

Correzione del fattore di potenza e armoniche

Soluzioni passive con componenti induttivi

Tipi di fattori di potenza

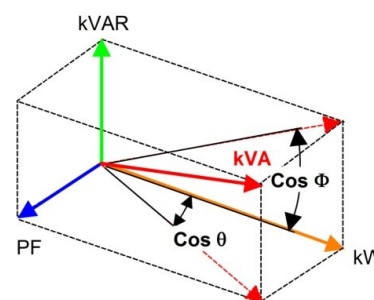
Ci sono due tipi di fattori di potenza:

Displacement Power Factor (fattore di potenza dovuto allo sfasamento) che è dovuto all'induttanza di un carico elettrico che fa in modo che la corrente assorbita sia in ritardo rispetto alla tensione applicata e

Harmonic Power Factor (fattore di potenza dovuto alle armoniche) che è causato da commutazioni non lineari della tensione applicata come nel caso di rettificatori o semiconduttori di potenza.

Il vero fattore di potenza è una combinazione di entrambi.

La potenza apparente (kVA) fornita a un carico elettrico è sempre molto maggiore della potenza che viene utilizzata (kW). Per questo motivo una apparecchiatura elettrica deve essere dimensionata per i kVA. Essendo la corrente molto maggiore della corrente di targa del carico, i cavi di alimentazione, i dispositivi di protezione e i trasformatori devono essere sovradimensionati di conseguenza.



Definizione di distorsione armonica

La distorsione armonica creata da un carico viene ottenuta misurando la corrente a ogni frequenza armonica (multipla della frequenza della rete di alimentazione che normalmente è 50 Hz o 60 Hz per la rete di alimentazione pubblica). Per ogni armonica viene poi calcolato il rapporto fra la corrente armonica e la corrente totale.

$$\frac{I_n}{I_t}$$

La **distorsione armonica totale** (THD = Total Harmonic Distortion) è il rapporto tra il valore quadratico medio delle armoniche (in questo contesto correnti armoniche I_n di ordine n) e il valore quadratico medio della fondamentale.

$$THD = \sum_{n=2}^{40} \left(\frac{I_n}{I_t} \right)^2$$

La **distorsione armonica parziale ponderata** (PWH = Partial Weighted Harmonic Distortion) è il rapporto tra il valore quadratico medio di un gruppo di armoniche selezionato di ordine elevato (qui partendo dalla quattordicesima armonica) e il valore quadratico medio della fondamentale.

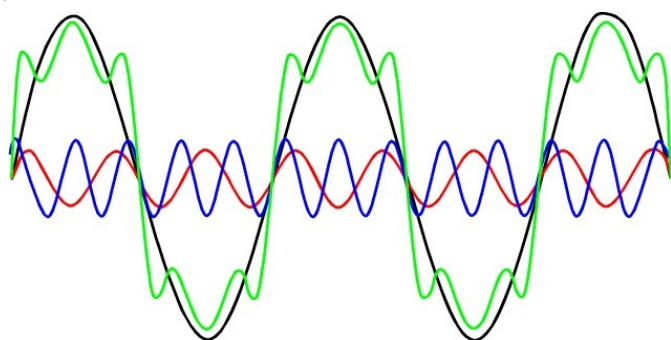
$$PWH = \sqrt{\sum_{n=14}^{40} n \left(\frac{I_n}{I_t} \right)^2}$$

Nota: la distorsione armonica parziale ponderata viene utilizzata per assicurare che gli effetti delle correnti armoniche di ordine superiore sui risultati siano sufficientemente ridotti e che non sia necessario specificare limiti individuali.

La **distorsione armonica in tensione** (THDV) è causata principalmente da alti livelli di distorsione armonica in corrente (THDI) e il livello THDV dipende fortemente dall'impedenza del generatore. Impedenza del generatore più elevata significa un livello THDV più alto.

