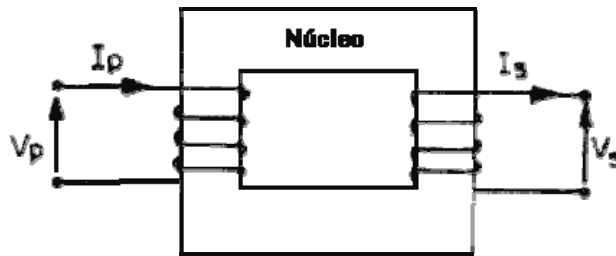


# TRANSFORMADOR

O transformador é constituído basicamente por dois enrolamentos que, utilizando um núcleo em comum, converte primeiramente energia elétrica em magnética e a seguir energia magnética em elétrica. O seu princípio de funcionamento baseia-se no fenômeno da **indução eletromagnética**, ou seja, em um enrolamento a tensão variável aplicada origina uma corrente, que por sua vez, cria um campo magnético variável, induzindo uma corrente e conseqüentemente uma tensão no outro enrolamento próximo.



A figura 1 mostra o esquema de um transformador básico.

Notamos pela figura, que o transformador possui em **enrolamento primário** onde é aplicada a tensão a ser convertida ( $V_p$ ), e um **enrolamento secundário** onde é retirada a tensão de saída ( $V_s$ ).

Cada enrolamento é composto por um determinado número de espiras responsáveis pela relação de conversão, ou seja, a tensão de saída será proporcional à relação do número de espiras e ao valor de tensão de entrada. Assim sendo, podemos escrever a relação:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

Onde:  $V_p$  = tensão do primário  
 $V_s$  = tensão do secundário  
 $N_p$  = número de espiras do primário  
 $N_s$  = número de espiras do secundário

Em um **transformador ideal** a potência obtida no secundário é igual à potência aplicada ao primário, não existindo perdas. Efeituando-se essa igualdade, temos:

$$P_p = P_s \text{ ou } V_p \cdot I_p = V_s \cdot I_s$$

Portanto

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

Onde:  $P_p$  = potência do primário  
 $P_s$  = potência do secundário  
 $I_p$  = corrente do primário  
 $I_s$  = corrente que circula no secundário quando for ligada uma carga.

Igualando-se as equações da relação de corrente com a do número de espiras, podemos escrever:

$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{N_P}{N_S} = \frac{I_S}{I_P}$$

Em um **transformador real** a potência obtida no secundário é menor que a potência aplicada ao primário, existindo perdas. Considerando essas perdas, podemos escrever:

$$P_P = P_S + P_D \quad \text{onde: } P_D = \text{potência perdida}$$

As principais perdas num transformador ocorrem nos enrolamentos e no núcleo. Nos enrolamentos, devido à resistência ôhmica do fio, parte da energia é convertida em calor por Efeito Joule, causando perdas denominadas **perdas no cobre**, pois, o material que constitui o fio é de cobre. No núcleo, temos perdas causadas pela **reversão magnética** cada vez que a corrente muda de sentido (ciclo de Histerese), pela **dispersão de linhas de campo magnético** e pelas **correntes parasitas de Foucault**, que induzidas no núcleo o aquecem, reduzindo o campo principal.

Para evitar as correntes de Foucault, o núcleo é constituído por chapas laminadas, isoladas por um verniz e solidamente agrupadas, enquanto que para diminuir as perdas por Histerese o material destas é composto de aço-silício. Para reduzir a dispersão de fluxo, todo o conjunto tem um formato apropriado, onde os enrolamentos primários e secundários são, através de um carretel, colocados na parte central, concentrando dessa maneira as linhas de campo magnético. A figura 2 mostra um transformador com as características construtivas citadas

