CCM
CONSEJO DE COMPETENCIAS MINERAS

Cuaderno del Instructor

Módulo 2: “Mantenimiento de sistemas celdas de baja, media y alta tensión”

PFMEI-4-01/V.1[PE01-M02/v.1]

Una iniciativa de:

CONSEJO MINERO

Con la asesoría experta de:

Innovum | FCH FUNDACIÓN CHILE

Equipo Consejo Minero

Joaquín Villarino H., Presidente Ejecutivo
Carlos Urenda A., Gerente General
Christian Schnettler R., Gerente del Consejo de Competencias Mineras
José Tomás Morel L., Gerente de Estudios
María Cecilia Valdés V., Gerente de Comunicaciones
Sofía Moreno C., Gerente de Comisiones y Asuntos Internacionales
Claudia Díaz R., Jefe de Proyectos

Equipo Innovum Fundación Chile

Hernán Araneda D., Gerente
Diego Richard M., Director Programa Fuerza Laboral Minera
Rafael Pizarro G., Jefe de Proyecto Empresas
Susana Gallardo S., Especialista de Formación
Eduardo Soto S., Consultor Senior
Ignacio Riffo C., Consultor Senior
Álvaro Aguilar H., Consultor de Proyectos
Carolina Gutiérrez M., Consultor de Proyectos

Consejo Minero
Dirección: Apoquindo 3500, Piso 7, Las Condes, Santiago.
Teléfono: (562) 2347 2200
www.ccm.cl

Propiedad del Consejo de Competencias Mineras (CCM) del Consejo Minero:

Este material es propiedad del Consejo de Competencias Mineras (CCM) del Consejo Minero. Está disponible para instituciones que imparten formación en el ámbito minero en Chile, a las que se autoriza la reproducción total o parcial de los contenidos de este material para fines de formación, citando siempre al Consejo de Competencias Mineras del Consejo Minero y pudiendo incluso adaptarlo para satisfacer los requerimientos de los participantes. Se prohíbe la reproducción o adaptación con fines comerciales.

El uso del género masculino en esta publicación no constituye discriminación; tiene el sólo propósito de aligerar el texto cuando la redacción así lo exige.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS, QUEDA AUTORIZADA SU REPRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN CITANDO LA FUENTE. © Anglo American Norte S.A., Anglo American Sur S.A., Anglo American Chile Ltda.; Antofagasta Minerals S.A.; BHP Chile Inc.; Compañía Minera Barrick Chile Ltda.; Compañía Minera Cerro Colorado Ltda., Minera Escondida Ltda., Minera Spence S.A.; Compañía Minera Zaldívar Ltda.; Corporación Nacional del Cobre de Chile; Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi SCM; Compañía Contractual Minera Candelaria, Sociedad Contractual Minera El Abra; FreeportMcMoran South America Inc.; Glencore Chile S.A.; SCM Minera Lumina Cooper Chile; Sierra Gorda SCM; Teck Resources Chile Ltda.; Yamana Chile Servicios Ltda.; 2013.

Consejo de Competencias Mineras – CCM:

El Consejo de Competencias Mineras (CCM) es una iniciativa de articulación entre las empresas mineras, cuyo fin es proveer información sectorial, estándares y herramientas que permitan al mundo formativo adecuar la formación de técnicos a la demanda del mercado laboral minero, tanto en términos cualitativos como cuantitativos. Con la asesoría experta de Innovum Fundación Chile, este organismo genera, con un enfoque sistémico, insumos para el mundo formativo, dando a conocer qué necesidades de capital humano tiene la minería y transfiriendo buenas prácticas para su formación.

El Consejo de Competencias Mineras – el primero de su naturaleza en el país – opera al alero del Consejo Minero. Fue formado en 2012 y cuenta con 12 empresas socias. A tres años de su creación, el CCM ha desarrollado una serie de productos y sistemas que han marcado un cambio de paradigma en la vinculación del mundo productivo con el de la formación para el trabajo, y han significado un aporte de fondo para el mejoramiento y la valoración de la educación técnico-profesional en el país, con un alcance que trasciende ampliamente a la sola industria minera.
Los Paquetes para Entrenamiento, son uno de estos productos. Se han creado además: Estudios de Fuerza Laboral, El Marco de Cualificaciones para la Minería (MCM), Marco de Calidad de Buenas Prácticas Formativas, Marco de Calidad para Instructores e impulsamos el apoyo sectorial al Sistema de Certificación de Competencias Laborales.

Si bien el Consejo de Competencias Mineras es una entidad privada, sus productos están concebidos como bienes públicos y gratuitos, de valor compartido para todos los estamentos de la sociedad en Chile. Toda la información y los productos generados por el CCM, además de un breve video explicativo, están disponibles en el sitio web: www.ccm.cl

El desafío que ahora enfrenta el CCM es que, tanto el mundo formativo como el minero, incorporen los estándares generados a sus procesos de negocio y a su quehacer diario. Esto generará una fuerza laboral más productiva y, por ende, mayor competitividad del país en el contexto internacional.

Contribución del CCM

Para trabajadores actuales y personas interesadas en trabajar en la minería:

- Mejor empleabilidad.
- Aprendizaje adecuado a los requerimientos del mercado.
- Acceso no sólo a un oficio, sino a rutas de formación y aprendizaje.

Para el sector minero:

- Mitigación de la escasez de personal, anticipándose al problema de manera coordinada y con visión de futuro.
- Mejora de productividad, al contar con más trabajadores preparados para los requerimientos de la industria, tanto propios como de proveedores.
- Mayor competitividad de esta industria, que repercute positivamente también en la competitividad del país.

Para las instituciones educacionales:

- Mejor empleabilidad de sus egresados.
- Mejor información proyectada a 8 a 10 años, para potenciar programas formativos en los oficios para los cuales se anticipa una mayor brecha de capital humano.
- Oportunidad para el reconocimiento de la industria respecto a su calidad formativa.

Para la comunidad y el país:

- Asignación más eficiente de fondos públicos de educación y capacitación, al tener identificados programas adecuados para satisfacer requerimientos del mercado.
- Disminución de la presión que se ejerce sobre otros sectores productivos por la demanda de trabajadores, al aumentar la cantidad de personas calificadas para la minería.

Índice

Descripción del documento **8**
Módulo II: Mantención de Sistemas Celdas de **9**
Baja, Media y Alta Tensión **9**
1. Sistemas de Alimentación Ininterrumpida **10**
1.1 Principios operacionales de los inversores 10
1.2 Diferentes configuraciones de los Inversores. 15
1.3 Regulación de la tensión de salida. 27
1.4 Conformación y regulación de la salida mediante PWM. 27
1.5 Reducción del contenido armónico. 40
1.6 Inversores alimentados por corriente (CSI). 50
1.7 Aplicaciones. 52
1.8 Características de los sistemas UPS 52
1.9 Baterías, bancos de baterías, métodos de pruebas de baterías 59
1.9.1 Baterías. 59
1.9.2 Banco de baterías 60
1.10 Cargadores de baterías 61
Actividad n°2 66
2. Protecciones eléctricas en media y alta tensión **69**
2.1 Introducción a protecciones eléctricas 69
2.2 Protección de transformadores de potencia. 74
2.2.1 Transformadores de potencia. 74
2.2.2 Transformadores de distribución. 75
2.3 Protecciones de generadores síncronos 81
2.3.1 Funciones y características de los relés de protección 81
2.3.2 Trasformadores de medida. 83

3. Celdas de Media / Alta Tensión 83
3.1 Prevención de riesgos eléctricos en media/alta tensión. 83
3.2 Tipos de celdas de media tensión. 84
3.3 Descripción de sus principales características. 85
3.4 Operación de las celdas de media / alta tensión. 88
3.5 Instalación de las celdas de media/alta tensión. 89
3.6 Mantención a celdas de media/alta tensión. 92
3.7 Partidores magnéticos. 95
3.8 Partidores de contactos al vacío. 106
3.9 Componentes de control (luces piloto, regletas de conexión, fusibles, contactores, relés, interruptores, transformador de control, cables). 108
Actividad N°3 114

Descripción del documento

El Cuaderno del instructor contiene la totalidad de los contenidos a utilizar por el instructor para el desarrollo del programa de formación de **Mantenedor Eléctrico Especialista Equipos Fijos.**

El documento está dividido en módulos, los cuales están organizados en secciones de temas y contenidos específicos.

El instructor, podrá, además, sugerir actividades como las que se listan a continuación:

- Charlas y/o reflexiones de seguridad.
- Discusiones o foros de debate.
- Reforzamientos.
- Actividades en terreno.
- Preparación para la evaluación final

Específicamente para las actividades relacionadas a tecnologías de comunicación audiovisual se entregarán links a modo referencial, sin embargo el instructor tendrá la libertad de utilizar los recursos que estime conveniente a fin de lograr los requerimientos de la actividad.

Todo el material es susceptible de ser mejorado, adaptado o modificado en función de las características del grupo con el que se trabaje. Por ello se ha diseñado desde un enfoque flexible, que permite al instructor agregar recursos que enriquezcan algún contenido o posibilitar el aporte de los participantes, cuidando siempre de lograr los aprendizajes esperados de cada módulo.

Respecto a las evaluaciones se sugiere que éstas sean elaboradas por el instructor de acuerdo a los siguientes lineamientos

La evaluación de los módulos y sus contenidos debe estar compuesta por a lo menos 10 preguntas, las cuales deben ser extraídas del documento de evaluación de proceso".

Cada pregunta será evaluada con puntajes entre 0 y 10.La escala de calificación será de 0 a 100%. Considerando el 0% cuando el participante no tiene respuestas correctas y el 100% cuando posee la totalidad de respuestas buenas.

La nota de aprobación de las evaluaciones de los distintos módulos corresponderá a un 75%.

Módulo II: Mantención de Sistemas Celdas de

Baja, Media y Alta Tensión

1. Sistemas de Alimentación Ininterrumpida

Un suministro normal de energía puede estar sujeto a diversas formas de interferencia y distorsión, problemas que van desde un nivel bajo de “ruido” a un apagón total.

En muchas instalaciones de red de computadoras, el funcionamiento del sistema sin un sistema de enfriamiento o aire acondicionado puede extenderse alrededor de 15 minutos. Más allá de este tiempo, aun contando con un sistema UPS disponible para la red de computadores, el sistema debe ser paralizado (shutdown). Para pérdidas de red normal de mayor duración, se requiere una combinación de UPS y grupos motor-generador.

En este módulo se tratará sobre la UPS (sistema de alimentación ininterrumpida) para asegurar continuidad de servicio a ciertos equipos especiales, seleccionados por los usuarios de ellos.

1.1 Principios operacionales de los inversores

Introducción; Principios de funcionamiento.

Uno de los procesos básicos de la transformación de energía eléctrica, es la denominada rectificación. Aquí trataremos el otro proceso básico denominado inversión. Por este término debemos interpretar aquel equipo capaz de transformar la energía continua en alterna.

Si bien al estudiar los rectificadores controlados, se ve que se puede funcionar en sentido inverso, transformando la corriente continua en alterna, y por tanto trabajando como inversores; Sin embargo, para que los rectificadores controlados realicen esta faceta, necesitan estar conectados a una fuente alterna del exterior como carga, que impone la frecuencia en el lado de alterna, por lo que se llamaban inversores controlados o guiados (no autónomos).

En este capítulo se estudiarán aquellos dispositivos que funcionen automáticamente, sin necesidad de estar conectados a ninguna red de alterna, de forma que se permita la transformación de continua alterna cuando en el lado de alterna sólo haya receptores de energía. A estos dispositivos se les denominará inversores u onduladores autónomos o auto-guiados.

El funcionamiento de los inversores auto-guiados se caracterizará por ser el propio dispositivo quién determina la frecuencia y la forma de onda de la tensión alterna suministrada a la carga. En este capítulo se desarrollara también los inversores estáticos con semiconductores, que dentro de estos podemos distinguir dos grandes grupos:

- Con transistores para aplicaciones de baja potencia (<500kW).
- Con SRC aplicables hasta potencias más elevadas (<MW).

Veamos a continuación un resumen de dicha clasificación, en función de su naturaleza y funcionamiento:

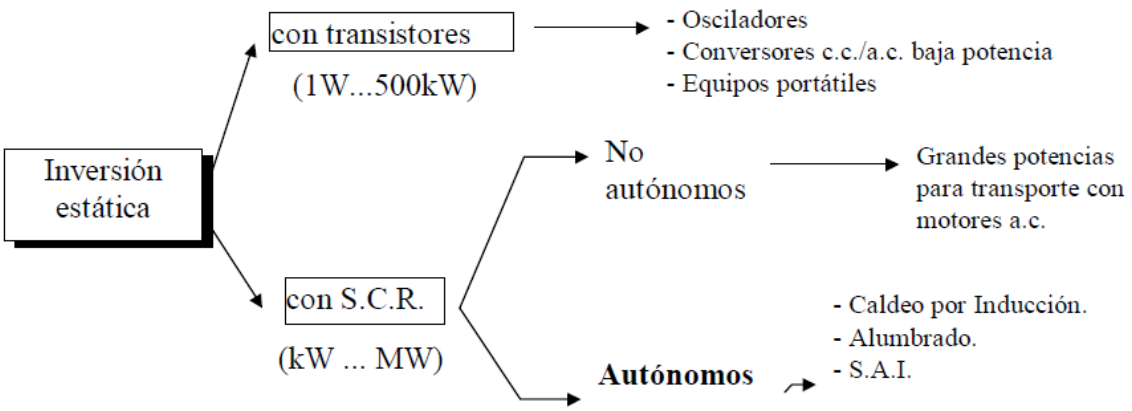


Figura 1

Clasificación de inversores.

