

## Trasformatore

### MISURAZIONI SU UN TRASFORMATORE SOTTO CARICO E NON SOTTO CARICO

- Misurazione della tensione a vuoto in funzione della tensione primaria con numeri di spire fissi.
- Misurazione della corrente di cortocircuito in funzione della corrente primaria con numeri di spire fissi.

UE3040500

01/17 UD



Fig. 1: Disposizione per la misurazione della tensione a vuoto in funzione della tensione primaria.

### BASI GENERALI

**I trasformatori sono convertitori di tensione che si basano sulla legge di induzione di Faraday. Sono utilizzati in particolare per la trasmissione di potenza elettrica su lunghe distanze, per ridurre al minimo le perdite di potenza, tramite una trasformazione alle tensioni più elevate possibili con corrispondenti correnti basse.**

Un trasformatore, nella versione più semplice, è costituito da due bobine accoppiate, la bobina primaria con numero di spire  $N_1$  e la bobina secondaria con numero di spire  $N_2$ , che racchiudono un'anima in ferro comune. Qui di seguito viene considerato il trasformatore ideale, vale a dire quello senza perdita di potenza.

Se il trasformatore non è sotto carico, nel circuito secondario non può scorrere corrente, vale a dire  $I_2 = 0$ . Se alla bobina primaria viene applicata una tensione alternata  $U_1$ , essa si comporta come una resistenza induttiva, poiché la sua resistenza ohmica può essere nel caso ideale trascurabile. Nel circuito primario scorre una corrente  $I$ , che genera un flusso magnetico  $\Phi$  (Fig. 2) e induce quindi una tensione  $U_{ind}$ . Questa tensione di induzione è contrapposta alla legge delle maglie di Kirchhoff  $U_1 + U_{ind} = 0$  uguale a  $U_1$ :

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

$L_1$ : induttività della bobina primaria  
 $\Phi$ : flusso magnetico creato da  $I$

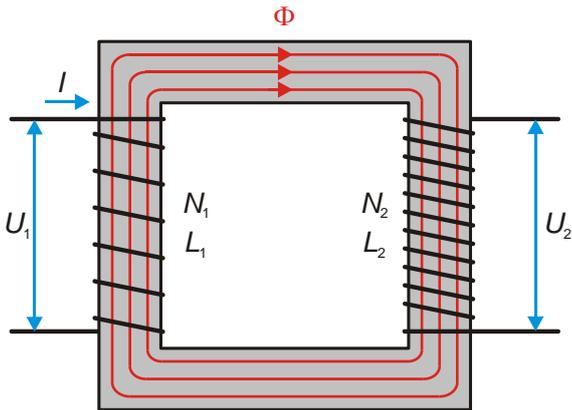


Fig. 2: Rappresentazione schematica del trasformatore non sotto carico ideale con bobina primaria e secondaria con la stessa direzione delle spire.

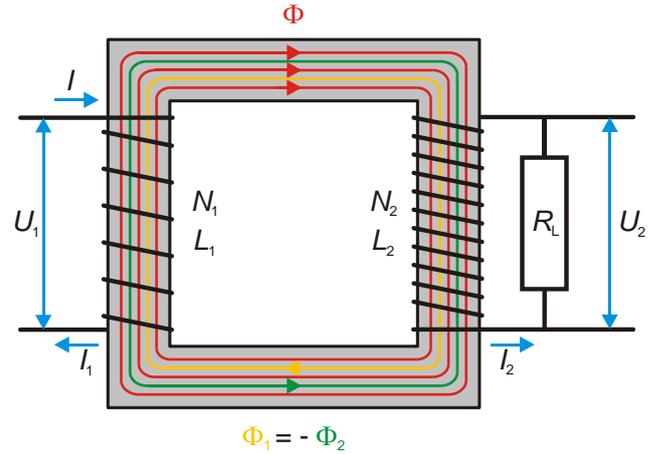


Fig. 3: Rappresentazione schematica del trasformatore sotto carico ideale con bobina primaria e secondaria con la stessa direzione delle spire.

La corrente  $I$  corrisponde a una corrente reattiva pura, dal momento che la tensione e la corrente sulla resistenza induttiva sono sfasate di  $\varphi = 90^\circ$  ("la tensione anticipa la corrente di  $90^\circ$ ").

