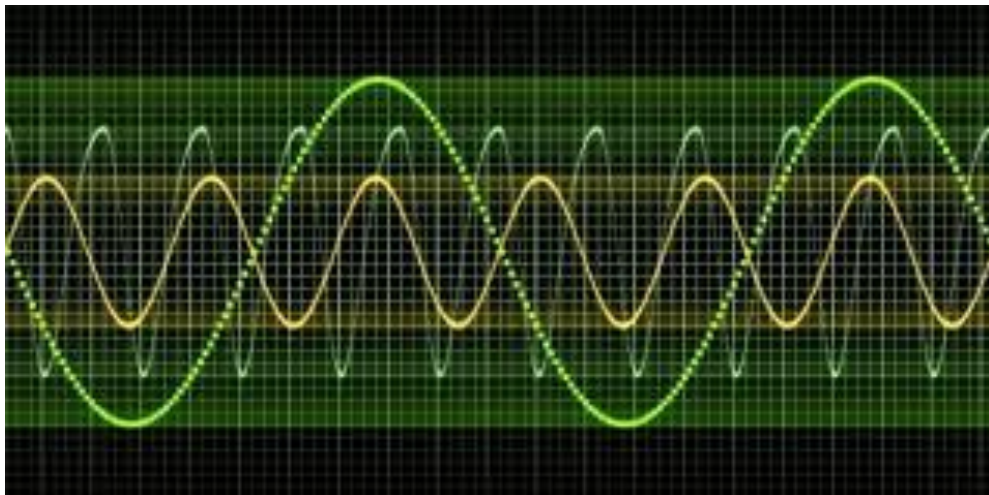


GUIDA AI DISTURBI RADIO E FENOMENI ARMONICI DERIVATI DALL'UTILIZZO DI DRIVES



SUSSIDIARIO TECNICO N° 4

Siro Alzetta

“ Tutte le scienze esatte sono dominate dall’idea dell'approssimazione.”

Bertrand Russel

PREMESSE

Perché scrivere un testo sui disturbi elettromagnetici? Semplice, per cercare di rispondere ad una serie di domande, senza risposta, che mi sono poste generalmente dai nostri clienti i quali per motivi e problemi diversi stanno affrontando negli ultimi anni questo argomento sempre con maggiore frequenza.

Ad aggiungere del “ pepe “ alla materia c’è anche una certa perplessità (giusta e comprensibile) nella spiegazione dei fenomeni fisici, già di per se sufficientemente complessi, ma anche poca chiarezza sull’aspetto normativo e delle responsabilità correlate, perché mentre il fenomeno fisico, in quanto tale, è invariabile, la norma cambia a seconda della responsabilità tecnica che l’azienda o il singolo hanno nella filiera.

Con questo breve testo, cercherò nel limite del possibile, e delle mie, spero, capacità di fare chiarezza e di aiutare chi legge a districarsi in questo mondo.

FEBBRAIO 2020

1.

I DISTURBI ELETTROMAGNETICI NEI DISPOSITIVI E NELLE RETI ELETTRICHE

La causa principale del fenomeno, pressoché sconosciuto sino alla metà degli anni 90 del Novecento, ha assunto una crescita proporzionale all'utilizzo e all'inserimento di apparecchiature elettroniche negli impianti industriali, di per sé sino a quel momento quasi totalmente avulsi da problematiche di disturbi. In quell'epoca e ancora prima, gli unici fenomeni degni di nota erano gli impianti citofonici e videocitofonici che accusavano spesso ronzii, effetti sabbia, e tutta una casistica di eventi che facevano impazzire gli elettricisti.

Partendo dunque da questa considerazione, chi realizza e progetta l'impianto industriale, solitamente lo interpreta come una serie di dispositivi (prese-quadri-cavi-luci-etc) necessari a garantire l'erogazione di energia elettrica all'interno di uno stabile (spesso un capannone), non tenendo conto di altre apparecchiature che spesso sono a bordo della macchine, o collocate negli stessi utilizzatori (dimmer, pompe, ventilatori, server) che possono causare non pochi problemi nella qualità della rete stessa. Questa non deve essere interpretata come una critica, in quanto molto spesso il progettista o l'installatore stesso non ne sono a conoscenza, oppure non sono coinvolti nella scelta dei macchinari che sono appannaggio di altri professionisti (mecatronici, termotecnici, etc). Di fatto il mondo degli elettrotecnici non è molto diverso da quello dei medici, esistono specialisti per ogni ramo. Tornando al punto focale possiamo considerare ormai, con una certa approssimazione, che tutti gli impianti industriali hanno almeno degli inverter, dei server negli uffici e con essi sempre degli UPS, dei rifasatori elettronici per la correzione del $\cos \varphi$, talvolta azionamenti e attuatori macchina. Tutte queste apparecchiature sono manufatti elettronici, che hanno un carico non lineare e che per loro natura costruttiva sono emettitori di forme distorcenti, e talvolta producono emissioni condotte. Esiste tuttavia una definizione tecnica e normativa ben diversa tra i disturbi radio e le armoniche.

