ENGINEERING
TOMORROW

Guida tecnica

Applicazioni
HVAC e refrigerazione

Progettazione e sviluppo di impianti e di azionamenti elettrici

4 passaggi

per un'installazione sicura. Danfoss supporta la vostra pianificazione con una consolidata esperienza.

drives.danfoss.it | VLT®

La Check List rimovibile sul retro di questa guida consente di ottenere ottimi risultati di progettazione in soli quattro passaggi.

Indice

Supporto alla progettazione 6

Parte 1: Nozioni fondamentali 8
Riduzione dei costi e aumento della convenienza 8
La regolazione di velocità consente di risparmiare energia 9
Miglioramento del rapporto costi-efficienza 10
Concretizzare il potenziale di risparmio 11

Parte 2: Quattro passaggi per un sistema ottimale 12

Fase 1: Aspetti pratici dei sistemi di distribuzione in corrente alternata 12
Riconoscimento della configurazione effettiva di rete

Aspetti pratici della compatibilità elettromagnetica (EMC) 13
Gli effetti elettromagnetici lavorano in entrambe le direzioni
La responsabilità è dell'operatore
Due possibili metodi di riduzione
Distinzione tra interferenza condotta e irradiata 14
Meccanismi di accoppiamento tra circuiti elettrici
Accoppiamento conduttivo
Accoppiamento capacitivo
Accoppiamento di radiazione

Aspetti pratici della qualità dell'alimentazione di rete 15
Interferenza di rete a bassa frequenza
Reti di alimentazione a rischio
Qualità assicurata dalle disposizioni di legge
In che modo si generano le interferenze

Aspetti pratici dell'interferenza di rete a bassa frequenza 16
Effetti dell'interferenza di rete
Segnalazione di avviso in caso di sottotensione
Maggiori perdite
Sono disponibili convertitori di frequenza senza interferenze?
Analisi dell'interferenza di rete

Aspetti pratici della riduzione dell'interferenza di rete 17
Opzioni per la riduzione dell'interferenza di rete
Filtri choke all'ingresso o sul bus CC
Raddrizzatore con 12, 18 o 24 impulsi per ciclo
Filtri passivi
Vantaggi dei filtri passivi
Svantaggi dei filtri passivi
Filtri attivi 18
Vantaggi dei filtri attivi
Svantaggi dei filtri attivi
Corrente e spettro di distorsione a pieno carico
Bus CC compatto 19
Active Front End
Vantaggi di AFE 20
Svantaggi di AFE

Aspetti pratici dell'interferenza ad alta frequenza (RFI) 21
Interferenza in radiofrequenza
Gli standard e le direttive definiscono i limiti

Aspetti pratici del 1° e 2° ambiente 22
Il sito operativo è il fattore decisivo
Ambiente 1 (Classe B): ambiente residenziale
Ambiente 2 (Classe A): ambiente industriale
Ambienti speciali
Nessun compromesso

Aspetti pratici delle misure di protezione della rete 23
Correzione del fattore di potenza
Oscillazioni transitorie di rete

Aspetti pratici del funzionamento con un trasformatore o un generatore di stand-by 24
Massimo utilizzo del trasformatore
Carico del trasformatore
Qualità della potenza
Funzionamento con un generatore di stand-by

Indice

Fase 2: Aspetti pratici delle condizioni ambientali e dell'ambiente **25**
Il giusto sito di installazione
Montaggio nell'armadio o montaggio a parete

Aspetti pratici dei gradi di protezione **26**
Gradi di protezione IP secondo IEC 60529
Tipi di contenitore NEMA conformi a NEMA 250-2003

Aspetti pratici del tipo di raffreddamento **27**
Conformità alle specifiche sulla temperatura ambiente
Raffreddamento
Umidità relativa

Aspetti pratici dei requisiti speciali **28**
Atmosfere aggressive o gas

Esposizione alla polvere **29**
Raffreddamento ridotto
Ventole di raffreddamento
Filtri

Aspetti pratici delle atmosfere potenzialmente esplosive **30**
Atmosfere potenzialmente esplosive

Fase 3: Aspetti pratici di motori e cablaggio **31**
Classi di rendimento minimo per i motori
Rendimenti minimi obbligatori
Classi IE and Eff: maggiori differenze nei dettagli
Motori trifase interessati

Aspetti pratici della classificazione IE dei motori **32**
Pianificazione per l'implementazione MEPS
Conformità con le specifiche dimensionali di montaggio EN 50347
Efficienza dei costi

Aspetti pratici dei motori EC e PM **33**
Cosa sono i Motori EC?
Efficienza dei motori EC
Motori PM: un'alternativa a EC?
Il concetto Danfoss EC+ **34**
La migliore efficienza del motore garantisce la migliore efficienza del sistema?

Aspetti pratici dell'idoneità dei motori per il funzionamento del convertitore di frequenza **35**
Criteri di selezione
Sollecitazione dell'isolamento
Resistenza alla compressione
Sollecitazione termica

Aspetti pratici dei filtri di uscita **36**
Filtri sinusoidali e du/dt
Funzioni e compiti dei filtri sinusoidali
Quando si utilizzano i filtri sinusoidali?
Retrofitting

Aspetti pratici dei cavi motore **37**
Tensione nominale
Dimensionamento del cavo
Lunghezza del cavo motore
Risparmi energetici
Cavi con schermatura idonea

Aspetti pratici della messa a terra **38**
L'importanza della messa a terra
Materiali elettricamente conduttivi
Sistema con messa a terra a stella
Punti di contatto
Area superficiale del conduttore

Aspetti pratici della schermatura **39**
L'importanza della schermatura
Cavi schermati e cablaggio
Collegamento dello schermo
Interruzioni dello schermo
Collegamento a massa **40**
Cavo di alimentazione motore
Cavo segnale
Tipi di schermature
Fase 4: Aspetti pratici della selezione del convertitore di frequenza **41**
Design di base
Coppia costante o variabile
Aspetti pratici delle curve di carico per applicazioni HVAC/R **42**
Curve caratteristiche e applicazioni
Aspetti pratici del funzionamento con più motori (caso speciale) **43**
Design
Percorso cavi
Aspetti pratici delle misure EMC **44**
Messa in pratica della teoria
Interferenza in radiofrequenza
Raccomandazioni pratiche
Due approcci ai filtri RFI
Interferenza di rete **45**
Il collegamento CC influisce sull'interferenza di rete
Misure di riduzione
Filtri choke di rete
Raddrizzatori con 12, 18 o 24 impulsi per ciclo **46**
Filtri passivi
Filtri attivi, active front end e convertitori di frequenza a basse armoniche
Aspetti pratici dei dispositivi a corrente residua **47**
Dispositivi di protezione a corrente residua CA/CC
Livello della corrente di dispersione
Aspetti pratici della messa a terra e della protezione del motore **48**
Misure di messa a terra nella pratica
Protezione del motore e termistore PTC motore
Aspetti pratici del controllo degli operatori e della visualizzazione dei dati **49**
Concetto di funzionamento semplice
Funzionamento sotto comando locale **50**
Display chiaro
Concetto uniforme
Integrato nello sportello dell'armadio
Aspetti pratici del controllo e della configurazione dei parametri con un PC **51**
Opzioni estese
Aspetti pratici dello scambio di dati **52**
Sistemi con bus
Migliore gestione degli allarmi
Migliore gestione dell'impianto
Costi di installazione ridotti
Messa in funzione semplificata
Aspetti pratici dei fattori di scelta aggiuntivi **53**
Controllore di processo
Manutenzione
Immagazzinamento
VLT® HVAC Drive **54**
Direttive sui convertitori di frequenza **55**
Indice **56**
Abbreviazioni **59**
Note **60**
Lista di controllo della progettazione **62**

Supporto a una progettazione dettagliata e di alto livello Guida tecnica per applicazioni HVAC/R

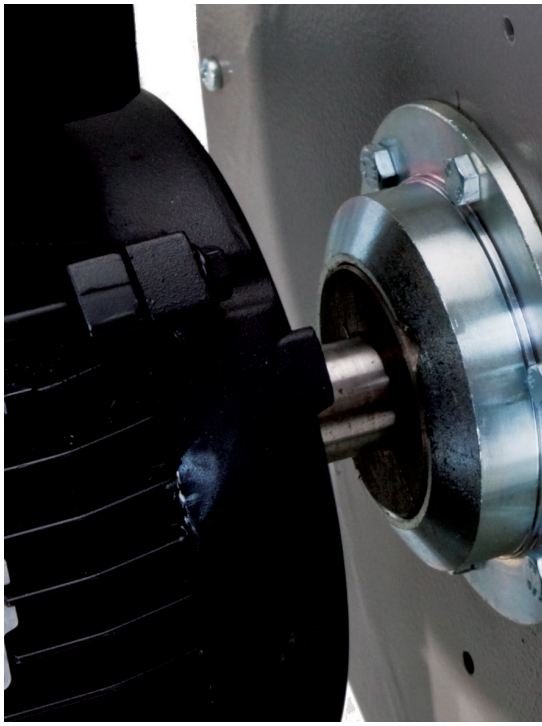
La Guida tecnica Danfoss per applicazioni HVAC e Refrigerazione è concepita per società di ingegneria, enti pubblici, associazioni, progettisti di impianti e progettisti elettrici attivamente coinvolti nella tecnologia HVAC/R. È un supporto esteso per i progettisti di impianti (ICA ed elettrici) e per i progettisti il cui ambito di responsabilità include la progettazione di sistemi a velocità variabile che utilizzano convertitori di frequenza.

Con quest'obiettivo i nostri specialisti hanno coordinato il contenuto del presente manuale di progettazione con i progettisti degli impianti dell'industria per fornire risposte a domande importanti e ottenere i migliori vantaggi possibili per i proprietari, gli sviluppatori e/o le autorità contraenti. Le descrizioni nelle sezioni singole sono intenzionalmente sintetiche. Non sono concepite per fornire spiegazioni dettagliate su argomenti tecnici ma al contrario sintetizzano i punti più importanti e i requisiti specifici per lo sviluppo del progetto. In questo modo, la Guida tecnica per applicazioni HVAC/R fornisce assistenza nella progettazione degli azionamenti controllati in frequenza e nella valutazione dei prodotti di diversi costruttori di convertitori di frequenza.

La progettazione di azionamenti a velocità variabile desta spesso quesiti non direttamente correlati alle effettive funzioni di un convertitore di frequenza, ma che riguardano, invece, l'integrazione di questi dispositivi nel sistema di azionamenti e nell'impianto complessivo. Per questo motivo è essenziale considerare non solo il convertitore di frequenza ma anche l'intero sistema di azionamenti. Questo sistema è composto da motore, convertitore di frequenza, cablaggio e condizioni generali ambientali che includono l'alimentazione di rete CA e le condizioni ambientali.

La progettazione e il layout dei sistemi di azionamenti a velocità variabile sono di fondamentale importanza. Le decisioni prese dai progettisti dell'impianto o dai progettisti elettrici in questa fase sono cruciali per la qualità del sistema di azionamenti, per i costi di esercizio e di manutenzione e per un funzionamento affidabile senza guasti. Un progetto ben concepito a priori contribuisce a evitare effetti indesiderati durante il successivo funzionamento del sistema di azionamenti.

Tutto il personale coinvolto nella progettazione di -convertitori di frequenza dovrebbe considerare attentamente le condizioni tecniche generali di questi dispositivi.



La presente guida tecnica e la lista di controllo della progettazione inclusa sono strumenti ideali per massimizzare l'affidabilità del progetto e quindi per contribuire all'affidabilità funzionale del sistema complessivo.

La Guida tecnica per applicazioni HVAC/R è suddivisa in due parti. La prima parte offre informazioni di base sull'utilizzo dei convertitori di frequenza in generale. Include informazioni sull'efficienza energetica, la riduzione dei costi del ciclo di vita e l'aumento della durata di esercizio.

La seconda parte fornisce, attraverso quattro passaggi essenziali, una guida alla progettazione e alla gestione di un sistema e offre suggerimenti sulle possibilità di retrofit del controllo di velocità nei sistemi in essere. Evidenzia i fattori importanti per ottenere un funzionamento affidabile del sistema - la selezione e il dimensionamento dell'alimentazione di rete, le condizioni ambientali e l'ambiente, il motore e il relativo cablaggio nonché la selezione e il dimensionamento del convertitore di frequenza e vi fornisce tutte le informazioni relative a questi aspetti.

È presente anche una lista di controllo sul retro del manuale, utile per non tralasciare alcun passaggio . Tenendo conto di questi fattori è possibile ottimizzare la progettazione per fornire operazioni affidabili sempre.

Parte 1: Nozioni fondamentali Riduzione dei costi e aumento della convenienza

Rispetto ai sistemi meccanici di regolazione della velocità, il controllo elettronico della velocità permette di risparmiare molta energia e di ridurre notevolmente l'usura. Entrambi questi fattori riducono in modo significativo i costi di esercizio. Più spesso si utilizzano (o è necessario utilizzare) i sistemi di convertitori con carico parziale, maggiore è il potenziale di risparmio in termini di energia e costi di manutenzione. Dato l'elevato potenziale di risparmio energetico, è possibile recuperare entro pochi mesi il costo aggiuntivo di un sistema di regolazione della velocità di tipo elettronico. Inoltre, i sistemi moderni hanno un effetto estremamente positivo su diversi aspetti dei processi di sistema e sulla disponibilità totale dell'impianto.

Elevato potenziale di risparmio energetico

Con un sistema di controllo elettronico della velocità è possibile soddisfare la richiesta effettiva per portata, pressione o pressione differenziale. In pratica, i sistemi funzionano principalmente a carico parziale anziché a carico totale. Nel caso di ventole, pompe o compressori con caratteristiche di coppia variabili, il risparmio energetico ottenuto dipende dalla differenza tra funzionamento a carico parziale e funzionamento a pieno carico. Tanto maggiore è il risparmio, quanto più rapido è il recupero dell'investimento. In genere, sono necessari circa 12 mesi.

Limitazione della corrente di avviamento

Accendendo l'apparecchiatura collegata direttamente alla rete CA si generano picchi di corrente che possono raggiungere sei/otto volte la corrente nominale. I convertitori di frequenza limitano la corrente di avvio alla corrente nominale del motore. In questo modo eliminano i picchi di corrente all'accensione ed evitano buchi di tensione dovuti a carico pesante transitorio della rete di alimentazione. Evitare questi picchi di corrente riduce il carico collegato del sistema di pompe dal punto di vista dell'utenza elettrica, diminuendo così i costi di fornitura ed eliminando la necessità di interruttori Emax aggiuntivi.

Riduzione dell'usura del sistema

I convertitori di frequenza avviano e arrestano i motori in modo graduale e uniforme. A differenza dei motori alimentati direttamente dalla rete CA, i motori pilotati da convertitori di frequenza non generano picchi di coppia o di carico. In questo modo si riduce la sollecitazione sull'intero gruppo dell'azionamento (motore, riduttore, frizione, pompa/ventola/compressore) e sul sistema di tubature, incluse le guarnizioni. Inoltre, la regolazione di velocità riduce in modo significativo l'usura e prolunga la durata del sistema. I costi di riparazione e di manutenzione diminuiscono grazie a periodi di esercizio prolungati e a una minor usura dei materiali.

Regolazione del punto di esercizio ottimale

L'efficienza dell'impianto di HVAC/R dipende dal punto di esercizio ottimale. Questo punto varia in funzione dello sfruttamento della capacità dell'impianto. Il sistema funziona in modo più efficiente quando si trova più vicino al punto di esercizio ottimale. Grazie alla velocità continuamente variabile i convertitori di frequenza possono pilotare il sistema esattamente nel punto di esercizio ottimale.

Gamma di controllo esteso

I convertitori di frequenza consentono il funzionamento dei motori nella gamma "sovrasincrona" (frequenza di uscita superiore a 50 Hz). Questo consente di aumentare per un breve intervallo la potenza generata. Il limite consentito per il funzionamento sovrasincrono dipende dalla corrente in uscita massimale e dalla capacità di sovraccarico del convertitore di frequenza. In pratica, le pompe, i compressori e le ventole vengono fatti spesso funzionare a una frequenza di 55-87 Hz. Occorre consultare sempre il produttore del motore per verificare l'idoneità del motore al funzionamento sovrasincrono.

Inquinamento acustico inferiore

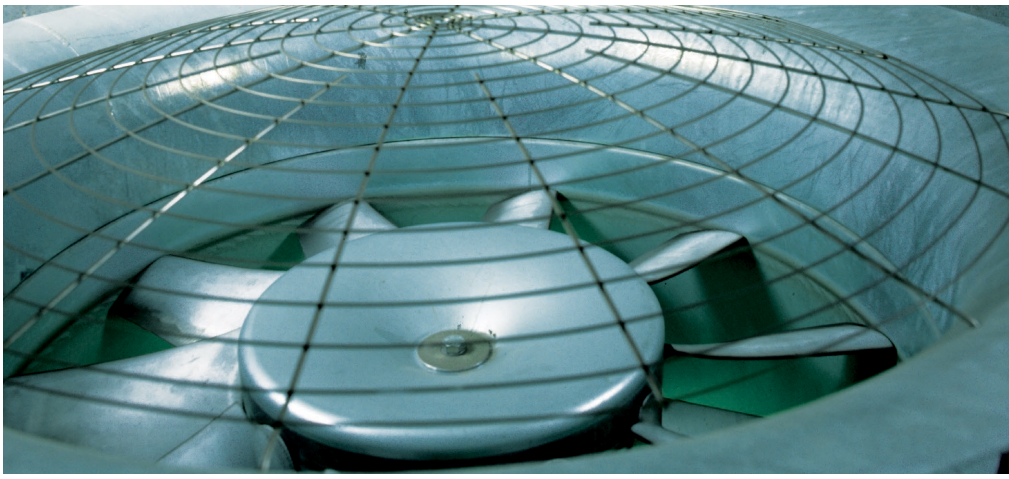
I sistemi funzionanti a carico parziale sono più silenziosi. Il funzionamento in regolazione di velocità riduce in modo significativo la generazione di rumore.

Aumento della vita utile

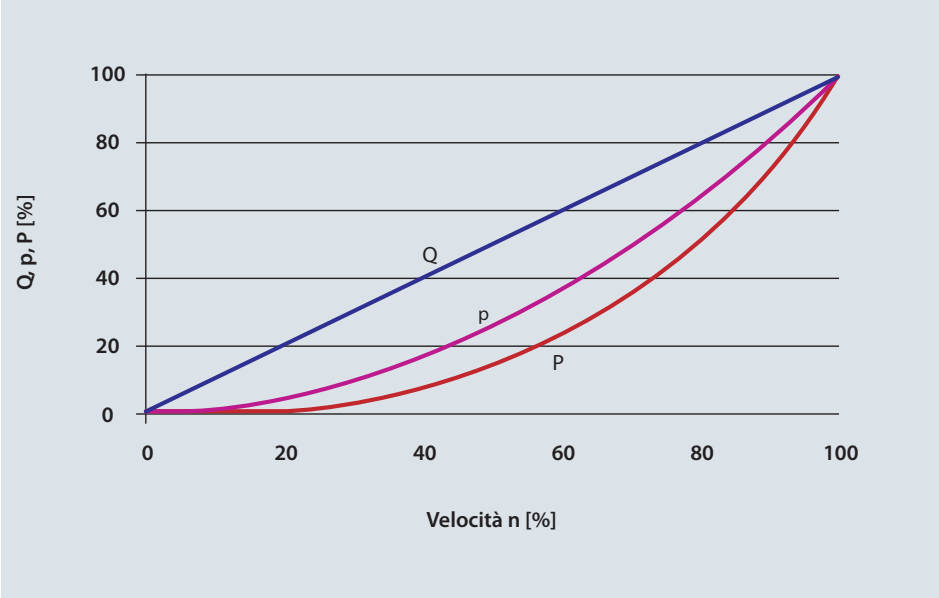
I convertitori di frequenza che funzionano a carico parziale sono meno soggetti a usura e quindi presentano una durata di esercizio superiore. La pressione ridotta e ottimizzata ha inoltre effetti positivi sulle tubazioni.

Retrofitting

È possibile montare i convertitori di frequenza su sistemi già esistenti senza problemi.



La regolazione di velocità consente di risparmiare energia



Regole di proporzionalità delle macchine a flusso liquido. Per le leggi fisiche, la resa Q, la pressione p e la potenza P dipendono direttamente dalla velocità della macchina nel caso di macchine a flusso di liquido.

Il potenziale di risparmio energetico nell'utilizzo di un convertitore di frequenza dipende dal tipo di carico pilotato e dall'ottimizzazione dell'efficienza della pompa, del compressore, della ventola o del motore da parte del convertitore di frequenza, nonché dal tempo di funzionamento del sistema a carico parziale. Molti sistemi sono progettati per carichi di picco poco frequenti e quindi funzionano solitamente a carico parziale.

Le pompe centrifughe e le ventole offrono grandi possibilità di risparmio energetico. Rientrano nella classe delle macchine a flusso liquido con curve di coppia variabile soggette alle seguenti regole di proporzionalità.

Il flusso aumenta in modo lineare all'aumentare della velocità (giri/minuto), mentre la pressione aumenta in modo quadratico e il consumo di potenza aumenta in modo cubico.
Il fattore decisivo per il risparmio energetico è la relazione cubica tra giri al minuto e consumo di potenza.
Una pompa che funziona alla metà della sua velocità nominale, ad esempio, richiede solo un ottavo della potenza necessaria per funzionare alla piena velocità. Anche piccole riduzioni di velocità portano a significativi risparmi energetici. Ad esempio, una riduzione di velocità del 20% consente di ottenere un risparmio energetico del 50%. Il vantaggio principale nell'utilizzo di un convertitore di frequenza è che la regolazione di velocità, al contrario della regolazione con una valvola a farfalla o uno smorzatore, non spreca energia, bensì regola la potenza motrice per soddisfare precisamente la richiesta effettiva.

È possibile aumentare il risparmio energetico ottimizzando l'efficienza della ventola, della pompa o del motore utilizzando il convertitore di frequenza. La caratteristica di regolazione in tensione (curva V/f) fornisce la giusta tensione al motore per qualsiasi frequenza e quindi velocità motore. In questo modo il controllore evita perdite del motore dovute a un'eccessiva corrente reattiva.

***Nota:** I convertitori di frequenza Danfoss VLT® HVAC Drive ottimizzano ulteriormente la richiesta di energia. La funzione AEO (Ottimizzazione Automatica dell'Energia) regola in modo costante la tensione corrente del motore in modo tale che il motore funzioni alla massima efficienza possibile. In questo modo, il convertitore VLT® HVAC Drive adatta sempre la tensione alle condizioni di carico effettive misurate. Il potenziale risparmio energetico aggiuntivo ammonta a un ulteriore 3-5%.*

Per il calcolo del risparmio energetico previsto quando si utilizzano convertitori di frequenza, sono disponibili strumenti come il Software Danfoss VLT® Energy Box.

Miglioramento del rapporto costi-efficienza

Analisi del costo del ciclo di vita (LCC)

Fino a qualche anno fa i progettisti e gli operatori consideravano solamente i costi di fornitura e installazione nella selezione di un sistema di pompe. Oggi si utilizza sempre più spesso un'analisi completa di tutti i costi. Questo tipo di analisi, denominata "costo del ciclo di vita" (LCC), include tutti i costi pertinenti l'esercizio dei sistemi con pompe.

Un'analisi del costo del ciclo di vita non include solo i costi di fornitura e installazione ma anche i costi di energia, funzionamento, manutenzione, tempo di fermo, ambiente e smaltimento. Sono due i fattori che hanno un effetto decisivo sul costo del ciclo di vita: costo dell'energia e costo della manutenzione. Gli operatori cercano azionamenti per pompe innovativi in grado di ridurre questi costi.

Esempio di LCC ridotto:
Il VLT® HVAC Drive dispone di una funzione di radice quadrata per la conversione di valori di pressione differenziale in un segnale di flusso volumetrico. Ciò consente agli utenti di installare sensori meno costosi al fine di ridurre i costi di approvvigionamento (Cic).

LCC = Cic + Cin + Ce + Co + Cm + Cs + Cenv + Cd

C_{ic} = costo del capitale iniziale (costo di approvvigionamento)

C_{in} = costi di installazione e di messa in funzione

C_e = costo energetico

C_s = costi dovuti a inattività e mancata produzione

C_o = costo di esercizio

C_{env} = costo ambientale

C_m = costo di manutenzione

C_d = costo di disinstallazione e smaltimento

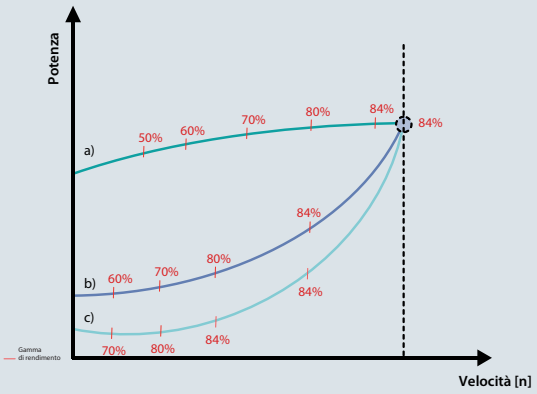
Calcolo del costo del ciclo di vita

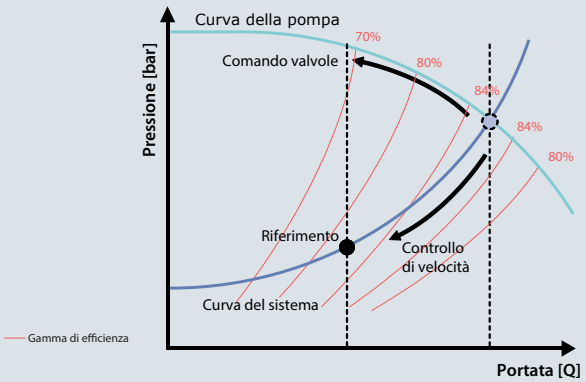
Riduzione dei costi energetici

Uno dei più importanti fattori di costo nella formula dei costi del ciclo di vita è il costo energetico. Questo vale in particolare quando i sistemi a ventola, a pompa o i compressori funzionano oltre 2.000 ore all'anno.

La maggior parte delle applicazioni già esistenti presenta consistenti potenziali di risparmio energetico latenti. Ciò deriva dal fatto che la maggior parte dei sistemi sono sovradimensionati poiché progettati per le condizioni peggiori. La portata volumetrica è spesso regolata da una valvola a farfalla. Con questo tipo di regolazione la pompa funziona sempre a piena capacità e quindi consuma energia inutilmente.

È paragonabile alla guida di un'auto con il motore sempre a massima accelerazione e con l'utilizzo dei freni per regolare la velocità.
Gli attuali convertitori di frequenza intelligenti offrono soluzioni ideali per ridurre il consumo energetico nonché i costi di manutenzione.





a) Comando valvole: η diminuisce
b) Regolazione di velocità effettivo: curva η non allineata alla curva del sistema
c) Regolazione di velocità ottimale: la curva η corrisponde circa alla curva del sistema

Oltre alle curve caratteristiche della pompa e del sistema, questo grafico mostra diversi livelli di efficienza. La regolazione delle velocità e il controllo della valvola causano entrambi uno spostamento del punto di esercizio al di fuori della gamma di efficienza massima.

Concretizzare il potenziale di risparmio

Le descrizioni nella prima parte di questa guida alla progettazione si concentrano principalmente sui risparmi fondamentali e potenziali nella tecnologia HVAC.

Tra le altre cose, fanno riferimento ai costi del ciclo di vita, la riduzione del consumo energetico e la riduzione dei costi energetici nonché la riduzione dei costi di assistenza e manutenzione. Il vostro compito ora è progettare in modo intelligente e consapevole per ottenere in pratica questi vantaggi potenziali.

Per concludere, la seconda parte di questo manuale vi guida nel processo di progettazione in quattro passaggi.

Le sezioni seguenti:
- Sistemi di distribuzione
- Condizioni ambientali e dell'ambiente
- Motori e cavi
- I convertitori di frequenza forniscono tutte le informazioni sulle caratteristiche e sui dati necessari per la selezione e il dimensionamento dei componenti per assicurare un funzionamento affidabile del sistema.

Nel caso in cui sia necessaria una conoscenza più dettagliata, forniamo i riferimenti ad altri documenti con informazioni aggiuntive rispetto alle informazioni di base riportate nel presente manuale.
La lista di controllo inclusa alla fine del presente manuale, ripiegabile o estraibile, è un utile strumento per non dimenticare alcun passaggio. Offre una panoramica rapida e immediata su tutti i rilevanti aspetti della progettazione.

