ELEMENTOS DE DIMENSIONADO DE UN TRANSFORMADOR.

- Se dan algunos elementos básicos del dimensionado de un transformador monofásico de tipo acorazado, o de 1 columna de un transf. trifásico de 3 columnas.

① $\boxed{S_n = V_n I_n}$ ← valores por fase: nominales

V_n: tensión eficaz aplicada a los bornes de la bobina

I: corriente eficaz nominal que circula por la bobina.

Los valores de S_n son iguales para bobina del primario o del secundario.

② $\boxed{V_n \simeq E_n = 4{,}44\, N f B_{máx} \cdot A_{Fe}}$

Nº espiras de la bobina. frecuencia

Valor cresta de la inducción en el núcleo.

Sección del núcleo de hierro

Los parámetros geométricos relevantes para el diseño del Transf. son:

$$A_{Nu} = \text{Sección del núcleo} = \frac{1}{k_{nu}} \cdot A_{Fe}$$

coef. de "apilamiento" $k_{nu} < 1$; Sección útil de Fe

A_{Ve} = Sección disponible para los bobinados "Sección del cobre"
= área de la "ventana"
$= \frac{1}{k_{Ve}} \cdot A_{Cu}$ ← A_{Cu}: sección utilizada por cobre; $k_{Ve} < 1$: "coef. de llenado"

$$A_p = A_{Nu} \cdot A_{Ve} = \text{"Área producto"} \qquad [A_p] = L^4$$

③ $\boxed{S_n = 4{,}44\, N I f B_{máx} \cdot A_{Fe}}$

Sea s = sección de los alambres de cobre del bobinado

$$J = \frac{I}{s} = \text{densidad de corriente}$$

Si N_1 espiras primario y N_2 espiras secundario

$$\Rightarrow A_{Cu} = N_1 s_1 + N_2 s_2$$
$$= N_1 I_1 \frac{s_1}{I_1} + N_2 I_2 \frac{s_2}{I_2}$$

$$A_{Cu} = \frac{N_1 I_1}{J_1} + \frac{N_2 I_2}{J_2}$$

Pero generalmente se toma $J_1 = J_2$

$N_1 I_1 + N_2 I_2 = \mathcal{R}\varphi \simeq 0$ (Suponiendo Fe de alta permeabilidad $\Rightarrow \mathcal{R} \simeq 0$)

$|N_1 I_1| = |N_2 I_2| = NI$

$$\Rightarrow A_{cu} = 2\,\frac{NI}{J} \qquad \Rightarrow \qquad NI = \frac{A_{cu} \cdot J}{2}$$

$$\Rightarrow \quad S_n = 2{,}22\, f \cdot J \cdot B_{máx} \cdot \underset{k_{ve} \cdot A_{ve}}{\overset{\shortparallel}{A_{cu}}} \cdot \underset{\overbrace{k_{nu} \cdot A_{nu}}}{\overset{\shortparallel}{A_{Fe}}}$$

④ $$\boxed{S_n = 2{,}22\, f \cdot J \cdot B_{máx} \cdot k_{ve} \cdot k_{nu} \cdot A_p}$$

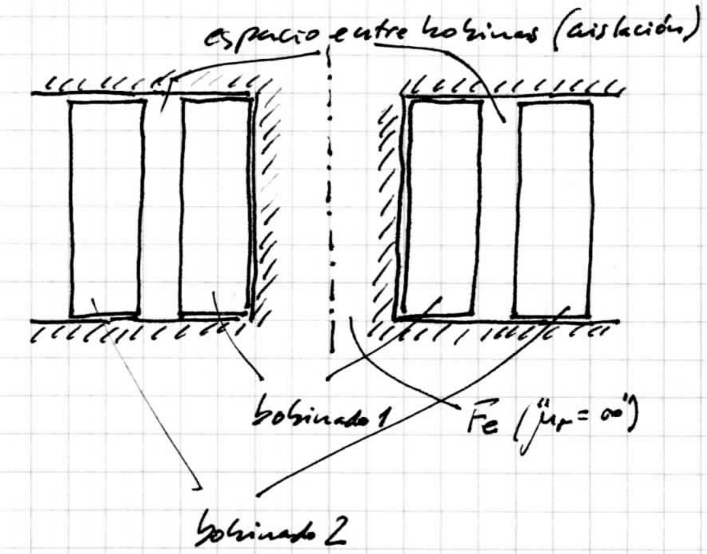
J = densidad de corriente : Val típicos:
3 - 5 $A \cdot mm^{-2}$ Refrig. natural
5 - 10 $A \cdot mm^{-2}$ Refrig. forzada

