



# Macchine Elettriche

## Esercitazione sul trasformatore monofase

Luca Sani

Dipartimento di Sistemi Elettrici e Automazione

Università di Pisa

tel. 050 2217364

email [luca.sani@dsea.unipi.it](mailto:luca.sani@dsea.unipi.it)

# Oggetto della prova

Prova a vuoto e in corto circuito di un trasformatore monofase per la determinazione dei parametri del circuito equivalente

## Dati di targa della macchina

Trasformatore monofase

$$V_{1n} = 230 \text{ V} \quad I_{1n} = 4.35 \text{ A} \quad A_n = 1.0 \text{ kVA}$$

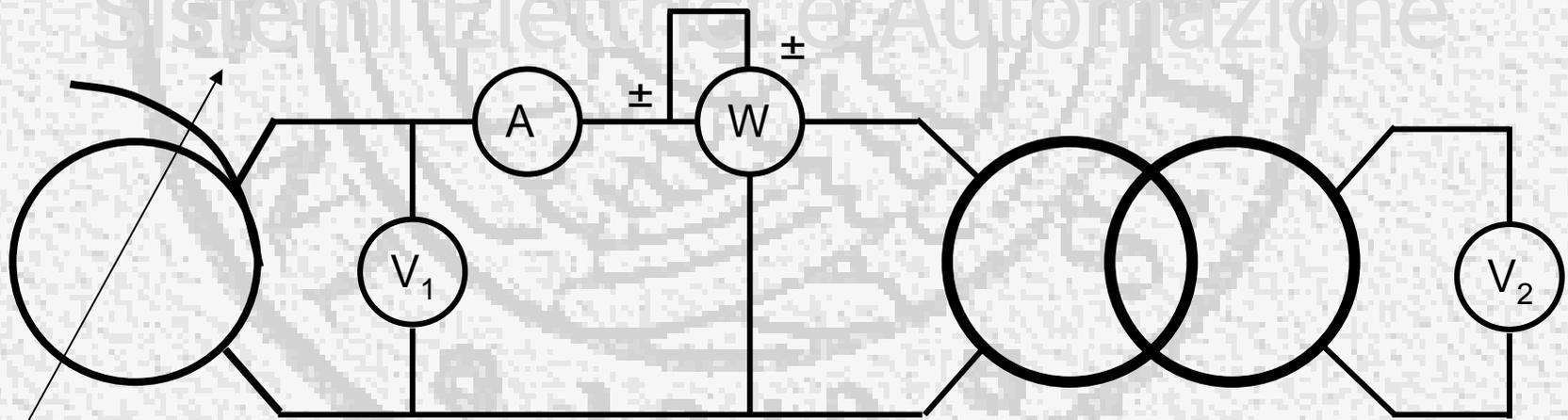
$$V_{2n} = 115 \text{ V} \quad I_{2n} = 8.70 \text{ A} \quad f_n = 50 \text{ Hz}$$

## Prova a vuoto

Uno dei due avvolgimenti è aperto.

Si alimenta l'altro avvolgimento alla tensione nominale  $V_n$

Si misurano la potenza attiva e reattiva assorbite, le sul lato che viene alimentato e le tensioni su entrambi i lati del trasformatore.



## Prova a vuoto

Scelta degli strumenti

In generale la  $I_0\% < 10\% I_n$

In questo caso si ha  $I_{10} < 10\% I_{1n}$

Essendo  $\varphi_0$  elevato per limitare gli errori di misura si utilizza un wattmetro a basso  $\cos\varphi$  ( $\cos\varphi = 0.2$ )

	Portata	Fondo scala	$\delta = \frac{\text{Portata}}{\text{Fondoscala}}$
Voltmetro $V_1$	300 V	150 div	$\delta_{V1} = 2 \text{ V/div}$
voltmetro $V_2$	150 V	150 div	$\delta_{V2} = 1 \text{ V/div}$
Amperometro	0.5 A	0.5 div	$\delta_A = 1 \text{ A/div}$
Wattmetro	240 V 2.5 A Cos $\varphi = 0.2$	120 div	$\delta_W = 1 \text{ W/div}$

