ENGINEERING TOMORROW

Guía de Diseño | VLT® AQUA Drive FC 200

Servicio de instalación, diseño e ingeniería de proyecto para **plantas de agua** y **aguas residuales**



4 pasos

... para una instalación segura. Con una dilatada experiencia, Danfoss le ayuda en la planificación

www.danfoss.com/spain

VLT® THE REAL DRIVE

Con la lista extraible de verificación al final de este manual, conseguirá óptimos resultados de diseño en tan solo cuatro pasos.



Índice

Ayudas de diseño **6**

Parte 1: Fundamentos **8**

Reducción de costes y mejora en la comodidad 8
El control de velocidad ahorra energía 9
Reforzando la rentabilidad 10
El ahorro potencial se convierte en realidad 11

Parte 2: Cuatro pasos para un sistema óptimo **12**

Paso 1: Aspectos prácticos de los sistemas de red de CA **12**
Reconocimiento de la configuración de red actual

Aspectos prácticos de la compatibilidad electromagnética (EMC) **13**
Los efectos electromagnéticos funcionan en ambas direcciones
La responsabilidad recae en el operador
Dos posibles modos de reducción
Distinguir entre la interferencia conducida y radiada 14
Mecanismos de acoplamiento entre circuitos eléctricos

Aspectos prácticos de la calidad de la potencia de red **15**
Interferencia de la red de baja frecuencia
Redes de alimentación en peligro
Calidad asegurada por disposiciones legales
Descripción de la interferencia de la red

Aspectos prácticos de la interferencia de la red de baja frecuencia **16**
Efectos de la interferencia de la red
Advertencias de baja tensión
Pérdidas más elevadas
¿Existen los convertidores de frecuencia sin interferencias?
Análisis de la interferencia de la red

Aspectos prácticos de la disminución de la interferencia de la red **17**
Opciones para reducir la interferencia de la red
Bobinas de circuito intermedio en la entrada o en el enlace de CC
Rectificador con 12, 18 o 24 impulsos por ciclo
Filtros pasivos
Ventajas de los filtros pasivos
Desventajas de los filtros pasivos
Filtros activos 18
Ventajas de los filtros activos
Desventajas de los filtros activos
Espectro de corriente y de distorsión a plena carga
Enlace de CC reducido 19
Convertidor de frecuencia de entrada activa (AFE y LHD)
Ventajas de AFE
Desventajas de AFE 20

Aspectos prácticos de la interferencia de alta frecuencia (RFI) **21**
Interferencia de frecuencia de radio
Las normas y las directivas definen los límites

Aspectos prácticos del entorno 1 y 2 ..... **22**
El lugar de funcionamiento es el factor decisivo: entornos 1 y 2
Entorno 1 (clase B): entorno residencial
Entorno 2 (clase A): entorno industrial
Entornos especiales
Sin compromisos

Aspectos prácticos de las principales medidas de protección **23**
Factor de corrección de potencia
Transitorios de red

Aspectos prácticos del funcionamiento con un transformador o generador de reserva **24**
Uso máximo del transformador
Carga del transformador
Calidad de la potencia
Funcionamiento con un generador de reserva

Índice

Paso 2: Aspectos prácticos de las condiciones del entorno y del medio ambiente **25**
La ubicación correcta de la instalación:
¿Montaje en armario o en pared?
Aspectos prácticos de las clasificaciones IP **26**
Esquema de clasificación IP según IEC 60529
Aspectos prácticos del diseño de refrigeración **27**
Conformidad con las especificaciones de temperatura ambiente
Refrigeración
Humedad relativa
Aspectos prácticos de requisitos específicos **28**
Entorno o gases agresivos
Exposición al polvo 29
Refrigeración reducida
Ventiladores de refrigeración
Manto de filtro
Aspectos prácticos de entornos potencialmente explosivos **30**
Entornos potencialmente explosivos
Paso 3: Aspectos prácticos de motores y cableado **31**
Clases de rendimiento mínimos para motores
Rendimiento mínimo obligatorio
Clases IE y Eff: información detallada sobre las diferencias principales
Motores trifásicos afectados
Aspectos prácticos de clasificación IE de los motores **32**
Programa para la implementación de MEPS
Conformidad con las especificaciones de dimensiones del montaje según EN 50347
Rentabilidad
Aspectos prácticos de los motores EC y PM **33**
Una tecnología con múltiples nombres
La tecnología
Alto rendimiento
El concepto EC+ de Danfoss
Funcionamiento supersincrónico 34
Protección estándar IEC
Aspectos prácticos de la adaptabilidad del motor para el funcionamiento del convertidor de frecuencia **35**
Criterios de selección
Tensión de aislamiento
Tensión de apoyo
Tensión térmica
Aspectos prácticos de los filtros de salida **36**
Filtros senoidales y filtros dU/dt
Funciones y tareas de los filtros senoidales
¿Cuándo se utilizan filtros senoidales?
Reacondicionamiento
Aspectos prácticos de los cables de motor **37**
Tensión nominal
Dimensionamiento del cable
Longitud del cable del motor
Ahorro de energía
Cables con apantallado adecuado
Aspectos prácticos de la conexión a tierra **38**
La importancia de la conexión a tierra
Materiales conductores eléctricamente
Sistema de conexión a tierra configurado en forma de estrella
Puntos de contacto
Área superficial del conductor

Aspectos prácticos del apantallamiento **39**
La importancia del apantallamiento
Cables apantallados y cableado
Conexión apantallada
Huecos de apantallamiento
Conexión a tierra 40
Cable de fuente de alimentación del motor
Cable de señal
Tipos de apantallamientos
Paso 4: Aspectos prácticos de la selección del convertidor de frecuencia **41**
Diseño básico
Par constante o variable
Aspectos prácticos de curvas de carga para diversas aplicaciones **42**
Características de las curvas y aplicaciones
Aspectos prácticos del funcionamiento multimotor (caso especial) **43**
Diseño
Recorrido de los cables
Aspectos prácticos de medidas de EMC **44**
Llevar la teoría a la práctica
Interferencias de frecuencias de radio
Recomendaciones prácticas
Dos enfoques de los filtros RFI
Interferencia de la red 45
El enlace de CC afecta a la interferencia de la red
Medidas de reducción
Bobinas de circuito intermedio
Rectificadores con 12, 18 o 24 impulsos por ciclo 46
Filtros pasivos
Filtros activos, convertidores de frecuencia de entrada activa y de bajos armónicos
Aspectos prácticos de los dispositivos de corriente residual **47**
Dispositivos de protección de corriente residual CA/CC
Nivel de corriente de fuga
Aspectos prácticos de conexión a tierra y protección del motor **48**
Medidas de conexión a tierra en la práctica
Protección contra la sobrecarga del motor y termistor PTC del motor
Aspectos prácticos del control de operador y visualización de datos **49**
Funcionamiento sencillo
Funcionamiento bajo control local 50
Visualización clara
Concepto uniforme
Integrado en la puerta del armario
Aspectos prácticos de control y configuración de parámetros con un PC **51**
Opciones ampliadas
Aspectos prácticos del intercambio de datos **52**
Sistemas de bus
Gestión de alarmas mejorada
Gestión de instalaciones mejorada
Menores costes de instalación
Puesta en servicio simplificada
Aspectos prácticos de factores de selección adicionales **53**
Controlador de procesos
Mantenimiento
Almacenamiento
VLT® AQUA Drive **54**
Directivas referentes con convertidores de frecuencia **55**
Índice **56**
Abreviaturas **59**
Lista de verificación del diseño **60**
Notas **63**

Ayudas de diseño para un diseño de alto nivel y detallado
Manual de diseño para aplicaciones de aguas y aguas residuales

El manual de diseño de Danfoss para la gestión de aguas y aguas residuales está dirigido a empresas de ingeniería, autoridades públicas, asociaciones, ingenieros de instalaciones e ingenieros eléctricos involucrados activamente en la tecnología relativa a aguas y aguas residuales. Ha sido concebido como una ayuda completa para diseñadores de servicios de instalaciones (ICA y eléctricos) e ingenieros de proyectos cuya responsabilidad incluye la ingeniería de proyectos de sistemas de velocidad variable empleando convertidores de frecuencia.

Con esta finalidad, nuestros expertos han coordinado el contenido de este manual de diseño con diseñadores del sector de servicios para instalaciones, para ofrecer respuestas a cuestiones importantes y para obtener los mayores beneficios posibles para propietarios/desarrolladores y/o autoridades contratantes. Las descripciones de las secciones individuales son intencionadamente breves. No pretenden servir como explicaciones extensas de asuntos técnicos, sino señalar los temas relevantes y los requisitos específicos para la ingeniería de proyectos. De esta manera, el manual de diseño para la gestión de aguas y aguas residuales proporciona ayuda en la ingeniería de proyectos de unidades controladas por variador y en la evaluación de los productos de diversos fabricantes de convertidores de frecuencia.

El diseño de proyectos con convertidores de frecuencia de velocidad variable plantea cuestiones que no están directamente relacionadas con las tareas reales de un convertidor de frecuencia. Están más bien relacionadas con la integración de estos dispositivos en el sistema de convertidores de frecuencia y en la instalación en general. Por esta razón, es fundamental tener en cuenta no solo el convertidor de frecuencia, sino también todo el sistema del convertidor de frecuencia. Este sistema se compone de un motor, un convertidor de frecuencia, cableado así como de las condiciones generales de la situación del entorno, que incluye la alimentación de red de CA y las condiciones medioambientales.

La ingeniería de proyectos y la disposición de sistemas de convertidores de frecuencia de velocidad variable tienen una importancia decisiva. Las decisiones adoptadas en esta fase por el diseñador de los servicios de las instalaciones o por el ingeniero de proyectos son cruciales con respecto a la calidad del sistema con convertidor de frecuencia, a los costes operativos y de mantenimiento y al funcionamiento fiable sin problemas. Una ingeniería de proyectos bien concebida de antemano, contribuye a evitar los indeseables efectos colaterales durante el posterior funcionamiento del sistema del convertidor de frecuencia.

Cualquier persona implicada en el diseño de proyectos de convertidores de frecuencia debería tener en cuenta las condiciones técnicas generales de estos dispositivos.





Este manual de diseño y la lista de verificación de diseño incluida son herramientas perfectas para conseguir la mayor fiabilidad posible en el diseño y contribuir de este modo a la seguridad operativa de todo el sistema.

El manual de diseño para la gestión de aguas y aguas residuales se divide en dos partes. La primera parte proporciona información general sobre el uso de convertidores de frecuencia, lo cuál incluye los temas de eficiencia energética, costes de ciclo de vida reducidos y una vida útil más larga.

La segunda parte de este manual de diseño le guiará a través de los cuatro pasos esenciales en el diseño y en la ingeniería de proyección de un sistema y le proporcionará consejos sobre la necesidad de actualizar la capacidad del control de velocidad en los sistemas existentes. Estudia los factores a los que se debe prestar atención para conseguir un funcionamiento fiable del sistema (la selección y el dimensionamiento de la fuente de alimentación de red, las condiciones del entorno y medioambientales, el motor y su cableado, así como la selección y el dimensionamiento del convertidor de frecuencia) y le ofrece toda la información que necesita sobre estos aspectos. También dispone de una lista de verificación en la parte posterior del manual que puede utilizar para marcar cada uno de los pasos individuales. Si tiene en cuenta todos estos factores, puede conseguir un diseño de sistema óptimo que proporcione un funcionamiento seguro en todo momento.



Parte 1: Fundamentos Reducción de costes y mejora en la comodidad

En comparación con los sistemas de control de velocidad mecánicos, el control de velocidad electrónico puede ahorrar mucha energía y reducir sustancialmente el desgaste. Ambos factores reducen significativamente los costes de funcionamiento. Cuantas más veces funcionen (o deban funcionar) los sistemas de convertidores de frecuencia con carga parcial, mayor será el potencial de ahorro de costes energéticos y de mantenimiento. Dado el alto potencial de ahorro energético, el coste extra que supone un sistema de control de velocidad electrónico puede recuperarse en unos pocos meses. Además, los sistemas modernos tienen un efecto extremadamente positivo sobre muchos aspectos de los procesos del sistema y sobre la disponibilidad del sistema en general.

Alto potencial de ahorro energético

Con un sistema de control de velocidad electrónico, el caudal, la presión o la presión diferencial puede ajustarse en cada momento según la demanda. En la práctica, los sistemas funcionan principalmente con carga parcial y no a plena carga. En caso de ventiladores, bombas o compresores con características de par variable, el alcance del ahorro de energía dependerá de la diferencia entre el funcionamiento con carga parcial y a plena carga. Cuánto mayor sea esta diferencia, menos tiempo será necesario para recuperar la inversión que suele ser de unos 12 meses.

Limitación de la corriente de arranque

La conmutación del equipo conectado directamente a la red de CA genera intensidades pico que pueden ser de seis a ocho veces superiores a la corriente nominal. Los convertidores de frecuencia limitan la corriente de arranque a la corriente nominal del motor. De esta manera, eliminan los picos de intensidad de encendido y evitan caídas de tensión debidas a una fuerte carga de transitorios de la red de alimentación. Eliminando estos picos de corriente, se reduce la carga conectada al sistema de bombas desde el punto de vista del proveedor de electricidad, que reduce los costes de suministro y elimina la necesidad de controladores Emáx suplementarios.

Menor desgaste del sistema

Los convertidores de frecuencia arrancan y paran motores suavemente. A diferencia de los motores que funcionan directamente desde la red de CA, los motores accionados por convertidores de frecuencia no provocan golpes de par ni de cargas. Esto reduce la tensión en todo el conjunto de transmision (motor, caja de engranajes, embrague, bomba / ventilador / compresor) y del sistema de tuberías, incluyendo las juntas. De esta manera, el control de velocidad reduce significativamente el desgaste y prolonga la vida del sistema. Los costes de mantenimiento y de reparación son inferiores gracias a periodos de funcionamiento más largos y a un menor desgaste del material.

Ajuste del punto de funcionamiento óptimo

La eficiencia de los sistemas de gestión de aguas y aguas residuales depende del punto de funcionamiento óptimo. Este punto varía según la utilización de la capacidad del sistema. El sistema funciona de forma más eficiente cuando funciona más cerca del punto de funcionamiento óptimo. Gracias a su velocidad continuamente variable, los convertidores de frecuencia pueden accionar el sistema en el punto exacto de funcionamiento óptimo.

Rango de control ampliado

Los convertidores de frecuencia permiten el funcionamiento de motores en el rango de «sobresíncrono» (frecuencia de salida superior a 50 Hz). Esto permite reforzar la potencia de salida brevemente. Hasta qué punto es posible este funcionamiento sobresíncrono, dependerá de la intensidad de salida máxima y de la capacidad de sobrecarga del convertidor de frecuencia. En la práctica, las bombas funcionan a menudo a una frecuencia de 87 Hz. Siempre debe consultar al fabricante del motor si el motor es adecuado para un funcionamiento sobresíncrono.

Generación de bajo nivel de ruido

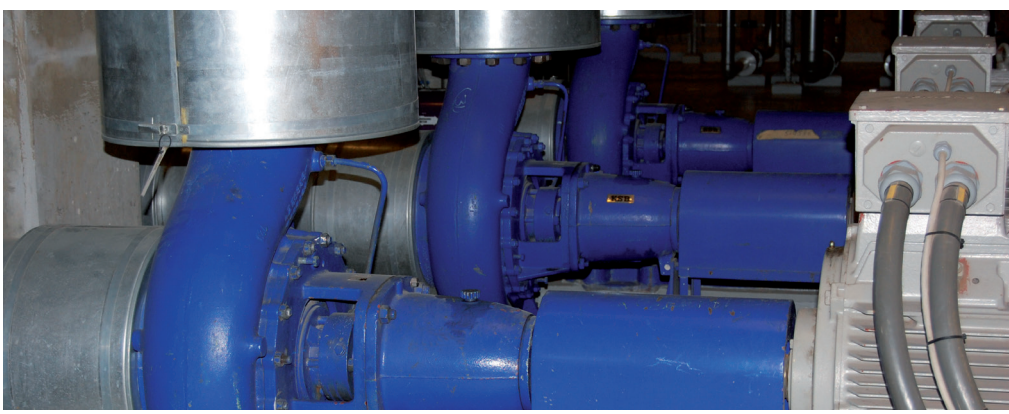
Los sistemas que funcionan con carga parcial son más silenciosos. Un funcionamiento con control de velocidad reduce significativamente la generación de ruido acústico.

Aumento de la vida útil

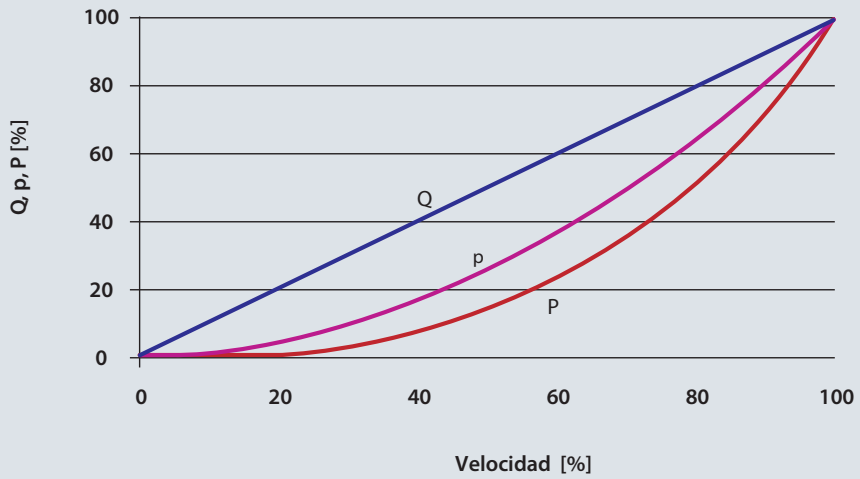
Los sistemas de convertidores de frecuencia que funcionan con carga parcial sufren menos desgaste, lo que se traduce en una vida útil más larga. La presión reducida y optimizada tiene también un efecto beneficioso sobre las tuberías.

Reacondicionamiento

Los convertidores de frecuencia pueden someterse a un reacondicionamiento en sistemas de accionamientos ya existentes con muy poco esfuerzo.



El control de velocidad ahorra energía



Normas de proporcionalidad de las máquinas de flujo de fluidos. Debido a las relaciones físicas, el rendimiento Q, la presión p y la potencia P dependen directamente de la velocidad de la máquina con máquinas de flujo de fluidos.

El potencial de ahorro de energía cuando se utiliza un convertidor de frecuencia, depende del tipo de carga que maneja el convertidor de frecuencia y de la optimización de la eficiencia de la bomba o de la unidad, así como del periodo de tiempo en que el sistema funciona con carga parcial. Los sistemas domésticos de aguas y aguas residuales se diseñan para cargas con picos muy poco frecuentes, por lo que por lo general funcionan con carga parcial.

Las bombas centrífugas y los ventiladores ofrecen el mayor potencial de ahorro de energía. Entran dentro de la clase de máquinas de flujo de fluidos con curvas de par variable sometidas a las siguientes normas de proporcionalidad.

El flujo aumenta linealmente con una velocidad creciente (rpm), al tiempo que la presión aumenta cuadráticamente y el consumo de energía aumenta cúbicamente.

El factor decisivo para ahorros de energía es la relación cúbica entre rpm y consumo de energía. Una bomba que funciona a la mitad de su velocidad nominal, por ejemplo, necesita solamente un octavo de la potencia necesaria para el funcionamiento a velocidad nominal.

Incluso reducciones pequeñas de velocidad pueden conducir a un significativo ahorro energético. Por ejemplo, una disminución de la velocidad del 20 % genera un ahorro de energía del 50 %. El beneficio principal de utilizar un convertidor de frecuencia es que el control de velocidad no malgasta potencia (al contrario que la regulación con una válvula reguladora o una compuerta, por ejemplo), sino que ajusta la potencia del motor para que responda exactamente a la demanda efectiva.

Además se puede conseguir un ahorro energético optimizando la eficiencia de la bomba o de la unidad si se utilizan convertidores de frecuencia. La característica de control de tensión (curva V/f) suministra la tensión correcta al motor para cada frecuencia (y velocidad del motor). De esta manera, el controlador evita pérdidas del motor que son resultado de una corriente reactiva excesiva.

Observación: los convertidores de frecuencia VLT® AQUA Drive de Danfoss optimizan aún más la demanda de energía. La función de Optimización automática de la energía (AEO) ajusta constantemente la tensión del motor de modo que este funciona con la máxima eficiencia posible. De esta manera, el VLT® AQUA Drive adapta siempre la tensión a las condiciones de carga reales que calcula. El potencial suplementario de ahorro de energía varía entre un 3 y un 5 % adicional.



Reforzando la rentabilidad

Análisis del coste de ciclo de vida (LCC)

Hasta hace unos años, los ingenieros y operadores de instalaciones solo tenían en cuenta los costes de adquisición e instalación a la hora de seleccionar un sistema de bombeo. Hoy en día, cada vez es más común realizar un análisis completo de todos los costes. El «coste del ciclo de vida» (LCC) es una forma de análisis que incluye todos los costes de los sistemas de bombeo durante su vida útil.

Un análisis del coste de ciclo de vida no solo incluye los costes de adquisición e instalación, sino también los costes de energía, funcionamiento, mantenimiento, tiempo de inactividad y eliminación, así como el entorno. Hay dos factores, el coste de energía y el coste de mantenimiento, que tienen un efecto decisivo sobre el coste de ciclo de vida. Los operadores buscan innovadores convertidores de frecuencia de bomba centradas en reducir estos costes.

$$LCC = C_{ic} + C_{in} + C_e + C_o + C_m + C_s + C_{env} + C_d$$

C_{ic} = coste de capital inicial (coste de adquisición)

C_{in} = costes de instalación y puesta en servicio

C_e = coste energético

C_o = coste de funcionamiento

C_m = costes de mantenimiento

C_s = costes de inactividad y pérdida de producción

C_{env} = costes medioambientales

C_d = costes de desmantelamiento y de eliminación

Cálculo del coste de ciclo de vida

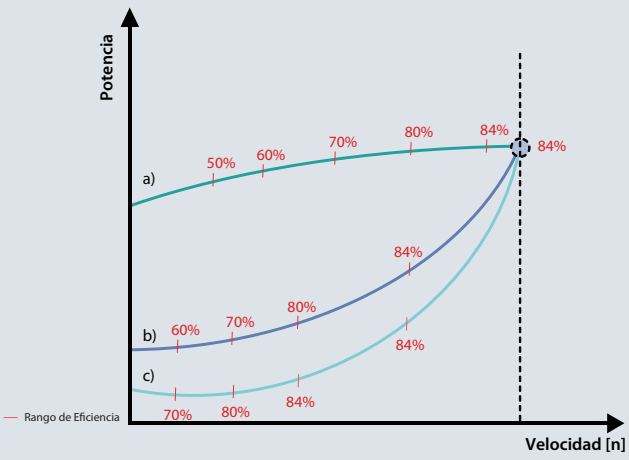
Reducción de los costes energéticos

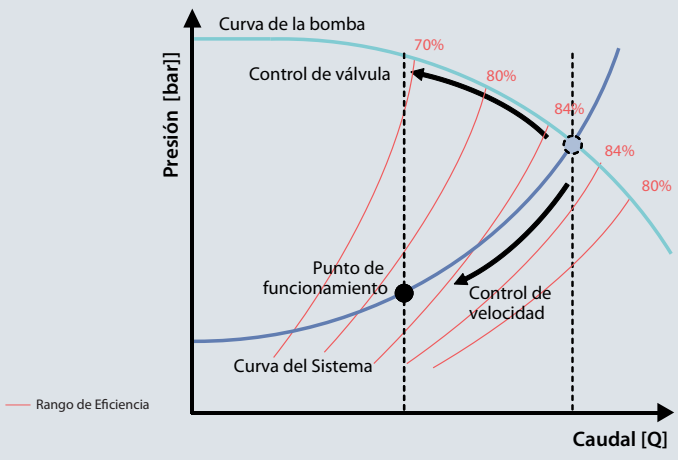
Uno de los principales factores de coste en la fórmula del coste de ciclo de vida es el coste energético. Especialmente cuando los sistemas de bomba funcionan más de 2000 horas al año.

La mayoría de los sistemas de bomba actuales tienen un significativo potencial latente de ahorro energético. Esto es debido a que la mayoría de las unidades de bomba están sobredimensionadas ya que han sido diseñadas para funcionar bajo las peores condiciones posibles. El caudal volumétrico es regulado a menudo por una válvula reguladora. Con esta forma de regulación, la bomba funciona siempre a plena capacidad y de este modo consume energía innecesariamente.

Esto es comparable a conducir un coche con el motor siempre al máximo y utilizar los frenos para ajustar la velocidad.

Los convertidores de frecuencia modernos e inteligentes ofrecen herramientas ideales para reducir el consumo de energía y los costes de mantenimiento.





a) Control de válvula: η disminuye
b) Control de velocidad real: la curva η no alineada con la curva del sistema
c) Control de velocidad óptimo: la curva η casi se ajusta a la curva del sistema

Además de las curvas características de la bomba y del sistema, este argumento muestra diferentes niveles de eficiencia. Tanto el control de válvula como el control de velocidad producen un desplazamiento del punto de funcionamiento fuera del rango de rendimiento óptimo.

El ahorro potencial se convierte en realidad

Las descripciones de la primera parte de este manual de diseño se centran principalmente en las bases y en el ahorro potencial en tecnología de aguas y aguas residuales.

Entre otras cosas, tratan de los costes de ciclo de vida, la reducción del consumo energético, la reducción de los costes energéticos y de servicio y de mantenimiento. Su tarea consiste ahora en realizar un diseño fundamentado e inteligente para convertir en realidad estos beneficios potenciales.

Para ello, la segunda parte de este manual le guiará a través del proceso de diseño en cuatro pasos.

Las secciones siguientes:
- Sistemas de red
- Condiciones ambientales y medioambientales
- Motores y cables
- Los convertidores de frecuencia le dan toda la información sobre características y datos que usted necesita para seleccionar los componentes y dimensionarlos para poder garantizar un funcionamiento seguro del sistema.

En lugares donde resulte ventajoso un conocimiento más detallado, le ofreEMCos referencias de documentos adicionales además de la información básica incluida en este manual.

La lista de verificación incluida al final de este manual que puede doblar o extraer, también es muy útil; en ella puede marcar cada paso. De este modo, tiene una visión global rápida y sencilla de todos los factores relevantes.

Teniendo en cuenta todos estos factores, estará perfectamente preparado para diseñar un sistema fiable y eficiente energéticamente.



Parte 2: Cuatro pasos para un sistema óptimo
Paso 1: Aspectos prácticos de los sistemas de red de CA

Reconocimiento de la configuración de red actual

Se utilizan diferentes tipos de sistemas de red de CA para suministrar alimentación a los convertidores de frecuencia eléctricos. Todos ellos afectan a las características EMC del sistema a diferentes niveles. El sistema TN-S de cinco cables es el mejor desde este punto de vista, siendo el sistema aislado IT el menos recomendable.

Sistemas de red TN

Hay dos versiones de esta forma de sistema de distribución de red: TN-S y TN-C.

TN-S

Se trata de un sistema de cinco cables con conductor neutro (N) y conductor de protección (PE) separados. Ofrece de esta forma las mejores propiedades EMC y evita la transmisión de interferencias.

