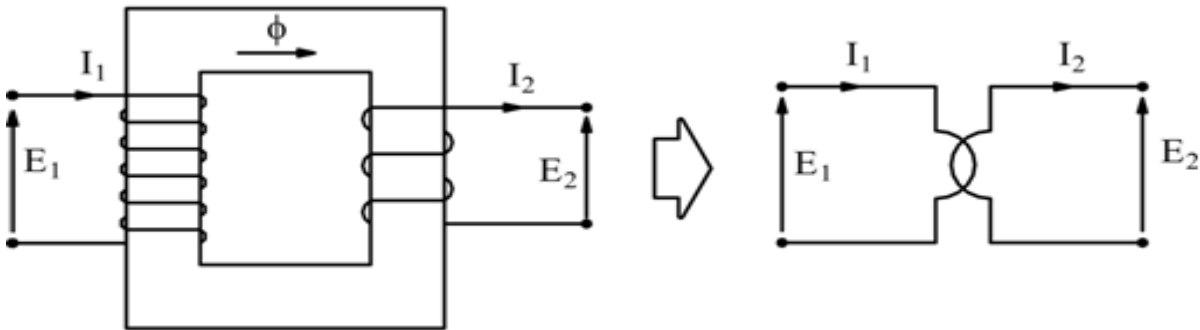


TRASFORMATORE

E' una macchina elettrica che funziona solamente in alternata, usata per trasferire potenza elettrica da un livello di tensione ad un altro.

Il trasformatore è costituito da un nucleo magnetico e da almeno due avvolgimenti.

Gli avvolgimenti sono classificati in base al numero di spire, quello ad alta tensione (**AT**) con più alto numero di spire (a sezione minore) e quello di bassa tensione (**BT**) con un minor numero di spire (a sezione maggiore).



TRASFORMATORE MONOFASE IDEALE (CARATTERISTICHE)

- 1] Accoppiamento perfetto tra le bobine, il flusso creato da un avvolgimento si concatena perfettamente con l'altro.
- 2] Perdite trascurabili, sia nel rame che nel ferro.
- 3] Bassa riluttanza del circuito magnetico.
- 4] La potenza apparente in ingresso è uguale alla potenza apparente in uscita.

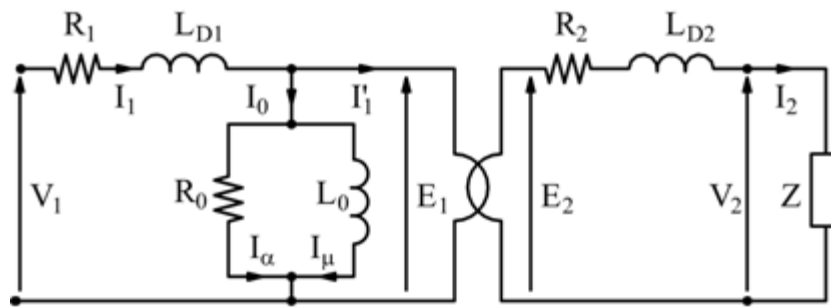
$$S_1 = S_2 \quad \Rightarrow \quad E_1 I_1 = E_2 I_2$$

Chiamato 'm' il rapporto fra il numero di spire si ha:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{I_2}{I_1} = m$$

TRASFORMATORE MONOFASE REALE (CARATTERISTICHE)

- 1] Gli avvolgimenti presentano sempre una resistenza.
- 2] Il flusso magnetico non concatena perfettamente i due avvolgimenti.
- 3] La corrente magnetizzante non è trascurabile
- 4] Vi sono perdite nel ferro dovute ad isteresi e a correnti parassite.



R_0 : Resistenza che tiene conto delle perdite nel ferro per isteresi e per correnti parassite.

L_0 : Induttanza che tiene conto della corrente magnetizzante necessaria a creare il flusso: coincide con l'induttanza dell'avvolgimento primario.