Tenendo conto di tutti questi aspetti sarà possibile progettare un sistema affidabile e efficiente.

Parte 2: Quattro passaggi per un sistema ottimale
Fase 1: Aspetti pratici dei sistemi di distribuzione in corrente alternata

Riconoscimento della configurazione effettiva di rete

Per alimentare gli azionamenti elettrici si utilizzano diversi tipi di sistemi di distribuzione in CA. Tutti influiscono sulle caratteristiche EMC del sistema a diversi livelli. Il sistema TN-S a cinque fili è il migliore a questo proposito mentre il sistema IT isolato è quello meno consigliato.

Sistemi di distribuzione TN

Ci sono due versioni per questo tipo di sistema di distribuzione:
TN-S e TN-C.

TN-S

È un sistema a cinque fili con conduttori di neutro (N) e di protezione di terra (PE) separati.
Fornisce le migliori caratteristiche EMC ed evita la trasmissione dell'interferenza.

TN-C

È un sistema a quattro fili con conduttore di neutro e di terra di protezione comune per l'intero sistema.
Data la presenza di un conduttore di protezione di terra e di neutro combinati, un sistema TN-C non presenta ottime caratteristiche EMC.

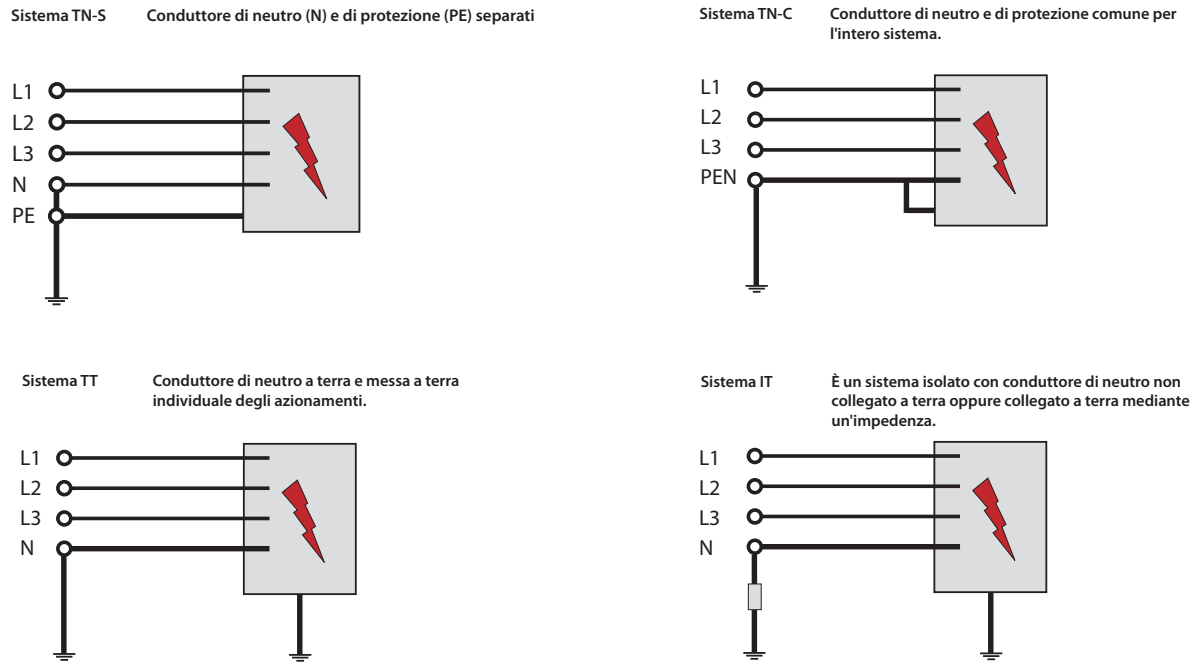
Sistemi di distribuzione TT

È un sistema a quattro fili con un conduttore di neutro a terra e singola messa a terra degli azionamenti.
Questo sistema presenta buone caratteristiche EMC se la messa a terra è stata eseguita in modo corretto.

Sistema di distribuzione IT

È un sistema a quattro fili isolato con conduttore di neutro non collegato a terra oppure collegato a terra mediante un'impedenza.

Nota: *Tutte le caratteristiche EMC del convertitore di frequenza (filtri, ecc.) devono essere disabilitate quando utilizzato in un sistema di distribuzione IT.*



Tipi di sistemi di distribuzione elettrica in base a EN 50310 / HD 384.3

Aspetti pratici della compatibilità elettromagnetica (EMC)

Ogni dispositivo elettrico genera campi elettrici e magnetici che influenzano il suo ambiente fino ad una determinata area.

L'intensità e le conseguenze di questi effetti dipendono dall'alimentazione e dal progetto del dispositivo. Nei macchinari elettrici e nei sistemi le interazioni tra i gruppi elettrici o elettronici possono inficiare o impedire un funzionamento affidabile senza che si verifichino guasti. È quindi importante per gli operatori, i progettisti e gli impiantisti comprendere i meccanismi di queste interazioni. Solo allora potranno adottare le opportune contromisure a costi contenuti in fase di progetto.

Questo perché il costo di misure adeguate aumenta ad ogni fase del processo.

Gli effetti elettromagnetici lavorano in entrambe le direzioni

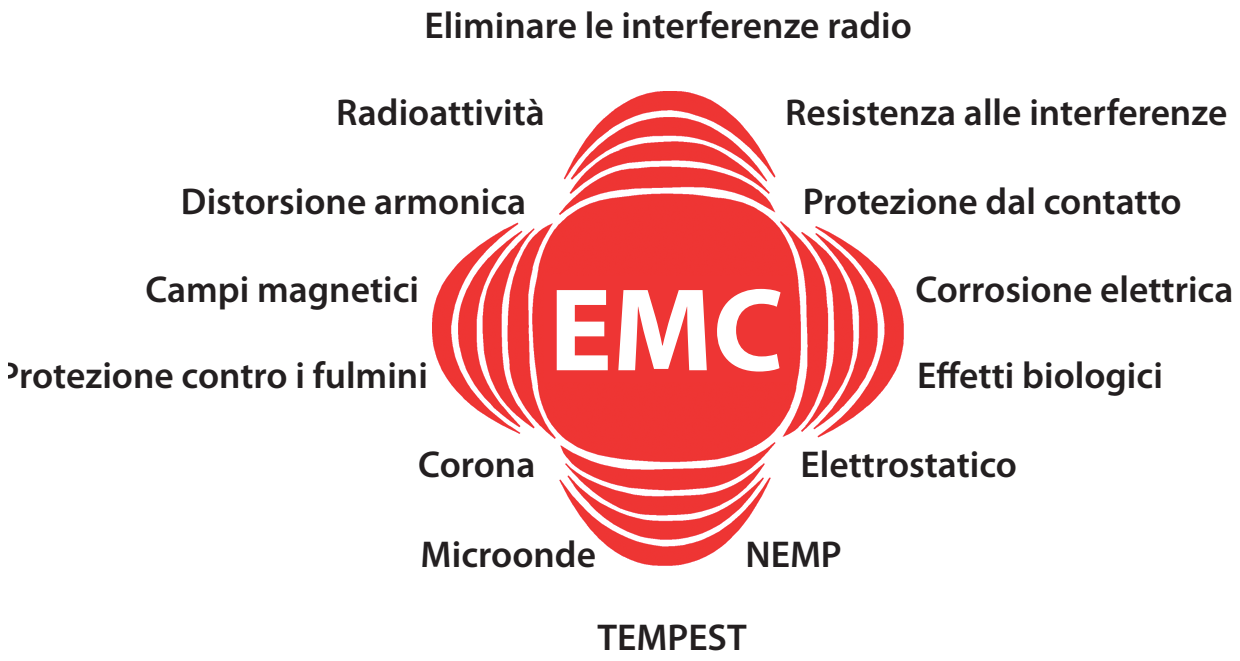
I componenti del sistema interferiscono tra di loro: ogni dispositivo genera interferenza ed è soggetto a interferenza. Oltre al tipo e al livello di interferenza generato da un gruppo, esso è caratterizzato dalla sua immunità all'interferenza dei gruppi vicini.

La responsabilità è dell'operatore

In passato, il produttore di un gruppo o di un componente per azionamenti elettrici doveva adottare contromisure per la conformità alle norme obbligatorie. Con l'introduzione della norma EN 61800-3 per i sistemi di azionamenti a velocità variabile questa responsabilità è stata trasferita all'utilizzatore finale o all'operatore del sistema. Ora i produttori devono offrire solamente soluzioni per un funzionamento conforme agli standard. L'eliminazione di ogni interferenza che può insorgere (in altre parole, l'utilizzo di queste soluzioni), insieme ai costi risultanti, è responsabilità dell'operatore.

Due possibili metodi di riduzione

Gli utilizzatori e i progettisti di impianti hanno due possibilità per assicurare la compatibilità elettromagnetica. Un'opzione è quella di bloccare l'interferenza alla fonte minimizzando o eliminando l'interferenza emessa. L'altra opzione è aumentare l'immunità all'interferenza del dispositivo o del sistema soggetto a interferenza evitando o riducendo la sensibilità all'interferenza.



La compatibilità elettromagnetica (EMC) si basa su una grande varietà di fattori. I fattori più significativi per la progettazione di azionamenti sono l'interferenza di rete, la soppressione RFI e l'immunità all'interferenza.

Aspetti pratici della compatibilità elettromagnetica (EMC)

Distinzione tra interferenza condotta e irradiata

Sono sempre presenti interazioni quando si è in presenza di più sistemi. Gli esperti distinguono tra sorgente dell'interferenza e dispositivo soggetto all'interferenza, che in pratica si riferiscono al dispositivo che causa l'interferenza e al dispositivo soggetto all'interferenza. Tutti i tipi di campi elettrici e magnetici possono potenzialmente generare interferenza. Ad esempio, l'interferenza può assumere la forma di armoniche di rete, scariche elettrostatiche, variazioni rapide di tensione, interferenza ad alta frequenza o campi di interferenza. Nella pratica, le armoniche di rete sono spesso citate come interferenza di rete, sovratoni o semplicemente armoniche.

Meccanismi di accoppiamento tra circuiti elettrici

In che modo si trasmette l'interferenza? In quanto emissione elettromagnetica essa può essere essenzialmente trasmessa da conduttori, campi elettrici oppure onde elettromagnetiche. In termini tecnici si parla di accoppiamento conduttivo, capacitivo e/o induttivo e di radiazione, ovvero un'interazione tra circuiti diversi in cui l'energia elettromagnetica fluisce da un circuito all'altro.

Accoppiamento conduttivo

L'accoppiamento conduttivo si verifica quando due o più circuiti elettrici sono connessi tra loro da un conduttore comune, quale un cavo di equalizzazione del potenziale.

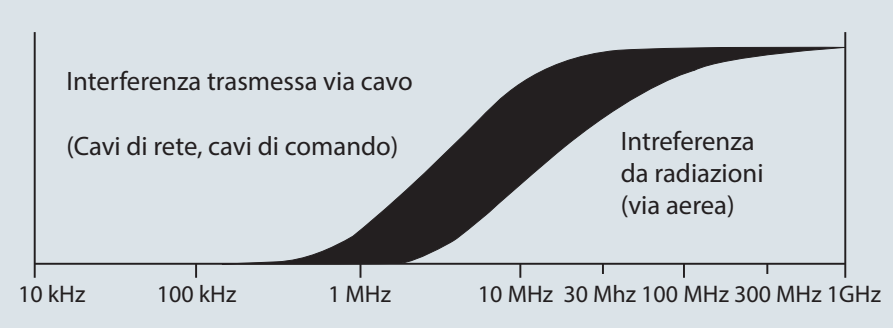
Accoppiamento capacitivo

L'accoppiamento capacitivo deriva da differenze di tensione tra i circuiti. L'accoppiamento induttivo si verifica fra due conduttori attraversati da corrente.

Accoppiamento di radiazione

L'accoppiamento per radiazione si verifica quando un dispositivo soggetto a interferenza si trova nella regione di campo distante da un campo elettromagnetico generato da una sorgente di interferenza.
Per l'analisi elettromagnetica, la norma specifica 30 MHz come limite tra accoppiamento condotto e accoppiamento per irradiazione. Corrisponde a una lunghezza d'onda di 10 metri. Al di sotto di questa frequenza, l'interferenza elettromagnetica si propaga principalmente attraverso i conduttori o per accoppiamento di campi elettrici o magnetici. Oltre i 30 MHz i fili e i cavi si comportano come antenne ed emettono onde elettromagnetiche.

Percorsi di diffusione dell'interferenza



L'interferenza elettromagnetica si verifica nell'intera gamma di frequenza, tuttavia i percorsi di propagazione e i tipi di diffusione variano.

Panoramica dei percorsi di accoppiamento per l'interferenza elettromagnetica ed esempi tipici

Convertitori di frequenza e EMC

Effetti a bassa frequenza (condotti) → Interferenze di rete/armoniche
Effetti ad alta frequenza (irradiati) → Interferenza di radio frequenza (emissione di campi elettromagnetici)

Aspetti pratici della qualità dell'alimentazione di rete

Interferenza di rete a bassa frequenza

Reti di alimentazione a rischio

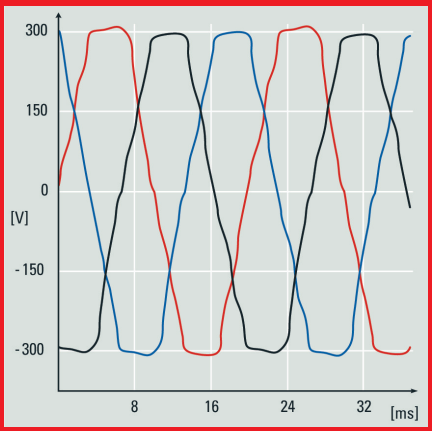
La tensione di rete fornita dalle società elettriche a impianti domestici, commerciali e industriali dovrebbe essere una tensione sinusoidale uniforme con ampiezza e frequenza costante. Questa situazione ideale non è praticamente più presente nelle reti di distribuzione pubbliche. Questo è dovuto in parte ai carichi che assorbono correnti non sinusoidali dalla rete o che presentano caratteristiche non lineari quali PC, televisioni, alimentatori switching, lampade a efficienza energetica e convertitori di frequenza. La qualità dell'alimentazione della rete peggiorerà sempre di più in futuro a causa della rete energetica europea, all'utilizzo superiore della rete e alla riduzione degli investimenti. Scostamenti dalla forma d'onda sinusoidale ideale sono quindi inevitabili e consentiti entro certi limiti.

I progettisti e gli operatori delle utenze hanno l'obbligo di mantenere l'interferenza di rete al minimo. Ma quali sono i limiti e chi li stabilisce?

Qualità assicurata da norme obbligatorie

Norme, direttive e regolamenti sono utili per l'alimentazione di una rete pulita e di elevata qualità. In quasi tutta Europa la base per la valutazione oggettiva della qualità dell'alimentazione di rete sono le direttive di compatibilità elettromagnetica. Le norme europee EN 61000-2-2, EN 61000-2-4 e EN 50160 definiscono i limiti della tensione di rete da rispettare nei sistemi di distribuzione pubblici e industriali.

Le norme EN 61000-3-2 e 61000-3-12 sono regolamenti relativi all'interferenza di rete generata dai dispositivi connessi. Gli operatori dell'impianto devono tener conto anche della norma EN 50178 e delle condizioni di connessione della società elettrica per l'analisi complessiva. Il presupposto di base è che la conformità a questi livelli assicuri che tutti i dispositivi e i sistemi connessi ai sistemi di distribuzione elettrica soddisfino i requisiti dell'utilizzo previsto senza causare problemi.

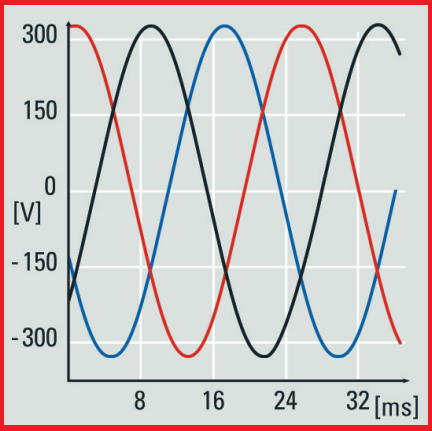


Le misure mostrano una distorsione evidente della forma d'onda della tensione di rete per interferenza da carichi non lineari.

In che modo si generano le interferenze

Gli esperti definiscono la distorsione della forma d'onda sinusoidale nei sistemi di distribuzione causata dalle correnti d'ingresso a impulsi dei carichi connessi come "interferenza di rete" o "armoniche". In alternativa si parla di contenuto armonico della rete, derivato dall'analisi di Fourier, che viene analizzato fino a 2,5 kHz, corrispondenti alla 50ma armonica della frequenza di rete.

I raddrizzatori di ingresso dei convertitori di frequenza generano questa forma tipica d'interferenza armonica sulla rete. Quando i convertitori di frequenza sono collegati ai sistemi di distribuzione 50 Hz, si considerano la terza armonica (150 Hz), la quinta armonica (250 Hz) o la settima armonica (350 Hz). È il caso in cui gli effetti sono più importanti. Il contenuto armonico totale è denominato anche distorsione armonica totale (THD).



La situazione ideale di una tensione di rete sinusoidale raramente è presente oggi nei sistemi di distribuzione.

Aspetti pratici dell'interferenza di rete a bassa frequenza

Analisi dell'interferenza di rete

Per evitare un peggioramento eccessivo della qualità dell'alimentazione di rete si possono utilizzare diversi metodi di riduzione, eliminazione o compensazione con i sistemi o con dispositivi che generano armoniche di corrente. È possibile utilizzare programmi di analisi della rete come il software di calcolo delle armoniche VLT® MCT 31 per l'analisi delle armoniche del sistema. In questo modo gli operatori possono prevedere contromisure specifiche in anticipo e assicurare ottimali prestazioni del sistema.

***Nota:** Gli esperti EMC Danfoss hanno una lunga esperienza in questo campo. Divulghiamo quest'esperienza ai nostri clienti con corsi di formazione, seminari, workshop e nella pratica quotidiana nella forma di analisi EMC con una valutazione dettagliata comprensiva di calcoli.*

***Nota:** Un contenuto armonico eccessivo può gravare tanto da richiedere l'utilizzo di apparecchiatura di rifasamento o addirittura può dar luogo a importanti problematiche. Per questo motivo è necessario utilizzare filtri choke.*

VLT® MCT 31 calcola la distorsione armonica di corrente e tensione dell'applicazione e determina se è richiesto una correzione delle armoniche. Inoltre il software è in grado di calcolare gli effetti dell'aggiunta di filtri e la compatibilità del vostro sistema in riferimento alle diverse norme.

Effetti dell'interferenza di rete

Le armoniche e le variazioni di tensione sono due forme di interferenza di rete condotta a bassa frequenza. Hanno aspetti diversi in qualsiasi altro punto del sistema di distribuzione in cui è connesso un carico.

Di conseguenza l'alimentazione di rete, la struttura della rete e i carichi devono essere considerati nel loro insieme quando si valuta l'interferenza di rete. Gli effetti di un'elevata distorsione armonica sono descritti di seguito.

Avviso in caso di sottotensione

- Misure di tensione errate dovute alla distorsione della tensione di alimentazione sinusoidale.
- Ridotte prestazioni dall'alimentazione di rete

Maggiori perdite

- Le armoniche sono presenti nei domini della potenza attiva, della potenza apparente e della potenza reattiva
- Una ridotta vita media dei dispositivi e dei componenti, ad esempio, ulteriori effetti di riscaldamento dovuto alle risonanze.
- Malfunzionamento o danneggiamento dei carichi elettrici o elettronici (possono produrre ronzio in diversi dispositivi). Nel caso peggiore persino la rottura.
- Misure errate perché solo strumenti e sistemi di misura true-RMS tengono conto delle armoniche.

Sono disponibili convertitori di frequenza senza interferenze?

Ogni convertitore di frequenza genera interferenza di rete. Tuttavia lo standard presente considera solo un intervallo di frequenza fino a 2 kHz. Per questo motivo, alcuni produttori spostano l'interferenza di rete nella regione oltre 2 kHz, non prevista dallo standard, e li pubblicizzano come dispositivi " senza interferenza". I limiti per questa regione sono in fase di studio.

Aspetti pratici della riduzione dell'interferenza di rete

Opzioni per la riduzione dell'interferenza di rete

In generale, l'interferenza di rete dei convertitori di potenza si può limitare riducendo l'ampiezza delle correnti a impulsi. Questo migliora il fattore di potenza λ (lambda). Per evitare un peggioramento eccessivo della qualità dell'alimentazione di rete è possibile utilizzare diversi metodi di riduzione, eliminazione o compensazione con sistemi e dispositivi che generano armoniche.

- Filtri choke all'ingresso o sul bus CC dei convertitori di frequenza
- Bus CC compatto
- Raddrizzatori con 12, 18 o 24 impulsi per ciclo
- Filtri passivi
- Filtri attivi
- Convertitori di frequenza Active Front End e Low Harmonic Drive VLT®

Filtri choke all'ingresso o sul bus CC

Anche dei semplici filtri choke possono effettivamente ridurre il livello di armoniche immesse nel sistema di distribuzione dai circuiti raddrizzatori come interferenza di rete. I produttori di convertitori di frequenza spesso li offrono come opzioni o retrofit supplementari.

I filtri choke possono essere connessi a monte del convertitore di frequenza (sul lato alimentazione) o nel bus CC lato avalle del raddrizzatore. L'induttanza ha lo stesso effetto in entrambi lati, l'attenuazione dell'interferenza di rete non dipende dal punto di installazione del filtro choke.

Ogni opzione presenta vantaggi e svantaggi. I filtri choke in ingresso sono più costosi, più grandi e generano maggiori perdite rispetto ai filtri choke CC. Il loro vantaggio è che proteggono anche il raddrizzatore dei transitori di rete. I filtri choke CC si trovano nel bus CC. Sono più efficaci ma di norma non consentono il retrofit. Con questi filtri choke, è possibile ridurre la distorsione armonica totale di un raddrizzatore B6 da un THD dell'80% senza filtri choke a circa il 40%. Filtri choke con U_k del 4% si sono dimostrati efficaci per l'utilizzo nei convertitori di frequenza. È possibile aumentare la riduzione solo utilizzando filtri speciali adattati.

Raddrizzatore con 12, 18 o 24 impulsi per ciclo

I circuiti raddrizzatori con un numero elevato di impulsi per ciclo (12, 18 o 24) generano livelli di armoniche inferiori. Sono stati spesso utilizzati nelle applicazioni a elevata potenza in passato.

Tuttavia, essi devono essere alimentati da trasformatori speciali con più avvolgimenti secondari sfasati in grado di fornire tutta l'alimentazione necessaria allo stadio del raddrizzatore. Oltre alla complessità e alla taglia dello speciale trasformatore, gli svantaggi di questa tecnologia includono maggiori costi di investimento per il trasformatore e il convertitore di frequenza.

Filtri passivi

Per requisiti particolarmente severi sul limite della distorsione armonica è possibile utilizzare filtri passivi per l'interferenza di rete. Sono composti da componenti passivi, quali bobine e condensatori.

I circuiti LC in serie tarati specificatamente sulle singole frequenze armoniche e collegati in parallelo al carico riducono la distorsione armonica totale (THD) sull'ingresso di rete al 10% o 5%. I moduli dei filtri sono utilizzabili con singoli convertitori di frequenza o gruppi di convertitori di frequenza. Per ottenere i migliori risultati possibili, il filtro antiarmoniche deve essere accoppiato all' ingresso del convertitore di frequenza.

Nella progettazione del circuito, i filtri antiarmoniche passivi sono montati a monte del convertitore di frequenza o di un gruppo di convertitori di frequenza.

Vantaggi dei filtri passivi

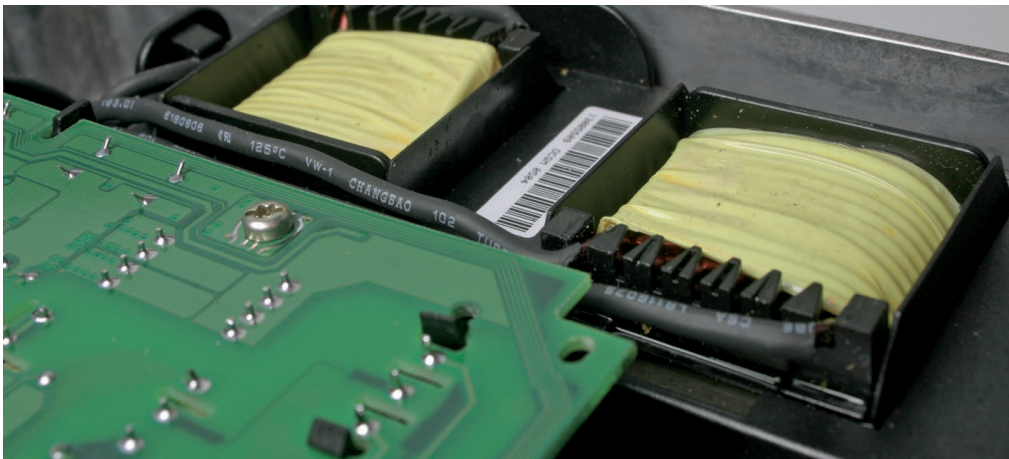
Questo tipo di filtro offre un buon rapporto qualità prezzo. A un costo relativamente basso l'operatore può ottenere una riduzione nei livelli di armoniche confrontabile con i risultati ottenibili con raddrizzatori a 12 o 18 impulsi/ciclo. La distorsione armonica totale (THD) è riducibile al 5%.

I filtri passivi non generano interferenza nella gamma di frequenza oltre 2 KHz. Poiché costituiti interamente da componenti passivi, essi non sono soggetti a usura e sono immuni all'interferenza elettrica e alle sollecitazioni meccaniche.

Svantaggi dei filtri passivi

A causa della loro struttura, i filtri passivi sono piuttosto grandi e pesanti. I filtri di questo tipo sono molto efficaci in una gamma di carico dell'80–100%. Tuttavia la potenza reattiva capacitiva aumenta diminuendo il carico e si consiglia di scollegare i condensatori del filtro durante il funzionamento in assenza di carico.

Nota: I convertitori di frequenza Danfoss VLT sono dotati di serie di filtri choke del bus CC. Riducono l'interferenza di rete fino a un THDi del 40%.



Aspetti pratici della riduzione dell'interferenza di rete

Filtri attivi

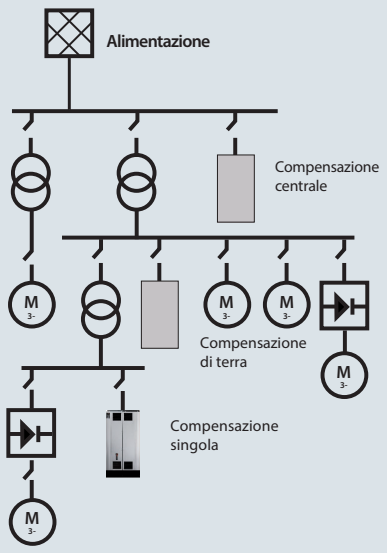
Quando i requisiti relativi all'interferenza di rete sono ancora più rigorosi si utilizzano i filtri elettronici attivi. I filtri attivi sono circuiti elettronici collegati in parallelo ai dispositivi che generano armoniche. Essi analizzano la corrente armonica generata da un carico non lineare ed erogano una corrente di compensazione. Questa corrente elimina completamente la corrente armonica corrispondente nel punto di connessione.
Il grado di compensazione è regolabile. In questo modo è possibile compensare quasi completamente le armoniche, se lo si desidera, oppure ridurle solo al limite necessario per ottenere la conformità del sistema ai limiti stabiliti dalla normativa. Anche in questo caso occorre considerare che questi filtri funzionano con frequenze portanti e producono interferenza di rete nell'intervallo 4–18 kHz.

Vantaggi dei filtri attivi

Gli operatori possono incorporare i filtri attivi in qualunque punto desiderato nel sistema di distribuzione, a seconda se si desidera compensare i singoli convertitori di frequenza, interi gruppi o persino un intero sistema di distribuzione. Non è necessario fornire un filtro separato per ogni convertitore di frequenza. La distorsione armonica totale scende a un livello THD ≤ 4%.