TN-C

Se trata de un sistema de cuatro cables con un conductor común neutro y de protección en todo el sistema. Debido a la existencia de un conductor combinado neutro y de protección, un sistema TN-C no presenta buenas características EMC.

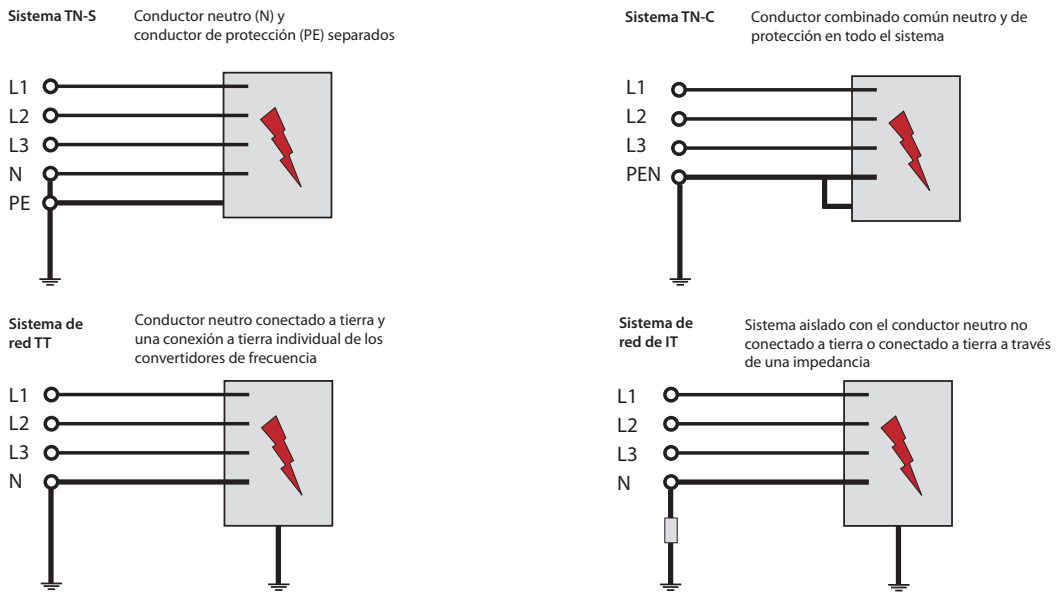
Sistemas de red TT

Se trata de un sistema de cuatro cables con un conductor neutro conectado a tierra y una conexión a tierra individual de los convertidores de frecuencia. Este sistema presenta buenas características EMC si se realiza bien la conexión a tierra.

Sistema de red de IT

Se trata de un sistema de cuatro cables aislado con el conductor neutro no conectado a tierra o conectado a tierra a través de una impedancia.

Nota: *todas las características EMC del convertidor de frecuencia (filtros, etc.) deben deshabilitarse si se utiliza un sistema de red IT.*



Formas de sistemas de red eléctricos según EN 50310 / HD 384.3

Aspectos prácticos de la compatibilidad electromagnética (EMC)

Cada dispositivo eléctrico genera campos magnéticos y eléctricos que, en cierta medida, afectan a su entorno más directo.

La magnitud y las consecuencias de estos efectos dependen de la potencia y del diseño del dispositivo. En máquinas y sistemas eléctricos, las interacciones entre conjuntos eléctricos o electrónicos pueden perjudicar o evitar un funcionamiento fiable y sin problemas. Por ello es importante que los operadores, los diseñadores y los ingenieros de instalaciones comprendan los mecanismos de estas interacciones. Solo entonces podrán adoptar en la fase de diseño las contramedidas adecuadas y eficientes desde el punto de vista de los costes.

El coste de las medidas adecuadas aumenta con cada fase del proceso.

Los efectos electromagnéticos funcionan en ambas direcciones

Los componentes del sistema influyen entre sí mutuamente; cada dispositivo genera interferencias y las interferencias le afectan a él. Aparte del tipo y de la cantidad de interferencias que genera un conjunto, este se caracteriza por su inmunidad a las interferencias de conjuntos cercanos.

La responsabilidad recae en el operador

Anteriormente, el fabricante de un componente o conjunto para convertidores de frecuencia eléctricos tenía que tomar contramedidas para cumplir con las normas legales. Con la introducción de la norma EN 61800-3 para sistemas de convertidores de frecuencia de velocidad variable, esta responsabilidad se ha trasladado al usuario final o al operador del sistema.

Ahora, los fabricantes tienen que ofrecer solamente soluciones para que el funcionamiento se ajuste a la norma. La solución de cualquier interferencia que pudiera darse (en otras palabras, usando estas soluciones) junto con los costes resultantes, es responsabilidad del operador.

Dos posibles modos de reducción

Los usuarios y los ingenieros de instalaciones tienen dos opciones para garantizar la compatibilidad electromagnética. Una opción es la de parar las interferencias en la fuente reduciendo o eliminando la interferencia emitida. La otra opción es aumentar la inmunidad a las interferencias del dispositivo o sistema afectado por las mismas, impidiendo o reduciendo sustancialmente la recepción de dichas interferencias.



La compatibilidad electromagnética (EMC) engloba una extensa variedad de factores. Los factores más significativos en ingeniería de convertidores de frecuencia son la interferencia de la red, la eliminación de RFI y la inmunidad a las interferencias.

Aspectos prácticos de la compatibilidad electromagnética (EMC)

Distinguir entre la interferencia conducida y la interferencia radiada

Siempre hay interacciones cuando confluyen varios sistemas. Los expertos distinguen entre la fuente de la interferencia y el disipador de interferencias, lo que en la práctica suele hacer referencia al dispositivo que produce la interferencia y al dispositivo al que afectan las interferencias. Todos los tipos de magnitudes eléctricas y magnéticas pueden causar interferencia. Por ejemplo, la interferencia puede adoptar la forma de armónicos del suministro de red, descargas electrostáticas, fluctuaciones de tensión rápidas, interferencia de frecuencia alta o campos de interferencia. En la práctica, a menudo los armónicos del suministro de red son denominados como interferencia de la red, armónicos superiores o sencillamente armónicos.

Mecanismos de acoplamiento entre circuitos eléctricos

Seguramente se esté preguntando ahora cómo se transmite una interferencia. Como forma de emisión electromagnética, la interferencia puede ser transmitida esencialmente por conductores, campos eléctricos u ondas electromagnéticas. En términos técnicos, se denominan acoplamiento conductor, capacitivo y/o inductivo y acoplamiento de radiación, lo que significa que se trata de una interacción entre diferentes circuitos en los que fluye la energía electromagnética de un circuito a otro.

Acoplamiento conductor

El acoplamiento conductor ocurre cuando dos o más circuitos eléctricos están conectados entre sí por un conductor común, como un cable de ecualización potencial.

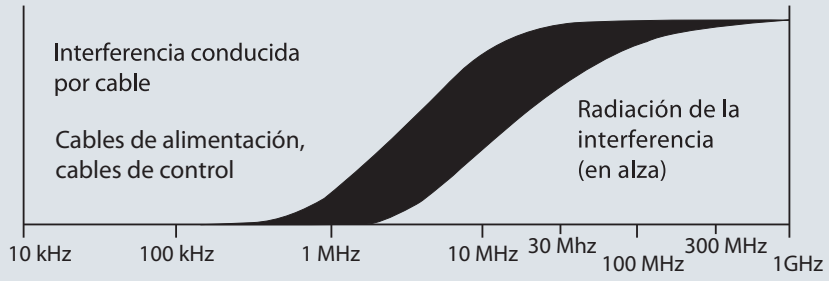
Acoplamiento capacitivo

El acoplamiento capacitivo se deriva de las diferencias de tensión entre los circuitos. El acoplamiento inductivo tiene lugar entre dos conductores por los que circula corriente.

Acoplamiento de radiación

El acoplamiento de radiación tiene lugar cuando se localiza un disipador de interferencias en la región de campo lejano de un campo electromagnético generado por una fuente de interferencia. Para la finalidad del análisis electromagnético, la norma especifica 30 MHz como el límite entre el acoplamiento conductor y el acoplamiento de radiación. Esto corresponde a una longitud de onda de 10 metros. Por debajo de esta frecuencia, la interferencia electromagnética se propaga principalmente a través de conductores o bien es acoplada por campos eléctricos o magnéticos. Por encima de 30 MHz, los cables funcionan como antenas y emiten ondas electromagnéticas.

Trayectos de difusión de interferencias



La interferencia electromagnética tiene lugar en todo el rango de frecuencias, pero los trayectos de propagación y la forma de difusión pueden variar.



Descripción general de trayectos de acoplamiento para la interferencia electromagnética y ejemplos típicos.

Convertidores de frecuencia y EMC

Efectos de baja frecuencia (conductores) → Interferencia de la red / armónicos
Efectos de alta frecuencia (radiación) → Interferencias de frecuencias de radio (emisión de campos electromagnéticos)

Aspectos prácticos de la calidad de la red de Alimentación

Interferencia de la red de baja frecuencia

Redes de alimentación en peligro

La tensión de red suministrada por las empresas eléctricas a los hogares, empresas e industrias debería ser una tensión senoidal uniforme con amplitud y frecuencia constantes. Esta situación ideal no se encuentra ya en ninguna red eléctrica pública. Esto se debe en parte a las cargas que consumen corrientes no senoidales desde la red o que tienen características no lineales, como ordenadores, televisores, fuentes de alimentación conmutadas, lámparas eficientes energéticamente y convertidores de frecuencia. La calidad de la potencia de red disminuirá aún más en el futuro por la red de energía europea, por el mayor uso de la red y por la reducción en inversiones. Las desviaciones de la forma de onda senoidal ideal son, por tanto, inevitables y admisibles dentro de ciertos límites.

Los diseñadores y operadores de los servicios de instalaciones tienen la obligación de mantener la interferencia de la red al mínimo. Pero, ¿cuáles son los límites y quién los determina?

Calidad asegurada por disposiciones legales

Las normas directivas y reglamentaciones son útiles en cualquier debate relacionado con una potencia limpia y de alta calidad. En la mayor parte de Europa, la base para la evaluación objetiva de la calidad de la potencia de la red es la Ley sobre compatibilidad electromagnética de dispositivos. Las normas europeas EN 61000-2-2, EN 61000-2-4 y EN 50160 definen los límites de tensión de red que se deben observar en redes eléctricas públicas e industriales.

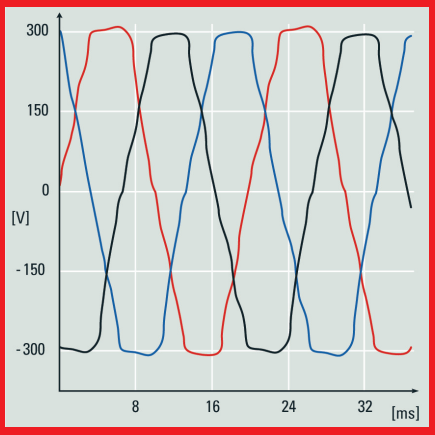
Las normas EN 61000-3-2 y 61000-3-12 son las reglamentaciones relativas a las interferencias de red generadas por dispositivos conectados. Los operadores de las instalaciones también deben tener en cuenta en su análisis global la norma EN 50178 y las condiciones de conexión de la compañía eléctrica. La suposición básica es que la conformidad con estos niveles garantiza que todos los dispositivos y los sistemas conectados a sistemas de distribución eléctrica cumplirán sin problemas su objetivo.

Descripción de la interferencia de la red

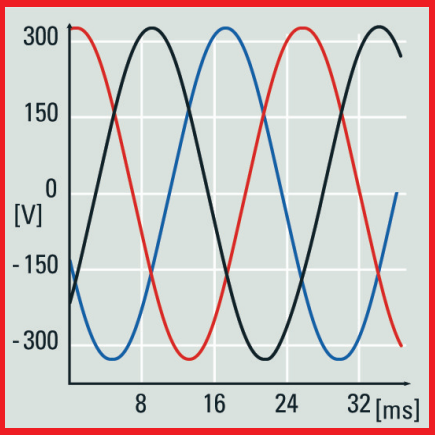
Los especialistas se refieren a la distorsión de la forma de onda senoidal en sistemas de red causada por corrientes de entrada pulsatorias de las cargas conectadas como «interferencia de la red» o «armónicos».

También lo llaman el contenido armónico de la red, que se deriva del análisis de Fourier, y lo calculan hasta los 2,5 kHz, que se corresponde con el armónico 50º de la frecuencia de red.

Los rectificadores de entrada de convertidores de frecuencia generan esta forma típica de interferencia armónica en la red. Allí donde los convertidores de frecuencia están conectados a sistemas de red de 50 Hz, se tienen en cuenta el tercer armónico (150 Hz), el quinto armónico (250 Hz) o el séptimo armónico (350 Hz). Aquí es donde los efectos son más fuertes. El contenido total de armónicos también se denomina distorsión armónica total (THD).



Los cálculos muestran una clara distorsión de la forma de onda de la tensión de red debido a la interferencia de cargas no lineales.



Rara vez se encuentra en la actualidad la situación ideal de la tensión de red senoidal en nuestras redes.

Aspectos prácticos de la interferencia de la red de baja frecuencia

Análisis de la interferencia de la red

Para evitar los excesivos impedimentos de la calidad de la red, pueden utilizarse diversos métodos de reducción, evitación o compensación con sistemas o dispositivos que producen corrientes armónicas. Se pueden utilizar programas de análisis de red como el software de Cálculo de armónicos VLT® MCT 31, para analizar sistemas en una fase tan temprana como la de diseño. De esta manera, los operadores pueden considerar y probar medidas específicas de antemano y garantizar la consiguiente disponibilidad del sistema.

Observación: ***Danfoss tiene un nivel muy alto de competencia en EMC y muchos años de experiencia en el área. Transmitimos esta experiencia a nuestros clientes mediante cursos de formación, seminarios, talleres y mediante la práctica diaria en forma de análisis EMC con una evaluación detallada de los cálculos de la red.***

Nota: ***un contenido excesivo de armónicos pone una carga en el equipo de corrección del factor de potencia y puede incluso causar su destrucción. Por esta razón, deberían equiparse con bobinas de circuito intermedio..***



El VLT® MCT 31 calcula la distorsión actual armónica y de tensión de su aplicación y determina si se necesita la filtración armónica. Además, el software puede calcular el efecto de añadir equipamiento de mitigación y si su sistema cumple con diversas normas.

Efectos de la interferencias de la red

Las fluctuaciones de armónicos y de tensión son dos formas de la interferencia de la red conducida de baja frecuencia. Tienen un aspecto diferente en su origen del que tienen en cualquier otro punto del sistema de red donde se ha conectado una carga.

Por consiguiente, la alimentación de la red, la estructura y las cargas se deben tener en cuenta colectivamente a la hora de evaluar la interferencia de la red.

A continuación, se describen los efectos de un nivel elevado de armónicos.

Advertencias de baja tensión

- Mediciones de tensión incorrectas debido a la distorsión de la tensión de red senoidal.
- Capacidad de potencia de red reducida.

Pérdidas más elevadas

- Los armónicos toman una cuota adicional de la potencia activa, potencia aparente y potencia reactiva.
- Vida útil más corta de dispositivos y componentes, por ejemplo, como resultado de efectos adicionales de calefacción debido a las resonancias.
- Mal funcionamiento o daños a las cargas eléctricas o electrónicas (como un zumbido en otros dispositivos). En el peor de los casos, incluso la destrucción.
- Mediciones incorrectas porque solo los instrumentos y sistemas de medición capaces de medir RMS reales tienen los armónicos en cuenta.

¿Existen los convertidores de frecuencia sin interferencias?

Todos los convertidores de frecuencia generan interferencias de red. Sin embargo, la norma actual solamente considera rangos de frecuencia de hasta 2 kHz. Por esta razón, algunos fabricantes desplazan la interferencia de la red a la región por encima de 2 kHz, que no es contemplada por la norma, y los anuncian como dispositivos «libres de interferencias». Actualmente se están estudiando los límites para esta región.

Aspectos prácticos de la disminución de la interferencia en la red

Opciones para reducir las principales interferencias

En términos generales, la interferencia de la red generada por controladores de potencia electrónicos puede reducirse limitando la amplitud de corrientes pulsadas. Esto mejora el factor de potencia λ (lambda). Para evitar los excesivos impedimentos a la calidad de la tensión de red, pueden utilizarse diversos métodos de reducción, evitación o compensación con los sistemas y dispositivos que producen corrientes armónicas.

- Bobinas de circuito intermedio en la entrada o en el enlace de CC de convertidores de frecuencia
- Enlaces de CC reducidos
- Rectificadores con 12, 18 o 24 impulsos por ciclo
- Filtros pasivos
- Filtros activos
- Convertidores de frecuencia VLT® de entrada activa y de bajos armónicos

Bobinas de circuito intermedio en la entrada o en el enlace de CC

Incluso las bobinas de circuito intermedio sencillas pueden reducir eficazmente el nivel de armónicos devueltos al sistema de la red por circuitos de rectificadores como interferencia de la red. Los fabricantes de convertidores de frecuencia suelen ofrecerlos como opciones suplementarias o de retroalimentación.

Las bobinas de circuito intermedio pueden conectarse delante de los convertidores de frecuencia (en el lado de alimentación) o en el enlace de CC detrás del rectificador. Como la inductancia tiene el mismo efecto en cualquiera de las dos localizaciones, la atenuación de la interferencia de la red dependerá del lugar en que se instale la bobina de circuito intermedio.

Cada opción tiene ventajas y desventajas. Las bobinas de circuito intermedio en la entrada son más expansivas y grandes y generan mayores pérdidas que las bobinas de CC. Su ventaja es que también protegen al rectificador contra los transitorios de red. Las bobinas de circuito intermedio de CC se localizan en el enlace de CC. Son más efectivas pero con frecuencia no pueden actualizarse tecnológicamente.

Con estas bobinas de circuito intermedio, la distorsión armónica total de un rectificador B6 puede reducirse desde un THDI del 80 % sin bobinas de circuito intermedio hasta un 40 % aproximadamente. Las bobinas de circuito intermedio con un Uk del 4 % han demostrado su eficacia en los convertidores de frecuencia. Una mayor reducción solo puede conseguirse con filtros especialmente adaptados.

Rectificador con 12, 18 o 24 impulsos por ciclo

Los circuitos de rectificadores con un elevado número de impulsos por ciclo (12, 18 o 24) generan niveles de armónicos menores. A menudo, se han usado en aplicaciones de alta potencia.

Sin embargo, deben ser alimentados desde transformadores especiales con múltiples devanados secundarios de desviación de fase que proporcionan toda la potencia necesaria a la fase del rectificador. Además de la complejidad y del tamaño del transformador especial, las desventajas de esta tecnología incluyen costes de inversión más elevados para el transformador y el convertidor de frecuencia.

Filtros pasivos

Allí donde hay requisitos de límite de distorsión armónica especialmente estrictos, los filtros pasivos de interferencia de la red están disponibles como una opción. Están compuestos por componentes pasivos como bobinas y condensadores.

Los circuitos de LC de serie adaptados específicamente a las frecuencias armónicas individuales y conectados en paralelo con la carga, reducen la distorsión armónica total (THD) en la red al 10 % o al 5 %. Pueden usarse módulos de filtros con convertidores de frecuencia individuales o grupos de convertidores de frecuencia. Para obtener los mejores resultados posibles con un filtro armónico, este debe ajustarse a la corriente de entrada consumida realmente por el convertidor de frecuencia.

En términos de diseño de circuitos, se instalan filtros armónicos pasivos delante de un convertidor de frecuencia o de un grupo de convertidores de frecuencia.

Ventajas de los filtros pasivos

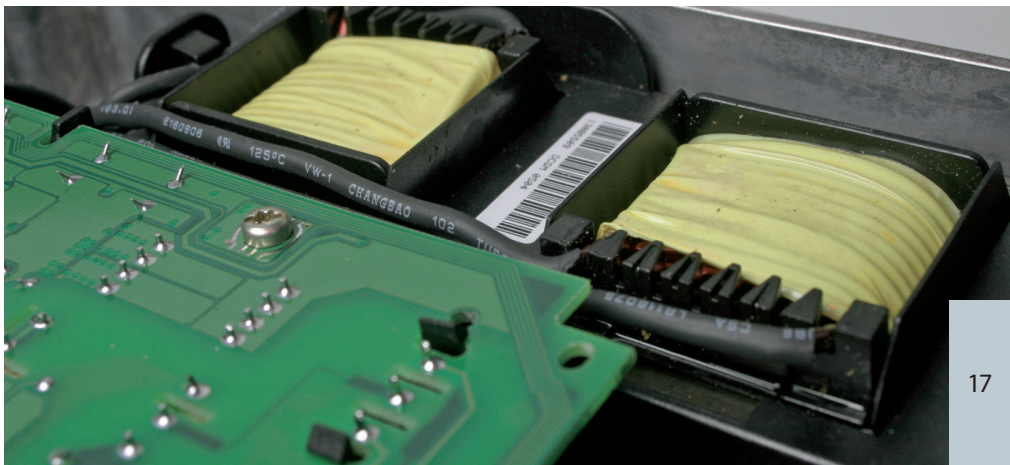
Este tipo de filtro ofrece una buena relación calidad-precio. A un coste relativamente bajo, el operador puede obtener una reducción en niveles armónicos comparables a la que se alcanza con rectificadores de 12 o 18 impulsos / ciclos. La distorsión armónica total (THD) puede reducirse hasta un 5 %.

Los filtros pasivos no generan interferencia en el rango de frecuencias por encima de 2 kHz. Como se componen enteramente de componentes pasivos, no hay desgaste y son inmunes a las interferencias eléctricas y a la tensión mecánica.

Desventajas de los filtros pasivos

Dado su diseño, los filtros pasivos son relativamente grandes y pesados. Los filtros de este tipo son muy efectivos en el rango de carga del 80 al 100 %. Sin embargo, la potencia reactiva capacitiva aumenta con una carga decreciente y se recomienda desconectar los condensadores de filtro en un funcionamiento sin carga.

Observación: los convertidores de frecuencia VLT de Danfoss vienen equipados de serie con bobinas de circuito intermedio de CC. Reducen la interferencia de la red a un THDi del 40 %.



Aspectos prácticos de la disminución de la interferencia de la red

Filtros activos

Cuando los requisitos relativos a la interferencia de la red son aún más estrictos, se utilizan filtros electrónicos activos. Los filtros activos son circuitos electrónicos de absorción que el usuario conecta en paralelo con los generadores de armónicos. Analizan la corriente armónica generada por la carga no lineal y dan una corriente de compensación de desviación. Esta corriente neutraliza completamente la corriente armónica correspondiente en el punto de conexión.

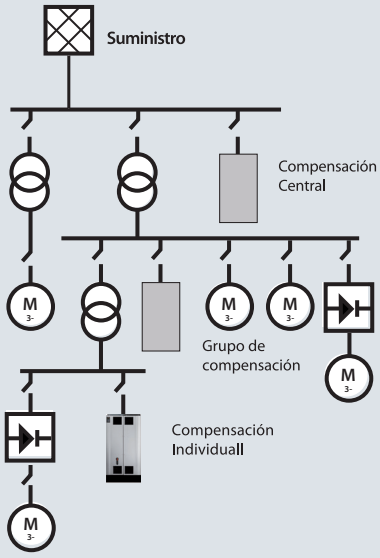
El grado de compensación es ajustable. De esta manera, los armónicos pueden compensarse casi completamente si así se desea, o (quizás por razones económicas) solamente en la medida necesaria para permitir que el sistema cumpla con los límite legales. Aquí también debe tenerse en cuenta que estos filtros funcionan con frecuencias de reloj y producen interferencia de la red en el rango de 4 a 18 kHz.

Ventajas de los filtros activos

Los operadores pueden incorporar, como medida principal, filtros activos en cualquier ubicación deseada del sistema de la red, dependiendo de si desean compensar convertidores de frecuencia individuales, grupos enteros o incluso un sistema de distribución completo. No es necesario suministrar un filtro separado para cada convertidor de frecuencia. La distorsión armónica total cae a un nivel THDi ≤4 %.

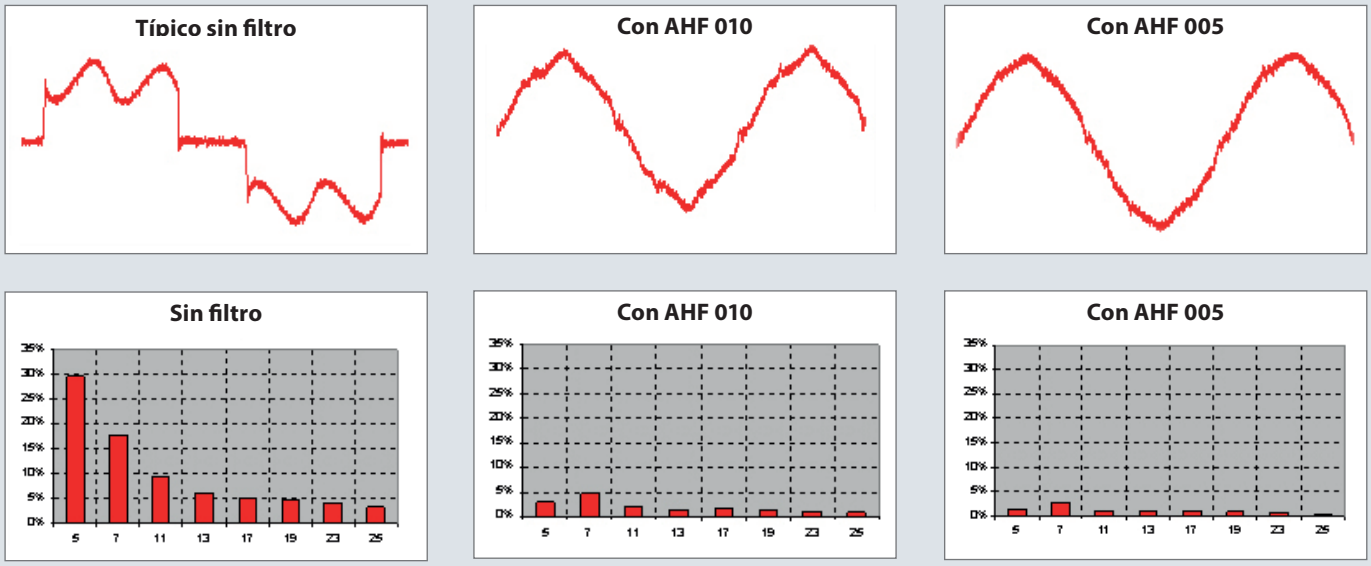
Desventajas de los filtros activos

Una desventaja es el coste de inversión relativamente elevado. Además, estos filtros no son efectivos por encima del 25.º nivel armónico. Con una tecnología de filtros activos también deben tenerse en cuenta los efectos generados por los propios filtros por encima de 2 kHz. Pueden requerir otras medidas para mantener limpio el sistema de la red.



Se pueden instalar filtros activos en cualquier punto deseado del sistema de la red, dependiendo de si deberían proporcionar compensación para convertidores de frecuencia individuales, grupos enteros o sistemas de red completos.

Espectro de corriente y de distorsión a plena carga



Los filtros armónicos avanzados (AHF) reducen la distorsión total de corriente armónica a un 5 % o 10 % con una carga del 100 %.