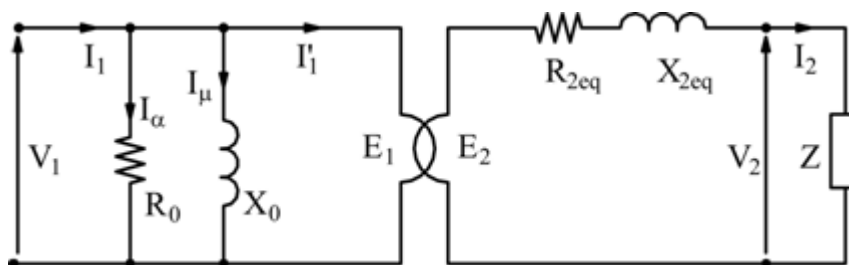
R_1, R_2 : Resistenze che tengono conto delle perdite per effetto Joule negli avvolgimenti primario e secondario.

L_{D1}, L_{D2} : Induttanze che tengono conto del flusso disperso negli avvolgimenti primario e secondario.

CIRCUITO EQUIVALENTE SEMPLIFICATO

$$I_0 \ll I_1 \quad I_1 \cong I'_1$$

E' possibile semplificare il circuito dell'avvolgimento primario se si verificano le condizioni :



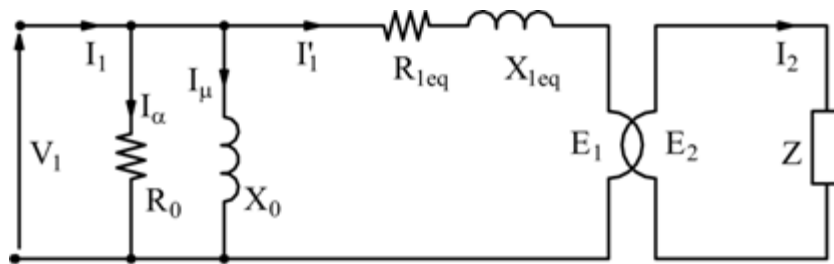
ed in tal caso si utilizza il seguente circuito semplificato:

con

$$R_{2eq} = R_2 + \frac{R_1}{m^2}$$

$$X_{2eq} = X_2 + \frac{X_1}{m^2}$$

Meno frequentemente è usato il circuito equivalente seguente, con l'impedenza equivalente riportata al primario:



con $R_{1eq} = R_1 + R_2 m^2$ e $X_{1eq} = X_1 + X_2 m^2$

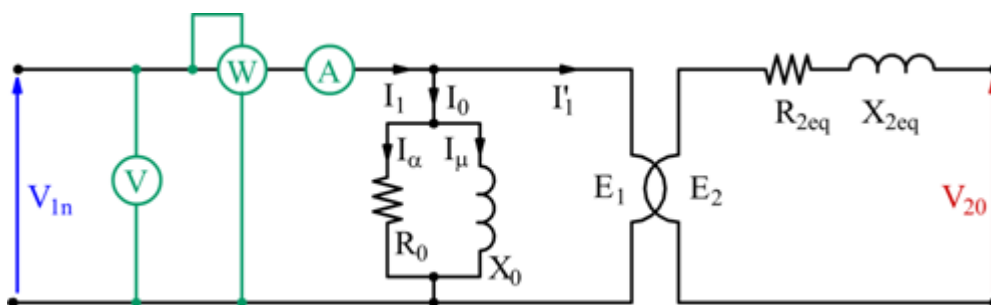
L'uso di un circuito equivalente semplificato è giustificato dal fatto che i parametri R_1, R_2, X_{D1} ed X_{D2} sono noti solo al costruttore della macchina.

Nel caso un operatore voglia ricavare il circuito equivalente da un trasformatore già costruito di cui si conosce solo i dati di targa (potenza e tensione nominale) non può pretendere di ricostruire il circuito equivalente originale esatto.