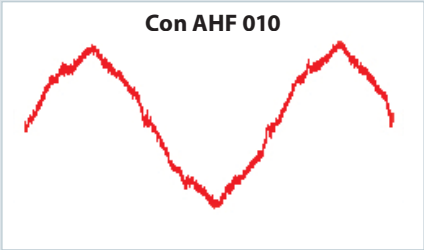
Svantaggi dei filtri attivi

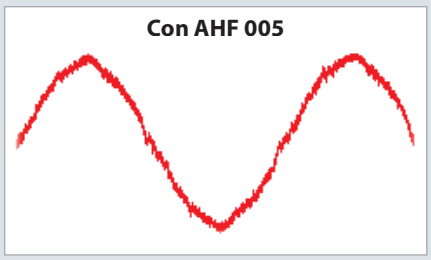
Uno svantaggio è il costo relativamente elevato dell'investimento. Inoltre, questi filtri non sono efficaci oltre il 25° livello di armonica. Gli effetti oltre i 2 kHz generati dagli stessi filtri devono essere considerati nella tecnologia dei filtri attivi. Essi potrebbero necessitare di altre misure per mantenere il sistema di rete privo di disturbi.

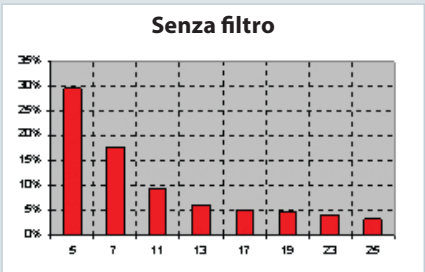


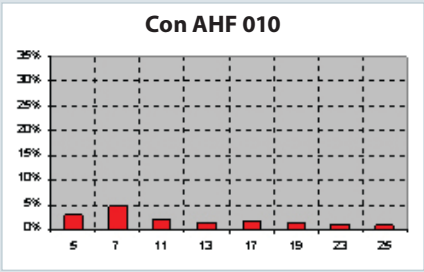
È possibile installare i filtri attivi in qualsiasi punto desiderato nel sistema di distribuzione, a seconda che debbano compensare i singoli convertitori di frequenza, interi gruppi o persino l'intero sistema di distribuzione.

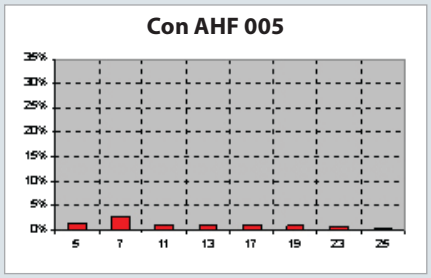
Corrente e spettro distorsione a pieno carico







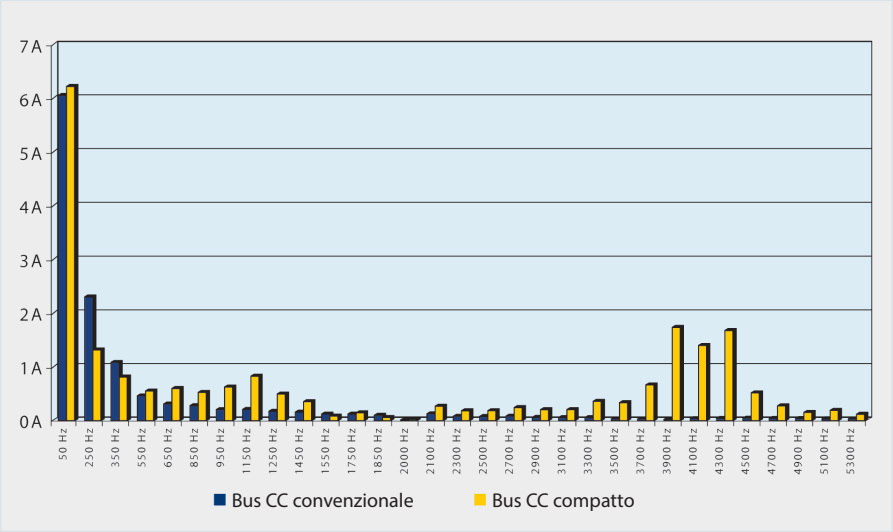




I filtri anti-armoniche avanzati (AHF) riducono la distorsione armonica totale della corrente al 5% o 10% a un carico del 100%.

Bus CC compatto

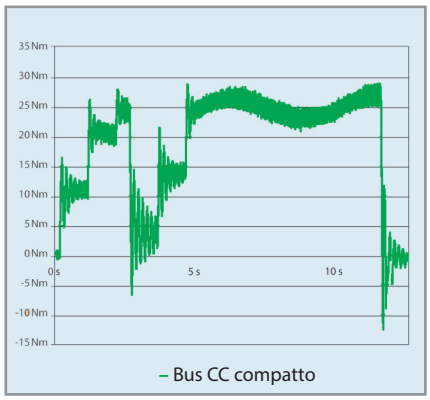
Negli ultimi anni è aumentata la disponibilità di convertitori di frequenza con un bus CC "compatto". Con quest'approccio i produttori riducono notevolmente la capacità dei condensatori del bus CC. Anche senza un filtro choke, si riduce la quinta armonica di corrente a un livello THD inferiore al 40%.
Tuttavia, si verificano interferenze di rete nell'intervallo ad alta frequenza che altrimenti non si presenterebbero.
A causa dell'ampio spettro di frequenza dei dispositivi con bus CC compatto, aumenta il rischio di risonanze con altri componenti collegati alla rete, come lampade fluorescenti o trasformatori. L'elaborazione di misure adeguate è un procedimento complicato e che richiede tempo.



I convertitori di frequenza con bus CC compatti generano livelli di armoniche più elevati, soprattutto nel campo della frequenza più alta.

Inoltre, i convertitori con bus CC compatti presentano punti deboli dal punto di vista del carico. Con convertitori di questo tipo, le variazioni di carico possono provocare variazioni di tensione significativamente maggiori. Di conseguenza, sull'albero motore vi è una maggiore tendenza ad oscillare in risposta alle variazioni di carico. Anche il rilascio del carico risulta difficile. Durante il rilascio del carico, il motore funziona come un generatore con elevate tensioni di picco. Di conseguenza, i dispositivi con bus CC di dimensioni ridotte si spengono più velocemente rispetto ai dispositivi tradizionali, per prevenire eventuali danni dovuti a sovraccarico o sovratensione.
A causa di una esigua capacità tendente a zero, i convertitori con bus CC compatti non sono in grado di controllarsi durante le interruzioni di rete. Come regola generale, un bus CC compatto ha circa il 10% della capacità di un bus CC tradizionale.

Oltre ai disturbi di rete dovuti alla corrente di ingresso, i convertitori con bus CC compatti inquinano la rete con la frequenza di commutazione dell'inverter lato motore. Questo è chiaramente visibile sul lato della rete a causa della capacità bassa o pari a zero del bus CC.



Active Front End

I convertitori di frequenza a basso contenuto di armoniche "Low Harmonic Drives" (LHD) vengono spesso associati ai convertitori Active Front End (AFE). Tuttavia, questa pratica risulta un po' fuorviante, in quanto i convertitori di frequenza a basso contenuto di armoniche sono in grado di supportare molte tecnologie diverse e comprendono sia attenuazione passiva sia attiva. I convertitori Active Front End dispongono di interruttori IGBT sui circuiti di ingresso dell'unità che sostituiscono i convenzionali raddrizzatori. Questi circuiti utilizzano dispositivi a semiconduttori con caratteristiche di commutazione veloce per forzare la corrente d'ingresso in modo che diventi approssimativamente sinusoidale e sono molto efficaci nell'attenuazione dell'interferenza di rete a bassa frequenza. Come i convertitori di frequenza con bus CC compatti, essi generano interferenza di rete nel campo dell'alta frequenza.

L'Active front end è l'approccio più oneroso nella riduzione dell'interferenza di rete, poiché equivale a un convertitore di frequenza supplementare completo in grado di rigenerare la potenza nel sistema di distribuzione. L'opzione del convertitore di frequenza a basse armoniche (LHD) non offre questa possibilità e infatti è meno costoso.

Aspetti pratici della riduzione dell'interferenza di rete

Vantaggi di AFE

La distorsione armonica totale scende a un livello THD <4% nella gamma dalla 3° alla 50° armonica. Il funzionamento a quattro quadranti è possibile con i dispositivi AFE, il che significa che la potenza di frenatura del motore può essere rimandata nel sistema di distribuzione.

Svantaggi di AFE

La complessità tecnica di realizzazione è molto elevata e comporta costi di investimento molto elevati. I dispositivi AFE sono costituiti da due convertitori di frequenza, uno che alimenta il motore e l'altro il sistema di distribuzione. Data l'aumentata complessità del circuito, l'efficienza del convertitore di frequenza è inferiore nel suo complesso.

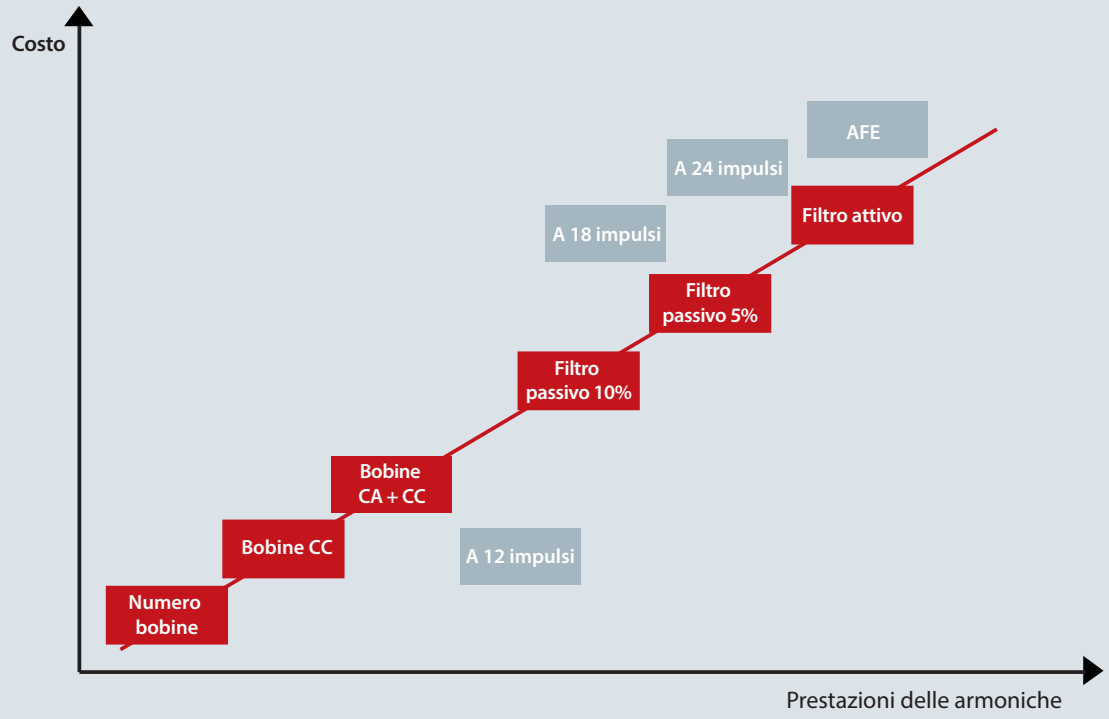
Un AFE necessita sempre di una tensione del bus CC maggiore per un corretto funzionamento. In molti casi questa tensione maggiore viene trasmessa al motore, con conseguente maggior stress sull'isolamento motore. Se i bus CC dei dispositivi AFE non sono separati, un guasto del filtro può comportare guasto dell'intero dispositivo.

La perdita di potenza può essere superiore del 40 - 50% rispetto a quella dei convertitori di frequenza con raddrizzatori non controllati. Un altro svantaggio è la frequenza di commutazione utilizzata dai dispositivi per la correzione della corrente d'ingresso. Si trova nell'intervallo 3 - 6 kHz.

Gli AFE di ottima progettazione (e relativamente complessi) filtrano questa frequenza di commutazione prima di alimentare il sistema di alimentazione. Gli standard e le normative vigenti non coprono quest'intervallo di frequenza. Gli analizzatori di rete disponibili al momento non acquisiscono i dati in questo campo di frequenza e quindi non consentono di misurare gli effetti.

Tuttavia queste frequenze sono presenti in tutti dispositivi collegati al sistema di alimentazione, ad esempio si possono verificare aumenti di assorbimento della corrente. Tali effetti potranno essere evidenti col passare del tempo. Di conseguenza gli operatori, nell'interesse funzionale dei propri sistemi, dovrebbero chiedere specificatamente ai produttori informazioni sui livelli di emissione e sulle contromisure.

Panoramica delle misure di riduzione delle armoniche



Aspetti pratici dell'interferenza ad alta frequenza (RFI)

Interferenza in radiofrequenza

Gli inverter generano tensioni e frequenze variabile al motore caratterizzate da impulsi di corrente di forma rettangolare a larghezza variabile (PWM). I fronti ripidi degli impulsi contengono componenti ad alta frequenza. I cavi del motore e i convertitori di frequenza irradiano queste componenti e le conducono nel sistema di distribuzione attraverso i cavi.

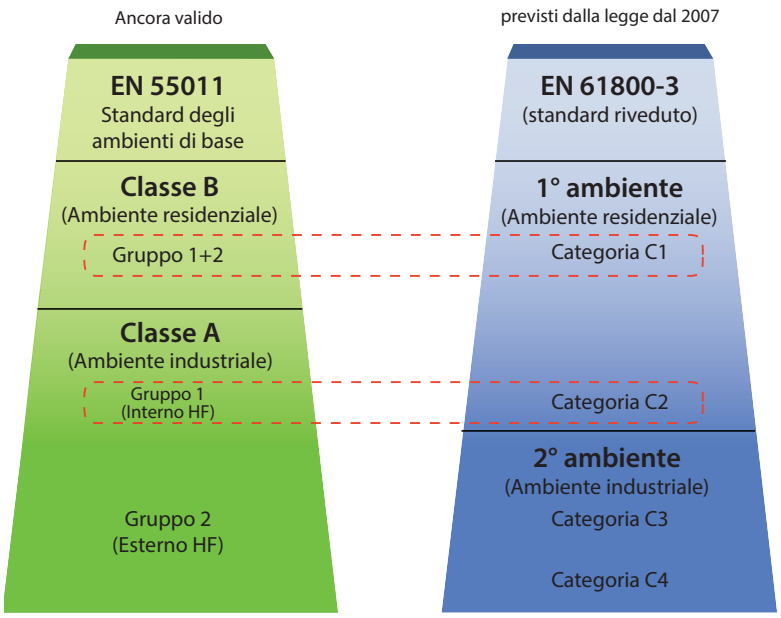
I produttori utilizzano filtri per l'interferenza radio frequenza (RFI) (denominati anche filtri di rete o filtri EMC) per ridurre il livello di questo tipo di interferenza sull'alimentazione di rete.

Essi servono a proteggere i dispositivi dalle interferenze condotte ad alta frequenza (immunità al rumore) e a ridurre il livello di interferenza ad alta frequenza emesso da un dispositivo sul cavo di rete o per irradiazione dal cavo di rete.

I filtri servono a limitare queste emissioni di interferenza a un livello normativo specificato, il che significa che per quanto possibile dovrebbero essere montati di serie nell'apparecchiatura. Come nel caso dei filtri choke di rete, con i filtri RFI la qualità del filtro da utilizzare dev'essere chiaramente definita.

Limiti specifici per i livelli di interferenza sono definiti nella normativa di prodotto EN 61800-3 e nella normativa generica EN 55011.

Confronto dei livelli di interferenza



Confronto delle nuove categorie da C1 a C4 definite dalla normativa di prodotto EN 61800-3 e delle classi A e B della normativa sull'ambiente EN 55011.

Gli standard e le direttive definiscono i limiti

Occorre assicurare la conformità a due normative per la valutazione complessiva dell'interferenza in radio frequenza. La prima è la normativa sull'ambiente EN 55011 che definisce i limiti in funzione dell'ambiente di base: industriale (classi A1 e A2) o residenziale (classe B). Inoltre, la normativa di prodotto EN-61800-3 per i sistemi di azionamenti elettrici vigente da giugno 2007, che definisce nuove categorie (da C1 a C4) per le aree applicative del dispositivo.

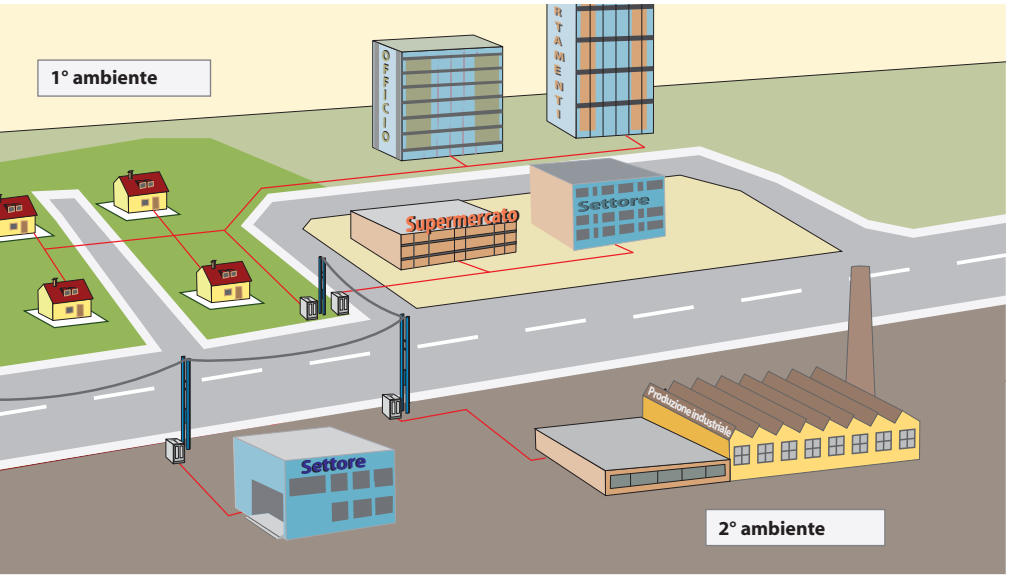
Sebbene siano confrontabili con le classi precedenti in termini di limiti, consentono una più ampia gamma di applicazioni nell'ambito della normativa di prodotto.

Normativa di prodotto EN 61800-3 (2005-07) per i sistemi di azionamenti elettrici

Classificazione per categoria	C1	C2	C3	C4
Ambiente	1° ambiente	1° o 2° ambiente (in base alla decisione dell'operatore)	2° ambiente	2° ambiente
Tensione/corrente	< 1000 V			> 1000 V In > 400 A Connessione alla rete IT
EMC esperto	Nessun requisito	Installazione e messa in funzione da parte di un esperto EMC		Piano EMC necessario
Limiti secondo lo standard EN 55011	Classe B	Classe A1 (più avviso)	Classe A2 (più avviso)	Valori superiori alla Classe A2

Nota:
Gli operatori dell'impianto devono attenersi alla norma EN 55011. I produttori di convertitori devono attenersi alla norma EN 61800-3.

Aspetti pratici del 1° e 2° ambiente



Classificazione degli ambienti operativi nel 1° e nel 2° e degli ambienti speciali che l'operatore può scegliere.

Il sito operativo è il fattore decisivo

I limiti di ciascun ambiente sono specificati dagli standard corrispondenti ma in che modo i dispositivi sono assegnati ai diversi tipi di ambiente? Anche in questo caso le norme EN 55011 e EN 61800-3 forniscono le informazioni sui sistemi di azionamenti elettrici e sui componenti.

1° Ambiente/ Classe B: Ambiente residenziale

Tutti i siti operativi direttamente collegati alla rete pubblica di alimentazione a bassa tensione, includendo le aree industriali, sono classificate come ambiente residenziale o commerciale. Non dispongono di trasformatori propri di distribuzione a media tensione o alta tensione per un sistema di rete separato. Le classificazioni ambientali si applicano agli edifici sia all'interno sia all'esterno. Alcuni esempi sono aree commerciali, edifici e aree residenziali, ristoranti e attività del tempo libero, parcheggi, impianti sportivi e ricreativi.

2° Ambiente/ Classe A: Ambiente industriale

Gli ambienti industriali sono siti operativi non direttamente collegati alla rete pubblica di alimentazione a bassa tensione, ma hanno invece i propri trasformatori di distribuzione a media o alta tensione. Sono inoltre definiti tali nel registro catastale e sono caratterizzati da specifiche condizioni elettromagnetiche:

- la presenza di dispositivi scientifici, medicali o industriali;
- la commutazione di grandi carichi induttivi e capacitivi;
- la presenza di forti campi magnetici (ad esempio a causa delle correnti elevate).

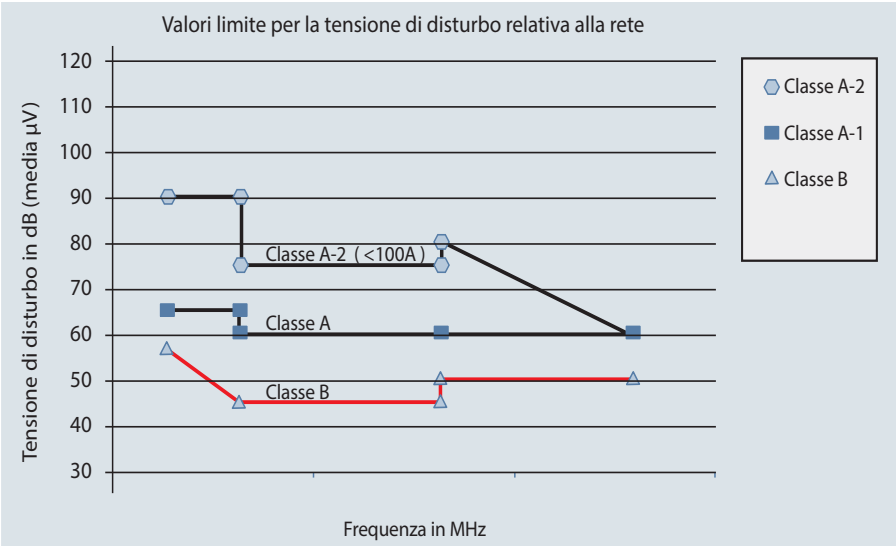
Le classificazioni ambientali valgono sia all'interno sia all'esterno degli edifici.

Ambienti speciali

In questo caso gli utenti possono decidere in quale tipo di ambiente classificare il proprio impianto. Ciò presuppone che l'area sia dotata del proprio trasformatore a media tensione e che sia chiaramente distinta dalle altre aree. In quest'area l'utente è personalmente responsabile nell'assicurare la compatibilità elettromagnetica necessaria a consentire un funzionamento senza guasti di tutti dispositivi in certe condizioni. Alcuni esempi di ambienti speciali sono centri commerciali, supermarket, stazioni di rifornimento, uffici e magazzini.

Nessun compromesso

Se si utilizza un convertitore di frequenza non conforme alla categoria C1, il dispositivo deve essere dotato di un avviso. È responsabilità dell'utente o dell'operatore.
In caso di interferenza gli esperti basano sempre l'eliminazione dell'interferenza sui limiti definiti per le classi A1/A2 e B nella norma standard generica EN 55011 in base all'ambiente operativo. Il costo dell'eliminazione dei problemi EMC è a carico dell'operatore. L'utente in definitiva è responsabile per la classificazione appropriata dei dispositivi rispetto a questi due standard.



Aspetti pratici delle misure di protezione della rete

Correzione del fattore di potenza

L'apparecchiatura di rifasamento serve a ridurre lo sfasamento (φ) tra la tensione e la corrente e porta il fattore di potenza vicino all'unità (cos φ). Ciò è necessario quando in un sistema di distribuzione elettrico si utilizzano molti carichi induttivi, ad esempio motori o ballast di lampade.
In base alla struttura del bus CC, i convertitori di frequenza non assorbono potenza reattiva dal sistema di distribuzione o generano sfasamento. Presentano un cos φ di circa 1. Per questo motivo gli utilizzatori dei motori con la regolazione della velocità non devono tenerne conto durante il dimensionamento di tutte le apparecchiature di rifasamento eventualmente necessarie. Tuttavia, la corrente assorbita dall'apparecchiatura di rifasamento aumenta perché i convertitori di frequenza generano armoniche. Il carico sui condensatori aumenta all'aumentare del numero di generatori di armoniche ed essi si scaldano di più. Per questi motivi l'operatore deve montare filtri choke nell'apparecchiatura di rifasamento. Questi filtri choke evitano inoltre risonanze tra carichi induttivi e la capacità dell'apparecchiatura di rifasamento.

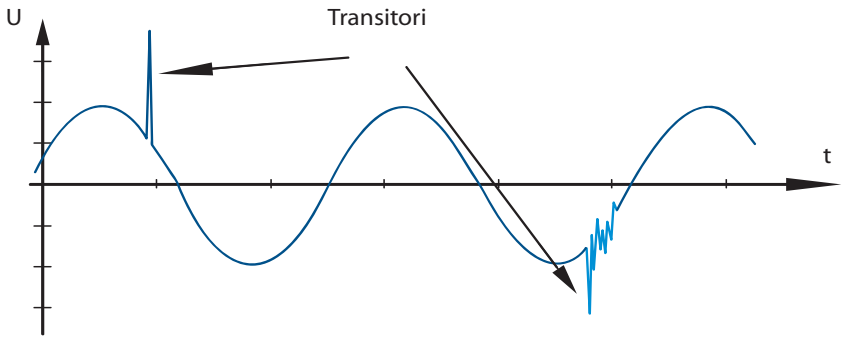
I convertitori con cos j < 1 richiedono inoltre filtri choke nell'apparecchiatura di rifasamento. L'utente nel dimensionamento dei cavi deve tener conto del livello di potenza reattiva maggiore.

Oscillazioni transitorie di rete

I transitori sono brevi picchi di tensione nel campo di qualche migliaia di volt. Si verificano in tutti i tipi di sistemi di distribuzione, sia in ambiente industriale sia in ambiente residenziale.

I fulmini sono una causa comune di transitori. Tuttavia essi sono causati anche dalla commutazione di grandi carichi in linea o fuori linea o dalla commutazione di altre apparecchiature, quale l'apparecchiatura di rifasamento. Possono essere causa dei transitori i cortocircuiti, l'intervento di interruttori automatici nei sistemi di distribuzione e l'accoppiamento induttivo tra cavi paralleli .

La norma EN 61000-4-1 descrive le forme di questi transitori e il livello di energia immagazzinata. I loro effetti negativi possono essere limitati con diversi metodi. Si utilizzano scaricatori per fornire la protezione di primo livello dai transitori a energia elevata. Per il secondo livello di protezione la maggior parte dei dispositivi elettronici utilizzano resistori che dipendono dalla tensione (varistori) per attenuare i transitori. I convertitori di frequenza utilizzano anche questo metodo.



I fulmini sono la causa più frequente dei transitori di rete nei sistemi

Aspetti pratici del funzionamento con un trasformatore o un generatore di stand-by

Massimo utilizzo del trasformatore

Nei sistemi a bassa tensione (400 V, 500 V e 690 V), gli operatori possono utilizzare convertitori di frequenza a regolazione di velocità con potenze nominali fino a 1 MW. Un trasformatore converte la tensione della rete a media tensione alla tensione richiesta.
Nel sistema di distribuzione pubblico (ambiente 1: ambiente residenziale) è responsabilità della società elettrica.

Nei sistemi di distribuzione industriali (ambiente 2: ambiente industriale; tipicamente 500 V o 690 V), il trasformatore si trova presso l'utente finale che è responsabile anche dell'alimentazione dell'impianto dell'utente.

Carico del trasformatore

Nel caso di trasformatori che alimentano il convertitore di frequenza occorre tenere conto del fatto che l'utilizzo di convertitori di frequenza e di altri carichi dei raddrizzatori genera armoniche che impongono un ulteriore carico di potenza reattiva sul trasformatore.

Esso genera perdite superiori e ulteriore riscaldamento. Nel peggiore dei casi si arriva al guasto del trasformatore.
Anche i gruppi vettoriali intelligenti (diversi trasformatori collegati insieme) possono generare armoniche in certe condizioni.

Qualità della potenza

Per assicurare la qualità dell'alimentazione di rete in conformità alle normative vigenti, è necessario conoscere il livello del carico del convertitore di frequenza sopportabile dal trasformatore.

