PROHIBIDA SU PUBLICACIÓN

TEMA 35

TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS II

35.1. TRANSFORMADOR MONOFÁSICO. CIRCUITO DE KAPP REFERIDO AL PRIMARIO.

Según la hipótesis de Kapp, la intensidad del transformador en vacío $\mathbf{I_v}$ se considera despreciable, cuando el transformador trabaja en carga.

De acuerdo con esta hipótesis la ecuación (34.36) se simplifica, ya que:

$$\bar{I}_1 = \bar{I}'_2 \qquad (35.1)$$

Sustituyendo (35.1) en (34.35) se obtiene:

$$\bar{U}_1 = \bar{U}'_2 + (R_1 + m^2.R_2).\bar{I}_1 + j.(X_1 + m^2.X_2).\bar{I}_1 \qquad (35.2)$$

Haciendo:

$$\left.\begin{aligned} R_{eq_1} &= R_1 + m^2.R_2 \\ X_{eq_1} &= X_1 + m^2.X_2 \end{aligned}\right\} \qquad (35.3)$$

A R_{eq1} y X_{eq1} se les denomina resistencia y reactancia del transformador referidas al primario, respectivamente.

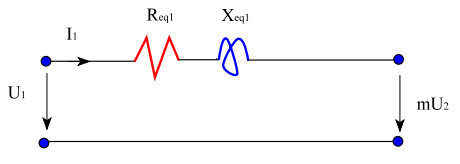


Fig.35.1

De esta forma, la ecuación (35.2) se puede expresar según (35.4).

$$\vec{U}_1 = \vec{U}'_2 + R_{eq_1}.\bar{I}_1 + j.X_{eq_1}.\bar{I}_1 \qquad (35.4)$$

La Fig.35.2 representa el diagrama vectorial de la ecuación (35.4). Ahora bien, dado que la ecuación (35.4) es la que corresponde al circuito de la Fig. 35.1, dicho diagrama representa las tensiones en dicho circuito.

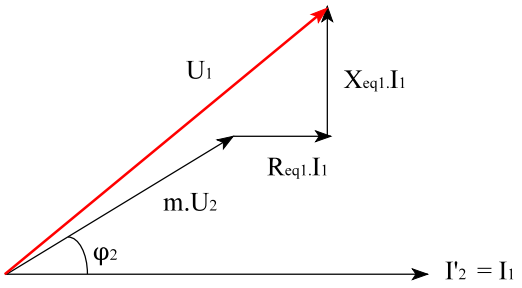


Fig.35.2

35.2. TRANSFORMADOR MONOFÁSICO. CIRCUITO DE KAPP REFERIDO AL SECUNDARIO.

Aplicando la hipótesis de Kapp (intensidad del transformador en vacío $\mathbf{I_v}$, despreciable) la ecuación (34.41) se simplifica según (34.42).

$$\bar{U}'_1 = \bar{U}_2 + (R_2 + \frac{R_1}{m^2}).\bar{I}_2 + j.(X_2 + \frac{X_1}{m^2}).\bar{I}_2 \qquad (35.5)$$

Haciendo:

$$R_{eq_2} = R_2 + \frac{R_1}{m^2} \qquad (35.6)$$

$$X_{eq_2} = X_2 + \frac{X_1}{m^2}$$

A R_{eq2} y X_{eq2} se les denomina resistencia y reactancia del transformador referidas al secundario, respectivamente.

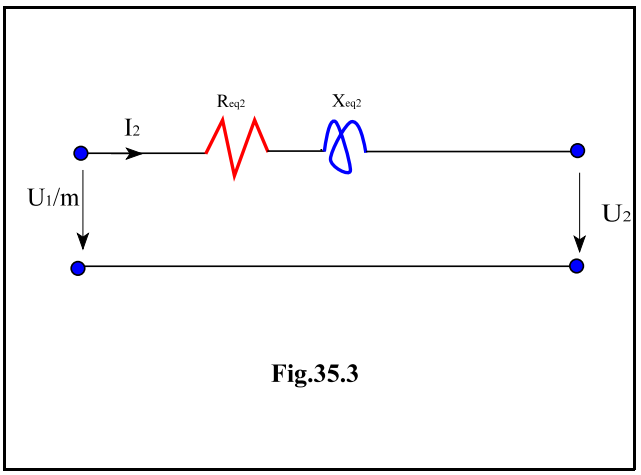


Fig.35.3

De esta forma la ecuación (35.6) se expresa según (35.7).

$$\bar{U}'_1 = \bar{U}_2 + R_{eq_2}.\bar{I}_2 + j.X_{eq_2}.\bar{I}_2 \qquad (35.7)$$

El circuito correspondiente a la ecuación (35.7) se representa en la Fig.35.3.

