

INTRODUCCIÓN

Un variador de velocidad es una fuente de alimentación con tensión y frecuencia variables, que modifica la velocidad de un motor manteniendo un par útil en cierto rango de regulación.

Para elegirlo adecuadamente debemos conocer:

- La tensión de alimentación disponible (monofásica o trifásica, y su valor). Los motores, siempre trifásicos (conectados en estrella o triángulo según placa).
- La corriente del motor (o la potencia y su velocidad nominal).
- El tipo de máquina que va a mover (ventilador, bomba, traslación, compresor...).
- Si se esperan sobrecargas.
- El rango de velocidad de giro aproximado del motor (por asegurar su correcta ventilación a velocidades bajas).
- Los accesorios que debemos incluir.
 - Elementos de frenado eléctrico o control del freno mecánico del motor en caso de existir.
 - Reactancias de entrada (si el variador no las trae de serie) para reducir la distorsión de corriente a la entrada del variador y/o amortiguar microcortes (cuando hay pantógrafos de alimentación, por ejemplo).
 - Reactancias de salida/filtro seno cuando hay mucha longitud de cable a motor o se trabaja con más de un motor conectado a la salida.
 - La maniobra de línea (contactor, seccionador portafusibles).
 - La protección del variador frente a la suciedad, humedad ambiental y otros factores agresivos (IP00, IP21, IP55, IP66, tarjetas barnizadas).
 - La necesidad de medir la velocidad real de motor (elevaciones o necesidad de elevada precisión de velocidad) con un encoder en el motor y una tarjeta de medida para conectarlo en el variador.
 - Si se va a usar algún protocolo de comunicaciones.

Los catálogos técnicos de los fabricantes suelen explicar con detalle cómo elegir el variador y sus accesorios.



SI VA A USAR VARIADORES...

- Use cable entre variador y motor apantallado (un cable anti roedores, blindado o armado no necesariamente apantalla al 100%).
- Si la tierra es buena en la instalación, conecte todas las pantallas y armarios de variadores entre sí a esa tierra única y de calidad. La jaula Faraday así formada encerrará las perturbaciones electromagnéticas radiadas y no saldrán al exterior.
- Use armarios de calidad. Si los variadores son grandes (+30 KW) deben ser preferiblemente metálicos.
- Separe los cables de fuerza y de mando por bandejas diferentes.
- Evite las señales analógicas en tensión. Use siempre que sea posible señales en mA (hay convertidores de señal de todo tipo para resolver estos problemas).
- Use filtros acondicionadores de alimentación en los equipos de control y medida que se alimenten del mismo trafo en el que haya variadores.
- Los filtros RFI que incorporan los variadores sirven para amortiguar las perturbaciones electromagnéticas conducidas. Si el diferencial de la instalación salta al conectar el variador o al cambiar la velocidad del motor, debe cambiar el diferencial por uno inmunizado frente a perturbaciones (o como último recurso desconectar el filtro del variador).
- Ventile bien los armarios de los variadores. Si no lo hace tendrá disparos por temperatura.
- Evite la acumulación de suciedad. Toda acumulación de polvo dentro del variador se vuelve conductora cuando absorbe la humedad del aire, provocando cortocircuitos en las tarjetas electrónicas.
- Los motores nuevos están preparados para funcionar con variador. Los antiguos no necesariamente. Su aislamiento puede no soportar la forma de trabajo con variador. Pregunte en caso de duda a su proveedor (si su motor es antiguo, pida un "filtro senoidal" o cambie el motor).
- Ojo si va a trabajar a baja velocidad, el motor no ventila igual que a su velocidad nominal.
- Nunca arranque "a las bravas" variadores que llevan meses parados (podrían explotar). Consulte a su proveedor (si no les dan soluciones, RYSEL puede regenerar los condensadores del variador).
- Para alimentaciones superiores a 500 V consulte a su proveedor respecto de las precauciones adicionales a tomar.



CAJA DE BORNAS DE UN MOTOR DE 500 KW A 690 V



CONVERTIDORES DE POTENCIÓMETRO A mA, DUPLICADORES Y/O AISLADORES DE SEÑAL



MANIOBRA BÁSICA

MANIOBRA MÁS ELABORADA EN CUBICULO



MANGUERA ANTI ROEDORES



FUERZA/MANDO (CABLE APANTALLADO FUERZA)



MÓDULO DE POTENCIA AVERIADO POR SUCIEDAD

ABB Motors										CE			
3-Motor M2AA 160 M-4													
										No			
										Ins.cl.	F	IP	55
V	Hz	kW	r/min	A	cos φ	I _m /I _N	t _E /S						
690	Y	50	11	1460	12,4	0,81							
400	Δ	50	11	1460	21,5	0,81							
660	Y	50	11	1450	13	0,83							
380	Δ	50	11	1450	22,5	0,83							
415	Δ	50	11	1465	21,5	0,79							
440	Δ	60	12,5	1750	22,5	0,83							
Prod. code 3GAA 162 001-ADB													
6309-2Z/C3										6209-2Z/C3	75	Kg	
										IEC 34-1			

INTRODUCCIÓN

$$N2 = s * N1 = s * 60 * f1 / p$$

Esta expresión nos marca las formas de actuar sobre la velocidad del un motor asíncrono.

- **(p) El número de polos del motor** (Dahlander o modulación de anchura de polos) pero hacen falta motores especiales que permiten conectar los devanados de distinta forma. Se obtienen velocidades doble-mitad, o con relaciones fijas.
- **(s) El deslizamiento** (resistencias rotóricas en motores de anillos o cascadas subsíncronas, hoy no utilizadas).
- **(f1) La frecuencia de alimentación.** Es un modo de modificar la velocidad síncrona, como la conexión Dahlander, pero se obtienen todas las gamas de velocidades, mediante el uso de semiconductores.

