

## Transformador

### MEDIÇÃO EM TRANSFORMADOR CARREGADO E DESCARREGADO

- Medição da voltagem de marcha em vazio em dependência da tensão primária com número fixo de espiras.
- Medição da corrente de curto-circuito em dependência da corrente primária com número fixo de espiras.

UE3040500

01/17 UD



Fig. 1: Disposição para medição da voltagem de marcha em vazio em dependência da tensão primária.

### FUNDAMENTOS GERAIS

**Transformadores são conversores de tensão baseados na lei de indução de Faraday. Eles são empregados em especial na transmissão de potência elétrica sobre grandes distâncias para minimizar, através de uma transformação, prejuízos de condução com as mais altas tensões possíveis e as correntes correspondentemente baixas.**

Um transformador é constituído, no caso mais simples, de duas bobinas acopladas, a bobina primária com o número de espiras  $N_1$  e a bobina secundária com o número de espiras  $N_2$ , que encerram um núcleo comum de ferro. A seguir, o transformador ideal, ou seja, livre de perda, é observado.

Se o transformador estiver descarregado, não pode fluir corrente no circuito secundário, ou seja:  $i_2 = 0$ . Se for aplicada

tensão alternada  $U_1$  na bobina primária, ela se comporta como uma resistência indutiva, pois sua resistência ôhmica pode ser desprezada na situação ideal. Então, no circuito primário, flui uma corrente  $I$ , que gera um fluxo magnético  $\Phi$  (Fig. 2), induzindo, assim, uma tensão  $U_{ind}$ . Esta tensão de indução, por conta da Lei das Malhas de Kirchhoff  $U_1 + U_{ind} = 0$  é opostamente igual a  $U_1$ :

$$(1) \quad U_{ind} = -L_1 \cdot \frac{dI}{dt} = -N_1 \cdot \frac{d\Phi}{dt} = -U_1.$$

$L_1$ : Indutividade da bobina primária  
 $\Phi$ : fluxo magnético gerado por  $I$

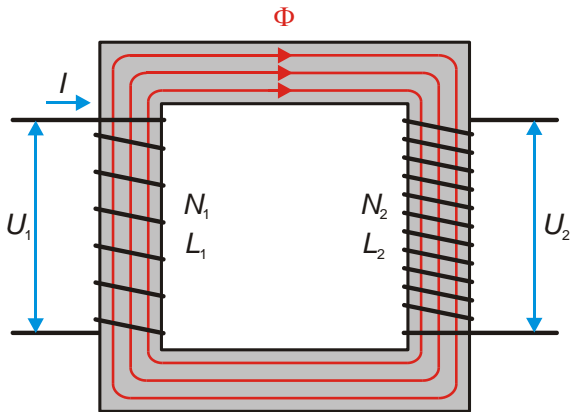


Fig. 2: Representação esquemática do transformador ideal descarregado com bobina primária e secundária no mesmo sentido das espiras.

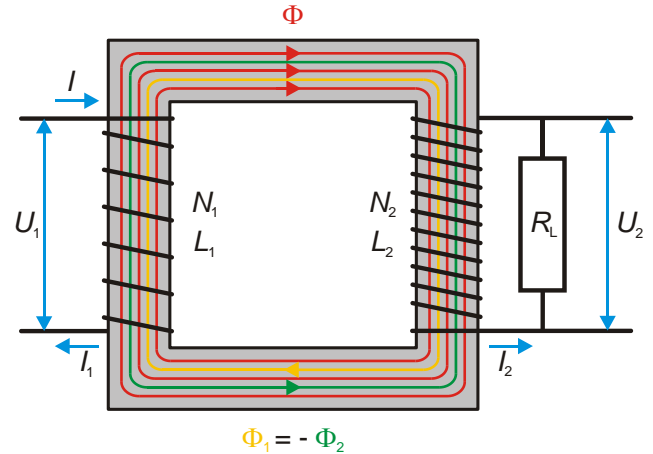


Fig. 3: Representação esquemática do transformador ideal carregado com bobina primária e secundária no mesmo sentido das espiras.

A corrente  $I$  corresponde a uma corrente reativa pura, pois a tensão e a corrente apresentam deslocamento de fase em  $\varphi = 90^\circ$  em uma resistência indutiva (“a tensão se adianta em  $90^\circ$  em relação à corrente”).