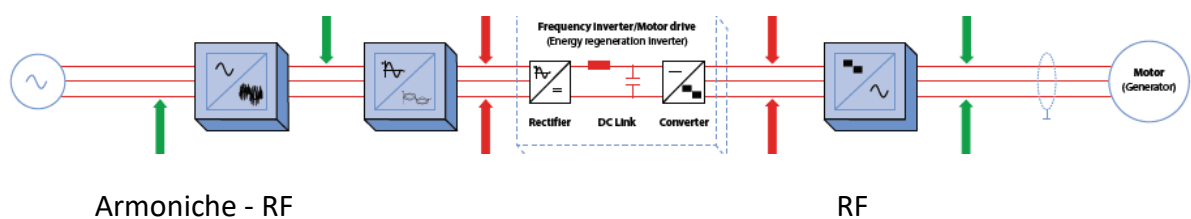
| Harmonics | LF range | Conducted RF range | Conducted RF range | Radiated RF range | Radiated RF range |
|------------------------------------|------------------------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|-------------------|
| 50Hz - 2/2.5kHz 60Hz - 2.4/3kHz | 2/2.5kHz - 9kHz 2.4/3kHz - 9kHz | 9kHz - 150kHz | 150kHz - 30MHz | 30MHz - 1/2/3GHz * | Above 3GHz |

Regulated range
 Regulated range for some products
 Unregulated range
 * Upper limit depends on product

Definition of frequency ranges

Come si può notare dalla tabella a pagina 4 la distinzione viene individuata per gamme di frequenza. Le frequenze che meritano di essere analizzate nel presente testo sono quelle relative alle armoniche, comprese per le nostre reti a 50 Hz, (tra i 2-2,5 kHz) e le emissioni condotte (9 kHz – 30 Mhz).

La prima considerazione in merito a questa classificazione va fatta inserendo in un ipotetico circuito elettrico un carico distorto, tale da suddividere le emissioni.



Quindi, le emissioni RF (150 kHz – 30 Mhz), le avremmo a monte e a valle del carico lungo il cavo sino all'utilizzatore, prodotte dallo scambio di elettroni tra i due, mentre le armoniche saranno quei disturbi prodotti dal carico distorto stesso verso la rete.

Mentre il fenomeno RF, quando crea problemi tipicamente riconducibili a disturbi sugli ausiliari se non propriamente schermati e intervento intempestivo dei differenziali, è facilmente correggibile adottando misure appropriate sul ramo stesso dell'impianto interessato, le armoniche possono causare una vera e propria miriade di problematiche che per natura stessa non sono più solo di pertinenza del ramo di impianto interessato, ma diventano connessi strettamente alla rete generale. Motivo questo, che scatena diverse incomprensioni tra i costruttori delle macchine, gli installatori e inevitabilmente il cliente finale.

Ma andando con ordine anche per effettuare la giusta segmentazione, i disturbi RF si suddividono a loro volta in :

- RF condotti

Alla quale appartengono tutti quei disturbi che si propagano lungo i cavi (150kHz-30 MHz)

- RF radiati

Alla quale appartengono i disturbi emessi in etere (30 MHz – 3 GHz)

Per ciascuna di queste categorie si parla di emissioni e immunità e solitamente si usa l'acronimo EMC (electromagnetic compatibility) stabilito da norme ben precise di cui parleremo nel capitolo dedicato. E' bene dunque non confondere i disturbi EMC dalle armoniche!

ANOMALIE DERIVATE DA EMC

Le anomalie comunemente associate alle emissioni condotte sono:

- *Surriscaldamento dei cavi motore per effetto joule dovuto alla pulsazione di switching dei drives*

Le drive tendono a ricomporre la forma d'onda da sinusoidale a forma quadra attraverso il switching, cioè la velocità con la quale il microinterruttore apre e chiude per renderla tale. Un'operazione che produce un inevitabile surriscaldamento generato dal campo magnetico di scambio. Questo viene generalmente corretto con l'utilizzo di cavi schermati sino ad una lunghezza di 100 m. Alcuni costruttori di drive tuttavia, suggeriscono oltre tale distanza di non utilizzare cavi schermati per l'abbattimento del campo magnetico, ma solo filtri du/dt, perché l'effetto di mitigazione dell'emissione condotta viene inficiato dall'impedenza generata dalla lunghezza del cavo. In questo caso parliamo di disturbi LF.

- *Anomalie riconducibili alle risposte di circuiti analogici che viaggiano in canale ove sono inseriti i cavi di potenza dai motori ai drives*

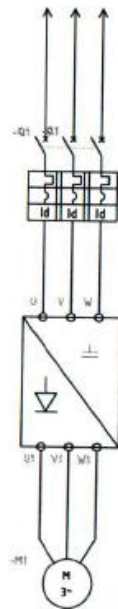
Cavi di segnale nonostante siano schermati è bene tenerli separati dai cavi di potenza per i motivi di cui al punto sopra, utilizzando semplicemente una canalina di plastica con separazione, oppure canalina metallica opportunamente connessa al sistema equipotenziale.