Problemi associati alle armoniche

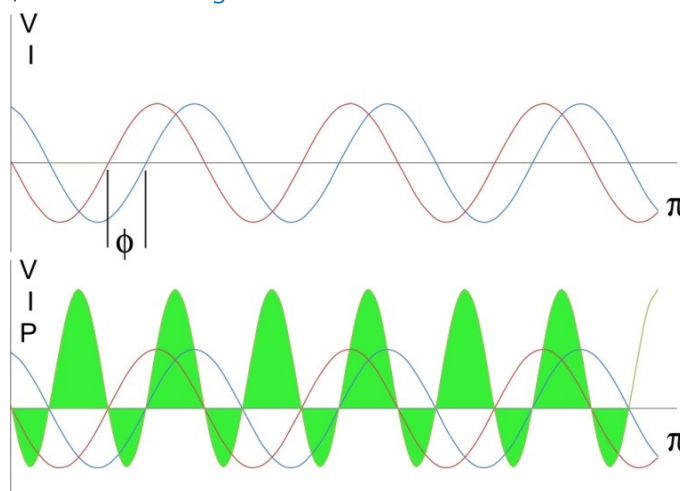
1) Distorsione della tensione di rete



La forma d'onda della corrente fondamentale è rappresentata in colore nero e le forme d'onda della terza e della quinta armonica sono rappresentate rispettivamente in colore rosso e blu.

La forma d'onda risultante della corrente, in colore verde, è distorta e può avere qualunque aspetto a seconda delle frequenze e delle ampiezze delle armoniche predominanti.

2) Perdite di energia elettrica



In ogni carico induttivo la componente reattiva dell'impedenza ha come azione quella di impedire alla corrente di scorrere e così l'effetto risultante è che la forma d'onda della corrente è in ritardo rispetto alla forma d'onda della tensione. Di conseguenza, essendo $P = V \times I$ ed essendo in alcuni intervalli di tempo questi valori di segno negativo, una quota di potenza viene fatta tornare verso la rete. Maggior potenza viene quindi richiesta in aggiunta alla potenza utile. La potenza restituita genera perdite nei circuiti e nei componenti e così parte della potenza viene sprecata. Esiste un fattore di potenza associato ad ogni armonica.

3) Aumento della potenza apparente e sovradimensionamento delle sorgenti di alimentazione

Come spiegato al punto (2) la potenza apparente aumenta e così aumenta anche la corrente fornita. Per questo motivo in presenza di armoniche i conduttori e i componenti devono essere dimensionati per correnti molto più elevate di quelle che dovrebbero essere e ciò porta di conseguenza ad un aumento dei costi di installazione. Un errato potenziamento dei cavi può portare a sovraccarichi di corrente, a ulteriori riscaldamenti e in casi estremi persino a incendi.

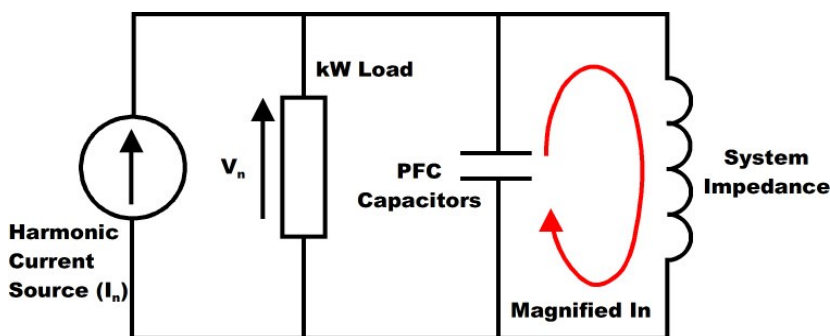
4) Danni ai condensatori

La rete elettrica viene in genere considerata di tipo induttivo e la sua impedenza cresce all'aumentare della frequenza. Viceversa l'impedenza dei condensatori diminuisce all'aumentare della frequenza e così le correnti armoniche a frequenze più elevate con molta probabilità fluiscono attraverso i condensatori collegati al circuito. Le correnti di valore aumentato generano tensioni più elevate sul dielettrico dei condensatori e ciò può portare a sollecitazioni eccessive e a guasti prematuri.

