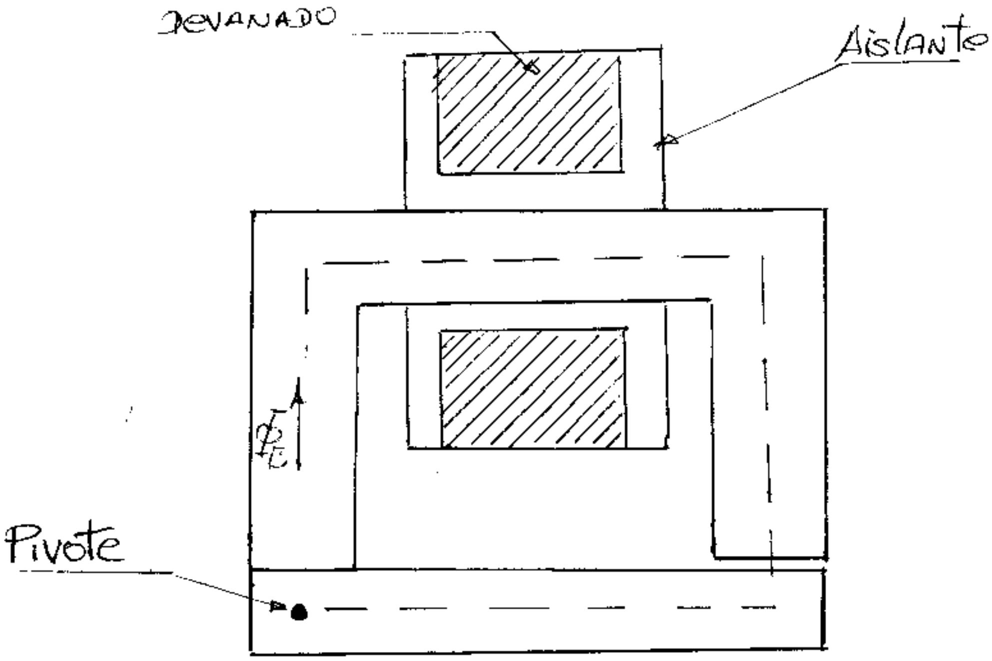
Nucleo de fierro Laminado

Aislante

devanado



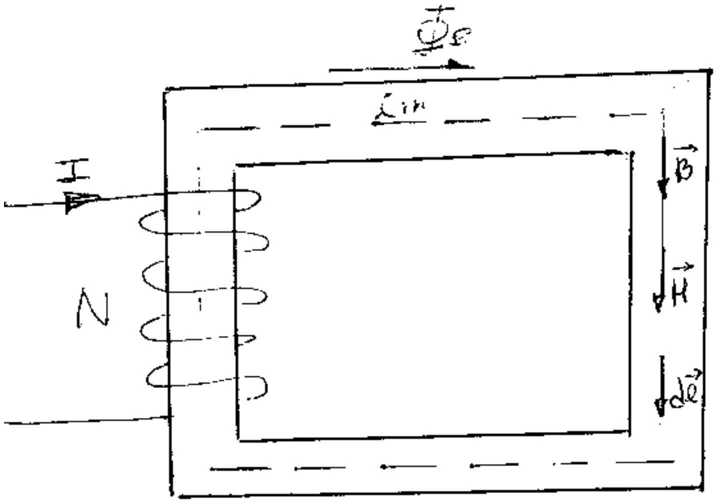




Relé

CIRCUITO MAGNETICO SIMPLE

Area de la sección transversal cte.



De la ley de Ampere

$$i_{encerrada} = \int \vec{H} \cdot \vec{dl}$$

$$= \int H \, dl \cos 0°$$

$$i_{enc} = \int H \, dl \ldots \quad (1)$$

Como: $A = cte \rightarrow B = \frac{\Phi}{A} = cte$

$\therefore H = cte$ en todo el ckto

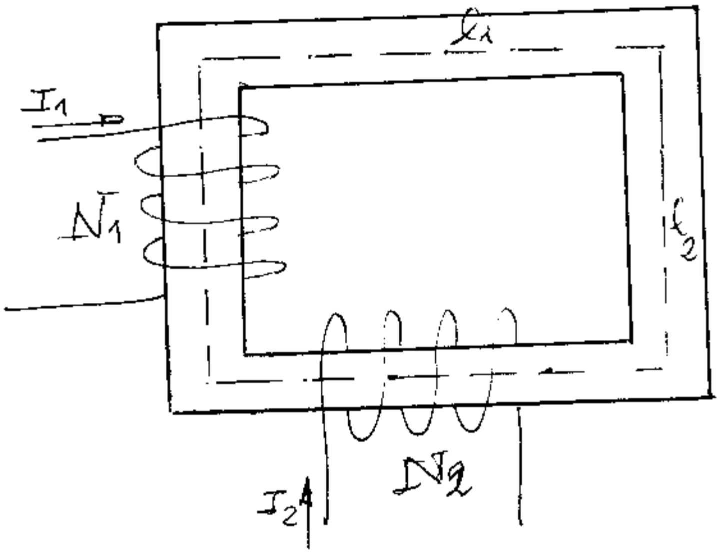
$$i_{enc} = H \int dl = H \, l_m \ldots (1)$$

Pero: $i_{enc} = NI \Rightarrow$

en (1)

$$\boxed{N \cdot I = H \cdot l_m}$$

LEY DE CIRCUITO MAGNETICO



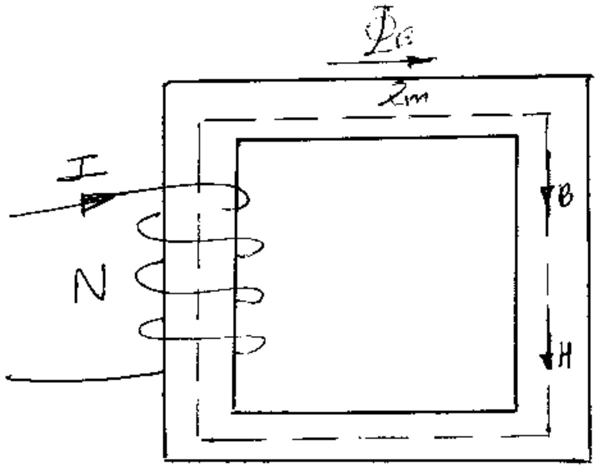
$$N_1 I_1 + N_2 I_2 + \ldots = H_1 l_1 + H_2 l_2 + \ldots$$

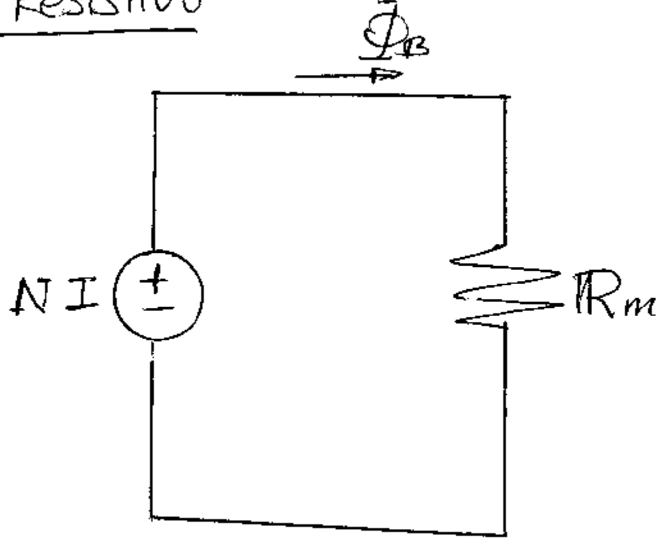
$$\boxed{\sum NI = \sum H \cdot l}$$

ley de los cktos magneticos

$$\boxed{\sum f.m.m. = \sum \text{caida de potencial magnetico}}$$

Circuito Analogo Resistivo





Sabemos q'

$$N I = H l_m$$

$$= \frac{B}{\mu} . l_m$$

$$= \frac{\Phi_B}{\mu . A} . l_m$$

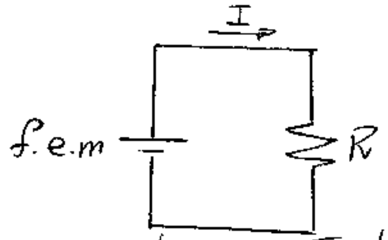
$$N . I = \Phi_B . \underbrace{\frac{1}{\mu} . \frac{l_m}{A}}_{\mathbb{R}_m}$$

$$\boxed{f.m.m. = \Phi_B . \mathbb{R}_m}$$

Vemos q' es igual a:

$$f.e.m = i . R$$

es un ckto electrico



En conclusion, Tambien.

$$\boxed{\sum N.I = \underbrace{\sum \Phi . \mathbb{R}}_{\text{Caida de potencia Magnetico}}}$$

tabla de Unidades

Magnitud	Simbolo	MKS	CGS	Ingles	
Flujo Magnetico	Φ	Weber	Maxwell	Kl	
Densidad de Flujo (Induccion Magnetica)	B	weber/m^2	Gauss	Kl/plg^2	
Fuerza Magnetomotriz	N.I	Ampere - vuelta	Gilbert	Ampere - Vuelta	
Intensidad de Campo	H	Ampere-Vuelta/m	Oersted	Ampere-Vuelta/plg	
Permeabilidad del aire o Vacio	μ_o			$\frac{Kl}{A.v-plg}$	
Permeabilidad Relativa	μ_r				

$$\mu_o = \frac{1}{313} \frac{Kl}{A.v\,plg}$$

Equivalencias:

$$1\,[wb] = 10^8\,[Mx] = 10^8\,[\text{líneas}]$$

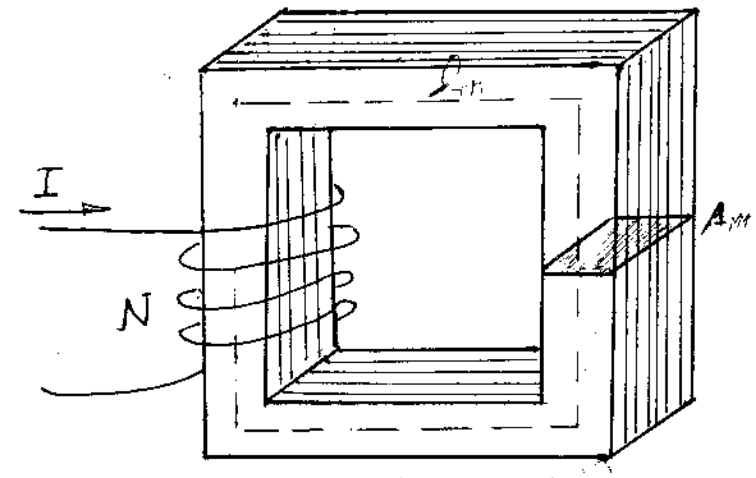
$$1\,[T] = 1\left[\frac{\cancel{wb}}{\cancel{m^2}}\right] \times \frac{10^5\ \text{Klíneas}}{1\ \cancel{wb}} \times \left[\frac{6{,}4516 \times 10^{-4}\ \cancel{m^2}}{1\ \text{pulg}}\right]$$

$$1\,[T] = 64{,}52\ \frac{\text{Klíneas}}{plg^2}$$

Solución de Circuitos Magneticos

Circuito Sin Entrehierro (sección uniforme)

A) Si el dato es el flujo Φ. Hallar N.I

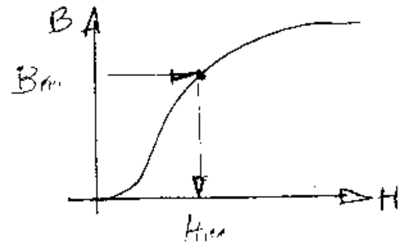


Am: Area magnetica Util.

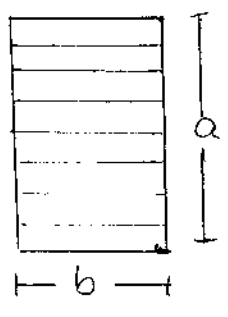
Solución:

i) Calculamos $B_m = \dfrac{\Phi}{A_m}$

ii) De curva B-H del material. Hallamos Hm.



iii) $N.I = H_m . l$



f.ap : factor de apilamiento

$f.ap \leqslant 1$

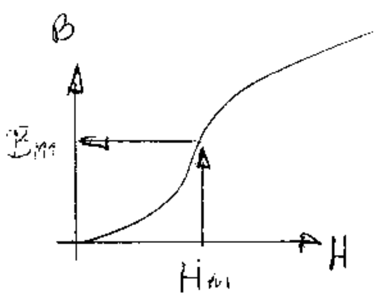
$$\boxed{A_m = a.b.\,f_{ap}}$$

B) Si el dato es N.I. Hallar Φ

Solución:

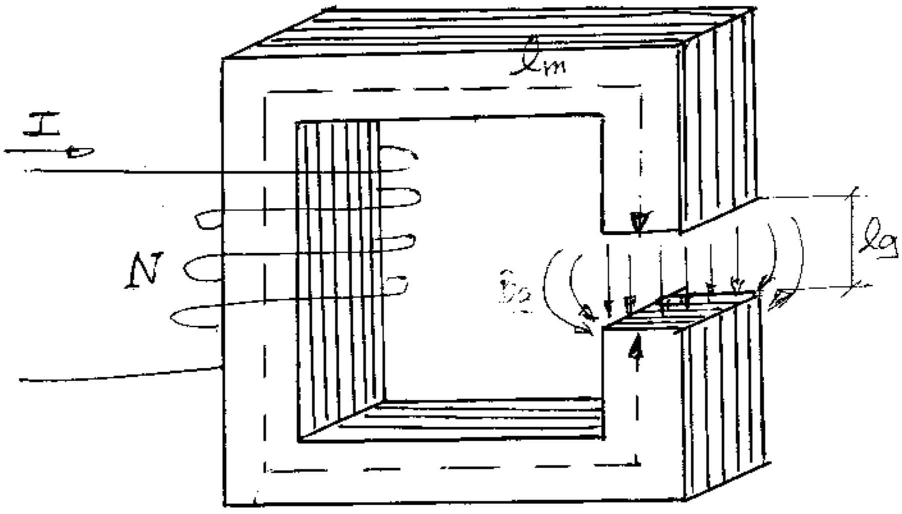
i) Calculamos $H_m = \dfrac{N.I}{l_m}$

ii) De Curva B-H. Hallamos Bm.



iii) $\Phi = B_m . A_m$

Circuito Con Entrehierro (Sección Uniforme)



l_g: longitud del entrehierro

B_g: Inducción en el entrehierro

Area del entrehierro

$$\boxed{A_g = (b+l_g)(a+l_g)}$$

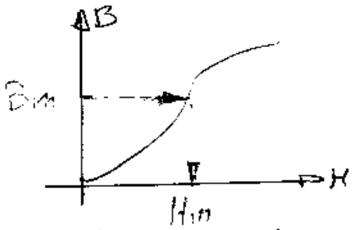
CASO A:

Si el dato es Φ. Hallar $N.I$

Solución:

i) Calculamos $B_m = \dfrac{\Phi}{A_m}$; $B_g = \dfrac{\Phi}{A_g}$

ii) De la curva B-H del material. Hallamos H_m:



Calculamos: $H_g = \dfrac{B_g}{\mu_0}$

iii) Aplicamos ley de ckto magnetico.

$$N.I = H_m\, l_m + H_g\, l_g$$

CASO B:

Si el dato es $N.I$. Hallar Φ.

Metodo 1: Metodo Iterativo:

i) Asumimos un flujo

ii) Seguimos por i) y ii) del caso anterior

iii) Verificamos la ley de cktos magneticos

$$\text{Si: } \sum N.I > \sum H.l \longrightarrow \text{Aumentamos } \Phi \text{ y repetimos.}$$

$$\text{Si: } \sum N.I < \sum H l \longrightarrow \text{Disminuimos } \Phi \text{ y repetimos.}$$

(otro:
Se asume sin entrehierro y se calcula Φ, luego sin hierro (solo aire) y
se calcula Φ, con los datos obtenemos un Φ_{min} y Φ_{max})

METODO 2: Metodo Gráfico

Deducción Analitica

$$\mathcal{R}_g = \frac{l_g}{\mu_0 A_g}$$

$$NI = H_m l_m + H_g l_g$$

$$= \quad " \quad + \frac{B_g}{\mu_0} \cdot l_g$$

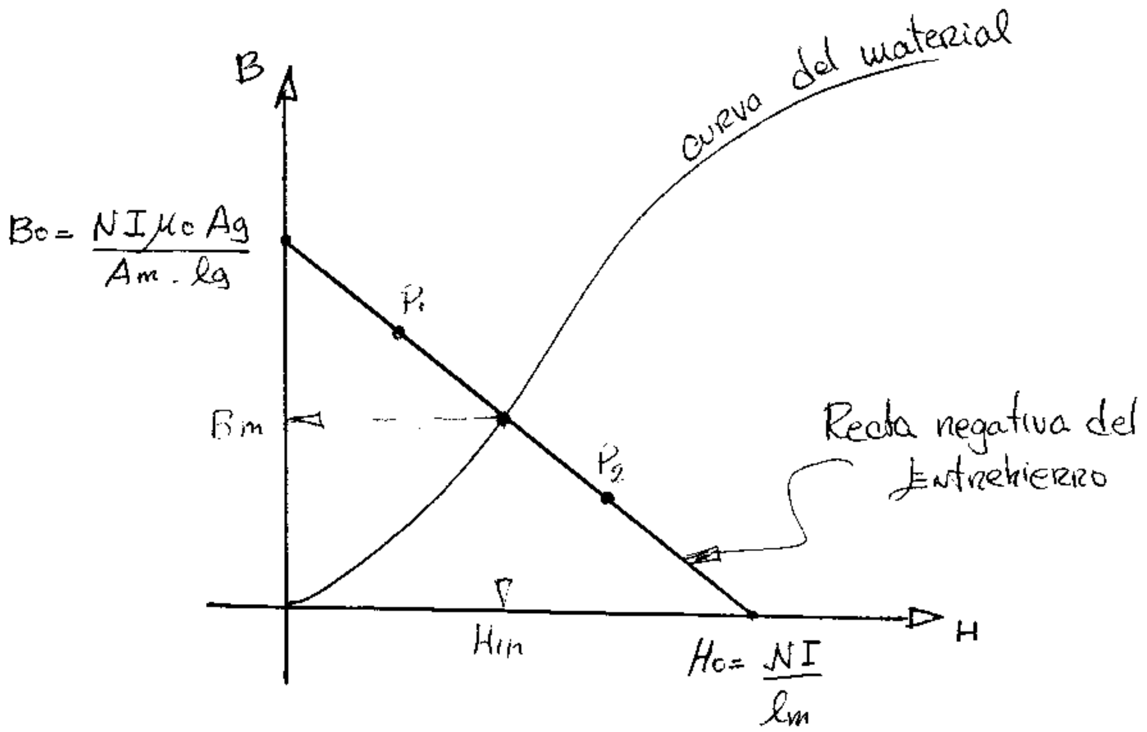
$$= \quad " \quad + \frac{\Phi}{\mu_0 A_g} \cdot l_g$$

$$\boxed{NI = \underline{H_m} \cdot l_m + \frac{\underline{B_m} \cdot A_m}{\mu_0 \cdot A_g} l_g}$$

Ecuación dela Recta del Entrehierro

Si: $B_m = 0 \rightarrow H_0 = \dfrac{NI}{l_m}$

Si: $H_m = 0 \rightarrow B_0 = \dfrac{N.I.\mu_0 A_g}{A_m . l_g}$



Cuando los puntos Bo y Ho se ubican fuera del recuadro de curvas B-H, entonces se ubican dos puntos P_1 y P_2 q' pertenecen a la recta del Entrehierro (dandole valores conocidos a P_1 y P_2) y luego se ubica la intersección con la curva del material.

luego: $\Phi = B_m . A_m$

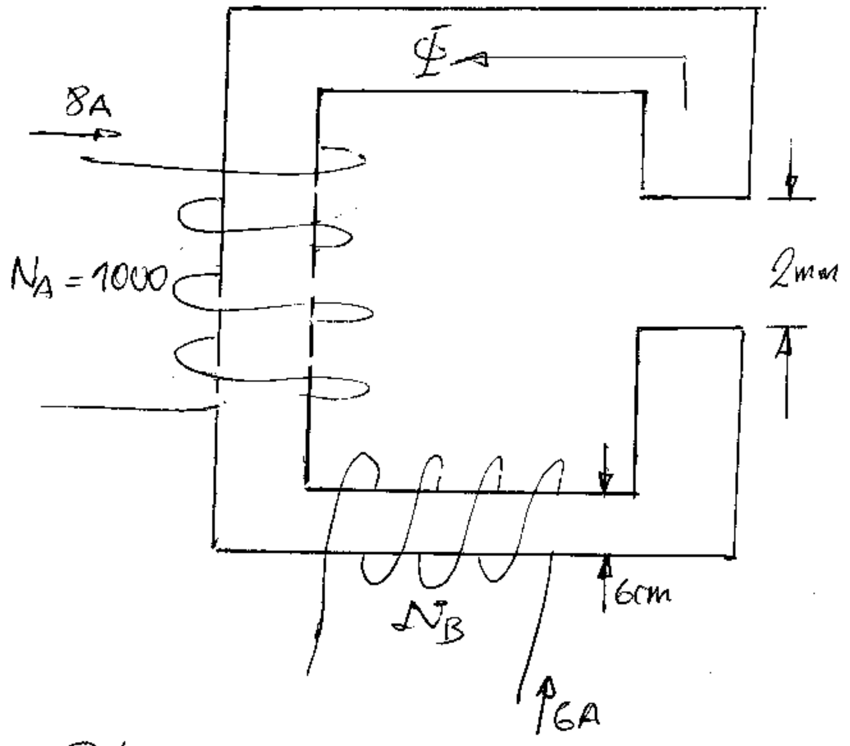
Problema 1:

La estructura magnetica de la fig. es de acero al silicio la longitud de la trayectoria media es 0,75, la medida de la seccion Transversal es $6 \times 7 cm^2$ con f.ap = 0,9, longitud del entrehierro es 2mm y el flujo es el mismo es 600Kl en el sentido indicado en la fig.

Hallar:

a) N_B

b) Si $I_B = 0$. Hallar Φ



$\Phi = 600Kl$

$l_m = 0,75m$

$l_g = 2mm$

$A = 6 \times 7 cm^2$

$f_{ap} = 0,9$

Solucion:

$$\Sigma NI = H_m . l_m + H_g l_g \quad \ldots \; (1)$$

$l_m = 0,75m = 29,527''$, $l_g = 2mm = 78,74 \times 10^{-3}\ plg$

$A_m = 6 \times 7 \times 0,9 = 37,8 cm^2 = 5,859\ plg^2$

$$B_m = \frac{\Phi}{A_m} = \frac{600Kl}{5,859 plg^2} = 102,4\ Kl/plg^2$$

De la curva B-H del material (curva 3)

$$H_m = 140 \frac{A.v}{plg} \qquad A.v = \text{Amperevueltas}$$

$$B_g = \frac{\Phi}{A_g} = \frac{600 kl}{6{,}919 plg^2}$$

$$A_g = (b+l_g)(a+l_g)$$
$$= (6{,}2)(7{,}2)\ cm^2$$
$$= 44{,}64\ cm^2$$
$$A_g = 6{,}999\ plg^2$$

$$B_g = 86{,}717\ kl/plg^2$$

$$H_g = \frac{B_g}{\mu_0} = \frac{86{,}717}{1/313} = 27142{,}65\ \frac{A.V}{plg}$$

en (1)

$$\Sigma NI = 140\ \frac{AV}{plg} \cdot 29{,}527 plg + 27142{,}65\ \frac{A.V}{plg} \cdot 78{,}74 \times 10^{-3} plg$$

$$\Sigma NI = \underbrace{4133{,}78\ A.V}_{l_m} + \underbrace{2137{,}2123\ A.V}_{l_g}$$

$$\Sigma NI = 6270{,}9923\ A.V$$

$N_A I_A - N_B I_B = 6270{,}9923 A.V$ × No satisface sentido de Φ

$N_B \cdot I_B - N_A \cdot I_A = 6270{,}9923 A.V$ ✓ Si " " " Φ

$6 \cdot N_B - 8000 = 6270{,}9923$

$$N_B = \underline{2378{,}49}$$

B) Ec. de la recta del Entrehierro: $8000 = 29{,}527 H_m + 20{,}869 B_m$

Por el método analítico. $= \Phi_m$

$N_A I_A = \Phi_m \cdot R_m + \Phi_g \cdot R_g$

$= \quad '' \quad + B_m A_m \cdot R_g$

$= H_m \cdot l_m + B_m \cdot A_m \cdot \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{l_g}{A_g}$

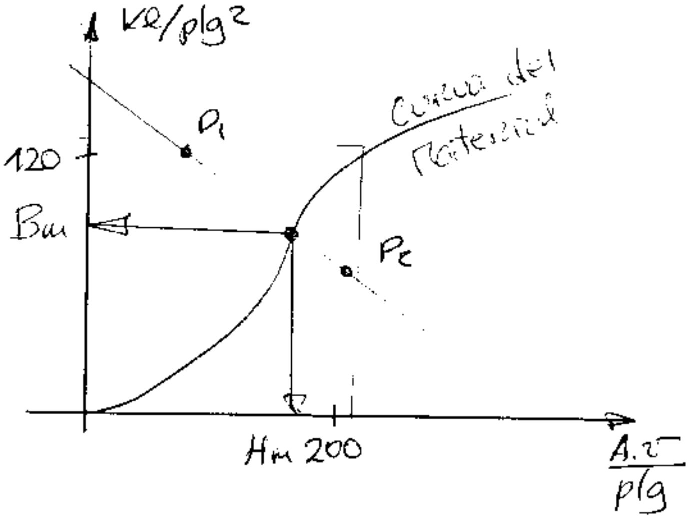
Reemplazando Valores

$8000 = 29{,}527 H_m + 20{,}869 B_m$. Ec. de la Recta del entrehierro.

Si: $B_m = 0 \rightarrow H_0 = 270{,}94\ \frac{A.V}{plg}$

Si: $H_m = 0 \rightarrow B_0 = 383{,}34\ kl/plg^2$

Como los ptos están fuera del cuadro, buscamos otros ptos como P1 y P2



Si: $B_m = 120 \frac{Kl}{plg^2} \rightarrow H_m = 186,925 \frac{A.v}{plg}$

Si: $H_m = 200 \frac{Av}{plg} \rightarrow B_m = 109,369 \frac{Kl}{plg^2}$

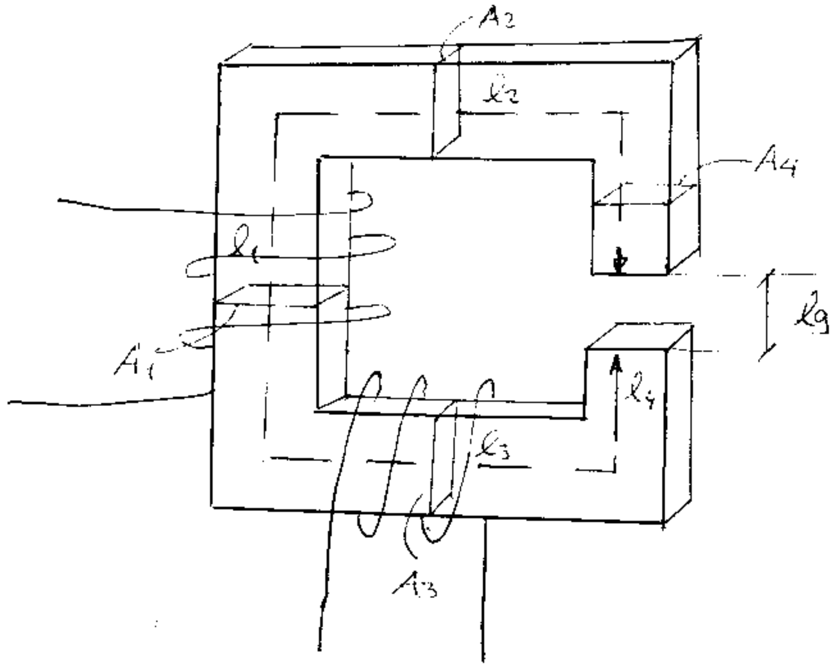
de la Intersección de la curva del mat.

$B_m = 106\ Kl/plg^2$

$\Phi = B_m \cdot A_m = 106 \times 5,859\ Kl$

$\Phi = \underline{\qquad\qquad}\ Kl$

Circuito Magnetico Serie Rectangular de sección NO uniforme



CASO A: Si el dato es $\Phi \rightarrow$ Hallar N.I

Sol.

i) Calculamos $B_1 = \frac{\Phi}{A_1}$; $B_2 = \frac{\Phi}{A_2}$; $B_3 = \frac{\Phi}{A_3}$; ....

$$B_g = \frac{\Phi}{A_g}$$

ii) De la curva B-H: Hallamos

$H_1, H_2, H_3, \ldots$ y Calculamos $H_g = \frac{B_g}{\mu_0}$

iii) Aplicamos $\Sigma N I = \Sigma H.l$

CASO B: Si el dato es N.I → Hallar Φ

Sol. Metodo Iterativo

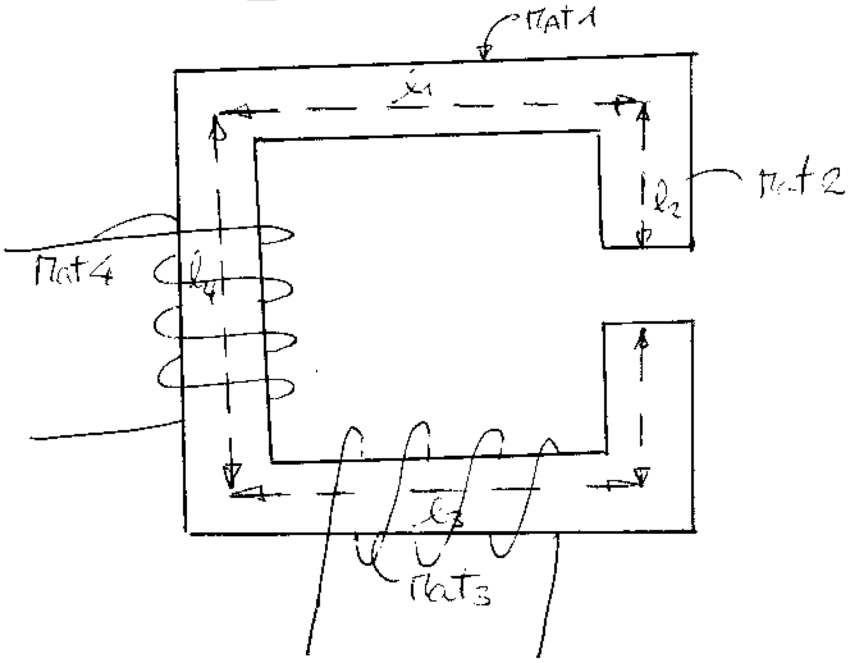
i) Asumimos Φ

ii) Repetimos los pasos i) y ii) del caso anterior

iii) Verificamos la ley de cktos Magneticos

Si: $\sum NI > \sum H.\ell$ → Aumentamos Φ y repetimos

Circuito Magnetico serie rectangular serie, sección uniforme pero diferentes Materiales



CASO A:

Si el dato es Φ. Hallar N.I

i) Calculamos $B_1 = B_2 = B_3 = \cdots = \dfrac{\Phi}{A}$

ii) Hallamos para cada material de su curva respectiva

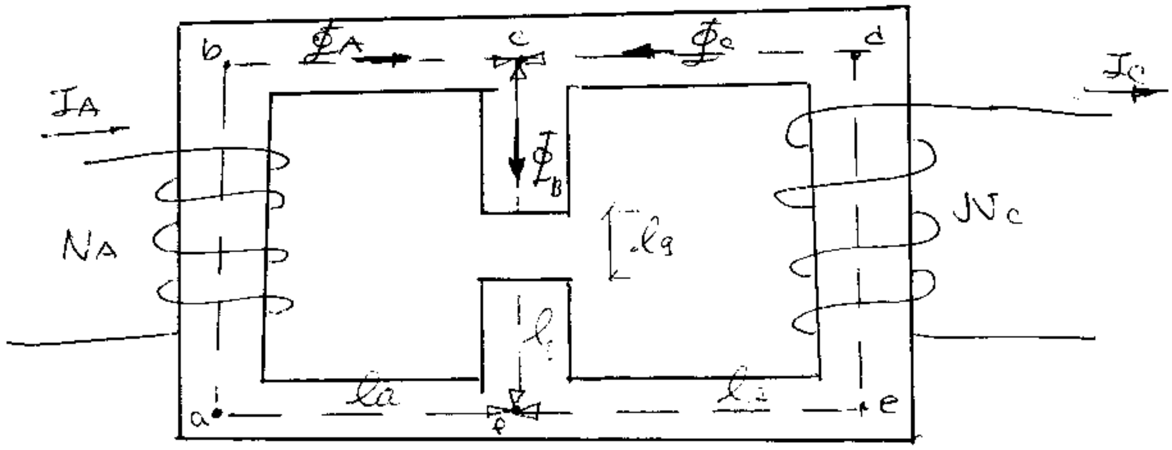
$H_1, H_2, H_3, \ldots$ y Calculamos $H_g = B_g/\mu_0$

iii) $\sum NI = \sum H\ell$

CASO B: Dato N.I → Hallar Φ

Sol. Método Iterativo

Circuito Magnetico Serie - Paralelo (Seccion Uniforme)



Se cumple:

i) En un nodo: $\Sigma\phi = 0 \rightarrow \Sigma\phi_{salen} = \Sigma\phi_{entran}$

ii) En un lazo cerrado: $\Sigma \Delta U_M = 0$

En el cto mostrado.

En el lazo abcfa: $N_A I_A = H_A l_A + H_B l_B + H_g l_g$ . . . (1)

" " lazo edcfe: $N_C I_C = H_C l_C + H_B l_B + H_g l_g$ . . . (2)

En el Nodo C: $\phi_A + \phi_C = \phi_B$ . . . (3)

Adicionalmente:

En el lazo abdea: $N_A I_A - N_C I_C = H_A l_A - H_C l_C$ . . . (4)

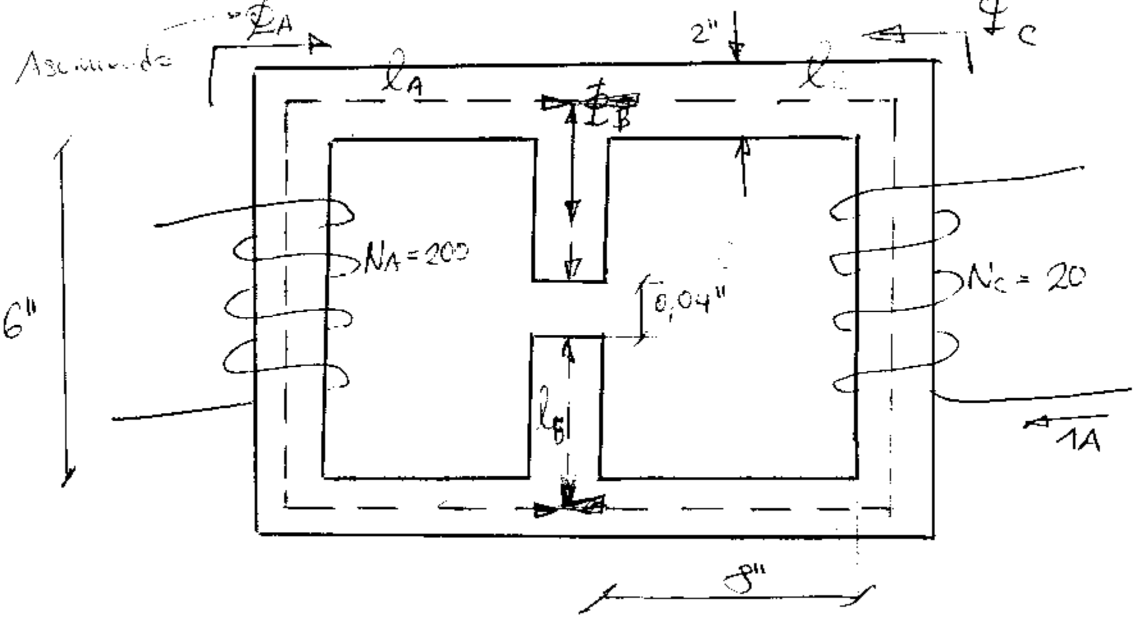
Problema

El Nucleo mostrado es de acero laminado y de forma simetrica de Seccion 2" x 2,5" con $f_{ap} = 0,9$ y $\phi_B = 75$ kl con sentido hacia abajo

a) Calcular el ϕ en la bobina derecha de $N=20$

b) Calcular los NI en la bobina Izquierda

c) Hallar la inductancia en la bobina izquierda



Solución:

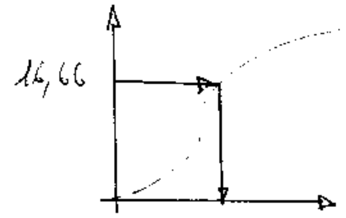
$\ell_A = \ell_C = 28''$, $\ell_B = 7{,}96''$

$A_g = (2{,}04'')(2{,}54'')$

$A_m = 2 \times 2{,}5 \times 0{,}9 = 4{,}5\,plg^2$

Calculo de B_B: $B_B = \dfrac{\Phi}{A_B} = \dfrac{75\,K\ell}{4{,}5\,plg^2} \Rightarrow B_B = 16{,}66\,K\ell/plg^2$

De la curva B-H del Material



$H_B = 3{,}65\,\dfrac{A.V}{plg}$

Calculo de B_g y H_g:

$B_g = \dfrac{\Phi_B}{A_g}$ $\quad H_g = \dfrac{B_g}{\mu_0} = \dfrac{\Phi_B}{\mu_0 A_g}$

$\Rightarrow H_g = \dfrac{313 \times 75}{2{,}04 \times 2{,}54}\,\dfrac{A.V}{plg} \Rightarrow H_g = 4530{,}45\,\dfrac{A.V}{plg}$

En el lazo de la derecha:

$N_C I_C = H_C \ell_C + H_B \ell_B + H_g \ell_g$

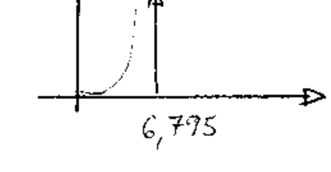
$H_C = \dfrac{N_C I_C - H_B \ell_B - H_g \ell_g}{\ell_C}$

$H_C = \dfrac{20 \times 1 - 3{,}65 \times 7{,}96 - 4530{,}45 \times 0{,}04}{28}\left[\dfrac{A.V}{plg}\right]$

$H_C = -6{,}795\,\dfrac{A.V}{plg}$

$\therefore$ Φ_C tiene sentido contrario al asumido

De curvas B-H.



$\Rightarrow B_C = 49{,}5\,K\ell/plg^2$

luego: $\Phi_C = -49{,}5\,\dfrac{K\ell}{plg^2} \times 4{,}5\,plg^2$

$\Phi_C = -222{,}75\,K\ell$

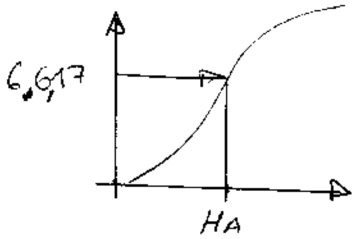
b) $\Phi_A = \Phi_B - \Phi_C = 75 Kl - (-222,75 Kl)$

$\Phi_A = 297,75 Kl$

$$B_A = \frac{\Phi_A}{A_m} = \frac{297,75}{4,5} \frac{Kl}{plg^2}$$

$$B_A = 66,17 \; Kl/plg^2$$

De curvas B-H.