I programmi di analisi della rete quale il software di calcolo delle armoniche VLT® MCT 31 offrono un'esatta indicazione del livello di carico di un convertitore di frequenza alimentabile da un trasformatore in uno specifico sistema.

Nota: *tutti i convertitori di frequenza nella serie VLT® HVAC Drive sono dotati di serie dei filtri choke integrati per l'interferenza di rete.*

Funzionamento con un generatore di stand-by

Gli operatori utilizzano i sistemi di alimentazione di backup quando è richiesto il funzionamento continuo dei dispositivi alimentati dalla rete anche in caso di perdita dell'alimentazione. Sono utilizzati anche quando la connessione di rete disponibile non è in grado di fornire un'alimentazione sufficiente. Il funzionamento in parallelo alla rete di distribuzione pubblica è possibile e permette di aumentare la potenza di rete. È una procedura comune quando serve anche il riscaldamento ad esempio nelle unità combinate potenza/calore. Sfruttano l'elevata efficienza offerta da questa forma di conversione dell'energia.
Quando l'alimentazione di backup è fornita da un generatore, l'impedenza di rete è di norma superiore al caso in cui l'alimentazione provenga da una rete pubblica. Questo provoca un aumento della distorsione armonica totale. Con un'adeguata progettazione i generatori possono funzionare in un sistema contenente generatori di armoniche.

In pratica, ciò significa che quando il sistema passa dal funzionamento in rete al funzionamento con generatore si prevede un aumento del livello di armoniche.

I progettisti e gli operatori di impianti devono calcolare o misurare l'aumento del carico delle armoniche per assicurare che la qualità della potenza rispetti le direttive ed evitare problemi e guasti alle apparecchiature.

Occorre evitare un carico asimmetrico del generatore poiché causerebbe un aumento delle perdite e della distorsione armonica totale.
Uno sfasamento 5/6 degli avvolgimenti del generatore attenua la quinta e la settima armonica ma permette l'aumento della terza armonica. Uno sfasamento 2/3 riduce la terza armonica.

Se possibile, l'operatore deve sconnettere l'apparecchiatura di rifasamento poiché possono verificarsi risonanze nel sistema.
I filtri choke o ad assorbimento attivo possono attenuare le armoniche. I carichi resistivi collegati in parallelo hanno anche un effetto di attenuazione mentre i carichi capacitivi collegati in parallelo creano un carico aggiuntivo dovuto a effetti di risonanza non prevedibili.

Tenendo conto di questi fenomeni, un sistema di distribuzione alimentato da un generatore può alimentare una specifica proporzione di convertitori di frequenza mantenendo al contempo la qualità di potenza specificata. Un'analisi più precisa è consentita dall'utilizzo dei software di analisi della rete, quale il software di calcolo delle armoniche VLT® MCT 31.

Nel caso di funzionamento con generatori di armoniche, i limiti sono impostati come segue:

Raddrizzatori B2 e B6	→	max 20% del carico nominale del generatore
Raddrizzatore B6 con filtro choke	→	max. 20–35% del carico nominale del generatore in funzione della composizione
Raddrizzatore B6 controllato	→	max 10% del carico nominale del generatore

Le cifre di carico massimo sopra riportate sono i valori guida raccomandati che hanno dimostrato il funzionamento dell'impianto senza problemi.

Fase 2: Aspetti pratici delle condizioni ambientali e dell'ambiente

Il giusto sito di installazione

Il tempo massimo di operatività e durata prolungata dei convertitori di frequenza in esercizio sono due caratteristiche ottenibili solo con l'adeguato raffreddamento e una corretta qualità dell'aria.

Di conseguenza, la selezione del sito e delle condizioni di installazione hanno un effetto decisivo sulla durata del convertitore di frequenza.

Montaggio nell'armadio o montaggio a parete

Non ci sono criteri definitivi per stabilire se sia meglio montare un convertitore di frequenza in un armadio o a parete. Entrambe le opzioni presentano vantaggi e svantaggi.

Il montaggio in armadio presenta il vantaggio di raggruppare tutti i componenti elettrici ed elettronici proteggendoli in una custodia (l'armadio).

L'armadio viene assemblato come unità completa per l'installazione da collocare nell'impianto.

Uno svantaggio è che i componenti possono interferire tra loro dato lo spazio ristretto all'interno dell'armadio e quindi bisogna prestare molta attenzione affinché il layout dell'armadio sia conforme EMC. Inoltre, i costi dei cavi schermati motore sono maggiori perché il convertitore di frequenza e il motore sono di solito notevolmente distanti l'uno dall'altro rispetto all'installazione locale.

Il montaggio a parete è più semplice da gestire in termini di EMC data la vicinanza tra convertitore di frequenza e motore.

I cavi motori schermati presentano una lunghezza ridotta e quindi un costo decisamente inferiore. Il costo leggermente superiore di un convertitore di frequenza con custodia IP54 può essere facilmente compensato da una riduzione dei costi di installazione e di cablaggio. Tuttavia in pratica circa il 70% dei dispositivi è montato in armadi.

Nota:
I convertitori di frequenza Danfoss sono disponibili con tre diversi gradi di protezione:
- *IP00 o IP20 per l'installazione installazione*
- *IP54 o IP55 per il montaggio locale;*
- *IP66 per condizioni ambientali critiche, come un'umidità (dell'aria) estremamente elevata o elevate concentrazioni di polvere o gas aggressivi.*

I convertitori di frequenza sono installabili centralmente (in un armadio) o localmente (accanto al motore). Entrambe le opzioni presentano vantaggi e svantaggi.

Aspetti pratici dei gradi di protezione

I convertitori di frequenza con grado di protezione IP66/Tipo 4x sono idonei per l'installazione in ambienti aggressivi (ad es. torri di raffreddamento).

Convertitori a prova di dito con grado di protezione IP20 o IP21 sono progettati per essere montati in un armadio.

Struttura dei gradi di protezione IP in base a IEC 60529

Prima cifra caratteristica IP	Contro la penetrazione da corpi estranei solidi	Contro l'accesso a parti pericolose da
IP0_	(non protetto)	(non protetto)
IP1_	diametro ≥ 50 mm	Dorso della mano
IP2_	Diametro 12,5 mm	Dito
IP3_	Diametro 2,5 mm	Strumento
IP4_	Diametro ≥ 1,0 mm	Filo
IP5_	Resistente alla polvere	Filo
IP6_	Tenuta alla polvere	Filo

Le cifre mancanti sono sostituite da "x".

Seconda cifra caratteristica IP	Contro la penetrazione di acqua
IP_0	(non protetto)
IP_1	Gocce in caduta verticale
IP_2	Gocce a un angolo di 15°
IP_3	Spruzzo d'acqua
IP_4	Forti spruzzi d'acqua
IP_5	Getti d'acqua
IP_6	Forti getti d'acqua
IP_7	Immersione temporanea
IP_8	Immersione a lungo termine

Tipi di contenitore NEMA conformi a NEMA 250-2003

Confronto di applicazioni specifiche di contenitori per aree interne non pericolose	Tipo di contenitore			
Fornisce un grado di protezione contro le seguenti condizioni	1*	4	4X	12
Accesso a parti pericolose	x	x	x	x
Ingresso di corpi estranei solidi (penetrazione di sporcizia)	x	x	x	x
Ingresso di acqua (gocce e piccoli getti)	-	x	x	x
Ingresso di corpi estranei solidi (polvere, filacci, fibre e pulviscolo in circolazione **)	-	x	x	x
Ingresso di corpi estranei solidi (sedimentazione di polvere, filacci, fibre e pulviscolo sospesi nell'aria **)	-	x	x	x
Ingresso di acqua (getti e spruzzi d'acqua)	-	x	x	-
Infiltrazioni di olio e refrigerante	-	-	-	x
Agenti corrosivi	-	-	x	-

* *Questi contenitori possono essere ventilati*

** *Queste fibre e questo pulviscolo non sono materiali pericolosi e non sono considerati fibre o pulviscolo combustibile di Classe III tipo infiammabile. Per la Classe III tipo fibre infiammabili o pulviscolo combustibile si veda il National Electrical Code (Codice nazionale per il materiale elettrico), articolo 500.*

Confronto di applicazioni specifiche di contenitori per aree esterne non pericolose	Tipo di contenitore	
Fornisce un grado di protezione contro le seguenti condizioni	4	4X
Accesso a parti pericolose	x	x
Ingresso di acqua (pioggia, neve e nevischio*)	x	x
Nevischio **	-	-
Ingresso di corpi estranei solidi (polvere, filacci, fibre e pulviscolo spazzati dal vento)	x	x
Ingresso di acqua (getti)	x	x
Agenti corrosivi	-	x

* *Non è richiesto che i meccanismi di funzionamento esterni siano operativi quando il contenitore è coperto di ghiaccio.*

** *I meccanismi di funzionamento esterni sono operativi quando il contenitore è coperto di ghiaccio.*

Aspetti pratici del tipo di raffreddamento

Conformità alle specifiche sulla temperatura ambiente

Le condizioni climatiche esterne e le condizioni ambientali hanno un effetto determinante sul raffreddamento di tutti i componenti elettrici ed elettronici in una sala controllo o in un armadio.

I limiti minimi e massimi di temperatura ambiente sono specificati per tutti i convertitori di frequenza. Questi limiti sono di norma determinati dai componenti elettronici utilizzati. Ad esempio la temperatura ambiente dei condensatori elettrolitici montati in un bus CC deve rimanere entro certi limiti poiché la temperatura ha effetti sulla capacità. Sebbene i convertitori di frequenza possano funzionare a basse temperature fino a -10 °C, i produttori garantiscono esclusivamente il corretto funzionamento a carichi nominali con temperature di almeno 0 °C. Si consiglia quindi di evitare l'utilizzo in aree soggette a temperature rigide, quali sale con una scarsa coibentazione.

Non superare il limite massimo di temperatura. I componenti elettronici sono sensibili al calore.

In base all'equazione di Arrhenius, la durata di un componente elettronico diminuisce del 50% per ogni 10 °C al di sopra della sua temperatura di progetto. Non si limita ai dispositivi montati in armadi. Persino i dispositivi con gradi di protezione IP54, IP55 o IP66 sono utilizzabili solo entro gli intervalli di temperatura ambiente specificati nei manuali. Talvolta questo richiede il condizionamento delle sale o degli armadi di installazione. L'azione di evitare temperature ambiente estreme prolunga la durata dei convertitori di frequenza e quindi l'affidabilità del sistema nel suo complesso.

Raffreddamento

I convertitori di frequenza dissipano potenza sotto forma di calore. La quantità di potenza dissipata in Watt è definita nei dati tecnici del convertitore di frequenza. Gli operatori dovrebbero adottare misure idonee per rimuovere il calore dissipato dal convertitore di frequenza dall'armadio, ad esempio mediante le ventole. Il flusso d'aria richiesto è definito nella documentazione del produttore. I convertitori di frequenza devono essere montati in modo tale che l'aria di raffreddamento possa fluire senza ostacoli attraverso le alette di raffreddamento del dispositivo.

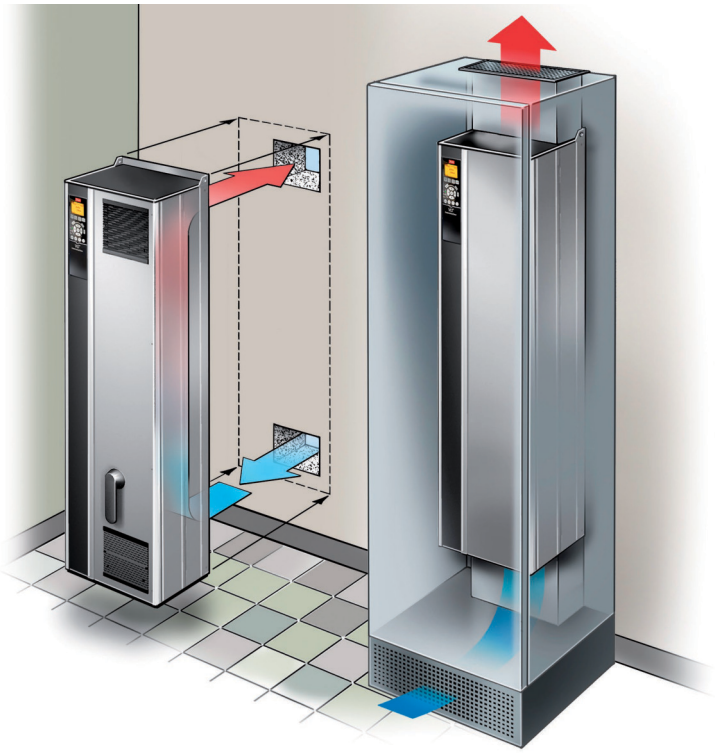
In particolare con i dispositivi IP20 in armadi sussiste il rischio di una inadeguata circolazione dell'aria per lo spazio ristretto dei componenti installati nell'armadio con conseguenza di formazione di zone più calde. Vedere i manuali per le corrette distanze di montaggio da rispettare.

Umidità relativa

Sebbene alcuni convertitori di frequenza possano funzionare correttamente a un'umidità relativamente elevata (i prodotti Danfoss fino al 95% di umidità relativa) è sempre necessario evitare la formazione di condensa. Il rischio di condensa si presenta se il convertitore di frequenza o qualcuno dei suoi componenti sono più freddi dell'aria ambiente umida. In questa situazione, l'umidità presente nell'aria può creare condensa sui componenti elettronici.

Alla riaccensione del dispositivo le gocce d'acqua possono creare cortocircuiti nel dispositivo. Ciò si verifica solitamente solo con i convertitori di frequenza scollegati dalla rete. Per questo motivo si consiglia di montare una scaldiglia nell'armadio quando vi è una reale possibilità di condensa a causa delle condizioni ambientali. In alternativa, far funzionare il convertitore di frequenza in modalità stand-by (con il dispositivo sempre collegato alla rete) può contribuire a ridurre il rischio di condensa. Tuttavia, è necessario controllare se la dissipazione di potenza è sufficiente a mantenere la circuiteria del convertitore di frequenza in modo tale da non favorire la formazione di condensa.

Nota: *Alcuni produttori specificano le distanze laterali minime nonché le distanze minime superiore e inferiore. Osservare queste specifiche.*



La struttura di raffreddamento intelligente dei convertitori di frequenza VLT® rimuove fino all'85% del calore dissipato dalla custodia del dispositivo mediante condotti di raffreddamento.

Aspetti pratici dei requisiti speciali

Parametri ambientali	Unità	Classe				
		3C1	3C2		3C3	
			Valore medio	Valore max.	Valore medio	Valore max.
Sale marino	mg/m3	No	Nebbia salina		Nebbia salina	
Ossidi di zolfo	mg/ m3	0,1	0,3	1,0	5,0	10
Solfuro di idrogeno	mg/ m3	0,01	0,1	0,5	3,0	10
Cloro	mg/ m3	0,01	0,1	0,03	0,3	1,0
Cloruro di idrogeno	mg/ m3	0,01	0,1	0,5	1,0	5,0
Fluoruro di idrogeno	mg/ m3	0,003	0,01	0,03	0,1	3,0
Ammoniaca	mg/ m3	0,3	1,0	3,0	10	35
Ozono	mg/ m3	0,01	0,05	0,1	0,1	0,3
Azoto	mg/ m3	0,1	0,5	1,0	3,0	9,0

Classificazione in base alla norma IEC 60721-3-3; i valori medi sono valori a lungo termine.
I valori massimi sono valori di picchi transitori che non devono oltrepassare i 30 minuti al giorno.

Atmosfere aggressive o gas

Gas aggressivi, quali solfuro di idrogeno, cloro o ammoniaca sono spesso presenti nelle applicazioni industriali o nelle piscine.
La contaminazione dell'aria di raffreddamento può causare la decomposizione graduale dei componenti elettronici e delle piste dei circuiti stampati nei convertitori di frequenza.
I dispositivi elettronici nei sistemi elettrici o negli armadi sono particolarmente sensibili. Se l'aria ambiente è contaminata in questo modo, l'operatore o il tecnico dell'impianto dovrebbero installare il convertitore di frequenza in una posizione tale per cui sia possibile escludere in modo certo la possibile contaminazione (un edificio privo di agenti contaminanti, un armadio a tenuta con uno scambiatore di calore ecc.) oppure ordinare dispositivi con circuiti rivestiti da una speciale vernice protettiva resistente ai gas aggressivi.

Una chiara evidenza di atmosfera aggressiva è la corrosione del rame. Se questo diviene velocemente opaco e scuro, forma dei rigonfiamenti o si decompone è necessario utilizzare circuiti o dispositivi con un rivestimento apposito. I liquidi specifici e le concentrazioni dei liquidi a cui il rivestimento è in grado di resistere sono descritti nella norma internazionale IEC 60721-3-3.

Esposizione alla polvere

Nella pratica, è spesso inevitabile l'installazione di convertitori di frequenza in ambienti con elevata esposizione alla polvere. La polvere forma depositi ovunque e penetra anche nelle fessure più piccole. Riguarda non solo i convertitori di frequenza montati localmente (con montaggio a parete o su telaio) con grado di protezione IP55 o IP66 ma anche dispositivi montati in armadio con grado di protezione IP21 o IP20. I tre aspetti descritti di seguito devono essere considerati quando i convertitori di frequenza sono montati in tali ambienti.

Raffreddamento ridotto

La polvere forma depositi sulla superficie del dispositivo e all'interno del dispositivo sui circuiti e sui componenti elettronici. Questi depositi agiscono da strati isolanti e impediscono il trasferimento del calore dai componenti all'aria ambiente. Ciò riduce la capacità di raffreddamento. I componenti si scaldano. Questo causa un invecchiamento accelerato dei componenti elettronici e una diminuzione della durata di esercizio del convertitore di frequenza interessato. Lo stesso avviene quando la polvere si deposita su un dissipatore sul retro del convertitore di frequenza.

Ventole di raffreddamento

Il flusso d'aria per il raffreddamento dei convertitori di frequenza è generato dalle ventole di raffreddamento che si trovano tipicamente sul retro del dispositivo. I rotori delle ventole presentano piccoli cuscinetti in cui la polvere penetra e agisce da abrasivo. Ciò porta a una rottura delle ventole dovuta a danneggiamenti dei cuscinetti.

Filtri

I convertitori di frequenza ad alta potenza, in particolare, sono dotati di ventole di raffreddamento che espellono l'aria calda dall'interno. Oltre una certa taglia, queste ventole sono montate con filtri che evitano la penetrazione di polvere nel dispositivo. Questi filtri si intasano rapidamente quando utilizzati in ambienti con molta polvere e quindi le ventole non sono più in grado di raffreddare adeguatamente i componenti all'interno del convertitore di frequenza.

Nota: *Nelle condizioni descritte in precedenza, durante la manutenzione periodica, si consiglia di pulire il convertitore di frequenza e i filtri. Soffiare la polvere dal dissipatore e dalle ventole.*

Aspetti pratici delle atmosfere potenzialmente esplosive

Atmosfere potenzialmente esplosive

Es. d: **Protezione dalle fiamme**

Con la protezione dall'esplosione di classe "d", il dispositivo è progettato per assicurare che in caso di scintilla in un'area protetta (quale l'interno di un contenitore), essa non possa attraversare l'area protetta.

Es. e: **Sicurezza aumentata**

Come la classe di protezione dall'esplosione "e", la protezione evita che si formi un'energia sufficiente a causare la scintilla.

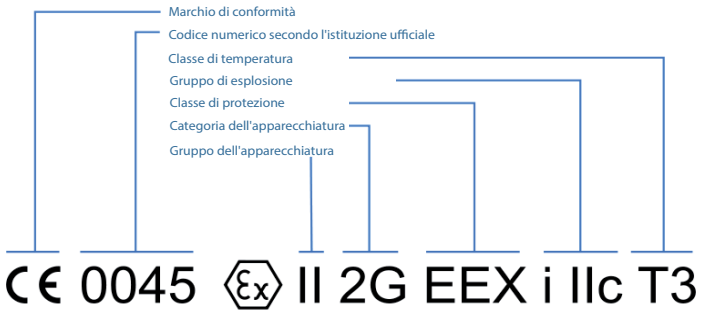
Nota: *non installare mai un convertitore di frequenza direttamente in un'area con un'atmosfera potenzialmente esplosiva. Deve essere installato in un armadio all'esterno di quest'area. Si consiglia anche l'utilizzo di un filtro sinusoidale all'uscita del convertitore di frequenza poiché esso attenua il tasso di aumento du/dt della tensione e la tensione di picco Upeak. Il cavo del motore collegato dovrebbe essere mantenuto e il più corto possibile a causa della caduta di tensione nel cavo.*

Nota: *I convertitori di frequenza VLT® HVAC Drive Danfoss con l'opzione MCB 112 sono dotati di possibilità di monitoraggio del sensore termistore motore certificato PTB per le atmosfere potenzialmente esplosive. Non sono necessari cavi motori schermati quando i convertitori di frequenza VLT® funzionano con filtri di uscita sinusoidali.*

I convertitori di frequenza operano spesso in atmosfere potenzialmente esplosive. Un esempio è l'area d'ingresso di un impianto di trattamento di acque reflue. Se si utilizzano i convertitori di frequenza per la regolazione di velocità degli azionamenti in queste aree, l'impianto deve soddisfare condizioni speciali. La base di riferimento è fornita dalla direttiva UE 94/9/EC, denominata direttiva ATEX. Descrive l'utilizzo e il funzionamento delle apparecchiature e dei dispositivi di protezione in atmosfere potenzialmente esplosive. Questa direttiva armonizza regolamenti e requisiti in tutta l'Unione Europea per il funzionamento dei dispositivi elettrici ed elettronici in atmosfere potenzialmente esplosive, quali quelle causate da polvere o gas.

Se si utilizzano i convertitori di frequenza per controllare motori in atmosfere potenzialmente esplosive questi motori devono essere dotati di monitoraggio della temperatura utilizzando un sensore di temperatura PTC. Si consiglia di utilizzare motori con classe di protezione dall'esplosione "d" o "e". Queste classi di protezione dall'esplosione differiscono in base ai metodi utilizzati per impedire l'esplosione. In pratica i convertitori di frequenza sono raramente utilizzati con i motori di classe "e". Questa combinazione deve essere approvata come unità e implica prove di tipo elaborate e costose. Tuttavia, il PTB a Braunschweig (Germania) ha sviluppato una nuova procedura di approvazione che rende l'utilizzo dei regolatore di velocità con i motori di classe "e" più agevole per il futuro. Il nuovo concetto fa riferimento all'accettazione del solo motore e definisce inoltre i requisiti specifici per il monitoraggio termico nel processo di certificazione delle prove di tipo CE. Ad esempio, è richiesta la limitazione di corrente in funzione della velocità in aggiunta al monitoraggio del termistore PTC certificato per gestire il raffreddamento ridotto dei motori autoventilati con il controllo a velocità variabile.

Sebbene questo non richieda un'approvazione separata per i motori di classe "d", posare i cavi nell'area "d" è molto complicato. I motori con classe di protezione "de" sono i più utilizzati. In questo caso, il motore stesso presenta una classe di protezione dall'esplosione "d", mentre l'area di connessione è realizzata in conformità alla classe di protezione dall'esplosione "e". La restrizione sullo spazio di connessione "e" consiste nella massima tensione erogabile in questo spazio. Data la modulazione a larghezza dell'impulso della tensione di uscita, la maggior parte delle uscite del convertitore di frequenza presentano tensioni di picco che superano i limiti consentiti della protezione per l'accensione di classe "e". In pratica l'utilizzo di un filtro sinusoidale sull'uscita del convertitore di frequenza si è dimostrato un metodo efficace per attenuare le elevate tensioni di picco.



Etichettatura dei dispositivi per il funzionamento in atmosfere potenzialmente esplosive ai sensi delle direttive di prodotto ATEX (94/9/EC)

Fase 3: Aspetti pratici motori e cablaggio

Classi di prestazioni a rendimento minimo per motori

Rendimenti minimi obbligatori

La classificazione dei rendimenti è nata nel 1998 come risultato di un impegno volontario del Comitato europeo dei produttori di macchine elettriche e di elettronica di potenza (CEMEP)
Dall'estate 2011, i motori asincroni trifase sono soggetti agli standard sulle prestazioni di rendimento minimo obbligatorio (MEPS) nell'area UE. La normativa UE prevede requisiti sul rendimento dei motori sempre più stringenti secondo un processo graduale fino al 2017.

La base per queste classi di rendimento minimo, denominate anche standard delle prestazioni energetiche minime (MEPS), è formata dalle classi di rendimento internazionale (IE) definite in IEC 60034-30, e riconosciute a livello internazionale. I limiti di queste classi sono in parte confrontabili con quelle delle classi Eff ampiamente utilizzate in Europa.

Classi IE e Eff: maggiori differenze nei dettagli

Sebbene i limiti delle due normative siano confrontabili, esse differiscono nei metodi di determinazione del rendimento. Il rendimento delle classi Eff si basa sulla determinazione delle singole perdite (IEC 60034-2:1996), un metodo di oltre 100 anni. Al contrario, il rendimento delle classi IE è determinato con un metodo più preciso.

I risultati misurati ottenuti utilizzando il metodo accettato per le classi IE sono di norma dal 2 al 3% peggiorativi rispetto al vecchio metodo a livelli di potenza fino a 10 kW e circa dell'1% peggiorativi a livelli di potenza di 100 kW e oltre. Le norme tengono conto di queste differenze per l'armonizzazione delle classi IE e Eff.

Oltre alle classi da IE1 a IE3, definite dalla norma IEC 60034-30, la versione provvisoria della norma IEC 60034-31 definisce una nuova classe: IE4. Le classi da IE1 a IE3 sono principalmente orientate ai motori alimentati da rete, mentre la classe IE4 tiene conto anche di aspetti pertinenti ai motori a velocità variabile.
IE4, attualmente, non è obbligatoria; al momento, viene utilizzata solo per il confronto con le altre classi di efficienza.

IEC 60034-30	Classi Eff
IE1 (Rendimento standard)	Confrontabile a Eff2
IE2 (Alto rendimento)	Confrontabile a Eff1
IE3 (Rendimento Premium)	Circa del 15–20% migliore di IE2

Le classi di rendimento IE1–IE3 sono definite nella norma internazionale IEC 60034-30. Le classi Eff si basano su un accordo volontario tra UE e CEMEP del 1998.

Motori trifase interessati

La conformità a MEPS è obbligatoria per i seguenti tipi di motori trifase:
- Duty cycle S1 (Continuo) o S3 (Intermittente) con un duty cycle maggiore dell'80%
- Numero di poli da 2 a 6 Potenza nominale da 0,75 a 375 kW
- Tensione nominale fino a 1000 V.

L'introduzione di MEPS ha lo scopo di ridurre il consumo di energia. Tuttavia in rari casi questo approccio può portare a un aumento del consumo energetico. Per questo motivo l'ordinanza UE 640/2009 descrive eccezioni ragionevoli tecniche per diverse aree applicative.

Includono:
- Motori in atmosfere potenzialmente esplosive (come citato nella direttiva 94/9/EC) e motori freno
- Motori speciali per l'utilizzo in una delle seguenti condizioni operative:
  - temperature ambiente superiori a 40 °C;
  - temperature ambiente inferiori a 15 °C (0 °C per i motori con raffreddamento ad aria); temperature di esercizio oltre 400 °C; temperatura dell'acqua di raffreddamento inferiori a 5 °C o superiori a 25 °C;
  - funzionamento per altitudini superiori a 1000 m;
  - motori completamente integrati in un prodotto quali motoriduttori, pompe o ventole, o completamente immersi in un mezzo liquido durante il funzionamento, ad esempio le pompe sommerse.

In Europa il motore di un motoriduttore non è considerato un componente integrato e quindi è misurato separatamente. Un metodo analogo si utilizza con i motori speciali. Il motore base è misurato e la classe di rendimento trasferita alle varianti del motore.

Aspetti pratici della classificazione IE dei motori

Pianificazione per l'implementazione MEPS

La programmazione nella direttiva UE prevede un aumento graduale nei requisiti sul rendimento del motore. Dopo le date pianificate tutti i motori trifase soggetti alla direttiva devono soddisfare i requisiti della classe di rendimento specificata per la commercializzazione in Europa.
Anche i motori IE2 alimentati da convertitori sono accettati come alternativa MEPS alla classe IE3. La conformità alla classe IE3 o l'alternativa IE2 con un convertitore deve essere garantita nel sito operativo.