Como o fluxo magnético  $\Phi$  transpassa a bobina secundária no caso ideal, uma tensão

$$(2) \quad U_2 = -N_2 \cdot \frac{d\Phi}{dt}$$

é induzida ali. Por fim, de (1) e (2) resulta a relação de tensão e de transformação:

$$(3) \quad \frac{U_2}{U_1} = -\frac{N_2}{N_1}$$

O sinal negativo indica que  $U_1$  e  $U_2$  com sentido de espiras igual (Fig. 2) apresentam deslocamento de fase de  $180^\circ$ . Com sentido de espiras contrário,  $U_1$  e  $U_2$  estão alinhados em fase.

No transformador carregado, na bobina secundária, flui uma corrente  $I_2 = U_2 / R_L$ , onde  $R_L$  é a resistência ôhmica de carga, por exemplo, de um consumidor (Fig. 3). Esta corrente secundária corresponde a uma corrente reativa pura, pois tensão e corrente em uma resistência ôhmica são alinhadas em fase ( $\varphi_2 = 0^\circ$ ). Ela gera o fluxo magnético

$$(4) \quad \Phi_2 = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot N_2 \cdot I_2 \cdot \frac{A}{l}$$

- $\mu_0$ : constante de campo magnético
- $\mu_r$ : Índice de permeabilidade
- A: Perfil da bobina
- $l$ : Comprimento da bobina

que transpassa a bobina completamente no caso ideal e ao qual o fluxo magnético  $\Phi$  gerado pela corrente  $I$  é contraposto por conta da Lei de Lenz.

Com isto, a corrente reativa primária  $I$  sobrepõe-se com uma corrente ativa  $I_1$ , de fase igual à da tensão primária  $U_1$  ( $\varphi_1 = 0^\circ$ ) e que gera o fluxo magnético

$$(5) \quad \Phi_1 = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot N_1 \cdot I_1 \cdot \frac{A}{l}$$

adicional. Como o fluxo magnético  $\Phi$  permanece inalterado, os fluxos magnéticos  $\Phi_1$  e  $\Phi_2$  precisam apenas anular-se, ou seja:  $\Phi_1 + \Phi_2 = 0$ . Assim, deriva-se das equações (4) e (5)

$$(6) \quad \frac{I_2}{I_1} = -\frac{N_1}{N_2}$$

pois  $\mu_r$ ,  $A$  e  $l$  são iguais para ambas as bobinas. Das equações (3) e (6) deriva-se que a potência efetiva primária e secundária são iguais:

$$(7) \quad P_1 = U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2 = P_2$$

Nisto, a equação (3) também vale para o transformador ideal carregado. Por meio de uma observação das impedâncias, pode ser demonstrado que a relação de tensão, no caso ideal, é independente da resistência ôhmica de carga.

Para o transformador carregado, resultam dois casos extremos. No caso extremo  $R_L \rightarrow \infty$  ( $I_2 = 0$ ), o transformador está aberto do lado secundário. Então, a equação (3) vale para a tensão em marcha vazia  $U_{20}$ . No caso extremo  $R_L = 0$  ( $U_2 = 0$ ), o transformador está em curto do lado secundário. Então, a equação (6) vale para a corrente de curto-circuito  $I_{2c}$ .

Na experiência, a tensão de marcha em vazio  $U_{20}$  é medida em dependência da tensão primária  $U_1$  e a corrente de curto-circuito  $I_{2c}$  é medida em dependência da corrente primária  $I_1$  para uma relação fixa de número de espiras  $N_2 / N_1 = 2$ .

**LISTA DE APARELHOS**

- 1 Bobina D com 600 espiras 1000988 (U8497430)
  - 1 Bobina D com 1200 espiras 1000989 (U8497440)
  - 1 Núcleo de transformador D 1000976 (U8497180)
  - 1 Transformador com retificador 1/ 2/ 4/ ... 14 V, 5 A @230V 1003558 (U8521112-230)
- ou
- 1 Transformador com retificador 1/ 2/ 4/ ... 14 V, 5 A @115V 1003557 (U8521112-115)
  - 2 Multímetro digital P3340 1002785 (U118091)
  - 1 Conjunto de 15 cabos de segurança para experiências, 75 cm 1002843 (U138021)

