

Schemi del trasformatore - Riporti al secondario e al primario -

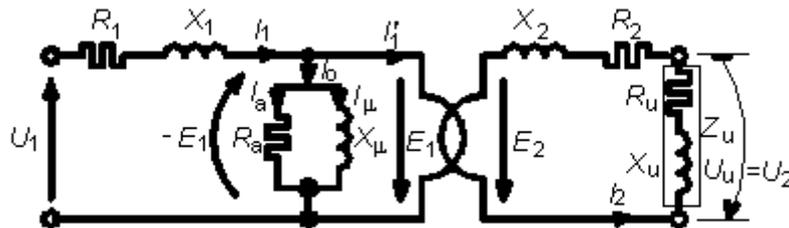


fig.7)

Lo schema completo di fig.7) può semplificarsi, ai fini dello studio della macchina, con lo schema di fig. 9), spostando il ramo trasverso a monte:

ciò comporta simulare il funzionamento a flusso costante con qualunque carico e le  $R_1$  e  $X_1$  risultano percorse dalla corrente di reazione, anziché dalla corrente totale  $I_1$ .

Non si rilevano, per le applicazioni numeriche, apprezzabili variazioni dal punto di vista pratico, rispetto ai risultati ottenibili con lo schema completo, poiché  $I_0 \ll I_1'$ .

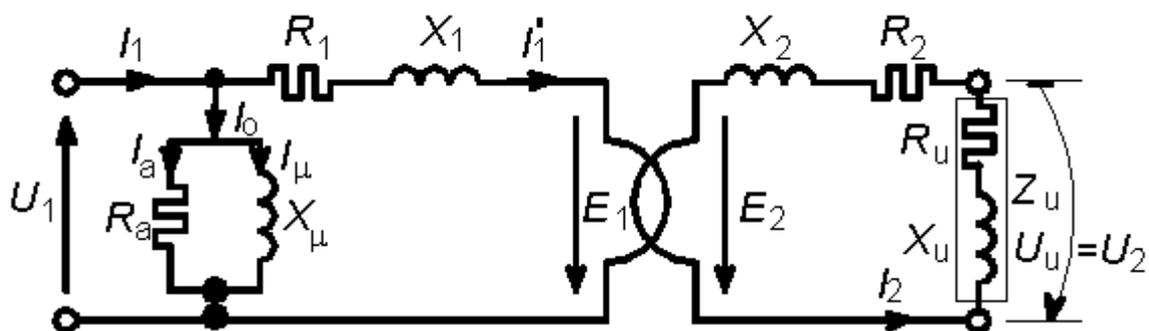


Fig. 9) Circuito semplificato, ottenuto spostando a monte il ramo trasverso.

**Riporto delle grandezze dal primario al secondario e viceversa**

Dal bilancio delle **perdite nel rame** per effetto Joule si può scrivere, per una data temperatura:

$$P_J = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2$$

e ricordando che, essendo piuttosto ridotta l'entità della corrente a vuoto, si può confondere la corrente di reazione  $I'_1$  con quella di carico  $I_1$ , per cui, sostituendo

$$I_1 \approx \frac{I_2}{n}$$

nella relazione precedente si ottengono

$$P_J = R_1 \frac{I_2^2}{n^2} + R_2 I_2^2 = \left(\frac{R_1}{n^2} + R_2\right) I_2^2 = (R_1'' + R_2) I_2^2 = R_e'' I_2^2 \text{ avendo posto } \frac{R_1}{n^2} + R_2 = R_e'' \quad (21)$$

Questi passaggi consentono di trasferire la resistenza  $R_1$  dal primario al secondario, **dividendola per il quadrato del rapporto spire** (n)

La resistenza equivalente complessiva, al secondario (**Re''**), è così la somma della resistenza del secondario  $R_2$  e di quella primaria riportata al secondario  $R''_1$  e con questo modo di vedere le cose si è variata la configurazione schematica, ma la sostanza non è mutata.

Ciò sarà utile per la semplificazione delle applicazioni numeriche (fig. 10).