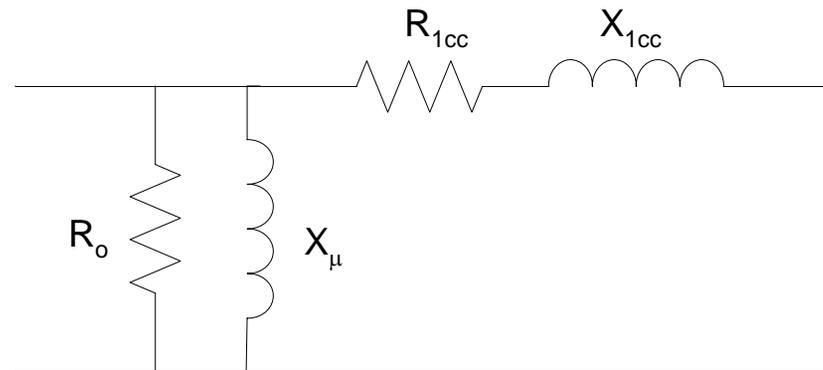
$$\delta_W = (\text{portata voltmetrica} * \text{portata amperometrica} * 0.2) / \text{Fondo scala}$$

## Prova a vuoto

Dalla lettura dei due voltmetri disposti tra due fasi corrispondenti è possibile verificare il rapporto di trasformazione (e quindi quello spire).

$$\tau = V_{AB} / V_{ab} = N_1 / N_2$$

Si considera il seguente circuito equivalente riportato al primario.



Essendo la prova a vuota il ramo a destra è aperto. Le perdite Joule sono trascurabili e quindi la potenza assorbita rappresenta solo le  $P_{fe}$ .

La prova a vuoto permette di determinare la  $R_o$  e la  $X_\mu$ .

## Prova a vuoto

Dalla misura della potenza  $P_o$  si ottiene:

$$P_o = W$$

$$P_o = V_n I_o \cos \varphi_o \rightarrow \cos \varphi_o = \frac{P_o}{V_n I_o}$$

Da cui si ottengono i parametri trasversali  $R_o$  e  $X_\mu$ :

$$|\bar{Z}_o| = \frac{V_n}{I_o}$$

$$R_o = \frac{|\bar{Z}_o|}{\cos \varphi_o}$$

$$X_\mu = \frac{|\bar{Z}_o|}{\sin \varphi_o}$$

# Rilievo della relazione non lineare tra tensione e corrente

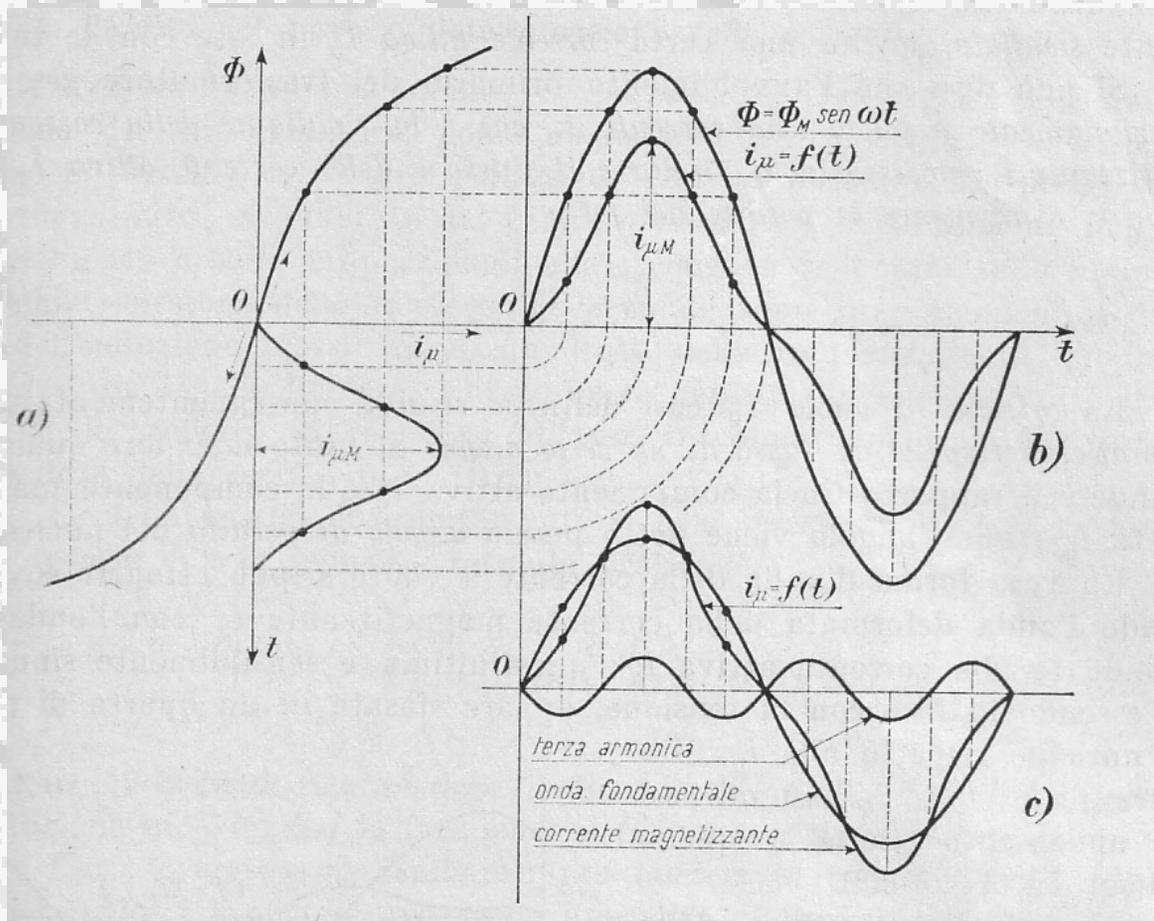
Nel funzionamento a vuoto valgono le relazioni:

$$\begin{cases} V_1 \approx E_1 = 4.44 f N_1 \Phi_M \\ \dot{I}_\mu = \frac{\Re \dot{\Phi}}{N_1} \end{cases}$$

Dalla 1° relazione si ha che l'andamento del  $\Phi$  è imposto dalla tensione e quindi se questa è sinusoidale lo è anche il  $\Phi$ .

Tra flusso e corrente il legame è non lineare dovuto alla presenza del materiale ferromagnetico.

Di conseguenza ad un flusso sinusoidale corrisponde una corrente distorta.

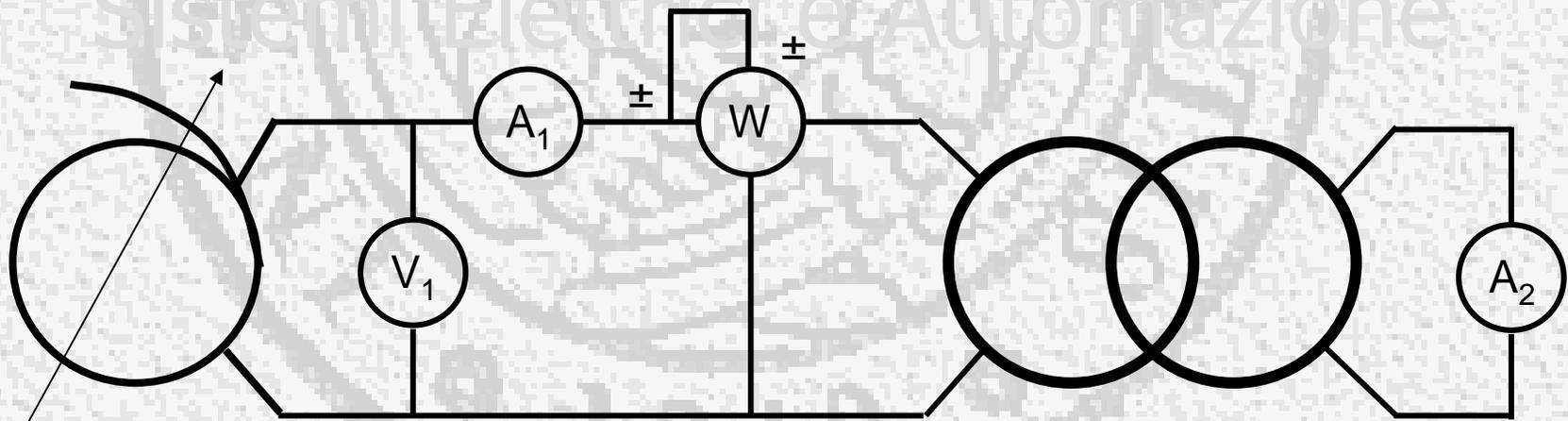


## Prova in corto circuito

L'avvolgimento secondario è chiuso in corto circuito.