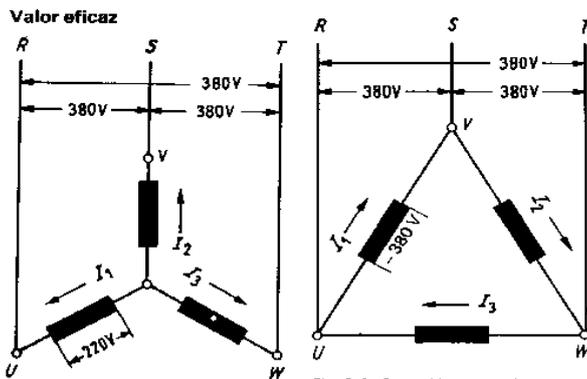
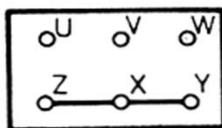
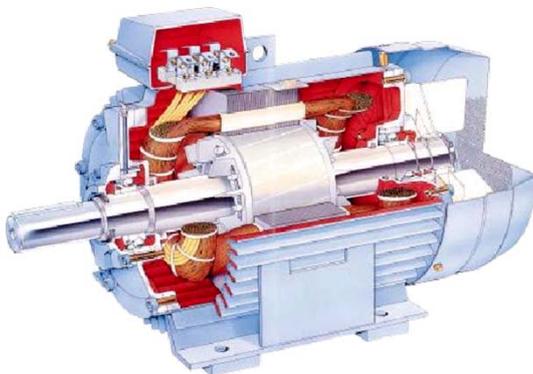
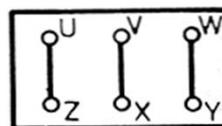


Fig. 2.5 Conexión estrella, tensión de red 380 V

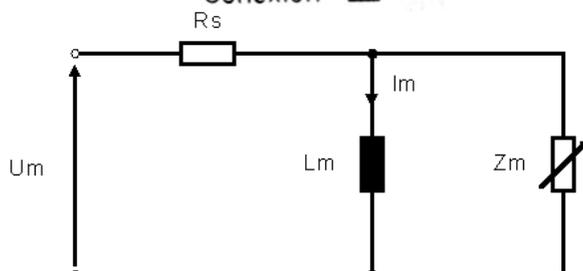
Fig. 2.6 Conexión triángulo, tensión de red 380 V



Conexión Y



Conexión Δ



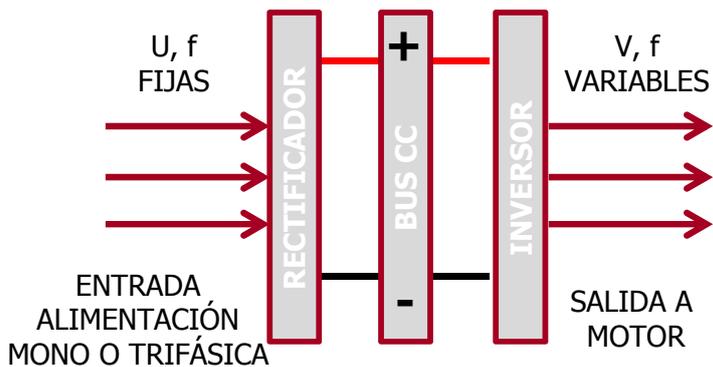
Centrándonos en la f1, tenemos que un convertidor de frecuencia "engaña al motor" haciéndole creer que tiene una alimentación de otra frecuencia diferente de 50 Hz, lo cual modificará la velocidad síncrona, y por tanto, la velocidad del rotor.

El variador debe ser capaz de mantener el par motor dentro de unos límites útiles para la aplicación. Lo ideal es que se mantuviera por lo menos, el valor del par nominal a cualquier velocidad de giro.

En la figura vemos el esquema equivalente de un motor asíncrono (por fase). La bobina Lm es el circuito de magnetización (el que crea flujo) y la impedancia variable con el deslizamiento es el circuito de carga (el que crea par). Si lo que pretendemos es mantener la característica de magnetización nominal del motor, habrá que mantener constante la corriente por la rama de magnetización (flujo constante).

- $\phi = L_m I_m = L_m U / (2 \pi f)$ para una bobina dada son constantes L, 2, π luego si se quiere tener flujo constante debe ser constante la relación:
- $\phi = \text{cte.} \cdot U / f$

Para tener flujo constante sobre el rotor = par constante, el variador debe modificar simultáneamente la tensión y la frecuencia, de forma que siempre sea constante esa relación.

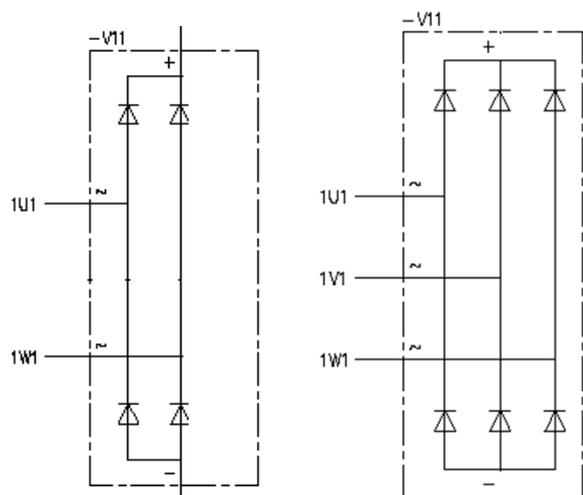


Este esquema muestra de un modo sencillo las partes de un convertidor de frecuencia con paso intermedio de CC (los más habituales en el mercado).

¿Como se consigue obtener a la salida de la etapa de potencia una V, f variables?

Aunque hay otras topologías y sistemas de control, casi todos los variadores utilizan la modulación PWM (Pulse Width Modulation, modulación de la anchura del impulso).