- *Scatto intempestivo o mancanza di scatto dei dispositivi di protezione ai guasti indiretti (differenziali).*

Oggetto di continue polemiche e interpretazioni individuali e spesso non supportate da nessuna evidenza scientifica, l'uso e la scelta dei differenziali dinnanzi ad un impianto in presenza di convertitori di frequenza, rimane un punto focale, peraltro strettamente legato ai disturbi. Partendo da un concetto di evidenza normativa, l'installatore o il progettista (si noti che sono le entità che si occupano dell'impianto stesso, non della macchina, o dell'automazione in senso generale, fatto salvo i casi in cui ci sia tutto il

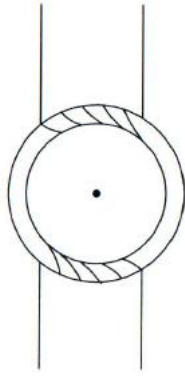
corpus ..) devono prevedere dei dispositivi per la protezione ai guasti diretti e indiretti. Mentre per i primi la scelta è facile, tra sezionatori a fusibili, automatici, scatolati, per la seconda o non si mette nulla per la paura dello scatto impestivo oppure in larga misura si sceglie il prodotto sbagliato, ovvero il differenziale in classe A. Talvolta ancora (nei prodotti previsti) è possibile scollegare galvanicamente il filtro del convertitore dal sistema di terra per evitare scatti.

Andando con ordine, ipotizziamo per semplicità un quadro, oppure un impianto che partendo da sotto, avrà motore-convertitore-magnetotermico e differenziale, come nella figura sotto:

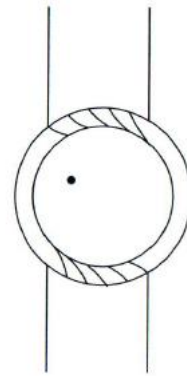


Quali caratteristiche dovrà avere il differenziale? Il differenziale dovrà essere un CLASSE B per correnti sinusoidali con componenti continue perché è l'unica apparecchiatura in grado di intervenire in modo corretto nel rilevare eventuali correnti di guasto e discriminarle dai falsi positivi generati dal disturbo del convertitore.

Questo accade sostanzialmente perché all'interno del campo magnetico toroidale del differenziale si possono azzerare le correnti di guasto dalle correnti di disturbo, riportando lo stato del campo magnetico in una condizione di equilibrio. Per inverso, soprattutto all'atto dell'avviamento possono essere causa di scatto per rilascio di disturbi verso la rete, quando in realtà non c'è nessuna condizione di guasto indiretto.



Toroide con campo centrato



toroide con campo decentrato

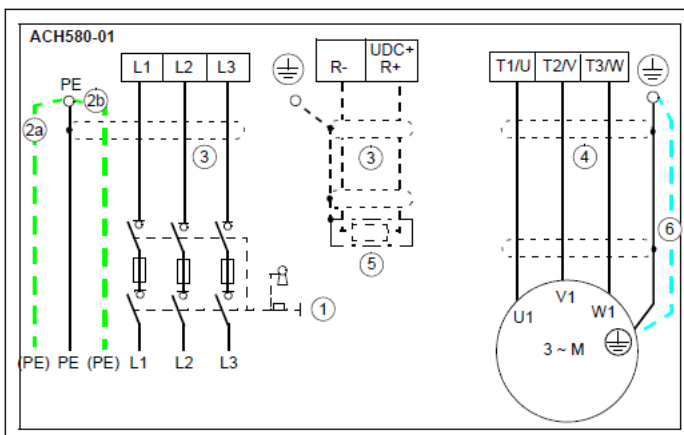


Blocco differenziale in classe B

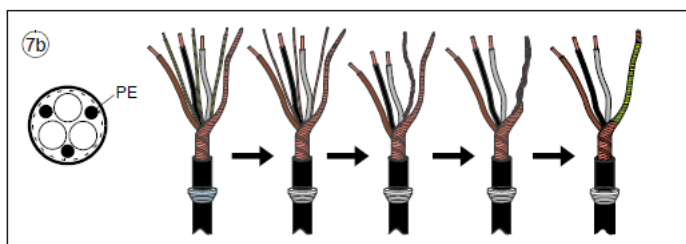
Per l'**interruttore differenziale tipo B** l'intervento è assicurato come per il tipo F e per i seguenti tipi di correnti differenziali applicate improvvisamente o lentamente crescenti:

- alternate sinusoidali con frequenze fino a 1.000 Hz.
- alternate alla frequenza nominale sovrapposte a una corrente continua livellata di $0,4 i_{\Delta n}$ o 10 mA a seconda del valore più alto. l'interruttore differenziale deve intervenire per un valore della corrente alternata non superiore a $i_{\Delta n}$.