Poiché il flusso magnetico  $\Phi$  nel caso ideale attraversa completamente la bobina secondaria, qui viene indotta una

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

tensione. Da (1) e (2) deriva infine il rapporto di tensione e/o trasmissione:

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

il segno meno indica che  $U_1$  e  $U_2$  con la stessa direzione delle spire (Fig. 2) sono sfasate di  $180^\circ$ . Con direzione delle spire opposto,  $U_1$  e  $U_2$  sono in fase.

Con il trasformatore sotto carico nella bobina secondaria scorre una corrente  $I_2 = U_2 / R_L$ , dove  $R_L$  è la resistenza ohmica di carico ad esempio di un'utenza (Fig. 3). Questa corrente secondaria corrisponde ad una corrente attiva pura, dal momento che tensione e corrente presentano la stessa fase in una resistenza ohmica ( $\varphi_2 = 0^\circ$ ). Essa genera il flusso magnetico

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

- $\mu_0$ : costante di campo magnetico
- $\mu_r$ : numero di permeabilità
- A: sezione della bobina
- $l$ : Lunghezza della bobina

che nel caso ideale attraversa completamente la bobina primaria e che a causa della legge di Lenz è contrapposto al flusso magnetico creato dalla corrente  $I$ .

Per questo alla corrente reattiva primaria  $I$  si sovrappone una corrente attiva  $I_1$ , che presenta la stessa fase della tensione primaria  $U_1$  ( $\varphi_1 = 0^\circ$ ) e genera il flusso magnetico

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

aggiuntivo. Poiché il flusso magnetico  $\Phi$  rimane invariato, i flussi magnetici  $\Phi_1$  e  $\Phi_2$  devono compensarsi, vale a dire  $\Phi_1 + \Phi_2 = 0$ . Dalle equazioni (4) e (5) consegue quindi

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

poiché  $\mu_r$ ,  $A$  e  $l$  sono uguali per entrambe le bobine. Dalle equazioni (3) e (6) consegue che la potenza attiva primaria e la potenza attiva secondaria sono uguali:

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

L'equazione (3) si applica anche per il trasformatore sotto carico ideale. Osservando le impedenze si nota che il rapporto di tensione è, nel caso ideale, indipendente dalla resistenza ohmica di carico.

Per il trasformatore sotto carico risultano due casi limite. Nel caso limite  $R_L \rightarrow \infty$  ( $I_2 = 0$ ) il trasformatore è aperto sul lato secondario. L'equazione (3) vale quindi per la tensione a vuoto  $U_{20}$ . Nel caso limite  $R_L = 0$  ( $U_2 = 0$ ) il trasformatore è cortocircuitato sul lato secondario. L'equazione (6) vale quindi per la corrente di cortocircuito  $I_{2C}$ .

Nell'esperimento è stata misurata la tensione a vuoto  $U_{20}$  in funzione della tensione primaria  $U_1$  e la corrente di cortocircuito  $I_{2C}$  in funzione della corrente primaria  $I_1$  per un rapporto fisso di numeri interi delle spire  $N_2 / N_1 = 2$ .

ELENCO DEGLI STRUMENTI

- 1 Bobina D con 600 spire 1000988 (U8497430)
- 1 Bobina D con 1200 spire 1000989 (U8497440)
- 1 Nucleo del trasformatore D 1000976 (U8497180)
- 1 Trasformatore con raddrizzatore 1/ 2/ 4/ ... 14 V, 5 A @230V 1003558 (U8521112-230)
- 0
- 1 Trasformatore con raddrizzatore 1/ 2/ 4/ ... 14 V, 5 A @115V 1003557 (U8521112-115)
- 2 Multimetro digitale P3340 1002785 (U118091)
- 1 Set di 15 cavi di sicurezza per esperimenti, 75 cm 1002843 (U138021)