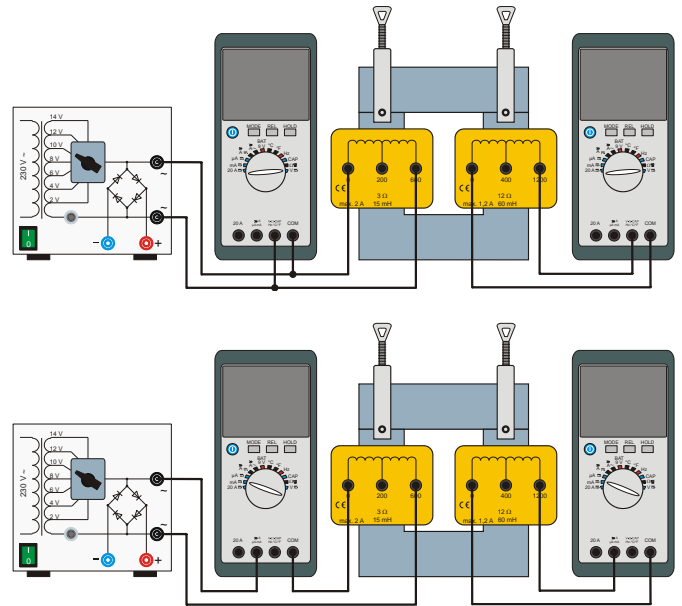


Fig. 4: Montagem da experiência para o transformador descarregado na marcha em vazio (acima) e o transformador carregado em curto-circuito (em baixo).

**MONTAGEM E EXECUÇÃO**

- Montar a experiência conforme Fig. 4 acima. Conectar o multímetro do lado primário em paralelo com a bobina primária como aparelho de medição de tensão, selecionar a faixa de medição de tensão “V” e “Mode AC”.
- Conectar as entradas “COM” e “V” do multímetro do lado secundário com as saídas “0” e “1200” da bobina secundária, selecionar a faixa de medição de tensão “V” e “Mode AC”.

**Orientação**

Com isto, o lado secundário se encontra em marcha em vazio ( $I_2 = 0$ ), são medidas as tensões em marcha em vazio  $U_{20}$ .

- Ligar o transformador com retificar e ajustar sucessivamente as tensões de alimentação  $U = 2\text{ V}, 4\text{ V}, 6\text{ V}, 8\text{ V}, 10\text{ V}, 12\text{ V}$  e  $14\text{ V}$ .
- Para cada tensão de alimentação, ler a tensão primária e de marcha em vazio nos multímetros e anotar na Tab. 1.
- Conectar agora o multímetro do lado primário em série com a bobina primária como aparelho de medição de corrente (Fig. 4 abaixo), selecionar a faixa de medição de corrente “mA” e “Mode AC”.
- Conectar as entradas “COM” e “mA” do multímetro do lado secundário com as saídas “0” e “1200” da bobina secundária, selecionar a faixa de medição de corrente “mA” e “Mode AC”.

**Orientação**

Com isto, o lado secundário está em curto-circuito sobre o multímetro ( $U_2 = 0$ ), são medidas as correntes de curto-circuito  $I_{2c}$ . O multímetro atua como carga ôhmica.

- Para cada tensão de alimentação, ler a corrente primária e de curto-circuito nos multímetros e anotar na Tab. 2.

**EXEMPLO DE MEDIÇÃO**

Tab. 1: Transformador descarregado em marcha em vazio ( $I_2 = 0$ ). Tensões primárias ajustadas pelas tensões de alimentação  $U$ , bem como tensões de marcha em vazio medidas  $U_{20}$ ,  $N_1 = 600$ ,  $N_2 = 1200$ .

$U_1 / \text{V}$	$U_{20} / \text{V}$
2,42	4,43
4,74	8,84
6,90	12,92
9,32	17,59
11,37	21,52
13,50	25,63
15,92	30,32

Tab. 2: Transformador carregado em curto-circuito ( $U_2 = 0$ ). Tensões primárias  $I_1$  ajustadas pelas tensões de alimentação  $U$ , bem como correntes de curto-circuito medidas  $I_{2c}$ ,  $N_1 = 600$ ,  $N_2 = 1200$ .

$I_1 / \text{mA}$	$I_{2c} / \text{mA}$
43,6	19,5
86,8	39,6
123,3	56,9
166,0	77,0
200,0	92,0
237,0	109,0
278,0	129,0

### ANÁLISE

- Representar graficamente as tensões de marcha em vazio  $U_{20}$  em dependência das tensões primárias  $U_1$  (Tab. 1) e as correntes de curto-circuito  $I_{2C}$  em dependência da corrente primária  $I_1$  (Tab. 2) e adaptar respectivamente uma reta de origem (Fig. 5, 6).