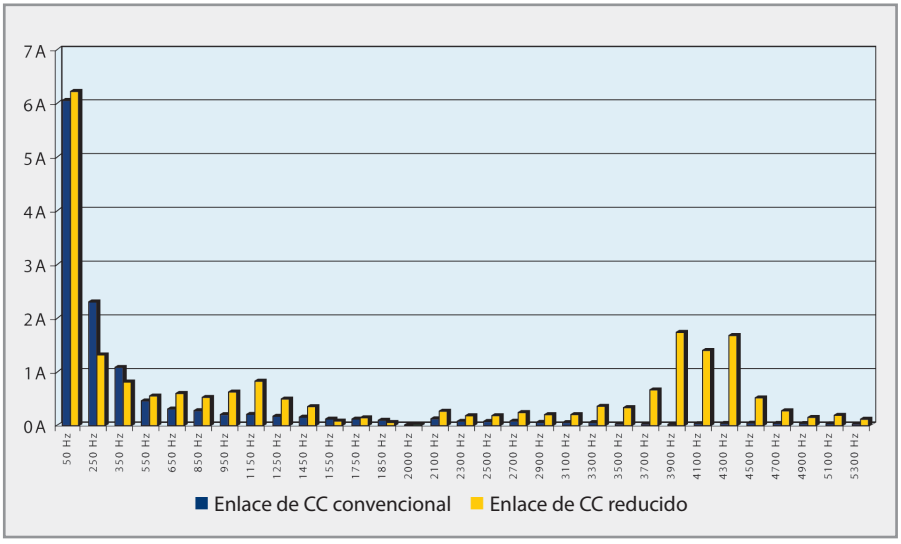
Enlace de CC reducido

Recientemente se ha incrementado la disponibilidad de los convertidores de frecuencia con un enlace de CC «reducido». En este enfoque, los fabricantes reducen en gran medida la capacidad de los condensadores de enlace de CC. Incluso sin una bobina de choque, esto reduce el quinto armónico de la corriente a un nivel THDi por debajo del 40 %.

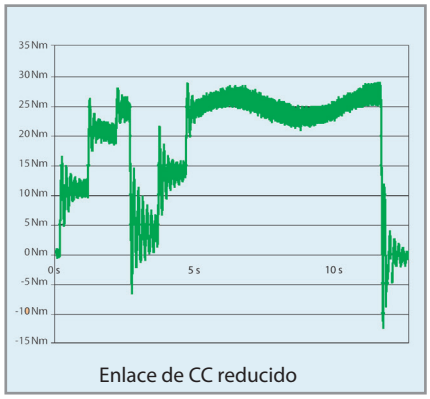
Sin embargo, esto causa interferencia de la red en el rango de alta frecuencia que no tendría lugar en caso contrario.

Debido al amplio espectro de frecuencia de los dispositivos con enlaces de CC reducidos, existe un mayor riesgo de resonancias con otros componentes conectados a la red, como lámparas fluorescentes o transformadores. Diseñar medidas adecuadas resulta muy difícil y requiere mucho tiempo. Además, los convertidores con enlaces de CC reducidos son más sensibles a la carga. Con este tipo de convertidores, las variaciones de carga generan variaciones de tensión mucho mayores y tienen más tendencia a oscilar en respuesta a las variaciones de carga en el eje del motor.

La separación de la carga también es difícil. Durante la separación de la carga, el motor actúa como generador con tensiones de pico altas. Como respuesta, los dispositivos con enlaces de CC estables se cierran más rápido que los dispositivos convencionales, para protegerlos de la destrucción causada por una sobrecarga o una sobretensión. Dada la poca o nula capacidad, los convertidores con enlaces de CC reducidos no son adecuados para funcionar con cortes de electricidad. Por norma general, un enlace de CC reducido tiene el 10 % de capacidad de un enlace de CC convencional. Además de la interferencia de la red causada por la corriente de entrada, los convertidores con enlaces de CC reducidos contaminan la red con la frecuencia de conmutación del inversor junto al motor. Esto se observa claramente en la red a causa de la capacidad baja o nula del enlace de CC.



Los convertidores con enlaces de CC reducidos generan niveles armónicos más altos, especialmente en los intervalos de frecuencia más elevados.



Enlace de CC reducido

Entrada activa

Para describir los convertidores de frecuencia de entrada activa (AFE) suele utilizarse el término «convertidor de frecuencia de bajos armónicos» (LHD), que induce a equívocos, pues los convertidores de frecuencia de bajos armónicos pueden abarcar múltiples tecnologías, tanto de atenuación activa como pasiva. Los convertidores de frecuencia de entrada activa disponen de conmutadores IGBT en los circuitos de entrada que sustituyen a los rectificadores convencionales.

Estos circuitos utilizan dispositivos semiconductores con características de conmutación rápida para forzar la corriente de entrada a ser aproximadamente senoidal y son muy efectivos en la atenuación de la interferencia de la red de baja frecuencia. Al igual que los convertidores de frecuencia con enlaces de CC reducidos, generan interferencia de la red en el rango de frecuencia alta.

Una entrada activa es el enfoque más caro existente para reducir la interferencia de la red, puesto que equivale a un convertidor de frecuencia suplementario y completamente desarrollado capaz de devolver la potencia al sistema.
La opción de convertidor de frecuencia de bajos armónicos no ofrece esta capacidad y es, por ello, algo menos costoso.

Aspectos prácticos de la disminución de la interferencia de la red

Ventajas de AFE y LHD

La distorsión armónica total cae a un nivel de THDi prácticamente <4 % en el rango del 3.º al 50.º armónico. Con dispositivos AFE es posible el funcionamiento en cuatro cuadrantes, lo que significa que la potencia de frenado del motor puede devolverse al sistema de la red.

Desventajas de AFE y LHD

La complejidad técnica de los dispositivos es muy alta, lo que conlleva costes de inversión muy elevados. En principio, los dispositivos AFE se componen de dos convertidores de frecuencia, uno de ellos suministrando potencia al motor y otro al sistema de la red. Dada la creciente complejidad del circuito, la eficiencia del convertidor de frecuencia es menor en el funcionamiento del motor.

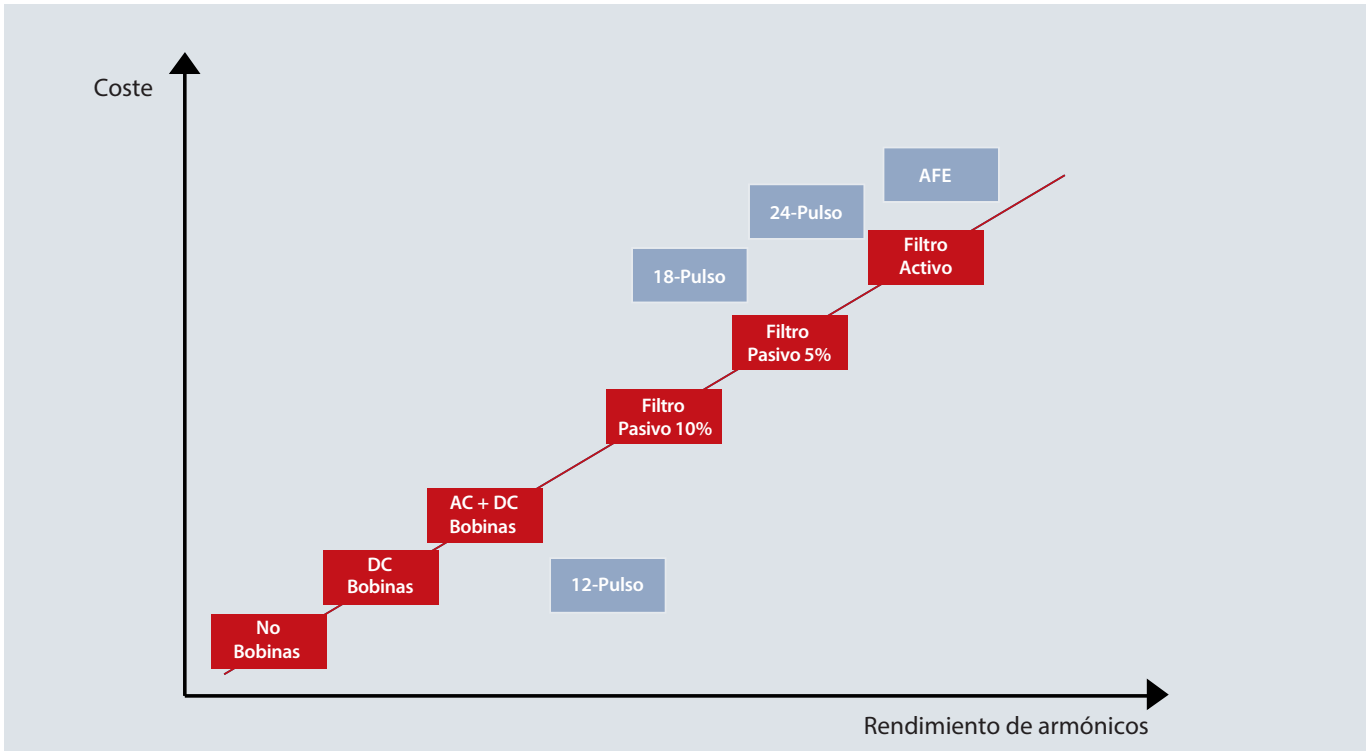
Un AFE siempre necesita una tensión del enlace de CC más elevada para funcionar correctamente. En muchas ocasiones, esta tensión más elevada pasa al motor y genera más esfuerzo en su aislamiento. Si no se separan los enlaces de CC de los dispositivos AFE, el fallo del filtro puede originar un fallo en todo el dispositivo.

La pérdida de potencia puede ser un 40 % o un 50 % mayor que la de los convertidores de frecuencia con rectificadores no controlados. Otra desventaja, es la frecuencia de reloj utilizada por los dispositivos para la corrección de la corriente de entrada. Se sitúa en el rango de 3 a 6 kHz.

Los dispositivos buenos (y relativamente complejos) filtran esta frecuencia de reloj antes de alimentar el sistema de red. Las normas y leyes aplicables actualmente no abarcan este rango de frecuencia. Los analizadores de red disponibles actualmente no adquieren datos en este rango de frecuencia y no permiten, por ello, la medición de los efectos.

Sin embargo, se pueden ver en todos los dispositivos que funcionan en el sistema de red afectado, como por ejemplo en la forma de corriente de entrada aumentada con fuentes de alimentación. Los efectos solo se percibirán en años posteriores. Por consiguiente, los operadores deberían preguntar específicamente a los fabricantes los niveles de emisión y las contramedidas para garantizar la fiabilidad del funcionamiento de sus propios sistemas.

Nota: *en ningún documento se especifica que los dispositivos de producción de serie deban adaptarse a los límites definidos en la norma EN 61000-3-12. Es totalmente posible, que un convertidor de frecuencia cumpla estos límites solo cuando se combina con un filtro suplementario.*



Descripción general de las medidas de reducción de armónicos

Aspectos prácticos de la interferencia de alta frecuencia (RFI)

Interferencia de radiofrecuencia

Los convertidores de frecuencia generan frecuencias de campo rotativas variables a las correspondientes tensiones de motor debido a impulsos de corriente rectangular de anchura variable. Los flancos escarpados de impulsos contienen componentes de alta frecuencia. Los cables del motor y los convertidores de frecuencia radian estos componentes y los dirigen al sistema de red a través del cable.

Los fabricantes utilizan filtros de interferencia de radiofrecuencia (RFI) (también llamados filtros de red o filtros de EMC) para reducir el nivel de este tipo de interferencia en la alimentación de la red.

Sirven para proteger dispositivos contra la interferencia conducida de alta frecuencia (insensibilidad al ruido) y para reducir la cantidad de interferencia de alta frecuencia emitida por un dispositivo por el cable de red o por la radiación del cable de red.

Los filtros tienen la finalidad de limitar estas emisiones de interferencia a un nivel legal específico, lo cual quiere decir que siempre que se pueda, deberían instalarse de serie en el equipo. Al igual que sucede con las bobinas de circuito intermedio de red, en el caso de filtros RFI, la calidad del filtro que se va a utilizar debe definirse claramente.

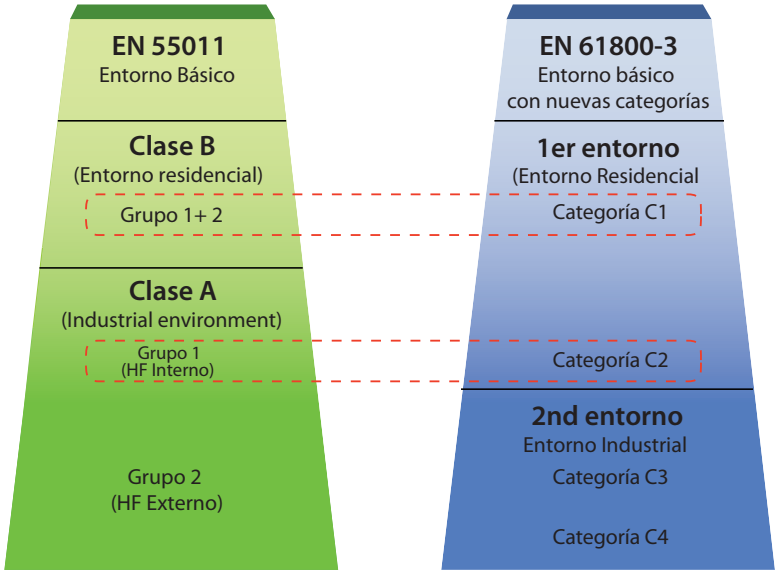
En la norma de productos EN 61800-3 y en la norma genérica EN 55011 se definen límites específicos para niveles de interferencia.

Las normas y las directivas definen los límites

Se deben observar dos normas para poder evaluar completamente la interferencia de radiofrecuencia.
La primera es la norma medioambiental EN 55011, que define los límites según el entorno básico: ya se trate de un entorno industrial (clase A1 y A2) o residencial (clase B). Además, la norma de productos EN-61800-3 para sistemas de convertidores de frecuencia eléctricos, que entró en vigor en junio de 2007, define nuevas categorías (C1 a C4) para las áreas de aplicación del dispositivo.

Aunque son comparables a las clases anteriores en términos de límites, permiten una gama de aplicación más amplia dentro del alcance de la norma de producto.

Comparación de niveles de interferencia



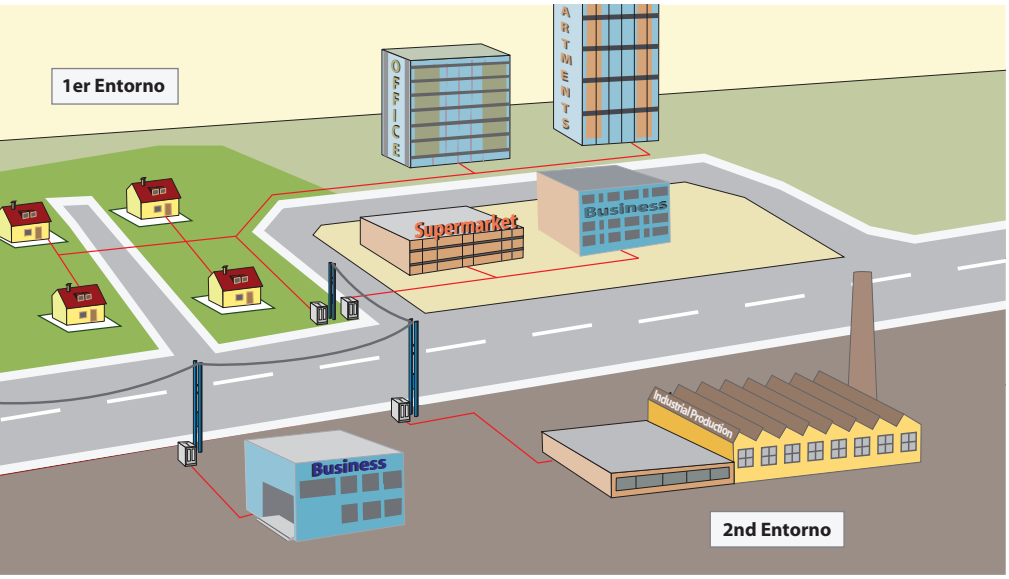
La comparación de las nuevas categorías C1 a C4 definida por la norma de productos EN 61800-3 y las clases A y B de la norma medioambiental EN 55011.

Norma de productos EN 61800-3 (2005-07) para sistemas de convertidores de frecuencia eléctricos				
Clasificación por categoría	C1	C2	C3	C4
Entorno	1.er entorno	1.º o 2.º Entorno (decisión del operador)	2.º entorno	2.º entorno
Tensión/corriente	<1000 V			>1000 V En >400 A Conexión a la red de IT
Conocimientos en EMC	Ningún requisito	Instalación y puesta en marcha por un experto en EMC		Plan EMC necesario
Límites según EN 55011	Clase B	Clase A1 (con advertencia)	Clase A2 (con advertencia)	Los valores superan la Clase A2

Clasificación de las nuevas categorías C1 a C4 de la norma de productos EN 61800-3

Nota: *los operadores de la instalación deben cumplir con la norma EN 55011 en caso de problemas. Los fabricantes del convertidor deben cumplir la norma EN 61800-3.*

Aspectos prácticos del 1.º y 2.º entorno



Clasificación de entornos de funcionamiento en el primer y segundo entorno y en entornos especiales en los que puede elegir el operador.

El lugar de funcionamiento es el factor decisivo

Los límites para cada entorno se especifican en las normas correspondientes, pero ¿cómo se asignan los dispositivos a los diferentes tipos de entornos? Una vez más, las normas EN 55011 y EN 61800-3 ofrecen información relativa a los sistemas de convertidores de frecuencia y componentes eléctricos.

1.er entorno / Clase B: entorno residencial

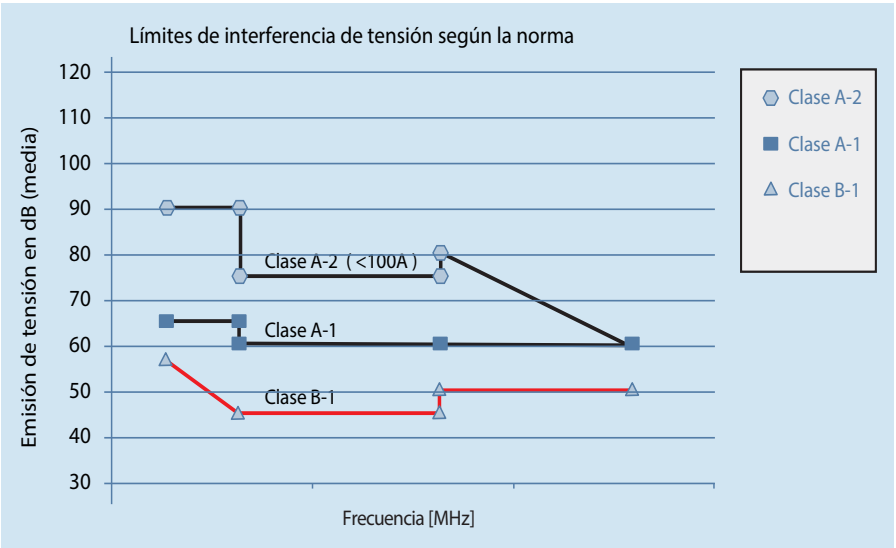
Todos los lugares de funcionamiento conectados a la red eléctrica pública de baja tensión, incluyendo áreas de industria ligera, se clasifican como entornos residenciales o empresariales y comerciales. No tienen transformadores de distribución propios de alta tensión o media tensión para un sistema de red separado. Las clasificaciones de entornos se aplican tanto dentro como fuera de los edificios. Algunos ejemplos son áreas empresariales, edificios y áreas residenciales, restaurantes y negocios dedicados al ocio, aparcamientos, instalaciones deportivas y para espectáculos.

2.º entorno / Clase A: entorno industrial

Los entornos industriales son plantas de funcionamiento que no están conectadas directamente a la red eléctrica pública de baja tensión, sino que poseen sus propios transformadores de distribución de alta tensión o media tensión. También se definen como tales en el registro de la propiedad y se caracterizan por condiciones electromagnéticas específicas:

- la presencia de dispositivos científicos, médicos o industriales;
- conmutación de grandes cargas inductivas y capacitivas;
- incidencia de fuertes campos magnéticos (por ejemplo, debido a corrientes altas).

Las clasificaciones de los entornos se aplican tanto dentro como fuera de los edificios.



Entornos especiales

Aquí los usuarios pueden decidir en qué tipo de entorno clasificarán su instalación. Esto supone que el área tiene su propio transformador de media tensión y está diferenciada claramente de otras áreas. Dentro de esta área, el usuario es personalmente responsable de garantizar la compatibilidad electromagnética necesaria para permitir el funcionamiento sin problemas de todos los dispositivos en determinadas condiciones. Algunos ejemplos de entornos especiales son los centros comerciales, supermercados, estaciones de servicio, edificios de oficinas y almacenes.

Sin compromisos

Si se utiliza un convertidor de frecuencia que no es conforme con la Categoría C1, se debe suministrar el dispositivo con una nota de advertencia. Esto será responsabilidad del usuario o del operador.

En caso de interferencia, los expertos siempre basan la eliminación de interferencias en los límites definidos para las clases A1/A2 y B en la norma general EN 55011 de acuerdo con el entorno de funcionamiento. El coste de la solución de los problemas de EMC será por cuenta del operador. El usuario es el último responsable de la clasificación adecuada de dispositivos con respecto a estas dos normas.

Aspectos prácticos de las principales medidas de protección

Factor de corrección de potencia

El equipamiento de corrección del factor de potencia sirve para reducir el factor de potencia (φ) entre la tensión y la corriente y desplazar el factor de potencia más cerca de la unidad (coseno φ). Esto es necesario cuando en un sistema de distribución eléctrica se utiliza un gran número de cargas inductivas, como motores o lámparas estabilizadoras.

Dependiendo del diseño del enlace de CC, los convertidores de frecuencia no consumen ninguna potencia reactiva del sistema de red ni generan cambio de fase alguno. Tienen un coseno φ de aproximadamente 1. Por esta razón, los usuarios de motores con control de velocidad no tienen que tenerlos en cuenta a la hora de dimensionar cualquier equipamiento de corrección del factor de potencia que pueda ser necesario. Sin embargo, la corriente consumida por el equipo de corrección de fase aumenta porque los convertidores de frecuencia generan armónicos. La carga en los condensadores aumenta a medida que el número de generadores de armónicos aumenta y se calientan más. Por estas razones, el operador debe instalar bobinas de circuito intermedio en el equipo de corrección del factor de potencia. Estas bobinas de circuito intermedio evitan resonancias entre inductancias de carga y la capacitancia del equipo de corrección del factor de potencia.

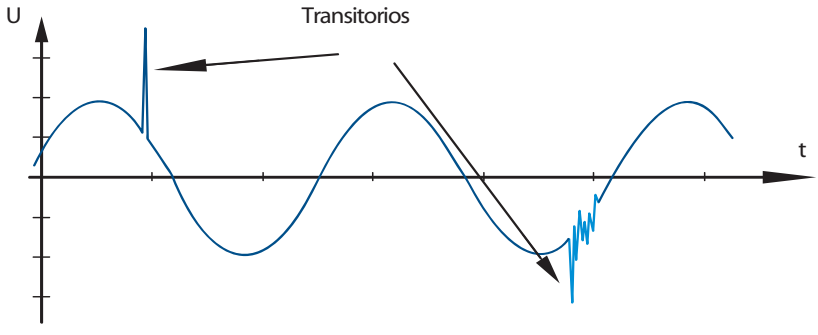
Los conversores con coseno j <1 también requieren bobinas de circuito intermedio en el equipo de corrección del factor de potencia. El usuario debe considerar el nivel de potencia reactiva más alto a la hora de dimensionar los cables.

Transitorios de red

Los transitorios son breves picos de tensión en el rango de unos pocos miles de voltios. Pueden ocurrir en todo tipo de sistemas de distribución de potencia, tanto en entornos industriales como residenciales.

Los rayos son una causa frecuente de transitorios. Sin embargo, también son causados por cargas grandes de conmutación en línea o fuera de línea o cuando se conmuta otro equipo, como, por ejemplo, un equipo de corrección del factor de potencia. Cortocircuitos, desconexiones de disyuntores en sistemas de distribución de potencia y acoplamientos inductivos entre cables paralelos también pueden producir transitorios.

La norma EN 61000-4-1 describe las formas de estos transitorios y la energía que contienen. Sus efectos nocivos pueden limitarse usando diversos métodos. Se utilizan descargadores de gas contra sobretensiones y explosores para ofrecer una protección de primer nivel contra los transitorios de alta energía. Para una protección de segundo nivel, la mayoría de los dispositivos electrónicos utilizan resistores (varistores) que dependen de la tensión para atenuar los transitorios. Los convertidores de frecuencia también utilizan este método.



Los rayos son la causa más frecuente de transitorios de red en plantas para tratamiento de aguas y aguas residuales.



Aspectos prácticos del funcionamiento con un transformador o generador de reserva

Uso máximo del transformador

En sistemas de baja tensión (400 V, 500 V y 690 V), los operadores pueden utilizar convertidores de frecuencia con control de velocidad con índices de hasta 1 MW. Un transformador convierte la tensión de la red eléctrica de media tensión en la tensión requerida. En la red eléctrica pública (entorno 1: entorno residencial) es responsabilidad de la compañía eléctrica.

En sistemas de red industrial (entorno 2: entorno industrial; normalmente 500 V o 690 V), el transformador está ubicado en las instalaciones del usuario final que también es responsable de la alimentación de la instalación del usuario.

Carga de transformador

En el caso de transformadores que suministran potencia a los convertidores de frecuencia, debe tenerse en cuenta que el uso de los convertidores de frecuencia y otras cargas de rectificador da lugar a la generación de armónicos que ponen una carga reactiva adicional en el transformador.

Esto produce pérdidas más elevadas y aumenta el calentamiento. En el peor de los casos, esto puede conducir a la destrucción del transformador. Los grupos de vectores inteligentes (varios transformadores conectados entre sí) también pueden generar armónicos en determinadas condiciones.

Calidad de la potencia

Para garantizar la calidad de la potencia de la red de acuerdo con las normas aplicables, usted necesita saber cuánta carga del convertidor de frecuencia puede manejar el transformador.

Los programas de análisis de redes como el software de cálculo de armónicos VLT® MCT 31 proporcionan una indicación exacta de cuánta carga de convertidor de frecuencia puede suministrar un transformador en un sistema específico.

Observación: *todos los convertidores de frecuencia de la serie VLT® AQUA Drive están equipados de serie con bobinas de circuito intermedio para interferencias de red.*

Funcionamiento con un generador de reserva

Los operadores utilizan sistemas de potencia de reserva para aquellos casos en que el funcionamiento continuado de dispositivos alimentados por la red es necesario, incluso en el caso de fallo de red. También se utilizan cuando la conexión de red disponible no puede suministrar suficiente potencia. El funcionamiento en paralelo con la red eléctrica pública también es posible para conseguir una potencia de red mayor. Esto es algo habitual cuando también se necesita calor, como en las unidades combinadas de potencia eléctrica y térmica. Estas se aprovechan de la elevada eficiencia que se pueden alcanzar con esta forma de conversión de energía.

Cuando la potencia de reserva es suministrada por un generador, la impedancia de la red suele ser mayor que si la potencia se toma de una red pública. Esto hace que la distorsión armónica total aumente. Con un diseño adecuado, los generadores pueden operar en un sistema que contiene generadores de armónicos.

En la práctica, esto significa que cuando el sistema conmuta de funcionamiento en red a alimentación desde el generador, es habitual que la carga de armónicos aumente.