Clasificaciones pueden realizarse desde el punto de vista de la aplicación, de los elementos semiconductores utilizados, del tipo de señal monofásica o trifásica alterna que proporcionen, o dependiendo del tipo de alimentación del inversor. Con éste último criterio, podemos distinguir entre:

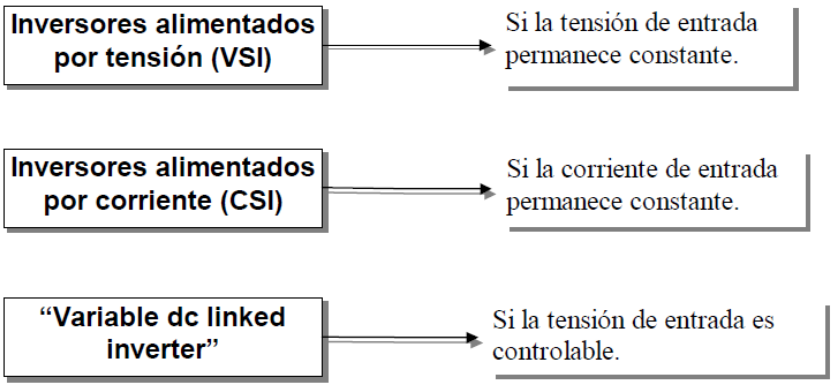


Figura 2
Clasificación de inversores aplicaciones.

Con el fin de introducir el principio de funcionamiento de los inversores u onduladores autónomos, veamos a continuación un ejemplo sencillo, constituido por un inversor monofásico en configuración semipuente. El circuito y las formas de onda correspondientes se muestran a continuación.

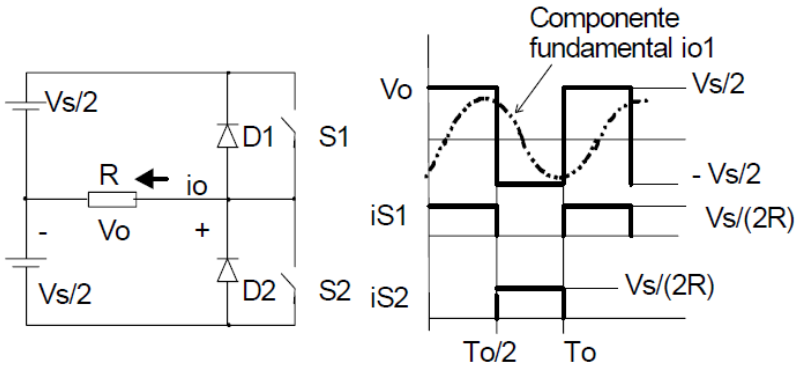


Figura 3
Inversor monofásico en configuración semipuente.

El principio de funcionamiento se basa en la conducción de un interruptor durante un semiperíodo, instante durante el cual se le aplica a la carga una tensión igual a Vs/2, junto con la imposición de una conducción alternada y no simultánea de ambos interruptores. La tensión rms a la salida puede expresarse como:

$$V_{0_RMS} = \left(\frac{2}{T_0} \cdot \int_0^{T/2} \frac{V_s^2}{4} \, dt \right)^{1/2}$$

La tensión instantánea de salida puede ser expresada en términos de la serie de Fourier como:

$$V_0 = \left\{ \begin{array}{c} \sum_{n=1,3,5,\ldots}^{\infty} \frac{2 \cdot V_s}{n\pi} \cdot \sin(nwt) \\ 0 \rightarrow n = 2,4,\ldots \end{array} \right\}$$

Donde w=2πfo es la frecuencia de la tensión de salida en radianes/seg. Sustituyendo n=1 en la ecuación anterior obtenemos el valor instantáneo de la componente fundamental, que calculando su valor rms se obtiene:

$$V_{1(RMS)} = \frac{2V_S}{(\sqrt{2} \cdot \pi)} = 0.45V_s$$

En general, las cargas alternas de los inversores no suelen ser simplemente resistivas. Casi sin excepción, el factor de potencia en la carga no es la unidad, y en la mayoría de casos la potencia media que se transfiere a la carga corresponde únicamente a la frecuencia del fundamental, dado que las cargas dispondrán de su componente reactiva. De esta manera para una carga RL, la corriente instantánea io de la carga tendrá la siguiente expresión:

$$i_0 = \int_{n=1,3,5,\ldots}^{\infty} \frac{2 \cdot V_s}{n\pi \cdot \sqrt{R^2 + (nwL)^2}} \cdot \sin(nwt - \theta_n)$$

Donde $\theta_n = arc\tan(nwL/R)$

Si Io 1 es la componente fundamental de la corriente de la carga, la potencia de salida será:

$$P_{01} = \left[\frac{2 \cdot V_S}{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot \sqrt{R^2 + (wL)^2}}\right]^2 \cdot R$$

En la mayoría de aplicaciones la potencia de salida debida a la corriente de la componente fundamental es la potencia útil, y la potencia debida a las corrientes armónicas es disipada en forma de calor. Veamos la respuesta de este inversor para el caso de una carga general constituida por un circuito RLC. Las ecuaciones del circuito son:

$$\left\{\begin{array}{c} \frac{E}{2} = R \cdot i + L \cdot \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \cdot \int_0^t i \cdot dt \rightarrow para\ 0 \leq t \leq T_{on} \\ \frac{-E}{2} = R \cdot i + L \cdot \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \cdot \int_0^t i \cdot dt \rightarrow para\ \frac{T}{2} \leq t \leq \frac{T}{2} + T_{on} \\ 0 \rightarrow n = 2,4,\ldots \end{array}\right\}$$

Su esquema es como muestra la Figura 4 y sus formas de onda se muestran en la Figura 3.

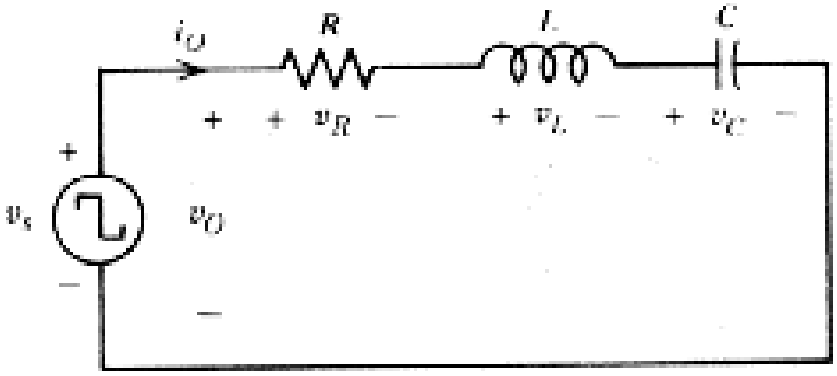


Figura 4
Esquema de Circuito RLC.

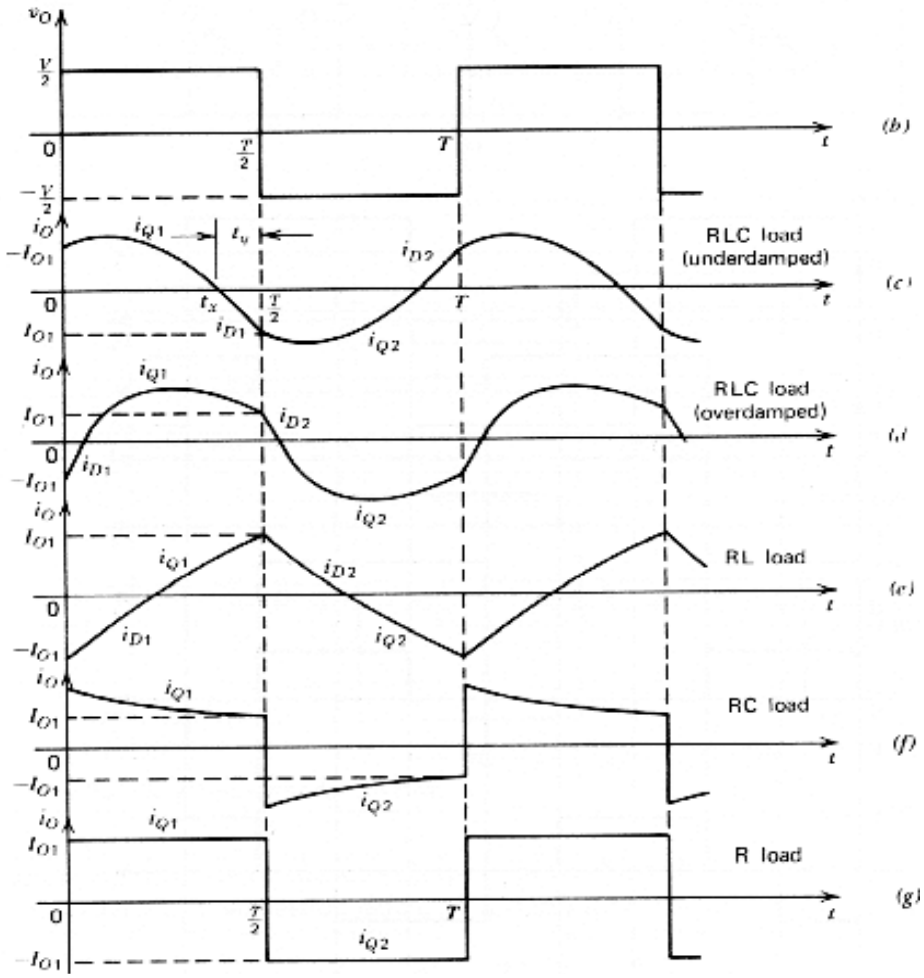


Figura 5
Análisis de las formas de onda según tipo de carga predominante.

Si tenemos una carga predominantemente inductiva la intensidad estará retrasada con respecto a la tensión y adelantada si este predominio es capacitivo. En la figura 5 anterior, vemos que las formas de onda se aproximan tanto más a una sin usoide cuanto menor sea el factor de amortiguamiento R<<Ly cuando la inductancia y la capacitancia estén próximas a la resonancia para: $wL \cong \frac{1}{Cw}$.

1.2 Diferentes configuraciones de los Inversores.

Cualquier inversor puede ser constituido por uno o varios voltajes de entrada de corriente continua, que por medio de un conjunto de interruptores pueden ser conectados a una carga mono polifásica para obtener de manera alternada semiciclos positivos y negativos en la salida. Veamos a continuación la representación de las configuraciones básicas, distinguiendo entre configuraciones monofásicas y trifásicas.

Configuraciones Monofásicas.

a) Estructura tipo Push-Pull (Transformador con toma intermedia):

En la Figura 6 describe este circuito y las formas de onda de las variables más representativas:

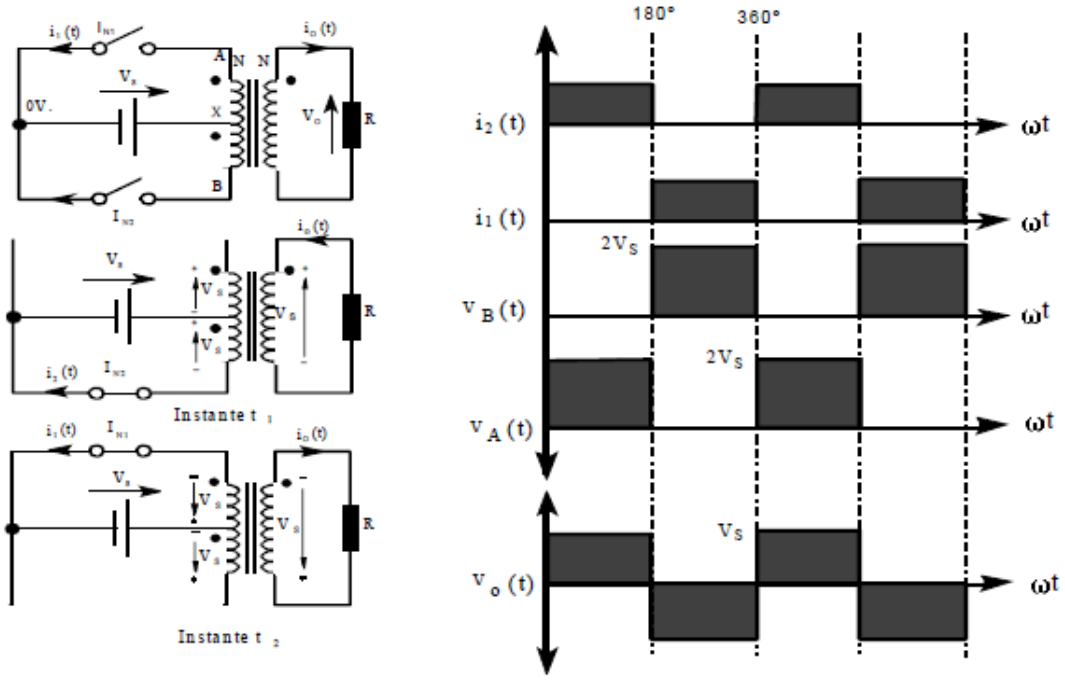


Figura 6
Circuito representativo y formas de onda de estructura Push-Pull.

La fuente de c.c está representada por una batería de tensión Vs. El polo positivo está permanentemente conectado a la toma media de un transformador que se considera ideal (intensidad magnetizante nula, resistencia de los devanados nula, inductancia de

dispersión nula). El polo negativo de la batería, que se toma de referencia de tensiones para el circuito asociado al primario, se conecta alternativamente a los extremos A y B del primario mediante los interruptores IN1 e IN2.

