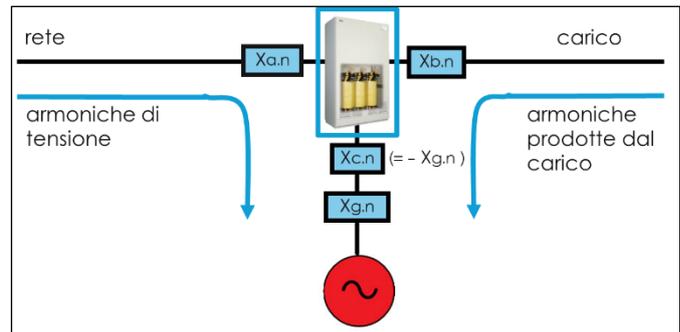


# DRUPS HITEC: FILTRO ARMONICO A T

Grazie alla loro particolare costruzione, i DRUPS Hitec svolgono efficacemente la funzione di **filtro armonico passivo a T (bidirezionale)** attenuando fino a oltre il 95% sia le armoniche provenienti dalla rete che quelle generate dai carichi non lineari.

Questi valori rispettano le normative vigenti sui limiti delle armoniche ammesse nella rete elettrica. L'impiego del sistema DRUPS Hitec **elimina la necessità di installare filtri armonici**, i quali sono noti per la loro fragilità.



## PROBLEMATICHE CAUSATE DALLE DISTORSIONI ARMONICHE

Le armoniche possono causare vari problemi sia alle apparecchiature che alla rete elettrica:

### *Perdite energetiche*

- Incremento delle perdite nei cavi, trasformatori e motori.
- Maggiore dissipazione di calore, riducendo l'efficienza dei sistemi.

### *Sovraccarico delle apparecchiature*

- Surriscaldamento dei componenti elettronici e meccanici.
- Rischio di guasti o riduzione della durata operativa.
- Nei sistemi trifase le armoniche omopolari (multipli di 3) si sommano nelle fasi e nel conduttore neutro, sovraccaricandolo

### *Malfunzionamenti delle apparecchiature elettroniche*

- Disturbi ai computer, PLC, e sistemi di automazione.
- Errori nei sensori e nei dispositivi di misurazione.

### *Effetti sulla rete elettrica*

- Incremento delle cadute di tensione a causa delle armoniche di corrente.
- Possibilità di risonanze che amplificano i problemi in certe frequenze.

### *Qualità della tensione*

- Deformazione dell'onda sinusoidale fornita agli utenti.
- Problemi nel rispetto degli standard di qualità della fornitura elettrica.

Le distorsioni armoniche richiedono una gestione efficace attraverso tecnologie di mitigazione.

## DISTORSIONI ARMONICHE: COSA SONO?

Le distorsioni armoniche si verificano quando una forma d'onda viene deformata da multipli indesiderati di una frequenza fondamentale.

In pratica, le armoniche sono frequenze multiple della fondamentale di un sistema. **Quando queste armoniche si sovrappongono alla frequenza fondamentale, possono distorcerne la forma d'onda**, causando problemi come fluttuazioni di tensione nei circuiti elettrici o interferenze nella qualità del suono e delle trasmissioni.



# ATME

TECHNOLOGICAL EXCELLENCE

Viale Primo Maggio 8  
20068 Peschiera Borromeo (MI)  
T. +39 02 553 083 92

info@atmespa.it  
commerciale@atmespa.it  
www.atmespa.it

Le distorsioni armoniche sono prodotte dai **carichi elettrici non lineari** (la relazione tra tensione e corrente non è lineare), fra cui ricordiamo a puro titolo informativo:

### Apparecchiature elettroniche

Computer

Raddrizzatori (ca-cc): Come quelli usati in alimentatori.

Convertitori di frequenza (ca-ca): Impiegati in motori e variatori di velocità.

Lampade a luminescenza: Sistemi di illuminazione efficienti come LED e fluorescenti.

### Componenti della rete elettrica

Trasformatori: La saturazione del nucleo magnetico può generare armoniche.

Alternatori: Potenziali imperfezioni nei generatori.

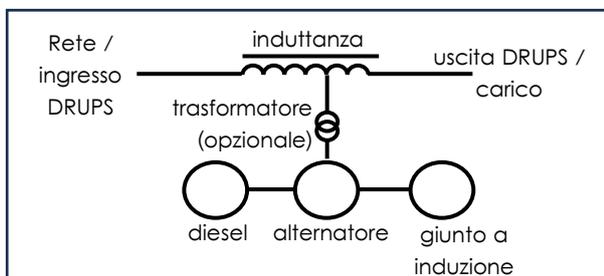
Risonanza nella rete: Può amplificare la presenza di determinate armoniche.