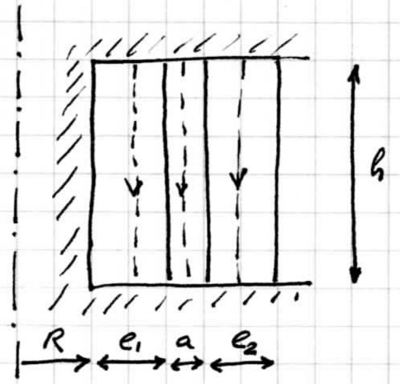
$B_{máx}$: depende del material magnético. (Saturación)
En transf. de potencia (chapas "GOSS") $\simeq$ 1,7 a 1,8 T

Cálculo de la Inductancia de fugas de un transformador

Notas: 1). Se trata de un cálculo aproximado, basado en hipótesis fuertemente simplificativas, y para una geometría particular de núcleo y bobinas.

2) Razonamiento válido para 1 fase de un transformador trifásico (o un transf. monofásico).

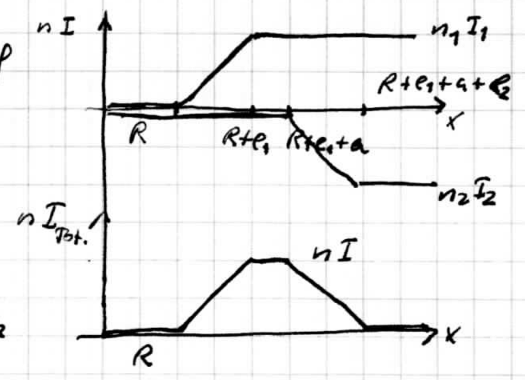




$n_1 I_1 + n_2 I_2 = \mathcal{R}\varphi \overset{\shortparallel}{0}$

$\underbrace{n_1 I_1}_{nI} = - n_2 I_2$

Se admitirá $n_1 = n_2$



Hipótesis:

1) Se supondrá que el flujo de fugas se produce sólo en las "ventanas" del núcleo del transformador

2) El campo $\vec{H}$ (o $\vec{B}$) en las ventanas, correspondiente al flujo de fugas, es un campo axial y uniforme

3) La altura h de los bobinados es igual a la de la ventana y no hay espacios entre la bobina central y el núcleo.
Las bobinas son de espesor e_1 y e_2, separadas entre sí por un espacio a.

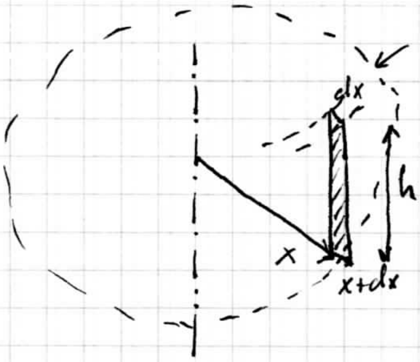
4) Todo el conjunto (núcleo incluido) posee simetría de revolución. La columna del núcleo es cilíndrica de radio R.

5) Se despreciará la reluctancia del núcleo, como si fuese $\mu_{r_{Fe}} = \infty$.

6) $n_1 = n_2$ (simplifica el cálculo)

Como el flujo de fugas es en el aire, (medio lineal), la energía almacenada en el campo de fugas es:

$$\frac{1}{2} l_f I^2 = \frac{1}{2} \int_{Vol} \vec{B} \cdot \vec{H} \, dVol \quad , \text{ con } \vec{B} = \mu_0 \vec{H} \text{ (aire)}$$