Los diseñadores y operadores de servicios de instalaciones deberían calcular o medir el incremento de la carga de armónicos para garantizar que la calidad de la potencia cumpla las reglamentaciones y que, por ello, evita problemas y fallos de equipos.

Se debe evitar la carga asimétrica del generador, puesto que produce mayores pérdidas y puede hacer que la distorsión armónica total aumente. Un escalonamiento 5/6 del bobinado del generador atenúa el quinto y séptimo armónico, pero permite el aumento del tercer armónico. Un escalonamiento 2/3 reduce el tercer armónico. Si es posible, el operador debería desconectar el equipo de corrección del factor de potencia porque pueden darse resonancias en el sistema.

Las bobinas de circuito intermedio o los filtros de absorción activos pueden atenuar los armónicos. Las cargas resistivas en paralelo también tienen un efecto atenuante, mientras que las cargas capacitivas en paralelo crean una carga adicional debido a los imprevisibles efectos de resonancia.

Si se tienen en cuenta estos fenómenos, un sistema de red alimentado por un generador puede alimentar una determinada cantidad de convertidores de frecuencia manteniendo al mismo tiempo la calidad de potencia especificada. Puede realizarse un análisis más exacto usando un software de análisis de red, como el software de cálculo de armónicos VLT® MCT 31.

En caso de funcionamiento con generadores de armónicos, se configuran los siguientes límites:

Rectificadores B2 y B6	→ máx. 20 % de la carga nominal del generador
Rectificador B6 con bobina de choque	→ máx. 20-35 % de la carga nominal del generador según la composición
Rectificador B6 controlado	→ máx. 10 % de la carga nominal del generador

Se recomiendan las cantidades máximas de carga anteriores como valores guía, basados en la experiencia y que permitan un funcionamiento de la instalación sin problemas.

Paso 2: Aspectos prácticos de las condiciones del entorno y del medio ambiente

La ubicación correcta para la instalación

El máximo tiempo de funcionamiento y una vida útil prolongada de los convertidores de frecuencia en funcionamiento solo son posibles con una refrigeración adecuada y aire limpio.

Por consiguiente, elegir la ubicación de la instalación y las condiciones de instalación tienen un efecto decisivo en la vida del mismo.

Montaje en armario frente a montaje en pared

La pregunta de si un convertidor de frecuencia debería instalarse en un armario o en la pared no tiene una respuesta fácil. Ambas opciones tienen ventajas y desventajas.

El montaje en armario tiene la ventaja de que todos los componentes eléctricos y electrónicos están localizados cerca unos de otros y protegidos por el alojamiento (el armario).

El armario también viene completamente montado como una unidad completa para su instalación en la planta.

Una desventaja es que los componentes pueden influirse mutuamente debido al poco espacio dentro del armario, lo que quiere decir que debe prestarse especial atención a que la disposición del armario cumpla los requisitos EMC. Además, los costes de inversión para cables de motor apantallados son mayores porque el armario y el convertidor de frecuencia están situados por lo general mucho más apartados que en una instalación local.

El montaje en pared es más fácil en cuanto a términos de EMC debido a la proximidad entre los convertidores de frecuencia.

Se reduce la longitud de los cables de motor apantallados y, en consecuencia, el coste se reduce considerablemente. El coste algo más elevado de un convertidor de frecuencia con una protección IP54 puede compensarse fácilmente con la reducción del coste de cableado e instalación. Sin embargo, en la práctica alrededor del 70 % de los dispositivos van montados en armarios.

Observación:
los convertidores de frecuencia de Danfoss están disponibles con tres clasificaciones de protección diferentes:

- *IP 00 o IP 20 para instalación en armario;*
- *IP 54 o IP 55 para montaje local;*
- *IP 66 para condiciones ambientales críticas, como humedad (del aire) extremadamente alta o concentraciones altas de polvo o gases agresivos.*



Los convertidores de frecuencia pueden instalarse de forma centralizada (en un armario) o localmente (cerca de la unidad). Ambas opciones tienen ventajas y desventajas.

Aspectos prácticos de las Clasificaciones IP



Los convertidores con contactos protegidos con clasificación de protección IP 20 o IP 21 (derecha) están diseñados para el montaje en armario. Los convertidores a prueba de salpicaduras con clasificación de protección IP 54 o IP 55 (izquierda) están diseñados para el montaje en pared o en bastidor

Esquema de clasificación IP según IEC 60529

		Contra la penetración de objetos sólidos extraños	Contra el acceso a piezas peligrosas por
Primer dígito	0	(no protegido)	(no protegido)
	1	≥50 mm de diámetro	Dorso de la mano
	2	12,5 mm de diámetro	Dedo
	3	2,5 mm de diámetro	Herramienta
	4	≥1,0 mm de diámetro	Cable
	5	Protección al polvo	del polvo
	6	Cable	hermético

		Contra la penetración de agua con efecto nocivo	
Segundo dígito	0	(no protegido)	
	1	Gotas que caen verticalmente	
	2	Caídas con un ángulo de 15°	
	3	Agua pulverizada	
	4	Salpicaduras de agua	
	5	Chorros de agua	
	6	Potentes chorros de agua	
	7	Inmersión temporal	
	8	Inmersión a largo plazo	

		Información adicional específicamente para	
Primer dígito	A		Dorso de la mano
	B		Dedo
	C		Herramienta
	D		Cable

		Información adicional específicamente para	
Letra adicional	H	Dispositivo de alta tensión	
	M	Dispositivo que se desplaza durante la prueba de agua	
	S	Dispositivo fijo durante la prueba de agua	
	W	Condiciones atmosféricas	

Los dígitos que falten son sustituidos por «x».

Aspectos prácticos del diseño de refrigeración

Conformidad con las especificaciones de temperatura ambiente

Las condiciones climáticas externas y las condiciones del entorno tienen un claro efecto en la refrigeración de todos los componentes eléctricos y electrónicos en una sala de control o armario.

Se especifican límites de temperatura ambiente mínimos y máximos para todos los convertidores de frecuencia. Estos límites vienen determinados a menudo por los componentes electrónicos que se emplean. Por ejemplo, la temperatura ambiente de los condensadores electrolíticos instalados en el enlace de CC deben permanecer dentro de determinados límites debido a la dependencia de temperatura de su capacitancia. Aunque los convertidores de frecuencia pueden funcionar a temperaturas de hasta -10 °C, los fabricantes solo garantizan un funcionamiento correcto con una carga nominal con temperaturas de 0 °C o superiores. Esto significa que debería evitar utilizarlos en áreas con escarcha, como salas sin aislamiento.

No debería sobrepasar el límite máximo de temperatura. Los componentes electrónicos son sensibles al calor.

Según la ecuación de Arrhenius, la vida de un componente electrónico disminuye en un 50 % por cada 10 °C en que funciona por encima de su temperatura prevista. Esto no se limita a los dispositivos instalados en armarios. Incluso los dispositivos con clasificación de protección IP54, IP55 o IP66 solo pueden usarse dentro de los rangos de temperatura ambiente especificados en los manuales. A veces es necesaria la climatización de las salas o armarios de instalación. Si se evitan temperaturas ambiente extremas, se prolonga la vida de los convertidores de frecuencia y con ello, la fiabilidad de todo el sistema.

Refrigeración

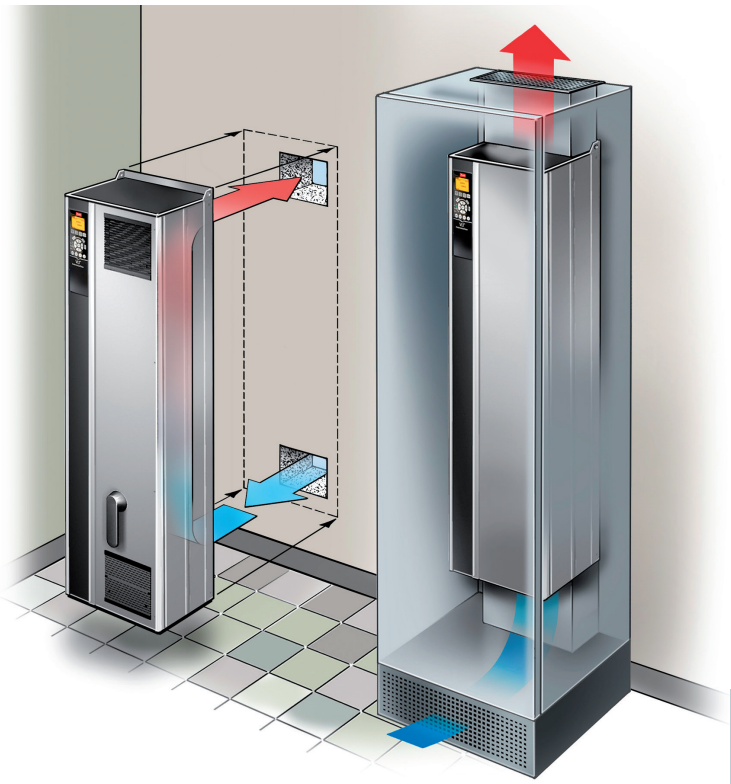
Los convertidores de frecuencia disipan la potencia en forma de calor. La cantidad de disipación de potencia en vatios aparece en los datos técnicos del convertidor de frecuencia. Los operadores deberían adoptar las medidas adecuadas para eliminar el calor disipado por el convertidor de frecuencia desde el armario, por ejemplo mediante ventiladores dentro del armario. El caudal de aire necesario aparece en la documentación del fabricante. Los convertidores de frecuencia deben instalarse de modo que el aire de refrigeración pueda fluir sin obstáculos a través de las aletas de refrigeración del dispositivo. Especialmente con dispositivos IP20 en armarios, hay un riesgo de circulación de aire inadecuada debido a la reducida distancia de montaje entre los componentes del armario, lo que causa la formación de bolsas de calor. Consulte los manuales para conocer las distancias de montaje correctas, que deben respetarse en todo momento.

Humedad relativa

Si bien algunos convertidores de frecuencia pueden funcionar correctamente con una humedad relativamente alta (convertidores de frecuencia de Danfoss con hasta un 95 % de humedad relativa), siempre debe evitarse la condensación. Hay un riesgo específico de condensación cuando el convertidor de frecuencia o algunos de sus componentes están más fríos que el aire ambiente húmedo. En esta situación, la humedad en el aire puede condensarse en los componentes electrónicos.

Cuando se conecta de nuevo el dispositivo, las gotitas de agua pueden causar cortocircuitos en el dispositivo. Esto suele ocurrir solamente con convertidores de frecuencia desconectados de la red. Por esta razón, es aconsejable instalar un calefactor de armario en situaciones donde hay una posibilidad real de condensación debido a las condiciones ambiente. Alternativamente, operar el convertidor de frecuencia en modo de espera (con el dispositivo conectado constantemente a la red) puede ayudar a reducir el riesgo de condensación. Sin embargo, debería comprobar si la disipación de potencia es suficiente para mantener secos los circuitos en el convertidor de frecuencia.

Nota: *algunos fabricantes especifican distancias laterales mínimas así como distancias mínimas superiores e inferiores. Observe estas especificaciones.*



El diseño de refrigeración inteligente de convertidores de frecuencia VLT® elimina hasta el 85 % del calor disipado de la protección del dispositivo a través de conductos de refrigeración.

Aspectos prácticos de requisitos específicos

Parámetros del ambiente	Unidad	Clase				
		3C1	3C2		3C3	
			Valor medio	Valor máximo	Valor medio	Valor máximo
Sal marina	mg/m3	No	Neblina salina		Neblina salina	
Óxidos de azufre	mg/m3	0,1	0,3	1,0	5,0	10
Sulfuro de hidrógeno	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 de hidrógeno	mg/m3	0,01	0,1	0,5	1,0	5,0
Fluoruro de hidrógeno	mg/m3	0,003	0,01	0,03	0,1	3,0
Amoníaco	mg/m3	0,3	1,0	3,0	10	35
Ozono	mg/m3	0,01	0,05	0,1	0,1	0,3
Nitrógeno	mg/m3	0,1	0,5	1,0	3,0	9,0

Clasificación según IEC 60721-3-3; los valores medios son valores anticipados a largo plazo. Los valores máximos son valores pico transitorios que no tienen lugar durante más tiempo que 30 minutos al día.

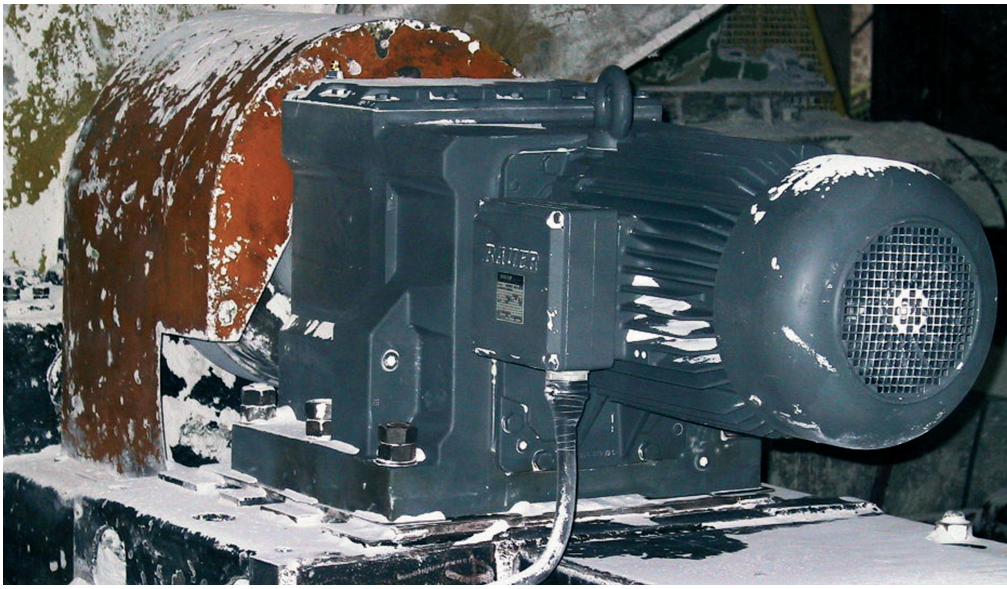
Entorno o gases agresivos

Los gases agresivos, como el sulfuro de hidrógeno, cloro o amoníaco, están a menudo presentes en instalaciones de tratamiento de aguas residuales o piscinas. La contaminación del aire de refrigeración puede causar la descomposición gradual de componentes electrónicos y pistas de PCB en convertidores de frecuencia. Los dispositivos electrónicos en sistemas eléctricos o armarios son especialmente sensibles. Si el aire ambiente está contaminado de esta manera, el operador o el ingeniero de la planta debería instalar el convertidor de frecuencia en una ubicación donde pudiera excluirse de forma segura la posibilidad de contaminación (un edificio diferente, un armario sellado con un intercambiador de calor, etc.) o solicitar dispositivos cuyas placas de circuitos estén revestidas con un barniz protector especial que sea resistente a los gases agresivos.

Una señal clara de un ambiente agresivo es la corrosión del cobre. Si se vuelve oscuro rápidamente, forma ampollas o incluso se descompone, deberían usarse placas de circuitos o dispositivos con un barnizado suplementario. Los medios específicos y concentraciones de medios que puede resistir un revestimiento se describen en la norma internacional IEC 60721-3-3.

***Nota:** debería tener en cuenta en la fase de diseño y de ingeniería del proyecto la procedencia del aire de refrigeración para el equipamiento electrónico. Por ejemplo, en una instalación de tratamiento de aguas residuales debería evitar extraer aire del área de entrada, y con una piscina debería evitar extraer aire del área de tratamiento de aguas.*

***Observación:** las unidades VLT® AQUA Drive se entregan de serie con un barnizado clase 3C2. Si se solicita, el barnizado clase 3C3 también está disponible.*



Exposición al polvo

En la práctica la instalación de convertidores de frecuencia en entornos con una alta exposición al polvo es a menudo inevitable. Este polvo forma depósitos en todas partes y se introduce incluso por las grietas más pequeñas. Esto afecta no sólo a convertidores de frecuencia montados localmente (pared o bastidor) con clasificación de protección IP55 o IP66, sino también a dispositivos montados en armarios con clasificación de protección IP 21 o IP 20.

Se deben considerar los tres aspectos descritos a continuación cuando se instalan convertidores de frecuencia en estos entornos.

Refrigeración reducida

El polvo forma depósitos en la superficie del dispositivo y dentro del dispositivo en las placas de circuitos y los componentes electrónicos. Estos depósitos funcionan como capas de aislamiento y obstaculizan la transferencia de calor de los componentes al aire ambiente, lo cual reduce la capacidad de refrigeración. Los componentes se calientan aún más. Esto produce un envejecimiento acelerado de los componentes electrónicos al tiempo que disminuye la vida útil del convertidor de frecuencia. Lo mismo sucede cuando los depósitos de polvo se forman en el disipador en la parte posterior del convertidor de frecuencia.

Ventiladores de refrigeración

El caudal de aire para refrigerar convertidores de frecuencia es producido por ventiladores de refrigeración localizados normalmente en la parte trasera del dispositivo. Los rotores del ventilador poseen pequeños cojinetes a través de los cuales penetra el polvo actuando como un abrasivo, lo cual produce un fallo del ventilador debido al daño del cojinete.

Manto de filtro

Los convertidores de frecuencia de alta potencia están equipados con ventiladores de refrigeración que expelen aire caliente desde el interior del dispositivo. A partir de un determinado tamaño, estos ventiladores se equipan con manto de filtro que evitan la entrada de polvo en el dispositivo. Estos mantos de filtro se atascan rápidamente cuando se utilizan en entornos muy polvorientos y los ventiladores dejan de refrigerar correctamente los componentes dentro del convertidor de frecuencia.

Nota: *en las condiciones descritas anteriormente, es aconsejable limpiar el convertidor de frecuencia durante el mantenimiento periódico. Elimine el polvo soplando el disipador de calor y los ventiladores y limpie los mantos de filtro.*

Aspectos prácticos de los entornos potencialmente explosivos

Entornos potencialmente explosivos

Ej. d: **Protección ignífuga**



Con la clase de protección de ignición «d», el dispositivo está diseñado para garantizar que si se produce una chispa en un área protegida (como dentro de una protección), no saldrá del área protegida.

Ej. e: **Más seguridad**



Con la clase de protección de ignición «e», la protección impide que se acumule la energía suficiente para causar chispas.

***Nota:** nunca instale un convertidor de frecuencia directamente en un área con un entorno potencialmente explosivo. Se debe instalar en un armario fuera de esta área. También se recomienda utilizar un filtro senoidal en la salida del convertidor de frecuencia porque atenúa la tasa de aumento de tensión dv/dt y la tensión pico U. El cable del motor conectado debería mantenerse lo más corto posible debido a la caída de tensión en el cable.*

***Observación:** los convertidores de frecuencia VLT® AQUA Drive de Danfoss con la opción MCB 112 tienen capacidad certificada PTB de controlar el sensor del termistor del motor para entornos potencialmente explosivos. Los cables de motor apantallados no son necesarios cuando los convertidores de frecuencia VLT® funcionan con filtros de salida senoidales.*

Los sistemas de convertidores de frecuencia operan en entornos potencialmente explosivos. Un ejemplo es el área de entrada de una instalación de tratamiento de aguas residuales. Si se utilizan convertidores de frecuencia para el control de velocidad de convertidores de frecuencia en tales áreas, la instalación debe cumplir condiciones especiales que se describen en la directiva de la UE 94/9/CE, denominada directiva ATEX. Esta normativa, describe el uso y funcionamiento del equipamiento y dispositivos protectores en entornos potencialmente explosivos. Esta directiva armoniza las reglamentaciones y los requisitos en la UE para el funcionamiento de dispositivos eléctricos y electrónicos en entornos potencialmente explosivos, como los que pueden causar el polvo o los gases.

Si los convertidores de frecuencia se utilizan para controlar motores en entornos potencialmente explosivos, estos motores deben equiparse con control de temperatura mediante un sensor de temperatura PTC. Pueden utilizarse motores con protección de ignición clase «d» o «e». Estas clases de protección de ignición, son diferentes en cuanto a cómo se evita la ignición de un medio explosivo. En la práctica, raramente se utilizan convertidores de frecuencia con motores de clase «e». Esta combinación debe ser aprobada como una unidad, lo que implica una prueba de tipo cara y complicada. Sin embargo, el PTB de Braunschweig (Alemania) ha desarrollado un nuevo procedimiento de aprobación que utilizará controladores de velocidad con motores de clase «e» considerablemente más atractivos en el futuro. El nuevo concepto exige la aceptación solamente del motor, definiendo adicionalmente requisitos específicos para el control térmico en el proceso de certificación de prueba de tipo de CE. Así, por ejemplo, se requiere limitar la corriente dependiente de la velocidad además del habitual control de termistor de PTC certificado para tratar la refrigeración reducida de motores autoventilados con control de velocidad variable.

Aunque esto no requiere una aprobación separada de motores de clase «d», la introducción de cables en el área «d» es muy complicada. Los motores con clase de protección «d» son los más empleados. En este caso, el motor mismo tiene una clase de protección de ignición «d», mientras que el espacio de conexión se implementa de conformidad con la clase de protección de ignición «e». La restricción del espacio de conexión «e» se compone de la tensión máxima que se puede introducir en este espacio. Dada la modulación por anchura de impulsos de la tensión de salida, la mayor parte de las salidas de los convertidores de frecuencia tienen tensiones pico que sobrepasan los límites admisibles de protección de ignición de clase «e». En la práctica, utilizando un filtro de onda senoidal en la salida del convertidor de frecuencia ha demostrado ser una forma efectiva de atenuar las tensiones de pico altas.



Etiquetado de dispositivos para el funcionamiento en entornos potencialmente explosivos de acuerdo con la directiva de productos ATEX (94/9/CE)

Paso 3: Aspectos prácticos de motores y cableado

Clases de rendimiento mínimos para motores

Rendimiento mínimo obligatorio

La clasificación de rendimiento surgió en 1998 como resultado de un compromiso voluntario del Comité Europeo de Fabricantes de Máquinas Eléctricas y Electrónicas de Potencia (EMCEP)
A partir del verano de 2011, los motores asíncronos trifásicos están obligados a unos estándares mínimos obligatorios de rendimiento (MEPS) en la UE. Los reglamentos de la UE ofrecen requisitos de rendimiento del motor cada vez más estrictos en un proceso escalonado que se completará el año 2017.

La base para estas clases de rendimiento mínimo, también denominadas estándares mínimos de rendimiento energético (MEPS), está formada por las clases de rendimiento internacional (IE) definidas en la norma IEC 60034-30 y reconocidas internacionalmente. Los límites de estas clases son, en parte, comparables a aquellos de las clases Eff ampliamente utilizados en Europa.

Clases IE y Eff: diferencias principales al detalle

A pesar de que los límites de las dos normas son comparables, difieren en los métodos subyacentes a la hora de calcular el rendimiento. El rendimiento de las clases Eff se basa en la determinación de las pérdidas individuales (IEC 60034-2:1996), un método que data de hace 100 años. Por el contrario, el rendimiento de las clases IE se calcula empleando un método más preciso.

Los resultados medidos obtenidos usando el método aceptado para las clases IE son, generalmente, generalmente de un 2 a un 3% peores que con el método antiguo a niveles de potencia de hasta 10 kW y alrededor de un 1 % peores a niveles de potencia de 100 kW o superiores. La norma tiene en cuenta estas diferencias para la armonización de las clases IE y Eff.

Además de las clases IE1 a IE3 definidas por la norma IEC 60034-30, la versión borrador de la IEC 60034-31 define una nueva clase: IE4. Las clases de IE1 a IE3 están orientadas primordialmente hacia motores alimentados por red, mientras que la IE4 también tiene en cuenta aspectos relevantes para motores de velocidad variable.

Actualmente, el IE4 no es obligatorio. Solo se utiliza para realizar comparaciones con otras clases de rendimiento.

IEC 60034-30	Clases Eff
IE1 (rendimiento normal)	Comparable a Eff2
IE2 (alto rendimiento)	Comparable a Eff1
IE3 (rendimiento superior)	Aproximadamente un 15-20 % mejor que IE2

Las clases de rendimiento IE1-IE3 se definen en la norma internacional IEC 60034-30. Las clases Eff están basadas en un acuerdo voluntario entre la UE y el EMCEP en 1998.

Motores trifásicos afectados

La conformidad con el MEPS es obligatoria para los tipos siguientes de motores trifásicos:
- Ciclo de trabajo S1 (trabajo continuo) o S3 (trabajo periódico intermitente) con un ciclo de trabajo mayor que el 80 %.
- Recuento de polos de 2 a 6 Potencia nominal 0,75 a 375 kW
- Tensión nominal hasta 1000 V

La introducción del MEPS tiene la finalidad de ayudar a reducir el consumo de energía. Sin embargo, en raras ocasiones este enfoque puede traducirse en un mayor consumo de energía. Por esta razón, el reglamento de la UE 640/2009 describe excepciones técnicamente razonables para diversas áreas de aplicación.

Son:
- Motores en entornos potencialmente explosivos (como se menciona en la Directiva 94/9/CE) y motores de freno
- Motores especiales para su uso en cualquiera de las siguientes condiciones de funcionamiento:
  - temperatura ambiente por encima de 40 °C;
  - temperatura ambiente por debajo de 15 °C (0 °C para motores refrigerados por aire); temperatura de funcionamiento por encima de 400 °C; temperatura de refrigeración de agua por debajo de 5 °C o por encima de 25 °C;
  - funcionamiento en altitudes por encima de 1000 m;
- motores completamente integrados en un producto, como motores engranados, bombas o ventiladores, o que durante su funcionamiento están completamente inmersos en un medio fluido (p. ej., bombas sumergibles).

En Europa, el motor de un motor engranado no se considera un componente integral y se mide por separado. Con motores especiales se utiliza un método similar. Se calcula el motor base, y la clase de rendimiento se transfiere a las variantes de motor.

Aspectos prácticos de clasificación IE de los motores

Programa para la implementación de MEPS

El programa en el reglamento de la UE estipula un incremento escalonado en los requisitos de rendimiento del motor. Tras las fechas programadas, todos los motores trifásicos sujetos al reglamento deben cumplir los requisitos de la clase de rendimiento especificada si van a ser comercializados en Europa.
Los motores IE2 alimentados por convertidores también se aceptan como alternativa MEPS a la clase prevista IE3.

En el lugar de funcionamiento debe garantizarse la conformidad con la clase IE3 o la alternativa de IE2 con un convertidor de frecuencia.

	Potencia	MEPS	Alternativa a MEPS
A partir del 16 de junio de 2011	0,75 – 375 kW	IE2	-
A partir del 1 de enero de 2015	0,75 – 7,5 kW	IE2	-
	7,5 – 375 kW	IE3	IE2 con convertidor
A partir del 1 de enero de 2017	0,75 – 375 kW	IE3	IE2 con convertidor

Programa para la implementación de MEPS

Conformidad con las especificaciones de dimensiones de montaje según EN 50347

Los motores trifásicos síncronos conformes con las clases IE2 e IE3 son a menudo más grandes que los motores con un rendimiento inferior. Esto puede provocar problemas en la sustitución de motores más viejos.

La mayor parte de los motores IE2 son conformes con las alturas de eje y dimensiones de fijación normalizadas por la norma EN 50347, pero la forma constructiva es a menudo más grande. En muchos casos, los motores pequeños de clase superior IE3 de 50 Hz no cumplen las dimensiones de montaje de EN 50347.