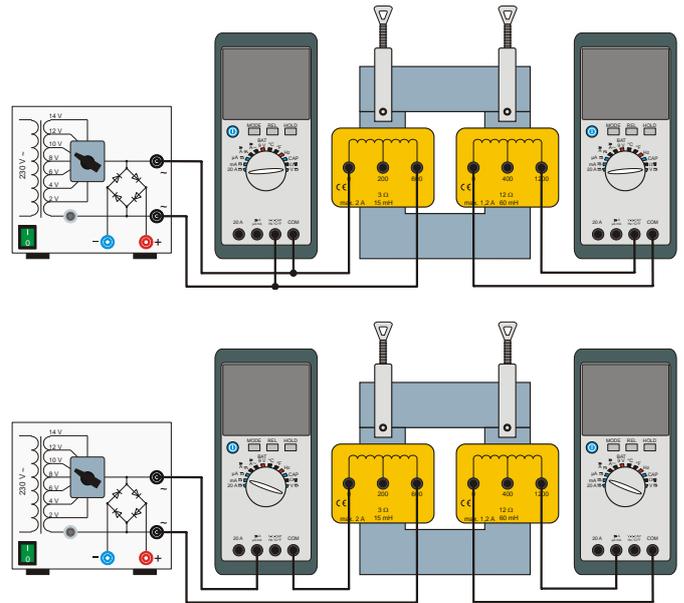


Fig. 4: Struttura sperimentale del trasformatore non sotto carico nel funzionamento a vuoto (sopra) e trasformatore sotto carico in caso di cortocircuito (sotto).

MONTAGGIO E ESECUZIONE

- Eseguire la disposizione sperimentale secondo Fig. 4 in alto. Collegare il multimetro sul lato primario parallelamente alla bobina primaria come voltmetro, impostare il range di misura della tensione “V” e selezionare “Mode AC”.
- Collegare gli ingressi “COM” e “V” del multimetro sul lato secondario alle prese “0” e “1200” della bobina secondaria, impostare il range di misura della tensione “V” e selezionare “Mode AC”.

Nota

Il lato secondario si trova nel funzionamento a vuoto ( $I_2 = 0$ ), vengono misurate le tensioni a vuoto  $U_{20}$ .

- Accendere il trasformatore con raddrizzatore e impostare in sequenza le tensioni di alimentazione  $U = 2\text{ V}, 4\text{ V}, 6\text{ V}, 8\text{ V}, 10\text{ V}, 12\text{ V}$  e  $14\text{ V}$ .
- Per ogni tensione di alimentazione leggere sui multimetri la tensione primaria e a vuoto e registrare i valori nella Tab. 1.
- A questo punto collegare il multimetro sul lato primario in serie alla bobina primaria come amperometro (Fig. 4 sotto), impostare il range di misura della corrente “mA” e selezionare “Mode AC”.
- Collegare gli ingressi “COM” e “mA” del multimetro sul lato secondario alle prese “0” e “1200” della bobina secondaria, impostare il range di misura della corrente “mA” e selezionare “Mode AC”.

Nota

Il lato secondario è cortocircuitato dal multimetro ( $U_2 = 0$ ), vengono misurate le correnti di cortocircuito  $I_{2c}$ . Il multimetro funge da carico ohmico.

- Per ogni tensione di alimentazione leggere sui multimetri la corrente primaria e di cortocircuito e registrare i valori nella Tab. 2.

ESEMPIO DI MISURAZIONE

Tab. 1: Trasformatore non sotto carico nel funzionamento a vuoto ( $I_2 = 0$ ). Tensioni primarie impostate mediante le tensioni di alimentazione  $U$  così come tensioni a vuoto misurate  $U_{20}$ ,  $N_1 = 600$ ,  $N_2 = 1200$ .

$U_1 / \text{V}$	$U_{20} / \text{V}$
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: Trasformatore sotto carico in caso di cortocircuito ( $U_2 = 0$ ). Mediante le tensioni di alimentazione  $U$  correnti primarie  $I_1$  impostate e correnti di cortocircuito misurate  $I_{2c}$ ,  $N_1 = 600$ ,  $N_2 = 1200$ .

$I_1 / \text{mA}$	$I_{2c} / \text{mA}$
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

**ANALISI**

- Rappresentare graficamente le tensioni a vuoto  $U_{20}$  in funzione delle tensioni primarie  $U_1$  (Tab. 1) e le correnti di cortocircuito  $I_{2C}$  in funzione della corrente primaria  $I_1$  (Tab. 2) e tracciare una retta d'origine (Fig. 5, 6).