El diagrama correspondiente queda reflejado en la Fig.35.4

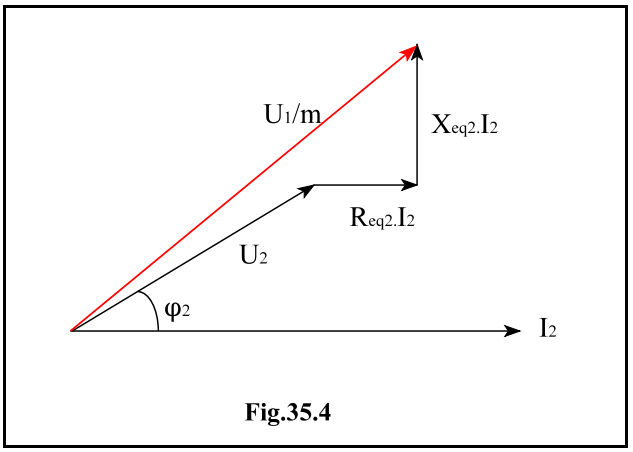


Fig.35.4

35.3. RESISTENCIA, REACTANCIA E IMPEDANCIA POR UNIDAD DE UN TRANSFORMADOR MONOFÁSICO.

Si en el diagrama de Kapp referido al primario, Fig.35,4 le aplicamos una semejanza de razón $\mathbf{1/U_1}$, obtenemos el que se refleja en la Fig.35.5.

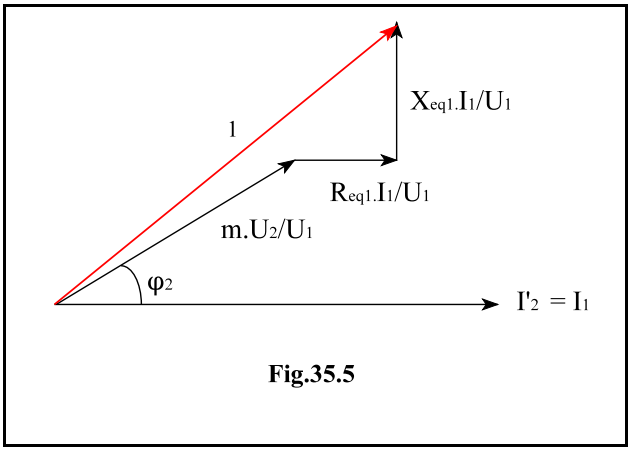


Fig.35.5

De forma análoga, si en el diagrama de Kapp, referido al secundario, la semejanza es de razón $\mathbf{1/U_1/m}$, obtenemos la Fig. 35.6.

Teniendo en cuenta que se verifica:

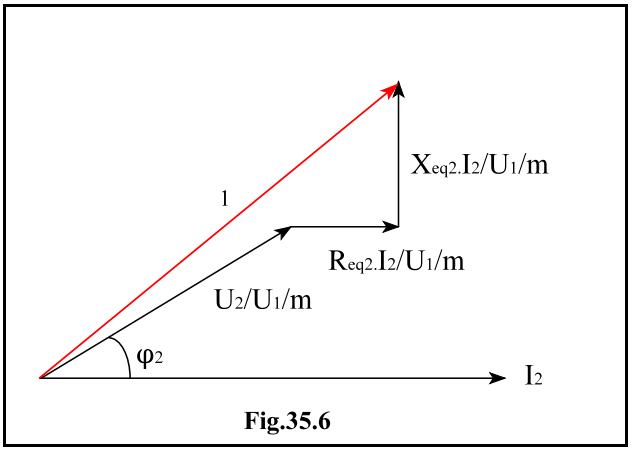


Fig.35.6

$$R_{eq_1} = R_1 + m^2.R_2 = (\frac{R_1}{m^2} + R_2).m^2 = R_{eq_2}.m^2$$

$$X_{eq_1} = X_1 + m^2.X_2 = (\frac{X_1}{m^2} + X_2).m^2 = X_{eq_2}.m^2$$

Se comprueba que ambos diagramas coinciden. En efecto:

$$\left.\begin{aligned} \frac{R_{eq_1}.I_1}{U_1} = \frac{R_{eq_2}.m^2.\frac{I_2}{m}}{U_1} = \frac{R_{eq_2}.I_2}{\frac{U_1}{m}} = R_{pu} \\ \frac{X_{eq_1}.I_1}{U_1} = \frac{X_{eq_2}.m^2.\frac{I_2}{m}}{U_1} = \frac{X_{eq_2}.I_2}{\frac{U_1}{m}} = X_{pu} \end{aligned}\right\} \quad (35.8)$$

$\mathbf{R_{pu}}$ y $\mathbf{X_{pu}}$ se denominan *resistencia y reactancia por unidad*, respectivamente. Se trata de magnitudes adimensionales y tienen el mismo valor, tanto si el transformador está referido al primario como al secundario.

La hipotenusa del triángulo rectángulo cuyos catetos son $\mathbf{R_{pu}}$ y $\mathbf{X_{pu}}$, define la *impedancia por unidad*. En efecto:

$$\left.\begin{aligned} Z_{pu} = \sqrt{R_{pu}^2 + X_{pu}^2} = \frac{I_1}{U_1}\sqrt{R_{eq_1}^2 + X_{eq_1}^2} = \frac{I_1.Z_{eq_1}}{U_1} \\ Z_{pu} = \sqrt{R_{pu}^2 + X_{pu}^2} = \frac{I_2}{\frac{U_1}{m}}\sqrt{R_{eq_2}^2 + X_{eq_2}^2} = \frac{I_2.Z_{eq_2}}{\frac{U_1}{m}} \end{aligned}\right\} \quad (35.9)$$

El triángulo rectángulo de catetos $\mathbf{R_{pu}}$, $\mathbf{X_{pu}}$ e hipotenusa $\mathbf{Z_{pu}}$ se denomina *triángulo de Kapp.*

35.4. CAÍDA DE TENSIÓN. REGULACIÓN DE VOLTAJE.

Si el primario de un transformador monofásico en carga, se conecta a una fuente de tensión $\mathbf{U_1}$, en el secundario aparece una tensión $\mathbf{U_2}$. Se ha definido la relación de transformación **m**, como la relación entre las fuerzas electromotrices de primario y secundario, $\mathbf{E_1}$ y $\mathbf{E_2}$, respectivamente. Ahora bien, $\mathbf{E_1}$ es siempre menor que $\mathbf{U_1}$, ya que existen caídas de tensión en la bobina del primario debido a la resistencia equivalente $\mathbf{R_1}$, y en la reactancia equivalente del

flujo de dispersión $\mathbf{X_1}$. De forma análoga, $\mathbf{E_2}$ es mayor que $\mathbf{U_2}$, ya que lo mismo sucede en el secundario debido a $\mathbf{R_2}$ y $\mathbf{X_2}$. Por tanto en el transformador se ha producido una diferencia de tensiones $\mathbf{U_1/m - U_2}$. Se define *caída de tensión relativa* o *coeficiente de regulación de voltaje*, a la expresión:

$$\rho = \frac{\frac{U_1}{m} - U_2}{\frac{U_1}{m}} = \frac{U_1 - m.U_2}{U_1} = 1 - \frac{m.U_2}{U_1} \qquad (35.10)$$

Como puede apreciarse en (35.10), el coeficiente de regulación de voltaje, es la diferencia de potencial relativa, correspondiente al diagrama de Kapp referido: al primario, al secundario o al unificado. En consecuencia la expresión (35.10) viene dada en tanto por uno.

El cálculo de ρ se puede hacer a partir del diagrama unificado.