Los operadores de las instalaciones deberían tener en cuenta esto en sus esquemas de sustitución del motor. Alternativa a IE3: IE2 más convertidor.

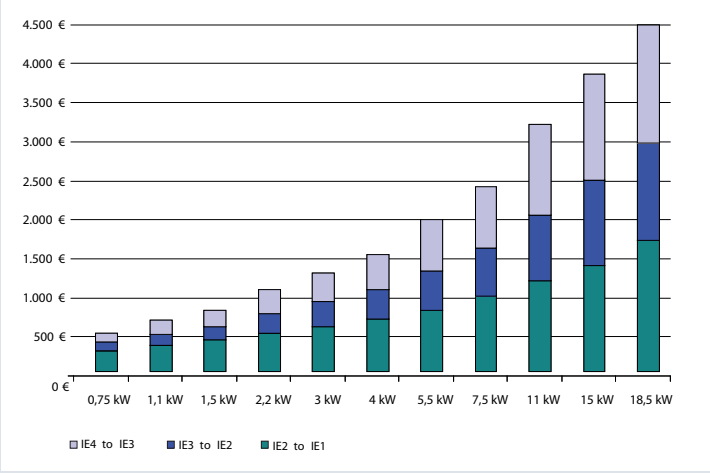
	Motor		
	IE1	IE2	IE3
Altura de eje (EN 50347)	Sí	Sí	Más grande
Dimensiones de fijación (EN 50347)	Sí	Sí	Más grande
Longitud del motor	Sí	Más largo	Más grande

Actualmente se espera que los motores trifásicos síncronos de las clases IE2 e IE3 no cumplan las dimensiones de montaje definidas en EN 50347.

Rentabilidad

Una cuestión justificada con respecto a la introducción de los motores IE es su rentabilidad. Se consigue un mayor rendimiento en parte empleando una proporción mayor de materiales activos en los motores. Según el tamaño del motor, usted puede suponer que un motor con una mejor clase de rendimiento le costará aproximadamente de un 10 a un 20 % más.

En la práctica, este coste adicional puede recuperarse rápidamente. El diagrama muestra la ventaja de costes energéticos de motor IE en comparación con un motor IE en la siguiente clase. Este análisis simplificado está basado en un funcionamiento continuo con la carga nominal, 60 000 horas de funcionamiento y un precio de electricidad de 8 céntimos de euro por kilovatio-hora.



Rentabilidad de la energía de un motor IE con relación a la siguiente mejor clase IE

***Nota:** el texto completo del reglamento de la UE 640/2009 puede descargarse gratuitamente desde la página web www.eur-lex.europa.eu.*

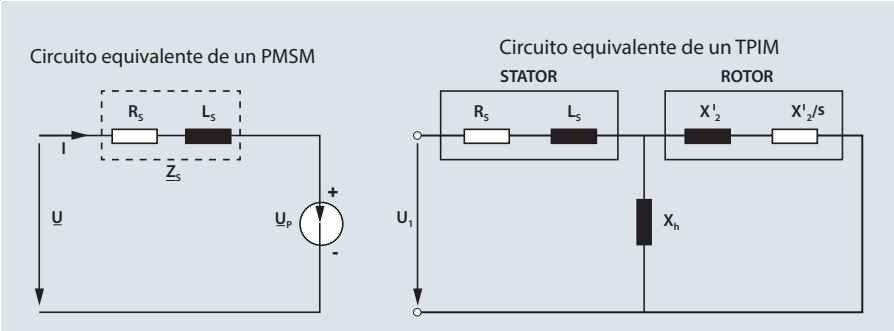
Aspectos prácticos de los motores EC y PM

Una tecnología con múltiples nombres

Requiere mucho esfuerzo aumentar el rendimiento de un motor de inducción trifásico (TPIM). Esto convierte a los motores síncronos de imanes permanentes en una buena alternativa. Comparados con los motores de inducción que ofrecen un rendimiento similar (p. ej., IE 3), estos motores son significativamente más compactos.

En la práctica, como usuario encontrará diversas subcategorías de estos motores con diferentes nombres. Las abreviaturas «PM» (imanes permanentes) y «PMSM» (motor síncrono de imanes permanentes) se utilizan a menudo en la industria, mientras que las denominaciones «EC» (conmutado eléctronicamente) y «BLDC» (corriente continua sin escobillas) son más comunes en la automatización de edificios.

La variedad y diversidad de nombres de los motores de imanes permanentes pueden ilustrarse tomando los motores EC como ejemplo. Los motores EC se usan normalmente como servomotores o motores de velocidad gradual en aplicaciones industriales. Con un tamaño de bastidor pequeño y compacto abarcan un rango eléctrico que se extiende a aproximadamente 300 vatios. La tensión de alimentación más habitual es 24 V.
La situación es diferente en sistemas de ventiladores para la automatización de edificios. Aquí, los motores trifásicos y monofásicos funcionan en unidades de ventiladores compactas para aplicaciones con requisitos eléctricos en el rango de kilovatios de un solo dígito.



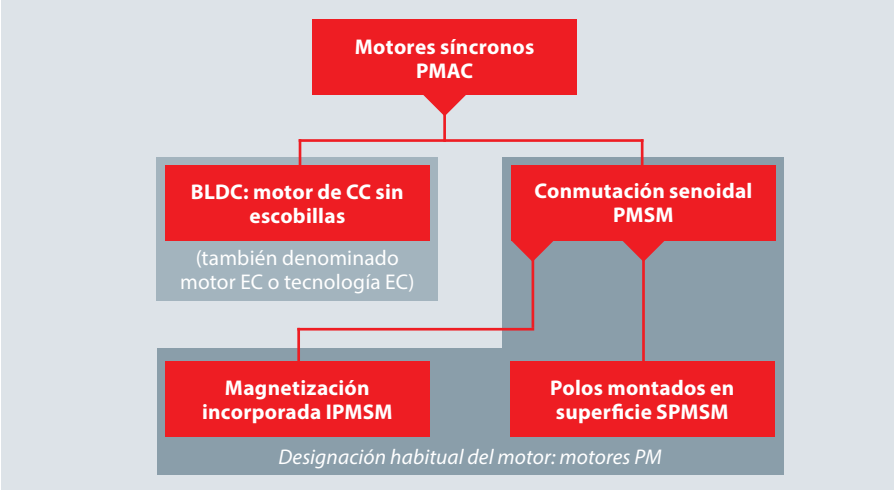
La comparación de los circuitos equivalentes simplificados muestra la ausencia de pérdidas de rotor con motores de PM / EC. Esto los hace más eficientes que los motores de inducción trifásicos.

La tecnología

Gracias a la construcción de motores de imanes permanentes, no necesitan un devanado de excitación separado. Sin embargo, deben ser accionados por un controlador electrónico que genera un campo magnético rotatorio. Generalmente, no es posible el funcionamiento directo desde la red o, en muchos casos, solo con un rendimiento reducido. Para accionar el motor, el controlador (p. ej., un convertidor de frecuencia) debe ser capaz de determinar constantemente la posición actual del rotor. Para ello, se utilizan dos métodos, con o sin respuesta de la posición de rotor actual proporcionada por un sensor o codificador.

Alto rendimiento

Con imanes permanentes en el rotor, es posible eliminar prácticamente las pérdidas de rotor en el motor. El resultado es un mayor rendimiento.



PMAC = imanes permanentes CA; BLDC = CC sin escobillas; PMSM = motor síncrono de imanes permanentes; IPMSM = PMSM interior (polos incorporados); SPMSM = PMSM de superficie (polos montados en el rotor)

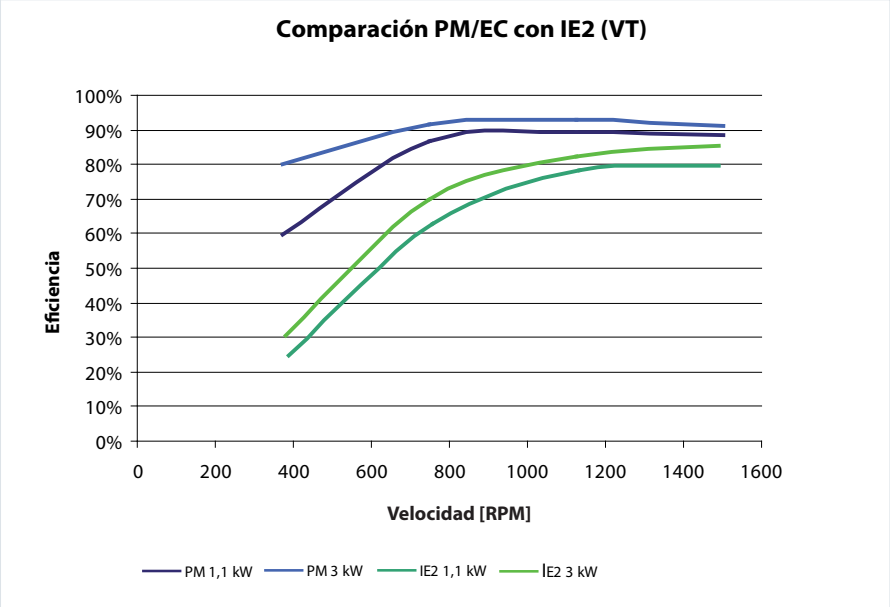
El concepto EC+ de Danfoss

permite utilizar convertidores de frecuencia VLT® de Danfoss con motores PM de dimensiones estándar CEI. Danfoss ha incorporado el algoritmo de control necesario en la serie de convertidores VLT® actual. Ello supone que no hay cambios para el operario. Tras introducir los datos de motor pertinentes, el usuario disfrutará del elevado rendimiento del motor con tecnología EC.

Ventajas del concepto EC+

- Libre elección de la tecnología del motor: PM o asíncrona con el mismo convertidor de frecuencia.
- La instalación del dispositivo y el funcionamiento son los mismos.
- Libre elección del fabricante para todos los componentes.
- Elevado rendimiento del sistema gracias a la combinación de componentes individuales con rendimiento óptimo.
- Es posible reequipar los sistemas actuales.
- Amplia gama de potencias nominales para motores estándar y PM.

Aspectos prácticos de los motores EC y PM



el diagrama muestra los valores medidos por una universidad independente. Las pérdidas requeridas por la electrónica se incluyen en las figura.

Funcionamiento sobresíncrono

En teoría, es posible hacer funcionar un motor EC o PM por encima de su frecuencia o velocidad nominal, siempre que así lo permita el fabricante. Con un TPIM, esto se llama funcionamiento supersincrónico o funcionamiento con debilitamiento del campo inductor. El debilitamiento del campo inductor permite al motor funcionar a una mayor velocidad, pero con un par de salida de eje motor menor. En contraste con los TPIM o con motores EC y PM, el debilitamiento del campo inductor solo puede conseguirse utilizando las señales de accionamiento adecuadas. Al igual que con TPIM, esto reduce el par de salida de eje motor. Se debe consultar al fabricante del motor para determinar si un motor en especial es apto para el funcionamiento supersincrónico.

Con respecto al convertidor de frecuencia, este tipo de funcionamiento no presenta un problema a menos que la EMF (fuerza contraelectromotriz) generada por el motor EC o PM debido a los imanes permanentes supere la tensión del enlace de CC admisible del convertidor.

Por ejemplo, un motor con una EMF de 200 V a 1000 rpm puede funcionar a velocidades de hasta 3192 rpm con un convertidor de frecuencia con una tensión del enlace de CC admisible máxima de 900 V. Si bien, el motor puede funcionar incluso a velocidades superiores, esto supone un riesgo de fallo eléctrico del convertidor en caso de avería porque la tensión es superior a 900 V. Esto podría suceder, por ejemplo, si hay un corte de red.

Protección estándar IEC

Muchas aplicaciones emplean motores de inducción trifásicos cuyas dimensiones de instalación y tamaño del bastidor cumplen con las especificaciones de IEC EN 50487 o IEC 72.

Sin embargo, hasta ahora se han utilizado otros tipos de construcción para la mayor parte de los motores PM. Los servomotores son el mejor ejemplo. Con una construcción compacta y rotores largos, se optimizan en procesos muy dinámicos.

Para poder aprovechar el alto rendimiento de motores con imanes permanentes en aplicaciones industriales existentes, los motores PM están disponibles ahora con protecciones para motores IEC estándar. Esto permite sustituir modelos antiguos de motores estándar de inducción trifásicos (TPIM) en sistemas ya existentes, por motores con un mayor rendimiento. Esto también permite a las empresas de ingeniería mecánica y de ingeniería de instalaciones, utilizar motores con un mayor rendimiento sin necesidad de que deban efectuarse cambios en el diseño de las máquinas existentes.

Por razones de compatibilidad, ambas formas de motores PM están disponibles en el mercado.

Opción 1: mismo tamaño del bastidor
El motor PM / EC y el TPIM tienen el mismo tamaño del bastidor.

Ejemplo: un TPIM de 3 kW puede ser sustituido por un motor EC / PM del mismo tamaño.

Opción 2: misma potencia de salida
El motor PM / EC y el TPIM tienen la misma potencia de salida. En teoría, un PMSM se puede hacer más pequeño que un TPIM con una potencia de salida comparable. Dependiendo del tamaño del bastidor, la densidad de la potencia de un motor PM / EC es aproximadamente 1,5 a 2 veces mayor que la de un TPIM.

Ejemplo 1: un TPIM de 3 kW puede ser sustituido por un motor EC / PM con el mismo tamaño del bastidor que un motor de 1,5 kW.

Ejemplo 2: un TPIM de 3 kW puede ser sustituido por un motor EC / PM con el mismo tamaño del bastidor y una potencia de salida de 6 kW.

Sin embargo, un controlador es siempre necesario para impulsar un motor PM / EC.

Aspectos prácticos de la adaptabilidad del motor para el funcionamiento del convertidor de frecuencia

Criterios de selección

Deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos en relación con los motores controlados por convertidores de frecuencia:

- Tensión de aislamiento
- Tensión de apoyo
- Tensión térmica

Tensión de aislamiento

Un motor que funciona con un control de frecuencia impone una mayor tensión al devanado del motor que el propio funcionamiento directo de la red. Esto se debe primordialmente a los flancos de impulso inclinados (dv/dt) y al cable de motor, dependiendo de la longitud del cable, tipo, enrutado, etc.

Estos flancos de impulso inclinados, se derivan de los dispositivos semiconductores de conmutación rápida en la fase del inversor del convertidor de frecuencia. Estos funcionan a una frecuencia de conmutación elevada en el rango de 2 a 20 kHz con unos tiempos de conmutación muy breves para reproducir una onda senoidal.

En combinación con el cable del motor, estos flancos de impulso inclinados son responsables de los posteriores efectos en el motor:

- Tensiones de impulso altas U_{LL} en los terminales del motor, añaden tensión al aislamiento entre devanados
- Tensiones de impulso más altas entre los devanados y las láminas $\hat{U}_{LE}$, añaden tensión al aislamiento de la ranura
- Tensiones más elevadas entre los devanados $\hat{U}_{wdg}$, añaden una tensión significativamente mayor al aislamiento del cable en los devanados.

Tensión de apoyo

En condiciones desfavorables, los motores controlados por frecuencia pueden fallar debido a un daño de los cojinetes causado por las corrientes de los mismos. La corriente fluye en un cojinete cuando la tensión en el hueco de lubricación del cojinete es lo bastante alta como para penetrar en la capa de aislamiento formada por el lubricante. Si esto sucede, se detecta el fallo inminente del cojinete por el ruido de este cada vez más fuerte. Las corrientes de los cojinetes de este tipo incluyen corrientes parásitas de alta frecuencia, corrientes de tierra y corrientes EMD (erosión por chispas).

Cuál de estas corrientes puede llegar a dañar el cojinete dependerá de los factores siguientes:

- La tensión de red en la entrada del convertidor de frecuencia
- La pendiente de los flancos de impulso (dU/dt)
- El tipo del cable de motor
- Apantallado eléctrico
- Conexión a tierra del sistema
- Tamaño de motor
- El sistema de conexión a tierra de la carcasa y de eje del motor.

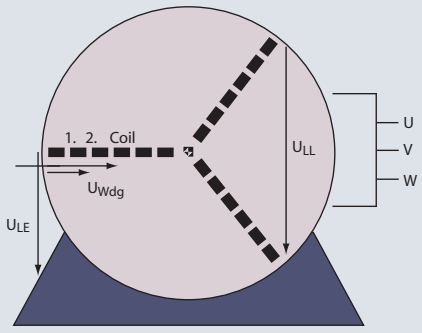
Las corrientes de los cojinetes pueden disminuir con las medidas siguientes:

- Instalación de filtros de salida (bobinas en el circuito intermedio, filtros dU/dt o filtros senoidales)
- Instalación de cojinetes aislados eléctricamente
- Buena conexión a tierra de todos los componentes del sistema metálico con conexiones de baja impedancia
- Cables de motores apantallados
- Instalación de un filtro de supresión de CC.

Tensión térmica

El funcionamiento con un convertidor de frecuencia aumenta la disipación de potencia en el motor. El contenido armónico adicional causa pérdidas de hierro y pérdidas de calor en el estator y rotor. La magnitud de las pérdidas, depende de la amplitud y de la frecuencia de los armónicos del convertidor de frecuencia. Las pérdidas de calor actuales suplementarias en el rotor, dependen de la geometría de la ranura. Las pérdidas de hierro y las pérdidas de calor actuales en motores no dependen de la carga. Las pérdidas adicionales en el motor causan una mayor tensión térmica en el aislamiento del devanado. Sin embargo, con los convertidores de frecuencia modernos, la calefacción adicional de motores estándar (hasta un tamaño del bastidor de 315) es comparable al calentamiento adicional debido a tolerancias de tensión de red y es, por tanto, insignificante. Los fabricantes especifican en ocasiones un factor de reducción de potencia para motores transestándar (tamaño del bastidor 355 y superior).

Si el convertidor no es capaz de generar toda la tensión de red a la frecuencia de red nominal, es aconsejable seleccionar un motor con aislamiento de clase F. Hacer funcionar un motor a una tensión inferior que en funcionamiento de red directa, aumenta la temperatura del motor hasta 10 K.

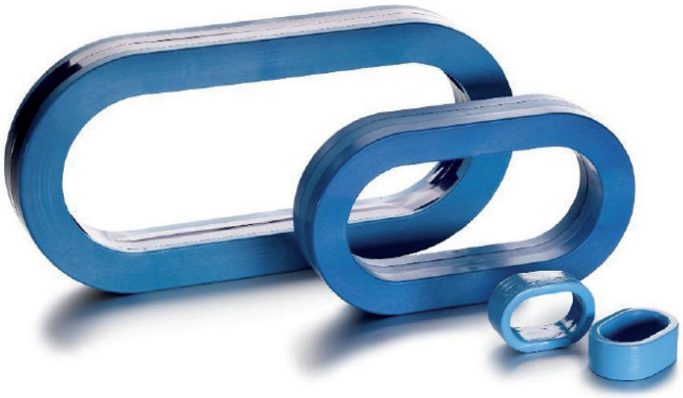


Aparecen tensiones de impulso en el motor en los terminales del motor (ULL) y entre los devanados y la pila de láminas (U_{LE}). También hay una tensión entre los devanados (U_{wdg}).

***Nota:** solicite confirmación del fabricante del motor de que el motor ha sido diseñado para su funcionamiento con un convertidor de frecuencia y confirmación del rango de velocidad de funcionamiento admisible (rpm mínimas y máximas).*

***Nota:** Las corrientes de los cojinetes se derivan de la acción de todo el sistema, componiéndose del convertidor de frecuencia, del motor, del cable y de la conexión a tierra. IEC 60034-17 recomienda adoptar medidas preventivas en alturas de eje de 315 mm (aprox. 132 kW) o mayores.*

Aspectos prácticos de los filtros de salida



Filtros senoidales y filtros dU/dt

Las opciones de filtro de salida incluyen filtros senoidales y filtros dU/dt. A diferencia de filtros senoidales, la única tarea de los filtros dU/dt es reducir la pendiente de los flancos del impulso. Son más sencillos en diseño que los filtros senoidales (inductancias y capacitancias más pequeñas) y son, por ello, menos caros.
Los filtros senoidales, también denominados filtros de motor o filtros LC, pueden instalarse opcionalmente en las salidas de convertidores de frecuencia. Reducen los impulsos de tensión rectangular en la salida para convertirlos en una tensión de salida casi senoidal.

Funciones y tareas de los filtros senoidales

- Reducir la tasa de aumento de tensión (dvdt) en los terminales del motor
- Reducir la tensión pico $\hat{U}_{LL}$
- Reducir el ruido del motor
- Permitir utilizar cables de motor más largos
- Mejorar las características EMC
- Cuando se utilizan con convertidore de frecuencia de Danfoss, los filtros senoidales permiten un funcionamiento con cables de motor no apantallados conformes con EN 61800-3 RFI categoría C2

¿Cuándo se utilizan filtros senoidales?

- Con bombas de funcionamiento en húmedo
- Con cables de motor muy largos (incluyendo situaciones en las que es necesario debido al funcionamiento en paralelo)
- Con bombas de pozos
- Con motores con falta de buen aislamiento entre devanados
- Siempre que no se utilicen motores estándar (consulte al fabricante del motor)

Reacondicionamiento

Si un operador de instalaciones convierte motores de modelos antiguos, alimentados previamente desde la red, a un funcionamiento por control de velocidad y los equipa con un convertidor de frecuencia, siempre se recomienda utilizar un filtro senoidal salvo que la hoja de datos del motor indique que los devanados hayan sido diseñados para su funcionamiento con un convertidor de frecuencia.
Cuando se llevan a cabo renovaciones, merece la pena a menudo sustituir motores antiguos de bajo rendimiento por motores nuevos eficientes energéticamente. En estos casos no es necesario un filtro senoidal suplementario. Los nuevos motores suelen amortizarse rápidamente gracias a los menores costes de energía.

	Filtro dv/dt	Filtro senoidal	Filtro de modo común
Tensión del aislamiento del motor	Pueden usarse cables de motor reducidos y más largos	Pueden usarse cables de motor reducidos y más largos	Sin reducción
Tensión de apoyo del motor	Ligeramente reducido	Corrientes circulantes reducidas pero no sincrónicas	Corrientes sincrónicas reducidas
Compatibilidad electromagnética	Elimina los armónicos en el cable del motor. No hay cambio en la clase EMC	Elimina los armónicos en el cable del motor. No hay cambio en la clase EMC	Emisiones de alta frecuencia reducidas (por encima de 1 MHz). No hay cambio en la clase EMC
Máxima longitud del cable del motor, conforme con EMC	Depende del fabricante FC 202: máx. 150 m apantallado	Depende del fabricante FC 202: máx. 150 m apantallado o máx. 300 m sin apantallar	Depende del fabricante FC 202: máx. 150 m apantallado
Longitud del cable de motor máx., no conforme con EMC	Depende del fabricante FC 202: máx. 150 m sin apantallar	Depende del fabricante FC 202: máx. 500 m sin apantallar	Depende del fabricante FC 202: máx. 300 m sin apantallar
Ruido del motor en frecuencia de conmutación	Sin efecto	Reducido	Sin efecto
Tamaño relativo (en comparación con convertidor)	15-50 % (depende de la potencia)	100 %	5-15 %
Caída de tensión	0,5 %	4-10 %	Ninguno

Aspectos prácticos de los cables del motor

Tensión nominal

En el cable del motor tienen lugar tensiones pico de hasta tres veces la tensión de enlace de CC en el convertidor de frecuencia. Estas someten al cable y al aislamiento del motor a un gran estrés. El estrés es más alta si la salida del convertidor de frecuencia no tiene un filtro dv/dt o un filtro senoidal. Por esta razón, la especificación de la tensión nominal de los cables del motor debería ser por lo menos de U0/U = 0,6/1 kV. Las pruebas de aislamiento de alta tensión de cables con esta especificación se efectúa normalmente con una tensión de prueba de al menos 3500 V CA y 4000 V CA, y en la práctica han demostrado tener una buena resistencia a averías de aislamiento.

Dimensionamiento del cable

La sección necesaria del cable del motor, depende de la corriente de salida del convertidor de frecuencia, de la temperatura ambiente y del tipo de instalación del cable. No es necesario sobredimensionar la sección del cable para permitir los armónicos.
Para la selección y dimensionamiento de los cables, EN 60204-1 y VDE 0113-1 ofrecen los datos de capacidad de la corriente para secciones de cable de hasta 120 mm^2. Si se necesitan secciones de cable más grandes, encontrará información útil en VDE 0298-4.

Longitud del cable del motor

A menudo se encuentran cables de motor en plantas de tratamiento de aguas y aguas residuales. Los convertidores de frecuencia y las bombas se instalan con frecuencia a más de 100 m de distancia entre sí. En tales casos, a la hora de dimensionar el cable se debe considerar la caída de tensión en el cable.

Diseñe el sistema de modo que la tensión de salida completa alcanza el motor, incluso con un cable de motor largo. La longitud del cable del motor que puede conectarse a un convertidor de frecuencia estándar es típicamente de 50 a 100 metros. Ni siquiera con estas longitudes de cable, los productos de algunos fabricantes pueden proporcionar toda la tensión de salida al motor. Si los usuarios necesitan cables más largos que 100 m, solo hay unos cuantos fabricantes que pueden satisfacer este requisito con productos estándar. De lo contrario, es necesario instalar bobinas de circuito intermedio de motor suplementarias o filtros de salida.

Ahorro de energía

La caída de tensión en un cable de motor, así como la disipación de calor resultante, es casi proporcional a su longitud y depende de la frecuencia. Conforme a ello, debería mantener el cable lo más corto posible y dimensionar las secciones de cable no más largas de lo necesario eléctricamente.