- unidirezionali pulsanti sovrapposte a una corrente continua livellata (smooth direct current) di $0,4 i_{\Delta n}$ o 10 mA a seconda del valore più alto. l'interruttore differenziale deve intervenire per un valore della corrente alternata non superiore a $1,4 i_{\Delta n}$ per interruttori differenziali con $i_{\Delta n} > 10 \text{ mA}$ o non superiore a $2 i_{\Delta n}$ per interruttori differenziali con $i_{\Delta n} \leq 10 \text{ mA}$. (il valore della corrente differenziale di intervento pari a $1,4 i_{\Delta n}$ o $2 i_{\Delta n}$ corrisponde al valore efficace della semionda della corrente unidirezionale pulsante)
- pulsanti unidirezionali che possono essere generate da circuiti di raddrizzamento alimentati da due fasi. l'interruttore differenziale deve intervenire entro i limiti di $0,5 i_{\Delta n}$ e $2 i_{\Delta n}$.
- pulsanti unidirezionali che possono essere generate da circuiti di raddrizzamento alimentati da tre fasi. l'interruttore differenziale deve intervenire entro i limiti di $0,5 i_{\Delta n}$ e $2 i_{\Delta n}$.
- continue livellate prodotte da circuiti polifasi. l'interruttore differenziale deve intervenire entro i limiti di $0,5 i_{\Delta n}$ e $2 i_{\Delta n}$.



Tipico sul sistema di terra in presenza di convertitore di frequenza



Tipico della disposizione del cavo di terra in presenza di convertitore di frequenza

ARMONICHE

I disturbi armonici sono sempre verso la rete ed è per questo, come si accennava in precedenza, che rimangono oggetto di dibattito tra i costruttori di macchine, gli installatori e l'utente finale, perché di fatto la loro ripercussione si volge verso quel tratto di impianto elettrico che non è mai di pertinenza di chi generalmente installa il carico distortore. Le armoniche, nonostante in questo trattato sono rivolte ai convertitori di frequenza, non sono soltanto appannaggio di essi, ma anche di server, UPS, rifasatori elettronici, dimmer e altre apparecchiature ancora. Ed è appunto per questo motivo che le armoniche possono essere presenti in modo massivo in un impianto elettrico, senza che questi palesi una qualche anomalia, se non all'inserimento magari di un piccolo convertitore di frequenza, il quale si prende la totale colpa!

Prima di tutto cerchiamo di capire di cosa si tratta. Come dicevamo le armoniche si collocano nella gamma compresa tra i 2 e i 2,5 kHz a frequenze di rete pari a 50 Hz, mentre per frequenze tipicamente nordamericane a 60 Hz lo spettro è quello dei 2,4-3 kHz. Rappresentate graficamente sono una forma d'onda che si ripercuote in modo multiplo rispetto alla fondamentale secondo la legge di Fourier e sempre in numero dispari

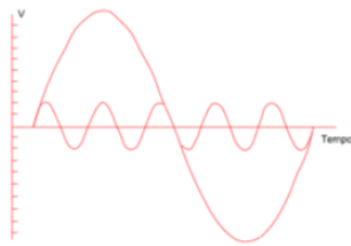
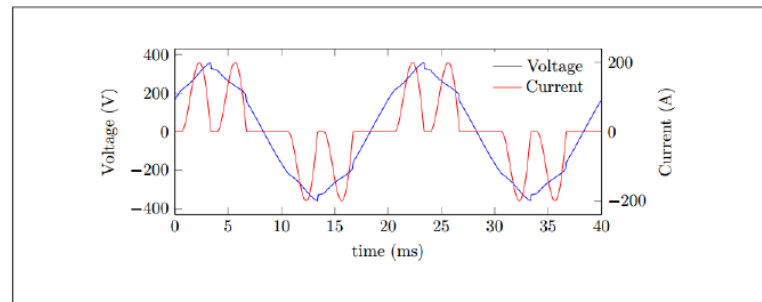


Fig. 1(a) - Onda sinusoidale con armoniche di ordine h=5

Time Plot



Solitamente vengono quantificate in modo percentuale, secondo la dicitura THD(v) se si tratta di armoniche in tensione e THD(i), quando si tratta di armoniche in corrente. Quest'ultime sono le più pericolose ed esercitano particolari danni soprattutto nei condensatori, mentre le armoniche in tensione THD(v) esercitano la loro dannosità nel complesso del circuito per effetto di spike.

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} V_i^2}}{V_1} * 100\%$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} I_i^2}}{I_1} * 100\%$$

i = numero di armoniche.

I_1 = valore efficace dell'onda fondamentale della corrente.

V_1 = valore efficace della tensione dell'onda fondamentale.

I_i = valore efficace di corrente k armonica.

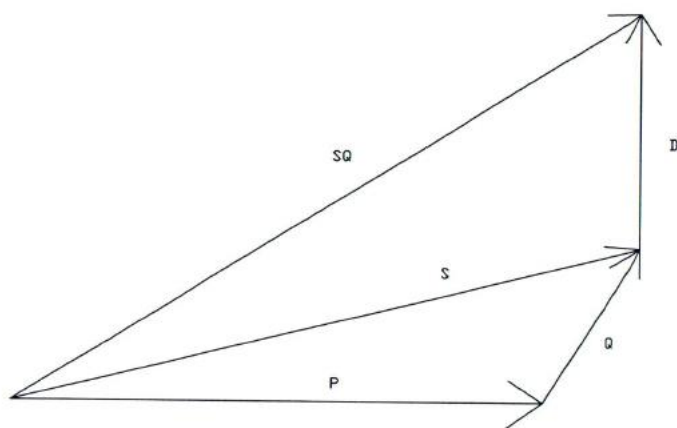
V_i = valore efficace della tensione armonica k.