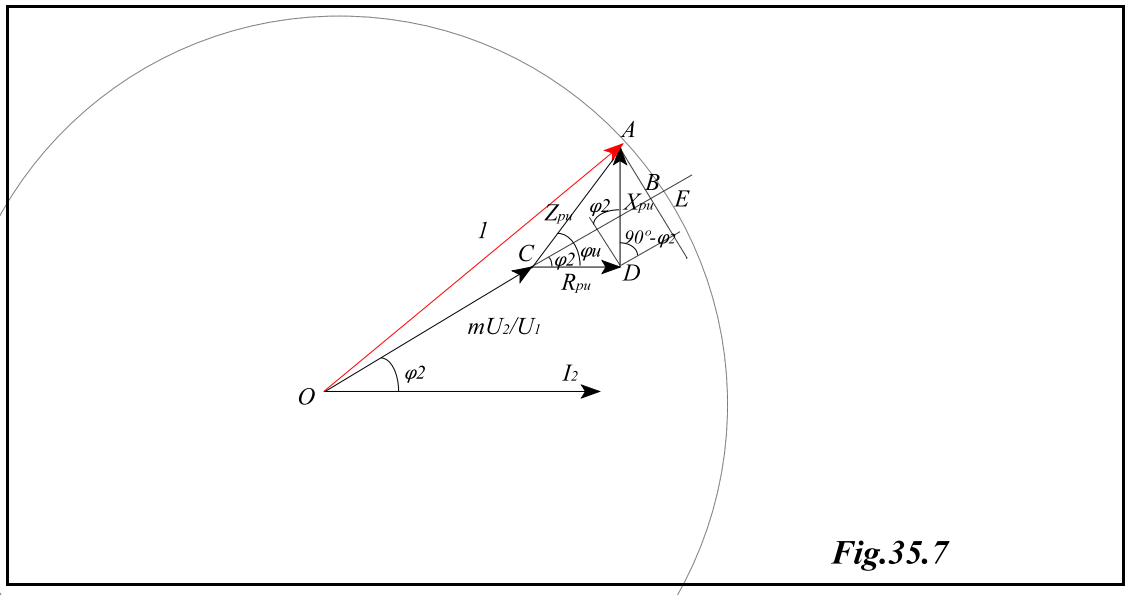


Fig.35.7

Tomando $\mathbf{mU_2/U_1}$ como origen de fases, resulta:

$$\frac{m.\overline{U}_2}{U_1} = \frac{m.U_2}{U_1}\angle 0^o$$

$$\overline{R}_{pu} = R_{pu}\angle -\varphi_2 \qquad (35.11)$$

$$\overline{X}_{pu} = X_{pu}\angle 90^o - \varphi_2$$

Si en la Fig 35.7, se traza un arco de circunferencia con centro en **O** y radio **OA**, se verifica:

$$\rho = OE - OC \quad ; \quad OE = OA \tag{35.12}$$

Para calcular ρ, se empieza por determinar **OA**.

$$\overline{OA} = \overline{OC} + \overline{CA} \tag{35.13}$$

Pero se acuerdo con (35.12), el módulo de **OE** es igual al módulo de **OA**.

$$\overline{OA} = \overline{OC} + \overline{CD} + \overline{DA}$$

$$\overline{OA} = \frac{m.\overline{U}_2}{U_1} + \overline{R}_{pu} + \overline{X}_{pu} \tag{35.14}$$

$$\overline{OA} = \frac{m.U_2}{U_1}\angle 0^o + R_{pu}\angle -\varphi_2 + X_{pu}\angle 90^o - \varphi_2 \tag{35.15}$$

El módulo de **OA** vale:

$$|\overline{OA}| = \sqrt{(\frac{m.U_2}{U_1} + R_{pu}.\cos\varphi_2 + X_{pu}.sen\varphi_2)^2 + (-R_{pu}.sen\varphi_2 + X_{pu}.\cos\varphi_2)^2} \tag{35.16}$$

En consecuencia, la regulación de voltaje valdrá:

$$\rho = \sqrt{(\frac{m.U_2}{U_1} + R_{pu}.\cos\varphi_2 + X_{pu}.sen\varphi_2)^2 + (X_{pu}.\cos\varphi_2 - R_{pu}.sen\varphi_2)^2} - \frac{m.U_2}{U_1} \tag{35.17}$$

En transformadores con potencias menores de 1.000 kVA, se puede utilizar la fórmula aproximada:

$$\rho_{aprox} = R_{pu}.\cos\varphi_2 + X_{pu}.sen\varphi_2 \tag{35.18}$$

Que se obtiene despreciando en (35.17) el sumando:

$$[X_{pu}.\cos\varphi_2 - R_{pu}.sen\varphi_2]^2 \quad \text{frente a} \quad [\frac{m.U_2}{U_1} + R_{pu}.\cos\varphi_2 + X_{pu}.sen\varphi_2]^2$$