	Potenza	MEPS	MEPS alternativo
A partire dal 16 giugno 2011	0.75 – 375 kW	IE2	-
A partire dal 1 gennaio 2015	0.75 – 7,5 kW	IE2	-
	7.5 – 375 kW	IE3	IE2 con convertitore
A partire dal 1 gennaio 2017	0.75 – 375 kW	IE3	IE2 con convertitore

Pianificazione per l'implementazione MEPS

Conformità con le specifiche dimensionali di montaggio EN 50347

I motori trifase sincroni conformi alle classi IE2 e IE3 hanno dimensioni di ingombro più grandi dei motori con una più bassa efficienza. Ciò può portare a problemi nella sostituzione dei motori più vecchi.

La maggior parte dei motori IE2 soddisfa i requisiti per l'altezza dell'albero e le dimensioni di fissaggio standardizzate dalla EN 50347, tuttavia la struttura è spesso più lunga. In molti casi i motori più compatti di classe Premium IE3 a 50 Hz non sono conformi alle dimensioni di montaggio EN 50347.
Gli operatori dell'impianto dovrebbero tenerne conto negli schemi di sostituzione dei motori. Alternativa a IE3: IE2 più convertitore.

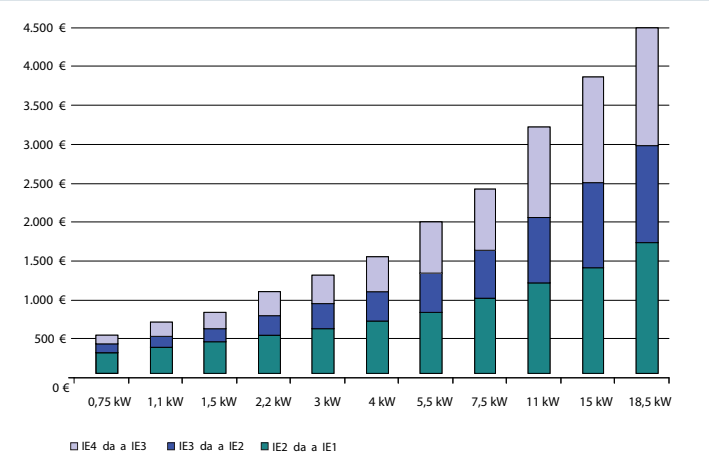
	Motore		
	IE1	IE2	IE3
Altezza dell'albero (EN 50347)	Sì	Sì	Più grande
Dimensioni di fissaggio (EN 50347)	Sì	Sì	Più grande
Lunghezza del motore	Sì	Più lungo	Più grande

Si presuppone che i motori trifase sincroni di classe IE2 e IE3 non siano conformi alle dimensioni di montaggio definite in EN 50347.

Ottimizzazione dei costi

Una domanda tipica riguardo i motori IE può essere: quanto sono convenienti? La maggior efficienza è in parte ottenuta impiegando più materiali attivi nei motori. In base alla taglia del motore si può presupporre che un motore con una classe di rendimento superiore costi circa dal 10 al 20% in più.

In pratica questo costo aggiuntivo è velocemente recuperato. Lo schema mostra i vantaggi sui costi energetici di un motore IE rispetto a un motore IE della classe superiore. Questa analisi semplificata si basa sul funzionamento continuo a carico nominale, 60.000 ore di esercizio e un costo dell'elettricità di 8 centesimi di euro per kilowattora.



Vantaggi in termini di costi energetici di un motore IE rispetto alla classe IE successive

***Nota:** Il testo completo della direttiva EU 640/2009 è scaricabile gratuitamente dal sito Web www.eur-lex.europa.eu.*

Aspetti pratici dei motori EC e PM

Cosa sono i Motori EC?

Nel mercato HVAC, con il termine "motore EC", comunemente, si intende un tipo specifico di motore, che molti utenti associano a un modello compatto e a elevata efficienza. I motori EC si basano sull'idea di utilizzare la commutazione elettronica (EC) al posto della convenzionale commutazione mediante spazzole di carbone per motori CC.

Per questo scopo, i produttori dei motori sostituiscono l'avvolgimento del rotore con magneti permanenti e integrano il circuito di commutazione. I magneti aumentano l'efficienza, mentre la commutazione elettronica elimina l'usura meccanica relativa alle spazzole di carbone. In quanto il principio di funzionamento si basa su quello di un motore CC, i motori EC sono anche chiamati motori CC senza spazzole (Brush Less DC motors - BLDC).

Questi motori sono generalmente utilizzati nelle gamme a bassa potenza di qualche centinaio di watt. I motori di questo tipo utilizzati per applicazioni nel settore HVAC sono motori caratterizzati da un design con rotore esterno e coprono una gamma a potenza limitata, che attualmente si estende a circa 6 kW.

Efficienza dei motori EC

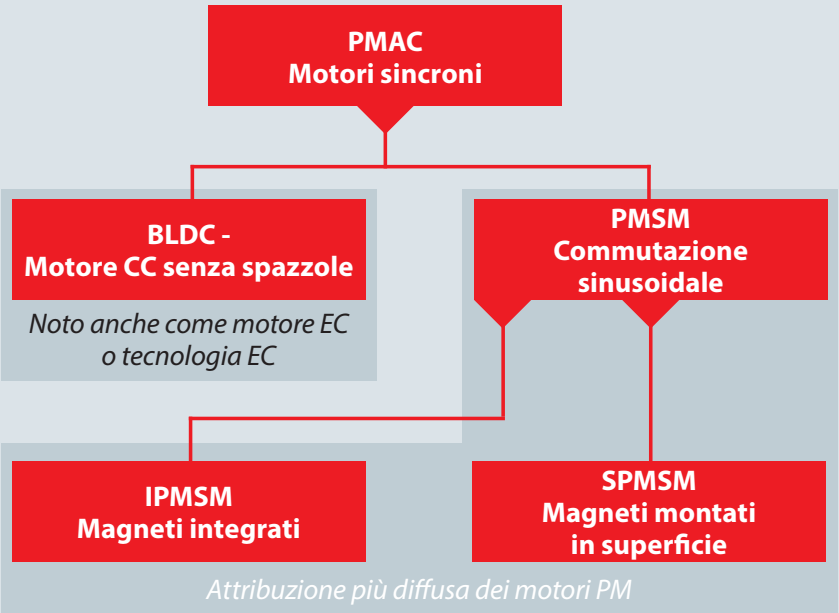
I motori a poli separati e i motori asincroni monofase hanno scarsa efficienza nella gamma di potenza di alcune centinaia di watt. L'idea che i motori EC forniscano un enorme vantaggio di efficienza si basa anche sul confronto con questi motori. Se l'efficienza dei motori EC viene confrontata con il valore di efficienza tipico dei motori asincroni trifase, questo vantaggio diminuisce rapidamente con l'aumentare della potenza.

Motori PM: un'alternativa a EC?

I motori con magnete permanente (PM) forniscono un'alternativa ai motori EC, con efficienze paragonabili a quelle dei motori EC. Inoltre, questi hanno un vantaggio rispetto ai motori EC: sono disponibili in una gamma di potenza notevolmente più estesa.
I motori PM sono azionati utilizzando essenzialmente lo stesso metodo utilizzato per i motori asincroni trifase. I motori PM, che per questo motivo sono generalmente classificati come motori CA, sono disponibili in varie forme, compresi servomotori e motori con le stesse dimensioni IEC dei motori asincroni trifase standard.

Una delle principali differenze tra i motori PM e i motori EC è la tensione di alimentazione. Come suggerito dalle diverse classificazioni (motori CC vs. motori CA), i motori EC hanno commutazione a onda quadra, mentre i motori PM usano una commutazione sinusoidale. Una caratteristica comune di entrambi i tipi di motore è che necessitano di elettronica di controllo.

Le efficienze complessive di entrambi i sistemi (motore e elettronica) sono confrontabili con i sistemi con configurazioni simili (rete, filtro EMC, ecc.). Tuttavia, i motori EC hanno un valore di ondulazione più elevato dovuto alla commutazione a onda quadra e a perdite di ferro maggiori. Inoltre, in seguito alla commutazione ad onda quadra, il loro consumo di corrente (distribuito su due fasi invece di tre) è pari a 1,22 volte quello dei motori PM.



PMAC = Motore a magneti permanenti CA; BLDC = Motore CC senza spazzole;
PMSM = Motore sincrono a magneti permanenti; IPMSM = PMSM interno (magneti integrati);
SPMSM = Superficie PMSM (magneti montati sul rotore)

Nota: *Le caratteristiche dei motori monofase sono spesso paragonate alle caratteristiche dei motori trifase, quando si parla di motori EC. Esempio: I motori EC monofase sono generalmente dotati di correzione del fattore di potenza (PFC) per raggiungere un fattore di potenza prossimo a 1, ma un convertitore trifase non ha bisogno di PFC per farlo. Di conseguenza, gli utenti dovrebbero determinare su quali specifiche tecniche basarsi.*

Aspetti pratici dei motori EC e PM

Il concetto EC+ Danfoss

consente ai motori PM di essere utilizzati con i convertitori di frequenza VLT® Danfoss. Danfoss ha integrato l'algoritmo di controllo necessario nelle serie di convertitori VLT® esistenti. Ciò significa che non ci sono cambiamenti per l'operatore. Dopo l'inserimento dei dati attinenti al motore, l'utente beneficia dell'alto rendimento del motore per la tecnologia EC.

Vantaggi del concetto EC+

- Libera scelta della tecnologia del motore: PM o asincrono con lo stesso convertitore di frequenza
- Il dispositivo di installazione e di funzionamento resta invariato
- Indipendenza dal produttore nella scelta di tutti i componenti
- Maggiore efficienza del sistema grazie alla combinazione di componenti singoli con rendimento ottimale
- Possibile riconversione ai sistemi esistenti
- Ampia gamma di potenze nominali per motori standard e motori PM

	Elettronica del motore	Tipo motore	Gamma di potenza	Commutazione
EC	Semplice	Complessa	fino a circa 6 kW	Onda quadra (CC)
PM	Complessa	Semplice	fino a MW	Sinusoidale (CA)

Confronto di base tra motori EC e PM

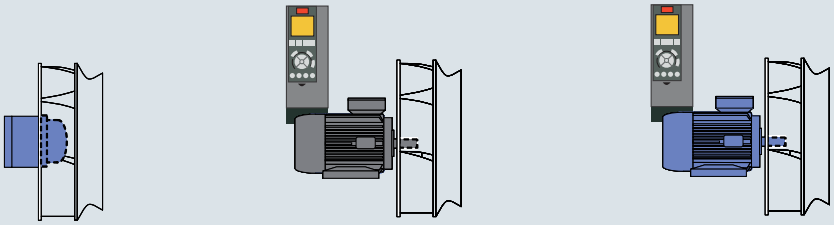
La migliore efficienza del motore garantisce la migliore efficienza del sistema?

Qual è il vantaggio di un motore ad alto rendimento se i cuscinetti installati riducono l'efficienza del motore? Questo principio vale anche per l'intero sistema, poiché un rendimento del sistema ottimale è fondamentale per ridurre il consumo energetico e riducendone i costi.

Il rendimento del sistema viene calcolato in base a VDI DIN 6014 moltiplicando i rendimenti dei componenti:

$$\eta_{sistema} = \eta_{convertitore} \times \eta_{motore} \times \eta_{accoppiamento} \times \eta_{ventola}$$

Esempio di calcolo del rendimento del sistema di azionamenti con una ventola radiale da 450 mm



Motore EC + + elettronica integrata + ventola	Motore a induzione + VSD + ventola a controllo diretto	motore PM/EC + VSD + ventola a controllo diretto
η_{Drive} = 89%	η_{Drive} = 83%	η_{Drive} = 89%
η_{Fan} = 68%	η_{Fan} = 75%	η_{Fan} = 75%
η_{System} = **60%**	η_{System} = **63%**	η_{System} = **66%**

I rendimenti di azionamento indicati (convertitore x motore) si basano su misure, mentre i rendimenti della ventola sono forniti dai cataloghi del produttore. A causa della ventola a controllo diretto, $\eta_{accoppiamento} = 1$

Ad esempio, se una ventola a basso rendimento è azionata da un motore ad alto rendimento, il risultato finale è un rendimento di livello medio. Le ventole radiali con motori EC sono un esempio di uso comune. Per raggiungere una struttura molto compatta, i produttori spesso utilizzano il motore EC come mozzo della girante. Tuttavia, un mozzo così grande riduce significativamente il rendimento della ventola e quindi il rendimento dell'intero sistema.

Aspetti pratici dell'idoneità dei motori per il funzionamento del convertitore di frequenza

Criteri di selezione

Occorre tenere conto dei seguenti aspetti durante la connessione con motori controllati da convertitori di frequenza:

- Sollecitazione dell'isolamento
- Sollecitazione dei cuscinetti
- Sollecitazione termica

Sollecitazione dell'isolamento

Il funzionamento di un motore con controllo di frequenza necessità un isolamento più elevato sull'avvolgimento del motore rispetto al funzionamento da rete. Ciò è dovuto principalmente alla forte pendenza dei fronti degli impulsi (du/dt) e al cavo motore in funzione della lunghezza del cavo, del tipo e della posa.

I fronti ripidi degli impulsi derivano dai dispositivi a semiconduttore a commutazione rapida nello stadio inverter del convertitore di frequenza. Funzionano a un'elevata frequenza di commutazione nell'intervallo 2-20 KHz con tempi di commutazione molto brevi per riprodurre una forma d'onda sinusoidale.

Insieme al cavo motore, questi fronti ripidi degli impulsi sono responsabili dei seguenti effetti sul motore:

- Elevate tensioni ad impulsi U_{LL} sui terminali del motore generano una sollecitazione aggiuntiva sull'isolamento dell'avvolgimento
- Tensioni ad impulsi maggiori fra gli avvolgimenti e le lamelle $\hat{U}_{LE}$ generano una sollecitazione aggiuntiva sull'alloggiamento dell'isolamento.
- Tensioni maggiori tra gli avvolgimenti $\hat{U}_{wdg}$ generano decisamente maggior sollecitazione sull'isolamento del filo negli avvolgimenti.

Sollecitazione dei cuscinetti

In condizioni sfavorevoli i motori regolati in frequenza possono presentare malfunzionamento a causa di danneggiamenti ai cuscinetti dovuti a correnti parassite. La corrente fluisce in un cuscinetto quando la tensione ai capi del condotto di lubrificazione del cuscinetto è sufficientemente elevata da penetrare lo strato d'isolamento formato dal lubrificante. Se ciò avviene l'imminente guasto del cuscinetto è indicato da un crescente rumore al cuscinetto. Le correnti del cuscinetto di questo tipo includono correnti parassite ad alta frequenza, correnti di terra e correnti EMD (erosione da scintilla)

I fattori seguenti possono causare danni ai cuscinetti:

- La tensione di rete del convertitore di frequenza
- La ripidità dei fronti degli impulsi (du/dt)
- Il tipo di cavo del motore
- La schermatura elettrica
- La messa a terra del sistema
- Dimensioni motore
- Il sistema di messa a terra dell'alloggiamento del motore e dell'albero motore.

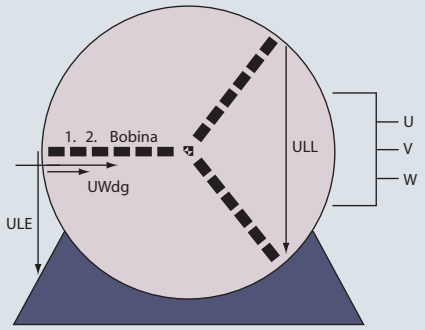
Le correnti dei cuscinetti sono riducibili adottando le seguenti misure:

- Montaggio dei filtri di uscita (filtri choke di uscita, filtri du/dt o filtri sinusoidali)
- Montaggio di cuscinetti con isolamento elettrico
- Buona messa a terra di tutti i componenti metallici del sistema con connessioni a bassa impedenza
- Cavi motore schermati
- Montaggio di un filtro di soppressione CC.

Sollecitazione termica

L'utilizzo di un convertitore di frequenza aumenta la dissipazione di potenza nel motore. La corrente armonica associata causa perdite del ferro e perdite di calore nello statore e nel rotore. La quantità delle perdite dipende dal valore delle armoniche di frequenza del convertitore. Le maggiori perdite di calore nel rotore dipendono dalla geometria delle cave. Le perdite del ferro e le perdite di calore nei motori non dipendono dal carico. Le perdite aggiuntive nel motore causano una sollecitazione termica maggiore sull' isolamento dell'avvolgimento, tuttavia, con i moderni convertitori di frequenza il calore aggiuntivo dei motori standard (fino alla dimensione di telaio 315) è confrontabile al riscaldamento aggiuntivo dovuto alle tolleranze della tensione di rete ed è quindi trascurabile. I produttori talvolta specificano un fattore di declassamento per i motori non standard (dimensioni di telaio 355 e superiore).

Se il convertitore non è in grado di generare la piena tensione di rete alla frequenza di rete nominale, si consiglia di selezionare un motore con isolamento di classe F. Il funzionamento di un motore a tensioni inferiori rispetto al funzionamento con la tensione di rete aumenta la temperatura del motore fino a 10 K.



Le tensioni impulsive si presentano nel motore ai morsetti del motore (U_{LL}) e tra gli avvolgimenti e il pacco di lamelle (U_{LE}). È presente inoltre una sollecitazione in tensione tra gli avvolgimenti (U_{wdg}).

***Nota:** Accertarsi con il produttore del motore che il motore sia progettato per funzionare con un convertitore di frequenza e dell'intervallo di velocità di esercizio consentito (giri/minuto minimi e massimi).*

***Nota:** Le correnti dei cuscinetti derivano dall'azione dell'intero sistema composto da convertitore di frequenza, motore, cavo e messa a terra. La norma IEC 60034-17 consiglia azioni preventive per altezze dell'albero di 315 mm (ca. 132 kW) e superiori.*

Aspetti pratici dei filtri di uscita

Filtri sinusoidali e du/dt

Le opzioni dei filtri di uscita includono filtri sinusoidali e du/dt. Al contrario dei filtri sinusoidali, l'unico compito dei filtri du/dt è quello di ridurre la pendenza dei fronti degli impulsi. Sono strutturalmente più semplici dei filtri sinusoidali (induttanza e capacità inferiori) e sono quindi meno costosi.
I filtri sinusoidali, denominati anche filtri motore o filtri LC, possono essere montati opzionalmente sulle uscite dei convertitori di frequenza. Filtrano gli impulsi di tensione rettangolari all'uscita per convertirli in una tensione di uscita quasi sinusoidale.

Funzioni e compiti dei filtri sinusoidali

- Riduzione del tasso di aumento della tensione (du/dt) ai terminali del motore
- Riduzione della tensione di picco $\hat{U}_{LL}$
- Riduzione del rumore del motore
- Consentire l'utilizzo di cavi del motore più lunghi.
- Miglioramento delle caratteristiche EMC.
- Se usati con convertitori di frequenza Danfoss, i filtri sinusoidali consentono il funzionamento con cavi motore non schermati, in conformità con la norma EN 61800-3 categoria RFI C2.

Quando si utilizzano i filtri sinusoidali?

- Con le pompe sommerse
- Con cavi motore molto lunghi (comprese situazioni in cui è necessario il funzionamento in parallelo)
- Con pompe petrolifere
- Con motori senza un buon isolamento tra l'avvolgimento
- In caso in cui non siano usati motori standard (consultare il costruttore del motore)
- Con alcuni tipi di compressori

Retrofitting

Se un gestore di impianti converte i modelli di motori precedenti, alimentati direttamente dalla rete, a un funzionamento con regolazione di velocità e li dota di un convertitore di frequenza, è sempre consigliabile usare un filtro sinusoidale a meno che la scheda tecnica del motore indica che gli avvolgimento sono progettati per funzionare con un convertitore di frequenza.
Quando vengono effettuati dei rinnovi, è spesso utile sostituire i vecchi motori a bassa efficienza con nuovi motori efficienti dal punto di vista energetico. In tali casi non è necessario un filtro sinusoidale supplementare. I nuovi motori generalmente si ammortizzano molto rapidamente grazie ai costi energetici ridotti.

	Filtro du/dt	Filtro sinusoidale	Filtro modo comune
Sollecitazione dell'isolamento del motore	Ridotto - possono essere usati cavi motore più lunghi	Ridotto - possono essere usati cavi motore più lunghi	Nessuna riduzione
Sollecitazione del cuscinetto motore	Leggermente ridotto	Correnti di circolazione ridotte, ma non correnti sincrone	Correnti sincrone ridotte
Compatibilità elettromagnetica	Elimina le armoniche nel cavo motore. Nessun cambiamento nella classe EMC	Elimina le armoniche nel cavo motore. Nessun cambiamento nella classe EMC	Ridotte emissioni ad alta frequenza (oltre 1 Mhz). Nessun cambiamento nella classe EMC
Lunghezza massima del cavo motore, conforme EMC	Dipende dal costruttore FC 102: max. 150 m schermato	Dipende dal costruttore FC 102: max. 150 m schermato o max. 300 m non schermato	Dipende dal costruttore FC 102: max. 150 m schermato
Max. lunghezza del cavo motore, non conforme EMC	Dipende dal costruttore FC 102: max. 150 m non schermato	Dipende dal costruttore FC 102: max. 500 m non schermato	Dipende dal costruttore FC 102: max. 300 m non schermato
Rumore del motore alla frequenza di commutazione	Nessun effetto	Ridotto	Nessun effetto
Grandezza relativa (confrontata con il convertitore)	15–50% (dipende dall'alimentazione)	100%	5–15%
Caduta di tensione	0.5%	4–10%	Nessuno

Aspetti pratici dei cavi motore

Tensione nominale

Nel cavo motore si presentano tensioni di picco fino a tre volte superiori alla tensione bus CC nel convertitore di frequenza. Queste sollecitano gravemente il cavo motore e l'isolamento del motore. La sollecitazione è maggiore se l'uscita del convertitore di frequenza non è dotata di un filtro du/dt o di un filtro sinusoidale.

Per questa ragione, la specifica della tensione nominale dei cavi motore dovrebbe essere di almeno U0/U = 0,6/1 kV. I test di isolamento ad alta tensione dei cavi con questa specifica vengono generalmente effettuati con una tensione di prova di almeno 3.500 V CA e solitamente di 4.000 V CA, e in pratica è stato dimostrato che i cavi hanno una buona resistenza di isolamento.

Dimensionamento del cavo

La sezione trasversale richiesta del cavo motore dipende dalla corrente di uscita del convertitore di frequenza, dalla temperatura ambiente e dal tipo di montaggio del cavo. Non è necessario sovradimensionanare la sezione trasversale in relazione all'armoniche.

Per la selezione e il dimensionamento dei cavi e conduttori, le norme EN 60204-1 e VDE 0113-1 forniscono dati sulla portata di corrente per sezioni trasversali del conduttore fino a 120 mm². Se sono necessarie sezioni trasversali maggiori del cavo , possono essere trovate informazioni utili nella VDE 0298-4.

Lunghezza del cavo motore

Nell'installazioni con cavi motore lunghi, è necessario tener conto della caduta di tensione per un corretto dimensionamento del cavo.

Il sistema va progettato in modo che al motore sia fornita la piena tensione di uscita, anche con un cavo motore lungo. La lunghezza del cavo motore che può essere collegato a un convertitore di frequenza standard è tipicamente compresa tra 50 e 100 metri. Anche con queste lunghezze dei cavi, i prodotti di alcuni fornitori non possono fornire la piena tensione di uscita al motore.

Se gli utenti richiedono cavi più lunghi di 100 m, esistono solo pochi produttori che possono soddisfare questo requisito con prodotti standard. Altrimenti è necessario prevedere induttanze lato motore o filtri di uscita supplementari.

Risparmi energetici

La caduta di tensione in un cavo motore nonché la dissipazione di calore risultante, è quasi proporzionale alla sua lunghezza e dipendente dalla frequenza.

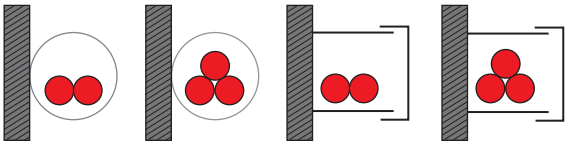
Di conseguenza, i cablaggi dovrebbero essere mantenuti quanto più corti possibile e la dimensione delle sezioni trasversali dei conduttori non deve essere superiore a quanto sia elettricamente necessario.

Cavi con schermatura adatta

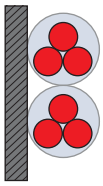
I cavi schermati dovrebbero avere una copertura schermi almeno dell'80%. Alcuni esempi di tipi di cavo adatti sono:
– Lapp Ölflex 100-CY
– Helu Y-CY-JB
– Helu Topflex-EMV-UV-2YSLCYK-J

Nota: *Consultare il produttore in funzione delle lunghezze dei cavi che possono essere collegati al convertitore di frequenza e alla caduta di tensione prevista.*
Con un convertitore di frequenza VLT® HVAC Drive standard, è possibile collegare un cavo schermato fino ad una lunghezza di 150 m o un cavo non schermato fino ad una lunghezza di 300 m e fornire comunque la piena tensione al motore.

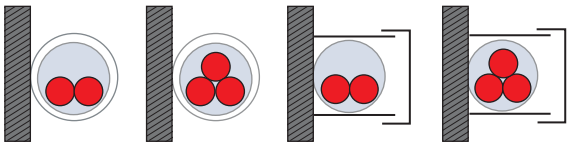
Corrente nominale [A] di un cavo PVC in funzione della temperatura ambiente di 40 °C				
mm²	B1	B2	C	E
1	10,3	10,1	11,7	12,4
1,5	13,5	13,1	15,2	16,1
2	18,3	17,4	21,0	22,0
4	24,0	23,0	28,0	30,0
6	31	30,0	36,0	37,0
10	44,0	40,0	50,0	52,0
16	59,0	54,0	66,0	70,0
25	77,0	70,0	84,0	88,0



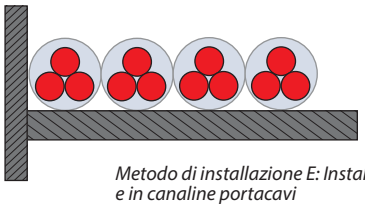
Metodo di installazione B1: Conduttori in canaline o condotti di cablaggio chiusi



Metodo di installazione C: Installazione diretta a parete e/o a soffitto o in canaline portacavi



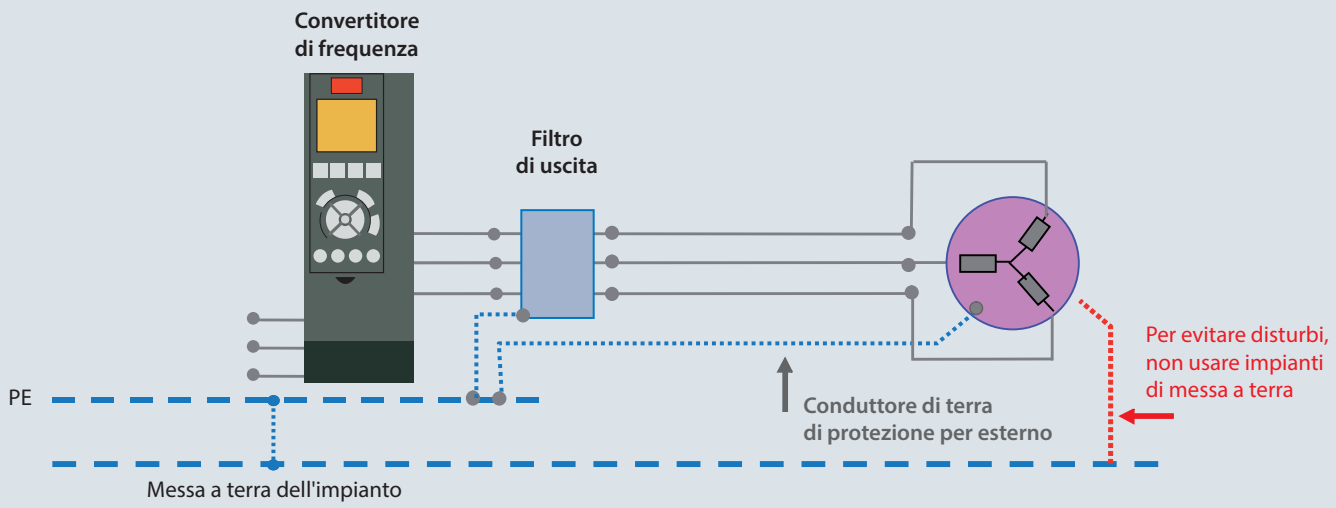
Metodo di installazione B2: Cavo multiconduttore o cavo multiconduttore schermato in canaline o condotti di cablaggio chiusi



Metodo di installazione E: Installazione all'aperto e in canaline portacavi

Aspetti pratici della messa a terra

L'importanza della messa a terra



Per ogni sistema o impianto dovrebbe sempre essere generato uno schema di messa a terra.

