

## Transformador Monofásico [de Isolamento]

### ***Determinação do rendimento para a carga nominal***

Curva característica do rendimento  $\eta = f(S_2)$ , para vários factores de potência

#### *1 - Informação Geral*

A potência indicada na placa de características do transformador é a máxima potência que pode ser fornecida pelo lado de saída do transformador. Porque o tipo de carga pode variar, esta é normalmente indicada em potência aparente, (em VA).

(De acordo com as normas DIN, a potência aparente e a potência reactiva podem também ser indicadas em Watt.)

Como em todos os casos de conversão de energia, também ocorrem perdas nos transformadores.

O rendimento é definido como sendo uma relação entre duas potências activas. Nos transformadores, as perdas de energia a considerar, ocorrem nos enrolamentos — perdas no cobre — e no núcleo de ferro — perdas no ferro por histerese e por correntes de Foucault (Eddy) - ver fig. 2.

		Fabricante			
Modelo	Nº.		Ano de Fabrico	1990	
Potência Nominal	KVA	16	Tipo	LT	Frequência Hz
Tensão Nominal	V	6000	230	Operação	S1
Corrente Nominal	A	2,8	70	Comutação	li0
Tensão de Impedância	%	4,5	Corrente de Curto-Circuito	KA	

Fig. 1 - Placa de características do transformador

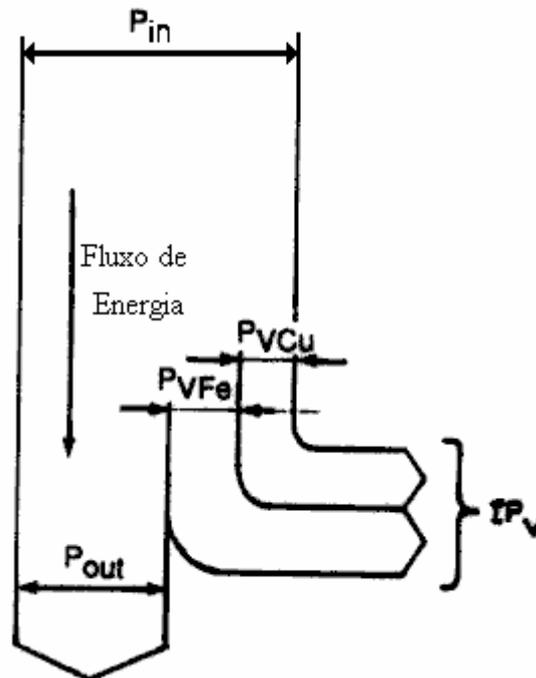


Fig. 2 - Potência activa que flui pelo transformador

As seguintes equações servem para calcular o rendimento:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

ou

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{VFe} + P_{VCu}}$$

$\eta$ = Rendimento $P_{in}$ = Potência de entrada em W $P_{out}$ = Potência de saída em W $P_{VCu}$ = Perdas no cobre (enrolamentos) em W $P_{VFe}$ = Perdas no Ferro em W (por histerese e correntes de Foucault)
---

Frequentemente o rendimento é indicado em percentagem. Assim, a equação acima deve ser multiplicada por 100%.

## 2. - Determinação directa do rendimento

O rendimento pode ser determinado pela medida da potência activa que é fornecida, e pela potência activa à saída do transformador.

Devido ao facto do rendimento ser muito elevado nos grandes transformadores, não existe diferença significativa entre a potência activa aplicada ao transformador e a fornecida por este.

Neste caso o método directo não é o mais eficiente e exacto (ver fig. 3).

No caso seguinte, as perdas de energia no transformador são determinadas directamente.