Egli non potrà mai individuare separatamente R_1, R_2, X_{D1} ed X_{D2} .

Ci si potrà affidare al massimo alle semplificazioni suddette.

TRASFORMATORE : PROVA A VUOTO



La prova a vuoto si effettua lasciando aperti i morsetti del secondario ed alimentando il primario alla tensione nominale V_{1n} .

Dato che il secondario è aperto, nella prova a vuoto si ha $I_2 = 0$ e dato che:

$$\frac{I_2}{I_1} = m = \text{const.}$$

deve necessariamente essere $I_1 = I_0$, l'unica corrente circolante è I_0 .

$$I_0 = I_\alpha + I_\mu = \frac{V_{1n}}{R_0} + \frac{V_{1n}}{jX_0} = \frac{V_{1n}}{R_0} - j \frac{V_{1n}}{X_0}$$

Vengono così definite le potenze attiva, reattiva ed apparente a vuoto.

$$P_0 = \frac{V_{1n}^2}{R_0}$$

$$S_0 = I_0 V_{1n}$$

$$Q_0 = \sqrt{S_0^2 - P_0^2}$$

$$Q_0 = \frac{V_{1n}^2}{X_0}$$

A vuoto la tensione ai capi del primario è V_{1n} ai capi del secondario è V_{20} :

$$m = \frac{V_{1n}}{V_{20}} = \frac{I_{2n}}{I_{1n}} \Rightarrow V_{1n} I_{1n} = V_{20} I_{2n} \Rightarrow S_n = V_{20} I_{2n}$$

Con S_n potenza apparente nominale. Vengono poi definite:

$$P_0 \% = \frac{P_0}{S_n} \cdot 100$$

Potenza attiva percentuale a vuoto.

$$I_0 \% = \frac{I_0}{I_{1n}} \cdot 100$$

Corrente a vuoto in percentuale.

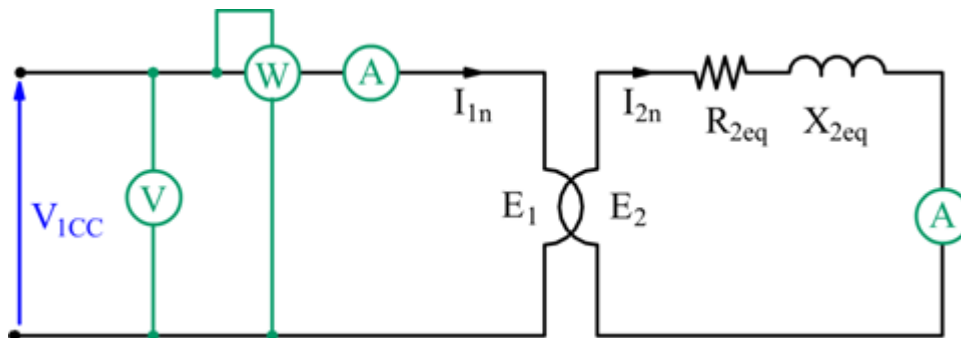
$$\cos \phi_0 \% = \frac{P_0 \%}{I_0 \%}$$

$\cos \phi$ a vuoto percentuale ; infatti :

$$\frac{P_0 \%}{I_0 \%} = \frac{P_0}{S_n} \cdot \frac{I_{1n}}{I_0} = \frac{P_0 \cancel{I_{1n}}}{V_{1n} \cancel{I_{1n}} I_0} = \frac{P_0}{V_{1n} I_0} = \cos \phi_0$$

TRASFORMATORE : PROVA IN CORTO CIRCUITO

La prova in corto circuito, si realizza cortocircuitando il secondario ed alimentando il primario con la tensione ridotta V_{1CC} , tale da far circolare nel secondario la corrente nominale I_{2n} . Con tale tensione ridotta si assume $I_0 = 0$.



Da notare come in queste condizioni il primario sia percorso dalla I_{1n} .