Los interruptores están sometidos a una tensión 2Vs cuando están en abierto. Los circuitos reales con transistores o tiristores someten por tanto a estos dispositivos a picos de tensión todavía mayores a 2Vs debido a las inevitables oscilaciones que tienen lugar en las conmutaciones. Por dicha razón esta configuración no es adecuada para trabajar con tensiones de alimentación altas. El transformador de toma media tiene un grado de utilización bajo en el primario y empeora bastante el rendimiento en los circuitos prácticos, por lo que no es aconsejable emplear esta configuración para potencias superiores a 10 KVA. La tensión resultante en la salida es una onda cuadrada de amplitud V sin dependiente de la intensidad para cualquier tipo de carga, cuya frecuencia está determinada por la velocidad de cierre y apertura de los interruptores, y en los circuitos prácticos por la frecuencia de los impulsos de excitación de los semiconductores. La intensidad de batería en este circuito es perfectamente continua e igual a Vs/R.

b) Estructura tipo Semipuente.

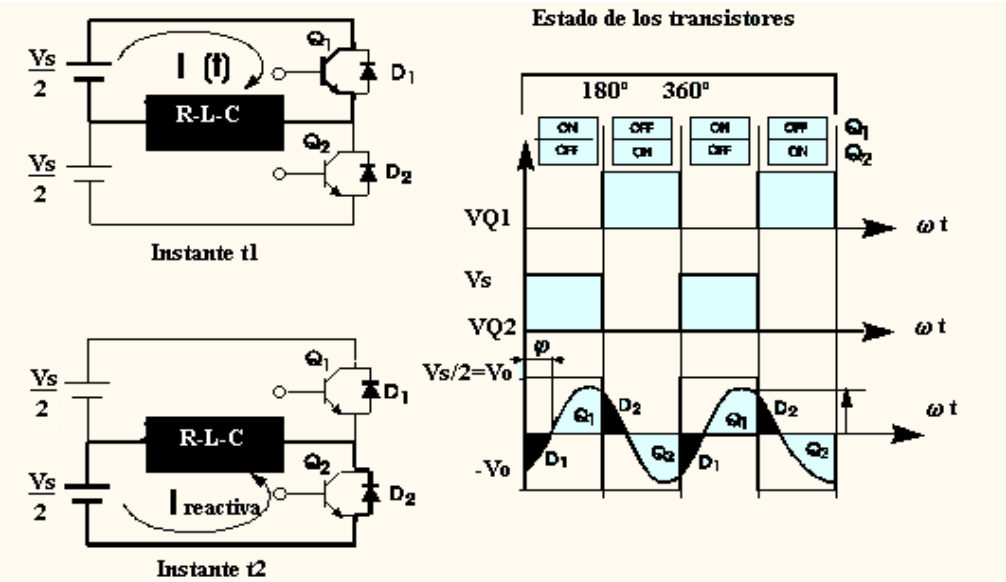


Figura 7
Circuito y formas de onda de estructura tipo semipuente.

En esta topología (Figura 7) los interruptores soportaran Vs en lugar de 2Vs, pero sólo aplican Vs/2 al bobinado primario.

Durante los semiperíodos en que Q1 está excitado y saturado, la tensión en el extremo derecho de la carga es +VS/2 respecto de la toma media de la batería, salvo caídas de tensión despreciables en el semiconductor. Durante los semiperíodos en que se excita Q2, la tensión en dicho extremo de la carga es -VS/2. La tensión resultante en la carga es una onda cuadrada de amplitud VS/2.

Esta configuración es más adecuada para tensiones altas de la fuente C.C. que la configuración con transformador de toma media, pero tiene el inconveniente de que la tensión en la carga es sólo la mitad de la que hay en la batería.

Para realizar las ondas de intensidad de salida io (t) se ha supuesto por simplicidad que la carga consiste en un circuito RLC que tiene una impedancia a los armónicos de la tensión de salida de forma que absorbe una intensidad io (t) senoidal pura. El ángulo de retardo ϕ de dicha intensidad respecto a la componente fundamental de vo(t). Observando la evolución relativa de vo(t) e io(t) se confirma la necesidad de disponer diodos en antiparalelo con los transistores que permitan la circulación de la intensidad reactiva.

Durante los intervalos de conducción de los diodos, la carga devuelve intensidad a la batería porque ésta absorbe intensidad por el terminal positivo de la mitad que opera en cada caso, (la intensidad tiende a circular en el mismo sentido que en el instante anterior).

El ángulo o período de conducción de los diodos coincide con el argumento ϕ de la impedancia de carga, siendo nulo para una carga con $\cos\phi = 1$, en cuyo caso podrían eliminarse los diodos. El mayor período de conducción para los diodos y menor para los transistores se da con carga reactiva pura, tanto capacitiva como inductiva $\cos\phi = 0$, ambos períodos son de 90º.

El valor medio de la intensidad conducida por cada transistor es:

$$I_{Q(AV)} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \int_0^{\pi-\varphi} I_P \cdot \sin(wt)\, dt = \frac{1}{2 \cdot \pi} [1 - \cos(\pi - \varphi]$$

Y la de cada diodo:

$$I_{D(AV)} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \int_{\pi-\varphi}^{\pi} I_P \cdot \sin wt\, dt = \frac{I_P}{2 \cdot \pi} [1 - \cos \varphi]$$

Siendo Ip el valor de pico de la intensidad de salida.

La corriente media entregada al circuito por cada mitad de batería es igual a la que circula por los transistores menos la que circula por los diodos, es decir:

$$I_{S(AV)} = \frac{I_P}{2 \cdot \pi}[\cos\varphi - \cos(\pi - \varphi)]$$

La tensión eficaz de salida viene dada por la siguiente expresión:

$$V_{0(RMS)} = \sqrt{\frac{2}{T} \cdot \int_0^{T/2} \frac{V_S^2}{4} \cdot dt} = \frac{V_S}{2}$$

La tensión instantánea de salida expresada en series de Fourier será:

$$v_0(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \cdot V_S}{n\pi} \cdot \sin(nwt)$$

Para n=1, 3,5,..

Cuando la frecuencia de la tensión de salida en rad/seg; es ω = 2πf. Para n = 1 tendremos un valor eficaz de la componente fundamental de:

$$V_{01(RMS)} = \frac{2 \cdot V_S}{\pi \cdot \sqrt{2}} = \mathbf{0,45V_S}$$

Estructura tipo Puente-completo.

En todos los inversores, si la carga es resistiva pura, la forma de onda de corriente es la misma que la de tensión, con la escala correspondiente. Sin embargo, cuando la carga dispone de componentes reactivas, la intensidad estará desfasada positiva o negativamente frente a la tensión.

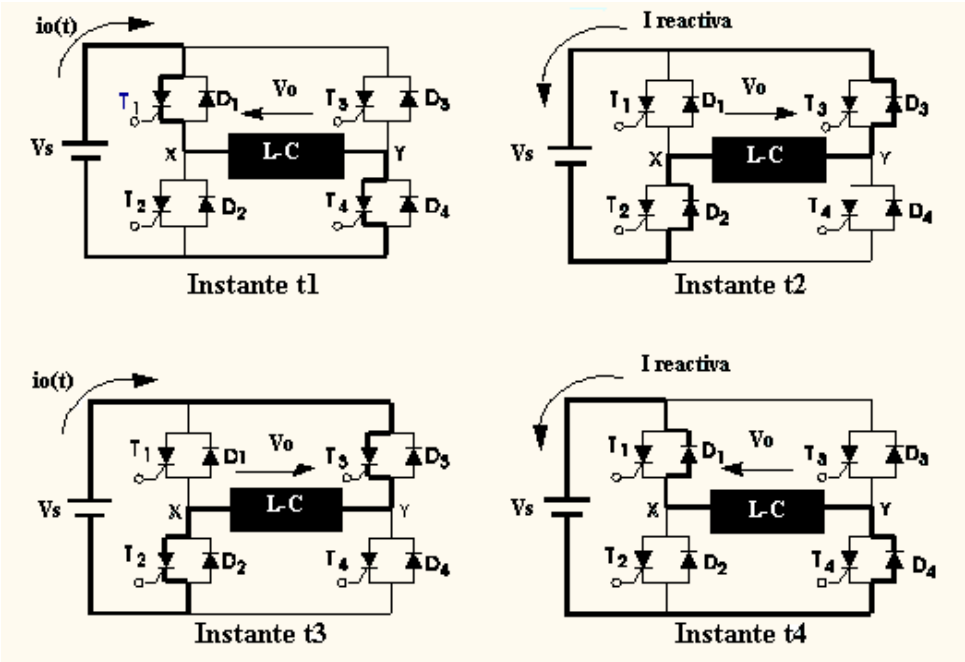


Figura 8
Circuito representativo de estructura tipo puente.

En los intervalos en los que la corriente y tensión no coincidan en signo, los interruptores se cortarán necesitando la incorporación de diodos en antiparalelo, para posibilitar un conmutador bidireccional en corriente, tal como se muestra la Figura 9

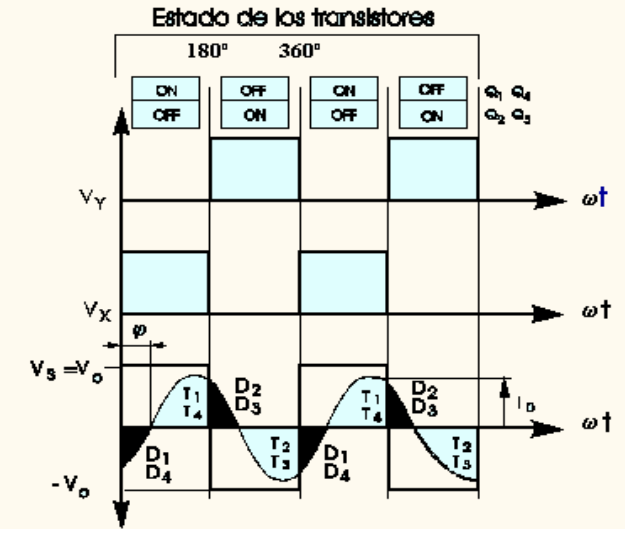


Figura 9
Formas de onda de estructura tipo puente

Manteniendo excitados T1 y T4 (instante t1), el extremo X de la carga queda conectado al polo positivo de la batería y el extremo Y al polo negativo, quedando la carga sometida a la tensión VS de la batería. Bloqueando T1 y T4 y excitando T2 y T3 (instante t3), la tensión en la carga se invierte. Haciendo esto de forma alternativa, la carga queda sometida a una tensión alterna cuadrada de amplitud igual a la tensión de la batería VS, lo cual supone una ventaja con respecto al inversor con batería de toma media.

En contrapartida, aquí se necesitan el doble semiconductores que en dicha configuración.

Por otra parte la tensión eficaz de salida viene dada por:

$$V_{01(RMS)} = \sqrt{\frac{2}{T} \cdot \int_0^{T/2} V_S^2 \cdot dt} = \boldsymbol{V_S}$$

La tensión instantánea de salida en serie de Fourier difiere de la que teníamos para un circuito inversor con batería de toma media en que ahora tenemos el doble de tensión en la salida y por tanto:

$$v_0(t) = \sum_{n=1,3,5,..}^{\infty} \frac{4 \cdot V_S}{n\pi} \cdot \sin(nwt)$$

Para n = 1 tenemos el valor de la tensión eficaz de la componente fundamental:

$$V_{01(RMS)} = \frac{4 \cdot V_S}{\pi\sqrt{2}} = \boldsymbol{0,90V_S}$$

La intensidad instantánea de salida para una carga RLC será:

$$i_{0(t)} = \int_{n=1}^{\infty} \frac{4 \cdot V_s}{n\pi \cdot \sqrt{R^2 + \left(nwL - \frac{1}{nwC}\right)^2}} \cdot \sin(nwt - \varphi_n)$$

$$\varphi_n = arc\tan \frac{nwL - \frac{1}{nwC}}{R}$$

Configuraciones trifásicas:

Los inversores trifásicos se utilizan en aplicaciones de mayor potencia, pudiendo estar formados por tres inversores monofásicos independientes conectados a la misma fuente, lo cual se muestra en la Figura 10.

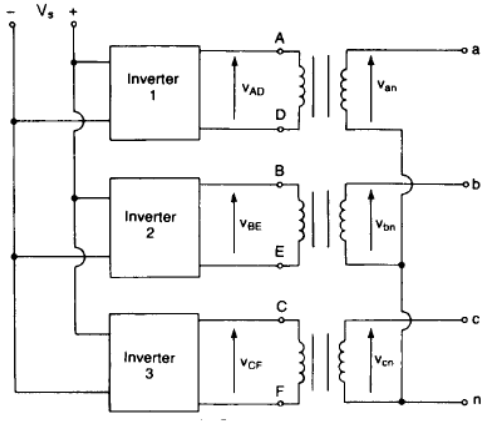


Figura 10
Inversor trifásico

La única exigencia será el desfase de 120º de las señales de disparo de cada inversor con respecto a los demás, para conseguir una tensión equilibrada a la salida.

Las tres señales alternas que obtienen de manera independiente en cada inversor, pueden ser conectadas al primario de un transformador trifásico dejando la conexión de sus secundarios en configuración delta o estrella en función de la carga. Este montaje requiere tres transformadores monofásicos, doce transistores y doce diodos. Si las tensiones de salida de los inversores monofásicos no están perfectamente equilibradas en magnitud y fase, la salida del sistema estará descompensada.

Se puede obtener otra configuración de inversor, en la que se reduzcan el número de semiconductores a utilizar, esta concepción se muestra a continuación.