### Altre apparecchiature

Fonti di illuminazione a risparmio energetico, es illuminazione a LED

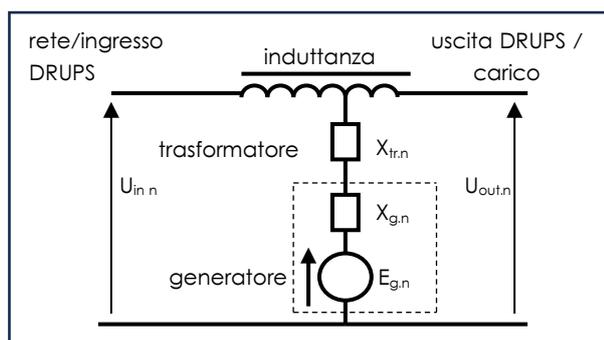
## FUNZIONAMENTO DEL DRUPS HITEC

Nella figura seguente è rappresentato un DRUPS Hitec. L'induttanza, posizionata tra l'entrata e l'uscita, è collegata (attraverso un trasformatore in caso di impianti in media tensione) alla macchina sincrona.

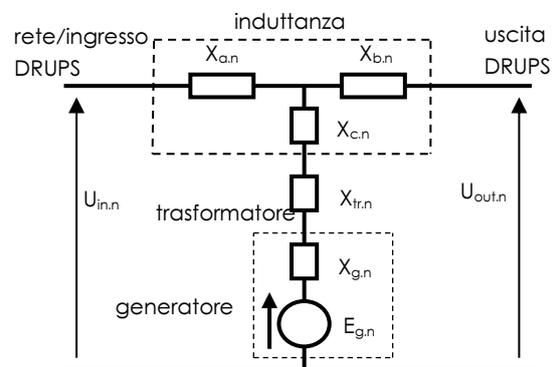


Per semplificare il calcolo delle armoniche l'induttanza può essere rappresentata dal suo circuito equivalente con tre reattanze:  $X_{a,n}$ ,  $X_{b,n}$  e  $X_{c,n}$ , che ha lo stesso comportamento elettrico dell'induttanza (si veda Appendice 1).

Nel calcolo armonico, il trasformatore è rappresentato dalla sua reattanza ( $X_{tr,n}$ ) e la macchina sincrona da un generatore di armoniche di tensione ( $E_{g,n}$ ) e dalla sua reattanza interna ( $X_{g,n}$ ):



Se si inserisce questo circuito equivalente nello schema precedente si ottiene il circuito seguente:



### Calcolo delle distorsioni armoniche

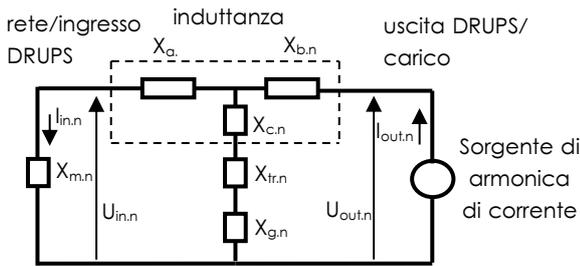
Di seguito i calcoli relativi alle distorsioni armoniche si riferiranno ai seguenti casi:

- A)** armoniche di tensione lato uscita del DRUPS, dovute alle armoniche di corrente generate dal carico;
- B)** armoniche di corrente/tensione lato entrata del DRUPS causate dalle armoniche di corrente generate dal carico;
- C)** armoniche di tensione lato entrata del DRUPS causate dalle armoniche di tensione provenienti dalla rete.

#### A) Distorsioni armoniche all'uscita del DRUPS causate dalle armoniche di corrente del carico

Se il carico del DRUPS genera armoniche di corrente, queste causeranno armoniche di tensione all'uscita del DRUPS ( $= U_{out,n}$ ).

Di seguito lo schema e la formula applicabili, dove  $X_{m,n}$  rappresenta la reattanza della rete.



$$U_{out,n} = I_{out,n} \{X_{b,n} + (X_{a,n} + X_{m,n}) \cdot (X_{c,n} + X_{tr,n} + X_{g,n}) / (X_{a,n} + X_{m,n} + X_{c,n} + X_{tr,n} + X_{g,n})\}$$

Questa formula si applica ai DRUPS sia nel funzionamento da rete che in quello diesel.