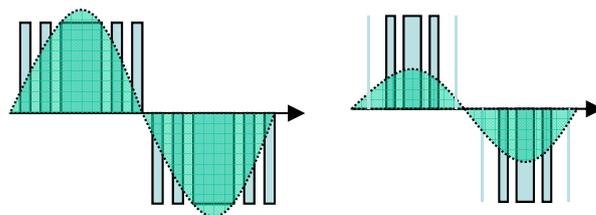
El variador genera a la salida un tren de pulsos de tensión (en cada fase) de altura fija positiva o negativa, pero de duración temporal diferente.



EJEMPLOS DE RECTIFICADORES MONOFÁSICO Y TRIFÁSICO

PREVIO: EQUIVALENTE SENOIDAL DE UNA FORMA DE ONDA

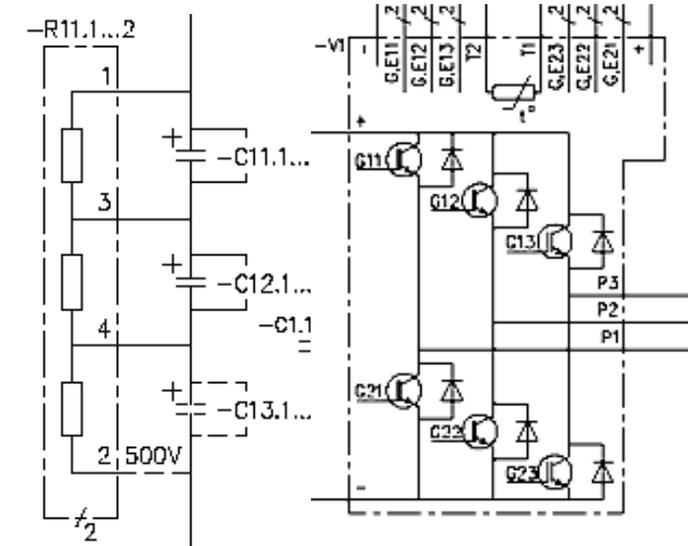
Recordando los conceptos de valor medio y eficaz de una onda, podemos definir este concepto. Veamos estos casos prácticos: se trata de lograr una onda senoidal cuya superficie sea igual a la de la onda original.



Hemos modificado el valor eficaz de la tensión senoidal equivalente, mediante el control de la duración de los pulsos de tensión, de altura constante.

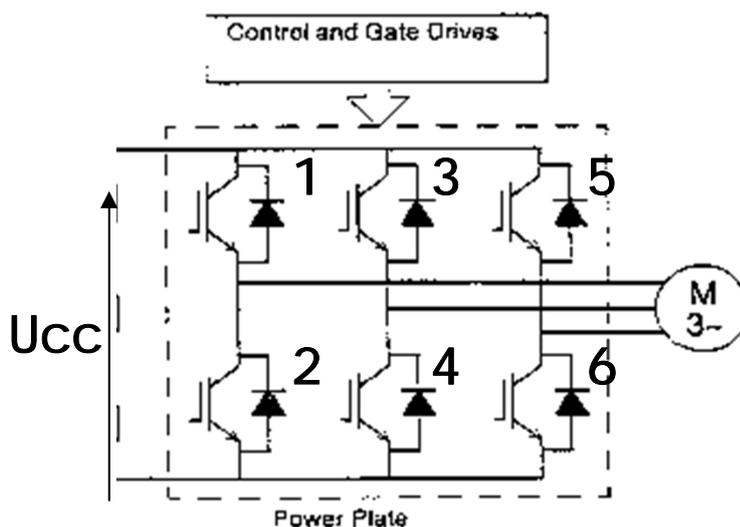
Dicho de otro modo, cuando hay pocos espacios blancos y muchos verdes, la tensión efectiva equivalente senoidal es mayor y viceversa.

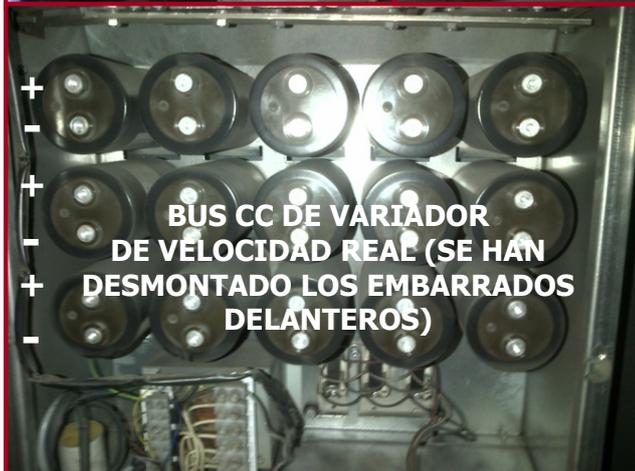
A la vista del inversor del esquema inferior:



EJEMPLO DE BUS CC

EJEMPLO DE INVERSOR





El funcionamiento es el que sigue:

- Transistores 1-2 generan fase U2 de salida a motor.
- Transistores 3-4 generan fase V2 de salida a motor.
- Transistores 5-6 generan fase W2 de salida a motor.

Los transistores de los variadores funcionan en corte-saturación = NA o NC.

Son posibles los siguientes estados en cada fase de salida (salvo avería):

- Ambos transistores abiertos
- Abierto el de la semifase superior (1,3,5) y cerrado el de la inferior (2,4,6).
- Cerrado el de la semifase superior (1,3,5) y abierto el de la inferior (2,4,6).

Evidentemente, para tener un sistema trifásico a la salida, la tensión de cada fase de motor ha de estar 120° desfasada con respecto a la anterior, por lo que lo que hagamos en una fase, lo desfasaremos de este modo en las otras dos.

