



Transitorio di inserzione

Una seconda sorgente di sovracorrente è la manovra di inserzione effettuata in particolari condizioni sfavorevoli (trasformatore a vuoto, elevato flusso residuo e inserzione allo zero di tensione con un flusso iniziale della stessa polarità del flusso residuo) con il nucleo magnetico che risulta saturato a tre volte il proprio flusso nominale.

A causa di questa saturazione, l'induttanza apparente della bobina cala di molto, avvicinandosi al comportamento di una bobina in aria. In queste condizioni, la corrente nell'avvolgimento (detta *in-rush current*) può raggiungere valori di picco fino ad una decina di volte la corrente nominale massima, e presenta una forma d'onda estremamente distorta (fig. 1), con un andamento impulsivo il cui valore efficace si attenua con una costante di tempo (τ) di qualche centinaio di millisecondi, che dipende dalle caratteristiche elettromagnetiche del trasformatore.

$$I(t) = \frac{I_{oi} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}}{\sqrt{2}}$$

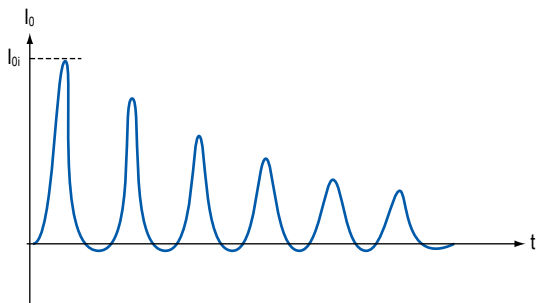


Fig. 1. Sovracorrente di inserzione.

Il valore di cresta (I_{oi}) della corrente di inserzione è espresso come multiplo del valore efficace della corrente nominale primaria:

$$I_{oi} = k_i \cdot I_{1n}$$

L'allegato F della norma CEI 11-35 contiene una tabella con i valori del coefficiente k_i per i trasformatori trifase in olio; alcuni di questi sono riportati in tab. 1.

Potenza [kVA]	k_i	τ_i [s]
50	15	0,1
250	12	0,22
630	11	0,30
1000	10	0,35
2000	8	0,45

In essa sono riportate anche le costanti di tempo di smorzamento (τ_i).

La conoscenza dei due parametri è indispensabile per la taratura delle protezioni a monte del trasformatore. La protezione dal cortocircuito non deve evidentemente intervenire all'inserzione del trasformatore.

Per esempio, un trasformatore da 1000 kVA, 10 kV, ha una corrente nominale primaria:

$$I_{1n} = \frac{A_n}{\sqrt{3} \cdot V_{1n}} = \frac{1000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 10.000 \text{ V}} = 57,8 \text{ A}$$

ma può presentare una corrente di in-rush con picco:

$$I_{oi} = k_i \cdot I_{1n} = 10 \cdot \frac{1000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 10.000 \text{ V}} = 578 \text{ A}$$

e con costante di tempo $\tau_i = 0,35$ s. Per calcolare il ritardo minimo (t_r) a cui tarare i relè di protezione dal cortocircuito posti a monte del trasformatore, perché non intervengano all'inserzione, sollecitati dalla corrente di magnetizzazione, ci si avvale della curva di fig. 2, relativa ai trasformatori in olio.



Fig. 2. Ritardo di intervento del relè di protezione.

Essendo $k_i = 10$:

$$\frac{I_{1n}}{I_{0i}} = \frac{1}{k_i} = \frac{1}{10} = 0,1$$

a cui corrisponde nella curva $t_r/\tau_i = 1,85$, per cui il tempo di ritardo minimo a cui tarare la protezione è:

$$t_r = 1,85 \cdot \tau_i = 1,85 \cdot 0,35 \text{ s} = 0,65 \text{ s}$$

In generale, un ritardo $t_r \geq 1\text{s}$ soddisfa sempre l'esigenza di evitare l'intervento intempestivo delle protezioni.

ESERCIZIO 1

Determinare il picco di corrente di inserzione (I_{0i}) per un trasformatore trifase in olio 20 kV/400 V, 250 kVA e il ritardo minimo (t_r) a cui tarare i relè di protezione dal cortocircuito posti a monte del trasformatore.

[Ris.: $I_{0i} = 86,6 \text{ A}$, $t_r = 2 \cdot 0,22 = 0,44 \text{ s}$]



ESERCIZIO A

Determinare il picco di corrente di inserzione (I_{0i}) per un trasformatore trifase in olio 20 kV/400 V, 630 kVA e il ritardo minimo (t_r) a cui tarare i relè di protezione dal cortocircuito posti a monte del trasformatore.

SOLUZIONE

$$I_{1n} = \frac{A_n}{\sqrt{3} \cdot V_{1n}} = \frac{630.000 \text{ VA}}{\sqrt{3} \cdot 20.000 \text{ V}} = 18,2 \text{ A}$$

Dalla **tab. 1** si ricava il coefficiente moltiplicativo necessario per determinare il picco di corrente di in-rush per un trasformatore in olio da 630 kVA ($K_i = 11$) e la costante di tempo relativa ($\tau_i = 0,30 \text{ s}$).

$$I_{0i} = 11 \cdot I_{1n} = 11 \cdot 18,2 = 200 \text{ A}$$

Essendo $k_i = 11$:

$$\frac{I_{1n}}{I_{0i}} = \frac{1}{k_i} = \frac{1}{11} = 0,091$$

a cui corrisponde nella curva di **fig. 2** $t_r/\tau_i = 1,9$ per cui il tempo di ritardo minimo a cui tarare la protezione è:

$$t_r = 1,9 \cdot \tau_i = 1,9 \cdot 0,3 \text{ s} = 0,57 \text{ s}$$