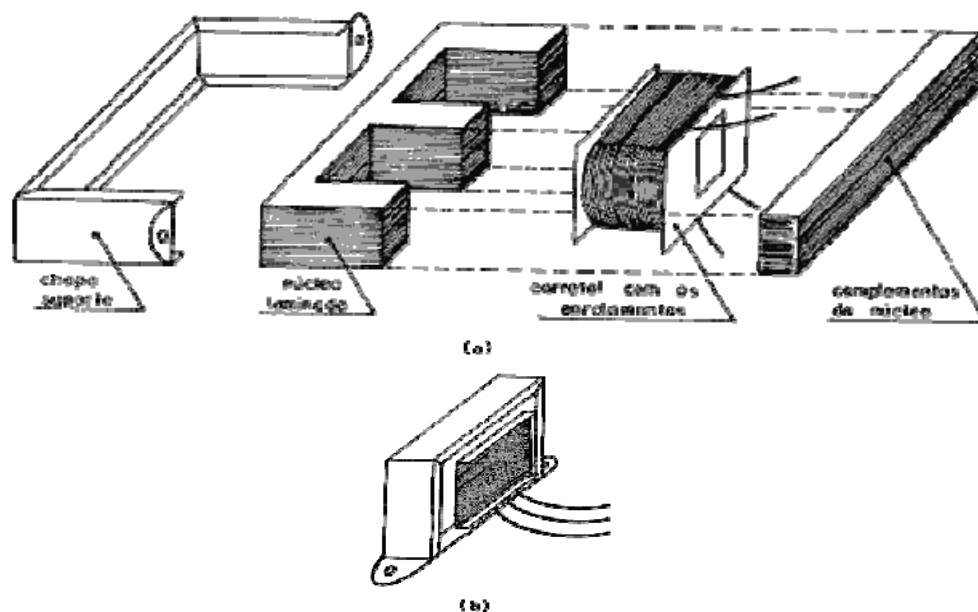


Figura 2 – (a) Aspectos construtivos de um transformador.  
(b) Transformador.

Como vimos na prática as perdas podem ser minimizadas, aumentando assim o rendimento do transformador ( $\eta$ ), definido pela rela-

ção entre as potências do secundário e do primário. Sendo assim, podemos escrever:

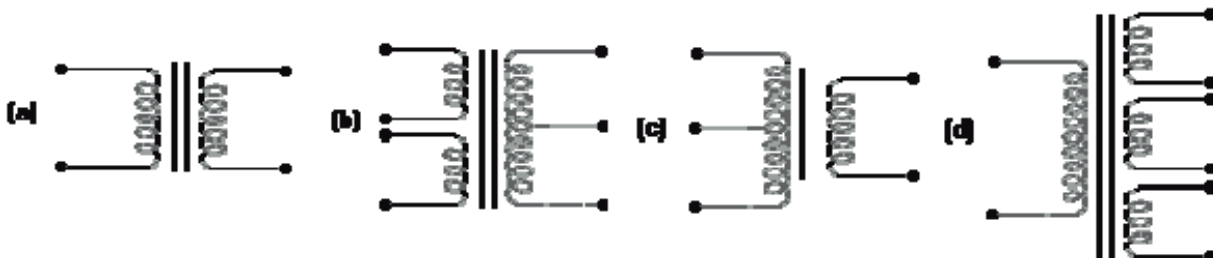
$$\eta = \frac{P_s}{P_p}$$

ou, em porcentagem:

$$\eta\% = \frac{P_s}{P_p} \times 100$$

Encontramos diversos tipos de transformadores que de acordo com a aplicação a qual se destinam, possuem aspectos construtivos apropriados. Como por exemplo, temos o transformador de alta tensão (Fly-back), cujo núcleo, de ferrite, e os enrolamentos, possuem características apropriadas para trabalhar como elevador de tensão em frequências altas.

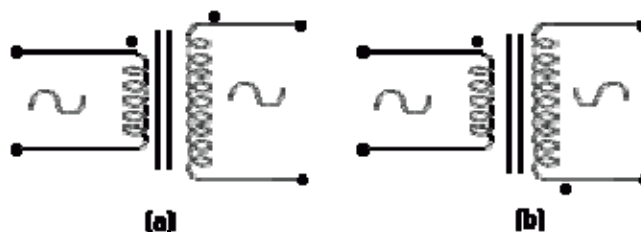
Uma outra característica importante é a do tipo de enrolamento, que pode ser: simples, múltiplo ou com derivações. A figura 3 ilustra alguns tipos de enrolamentos.



**Figura 3 – Tipos de enrolamentos.**

- (A) primário e secundário com enrolamentos simples,
- (B) primário com enrolamento duplo e secundário com derivação central,
- (C) primário com derivação central e secundário com simples,
- (D) primário com enrolamento simples e secundário com múltiplos enrolamentos.

O transformador pode, de acordo com o sentido do enrolamento, defasar a tensão de saída em relação à tensão de entrada. Se o sentido do enrolamento primário coincidir com o enrolamento secundário, teremos as tensões de entrada e saída em fase, caso contrário, estas estarão defasadas de  $180^\circ$ . Para facilitar a identificação, costuma-se na simbologia do transformador, colocar um ponto definindo o sentido de enrolamento. A figura 4 ilustra essas situações.