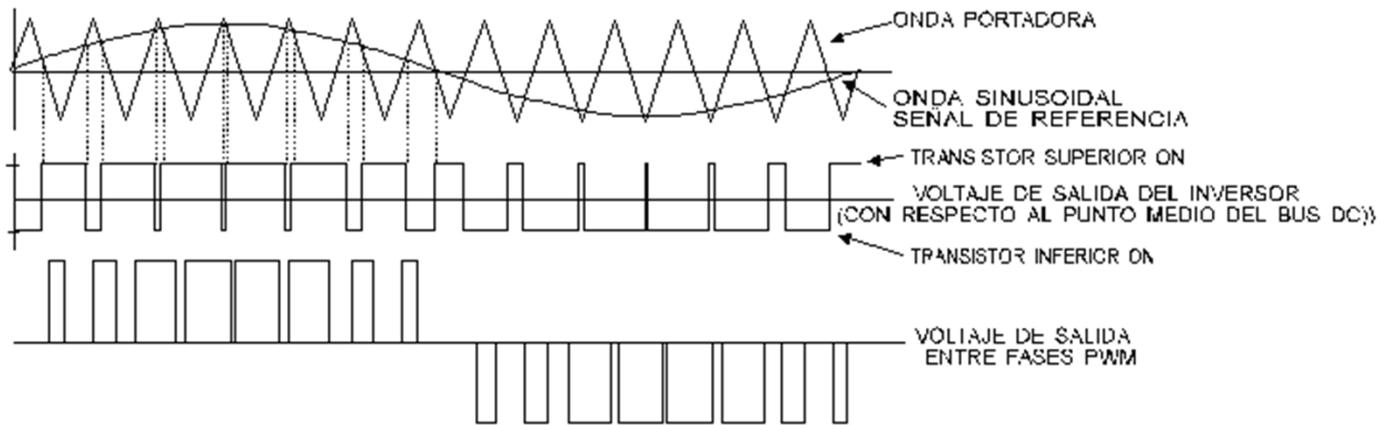
Para regular la secuencia de corte o saturación (NA o NC) de los dos transistores, se usa el siguiente procedimiento.

Cuando movemos el potenciómetro (o como quiera que se proporcione la referencia de velocidad) lo que hace la tarjeta de control del variador es generar internamente dos señales de control para cada rama de salida del inversor.

Una de ellas se llama portadora de frecuencia, es triangular y de frecuencia variable y amplitud fija. Determina la frecuencia de salida.

La otra se llama moduladora de amplitud, es una senoidal de frecuencia fija pero de amplitud variable. Determina la tensión efectiva de salida.

La modulación consiste en fijar el tiempo de conducción de los semiconductores de la semifase superior cuando la moduladora sea de mayor valor que la portadora y viceversa. Si no se produce corte no conduce ninguno.



Al cambiar la referencia de velocidad, el variador ajusta la frecuencia de portadora y la amplitud de moduladora para lograr la U/f correspondiente a esa velocidad concreta según el perfil configurado por parámetros.

Las tensiones compuestas entre fases se obtienen realizando la diferencia de tensión simple entre cada fase y en cada momento.

Al final, la salida de un convertidor de frecuencia son pulsos cuadrados de altura constante y cuya duración es variable en función de la referencia de velocidad.

La gráfica de la izquierda se ha obtenido con un osciloscopio a la salida de un convertidor de frecuencia ($400/50 \approx 135/16,8$ V/Hz).

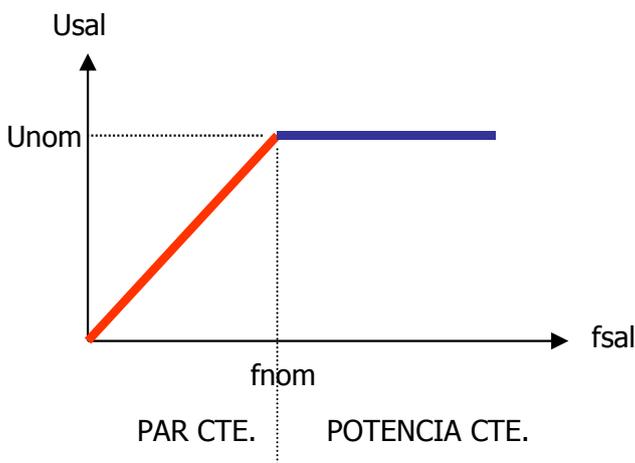
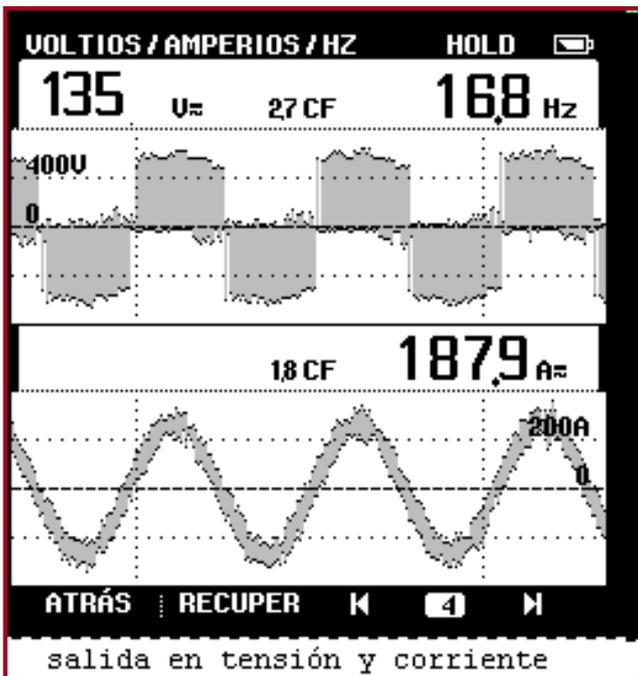
Se puede apreciar como la tensión es un tren de pulsos cuadrados de altura constante, mientras que la corriente es bastante senoidal debido a la componente inductiva del motor, que evita cambios bruscos de intensidad.

