

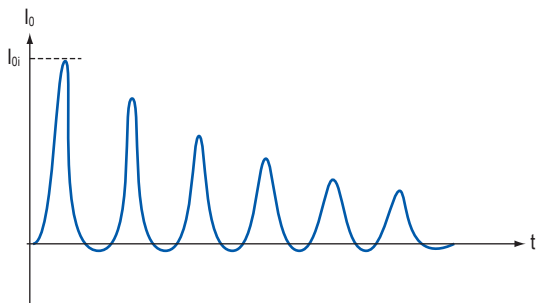


## Transitorio di inserzione

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 ( $\tau$ ) di qualche centinaio di millisecondi, che dipende dalle caratteristiche elettromagnetiche del trasformatore.

$$I(t) = \frac{I_{0i} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}}{\sqrt{2}}$$



**Fig. 1.** Sovracorrente di inserzione.

Il valore di cresta ( $I_{0i}$ ) della corrente di inserzione è espresso come multiplo del valore efficace della corrente nominale primaria:

$$I_{0i} = k_i \cdot I_{1n}$$

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**.

**Tab. 1 - Coefficiente e tempo di inserzione per trasformatori in olio**

Potenza [kVA]	$k_i$	$\tau_i$ [s]
50	15	0,1
250	12	0,22
630	11	0,30
1.000	10	0,35
2.000	8	0,45

In essa sono riportate anche le costanti di tempo di smorzamento ( $\tau_i$ ).

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 1.000 kVA, 10 kV, ha una corrente nominale primaria:

$$I_{1n} = \frac{A_n}{\sqrt{3} \cdot V_{1n}} = \frac{1.000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 10.000 \text{ V}} = 57,8 \text{ A}$$

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

$$I_{0i} = k_i \cdot I_{1n} = 10 \cdot \frac{1.000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 10.000 \text{ V}} = 578 \text{ A}$$

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 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:

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

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