Le misure di messa a terra sono generalmente obbligatorie al fine di soddisfare i requisiti statutari dell'EMC e le direttive a bassa tensione. Sono una premessa per l'uso effettivo si altre misure, come la schermatura e i filtri. Altre misura non portano alcun beneficio senza una buona messa a terra. Per tale ragione i dispositivi di messa a terra devono essere controllati e verificati per assicurare la corretta implementazione EMC prima di ammodernare la schermatura e i filtri e come primo passo nella ricerca ed eliminazione dei guasti.

Materiali elettricamente conduttivi

Gli operatori devono assicurare che le superfici metalliche siano messe a terra con collegamenti a bassa impedenza. In termini di EMC, il fattore decisivo non è la sezione trasversale del conduttore ma la sua area superficiale, poiché le correnti ad alta frequenza scorrono sulla superficie a causa dell'effetto pelle. La parte con l'area superficiale del conduttore più piccola è ciò che limita la capacità di assorbimento delle correnti di dispersione. Le superfici messe a terra hanno un effetto schermante e riducono l'ampiezza dei campi elettromagnetici nell'ambiente.

Sistema con messa a terra a stella

Tutti i punti e componenti messi a terra devono essere collegati al punto di messa a terra centrale il più direttamente possibile, come per esempio tramite una barra equipotenziale di messa a terra. Ciò assicura che nel sistema di messa a terra tutti i punti di connessione sono collegati radialmente al punto di messa a terra. Questo punto di messa a terra deve essere definito in modo univoco.

Punti di contatto

Dopo aver rimosso la vernice e la corrosione, devono essere effettuati collegamenti con i punti di contatto usando una grande area superficiale. A questo scopo è meglio usare rondelle dentellate che rondelle piane. Dovrebbero essere usati preferibilmente componenti stagnati, zincati o con rivestimento di cadmio rispetto a componenti verniciati. I connettori devono essere provvisti di contatti multipli per la connessione schermata.

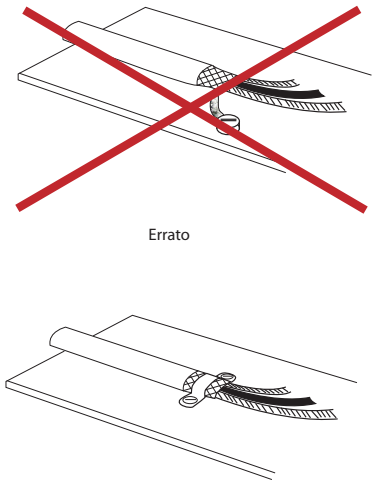
Area superficiale del conduttore

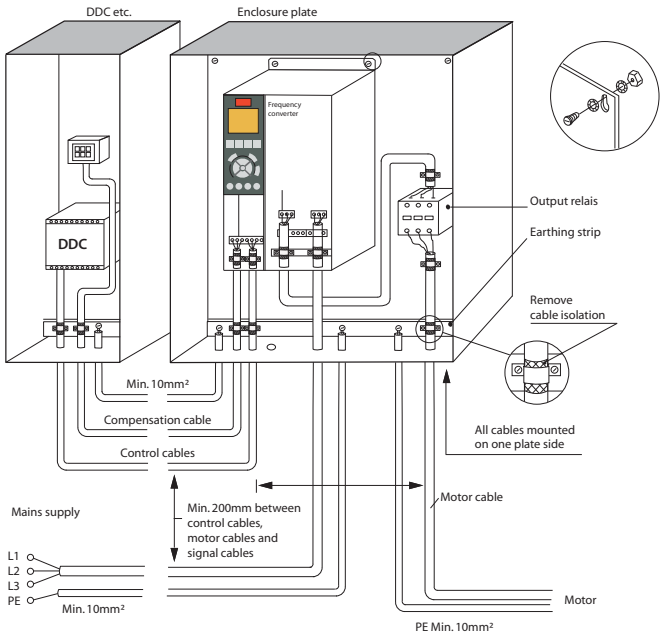
Una grande area superficiale del conduttore per l'assorbimento di correnti ad alta frequenza può essere ottenuta usando un cavo flessibile come un cavo per strumenti ad alta flessibilità o usando speciali pattine o cavi di messa a terra. Oggigiorno nella pratica vengono spesso usate trecce di messa a terra; queste sostituiscono i conduttori rigidi usati in passato. Queste piattine possiedono un'area superficiale notevolmente più grande con la stessa sezione trasversale.

Nota: *La messa a terra del sistema influisce in modo notevole sul funzionamento uniforme e privo di problemi dell'impianto. È necessario evitare anelli di terra. È essenziale una buona equalizzazione del potenziale. È necessario generare un piano di messa a terra adatto già nella fase di progettazione e costruzione.*

Aspetti pratici della schermatura - testing

L'importanza della schermatura





Lo scopo della schermatura è quello di ridurre l'entità dell'interferenza irradiata (che potrebbe influire sui sistemi o sui componenti adiacenti) e di migliorare l'immunità alle interferenze dei singoli dispositivi (immunità alle interferenze da sorgenti esterne).

L'implementazione di misure di schermatura in sistemi esistenti (ad es. sostituzione del cavo o integrazione di custodie supplementari) è solo possibile sostenendo notevoli spese. I produttori dei convertitori di frequenza solitamente forniscono informazioni relative alle limitazioni previste dalle normative includendo anche informazioni su provvedimenti, come i cavi schermati, che potrebbero essere necessari da adottare.

I convertitori di frequenza generano in uscita impulsi con fronti di salita ripidi. Questi impulsi contengono componenti ad alta frequenza (che si estendono nella regione dei gigahertz) che causano una radiazione indesiderata proveniente dal cavo motore. Questa è la ragione per cui devono essere usati cavi motore schermati. Il compito dello schermo è quello di "catturare" le componenti ad alta frequenza e di ricondurle alla sorgente di interferenza, in questo caso devono essere riportate al convertitore di frequenza.

Cavi schermati e cablaggio

Anche una buona schermatura che soddisfa i limiti, previsti dalle normative, non elimina completamente le radiazioni di interferenza. I dispositivi e i moduli del sistema devono essere capaci di sopportare, senza subire alcun deterioramento, i campi elettromagnetici presenti nell'ambiente di funzionamento. Qui la norma richiede una conformità ai limiti in funzione della distanza (per la Classe B, ad es. 30 dB ad una distanza di 10 m). Per quanto riguarda il livello del limite consentito, la norma distingue tra l'uso nel 1° ambiente (ambiente residenziale) e nel 2° ambiente (ambiente industriale). Per informazioni dettagliate, vedere la sezione "L'ambiente di esercizio è il fattore decisivo" di questo manuale a pagina 22.

Collegamento dello schermo

Per ottenere una schermatura efficace del cavo è necessario che la schermatura sia collegata in modo da massimizzare l'area di contatto. I passacavi EMC (di messa a terra) e i pressacavi di messa a terra possono essere usati a tale scopo. Circondano completamente lo schermo su un'ampia superficie e collegando questo a terra. Lo schermo deve essere collegato direttamente al punto di messa a terra, serrato saldamente su un'ampia superficie, la connessione deve essere mantenuta quanto più corta possibile. Tutti gli altri metodi di collegamento invalidano l'efficacia dello schermo. Gli utenti spesso attorcigliano la calza formando delle spirali. Questa forma di collegamento crea un'impedenza del segnale ad alta frequenza, la quale provoca un'irradiazione di interferenze pertanto sarà improbabile che tali componenti di disturbo siano ricondotte alla sorgente. Pertanto l'effetto schermante potrebbe essere ridotto fino al 90%.

Interruzioni dello schermo

Le interruzioni dello schermo presenti nei morsetti, negli interruttori o nei contattori devono essere ponticellate con dei collegamenti, i quali dovranno garantire sia la minore impedenza possibile sia la maggiore area di contatto.

Aspetti pratici della schermatura

Collegamento a massa

Il collegamento a massa dello schermo è cruciale per la sua efficacia. Per questa ragione, devono essere installate rondelle dentellate sotto le viti di montaggio della custodia e le superfici devono essere raschiate per eliminare la vernice al fine di ottenere un contatto a bassa impedenza. Le custodie in alluminio anodizzato, ad esempio, forniscono un collegamento a massa inadeguato se sotto le viti di fissaggio vengono usate rondelle semplici. Dovrebbero essere create prese di terra o di massa i cui conduttori abbiano una sezione trasversale ampia o, meglio ancora, utilizzare cavi di massa multipolare. Se per motori di piccola potenza vengono usate sezioni trasversali con meno di 10 mm^2, deve essere collegata tra il convertitore e il motore una linea protettiva di messa a terra con una sezione trasversale di almeno 10 mm^2.

Cavo di alimentazione motore

Per soddisfare i limiti di interferenza irradiata e condotta, i cavi tra i convertitori di frequenza e i motori devono essere cavi schermati con lo schermo collegato all'apparecchiatura **ad entrambe le estremità.**

Cavo segnale

La distanza tra il cavo motore e il cavo di segnale dovrebbe essere superiore a 20 cm, e i cavi di rete e i cavi motore dovrebbero per quanto possibile essere posati separatamente. Gli effetti di interferenza si riducono notevolmente quanto più aumenta la distanza. Provvedimenti supplementari (come canaline divisorie) sono essenziali nel caso in cui non vi è sufficente spazio. Altrimenti l'interferenza potrebbe essere accoppiata o trasferita.
Gli schermi del cavo di comando devono essere collegati su entrambe le estremità come gli schermi del cavo motore. Nella pratica, in casi eccezionali può essere preso in considerazione il collegamento a massa con un solo filo. Tuttavia è sconsigliato farlo.

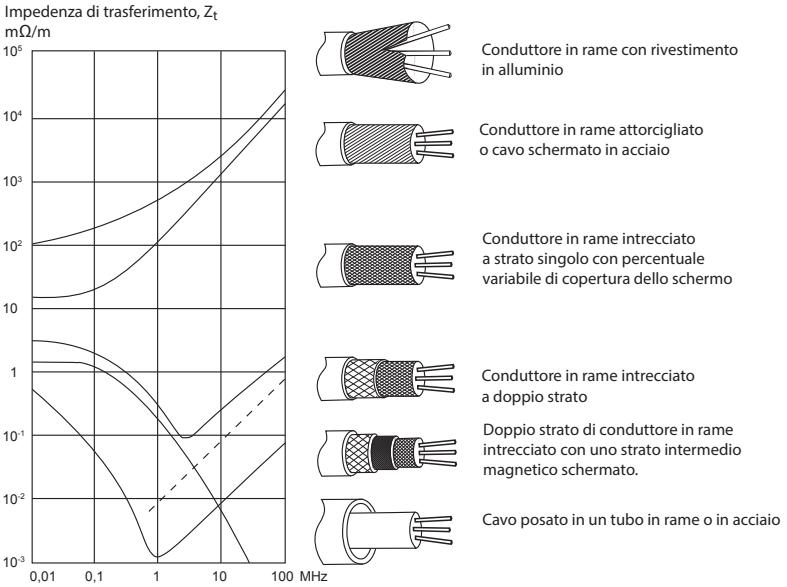
Tipi di schermature

I produttori di convertitori di frequenza raccomandano l'uso di cavi schermati per schermare il cablaggio tra il convertitore di frequenza e il motore. Due fattori sono importanti per la selezione della copertura dello schermo e del tipo di schermatura.

La copertura dello schermo, che significa la quantità della superficie del cavo coperta dallo schermo, dovrebbe essere almeno dell'80%.
Per quanto riguarda il tipo di schermo, uno schermo a treccia di rame a strato singolo ha dimostrato nell'uso pratico di essere estremamente efficace. Qui è importante che lo schermo sia intrecciato. Per contro, uno schermo in filo di rame avvolto (come il tipo NYCWY) lascia lunghe aree scoperte dove le componenti HF possono facilmente essere irradiate attraverso queste aree. Anche l'area di superficie, per le correnti parassite, è notevolmente inferiore.
In occasione di retrofit sono disponibili schermature supplementari. Questi possono essere posati sopra i cavi per fornire l'effetto schermante desiderato. Per collegamenti brevi,tubi flessibili o tubi di metallo possono essere usati come alternativa. Le canaline per cavi possono sostituire la schermatura solo in certe condizioni (un condotto a prova di radiazioni con un buon contatto del coperchio e una buona connessione tra i componenti del condotto e la massa).

I cavi con una doppia schermatura migliorano ulteriormente l'attenuazione dell'interferenza condotto e irradiata. Lo schermo interno è collegato ad un'estremità, mentre lo schermo esterno è collegato ad entrambe le estremità. Conduttori intrecciati riducono i campi magnetici.

Per le linee di segnale è possibile usare cavi schermati con conduttori intrecciati. L'attenuazione del campo magnetico aumenta di circa 30 dB con uno schermo singolo fino a 60 dB con uno schermo doppio e circa 75 dB se i conduttori sono anche intrecciati.



Esistono molti tipi di cavo schermato. Solo alcuni di questi sono adatti per l'uso di convertitori di frequenza.

Fase 4: Aspetti pratici della selezione del convertitore di frequenza

Design di base

Nella pratica, i progettisti e gli operatori spesso selezionano i convertitori di frequenza solo sulla base della loro potenza nominale espressa in kilowatt. Tuttavia, i convertitori di frequenza devono sempre essere scelti sulla base della corrente nominale motore effettiva I_{nom} in presenza del massimo carico del sistema. Questo criterio di scelta è più affidabile perché la potenza erogata dal motore dipende dal carico meccanico sull'albero piuttosto che dall'assorbimento di energia elettrica. Non viene tenuto conto nemmeno del rendimento del motore. Per contro, la capacità nominale dei convertitori di frequenza si basa sulla potenza nominale P_{nom} di motori a quattro poli. Inoltre, i motori nella stessa classe di potenza possono avere correnti nominali diverse in funzione del costruttore del motore e della classe di efficienza. Per esempio, la corrente nominale di un motore da 11 kW può variare da 19,8 A a 22,5 A.

***Nota:** Un convertitore di frequenza da 11 kW VLT® HVAC Drive ha una corrente nominale di 24 A. Questo fornisce corrente sufficiente per azionare un motore a 11 kW.*

Tuttavia, la corrente nominale da sola non è sufficiente per determinare la potenza elettrica assorbita. Il convertitore di frequenza deve anche fornire una tensione motore sufficientemente elevata. Con un sistema di rete da 400 V, ciò significa che vengono forniti ben 400 V a 50 Hz ai morsetti del motore. Sono presenti sul mercato convertitori di frequenza che non riescono a garantire piena tensione. La tensione di uscita viene ridotta a causa delle cadute di tensione nei filtri e nel cavo motore. Se la tensione di uscita viene ridotta ad esempio a 390 V, il motore necessita più corrente per produrre la potenza necessaria.
Tutte le perdite aumentano in modo quadratico, il motore si riscalda di più e ciò riduce la sua durata. Naturalmente l'utente deve tener conto anche di situazioni dove potrebbe essere necessaria della corrente di sovraccarico.

***Nota:** Per le unità VLT® HVAC Drive si utilizza un metodo di modulazione particolare per fornire piena tensione motore. Anche con il 10% di sotto tensione rete, la tensione nominale del motore e la coppia vengono garantite.*

Coppia costante o variabile

Il carico azionato dal motore è il fattore chiave per la scelta del convertitore di frequenza adatto. Occorre distinguere i carichi la cui caratteristica della coppia aumenta in modo quadratico con l'aumentare della velocità (ad esempio le pompe centrifughe e le ventole) dai carichi che possono richiedere una coppia elevata dal motore durante tutto l'intervallo di funzionamento, anche a basse velocità (come i ventilatori Roots).

Gran parte dei sistemi di azionamento in applicazioni HVAC ha una curva di carico che aumenta in modo quadratico al variare della velocità fino a quando non viene raggiunta la coppia nominale. Per ottenere un funzionamento efficiente in tali condizioni di carico, il convertitore di frequenza eroga una tensione motore che aumenta in modo quadratico con la frequenza del motore.

Per le applicazioni a coppia costante elevata, nella maggior parte dei casi occorre considerare anche il requisito di accelerazione e/o avvio con carico gravoso. In tal caso il convertitore di frequenza, oltre alla coppia nominale, deve essere in grado di fornire una potenza extra al motore per un breve periodo, ad esempio per attivare una pompa in cui vi sia accumulato e depositato del fango, per contrastare l'attrito statico che ne consegue. Questa coppia massima disponibile, per un breve periodo, è detta coppia di sovraccarico.

Nelle applicazioni che non richiedono una coppia di avvio significativamente più alta della coppia nominale, è generalmente associata una capacità di sovraccarico relativamente bassa (ad esempio, i ventilatori Roots con avvio in assenza di carico richiedono solo il 110 % della coppia nominale motore).

***Nota:** Le pompe volumetriche, i ventilatori Roots e i compressori non sono classificati come macchine a coppia variabile. A causa del loro principio di funzionamento, i convertitori di frequenza da utilizzare con tali apparecchiature devono fornire coppia constante.*

Aspetti pratici delle curve di carico per applicazioni HVAC/R

Curve caratteristiche e applicazioni

Applicazioni a coppia costante

Coppia di avviamento bassa (110% sovraccarico)

Compressore scroll	[da 0,6 a 0,9 nominale]
Compressore a vite	[da 0,4 a 0,7 nominale]
Compressore a pistoni	[da 0,6 a 0,9 nominale]

Coppia di avviamento normale (sovra-coppia)

Compressore scroll	[da 1,2 a 1,6 nominale]
Compressore a vite	[da 1,0 a 1,6 nominale]
compressore a cilindro	[fino a 1,6 nominale]
Compressore a 4 cilindri	[fino a 1,2 nominale]
Compressore a 6 cilindri	[fino a 1,2 nominale]

Coppia di avviamento elevata [sovra-coppia]

Compressore a 2 cilindri	[fino a 2,2 nominale]
Compressore a 4 cilindri	[fino a 1,8 nominale]
Compressore a 6 cilindri	[fino a 1,6 nominale]

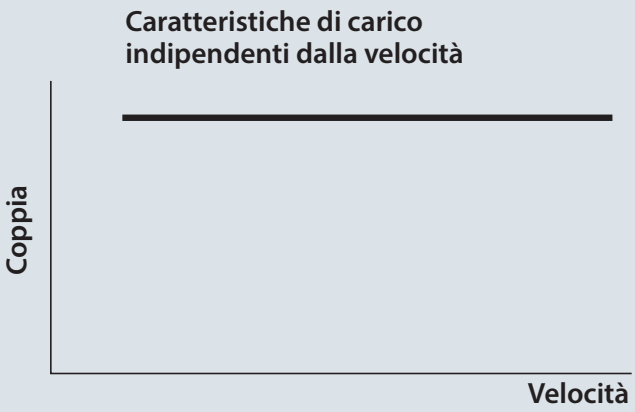
Applicazioni a coppia variabile

Ventole
Pompe centrifughe
Pompe a immersione[1]
Pompe per aumentare la pressione
Pompe di alimentazione
Pompe per acque reflue[1]
Pompe acqua calda
Pompe di calore (circuito principale e secondario)
Pompe con giranti intubate (solidi)
Pompe acqua di raffreddamento (circuito principale e secondario)
Pompe per cisterna
Pompe per il ricircolo del fango
Pompe filtro residui[1]
Turbocompressori
Pompe sommerse[1]
Pompe fanghi

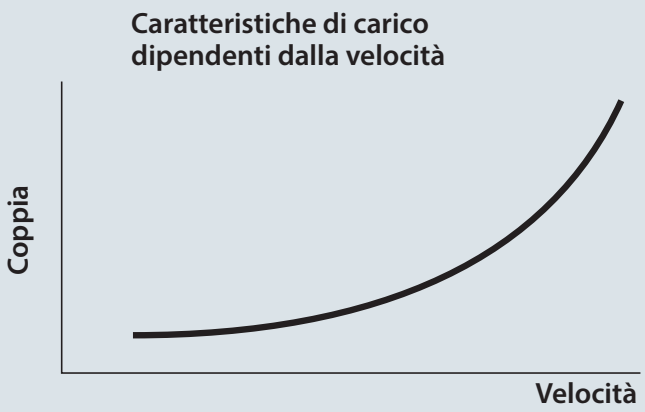
[1]Filtro sinusoidale consigliato

Nota: *Generalmente i compressori hanno un intervallo di velocità limitato (velocità o frequenza min./max.) nonché un numero limitato di avviamenti/ arresti e/o richiedono un filtro sinusoidale per funzionare. Ricordarsi di controllare le caratteristiche di coppia delle pompe prima di utilizzarle.*

Coppia costante



Coppia variabile



Aspetti pratici del funzionamento con più motori (caso speciale)

Design

Se l'obiettivo dell'operatore è quello di azionare più motori in parallelo utilizzando lo stesso convertitore di frequenza, la progettazione dovrà tenere conto dei seguenti fattori:

Sia le correnti sia le potenze nominali dei motori devono essere sommate.

La scelta di un convertitore di frequenza adatto si basa sulle due somme di potenza e di corrente.
Per la protezione del motore, l'operatore deve collegare i termistori PTC dei motori in serie; il convertitore di frequenza monitorerà questo segnale.

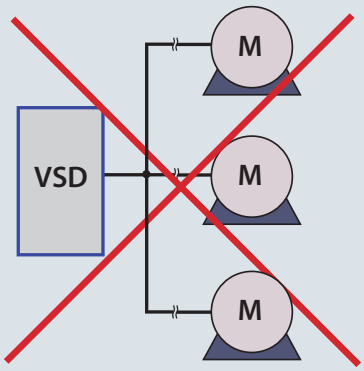
I motori collegati avranno la stessa velocità nominale.
Ciò significa che il convertitore di frequenza li aziona tutti alla stessa frequenza e con la stessa tensione.

Nota: *Poiché le resistenze dei termistori PTC collegati in serie si sommano, non ha senso utilizzare la capacità di monitoraggio del termistore del convertitore di frequenza per proteggere il motore quando vengono azionati in parallelo più di due motori .*

Percorso cavi

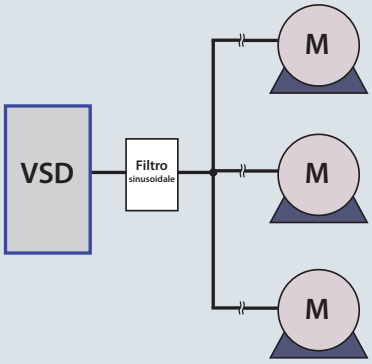
Cosa evitare con il funzionamento con più motori: I conduttori paralleli causano una capacità aggiuntiva. Per tale motivo, evitare sempre questo tipo di collegamento.

Da evitare



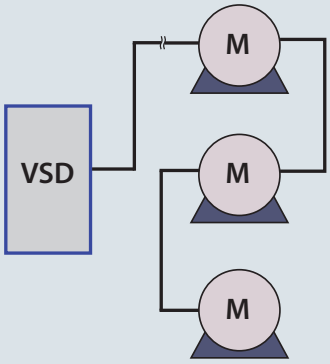
Le correnti si riducono poiché il filtro LC attenua la frequenza di commutazione. Ciò permette di collegare i motori in parallelo. Inoltre, se necessario, è possibile installare cavi del motore per lunghe distanze.

Raccomandato



Raccomandato per il funzionamento con più motori: collegare i motori in modalità daisy-chain, come mostrato in figura.

Raccomandato



Aspetti pratici delle misure EMC

Messa in pratica della teoria

Tutti i convertitori di frequenza sono sorgenti di interferenza a banda larga, ossia emettono interferenza su un ampio campo di frequenza. Gli operatori dell'impianto possono ridurre la quantità d'interferenza emessa dai convertitori di frequenza prendendo misure appropriate. Ad esempio possono garantire il funzionamento senza complicazioni utilizzando filtri RFI e filtri choke di rete. Con alcuni modelli, questi componenti sono già installati nel convertitore di frequenza. Con altri, il progettista dovrà destinare spazio aggiuntivo (che è sempre importante) nell'armadio.
Per informazioni generali su EMC, interferenza di rete a bassa frequenza e interferenza di radiofrequenza, vedere pagina 13 e successive del presente manuale.

Nota: *I convertitori di frequenza di buona qualità hanno in dotazione standard un'adeguata protezione RFI e componenti per la riduzione dell'interferenza di rete. Tali componenti costituiscono circa il 15-20% del costo di un convertitore di frequenza.*

Interferenza in radiofrequenza

Raccomandazioni pratiche

Per informazioni dettagliate sull'interferenza di radiofrequenza vedere pagina 21 e successive. Nella pratica, l'obiettivo principale è ottenere sistemi che funzionino in modo stabile senza interferenza tra i componenti. Ciò nonostante, capita spesso che dopo l'introduzione di nuovi componenti all'interno di un sistema non è più possibile effettuare operazioni prive di interferenza. Questi problemi sono proprio ciò che deve essere evitato. Per ottenere un elevato livello di immunità all'interferenza si consiglia di utilizzare convertitori di frequenza con filtri RFI di alta qualità. Questi devono soddisfare i requisiti della categoria C1 specificati nello standard del prodotto EN 61800-3 ed essere conformi ai limiti della Classe B dello standard generico EN 55011.

Se si utilizzano filtri RFI che non appartengono alla categoria C1 ma solo alla categoria C2 o meno filtranti, devono essere apposti ulteriori avvisi sul convertitore di frequenza. La responsabilità finale è dell'operatore. Come già accennato a pagina 22, in caso di problemi l'autorità preposta al controllo baserà le proprie raccomandazioni per eliminare l'interferenza sempre sui limiti A1/A2 e B definiti nello standard generico, in base all'ambiente di esercizio. Il costo per la risoluzione dei problemi relativi all'EMC è a carico dell'operatore. L'operatore in definitiva è responsabile per la classificazione appropriata dei dispositivi in riferimento a questi due standard.

A causa dell'uso di cavi per la trasmissione di segnali e potenza, l'interferenza condotta può facilmente diffondersi ad altre parti del sistema o impianto se non vengono prese misure atte ad evitarlo. Al contrario, l'interferenza irradiata direttamente dal dispositivo o dal cavo viene spazialmente limitata. La sua intensità diminuisce per ogni centimetro di distanza dalla sorgente dell'interferenza. Per questo motivo, l'installazione del convertitore in un armadio adeguato in conformità con le norme EMC di solito è sufficiente a limitare l'interferenza irradiata. Tuttavia, l'operatore del sistema deve sempre fornire un filtro adeguato per limitare l'interferenza condotta.

Due approcci ai filtri RFI

Nella pratica, esistono due approcci ai filtri RFI. Alcuni costruttori installano i filtri RFI nelle loro apparecchiature come dotazione standard, altri li offrono come opzionali. I filtri integrati, oltre a far risparmiare molto spazio nell'armadio, eliminano i costi aggiuntivi di montaggio, cablaggio e materiale. Tuttavia, il vantaggio più importante è la perfetta conformità EMC e il cablaggio dei filtri.

I filtri RFI esterni opzionali installati a monte del convertitore di frequenza causano inoltre un'ulteriore caduta di tensione. Nella pratica, significa che la piena tensione di alimentazione non è presente all'ingresso del convertitore di frequenza e potrebbe essere necessario il sovradimensionamento. Ciò comporta costi di montaggio, cablaggio e materiale, e la conformità EMC potrebbe non essere verificata.

Un altro significativo fattore è la lunghezza massima del cavo motore collegato per il quale il convertitore di frequenza è ancora conforme ai limiti EMC. Nella pratica può variare da 1 metro a 50 metri. Con cavi più lunghi, sono necessari filtri RFI migliori.