Hoy día el proceso de modulación se realiza utilizando microprocesadores (no se generan señales analógicas) sino lo que podríamos llamar "moduladores virtuales".

Muchos fabricantes utilizan lo que se llama "observadores de estado de motor" que simulan el comportamiento del motor obteniendo variables de difícil medida (como el par o el flujo) a partir de variables de fácil medida (tensión, corriente suministrada).

Los sistemas de control en lazo cerrado o vectoriales, utilizan un encoder generalmente, para posicionar el estado real del rotor y poder controlar de forma más precisa la velocidad del motor de forma independiente de la carga.

Los mencionados observadores de estado de motor, pueden trabajar proporcionando la velocidad calculada con una precisión muy buena, evitando el uso de medida real de la velocidad de motor en la mayor parte de las ocasiones.



CARACTERÍSTICA U/f DISPONIBLE A LA SALIDA DE UN CONVERTIDOR DE FRECUENCIA ESTÁNDAR.

INTRODUCCIÓN

Un variador de velocidad es un equipo electrónico. Aunque sea industrial, las malas condiciones de limpieza en el interior del mismo influirán en sus prestaciones, en su vida útil y se generarán averías.

•**PRESTACIONES:** la suciedad merma la ventilación. La electrónica genera mucho calor que es necesario evacuar. Si se pierde capacidad de evacuar este calor se perderán prestaciones (capacidad de carga) en el variador.

En la capacidad de carga (de dar salida de corriente) del variador influye su temperatura interior. En el caso de los variadores de ABB, las condiciones ambientales nominales de temperatura ambiente son 0-40°C sin desclasificación y 40-55°C desclasificando 1%/°C.

Conviene vigilar las mosquiteras en los equipos en armario para evitar que se obturen por polvo o insectos. Y la integridad de los ventiladores.

•**VIDA ÚTIL:**

•La temperatura elevada acorta la vida de los componentes (de potencia, condensadores electrolíticos principales e incluidos en las tarjetas de circuito impreso, aislantes, plásticos, etc...).

•El polvo (aunque se trate de productos poco conductores) puede absorber la humedad del aire de ventilación y causar cortocircuitos en las pistas de las tarjetas o taponar las ranuras del disipador de calor.

•Los cojinetes de los ventiladores reducen su vida útil en condiciones de uso desfavorables.

•Los conectores y contactos así como las conexiones atornilladas pueden aflojarse tras muchos ciclos de recalentamiento.

•**AVERÍAS:**

•Ante una sobre temperatura en el disipador el equipo avisará primero y parará después (hasta que se enfríe).

•Los equipos más modernos supervisan el funcionamiento correcto de los ventiladores.

•Una tarjeta driver de IGBT con polvo acumulado puede enviar una señal de disparo incorrecta y generar un cortocircuito.



CONCEPTOS PREVIOS

La electrotecnia clásica de corriente alterna presupone que las máquinas eléctricas y sus circuitos de maniobra y protección están alimentados por tensiones lineales periódicas y como consecuencia consumen corrientes también lineales y periódicas.

Una forma de onda lineal periódica es aquella que puede expresarse matemáticamente mediante una ecuación lineal periódica. Por ejemplo una función senoidal.

Por el contrario, una forma alineal no responde a una ecuación lineal sencilla. Por ejemplo, un tren de pulsos.

LA SERIE ARMÓNICA DE FOURIER

El matemático francés Jean Baptiste Fourier desarrolló una teoría según la cual, cualquier forma de onda periódica no lineal puede tratarse matemáticamente como la suma de una serie infinita de funciones senoidales (lineales) de amplitud decreciente y frecuencia creciente (armónicos).

LA ELECTRÓNICA Y LOS ARMÓNICOS

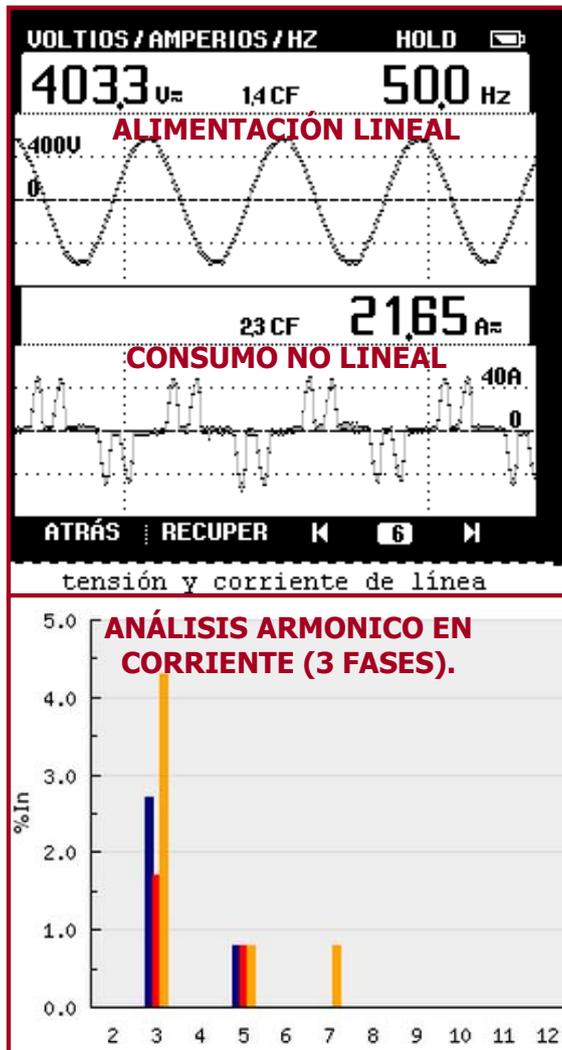
La mayor parte de los circuitos con electrónica de potencia incorporan semiconductores con control de conducción/corte a muy altas frecuencias que alimentados por una tensión senoidal (lineal), consumen corrientes no lineales.