In modo analogo, partendo dalle potenze reattive impegnate nelle reattanze di dispersione, si perviene alle analoghe relazioni

$$Q_r = X_1 \frac{I_2^2}{n^2} + X_2 I_2^2 = \left(\frac{X_1}{n^2} + X_2\right) I_2^2 = (X_1'' + X_2) I_2^2 = X_e'' I_2^2 \text{ avendo posto } \frac{X_1}{n^2} + X_2 = X_e'' \quad (22)$$

## TRASFORMATORE

Come conclusione si propone ora il circuito **equivalente a quello completo del trasformatore**, ma con i parametri serie riportati al secondario. Lo schema che si ottiene è quello di fig. 10), spesso utilizzato nello studio dei problemi relativi alle applicazioni del trasformatore

Le grandezze equivalenti

$$\frac{R_1}{n^2} \mid R_1 = R_e''; \quad \frac{X_1}{n^2} \mid X_2 = X_e''; \quad \frac{Z_1}{n^2} + Z_2 = Z_e''$$

vengono determinate sperimentalmente con la **prova di corto circuito** del trasformatore, come si vedrà in seguito.

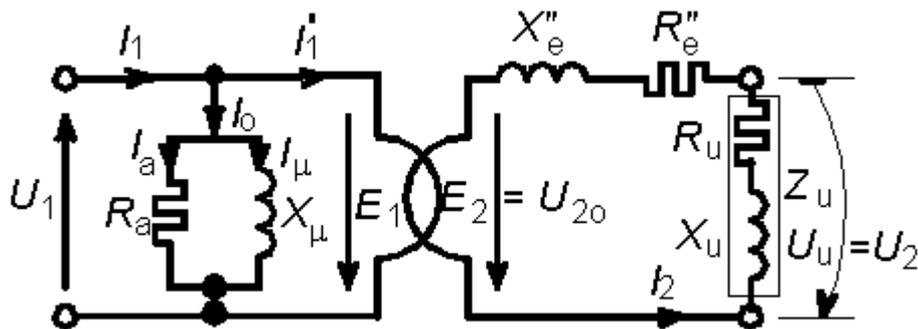


Fig. 10) Circuito equivalente riportato al secondario.

**Nelle soluzioni più sbrigative di alcuni problemi** riguardanti il trasformatore e le sue applicazioni si ritiene addirittura nulla la  $I_0$  (e quindi *nulla* l'ammettenza trasversale, o *infinita* l'impedenza), con errori tanto più piccoli nei valori numerici ricavati, quanto più elevata è la corrente di lavoro.

La tensione disponibile al secondario coincide con la tensione che si determina col funzionamento a vuoto, alimentando il primario alla tensione nominale e misurando la tensione ai morsetti del secondario aperto.

In modo molto grossolano si potrebbe tentare di concludere che un trasformatore ha le seguenti funzioni elettriche:

- $\infty$  'sposta' la tensione dal primario al secondario *dividendola per il rapporto spire*

$$U_2 = \frac{U_1}{n}$$

- $\infty$  'sposta' la corrente dal primario al secondario *moltiplicandola per il rapporto spire*

$$I_2 = I_1 \cdot n$$

## TRASFORMATORE

- $\left(\frac{1}{n}\right)^2$  'sposta' l'impedenza dal primario al secondario *dividendola per il quadrato del rapporto spire*

$$Z_2 = \frac{Z_1}{n^2}$$

Se si ripete l'impostazione precedente si può ottenere il circuito che, analogamente, consente di studiare il trasformatore con le grandezze riportate al primario (fig. 11) .

Le relazioni interessate sono le seguenti:

$$R_1 + R_2 \cdot n^2 = R'_e$$

$$X_1 + X_2 \cdot n^2 = X'_e$$

$$Z_u \cdot n^2 = Z'_u$$

$$E_1 = E_2 \cdot n; \quad i'_1 = \frac{i_2}{n}$$

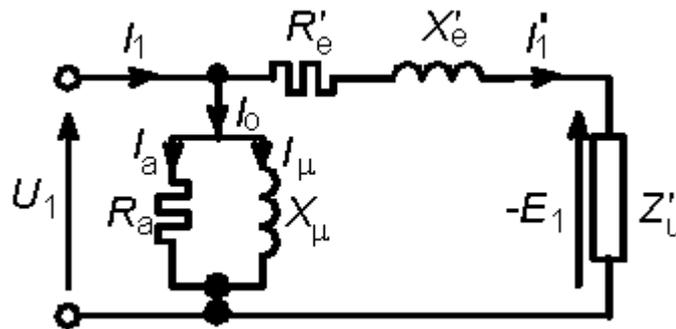


Fig. 11) Circuito equivalente riportato al primario

Determinazione dei parametri del trasformatore

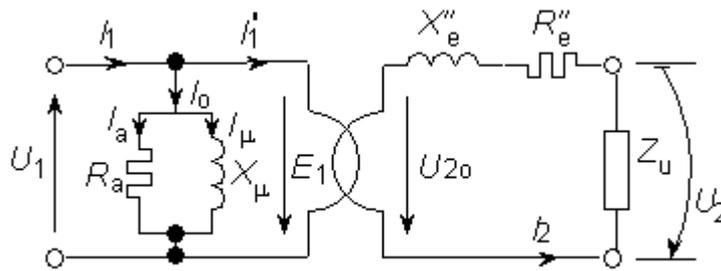


Fig. 12) Circuito equivalente riportato al secondario.