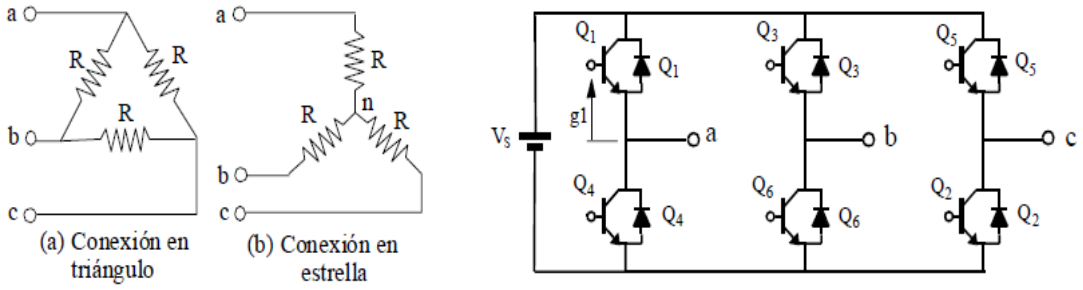
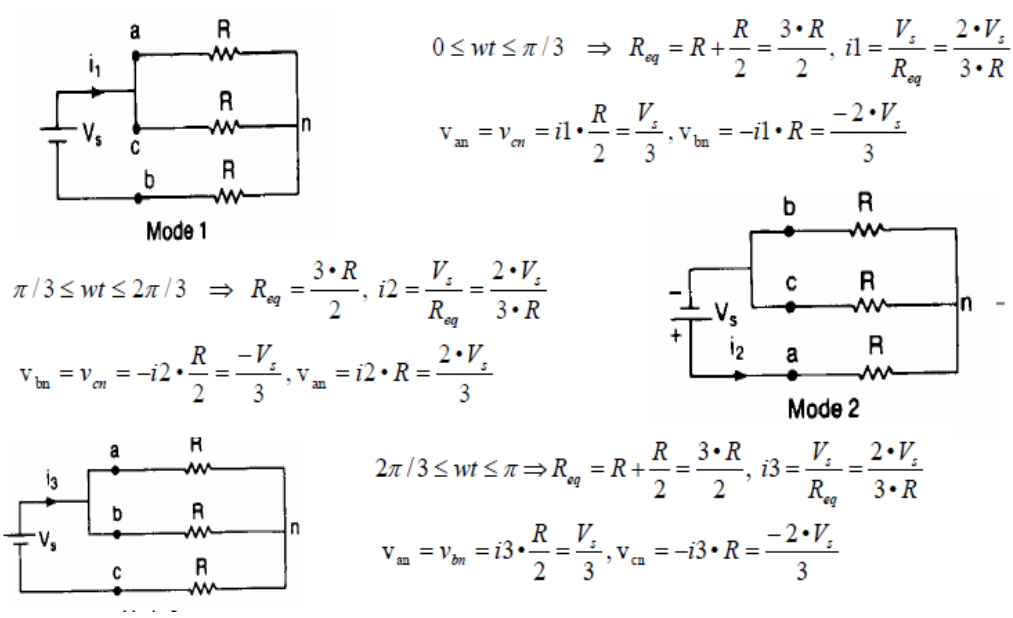


Figura 11
Configuraciones de Inversor trifásico.

El funcionamiento de este inversor trifásico se caracteriza por dos modos de funcionamiento distintos en función del intervalo de conducción de cada interruptor.

a) 180º grados de conducción: Cada interruptor conduce 180º, de forma que siempre existirán tres transistores conduciendo simultáneamente.



Mode 3

Figura 12
Intervalo de funcionamiento para los 3 modos.

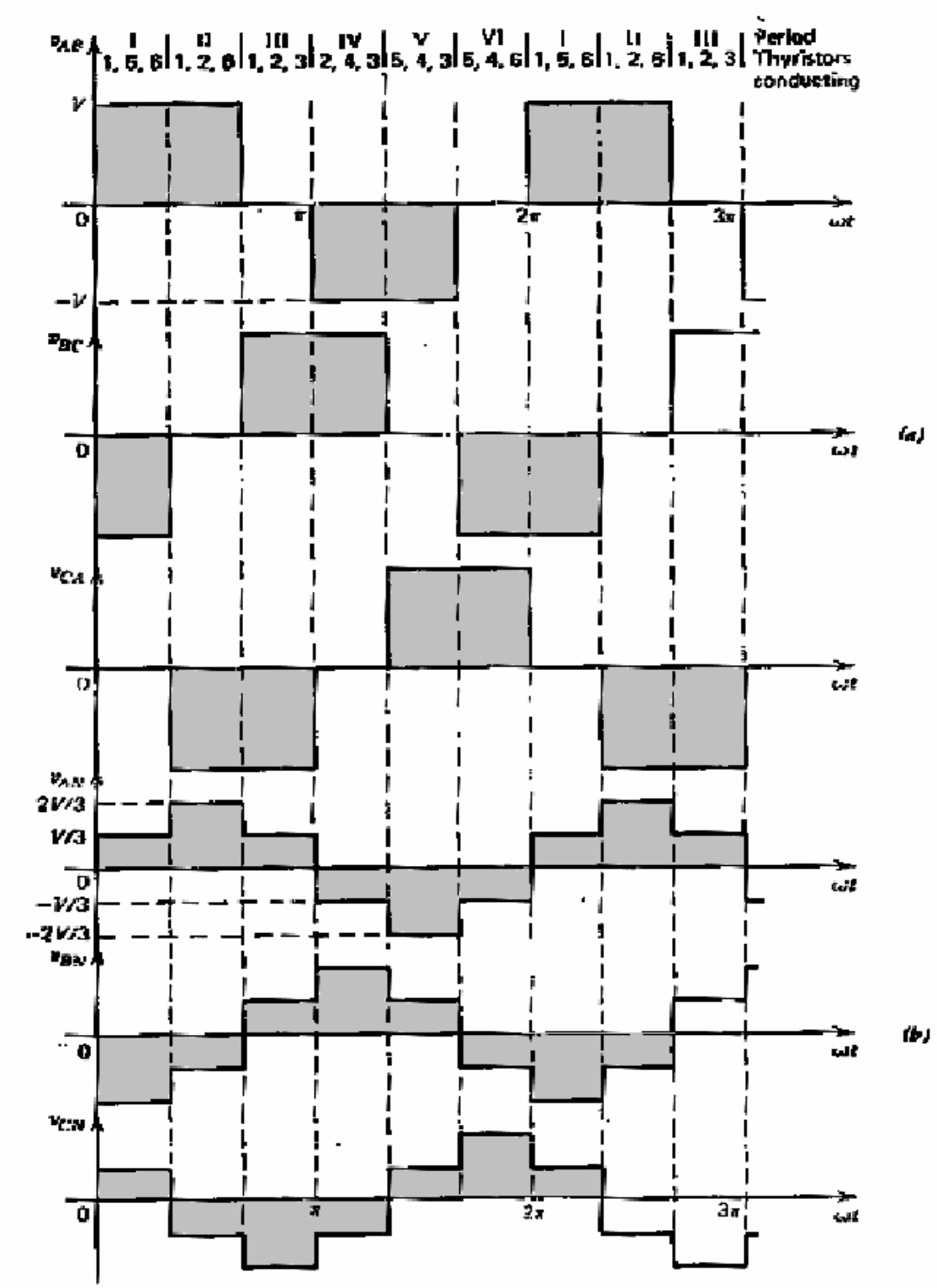


Figura 13
Formas de ondas de tensiones de línea (3 de arriba) y de fase (3 inferiores).

Para caracterizar la calidad de la señal alterna obtenida podemos expresar la tensión entre dos fases como:

$$V_{AB} = \frac{4 \cdot V_S}{n\pi} \cdot \cos\left(\frac{n\pi}{6}\right) \cdot \sin n\left(wt + \frac{\pi}{6}\right)$$

Las demás tensiones se obtienen desfasando Vab 120º y 240º

$$V_{BC} = \frac{4 \cdot V_S}{n\pi} \cdot \cos\frac{n\pi}{6} \cdot \sin n\left(wt - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$V_{CA} = \frac{4 \cdot V_S}{n\pi} \cdot \cos\left(\frac{n\pi}{6}\right) \cdot \sin n\left(wt - \frac{7\pi}{8}\right)$$

La tensión rms entre dos fases se puede expresar como:

$$V_L = \sqrt{\frac{2}{2\pi}\int_0^{\frac{2\pi}{3}} V_S d(wt)} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot V_S = \mathbf{0{,}8165V_S}$$

Así como la tensión rms para el armónico enésimo:

$$V_L = \frac{4 \cdot V_S}{\sqrt{2} \cdot n\pi} \cdot \cos\left(\frac{n\pi}{6}\right)$$

Dada la conexión de la carga en estrella el valor rms de la tensión de una fase a neutro (Vp) será VL/√3 ***=0.47Vs***.

b) 120º grados de conducción: Cada interruptor conduce 120º, de forma que siempre existirán dos transistores conduciendo simultáneamente. De la secuencia de disparo (12, 23, 34, 45,56,61,...) se obtendrán 3 intervalos de funcionamiento distintos, en un semiciclo de la tensión de salida:

Veamos a continuación los intervalos de funcionamiento para cada caso:

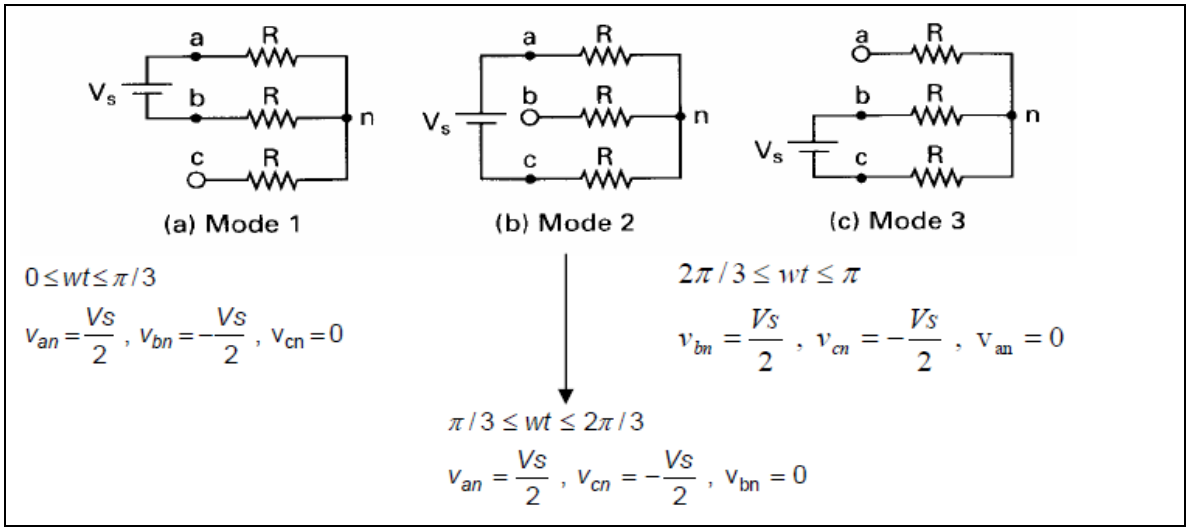


Figura 14
Intervalo de funcionamiento para los 3 modos.

Las tensiones de fase a neutro pueden ser expresadas en serie de Fourier como:

$$V_{An} = \sum_{n=1,3,5,\ldots}^{\infty} \frac{2 \cdot V_S}{n\pi} \cdot \cos\left(\frac{n\pi}{6}\right) \cdot \sin\left(n\left(wt - \frac{\pi}{6}\right)\right)$$

$$V_{An} = \sum_{n=1,3,5,\ldots}^{\infty} \frac{2 \cdot V_S}{n\pi} \cdot \cos\left(\frac{n\pi}{6}\right) \cdot \sin\left(n\left(wt - \frac{\pi}{2}\right)\right)$$

$$V_{An} = \sum_{n=1,3,5,\ldots}^{\infty} \frac{2 \cdot V_S}{n\pi} \cdot \cos\left(\frac{n\pi}{6}\right) \cdot \sin\left(n\left(wt - \frac{7\pi}{6}\right)\right)$$

Siendo las tensiones entre fases √3 veces la de fase a neutro con un adelanto de 30º.

La tensión de línea es:

$$V_{ab} = \sqrt{3} \cdot V_{an}$$

Con un adelanto de fase de 30º, por tanto, hay un retardo de π/6 entre el corte de Q1 y la conducción de Q4. De esta forma, se evita que la fuente de continua se cortocircuite al pasar de un modo de operación a otro.

Durante cada modo de operación uno de los tres terminales está abierto y los otros dos conectados a la fuente de continua. La tensión del terminal abierto dependerá de las características de la carga y es impredecible.