$\longrightarrow \quad H_A = 10 \frac{A.v}{plg}$

En el lazo de la izquierda

$$N_A . I_A = H_A . l_A + H_B . l_B + H_g \, l_g$$

$$= (10 \times 28 + 3,65 \times 7,96 + 4530,45 \times 0,04) \; A.v$$

$$\underline{N_A . I_A = 490,272 \; A v}$$

c) $L = \frac{N \Phi}{I}$ ó $L = \frac{N^2 \Phi}{N . I}$, Se calcula en el S.I.

$$L = \frac{200^2 \times 297,5 \times 10^{-5}}{490,272} \text{ Henrio}$$

$$= 0,24292 \text{ Henrio}$$

$$L = \underline{242,92 \; mH}$$

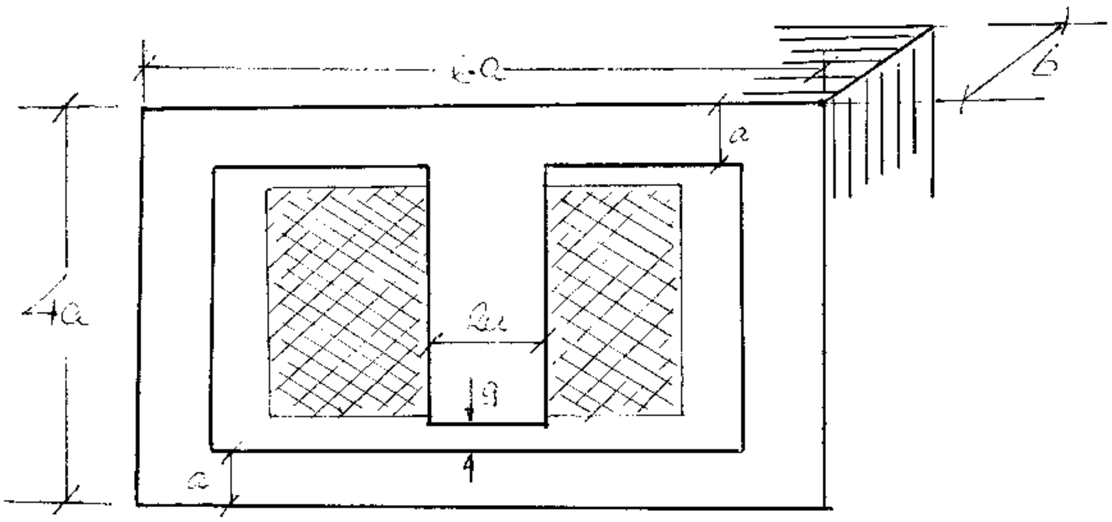
Prob:

Se ha diseñado un reactor como se muestra en la fig. $V = 100\,V_{cd}$, $f = 60\,Hz$, $N = 208$, $n = 80$ placas, $f_{ap} = 0{,}98$, $t = 0{,}5\,mm$, $g = 0{,}004''$, $a = 1''$, material acero silicio grado electrico.

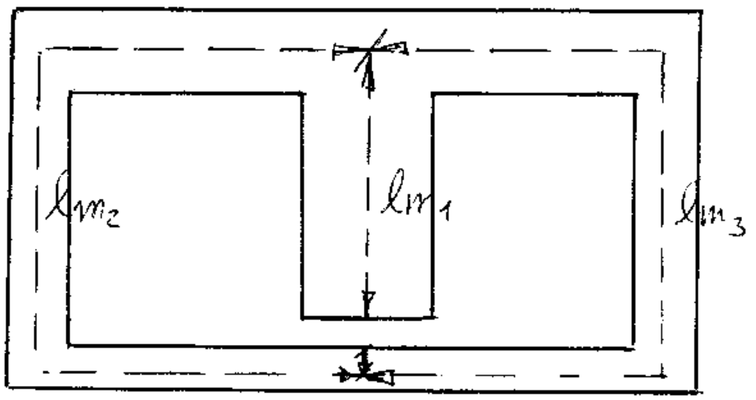
Calcular:

a) El flujo magnetico cuando circula una $I = 0{,}536\,A$

b) La inductancia en el sistema con los valores de a)



Solución: longitudes



$l_{m_3} = l_{m_2} = 8''$

$l_{m_1} = 3'' - 0{,}004'' = 2{,}996''$

Area magnetica de la columna central $\quad A_{m_1} = 2A_{m_2}$

$$A_{m_2} = a \times b \times f_{ap} = 1'' \times 80 \times 0{,}5\,mm \times \frac{1''}{25{,}4\,mm} \times 0{,}98$$

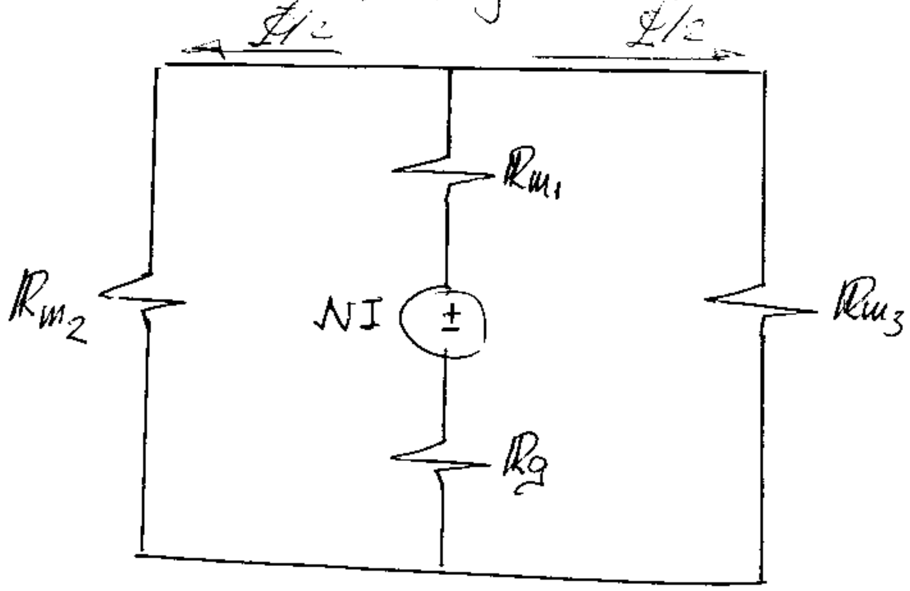
$$\therefore A_{m_2} = 1{,}543\,plg^2 = A_{m_3} \qquad A_{m_1} = 3{,}086\,plg^2$$

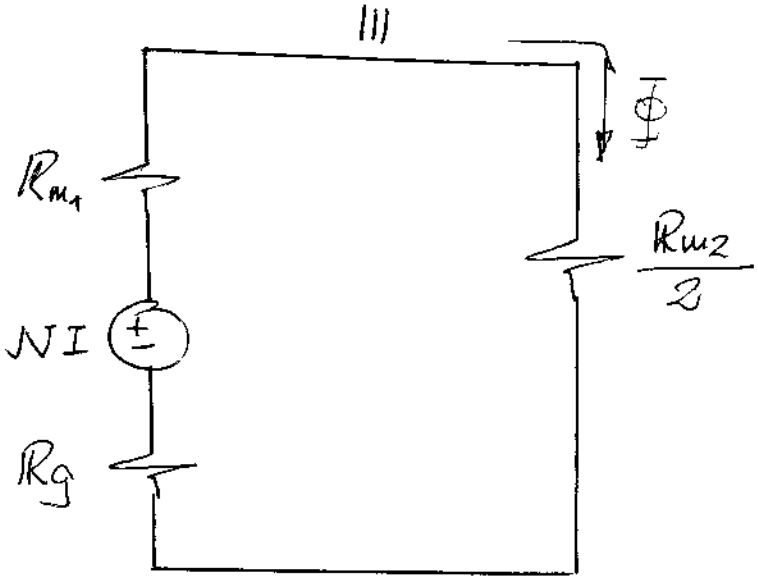
Area de entrehierro

$$A_g = (2{,}004'') \times \left(\frac{80 \times 0{,}5}{25{,}4} + 0{,}004'' \right)$$

$$A_g = 3{,}164\,plg^2$$

En el circuito Analogo.





$$NI = \Phi\left(\mathcal{R}_{m_1} + \frac{\mathcal{R}_{m_2}}{2}\right) + \Phi\,\mathcal{R}_g$$

$$= \Phi\,\mathcal{R}_{m_1} + \frac{\Phi \cdot \mathcal{R}_{m_2}}{2} + \Phi\,\mathcal{R}_g$$

$$= H_1\, l_{m_1} + H_2 \cdot l_{m_2} + \Phi \cdot \mathcal{R}_g$$

Como: $B_1 = B_2 = B_3 \rightarrow H_1 = H_2 = H_3$

$$NI = H_m\,(l_{m_1} + l_{m_2}) + B_m \cdot A_m \cdot \frac{1}{\mu_0}\,\frac{l_g}{A_g}$$

Reemplazando Valores

$$208 \times 0{,}536 = H_m(2{,}996 + 8) + B_m \times 3{,}086 \times (313) \times \frac{0{,}004}{5{,}164}$$

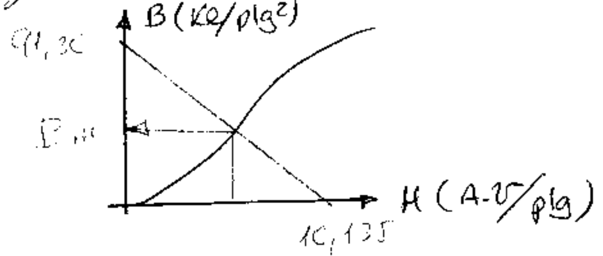
$$111{,}488 = 10{,}996\,H_m + 1{,}221\,B_m$$

Ec. de la recta del entrehierro.

Si: $B_m = 0 \longrightarrow H_0 = 10,135\ A.v/plg$

Si: $H_m = 0 \longrightarrow B_0 = 91,30\ Kl/plg^2$

En la curva del material.



$B_m = 54\ Kl/plg^2$

$\Phi = B_m \cdot A_m$

$= 54 \dfrac{Kl}{plg^2} \times 3,086 plg^2$

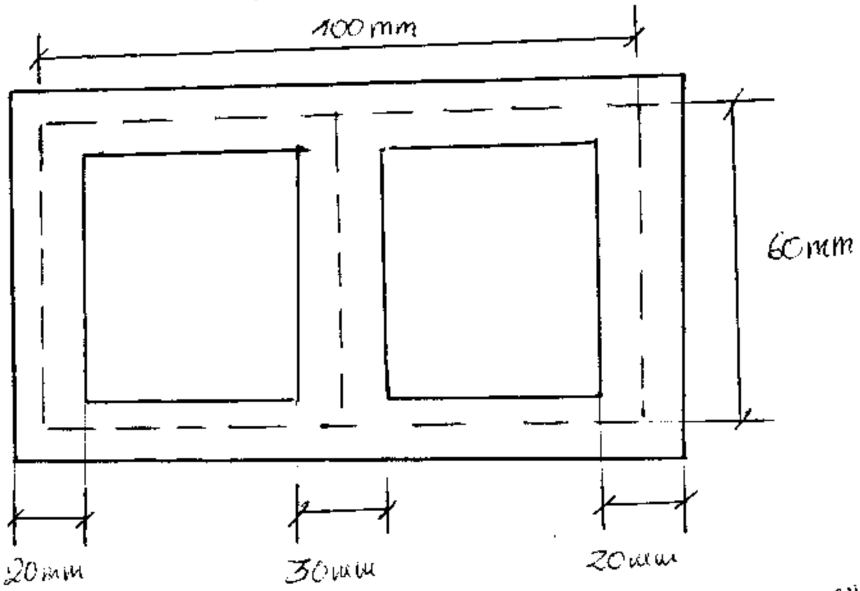
$\Phi = 166,64 Kl$

b) $L = \dfrac{N\Phi}{I} = \dfrac{208 \times 166,64}{0,536} \times 10^{-5} H$

$L = 645 mH$

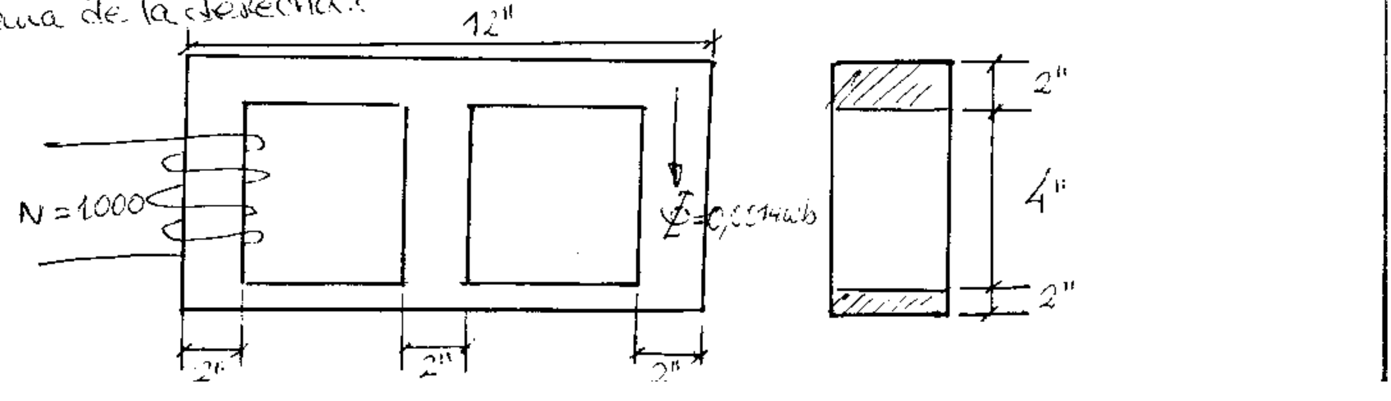
Prob.-

En el nucleo central del cto magnetico de chapa representado en la fig. Se quieren obtener 1,2 T de induccion. El material es chapa de acero al silicio de grado electrica. Calcular la F.m.m. para dicho nucleo si se apilan 30mm de chapa con fap. = 0,8 (En la parte central)



Prob.-

El nucleo mostrado es de acero laminado de seccion 2" x 2,5" con fap = 0,9 ¿Cuántos amperios se requiere en el devanado para crear un flujo de 0,0014 webs en la rama de la derecha?



ENERGIA DEL CAMPO MAGNETICO

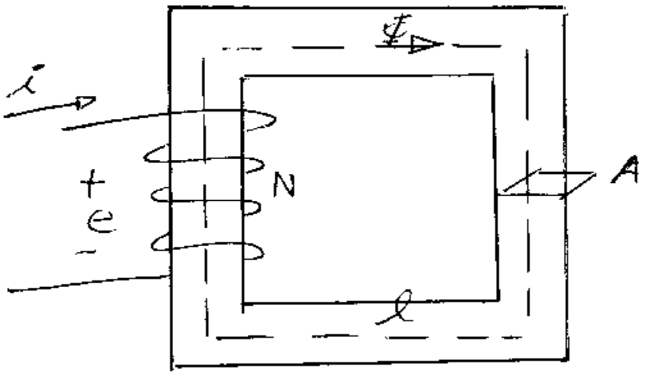
Consideraciones:

1.- En todo campo magnetico se acumula energia.

2.- El campo entrega energia ala región donde se establece

3.- La energia entregada es devuelta cuando se suprime el campo

4.- La devolución de energia es total cuando el medio es el vacío. Otros medios una parte de la energia se disipa en forma de calor



Se sabe q':

$$e = N \cdot \frac{\partial \phi}{\partial t}$$

La potencia entregada

$$Pot = e \cdot i$$

$$Pot = N \frac{\partial \phi}{\partial t} \cdot i$$

Pero: $Pot = \dfrac{\partial w}{\partial t}$

luego, la energia $\partial w = N i \, \partial \Phi$

A la vez: $\Phi = B \cdot A$

$$\partial w = N \cdot i \, \partial (BA)$$

$$\partial w = N \cdot i \cdot A \, \partial B$$

$$= H \underbrace{\ell A}_{} \cdot \partial B$$

$$= H \, vol. \, \partial B$$

Finalmente:

ENERGIA TOTAL
$$\boxed{W = vol \int_{B_1}^{B_2} H \, \partial B}$$

La energia por unidad de volumen o densidad de energia

$$\frac{W}{vol.} = \int_{B_1}^{B_2} H \, \partial B$$

$$\boxed{w = \int_{B_1}^{B_2} H \, \partial B}$$ ENERGIA POR UNIDAD DE VOLUMEN O DENSIDAD DE ENERGIA.

Se necesitaría $H(B)$, suponiendo la permeabilidad constante

$$H = \frac{B}{\mu}$$

$$W = \int_{B_1}^{B_2} \frac{B}{\mu} \cdot \partial B$$

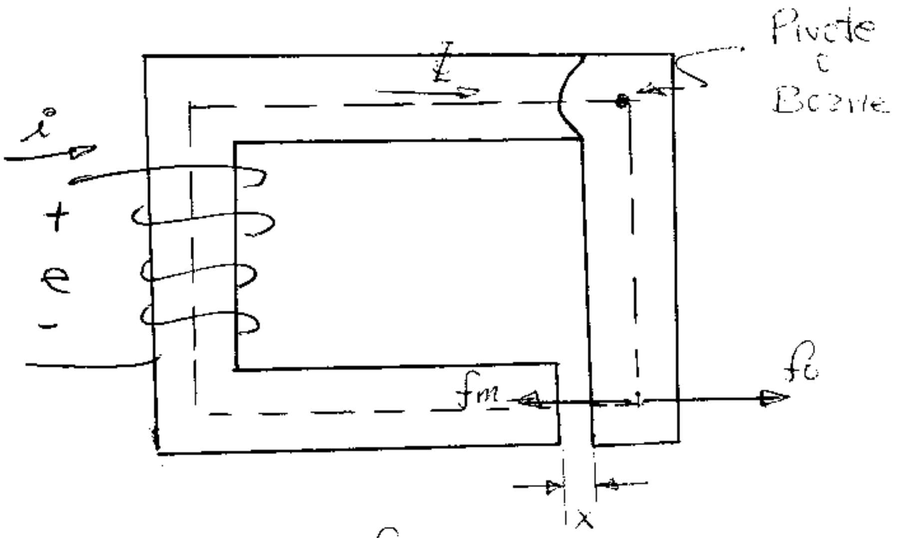
$$W = \frac{1}{2}\left[\frac{B^2}{\mu}\right]_{B_1}^{B_2}$$

Si $B_1 = 0$ y $B_2 = B$ $\Rightarrow$ $\boxed{W = \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu}}$

Si existe un campo magnético B en un pto cualquiera del espacio, podemos considerar a este pto como un lugar en donde hay una cantidad de energía almacenada, cuyo valor por unidad es:

$$\boxed{W_0 = \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu_0}}$$

Fuerza Atractiva Magnética



El trabajo realizado por f_m:

$$\partial w = f \cdot \partial x$$

$$\frac{\partial w}{\partial Vol} = f\,\frac{\partial x}{\partial Vol} = \frac{f\,\partial x}{A_g\,\partial x}$$

$$W = f/A_g$$

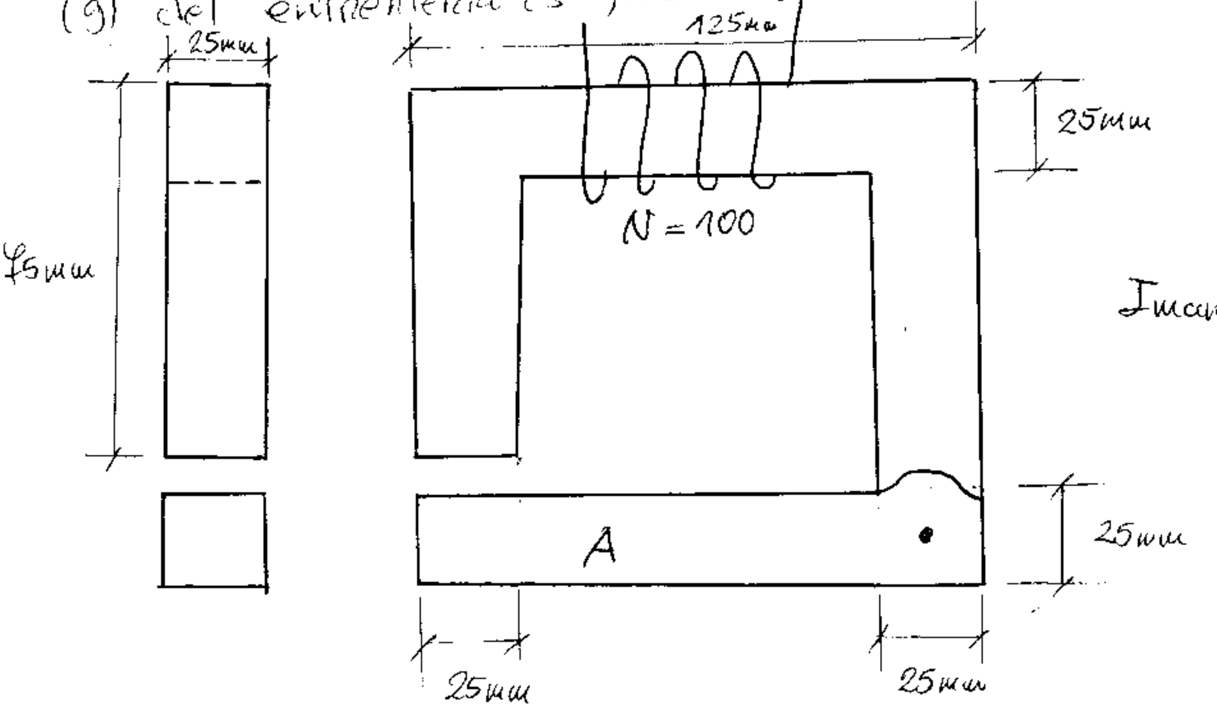
de donde: $\boxed{f_m = W_g \cdot A_g}$ también: $\boxed{f_m = \frac{1}{2}\frac{B_g^2}{\mu_0} A_g}$

Problema:

La fig. representa el cto magnetico de un disyuntor de c.c. PARA iniciar el movimiento de la armadura A cuando la longitud media (g) del entrehierro es 2,5mm, se necesita una fuerza de 45N. En el extremo de la armadura donde se halla el borne se tiene un entrehierro de longitud constante 0,25mm

A) Que intensidad debe tener la corriente q' circula por la bobina de disparo para poner en movimiento la armadura cuando la longitud (g) del entrehierro es 25mm

B) Con la intensidad hallada en (A), cual es la fuerza atractiva magnetica q' se ejerce en la armadura cuando la longitud (g) del entrehierro es 0,25mm.



$g = 2,5mm \rightarrow f = 45N \qquad (g' = 0,25mm)$

Solución

$$NI = \Phi\,(\mathcal{R}_{m_T} + \mathcal{R}_{g_T})$$

Despreciando la reluctancia del material

$$N.I = \Phi\,\mathcal{R}_{g\,Total}$$

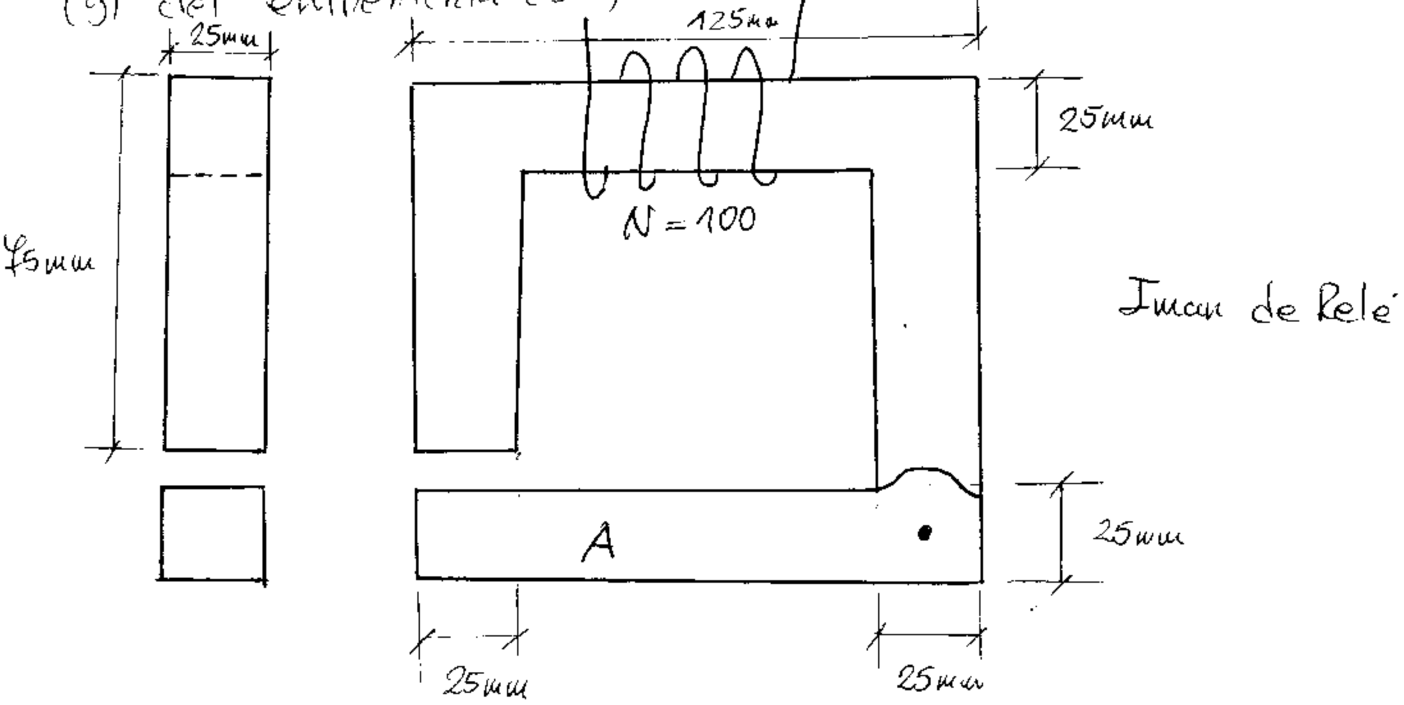
$$I = \frac{\Phi\,\mathcal{R}_{g_T}}{N} \quad \ldots\ldots (1)$$

Problema:

La fig. representa el ckto magnético de un disyuntor de C.C. Para iniciar el movimiento de la armadura A cuando la longitud media (g) del entrehierro es 2,5mm, se necesita una fuerza de 45N. En el extremo de la armadura donde se halla el borne se tiene un entrehierro de longitud constante 0,25mm

A) Que intensidad debe tener la corriente q circula por la bobina de disparo para poner en movimiento la armadura cuando la longitud (g) del entrehierro es 25mm

B) Con la intensidad hallada en (A), cual es la fuerza atractiva magnetica q se ejerce en la armadura cuando la longitud (g) del entrehierro es 0,25mm.



$g = 2{,}5mm \rightarrow f = 45N$ $\quad (g' = 0{,}25mm)$

Solución

$$N I = \Phi (\mathbb{R}_{m_T} + \mathbb{R}_{g_T})$$

Despreciando la reluctancia del material

$$N \cdot I = \Phi \, \mathbb{R}_{g\,Total}$$

$$I = \frac{\Phi \, \mathbb{R}_{g_T}}{N} \quad \ldots\ldots (1)$$

Por lo tanto:

$$f_m = \frac{1}{2}\frac{B_g^2}{\mu_0}\cdot A_g = \frac{1}{2}\frac{(\Phi/A_g)^2}{\mu_0}\cdot A_g$$

$$f_m = \frac{1}{2}\frac{\Phi^2}{\mu_0 A_g} \quad \ldots\ (2)$$

$$\Phi^2 = 2\mu_0\cdot A_g\cdot f_m \implies \Phi = (2\mu_0\cdot A_g\cdot f_m)^{1/2} \quad \ldots\ (3)$$

Cálculo de la reluctancia, despreciando el efecto de borne.

$$\mathbb{R}_{gT} = \frac{1}{4\pi\cdot 10^{-7}}\left(\frac{25}{25\times 25} + \frac{0,25}{25\times 25}\right)\times\frac{10^{-3}}{10^{-6}}\ \frac{A-v}{wb}$$

$$\mathbb{R}_{gT} = 3,21\times 10^{7}\ \frac{A-v}{wb}$$

Cálculo del Φ:

$$\Phi = (2\times 4\pi\, 10^{-7}\ 25\times 25\times 10^{-6}\times 45)^{1/2}\ wb$$

$$\Phi = 2,65\times 10^{-4}\ wb$$

Reemplazando valores en (1):

$$I = \frac{2,65\times 10^{-4}\times 3,21\times 10^{7}}{100}\ A$$

$$I = 85A$$

B) Cálculo de la nueva $\mathbb{R}_{gT}$

$$\mathbb{R}_{gT} = \frac{1}{4\pi\cdot 10^{-7}}\left(\frac{0,25}{25\times 25} + \frac{0,25}{25\times 25}\right)\times\frac{10^{-3}}{10^{-6}}\ \frac{A-v}{wb}$$

$$\mathbb{R}_{gT} = 6,36\times 10^{5}\ A-v/wb$$

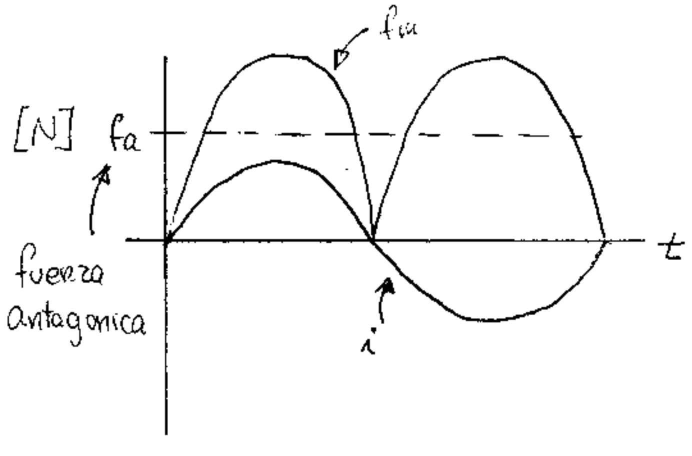
De (1) $\Phi = N.I/\mathbb{R}_{gT}$

$$\Phi = 100\times 85/6,36\times 10^{5} \implies \Phi = 133\times 10^{-4}\ wb$$

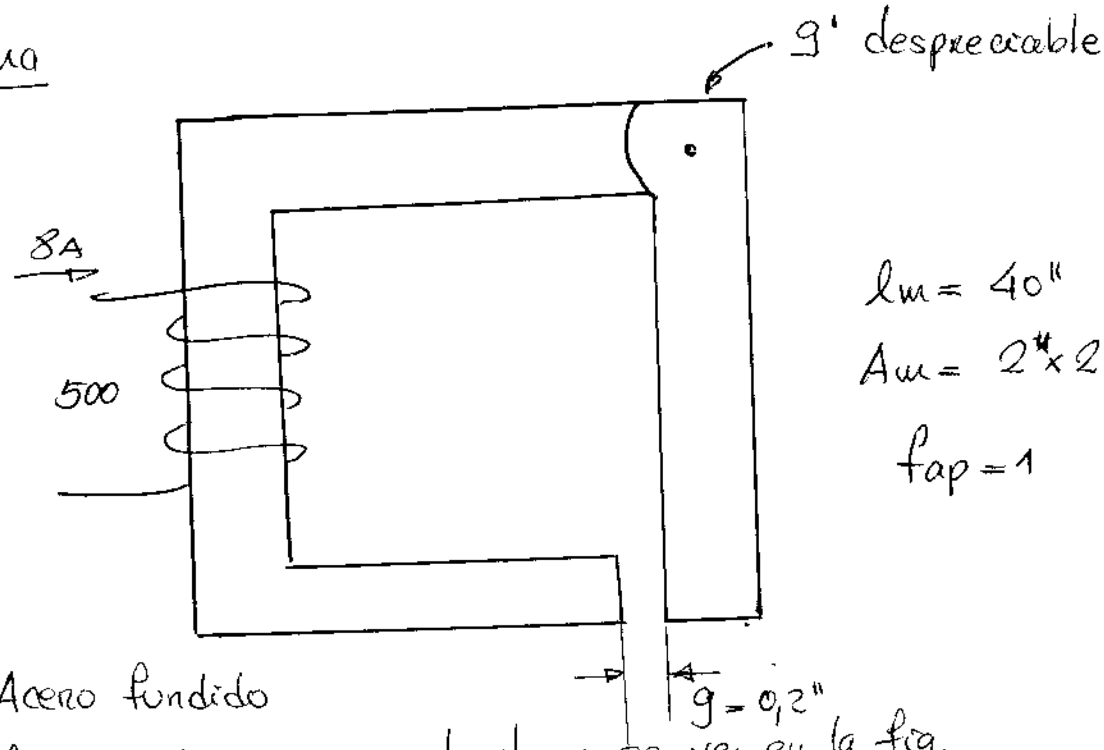
En (2)

$$f_m = \frac{1}{2}\frac{(133\times 10^{-4})^2}{4\pi\cdot 10^{-7}\times 25\times 25\times 10^{-6}}\ [N]$$

$$f_m = 112,611\ [KN]$$



Problema



$l_m = 40"$

$A_m = 2" \times 2"$

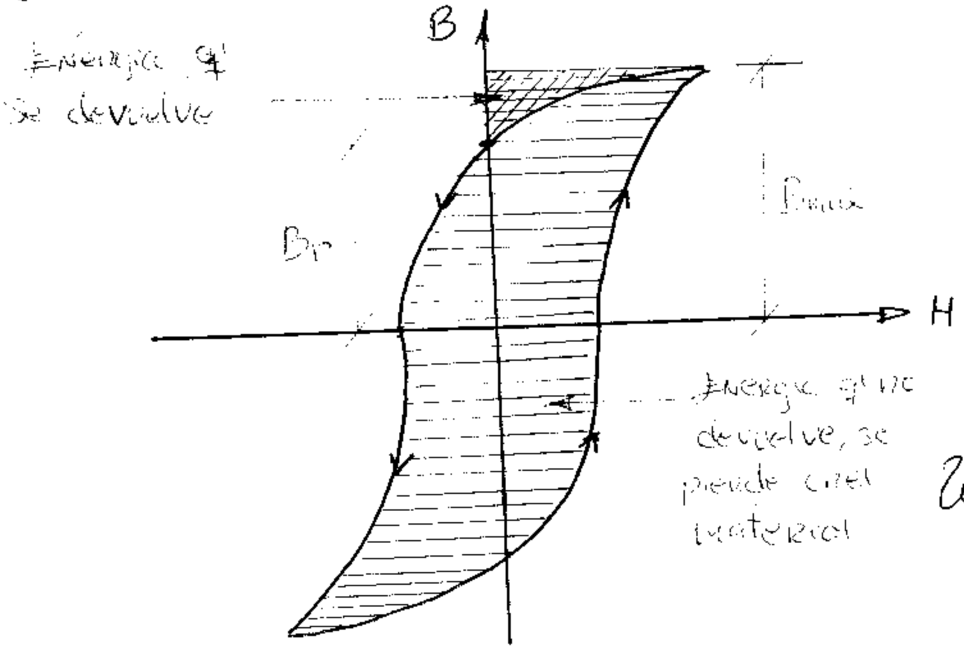
$f_{ap} = 1$

Material: Acero fundido

a) Hallar fm en el preciso instante q' se ve en la fig.

PERDIDAS EN NUCLEOS MAGNETICOS DE FLUJO VARIABLE

PERDIDA por histeresis:
Esta energia q' se convierte en calor a causa del fenomeno de histeresis, siendo la histeresis el fenomeno por el cual el material trata de conservar su estado magnetico.



$$W = \int_{B_1}^{B_2} H \, \partial B$$

El area encerrada dentro de la grafica representa las perdidas en el material y estas perdidas pueden calcularse mediante la formula sgt:

donde:
- n: es el exponente
- K: coeficiente de histeresis

} exponente y coeficiente de STEINMETE

K y n dependen del material

$$\boxed{\omega_h = K \cdot B_{max}^{n}}$$

ω_h: Perdida de energia por unidad de volumen y por ciclo.

En la unidad de tiempo, la potencia de perdidas es:

$$\boxed{P_h = K \cdot B_{max}^{n} \cdot f}$$

P_h: Perdidas por unidad de Volumen

Para el volumen total, la perdida total:

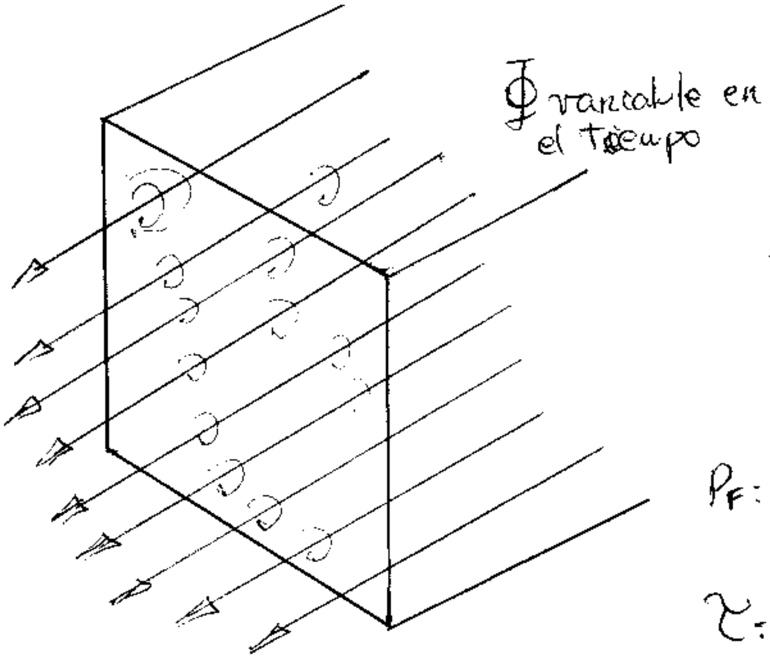
$$\boxed{\begin{aligned} W_h &= vol. \, \omega_h = vol. \, K. \, B_{max}^{n} \\ \Rightarrow P_h &= vol. \, P_h = vol. \, K. \, B_{max}^{n} . f \end{aligned}}$$

Las perdidas se reducen mejorando la calidad del material.

PERDIDAS POR CORRIENTE DE FOUCAULT

La variación del flujo magnético con el tiempo da origen a un campo eléctrico. Según faraday se cumple lo sgt. Esta fem crea corriente inducidas llamadas corriente parasitas q' origina perdidas de energía la cual se disipa como calor en el medio. Esto perdidas de calor disminuye laminando el nucleo y aislando las láminas entre si.

Se calcula mediante la formula empírica sgt.



$$\oint E \cdot d\bar{l} = -\frac{\partial}{\partial t}\int \bar{B} \cdot d\bar{s}$$

$$\boxed{P_F = K\, B_{max}^2\, f^2\, \tau^2}$$

P_F: Potencia de perdida por unidad de volumen.

τ: espesor de lámina

Cuando se tiene un espesor de lámina predeterminada, se introduce dentro de la constante.

$$\boxed{p_F = K_F \cdot B_{máx}^2 \cdot f^2}$$

Para el volumen total:

$$\boxed{P_F = vol. \cdot p_F = vol. \cdot K_F \cdot B_{máx}^2 \cdot f^2}$$

Exitación por Corriente Alterna

Bobina con nucleo de hierro (Reactores)

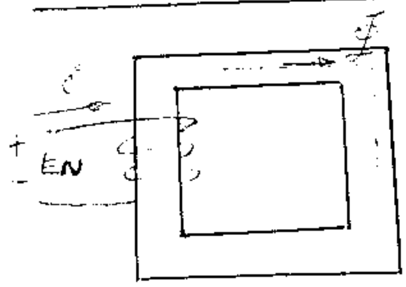
Ventajas

- El nucleo de Fe aumenta grandemente a la inductancia.
- Permite la reducción de las dimensiones de la bobina, la resistencia y el peso del devanado
- Casi todo el flujo queda confinado en el fierro haciendo mínimo el acople con otro circuito.

Desventajas

- Existen perdidas en el nucleo q' pueden afectar al calentamiento excesivo y malograr los equipos.
- La no linealidad hace q' la inductancia dependa del flujo.

Perdidas totales en el reactor



Perd. TOTAL = Perd nucleo + Perd. bobina

$$P_{TOT} = P_{Fe} + P_{Cu}$$

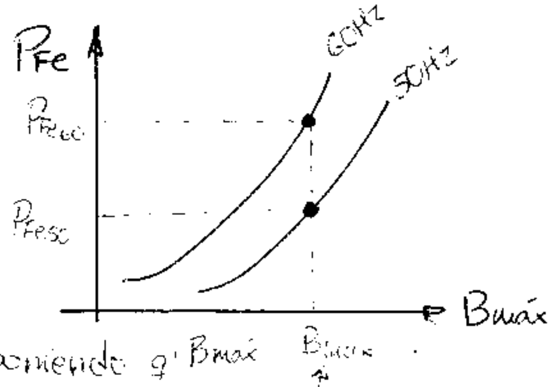
Donde:

$$P_{Fe} = P_{Histeresis} + P_{Foucault}$$

$$P_{Cu} = I^2 R \text{ (efecto Joule)}$$

Descomposición de la perdidas en el Fe

Se utiliza las curvas del material P_{Fe} vs $B_{máx}$



suponiendo q' $B_{máx}$ se mantiene constante.

Sabemos:

$$P_{Fe_{60}} = P_{hist.60} + P_{Fouc.60}$$

$$P_{Fe50} = P_{hist50} + P_{Fouc50}$$

$$P_{Fe60} = \underbrace{K_h \cdot B_{máx}^n}_{a} \cdot 60 + \underbrace{K_F \cdot B_{máx}^2}_{b} \cdot 60^2$$

$$P_{Fe50} = \underbrace{K_h \cdot B_{máx}^n}_{a} \cdot 50 + \underbrace{K_F \cdot B_{máx}^2}_{b} \cdot 50^2$$

Si hallamos "a" y "b", entonces.

$$P_{Fe60} = 60a + 60^2 b$$

$$P_{Fe50} = 50a + 50^2 b$$

$$P_{h60} = 60a \quad y \quad P_{F60} = 60^2 b$$

o tambien:

$$P_{h50} = 50a \quad y \quad P_{F50} = 50^2 b$$

NUCLEO DE HIERRO EN LOS TRANSFORMADORES

CARACTERISTICA

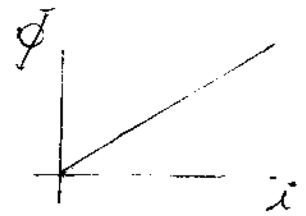
1.- El Nucleo ferromagnetico permite una autoinducción grande del primari

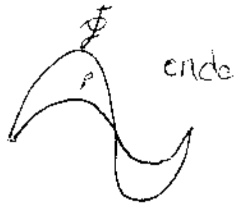
2.- La intensidad de corriente de vacío o de excitación queda reducida a un valor bastante pequeño con la presencia del nucleo de Fe.