Nel funzionamento diesel si inserisce  $X_{m,n} = \infty$ , e si arriva alla formula seguente:

$$U_{out,n} = I_{out,n} \cdot (X_{b,n} + X_{c,n} + X_{tr,n} + X_{g,n})$$

#### Formula per le armoniche omopolari

Le due formule precedenti sono applicabili anche alle armoniche omopolari.

#### Formula per le armoniche non omopolari:

Le formule precedenti sono valide e in più:

Dall'Appendice 1 risulta che la reattanza  $X_{c,1}$  ha un valore negativo. Hitec ha quindi progettato l'induttanza in modo che

$$X_{c,n} = n \cdot X_{c,1} ; X_{tr,n} = n \cdot X_{tr,1} ; X_{g,n} = n \cdot X_{g,1}$$

$$\{X_{c,1} + X_{tr,1} + X_{g,1}\} = 0$$

Inserendo queste 2 formule nella prima formula si ottiene:

$$U_{out,n} = I_{out,n} \cdot (n \cdot X_{b,1})$$

Questa formula è applicabile ai DRUPS sia nel funzionamento da rete che in quello diesel

### B) Distorsioni armoniche di corrente/tensione in entrata del DRUPS causate da armoniche di corrente del carico

Se il carico genera delle armoniche di corrente, parte di queste possono ritornare in rete. Questo effetto può essere calcolato, ma solo nel caso di DRUPS in funzionamento da rete.

#### Formule generali:

$$I_{in,n} = I_{out,n} \{ (X_{c,n} + X_{tr,n} + X_{g,n}) / (X_{m,n} + X_{a,n} + X_{c,n} + X_{tr,n} + X_{g,n}) \}$$

$$U_{in,n} = X_{m,n} \cdot I_{in,n} = X_{m,n} \cdot I_{out,n} \{ (X_{c,n} + X_{tr,n} + X_{g,n}) / (X_{m,n} + X_{a,n} + X_{c,n} + X_{tr,n} + X_{g,n}) \}$$

#### Formule per le armoniche omopolari

Le due formule precedenti sono applicabili anche alle armoniche omopolari.

#### Formule per le armoniche non omopolari

Le formule precedenti sono valide e in più:

$$X_{c,n} = n \cdot X_{c,1} ; X_{tr,n} = n \cdot X_{tr,1} ; X_{g,n} = n \cdot X_{g,1}$$

La reattanza  $X_{c,1}$  ha un valore negativo (Appendice 1). Hitec ha usato questa proprietà per progettare l'induttanza in modo che:

$$\{X_{c,1} + X_{tr,1} + X_{g,1}\} = 0$$

Sostituendo queste formule nelle formule generali si ottiene:

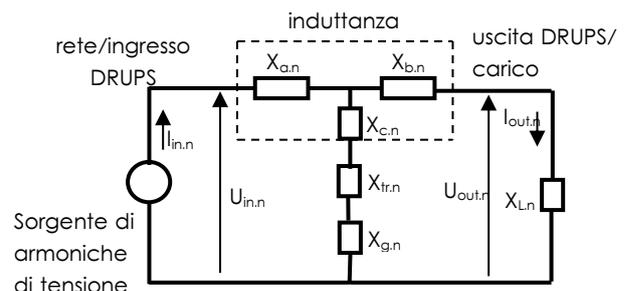
$$I_{in,n} = 0$$

$$U_{in,n} = 0$$

Se le armoniche non omopolari di corrente generate dal carico non si manifestano all'ingresso del DRUPS, come conseguenza non si creeranno distorsioni di tensione.

### C) Distorsioni armoniche di tensione all'uscita del DRUPS causate da distorsioni armoniche di tensione dovute alla rete

Se la rete produce armoniche di tensione, parte di queste può apparire in uscita del DRUPS. Le formule che descrivono questo effetto possono essere calcolate con lo schema seguente, che è derivato da quello alla pagina precedente. In questo schema la reattanza del carico è rappresentata da  $X_{L,n}$ . Questa situazione si riferisce solo al funzionamento da rete.