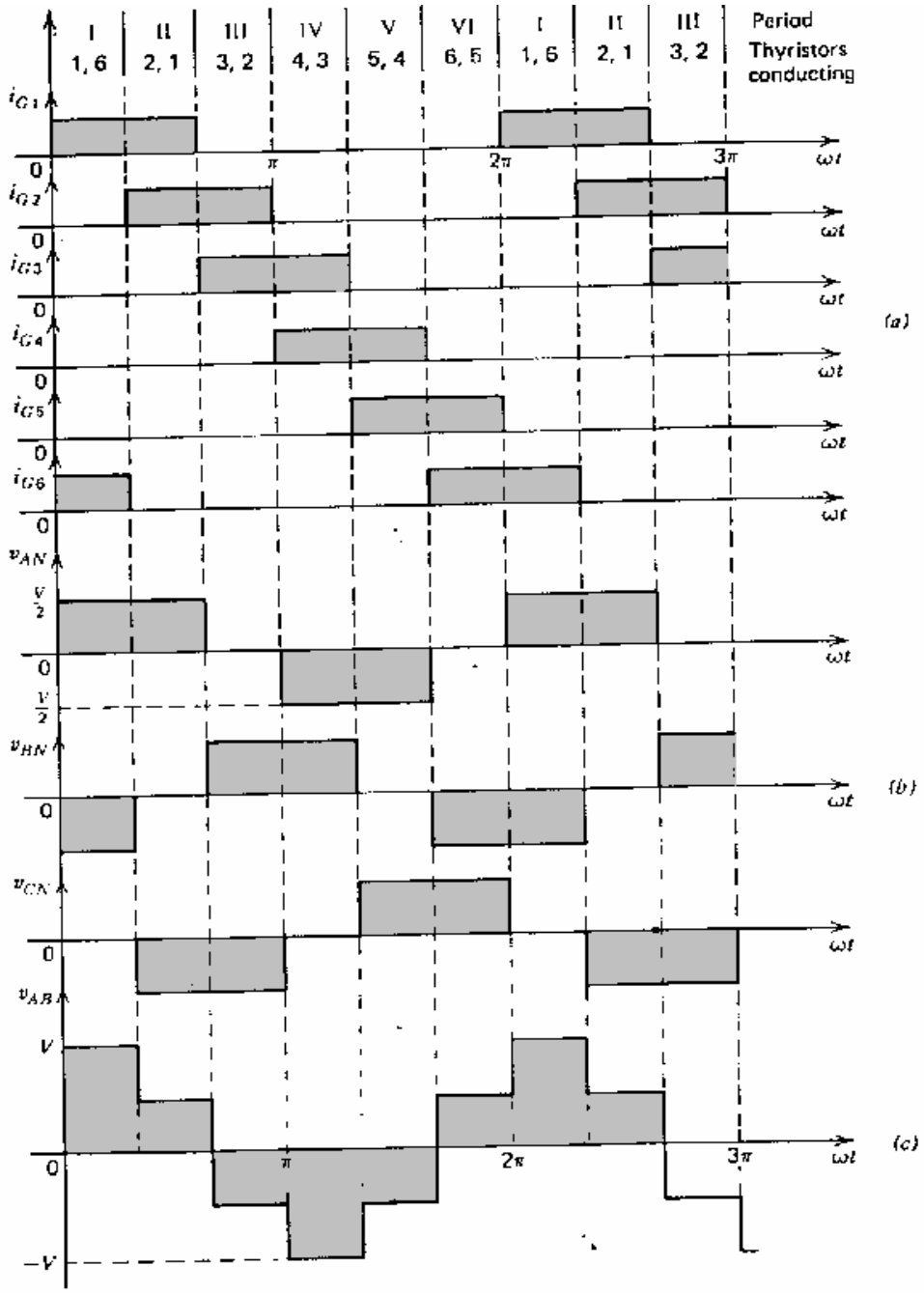


Figura 15
Secuencia de disparo con intervalos de funcionamiento distintos

1.3 Regulación de la tensión de salida.

En los esquemas estudiados que funcionan como fuente de tensión, la tensión de la salida depende de la batería de entrada de forma exclusiva.

En los circuitos reales existe una pérdida de tensión en los semiconductores y en el cableado que aumenta ligeramente con la carga. Esto es particularmente cierto en la configuración de transformador con toma media debido a la resistencia de los devanados.

Una exigencia de los inversores prácticos es la posibilidad de mantener constante el valor eficaz de la tensión de salida frente a las variaciones de la tensión de entrada y de la corriente de la carga, o incluso poder variar la tensión de salida entre unos márgenes más o menos amplios.

Las soluciones existentes para este último problema se pueden agrupar en tres procedimientos:

- Control de la tensión continúa de entrada: El control de la tensión de las baterías que alimentan al inversor, proporcionara una forma directa de controlar el valor eficaz de la salida. Este tipo de inversor se denomina "variable dc-link Inverter".
- Regulación interna en el propio inversor: La tensión de las baterías de entrada es constante y la modulación PWM en la secuencia de conducción de los transistores, proporciona una cierta regulación de la tensión eficaz de salida y una reducción del contenido armónico, con ciertas restricciones dependiendo del tipo de modulación.
- Regulación en la tensión de salida: consiste en disponer de un auto transformador en la salida del inversor, controlado mecánicamente o electrónicamente mediante tiristores. Esta solución incorpora un retraso en la respuesta del sistema y un aumento del volumen si se necesita una tensión de salida elevada.

A continuación vamos a estudiar más detenidamente la variación de la tensión de salida por medio de la regulación interna del propio inversor. El método más eficiente para la regulación interna del inversor consiste en modular la anchura de los pulsos (PWM).

1.4 Conformación y regulación de la salida mediante PWM.

Según se ha analizado en los apartados anteriores la conformación de la onda de salida de los inversores se realiza actuando sobre los interruptores, haciendo que conduzca o se corte con una frecuencia igual a la frecuencia deseada en la salida. Escoger un tipo u otro de modulación determinará el valor de la componente fundamental así como los valores de los diferentes armónicos. Además, en la mayoría de aplicaciones industriales, se necesita un control de la tensión de salida del inversor para hacer frente a las variaciones de la tensión dc de entrada, o para cumplir mantener constante la relación voltios/frecuencia.

La calidad del inversor se evalúa en términos de los siguientes parámetros:

Factor armónico (HFn) de la enésima componente:

$$HF_n = \frac{V_n}{V_1}$$

Distorsión armónica total(THD):

$$THD: \frac{1}{V_1} \times \left(\sum_{n=2,3,\ldots}^{\infty} V_n^2 \right)^{1/2}$$

Factor de Distorsión (DF): El THD indica el contenido armónico total, pero no indica el nivel de cada uno de sus componentes. Así el factor de distorsión indica la cantidad de distorsión armónica que queda en una forma de onda particular después de que las armónicas de esa forma de onda hayan sido sujetas a una atenuación de segundo orden (es decir divididas por n2). Por lo tanto, DF es una medida de la eficacia en la reducción de las componentes armónicas no deseadas, sin necesidad de especificar los valores de un filtro de carga de segundo orden, y se define como:

$$DF = \frac{1}{V_1} \cdot \sqrt{\sum_{n=2,3,..}^{\infty} \left(\frac{V_n}{n^2} \right)}$$

Siendo el actor de distorsión de una componente individual como:

$$DF_1 = \frac{V_n}{V_1 \cdot n^2}$$

Existen diversas técnicas para controlar la ganancia, una de las más eficientes se trata de la modulación de la anchura del pulso (PWM). Dentro de la técnica general PWM podemos destacar las siguientes modalidades:

a) Modulación de la anchura de un impulso por período (Single-pulse-width modulation).

En este tipo de modulación hay un único pulso por semiperiodo, de forma que variando la anchura de dicho pulso, se varía la tensión de salida del inversor. En la Figura 16 se muestra la generación de las señales de puerta de los transistores y la tensión de salida de un inversor en puente monofásico. Dicha generación de señales de puerta se obtiene por comparación de una onda rectangular (onda de referencia) de amplitud Ar con una onda triangular (portadora) de amplitud Ac. La frecuencia de la señal de

referencia determina la frecuencia de la tensión de salida, y variando Ar desde 0 hasta Ac conseguimos variar la anchura del pulso desde 0º hasta 180º.

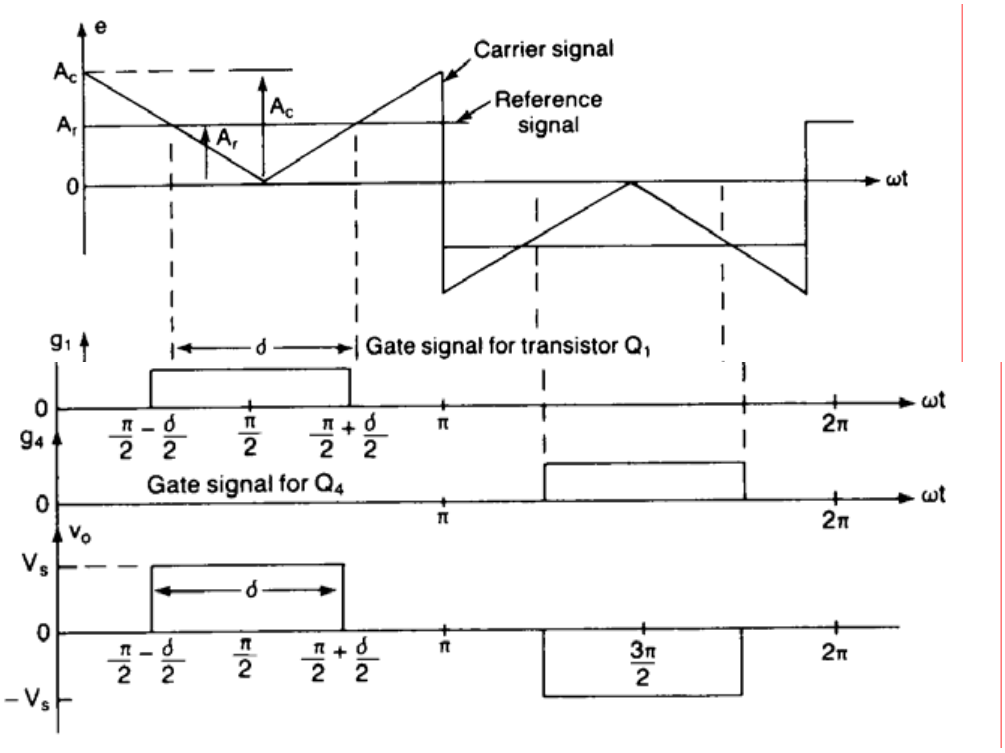


Figura 16
Señales de puerta de los transistores y la tensión de salida de un inversor en puente monofásico.

Se define el índice de modulación M = Ar/Ac.La señal de salida se puede caracterizar mediante la siguiente serie de Fourier:

$$V_0 = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4 \cdot E}{n \cdot \pi} \sin(nwt)$$

A partir de la cual se puede obtener los valores delos armónicos y de la distorsión, la cual se representa en la Figura 17 a continuación:

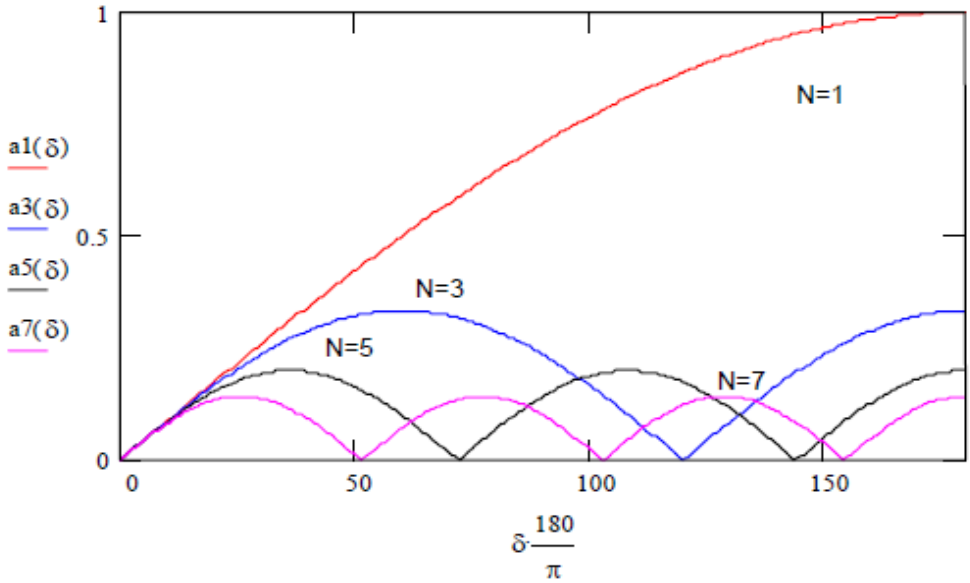


Figura 17
Curvas del contenido armónico de an/a1máx.

Con un voltaje rms de salida igual a:

$$V_{0(RMS)} = \left[\frac{2}{2 \cdot \pi} \int_{(n-\delta)/2}^{(n+\delta)/2} E^2 \cdot d(w \cdot t) \right] = E \sqrt{\frac{\delta}{\pi}}$$

Tal como se observa en la Figura 18, los armónicos bajos son de valor muy elevados, junto con una distribución muy irregular en función de la anchura de ese único pulso.

Así para δ pequeños el contenido armónico aumenta.

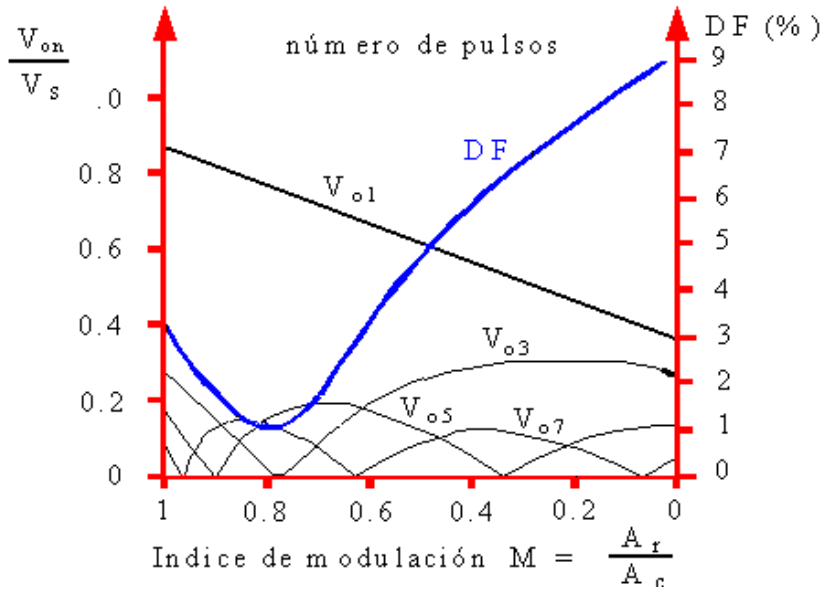


Figura 18
Comportamiento del tercer armónico

En la Figura 18 se observa que el armónico dominante es el tercero y el factor de distorsión aumenta significativamente para tensiones bajas de salida Ar/Ac= 0.

b) Modulación de la anchura de varios impulsos iguales por período (Multiple-pulse-width modulation).

