



Emanuele Lorina (Lele_u_biddrazzu)

SOVRACORRENTE DI INSERZIONE DEI TRASFORMATORI

4 November 2012

Introduzione

Nel presente articolo viene analizzato il transitorio di inserzione dei trasformatori di potenza, mettendo in evidenza il motivo per il quale viene assorbita una corrente primaria superiore a quella nominale (*inrush current*). Tale fenomeno, data la sua notevole importanza, viene preso in considerazione dalla norma CEI 0-16, ovvero la *Regola Tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti AT e MT delle imprese distributrici* (brevemente RTC), che pone delle precise prescrizioni in merito alla potenza massima dei trasformatori che possono essere energizzati contemporaneamente in una cabina MT-bt utente al fine di evitare intempestivi interventi dell'interruttore generale in cabina primaria.

Transitorio di inserzione

Trattazione qualitativa

Si consideri un trasformatore monofase, funzionante a vuoto e tale da potere trascurare sia i flussi dispersi che la resistenza dell'avvolgimento primario, a cui viene applicata una tensione $u_1(0) = U_0$ alla quale corrisponderebbe un flusso utile pari a $\Phi_{ss}(0) = \Phi_{ss0}$ se il regime transitorio si fosse esaurito. In realtà il flusso utile, data l'esigua entità della magnetizzazione residua del nucleo, è inizialmente nullo e non può variare in un tempo infinitesimo, pertanto, in base alle considerazioni fatte, è opportuno introdurre una componente unidirezionale di flusso utile $\Phi_{fr} = -\Phi_{ss0}$ che si sovrappone all'andamento temporale del flusso utile che si avrebbe a transitorio esaurito. Quanto appena detto trova riscontro negli andamenti temporali mostrati nella figura 1.

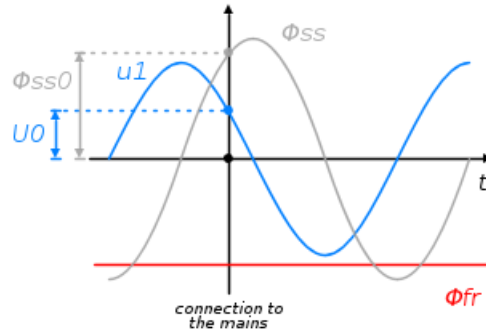


Figura - 1

Dopo pochi istanti, le due componenti del flusso utile totale assumeranno "segni concordi" portando in saturazione il nucleo del trasformatore con il conseguente assorbimento da parte di quest'ultimo di una corrente primaria a vuoto decine di volte superiore rispetto a quella che si avrebbe a transitorio estinto. A tal proposito si ritiene utile mettere in rilievo che la componente unidirezionale del flusso utile non rimane costante, così come illustrato in figura 1 per via delle ipotesi semplificative assunte, ma diminuisce con legge esponenziale come verrà meglio chiarito in seguito.

Trattazione analitica

Si considerino valide le ipotesi di lavoro riportate nel paragrafo precedente con la sola differenza che la resistenza R_1 dell'avvolgimento primario si ritiene diversa da zero, sebbene fosse possibile trascurarla dato il suo esiguo valore. Applicando la KVL all'avvolgimento primario, si ottiene la seguente equazione differenziale

$$u_1(t) = U_M \sin(\omega t + \psi_0) = R_1 i_0(t) + N_1 \frac{d\Phi_t(t)}{dt} \quad (1)$$

essendo:

- ψ_0 la fase propria della tensione di alimentazione $u_1(t)$;
- $i_0(t)$ la corrente primaria assorbita dal trasformatore;
- N_1 il numero di spire dell'avvolgimento primario;
- $\Phi_t(t)$ il flusso utile totale.

Sebbene il legame $\Phi_t = f(i_0)$ sia di natura non lineare, la soluzione dell'equazione differenziale (1) può essere facilmente ricavata ipotizzando una relazione del tipo

$$N_1 \Phi_t = L_1 i_0 \quad (2)$$

dove L_1 , ovvero il coefficiente di autoinduzione dell'avvolgimento primario, è costante indipendentemente dal valore assunto dalla corrente i_0 .

Sostituendo la relazione (2) nella (1), si ottiene un'equazione differenziale lineare a coefficienti costanti nella quale compare come incognita solamente il flusso utile totale Φ_t

$$U_M \sin(\omega t + \psi_0) = \frac{R_1 N_1}{L_1} \Phi_t + N_1 \frac{d\Phi_t}{dt} \quad (3)$$

la cui soluzione è costituita dalla somma di due termini

$$\Phi_t(t) = \Phi_{ss}(t) + \Phi_{fr}(t) \quad (4)$$

essendo:

- $\Phi_{ss}(t) \approx -\Phi_M \cos(\omega t + \psi_0)$ l'andamento del flusso utile a regime raggiunto;
- $\Phi_{fr}(t) = \Phi_M \cos(\psi_0) e^{-\frac{R_1}{L_1}t}$ la componente unidirezionale del flusso utile.

Da quanto detto, si possono dedurre le seguenti conclusioni:

1. la componente unidirezionale del flusso utile diminuisce con legge esponenziale all'aumentare del tempo e il transitorio di inserzione si può ritenere esaurito dopo un intervallo di tempo pari a circa $5 L_1 / R_1$;
2. la situazione più gravosa di funzionamento si ottiene quando $\psi_0 = 0$ poiché, dopo circa mezzo periodo dall'inserzione, il flusso utile complessivo raggiunge un valore pari a circa due volte il valore nominale, saturando così il nucleo del trasformatore e causando un assorbimento di corrente il cui valore di cresta può essere stimato a circa $6 \div 12$ volte il valore della corrente nominale primaria.

Per la determinazione "pratica" del valore di cresta della corrente di inserzione, rimando a [questo](#) interessante articolo di [admin](#).

Osservazioni sulla RTC

Il fenomeno della sovracorrente di inserzione non costituisce di fatto un particolare pericolo per l'integrità del trasformatore ma può causare, se la potenza impegnata è particolarmente elevata, l'intervento dell'interruttore generale in cabina primaria dell'ente distributore con conseguente disservizio per tutti gli utenti MT alimentati. In virtù di quanto appena detto, la RTC (norma CEI 0-16) prescrive dei ben precisi limiti per la potenza complessiva delle unità di trasformazione che l'utente può energizzare contemporaneamente, ovvero:

- $3 \times 1600 \text{ kVA}$ a 15 kV;

- $3 \times 2000 \text{ kVA}$ a 20 kV.

Qualora l'utente dovesse impegnare potenze superiori ai suddetti valori, dovrà temporizzare l'inserzione dei trasformatori che eccedono i limiti prescritti dalla RTC mediante opportuni automatismi.

Bibliografia

- M.Kostenko - L.Piotrowsky, "*Electrical Machines vol.1*", Mir Publishers, 1977;
- Zeno Martini, "*Corrente di inserzione di un trasformatore*", ElectroYou;
- V.Carrescia - M.Delfanti - C.Turconi, "*La regola tecnica per la connessione*", TNE, 05/2008.

Estratto da "http://www.electroyou.it/mediawiki/index.php?title=UsersPages:Lele_u_biddrazzu:sovracorrente-di-inserzione-dei-trasformatori"