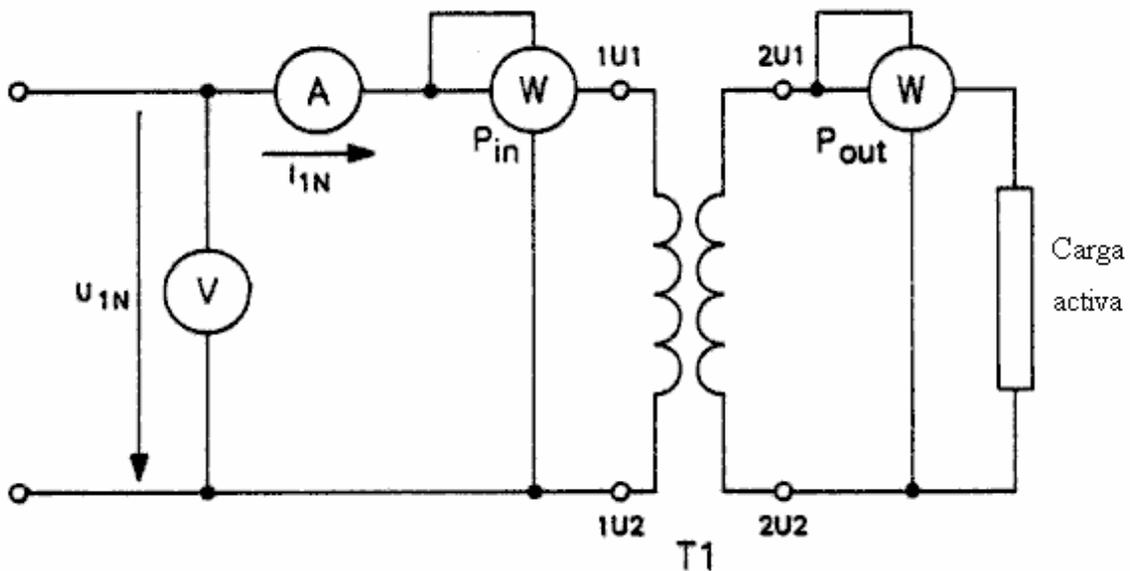


Fig. 3 - Determinação do rendimento, medindo a potência nominal de entrada e saída.

Potência Nominal	Rendimento $\eta$
100 W	0,88
1 KW	0,92
10 KW	0,96
100 KW	0,97
1000 KW – 1 MW	0,98
10000 KW – 10MW	0,99

Fig. 4 - Tabela com os vários rendimentos do transformador em plena carga.

### 3. - Determinação do rendimento através da medida das perdas de energia

Quando o transformador está a funcionar em vazio, não existe corrente no secundário e não há perdas no cobre deste enrolamento. A corrente em vazio no primário é muito reduzida o que leva a que as perdas no cobre possam ser desprezadas. Portanto, a potência activa mensurável em vazio representa a potência dissipada no núcleo de ferro - ver fig. 5.

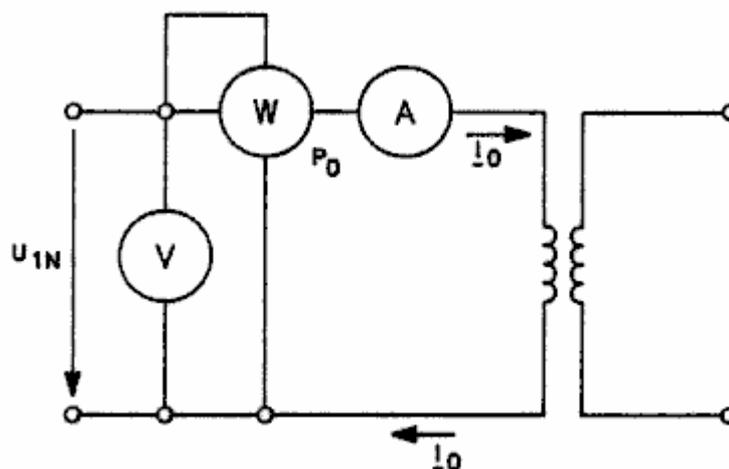


Fig. 5 - Ensaio em vazio para determinar as perdas no ferro

Na medida da tensão de curto-circuito já descrita, circulam as correntes nominais estando o transformador alimentado a tensão reduzida. O fluxo magnético é muito pequeno devido ao facto das tensões serem pequenas. Praticamente não se produzindo perdas no ferro. Deste modo a potência activa consumida durante o ensaio de curto-circuito, representa as perdas no cobre do transformador - ver fig. 6.

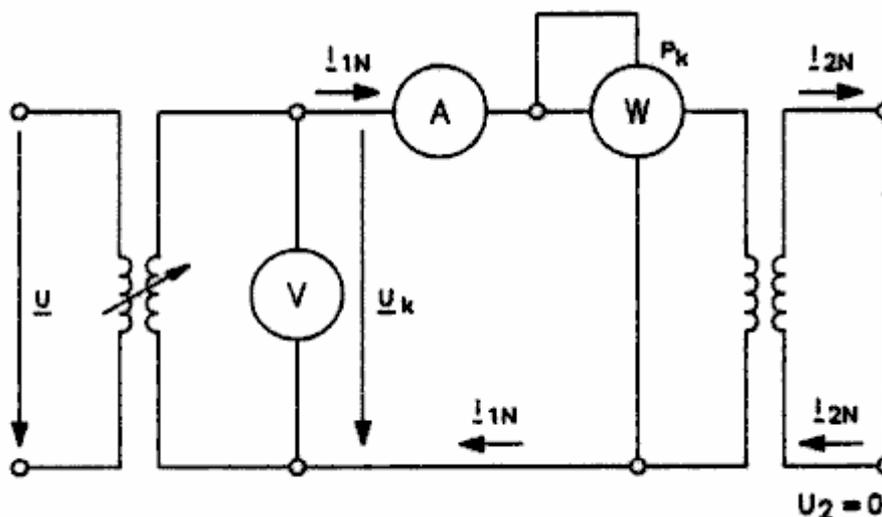


Fig. 6 - Ensaio em curto-circuito para determinar as perdas no cobre

O ensaio em curto-circuito é também um método experimental para determinar a resistência, reactância e impedância equivalentes do transformador. Neste teste circulam as correntes nominais sem o transformador alimentar nenhuma carga, o que permite simular o padrão de fugas de fluxo no primário e secundário já que dependem das correntes nos dois enrolamentos.