Circunferencia de longitud $C(x)$

$$dVol = C(x)\,h\,dx = 2\pi\left(x+\frac{dx}{2}\right)h\,dx = 2\pi h x\,dx + \pi h \underbrace{(dx)^2}_{\ll dx\text{, se desprecia.}}$$

$$dVol \simeq 2\pi h x\,dx$$

$H(x)$ en la ventana

Th. de Ampère: $\quad H(x)\cdot h = n I(x)$

1) $0 \leq x < R \Rightarrow nI(x) = 0 \Rightarrow H(x) = 0$

2) $R \leq x \leq R+e_1 \Rightarrow H(x)\cdot h = \frac{nI}{e_1}(x-R)$ $\rightarrow$ $x=R \rightarrow H=0$; $x = R+e_1 \rightarrow Hh = nI$

3) $R+e_1 \leq x \leq R+e_1+a \Rightarrow H(x)\,h = nI$

4) $R+e_1+a \leq x \leq R+e_1+a+e_2 \Rightarrow H(x)\cdot h = -\frac{nI}{e_2}\left[x-(R+e_1+a+e_2)\right]$

5) $x \geq R+e_1+a+e_2 \Rightarrow H(x) = 0$

$$\frac{1}{2}\int_{Vol}\vec{B}\cdot\vec{H}\,dVol = \frac{1}{2}\mu_0\int_{Vol}H^2\,dVol$$

$$= \frac{1}{2}\mu_0\Bigg[\underbrace{\int_{x=R}^{x=R+e_1}H^2\,dVol}_{\text{I}} + \underbrace{\int_{x=R+e_1}^{x=R+e_1+a}H^2\,dVol}_{\text{II}} + \underbrace{\int_{x=R+e_1+a}^{x=R+e_1+a+e_2}H^2\,dVol}_{\text{III}}\Bigg]$$

I $\quad \frac{1}{2}\mu_0\int_R^{R+e_1}\left(\frac{nI}{e_1 h}\right)^2\underbrace{(x-R)^2}_{u=x-R}\cdot h\,\overbrace{2\pi x}^{C_1 = \text{circunferencia media del bobinado 1}}\,dx \simeq$ $\quad dx = du$

$$\simeq \frac{1}{2}\mu_0\left(\frac{nI}{e_1}\right)^2\frac{1}{h}\int_0^{e_1}C_1 u^2\,du = \boxed{\frac{1}{2}\mu_0\frac{n^2I^2}{h}C_1\frac{e_1}{3}}$$

II $\quad \frac{1}{2}\mu_0\int_{R+e_1}^{R+e_1+a}\left(\frac{nI}{h}\right)^2\cdot\underbrace{2\pi x}_{C_a}\cdot h\,dx \simeq \boxed{\frac{1}{2}\mu_0\frac{n^2I^2}{h}C_a\cdot a}$

C_a = circunferencia media del espacio interbobinas

III $\quad \simeq \frac{1}{2}\mu_0\int_{R+e_1+a}^{R+e_1+a+e_2}\left(-\frac{nI}{e_2 h}\right)^2\underbrace{\left[x-(R+e_1+a+e_2)\right]}_{u}{}^2\,C_2\,h\,dx$

Circunferencia media del bobinado 2

III

$$u = x - (R + e_1 + a + e_2) \quad ; \quad dx = du$$

$$= \frac{1}{2}\mu_0 \frac{n^2 I^2}{e^2 h} c_2 \int_{-e}^{0} u^2 du = \frac{1}{2}\mu_0 \frac{n^2 I^2}{e^2 h} c_2 \left[\frac{u^3}{3}\right]_{-e_2}^{0}$$

$$\boxed{= \frac{1}{2}\mu_0 \frac{n^2 I^2}{h} c_2 \cdot \frac{e_2}{3}}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2} l_f I^2 = \frac{1}{2}\mu_0 \frac{n^2 I^2}{h}\left[\frac{c_1 e_1}{3} + c_a \cdot a + \frac{c_2 e_2}{3}\right]$$

$$\boxed{l_f = \mu_0 \frac{n^2}{h}\left[\frac{c_1 e_1 + c_2 e_2}{3} + c_a \cdot a\right]}$$

$$l_f \nearrow \begin{cases} n \nearrow \\ e_1\ (c_1) \nearrow \\ e_2\ (c_2) \nearrow \\ a\ (c_a) \nearrow \end{cases}$$

$$l_f \searrow \{ h \nearrow$$