3.- La no linealidad de la imanación del Fe hace q' la forma de onda de la corriente de excitación no sea sinusoidal a pesar de q' el flujo si lo es.

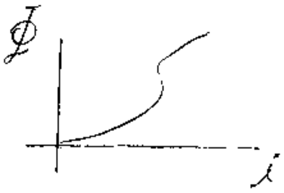
4.- Al excitar solo un devanado de un trafo, se comporta como una bobina de nucleo de hierro

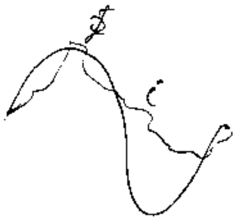
Cuando es lineal





Cuando no es lineal





Hipotesis para el estudio

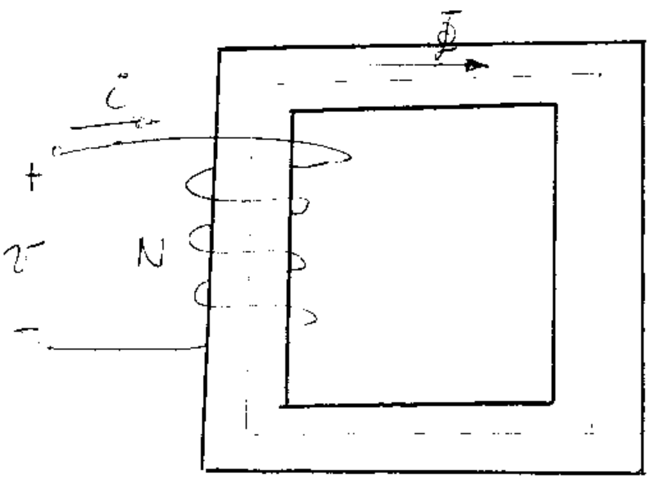
1.- Capacidad despreciable

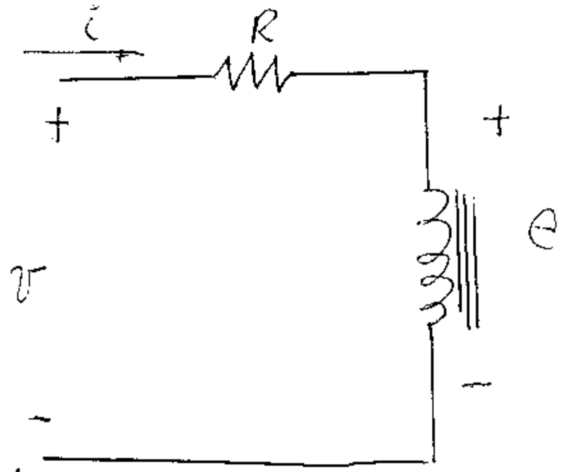
2.- Resistencia a la corriente alterna : $R_{AC} > R_{DC}$

$$R_{AC} = R \text{ (depende de la frecuencia)}$$

Se consideraran q' R, es resistencia efectiva del devanado, constante e independiente de la intensidad y la frecuencia
Dependera de la Temperatura

Tensión Inducida (e)





La caida ohmica se desprecia.

$(iR < 0,1\% v)$

Se sabe q.: $e = \frac{\partial \lambda}{\partial t}$

λ: flujo concatenado.

$$e = N \frac{\partial \Phi}{\partial t}$$

Inductancia:

Es el fenomeno por el cual la corriente no aumenta por la oposición de su propio flujo magnetico

Para un flujo senoidal: $\Phi = \Phi_{máx} \operatorname{sen}(\omega t)$

$$e = N \frac{\partial(\Phi_{máx} \operatorname{sen}(\omega t))}{\partial t}$$

$$e = N \, \Phi_{máx} \, \omega \cos(\omega t)$$

Como: $e = E_{máx} \cos(\omega t)$

entonces: $E_{máx} = N \, \Phi_{máx} \cdot \omega = N \cdot \Phi_{máx} \cdot 2\pi f$

Pero: $E_{máx} = \sqrt{2} \, E_{eficaz} \longrightarrow E_{eficaz} = E$

$$\sqrt{2} \cdot E = 2\pi f \, \Phi_{máx} \, N$$

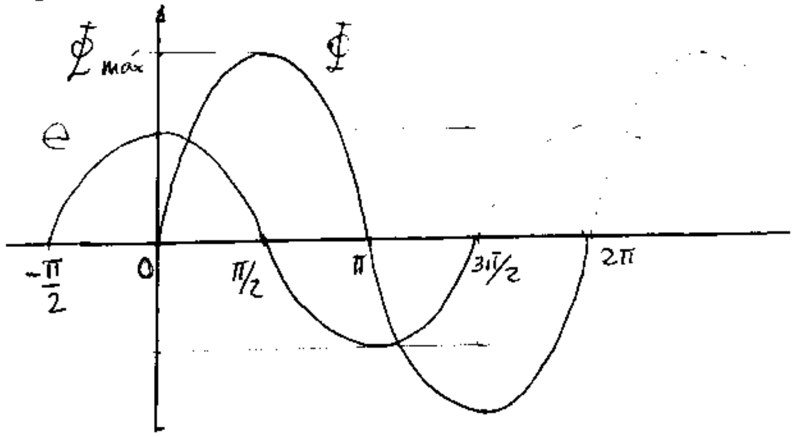
$$E = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \cdot f \cdot \Phi_{máx} \cdot N$$

$$\boxed{E = 4{,}44 \cdot f \cdot \Phi_{máx} \cdot N} \quad \ldots (1)$$

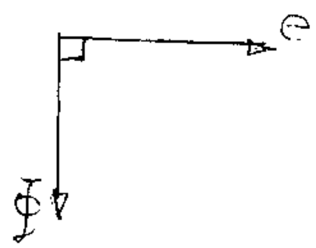
ó

$$\boxed{E = 4{,}44 \cdot f \cdot B_{máx} \cdot A \cdot N} \quad \ldots (2)$$

RELACIÓN DE FASE ENTRE "Φ" Y "e"



Fasorialmente.

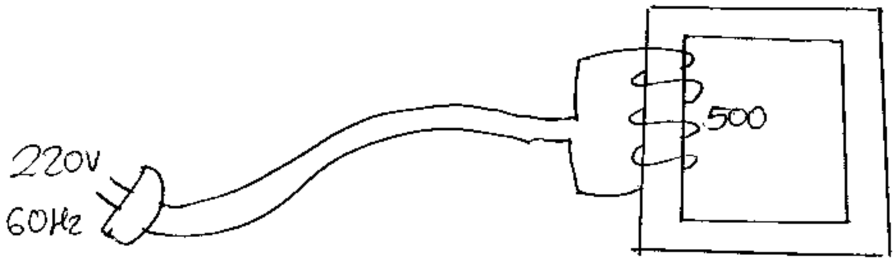


De (1) se puede observar:

Que el flujo es independiente de las dimensiones y calidad del nucleo

$$\boxed{\Phi_{máx} = \frac{E}{4{,}44 \, f \, N}}$$

Pgm.



Corriente de Excitación (i_ϕ)

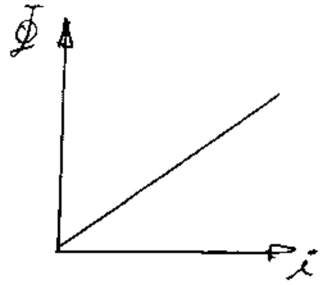
Consideraciones

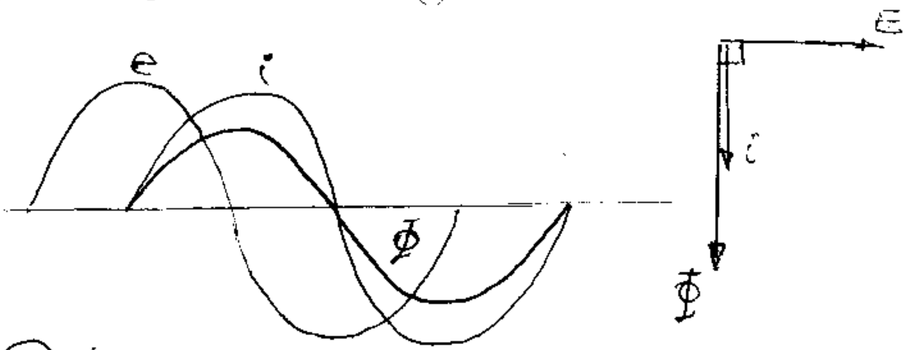
1.- Si el nucleo fuera de aire la corriente fuera senoidal para una tension senoidal aplicada

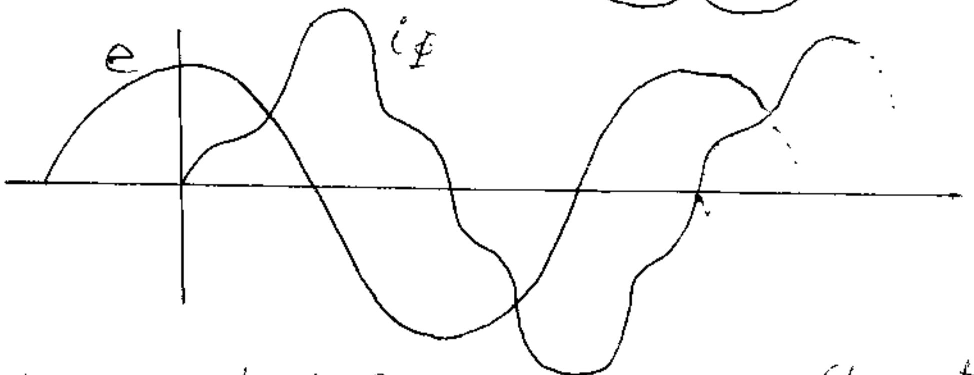
2.- Si el flujo es pequeño y la histeresis despreciable, la corriente seria aprox. senoidal e iria en fase con el flujo.

3.- Si trabajamos en la zona de saturación ya no hay proporcionalidad entre flujo y corriente

4.- La corriente de excitación tiene la forma sgt.







Es la corriente q. necesita la f.m.m. para crear el flujo Φ de un trafo trabajando en vacío.

Ejm:

La onda de tension inducida de un reactor experimental tiene un valor máx de 283 Volt a 60Hz; el area de la seccion transversal es 3,5" x 3,5" por un $f_{ap} = 0{,}9$ y tiene una bobina de 84 espiras. Calcular la induccion magnetica.

$$E_{max} = 283V$$

$$E_{ef} = \frac{E_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{283}{\sqrt{2}} = 200V$$

flujo maximo: $\Phi_{max} = \dfrac{200}{4.44 \times 60 \times 84}\ Wb \Rightarrow \Phi_{max} = 89{,}37 \cdot 10^{-4}\ Wb$

Induccion Magnetica:

$A_m = 3{,}5" \times 3{,}5" \times 0{,}9$

$A_m = 11{,}025\ plg^2 \times \left(\frac{0{,}0254m}{1plg}\right)^2 \Rightarrow$

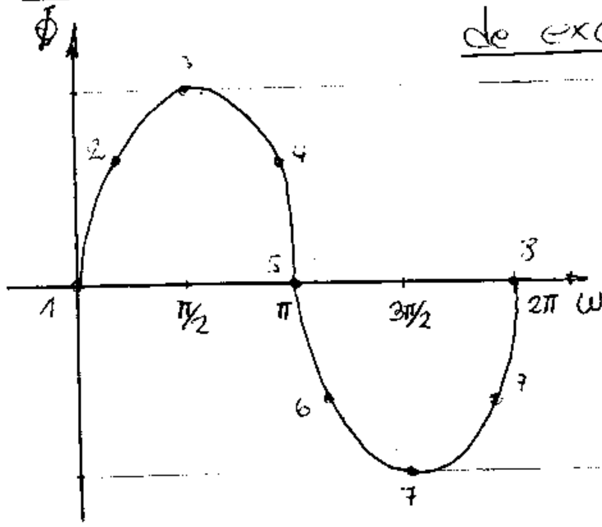
$A_m = 71{,}128 \cdot 10^{-4} m^2$

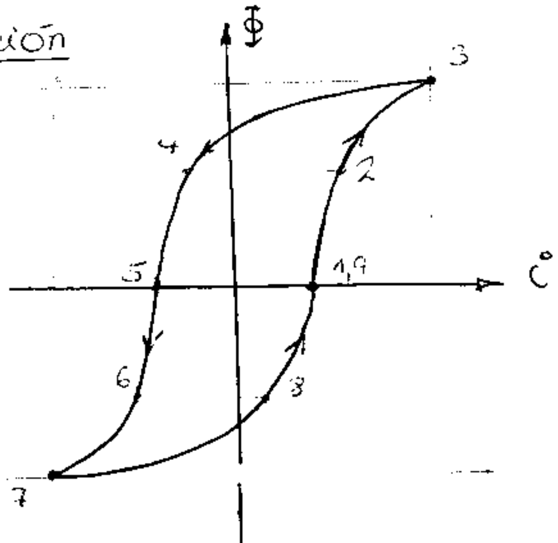
$B_{max} = \dfrac{89{,}37 \times 10^{-4}}{71{,}128 \cdot 10^{-4}}\ [T]$

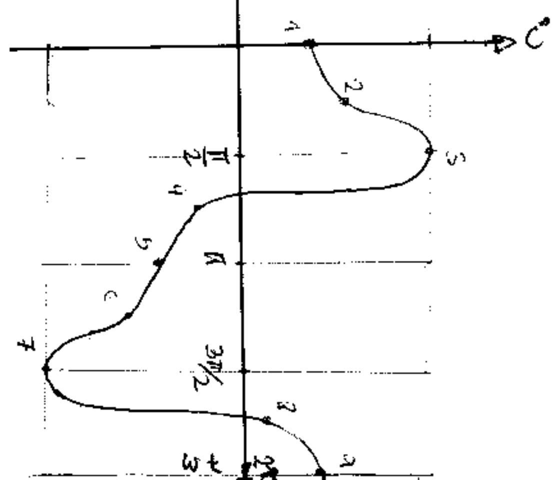
$B_{max} = 1{,}26[T] = 12600[G]$

Este valor de 12600 Gauss es Aprox. la induccion magnetica normalmente utilizada en los trafo de potencia de 50 y 60 Hz

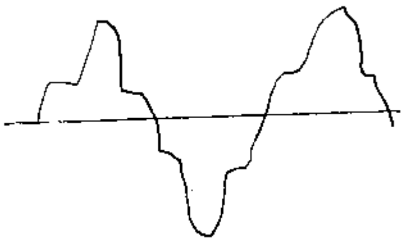
Obtencion Gráfica de la forma de Onda de la Corriente de excitación



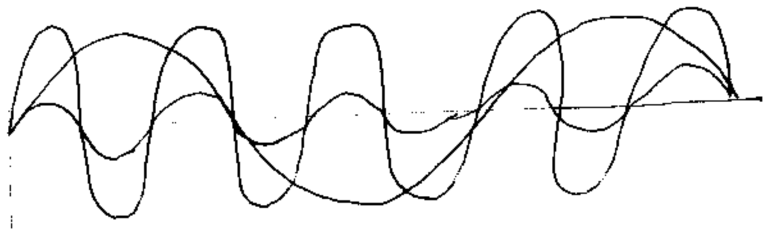




Expresión Armónica de la corriente de Excitación (i_ϕ)



$\equiv$



Por serie de Fourier

$$i_\phi = \sqrt{2}\left(I_1' \operatorname{sen}\omega t + I_3' \operatorname{sen}(3\omega t) + I_5' \operatorname{sen}(5\omega t) + \cdots \right.$$
$$\left. \left(I_1'' \operatorname{sen}(\omega t) + I_3'' \operatorname{sen}(3\omega t) + I_5'' \operatorname{sen}(5\omega t) + \cdots \right. \right)$$

Por otro lado:

$$e = E_{max} \cos(\omega t)$$
$$e = \sqrt{2}\, E \cos(\omega t)$$

La única componente en fase con "e" es:

$$i_e = \sqrt{2}\; I_1'' \cos(\omega t)$$

y esta q. produce potencia activa

$\therefore$ Las pérdidas en el núcleo:

$$P_{Fe} = I_1'' E = I_c E$$

De donde:

$$I_c = \frac{P_{Fe}}{E}$$

I_c. Corriente de pérdidas en el Fe

Valor eficaz de la Corriente de Excitación

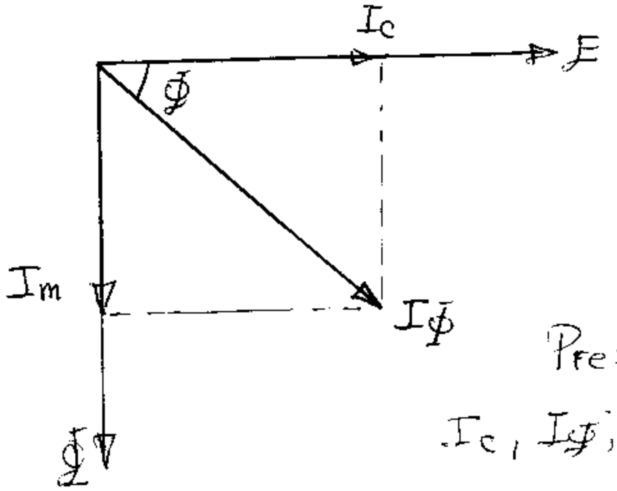
$$I_\phi = \sqrt{I_1' + I_3'^2 + I_5'^2 + \cdots + I_1''^2 + I_3''^2 + I_5''^2 + \cdots}$$
$$= \sqrt{\underbrace{I_1''^2}_{I_c^2} + \underbrace{I_3''^2 + I_5''^2 + \cdots + I_1'^2 + I_3'^2 + I_5'^2 + \cdots}_{I_m^2}}$$

$$I_\phi = \sqrt{I_c^2 + I_m^2}$$

I_m = Corriente de magnetización

$$I_m = \sqrt{I_3''^2 + I_5''^2 + \cdots + I_1'^2 + I_3'^2 + I_5'^2 + \cdots}$$

Representación Vectorial



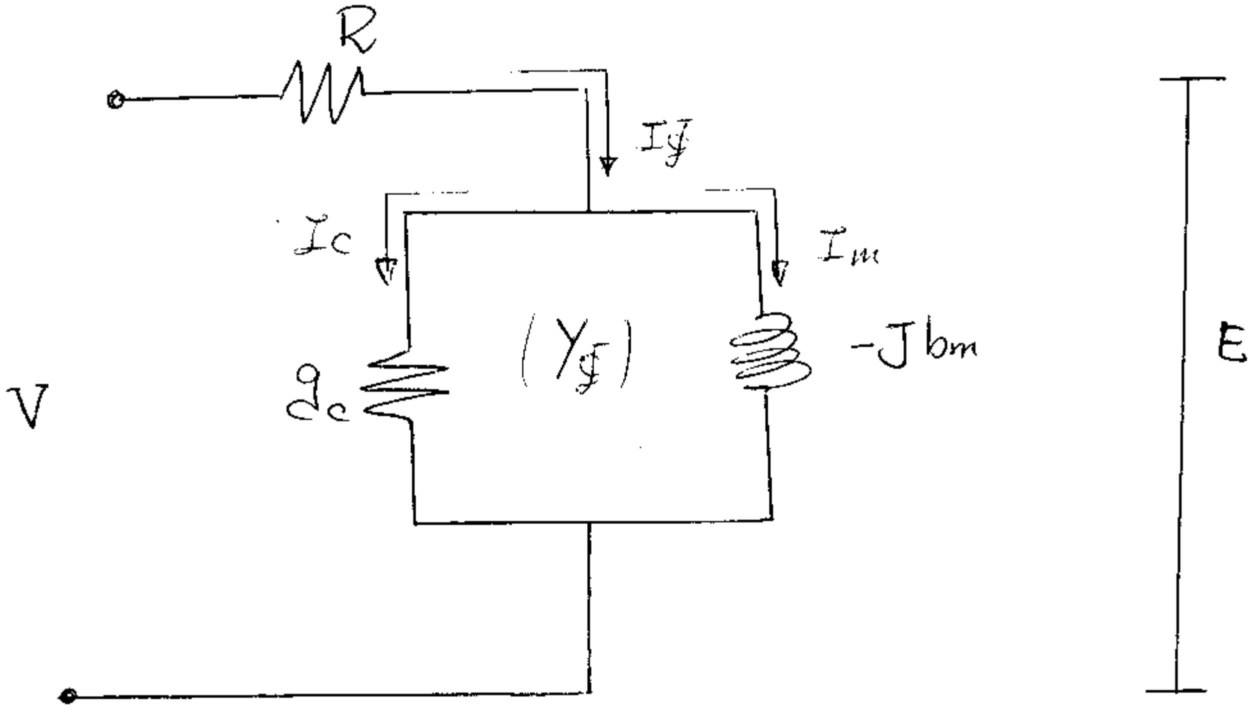
$$\bar{I}_\phi = \bar{I}_c + \bar{I}_m$$

$$\cos\phi = \frac{I_c}{I_\phi} = \frac{P_{Fe}}{I_\phi \cdot E}$$

P_{Fe}: Potencia de perdidas en el nucleo

I_c, I_ϕ, E: Valores Eficaces.

Circuitos Equivalente de un reactor



$$Y_\phi = g_c - J b_m$$

R: Resistencia efectiva del devanado (Ω)

g_c: Conductancia de perdidas ($\mho$)

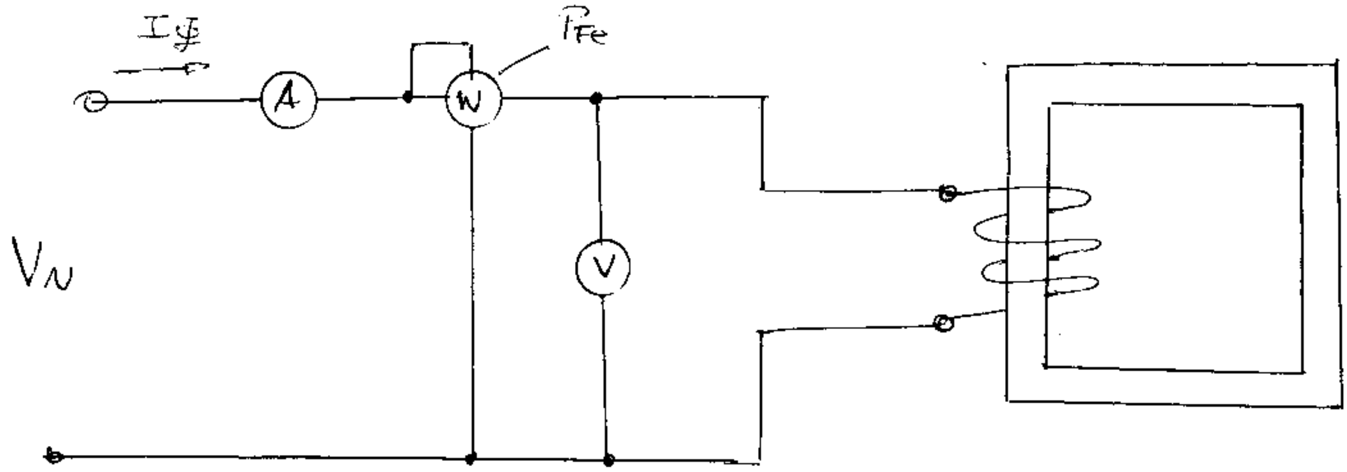
b_m: Suceptancia magnetica ($\mho$) ó mho ó siemens

Y_ϕ: Admitancia de excitación ($\mho$)

Despreciando la caída ohmica $I_\phi . R$

$$V \approx E$$

Determinación de Parámetros del circuito Equivalente



Se realiza el ensayo donde:

Ⓐ : Mide la corriente de excitación, I_ϕ

Ⓦ : " " potencia de perdidas, P_{Fe}

Ⓥ : " " Tensión Nominal ; $V_N \simeq E$

Y se calcula:

$$\boxed{g_c = \frac{P_{Fe}}{V_N^2}} \qquad \boxed{b_m = \sqrt{Y_\phi^2 - g_c^2}}$$

$$\boxed{Y_\phi = \frac{I_\phi}{V_N}}$$

Ecuaciones q' se cumplen.

$$\bar{V} = I_\phi \cdot R + \bar{E}$$

Pero : $I_\phi R \approx 0 \longrightarrow \bar{V} \approx \bar{E}$

también:

$$\bar{Y}_\phi = g_c - j\, b_m$$

Además:

$$\bar{I}_\phi = \bar{I}_c + \bar{I}_m$$

$$\bar{Y}_\phi \cdot \bar{E} = \bar{I}_c + \bar{I}_m$$

$$(g_c - j b_m)\, \bar{E} = \bar{I}_c + \bar{I}_m$$

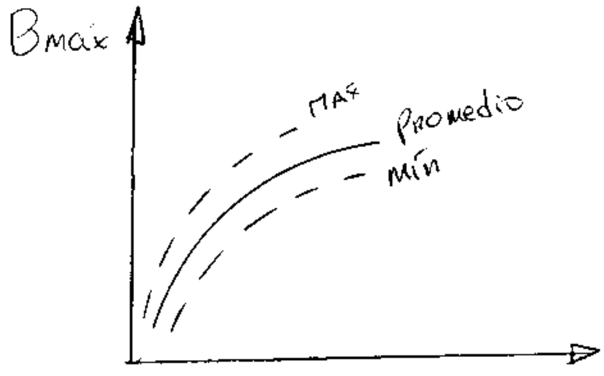
$\therefore$

$$\boxed{\bar{I}_c = g_c \bar{E}} \longrightarrow \boxed{I_c = g_c \cdot E}$$

$$\boxed{\bar{I}_m = -j\, b_m \bar{E}} \longrightarrow \boxed{I_m = b_m \cdot E}$$

Curvas Características de los Reactores

a) Curva de Magnetización eficaz $B_{máx}$ V.S. H_m

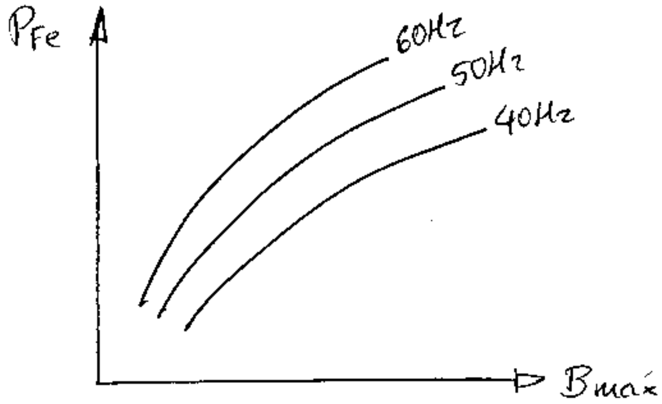


$$H_m = \frac{N I_m}{\ell}$$

Conociendo $B_{máx}$ se halla H_m

luego: $I_m = \dfrac{H_m \cdot \ell}{N}$

b) Curva de perdida en el Nucleo P_{Fe} V.S $B_{máx}$

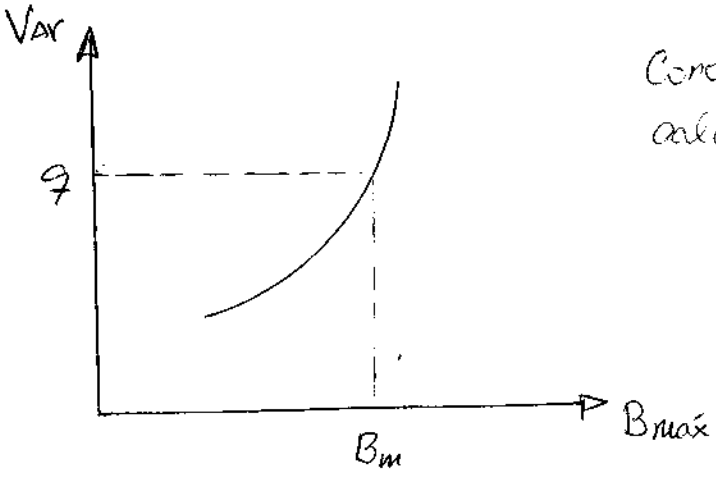


Conociendo $B_{máx}$ se halla P_{Fe}

Calculamos la perdidas totales P_{Fe}

luego: $I_c = \dfrac{P_{Fe}}{E}$

c) Curva de Potencia Reactiva: Var V.S $B_{máx}$



Conociendo $B_{máx}$ se halla q

calculamos los VAR totales, Q

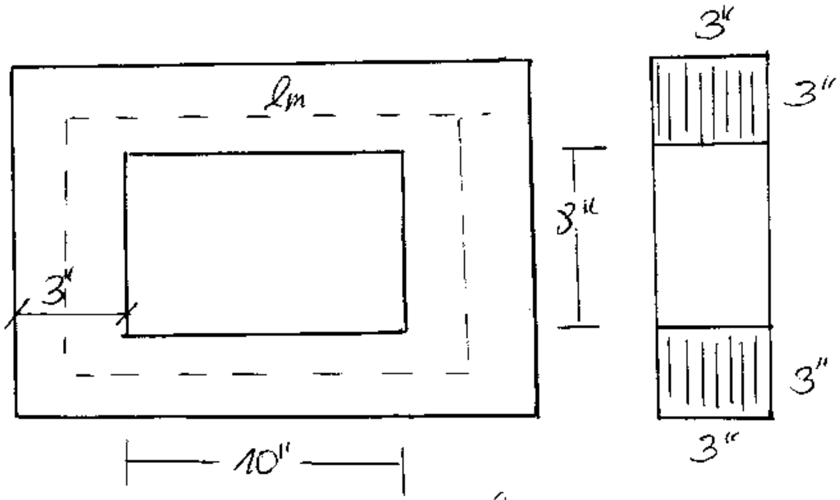
$$I_m = \frac{Q}{E}$$

Problema

El reactor cuya dimensiones estan indicadas en la fig. tiene un arrollamiento con 145 espiras. El nucleo es de acero al silicio a 4,25% (Ver curvas caracteristicas). Si se alimenta con una tension de 220V a 60Hz, determinar:

a) Las perdidas totales en el nucleo

b) El valor eficaz de la corriente de excitación.



$f.ap = 0,9$

$N = 145$ $E = 220V$ $f = 60Hz$

Solución:

longitud magnetica:

$$l_m = 2\times13" + 2\times11" = 48 plg$$

Area Magnetica:

$$A_m = 3" \times 3" \times 0,9 = 8,1 plg^2$$

Volumen:

$$Vol = A_m \times l_m = 8,1 \times 48 = 388,8 \, plg^3$$

Como la densidad del material es

$$\rho = 0,27 \, lb/plg^3$$

La masa será:

$$M = \rho . Vol = 0,27 \times 388,8$$

$$M = 105 \, lb.$$

Calculo de B_{max}:

$$\phi_{max} = \frac{E}{4,44 \times f \times N}$$

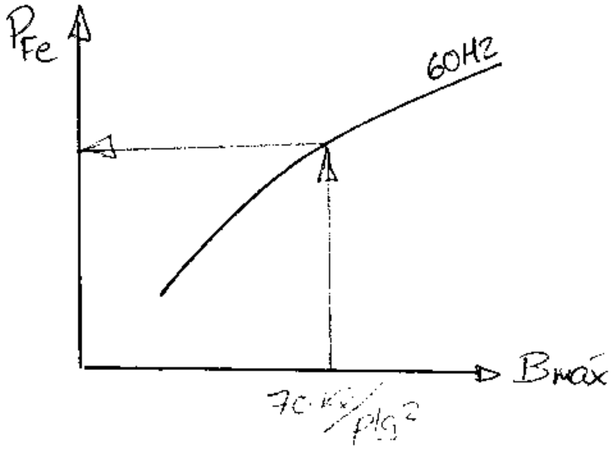
$$= \frac{220}{4,44 \times 60 \times 145} \Rightarrow \phi_{max} = 5,70 \times 10^{-3} wb$$

$$\Rightarrow \phi_{max} = 570 KL$$

luego: $B_{máx} = \phi_{máx}/A_m = \dfrac{570\ Kl}{8{,}1\ plg^2}$

$$B_{máx} = 70{,}37\ Kl/plg^2$$

a) De la curva P_{Fe} vs. $B_{máx}$:



$P_{Fe} = 0{,}7\ W/lb$

Las perdidas totales

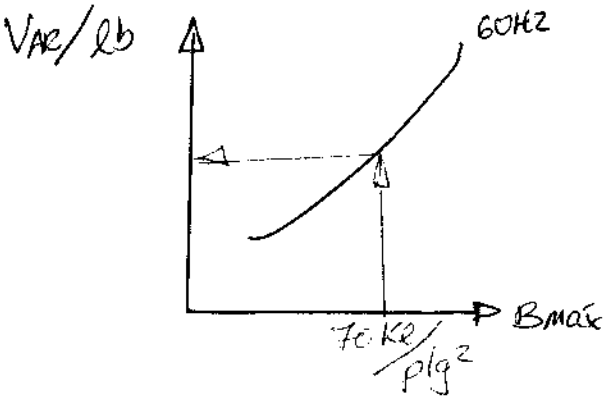
$P_{Fe} = 0{,}7\ \dfrac{W}{lb} \times 105\ lb$

$$\boxed{P_{Fe} = 73{,}5\ W}$$

b) Corriente de perdidas

$$I_c = \frac{P_{Fe}}{E} = \frac{73{,}5}{220}\ A \Rightarrow I_c = 0{,}33A$$

De la curva q. vs. $B_{máx}$



$q = 1{,}85\ VAR/lb$

$Q = 1{,}85\ \dfrac{VAR}{lb} \times 105\ lb$

$Q = 194{,}25\ VAR$

Corriente de magnetización.

luego: $I_m = \dfrac{Q}{E} = \dfrac{194{,}25\ VAR}{220\ V} \Rightarrow I_m = 0{,}88A$

Finalmente: $I_\phi = \sqrt{I_c^2 + I_m^2}$

$$= \sqrt{0{,}33^2 + 0{,}88^2}$$

$$\boxed{I_\phi = 0{,}94A}$$

Problema

Se diseña un reactor para trabajar a 220V y 60Hz, con nucleo de material de acero al silicio con 4,25%, longitud media de 300mm y una inducción máxima de 1,25 Teslas, La sección del nucleo es 35mm x 35mm con fap. = 0,9. Hallar:

a) Las perdidas en el Fe y I_m

b) Si al cambiar el nucleo las perdida ahora es 7,5 W con una corriente de Vacio de 0,125A, hallar el cto equivalente.

Solución:

$$l_m = 300mm = 11,81''$$

$$A_m = 35 \times 35 \times 0,9 \, mm^2 = 1,71 \, plg^2$$

$$Vol = l_m \times A_m = 20,19 \, plg^3$$

$$m = \rho . Vol = 0,27 \frac{lb}{plg^3} \times 20,19 \, plg^3 \Rightarrow \quad m = 5,45 \, lb$$

$$B_{max} = 1,25 \frac{wb}{m^2} \times \frac{10^5 \, Kl}{1 \, wb} \times \left(\frac{0,0254 m}{1 plg}\right)^2 \Rightarrow B_{max} = 80,65 \, Kl/plg^2$$

a) De curva P_{Fe} V.S. B_{max}

$$P_{Fe} = 0,9 \, W/lb$$

$$P_{Fe\,TOTAL} = 0,9 \frac{W}{lb} \times 5,45 \, lb \Rightarrow P_{Fe\,total} = 4,905 \, W$$

De la curva q v.s. B_{max}

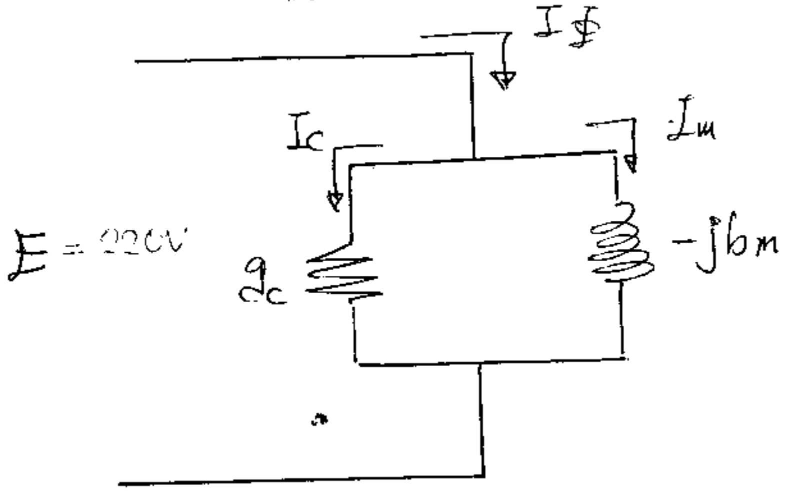
$$q = 3,7 \, VAr/lb$$

$$Q = 3,7 \frac{VAr}{lb} \times 5,45 \, lb \Rightarrow Q = 20,17 \, VAr$$

luego:

$$I_m = \frac{20,17}{220} A \Rightarrow \boxed{I_m = 0,092A}$$

b)



Ahora: $P_{Fe} = 7{,}5W$, $I_\phi = 0{,}125A$

Entonces: $I_c = \dfrac{P_{Fe}}{E} = \dfrac{7{,}5}{220} A \Rightarrow I_c = 0{,}034A$

luego:

$$I_m = \sqrt{I_\phi^2 - I_c^2} = \sqrt{0{,}125^2 - 0{,}034^2}\ A$$

$$I_m = 0{,}12A$$

Calculo de los parametros:

$$g_c = \frac{P_{Fe}}{E^2} = \frac{7{,}5}{220^2} \mho \Rightarrow g_c = 154\ \mu\mho$$

$$b_m = \frac{I_m}{E} = \frac{0{,}12}{220} \mho \Rightarrow b_m = 545\ \mu\mho$$

Problema

Un reactor q. opera a 220v y 60Hz es rebobinado colocandole 20% mas de espiras. Si en estas condiciones opera a voltaje nominal y a una f=50Hz, determinar en q % la Ief. es menor respecto a la Ief en condiciones normales

Solucion: datos: $E_1 = 220v$, $f_1 = 60Hz$, $f_2 = 50Hz$, $N_1 = n$, $N_2 = 1{,}2n$

Condicion 1. $E_1 = 4{,}44\ f_1 \times B_{max1} \times A_1 \times N_1 \ldots$ (1)

" 2. $E_2 = 4{,}44\ f_2 \times B_{max2} \times A_2 \times N_2 \ldots$ (2)

(1) ÷ (2) y considerando q: $A_2 = A_1$ y $E_2 = E_1$

$$f_1 \times B_{max1} \times N_1 = f_2 \times B_{max2} \times N_2$$

$$60 \times B_{max1} \times n = 50 \times B_{max2} \times 1{,}2n$$

$$B_{max1} = B_{max2}$$

$$\therefore\ f_{mm1} = f_{mm2}$$

$$N_1 I_1 = N_2 I_2$$

$$I_2 = \frac{N_1}{N_2} \cdot I_1$$

$$I_2 = \frac{n}{1{,}2n} \cdot I_1 \Rightarrow I_2 = 0{,}8333\ I_1$$

$$I_2 = 83{,}33\%\ I_1$$

I_2 es menor q' I_1 en $\underline{16{,}66\%}$

Problema

Determinar analíticamente si las pérdidas en el núcleo aumentan o disminuyen, si a una bobina de núcleo de hierro le aumentamos el número de láminas para una misma f.m.m.