A partir da informação obtida de potência, correntes e tensões, podem-se calcular os referidos valores de resistência, reactância e impedância utilizando as seguintes equações:

$$R_{cc} = \frac{P_{cc}}{I_{cc}^2}$$

$$Z_{cc} = \frac{U_{cc}}{I_{cc}}$$

$$X_{cc} = \sqrt{Z_{cc}^2 - R_{cc}^2}$$

Em que:

$R_{cc}$  = Resistência equivalente

$P_{cc}$  = Potência de curto-circuito

$I_{cc}$  = Intensidade no ensaio de curto-circuito  
(normalmente a intensidade nominal)

$Z_{cc}$  = Impedância equivalente

$U_{cc}$  = Tensão de curto-circuito

$X_{cc}$  = Reactância equivalente

A **Regulação de tensão** –  $\epsilon_c(\%)$  ou “ $\epsilon$ ” – é uma figura de mérito do transformador e normalmente expressa-se em percentagem. Todavia, frequentemente é impraticável, senão mesmo impossível colocar um transformador à plena carga para determinar a sua regulação de tensão. Este facto não representa qualquer problema se estiverem disponíveis os resultados do ensaio em curto-circuito, já que a partir deles se pode obter o circuito equivalente reduzido ao primário ou ao secundário, permitindo o cálculo do respectivo valor.

$$\epsilon_c(\%) = C \cdot [\epsilon_{RCC} \cdot \cos\phi + \epsilon_{XCC} \cdot \text{Sen}\phi] \quad \epsilon_c(\%) = \frac{U_{2n} - U_{2c}}{U_{2n}}$$

#### 4. - Curva do rendimento

O fluxo magnético no núcleo de ferro do transformador é independente da carga e é aproximadamente constante. Por conseguinte, as perdas no ferro também são constantes. Contrariamente as perdas nos enrolamentos aumentam com o quadrado da corrente e com a carga. O rendimento do transformador varia com a carga - ver fig. 7.

A energia de perdas no transformador depende da corrente de carga, que por seu turno, depende da potência aparente que está a ser solicitada.

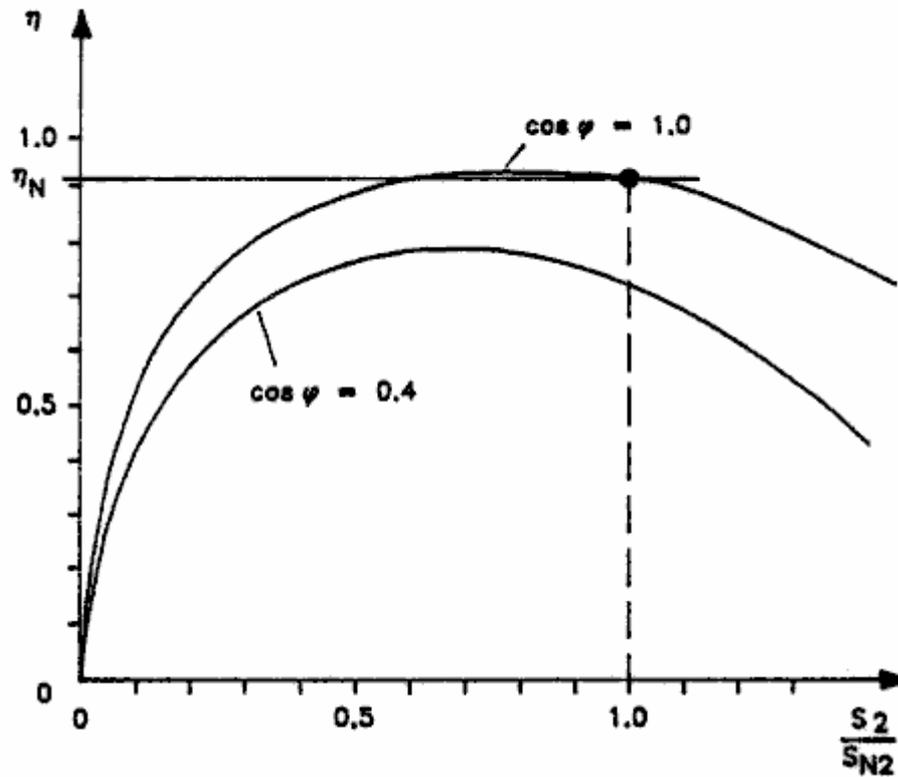


Fig. 7 - O rendimento do transformador como uma função da carga e do factor de potência.

$$\eta = \frac{S_N \cdot \cos \varphi}{S_N \cdot \cos \varphi + P_{VFe} + P_{VCu}}$$

Como resultado, o rendimento não é apenas dependente da carga, mas depende ainda do factor de potência - ver fig. 7.