La formula di calcolo più semplice è veloce per determinare la distorsione è data dal triangolo delle potenze visto nel seguente modo:

$$S^2 = P^2 + Q^2 + D^2$$

Overo:

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2}$$



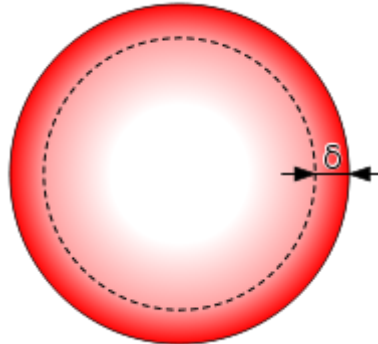
Considerando quindi il triangolo delle potenze con una nuova componente (D la distortiva), avremmo di conseguenza lo stesso comportamento nelle correnti, tali per cui la loro variazione per ordine armonico varierà con il carico. Questa cosa risulta particolarmente utile quando si tratta di scegliere i filtri, tra la soluzione attiva o passiva. Un filtro passivo, solitamente economico tarato sulla potenza, andrà a sopperire direttamente sulla relativa distortiva D ai valori nominali, mentre non sarà assolutamente efficace a valori più bassi di carico di corrente, tipici della modulazione dei drives. Si deve aggiungere inoltre che il comportamento delle correnti e delle tensioni è in linea con la legge di Ohm. Le armoniche in corrente elevate, producono delle armoniche in tensione elevate, quindi sulle prime dovremmo agire per risolvere il problema.

Il filtro attivo invece, molto più costoso sarà efficace in entrambe le situazioni ed è in grado di risolvere le problematiche inerenti il $\cos\phi$ capacitivo per la presenza massiccia di condensatori negli apparati di correzione. Oggi giorno tuttavia esistono anche convertitori di frequenza a basso contenuto armonico THD<3% in grado di soddisfare le esigenze di impianto senza aggiungere filtri. E' bene sottolineare che i filtri esterni oltre ad accumulare spazio all'interno dei quadri elettrici, sono fonte di dissipazione termica e quindi vanno inseriti nel calcolo della compatibilità termica del quadro stesso.

ANOMALIE RICONDUCEBILI A DISTURBI ARMONICI

- effetto flinker nelle lampade a reattore
- malfunzionamenti di sonde e strumenti di misura elettronici
- effetto pelle sui cavi di potenza
- vibrazioni di alcune apparecchiature
- sovraccarico dei trasformatori
- danni ai condensatori dei banchi di rifasamento

- sovraccarico del conduttore di neutro (visibile soprattutto sulla 3 a armonica)



L'effetto pelle consiste in una distribuzione non uniforme della corrente alternata, concentrando la sua densità sulla superficie esterna anziché sull'interno.

2.

NORMATIVE RIFERITE ALLE EMISSIONI CONDOTTE EMC

Potrà sembrare strano, ma la parte più complessa di questo argomento riguarda proprio l'aspetto normativo che è a dir poco tentacolare. Innanzitutto esiste una suddivisione tra norma di impianto e norma di prodotto e questo genera un rimbalzo di responsabilità.

Cominciamo quindi a definirle nel seguente modo :

| | | Germany | Europe | Global |
|----------|-------------------------|------------------|--------------|---------------|
| Immunity | Residential, commercial | DIN EN 61000-6-1 | EN 61000-6-1 | IEC 61000-6-1 |
| | Light industrial | DIN EN 61000-6-2 | EN 61000-6-2 | IEC 61000-6-2 |
| Emission | Residential, commercial | DIN EN 61000-6-3 | EN 61000-6-3 | IEC 61000-6-3 |
| | Light industrial | DIN EN 61000-6-4 | EN 61000-6-4 | IEC 61000-6-4 |

Mentre per i convertitori di frequenza si fa sempre riferimento a norma di prodotto dei drives:

| | | Germany | Europe | Global |
|---|--|----------------|------------|-------------|
| Adjustable speed electrical power drive systems | Part 3: EMC requirements and specific test methods | DIN EN 61800-3 | EN 61800-3 | IEC 61800-3 |

La quale a sua volta definisce tutto ciò che è compreso tra convertitore di frequenza, cavo motore e motore. Si noti che sono escluse tutte quelle parti a monte del convertitore stesso. La EN61800-3 si suddivide in 2 categorie rispettivamente :

C3-2° ENV = per ambienti industriali

C2-1° ENV = per ambienti residenziali, ospedalieri, scolastici, etc.

Tutti i prodotti pertanto commercializzati nei paesi a cui fa riferimento la norma IEC, attualmente non solo l'Europa, ma anche in alcuni paesi dell'Asia e dell'Africa.

3.