Datos: $n_2 > n_1$; $f_{mm_2} = f_{mm_1}$

n: # de láminas

Sol:

Por dato:

$$f_{mm_2} = f_{mm_1}$$
$$N_2 I_2 = N_1 I_1$$
$$H_2 l_2 = H_1 l_1$$

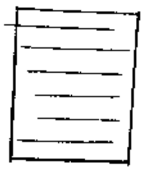
Como: $l_2 = l_1$ $\quad H_2 = H_1 \Rightarrow B_1 = B_2 \Rightarrow \therefore B_{max_2} = B_{max_1}$

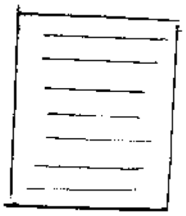
Análisis de las pérdidas:

$$P_{H_1} = Vol_1 \cdot K_h \cdot \cancel{B_{max_1}^{n} \cdot f_1} \ldots \quad (1)$$
$$P_{H_2} = Vol_2 \times \cancel{K_h} \times \cancel{B_{max_2}^{n} \times f_2} \ldots \quad (2)$$

(1) ÷ (2)

$$\frac{P_{H_1}}{P_{H_2}} = \frac{Vol_1}{Vol_2} \qquad (3)$$


n_1


n_2

$A_{m_1} = b \times n_1 \times t$ $\qquad$ $A_{m_2} = b \times n_2 \times t$

$$\frac{A_{m_2}}{A_{m_1}} = \frac{n_2}{n_1}$$

Como: $n_2 > n_1 \Rightarrow A_{m_2} > A_{m_1} \ldots \quad (4)$

De (3)

$$\frac{P_{H_1}}{P_{H_2}} = \frac{\cancel{l_1} \times A_{m_1}}{\cancel{l_2} \times A_{m_2}}$$

Como: $A_{m_2} > A_{m_1} \Longrightarrow \boxed{P_{H_2} > P_{H_1}}$

Analogamente:

$$\frac{P_{F1}}{P_{F2}} = \frac{Vol_1 \cdot \cancel{K_F \cdot B_{max1}^2 \cdot f_1^2}}{Vol_2 \cdot \cancel{K_F \cdot B_{max2}^2 \cdot f_2^2}}$$

$$\frac{P_{F1}}{P_{F2}} = \frac{Vol_1}{Vol_2} = \frac{\cancel{l_1} \cdot A_{m1}}{\cancel{l_2} \cdot A_{m2}} = \frac{A_{m1}}{A_{m2}}$$

Como: $A_{m2} > A_{m1} \Rightarrow \boxed{P_{F2} > P_{F1}}$

$\therefore$ ¡Las perdidas totales AUMENTAN

Problema:

Determinar analiticamente si las perdidas en el nucleo aumentan o disminuyen cuando un trafo diseñado para trabajar a 50Hz es instalado en una red de 60Hz

Solución:

Condición 1: $E_1 = 4{,}44\, f_1 \cdot B_{max1} \times A_{m1} \times N_1 \ldots (1)$

" 2: $E_2 = 4{,}44\, f_2 \times B_{max2} \times A_{m2} \times N_2 \ldots (2)$

$(1) \div (2)$ $\quad 50\, B_{max1} = 60\, B_{max2}$

$$\frac{B_{max2}}{B_{max1}} = \frac{5}{6} \ldots (3)$$

Analisis de las perdidas: (suponiendo $n=2$)

$$P_{h1} = K_h \cdot B_{max1}^2 \times 50$$

$$P_{h2} = K_h \times B_{max2}^2 \times 60$$

$$\frac{P_{h1}}{P_{h2}} = \frac{B_{max1}^2}{B_{max2}^2} \cdot \frac{5}{6} = \frac{6^2}{5^2} \cdot \frac{5}{6}$$

$$\frac{P_{h1}}{P_{h2}} = \frac{6}{5} \Rightarrow \therefore P_{h2} < P_{h1} \text{ !}$$

Analíticamente por perdida de foucault.

resolviendo: ∴ $P_{F2} = P_{F1}$

luego: $P_{Fe2} < P_{Fe1}$ ∴ Las perdidas en el nucleo disminuyen

Problema:

Un trafo de 60Hz, 6600V, 1Φ, tiene un nucleo laminado de acero - silicio 4.25 El $F_{ap} = 0.9$, la sección del nucleo es 35 plg², su longitud media es de 88" y tiene 4 juntas. Cada junta tiene un numero de A-T (eficaces) aprox. 10 veces los de Φ/plg del nucleo. Si el trafo opera a la tensión y frecuencia nominales con una inducción magnetica 70 KL/plg², determinar:

a) El número de espiras del arrollamiento
b) I_m
c) I_c
d) I_Φ

DATOS: $l_m = 88"$ E = 6600V

$A_m = 35 plg^2 \times 0{,}9 = 31{,}5 plg^2$ f = 60Hz

$B_{max} = 70 KL/plg^2$

Solución:

$Vol = A_m \times l_m = 31{,}5 \times 88 plg^2 \Rightarrow Vol = 2772 plg^3$

Masa: $m = \rho . Vol = 0{,}27 \frac{lb}{plg^3} . 2772 plg^3 \Rightarrow m = 748{,}44 lb$

a) # espiras

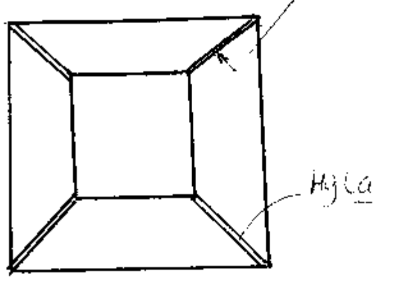
$\Phi_{max} = B_{max} . A_m$
$= 70 \times 31{,}5 = 2205 KL \Rightarrow \Phi_{max} = 0{,}02205 Wb$

Además:

$E = 4{,}44 . f . \Phi_{max} . N$

$N = \frac{6600}{4{,}44 \times 60 \times 0{,}02205} \Rightarrow \boxed{N = 1123{,}6 \text{ espiras}}$

b) Consideración de las juntas.



$$NI = H_m l_m + 4 H_g l_g \quad \ldots\ (1)$$

Pero por dato c/junta $H_g l_g = \frac{10}{88} H_m l_m$ (2)

$$NI = H_m l_m + 4\ \frac{10}{88} H_m l_m$$

$$= \frac{128}{88} H_m l_m$$

$$NI = H_m \times \underbrace{1{,}45 l_m}_{l_{eq}}$$

$$l_{eq} = 1{,}45 \times 88'' \Rightarrow l_{eq} = 128''$$

De curva VAr V.S. Bmáx

Con $B_{máx} = 70 \frac{Kl}{plg^2} \rightarrow q = 1{,}55 \frac{VAr}{lb}$

El total: $Q = 1{,}85 \frac{VAr}{lb} \cdot \underbrace{448{,}44\ lb \times 1{,}45}_{meq.}$

$Q = 2007$ VAr

∴ $I_m = \frac{Q}{E} = \frac{2007}{6600} \rightarrow \boxed{I_m = 0{,}304 A}$

c) De curva p_{Fe} V.S. Bmáx

Con $B_{máx} = 70 \frac{Kl}{plg^2} \rightarrow p_{Fe} = 0{,}7 \frac{W}{lb}$

El total: $P_{Fe} = 0{,}7 \frac{W}{lb} \times 448{,}44\ lb \Rightarrow P_{Fe} = 523{,}91 W$

∴ $I_c = \frac{P_{Fe}}{E} = \frac{523{,}91}{6600} A \rightarrow \boxed{I_c = 0{,}0794 A}$

d) ∠ corriente de excitación

$$I_\phi = \sqrt{I_c^2 + I_m^2} = \sqrt{0{,}0794^2 + 0{,}304^2}$$

$$\boxed{I_\phi = 0{,}314 A}$$

otra forma de hallar I_m:

De la curva Bmáx VS $H_m = NI/l_m$

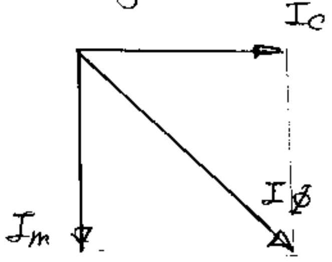
Con: $B_{máx} = 70 \frac{Kl}{plg^2} \rightarrow H_m = 2{,}65 \frac{A\text{-}v}{plg}$

Considerando: $l_{eq} = 1{,}45 l_m$

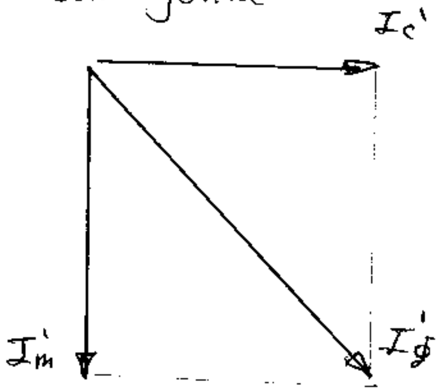
$$I_m = \frac{H_m \cdot l_{eq}}{N} = \frac{2{,}65 \times 1{,}45 \times 88}{1123{,}6}$$

$$\boxed{I_m = 0{,}301 A}$$

Sin junta



Con junta



Problema:

Cuando se abre el secundario del trafo. de nucleo de hierro y se aplica al primario un tension senoidal de 60Hz y valor eficaz de 480V, potencia primario = 1200W, cuando se aplica al secundario una tensión senoidal eficaz de 480V con el primario abierto la potencia en el Secundario 500W.

La razon del numero de espiras del primario y secundario es 1/2 si se desprecian las caidas en el devanado por las reactancias y resistencias en el vacío

a) Cuales son las perdidas por Foulcault e histeresis al operar con una tension senoidal de 60Hz y valor eficaz de 480V aplicado al primario.

Solución:

$E_1 = 480V$, $f_1 = 60Hz$, $P_{Fe_1} = 1200W$ $\qquad \dfrac{N_1}{N_2} = \dfrac{1}{2}$

$E_2 = 480V$, $f_2 = 30Hz$, $P_{Fe_2} = 500W$

P_H, P_F a 60Hz:

Sabemos: $E = 4{,}44\, f \cdot B_{max} \cdot A_m \cdot N$

Cond. 1: $E_1 = 4{,}44 \times 60 \cdot B_{max\,1}\, A \cdot N_1$ ...(1)

Cond. 2: $E_2 = 4{,}44 \times 30 \cdot B_{max\,2} \cdot A \cdot N_2$ ...(2)

(1) ÷ (2): $1 = \dfrac{60}{30} \cdot \dfrac{B_{max\,1}}{B_{max\,2}} \cdot \dfrac{N_1}{N_2}$

$= 2 \cdot \dfrac{B_{max\,1}}{B_{max\,2}} \cdot \dfrac{1}{2} \Rightarrow B_{max\,1} = B_{max\,2}$

Analisis delas perdidas:

$$P_{h_1} = K_h \cdot B_{max_1}^{n} \; f_1$$

$$P_{h_2} = K_h \cdot B_{max_2}^{n} \; f_2$$

$$\frac{P_{h_1}}{P_{h_2}} = \left(\frac{B_{max_1}}{B_{max_2}}\right)^{n} \cdot \frac{60}{30} \Rightarrow P_{h_1} = 2 P_{h_2} \; \ldots \; (3)$$

Por foucault:

$$P_{F_1} = K_F \cdot B_{max_1}^{2} \cdot f_1^{2}$$

$$P_{F_2} = K_F \cdot B_{max_2}^{2} \cdot f_2^{2}$$

$$\frac{P_{F_1}}{P_{F_2}} = \left(\frac{B_{max_1}}{B_{max_2}}\right)^{2} \cdot \left(\frac{f_1}{f_2}\right)^{2}$$

$$= (1)^2 \cdot \left(\frac{60}{30}\right)^{2} \Rightarrow P_{F_1} = 4 P_{F_2} \; \ldots \; (4)$$

Por dato:

$$P_{Fe_1} = P_{H_1} + P_{F_1}$$

$$P_{Fe_2} = P_{H_2} + P_{F_2}$$

$$1200 = P_{H_1} + P_{F_1}$$

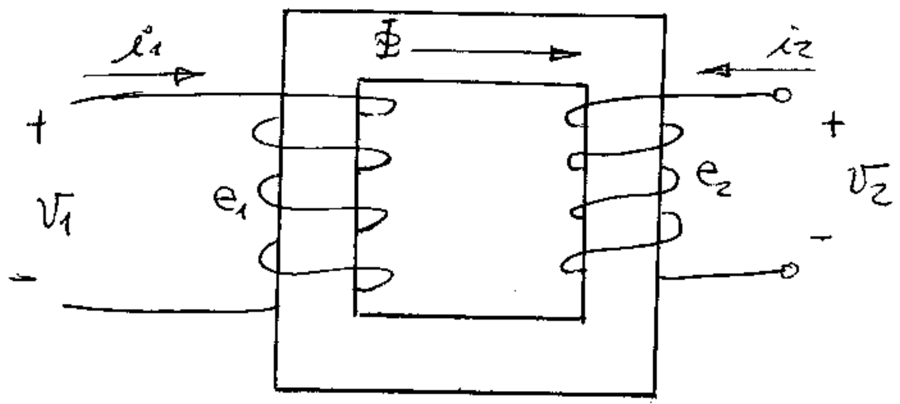
$$500 = P_{H_2} + P_{F_2}$$

$$1200 = P_{H_1} + P_{F_1}$$

$$500 = \frac{P_{H_1}}{2} + \frac{P_{F_1}}{4} \Rightarrow \boxed{\begin{array}{l} P_{H_1} = 800W \\ P_{F_1} = 400W \end{array}} \; a \; 60Hz$$

TRANSFORMADORES

Principios Generales



Se cumple:

$$V_1 = i_1 R_1 + e_1 = i_1 R_1 + \frac{\partial \lambda_1}{\partial t} \quad \ldots\ldots (1)$$

$$V_2 = i_2 R_2 + e_2 = i_2 R_2 + \frac{\partial \lambda_2}{\partial t} \quad \ldots\ldots (2)$$

Si consideramos la permeabilidad constante.

$$\lambda_1 = L_1 i_1 + M . i_2 \quad \ldots\ldots (3)$$

$$\lambda_2 = L_2 i_2 + M i_1 \quad \ldots\ldots (4)$$

L_1, L_2 : Coeficiente de autoinducción

M : " de inducción mutua.

Luego, las ec. de circuitos acoplados.

$$v_1 = i_1 R_1 + L_1 . \frac{\partial i_1}{\partial t} + M . \frac{\partial i_2}{\partial t} \quad \ldots (5)$$

$$v_2 = i_2 R_2 + L_2 \frac{\partial i_2}{\partial t} + M . \frac{\partial i_1}{\partial t} \quad \ldots (6)$$

Suponiendo q. todo el flujo se halla confinado en el núcleo.

$$\lambda_1 = N_1 \Phi \ldots (7) \qquad \lambda_2 = N_2 . \Phi \ldots (8)$$

Donde: Φ es el flujo resultante de la acción combinada del primario y secundario

$$v_1 = i_1 R_1 + e_1 = i_1 R_1 + N_1 \frac{\partial \Phi}{\partial t} \quad \ldots (9)$$

$$v_2 = i_2 R_2 + e_2 = i_2 R_2 + N_2 \frac{\partial \Phi}{\partial t} \quad \ldots (10)$$

. Si aplicamos una tensión v_1 al primario con el secundario en vacío

$$v_1 = i_1 R_1 + e_1$$
$$v_2 = i_2 R_2 + e_2$$

Considerando $i_1 R_1 \simeq 0 \Rightarrow v_1 \approx e_1$

Además: $i_2 R_2 = 0 \Rightarrow v_2 = e_2$

luego:

$$\boxed{\frac{v_1}{v_2} \approx \frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2}} \quad \ldots\ldots (11)$$

Vemos q' el transformador transforma tensión.

. Si conectamos carga al secundario.

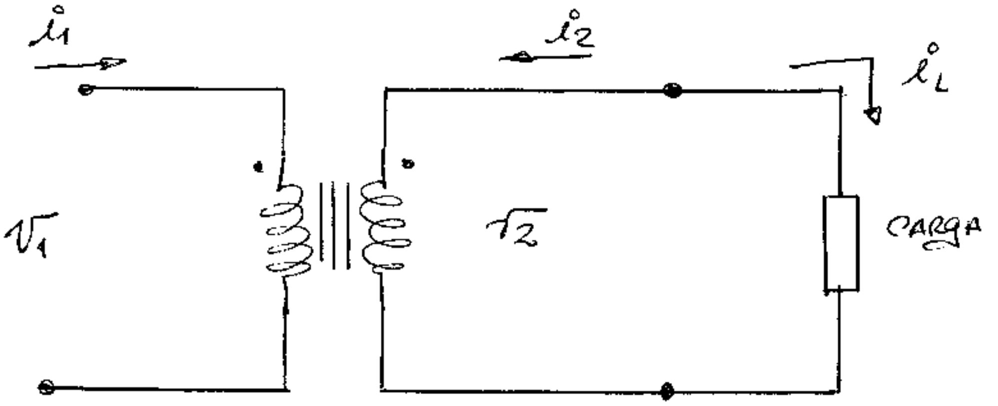
$$i_1 = i_\phi + i_L' \quad \ldots\ldots (12)$$

i_ϕ: corriente de excitación

i_L': " de carga

Para mantener el flujo, i_L' crea una f.m.m. q' se opone a la f.m.m. de i_2.

$$N_1 \cdot i_L' = -N_2 \cdot i_2 \quad \ldots\ldots (13)$$



Al entregar carga: $i_L = -i_2$

Considerando: $i_\phi \approx 0$ (trafo. ideal)

EN (12) $\quad i_1 = i_L'$

luego en (13) $\quad N_1 \cdot i_1 = N_2 \cdot (-i_2)$

$$\boxed{\frac{i_1}{-i_2} = \frac{N_2}{N_1}} \quad \ldots\ldots (14)$$

Vemos q' el transformador transforma corriente

Dividiendo (11) y (14)

$$\frac{v_1 / i_1}{v_2 / (-i_2)} = \frac{N_1/N_2}{N_2/N_1}$$

$$\frac{v_1 / i_L'}{v_2 / i_L} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$

$$\boxed{\frac{Z_L'}{Z_L} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2} \quad \ldots\ldots (15)$$

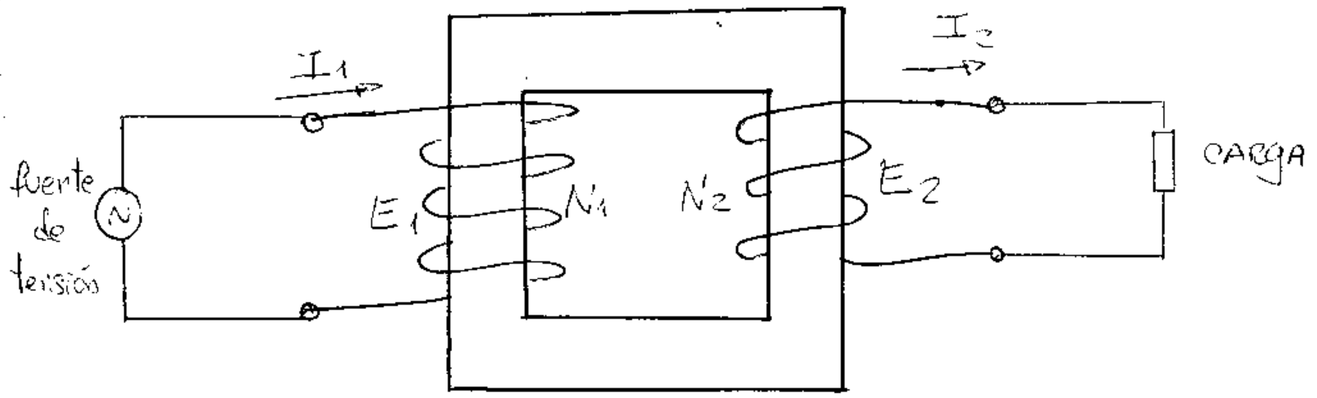
Vemos q' el transformador transforma impedancias.

TRANSFORMADOR IDEAL

Por la perfección de su construcción un trafo con nucleo de hierro puede estudiarse y analizarse con las sgts consideraciones:

1) Las resistencias de los devanados son despreciables.
2) Se desprecia las perdidas en el nucleo.
3) La totalidad del flujo magnetico atraviesa todas las espiras de ambos devanados.
4) La gran permeabilidad del nucleo permite q' con una f.m.m. despreciable se cree el flujo necesario.
5) Las capacidades de los devanados son despreciables.

Ecuaciones q' rigen el funcionamiento de un transformador



En todo transformador se cumple las ec. sgts.

1) $$\boxed{\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}}$$

Donde: $\frac{N_1}{N_2} = a$ es la "relación de Transformación"

2) f.m.m. del primario = f.m.m. del secundario

$$N_1 I_1 = N_2 I_2$$

$$\boxed{\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}}$$

3) Potencia del primario = Potencia del secundario

$$\boxed{E_1 I_1 = E_2 I_2}$$

4) $$\boxed{\frac{Z_1}{Z_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2}$$

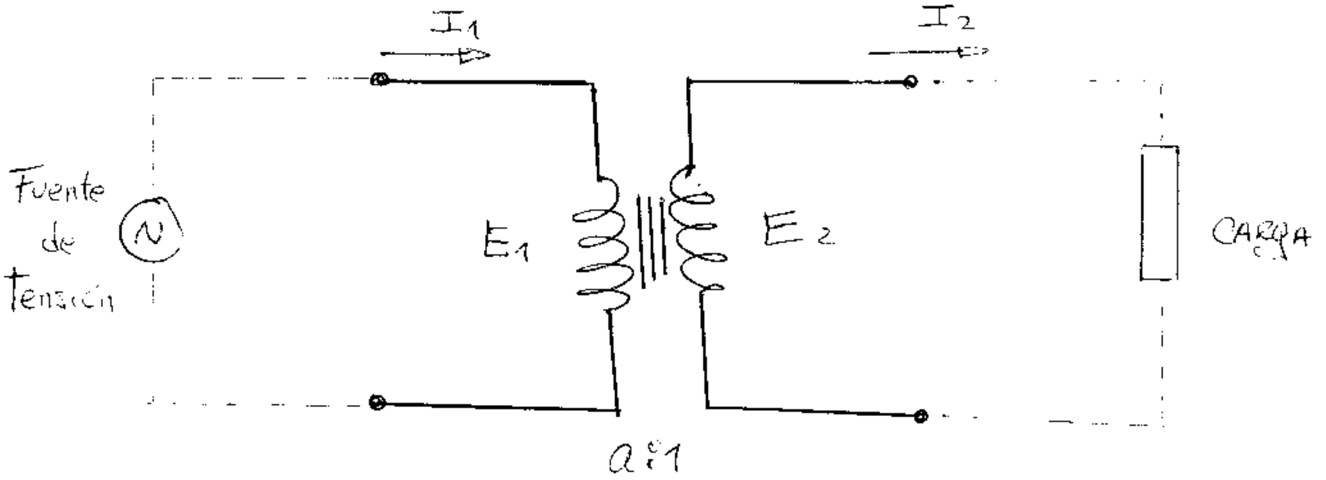
En conclusión:

$E_1 = a.E_2$ . . . Transformación de Tensión

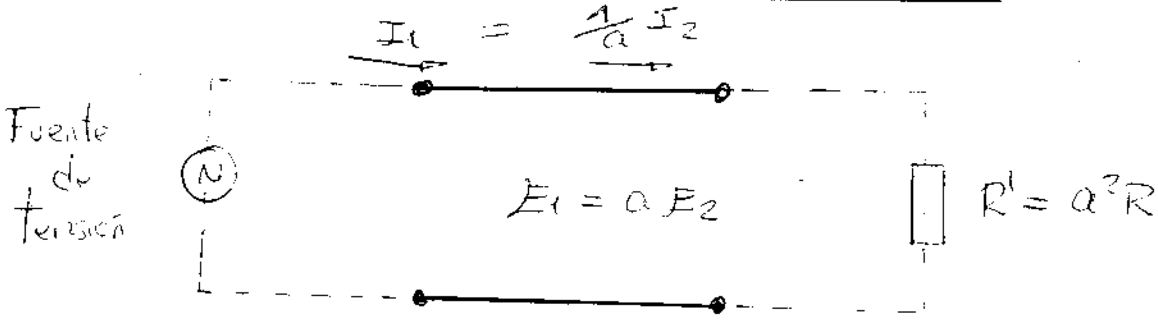
$I_1 = \frac{1}{a} I_2$ . . . " de Corriente

$Z_1 = a^2 Z_2$ . . . " de Impedancias.

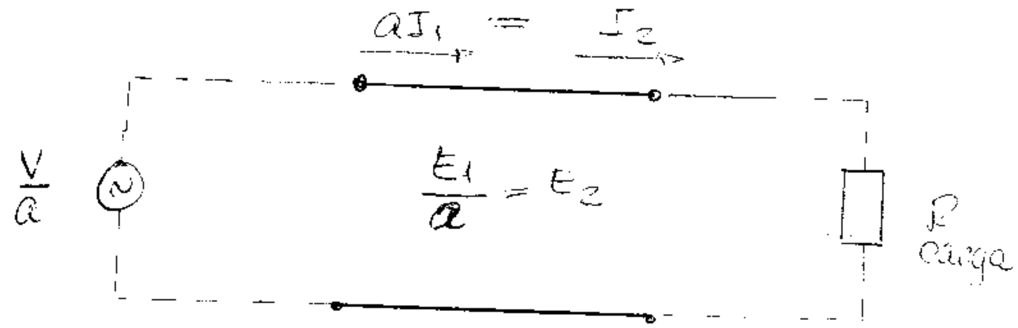
Circuito Equivalente



CKTO EQUIV. REFERIDO AL PRIMARIO



CKTO EQUIV. REFERIDO AL SECUNDARIO



Problema

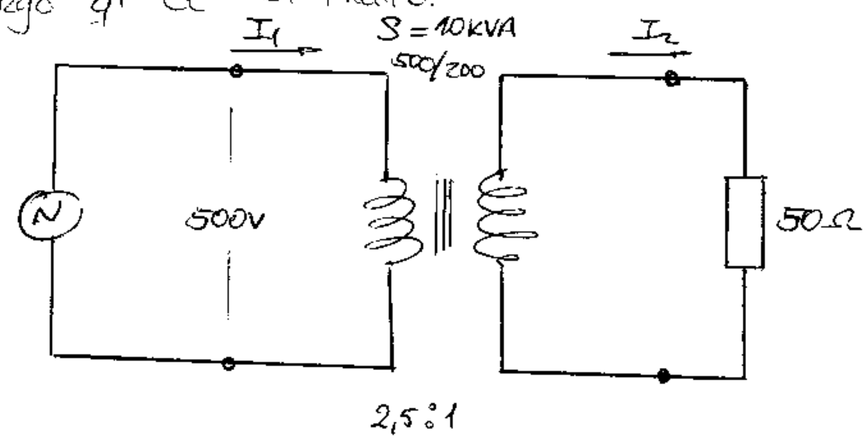
Un generador alimenta una carga de 50Ω a traves de un trafo como se muestra en la fig. La potencia del trafo es 10KVA y la tensión nominal del primario sobre el secundario es 500/200V.

Calcular:

a) Las corriente nominales del primario y secundario

b) " " " " " " bajo carga

c) La carga q' de el trafo.



Solución:

a) Corrientes Nominales

$$I_{1N} = \frac{S_N}{V_{1N}} = \frac{10KVA}{500V} = 20A$$

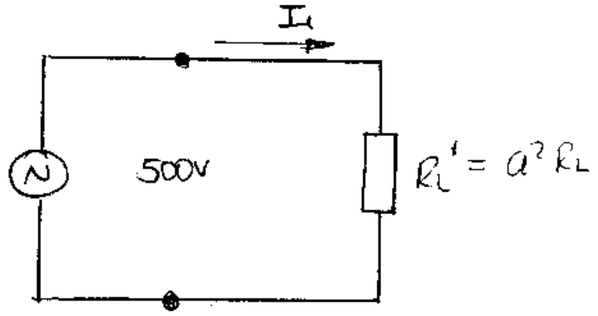
$$I_{2N} = \frac{S_N}{V_{2N}} = \frac{10KVA}{200V} = 50A$$

b) Corriente bajo carga

$$I_2 = \frac{V_{2N}}{R_L} = \frac{200V}{50\Omega} = 4A$$

$$I_1 = \frac{1}{a} I_2 = \frac{1}{2{,}5} \cdot 4A = 1{,}6A$$

c) Refiriendo al primario

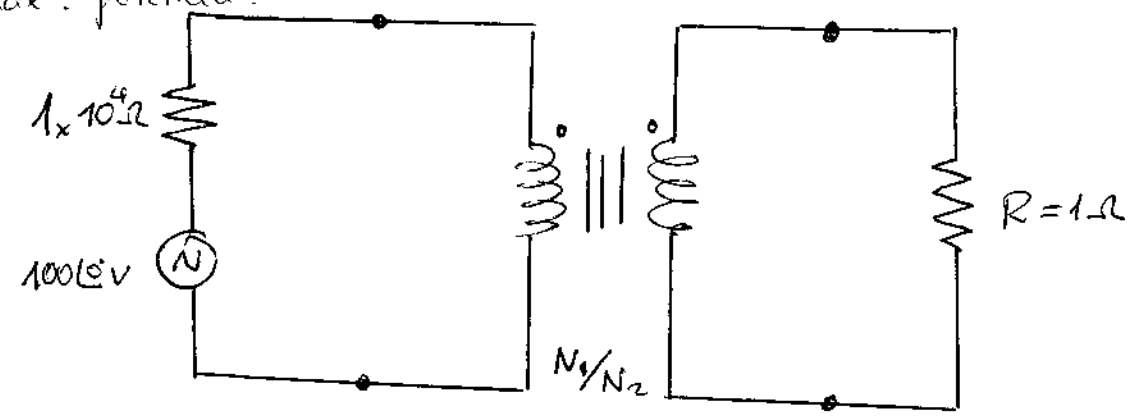


$$R_L' = (2{,}5)^2 \cdot 50\Omega$$

$$R_L' = 312{,}5\Omega$$

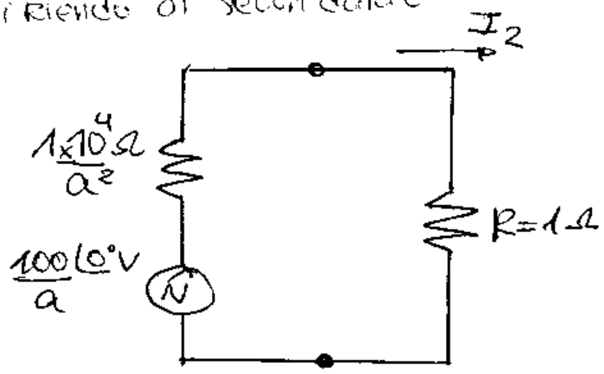
Problema:

En el cto de trafo ideal mostrado en la fig., calcular la relación de transformación para tener la máx. pt en la carga y cual es el valor de esa máx. potencia.



Solución:

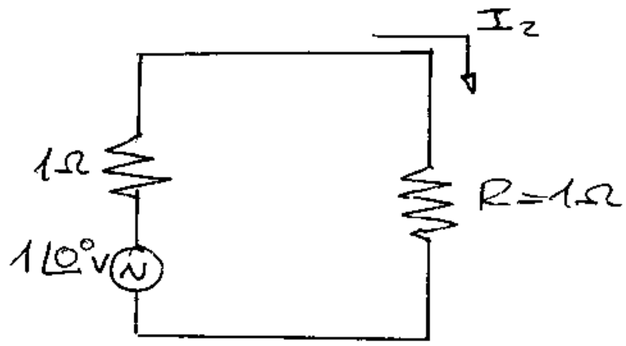
Refiriendo al secundario



Para max transferencia de potencia.

$$\frac{1\times 10^4}{a^2} = 1 \implies a = 100$$

El circuito queda:



$$\bar{I}_2 = \frac{1\angle 0^\circ}{2} = 0{,}5\angle 0^\circ A$$

luego, la potencia es:

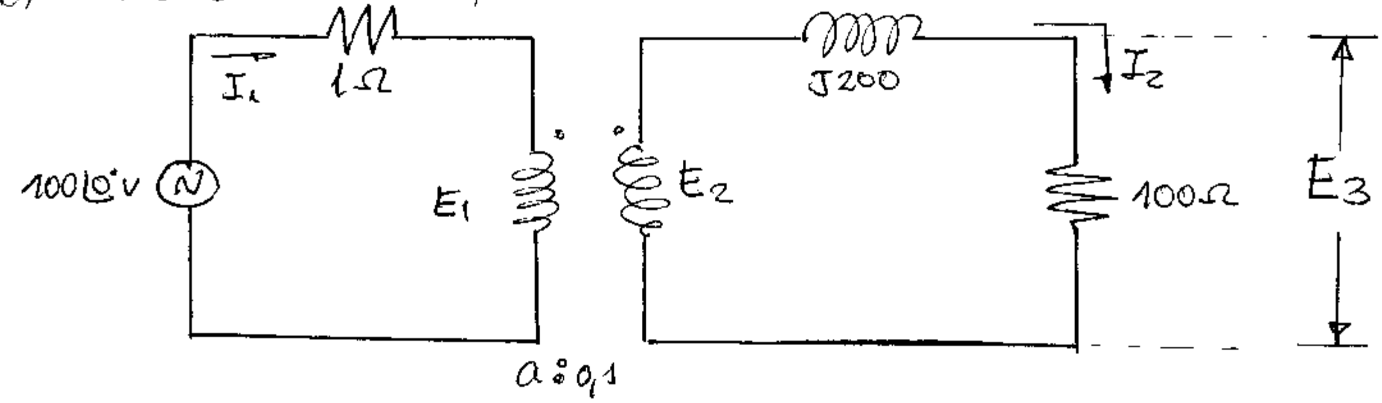
$$Pot = 0{,}5^2 \times 1\ W = \underline{0{,}25W}$$

Problema:

El trafo de la fig. es ideal, la relación de espiras es $a = 0{,}1$. Calcular la tensión E_3 bajo los sgts criterios:

a) Mediante la solución de 2 ecuaciones aplicadas al primario y secundario respectivamente.

b) Utilizando un ckto equivalente referido al lado secundario



Solución:

1) En el primario: $100\angle 0^\circ = \bar{I}_1 \times 1 + \bar{E}_1 \ldots (1)$

En el secundario: $\bar{E}_2 = \bar{I}_2(100 + J200) \ldots (2)$

Pero: $E_1 = a E_2$

$= 0{,}1\ \bar{I}_2\ (100 + J200)$

$\bar{E}_1 = \bar{I}_2(10 + J20) \ldots (3)$

Además: $\bar{I}_1 = \frac{1}{a}\bar{I}_2 = \frac{1}{0{,}1}\bar{I}_2$

$\bar{I}_1 = 10\,\bar{I}_2 \ldots (4)$

(3) y (4) en (1)

$$100\angle 0^\circ = 10\,\bar{I}_2 + \bar{I}_2\,(10 + j20)$$

$$100\angle 0^\circ = \bar{I}_2\,(20 + j20)$$

$$\bar{I}_2 = \frac{100\angle 0^\circ}{20 + j20} = \frac{100\angle 0^\circ}{2\sqrt{2}\angle 45^\circ}\ A \Rightarrow \bar{I}_2 = 3{,}54\angle -45^\circ\ A$$

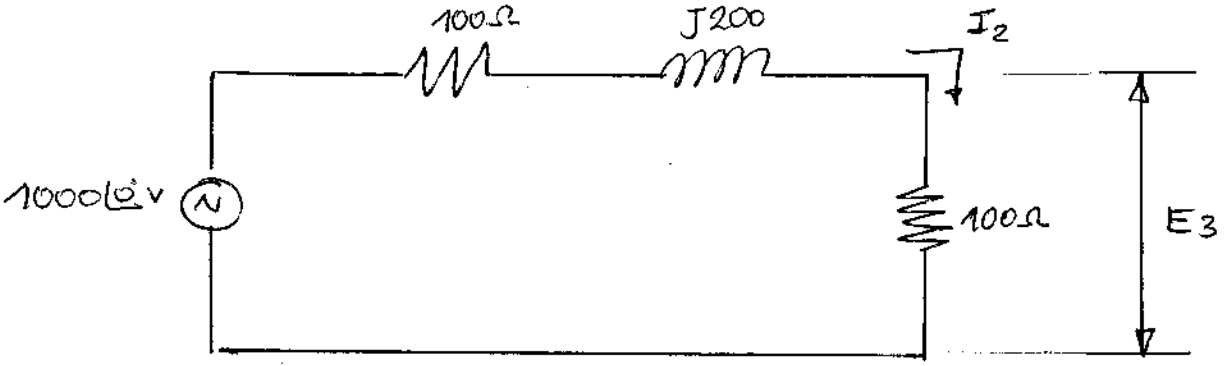
luego:

$$\bar{E}_3 = \bar{I}_2 \times 100\Omega$$

$$= 3{,}54 \times 100\angle -45^\circ\ V$$

$$\boxed{\bar{E}_3 = 354\angle -45^\circ\ V}$$

b) Referido al secundario



$$\bar{I}_2 = \frac{1000\angle 0^\circ}{200 + j200}\ A$$

$$\bar{I}_2 = 3{,}54\angle -45^\circ\ A$$

Finalmente:

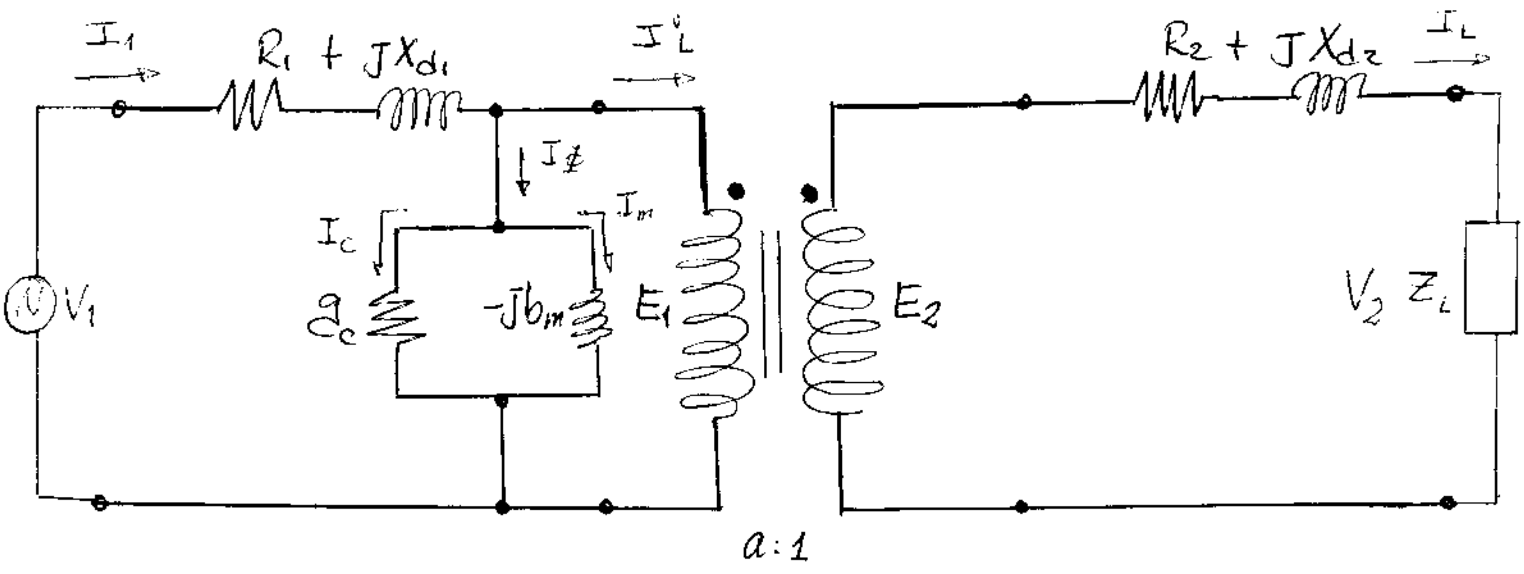
$$\bar{E}_3 = \bar{I}_2 \times 100\Omega$$

$$= 3{,}54\angle -45 \times 100\ V$$

$$\boxed{\bar{E}_3 = 354\angle -45^\circ\ V}$$

EL TRANSFORMADOR REAL

CIRCUITO EQUIVALENTE



CIRCUITO EQUIVALENTE EXACTO

$R_1; R_2$:

$X_{d1}; X_{d2}$:

$I_L; I'_L$:

ECUACIONES:

En el primario: $\bar{V}_1 = \bar{I}_1 (R_1 + jX_{d1}) + \bar{E}_1$ . . . . . . (1)

" " secundario: $\bar{E}_2 = \bar{I}_L (R_2 + jX_{d2}) + \bar{V}_2$ . . . . . (2)

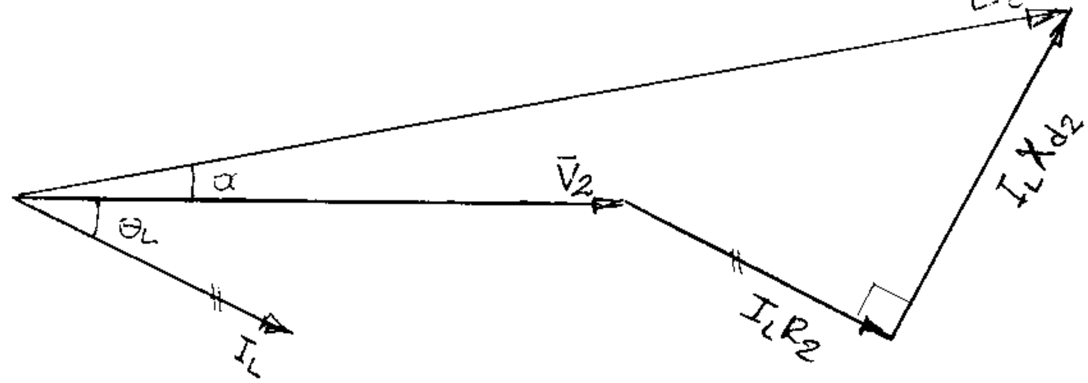
Además : $\bar{I}_1 = \bar{I}_\phi + \bar{I}'_L$ . . . . (3)