### Formule generali:

$$I_{in,n} = U_{in,n} / \{X_{a,n} + (X_{b,n} + X_{L,n}) \cdot (X_{c,n} + X_{tr,n} + X_{g,n}) / (X_{b,n} + X_{L,n} + X_{c,n} + X_{tr,n} + X_{g,n})\}$$

$$I_{out,n} = I_{in,n} \cdot \{(X_{c,n} + X_{tr,n} + X_{g,n}) / (X_{b,n} + X_{L,n} + X_{c,n} + X_{tr,n} + X_{g,n})\}$$

$$U_{out,n} = X_{L,n} \cdot I_{out,n} = X_{L,n} \cdot [I_{in,n} \cdot \{(X_{c,n} + X_{tr,n} + X_{g,n}) / (X_{b,n} + X_{L,n} + X_{c,n} + X_{tr,n} + X_{g,n})\}]$$

Sostituendo la prima formula nella terza, si ottiene:

$$U_{out,n} = U_{in,n} \cdot [X_{L,n} \cdot (X_{c,n} + X_{tr,n} + X_{g,n}) / \{X_{a,n} \cdot (X_{b,n} + X_{L,n} + X_{c,n} + X_{tr,n} + X_{g,n}) + (X_{b,n} + X_{L,n}) \cdot (X_{c,n} + X_{tr,n} + X_{g,n})\}]$$

### Formula per le armoniche omopolari

La formula precedente è applicabile anche alle armoniche omopolari.

### Formule per le armoniche non omopolari

La formula precedente è valida e in più:

$$X_{c,n} = n \cdot X_{c,1} ; X_{tr,n} = n \cdot X_{tr,1} ; X_{g,n} = n \cdot X_{g,1}$$

Secondo l'Appendice 1, la reattanza  $X_{c,1}$  ha un valore negativo. Hitec ha usato questa proprietà per dimensionare l'induttanza in modo che:

$$\{X_{c,1} + X_{tr,1} + X_{g,1}\} = 0$$

sostituendo queste due formule nella formula generale, si ottiene:

$$U_{out,n} = 0$$

Ossia le distorsioni armoniche non omopolari di tensione generate dalla rete non arrivano all'uscita del DRUPS.

### Lista delle abbreviazioni:

$X_{tr,n}$  = reattanza del trasformatore rispetto all'armonica n-esima

$X_{g,n}$  = reattanza del generatore rispetto all'armonica n-esima

$X_{m,n}$  = reattanza interna della rete relativa all'armonica n-esima

$X_{L,n}$  = reattanza interna del carico relativa all'armonica n-esima

$X_{a,1}, X_{b,1}, X_{c,1}$  = reattanze del circuito equivalente dell'induttanza per  $n=1$  (vedere Appendice 1)

$X_{a,n}, X_{b,n}, X_{c,n}$  = reattanze del circuito equivalente dell'induttanza per  $f_n$  (vedere Appendice 1)

$E_{g,n}$  = sorgente dell'armonica n-esima di tensione prodotta dal generatore

$U_{in,n}$  = armonica n-esima di tensione all'ingresso del DRUPS

$U_{out,n}$  = armonica n-esima di tensione all'uscita del DRUPS

$I_{in,n}$  = armonica n-esima di corrente all'entrata del DRUPS

$I_{out,n}$  = armonica n-esima di corrente all'uscita del DRUPS

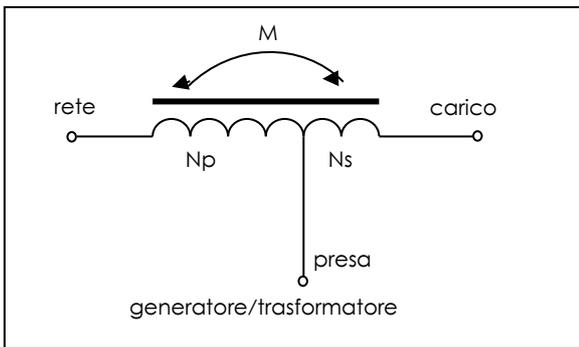
$f_n$  = frequenza dell'armonica n-esima ove  $f_n$  è sempre un multiplo intero di  $f_1$

$f_1$  = frequenza fondamentale (50/60 Hz)

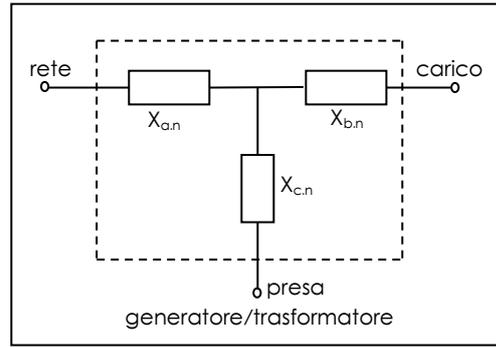
$n = f_n / f_1$

## APPENDICE 1

### Induttanza: circuito equivalente



Schema reale dell'induttanza



Circuito equivalente

$M$  = induttanza mutua tra gli avvolgimenti primario e secondario [Henry]

$L_p$  = auto induttanza dell'avvolgimento primario [Henry]

$L_s$  = auto induttanza dell'avvolgimento secondario [Henry]