Nota: *Per garantire il funzionamento senza interferenza del sistema di azionamento, utilizzare sempre un filtro RFI di categoria C1. Le unità VLT® HVAC Drive hanno in dotazione standard i filtri RFI integrati conformi alla categoria C1 (EN 61800-3) da usare con sistemi di rete da 400 V e potenze nominali fino a 90 kW o alla categoria C2 per potenze nominali da 110 a 630 kW. Le unità VLT® HVAC Drive sono conformi a C1 (emissione condotta) con cavi motore schermati fino a 50 m o C2 con cavi motore schermati fino a 150 m.*

Interferenza di rete

Il circuito intermedio influisce sull'interferenza di rete

Vedere pagina 15 e successive per una descrizione degli aspetti fondamentali dell'interferenza di rete a bassa frequenza e le contromisure per ridurla. L'uso sempre più diffuso di raddrizzatori aumenta il verificarsi dell'interferenza di rete. I raddrizzatori assorbono dalla rete correnti non sinusoidali. L'interferenza di rete dovuta ai convertitori di frequenza deriva principalmente dai condensatori nel circuito intermedio, a causa delle loro correnti di carica. Qui la corrente è impulsiva e segue i picchi di tensione del circuito d'alimentazione. A causa della corrente elevata, la tensione di alimentazione è soggetta a buchi durante brevi intervalli e quindi non è più sinusoidale. Per mantenere l'alimentazione di rete pulita, è necessario limitare la quinta armonica della corrente a un livello di circa 40% THD. I requisiti sono descritti nello standard EN 61000-3-12.
Negli scenari di applicazione dove l'operatore deve ridurre l'interferenza di rete a un livello THD inferiore al 10% o 5 %, è possibile utilizzare filtri opzionali e soluzioni attive per attenuare quasi completamente l'interferenza di rete.

Misure di riduzione

Gli operatori dell'impianto hanno a disposizione varie opzioni per ridurre l'interferenza di rete. Queste possono essere classificate in misure passive e attive, e differiscono soprattutto per quel che riguarda la progettazione.

Filtri choke di rete

Il modo più diffuso e meno dispendioso per ridurre l'interferenza di rete prevede l'installazione di filtri choke nel circuito intermedio o all'ingresso del convertitore di frequenza.
L'installazione di un filtro choke di rete prolunga i tempi di carica di corrente ai condensatori nel circuito intermedio, riduce l'intensità di corrente e riduce notevolmente la distorsione della tensione di alimentazione (minore interferenza di rete). Il grado di distorsione della tensione di alimentazione dipende dalla qualità del sistema di rete (impedenza del trasformatore e impedenza di linea). Le cifre riportate nella tabella in basso possono essere considerate una guida per il carico del convertitore di frequenza collegato (o altro carico trifase "raddrizzato") come percentuale della potenza nominale del trasformatore di linea. Se viene superato il valore massimo, consultare il costruttore del convertitore di frequenza.

Oltre a ridurre l'interferenza di rete, i filtri choke di rete aumentano la durata dei condensatori del circuito intermedio, poiché si caricano in modo più graduale grazie alla limitazione dei picchi di corrente. I filtri choke di rete migliorano anche la capacità del convertitore di frequenza nel sopportare le oscillazioni transitorie di rete. Le sezioni trasversali dei cavi e i valori nominali del fusibile di rete o dell'interruttore possono essere più piccoli grazie alle minori correnti di ingresso. Tuttavia, i filtri choke rappresentano un ulteriore costo e un ingombro di spazio.

Nota: Un filtro choke del circuito intermedio è integrato in tutti i convertitori di frequenza VLT® HVAC Drive come dotazione standard. Ciò riduce il THD dall'80% al 40%, garantendo la conformità ai requisiti EN 61000-3-12. L'effetto è quindi paragonabile a quello di un filtro choke di rete trifase (UK 4%). Non si verifica alcuna caduta di tensione che il convertitore di frequenza deve poi compensare; il motore ha a disposizione la piena tensione (400 V), vedere pagina 35.

Carico massimo di 20% del convertitore di frequenza sul trasformatore
→ in caso di convertitori di frequenza senza misure per la riduzione dell'interferenza di rete, ossia senza filtri choke o con filtri choke leggeri (ad es. con UK 2%)

Carico massimo di 40% del convertitore di frequenza sul trasformatore
→ in caso di convertitori di frequenza con misure per la riduzione dell'interferenza di rete, ossia con filtri choke con UK di almeno il 4%

Le cifre di carico massimo sopra riportate sono i valori guida raccomandati che hanno dimostrato il funzionamento dell'impianto senza problemi.

Aspetti pratici delle misure EMC

Un convertitore di frequenza a basse armoniche è un convertitore di frequenza con un filtro attivo integrato che agisce sulla rete.

Raddrizzatori con 12, 18 o 24 impulsi per ciclo

Nella pratica, i convertitori di frequenza con raddrizzatori che hanno un elevato numero di impulsi per ciclo si trovano principalmente nella gamma di potenza più alta.
Per un corretto funzionamento richiedono trasformatori speciali.

Filtri passivi

I filtri antiarmoniche passivi, che consistono di circuiti LC, possono essere utilizzati in tutte le occasioni. Sono dotati di un'elevata efficienza, di norma intorno al 98,5% o superiore. I dispositivi sono molto robusti e, ad eccezione delle ventole di raffreddamento, se presenti, in genere non richiedono manutenzione. In relazione ai filtri passivi occorre tenere in mente quanto segue. Se vengono messi in funzione senza carico, fungono da sorgenti di potenza reattiva capacitiva a causa della corrente in circolo nel filtro. In base all'applicazione specifica, può essere utile usare un gruppo di filtri, eventualmente con collegamento e scollegamento selettivo.

Filtri attivi, active front end e convertitori di frequenza a basse armoniche

Un approccio innovativo, basato su dispositivi a semiconduttori perfezionati e tecnologia a microprocessori moderna, prevede l'utilizzo di sistemi con filtri elettronici attivi. Questi misurano costantemente la qualità dell'alimentazione di rete e utilizzano una sorgente di corrente attiva per alimentare forme d'onda specifiche nel sistema di distribuzione. Il risultato è una corrente sinusoidale.
Rispetto alle opzioni di filtro descritte in precedenza, l'architettura di questa nuova generazione di filtri è complessa poiché richiedono un'acquisizione veloce dei dati ad alta risoluzione e un'elevata potenza di calcolo.

Non è possibile fornire una raccomandazione tipo a riguardo i provvedimenti per la riduzione dell'interferenza di rete menzionate in questo manuale. Ciò che conta è prendere le decisioni giuste nelle fasi di design e progettazione per ottenere un convertitore di frequenza ad alte prestazioni, bassa interferenza di rete e bassa interferenza di radiofrequenza. In ogni caso, occorre analizzare attentamente i seguenti fattori prima di prendere decisioni sulle misure di riduzione da adottare:

- Analisi della rete
- Panoramica esatta della topologia di rete
- Limiti di spazio disponibile nei locali delle apparecchiature elettriche
- Opzioni per i sistemi di distribuzione principale o di sottodistribuzione

Nota: *Coni filtri attivi complessi vi è il rischio di mancare totalmente l'obiettivo, poiché tali misure comportano il grave svantaggio di causare interferenza nel campo di frequenza superiore a 2 kHz (vedere pagina 18 e successive).*

Aspetti pratici dei dispositivi a corrente residua

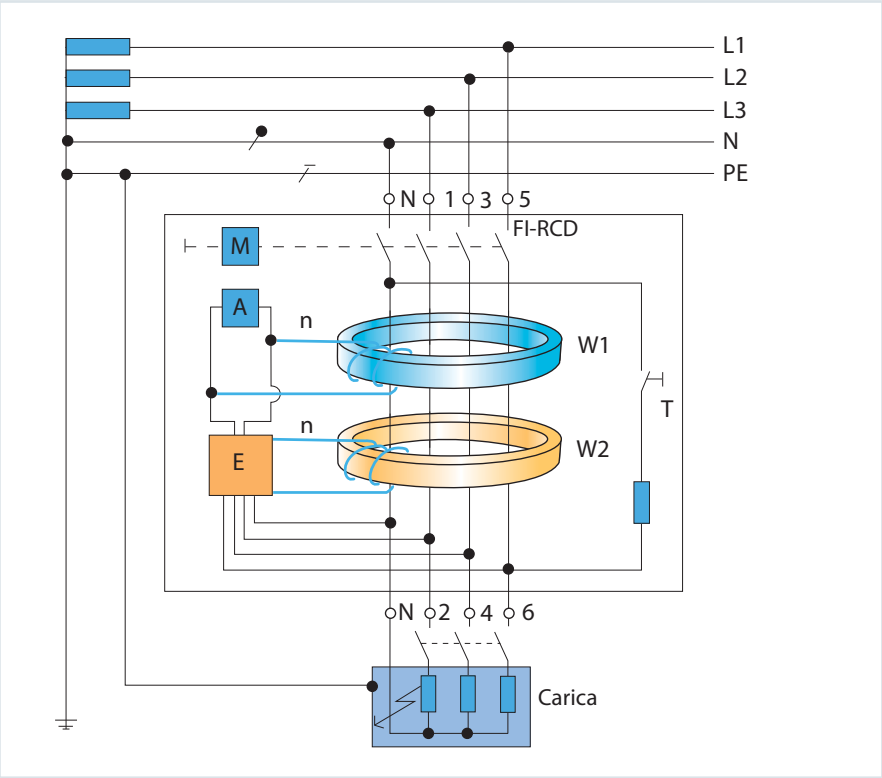
Dispositivi di protezione a corrente residua CA/CC

Nei paesi germanofoni, sono stati utilizzati termini diversi per i dispositivi di protezione a corrente residua sensibili solo alla CA o per dispositivi sensibili a CA e CC. Tali dispositivi sono noti a livello internazionale come interruttori a corrente residua (RCCB). Il termine tecnico è "dispositivo azionato a corrente residua" (RCD) come definito in EN 61008-1.

Se si utilizzano apparecchiature in un'area protetta che possono generare una corrente CC in caso di guasto, occorre utilizzare RCD sensibili a corrente CC così come CA. Questo vale per tutte le apparecchiature elettriche con uno stadio del raddrizzatore B6 (come i convertitori di frequenza) collegate a una rete trifase.
Questo tipo di RCD è detto RCD di tipo B secondo IEC 60755. A causa del loro principio di funzionamento, i convertitori di frequenza generano correnti di dispersione verso terra che il progettista e/o l'operatore devono tenere in considerazione nella scelta della corrente di guasto nominale. Chiedere al costruttore del convertitore di frequenza qual è il tipo di RCD consigliato per la propria applicazione.
l' RCD deve essere installato direttamente tra la rete e il raddrizzatore. L'integrazione in una struttura gerarchica con altri RCD non è consentita.

Livello della corrente di dispersione

Il livello della corrente di dispersione dipende da una serie di fattori. In generale, le correnti di dispersione sono più elevate nei convertitori di frequenza e nei motori con livelli di potenza superiori. Un convertitore di frequenza nella gamma di potenza da 1,5 kW senza misure di soppressione di interferenze radio e un cavo motore corto (circa 2 m) avrà una corrente di dispersione di circa 4 mA. Se è richiesta una soppressione di interferenze radio di Classe B, la corrente di dispersione con la stessa configurazione sale a circa 22 mA. Un convertitore di frequenza da 20 kW con soppressione di interferenze radio di Classe B e un cavo motore schermato corto avrà una corrente di dispersione di circa 70 mA. Per quanto riguarda il cavo motore, gli utenti possono supporre una corrente da 0,5 a 2 mA per ogni metro di cavo motore. Il cablaggio con fili accoppiati implica valori inferiori rispetto ad un cablaggio a cavo singolo.



Gli RCD di tipo B hanno due circuiti di monitoraggio separati: uno per la CC pura e l'altro per le correnti di guasto con un componente CA.

Aspetti pratici della messa a terra e della protezione del motore

Misure di messa a terra nella pratica

Le misure per la messa a terra sono descritte in dettaglio nella sezione "Motori e cablaggio" del passaggio 3 (pagina 31 e successive).
Se l'applicazione richiede filtri esterni, devono essere montati il più vicino possibile al convertitore di frequenza. Il cavo tra il filtro e l'apparecchiatura deve essere schermato, e il filtro deve essere connesso al conduttore di terra sul lato rete e sul lato apparecchiatura. Si raccomanda inoltre di montare il filtro a filo con la superficie e di fornire un collegamento a bassa impedenza tra l'involucro del filtro e la terra.

I filtri generano correnti di dispersione che possono essere notevolmente più alte del valore nominale in caso di un guasto (caduta di tensione di fase o carico asimmetrico). Per evitare tensioni pericolose, i filtri devono quindi essere messi a terra prima di accendere l'alimentazione. Con correnti di dispersione pari a 3,5 mA e superiori, in conformità con EN 50178 o EN 60335:
- la sezione trasversale del conduttore di terra di protezione deve essere di 10 mm^2 o superiore;
- oppure, il conduttore di terra di protezione deve essere monitorato come circuito aperto;
- oppure, deve essere installato un secondo conduttore di terra di protezione.

Le correnti di dispersione sono segnali di interferenza ad alta frequenza. Questo richiede una messa a terra con collegamenti a bassa impedenza fissati su un'ampia area di superficie e collegati a potenziale di terra mediante la più breve distanza possibile.

Protezione del motore e termistore PTC motore

I convertitori di frequenza svolgono il compito di proteggere il motore da eccessiva corrente. I sensori del termistore o i cutout termici nell'avvolgimento del motore sono utilizzati per fornire la migliore protezione del motore possibile. Il segnale è monitorato mediante appositi morsetti di ingresso sul convertitore di frequenza. I termistori conformi alla norma DIN 44081 o DIN 44082 sono progettati per avere una resistenza compresa in un certo intervallo di risposta alla temperatura nominale (RRT) (RRT – 5°C < 550 Ω; RRT + 5°C > 1330 Ω). Molti convertitori hanno funzioni adatte per il monitoraggio di tali termistori. In caso di motori impiegati in aree a rischio di esplosione, il monitoraggio del termistore è consentito solo con dispositivi di intervento certificati (vedere pagina 30).

La funzione protettiva degli interruttori di protezione del motore è limitata nel caso in cui il funzionamento sia diretto in rete. Nei sistemi elettrici dotati di convertitori di frequenza, questi possono fornire la protezione del motore solo in una situazione di emergenza, quando il convertitore di frequenza è bypassato da un circuito appropriato. La funzione di protezione del motore dell'interruttore è insufficiente con il convertitore di frequenza in funzione. Ciò nonostante, un corretto dimensionamento può renderlo utilizzabile con motori a convertitore come una sorta di interruttore di circuito trifase che protegge solo il cablaggio.

Nota: *Molti convertitori di frequenza dispongono di una funzione supplementare denominata "immagine termica del motore". La temperatura del motore viene calcolata in base ai dati del motore e alla quantità di potenza trasferita al motore. Questa funzione in genere viene implementata in modo molto conservativo e tende ad attivarsi prima del necessario. L'effettiva temperatura ambiente all'avvio del calcolo in genere non viene presa in considerazione. Tuttavia, questa funzione può essere utilizzata per fornire una forma semplice di protezione base, ove non fosse disponibile nessun'altra forma di protezione del motore.*

Nota: *Con VLT® HVAC Drive, i terminali 50 e 54 sono generalmente progettati per il collegamento dei termistori. Questa porta è adatta per il monitoraggio della temperatura del motore utilizzando 3-6 termistori PTC in serie (configurazione standard: tre serie per motore).*

Aspetti pratici del controllo degli operatori e della visualizzazione dei dati

Concetto di funzionamento semplice

La tecnologia di base di tutti i convertitori di frequenza è la stessa, quindi la semplicità d'uso è un fattore decisivo. Molte funzioni, così come l'integrazione in macchine o sistemi, richiedono un concetto di funzionamento semplice. Deve soddisfare tutti i requisiti per configurazione e installazione facili e affidabili.
Le opzioni variano da display numerici semplici ed economici a comodi pannelli di controllo che mostrano i dati in formato di testo. I pannelli di controllo semplici sono adatti per l'attività base di osservazione dei parametri di funzionamento, come la corrente o la tensione.

Di contro, i pannelli di controllo con comode funzioni permettono di visualizzare parametri aggiuntivi o di presentarli tutti contemporaneamente. Sono inoltre possibili un chiaro raggruppamento delle funzioni e il funzionamento manuale semplice, oltre a opzioni per l'accesso mediante software,
un bus di campo, o la manutenzione remota mediante modem o Internet.
Un convertitore di frequenza moderno deve essere in grado di combinare tutti i concetti di funzionamento menzionati sopra in
un unico dispositivo, oppure renderli possibili, e deve almeno consentire la commutazione tra controllo manuale e remoto in qualsiasi momento.

design award winner

Questo pannello di controllo ha vinto il premio iF design award per la semplicità d'uso nel 2004. L'LCP 102 è stato selezionato tra 1000 elementi di 34 paesi nella categoria "interfacce uomo-macchina e di comunicazione".

I pannelli di controllo grafici sono più facili da utilizzare e possono visualizzare le informazioni in testo semplice.

Facile messa in servizio
Funzioni quali Danfoss Smart Start semplificano notevolmente la messa in funzione dei convertitori. Questa funzione guida l'utente attraverso le impostazioni di base del convertitore.

Aspetti pratici del controllo degli operatori e della visualizzazione dei dati

Funzionamento sotto comando locale

Il requisito base è il supporto del funzionamento locale con un pannello di controllo locale. Anche nell'era della comunicazione in rete, molte attività richiedono la capacità di controllare le apparecchiature in modo diretto, ad esempio la messa in funzione, lo svolgimento di prove, l'ottimizzazione dei processi e la manutenzione in loco negli impianti.

In ciascuno di questi casi, l'operatore o il tecnico può dover alterare i valori locali per incorporare le modifiche nel sistema in modo diretto e svolgere le attività pertinenti, come la diagnostica guasti. A tale scopo, il pannello di controllo deve fornire un'interfaccia uomo-macchina semplice e intuitiva.

Display chiaro

La soluzione ideale è un display grafico, poiché permette di selezionare la lingua preferita per l'interfaccia utente e la modalità visualizzazione base può mostrare i parametri essenziali dell'applicazione effettiva.

Per mantenere la chiarezza, queste informazioni di stato devono essere limitate ai parametri essenziali e deve essere possibile adattare o modificare i parametri in qualsiasi momento. Inoltre è utile poter bloccare o nascondere alcune funzioni in base al livello di conoscenza dell'operatore e limitare la visualizzazione dei parametri e la capacità di modificarli a quanto è effettivamente necessario per il controllo e la regolazione dei processi.

Con il vasto numero di funzioni fornite dai convertitori di frequenza moderni, che spesso hanno svariate centinaia di parametri per l'adattamento ottimale, si riducono gli errori dell'operatore e di conseguenza i costosi tempi di fermo e interruzioni nell'impianto. Analogamente, il display deve avere una funzione di guida integrata per le singole funzioni, affinché l'installatore o il tecnico di manutenzione abbiano a disposizione l'assistenza in qualsiasi momento soprattutto per i parametri meno utilizzati, anche in questo caso per eliminare il più possibile gli errori dell'operatore.

Per l'utilizzo ottimale delle funzioni di diagnostica integrata è molto utile poter visualizzare i grafici ("Scope Function") oltre ai dati alfanumerici. In molti casi questa forma di visualizzazione dei dati, come le forme di rampa e/o curve di coppia, facilita la ricerca guasti.

Concetto uniforme

Negli impianti HVAC/R si utilizza un vasto numero di convertitori di frequenza in molte applicazioni diverse. I convertitori, in genere prodotti dallo stesso costruttore, differiscono principalmente nelle potenze nominali, dimensioni e aspetto. Un'interfaccia operatore uniforme dei convertitori di frequenza, con lo stesso pannello di controllo per tutta la gamma di potenza, offre vantaggi per i progettisti e gli operatori dell'impianto.

Il principio base è che semplificando l'interfaccia dell'operatore, la messa in funzione e la ricerca guasti (se necessaria) risultano più rapide ed efficaci. Di conseguenza, i concetti basati su pannelli di controllo plug and play hanno dimostrato concretamente la loro validità.

Integrato nello sportello dell'armadio

In molti impianti dove i convertitori di frequenza sono installati in armadi, i progettisti devono integrare i pannelli di controllo negli sportelli degli armadi per fornire la visualizzazione del processo. Ciò è possibile solo con i convertitori di frequenza che dispongono di pannelli di controllo estraibili. Con il pannello di controllo integrato nello sportello dell'armadio grazie a un telaio di montaggio, il convertitore di frequenza può essere controllato senza aprire lo sportello dell'armadio ed è possibile leggere i dati di processo e lo stato operativo.

Nota: *Assicurarsi che il convertitore di frequenza che si vuole progettare nel sistema abbia il concetto operativo adatto. Un design che offre la massima facilità d'uso possibile per la configurazione e la programmazione dei parametri rappresenta un vantaggio, poiché oggigiorno la funzionalità del convertitore di frequenza non è l'unico fattore rilevante. Un funzionamento veloce, semplice e preferibilmente intuitivo sono altri fattori importanti. Questo è l'unico modo per ridurre lo sforzo e quindi l'impegno per acquisire dimestichezza, e di conseguenza i tempi di interazione degli operatori che lavorano con i convertitori di frequenza.*

I parametri dei convertitori di frequenza possono essere inoltre configurati e letti con lo sportello dell'armadio chiuso.

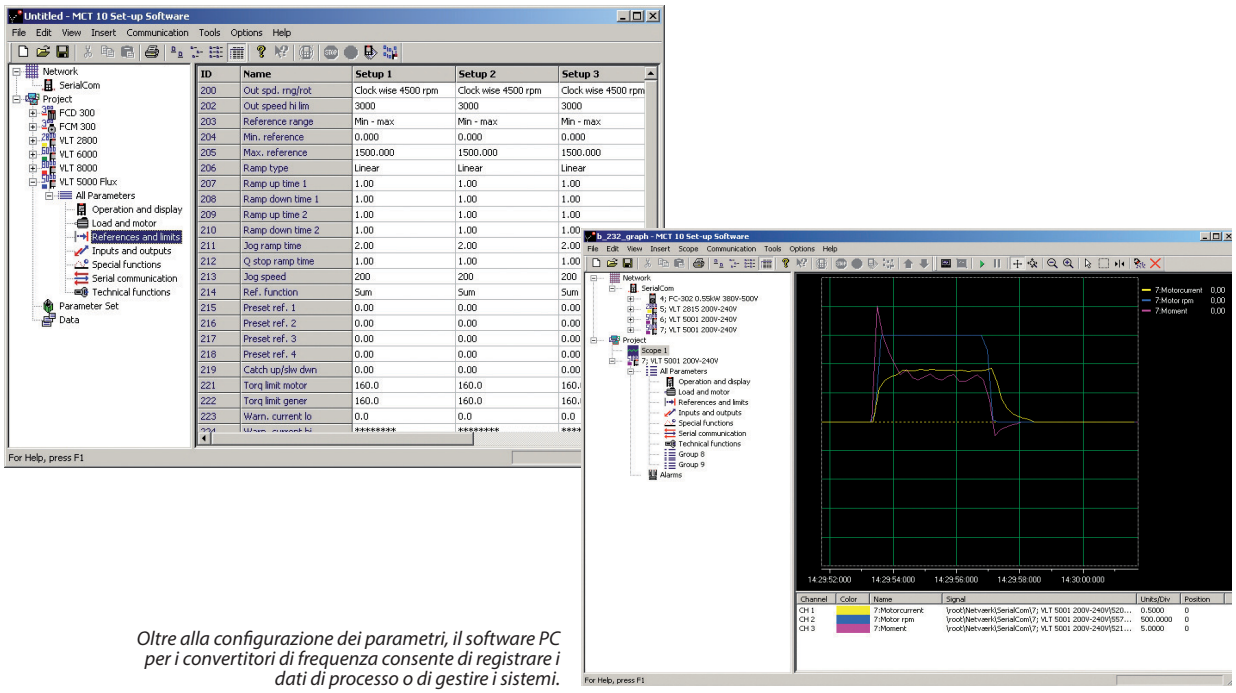
Aspetti pratici del controllo e della configurazione dei parametri con un PC

Opzioni estese

Oltre al funzionamento con un pannello di controllo, i moderni convertitori di frequenza in genere supportano la configurazione dei parametri e la visualizzazione dei dati con un programma PC. Questo software di norma funziona con Windows e supporta varie interfacce di comunicazione. Consente lo scambio di dati su un'interfaccia RS 485 tradizionale, un bus di campo (Profibus DPV1, Ethernet ecc,) o un'interfaccia BUS.

Un'interfaccia utente strutturata in modo chiaro fornisce una rapida panoramica di tutti i convertitori di frequenza in un sistema. Un buon programma consente inoltre di gestire sistemi di grandi dimensioni con più convertitori di frequenza. La configurazione dei parametri è possibile sia online che offline. Preferibilmente, il programma consente anche di integrare documenti nel sistema. Fra le altre cose, ciò rende possibile accedere dal programma ai diagrammi elettrici del sistema o ai manuali d'uso.

Nota: Il programma MCT 10 è uno strumento basato su Windows per la facile progettazione del sistema, configurazione dei parametri e programmazione dei convertitori di frequenza VLT® HVAC Drive.



Oltre alla configurazione dei parametri, il software PC per i convertitori di frequenza consente di registrare i dati di processo o di gestire i sistemi.

Aspetti pratici dello scambio di dati

Sistemi con bus

I moderni convertitori di frequenza sono intelligenti, il che permette loro di gestire molte attività nei sistemi di azionamento. Ciò nonostante, tuttora molti dispositivi funzionano con solo quattro datapoint in un sistema di controllo o sotto il controllo di un DDC e fungono solo da regolatori di velocità. Ciò significa che gli operatori non utilizzano a pieno molte delle funzioni utili e non hanno accesso ai dati di sistema memorizzati. Tuttavia, il pieno potenziale dei convertitori di frequenza può essere facilmente sfruttato con un link a bus di campo, come BACnet, per integrarli nel sistema di controllo. Con un solo datapoint hardware, gli utenti hanno totale accesso a tutti gli oggetti dei convertitori di frequenza installati. Il cablaggio e la messa in funzione sono più semplici, con un risparmio sui costi dalla fase di installazione in poi. È disponibile un ampio volume di dati per l'efficace gestione dell'impianto. La decodifica di messaggi di guasto collettivi permette di diagnosticare i guasti, anche in remoto, e di prendere le misure correttive appropriate.

Migliore gestione degli allarmi

I messaggi di allarme dettagliati semplificano l'identificazione delle possibili cause di guasto e quindi forniscono il supporto adeguato per il monitoraggio remoto dell'impianto. La manutenzione remota mediante modem o Internet permette di visualizzare rapidamente i messaggi di guasto e/o di stato, anche con sistemi o componenti di sistema remoti.

Migliore gestione dell'impianto

L'operatore della sala di controllo è in grado di monitorare e regolare tutte le impostazioni del convertitore di frequenza in remoto. I dati di stato, come la frequenza di uscita e il consumo energetico, possono essere visualizzati ed elaborati in qualsiasi momento. Ulteriori dati per la gestione ottimale dell'energia e del carico di picco sono disponibili senza componenti aggiuntivi.

Costi di installazione ridotti

Non è necessario dotare ogni convertitore di frequenza di un display. L'utente o l'operatore può accedere a tutti i dati rilevanti del convertitore di frequenza mediante
il sistema di controllo.

Cablaggio semplificato con collegamenti a due fili

Gli ingressi e le uscite inutilizzati dei convertitori di frequenza possono essere sfruttati come porte I/O, nelle applicazioni o nell'edificio, per integrare altri componenti quali sensori, filtri e limitatori, nel sistema di controllo. In molti casi, aggiungere ulteriori punti I/O risulta più economico rispetto all'installazione e alla programmazione di un controllore DDC esterno/ supplementare.
Non occorrono componenti in ingresso e in uscita, poiché un singolo datapoint è sufficiente per controllare il convertitore di frequenza.

Sono disponibili funzioni di monitoraggio che non richiedono componenti aggiuntivi, ad esempio il monitoraggio del termistore motore, la protezione contro il funzionamento a secco della pompa ecc., così come contatori di rendimento e delle ore di funzionamento.

Messa in funzione semplificata

La configurazione dei parametri viene effettuata dalla sala di controllo. Tutte le impostazioni possono essere copiate in modo rapido e semplice da un convertitore di frequenza all'altro.
Una copia di back-up fissa può essere memorizzata nella memoria del display.
I progettisti e il personale della messa in funzione possono documentare le impostazioni premendo un pulsante.