También : $\bar{I}_\phi = \bar{I}_c + \bar{I}_m$ . . . . (4)

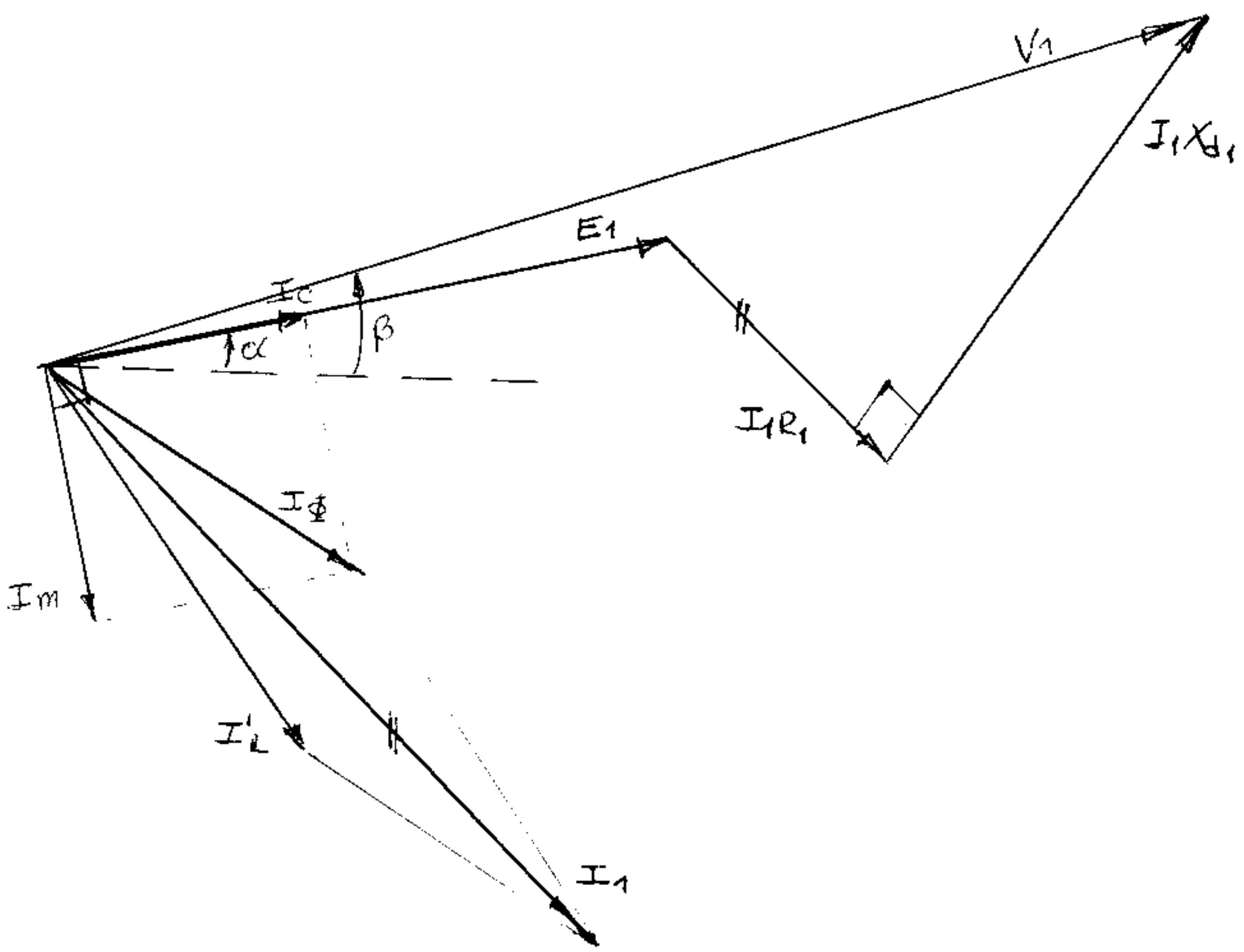
DIAGRAMA FASORIAL

Del secundario:

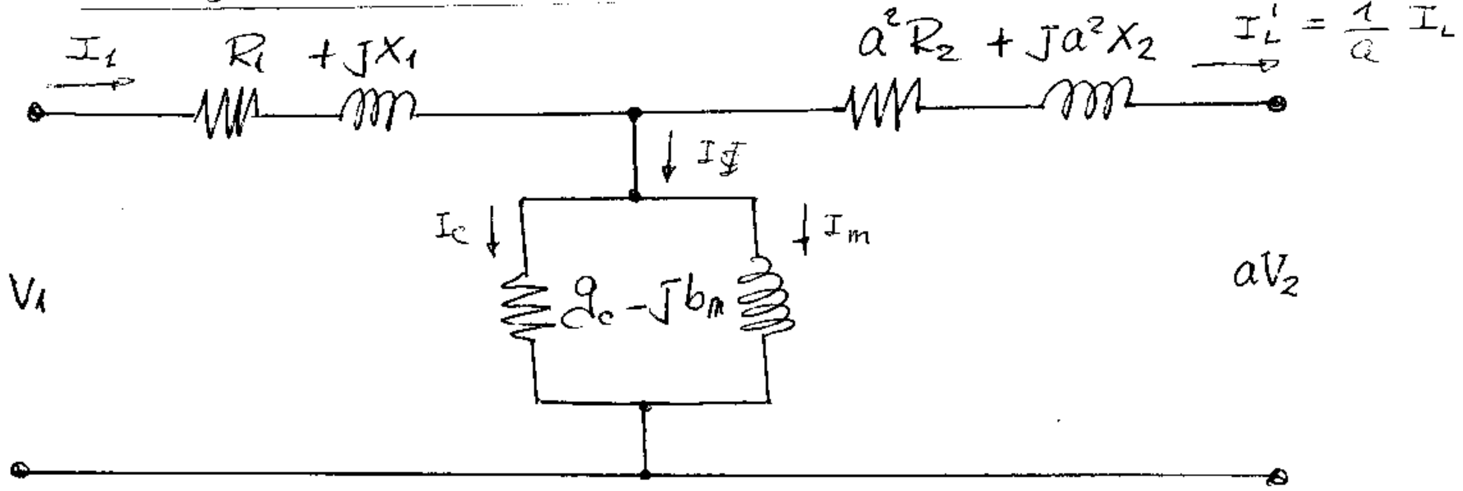
Suponiendo carga inductiva y tomando como referencia $\bar{V}_2 = V_2 \angle 0°$



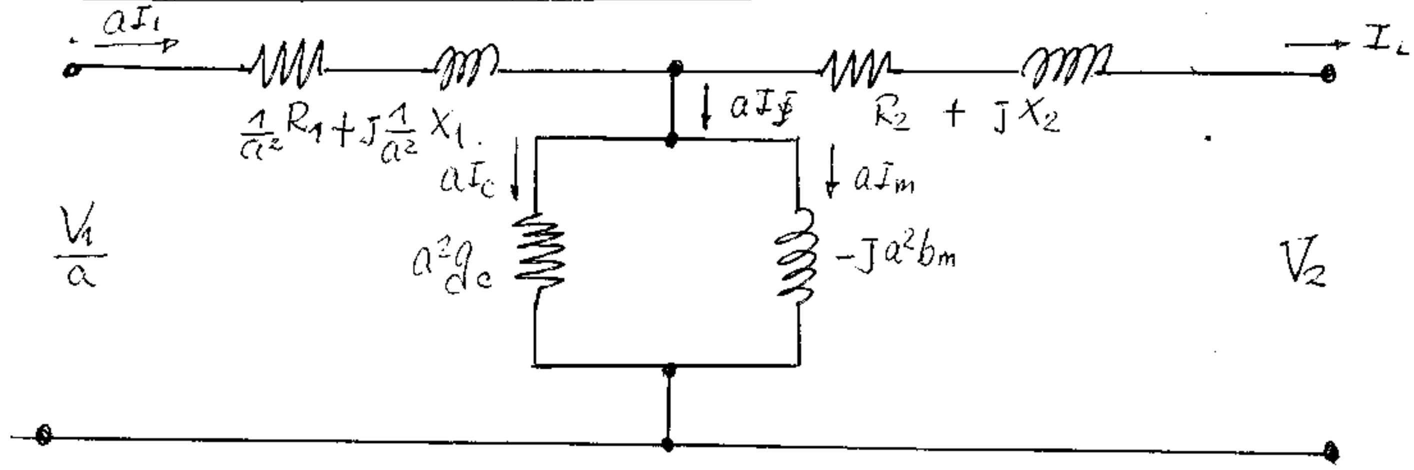
Del primario



CIRCUITO EQUIVALENTE EXACTO REFERIDO AL PRIMARIO

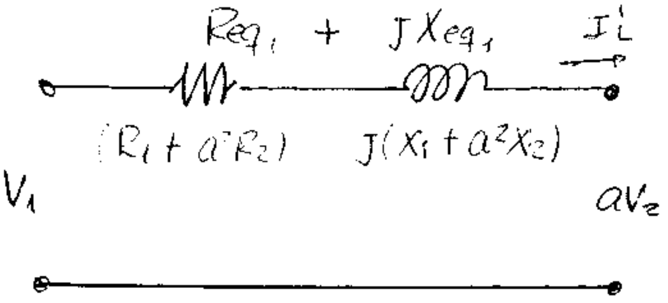


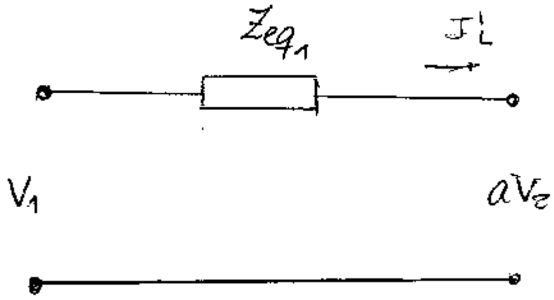
CIRCUITO EQUIVALENTE EXACTO REFERIDO AL SECUNDARIO



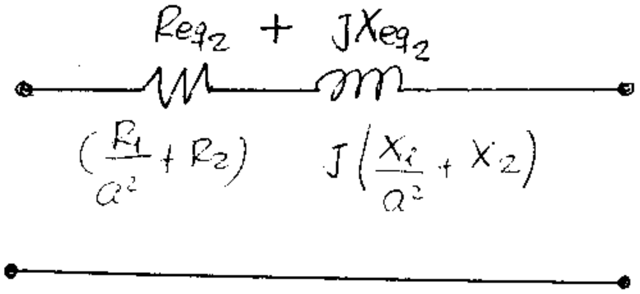
CIRCUITOS EQUIVALENTES APROXIMADOS

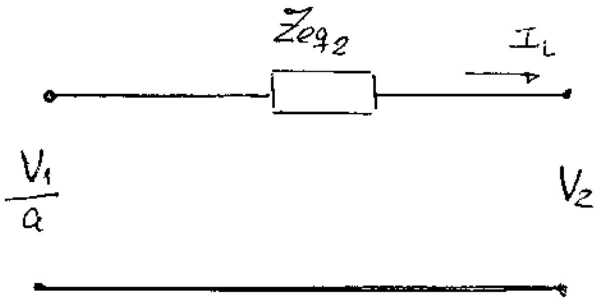
Al primario:



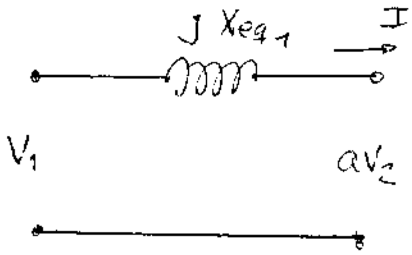


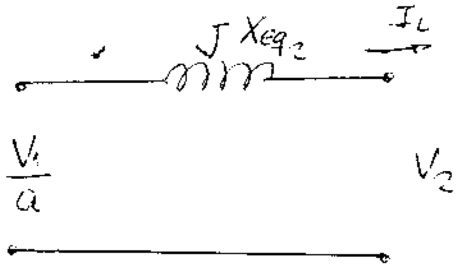
Al secundario





En circuito de sistema de potencia





Problema:

Se tiene un trafo 1∅ de potencia 75KVA; 2080/208v; 60Hz. Si sus datos de los parametros son los sgt: $R_1 = 7{,}5\Omega$; $X_1 = 14\Omega$; $R_2 = 0{,}07\Omega$; $X_2 = 0{,}15\Omega$. Cuando alimenta una carga resistiva q' consume 40A a 208v, la Ic y Im en el primario son $I_c = 1A$, $I_m = 2A$. ¿Cual será la tensión q' se debe aplicar al primario para mantener en el secundario los 208v. Hacer el correspondiente diagrama fasorial de tensiones del primario.

Datos

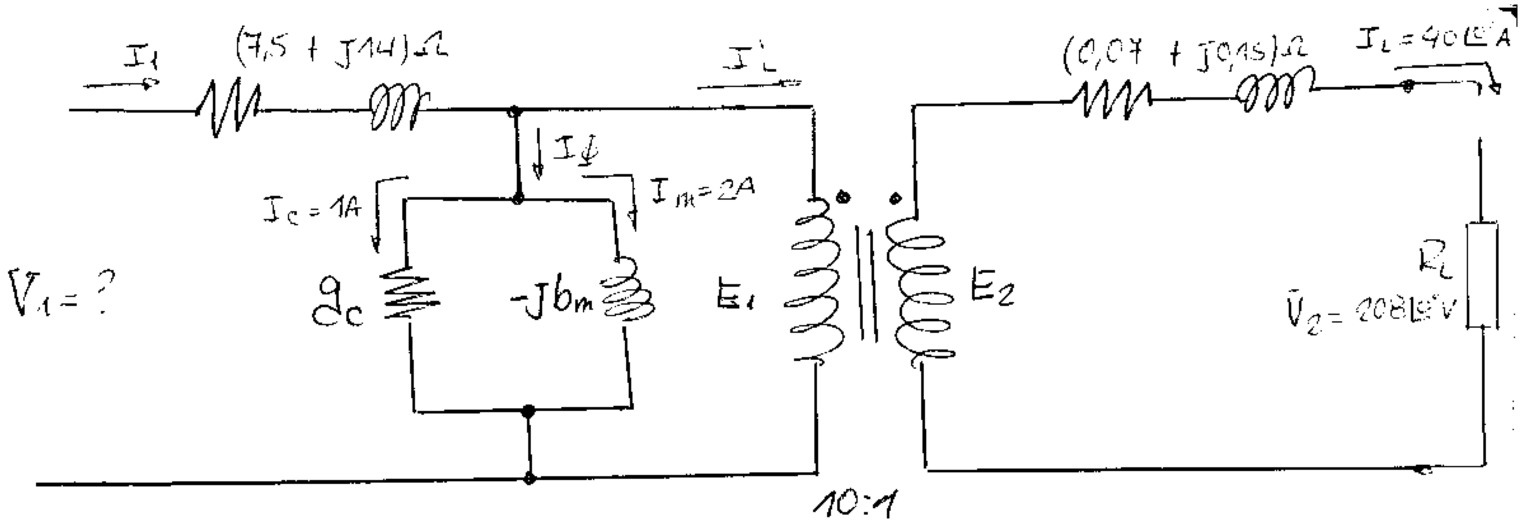
$S' = 75KVA$, 2080/208v 60HZ

$R_1 = 7{,}5\Omega$, $X_1 = 14\Omega$; $R_2 = 0{,}07\Omega$; $X_2 = 0{,}15\Omega$

$I_c = 1A$; $I_m = 2A$

Solución.

En el ckto equivalente del trafo.



En el secundario:

$$\bar{E}_2 = 40\angle 0^\circ (0{,}07 + J0{,}15) + 208 \Rightarrow \bar{E}_2 = 210{,}8 + J6 = 210{,}88\angle 1{,}63^\circ \text{ V}$$

Pero: $\bar{E}_1 = a\bar{E}_2 = 2108{,}8\angle 1{,}63^\circ$

En el primario:

$$\bar{V}_1 = \bar{I}_1(7{,}5 + J14) + 2108{,}8\angle 1{,}63^\circ \quad \ldots (1)$$

Hallando: $\bar{I}_1 = \bar{I}_\Phi + \bar{I}'_L \quad \ldots (2)$

$$I'_L = \frac{1}{a} I_L = 4\angle 0^\circ$$

$$\bar{I}_\Phi = \bar{I}_c + \bar{I}_m$$

$$= 1\angle 1{,}63^\circ + 2\angle 1{,}63^\circ - 90^\circ \Rightarrow \bar{I}_\Phi = 2{,}23\angle -61{,}8^\circ \text{ A}$$

Reemplazando valores en (2)

$$\bar{I}_1 = 2{,}23\angle -61{,}8^\circ + 4 = 5{,}056 - J1{,}97$$

$$\bar{I}_1 = 5{,}42\angle -21{,}28^\circ \text{ A}$$

En (1)

$$\bar{V}_1 = 5{,}42\angle -21{,}28^\circ \cdot (7{,}5 + J14) + 2108{,}8\angle 1{,}63^\circ$$

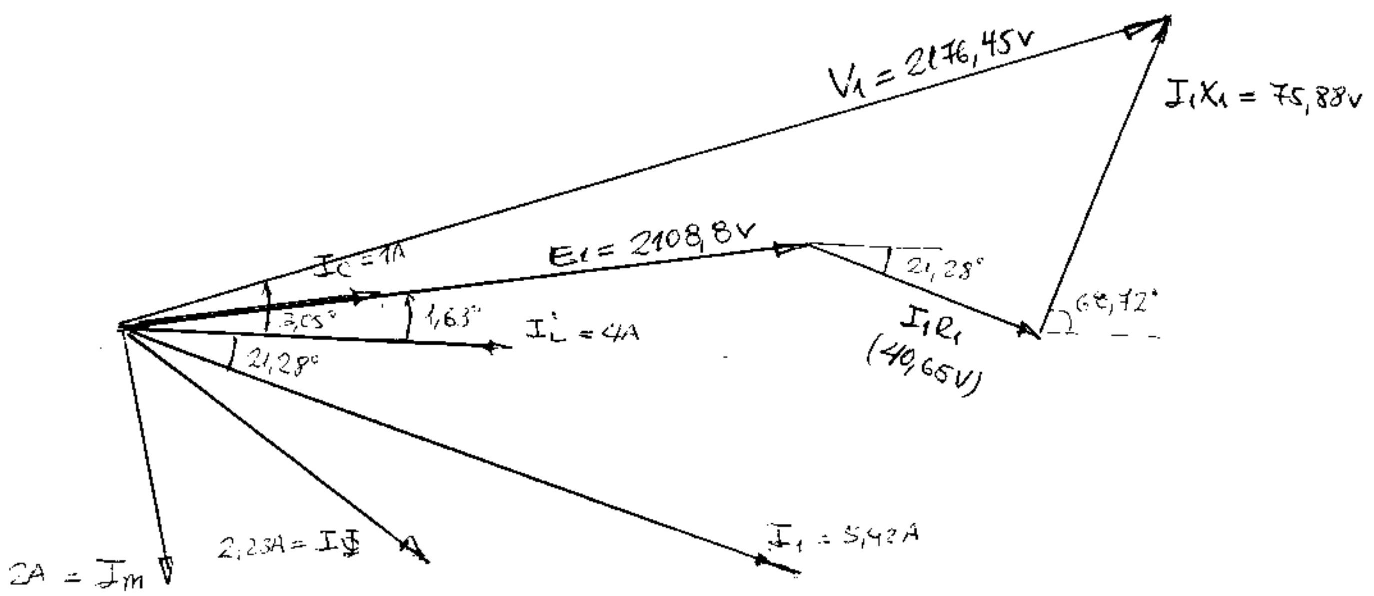
$$= \underbrace{40{,}65\angle -21{,}28^\circ}_{I_1 R_1} + \underbrace{75{,}88\angle 68{,}72^\circ}_{I_1 X_1} + \underbrace{2108{,}8\angle 1{,}63}_{E_1}$$

$$\bar{V}_1 = 2173{,}36 + J115{,}92$$

$$\boxed{\bar{V}_1 = 2176{,}45\angle 3{,}05^\circ \text{ [V]}}$$

Se debe aplicar al primario 2176,45 V

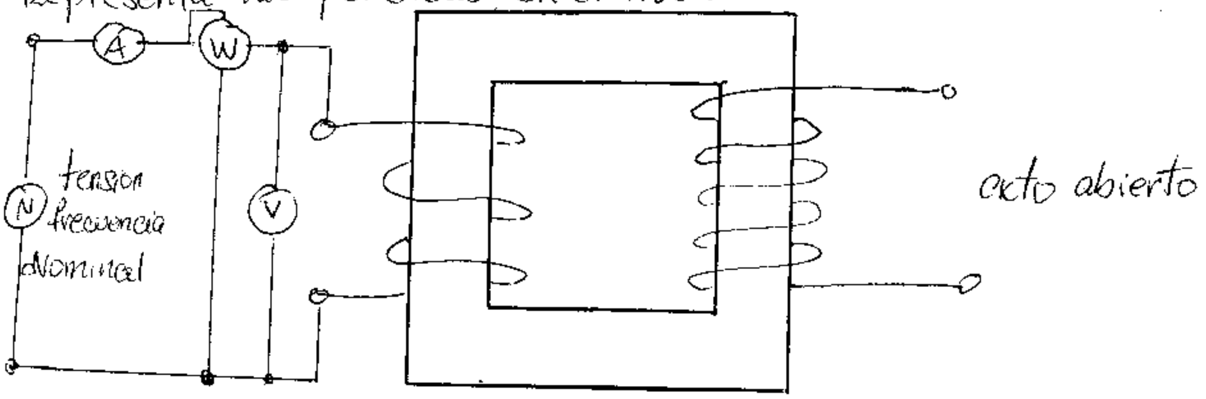
DIAGRAMA FASORIAL DEL PRIMARIO



DETERMINACIÓN DE PARAMETROS DEL CIRCUITO EQUIVALENTE DEL TRANSFORMADOR REAL

Prueba en circuito abierto

Consiste en alimentar por uno de los devanados del trafo con frecuencia y tensión nominal manteniendo el otro devanado abierto. En este caso el trafo se comporta como un simple reactor. Es preferible hacer esta prueba en el lado de baja tensión y la potencia en el trafo representa las perdidas en el nucleo



(W) : Mide las P_{Fe}

(A) : " " $I\phi$

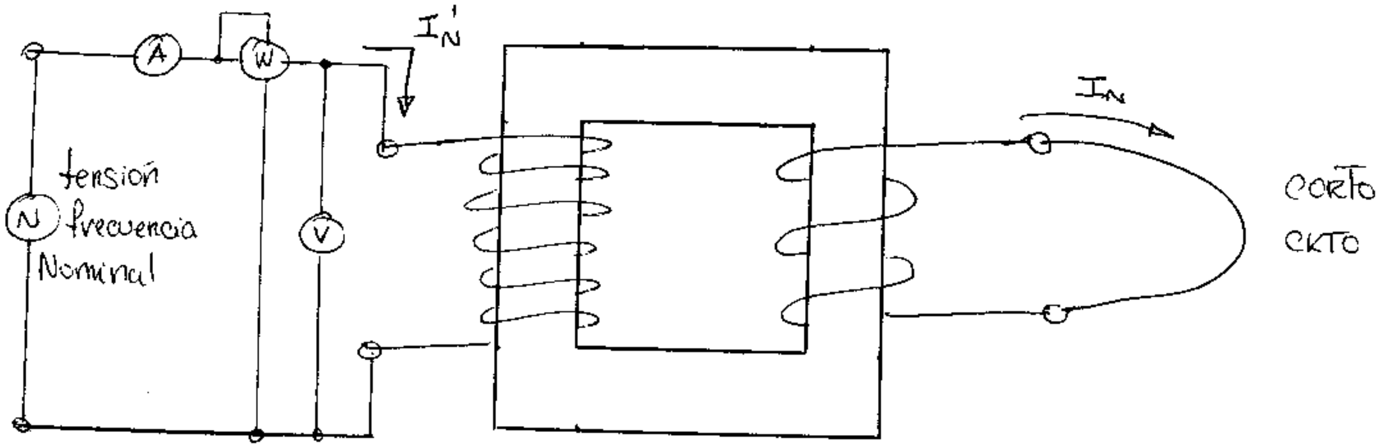
(V) : " o Verifica la V_N

Calculamos:

$$g_c = \frac{P_{Fe}}{V_N^2} \; ; \quad Y_\phi = \frac{I_\phi}{V_N} \; ; \quad b_m = \sqrt{Y_\phi^2 - g_c^2}$$

Prueba en Cortocircuito

Consiste en alimentar por uno delos devanados del trafo con una tensión reducida, a frecuencia nominal, manteniendo el otro devanado en cortocircuito franco, luego se va incrementando gradualmente la tensión hasta q' circule por ambos devanados su corriente nominal. En este caso el trafo simula la plena carga y la potencia de trabajo representa las perdidas en el Cobre. Es preferible realizar esta prueba en el lado de alta tensión



W : Mide las P_{cu}

V : " la tensión de cortocircuito V_{cc} (3% al 10% V_N)

A : " o Verifica la $I_{cc} \simeq I_N$

Calculamos:

$$R_{eq_1} = \frac{P_{cu}}{I_{cc}^2} \qquad Z_{eq_1} = \frac{V_{cc}}{I_{cc}} \qquad X_{eq_1} = \sqrt{Z_{eq}^2 - R_{eq}^2}$$

Aproximaciones. (del ckto equivalente referido al primario)

$$R_1 + a^2 R_2 = R_{eq_1} \quad \wedge \quad X_1 + a^2 X_2 = X_{eq_1}$$

Si: $R_1 \simeq a^2 R_2 \quad \wedge \quad X_1 \simeq a^2 X_2$

$$\Rightarrow \quad R_1 \simeq \frac{R_{eq_1}}{2} \quad \wedge \quad X_1 \simeq \frac{X_{eq_1}}{2}$$

Analogamente, del ckto equiv. aprox. ref. al secundario.

$$\frac{R_1}{a^2} + R_2 = R_{eq_2} \quad \wedge \quad \frac{X_1}{a^2} + X_2 = X_{eq_2}$$

Si: $\frac{R_1}{a^2} \simeq R_2 \quad \wedge \quad \frac{X_1}{a^2} \simeq X_2$

$$\Rightarrow \quad R_2 = \frac{R_{eq_2}}{2} \quad \wedge \quad X_2 = \frac{X_{eq_2}}{2}$$

Problema Propuesto

Se tiene un trafo 1∅ de 10KVA con relación de transformación 10/0,23KV

En la pruebas en cotocircuito se obtuvieron 550V, 1,2A, 600W

" " " en Vacío " " 230V, 1,739A, 200W

Calcular:

a) El ckto equiv. exacto referido al lado de alta tensión

b) El diagrama fasorial cuando se alimenta una carga con potencia Nominal y factor de potencia $f_p = 0,86\,(+)$

Si el trafo del problema alimenta una carga cuyo potencia es el 10% más q' la potencia Nominal del trafo y un fp 0,809 (+), manteniendo la tensión en 10KV. Calcular:

c) la tensión en la carga (despreciar la corriente de Vacío)

d) la regulación para la carga mencionada.

Para el trafo, utilizado, si se alimenta una carga nominal con un factor de potencia 0,707 (-). calcular: e) La eficiencia a plena carga

f) la corriente de carga (I_L) para obtener una eficiencia máxima.

Solución:

* Datos de la prueba de vacío: $V_{2N} = 230V$

$P_{Fe} = 200W$

$I_{\phi_2} = 1,739V$

$$g_{c_2} = \frac{200}{230^2} \mho = 3,7807 m \mho$$

$$Y_{\phi_2} = \frac{1,739}{230} \mho = 7,5608 m \mho$$

$$b_2 = \sqrt{Y_{\phi_2}^2 - g_{c_2}^2} \Rightarrow b_2 = 6,5476 m \mho$$

$$a = 10/0{,}23$$

$$g_1 = \frac{g_2}{a^2} \Rightarrow g_{c_1} = 2 \mu \mho$$

$$b_1 = \frac{b_2}{a^2} \Rightarrow b_{m_1} = 3,4636 \mu \mho$$

* Dato de la prueba de cortocircuito: $P_{CU} = 600W$, $V_{cc_1} = 550V$, $I_{cc_1} = 1,2A$

Verificación: $I_{1N} = \frac{10KVA}{10KV} = 1A \neq I_{cc_1}$

Cálculos:

$$R_{eq_1} = \frac{600}{1,2^2} \Omega = 416,\widehat{66} \Omega$$

$$Z_{eq_1} = \frac{550}{1,2} \Omega = 458,3\hat{3} \Omega$$

$$X_{eq_1} = \sqrt{Z_{eq_1}^2 - R_{eq_1}^2} = 190,94 \Omega$$

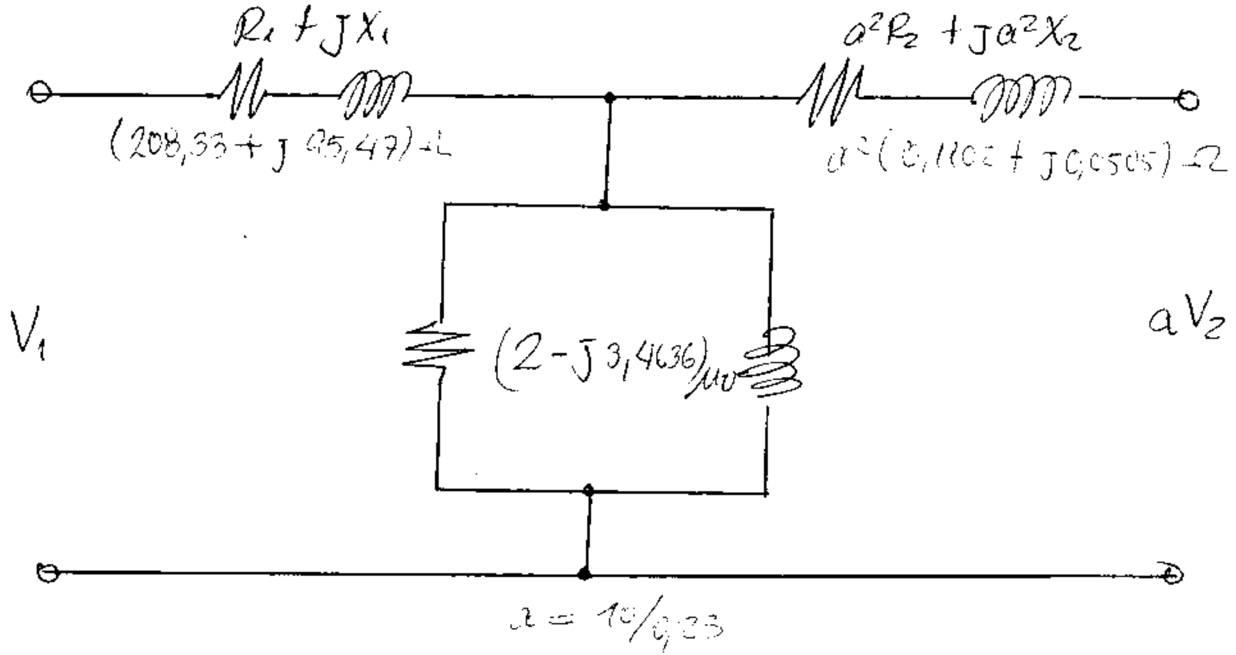
$\therefore$

$$R_1 = \frac{416,\widehat{66}}{2} \Omega = 208,3\hat{3} \Omega$$

$$X_1 = \frac{190,94}{2} \Omega = 95,47 \Omega$$

$$\Rightarrow R_2 = \frac{R_1}{a^2} = 0,1102 \Omega$$

$$X_2 = \frac{X_1}{a^2} = 0,0505 \Omega$$



b)

d) Calculo de la regulación

Dato: $S_L = 1,1\,S_N$; $fp = 0,809(+)$, $V_1 = 10KV$

$$I_L' = \frac{S_L}{V_N} = 1,1 \cdot \frac{S_N}{V_N} = 1,1 \times 1A = 1,1A$$

$$Reg = \frac{I_L'}{V_1}\left(Req_1 \cos\theta_L + Xeq_1 \operatorname{Sen}\theta_L\right) + \frac{1}{2}\left[\frac{I_L'}{V_1}\left(Xeq_1 \cos\theta_L - Req_1 \operatorname{Sen}\theta_L\right)\right]^2$$

$$= \frac{1,1}{10\,000}\left(416,66 \times 0,809 + 190,94 \cdot \operatorname{Sen}(-36°)\right) + \frac{1}{2}\left[\frac{1,1}{10\,000}\left(190,94 \times 0,809 - 416,66 \cdot \operatorname{Sen}(-36°)\right)\right]^2$$

$Reg = 2,57\,\%$

c) $Reg = \dfrac{\frac{V_1}{a} - V_2}{V_2} \Rightarrow V_2 = \dfrac{V_1}{a(1+Reg)} = \dfrac{10kV}{\frac{10}{0,23}(1+2,57\%)} = \boxed{V_2 = 224,24V}$

REGULACIÓN Y REDIMIENTO

Regulación de Tensión:

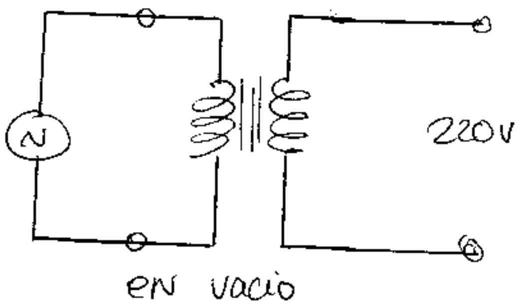
Consideraciones:

1.- todo trafo debe trabajar con su tensión nominal en las cargas.
2.- Una menor tensión significa mal servicio y perdida económica en la venta de energía.
3.- Una mayor tensión deteriorará los equipos q' constituye la carga
4.- Normalmente la carga es inductiva y la tensión de salida bajo carga es menor q' la de vacío.
5.- Si la carga es capacitiva, puede ocurrir q' la tensión de salida bajo carga sea mayor q' la de vacío.
6.- Por lo tanto es necesario regular la tensión a fin de entregar la tensión nominal a las carga lo más constante posible.

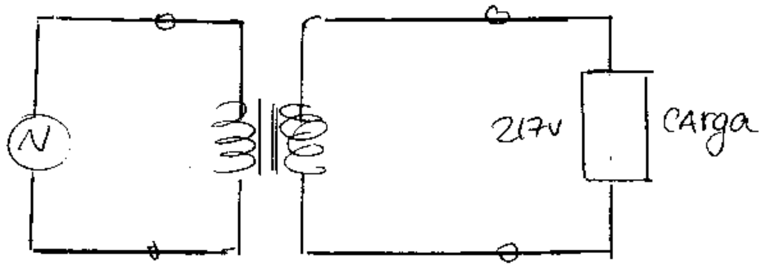
Definición:

$$\boxed{Reg = \frac{E_{20} - V_2}{V_2}} \quad \ldots (1)$$

E_{20}: tensión en el secundario en circuito abierto
V_2: " en los terminales del secundario bajo carga



en vacio

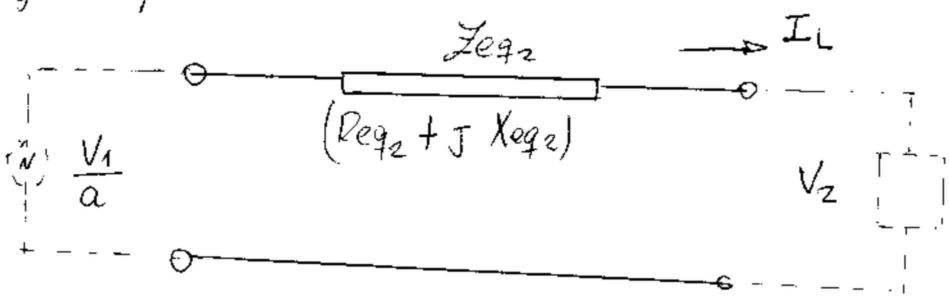


con carga

$$Reg = \frac{220 - 217}{217} = 1,38\%$$

En el calculo dela regulación no se toma en consideración la corriente de excitación y se representa al trafo simplemente por su impedancia equivalente

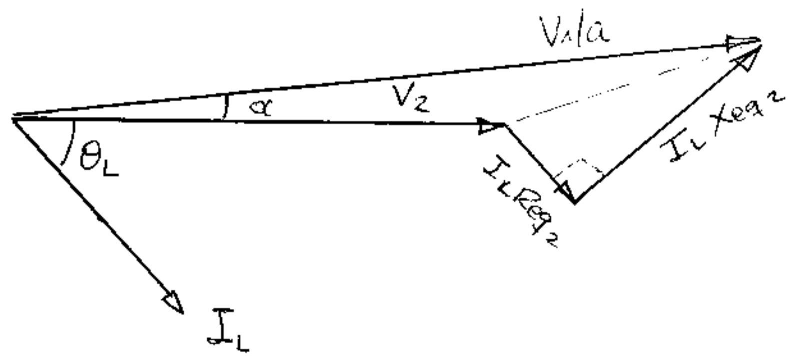
En el ccto equiv. aprox.



Según definición anterior:

$$\boxed{Reg = \frac{\frac{V_1}{a} - V_2}{V_2}} \quad \ldots\ldots (2)$$

En el diagrama fasorial, tomando como referencia $\bar{V}_2 = V_2 \angle 0°$ suponiendo carga inductivo.



$$\frac{\bar{V}_1}{a} = \bar{V}_2 + \bar{I}_L (Req_2 + J\ Xeq_2)$$

$$= \bar{V}_2 + \bar{I}_L (\cos\theta_L - J \operatorname{Sen}\theta_L)(Req_2 + J\ Xeq_2)$$

$$= \bar{V}_2 + \bar{I}_L \left[(Req_2 \cos\theta_L + Xeq_2 \operatorname{Sen}\theta_L) + J (Xeq_2 \cos\theta_L - Req_2 \operatorname{Sen}\theta_L) \right]$$

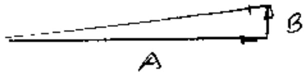
$$= \underbrace{\bar{V}_2 + \bar{I}_L (Req_2 \cos\theta_L + Xeq_2 \operatorname{Sen}\theta_L)}_{A\text{ (parte Real)}} + J \underbrace{\bar{I}_L (Xeq_2 \cos\theta_L - Req_2 \operatorname{Sen}\theta_L)}_{B\text{ (parte imaginaria)}} \quad \ldots (*)$$

$$\frac{\bar{V}_1}{a} = A + JB$$

$$\left|\frac{\bar{V}_1}{a}\right| = \sqrt{A^2+B^2}$$

No se comete mayor error si hace la aprox. siguiente

$$\frac{V_1}{a} = A + \frac{B^2}{2A}$$



$$\frac{V_1}{a} = A + \frac{B^2}{2V_2} \quad \ldots\ldots (3)$$

(3) en (2)

$$Req = \frac{A + \frac{B^2}{2V_2} - V_2}{V_2}$$

$$Req = \frac{A - V_2}{V_2} + \frac{1}{2}\left(\frac{B}{V_2}\right)^2$$

De (*)

$$\boxed{Req = \frac{I_L}{V_2}\left(Req_2 \cos\theta_L + Xeq_2 \operatorname{Sen}\theta_L\right) + \frac{1}{2}\left[\frac{I_L}{V_2}\left(Xeq_2 \cos\theta_L - Req_2 \cdot \operatorname{Sen}\theta_L\right)\right]^2} \quad -(4)$$

Esta expresión es valida tanto para el secundario como para el primario.

Rendimiento

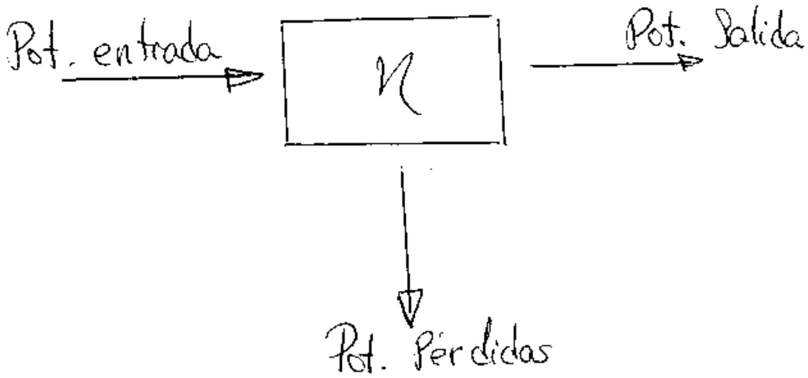
Consideraciones

1- El rendimiento de potencia de una maquina es la relación de la Pot. de Salida a la Pot. de entrada.