$N_p$  = numero di spire dell'avvolgimento primario

$N_s$  = numero di spire dell'avvolgimento secondario

$K = N_p / (N_p + N_s)$  . ( $0 \leq K \leq 1$ )

$X_{R,1}$  = reattanza dell'induttanza per  $f_1$  [1] [ohm]

$f_n$  = frequenza dell'armonica n-esima ( $f_n$  è sempre un multiplo intero di  $f_1$  [Hz])

$f_1$  = frequenza fondamentale (50/60 Hz) [Hz]

$n = f_n / f_1$

$X_{a,1}, X_{b,1}, X_{c,1}$  = reattanze del circuito equivalente per  $n=1$  [ohm]

$X_{a,n}, X_{b,n}, X_{c,n}$  = reattanze del circuito equivalente per  $f_n$  [ohm]

### Frequenze omopolari e non omopolari

- Correnti e tensioni non omopolari possono solo apparire per  $n \neq 3,6,9,12,15,18,21, \dots$  dove "n" è sempre un numero dispari.

Le uniche possibilità sono quindi: [1]:

$$n = 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 25, \dots$$

- Correnti e tensioni omopolari possono solo apparire per  $n = 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, \dots$  dove "n" è sempre un numero dispari.

Le uniche possibilità sono quindi [1]:

$$n = 3, 9, 15, 21, 27, \dots$$

### NOTE:

[1]  $n = f_n / f_1$  ( $f_n$  = frequenza della armonica  $n^{\text{th}}$ )

$f_1$  = frequenza fondamentale).

## APPENDICE 2 CHIARIMENTI SULLE ARMONICHE OMOPOLARI E NON OMOPOLARI

---

### Armoniche di corrente

Se si considera un sistema trifase R+S+T, i valori istantanei delle  $n^{\text{th}}$  [1] armoniche di corrente sono:  $I_{n,R}(t)$ ,  $I_{n,S}(t)$  and  $I_{n,T}(t)$ .

Le  $n^{\text{th}}$  armoniche di corrente sono chiamate **non omopolari** quando:  $\{I_{n,R}(t) + I_{n,S}(t) + I_{n,T}(t)\} = 0$

Le armoniche di corrente  $n^{\text{th}}$  sono chiamate **omopolari** quando:  $I_{n,R}(t) = I_{n,S}(t) = I_{n,T}(t)$

Questa relazione comporta che:

- Lo sfasamento tra le tre correnti è nullo.
- La somma delle tre correnti è sempre tre volte quella di una singola componente.
- La somma delle 3 correnti deve poter ritornare tramite il quarto filo (es zero/neutro/terra).
- Un sistema di correnti trifase senza il quarto filo non potrà mai contenere correnti omopolari.

### Armoniche di tensione

Si consideri un sistema di tensione trifase R+S+T. I valori istantanei dell'armoniche  $n^{\text{th}}$  [1] (linea-neutro) in questo sistema sono:

$$U_{n,R}(t), U_{n,S}(t) \text{ and } U_{n,T}(t)$$

Queste armoniche  $n^{\text{th}}$  di tensione sono chiamate **non omopolari** quando:  $\{U_{n,R}(t) + U_{n,S}(t) + U_{n,T}(t)\}=0$

Queste armoniche  $n^{\text{th}}$  di tensione sono chiamate **omopolari** quando:  $U_{n,R}(t) = U_{n,S}(t) = U_{n,T}(t)$ .

Questa relazione comporta che:

- Lo sfasamento tra le tre tensioni è nullo.
- La somma delle tre tensioni in ampiezza è sempre pari a tre volte quella di una singola componente.
- Le armoniche di tensione omopolari possono esistere solo nelle tensioni tra linea e neutro e mai tra le tensioni tra due fasi.

### Frequenze omopolari e non omopolari

- Correnti e tensioni non omopolari possono solo apparire per  $n \neq 3,6,9,12,15,18,21,.....$

ove "n" è sempre un numero dispari. Le uniche possibilità sono quindi [1]:

$$\mathbf{n = 5,7,11,13,17,19,23,25,.....}$$

- Correnti/tensioni omopolari possono solo apparire per  $n = 3,6,9,12,15,18,21,.....$

ove "n" è sempre un numero dispari. Le uniche possibilità sono quindi [1] :  $\mathbf{n = 3,9,15,21,27, ....}$

---

#### NOTE:

[1]  $n = f_n / f_1$  ( $f_n$  = frequenza della armonica  $n^{\text{th}}$ )

$f_1$  = frequenza fondamentale).