5) Risonanza armonica

Poiché i condensatori lavorano in maniera opposta agli induttori – favoriscono infatti il flusso di corrente anziché opporsi ad esso – essi vengono spesso utilizzati come una soluzione per la correzione del fattore di potenza. La forma d'onda della corrente di un condensatore che si carica e si scarica è in anticipo rispetto alla forma d'onda della tensione applicata. Quindi inserendo il corretto valore di capacità in un circuito che ha un cattivo fattore di potenza a causa della reattanza induttiva, è possibile modificare il fattore di potenza in modo tale che $\cos \Phi$ sia approssimativamente uguale a 0.95 (diventa progressivamente sempre più costoso approssimarsi al valore 1 e ciò non sempre può essere giustificato – inoltre le aziende fornitrici di energia elettrica non desiderano avere reattanza capacitiva collegata alla rete di distribuzione per vari motivi).

La risonanza armonica è in genere causata dalla risonanza parallela tra i condensatori per la correzione del fattore di potenza collegati al carico e il trasformatore che alimenta quel carico. Quando più sorgenti di correnti armoniche iniettano correnti nel circuito di alimentazione e la frequenza di una di queste armoniche coincide con la frequenza di risonanza della combinazione del trasformatore di alimentazione e dei condensatori per la correzione del fattore di potenza, il sistema entra in risonanza e viene provocata la circolazione di una corrente armonica di valore elevato fra questi componenti. Il risultato di ciò è che una corrente di valore elevato scorre nel trasformatore di alimentazione, col risultato di un elevato livello di distorsione armonica in tensione che può causare malfunzionamenti delle apparecchiature, perdite nel trasformatore dovute a maggior riscaldamento, interferenze con i sistemi di comunicazione, guasti prematuri dei motori e dei condensatori per la correzione del fattore di potenza.



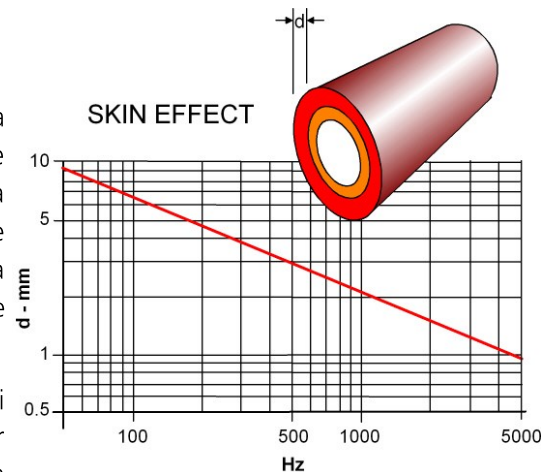
6) Sovraccarico del trasformatore e del conduttore neutro dovuto a correnti a fase nulla eccessive

La maggior parte dei carichi monofase come i personal computer e apparecchi simili che utilizzano alimentatori switching e che sono connessi tra una fase e il neutro, generano correnti armoniche dispari multiple di tre, come la 3^a, la 9^a e la 15^a – dette *tripleN* o armoniche di terza – che hanno il ritorno attraverso il conduttore neutro. Queste armoniche di terza non si annullano l'un l'altra ma anzi si sommano tra loro. Questo è il motivo per il quale la maggior parte delle sale computer per servizi di *Information Technology* (IT) e degli insediamenti quali i *Computer Integrated Building* (CIB) richiedono che la sezione del conduttore neutro sia maggiorata (double-rated).

7) Perdite nei conduttori (effetto pelle)

La resistenza di un conduttore cresce all'aumentare della frequenza a causa di un fenomeno noto come effetto pelle. Tale fenomeno fa sì che la corrente si concentri nella sezione più esterna del conduttore e così la sezione non ha più densità di corrente uniforme. La profondità di pelle è la profondità al di sotto della superficie di un conduttore alla quale la densità di corrente è ridotta al valore 1/e del valore che ha in superficie (approssimativamente 1/3).

Nel caso del rame, ad esempio, a 150 Hz (3^a armonica) la profondità di pelle è 9 mm mentre a 1.050 Hz (21^a armonica) è solamente 2 mm. Per questo motivo in presenza di armoniche i conduttori perdono efficienza e generano calore.