2- Las perdidas en el trafo. comprende las perdidas en el nucleo sumadas a las perdidas en las cargas

3- la perdida en el nucleo bajo carga es igual a perdida en el nucleo en vacio

4- la perdida en la carga, llamada tambien perdida en el Cu, es igual a la perdida por efecto Joule en los devanados



$$\boxed{\eta = \frac{\text{Pot. Salida}}{\text{Pot. Entrada}} = \frac{\text{Pot. Salida}}{\text{Pot. Salida} + \text{Pot. Perdidas}}}$$

Ejm:

Si: Pot. Entrada = 100W
Pot. Salida = 98W
Pot. Perdida = 2W

$$\eta = \frac{98}{98+2} = 98\%$$

Rendimiento Convencional

Consideraciones:

1.- La perdida en el nucleo se determinar con la prueba en ckto abierto.
2.- La perdida en la carga se " " " " cortocircuito.
3.- La T° normal de funcionamiento de un trafo a plena carga es 75°C
4.- Se debe corregir el valor de la resistencia medida en C.C. llevandola a Resistencia efectiva en C.A. y a la T° normal de trabajo

$$\boxed{R_{eq(75°C)} = R_{cc(\theta)} \frac{309{,}5}{234{,}5+\theta} + \left[R_{eq(\theta)} - R_{cc(\theta)}\right] \frac{234{,}5+\theta}{309{,}5}}$$

$R_{cc(\theta)}$: resistencia de C.C. referida a un lado.

$R_{eq(\theta)}$: " Equivalente referida al mismo lado para C.A.

Cálculo del rendimiento

Sea la potencia de salida del trafo : S_2

con un f.p. $\cos\theta_L$

$$\boxed{\eta = \frac{S_2 \cos\theta_L}{S_2 \cos\theta_L + P_{Fe}' + P_{cu}'}} \quad \ldots (1)$$

Si: $S_2 = \alpha S_N$ (una fracción de la plena carga)

$$\eta_\alpha = \frac{\alpha S_N \cos\theta_L}{\alpha S_N \cos\theta_L + P_{Fe}' + P_{cu}'} \quad \ldots (2)$$

$$P_{cu}' = I_L^2 R_{eq_2} = (\alpha I_{2N})^2 R_{eq_2} = \alpha^2 \underbrace{I_{2N}^2 R_{eq_2}}_{P_{cu_N}}$$

$$P_{cu}' = \alpha^2 P_{cu_N}$$

Ademas:

$$P_{Fe}' = P_{Fe_N}$$ (Las perdidas en el Fe no cambian)

Reemplazando en (2):

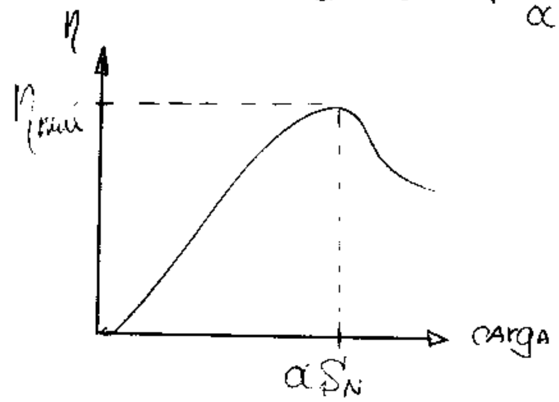
$$\boxed{\eta_\alpha = \frac{\alpha\, S_{2N} \cos\theta_L}{\alpha\, S_{2N} \cos\theta_L + P_{FeN} + \alpha^2 P_{CuN}}} \quad \cdots \quad (3)$$

En la Ec (3) si el trafo está a plena carga ; $\alpha = 1$

<u>Rendimiento Maximo</u>

De (3):

$$\eta_\alpha = \frac{S_{2N} \cos\theta_L}{S_{2N} \cos\theta_L + \frac{1}{\alpha} P_{Fe} + \alpha P_{Cu}}$$



$$\frac{\partial \eta_a}{\partial \alpha} = 0$$

$$-\frac{P_{FeN}}{\alpha^2} + P_{CuN} = 0$$

$$\alpha^2 P_{CuN} = P_{FeN} \quad (*)$$

$$\boxed{\alpha_M = \sqrt{\frac{P_{FeN}}{P_{CuN}}}} \quad \cdots \quad (4)$$

Reempl. en (3)

$$\boxed{\eta_{max} = \frac{\alpha_M\, S_{2N} \cos\theta_L}{\alpha_M\, S_{2N} \cos\theta_L + 2 P_{FeN}}} \quad \cdots \quad (5)$$

<u>Observación</u>:

De (*) $\quad \boxed{P'_{Cu} = P'_{Fe}}$

El rendimiento máx. ocurre cuando en el instante P'_{Cu} se iguala a las P'_{Fe}

Continuación del problema propuesto:

e) Eficiencia a plena carga ($\alpha = 1$)

De la prueba en Vacío: $P_{Fe} = 200\,W$

" " " en Cortocircuito. $P_{CU} = 600\,W$ Con $I_{cc_1} = 1{,}2\,A$

Pero:

$$I_{1N} = \frac{10\,KVA}{10\,KV} = 1\,A$$

$$\left.\frac{P_{CU}'}{P_{CU_N}} = \frac{I_L^2 \cancel{R_{eq}}}{I_N^2 \cancel{R_{eq}}}\right\} \quad \frac{P_{CU}'}{P_{CUN}} = \frac{I_L^2}{I_N^2}$$

$$\frac{600\,W}{P_{CU_N}} = \frac{1{,}2^2}{1^2} \qquad \boxed{P_{CU_N} = 416{,}6\overline{6}\,W}$$

$$\eta = \frac{10 \times 0{,}707}{10 \times 0{,}707 + 0{,}2 + 0{,}417} = \underline{\underline{91{,}97\%}}$$

f) Para un rendimiento máximo:

$$\alpha_M = \sqrt{\frac{200}{416{,}67}} = 0{,}6928$$

luego:

$$I_L = \alpha_M \cdot I_{2N}$$

$$= 0{,}6928 \cdot \left(\frac{10\,KVA}{0{,}23\,KV}\right) \Rightarrow \underline{\underline{I_L = 30{,}12\,A}}$$

La potencia para rendimiento máx.

$$S_2 = \alpha_M S_{2N} = 0{,}6928 \times 10\,KVA$$

$$S_2 = 6{,}93\,KVA$$

Para un f.p. $= 0{,}707$.

$$\eta_{máx} = \frac{6{,}93 \times 0{,}707}{6{,}93 \times 0{,}707 + 2 \times 0{,}2} = 92{,}45\%$$

Para un f.p. $= 1$

$$\eta_{máx} = \frac{6{,}93}{6.93 + 2 \times 0{,}2} = 94{,}54\%$$

Problema

Un trafo de distribucion de 15 KVA; 2400/240 V; 60Hz, va alimentar una carga con f.p. = 0,8(−). Calcular la regulacion y rendimiento a plena carga. Se tiene los siguiente datos:

Pba en cto cto: $V_H = 74{,}5V$; $I_H = 6{,}25A$; $P_H = 237W$

Pba en vacio: $V_X = 240V$; $I_X = 1{,}70A$; $P_X = 84W$

Temperatura: $\theta = 25°C$

Resistencia en C.C. a 25°C: $Rcc_H = 2{,}80\Omega$; $Rcc_X = 0{,}0276\Omega$

Solucion

Corriente Nominal:

$$I_{H_N} = \frac{15KVA}{2{,}4KV} = 6{,}25A$$ (La prueba se Realizó con su I_N)

Resistencia Equivalente:

$$Req_H = \frac{Pcu}{I_H^2} = \frac{237W}{6{,}25^2} = 6{,}07\Omega_{(25°C)}$$

Resistencia a la C.C. referido al lado H.

$$Rcc_{(25°C)} = 2{,}80 + 10^2 \times 0{,}0276 = 5{,}56\Omega\ (25°C)$$

$$Rcc_{(25°C)} = Rcc_H + a^2 \times Rccx$$

Corrigiendo a 75°C y para C.A.

$$Req_{H(75°C)} = 5{,}56 \times \frac{309{,}5}{234{,}5+25} + (6{,}07 - 5{,}56)\frac{234{,}5+25}{309{,}5} =$$

$$\boxed{Req_{H(75°C)} = 7{,}05\Omega}$$

Rendimiento Convencional.

$$Pcu = I_H^2 \cdot Req_H = 6{,}25^2 \times 7{,}05 = 275{,}4W$$

$$\eta = \frac{15 \times 0{,}8}{15 \times 0{,}8 + 0{,}084 + 0{,}2754} = \boxed{97{,}09\%}$$

Cálculo de la regulación:

Determinamos Zeq_H y Xeq_H a la temp. de 25°C

$$Zeq_H = \frac{V_{ccH}}{I_{H_N}} = \frac{74,5}{6,25} = 11,92\Omega$$

$$Xeq_H = \sqrt{11,92^2 - 6,07^2} = 11,26\Omega$$

luego:

$$Reg = \frac{I_L'}{V_{H_N}}\left[Req_H \cdot \cos\theta_L + Xeq_H \,\text{Sen}\,\theta_L\right] + \frac{1}{2}\left[\frac{I_L'}{V_{H_N}}\left(Xeq_H \cos\theta_L - Req_H \,\text{Sen}\,\theta_L\right)\right]^2$$

$$= \frac{6,25}{2400}\left[7,05 \times 0,8 + 10,26 \times 0,6\right] + \frac{1}{2}\left[\frac{6,25}{2400}\left(10,26 \times 0,8 - 7,05 \times 0,6\right)\right]^2$$

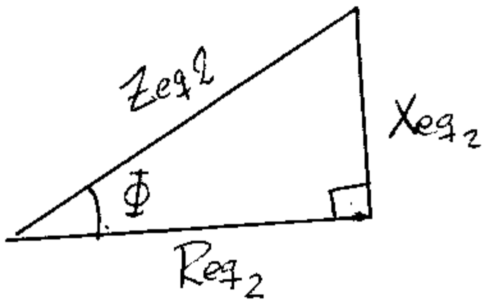
$Reg = 3,07\%$

REGULACIÓN CONOCIENDO LA IMPEDANCIA EQUIVALENTE

Sabemos q':

$$Reg = \frac{I_L}{V_2}\left(Req_2 \cos\theta_L + Xeq_2 \,\text{Sen}\,\theta_L\right) + \frac{1}{2}\left[\left(\frac{I_L}{V_2}\left(Xeq_2 \cos\theta_L - Req_2 \,\text{Sen}\,\theta_L\right)\right]^2$$

Además:



$$Req_2 = Zeq_2 \cdot \cos\Phi$$

$$Xeq_2 = Zeq_2 \cdot \text{Sen}\,\Phi$$

$$Reg = \frac{I_L}{V_2} \cdot Zeq_2\left(\cos\Phi \cos\theta_L + \text{Sen}\,\Phi \cdot \text{Sen}\,\theta_L\right) + \frac{1}{2}\left[\frac{I_L}{V_2} Zeq_2\left(\text{Sen}\Phi \cos\theta_L - \cos\Phi \,\text{Sen}\,\theta_L\right)\right]^2$$

$$\boxed{Reg = \frac{I_L}{V_2} Zeq_2 \cdot \cos(\Phi - \theta_L) + \frac{1}{2}\left[\frac{Zeq_2 I_L}{V_2} \text{Sen}(\Phi - \theta_L)\right]^2} \quad \ldots (5)$$

DESPRECIANDO EL SEGUNDO TERMINO.

- LA Reg SERÁ MÁXIMA CUANDO $\theta_L = \Phi$
- LA Reg " NULA CUANDO $\theta_L = \Phi - 90°$

Regulación conociendo la prueba en cortocircuito

De la prueba de cortocircuito

$$Zeq_2 = \frac{Vcc_2}{Icc_2} \Rightarrow Vcc_2 = Icc_2 \cdot Zeq_2$$

Si la prueba se realiza con corriente nominal

$$Vcc_2 = I_{2N} \cdot Zeq_2 = I_L \cdot Zeq_2$$

En (5):

$$\boxed{Reg = \frac{Vcc_2}{V_2} \cos(\phi - \theta_L) + \frac{1}{2}\left[\frac{Vcc_2}{V_2} \operatorname{Sen}(\phi - \theta_L)\right]^2} \quad \ldots (6)$$

Está ec. equivalente de la Regulación a plena carga

Problema:

Un trafo de 100KVA, 10000/240V, 60Hz.
Prueba en cortocircuito con el secundario. V=600V, I nominal, P=1230W
Prueba con el primario abierto: $V_N = 240V$, $I\phi = 8{,}75A$, $P = 480W$
Determinar:

a) Xeq_2, Req_2, Zeq_2 y grafique el triangulo de impedancias equivalentes.

b) Regulación a plena carga con $fp = 0{,}866(-)$; $fp = 0{,}866(+)$ y 1.

c) La eficiencia a plena carga con $fp = 0{,}866$ y 1

d) La eficiencia a media carga con $fp = 0{,}866$ y 1

e) La maxima eficiencia para una con $fp = 0{,}866$ y 1.

f) La tensión que es necesaria aplicar al primario para obtener en el secundario la tensión nominal cual alimenta una carga inductiva q' absorve la corriente nominal a un $f.p = 0{,}866$

Solución:

a) Prueba en cortocircuito $V_{cc_1} = 600V$

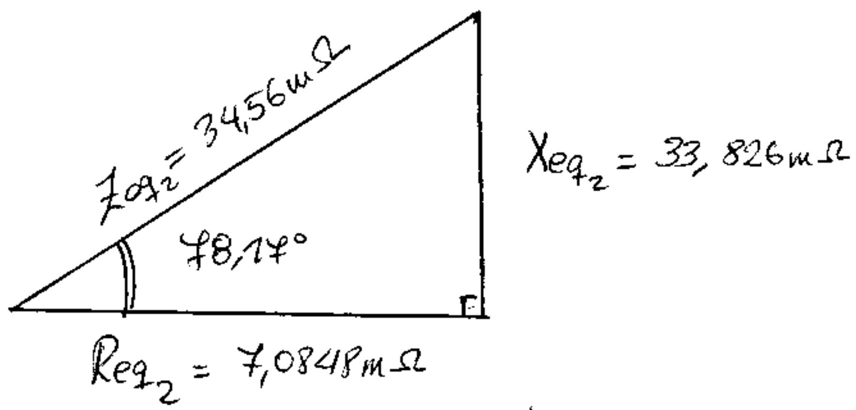
$$I_{N_1} = I_{cc_1} = \frac{100\,kVA}{10\,kV} = 10A$$

$$P_{cc} = 1230W$$

$$Zeq_1 = \frac{600}{10} = 60\Omega \rightarrow Zeq_2 = \frac{Zeq_1}{a^2} = 34,56\,m\Omega$$

$$Req_1 = \frac{1230}{10^2} = 12,3\Omega \rightarrow Req_2 = \frac{Req_1}{a^2} = 7,0848\,m\Omega$$

$$Xeq_2 = \sqrt{Zeq_2^{\,2} - Req_2^{\,2}} = 33,826\,m\Omega$$



b) Como la prueba de cortocircuito se hizo con corriente nominal, podemos aplicar la ec. (6) pero referido al primario

$Req = ??$

* Con $f_p = 0,866\ (-) \rightarrow \Phi_L = 30°$

$$Req = \frac{600}{10000}\cos(78,17° - 30) + \frac{1}{2}\left[\frac{600}{10000}\left(\operatorname{sen}(78,17° - 30°)\right)\right]^2$$

$Req = 4,1\%$

* Con $f_p = 0,866\ (+) \rightarrow \Phi_L = -30°$

$\Rightarrow Req = -1,7\%$

* Con $f_p = 1 \rightarrow \theta_L = 0° \Rightarrow Reg = 1,4\%$

c) Eficiencia a plena carga.

* Con $f_p = 0,866$

$$\eta = \frac{100 \times 0,866}{100 \times 0,866 + 0,48 + 1,23} \Rightarrow \eta = 98,06\%$$

* Con $f_p = 1$

$$\eta = \frac{100 \times 1}{100 \times 1 + 0,48 + 1,23} \Rightarrow \eta = 98,32\%$$

d) Eficiencia a media carga.

* Con $f_p = 0,866$, $\alpha = 0,5$

$$\eta = \frac{0,5 \times 100 \times 0,866}{0,5 \times 100 \times 0,866 + 0,48 + (0,5^2)(1,23)} \Rightarrow \eta = 98,21\%$$

* Con $f_p = 1$

$$\eta = \frac{0,5 \times 100 \times 1}{0,5 \times 100 \times 1 + 0,48 + 0,5^2 \times 1,23} \Rightarrow \eta = 98,45\%$$

e) Para $\eta_{máximo}$:

$$\alpha = \sqrt{\frac{P_{Fe}}{P_{Cu}}} = \sqrt{\frac{0,48}{1,23}}$$

$$\alpha = 0,6247 = 62,47\%$$

* Con $f_p = 0,866$

$$\eta = \frac{0,6247 \times 100 \times 0,866}{0,6247 \times 100 \times 0,866 + 2 \times 0,48} \Rightarrow \eta = 98,23\%$$

* Con $f_p = 1$

$$\eta = \frac{0,6247 \times 100 \times 1}{0,6247 \times 100 \times 1 + 2 \times 0,48} \Rightarrow \eta = 98,48\%$$

f) De la parte b) para las condiciones dadas.

$$R_{eq} = 4,1\%$$

$$R_{eq} = \frac{\frac{V_1}{a} - V_2}{V_2}$$

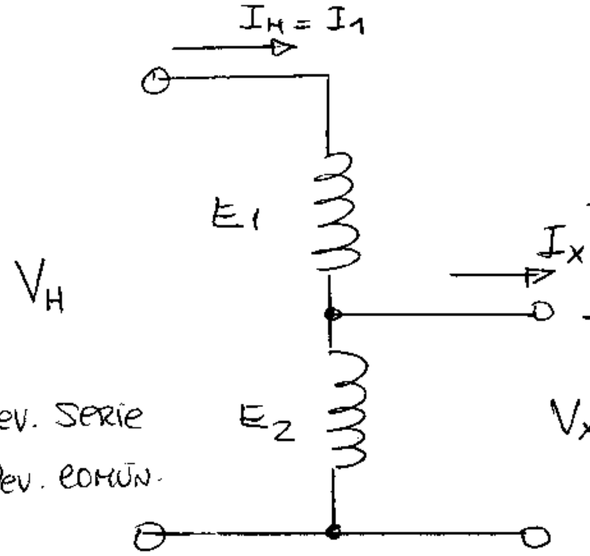
$$a(V_2 R_{eq} + V_2) = V_1$$

$$\frac{10}{0,24} \times 240\,V \times \left(\frac{4,1}{100} + 1\right) = V_1$$

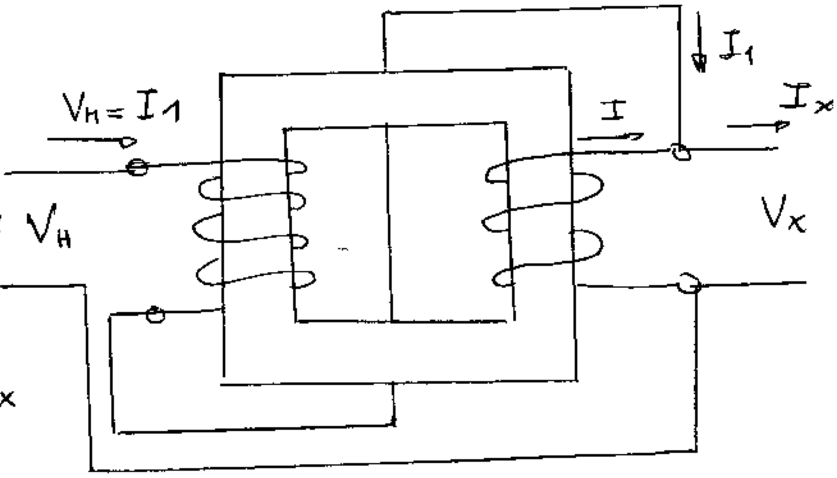
$$V_1 = 10\,410\,V \Rightarrow \boxed{V_1 = 10,41\,KV}$$

AUTOTRANSFORMADORES

Es el nombre q' se le da a un transformador cuyos devanados primarios o secundarios estan conectados en serie.



1. Dev. serie
2. Dev. común.



V_x

Usos: (Aplicaciones)
- Elevador de tensión
- Reductor de tensión
- Fuente de tensión Normal
- Arranque de Motores

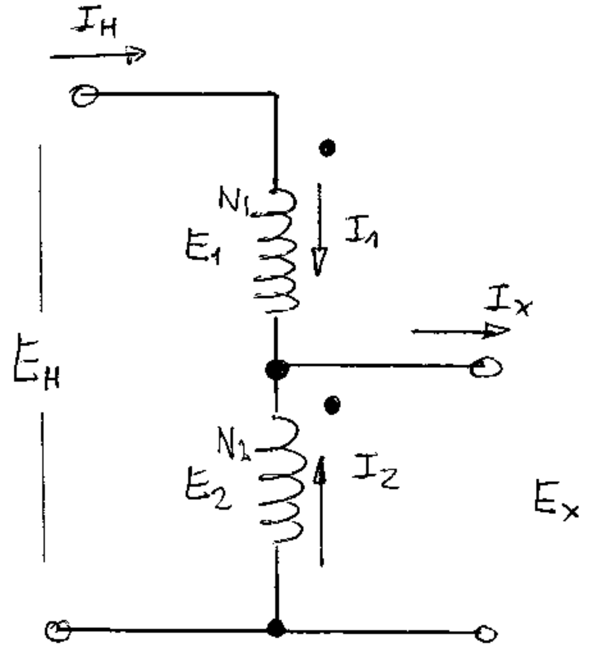
Ventajas:
- Mayor rendimiento
- Menor Costo
- " tamaño y peso
- " corriente de excitación
- Mayor regulación

Desventaja:
- El lado de alta esta conectado electricamente al lado de baja tensión
- La tensión de alimentación puede aparecer en la salida
- Mayores corrientes de corto circuito

Autotransformador Ideal

- No $\nexists$ dispersión de flujo
- Resistencia Efectiva de los devanados Nula

CKTO EQUIVALENTE



Se cumple:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad ; \text{ Además:}$$

$$I_x = I_1 + I_2$$

$$I_x = I_H + I_2$$

Relación de Transformación:

$$\boxed{a' = \frac{E_H}{E_x}} \overset{(1)}{\Longrightarrow} \quad a' = \frac{E_1 + E_2}{E_2} = \frac{E_1}{E_2} + 1 = \frac{N_1}{N_2} + 1$$

$$\boxed{a' = \frac{N_1 + N_2}{N_2}} \Rightarrow \boxed{a' = a + 1}$$

Por otro lado: $\sum f.m.m = 0$

$$N_1 . I_1 = N_2 . I_2$$

$$N_1 . I_H = N_2 . I_2$$

$$= N_2 . (I_x - I_H)$$

$$N_1 . I_H + N_2 . I_H = N_2 I_x$$

$$I_H . (N_1 + N_2) = N_2 I_x$$

$$\frac{I_H}{I_x} = \frac{N_2}{N_1 + N_2} = \frac{1}{a'} \quad \ldots\ldots (2)$$

Dividiendo (1) y (2)

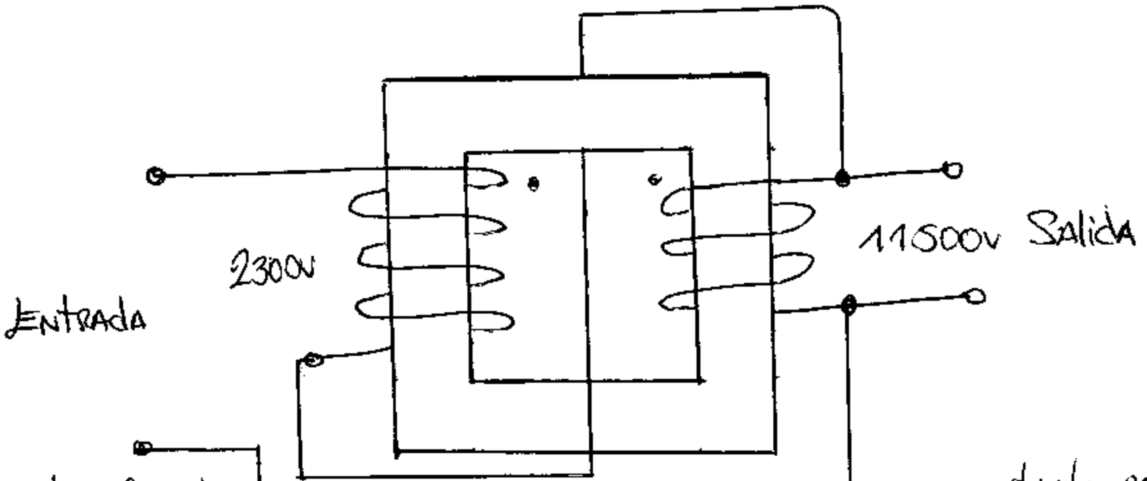
$$\frac{E_H / I_H}{E_X / I_X} = \left(\frac{N_1+N_2}{N_2}\right)^2 = a'^2$$

$$\frac{Z_H}{Z_X} = \left(\frac{N_1+N_2}{N_2}\right)^2 = a'^2 \quad \ldots\ldots (3)$$

En conclusion:

$$\boxed{E_H = a' \cdot E_X \quad ; \quad I_H = \frac{1}{a'} I_X \; ; \quad Z_H = a'^2 \cdot Z_X}$$

Ejm: $S = 100\,KVA$; $11500/2300\,V$; $60\,Hz$



Un trafo de 100KVA, 11500/2300V, 60Hz es conectado como autotrafo como se muestra en la figura.

A) Que niveles de tension podrá interconectar

B) Cual es la I_N q' circula por el devanado de 2300V

C) Cual es la I q' circula por el devanado común.

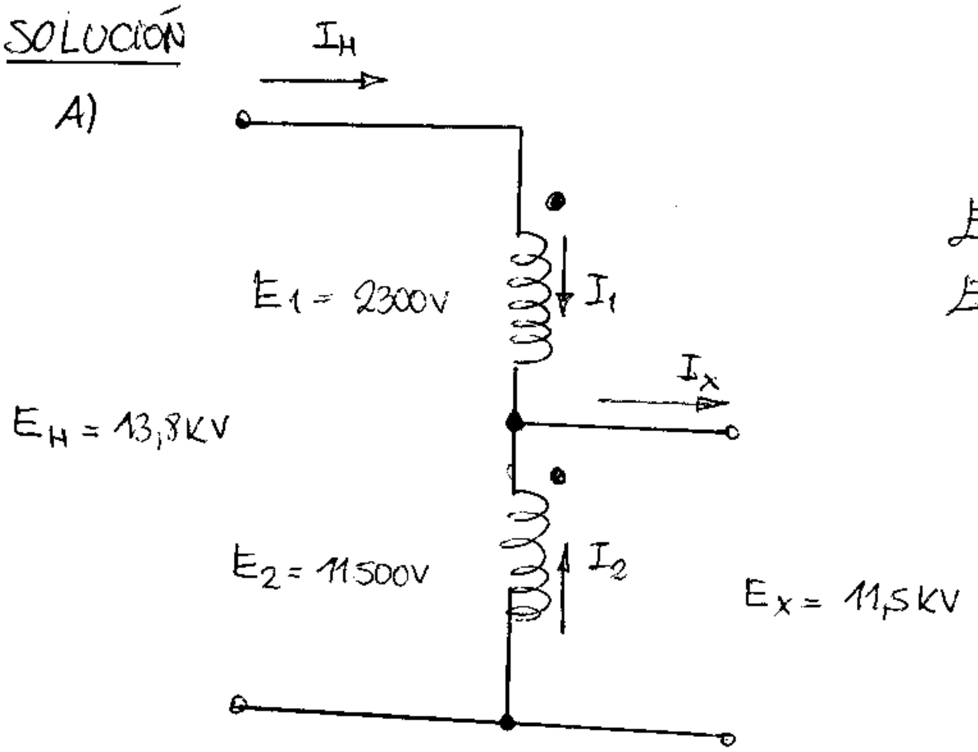
D) Cual es la corriente de salida

E) Cual es la Potencia de entrada

F) Que potencia suministra al lado de baja tensión.

SOLUCIÓN

A)



E_1 : Devanado Serie

E_2 : " Común

Puede interconectarse los niveles de tensión 13,8KV y 11,5KV

B) $I_{H_N} = I_{1_N} = \frac{S_N}{V_{1_N}} = \frac{100KVA}{2.3KV} = 43,5A$

C) $I_{2N} = \frac{S_N}{V_{2N}} = \frac{100KVA}{11,5KV} = 8,7A$

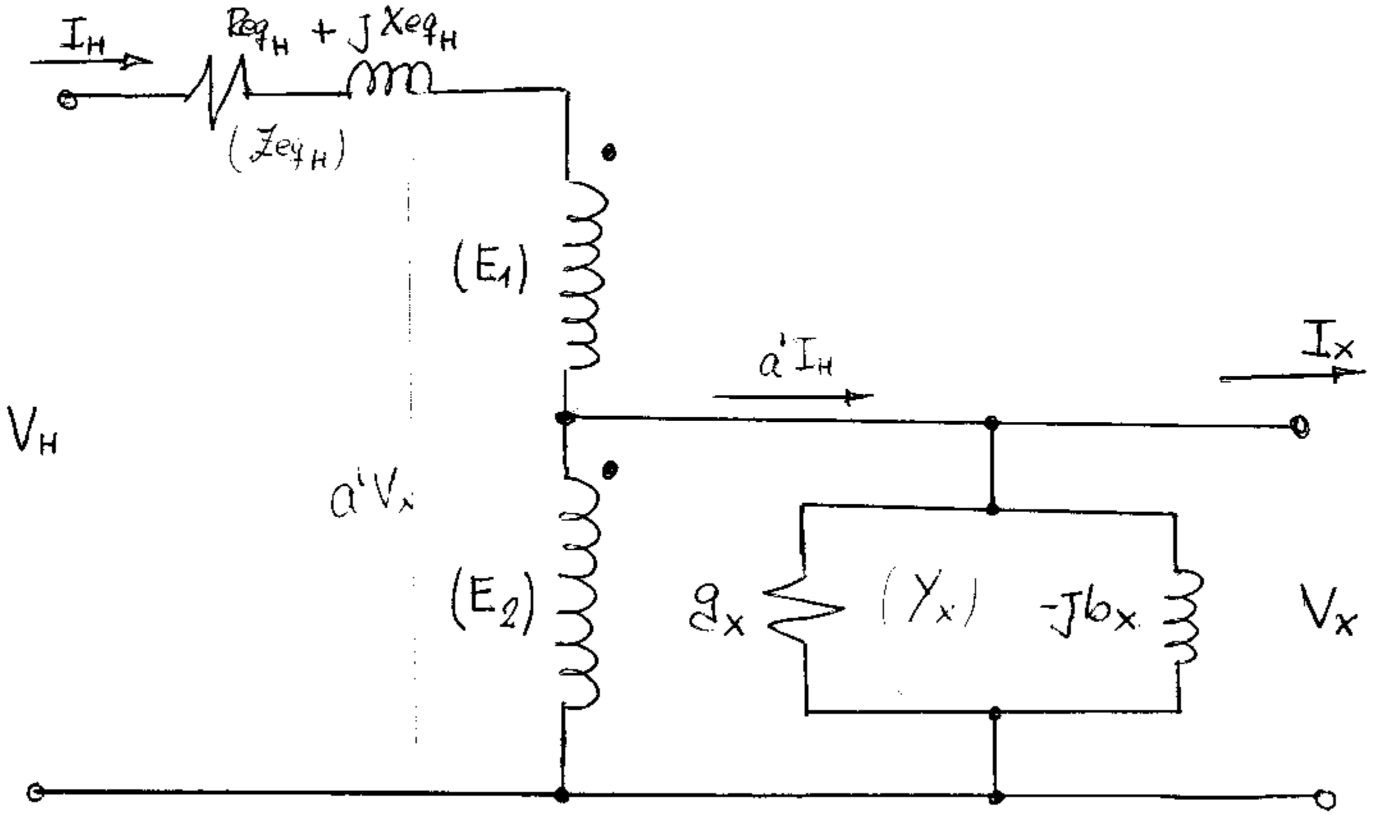
D) $I_{X_N} = I_{H_N} + I_{2_N} = 52,2A$

E) Pot. Entrada = $E_H \times I_H = 13,8KV \times 43,5A = 600KVA$

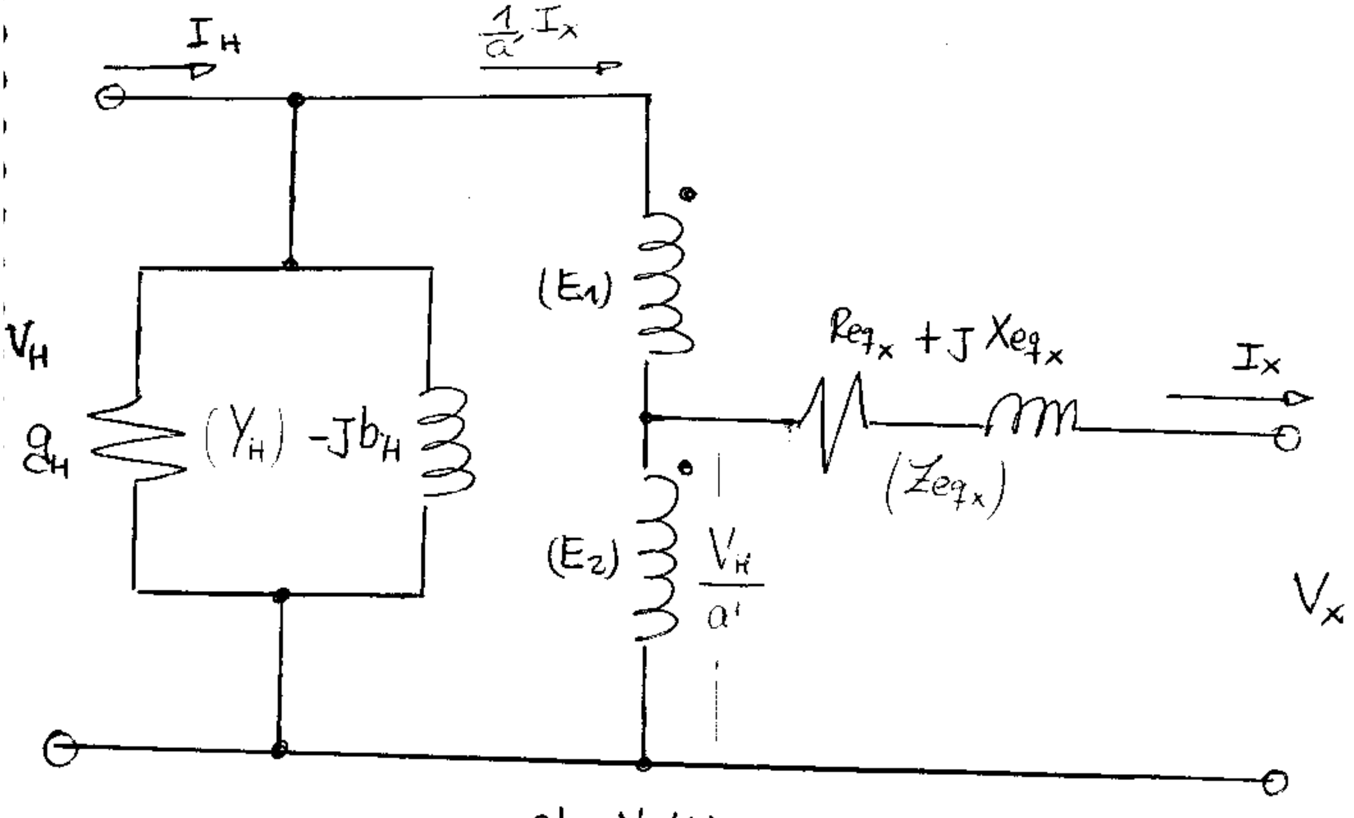
F) Pot. Salida = $E_x \times I_x = 11,5KV \times 52,2A = 600KVA$

AUTOTRANSFORMADOR REAL

CIRCUITOS EQUIVALENTES EXACTOS

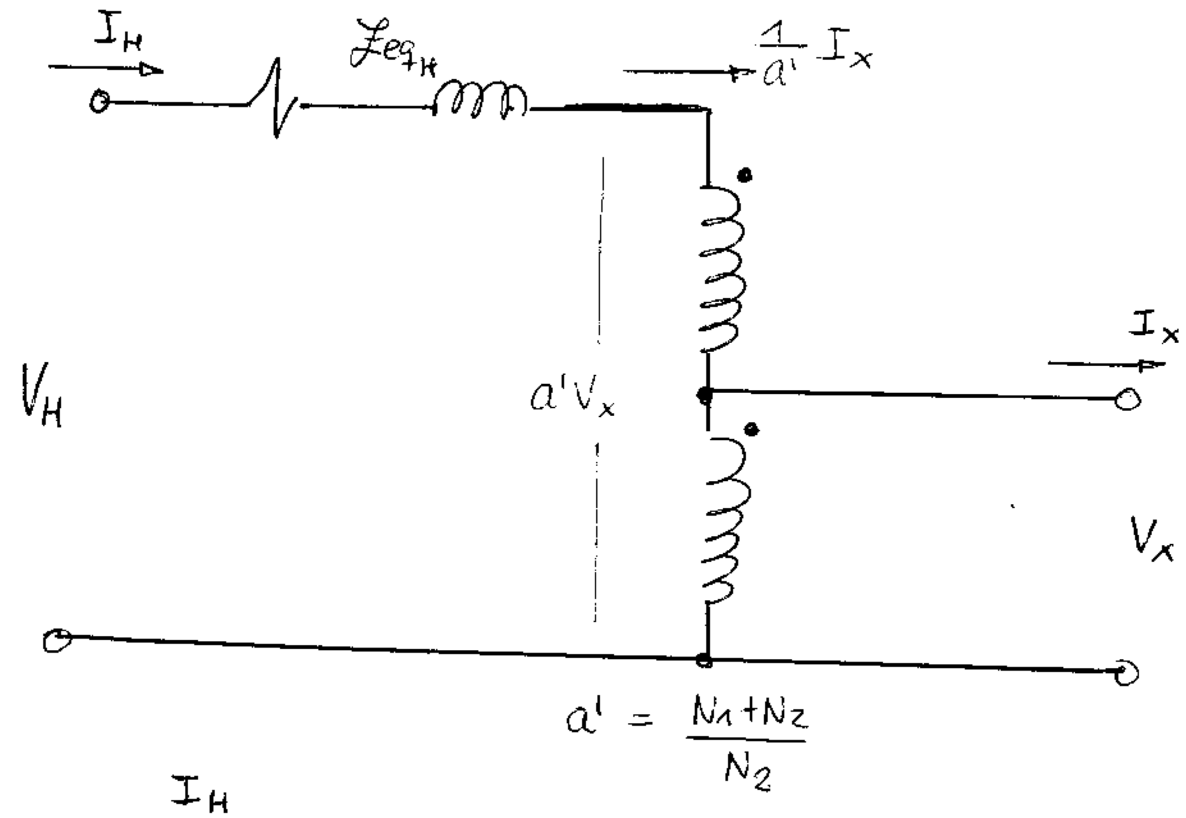


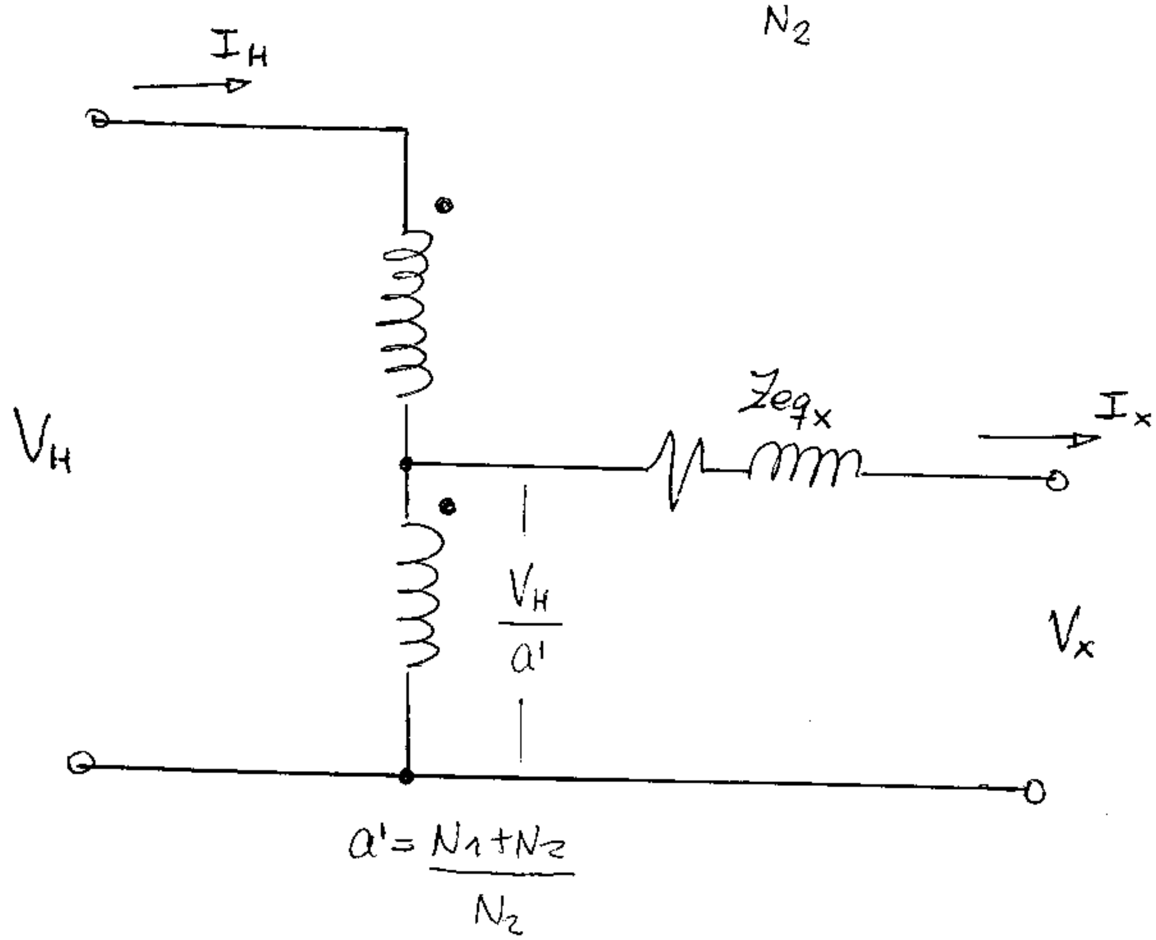
$$a' = \frac{N_1 + N_2}{N_2}$$



$$a' = \frac{N_1 + N_2}{N_2}$$

CIRCUITO EQUIVALENTES APROXIMADOS





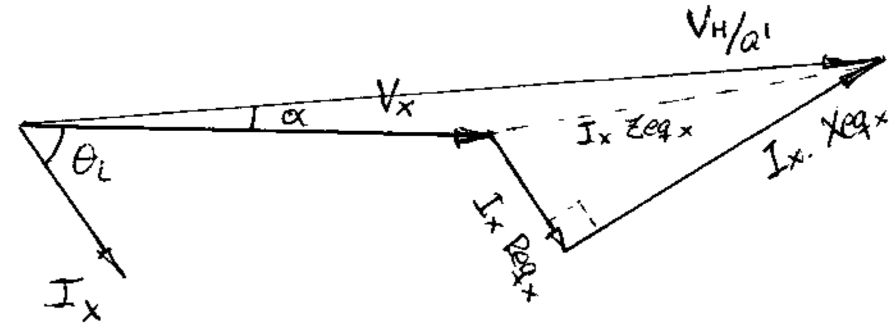
Ecuaciones

$$\bar{V}_H = \frac{1}{a'} \bar{I}_x \cdot \bar{Z}eq_H + a' \bar{V}_x$$

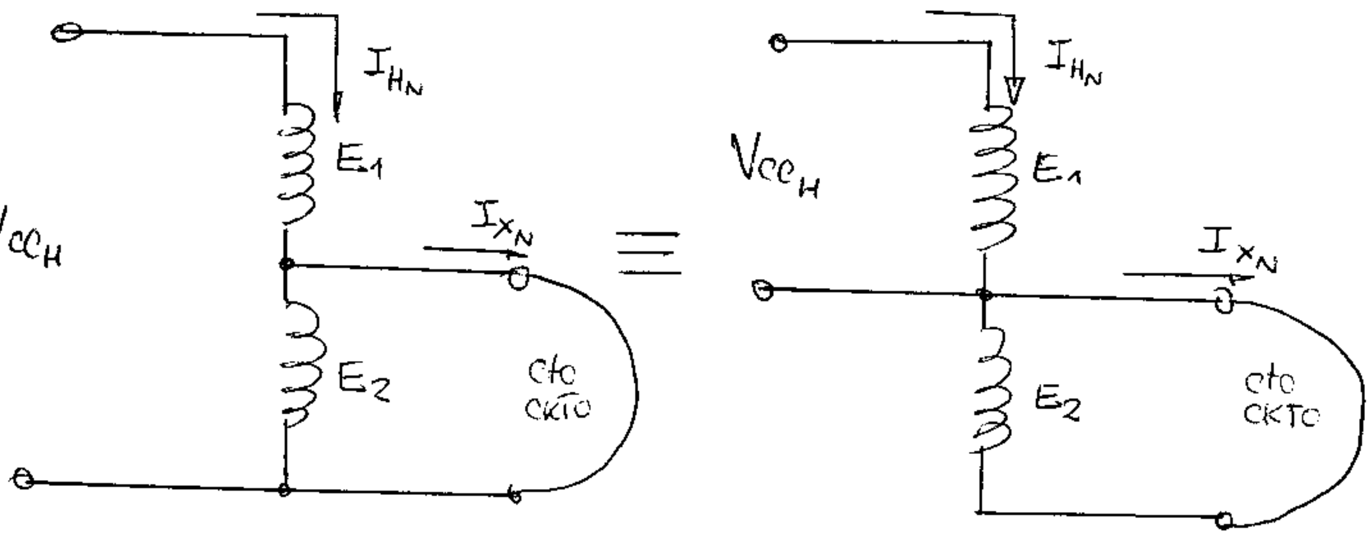
$$\frac{\bar{V}_H}{a'} = \bar{I}_x \cdot \bar{Z}eq_x + \bar{V}_x$$

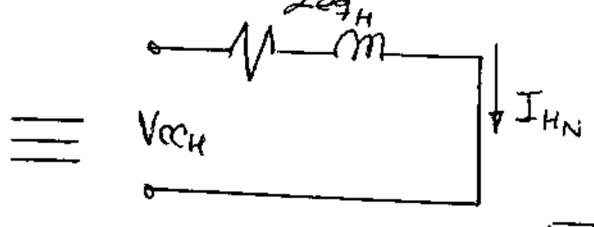
Diagrama Fasorial

Asumiendo carga inductiva.



