

7.6 Terza armonica e collegamento a zig-zag (approfondimento)

Alimentando con una tensione sinusoidale il primario di un trasformatore monofase a vuoto, il flusso nel materiale risulta sinusoidale e, di conseguenza, sono sinusoidali anche l'induzione e la forza elettromotrice indotta al secondario.

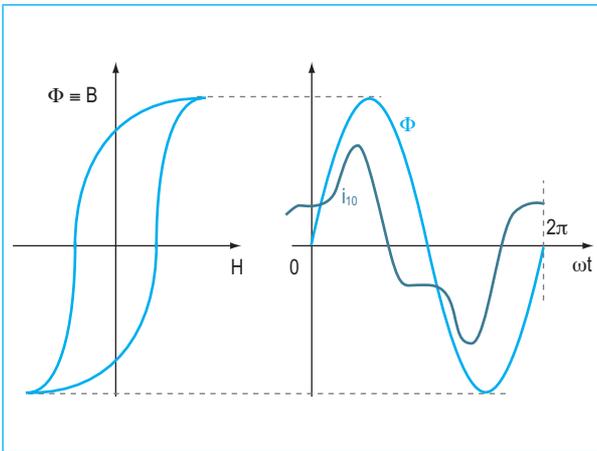


Fig. 7.web 1 Deformazione della corrente a vuoto.

La corrente a vuoto I_{10} , purtroppo, per effetto della non linearità dell'isteresi magnetica, risulta distorta (fig. 7.web 1) e, sviluppata in serie di Fourier, presenta una componente di terza armonica con energia significativa ($I_{\mu 3}$), con fase 180° rispetto al passaggio per lo zero della fondamentale ($I_{\mu 1}$, fig. 7.web 2).

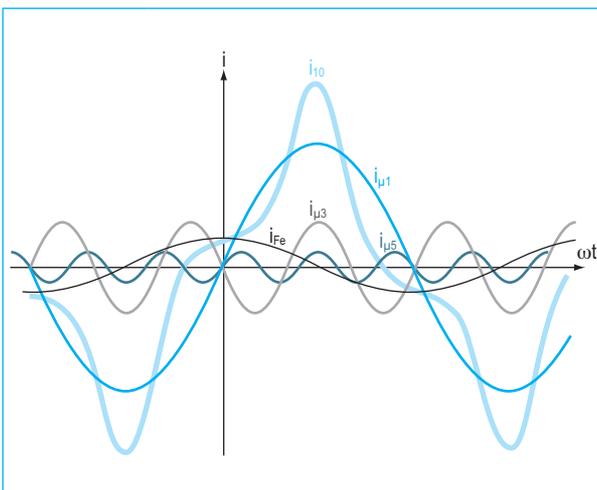


Fig. 7.web 2 Armoniche di magnetizzazione.

Questa componente di terza armonica, quindi, è presente sulla linea di alimentazione e può disturbare per diafonia, per esempio, un'eventuale linea telefonica che corre in prossimità.

Primario a triangolo

Alimentando a triangolo il primario di un trasformatore trifase con tensioni sinusoidali simmetriche, essendo sinusoidale la tensione applicata su ciascuna delle fasi, risultano sinusoidali anche i flussi, le induzioni e, soprattutto, le forze elettromotrici indotte sul secondario.

Essendo le tensioni di fase sfasate tra loro di $\pm 120^\circ$, le terze armoniche risultano in fase tra loro (fig. 7.web 3). In questo caso nelle correnti di linea, ottenute come differenza tra due correnti di fase, le terze armoniche delle correnti magnetizzanti si annullano reciprocamente e le correnti di linea risultano sinusoidali.

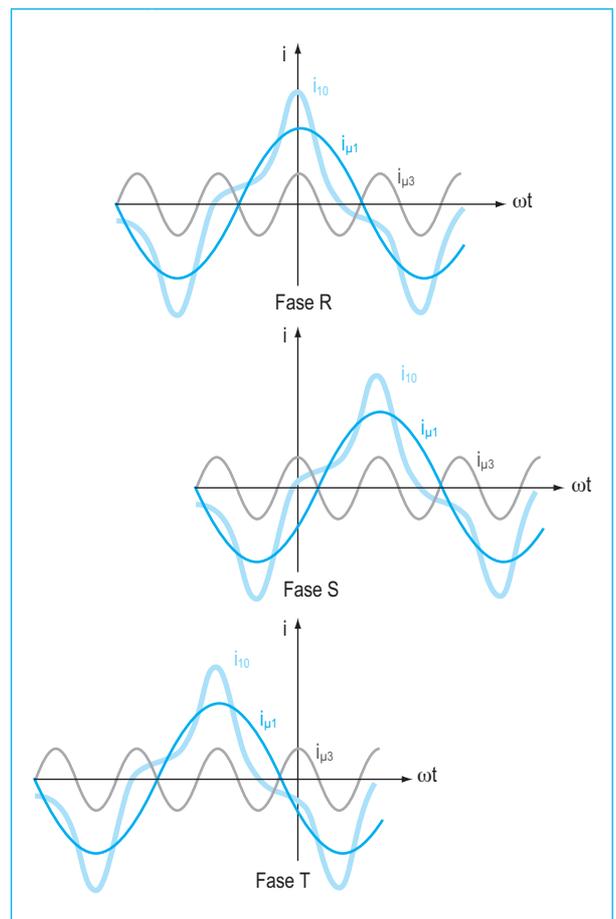


Fig. 7.web 3 Terze armoniche in fase tra loro.