**Figura 4 – (a) Transformador com enrolamentos de sentidos concordantes;  
(b) Transformador com enrolamentos de sentido opostos.**

Num transformador com derivação central no secundário, como mostra a figura 5, teremos em relação ao terminal central, duas tensões de mesma amplitude, porém defasadas em  $180^\circ$ . Em alguns ca-

tos de aplicação, como nos retificadores, essa defasagem se faz necessária para o devido funcionamento do circuito.

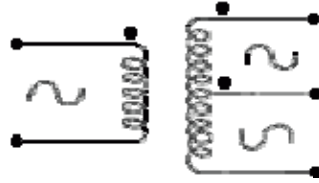


Figura 5 – Transformador com derivação central no secundário.

Para exemplificar, vamos calcular o número de espiras necessárias nos dois enrolamentos secundários do transformador visto na figura 6, para que as saídas sejam respectivamente 220V e 6V, considerando-se desprezível as perdas.

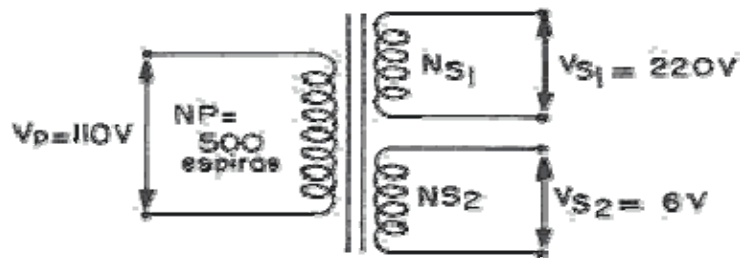


Figura 6

1- Cálculo de Ns1:

$$V_p / V_{s1} = N_p / N_{s1} \text{ ----- } 110/220 = 500/N_{s1}$$

$$N_{s1} = 1000 \text{ espiras}$$

2- Cálculo de Ns2:

$$V_p / V_{s2} = N_p / N_{s2} \text{ ----- } 110/6 = 500/N_{s2}$$

$$N_{s2} = 27,3 \text{ espiras } N_{s2} \text{ adotado} = 28 \text{ espiras}$$

Vamos supor que seja conectada à saída de 220 V, uma carga que consome uma corrente de 0,3A e à saída de 6V, uma de consumo igual a 0,5A. Nessa situação, vamos calcular a potência e a corrente no primário.

3- Cálculo de Ps1:

$$P_{s1} = V_{s1} \cdot I_{s1}$$

$$P_{s1} = 220 \cdot 0,3 = 66W$$

4- Cálculo de Ps2:

$$P_{s2} = V_{s2} \cdot I_{s2}$$

$$P_{s2} = 6 \cdot 0,5 = 3W$$

5- Cálculo de Pp:

$$P_p = P_{s1} + P_{s2}$$

$$P_p = 66 + 3$$

$$P_p = 69 W$$

6- Cálculo de Ip:

$$I_p = P_p / V_p$$

$$I_p = 69/110$$

$$I_p = 0,63A$$

## Exercício

1- A figura 7 mostra um transformador ideal. Sabendo-se que ao primário foi aplicado o sinal  $V_p$ , calcule as tensões no secundário e desene as respectivas formas de onda.

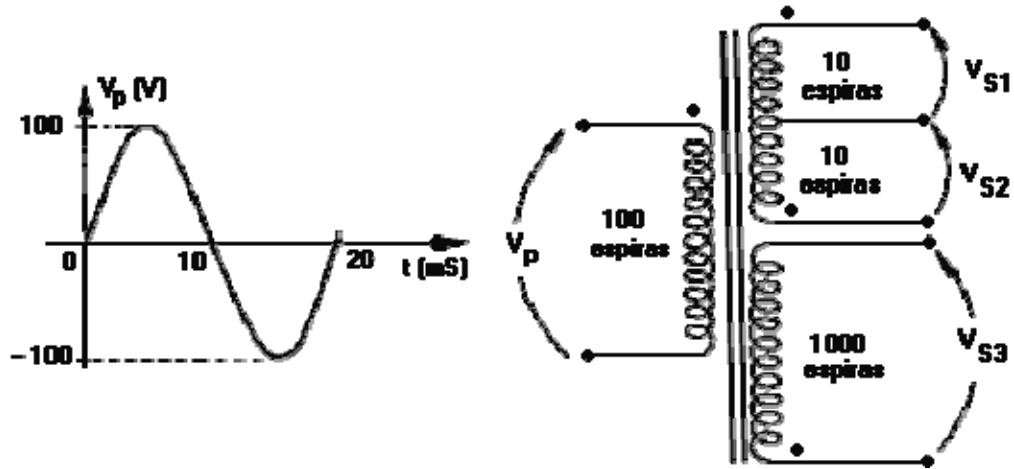


Figura 7