Prueba de Cortocircuito



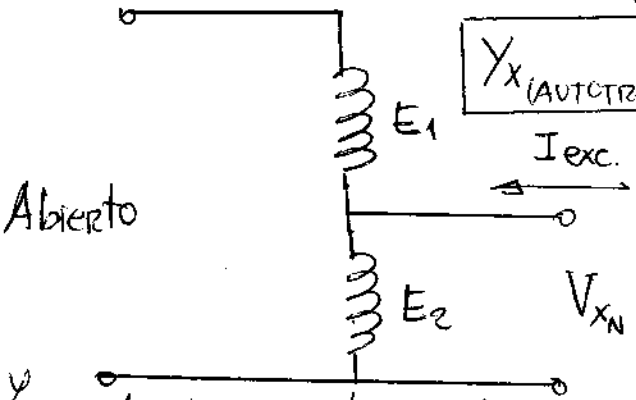


$$Zeq_H = \frac{V_{cc_H}}{I_{H_N}}$$

$$\boxed{Zeq_{H\,(\text{AUTOTRAFO})} \equiv Zeq_{1\,(\text{TRAFO})}}$$

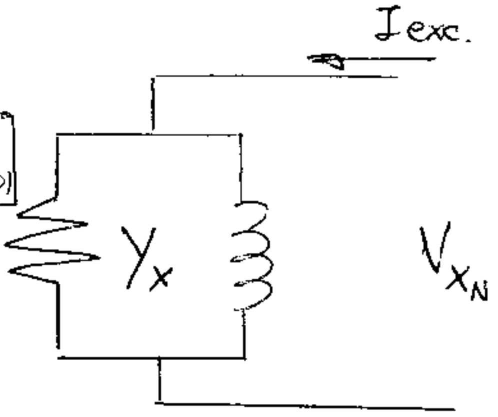
Significa q' la Zeq. referido al lado de alta es numericamente igual a la Zeq referida al devanado serie del trafo

PRUEBA EN VACIO: $Y_X = \dfrac{I_{exc}}{V_{X_N}}$



$$\boxed{Y_{X(\text{AUTOTRAFO})} = Y_{2(\text{TRAFO})}}$$

$\equiv$



La admitancia de excitación referida al lado de baja del autotrafo es numéricamente igual a la admitancia de excitación del devanado común del trafo.

Ejemplo:

Un trafo 1∅ de 10KVA, 240/120 V, 60Hz tiene los sgts parámetros $R_1 = 0{,}14\Omega$, $X_1 = 0{,}2\Omega$, $R_2 = 0{,}03\Omega$; $X_2 = 0{,}048\Omega$, $g_1 = 0{,}0125℧$ $b_1 = 0{,}004℧$ a) Considerando el efecto de la Iex. dibujar los ctos equivalentes referido al primario como al secundario en conexión como autotrafo 360/240 V. En ambos ctos indicar el valor numérico de sus parámetros.

b) No teniendo en cuenta el efecto de la Iexc. determinar los valores de régimen nominal del autotrafo anterior. Además calcular la Reg. y eficiencia a plena carga si dicho trafo alimenta por el lado de baja tensión una carga resistiva, estando alimentado dicho trafo con su tensión nominal primaria

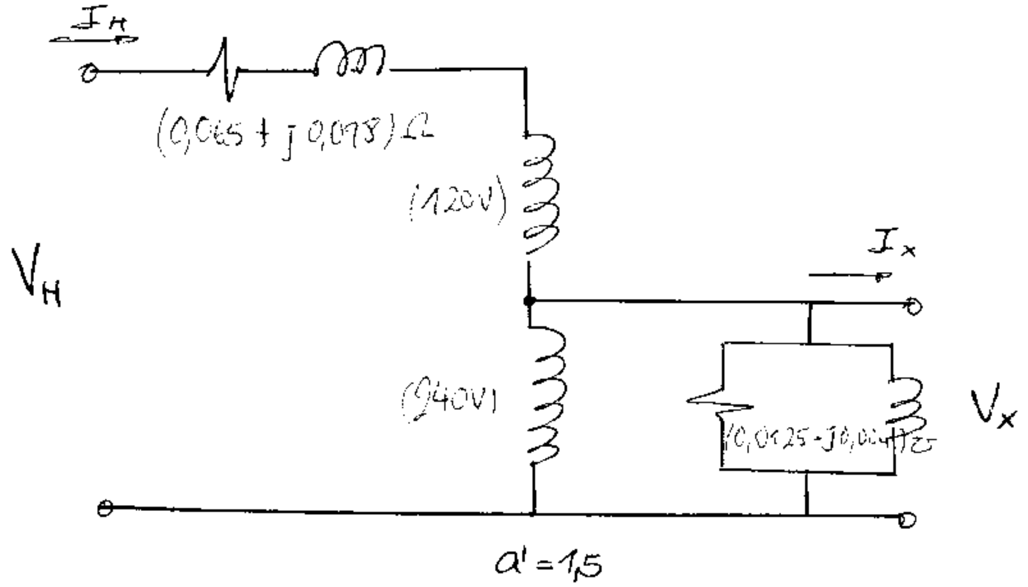
Solución:

1° $Zeq_H = Zeq_{(120)} = Req_{(120)} + J\, Xeq_{(120)}$

$$Req_{(120)} = \frac{0{,}14}{2^2} + 0{,}03 = 0{,}065\Omega$$

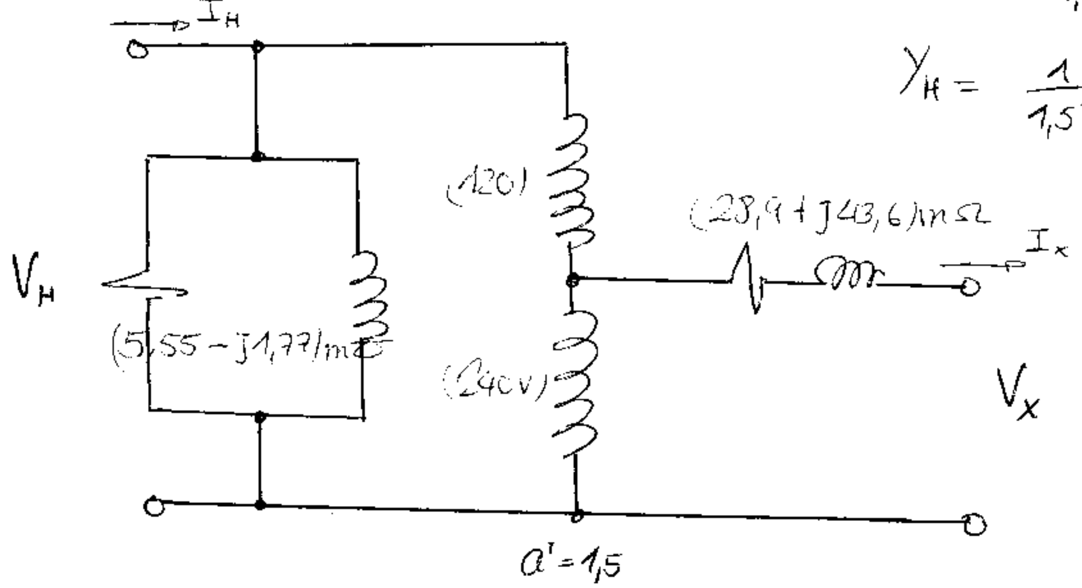
$$Xeq_{(120)} = \frac{0{,}2}{2^2} + 0{,}048 = 0{,}098\Omega$$

2° $Y_X = Y_{(240)} = (0{,}0125 - J\, 0{,}004)℧$

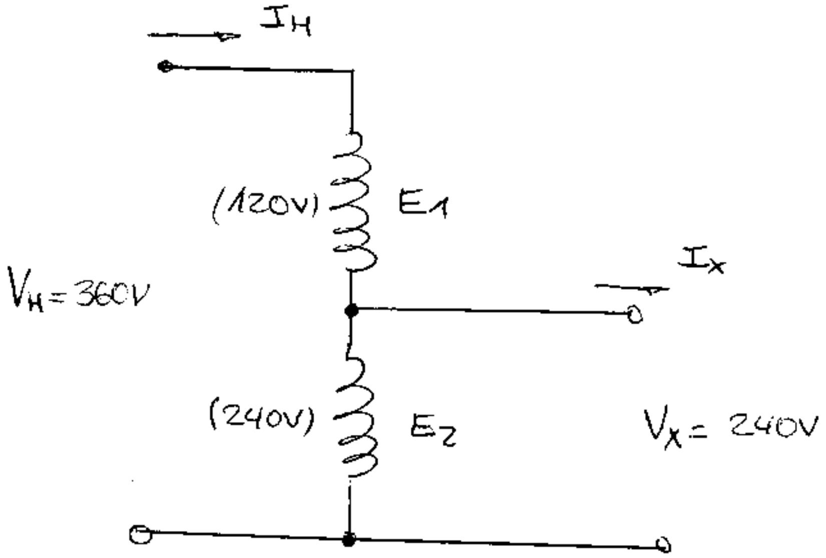


Por relación de transformación: $Zeq_x = \dfrac{1}{1,5^2}\, Zeq_H$

$$Y_H = \frac{1}{1,5^2} \cdot Y_x$$



b) Valores Nominales (S_{TRAFO} = 10kVA)



Corrientes nominales del autotrafo:

$$I_{H_N} = I_{1N} = \frac{S_N}{E_{1N}} = \frac{10KVA}{0{,}120KV} = 83{,}3\hat{3}A$$

$$I_{2N} = \frac{S_N}{E_{2N}} = \frac{10KVA}{0{,}240KV} = 41{,}6\hat{6}A$$

$$I_{X_N} = I_{H_N} + I_{2N} = 125A$$

Tensiones Nominales: $V_{HN} = 360V$ $\quad V_{X_N} = 240V$

Potencia Nominal

$$S_{N_{Autotrafo}} = V_{H_N} \cdot I_{H_N} = V_{X_N} \cdot I_{X_N}$$
$$= 360 \times 83.3\hat{3} = 240 \times 125 = 30KVA$$

Regulación a plena carga resistiva. $(\cos\theta_L = 1)$

$$Reg = \frac{I_{X_N}}{V_{X_N}} \left(Req_{.X} \cos\theta_L + Xeq_{X} \cdot \operatorname{sen}\theta_L \right) + \frac{1}{2}\left[\frac{I_{X_N}}{V_{X_N}} \left(Xeq_X \cos\theta_L - Req_X \operatorname{sen}\theta_L \right) \right]^2$$

Ref. al primario:

$$Reg = \frac{I_{HN}}{V_{HN}} \left(Req_H \cdot \cos\theta_L + \cancel{Xeq_H \cdot \operatorname{sen}\theta_L}^{0} \right) + \frac{1}{2}\left[\frac{I_{HN}}{V_{HN}} \left(Xeq_H \cos\theta_L - \cancel{Req_H \operatorname{sen}\theta_L}^{0} \right) \right]^2$$

Reempl. Valores.

$$Reg = \frac{83{,}33}{360} \left(0{,}065 \times 1 \right) + \frac{1}{2} \left[\frac{83{,}33}{360} \left(0{,}098 \times 1 \right) \right]^2 = 0{,}0153$$

$$Reg = 1{,}53\%$$

Calculo de la eficiencia a plena carga (resistivo)

$$\eta = \frac{S_{X_N} \cos\theta_L}{S_{X_N} \cdot \cos\theta_L + P_{Fe_N} + P_{Cu_N}} \quad \ldots\ldots (1)$$

P_{Fe_N}:

$$P_{Fe_N} = g_c \cdot V_{1N}^2 \quad (\text{del trafo})$$
$$= 0{,}0125 \times (240)^2 \text{ W}$$
$$P_{Fe_N} = 720 \text{ W}$$

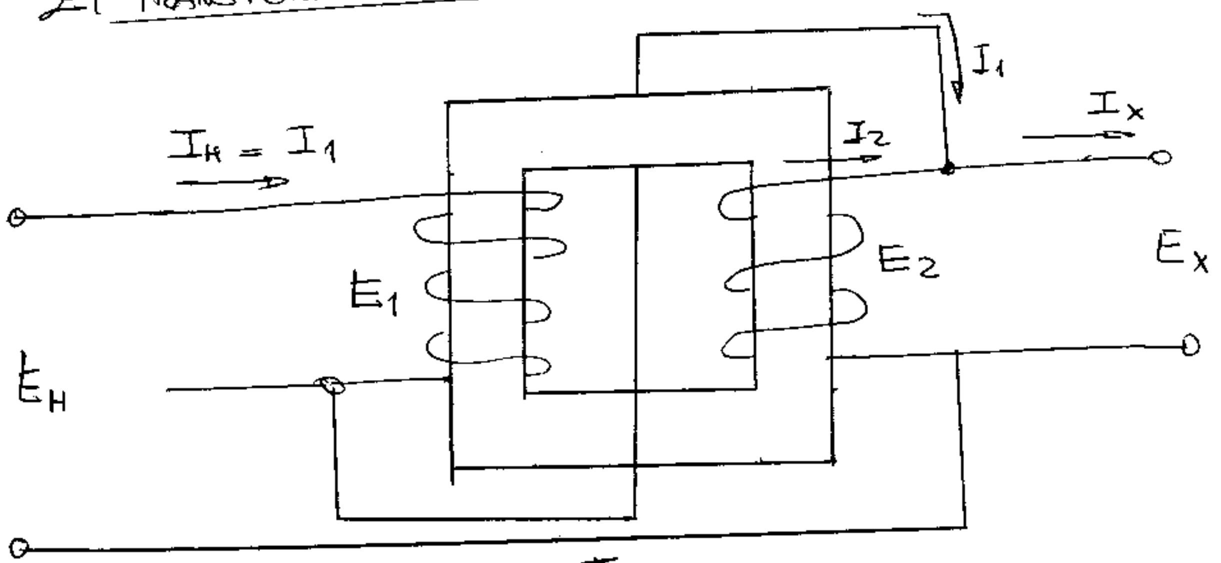
P_{Cu_N}:

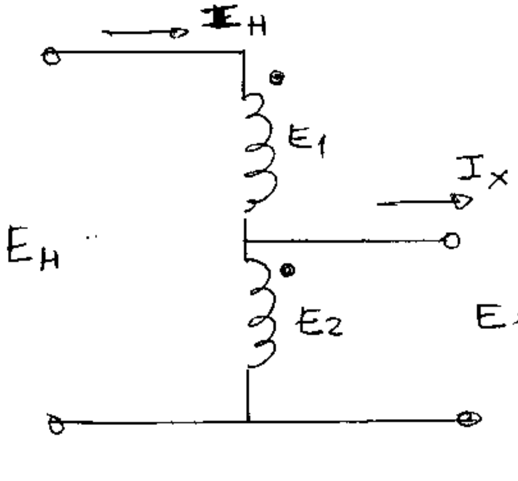
$$P_{Cu_N} = I_{H_N}^2 \cdot Req_H$$
$$= 83{,}33^2 \times 0{,}065 \text{ W}$$
$$P_{Cu_N} = 451{,}35 \text{ W}$$

Reempl. Valores en (1)

$$\eta = \frac{30 \times 1}{30 \times 1 + 0{,}720 + 0{,}45135} = 0{,}9624 \Rightarrow \boxed{\eta = 96{,}24\%}$$

El transformador ordinario como autotransformador





$$\frac{Pot_A}{Pot_T} = \frac{\cancel{E_x}\,.\,I_x}{\cancel{E_2}\,.\,I_2} = \frac{I_1 + I_2}{I_2} = \frac{I_1}{I_2} + 1 = \frac{1}{a} + 1$$

$$\frac{Pot_A}{Pot_T} = \frac{a+1}{a} \Rightarrow \boxed{\frac{Pot_A}{Pot_T} = \frac{a'}{a}}$$

Para autotrafos Reductores

Luego:

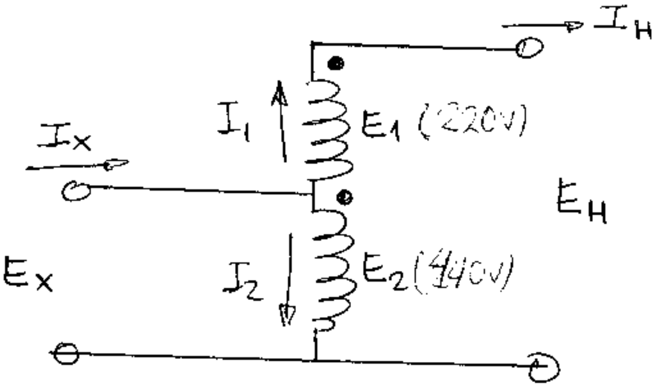
$$\frac{Pot_A}{Pot_T} = \frac{E_H/\cancel{E_X}}{E_1/\cancel{E_2}} = \frac{E_H}{E_1} = \frac{E_H}{E_H - E_X}$$

$$\therefore \quad \boxed{\frac{Pot_T}{Pot_A} = \frac{E_H - E_x}{E_H}}$$

donde: $\frac{E_H - E_x}{E_H}$: es el "factor de reducción de tensión"

Ejm:

Un trafo ordinario de 5KVA, 440/220V, 60Hz, se va a conectar como autotrafo elevador de 440/660V. Dibujar si ckto equivalente e indicar su valores nominales de potencia, tensión y corriente.



Para autrotrafos elevadores.

$$\boxed{\frac{Pot_A}{Pot_T} = 1+a}$$

Valores Nominales:

$$\frac{Pot_A}{Pot_T} = \frac{a'}{a} = \frac{660/\cancel{440}}{220/\cancel{440}} = 3 \Rightarrow Pot_A = 3\,Pot_T = 3 \times 5KVA$$

$$\Rightarrow Pot_A = S_N = 15KVA$$

Tensión:

$E_{H_N} = 660V$; $E_{x_N} = 440V$

Corriente:

$$I_{H_N} = \frac{15KVA}{0{,}66kV} = 22{,}73A \qquad I_{x_N} = \frac{15KVA}{0{,}44kV} = 34{,}09A$$

Pérdidas y Rendimiento

Sabemos q' a plena carga, las perdidas totales.

$$P_{Fe_N} + P_{cu_N}$$

Luego, el rendimiento.

$$\eta = \frac{S_{2N} \cos\theta_L}{S_{2N} \cos\theta_L + P_{Fe_N} + P_{cu_N}}$$

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{\text{Pérdidas}_T}{\text{Pot}_{total_T}}}$$

Conectado como autotransformador a plena carga, las perdidas son las misma

$$\eta_A = \frac{1}{1 + \frac{\text{Pérdidas}_T}{\text{Pot}_{total_A}}}$$

Como: $\text{Pot}_{TOTAL_A} > \text{Pot}\ total_T \Longrightarrow$

$$\eta_A > \eta_T$$

Podemos expresar:

$$\eta_T = \frac{1}{1 + \%\,\text{Perdidas}_T} \quad \ldots\ldots (1)$$

y

$$\eta_A = \frac{1}{1 + \%\,\text{Perdidas}_A} \quad \ldots\ldots (2)$$

Dividimos las perdidas de ambos trafo.

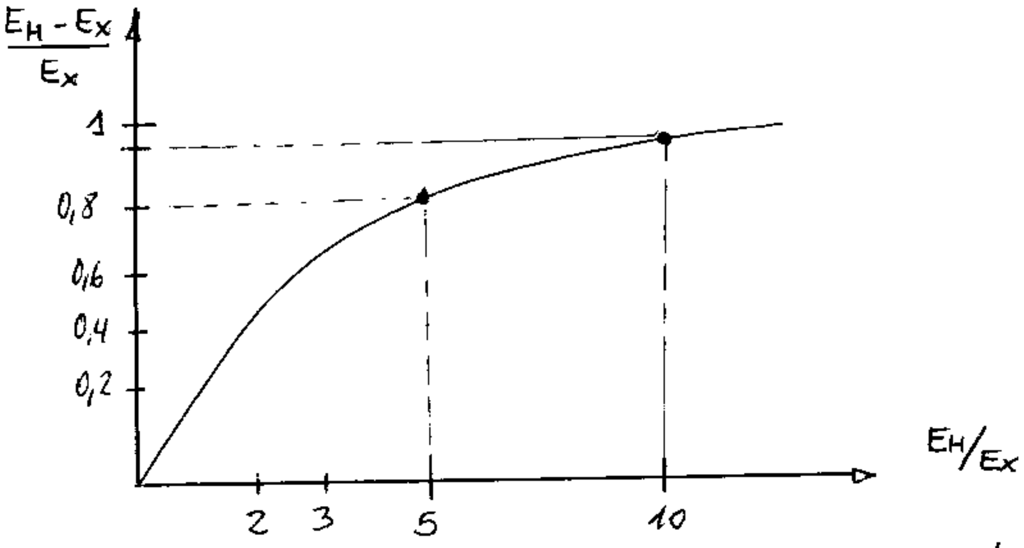
$$\frac{\%\,\text{Pérdidas}_T}{\%\,\text{Pérdidas}_A} = \frac{\frac{\text{Perdidas}}{\text{Pot}_{TOTAL\ T}}}{\frac{\text{Perdidas}}{\text{Pot}_{TOTAL\ A}}}$$

$$= \frac{Pot_{\ TOTAL\ A}}{Pot\ total_{\ T}} = \frac{a'}{a}$$

$$\frac{\%\ Pérdidas_{\ A}}{\%\ Pérdidas_{\ T}} = \frac{a}{a'} = \frac{E_1/E_2}{E_H/E_x}$$

$$\boxed{\frac{\%\ Pérdidas_{\ A}}{\%\ Pérdidas_{\ T}} = \frac{E_H - E_x}{E_H}}$$

Graficando:



Se observa q' $\frac{E_H}{E_x}$ es mayor q' 2, la variación unitaria de tensión $\frac{E_H - E_x}{E_x}$ es menor q' $\frac{1}{2}$.

Por lo q' el ahorro en tamaño y costo y el aumento del rendimiento cuando se utiliza un autotrafo en vez de un trafo de 2 devanados puede ser importante cuando $\frac{E_H}{E_x}$ sea inferior a 2.

Para valores mayores, estas ventajas no son tan significativas

Corriente de Excitación

Si no tenemos carga y la tensión son nominales → ϕ tiene valor nominal.

$$f_{mm_A} = f_{mm_T}$$

N_A y N_T: Bobinados por donde circula $i\phi$

$$N_A \cdot i\phi_A = N_T \cdot i\phi_T$$

Además:

$$\frac{N_T}{N_A} = \frac{V_T}{V_A}$$

V_T y V_A: Tensión nominal en los bobinados.

Luego:

$$\frac{i\phi_A}{i\phi_T} = \frac{V_T}{V_A}$$

$$V_A \cdot i\phi_A = V_T \cdot i\phi_T \quad \ldots\ldots (1)$$

de excitación del autotrafo = de excitación del trafo de 2 bobinados

Además:

$$Pot_T = V_T \cdot I_{N_T} \quad \ldots\ldots (2)$$

$$Pot_A = V_A \cdot I_{N_A} \quad \ldots\ldots (3)$$

(2) y (3) en (1)

$$\frac{Pot_A}{I_{N_A}} \cdot i\phi_A = \frac{Pot_T}{I_{N_T}} \cdot i\phi_T$$

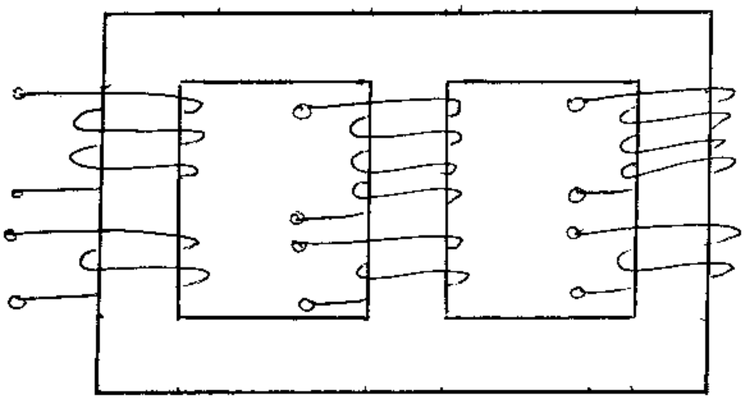
$$Pot_A \cdot \% i\phi_A = Pot_T \cdot \% i\phi_T$$

$$\frac{\% i\phi_A}{\% i\phi_T} = \frac{Pot_T}{Pot_A} = \frac{a}{a'} = \frac{E_1/\cancel{E_2}}{E_H/\cancel{E_X}}$$

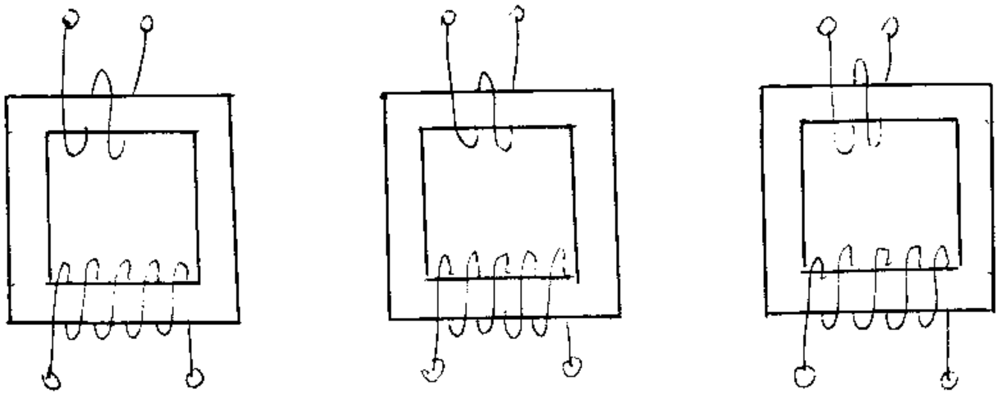
$$\boxed{\frac{\% i\phi_A}{\% i\phi_T} = \frac{E_H - E_X}{E_H}}$$

TRANSFORMADORES EN SISTEMAS TRIFÁSICOS

Consideraciones Previas:



1 TRANSFORMADOR 3ϕ



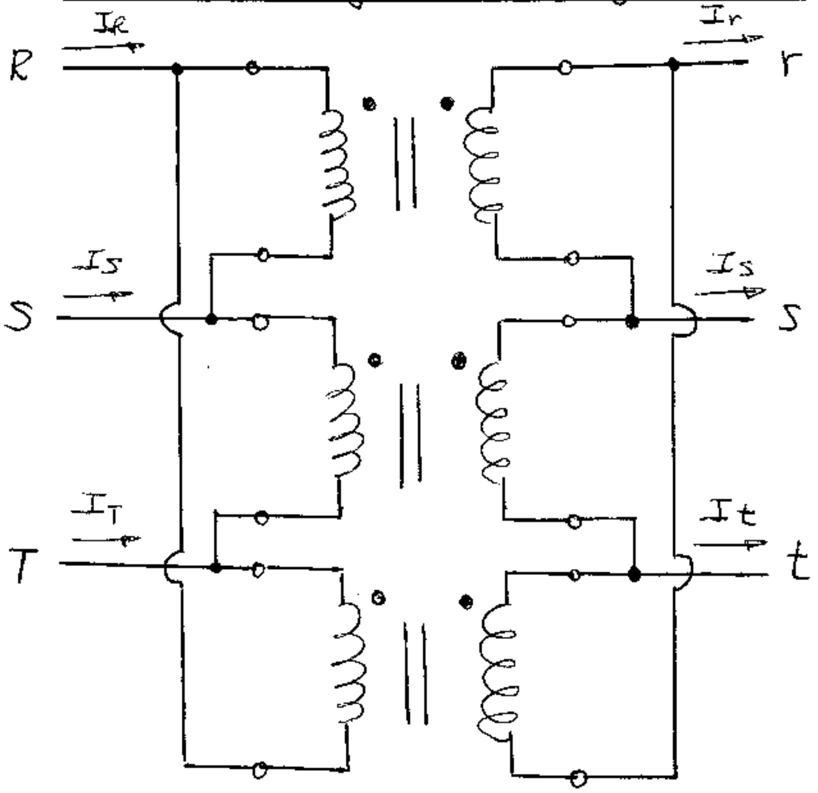
Bancada 3ϕ de tres trafo 1ϕ

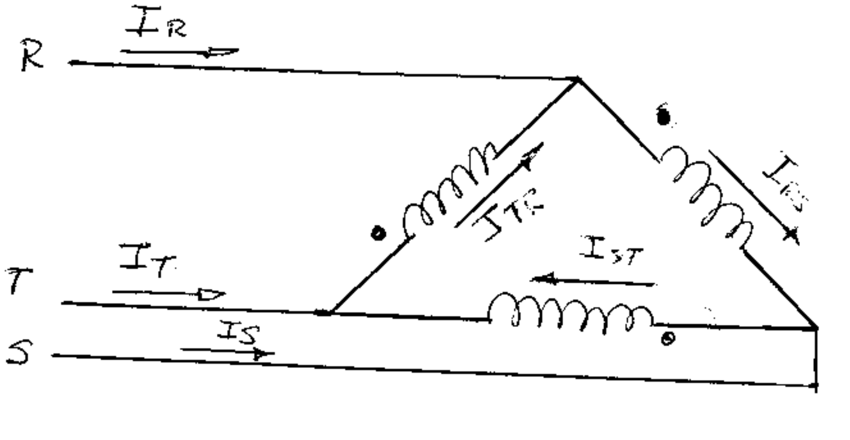
- La generación y transmisión de energía eléctrica se hace en sistemas trifásicos.
- Hay diferentes niveles de tensión, en la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica.
- La transformación de la energía eléctrica de un nivel de tensión a otro se realiza mediante un transformador 3ϕ o tres trafo 1ϕ conectados en bancada trifásicas.

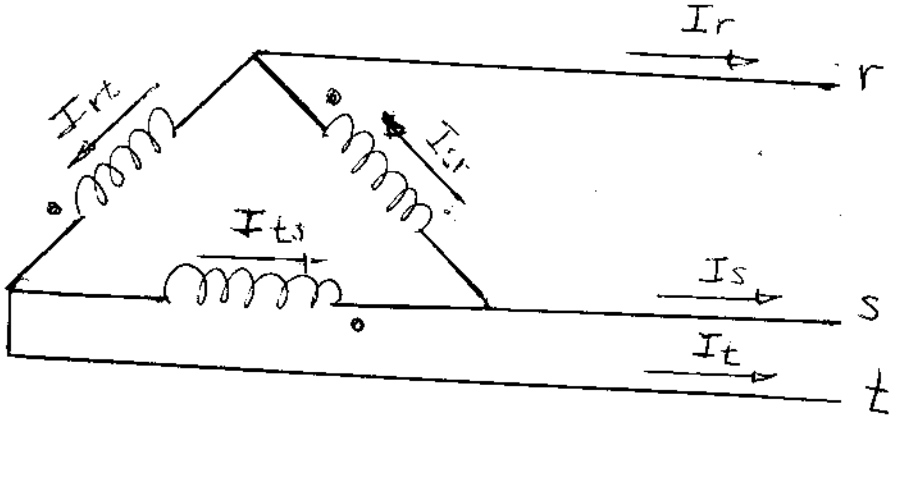
Conexiones trifásicas

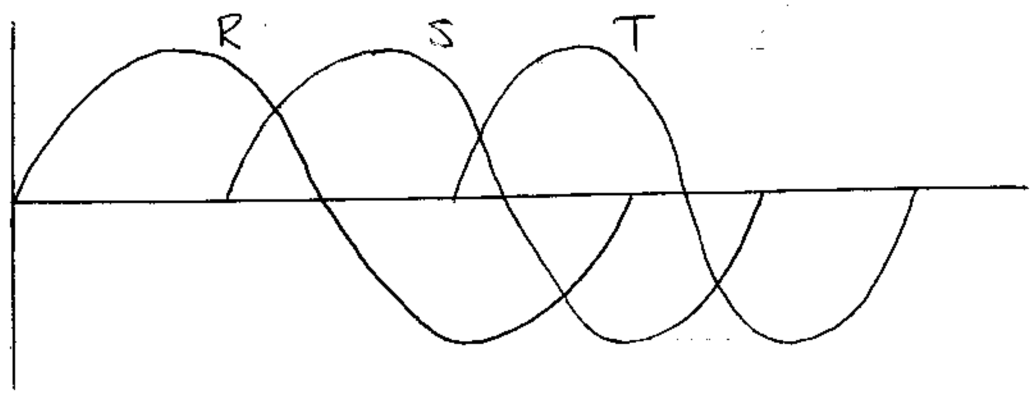
tres devanados de 3 trafos 1ϕ iguales pueden ser conectados en triangulo o estrella. Dependiendo de como se conecten los primarios o secundarios podemos obtener varias combinaciones. Las mismas conexiones se pueden hacer con los devanados primarios y secundarios de un trafo 3ϕ.

Calculo triangulo - triangulo ($\Delta - \Delta$)









Se cumple:

$$V_{LINEA} = V_{FASE}$$

$$I_{LINEA} = \sqrt{3}\, I_{FASE}$$

Usos:

- Cuando la tensión es baja o mediana, la corriente es intensa.

Características:

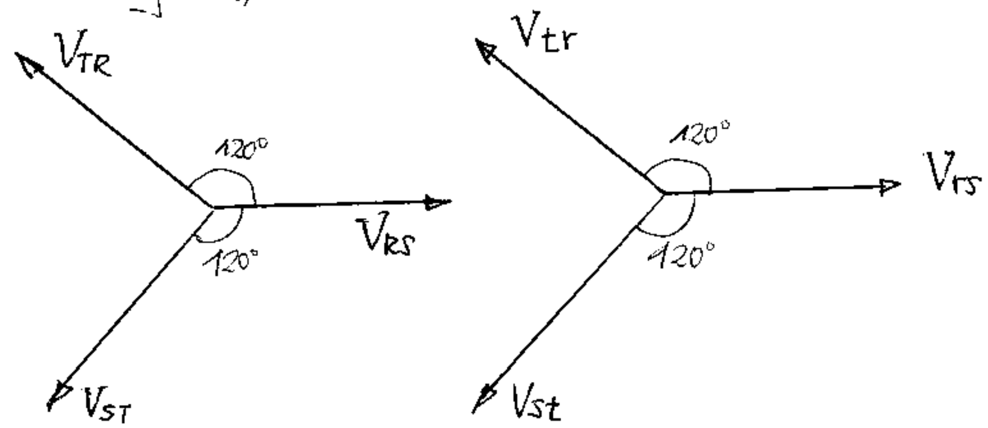
Los tres trafos deben ser iguales.