Otra forma de determinar la regulación de voltaje, es a partir de la impedancia por unidad. En efecto, en la Fig.35.7 se verifica:

$$\overline{CA} = \overline{Z}_{pu} \tag{35.19}$$

Siendo:

$$\overline{Z}_{pu} = Z_{pu} \angle \varphi_u - \varphi_2 \qquad (35.20)$$

Según se desprende de la citada figura.

$$\overline{OA} = \overline{OC} + \overline{CA} \qquad (35.21)$$

Por tanto:

$$\overline{OA} = \frac{m.\overline{U}_2}{U_1} + \overline{Z}_{pu} \qquad (35.22)$$

Cuyo módulo es:

$$|\overline{OA}| = \sqrt{[\frac{m.U_2}{U_1} + Z_{pu}.\cos(\varphi_u - \varphi_2)]^2 + [Z_{pu}.sen(\varphi_u - \varphi_2)]^2} \qquad (35.23)$$

La regulación de voltaje será:

$$\rho = \sqrt{[\frac{m.U_2}{U_1} + Z_{pu}.\cos(\varphi_u - \varphi_2)]^2 + [Z_{pu}.sen(\varphi_u - \varphi_2]^2} - \frac{m.U_2}{U_1} \qquad (35.24)$$

Y despreciando el segundo sumando de la raíz frente al primero, cosa que puede hacerse en transformadores de menos de 1.000 kVA, resulta:

$$\rho_{aprox} = \frac{m.U_2}{U_1} + Z_{pu}.\cos(\varphi_u - \varphi_2) - \frac{m.U_2}{U_1} = Z_{pu}.\cos(\varphi_u - \varphi_2) \qquad (35.25)$$

Operando (35.25), resulta:

$$\rho_{aprox} = Z_{pu}.(\cos\varphi_u.\cos\varphi_2 + sen\varphi_u.sen\varphi_2) = R_{pu}.\cos\varphi_2 + X_{pu}.sen\varphi_2 \qquad (35.26)$$

35.5. DETERMINACIÓN DE LA REGULACIÓN DE UN TRANSFORMADOR MONOFÁSICO.

En cualquier caso, si se tiene en cuenta que la resistencia y la reactancia por unidad dependen de la intensidad de carga, la regulación dependerá del estado de carga del transformador.

La determinación de la regulación de un transformador monofásico, se hace a partir del diagrama de Kapp. Para resolver el diagrama de Kapp es preciso conocer $\mathbf{R_{pu}}$, $\mathbf{X_{pu}}$ y **m**.

A continuación se indican los procedimientos para estas determinaciones.

35.5.1 DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN.

Se hace un ensayo del transformador en vacío, es decir, se deja abierto el secundario, y se alimenta el primario con la tensión nominal $\mathbf{U_1}$. Se coloca en el secundario un voltímetro, con el que se mide $\mathbf{U_2}$.

Teniendo en cuenta que en vacío los valores de tensiones y las fuerzas electromotrices son prácticamente iguales; tanto en el primario como en el secundario, el valor de **m** será:

$$m = \frac{U_1}{U_2} \qquad (35.27)$$

35.5.2 DETERMINACIÓN DE LA REGULACIÓN DE VOLTAJE.

Se comienza con un ensayo en cortocircuito, para lo cual se conecta el secundario a un amperímetro.

Se aplica al primario una tensión $\mathbf{U_{1cc}}$, hasta alcanzar en el secundario la intensidad que se desee, $\mathbf{I_{2cc}}$.

Como en cortocircuito $\mathbf{U_2}$ es nulo, el diagrama de Kapp se convierte en el triángulo de Kapp, Fig 35.8.

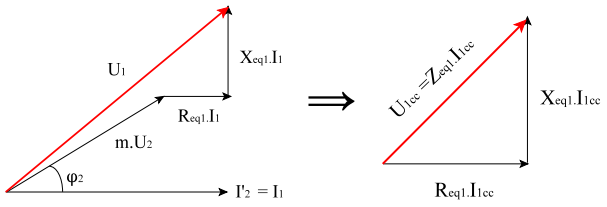


Fig.35.8

En general $\mathbf{R_{eq1}}$ es conocida, a partir de las medidas directas que se pueden hacer para conocer las resistencias equivalentes de bobinas de primario y secundario. Por otra parte, conocemos **m** del ensayo en vacío.