8) Sequenze di rotazione negative nei motori

Lo statore fisso posto nella parte esterna di un motore asincrono ha avvolgimenti che vengono alimentati con corrente alternata al fine di generare un campo magnetico rotante che viene inseguito dal rotore. Alcune armoniche, in particolare la 5^a, l'11^a e la 17^a creano una sequenza negativa che si oppone alla rotazione del campo. Ciò può generare perdite elevate all'interno del motore con possibili surriscaldamenti che conducono a guasti prematuri.

9) Surriscaldamento dei trasformatori

Gli avvolgimenti dei trasformatori subiscono un aumentato auto riscaldamento I^2R (perdite nel rame) dovuto sia alla presenza delle correnti armoniche circolanti sia all'aumentato valore di resistenza alle frequenze più elevate dovuto all'effetto pelle. Inoltre i valori delle correnti armoniche nei conduttori neutri dei trasformatori risentono del fenomeno di accumulo delle armoniche (in particolare le armoniche di terza o *TripleN*) e tali valori possono raggiungere 2,1 volte i valori delle correnti di fase.

Un effetto simile all'effetto pelle nei conduttori, fa aumentare le perdite per correnti parassite nei nuclei di ferro-silicio dei trasformatori di alimentazione quando la frequenza aumenta, causando un aumento delle perdite per correnti parassite per un dato trasferimento di potenza che ci si sarebbe aspettato dal valore quadratico medio (true RMS) delle correnti.

Speciali trasformatori – detti “trasformatori a fattore K” – vengono utilizzati nelle applicazioni dove sia nota l'esistenza di correnti armoniche.

10) Falsi interventi

Forme d'onda distorte dalle armoniche possono provocare interventi di protezione contro i surriscaldamenti, di fusibili, interruttori automatici e altri dispositivi di protezione di sovracorrente e ciò accade nonostante essi siano correttamente calcolati per il valore del carico, assumendo però una forma d'onda per la tensione di alimentazione puramente sinusoidale. Per questo motivo devono essere inseriti dispositivi di protezione sovradimensionati, che sono più costosi e cosa più importante ancora, possono non essere in grado di prevenire un danno alle apparecchiature che si suppone siano protette o possono non prevenire un rischio di incendio.

11) Rumore al passaggio per lo zero

Molti sistemi di controllo e molti circuiti di generazione dei tempi si basano sul passaggio per lo zero della sinusoide di rete per il sincronismo e la temporizzazione, così ad esempio le unità di comando e controllo con controllo a parziale-zazione di fase, i regolatori di tensione automatici e i raddrizzatori trifase per motori DC. Alcune combinazioni di armoniche possono fare in modo che si presentino più passaggi per lo zero all'interno del ciclo e possono disturbare fortemente il funzionamento di apparecchiature elettriche che richiedono temporizzazioni legate alla frequenza fondamentale.

12) Malfunzionamento dei gruppi elettrogeni di emergenza

Le armoniche possono causare problemi imprevisti quando si passa dalla rete ai gruppi elettrogeni di emergenza come ad esempio nel caso degli ospedali.

Fonti di armoniche

Qualunque carico non lineare che include commutazioni genera armoniche sulla rete di distribuzione e la forma d'onda associata a un carico può essere analizzata e scomposta per fornire lo spettro delle armoniche. Gli esempi che seguono sono solo alcuni casi di apparecchi e sistemi che generano armoniche:

- Gruppi statici di continuità (UPS)
- Motori, ventilatori e pompe
- Server (in particolare i blade-server che hanno un fattore di potenza rilevante)
- Personal computer, monitor, stampanti e fotocopiatrici
- Lampade fluorescenti, lampade a risparmio energetico
- Illuminazione a bassa tensione con trasformatori elettronici
- Ascensori e scale mobili
- Azionamenti a velocità variabile e alimentatori switching
- Raddrizzatori, convertitori di potenza e unità di comando e controllo a tiristori
- Refrigeratori industriali (*chiller*), compressori, freezer e forni a microonde
- Apparecchi per la climatizzazione, il riscaldamento e la ventilazione (HVAC)

Soluzioni passive

Ci sono più soluzioni disponibili per limitare e attenuare le armoniche. Le tecniche seguenti utilizzano componenti passivi che vengono selezionati per attenuare particolari armoniche piuttosto che per attenuare l'intero spettro e questo è in generale un approccio più conveniente dal punto di vista economico.