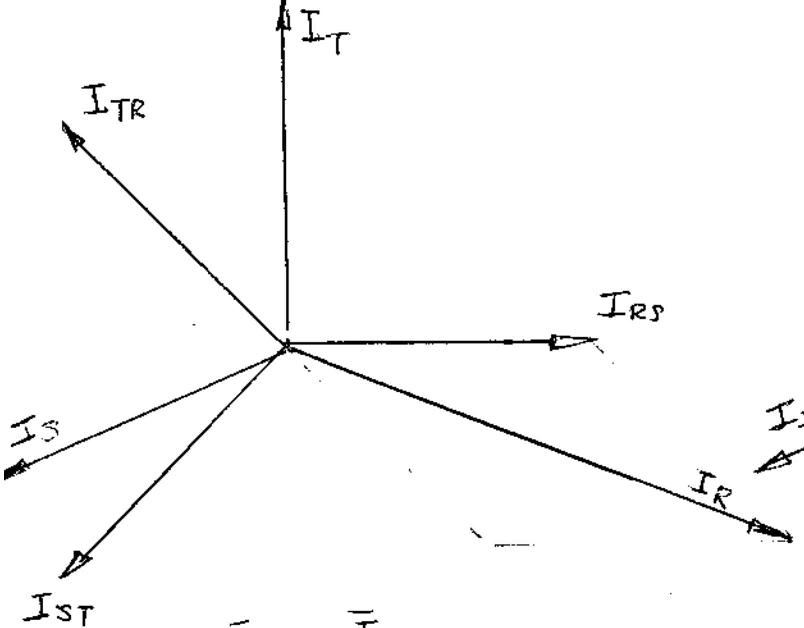
Relación de transformación:

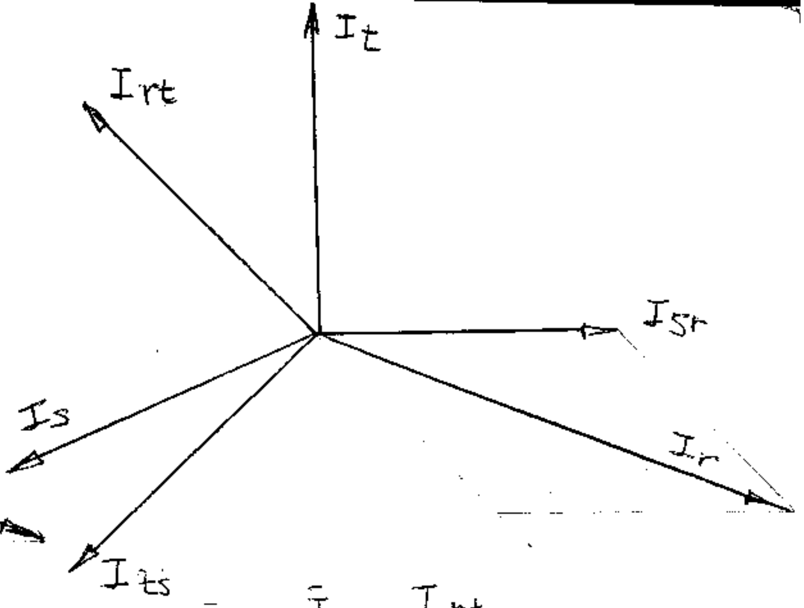
$$\frac{V_{LINEA\ PRIMARIO}}{V_{LINEA\ SECUNDARIO}} = \frac{V_{TR}}{V_{tr}} = \frac{V_{RS}}{V_{rs}} = \frac{V_{ST}}{V_{st}} = a$$

Diagrama fasorial:

Suponiendo cargas equilibradas y balanceadas.







$\bar{I}_R = \bar{I}_{RS} - \bar{I}_{TR}$
$\bar{I}_S = \bar{I}_{ST} - \bar{I}_{RS}$
$\bar{I}_T = \bar{I}_{TR} - \bar{I}_{ST}$

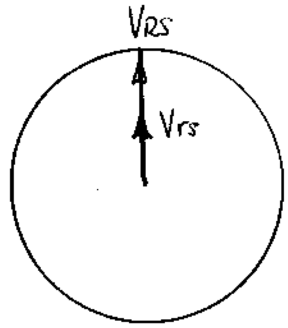
$\bar{I}_r = \bar{I} - I_{rt}$
$\bar{I}_s = \bar{I}_{ts} - \bar{I}_{tr}$
$\bar{I}_t = \bar{I}_{rt} - \bar{I}_{ts}$

Observando:

$\bar{I}_R = \sqrt{3}\ \bar{I}_{RS} \angle{-30^\circ}$; $\bar{I}_r = \sqrt{3}\ \bar{I}_{rs} \angle{-30^\circ}$

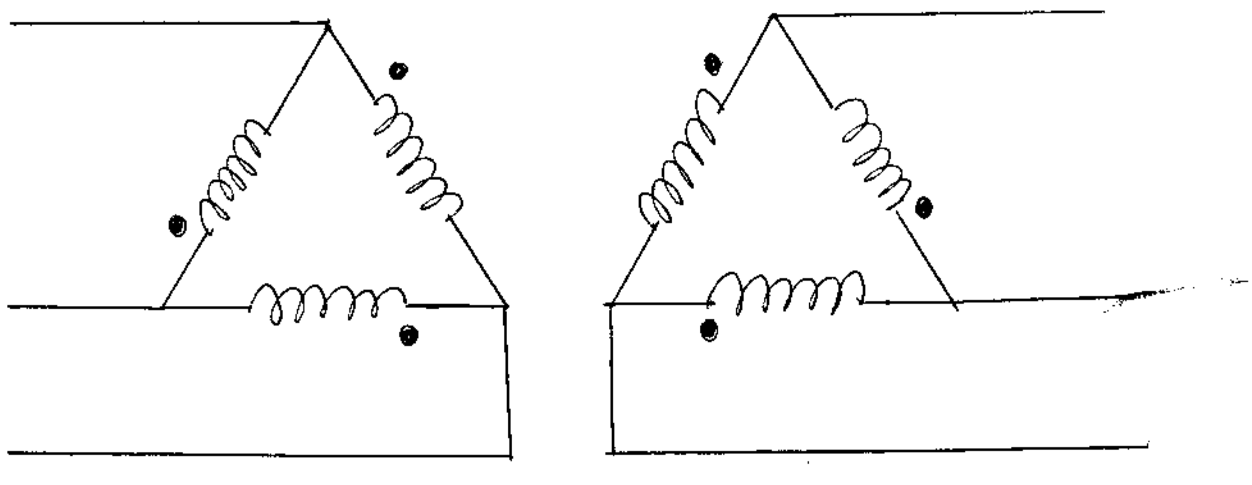
$\Rightarrow$ $\bar{I}_R$ y $\bar{I}_r$ estan en fase

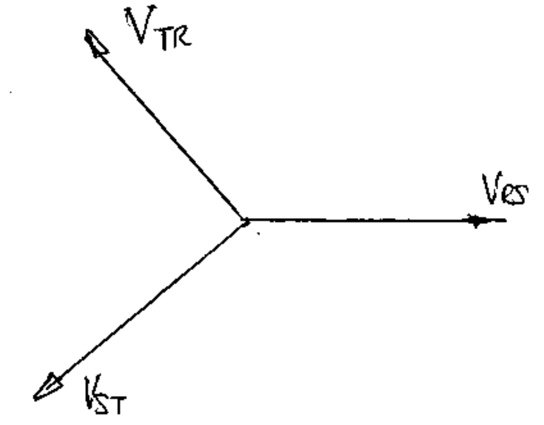
Grupo de conexión e indice horario

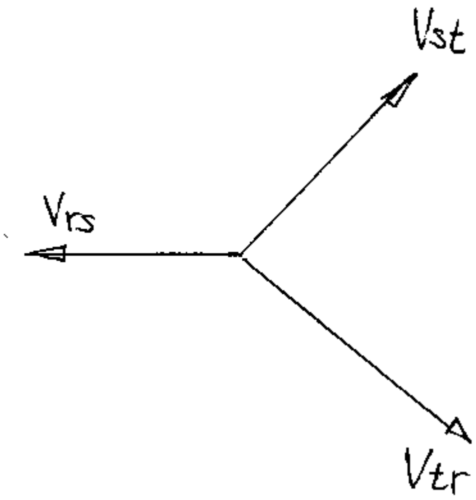


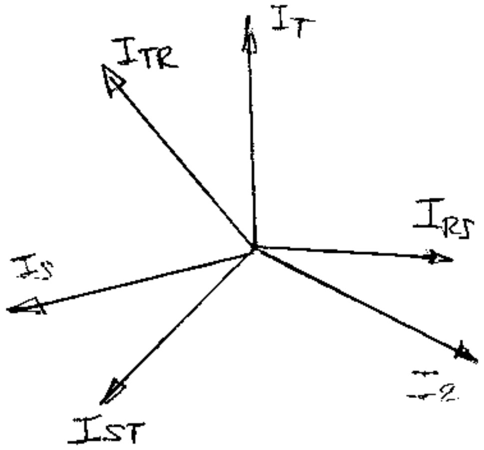
Dd0

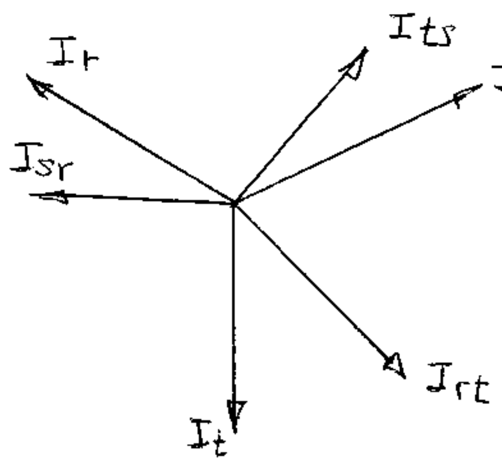
Si se invierte la polaridad del secundario.

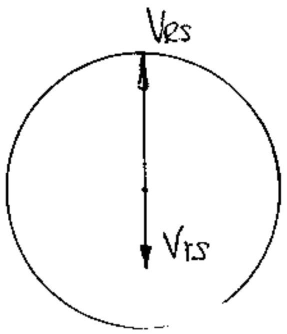










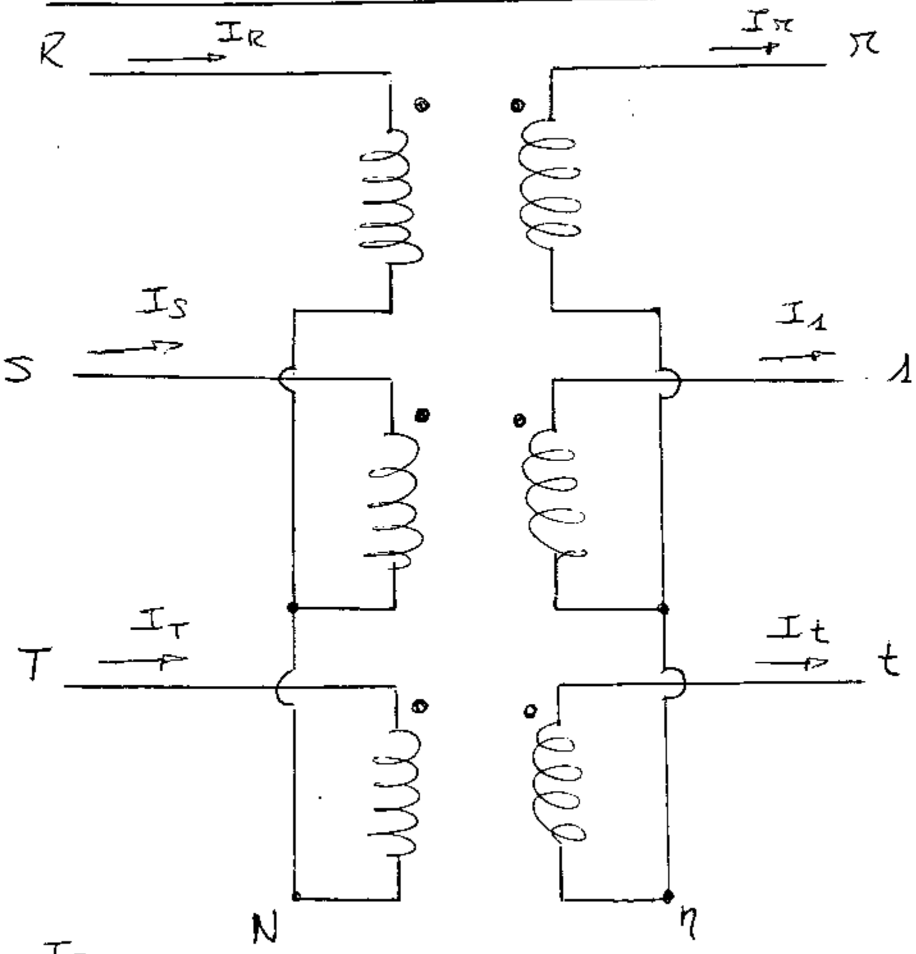


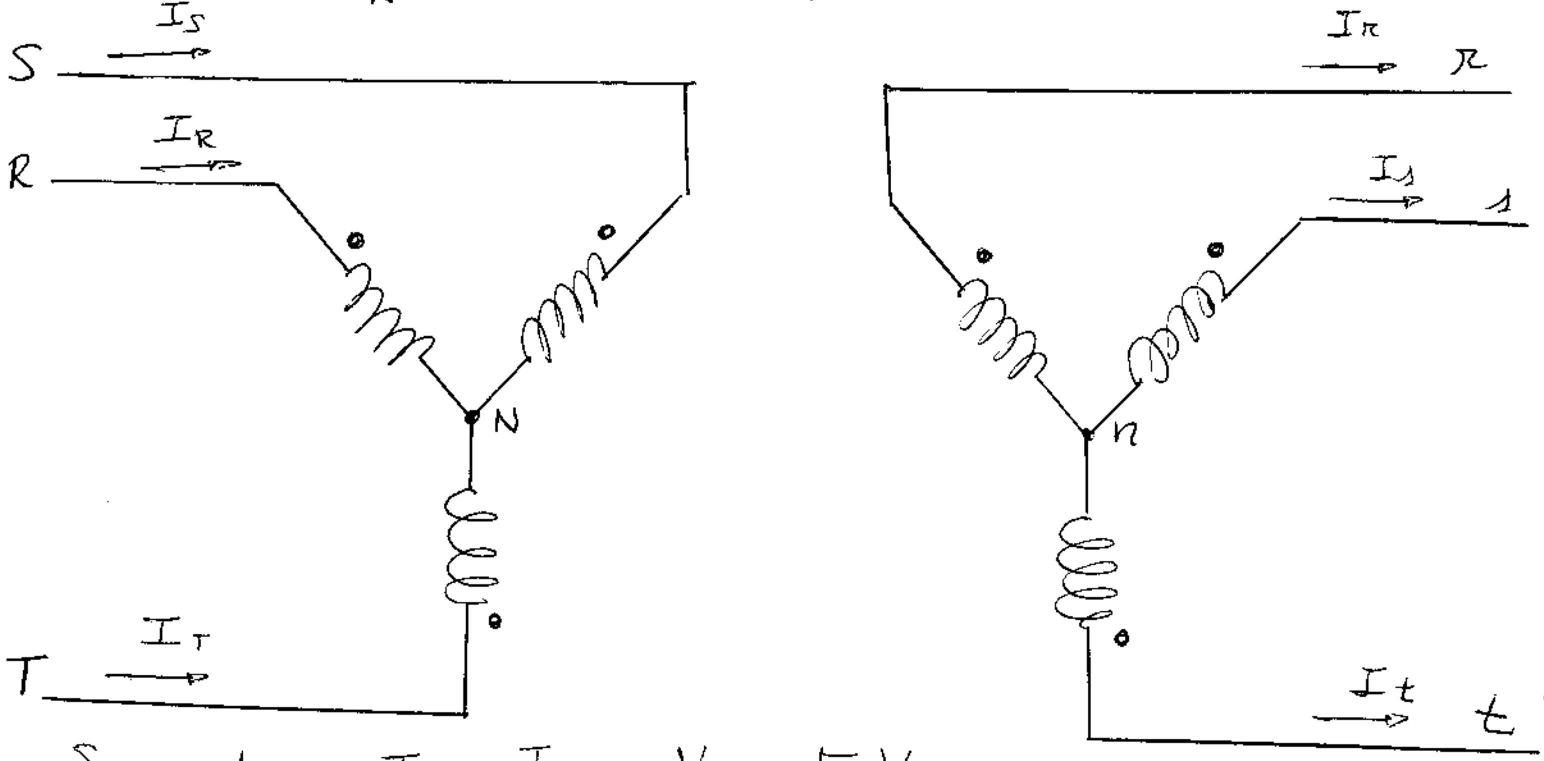
Dd 6

El desface es 180°

$$\bar{V}_{rs} = \frac{1}{a}\,\bar{V}_{RS}\,\underline{\left|-180^\circ\right.}$$

Conexión Estrella - Estrella (Y - Y)



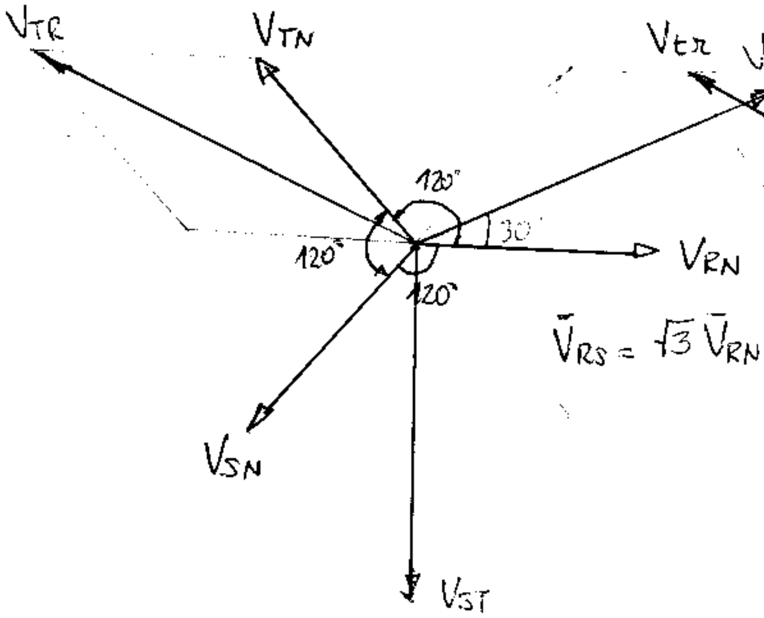


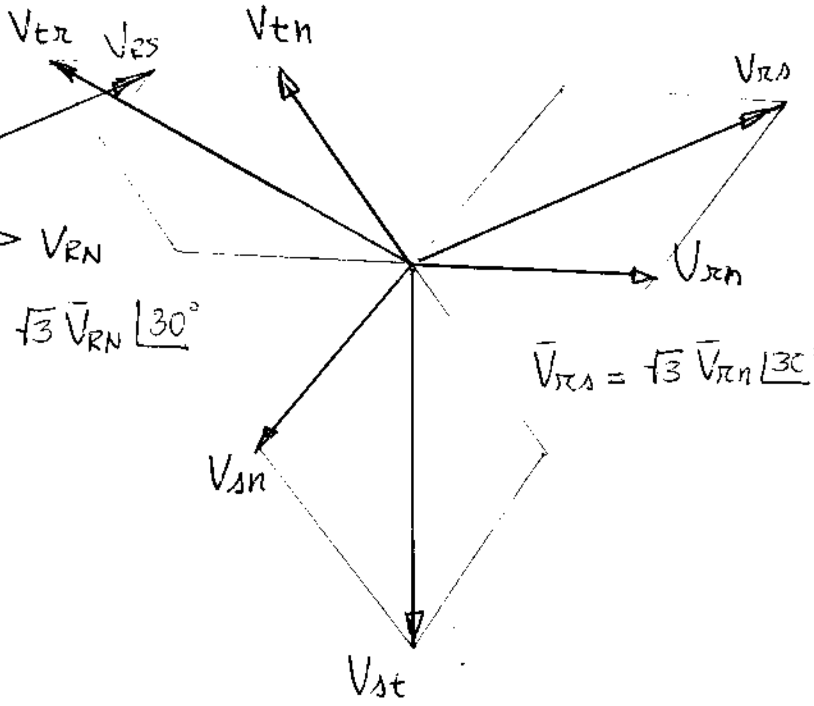
Se cumple: $I_L = I_F \qquad V_L = \sqrt{3} \cdot V_F$

Relación de Transformación:

$$\frac{V_{L_P}}{V_{L_S}} = \frac{\sqrt{3}\, V_{F_P}}{\sqrt{3}\, V_{F_S}} = a$$

Diagrama Fasorial:





$\bar{V}_{RS} = \sqrt{3}\,\bar{V}_{RN}\,\angle 30°$

$\bar{V}_{rs} = \sqrt{3}\,\bar{V}_{rn}\,\angle 30°$

$\bar{V}_{RS} = \bar{V}_{RN} - \bar{V}_{SN}$

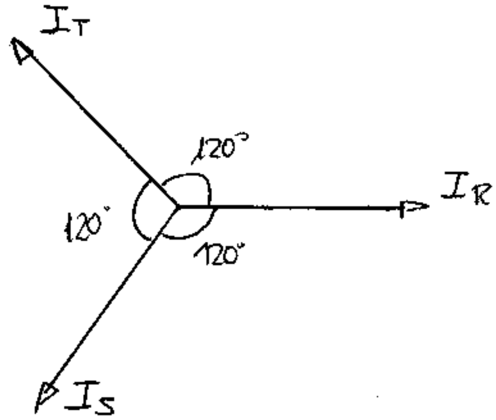
$\bar{V}_{ST} = \bar{V}_{SN} - \bar{V}_{TN}$

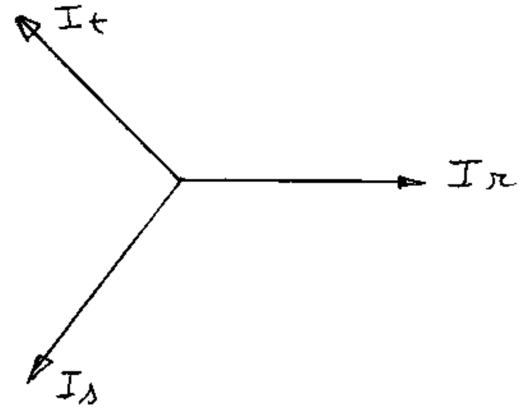
$\bar{V}_{TR} = \bar{V}_{TN} - \bar{V}_{RN}$

$\bar{V}_{rs} = \bar{V}_{rn} - \bar{V}_{sn}$

$\bar{V}_{st} = \bar{V}_{sn} - \bar{V}_{tn}$

$\bar{V}_{tr} = \bar{V}_{tn} - \bar{V}_{rn}$



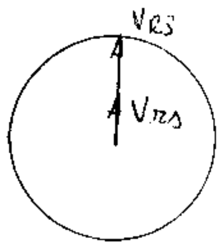


$\bar{V}_{RS} = a \cdot \bar{V}_{rs}$

$\bar{I}_R = \frac{1}{a}\,\bar{I}_r$

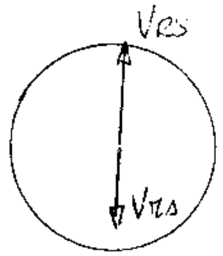
No hay desfasaje entre tension de linea de primario y secundario, tampoco entre corriente de Línea del primario y secundario.

Grupo de conexión e indice horario



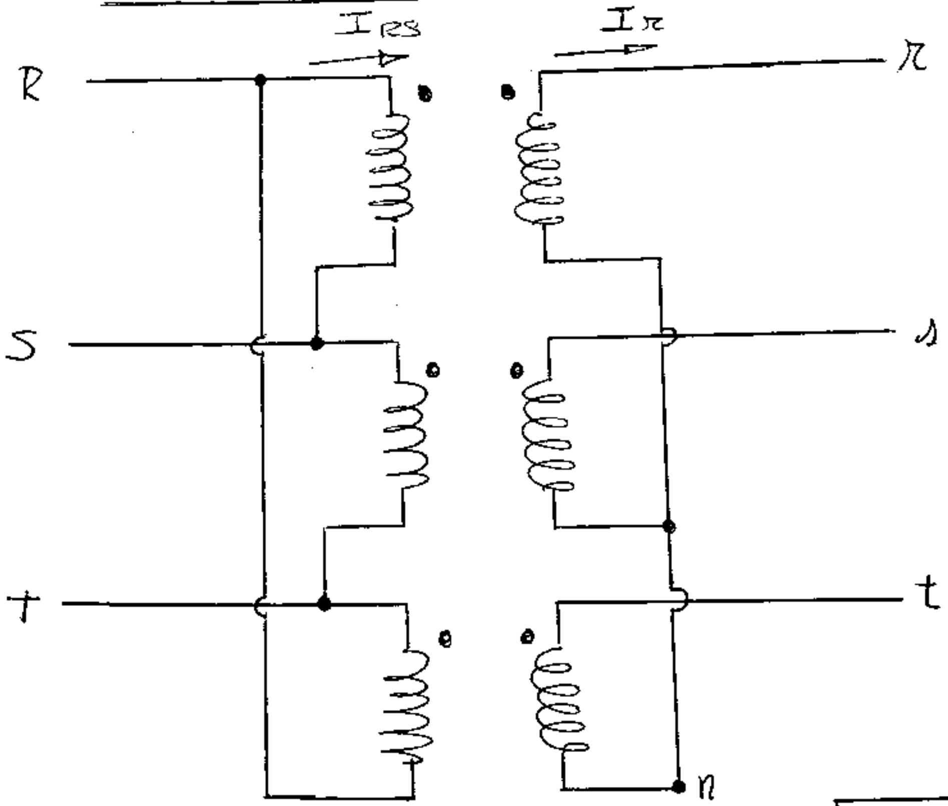
Yy0

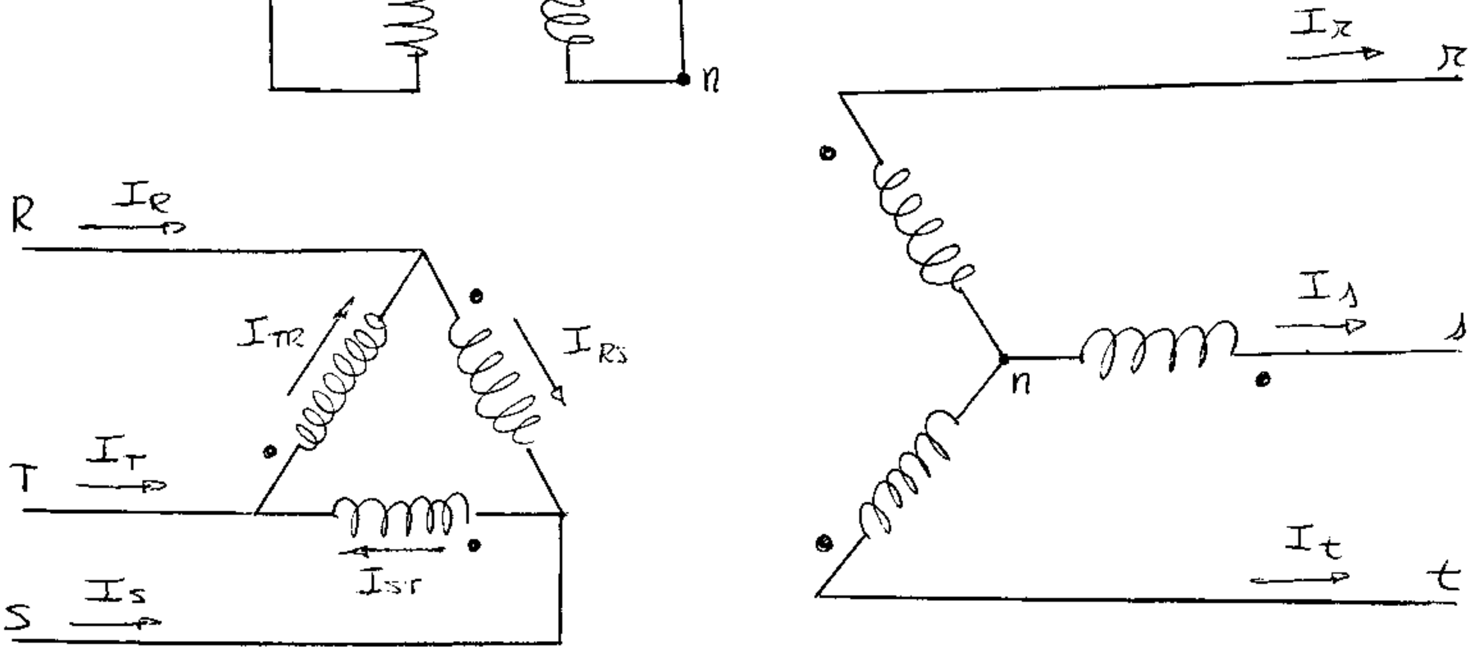
Si invertimos la polaridad del secundario



Yy6

Conexión triangulo – Estrella (Δ-Y)





Se cumple:

$V_{Lp} = V_{Fp}$; $V_{Ls} = \sqrt{3} \cdot V_{Fs}$

$I_{Lp} = \sqrt{3} \cdot I_{Fp}$; $I_{Ls} = I_{Fs}$

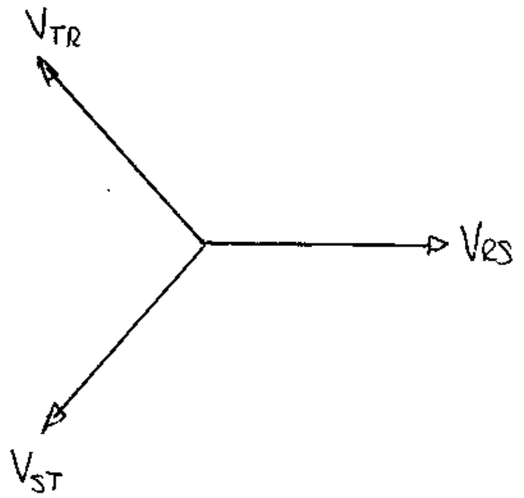
Relación de transformación

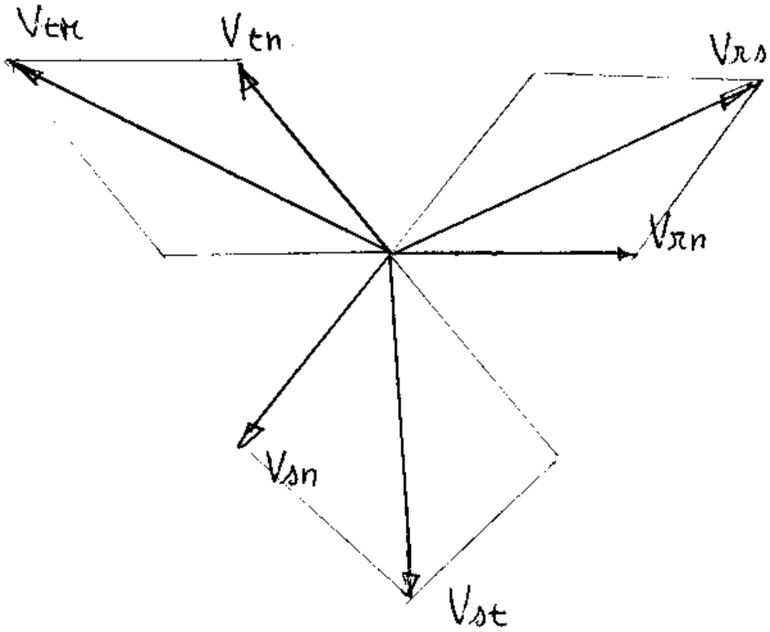
$$\boxed{\frac{V_{Lp}}{V_{Ls}} = \frac{V_{Fp}}{\sqrt{3}\, V_{Fs}} = \frac{a}{\sqrt{3}}}$$

V_{Lp}: Voltaje de línea del primario

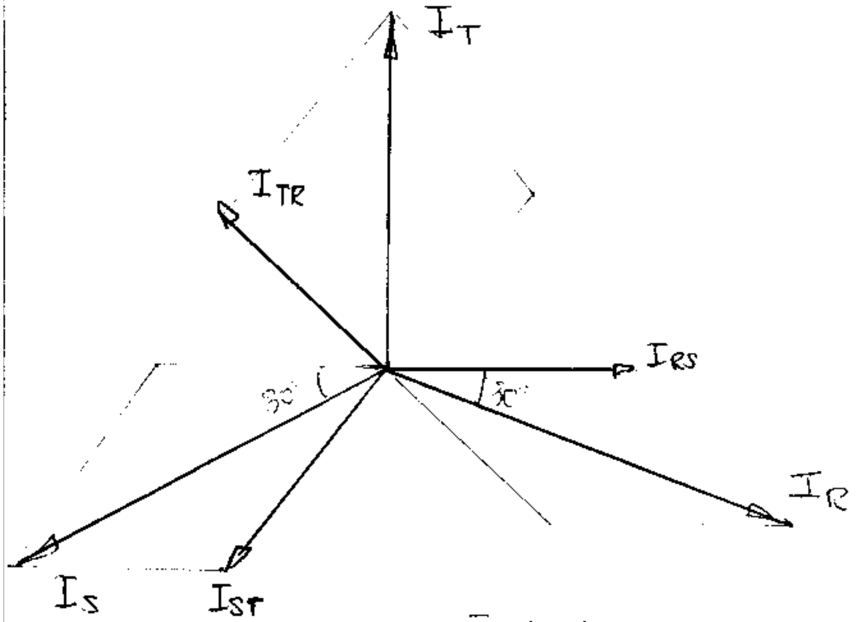
V_{Fp}: Voltaje de fase del primario

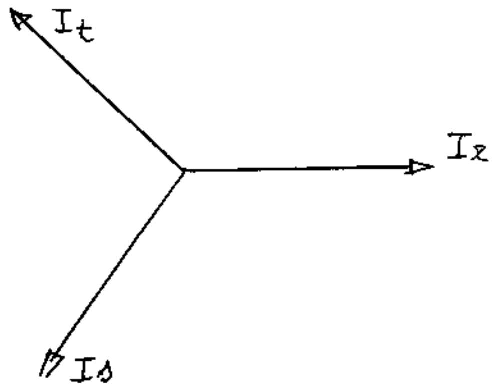
Diagrama fasorial:





$$\bar{V}_{rs} = \frac{\sqrt{3}}{a}\,\bar{V}_{RS}\angle 30^\circ$$

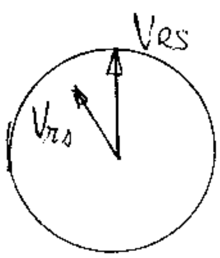




$$\bar{I}_r = \frac{a}{\sqrt{3}}\,\bar{I}_R\angle 30^\circ$$

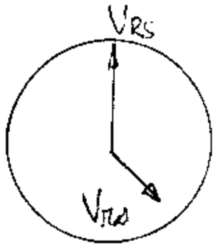
Existe desfasaje entre tensión de línea de primario y secundario de 30°
Igualmente entre corriente de línea de primario y secundario

Grupo de conexión e Índice horario



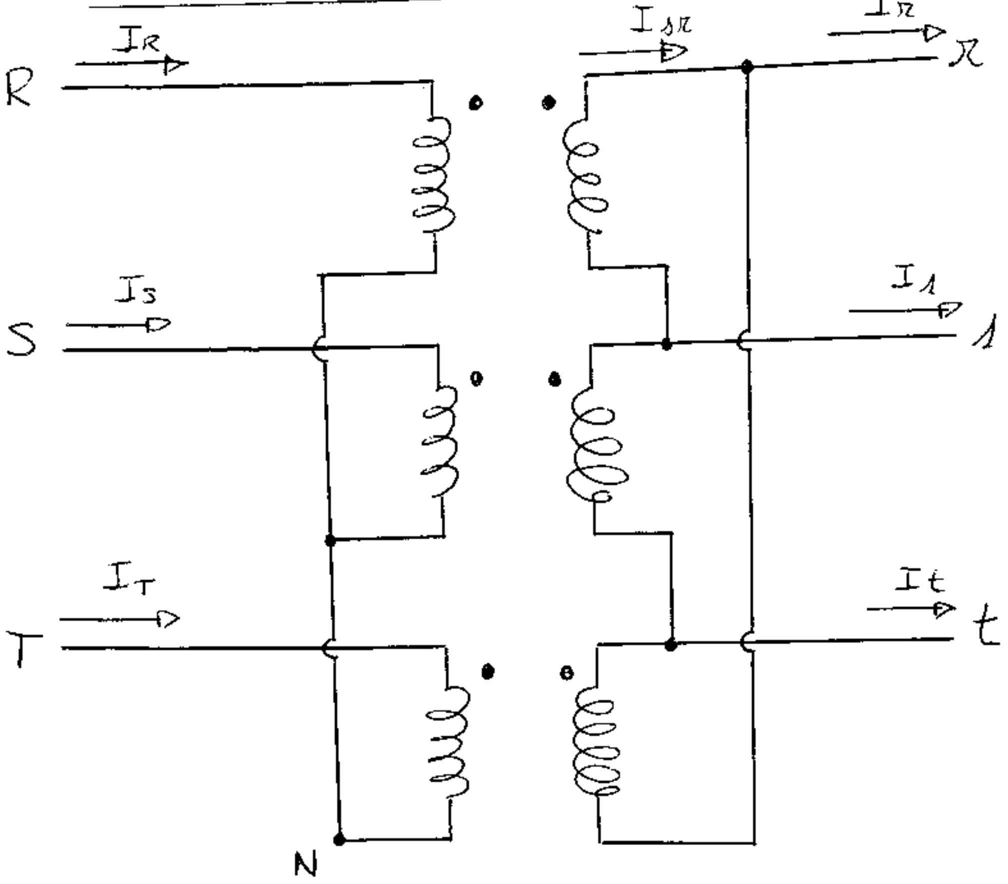
Dy 11

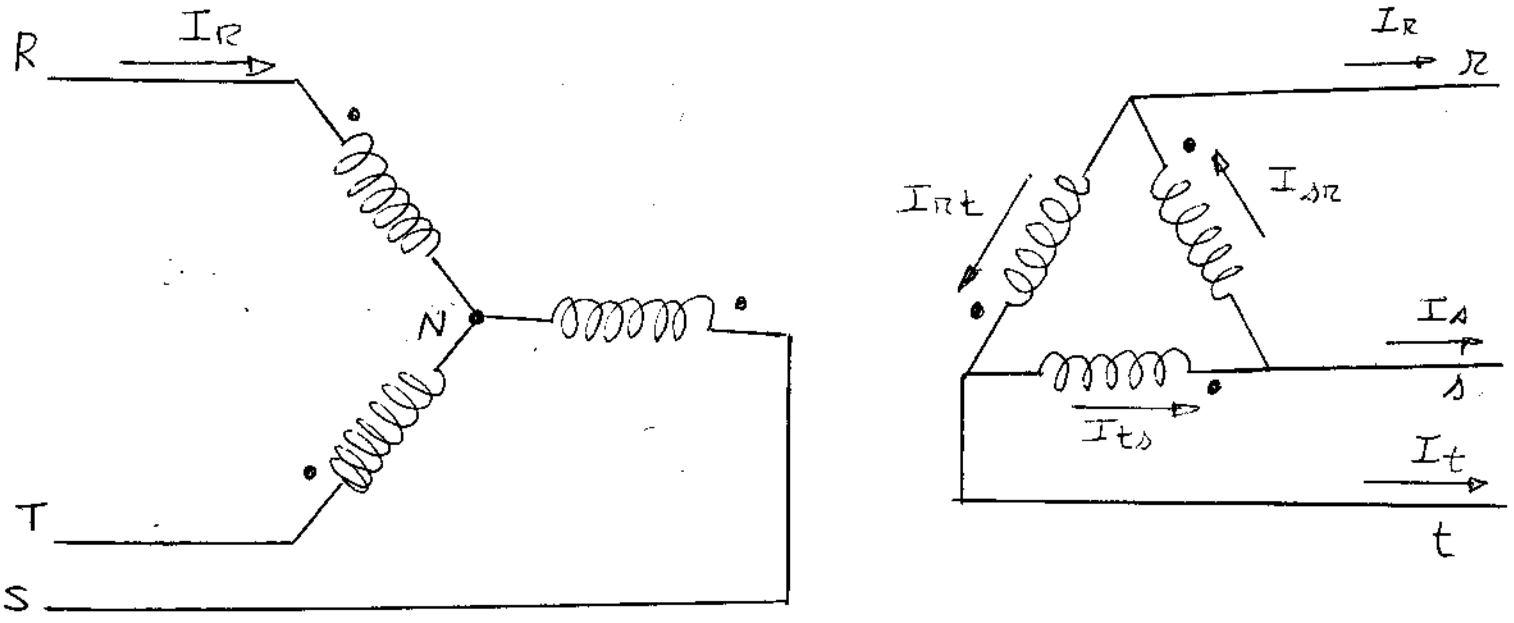
Si se invierte la polaridad del secundari



Dy5

CONEXIÓN ESTRELLA - TRIANGULO (Y-Δ)





Se cumple:

$$V_{LP} = \sqrt{3}\, V_{FP} \qquad V_{LS} = V_{FS}$$

$$I_{LP} = I_{FP} \qquad I_{LS} = \sqrt{3} \cdot I_{FS}$$

Relación de transformación

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{\sqrt{3}\, V_{FP}}{V_{FS}} = \sqrt{3}\, a$$

Diagrama fasorial