Del triángulo de Kapp, Fig.35.8, se obtiene el valor de $\mathbf{X_{eq1}}$.

$$X_{eq1} = \frac{1}{I_{1cc}} \sqrt{U_{1cc}^{\,2} - (R_{eq_1}.I_{1cc})^2} \qquad (35.28)$$

Si en vez de utilizar el diagrama del transformador referido al primario, hubiésemos utilizado el correspondiente al secundario, Fig.35.9, el valor de la reactancia equivalente de los flujos de dispersión en las bobinas de primario y secundario sería (35.29):

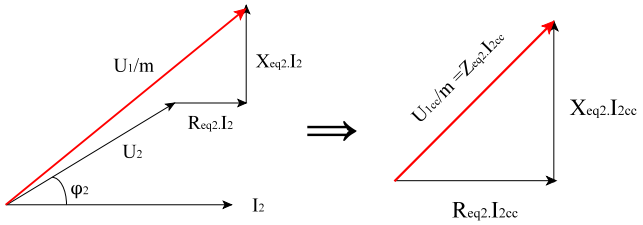


Fig.35.9

$$X_{eq_2} = \frac{1}{I_{2cc}}\sqrt{(\frac{U_{1cc}}{m})^2 - (R_{eq_2}.I_{2cc})^2} \qquad (35.29)$$

Si la intensidad que se ha elegido para realizar este ensayo, coincide con la que toma el transformador trabajando a plena carga, la hipotenusa del triángulo de Kapp para el ensayo en cortocircuito coincide con la del diagrama de Kapp correspondiente al régimen de carga. Por tanto:

$$Z_{eq_1}.I_1 = U_{1cc} \quad y \quad Z_{eq_2}.I_2 = \frac{U_{1cc}}{m} \qquad (35.30)$$

Si no fuese así, habría que determinar la razón de semejanza entre ambas figuras.

A partir de los datos anteriores, obtenemos los valores de $\mathbf{R_{pu}}$ y $\mathbf{X_{pu}}$ para el régimen de carga dado ($\mathbf{I_1}$ o $\mathbf{I_2}$).

$$R_{pu} = \frac{R_{eq_1}.I_1}{U_1} \quad o \quad R_{pu} = \frac{R_{eq_2}.I_2}{\frac{U_1}{m}} \qquad (35.31)$$

$$X_{pu} = \frac{X_{eq_1}.I_1}{U_1} \quad o \quad X_{pu} = \frac{X_{eq_2}.I_2}{\frac{U_1}{m}} \qquad (35.32)$$

Con estos datos obtenemos la regulación, para un receptor determinado (**cos** φ_2), a partir de las ecuaciones (35.24) o (35.26), según se trate de un transformador de más o de menos de 1.000 kVA.

Si ρ_n es el coeficiente de regulación del transformador que se ha obtenido a plena carga, $\mathbf{I_{2n}}$, el correspondiente a otra carga distinta, $\mathbf{I_2}$, se obtiene introduciendo el concepto de *índice*

de carga, definido como la relación entre la intensidad que cede el transformador a una carga determinada y la suministrada a plena carga, es decir:

$$C = \frac{I_2}{I_{2n}} \tag{35.33}$$

En consecuencia, el coeficiente de regulación, para transformadores menor de 1.000 kVA será:

$$\rho_{aprox} = C.(R_{pu}.\cos\varphi_2 + X_{pu}.sen\varphi_2)_n = C.\rho_n \tag{35.34}$$

35.6. PÉRDIDAS DE POTENCIA EN UN TRANSFORMADOR MONOFÁSICO. RENDIMIENTO.

Las pérdidas de un transformador en carga son las debidas al efecto Joule en las bobinas, y las producidas por histéresis y Foucault en el núcleo de hierro. Las primeras se denominan *pérdidas en el cobre* y las segundas *pérdidas en el hierro.*

Las pérdidas en el hierro son las mismas, tanto esté el transformador trabajando en vacío o en carga.