Si alimenta l'altro avvolgimento alla tensione tale per cui nelle fasi dei due avvolgimenti circola la corrente nominale.

Si misurano la potenza attiva e reattiva assorbita, le tensioni concatenate sul lato che viene alimentato e le correnti su entrambi i lati.



## Prova in corto circuito

Scelta degli strumenti

In generale la  $V_{cc} \% < 10\% V_n$

In questo caso si ha  $V_{1cc} < 10\% V_{1n}$

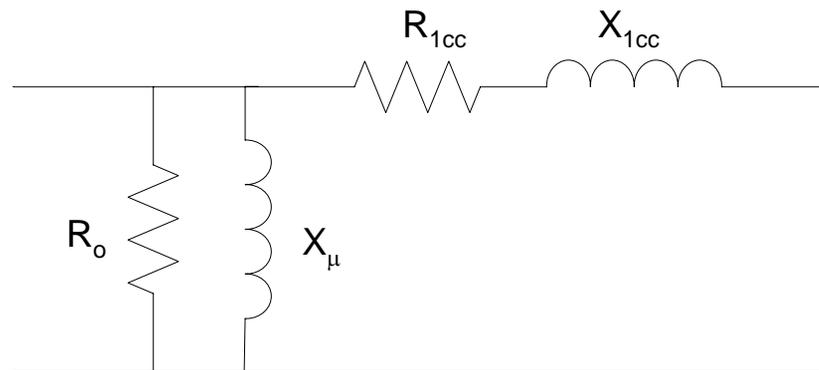
Essendo  $\varphi_{cc}$  elevato per limitare gli errori di misura si utilizza un wattmetro a bosso  $\cos\varphi$  ( $\cos\varphi = 0.2$ )

	Portata	Fondo scala	$\delta = \frac{\text{Portata}}{\text{Fondoscala}}$
Voltmetro	150 V	150 div	$\delta_V = 1 \text{ V/div}$
Amperometro $A_1$	5 A	5 div	$\delta_{A1} = 1 \text{ A/div}$
Amperometro $A_2$	10 A	5 div	$\delta_{A2} = 2 \text{ A/div}$
Wattmetro	120 V    5 A Cos $\varphi = 0.2$	120 div	$\delta_W = 1 \text{ W/div}$

## Prova in corto circuito

Dalla lettura dei due amperometri disposti in serie su i due lati del trasformatore è possibile verificare il rapporto di trasformazione e quello spire.  $1/\tau = I_A / I_a$

Si considera il seguente circuito equivalente riportato al primario.



Essendo la tensione di alimentazione ridotta le perdite nel ferro sono trascurabili rispetto a quelle nel rame e quindi il ramo in parallelo può essere trascurata.

La prova in corto circuito permette di determinare la  $R_{cc}$  e la  $X_{cc}$ .

## Prova in corto circuito

Dalla misura della potenza  $P_{cc}$  si ottiene:

$$P_{cc} = W$$

$$P_{cc} = V_{cc} I_n \cos \varphi_{cc} \rightarrow \cos \varphi_{cc} = \frac{P_{cc}}{V_{cc} I_n}$$

Da cui si ottengono i parametri longitudinali  $R_{cc}$  e  $X_{cc}$ :

$$\left| \bar{Z}_{cc} \right| = \frac{V_{cc}}{I_n} \quad R_{cc} = \left| \bar{Z}_{cc} \right| \cos \varphi_{cc} \quad X_{cc} = \left| \bar{Z}_{cc} \right| \sin \varphi_{cc}$$

## Curva del rendimento

Ipotizzando di alimentare il primario alla tensione nominale e note le  $P_{fe}$  (misurate dalla prova a vuoto) è possibile determinare la curva del rendimento della macchina al variare della corrente assorbita  $I_2$  e del  $\cos\varphi$  del carico.

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{P_u}{P_u + P_{fe} + P_J} = \frac{V_2 I_2 \cos\varphi}{V_2 I_2 \cos\varphi + P_{fe} + R_{2cc} I_2^2}$$

Si fissa il fattore di potenza e si traccia la curva del rendimento per un intervallo di corrente compreso tra zero e il valore nominale.

$$\dot{V}_2 = \dot{E}_2 - \bar{Z}_{2cc} \dot{I}_2$$