El contenido armónico puede ser reducido utilizando múltiples pulsos cada semi-período. La generación de esos pulsos se puede ver en la Figura 19, donde se compara una señal triangular con una referencia.

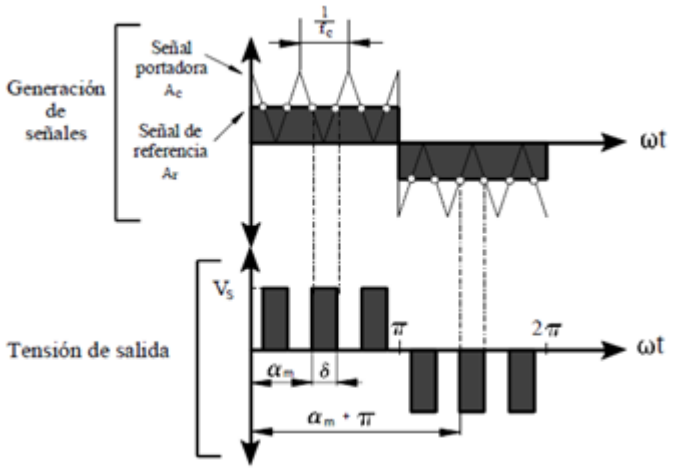


Figura 19
Comparación de señal triangular con una referencia.

La variación de la tensión de salida se logra variando la anchura de cada pulso δ entre cero yπ/N, donde N es el número de pulsos por semiperíodo. La frecuencia de la señal de referencia determina la frecuencia de la señal de salida del inversor, siendo la frecuencia fc de la portadora quien determina el número de pulsos por semiperíodo. A este tipo de modulación también se le conoce como modulación uniforme de la anchura de pulso. El número de pulsos por cada semiperíodo se calcula como:

N = fc/(2fo) = Mf/2 = entero.

Donde a Mfse le conoce como el índice de modulación de frecuencia. Las componentes del desarrollo en serie de Fourier que se obtienen se representan en la siguiente Figura , para distintos números de pulsos.

Con un voltaje rms de salida igual a:

$$V_{0\ (RMS)} = \left[\frac{2 \cdot N}{2 \cdot \pi} \int_{(\left(\frac{\pi}{N}\right)-\delta)/2}^{(\left(\frac{\pi}{N}\right)+\delta)/2} E^2 \cdot d(w \cdot t) \right]^{\frac{1}{2}} = E \sqrt{\frac{\delta \cdot N}{\pi}}$$

A medida que aumentamos el número de pulsos por ciclo cobran mayor importancia en amplitud los armónicos superiores, por lo que resulta mucho más fácil el filtrado posterior de la señal y obtener una onda senoidal lo más perfecta posible.

La tensión instantánea de salida en series de Fourier se expresa como:

$$v_{0(t)} = \sum_{n=1,3,5,..}^{\infty} B_n \cdot \sin(nwt)$$

Donde el coeficiente Bn se determina al considerar un par de pulsos, tal que el pulso positivo, de duración δ comienza para ωt = αm y el pulso negativo de la misma anchura comienza para ωt = αm + π.

A medida que aumentamos el número de pulsos por ciclo cobran mayor importancia en amplitud los armónicos superiores, por lo que resulta mucho más fácil el filtrado posterior de la señal y obtener una onda senoidal lo más perfecta posible.

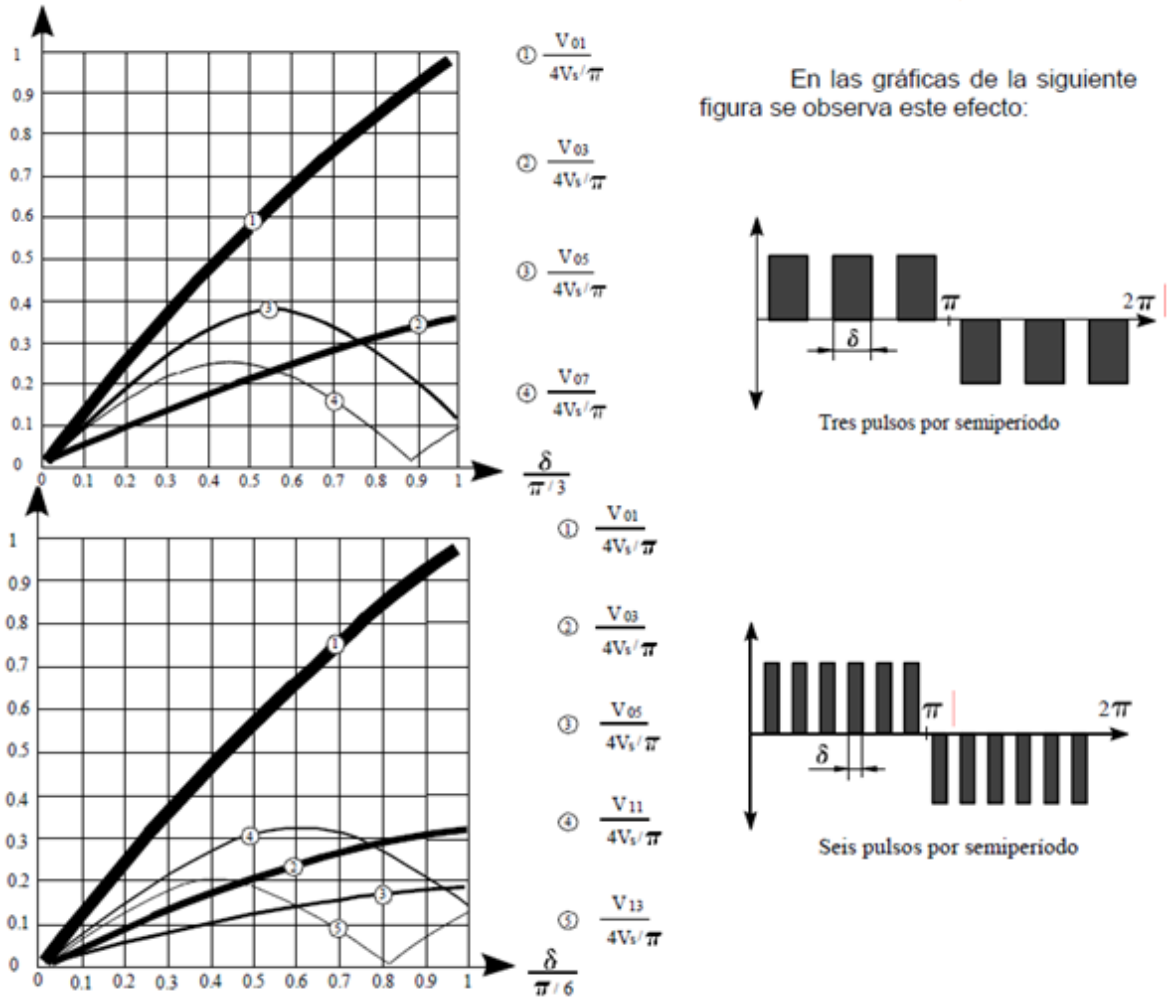


Figura 20
Efecto del número de pulsos para mejora de onda senoidal.

c) Modulación senoidal de la anchura de impulso (Sinusoidal-pulse-width modulation).

En lugar de mantener la anchura de los pulsos constante, se puede variar dicha anchura en proporción a la amplitud de una onda senoidal, reduciendo el factor de distorsión y los armónicos de bajo orden. Las señales de disparo son generadas, tal como se muestra en la Figura 17

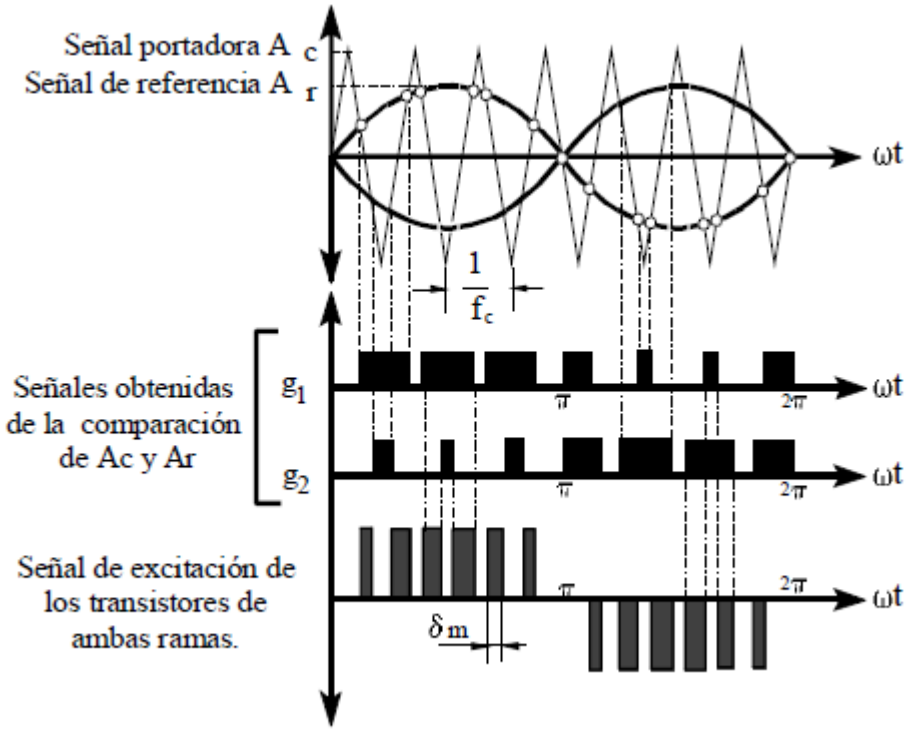


Figura 21
Efecto por reducción del factor de distorsión y los armónicos de orden bajo.

.

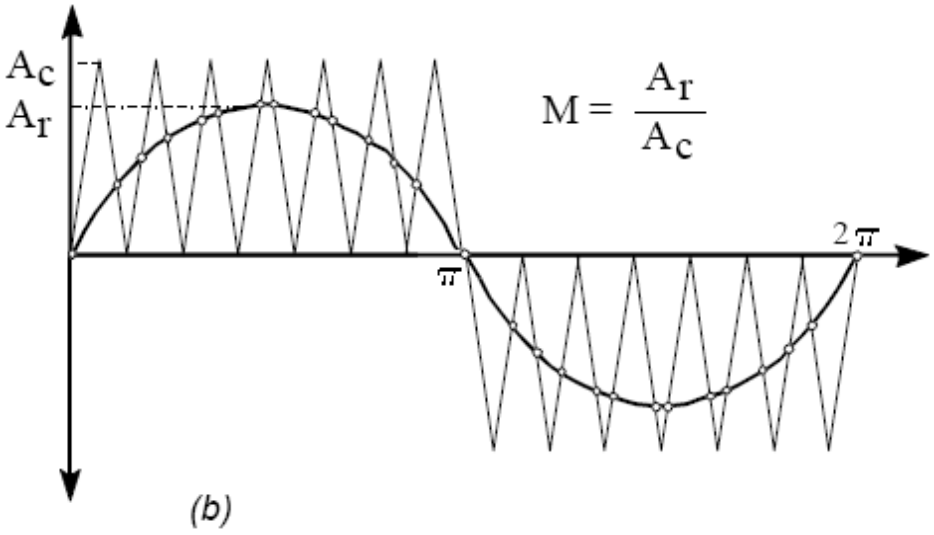


Figura 22
Parte b

La frecuencia de la señal de referencia determina la frecuencia de salida del inversor, y su amplitud (Ar) controla el índice de modulación M, y por tanto la tensión eficaz de salida. El número de pulsos por semi-ciclo depende de la frecuencia de la portadora. Las mismas señales de disparo se pueden obtener con una onda unidireccional triangular, tal como muestra la parte (b) de la Figura .

En este tipo de modulación denominada Unipolar, cada rama del inversor es controlada de manera independiente comparando la onda triangular con V control y con –V control.

También se puede obtener un sistema de modulación por impulsos tal que en cada semiperíodo. Sea positivo o negativo, se tenga alternativamente voltajes positivos o negativos, denominándose entonces modulación Bipolar.

Veamos la distribución de los armónicos para cada una de estas modulaciones dentro de la versión senoidal.