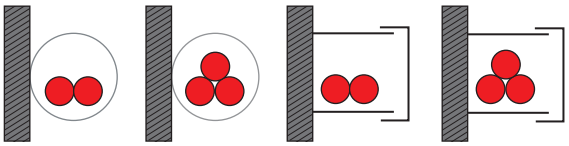
Cables con apantallado adecuado

Los cables apantallados deberían tener una cobertura de apantallamiento de al menos el 80 %. Algunos ejemplos de tipos de cable aptos son:
– Lapp Ölflex 100-CY
– Helu Y-CY-JB
– Helu Topflex-EMV-UV-2YSLCYK-J

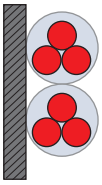
Nota: *consulte al fabricante las longitudes de cables que pueden conectarse al convertidor de frecuencia y la caída de tensión esperada. Con un convertidor de frecuencia estándar VLT® AQUA Drive, puede conectar un cable apantallado de hasta 150 m de largo o un cable no apantallado de hasta 300 m de largo y seguir teniendo toda la tensión en el motor.*

Clasificación de corriente [A] del cable de PVC a una temperatura ambiente de 40 °C				
mm^2	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

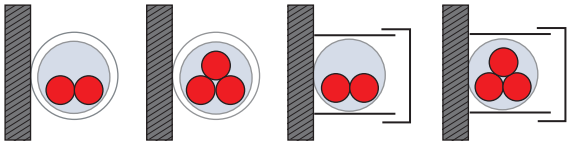
Resumen de la clasificación de corriente EN 60204-1 de secciones de cable



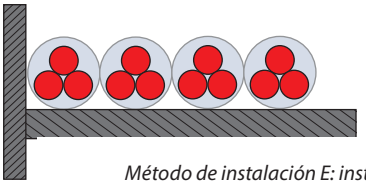
Método de instalación B1: conductores en un conducto o en cableado cerrado



Método de instalación C: instalación directa en paredes o techos o en bandejas para cables



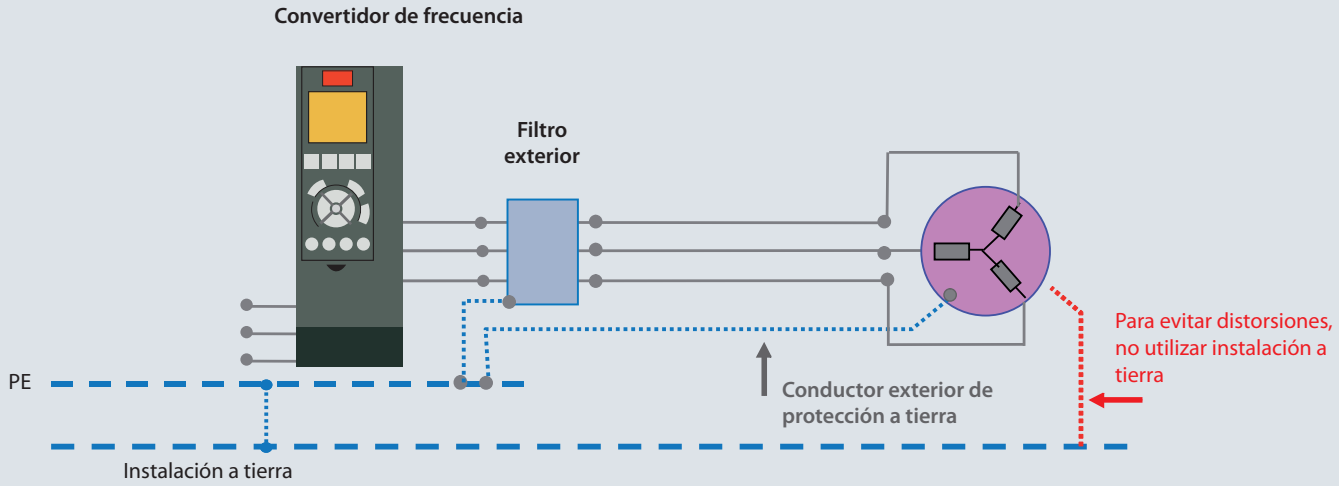
Método de instalación B2: cable multiconductor o cable apantallado multiconductor en un conducto o en cableado cerrado



Método de instalación E: instalación al aire libre o en bandejas para cables

Aspectos prácticos de la conexión a tierra

La importancia de la conexión a tierra



Siempre se debe crear un plan de conexión a tierra para cada sistema o instalación.

Las medidas de conexión a tierra son generalmente imperativas para poder cumplir los requisitos legales EMC y las directivas de tensión baja. Son un requisito previo para el uso efectivo de otras medidas, como el apantallamiento y los filtros. Sin una buena conexión a tierra no puede obtenerse ningún beneficio de otras medidas. Por esta razón, se deben comprobar y verificar las conexiones a tierra para una implementación EMC correcta antes de instalar un apantallamiento o filtros y como primer paso para solucionar problemas.

Materiales conductores eléctricamente

Los operadores deben garantizar que las superficies metálicas están conectadas a tierra con conexiones de baja impedancia. En términos de EMC, el factor decisivo no es la sección del conductor sino la superficie, puesto que las corrientes de alta frecuencia fluyen por la superficie debido al efecto pelicular.

La parte con el área de superficie de conductor más pequeña es lo que limita la capacidad de drenar corrientes de fuga.

Las superficies conectadas a tierra tienen un efecto de apantallamiento y reducen la amplitud de los campos electromagnéticos ambiente.

Sistema de conexión a tierra en forma de estrella

Todos los puntos conectados y los componentes deben estar conectados al punto de conexión a tierra central lo más directamente posible, como por ejemplo, mediante un riel de ecualización potencial. Esto produce un sistema de conexión a tierra en que todos los puntos de conexión están conectados radialmente al punto de conexión a tierra. Este punto de conexión a tierra debe definirse de forma clara.

Puntos de contacto

Una vez que se ha eliminado la pintura y la corrosión, las conexiones deben efectuarse para poner en contacto puntos empleando un área superficial grande. Para este fin son mejores las arandelas dentadas que las arandelas planas. Los componentes estañados, cincados o cadmiados deberían usarse preferentemente antes que los componentes pintados. Los conectores deben presentar múltiples contactos para la conexión apantallada.

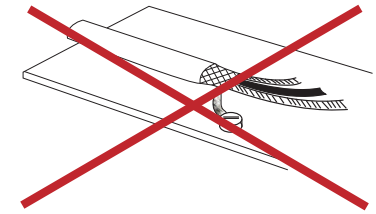
Área superficial del conductor

Un área de superficie de conductor grande para drenar corrientes de frecuencia alta puede obtenerse utilizando cable fino trenzado, como el cable de instrumento de flexibilidad alta, o utilizando correas o cables de conexión a tierra especiales. En la práctica se utilizan a menudo correas de conexión a tierra trenzada que sustituyen los conductores rígidos utilizados en el pasado. Estas correas tienen un área superficial significativamente mayor con la misma sección.

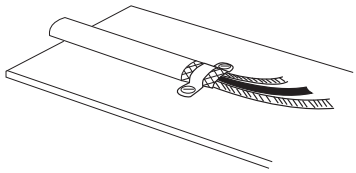
Nota: *la conexión a tierra del sistema tiene un efecto sustancial en un funcionamiento de la instalación uniforme y sin problemas. Deben evitarse los bucles de tierra. Es esencial una buena ecualización potencial. Cree un plan de conexión a tierra apto en la fase de diseño y de ingeniería del proyecto.*

Aspectos prácticos del apantallamiento

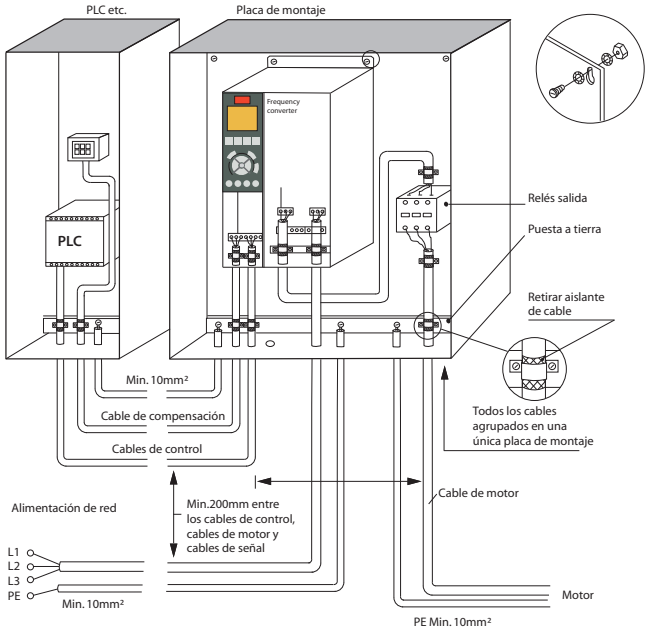
La importancia del apantallamiento



Incorrecto



Correcto



El propósito del apantallamiento es reducir la magnitud de interferencia radiada (que puede afectar a sistemas o componentes contiguos) y mejorar la inmunidad a las interferencias de los dispositivos individuales (inmunidad a interferencias de fuentes externas). La implementación de medidas de apantallamiento en sistemas existentes (p. ej., sustitución del cable o protecciones suplementarias) es solamente posible con un gasto considerable. Los fabricantes de convertidores de frecuencia suelen proporcionar información adecuada en cuanto a conformidad con los límites legales, que también incluye información sobre medidas adicionales que pueden ser necesarias, como cables apantallados.

Los convertidores de frecuencia generan impulsos de flancos inclinados en sus salidas. Estos impulsos contienen componentes de alta frecuencia (llegando hasta el rango de los giga hercios), que causan una radiación indeseable desde el cable del motor. Por esta razón, deben utilizarse cables de motor apantallados. La misión del apantallamiento es «capturar» los componentes de alta frecuencia y conducirlos de vuelta a la fuente de la interferencia, en este caso el convertidor de frecuencia.

Cables apantallados y cableado

Ni siquiera un buen apantallado que satisface los límites elimina completamente la radiación. En el campo cercano, puede encontrar campos electromagnéticos que deben ser soportados por componentes y módulos del sistema localizados en este entorno sin que esto afecte a su funcionamiento. Aquí, la norma requiere conformidad con los límites a una distancia especificada (p. ej., 30 dB a una distancia de 10 m para la clase B). Con respecto al nivel del límite admisible, la norma distingue entre un uso en el 1.er entorno (entorno residencial) y el 2.º entorno (entorno industrial). Para más información, consulte la sección «El lugar de funcionamiento es el factor decisivo» de este manual en la página 22.

Conexión apantallada

El apantallamiento debe estar conectado por todo el perímetro para conseguir un apantallamiento de cable efectivo. Para este fin se pueden utilizar prensacables EMC (conexión a tierra) o abrazaderas de cables de conexión a tierra. Envuelven el apantallamiento por completo y lo conectan a tierra en un área grande. El apantallamiento debe llevarse directamente hacia el punto de conexión a tierra y sujetarse firmemente con abrazaderas en un área grande y la conexión debería mantenerse lo más corta posible en cada extremo del cable. El resto de métodos de conexión degradan la eficacia del apantallamiento.

Los usuarios retuercen a menudo el trenzado del apantallamiento para convertirlo en una espiral y utilizan un terminal de sujeción para conectarlo al suelo. Esta forma de conexión crea una impedancia de transferencia alta para componentes de señal de frecuencia alta, que produce una interferencia que se irradia desde el apantallamiento en lugar de devolverse a la fuente. Como resultado, el efecto de apantallamiento puede reducirse hasta en un 90 %.

Huecos de apantallamiento

Los huecos de apantallamiento como terminales, interruptores, contactores deben puentearse por conexiones con la menor impedancia posible y la mayor área superficial posible.

Aspectos prácticos del apantallamiento

Conexión a tierra

La conexión a tierra de un apantallamiento es crucial para su eficacia. Por esta razón, las arandelas dentadas o hendidas deben instalarse bajo tornillos de montaje del alojamiento y las superficies pintadas deben rascarse para conseguir un contacto de baja impedancia. Las protecciones de aluminio anodizado, por ejemplo, ofrecen una conexión al suelo inadecuada si se utilizan arandelas de ajuste bajo los tornillos de sujeción. Los cables de conexión a tierra deberían fabricarse con un cable de sección grande, o mejor aún, con cables de conexión a tierra de núcleo múltiple. Si se utilizan secciones de cable inferiores a 10 mm^2 con motores de baja potencia, debe instalarse una línea PE separada con una sección de al menos 10 mm^2 desde el convertidor hasta el motor.

Cable de alimentación al motor

Para cumplir con los límites de interferencia de frecuencia de radio, los cables entre convertidores de frecuencia y motores deben estar apantallados con el apantallamiento conectado al equipo **por ambos extremos.**

Cable de señal

La distancia entre el cable del motor y el cable de señal debería ser de más de 20 cm y el cable de red y el cable del motor deberían enrutarse por separado a la mayor distancia posible. Los efectos de interferencia disminuyen significativamente a medida que aumenta la distancia. Las medidas adicionales (como cintas divisoras) son esenciales en caso de separaciones más pequeñas. De lo contrario, la interferencia podría acoplarse o transferirse.
Los apantallamientos de los cables de control deben estar bien conectados en ambos extremos del mismo modo que los apantallamientos del cable del motor. En la práctica, se puede considerar en casos excepcionales una puesta a tierra de unsolo extremo, aunque no se recomienda.

Tipos de apantallamientos

Los fabricantes de convertidores de frecuencia recomiendan utilizar cables apantallados para proteger el cableado entre el convertidor de frecuencia y el motor. Para seleccionarlos, hay que tener en cuenta dos factores importantes: la cobertura del apantallamiento y el tipo de apantallamiento.

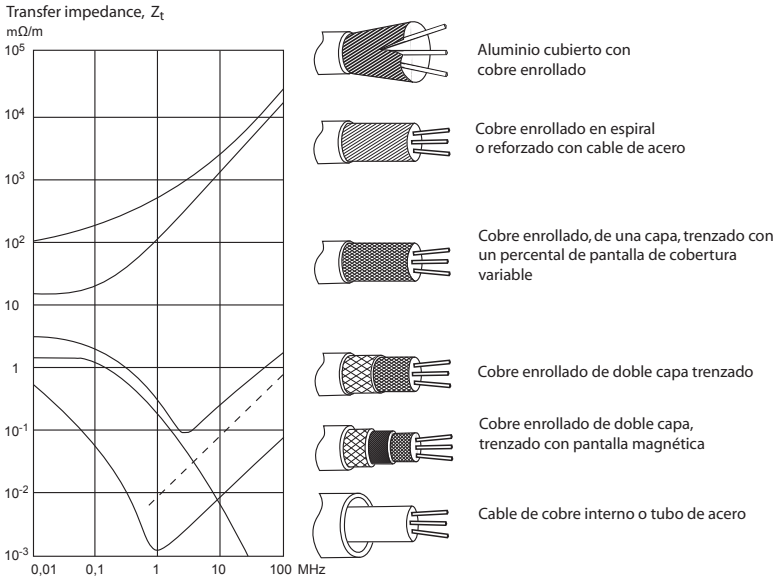
La cobertura del apantallamiento, es decir, la cantidad de superficie de cable cubierta por el apantallamiento, debería ser de al menos el 80 %.

En cuanto al tipo de apantallamiento, un apantallamiento de cobre trenzado de una capa ha demostrado su eficacia en la práctica. Aquí es importante que el apantallamiento sea trenzado. Por el contrario, un apantallamiento de cable de cobre enrollado (como el tipo NYCWY) deja amplias áreas ranuradas sin cubrir, y los componentes de HF pueden escapar fácilmente a través de estos huecos. El área superficial para las corrientes de fuga es también significativamente menor.

El apantallamiento está disponible al por mayor para su posterior instalación. Puede extenderse por encima del cable para ofrecer el efecto de apantallado deseado. Para conexiones cortas, se pueden utilizar como alternativa cables flexibles metálicos o tubos. Los conductos de cables pueden sustituir el apantallamiento solo en determinadas condiciones (un conducto a prueba de radiación con un buen contacto de cobertura y una buena conexión entre los componentes del conducto y el suelo).

Los cables con doble apantallamiento mejoran además la atenuación de interferencia radiada y emitida. El apantallamiento interno está conectado en un extremo, mientras que el apantallamiento exterior está conectado en ambos extremos. Los conductores trenzados reducen los campos magnéticos.

Se pueden utilizar cables apantallados con conductores trenzados para líneas de señal. La atenuación del campo magnético aumenta alrededor de 30 dB con un solo apantallamiento y 60 dB con un doble apantallamiento y hasta aproximadamente 75 dB si los conductores también están trenzados.



Hay muchos tipos de cables apantallados. Pero solo algunos son adecuados para el uso con convertidores de frecuencia.

Paso 4: Aspectos prácticos de la selección del convertidor de frecuencia

Diseño básico

En la práctica, los diseñadores y los operadores seleccionan a menudo únicamente convertidores de frecuencia según la potencia nominal en kilovatios. Sin embargo, los convertidores de frecuencia deben seleccionarse siempre según la corriente nominal del motor real Inom teniendo en cuenta la carga del sistema más elevada. Este criterio de selección es más fiable porque la potencia de salida del motor depende de la carga del eje mecánico en lugar de la potencia de entrada eléctrica.

Tampoco se tiene en cuenta el rendimiento del motor. En cambio, la capacidad nominal de los convertidores de frecuencia (en kilovatios) se basa en la potencia nominal Pnom de motores de cuatro polos.

Observación: un convertidor de frecuencia VLT® AQUA Drive de 11 kW tiene una corriente nominal de 24 A. Esto ofrece suficiente reserva para accionar un motor con potencia nominal de 11 kW.

Además, los motores de la misma clase de potencia pueden tener diferentes corrientes nominales, según el fabricante motor y la clase de rendimiento. Por ejemplo, la corriente nominal de un motor de 11 kW puede abarcar desde 19,8 A hasta 22,5 A.

Sin embargo, la corriente nominal solo no es suficiente para determinar la potencia de entrada eléctrica correspondiente. El convertidor de frecuencia también debe suministrar una tensión de motor suficientemente alta. Con un sistema de red de 400 V, esto significa 400 V a 50 Hz en los terminales del motor. Todavía hay convertidores de frecuencia en el mercado que no son capaces de lograrlo. La tensión de salida se reduce debido a las caídas de tensión en los filtros, bobinas de circuito intermedio y cable de motor. Si la tensión de salida se reduce a 390 V, por ejemplo, el motor necesita más corriente para producir la potencia necesaria. Puesto que las pérdidas aumentan cuadráticamente con la corriente, el motor se calienta más, lo que reduce su vida útil. Por supuesto, el usuario debe considerar en el diseño el aumento de la demanda de intensidad también.

Observación: un método de modulación especial se utiliza en unidades VLT® AQUA Drive para proporcionar toda la tensión del motor. Incluso con una baja tensión del 10 % en la red, la tensión nominal del motor y el par nominal del motor se mantienen.

Par constante o variable

La carga accionada por el motor es el factor clave a la hora de seleccionar el convertidor de frecuencia adecuado. Debe efectuarse una distinción entre cargas con características de par que aumentan cuadráticamente cuando se incrementa la velocidad (como bombas centrífugos y ventiladores) y cargas que necesitan un par alto del motor en todo su rango de trabajo, incluso a velocidades bajas (como las soplantes tipo Root).

La mayor parte de los sistemas de convertidores de frecuencia en instalaciones de tratamiento de aguas y aguas residuales, tienen una curva de carga que aumenta cuadráticamente con la velocidad hasta que se alcanza el par nominal. Para conseguir un funcionamiento de rendimiento optimizado en estas condiciones de carga, el convertidor de frecuencia proporciona una tensión del motor que aumenta cuadráticamente con la frecuencia del campo giratorio del motor.

Para aplicaciones con un par alto constante, suele ser necesario tener en cuenta el requisito de aceleración o arranque con una carga pesada. En este caso, el convertidor de frecuencia debe poder facilitar una potencia extra al motor durante un breve periodo, además de al par motor nominal, por ejemplo para permitir que una bomba, en la que se ha acumulado y depositado el fango, supere la fricción estática resultante. Este par de arranque disponible durante un breve periodo se denomina par de sobrecarga.

En aplicaciones que no necesitan un par de arranque significativamente mayor que el par motor nominal, generalmente es suficiente con una capacidad de sobrecarga relativamente baja (por ejemplo, las soplantes tipo Root con arranque sin carga solo requieren el 110 % del par motor nominal).

Nota: las bombas de desplazamiento, los soplantes tipo Root y los compresores no se clasifican como máquinas de flujo de fluidos. Debido a su principio operativo, los convertidores de frecuencia que se fueran a utilizar con dicho equipamiento deberían diseñarse para un par constante.

Aspectos prácticos de las curvas de carga para diversas aplicaciones

Características de las curvas y aplicaciones

Aplicaciones de par de constante

Par de arranque normal (Sobrecarga del 110 %)
Bombas de dosificación
Soplantes tipo Root
Ventiladores de superficie
Bombas de circulación
Compresores de canales laterales

Par de arranque alto (Sobrecarga del 150 %)
Compresores de pistones axiales
Compresores de pistones rotativos
Bombas de tornillo excéntrico (observe el par de arranque)
Bombas de pistón
Agitadores y mezcladores
Prensas de drenaje de fango
Compresores (excepto turbocompresores)
Bombas de desplazamiento
Bombas de engranajes
Válvulas rotativas de engranaje

Aplicaciones de par variable

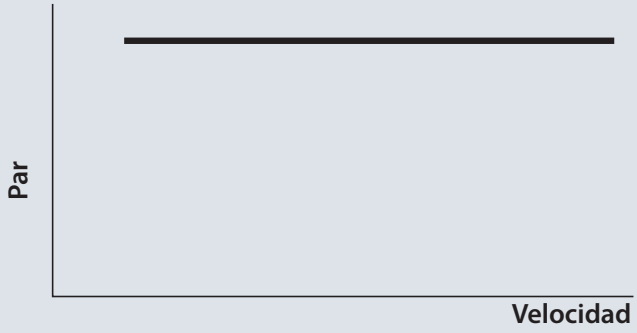
Bombas centrífugas
Bombas para pozos[1]
Bombas de refuerzo de presión
Bombas de alimentación con filtro
Bombas para aguas subterráneas[1]
Bombas de agua caliente
Bombas de calefacción (circuito primario y secundario)
Bombas centrífugas con rodetes de canales (sólidos)
Bombas de agua de refrigeración (circuito primario y secundario)
Bombas para cisternas
Bombas para recirculación del fango
Bombas para desagüe[1]
Turbocompresores
Bombas sumergibles[1]
Bombas para exceso de fango
Ventiladores

[1]Filtro senoidal recomendado.

Nota: *pregunte al fabricante de la bomba o del motor la curva característica de par.*

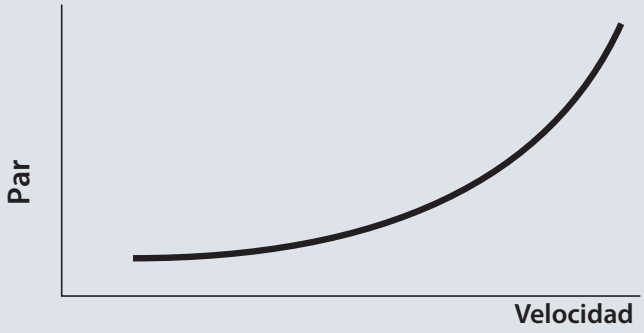
Par constante

Características de carga independientes de la velocidad



Par variable

Características de carga dependientes de la velocidad



Aspectos prácticos del funcionamiento multimotor (caso especial)

Diseño

Si el objetivo del operador es poner en marcha varios motores en paralelo a partir del mismo convertidor de frecuencia, se deben considerar los siguientes factores:

Las corrientes y potencias nominales de los motores deben sumarse.

La selección de un convertidor de frecuencia adecuado se basa en las dos sumas de potencia y corriente.
Para la protección contra sobrecarga del motor, el operador debe conectar los termistores PTC de los motores en serie, y el convertidor de frecuencia supervisará entonces la señal conectada en serie.

Los motores conectados funcionan del mismo modo en cuando a su velocidad nominal. Esto significa que el convertidor de frecuencia acciona todos a la misma frecuencia y con la misma tensión.

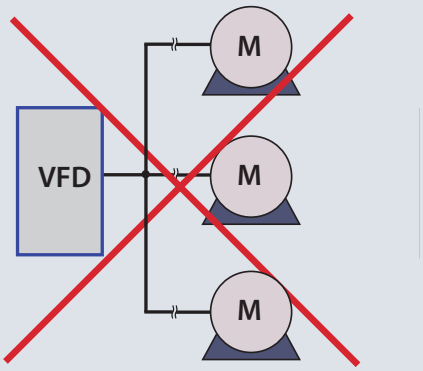
Nota: *puesto que la resistencias de los termistores PTC conectados en serie se suman, no sirve de nada usar la capacidad de monitorización del termistor del convertidor de frecuencia para proteger el motor contra sobrecargas si hay más de dos motores funcionando en paralelo.*



Recorrido de los cables

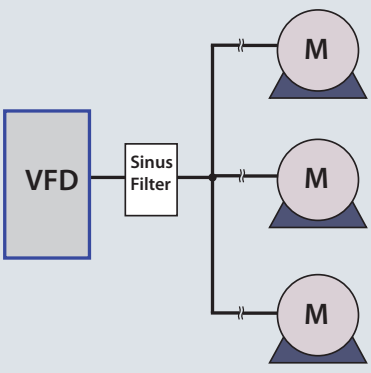
Deberá evitarse con un funcionamiento multimotor:
Los conductores paralelos producen capacitancia suplementaria. Por esta razón, los usuarios deberían evitar siempre este tipo de conexión.

Debe evitarse



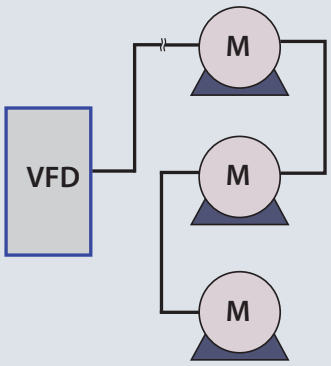
Las corrientes de trabajo bajan porque el filtro LC bloquea la frecuencia de reloj. Esto permite conectar los motores en paralelo. Los cables de motor también pueden tenderse conjuntamente a largas distancias si fuera necesario.

Recomendado



Recomendado para el funcionamiento multimotor: une el cable de motor en forma de cadena de un motor al siguiente.

Recomendado



Aspectos prácticos de las medidas EMC

Llevar la teoría a la práctica

Todos los convertidores de frecuencia son fuentes de interferencia de banda ancha, lo que significa que emiten interferencias en un amplio rango de frecuencias. Los operadores de la instalación pueden reducir la cantidad de la interferencia emitida por los convertidores de frecuencia adoptando las medidas adecuadas. Por ejemplo, pueden garantizar el funcionamiento sin problemas de la instalación utilizando filtros RFI y bobinas de circuito intermedio de red.

En el caso de algunas marcas, estos componentes ya están instalados en el convertidor de frecuencia. Con otras marcas, el ingeniero de la instalación debe dejar un espacio adicional (lo que es siempre bienvenido) para ello en el armario.

Para información general relativa a EMC, interferencia de la red de baja frecuencia e interferencia de frecuencia de radio, consulte las páginas 13 y siguientes de este manual.

Nota: *los buenos convertidores de frecuencia están equipados de serie con una buena protección RFI y con componentes para reducir la interferencia de la red. Estos componentes suponen aproximadamente del 15 al 20 % del precio de un convertidor de frecuencia.*

Interferencias de radiofrecuencias

Recomendaciones prácticas

Consulte las páginas 21 y siguientes de este manual para más información sobre la interferencia de radiofrecuencias. El objetivo principal en la práctica, es obtener sistemas que funcionen establemente sin interferencias entre sus componentes. Sin embargo, ocurre a menudo que tras la conversión y/o introducción de nuevos componentes deja de ser posible adoptar mediciones sensibles sin interferencias y/o las señales del instrumento están corruptas. Estos obstáculos son exactamente lo que debe evitarse.

Para conseguir un alto nivel de inmunidad a las interferencias, se recomienda usar convertidores de frecuencia con filtros RFI de alta calidad. Deberían cumplir los requisitos de la categoría C1 especificados en la norma de producto EN 61800-3 y cumplir, por tanto los límites de la clase B de la norma genérica EN 55011.

También deben colocarse avisos de advertencia adicionales en el convertidor de frecuencia si se usan filtros RFI que no se corresponden con la categoría C1, sino solo con la categoría C2 o inferior. La responsabilidad última recae en el operador.

Como se mencionó en la página 22, en caso de problemas, la autoridad inspectora basará siempre sus recomendaciones para eliminar la interferencia en los límites A1/A2 y B, definidos en la norma genérica EN 55011 de acuerdo con el entorno operativo. El operador asume los costes de la solución de los problemas EMC. El usuario es el último responsable de la clasificación adecuada de los dispositivos con respecto a estas dos normas.