I componenti dello schema elettrico del trasformatore si determinano essenzialmente da due prove:

- 1) **prova a vuoto** alla tensione nominale con secondario aperto: si misurano  $I_0$ ,  $P_0$ ,  $\cos \varphi_0$  e si calcola il rapporto di trasformazione a vuoto  $n=U_1/U_{20}$ . I dati misurati servono alla determinazione dei parametri trasversali e alla valutazione delle perdite nel ferro:

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U_1 I_0}; \quad R_2 = \frac{U_1}{I_0} = \frac{U_1}{I_0 \cos \varphi_0}; \quad X_\mu = \frac{U_1}{I_\mu} = \frac{U_1}{I_0 \sin \varphi_0}; \quad P_{Fe} = P_0$$

$$I_0 \% = \frac{I_0}{I_{1n}} 100; \quad P_0 \% = \frac{P_0}{S_n} 100; \quad \text{in cui } S_n = U_{1n} \cdot I_{1n} = U_{2n} \cdot I_{2n}$$

- 2) **prova in corto circuito** chiudendo in corto circuito il secondario e alimentando il primario alla tensione ridotta  $U_{1cc}$ , in grado di far circolare nei due avvolgimenti le rispettive correnti nominali  $I_{1n}$  e  $I_{2n}$ . Essendo l'impedenza trasversale  $Z_0$  molto alta rispetto ai valori di resistenza  $R_e'$  e di reattanza  $X_e'$  riportati al primario, la  $Z_0$  si omette nella prova di corto circuito.

Si possono valutare i parametri equivalenti nota anche la potenza attiva  $P_{cc}$  assorbita dal trasformatore in queste condizioni di funzionamento e misurata con un wattmetro. Si ottengono, alla temperatura a cui si effettua la misura:

$$Z_e' = \frac{U_{1cc}}{I_{1n}} \quad R_e' = \frac{P_{cc}}{I_{1n}^2} \quad X_e' = \sqrt{(Z_e')^2 - (R_e')^2} \quad (23)$$

e dividendo per  $n^2$  si hanno i corrispondenti valori riportati al secondario, oppure con le espressioni:

$$Z_e'' = \frac{U_{2cc}}{I_{2n}} = \frac{U_{1cc}}{n \cdot I_{2n}}; \quad R_e'' = \frac{P_{cc}}{I_{2n}^2}; \quad \cos \varphi_{cc} = \frac{R_e''}{Z_e''} = \frac{P_{cc}}{U_{1cc} \cdot I_{1n}}; \quad X_e'' = R_e'' \tan \varphi_{cc} \quad (24)$$

Con la prova di cortocircuito si possono valutare dunque le **perdite nel rame**, essendo trascurabile l'influenza delle perdite nel ferro.

## TRASFORMATORE

A questo proposito si ricordi che le  $P_{Fe}$  dipendono dal quadrato della tensione che è responsabile del flusso e qui la tensione di C°.C°. è molto ridotta rispetto a quella nominale. Se la  $U_{1cc}$  fosse p.e. il 5% della  $U_{1n}$ , le perdite nel ferro nella prova sarebbero  $(5/100)^2 = 25/10000$  delle perdite nel ferro alla piena tensione.

Dalla prova di cortocircuito si deducono anche le seguenti relazioni, spesso usate nelle applicazioni numeriche.

Nei dati di targa la potenza nominale, per macchina monofase, è definita con le relazioni:

$$S_n = U_{1n} \cdot I_{1n} = U_{2n} \cdot I_{2n}$$

e altre grandezze caratteristiche sono

$$P_{cc} \% = \frac{P_{cc}}{S_n} 100; \quad U_{cc} \% = \frac{U_{1cc}}{U_{1n}} 100 = \frac{U_{2cc}}{U_{2n}} 100; \quad \cos \varphi_{cc} = \frac{P_{cc} \%}{U_{cc} \%}; \quad Z_e'' = \frac{U_{cc} \% \cdot U_{2n}^2}{100 \cdot S_n} \quad (25)$$

di cui le prime due sono definizioni e le ultime due si possono dedurre con alcune semplici sostituzioni tenendo conto delle (24) e delle definizioni (25).