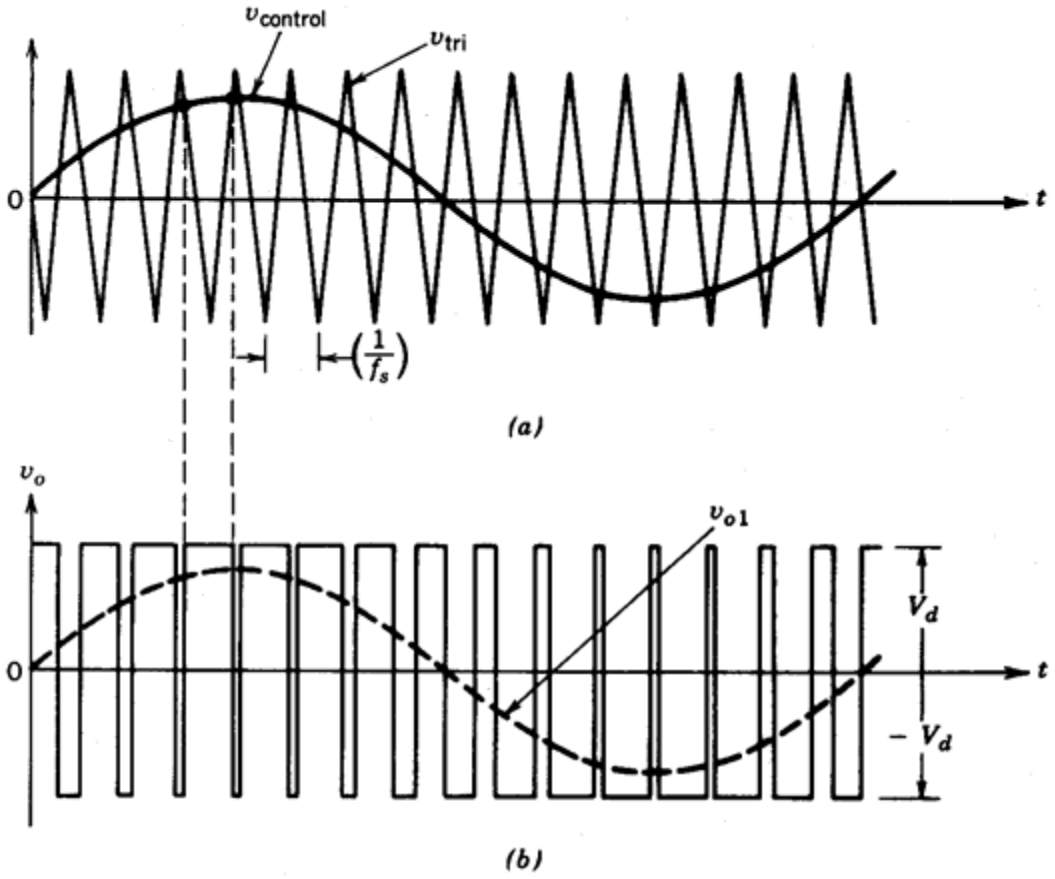


Figura 23
Distribución de las armónicas

Modulación Bipolar

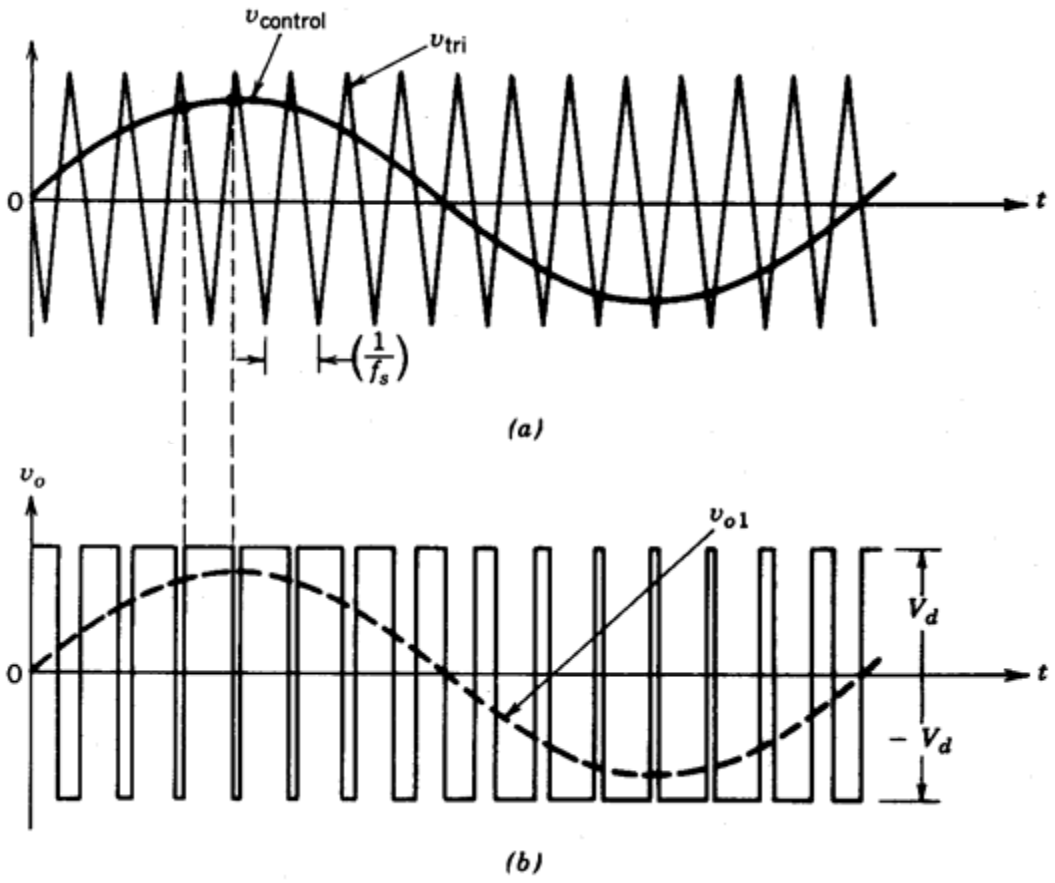


Figura 24
Distribución de las armónicas en modulación bipolar.

Podemos observar que la anchura de cada pulso de la señal de excitación corresponde a los intervalos existentes entre los puntos de corte de la onda portadora y la de referencia, obteniéndose el doble de pulsos si utilizamos dos ondas senoidales en vez de una. δm es la anchura de un pulso pésimo que varía al modificar el índice de modulación y modificando éste se altera la tensión eficaz de salida, que vendrá dada por:

$$V_{0(RMS)} = V_S \cdot \sqrt{\int_{p=1}^{p} \frac{\delta_n}{\pi}}$$

La tensión de pico de salida del fundamental para control PWM y SPWM viene dada aproximadamente por:

$V_{01} = d \cdot V_S$, para$0 \leq d \leq 1$

Para d = 1, la ecuación anterior tiene la máxima amplitud de pico de la tensión de salida del fundamental: Vo1 (máx.) = VS. Pero de la ecuación:

$$V_0 = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4 \cdot E}{n \cdot \pi} \sin(nwt)$$

Tenemos un máximo de:

$$\frac{4 \cdot V_S}{\pi} = 1{,}278 V_S$$

Esto es, para una onda de salida cuadrada.

De esta forma variando el índice de modulación de amplitud ma = V control/V triangular, para una tensión de alimentación constante se puede modificar la tensión a la salida del inversor. Sin embargo dependiendo del índice de modulación, la distribución de los armónicos en la salida es distinta. Así para:

mA≤ 1 los armónicos se sitúan a alta frecuencia alrededor de la frecuencia de conmutación y sus múltiplos.

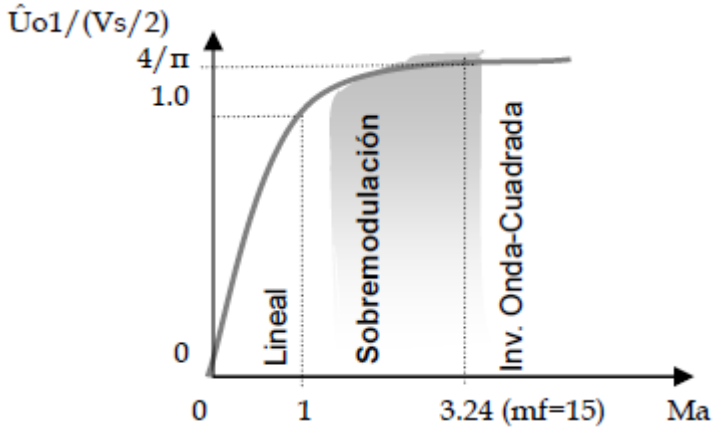


Figura 25
Efecto de la sobre modulación.

mA> 1 se produce un efecto conocido por el nombre de sobre-modulación, que tiene por resultado un aumento en el contenido armónico. De hecho para este caso, la amplitud de la componente de frecuencia fundamental no varía linealmente con ma.

$$V_{CONTROL} = \dot{V_C} \cdot \sin w_1 \cdot t$$

La sobre-modulación se emplea básicamente para operar con ondas cuadradas e inyecta más armónicos que el modo de operación en el rango lineal (para d ≤ 1), por

esto, la sobre-modulación es normalmente evitada en aplicaciones que requieren una distorsión baja.

En cuanto al índice de modulación de frecuencia mf = f conmutación / f1, define a la frecuencia a la cual aparecen los armónicos. En cuanto a su selección, dado que es más fácil filtrar armónicos de alta frecuencia, cuanto mayor sea mf más pequeño será el filtro necesario a la salida del inversor. Realmente el máximo valor de mf está determinado por la máxima frecuencia de conmutación que permita unas pérdidas aceptables. La otra exigencia es diseñar un valor de mf entero, múltiplo de f1, de manera que se eviten sub-armónicos, a este tipo de modulación se le denomina síncrona.

Si mf es impar, se puede demostrar como en la serie de Fourier de la tensión de salida aparecen únicamente armónicos de orden impar, apareciendo armónicos pares e impares, junto con un nivel de continua si mf es par**.**

El espectro de armónicos de ambas modulaciones senoidales se muestra a continuación:

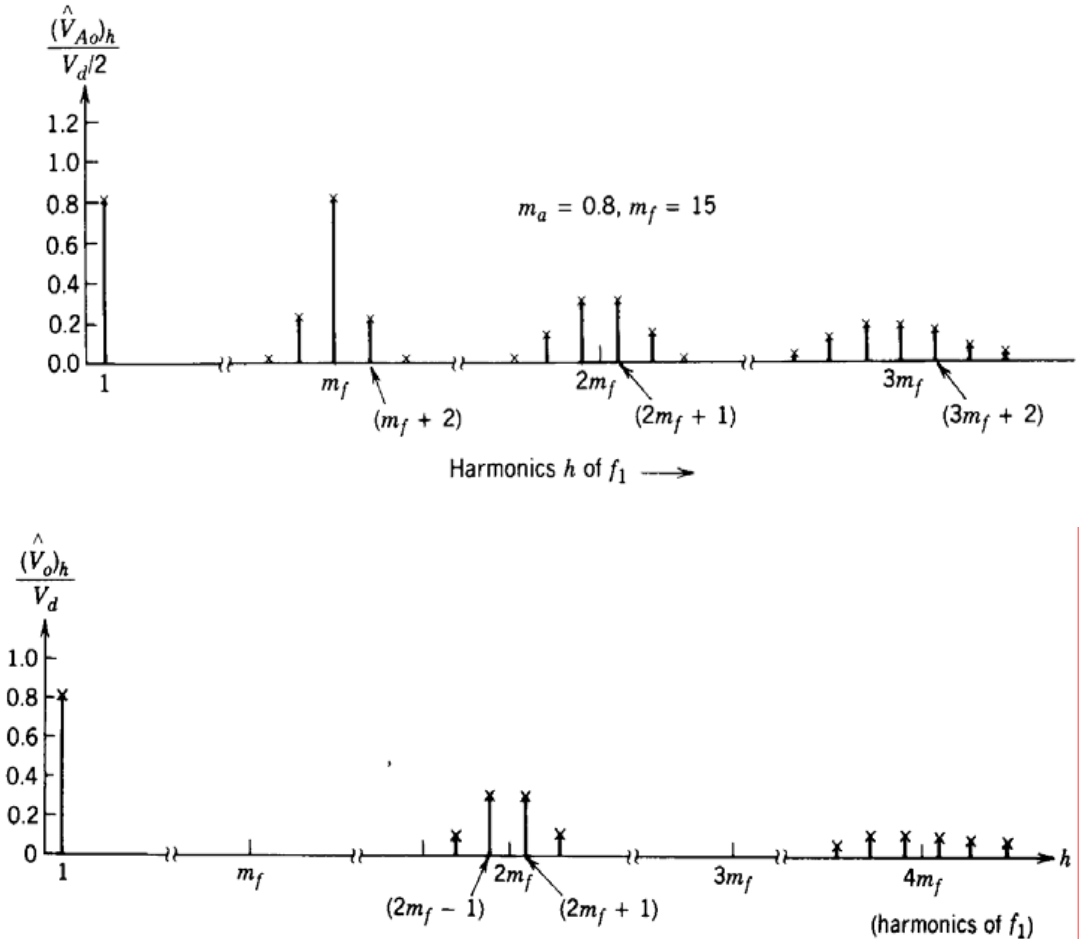


Figura 26
Espectro de modulación senoidal unipolar. 104

d) Modulación senoidal modificada

De la modulación senoidal se puede deducir que variando el índice de modulación la anchura de los pulsos no varía significativamente. Para solventar este problema se utiliza la técnica de modulación en anchura de pulsos senoidal modificada (MSPWM).