Debido al uso de cables para transmitir señales y potencia, la interferencia de conducción puede expandirse fácilmente a otras partes del sistema o de la fábrica si no se toman las medidas adecuadas. En cambio, la interferencia radiada directamente del dispositivo o del cable queda limitada en el espacio. La corriente disminuye al alejarnos de la fuente de la interferencia. Por ello, la instalación del convertidor en un armario adecuado, según la normativa de EMC, suele ser suficiente para limitar la interferencia radiada. No obstante, el operador del sistema siempre debe disponer de un filtro adecuado para limitar la interferencia de conducción.

Dos enfoques de los filtros RFI

En la práctica, hay dos enfoques de los filtros RFI. Algunos fabricantes instalan filtros RFI en su equipamiento como norma, mientras otros fabricantes los ofrecen como opción. Los filtros incorporados no solo ahorran mucho espacio en el armario, sino que también eliminan costes suplementarios de instalación, cableado y material. Sin embargo, la ventaja más importante es la conformidad perfecta con EMC y el cableado de filtros integrados.
Los filtros RFI externos opcionales instalados delante del convertidor de frecuencia también causan una caída de tensión adicional. En la práctica, esto quiere decir que la tensión de red completa no está presente en la entrada del convertidor de frecuencia y puede ser necesario un sobredimensionamiento. Se incurre en costes de montaje, cableado y material y no se prueba la conformidad con EMC.
Otro factor significativo es la máxima longitud del cable del motor conectado, razón por la que el convertidor de frecuencia todavía cumple los límites EMC. En la práctica, esto puede ir de 1 metro a 50 metros. Los mejores filtros RFI son necesarios con longitudes de cable más largas.

Nota: *para garantizar un funcionamiento sin interferencias del convertidor de frecuencia, siempre debería utilizar un filtro RFI de categoría C1.*

Observación: *las unidades VLT® AQUA Drive se suministran como norma con filtros RFI incorporados conformes con la categoría C1 (EN 61800-3) para su uso en sistemas de red de 400 V y potencias de salida de hasta 90 kW o categoría C2 para potencias de salida de 110 hasta 630 kW. Las unidades VLT® AQUA Drive son conformes con C1 con cables de motor apantallados hasta 50 m o C2 con cables de motor apantallados hasta 150 m.*

Interferencia de la red

El enlace de CC afecta a la interferencia de la red

Consulte las páginas 15 y siguientes para una descripción de los aspectos fundamentales de la interferencia de la red de frecuencia baja y las medidas para reducirla. El creciente uso de cargas rectificadoras agrava la incidencia de interferencias de la red. Los rectificadores consumen corrientes no senoidales de la red. La interferencia de la red debida a los convertidores de frecuencia procede primordialmente de los condensadores en el enlace de CC debido a sus corrientes de carga. Aquí la corriente siempre fluye en impulsos cortos cerca de los picos de la tensión de red. Debido a la corriente alta, la tensión de red cae algo durante intervalos breves y la tensión de red deja de ser senoidal. Para mantener limpia la potencia de red, es necesario limitar el quinto armónico de la corriente a un nivel aproximado del 40 % THD. Los requisitos se describen en la norma EN 61000-3-12.

En marcos de aplicación en los que el operador debe reducir la interferencia de la red a un *i* nivel THD inferior al 10 % o 5 %, los filtros opcionales y las medidas activas pueden usarse casi completamente para atenuar la interferencia de la red del equipamiento.

Medidas de reducción

Hay diversas opciones disponibles para facilitar a los operadores la tarea de limitar la interferencia de la red. Puede clasificarse como medidas activas y pasivas, y difieren en particular en cuanto a la ingeniería de proyecto.

Bobinas de circuito intermedio de red

La forma habitual y menos cara de reducir la interferencia de la red consiste en instalar bobinas de circuito intermedio en el enlace de CC o en la entrada del convertidor de frecuencia. La instalación de una bobina de circuito intermedio de red en el convertidor de frecuencia amplía la duración del flujo de corriente para cargar los condensadores del enlace de CC, reduce la amplitud de la corriente y reduce significativamente la distorsión de la tensión de red (interferencia de la red inferior). El grado de distorsión de la tensión de red depende de la calidad del sistema de red (impedancia del transformador e impedancias de línea). Las cifras de la tabla siguiente pueden ser consideradas como una pauta para la carga de convertidor de frecuencia conectada (u otra carga de rectificador trifásico) como un porcentaje de la potencia nominal del transformador de la fuente de alimentación. Si se sobrepasa el máximo valor, debería consultar al fabricante del convertidor de frecuencia.

Además de reducir la interferencia de la red, las bobinas de circuito intermedio de la red prolongan la vida de los condensadores de enlace de CC porque se cargan más suavemente debido a la limitación de los picos de corriente. Las bobinas de circuito intermedio de red también mejoran la capacidad del convertidor de frecuencia de soportar la tensión de los transitorios de red. Las secciones del cable y los valores de los fusibles de red o disyuntores pueden ser menores gracias a las corrientes de entrada más bajas. Sin embargo, las bobinas de circuito intermedio tienen un coste y ocupan espacio.



Observación: una bobina de circuito intermedio en forma de bobina de enlace de CC está incorporada de serie en todos los convertidores de frecuencia VLT® AQUA Drive. Esto reduce el THDi del 80 % al 40 %, cumpliendo así el requisito de EN 61000-3-12. El efecto es, por tanto, comparable al de una bobina de circuito intermedio de red trifásica (Uk 4 %). No hay ninguna caída de tensión que deba ser compensada por el convertidor de frecuencia; la tensión completa (400 V) está disponible para el motor.

Máxima carga de convertidor de frecuencia del 20 % en el transformador
→ en caso de FC sin medidas de reducción de interferencia de red, lo que significa ninguna amortiguación o solo una amortiguación ligera (p. ej. con U*K* 2 %)

Máxima carga de convertidor de frecuencia del 40 % en el transformador
→ en caso de FC con medidas de reducción de interferencia de red, lo que significa amortiguación con Uk como mínimo 4 %

Las cantidades de carga máxima anteriores son valores guía recomendados basados en la experiencia que permiten un funcionamiento de la instalación sin problemas.

Aspectos prácticos de las medidas EMC



Un convertidor de frecuencia de bajos armónicos es un convertidor de frecuencia con un filtro activo incorporado que actúa en la red.

Rectificadores con 12, 18 o 24 impulsos por ciclo

En la práctica, los convertidores de frecuencia con rectificadores que tienen un gran número de impulsos por ciclo, se encuentran primordialmente en el rango de potencia más alto.
Requieren transformadores especiales para un funcionamiento correcto.

Filtros pasivos

Se pueden utilizar filtros armónicos pasivos, que se componen de circuitos LC, en todas las situaciones. Tienen un alto rendimiento, normalmente alrededor del 98,5 % o superior. Los dispositivos son muy robustos y normalmente no requieren mantenimiento, con la excepción de los ventiladores de refrigeración. Para los filtros pasivos debe tenerse en cuenta lo siguiente. Si se utilizan sin carga, actúan como fuentes de potencia reactiva capacitiva debido a la corriente circulante que fluye por el filtro. Según la aplicación específica, puede merecer la pena utilizar un grupo de filtros, posiblemente con conexión selectiva y desconexión.

Filtros activos, convertidores de frecuencia de entrada activa y de bajos armónicos

Un enfoque innovador, basado en dispositivos semiconductores mejorados y en la moderna tecnología de microprocesadores, consiste en utilizar sistemas de filtros electrónicos activos. Estos calculan constantemente la calidad de la potencia de la red y usan una fuente de corriente activa para alimentar específicas formas de onda en el sistema de la red. El resultado es una corriente senoidal.

Comparado con las opciones de filtro descritas anteriormente, la arquitectura de esta nueva generación de filtros es compleja porque requieren, una adquisición de datos de alta resolución y una potencia de cálculo elevada.

No es posible hacer una recomendación básica en cuanto a las medidas de reducción de la interferencia de la red mencionadas aquí. Lo que es importante es tomar las decisiones correctas en la fase del diseño y de la ingeniería del proyecto para obtener un sistema de convertidores de frecuencia de gran disponibilidad, baja interferencia de red y baja interferencia de radiofrecuencia
En cualquier caso, los factores siguientes deben analizarse atentamente antes de tomar cualquier decisión en cuanto a las medidas de reducción que se van a usar:

- Análisis de la red
- Descripción general exacta de la topología de la red
- Limitaciones del espacio en las salas de equipamiento eléctrico disponibles
- Opciones para la distribución de la red o sistemas de subdistribución

Nota: *con las medidas activas complejas existe el riesgo de perder completamente la marca, puesto que estas medidas tienen la grave desventaja de que causan interferencias en los rangos de frecuencia por encima de 2 kHz (véanse las páginas 18 y siguientes).*

Aspectos prácticos de los dispositivos de corriente residual

Dispositivos de protección de corriente residual CA/CC

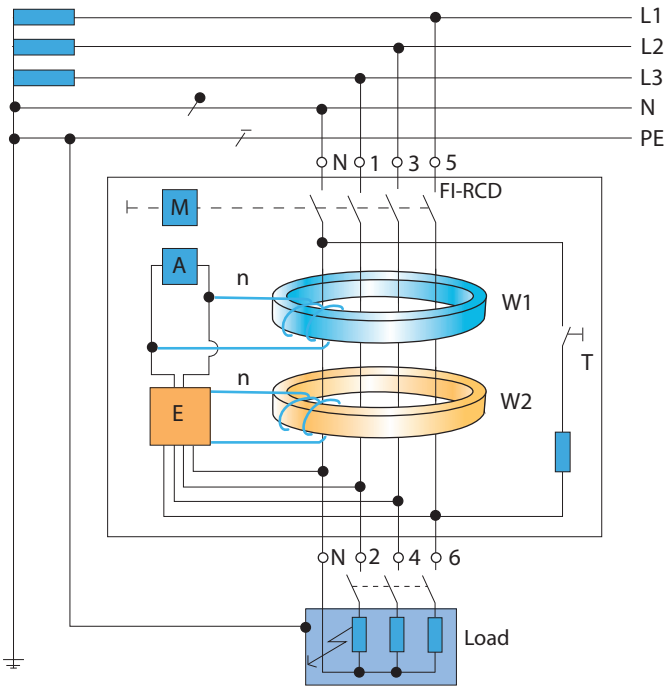
En los países germanoparlantes, se utilizaban diferentes términos para los dispositivos de protección de corriente residual sensibles solo a CA y dispositivos sensibles a CA y CC. Estos dispositivos se conocen internacionalmente como dispositivos de protección contra sobreintensidades (RCCB). El término más culto es «dispositivo de corriente residual» (RCD) como se define en EN 61008-1.

Si utiliza equipamientos en un área protegida que puede generar una corriente de CC en caso de un fallo, deberá utilizar RCD que sean sensibles a corrientes de CC y de CA. Esto se aplica a todo el equipamiento eléctrico con una fase de rectificador B6 (como convertidores de frecuencia) conectada a una red trifásica.
Este tipo de RCD se llama RCD de tipo B de acuerdo con IEC 60755. Debido a su principio operativo, los convertidores de frecuencia generan corrientes de fuga a tierra que el ingeniero de la planta y/o el operador deben considerar al seleccionar la clasificación de la corriente de fallo. Pregunte al fabricante de su convertidor de frecuencia qué tipo de RCD recomienda para su aplicación.

El RCD debe instalarse directamente entre la red y el rectificador. No se permite la integración en una estructura jerárquica con otros RCD.

Nivel de corriente de fuga

El nivel de corriente de fuga depende de varios factores. Por lo general, las corrientes de fuga son mayores en los convertidores de frecuencia y en los motores de potencia elevada. Un convertidor de frecuencia con una potencia de 1,5 kW sin medidas de eliminación de radiointerferencias y un cable de motor corto (aprox. 2 m) tendrá una corriente de fuga de unos 4 mA. Si se necesita una eliminación de radiointerferencias de clase B, la corriente de fuga con la misma configuración asciende a unos 22 mA. Un convertidor de frecuencia de 20 kW con eliminación de radiofrecuencias de clase B y un cable de motor corto y apantallado tendrán una corriente de fuga de unos 70 mA. En cuanto al cable del motor, los usuarios pueden suponer una corriente de 0,5 a 2 mA por metro de cable de motor. El cableado con cables bifilares da valores más bajos que con cables monofilares.



Los RCD del tipo B tienen dos circuitos de monitorización separados: uno para CC pura y otro para corrientes de fallo con un componente de CA.

Aspectos prácticos de conexión a tierra y protección del motor

Medidas de conexión a tierra en la práctica

En la sección de «Motores y cableado» del Paso 3 (pagina 31 y siguientes) se describen en detalle las medidas de conexión a tierra.
Si la aplicación requiere filtros externos, deben instalarse tan cerca del convertidor de frecuencia como sea posible. El cable entre el filtro y el equipamiento debería ser un cable apantallado y el filtro debería estar conectado al conductor de tierra en el lado de la red y en el lado del equipamiento. También se recomienda montar el flush del filtro con la superficie y ofrecer una conexión de baja impedancia entre la carcasa del filtro y el suelo.

Los filtros generan corrientes de fuga que pueden ser considerablemente más altas que el valor nominal en caso de un fallo (pérdida de nivel de fase o carga asimétrica). Para evitar tensiones peligrosas, los filtros deben estar conectados a tierra antes de encenderse el interruptor. Con corrientes de fuga de 3,5 mA y superiores, deberá cumplirse de acuerdo con EN 50178 o EN 60335 bien:

- la sección del conductor de tierra de protección debe ser de 10 mm² o más;
- o el conductor de tierra de protección debe monitorizarse para un circuito abierto;
- o debe instalarse un segundo conductor de tierra de protección.

Las corrientes de fuga aquí son señales de interferencia de frecuencia alta. Esto requiere una conexión a tierra con enlaces de baja impedancia unidos a un área de gran superficie y conectada a un potencial de tierra por la ruta más corta posible.

Nota: *incluso las mejores medidas para contrarrestar la interferencia de la red y la interferencia de la radiofrecuencia no sirven si su implementación en la instalación no es conforme con las buenas prácticas EMC. Los problemas de interferencias son inevitables en tales casos.*

Protección contra la sobrecarga del motor y termistor PTC del motor

Los convertidores de frecuencia asumen la tarea de proteger el motor contra la corriente excesiva. Los sensores termistores o desconexiones térmicas en el devanado del motor se usan para ofrecer la mejor protección posible contra sobrecarga del motor. La señal se controla con terminales de entrada adecuados en el convertidor de frecuencia.

La función protectora de los interruptores de protección contra sobrecarga del motor se limita al funcionamiento de la red directa. En sistemas eléctricos con convertidores de frecuencia, solo pueden proporcionar protección al motor en una situación de emergencia cuando se evita el convertidor de frecuencia por un circuito adecuado. La función de protección contra sobrecarga del motor del interruptor es ineficaz con el funcionamiento de convertidores de frecuencia. No obstante, con el dimensionado adecuado, puede usarse correctamente con motores accionados por convertidores como un tipo de disyuntor trifásico que solo protege el cableado.

Observación: *muchos convertidores de frecuencia tienen una función suplementaria denominada «imágen de motor térmica». La temperatura del motor se calcula desde los datos del motor y la cantidad de potencia transferida al motor. Esta función suele implementarse de forma muy conservadora y tiende a activarse antes de lo absolutamente necesario. La temperatura ambiente real al inicio del proceso de cálculo no se tiene en cuenta por lo general. Sin embargo, esta función puede usarse para suministrar una forma sencilla de protección básica si no hay ninguna otra forma disponible para proteger el motor.*

Nota: *con los convertidores de frecuencia VLTr AQUA Drive, los terminales 50 y 54 están normalmente diseñados para conectarse a termistores. Este puerto es aconsejable para motores con temperatura entre 3 a 6 PTC termistores (configuración estándar: 3 ornamentos por motor).*

Aspectos prácticos del control del operador y visualización de datos

Funcionamiento sencillo

La tecnología básica de todos los convertidores de frecuencia es la misma, por lo que la facilidad del uso es un factor decisivo. Muchas funciones, así como la integración en máquinas o sistemas, requieren un concepto de funcionamiento sencillo. Debe cumplir todos los requisitos para una configuración e instalación fáciles y fiables.

Las opciones varían desde displays numéricos sencillos y baratos hasta los cómodos paneles de control que muestran los datos en forma de texto. Los paneles de control sencillos son adecuados para la tarea básica de cumplir los parámetros operativos como corriente o tensión.

En cambio, los paneles de control con características prácticas permiten que el display muestre parámetros suplementarios o que los presente todos al mismo tiempo. Un agrupamiento claro de las funciones y un manejo manual sencillo también son posibles, así como opciones para el acceso vía software, un bus de campo o incluso el mantenimiento a distancia usando un módem o Internet.

Un convertidor de frecuencia moderno debería ser capaz de combinar todos los conceptos operativos mencionados más abajo en un solo dispositivo o hacerlos posibles y al menos debería permitir la conmutación entre control remoto y manual en todo momento.

design award winner

Este panel de control ganó en 2004 el premio internacional iF Design Award por su facilidad de uso. El LCP 102 fue seleccionado para obtener esta distinción entre 1000 entradas de 34 países en la categoría «interfaces hombre-máquina y de comunicación».



Los paneles de control gráficos ofrecen una mejor facilidad de uso y pueden mostrar información en texto sencillo.



Puesta en marcha sencilla Danfoss Smart Start simplifica considerablemente la puesta en marcha de los convertidores, pues guía al usuario durante la instalación básica del convertidor.



Aspectos prácticos del control del operador y display de datos

Funcionamiento con control local

El requisito básico consiste en contribuir al funcionamiento local usando un panel de control local. Incluso en la era de la comunicación en red, hay muchas tareas que requieren la capacidad de controlar directamente los equipos, como la puesta en servicio, pruebas, la optimización de procesos y las actividades de mantenimiento in situ.

En cada uno de estos casos, es posible que el operador o técnico necesite poder modificar valores locales para incorporar directamente los cambios en el sistema y llevar a cabo tareas relacionadas, como el diagnóstico de fallos. Para este fin, el panel de control debería ofrecer una interfaz hombre-máquina sencilla e intuitiva.

Visualización clara

La solución ideal es un display gráfico, puesto que permite al usuario seleccionar el idioma preferido para la interfaz de usuario y el modo de display básico puede mostrar los parámetros esenciales de la aplicación efectiva.

Para mantener la claridad, esta información de estado debe limitarse a los parámetros básicos y debe ser posible adaptar o cambiar los parámetros en todo momento. También resulta útil poder bloquear ciertas funciones u ocultarlas según el nivel de conocimiento del operador y limitar la visualización de parámetros y la capacidad para modificar parámetros a lo que es realmente necesario para el ajuste y control de los procesos.

Con el gran número de funciones proporcionadas por los convertidores de frecuencia modernos, que tienen a menudo varios cientos de parámetros para la adaptación óptima, se reducen los errores del operador y con ello los costosos tiempos de inactividad y las averías de la instalación. Asimismo, el display debería tener una función de ayuda integrada para las funciones individuales de modo que la ayuda esté disponible en todo momento para el técnico de puesta en servicio o para el técnico de servicio técnico, especialmente para parámetros utilizados raramente, para eliminar la mayor cantidad de errores de operador.

Para un uso óptimo de las funciones de diagnóstico integradas, resulta muy útil poder mostrar diagramas gráficos («función de alcance») además de datos alfanuméricos. En muchos casos, esta forma de visualizar los datos, como en forma de desniveles y/o curvas de par, facilita la resolución de los problemas.

Concepto uniforme

En las plantas de tratamiento de aguas y aguas residuales, se utiliza un gran número de convertidores de frecuencia en una amplia variedad de aplicaciones. Los convertidores, que son normalmente del mismo fabricante, difieren primordialmente en las potencias de salida y, por tanto, en el tamaño y aspecto. Una interfaz de operador uniforme para los convertidores de frecuencia, con el mismo panel de control en todo el rango de potencia, ofrece ventajas para los ingenieros de la planta y los operadores de la instalación.

El principio básico es que simplificando la interfaz del operador la puesta en servicio y la resolución de problemas son más rápidas (si es necesario) y más efectivas. Por consiguiente, los conceptos basados en paneles de control tipo «conectar y usar» han demostrado su valor en la práctica.

Integrado en la puerta del armario

En muchas instalaciones en las que los convertidores de frecuencia están montados en armarios, los ingenieros de instalaciones deberían integrar los paneles de control en las puertas de los armarios para proporcionar la visualización del proceso. Esto solo es posible con convertidores de frecuencia que tienen paneles de control desmontables. Con el panel de control integrado en la puerta del armario usando un bastidor de montaje, el convertidor de frecuencia puede controlarse sin abrir la puerta del armario y puede leerse su estado operativo y datos de proceso.

Nota: *asegúrese de que el convertidor de frecuencia que planifica introducir en el sistema tiene el concepto operativo correcto. Un diseño que proporciona la mayor facilidad de uso posible para la configuración de parámetros y la programación es una ventaja, puesto que hoy en día, la funcionalidad del convertidor de frecuencia no es el único factor significativo. Un funcionamiento rápido y de uso sencillo, preferiblemente intuitivo, también es importante. Este es el único modo de reducir el esfuerzo y con ello, el coste de la familiarización y los consiguientes tiempos de interacción de los empleados responsables de trabajar con los convertidores de frecuencia.*

Los parámetros de los convertidores de frecuencia también pueden configurarse y leerse con la puerta del armario cerrada.



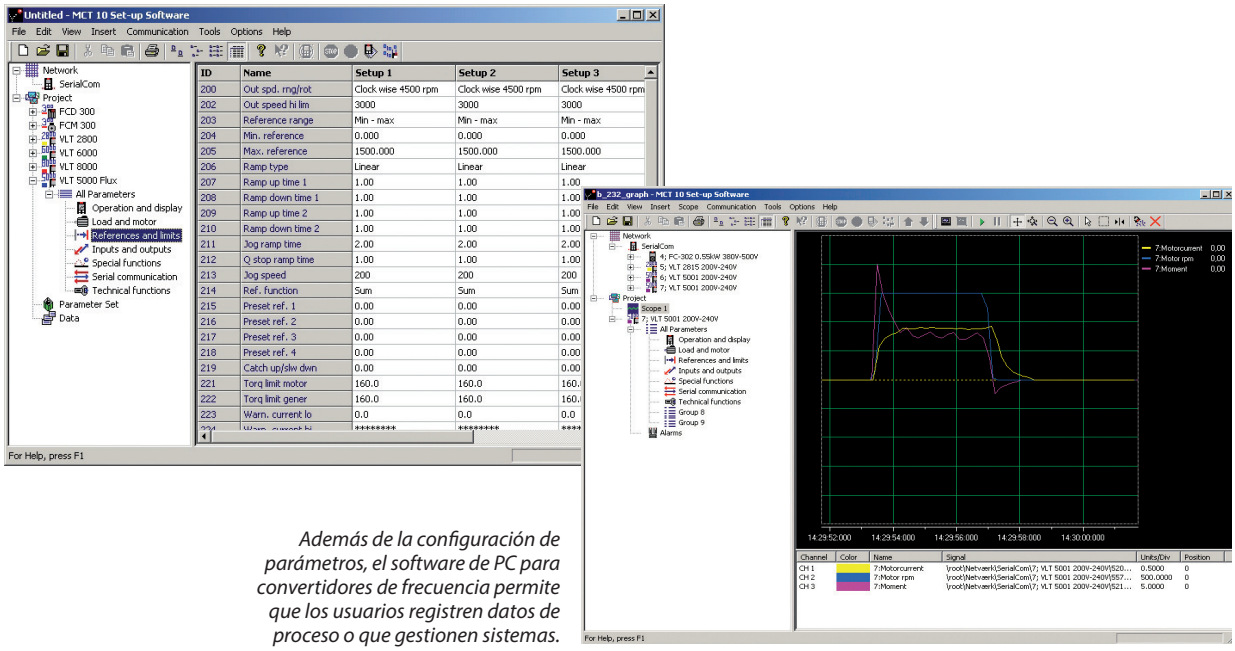
Aspectos prácticos de control y configuración de parámetros con un PC

Opciones ampliadas

Además del funcionamiento con un panel de control, los modernos convertidores de frecuencia soportan habitualmente la configuración de parámetros y la lectura de datos con un programa de PC. Este software se suele ejecutar en Windows y es compatible con diferentes interfaces de comunicación. Permite el intercambio de datos a través de una interfaz RS 485 tradicional, un bus de campo (Profibus DPV1, Ethernet, etc.) o una interfaz USB.

Una interfaz de usuario claramente estructurada proporciona una descripción general rápida de todos los convertidores de frecuencia en un sistema. Un buen programa también permite a los usuarios gestionar sistemas grandes con muchos convertidores de frecuencia. La configuración de parámetros es posible en línea y fuera de línea. El programa permite también integrar documentos en el sistema. Entre otras cosas, esto permite acceder a diagramas eléctricos del sistema o a manuales de funcionamiento del programa.

Observación: *el programa MCT 10 es una herramienta de ingeniería con sistema operativo Windows para facilitar la ingeniería del sistema, la configuración de parámetros y la programación de convertidores de frecuencia VLT® AQUA Drive.*



Además de la configuración de parámetros, el software de PC para convertidores de frecuencia permite que los usuarios registren datos de proceso o que gestionen sistemas.



Aspectos prácticos del intercambio de datos

Sistemas de bus
Los convertidores de frecuencia modernos son inteligentes, lo que les permite gestionar muchas tareas en sistemas de convertidores de frecuencia. Sin embargo, incluso hoy en día muchos dispositivos funcionan con solo cuatro puntos de datos en un sistema de control o bajo el control de un PLC y actúan solo como controladores de velocidad. Esto quiere decir que los operadores no aprovechan todas las funciones útiles y no tienen acceso a datos de sistema almacenados. Sin embargo, los usuarios pueden explotar fácilmente todo el potencial de los convertidores de frecuencia utilizando un enlace de bus de campo, como Profibus, para integrarlos en el sistema de control. Con solo un punto de datos de hardware, esto concede a los usuarios acceso completo a todos los parámetros de los convertidores de frecuencia instalados. El cableado y la puesta en servicio son más sencillos, lo que conlleva ahorros de costes ya desde la fase de instalación. Dispone de un gran volumen de datos para una gestión eficaz de la instalación.
La decodificación de mensajes de fallo colectivos permite diagnosticar errores, incluso remotamente y que se inicien las acciones de corrección de fallo adecuadas.

Mejor gestión de alarmas
Los mensajes de alarma detallados simplifican la ubicación de las posibles causas del fallo y proporcionan una ayuda efectiva para el control de la instalación remota. El mantenimiento remoto que utiliza módems o Internet permite visualizar los mensajes de estado y/o mensajes de fallo rápidamente, incluso con sistemas remotos o componentes de sistema.

Mejor gestión de la instalación
El operador de la sala de control es capaz de controlar y ajustar todos los ajustes de los convertidores de frecuencia remotamente. Los datos de estado, como la frecuencia de salida o el consumo de energía pueden leerse y procesarse en cualquier momento. Los datos adicionales para energía efectiva y la gestión de carga de picos está disponible sin componentes adicionales.