En consecuencia, las pérdidas totales son:

$$P_T = P_{Fe} + P_{cu} \tag{35.35}$$

Ahora bien:

$$P_{cu} = I_1^2.R_1 + I_2^2.R_2 = I_1^2.R_1 + I_1^2.m^2.R_2 = I_1^2.(R_1 + m^2.R_2) = I_1^2.R_{eq_1} \tag{35.36}$$

Se define rendimiento de un transformador a la relación:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \tag{35.37}$$

Siendo:

P_1 = Potencia absorbida por el primario.
P_2 = Potencia cedida por el secundario.

$$P_1 = U_1.I_1.\cos\varphi_1 \quad ; \quad P_2 = U_2.I_2.\cos\varphi_2 \tag{35.38}$$

Pero:

$$P_2 = P_1 - P_{Fe} - I_1^2.R_1 - I_2^2.R_2 = P_1 - P_{Fe} - I_1^2.R_{eq_1} \quad (35.39)$$

Siendo $\mathbf{P_{Fe}}$ las pérdidas en el hierro.

Por tanto (35.37) se puede expresar como:

$$\eta = \frac{P_1 - P_{Fe} - I_1^2.R_{eq_1}}{P_1} = 1 - \frac{P_{Fe} + I_1^2.R_{eq_1}}{U_1.I_1.\cos\varphi_1} \quad (35.40)$$

El rendimiento será máximo cuando:

$\frac{P_{Fe} + I_1^2.R_{eq_1}}{U_1.I_1.\cos\varphi_1}$ sea mínimo, es decir:

$\frac{1}{U_1.\cos\varphi_1}.[\frac{P_{Fe}}{I_1} + I_1.R_{eq_1}]$ sea mínimo.

Para $\mathbf{U_1}$ constante, y un receptor determinado (cos φ_1 = constante), tendrá que ser mínima la expresión:

$$\frac{P_{Fe}}{I_1} + I_1.R_{eq_1} \quad (35.41)$$

Ahora bien, el producto de los dos sumandos de (35.41) es constante. En efecto:

$$(\frac{P_{Fe}}{I_1}).I_1.R_{eq_1} = P_{Fe}.R_{eq_1} \quad (35.42)$$

Por tanto será mínimo (35.41) cuando los dos sumandos sean iguales, es decir cuando:

$$\frac{P_{Fe}}{I_1} = I_1.R_{eq_1} \quad (35.43)$$

Operando (35.43), resulta:

$$P_{Fe} = I_1^2.R_{eq_1} \quad (35.44)$$

En definitiva, el rendimiento de un transformador a una tensión $\mathbf{U_1}$ y factor de potencia determinado es máximo, *cuando la potencia perdida en el hierro es igual a la potencia perdida en el cobre.*

En la Fig.35.10 se representan las curvas de rendimiento de un transformador, para distintos factores de potencia. En todas ellas, el rendimiento máximo se obtiene para la misma abscisa, correspondiente a un valor comprendido entre ½ y ¾ del valor $\mathbf{P_{carga}/P_{nominal}}$.

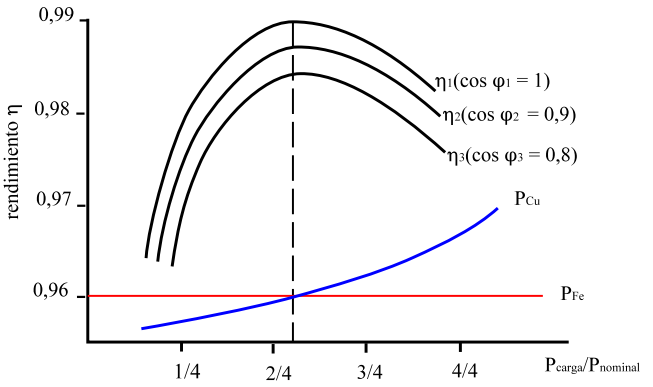


Fig.35.10

35.7. BALANCE ENERGÉTICO DEL TRANSFORMADOR MONOFÁSICO.

El balance energético del transformador monofásico se puede obtener a partir de las ecuaciones (34.28).