Nota: *L'opzione RGO 100 Remote Guardian definisce nuovi standard per il monitoraggio, la manutenzione e l'elaborazione degli allarmi per i convertitori di frequenza in uno o più impianti. Supporta attività tipiche come azione remota, manutenzione remota, elaborazione degli allarmi e registrazione dei dati per la configurazione e il monitoraggio del sistema.*

Bus per VLT® HVAC Drive	
Integrato	**Opzionale**
Modbus RTU	MCA 101 – Profibus DP V1
Protocollo FC	MCA 108 – LONworks
N2 Metasys	MCA 109 – BACnet (Esteso)
FLN Apogee	
BACnet (Standard)	MCA 120 – Profinet
	MCA 121 – EtherNet/IP
	MCA 122 – Modbus TCP

Aspetti pratici dei fattori di scelta aggiuntivi

Controllore di processo

I convertitori di frequenza moderni sono controllori di azionamento intelligenti. Possono svolgere attività e funzioni tradizionalmente gestite dai PLC/DDC. I controllori di processo implementati possono essere utilizzati anche per creare anelli di regolazione indipendenti di alta precisione. Questa funzione è utile specialmente per il retrofit di sistemi con insufficiente capacità DDC o nessun DDC.
I trasduttori di parametri di processo attivi (trasmettitori di valori effettivi di flusso, pressione o livello) possono essere azionati dalla tensione di controllo 24 V CC del convertitore di frequenza, se la loro capacità di alimentazione è insufficiente.

Manutenzione

La maggior parte dei convertitori di frequenza è esente da manutenzione. I convertitori di frequenza ad alta potenza dispongono di filtri integrati che devono essere puliti regolarmente, in base all'esposizione alla polvere. Tuttavia, si nota che i produttori dei convertitori di frequenza specificano intervalli di manutenzione delle ventole di raffreddamento (circa 3 anni) e condensatori (circa 5 anni) nelle loro apparecchiature.

Nota: *I modelli di convertitori di frequenza Danfoss VLT® fino a 90 kW non richiedono manutenzione. I modelli a partire da 110 kW dispongono di filtri integrati nelle ventole di raffreddamento. Devono essere controllati periodicamente e puliti quando necessario.*

Immagazzinamento

Come tutte le apparecchiature elettroniche, i convertitori di frequenza devono essere stoccati in un luogo asciutto. A tal proposito, osservare le specifiche del produttore. Alcuni produttori specificano che i condensatori del dispositivo devono essere alimentati periodicamente. A tale scopo, l'utente deve collegare il dispositivo a una tensione definita per un certo periodo. Questa procedura è necessaria a causa dell'invecchiamento dei condensatori nel collegamento CC del dispositivo. La velocità d'invecchiamento dipende dalla qualità dei condensatori utilizzati nel dispositivo. Questo metodo contrasta il processo d'invecchiamento.

Nota: *Data la qualità dei condensatori utilizzati e il concetto di produzione flessibile specifico su ordine, questa procedura di "reforming Capacitors" non è necessaria per i convertitori di frequenza VLT® HVAC Drive.*

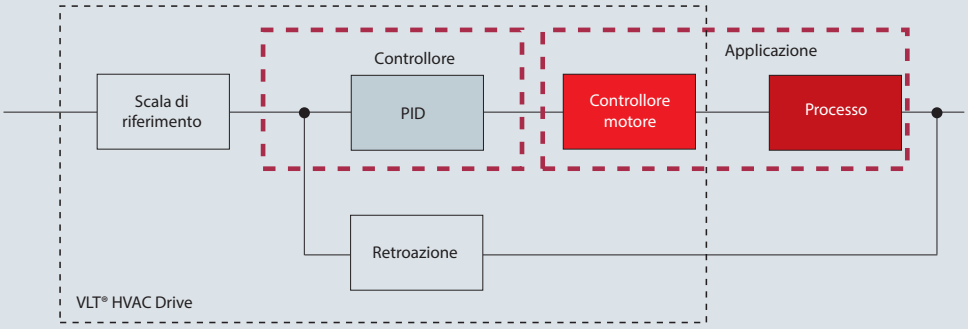


Diagramma a blocchi del controllore di processo PID

VLT® HVAC Drive

Le unità VLT® HVAC Drive sono disponibili potenze nominali da 1,1 kW a 1,4 MW e con tensione nominale da 200 a 690 V. Le versioni VLT® Low Harmonic Drive sono disponibili anche per l'utilizzo della riduzione delle interferenze di rete.

I convertitori Danfoss® HVAC Drive sono appositamente progettati per le applicazioni HVAC.

Funzioni dedicate per le ventole

- Conversione velocità-flusso
- Funzioni AHU intelligenti
- Modalità incendio
- Estensioni delle funzioni BMS
- Monitoraggio della risonanza
- Pressurizzazione vano scala
- 4 controllori PID

Funzioni dedicate per le pompe

I convertitori VLT® HVAC Drive offrono un vasto numero di funzioni dedicate per le pompe
sviluppate in collaborazione con OEM, appaltatori e produttori
di tutto il mondo.

- Controllore in cascata per pompe integrato
- Modalità su misura d'alimentazione d'acqua
- Modo pausa
- Protezione contro il funzionamento a secco della pompa e
- Fine curva
- Autoregolazione dei controllori PI
- Compensazione del flusso
- Portata nulla/bassa portata
- Protezione contro il funzionamento a secco della pompa
- Controllo pompa senza sensore opzionale

Funzioni dedicate per i compressori

- Controllo coppia premium
- Sostituzione di una struttura a cascata con un singolo compressore
- Setpoint di temperatura
- Riduzione degli avvii e degli arresti
- Avviamento rapido con miglioramento dell'efficienza energetica

A differenza di molti altri modelli, tutti i componenti e le funzioni importanti sono integrati come standard:

- Filtro RFI integrato conforme alla categoria C1 EN 61800-3 (limiti della Classe B come definiti in EN 55011)
- Filtri choke integrati per l'interferenza di rete (UK 4%)
- Funzione AEO apposita per un elevato risparmio energetico
- Interfaccia USB
- Orologio in tempo reale
- VLT® HVAC Drive, versione a basse armoniche
- Controllore in cascata integrato per tre ventole, pompe o compressori.
- Filtri di rete opzionali attivo e passivo per ulteriore riduzione delle armoniche
- Filtro sinusoidale opzionale e filtro du/dt per tutte le potenze nominali
- Interfaccia seriale RS 485
- Progettati per una lunga durata di esercizio
- Piena tensione di alimentazione in uscita
- Possibilità di collegare lunghi cavi motore (150 m schermati o 300 m non schermati)
- Monitoraggio del termistore PTC
- Monitoraggio portata in uscita

Informazioni approfondite sono disponibili presso il proprio referente Danfoss o sul Web. Molte informazioni sono disponibili e scaricabili dal sito.

www.danfoss.com/vlt

Direttive sui convertitori di frequenza

Marchio CE

Il marchio CE (Comunità Europea) si propone di eliminare le barriere tecniche per il commercio libero tra gli Stati CE e gli Stati Membri dell'associazione europea di libero scambio (all'interno dell'unità di conto europea). Il marchio CE indica che il fabbricante del prodotto rispetta tutte le direttive CE applicabili trasformate in norme nazionali. Il marchio CE non fornisce indicazioni sulla qualità del prodotto. Le specifiche tecniche non possono essere dedotte dal marchio CE. Le direttive che devono essere osservate nell'ambito dell'uso dei convertitori di frequenza includono la direttiva macchine, la direttiva EMC e la direttiva sulla bassa tensione.

Direttiva macchine

L'applicazione della direttiva macchine 2006/42/CE è diventata obbligatoria il 29 dicembre 2009. La direttiva macchine 98/37/CE è stata quindi abolita. Il messaggio chiave della direttiva macchine è che una macchina, composta da un aggregato di componenti o dispositivi interconnessi dei quali almeno uno è in grado di muoversi, deve essere configurata in modo tale da non compromettere la sicurezza e la salute di persone e, se applicabile, di animali domestici o beni materiali nella misura in cui la macchina è correttamente installata, sottoposta a manutenzione e utilizzata secondo lo scopo previsto. I convertitori di frequenza sono classificati come componenti elettronici e dunque non rientrano nella Direttiva Macchine. Quando le ditte di progettazione utilizzano i convertitori di frequenza nelle macchine, generano una dichiarazione del costruttore in cui dichiarano che la macchina è conforme a tutte le norme appropriate e alle misure di sicurezza.

Direttiva EMC

La direttiva EMC 2004/108/CE è entrata in vigore il 20 luglio 2007. Il suo messaggio chiave è che i dispositivi in grado di generare interferenza elettromagnetica o il cui funzionamento può essere compromesso da tale interferenza, devono essere configurati in modo tale che l'emissione di interferenza elettromagnetica sia limitata, nella misura in cui dispositivi radio o di telecomunicazione così come altri dispositivi mostrano un grado adatto di immunità all' interferenza elettromagnetica se messi in funzione secondo lo scopo previsto, in modo da rendere possibile il funzionamento secondo lo scopo previsto. Poiché i convertitori di frequenza non sono dispositivi che possono essere messi in funzione in modo indipendente, non è necessario documentare la conformità con la direttiva EMC attraverso un marchio CE o una dichiarazione di conformità CE. Ciò nonostante, sui convertitori di frequenza Danfoss è presente il marchio CE come indicazione di conformità alla direttiva EMC, ed è quindi disponibile una dichiarazione di conformità.

La direttiva sulla bassa tensione

La direttiva sulla bassa tensione 73/23/CEE è entrata in vigore l'11 giugno 1979; il periodo di transizione è terminato il 31 dicembre 1996. Il messaggio chiave è che le apparecchiature elettriche da utilizzare con una tensione nominale da 50 a 1000 V CA o da 75 a 1600 V CC devono essere configurate in modo da non mettere a rischio la sicurezza e la salute di persone, bestiame e materiale, nella misura in cui l'apparecchiatura è installata correttamente e sottoposta a manutenzione e utilizzata come previsto. Poiché i convertitori di frequenza sono apparecchiature elettriche che funzionano nella gamma di frequenza specificata, sono soggetti alla direttiva sulla bassa tensione e tutti i dispositivi prodotti dal 1 gennaio 1997 devono esporre un marchio CE.

Nota: I costruttori di macchine o sistemi devono verificare che i convertitori di frequenza da loro utilizzati espongano il marchio CE. Su richiesta deve essere fornita una dichiarazione di conformità CE.

Indice

A

Accoppiamento capacitivo 14
Accoppiamento conduttivo 14
Accoppiamento di radiazione 14
Accoppiamento singolo 14
Active front end 17, 19, 20, 46
Ambiente (1 o 2) 21, 22, 23, 24, 39
Ambiente di esercizio (EMC) 21, 22, 25
Ambiente industriale 22, 24
Ambiente residenziale 22, 24
Ambiente speciale 22
Ammoniaca 28
Ampiezza 15
Analisi della rete 16, 24
Analisi di Fourier 15
Anelli di terra 38
Anello di regolazione 53
Approvazione PTB 30
Aria condizionata 27
Armoniche 14
Asimmetria del carico 24
ATEX 30
Atmosfera/gas aggressivi 28
Aumento di capacità 8
Avvolgimenti distribuiti 24
Avvolgimento 35
Azoto 28

B

Buchi di tensione 8

C

Caduta di tensione 36, 37, 41
Calcolo delle armoniche 16, 24
Calcolo rete 16, 46
Cambiamento di fase 23
Campi di interferenza 14
Campo magnetico 14
Capacità di sovraccarico 41
Caratteristica del carico 42
Caratteristica di coppia 8, 41, 42
Caratteristica lineare 41, 42
Caratteristica non lineare 42
Caratteristica V/f 9
Caratteristiche EMC 12
Carico armoniche 24
Carico asimmetrico 24
Carico collegato 8
Cavo motore 35, 36, 37, 39, 40
Classe di protezione dall'accensione 30
Classi di efficienza 31, 41
Classi IE 31
Cloro 28
Collegamento a massa 38
Collegamento CC 17, 19, 23, 27, 45
Colpi di fulmine 3
Comando valvole 10
Compensazione centrale 18
Compensazione di terra 18
Compensazione singola 18
Condensatore 17
Condensazione 27
Condizioni ambientalibu 7, 25
Condizioni climatiche 27
Condizioni di connessione 15
Condizioni di installazione 25
Conduttore 37, 38, 43
Conduttore di neutro, separato/combinato 12
Conduttore di neutro a terra 12
Conduttore di terra di protezione 12
Configurazione 51
Consumo di corrente 15
Consumo energetico 9
Contaminazione 28
Controllo Emax 8
Controllore di processo 53
Corrente armonica 16, 18
Corrente di compensazione 18
Corrente di dispersione 47, 48
Corrente nominale del motore 8, 41
Corrente parassita 35
Corrente reattiva 9, 35
Correnti di picco 8
Correnti non sinusoidali 15
Corrosione 28
Cortocircuito 21
Costi ambientali 10
Costi del capitale iniziali 10
Costi del ciclo di vita (LCC) 7, 10
Costi di disinstallazione 10
Costi di esercizio 8, 10
Costi di fornitura 8
Costi di installazione 10
Costi di manutenzione 7, 10
Costi di messa in funzione 10
Costi di riparazione 8
Costi di smaltimento 10
Costi energetici 10
Costi per tempi di fermo 10
Cos φ 23
Curva caratteristica costante 41, 42
Curve caratteristiche 15
Cuscinetto motore 33, 36
Custodie IEC 32

D

DDC 53
Direttiva EMC 55
Direttiva macchine 55
Direttive 15, 55
Disponibilità 8, 16
Dispositivo a corrente residua 47
Dispositivo soggetto a interferenza 14
Dissipatore di calore 29
Dissipazione/perdita di calore 27, 35
Distanza di montaggio 27
Distorsione 15
Distorsione armonica 15, 17, 18
Distorsione sinusoidale 15
Durata di esercizio 8, 27, 29, 42

E

Efficienza energetica 7
EMC 12, 13, 14, 21, 25, 38, 44
Emissione di interferenza 13
Esposizione alla polvere 29

F

Fattore di costo 10
Fattore di potenza 17, 19, 23
Filtri 29
Filtri attivi 17, 18, 20, 46
Filtri choke 17, 23, 24, 37, 45
Filtri choke di rete 44, 45
Filtri passivi 17, 20, 46
Filtro antiarmoniche 16, 17, 42, 43
Filtro di rete 21
Filtro dU/dt 20, 35, 36, 37
Filtro LC, circuiti 34, 46
Filtro modo comune 36
Filtro RFI 21, 42
Filtro sinusoidale 30, 36
Filtro uscita 36, 37, 38
Fluoruro di idrogeno 28
Flusso 8
Funzionamento a carico parziale 8, 9
Funzionamento con più motori 41
Funzionamento in parallelo 41
Fusibile di rete/interruttore 44

G

Gamma di controllo 8
Gamma sovrasincrona 8
Generatore 24
Gradi di protezione 25, 26
Gradi di protezione IP 26

I

Immunità all'interferenza 13, 2
Impedenza di rete 24
Interferenza di rete 15, 16-20, 44
Interferenza in radiofrequenza 21, 22, 44
Irraggiamento 39
Isolamento motore 36, 37
Kit di montaggio per pannelli 50

L

La direttiva sulla bassa tensione 55
Limitazione corrente di avviamento 8
Lista di controllo della progettazione 6, 62
Livello di interferenza 21
Lunghezza d'onda 14

M

Macchine a flusso liquido 9, 41
Manutenzione 53
Marchio CE 55
Meccanismo di accoppiamento 14
Messa a terra 38, 48
Messa a terra dell'impianto 38
Messa a terra singola 12
Misure di schermatura 39
Montaggio a parete (locale) 25
Montaggio nell'armadio (montaggio centrale) 25
Motori a induzione trifase (TPIM) 33
Motori a magneti permanenti (PM/PMSM) 33, 34
Motori EC 33, 34

N

Norma generica 21
Norme di prodotto 21

O

Onde elettromagnetiche 14
Operatore dell'impianto 15
Oscillazioni transitorie di rete 17, 23, 24
Ottimizzazione automatica dell'energia (AEO) 9, 54
Ozono 28

P

Pannello di controllo 49, 50
Passacavi (regolari ed EMC) 39
Passacavi EMC 37
Perdite sotto tensione 16
Picco di carico 8
Pieno carico 8
Portata d'aria 27, 29
Portata volumetrica 10
Potenza apparente 16
Potenza reattiva 24

Indice

Pressione 8
Progettazione 7
Progettista dell'impianto 7
Protezione dalle esplosioni (ATEX) 30
Protezione di secondo livello 21
Punti di contatto 38
Punto di esercizio 8

Q

Qualità 7
Qualità dell'alimentazione di rete 15, 16, 17

R

Raddrizzatore 15, 17, 24, 46
Raddrizzatore di ingresso 15
Raffreddamento 27, 29
RCD 47
Regole di proporzionalità 9
Rendimento del motore 31
Resistenza alla compressione 35
Rete energetica 15
Rete industriale 15
Retrofit 8, 36
RFI 21, 36, 44
Riduzione/declassamento 13, 42
Riscaldamento armadio 27
Risonanze 24
Risparmi energetici 8
Risparmio energetico potenziale 8, 9

S

Sala di controllo 27
Scambio dati 51
Schede di comando rivestite 28
Schermatura 39
Sistema complessivo 8
Sistema con bus 52
Sistema di azionamento 8
Sistema di distribuzione 8, 12, 15, 23
Sistema di distribuzione a bassa tensione 24
Sistema di distribuzione IT 12
Sistema di distribuzione pubblico 15
Sistema di distribuzione TT 12
Sistema di tubazioni 8
Sistemi a pompa 10
Sistemi di alimentazione ausiliari 24
Sistemi di distribuzione TN 12
Solfuro di idrogeno 28
Sollecitazione dell'isolamento 33
Sollecitazione termica 35
Sorgente di interferenza 14
Spettro di corrente
Spettro distorsione 18
Standard di prestazioni
di efficienza minime (MEPS) 31, 32

T

Temperatura ambiente 27
Tempo di funzionamento, pompa 10
Tempo di ritorno 8
Tensione CC 17, 20
Tensione collegamento CC 34, 37
Tensione sinusoidale 15
Termistore PTC 30, 43, 48, 54
THD (distorsione armonica totale) 15, 17, 18, 20, 45
Tipo di rete 12
Transitori 18, 23, 24, 41
Trasformatore (carico, utilizzo) 24, 45
Trasmissione dell'interferenza 12

U

Umidità relativa 27
Usura dei materiali 8

V

Valore RMS 16
Valvola a farfalla 9, 10
Varistore 23
Visualizzazione dei dati 49, 50
VLT® a basse armoniche (LHD) 17, 19, 46

Abbreviazioni

AFE	Active Front End
AHF	Filtri antiarmoniche avanzati
ATEX	Atmosfera a rischio di esplosione
CE	Comunità europea
CEMEP	Comitato europeo dei fabbricanti di macchinari elettrici ed elettronica di potenza
DC	Duty Cycle
DDC	Direct Digital Control (Controllo digitale diretto)
Eff	Classi di efficienza (motori)
EMD	Scarica elettromagnetica
EMC	Compatibilità elettromagnetica
EN	Norma europea (standard)
FC	Convertitore di frequenza
HVAC	Heating Ventilation and Air-Conditioning (riscaldamento, ventilazione, condizionamento dell'aria)
IE	Efficienza internazionale (motori)
IEC	Commissione elettrotecnica internazionale
IP ratings	Gradi di protezione IP
LCC	Costo del ciclo di vita
LHD	Low Harmonic Drive
MEPS	Standard delle prestazioni di efficienza minime
PCB	Scheda di circuito stampato
PFC	Correzione del fattore di potenza
PTB	Istituto tedesco di fisica e metrologia
PTC	Coefficiente di temperatura positivo
RCCB	Interruttore a corrente residua
RCD	Dispositivo a corrente residua
RFI	Interferenza in radiofrequenza
THD	Distorsione armonica totale

Note

ENGINEERING
TOMORROW

Lista di controllo della progettazione dei convertitori di frequenza

I quattro passaggi della progettazione base dei convertitori di frequenza per un impianto HVAC/R funzionale e affidabile.

Iniziare dopo aver stabilito il compito del convertitore di frequenza e le caratteristiche della coppia. Se si controllano tutti i punti di questa lista di controllo, il funzionamento privo di problemi dell'impianto è garantito.

Sistemi di distribuzione

☐	**Tipi di rete: TN-C, TN-S, TT, IT**	TN-S è ottimale relativamente a EMC. Sono necessarie misure speciali con i sistemi di distribuzione IT.
☐	**EMC**	Rispettare gli standard EMC e i loro limiti.
☐	**Interferenza di rete (a bassa frequenza)**	Quanta interferenza di rete è già presente? Qual è la corrente armonica massima consentita (THD)?
☐	**Interferenza di radiofrequenza (alta frequenza)**	Qual è la classe ambientale (1 o 2) dell'impianto?
☐	**Apparecchiatura di correzione del fattore di potenza**	Dotare di filtri choke l'apparecchiatura di correzione del fattore di potenza
☐	**Oscillazioni transitorie di rete**	I convertitori di frequenza sono adeguatamente protetti dai transitori di rete?
☐	**Max. utilizzo del trasformatore**	Regola generale per il carico del trasformatore: circa il 40% del carico del convertitore di frequenza (con filtro choke).
☐	**Funzionamento con un generatore di stand-by**	Si applicano altre condizioni al convertitore di frequenza rispetto a con il funzionamento di rete.

Condizioni ambientali

☐	**Sito di installazione**	Convertitore di frequenza montato centralmente in un armadio (IP20) o localmente a parete (IP54 o IP66)?
☐	**Concetto di raffreddamento**	Raffreddamento dell'armadio e del convertitore di frequenza; le alte temperature danneggiano tutti i tipi di componenti elettronici.
☐	Atmosfera/gas aggressivi	Schede di comando rivestite per protezione dai gas aggressivi: solfuro di idrogeno (H2S), cloro (CI2) e ammoniaca (NH3).
☐	**Esposizione alla polvere**	La polvere sui o nei convertitori di frequenza riduce l'efficacia di raffreddamento.
☐	**Atmosfere potenzialmente esplosive**	Qui i convertitori di frequenza sono soggetti a limiti.

ENGINEERING
TOMORROW

Motore e cablaggio

☐	Classi di efficienza del motore	Selezione di un motore efficiente dal punto di vista energetico
☐	Adeguatezza del motore per il funzionamento del convertitore di frequenza	Verificare con il fornitore del motore l'adeguatezza per il funzionamento del convertitore di frequenza.
☐	Filtro di uscita: sinusoidale e du/dt	Filtri supplementari per applicazioni speciali.
☐	Cavo motore	Usare un cavo con schermatura appropriata. Rispettare la lunghezza di cavo collegato massima del convertitore di frequenza.
☐	Misure per la messa a terra	Assicurare un'adeguata equalizzazione del potenziale. È disponibile un piano di messa a terra?
☐	Misure schermatura	Utilizzare dei passacavi EMC e terminare correttamente lo schermo.

Convertitore di frequenza

☐	Dimensionamento e selezione	Dimensionare in base alla corrente motore. Tenere in conto le cadute di tensione.
☐	Caso speciale di funzionamento con più motori	Si applicano condizioni speciali.
☐	Interferenza in radiofrequenza (alta frequenza)	Specificare i filtri RFI adatti per l'effettivo ambiente EMC.
☐	Interferenza di rete (bassa frequenza)	Utilizzare filtri choke per l'interferenza di rete per ridurre le correnti armoniche.
☐	Misure per la messa a terra	Sono state prese misure per contrastare le correnti di dispersione?
☐	RCD	Usare solo RCD del tipo B.
☐	Protezione del motore e termistore PTC motore	Il convertitore di frequenza monitora il termistore PTC. (approvazione PTB zona EX)
☐	Controllo degli operatori e della visualizzazione dei dati	Controllo degli operatori e della visualizzazione dei dati con un display di testo (installato nello sportello dell'armadio).
☐	Scambio dati (sistemi con bus)	Su sistemi con bus (ad es. Profibus) o su cablaggio convenzionale tra morsetti.
☐	Controllore di processo	I convertitori di frequenza possono svolgere attività di DDC o stabilire anelli di regolazione autonomi.
☐	Manutenzione	Il convertitore di frequenza è esente da manutenzione?

ENGINEERING
TOMORROW

Valore aggiunto dei VLT® Danfoss

Danfoss VLT Drives è il leader mondiale tra i fornitori di convertitori di frequenza dedicati e continua a guadagnare quote di mercato.

Protegge l'ambiente

I prodotti VLT® sono costruiti nel pieno rispetto della sicurezza e del benessere delle persone e dell'ambiente.

Ogni attività è pianificata e svolta prestando attenzione al singolo impiegato, all'ambiente lavorativo e all'ambiente esterno. La produzione avviene con un esiguo inquinamento da rumore, fumo o altri agenti inquinanti, e lo smaltimento ecologico dei prodotti è sempre assicurato.

Global Compact delle Nazioni Unite

Danfoss ha firmato il Global Compact delle Nazioni Unite sulla responsabilità sociale ed ambientale, e le nostre compagnie agiscono responsabilmente nei confronti delle società locali.

Direttive UE

Tutte le fabbriche sono certificate in base alla norma ISO 14001. Tutti i prodotti adempiono alle Direttive UE sulla Sicurezza Generale dei Prodotti e alla Direttiva Macchine. Danfoss VLT Drives sta implementando, in tutte le serie di prodotti, le Direttive UE riguardanti l'uso di Sostanze Pericolose nelle Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche (RoHS) e sta progettando tutte le nuove serie di prodotti in accordo con la Direttiva UE sullo Smaltimento dei Rifiuti Elettrici ed Elettronici (WEEE).

Risparmio energetico e salvaguardia dell'ambiente

L'energia elettrica risparmiata in un anno di produzione di convertitori di frequenza VLT® farà risparmiare l'energia equivalente all'energia prodotta da una centrale di grossa taglia. Un migliore controllo dei processi migliora la qualità del prodotto e allo stesso tempo riduce lo spreco e l'usura dei dispositivi.

Dedizione ai convertitori di frequenza

"Dedizione" è stata una parola chiave dal 1968, anno in cui Danfoss introdusse il primo convertitore di frequenza a velocità variabile per motori AC prodotto in serie, denominato VLT®.

Duemila e cinquecento impiegati sviluppano, producono, vendono e provvedono alla manutenzione esclusiva di convertitori di frequenza e di avviatori statici, in oltre cento paesi.

Intelligente e innovativo

Sviluppatori presso Danfoss VLT Drives ha adottato appieno i principi modulari sia in fase di sviluppo sia in fase di progettazione, produzione e configurazione.

Le funzioni future vengono sviluppate in parallelo utilizzando piattaforme tecnologiche dedicate. Questo consente di sviluppare in parallelo ogni elemento da adottare, riducendo allo stesso tempo il time-to-market e assicurando che i clienti possano sempre godere dei benefici delle funzioni più recenti.

Affidati agli esperti

Ci assumiamo la responsabilità per ogni elemento presente nei nostri prodotti. Il fatto che sviluppiamo e produciamo noi stessi tutti i componenti, dall'hardware al software, dai moduli di potenza alle schede elettroniche e agli accessori, è per voi la garanzia dell'affidabilità dei nostri prodotti.

Assistenza locale su base globale

Le regolazioni a velocità variabile tramite VLT® sono utilizzate in tutto il mondo e gli esperti Danfoss VLT Drives sono pronti a supportare tecnicamente i clienti, con interventi di manutenzione in qualsiasi stato.

Gli esperti Danfoss VLT Drives sono in grado di risolvere ogni tipo di problema e garantire continuità di servizio dei vostri impianti.

Danfoss VLT Drives, Corso Tazzoli 221, 10137 Torino - ITALIA, Tel. +39 011.3000.538, Fax +39 011.3000.576
vlt-drives@danfoss.it • www.danfoss.it/vlt-Drives

La Danfoss non si assume alcuna responsabilità circa eventuali errori nei cataloghi, pubblicazioni o altri documenti scritti. La Danfoss si riserva il diritto di modificare i suoi prodotti senza previo avviso, anche per i prodotti già in ordine sempre che tali modifiche si possano fare senza la necessità di cambiamenti nelle specifiche che sono già state concordate.
Tutti i marchi di fabbrica citati sono di proprietà delle rispettive società. Il nome Danfoss e il logotipo Danfoss sono marchi depositati della Danfoss A/S. Tutti i diritti riservati.