Le relazioni fondamentali sono:

$$R_{2eq} = \frac{P_{CC}}{I_{2n}^2} \qquad X_{2eq} = \frac{Q_{CC}}{I_{2n}^2}$$

Poi si ha:

$$P_{CC} \% = \frac{P_{CC}}{S_n} \cdot 100$$

Potenza attiva percentuale in corto circuito.

$$V_{CC} \% = \frac{V_{1CC}}{V_{1n}} \cdot 100$$

Tensione percentuale in corto circuito.

$$\cos \phi_{CC} \% = \frac{P_{CC} \%}{V_{CC} \%}$$

$\cos \phi$ percentuale in corto circuito. Infatti:

$$\frac{P_{CC} \%}{V_{CC} \%} = \frac{P_{CC}}{S_n} \cdot \frac{V_{1n}}{V_{1CC}} = \frac{P_{CC} \cancel{V_{1n}}}{I_{1n} \cancel{V_{1n}} V_{1CC}} = \frac{P_{CC}}{I_{1n} V_{1CC}} = \cos \phi_{CC}$$

Da notare come, se il secondario è percorso da I_{2n} , il primario debba sempre essere percorso da I_{1n} .

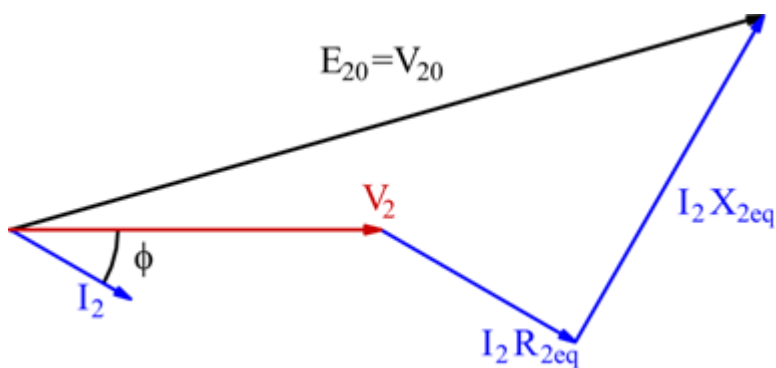
Durante la prova:

1] Si misura la PCC col Wattmetro.

2] Si calcola la $S_{CC} = V_{1CC} I_{1n}$ potenza apparente di corto circuito.

3] Si calcola $Q_{CC} = \sqrt{S_{CC}^2 - P_{CC}^2}$ potenza reattiva di corto circuito.

VARIAZIONE DI TENSIONE DA VUOTO A CARICO



$$\Delta V = |E_{20}| - |V_2| \quad \text{caduta di tensione industriale}$$

$$\Delta V = I_2 (R_{2eq} \cos \phi + X_{2eq} \sin \phi)$$

TRASFORMATORE : RENDIMENTO

Il rendimento di una macchina è definito come il rapporto tra la potenza attiva in uscita (P_2) e la potenza attiva in ingresso (P_1).

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{I_2 V_2 \cos \phi_2}{I_1 V_1 \cos \phi_1}$$

Vi sono delle oggettive difficoltà ad usare questa formula; gli strumenti di misura possono falsare questo rapporto in maniera significativa. Normalmente si usa:

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_0 + P_{CU}}$$

con:

$$P_{CU} = \left(\frac{I_2}{I_{2n}} \right)^2 P_{CC}$$

P_0 = Potenza attiva a vuoto

P_{CU} = Perdite nel rame

E' possibile, inoltre dimostrare:

$$\eta_{MAX} = \frac{P_n}{P_n + 2\sqrt{P_0 P_{CC}}}$$

P_n = Potenza attiva nominale

P_0 = Potenza attiva a vuoto

P_{CC} = Potenza in corto circuito

con :

$$P_n = V_2 I_{2n} \cos \phi_2$$