Menores costes de instalación
No es necesario equipar cada convertidor de frecuencia con un display. El usuario o el operador puede acceder a todos los datos relevantes del convertidor de frecuencia a través del sistema de control.
Cableado simplificado con conexiones de dos cables.
Las entradas y las salidas del convertidor de frecuencia pueden utilizarse como puertos de E/S para integrar otros componentes, como sensores, filtros y conmutadores de límite, en el sistema de control.
No hay necesidad de componentes de entrada y salida, puesto que un solo punto de datos de hardware es suficiente para controlar el convertidor de frecuencia.

Las funciones de monitorización como el control de termistor del motor, protección de bomba seca, etc. así como salida y contadores de horas de funcionamiento, están disponibles sin componentes adicionales.

Puesta en servicio simplificada
La configuración de parámetros se efectúa desde la sala de control. Se pueden copiar todos los ajustes de un convertidor de frecuencia a otro rápida y fácilmente. En la memoria del display puede guardarse una copia de seguridad. Los diseñadores y los ingenieros pueden documentar los ajustes pulsando un botón.

Observación: *la opción Remote Guardian RGO 100 establece nuevos estándares para el control, mantenimiento y procesamiento de alarmas para convertidores de frecuencia en una o más instalaciones. Contribuye a realizar las tareas típicas como la acción remota, el mantenimiento remoto, el procesamiento de alarmas y el registro de datos para la configuración así como la monitorización del sistema.*

Aspectos prácticos de los factores de selección adicionales

Controlador de procesos

Los convertidores de frecuencia modernos son controladores inteligentes. Pueden llevar a cabo tareas y funciones efectuadas tradicionalmente por PLC. Los controladores de proceso implementados también pueden usarse para construir lazos de control independientes de alta precisión. Esta función es especialmente útil cuando se reacondicionan sistemas con capacidad PLC insuficiente o sin PLC.
Los transductores de parámetros de proceso activos (transmisores de valor real para caudal, presión o nivel) pueden recibir potencia desde la tensión de control de 24 V CC del convertidor de frecuencia si tiene suficiente capacidad de potencia.

Mantenimiento

La mayor parte de los convertidores de frecuencia no requieren apenas mantenimiento. Los convertidores de frecuencia de alta potencia tienen esteras de filtro incorporadas que el operador debe limpiar periódicamente, dependiendo de la exposición al polvo.

Sin embargo, se debe indicar que los fabricantes de convertidores de frecuencia especifican intervalos de mantenimiento para los ventiladores de refrigeración (aproximadamente 3 años) y para los condensadores (aproximadamente 5 años) en su equipamiento.

Observación: *los modelos de convertidores de frecuencia VLT® de Danfoss de hasta 90 kW no requieren mantenimiento. Los modelos con potencia nominal a 110 kW o superior tienen esteras de filtro integradas en los ventiladores de refrigeración. Deben ser comprobados periódicamente y limpiarse cuando sea necesario.*

Almacenamiento

Al igual que el resto de equipos electrónicos, los convertidores de frecuencia se deben almacenar en un lugar seco. Siga las especificaciones del fabricante. Algunos fabricantes especifican que el dispositivo debe formarse periódicamente. Para este fin, el usuario debe conectar el dispositivo a una tensión definida durante un cierto periodo. Esta formación es necesaria debido al envejecimiento de los condensadores en el enlace de CC del dispositivo. La tasa de envejecimiento depende de la calidad de los condensadores utilizados en el dispositivo. La formación contrarresta el proceso de envejecimiento.

Observación: *debido a la calidad de los condensadores utilizados y al concepto de fabricación flexible según pedido, este procedimiento no es necesario con convertidores de frecuencia VLT® AQUA Drive.*

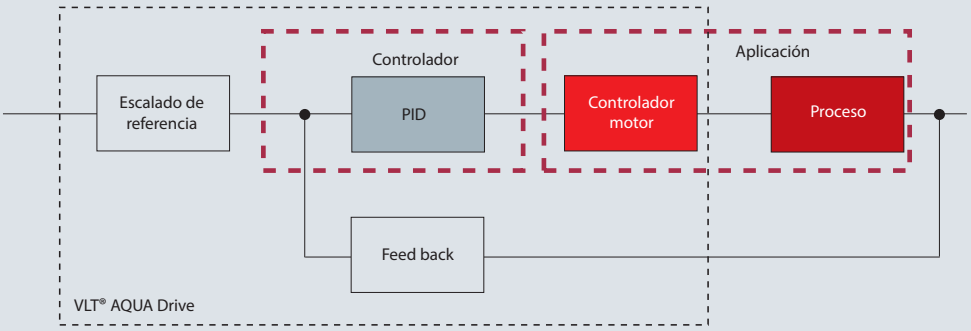


Diagrama de bloque del controlador de proceso PID



VLT® AQUA Drive



Los convertidores de frecuencia VLT® AQUA Drive están disponibles con potencias de salida de 0,37 kW a 1,4 MW y una tensión nominal de 400 V o 690 V.

Las versiones de convertidores de frecuencia VLT® de bajos armónicos también están disponibles para interferencias de red reducidas.

Las unidades AQUA Drive de Danfoss® han sido específicamente diseñadas para su uso en aplicaciones de tratamiento de aguas y aguas residuales. A diferencia de otras muchas marcas, todos los componentes importantes y las funciones están integradas en serie.

- Tensión de red completa en la salida
- Pueden conectarse cables de motor largos (150 m apantallados o 300 m sin apantallar)
- Dimensionado para una larga vida útil
- Filtro RFI integrado conforme con EN 61800-3 categoría C1 (límites de clase B tal y como se define en EN 55011)
- Bobinas de choque para interferencia de la red incorporadas (UK 4 %)
- Control de termistor de PTC
- Función AEO para un ahorro energético especialmente alto
- Imágen de motor térmica integrada en el convertidor de frecuencia como software protección contra sobrecarga del motor, también tiene en cuenta la baja ventilación del motor interna a velocidades bajas (no es posible con interruptores de protección del motor)
- Interfaz de serie RS 485
- Interfaz USB
- Reloj en tiempo real
- Protección de bomba seca
- Monitorización del caudal de salida
- Alternancia de bomba controlada por tiempo de funcionamiento
- Arranque de bomba reductor del desgaste
- Función de llenado de tubería para evitar efectos de golpes de ariete
- Puerto Profibus integrado opcional (también con fuente de alimentación externa 24 V CC)
- Controlador en cascada integrado para tres bombas
- Controlador en cascada opcional básico o avanzado
- Control de bomba sin sensor opcional
- Filtros de red activos y pasivos opcionales para reducción de armónicos adicionales
- Filtro senoidal y filtro dv/dt opcional para todas las potencias de salida
- VLT® AQUA Drive en versión de bajos armónicos

Puede ampliar la información a través de su persona de contacto de Danfoss o en Internet. Puede descargarse más información en nuestra página web.

www.danfoss.com/vlt

Directivas relacionadas con convertidores de frecuencia

Marca CE

El propósito de la marca CE (Comunidad Europea) es eliminar barreras técnicas para el comercio libre entre los países de la CE y la EFTA (dentro de la ECU). La marca de CE indica que el fabricante del producto cumple todas las directivas de la CE aplicables que se han transpuesto a la ley nacional. La marca de CE no dice nada sobre la calidad del producto. Las especificaciones técnicas no pueden deducirse de la marca CE. Las directivas que se deben cumplir dentro del alcance de uso de los convertidores de frecuencia incluyen la Directiva de máquinas, la Directiva EMC y la Directiva de baja tensión.

Directiva de maquinaria

La aplicación de la Directiva de máquinas 2006/42/CE pasó a ser obligatoria el 29 de diciembre de 2009. De este modo se abrogaba la directiva de máquinas 98/37/CE. El mensaje clave de la directiva es que una máquina, que consta de un grupo de componentes interconectados o dispositivos de los cuales al menos uno es móvil, debe diseñarse de modo que se no ponga en peligro la seguridad y salud de las personas, y en la medida que corresponda, de los animales domésticos o bienes, siempre que la máquina esté correctamente instalada, mantenida adecuadamente y que se use según lo previsto. Los convertidores de frecuencia se clasifican como componentes electrónicos y no están por tanto sujetos a la Directiva de máquinas.

Cuando las empresas de ingeniería de instalaciones utilizan convertidores de frecuencia en máquinas, dichas empresas generan una declaración del fabricante en la que manifiestan que la máquina está conforme con todas las normas y medidas de seguridad relevantes.

Directiva EMC

La Directiva EMC 2004/108/CE entró en vigor el 20 de julio de 2007. Su mensaje clave es que los dispositivos que son propensos a generar interferencia electromagnética o aquellos cuyo funcionamiento puede verse afectado negativamente por dicha interferencia, deben diseñarse de modo que la generación de la interferencia electromagnética se vea limitada, en la medida en que los dispositivos de radio y telecomunicaciones así como otro tipo de dispositivos exhiben un grado adecuado de inmunidad a la interferencia electromagnética cuando se utilizan conforme a su uso previsto, tal que el funcionamiento conforme a dicho uso previsto sea posible. Como los convertidores de frecuencia no son dispositivos que se puedan operar de forma independiente y no están generalmente disponibles, no es necesario documentar la conformidad con la Directiva EMC mediante una marca CE ni una declaración de conformidad CE. Sin embargo, los convertidores de frecuencia de Danfoss tienen la marca CE como una indicación de conformidad con la Directiva EMC y está disponible una declaración de conformidad.

Directiva de baja tensión

La Directiva de baja tensión 73/23/CEE entró en vigor el 11 de junio de 1979; el periodo de transición terminó el 31 de diciembre de 1996. El mensaje clave es que un equipo eléctrico que se va a utilizar con una tensión nominal de 50 a 1000 V CA o de 75 a 1600 V CC debe estar diseñado de modo que no se pongan en peligro la seguridad y salud de las personas y del ganado y se conserve el material siempre que el equipo esté correctamente instalado y mantenido y se use conforme a lo previsto. Como los convertidores de frecuencia son equipamiento eléctrico que funciona en el rango de tensión especificado, están sujetos a la Directiva de baja tensión y todos los dispositivos fabricados a partir del 1 de enero de 1997 deben llevar una marca CE.

Nota: *los fabricantes de máquinas o sistemas deberían garantizar que los convertidores de frecuencia que usan cuentan con la marca CE. Si así se solicita, se debe proporcionar una declaración de conformidad CE.*

Índice

A

Acoplamiento capacitivo 14
Acoplamiento conductor 14
Acoplamiento de radiación 14
Acoplamiento inductivo 14
Ahorro de energía 8
Ahorro potencial de energía 8, 9
Aire acondicionado 27
Aislamiento del motor 36, 37
Amoníaco 28
Amplitud 15
Análisis de Fourier 15
Análisis de la red 16, 24
Apantallamiento 39
Aprobación PTB 30
Armónicos 14
Asimetría de la carga 24
ATEX 30
Aumento de capacidad 8

B

Bobinas de circuito intermedio de red 44, 45
Bobinas de circuito intermedio 17, 23, 24, 37, 45

C

Cable de motor 35, 36, 37, 39, 40
Caída de tensión 36, 37, 41
Caídas de tensión 8
Cálculo de armónicos 16, 24
Cálculo de la red 16, 46
Calefacción de armario 27
Calidad de la potencia de la red 15, 16, 17
Calidad 7
Cambio de fase 23
Campo magnético 14
Campos de interferencias 14
Capacidad de sobrecarga 41
Característica de la carga 42
Característica lineal 41, 42
Característica no lineal 42
Característica V/f 9
Características de par 8, 41, 42
Características EMC 12
Carga asimétrica 24
Carga conectada 8
Carga de armónicos 24
Caudal de aire 27, 29
Caudal volumétrico 10
Caudal 8
Clase de protección de ignición 30
Clases de eficacia 31, 41
Clases de IE 31
Clasificaciones de protección 25, 26
Clasificaciones IP 26
Cloro 28
Cojinete del motor 33, 36
Compensación central 18
Compensación de grupo 18
Compensación individual 18
Condensación 27
Condensador 17
Condiciones ambientales 7, 25
Condiciones climáticas 27
Condiciones de conexión 15
Condiciones de instalación 25
Conductor de conexión a tierra de protección 12
Conductor neutral puesto a tierra 12
Conductor neutro, separado / combinado 12
Conductor 37, 38, 43
Conexión a tierra de la instalación 38
Conexión a tierra individual 12
Conexión a tierra 38
Conexión a tierra 38, 48
Configuración 51
Consumo de corriente 15
Consumo de energía 9
Contaminación 28
Control de válvula 10
Control Emax 8
Controlador de procesos 53
Corriente armónica 16, 18
Corriente de cojinete 35
Corriente de compensación 18
Corriente de fuga 47, 48
Corriente nominal del motor 8, 41
Corriente reactiva 9, 35
Corrientes no senoidales 15
Corrientes pico 8
Corrosión 28
Cortocircuito 21
Coseno φ 23
Costes de ciclo de vida (LCC) 7, 10
Costes de eliminación 10
Costes de funcionamiento 8, 10
Costes de instalación 10
Costes de mantenimiento 7, 10
Costes de puesta en servicio 10
Costes de puesta fuera de servicio 10
Costes de reparación 8
Costes de suministro 8
Costes de tiempo de inactividad 10
Costes energéticos 10
Costes iniciales de capital 10
Costes medioambientales 10
Curva característica constante 41, 42
Curvas características 15

D

Desgaste de material 8
Devanado 35
Devanados escalonados 24
Directiva de baja tensión 55
Directiva de máquinas 55
Directiva EMC 55
Directivas 15, 55
Diseñador de servicios de instalaciones 7
Disipador de calor 29
Disipador de interferencias 14
Disminución / reducción de la potencia 13, 42
Display de datos 49, 50
Disponibilidad 8, 16
Dispositivo de corriente residual 47
Distorsión armónica 15, 17, 18
Distorsión senoidal 15
Distorsión 15

E

EMC 12, 13, 14, 21, 25, 38, 44
Emisión de interferencias 13
Enlace de CC 17, 19, 23, 27, 45
Entorno (1 o 2) 21, 22, 23, 24, 39
Entorno agresivo / gases 28
Entorno especial 22
Entorno industrial 22, 24
Entorno residencial 22, 24
Entrada activa 17, 19, 20, 46
Espacio libre para montaje 27
Espectro de distorsión 18
Estándar general 21
Esteras de filtro 29
Exposición al polvo 29

F

Factor de coste 10
Fluoruro de hidrógeno 28
Filtro de red 21
Fusibles de red / disyuntor 44
Filtro de modo común 36
Filtro LC, circuitos 34, 46
Filtro de salida 36, 37, 38
Filtro senoidal 30, 36
Fuente de interferencias 14
Funcionamiento multimotor 41
Funcionamiento en paralelo 41
Funcionamiento a carga parcial 8, 9
Factor de potencia 17, 19, 23
Filtros pasivos 17, 20, 46
Filtro armónico 16, 17, 42, 43
Filtros activos 17, 18, 20, 46
Filtro dU/dt 20, 35, 36, 37
Filtro RFI 21, 42
Fluoruro de hidrógeno 28

G

Generador 24
Golpe de la carga 8

H

Harmónicos (LHD) 17, 19, 46
Humedad relativa 27

I

Impedancia de red 24
Ingeniería de proyecto 7
Inmunidad a las interferencias 13, 2
Intercambio de datos 51
Interferencia de la red 15, 16, 17, 19, 44
Interferencias de radiofrecuencias 21, 22, 44

K

Kit de montaje del panel 50

L

Lazo de control 53
Lazo de tierra 38
Limitación de corriente de arranque 8
Lista de verificación del diseño 6, 62
Longitud de onda 14
Lugar de funcionamiento (EMC) 21, 22, 25

M

Mantenimiento 53
Máquinas de flujo de fluidos 9, 41
Marca CE 55
Mecanismo de acoplamiento 14
Medidas de apantallamiento 39
Montaje en armario (montaje centralizado) 25
Montaje en pared (local) 25
Motores CE 33, 34
Motores de inducción trifásicos (TPIM) 33
Motores de magnetización permanente (PM/PMSM) 33, 34

N

Nitrógeno 28
Nivel de interferencias 21
Norma de producto 21
Normas de rendimiento mínimo (MEPS) 31, 32

O

Ondas electromagnéticas 14
Operador de la instalación 15
Optimización automática de la energía (AEO) 9, 54
Ozono 28

Índice

P

Panel de control 49, 50
PCB barnizados 28
Pérdidas de baja tensión 16
PmyPlena carga 8
Potencia aparente 16
Potencia reactiva 24
Prensacables (normales y EMC) 39
Prensacables EMC 37
Presión 8
Protección contra explosión (ATEX) 30
Protección de segundo nivel 21
Protecciones IEC 32
Punto de funcionamiento 8
Puntos de contacto 38

R

Radiación 39
Rango de control 8
Rango sobresíncrono 8
Rayos 3
RCD 47
Reacondicionamiento 8, 36
Rectificador de entrada 15
Rectificador 15, 17, 24, 46
Red de baja tensión 24
Red de energía 15
Red industrial 15
Red pública eléctrica 15
Refrigeración 27, 29
Reglas de proporcionalidad 9
Rendimiento del motor 31
Rendimiento energético 7
Resonancias 24
RFI 21, 36, 44

S

Sala de control 27
Sistema de bus 52
Sistema de convertidor de frecuencia 8
Sistema de la red 8, 12, 15, 23
Sistema de red de IT 12
Sistema de tuberías 8
Sistema global 8
Sistemas de bombas 10
Sistema de red de TT 12
Sistemas de potencia de reserva 24
Sistemas de red de TN 12
Sulfuro de hidrógeno 28

T

Temperatura ambiente 27
Tensión de aislamiento 33
Tensión de apoyo 35
Tensión de CC 17, 20
Tensión de enlace de CC 34, 37
Tensión senoidal 15
Tensión térmica 35
Termistor PTC 30, 43, 48, 54
THD (distorsión armónica total) 15, 17, 18, 20, 45
Tiempo de amortización 8
Tiempo de ejecución, bomba 10
Tipo de red 12
Transformador (carga, utilización) 24, 45
Transitorios de red 17, 23, 24
Transitorios 18, 23, 24, 41
Transmisión de interferencias 12

V

Valor RMS 16
Válvula reguladora 9, 10
Varistor 23
Vida útil 8, 27, 29, 42

Abreviaturas

AFE	Entrada activa
AHF	Filtros armónicos avanzados
ATEX	Atmósfera explosiva
CE	Comunidad Europea
EMCEP	Comité europeo de fabricantes de máquinas eléctricas y electrónicas
CT	Ciclo de trabajo
Eff	Clases de rendimiento (motores)
EMD	Descarga electromagnética
EMC	Compatibilidad electromagnética
EN	Norma europea (norma)
FC	Convertidor de frecuencia
IE	Eficiencia internacional (motores)
IEC	Comisión electrotécnica internacional
Clasificaciones IP	Clasificaciones de protección Ingress
LCC	Coste de ciclo de vida
LHD	Convertidor de frecuencia de bajos armónicos
MEPS	Normas de eficiencia mínima
PCB	Placa de circuito impreso
PFC	Corrección del factor de potencia
PLC	Controlador lógico programable
PTB	Physikalisch - Technische Bundesanstalt (Instituto nacional de metrología de Alemania)
PTC	Coeficiente de temperatura positiva
RCCB	Disyuntor de corriente residual
RCD	Dispositivo de corriente residual
RFI	Interferencias de frecuencias de radio
THD	Distorsión armónica total



ENGINEERING
TOMORROW

Lista de verificación del diseño de los convertidores de frecuencia

Cuatro pasos del diseño básico de los convertidores de frecuencia para un funcionamiento fiable en una planta de tratamiento de aguas y aguas residuales

En primer lugar, debe determinar la tarea del convertidor de frecuencia y las características de par. Si confirma todos los puntos de esta lista de verificación, puede tener la seguridad de que la instalación funcionará sin problemas.



Sistemas de red

☐	**Tipo de red: TN-C, TN-S, TT, IT**	TN-S es favorable en lo relativo a EMC. Con los sistemas de red IT son necesarias medidas especiales.
☐	**EMC**	Cumpla las normas EMC y sus límites.
☐	**Interferencia de la red (frecuencia baja)**	¿Cuánta interferencia de red existe ya? ¿Cuál es la máxima corriente armónica admisible (THD)?
☐	**Interferencia radiofre-cuencias (alta frecuencia)**	¿Cuál es la clase de entorno (1 o 2) de la instalación?
☐	**Equipo de corrección del factor de potencia**	Instale bobinas de circuito intermedio en el equipo de corrección del factor de potencia.
☐	**Transitorios de red**	¿Están los FC debidamente protegidos contra los transitorios de red?
☐	**Utilización máxima de transformador**	Regla general para la carga del transformador: aproximadamente un 40 % de carga de FC (con bobina de choque).
☐	**Funcionamiento con un generador de reserva**	Aquí se aplican otras condiciones al FC diferentes del funcionamiento de red.



Condiciones ambientales

☐	**Ubicación de la instalación**	¿FC montado de forma centralizada en un armario (IP20) o localmente en la pared (IP54 o IP66)?
☐	**Concepto de refrigeración**	Refrigeración del armario y del FC; las altas temperaturas dañan todos los tipos de componentes electrónicos.
☐	**Entorno / gases agresivos**	PCB barnizados para protegerlos de gases agresivo: sulfuro de hidrógeno (H2S), cloro (Cl2) y amoníaco (NH3).
☐	**Exposición al polvo**	El polvo encima o dentro del FC reduce la eficacia de la refrigeración.
☐	**Atmósferas potencial-mente explosivas**	Aquí los FC están sujetos a restricciones.



ENGINEERING
TOMORROW



Motor y cableado

☐	Clases de eficiencia del motor	Selección de un motor eficiente energéticamente
☐	Idoneidad del motor para funcionamiento de FC	Pida al proveedor del motor que confirme su idoneidad para el funcionamiento de FC.
☐	Filtro de salida: senoidal o dv/dt	Filtros suplementarios para aplicaciones especiales.
☐	Cable de motor	Utilice un cable con apantallamiento adecuado. Observe la especificación del FC de longitud máxima del cable conectado.
☐	Medidas de conexión a tierra	Asegúrese de la correcta ecualización de potencial. ¿Existe un plan de conexión a tierra?
☐	Medidas de apantallamiento	Utilice prensacables EMC y finalice el apantallamiento correctamente.



Convertidor de frecuencia

☐	Dimensionamiento y selección	Dimensionado según la intensidad del motor. Tenga en cuenta las caídas de tensión.
☐	Caso especial Funcionamiento multi-motor	Aquí se aplican condiciones especiales.
☐	Frecuencia de radio Interferencia (alta frecuencia).	Especifique filtros RFI aptos para el entorno EMC actual.
☐	Interferencia de la red (frecuencia baja)	Utilice bobinas de circuito intermedio de interferencias de red para reducir las corrientes armónicas.
☐	Medidas de conexión a tierra	¿Se han tomado medidas para contrarrestar las corrientes de fuga?
☐	RCD	Utilice solo RCD tipo B.
☐	Protección contra sobrecarga del motor y termistor PTC del motor	El FC controla el termistor PTC del motor. (Aprobación PTB de zona EX)
☐	Control de operador y display de datos	Control de operador y display de datos usando un display de texto (instalado en una puerta de armario).
☐	Intercambio de datos (sistemas de bus)	A través de sistemas de bus (p. ej., Profibus) o a través de cableado convencional entre terminales.
☐	Controlador de procesos	Los FC pueden realizar tareas de PLC o establecer lazos de control autónomos.
☐	Mantenimiento	¿Está el convertidor de frecuencia libre de mantenimiento?

Notas

ENGINEERING
TOMORROW

Todo sobre VLT®

Danfoss Drives es el líder y referente mundial entre los fabricantes de Convertidores de Frecuencia – y todavía creciendo en cuota de mercado.

Protección del Medioambiente

Los productos VLT® se fabrican con máximo respeto hacia el medioambiente tanto físico como social. Todas las actividades se planifican y realizan teniendo en cuenta al empleado, el ambiente de trabajo, y el ambiente externo. La producción se lleva a cabo sin ruidos, humo u otros agentes contaminantes y asegura la correcta eliminación de los productos.

UN Global Compact

Danfoss ha firmado el documento de las Naciones Unidas – UN Global Compact – de responsabilidad social y medioambiental y nuestras compañías actúan de modo responsable en las sociedades en cada país.

Directivas EU

Todas las fábricas están certificadas de acuerdo al estándar ISO14001 y cumplen las Directivas EU para la Seguridad General de Productos (GPSD) y la Directiva de Máquinas. Danfoss Drives está implementando en todas las series de productos la Directiva EU respecto a Sustancias Peligrosas en Equipos Eléctricos (RoHS) y está diseñando todos sus productos de acuerdo a la Directiva EU sobre Desechos de Equipos Eléctricos y Electrónicos (WEEE).

Impacto de Productos

Un año de producción de VLT® ahorrará la energía equivalente a una planta de energía por fusión. Mejores procesos de control al mismo tiempo mejoran la calidad de los productos y reducen el mal gasto y desecho de productos.

Dedicados a Drives

La dedicación ha sido la palabra clave desde que en 1968, Danfoss introdujo al mundo el primer Convertidor de Frecuencia en producción en serie para motores de CA – denominado VLT®.

Dos mil empleados desarrollan, fabrican, venden y dan servicio a Convertidores de Frecuencia y Arrancadores Suaves en más de 100 países, especializados únicamente en estos dos productos.

Inteligente e Innovador

Los diseñadores de Danfoss Drives han adoptado principios totalmente modulares tanto en el desarrollo como en el diseño, producción y configuración de los productos fabricados.

Los futuros modelos se desarrollan en paralelo con las más avanzadas plataformas tecnológicas. Esto permite que el desarrollo de todos los elementos se lleve a cabo en paralelo y al mismo tiempo, reduciendo tiempos de introducción al mercado y asegurando que los clientes siempre disfruten de los beneficios de las últimos avances.

Confianza en los expertos

Tenemos la responsabilidad de cada elemento en nuestra producción. El hecho de que desarrollemos y fabriquemos nuestros propios equipos, hardware, software, módulos de potencia, tarjetas electrónicas, y accesorios , es una garantía de productos fiables.

Soporte Local – Globalmente

Los convertidores de frecuencia VLT® funcionan en aplicaciones a lo largo de todo el mundo, y los expertos de Danfoss Drives están disponibles en más de 100 países listos para dar soporte al cliente, con ayuda en aplicaciones y servicio, siempre que lo necesite. Los expertos de Danfoss Drives no paran hasta que los desafíos de los variadores de los clientes son resueltos.



Danfoss, S.A. • C/Caléndula, nº 93 – Edif. I (Miniparc III) • 28109 Madrid - España • E-mail: infodrives@danfoss.es • www.danfoss.com/spain
Tel. (Comercial): 902 246 100 • Fax: 902 246 101 • Tel. (Serv. Técnico): 902 246 112 • Tel. (Emergencias 24H): 807 11 04 46 • E-mail: satvlt@danfoss.com

Danfoss no acepta ninguna responsabilidad por posibles errores que pudieran aparecer en sus catálogos, folletos o cualquier otro material impreso, reservándose el derecho de alterar sus productos sin previo aviso, incluyéndose los que estén bajo pedido, si estas modificaciones no afectan las características convenidas con el cliente. Todas las marcas comerciales de este material son propiedad de las respectivas compañías. Danfoss y el logotipo Danfoss son marcas comerciales de Danfoss A/S. Reservados todos los derechos.

DKDD.PB.14.U3.05 VLT® es una marca registrada de Danfoss A/S Fabricado por PE-MMSC 2014.09