La potencia que entra en el primario de un transformador se define por la expresión:

$$\bar{S}_1 = P_1 + j.Q_1 = \bar{U}_1.\bar{I}_1^* \qquad (35.45)$$

Sustituyendo en la expresión anterior $\mathbf{U}_1$ por su valor según la primera ecuación de (34.28), resulta:

$$\bar{S}_1 = (-\bar{E}_1 + R_1.\bar{I}_1 + j.X_1.\bar{I}_1).\bar{I}_1^* = -\bar{E}_1.\bar{I}_1^* + R_1.I_1^2 + j.X_1.I_1^2 \qquad (35.46)$$

Ahora bien, sabemos que se verifica:

$$\bar{I}_1 = \bar{I}_v + \bar{I}'_2 \qquad (35.47)$$

En consecuencia:

$$\bar{I}_1^* = \bar{I}_v^* + \bar{I}'^*_2 \qquad (35.48)$$

Por tanto, se cumple:

$$-\bar{E}_1.\bar{I}_1^* = -\bar{E}_1.(\bar{I}_v^* + \bar{I}'^*_2) \qquad (35.49)$$

$$-\bar{E}_1.\bar{I}'^*_2 = \frac{\bar{E}_1.\bar{I}_2^*}{m} \qquad (35.50)$$

$$\bar{E}_2 = \frac{\bar{E}_1}{m} \tag{35.51}$$

Sustituyendo (35.51) en (35.50), resulta:

$$\frac{\bar{E}_1.\bar{I}_2^*}{m} = \bar{E}_2.\bar{I}_2^* \tag{35.52}$$

Si en (35.52) sustituimos $\bar{E}_2$ por la segunda expresión de (34.28), resulta:

$$\bar{E}_2.\bar{I}_2^* = \bar{U}_2.\bar{I}_2^* + R_2.I_2^2 + j.X_2.I_2^2 \tag{35.53}$$

También sabemos que se verifica:

$$\bar{I}_v = I_r + j.I_a \tag{35.54}$$

Por tanto:

$$\bar{I}_v^* = I_r - j.I_a$$

En consecuencia:

$$-\bar{E}_1.\bar{I}_v^* = j.E_1.(I_r - j.I_a) = j.E_1.I_r + E_1.I_a \tag{35.55}$$

Además, la potencia aparente que absorben los receptores conectados al secundario del transformador es:

$$\bar{S}_2 = \bar{U}_2.\bar{I}_2^* = P_2 + j.Q_2 \tag{35.56}$$

Sustituyendo (35.53) y (35.55) en (35.46), resulta:

$$\bar{S}_1 = \bar{U}_2.\bar{I}_2^* + R_2.I_2^2 + j.X_2.I_2^2 + j.E_1.I_r + E_1.I_a + R_1.I_1^2 + j.X_1.I_1^2 \tag{35.57}$$

Sustituyendo en (35.57) (35.56), resulta:

$$\bar{S}_1 = R_1.I_1^2 + R_2.I_2^2 + E_1.I_a + P_2 + j.(X_1.I_1^2 + X_2.I_2^2 + E_1.I_r + Q_2) \tag{35.58}$$

De acuerdo con (35.45) se verifica:

$$\left.\begin{aligned} P_1 &= R_1.I_1^2 + R_2.I_2^2 + E_1.I_a + P_2 \\ Q_1 &= X_1.I_1^2 + X_2.I_2^2 + E_1.I_r + Q_2 \end{aligned}\right\} \tag{35.59}$$

En consecuencia,

La potencia activa que absorbe el conjunto **P_1,** se distribuye de la siguiente forma:

$R_1.I_1^2$ Potencia perdida por Joule en el primario.
$R_2.I_2^2$ Potencia perdida por Joule en el secundario.
$E_1.I_a$ Potencia perdida por histéresis y Foucault en el núcleo ferromagnético.
P_2 Potencia activa absorbida por el receptor conectado al secundario.

La potencia reactiva que absorbe el conjunto **Q_1,** se distribuye de la siguiente forma:

$X_1.I_1^2$ Potencia reactiva equivalente al flujo de dispersión en las bobinas del primario.
$X_2.I_2^2$ Potencia reactiva equivalente al flujo de dispersión en las bobinas del secundario.
$E_1.I_r$ Potencia reactiva equivalente al flujo en el núcleo ferromagnético.
Q_2 Potencia reactiva que toma el receptor conectado al secundario.