Esta naturaleza intrínsecamente alineal no puede estudiarse mediante la electrotecnia clásica, debiendo analizar su comportamiento eléctrico mediante la serie de Fourier equivalente.

Hoy en día se utilizan equipos de medida capaces de proporcionar las amplitudes y frecuencias correspondientes a la serie armónica equivalente de la forma de onda examinada.

Mediante el estudio de los armónicos podemos explicar los fenómenos extraños que ocurren en las instalaciones eléctricas como consecuencia de los consumos alineales.

Algunos consumidores alineales son las fuentes de alimentación conmutadas, UPS's, convertidores de frecuencia, equipos de soldadura, etc...



NOTA TÉCNICA

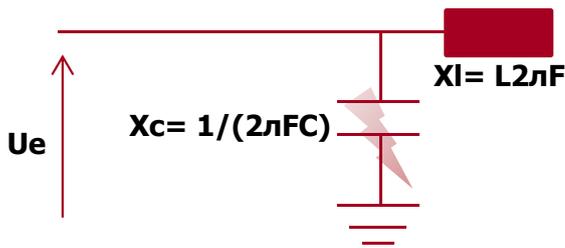
- Los armónicos impares no múltiplos de 3 son característicos de los puentes rectificadores no controlados (DIODOS).
- El armónico 3 es característico de cargas monofásicas (se cierra por el neutro) y es el causante de parpadeos en la iluminación y calentamientos en el cable de neutro. Suelen generarlo los balastos electrónicos de las luminarias fluorescentes y las fuentes de alimentación y UPS monofásicas, entre otras cargas alineales.

S' : sección efectiva con armónicos
 S : sección efectiva sin armónicos

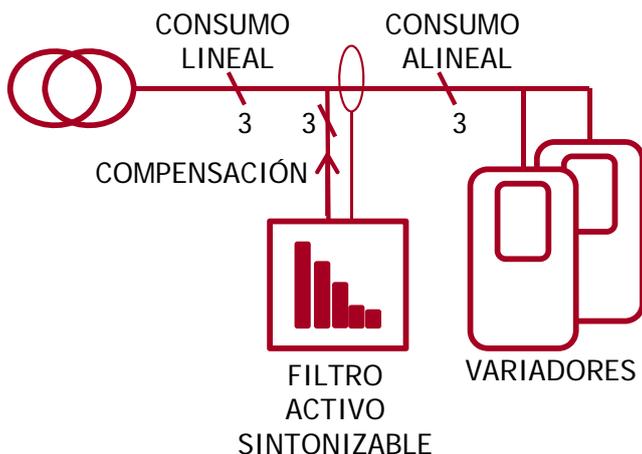


EFEECTO SKIN: las corrientes de frecuencias altas tienden a circular por la superficie libre de los Conductores disminuyendo su sección efectiva y provocando calentamientos inesperados.

BATERÍA DE CONDENSADORES Y ALIMENTACIÓN CON ARMÓNICOS



RESONANCIA: la composición de la parte inductiva y capacitiva de la instalación puede ser resonante para la frecuencia de algún armónico y provocar un cortocircuito a tierra.



EFECTOS DE LAS CARGAS ALINEALES

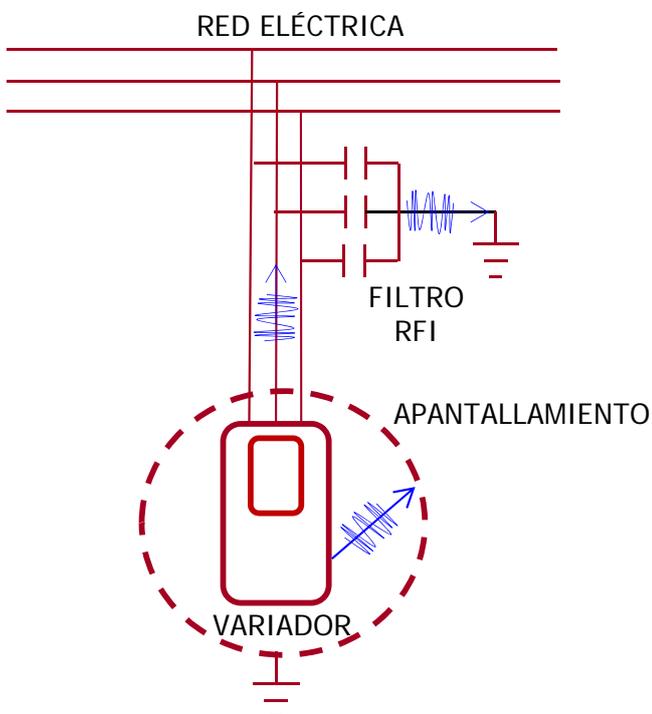
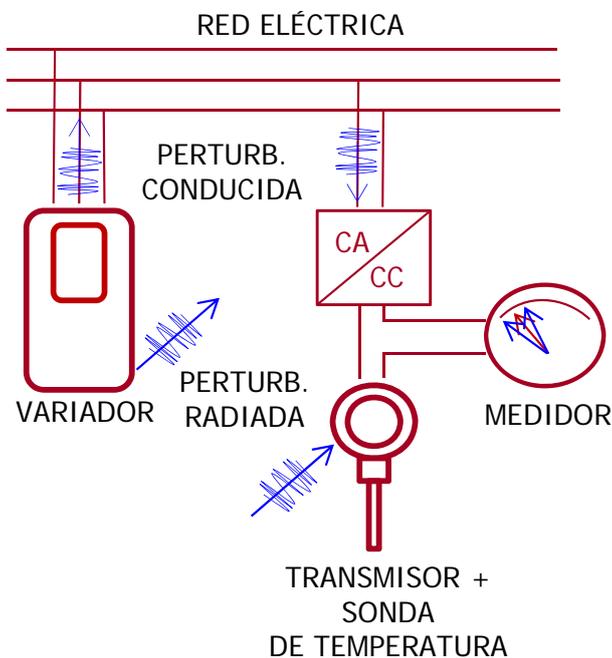
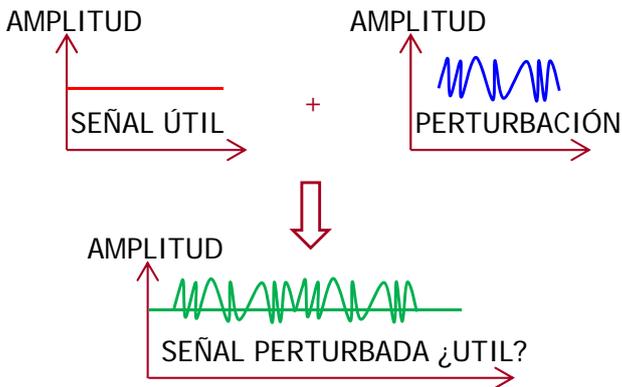
El estudio armónico de los consumos alineales de una instalación permite justificar matemáticamente los efectos adversos que aparecen como por ejemplo:

- Disparo de protecciones térmicas basadas en bimetales (guardamotores, relés térmicos, parte térmica de interruptores automáticos) así como el calentamiento de cables con corrientes menores que las nominales. En general sucede en aquellos componentes que utilicen el efecto Joule para funcionar.
- Parpadeo de iluminaciones fluorescentes.
- Explosión por resonancia de condensadores de mejora del factor de potencia.
- Vibraciones en motores y transformadores sin causa mecánica aparente.
- Fallos en circuitos electrónicos sensibles.

Los consumos combinados de corriente alineal en la instalación pueden llegar a afectar al transformador de alimentación, distorsionando la propia tensión del devanado, lo cual empeora la situación pues cualquier carga lineal alimentada con una tensión alineal consumirá una corriente alineal.

SOLUCIONES

- Existen formas de compensar los armónicos de corriente asociados al consumo alineal de cada equipo individual o al de la totalidad de los equipos conectados a un transformador.
 - **COMPENSACIÓN INDIVIDUAL:** según el tipo de equipo encontraremos diferentes posibilidades.
 - Reactancias de entrada. Suavizan la corriente e impiden los cambios bruscos de esta.
 - Filtros LCL. Suavizan tanto la corriente como la tensión de entrada.
 - Puentes rectificadores de más de 6 pulsos (con diodos). Requieren un trafo especial dedicado.
 - Puentes rectificadores de IGBT's.
 - **COMPENSACIÓN GENERAL:**
 - Filtros pasivos sintonizados a la frecuencia de uno o varios armónicos concretos (generalmente los de mayor amplitud de la instalación).
 - Filtros activos. Se pueden sintonizar a las frecuencias de los armónicos que se deseen amortiguar e inyectan armónicos en contrafase en tiempo real. La red ve un consumo lineal.



CONCEPTOS PREVIOS

El principio de inducción electromagnética de Faraday determina que cuando por un conductor eléctrico se produce un movimiento de carga, se induce en el espacio circundante a este un campo electromagnético.

La intensidad del campo inducido depende de la carga en movimiento y de su frecuencia.

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los equipos electrónicos de potencia montan semiconductores capaces de trabajar en corte/conducción a frecuencias de funcionamiento altísimas (KHz). En base a lo anteriormente mencionado, el rápido movimiento de carga eléctrica supone la aparición de un campo electromagnético.

El campo electromagnético se genera todo a lo largo de los conductores por los que hay rápido movimiento de cargas (conducido) y se emite por el espacio circundante a estos (irradiado).

Todos los componentes conectados eléctricamente y cercanos en el espacio se verán afectados por la perturbación del conductor contaminado.

Los efectos apreciables son entre otros, las alteraciones en la medida de instrumentos, el disparo de protecciones, clapeteo de bobinas de relés, fallos de comunicaciones, mal funcionamiento de circuitos electrónicos, etc...

SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Para amortiguar las perturbaciones conducidas por los cables se utilizan los filtros EMC, que son un filtro paso bajo que deriva a tierra la componente de alta frecuencia. Estos filtros se colocan a la entrada de los equipos que generan perturbación.

Para amortiguar las perturbaciones radiadas se utiliza el apantallamiento puesto a potencial cero (tierra) en el cable y en las envolventes. Consideraciones adicionales de fabricación deben tenerse en cuenta para evitar la salida de ondas (forma y dimensiones de los taladros, juntas de goma conductora en las puertas, conexionado de las mangueras apantalladas al chasis del armario, etc...).



PERTURBACIÓN IRRADIADA: cuando se trabaja con convertidores de frecuencia, la zona con más generación de campo electromagnético es el cable entre motor y variador, debido al modo de funcionamiento intrínseco de los inversores. Es indispensable utilizar cable apantallado y poner la pantalla a potencial cero (tierra) para evitar la salida de perturbación irradiada.

La pantalla de motor se conecta a la carcasa del motor en un extremo y al chasis del variador en el otro, y el conjunto a una tierra única y efectiva.

El cable blindado no es cable apantallado (no blindo al 100%) sino que es una protección mecánica.

Se deben separar mangueras de fuerza y mando por bandejas diferentes.

Se deben utilizar mangueras de mando apantalladas cuando no sea posible separarlas lo suficiente de las mangueras de fuerza. Es imprescindible mantener la jaula Faraday de la pantalla puesta a potencial de tierra.

