

FUNZIONAMENTO AL MASSIMO RENDIMENTO

Le considerazioni che seguono vengono svolte per un trasformatore del quale siano noti i seguenti dati di targa:

- Potenza nominale: P_N
- Tensione nominale: V_N
- Perdite a vuoto (perdite nel ferro): W_0
- Perdite di corto circuito (perdite nel rame a pieno carico): W_{cc}

Per una determinata condizione di carico, corrispondente ad una corrente I e ad un fattore di potenza $\cos\varphi$, il rendimento del trasformatore vale:

$$\eta = \frac{P}{P + W_{fe} + W_{cu}} = \frac{\sqrt{3} \cdot V_N \cdot I \cdot \cos\varphi}{\sqrt{3} \cdot V_N \cdot I \cdot \cos\varphi + W_{fe} + W_{cu}}$$

dove:

- W_{fe} = perdite nel ferro
- W_{cu} = perdite nel rame

Mentre le perdite nel ferro rimangono costanti per qualunque condizione di funzionamento (perdite indipendenti dal carico), le perdite nel rame dipendono viceversa dalla corrente di carico.

Se si indica con $\alpha = I/I_N$ la frazione di carico (rapporto fra la effettiva corrente di funzionamento I e la corrente nominale I_N) a cui lavora il trasformatore, si ha:

- Corrente di funzionamento:

$$I = \alpha \cdot I_N$$

- Perdite nel rame:

$$W_{cu} = \alpha^2 \cdot W_{cc}$$

Il rendimento diventa allora:

$$\eta = \frac{\alpha \cdot \sqrt{3} \cdot V_N \cdot I_N \cdot \cos\varphi}{\alpha \cdot \sqrt{3} \cdot V_N \cdot I_N \cdot \cos\varphi + W_0 + \alpha^2 \cdot W_{cc}}$$

$$\eta = \frac{\alpha \cdot P_N \cdot \cos\varphi}{\alpha \cdot P_N \cdot \cos\varphi + W_0 + \alpha^2 \cdot W_{cc}}$$

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{W_0}{\alpha \cdot P_N \cdot \cos\varphi} + \frac{\alpha \cdot W_{cc}}{P_N \cdot \cos\varphi}}$$

Da questa relazione si nota che, per un determinato fattore di potenza, il rendimento dipende unicamente da α , cioè dalla condizione di carico.

Il rendimento massimo si avrà pertanto in corrispondenza di quel valore di α che rende minimo il denominatore della relazione precedente. Tale valore può essere determinato calcolando e uguagliando a zero la derivata prima rispetto ad α del denominatore stesso, cioè:

$$\frac{d}{d\alpha} \left(1 + \frac{W_0}{\alpha \cdot P_N \cdot \cos \varphi} + \frac{\alpha \cdot W_{cc}}{P_N \cdot \cos \varphi} \right) = 0$$

da cui:

$$-\frac{W_0}{\alpha^2 \cdot P_N \cdot \cos \varphi} + \frac{W_{cc}}{P_N \cdot \cos \varphi} = 0$$

cioè:

$$-W_0 + \alpha^2 \cdot W_{cc} = 0$$

ed infine:

$$\alpha^2 \cdot W_{cc} = W_0$$

Essendo $\alpha^2 W_{cc}$ le perdite nel rame corrispondenti alla frazione di carico α (e quindi ad una determinata corrente di funzionamento I) e W_0 le perdite nel ferro, la relazione precedente diventa:

$$W_{cu} = W_{fe}$$

e quindi si può concludere che:

"Il rendimento massimo si ha in corrispondenza di quella condizione di carico per la quale risultano uguali le perdite nel rame e le perdite nel ferro"

Dalla relazione precedente si può anche calcolare la frazione di carico per la quale il rendimento diventa massimo. Essa risulta:

$$\alpha = \sqrt{\frac{W_0}{W_{cc}}}$$

NOTA

Il valore di α che rende massimo il rendimento deve essere compreso, ovviamente, tra 0 e 1; cioè tra il funzionamento a vuoto e il funzionamento a pieno carico del trasformatore.

Dalla relazione precedente, se α deve essere minore di 1, deve allora anche risultare $W_0 < W_{cc}$.

Per esempio, per i trasformatori di distribuzione in olio si ha $W_0 \approx (1/4 \div 1/6) W_{cc}$ e quindi il massimo rendimento si ha per una frazione di carico compresa fra 0,5 e 0,4.

ESEMPIO

Si abbia un trasformatore in olio MT/BT con i seguenti dati di targa:

- Potenza nominale: $P_N = 200 \text{ KVA}$
- Perdite a vuoto: $W_0 = 640 \text{ W}$
- Perdite di corto circuito: $W_{cc} = 3150 \text{ W}$

La frazione di carico in corrispondenza della quale si ha il rendimento massimo risulta:

$$\alpha = \sqrt{\frac{640}{3150}} = 0,45$$

Il trasformatore ha quindi il rendimento massimo al 45% del carico nominale. Si ha infatti:

- Rendimento a pieno carico a $\cos\varphi = 1$

$$\eta_{100\%} = \frac{200}{200 + 0,640 + 3,150} = 0,9814$$

- Rendimento al 45% del carico nominale con $\cos\varphi = 1$

$$\eta_{45\%} = \frac{0,45 \cdot 200}{0,45 \cdot 200 + 0,640 + 0,45^2 \cdot 3,150} = 0,9860$$

I rendimenti corrispondenti ad altre frazioni di carico sono riportati nella seguente tabella:

α	0,30	0,45	0,60	0,75	0,90	1
η	0,9848	0,9860	0,9854	0,9842	0,9826	0,9814