NORMATIVE RIFERITE ALLE ARMONICHE

Per quanto concerne le armoniche invece, le norme sono diversificate a seconda del carico elettrico, del prodotto, del tipo di impianto e del paese di riferimento. Partendo dunque dal convertitore di frequenza si fa riferimento alla norma di cui sotto :

- **EN 61000-3-2** „Emission limits for harmonics (input current up to 16 A per phase)“
 - all electrical and electronic equipment that is connected to the public mains up to and including 16A max. rated input current must comply with EN 61000-3-2
 - Passive and active harmonic line current reduction solutions can be used to fulfil the limits of the standard

- **EN 61000-3-12** „Emission limits for harmonics (input current > 16 A and <= 75 A per phase)“
 - all electrical and electronic equipment that is connected to the public mains from 16A max. rated input current to 75A max. rated input current must comply with EN 61000-3-12
 - Passive and active harmonic line current reduction solutions can be used to fulfil the limits of the standard

Che come si nota identifica tutte le apparecchiature elettriche ed elettroniche connesse ad una rete, quindi anche il convertitore di frequenza, deve esse provvisto di dispositivo di mitigazione del contenuto armonico differenziato tra correnti inferiori ai 16 A e compresi tra i 16 ed i 75 A. La norma specifica il metodo con cui raggiungere tali valori e quali, ma non impone di per se che il filtro sia integrato, ma specifica che possono essere usate delle soluzione atte a *“line current reduction solution can be used “*. Tale forma interpretativa mette il produttore dell’apparecchiatura (nel nostro caso il convertitore) nella facoltà di poter installarlo a bordo, oppure no. Del resto essendo che all’interno di un impianto ci possono essere “n” carichi distorcenti, non è più pertinenza del costruttore stesso, ma dell’installatore e/o il progettista che devono determinare quanti e quali carichi possono emettere un THD elevato.

Compliance Testing to 3-12

Method

1. Connect up the power analyzer as shown in figure 1. The PM3000A power analyzer is suitable for direct measurements up to 30A rms. A precision current transformer such as the Voltech CT1000 (100:1) may be used to extend the measurement range up to 75A.

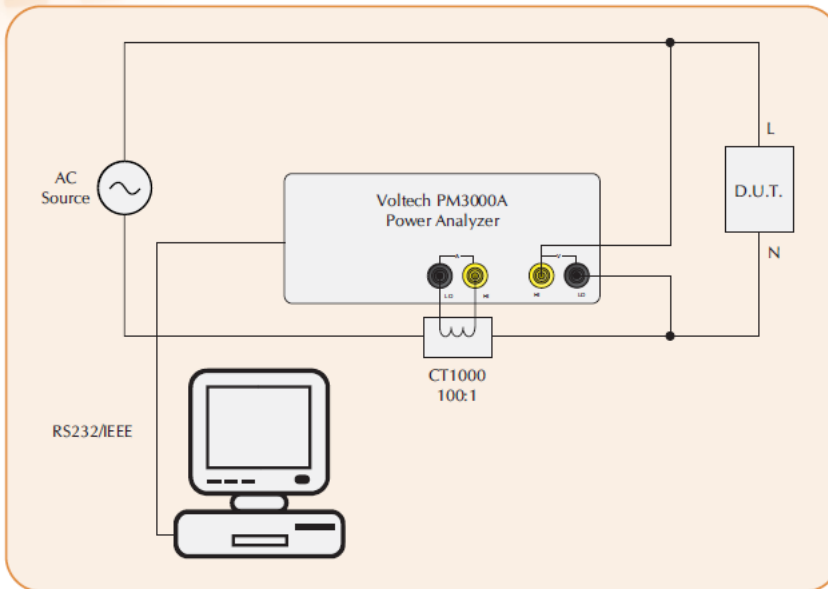


Figure 1. Measuring power and harmonics.

2. Make measurements as usual, using the power analyzer software. The class and other set-up details of the software are unimportant at this stage, although current scaling should be set if a current transformer has been used. At the end of the test, export the results from the software. The results may now be opened in a spreadsheet for manipulation in accordance with 61000-3-12, as follows,
3. Using the spreadsheet, calculate the following:

a) Total Harmonic Distortion (THD) =
$$\sqrt{\sum_{n=2}^{40} \left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2}$$

b) Partial Weighted Harmonic Distortion (PWHHD) =
$$\sqrt{\sum_{n=14}^{40} n \left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2}$$

c) Percentage individual harmonics $I_2, I_3, I_4, I_5, \dots, I_{13}$

Where:

I_n is the average current harmonic, n , over the duration of the test from the spreadsheet.

I_1 is the average fundamental (1st harmonic) current over the duration of the test from the spreadsheet.

4. Compare the results with the tables in the next section.

Si noti che ormai diversi prodotti immessi sul mercato sono già provvisti di reattanza a saturazione variabile conforme ed approvata dalla suddetta norma. Ovviamente si tratta di una certificazione di prodotto, che non ha nulla a che fare con ciò che poi accade sull'impianto.



Manufacturer's Statement

Handed by
Pasi Koivumäki

Date
November 19th 2008

Pages
1 (1)

EN 61000-3-12 Standard for Harmonics; Limits for harmonic currents produced by equipment connected to public low-voltage systems

We herewith state under our sole responsibility that the ACS550-01 and ACS550-U1 units meet the requirements of the Harmonics standard EN 61000-3-12 as a standard unit without any additional options required.