Da equação (3) deriva-se, para os valores das tensões

$$U_{20} = \frac{N_2}{N_1} \cdot U_1$$

e, da equação (6), correspondentemente para as correntes

$$I_{2C} = \frac{N_1}{N_2} \cdot I_1$$

Por isso, as inclinações das retas na Fig. 5 e Fig. 6 são determinadas pela relação dos números de espiras  $N_2 / N_1 = 2$  ou  $N_1 / N_2 = 0,5$ . A partir da adaptação da reta de origem, resulta  $N_2 / N_1 = 1,90$  na marcha em vazio e  $N_1 / N_2 = 0,46$  no curto-circuito.

Os valores apresentam desvio do valor ideal 2 ou 0,5, porque bobinas reais sempre apresentam perdas. As perdas são compostas das chamadas perdas por ferro ou cobre, bem como perdas por dispersão do fluxo magnético. As perdas por ferro resultam da histerese na reversão da magnetização do núcleo de ferro e correntes de Foucault no núcleo de ferro, as perdas por cobre, das resistências ôhmicas das espiras de cobre das bobinas. As perdas por dispersão são causadas pelo fato do fluxo magnético  $\Phi$  da bobina primária por onde flui a corrente  $I$  não transpassar completamente a bobina secundária.

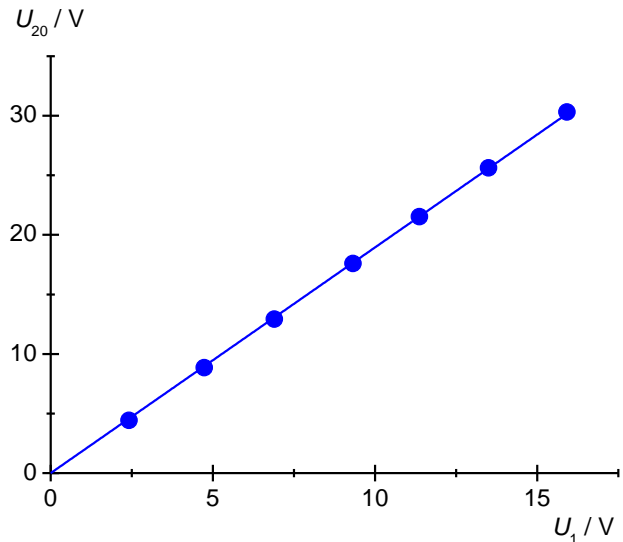


Fig. 5: Transformador descarregado em marcha em vazio ( $I_2 = 0$ ). Tensão de marcha em vazio  $U_{20}$  em dependência da tensão primária  $U_1$ ,  $N_1 = 600$ ,  $N_2 = 1200$ .

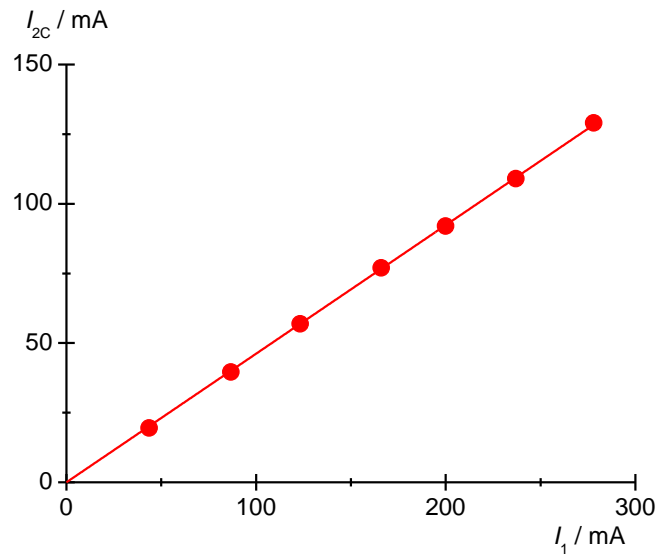


Fig. 6: Transformador carregado em curto-circuito ( $U_2 = 0$ ). Corrente de curto-circuito  $I_{2C}$  em dependência da corrente primária  $I_1$ ,  $N_1 = 600$ ,  $N_2 = 1200$ .