In conclusione, la possibilità di circolazione per le componenti di terza armonica delle correnti magnetizzanti primarie permette alla corrente magnetizzante stessa di deformarsi, la qual cosa fa sì che il flusso, e quindi la forza elettromotrice indotta rivolta al carico, sia sinusoidale (ed è questa la condizione ricercata). La soluzione con primario a triangolo, quindi, è una buona soluzione.

Primario a stella con neutro

Se il primario è a stella con neutro, le tensioni di fase sono sinusoidali e, quindi, lo sono pure i flussi e le forze elettromotrici indotte al secondario, mentre le correnti magnetizzanti e le correnti di linea sono distorte e contengono terze armoniche.

Se le tensioni di fase sono sfasate tra loro di $\pm 120^\circ$, le terze armoniche risultano in fase tra loro e il neutro viene quindi percorso da una corrente permanente a 150 Hz che può causare disturbi. Anche in questo caso, la possibilità di circolazione per le componenti magnetizzanti di terza armonica fa sì che le forze elettromotrici sul secondario risultino sinusoidali.

Primario a stella senza neutro

Con il primario a stella senza conduttore di neutro, dovendo risultare nulla la somma delle tre correnti di linea, le terze armoniche, in fase tra loro, non possono circolare sulle linee, perché non hanno risultante nulla e, quindi, non possono esistere. Pertanto, il sistema si configura in modo che le correnti magnetizzanti siano (per necessità) sinusoidali e, di conseguenza, a risultare distorti sono i flussi, con una terza armonica in fase con il passaggio per lo zero della fondamentale (fig. 7.web 4).

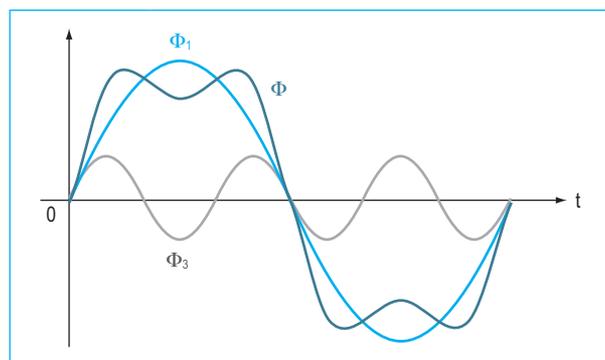


Fig. 7.web 4 Flusso distorto.

Se il flusso risulta deformato, lo sono anche le tensioni di fase al primario, ma soprattutto le forze elettromotrici indotte sul secondario.

Al primario le tensioni di fase sono sfasate tra loro di $\pm 120^\circ$, perciò le terze armoniche di tensione sono in fase tra loro e le tensioni concatenate applicate al sistema, ottenute dalla differenza tra due tensioni di fase, risultano sinusoidali, come deve essere (tensioni di fase distorte sono difatti compatibili con tensioni concatenate perfettamente sinusoidali).

Il problema maggiore riguarda, quindi, le tensioni di fase deformate presenti sul secondario.

Secondario a stella

Pur con le tensioni di fase deformate, anche se il secondario è a stella, le tensioni concatenate rivolte al carico sono sinusoidali; pertanto, se al secondario non è necessaria la disponibilità del neutro, non ci sono problemi per il carico.

Se, invece, al secondario è necessaria la disponibilità del conduttore di neutro, perché servono le tensioni di fase, è possibile ottenere tensioni di fase sinusoidali mediante il collegamento del secondario a zig-zag.

Secondario a zig-zag

Per poter ottenere il collegamento a zig-zag, ciascuna fase dell'avvolgimento secondario del trasformatore deve risultare costituita da due semi-bobine uguali (fig. 7.web 5).

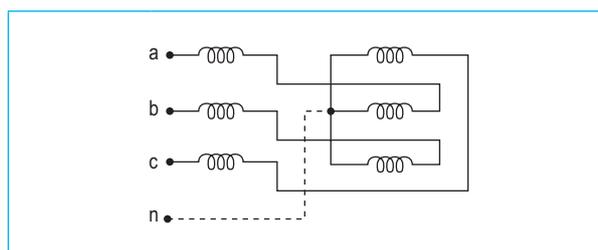


Fig. 7.web 5 Secondario collegato a zig-zag.

Per comporre la connessione corretta degli avvolgimenti, la prima sezione di ciascuna fase è collegata in serie discorde, con la seconda sezione della fase posta sulla colonna successiva, e gli avvolgimenti risultanti sono chiusi a stella.

Con questa connessione, se i flussi sono distorti, tutte le tensioni indotte parziali contengono terze armoniche in fase tra loro e le tensioni di fase costruite, ottenute dalla differenza tra tensioni indotte derivate da due semiavvolgimenti disposti su colonne diverse, contengono solo le componenti fondamentali, avendo annullato reciprocamente le terze armoniche.

Secondario a triangolo

Se il secondario è a triangolo, risultano distorte le tensioni concatenate rivolte al carico, ma le forze elettromotrici indotte si trovano tra di loro in serie nella maglia chiusa formata dal triangolo dei tre avvolgimenti: le componenti fondamentali (50 Hz), essendo sfasate tra di loro di 120° , danno luogo ad una risultante nulla, mentre le

componenti armoniche del terzo ordine (150 Hz), essendo tra di loro in fase, impongono la circolazione di una corrente a 150 Hz all'interno della maglia stessa. Tale corrente di terza armonica tende, per la legge di Lenz, ad opporsi alla causa che l'ha generata e perciò tende a limitare

la terza armonica nei flussi. Ne segue che, con il collegamento a triangolo del secondario, diminuisce sensibilmente la deformazione delle forze elettromotrici indotte e la distorsione risulta di entità inferiore rispetto al collegamento del secondario a stella.