The standard can be met with a transformer short circuit ration of 120 or higher.

Pasi Koivumäki
Product Manager
Product Responsible Unit

Timo Holttinen
Marketing Manager
Product Responsible Unit

ABB Oy

| | | | | |
|--|--|--|---|--|
| Postal Address: Dives P.O.Box 184 FIN-00381 Helsinki, Finland | Street Address: Dives Hornöväg 13 FIN-00380 Helsinki, Finland | Telephone: +358 10 2211 Telefax: +358 10 22 23965 | Internet: www.abb.fi e-mail: First name last name @fi.abb.com | Business Identity Code: 0163403-0 Ouinokirkko Helsinki |
|--|--|--|---|--|

Sopra la certificazione di un prodotto che ha superato le prove alla EN61000-3-12. Il dispositivo in questo caso è una reattanza a saturazione variabile che taglia le armoniche di corrente soprattutto sulla 5 a e la 7 a, particolarmente sensibili ai carichi quadratici, quali pompe e ventilatori.

The emissions limits in EN 61000-3-2 Ed.2:2000
Relaxations for transitory emissions are specified in the standard

| Harmonic order 'n' | Max current Class A | Max current Class B | Max current Class C (% of fundamental current) | Max current Class D (but no more than Class A) |
|--------------------|---------------------|---------------------|--|--|
| 2 | 1.08 Amps | 1.62 A | 2% | not specified |
| 3 | 2.30 A | 3.45 A | 30λ % | 3.4 mA/Watt |
| 4 | 0.43 A | 0.645 A | not specified | not specified |
| 5 | 1.14 A | 1.71 A | 10% | 1.9 mA/Watt |
| 6 | 0.30 A | 0.45 A | not specified | not specified |
| 7 | 0.77 A | 1.155 A | 7% | 1.0 mA/Watt |
| 8 ≤ n ≤ 40 (even) | 0.23 (8/n) A | 0.345 (8/n) A | not specified | not specified |
| 9 | 0.40 A | 0.6 A | 5% | 0.5 mA/Watt |
| 11 | 0.33 A | 0.495 A | 3% | not specified |
| 13 | 0.21 A | 0.315 A | 3% | 0.35 mA/Watt |
| 15 ≤ n ≤ 39 (odd) | 0.15 (15/n) A | 0.225 (15/n) A | 3% | (3.85/n) mA/Watt |

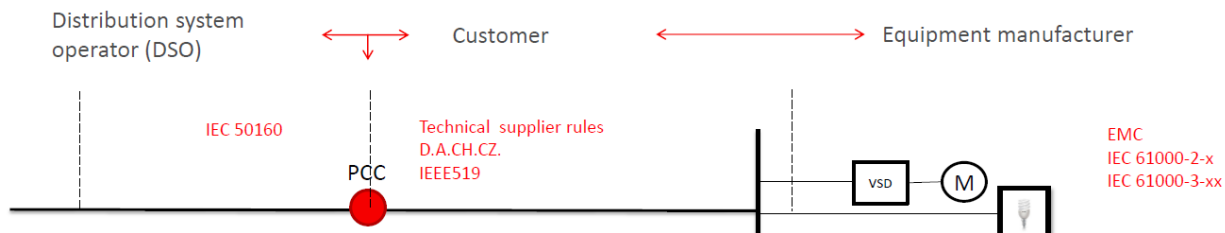
(λ is the circuit power factor)

La tabella sopra mostra i limiti di emissione in ordine di armoniche prevista dalla norma EN61000-3-2 per carichi inferiori ai 16 A.

Per questa norma, vale la stessa regola del punto 12, ovvero che devono essere presi provvedimenti atti a mitigare il contenuto armonico.

Salendo quindi verso monte del circuito elettrico, dobbiamo affrontare altre norme che riguardano per l'appunto non più i prodotti elettronici, ma i limiti alla quale la rete deve essere subordinata. In questo caso gli attori sono sicuramente l'installatore e/o il progettista dell'impianto (in ogni caso il privato) e il gestore della rete.

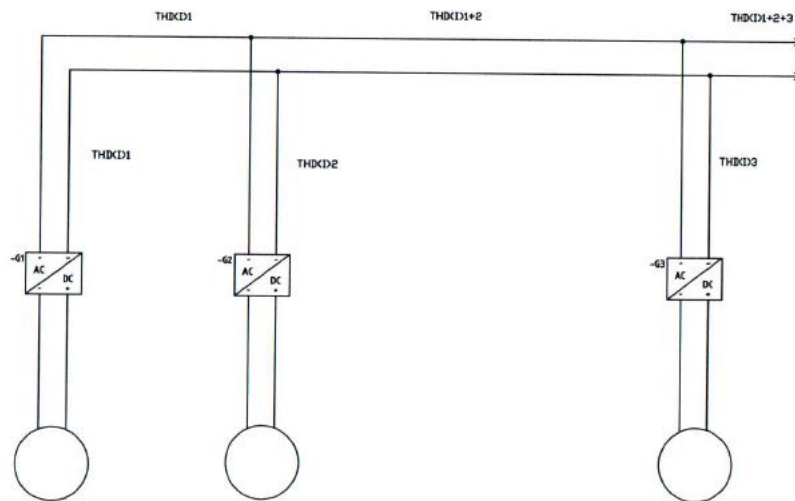
What is Power Quality?