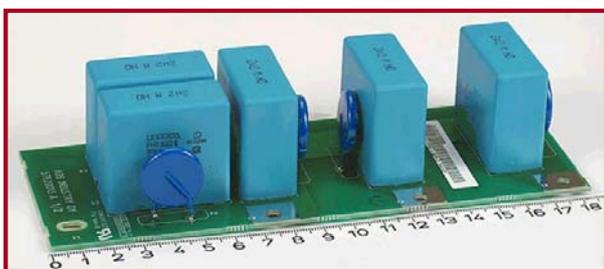
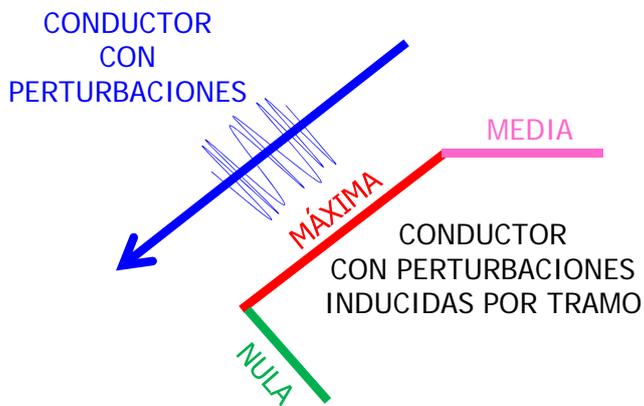
Se debe procurar que los cruces de mangueras de fuerza sean lo más perpendiculares posible para minimizar la inducción entre ambas.

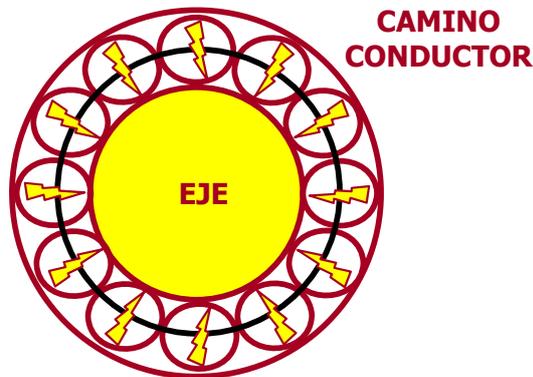
Un cable apantallado sin poner a tierra no apantalla. Es más, se inducirá en él una tensión (con una componente continua+alterna) que puede provocar descargas eléctricas a las personas y transmitir la interferencia a toda la red de tierras interconectadas. La amplitud de la tensión inducida dependerá de la corriente que circule por los cables inductores y de la longitud de tramo en el que se produzca inducción electromagnética entre ambos conductores (siempre se produce inducción en mayor o menor medida según la posición relativa entre ambos conductores sea menos perpendicular).

La perturbación irradiada se atenúa con la distancia.

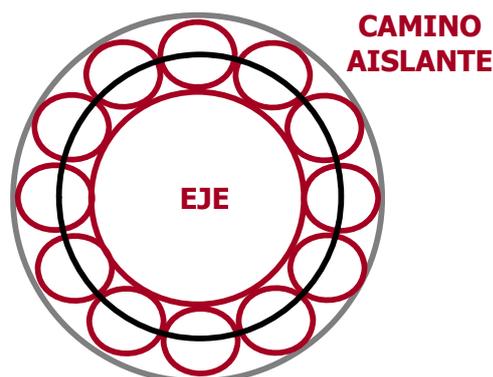
PERTURBACIÓN CONDUCTIDA: la componente de alta frecuencia se deriva a tierra por unos condensadores colocados a la entrada de los equipos (filtro RFI). De este modo se impide que se propague aguas arriba hacia la red de distribución eléctrica.

Estos equipos suelen causar disparos de diferenciales en el transitorio de puesta en tensión (carga de los condensadores) o en funcionamiento para alguna componente en frecuencia que realmente supone una rápida y breve derivación real a tierra. Normalmente los diferenciales deben sustituirse por versiones especiales capaces de discriminar estas derivaciones transitorias y rápidas (diferenciales inmunizados).





RODAMIENTO NO AISLADO



RODAMIENTO AISLADO DE BOLAS

CONCEPTOS PREVIOS

En ocasiones se producen averías en los motores (vibraciones, desajustes) cuando han comenzado a operar con variadores de velocidad electrónicos. ¿Por qué?

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En un motor alimentado por un sistema de tensiones trifásicas senoidales, la suma instantánea de las tensiones de fase es cero.

En un motor alimentado por un variador de velocidad electrónico esto no es así.

En cualquier momento existe una tensión de alta frecuencia y con un cierto valor entre el neutro de la estrella del motor y tierra, lo que implica que el efecto capacitivo residual entre las partes del motor en tensión intenta generar la circulación de una corriente entre el motor y el variador por el circuito más favorable (corriente de modo común).

Generalmente esta corriente debe retornar al variador por la pantalla del cable a motor, pero si encuentra otro camino más fácil (el eje del motor pasando por los cojinetes y continuando por la máquina accionada hasta la estructura del edificio y llegando de vuelta al variador) lo hará. Esto suele generar un pequeño arco cuyas consecuencias destructivas sobre el camino de rodadura del rodamiento dependen de la tensión de alimentación del variador y de la forma constructiva del motor.

También es la causante de que se produzcan "chispazos" al tocar la carcasa de un motor o partes de la máquina accionada.

SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Los filtros de modo común aumentan la impedancia del circuito de modo común y aminoran este efecto.

Los rodamientos aislados en el motor contribuyen a evitar que la corriente pase por el camino de rodadura.

Un cable apantallado a motor es el camino menos desfavorable de vuelta al variador para la corriente de modo común que siempre se debe buscar.

Consulte al fabricante del motor y del variador.