Dall'equazione (3) si ricava l'entità delle tensioni

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

e dall'equazione (6) lo stesso per le correnti

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

Quindi gli incrementi lineari nelle Fig. 5 e Fig. 6 sono determinati dal rapporto del numero di spire  $N_2 / N_1 = 2$  o  $N_1 / N_2 = 0,5$ . Dalla tracciatura delle rette d'origine risulta  $N_2 / N_1 = 1,90$  a vuoto e  $N_1 / N_2 = 0,46$  in presenza di cortocircuito.

I valori divergono dal valore ideale 2 o 0,5 perché le bobine reali sono sempre soggette a perdite. Le perdite sono composte dalle cosiddette perdite nel ferro e nel rame e dalle perdite per dispersione del flusso magnetico. Le perdite nel ferro risultano dall'isteresi in caso di smagnetizzazione dell'anima di ferro e di correnti parassite nell'anima di ferro, le perdite nel rame risultano dalle resistenze ohmiche delle spire di rame delle bobine. Le perdite per dispersione sono causate dal fatto che il flusso magnetico  $\Phi$  della bobina primaria attraversata dalla corrente  $I$  non attraversa completamente la bobina secondaria.

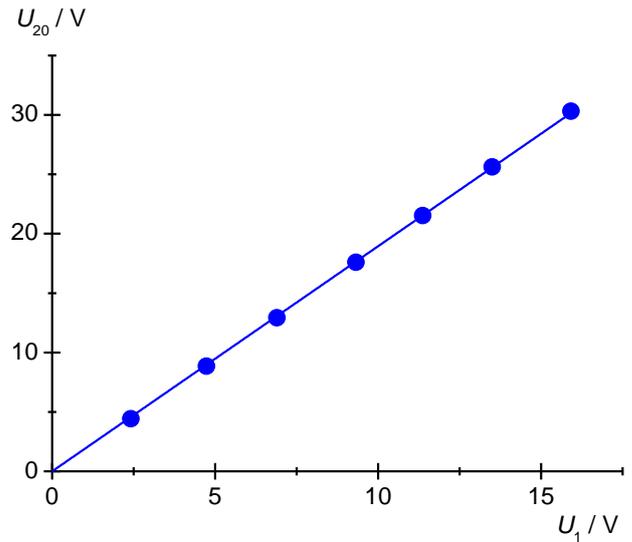


Fig. 5: Trasformatore non sotto carico nel funzionamento a vuoto ( $I_2 = 0$ ). Tensione a vuoto  $U_{20}$  in funzione della tensione primaria  $U_1$ ,  $N_1 = 600$ ,  $N_2 = 1200$ .

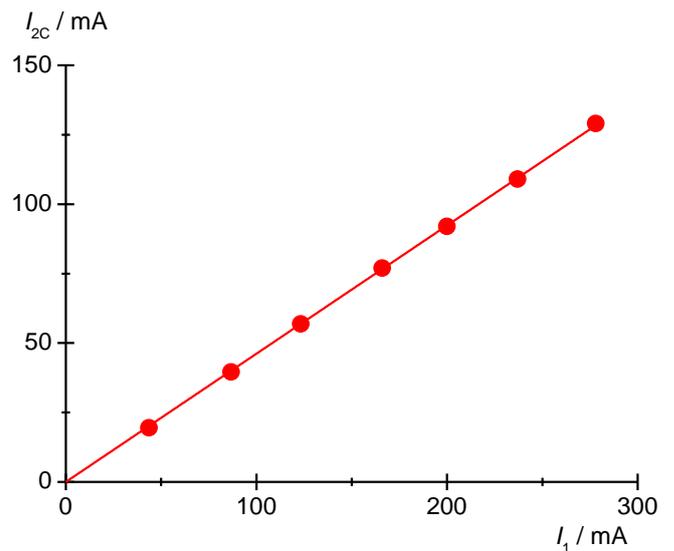


Fig. 6: Trasformatore sotto carico in caso di cortocircuito ( $U_2 = 0$ ). Corrente di cortocircuito  $I_{2C}$  in funzione della corrente primaria  $I_1$ ,  $N_1 = 600$ ,  $N_2 = 1200$ .