Nella rete si possono riversare armoniche prodotte da più componenti distorcenti, ed esse possono variare in funzione dell'ampiezza, della distorsione stessa di ogni apparecchiatura. Il fenomeno è piuttosto "esoterico", in quanto non è detto che "strati" diversi di distorsione, producano gli stessi effetti in posizioni diverse della rete.

Facciamo una serie di piccoli esempi:

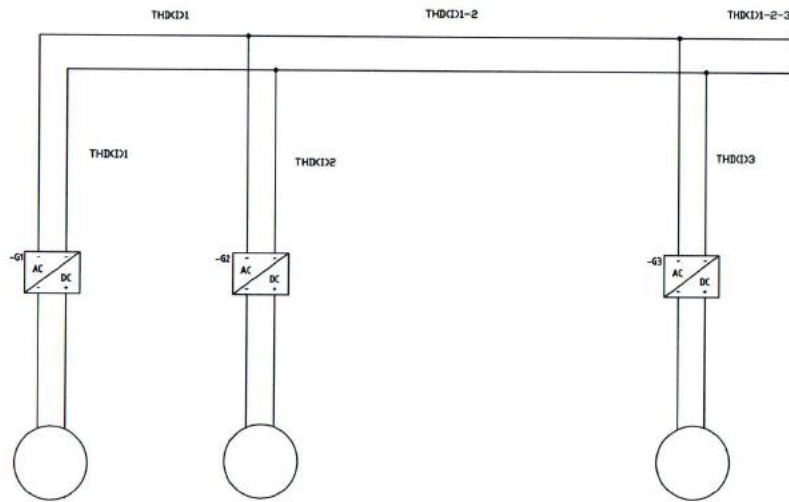
ESEMPIO 1



Si hanno 3 carichi distorcenti diseguali i quali sommano le armoniche in funzione del collegamento. Quindi all'inizio del ramo di circuito si avrà un THD(i) pari alla somma di tutti i THD(i) generati. Mentre il THD(i) si distribuirà per ordine di carico, ad ogni ramo, il THD(v) sarà ugualmente distribuito su tutti i rami del circuito favorendo la distorsione in tensione.

E' possibile a causa di risonanze che carichi di poco conto possano provocare delle distorsioni sulla rete anche se sono solitamente proporzionali al carico.

ESEMPIO 2



Nell'esempio 2 si ipotizza una serie di utilizzatori con carico uguale su ogni ramo. Ne deriva che nella dorsale avremo un THD(%) inferiore per effetto della somma di tutte le correnti presenti nel circuito a parità di tensione.

$$\begin{aligned} \frac{a_0}{2} &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) dx \\ &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} x dx = 0 \end{aligned}$$

Da un punto di vista normativo, si fa riferimento alla EN50160, la quale determina i livelli di "contaminazione elettromagnetica" da parte del gestore della rete. L'utente ha l'obbligo di limitare l'emissione di onde verso il gestore (IEEE 519).

| Odd harmonics | | | | Even harmonics | |
|--------------------|--------------------------|----------------|--------------------------|----------------|--------------------------|
| Not Multiples of 3 | | Multiples of 3 | | | |
| Order h | Relative amplitude U_h | Order h | Relative amplitude U_h | Order h | Relative amplitude U_h |
| 5 | 6.0% | 3 | 5.0% | 2 | 2.0% |
| 7 | 5.0% | 9 | 1.5% | 4 | 1.0% |
| 11 | 3.5% | 15 | 0.5% | 6..24 | 0.5% |
| 13 | 3.0% | 21 | 0.5% | | |
| 17 | 2.0% | | | | |
| 19 | 1.5% | | | | |
| 23 | 1.5% | | | | |
| 25 | 1.5% | | | | |

NOTE No values are given for harmonics of order higher than 25, as they are usually small, but largely unpredictable due to resonance effects.

La tabella sopra mostra quanto indicato dalla norma EN50160

CONCLUSIONI

Riassumendo è fondamentale il controllo dei campi elettromagnetici per mitigare fenomeni spiacevoli (surriscaldamento cavi, effetto flincker sulle lampade, anomalie sui segnali), ma anche per rispettare le norme che già oggi sono state emanate in merito.

BIBLIOGRAFIA

- EMC STANDARDS “ A practical Guide for EN61000-3-2 Limits for harmonic current – Keith Armstrong
- ABB Guide to harmonics with ac Drives
- SCHAFFNER poster motor application
- SCHAFFNER guida alle armoniche
- SCHAFFNER power quality mitigation – Alberto Gironi

PEER REVIEW

Alberto Gironi

AUTORE

Siro Alzetta product specialist presso PICCOLI S & C, formatore consiglio nazionale ingegneri.

NOTE

L'eventuale presenza di marchi o loghi nel presente testo , non rappresentano nessun interesse commerciale dell'autore o del patrocinante, ma sono solo a titolo di esempio.