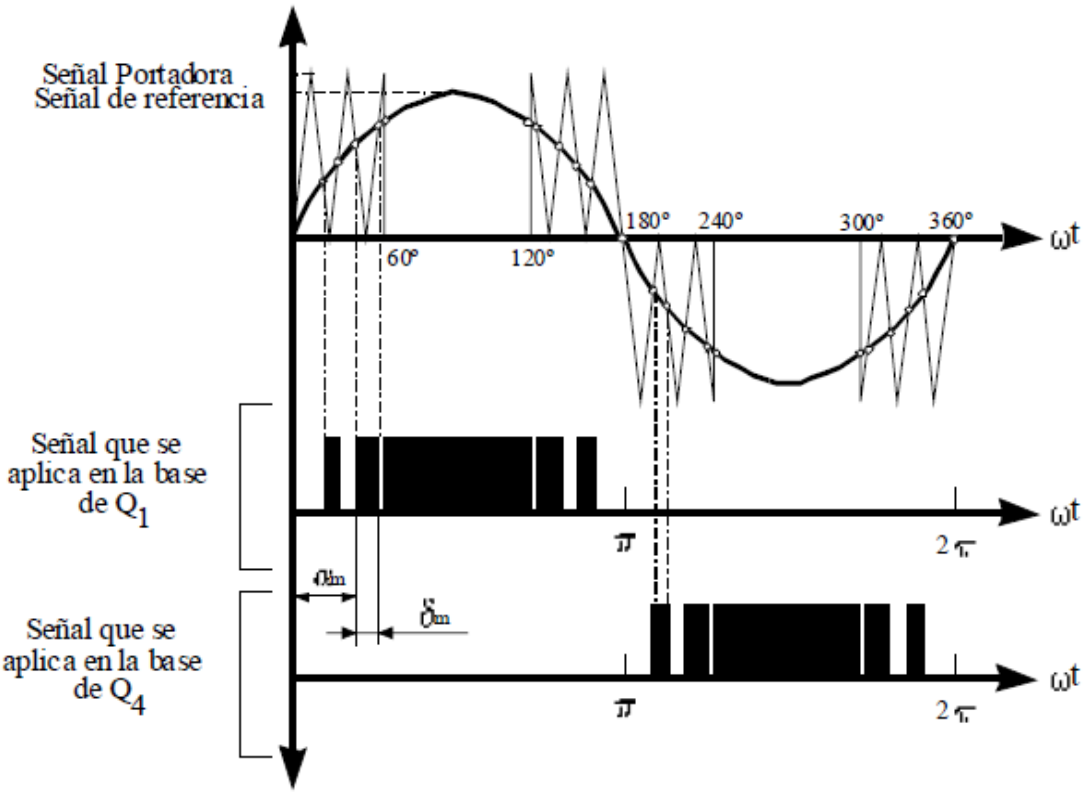


Figura 27
Ejemplo de control por modulación senoidal modificada.

Esta técnica aplica la onda portadora durante los primeros y últimos 60º de cada semi-ciclo. En la Figura 27 se esquematiza este tipo de control con un ejemplo en que la señal portadora (triangular) se aplica a los intervalos (0º, 60º) y (120º, 180º), obteniendo un pulso central de mayor anchura.

Este tipo de modulación aumentan los componentes fundamentales y las características armónicas son mejoradas con respecto a la técnica anterior. También reduce el número de conmutaciones del circuito de potencia y por lo tanto, las pérdidas por disparo son menores.

1.5 Reducción del contenido armónico.

Reducir el contenido armónico del puerto alterno de tensión o corriente es una de las tareas más complejas en el diseño de los conversores dc-ac. Los armónicos no sólo reducen el factor de potencia del lado de alterna, sino también aumentan las interferencias con el propio conversor, o con equipos situados en el entorno. Además si el inversor alimenta una carga electromecánica, tal como un motor de alterna, el contenido en armónicos de la forma de alterna que alimentan al motor provoca resonancias mecánicas causando ruido acústico.

En una primera aproximación, cabría pensar que un filtro pasa baja (reducción pasiva) podría eliminar el problema de los armónicos, sin embargo, no será demasiado efectivo cuando se aplica al inversor, la razón estriba en la relación entre la frecuencia de conmutación y la frecuencia de la entrada o de la salida es finita en un conversor dc-ac. Por tanto en un inversor el tamaño y la efectividad de los elementos del filtro están determinados por factores tales como la cantidad de atenuación o el desplazamiento de fase tolerado.

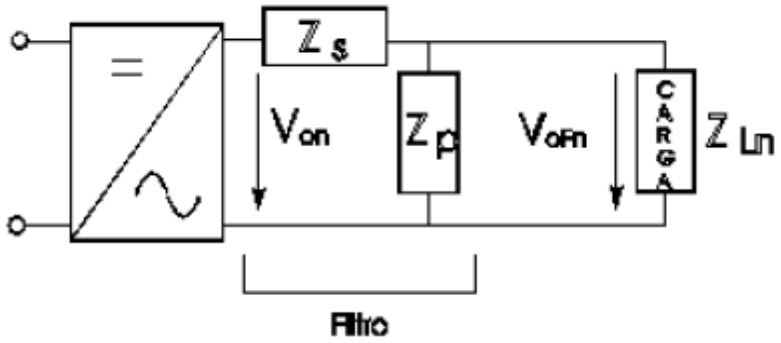


Figura 28
Esquema general filtro pasa baja.

Cuando se requiere reducir la distorsión armónica de la tensión de salida de un inversor de frecuencia fija o poco variable, se dispone un filtro a la salida que permite el paso de la onda fundamental y se lo impide a los armónicos. Casi todos los filtros empleados para este propósito tienen configuración en L y en la siguiente se presenta el esquema general de la Figura 29.

La rama serie debe tener una baja impedancia a la frecuencia del fundamental para que no haya pérdidas de tensión y una alta impedancia a la frecuencia de los armónicos que se quieren eliminar. La rama paralela debe comportarse de forma opuesta para no cargar al inversor con una intensidad de frecuencia igual a la del fundamental y para cortocircuitarse a la frecuencia de los demás armónicos.

Se llama atenuación del filtro para una determinada frecuencia, a la relación entre la tensión de salida y la de entrada a dicha frecuencia. Llamando Zsn y Zpn a la impedancia de las ramas series y paralelo. Para el armónico de orden n y para funcionamiento en vacío se tiene:

$$A = \frac{V_{0(fn)}}{V_{o(n)}} = \frac{Z_{pn}}{Z_{sn} + Z_{pn}}$$

Zsn y Zpn dependen de la frecuencia considerada y por tanto, al igual que la atenuación, suele ser mayor para frecuencias más elevadas debido al comportamiento inductivo de Zsn y capacitivo de Zpn.

En caso de tener una cierta carga de impedancia ZLn, la atenuación mejora porque la impedancia paralelo Z`pn a considerar sería equivalente de Zpn y Zln (y siempre menor que la impedancia Zpn):

$$Z'_{p(n)} = \frac{Z_{pn} \times Z_{ln}}{Z_{pn} + Z_{ln}}$$

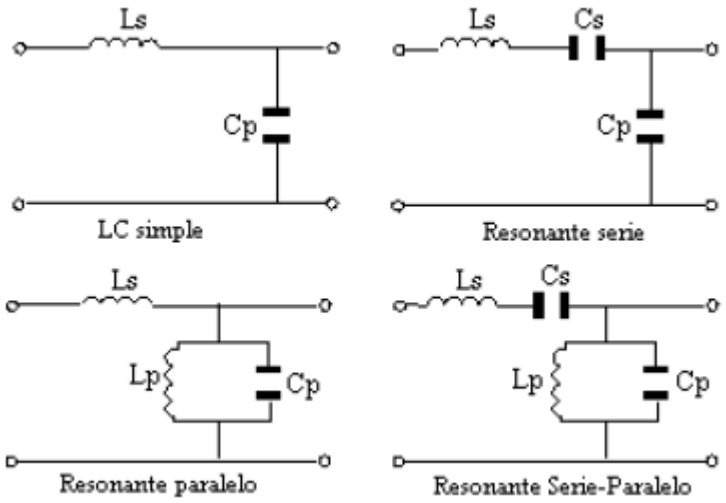


Figura 29
Ecuación

En la siguiente Figura se presentan algunos de los filtros en L más utilizados. Los que tienen en la rama serie una sola bobina tienen el inconveniente de que se pierde en ella tensión de la frecuencia fundamental. Los que en la rama paralela tienen un condensador sólo tienen el inconveniente de que se deriva por él una parte de la intensidad de la frecuencia fundamental.

Ambos inconvenientes se pueden eliminar en los inversores de frecuencia fija utilizando ramas resonantes sincronizadas con la frecuencia fundamental de forma que a dicha frecuencia:

$$\omega_1 \times L_s = \frac{1}{\omega_1 \times C_s};\ \omega_1 \times L_p = \frac{1}{\omega_1 \times C_p} \Rightarrow Z_{s1} = 0 \text{y} Z_{p1} = \infty$$

Y por tanto, la caída de tensión en la rama serie es nula y el consumo de intensidad en la paralela también lo es.

La atenuación de un filtro de éste tipo para un armónico de orden n puede deducirse sustituyendo en la ecuación de la atenuación las expresiones de Zsn y Zpn para la frecuencia nw1 y resulta:

$$A = \frac{1}{1 - \left(n - \frac{1}{n}\right)^2 \frac{C_p}{C_s}}$$

Diseño de un filtro de tensión.

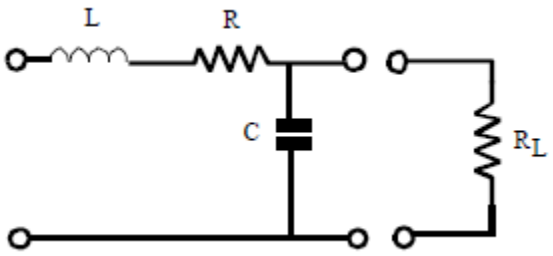


Figura 30

Para diseñar un filtro de tensión a la salida de un inversor y para el caso genérico de que RL sea mucho mayor que R hacemos las siguientes consideraciones:

• La ganancia G ≈ 1.
• La pulsación de esquina ωn toma el valor:

$$\omega_n \approx \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

• Para el factor de amortiguamiento ε tomamos:

$$\varepsilon \approx \frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}}$$

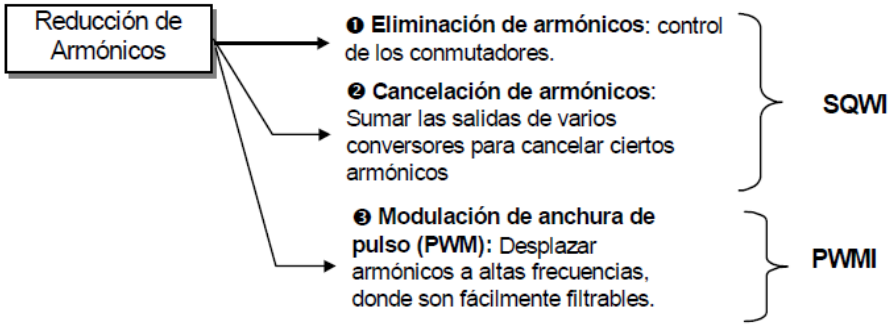
• La definición de estos parámetros también puede hacerse teniendo en cuenta lo siguiente:

a) RL/R suele ser mayor que diez.
b) R suele tener un valor pequeño, el suficiente para que 0.4 < ε < 0.7.
c) Cuando RL disminuye ocurre que:

- G disminuye (se atenúa el armónico principal).
- ωn aumenta (disminuye la atenuación de los armónicos de alta frecuencia no deseados).
- ε aumenta (el sistema se hace más amortiguado, más estable, pero atenúa la magnitud del armónico principal).
- La frecuencia de esquina viene determinada por ωn = 1/T, f = ωn/2π.

Otra forma de proceder, consiste en actuar sobre los interruptores del inversor para realizar una reducción del contenido armónico de forma activa.

Dicha reducción activa del contenido armónico puede realizarse de varias maneras, las cuales se resumen a continuación:



Esquema de resumen para reducción de armónicos.

a) Eliminación de armónicos

Consideremos un inversor monofásico con configuración en puente completo y con una carga formada por una inductancia en serie con una resistencia. Veamos en la siguiente Figura el inversor mencionado y las formas de onda a la salida.

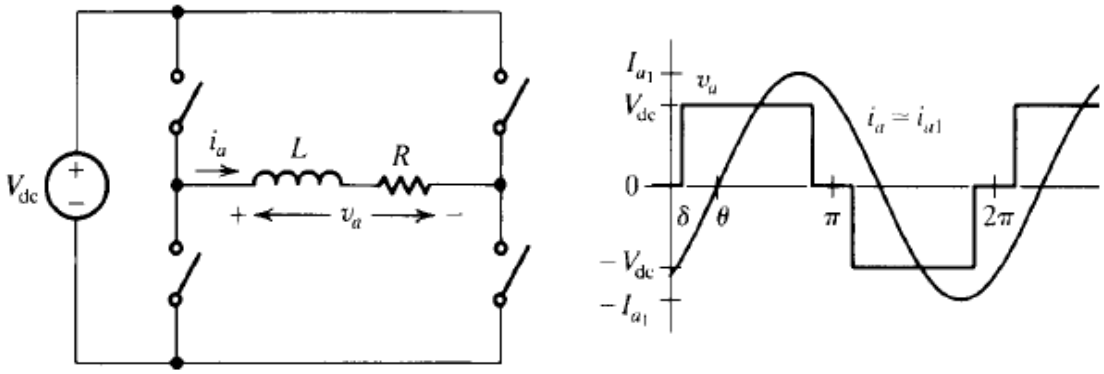


Figura 31

$$V_{a(rms)} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \times \int_{\delta}^{\pi-\delta} Vdc^2 \times d(wt)} = Vdc \times \sqrt{1 - \frac{2 \times \delta}{\pi}}$$

Tal como se muestra en la Figura anterior, este inversor proporciona tres estados distintos a la salida. Una ventaja del control de δ en el conversor anterior, reside en que mediante una buena selección de δ, se puede eliminar el tercer armónico. Y dado que el tamaño de los elementos del filtro dependen de la frecuencia inferior que debe ser eliminada, la eliminación del tercer armónico, representa que el armónico inferior presente en Va es el quinto.

En el conversor anterior, podemos calcular la amplitud del tercer armónico, resultando:

$$V_{a3} = \frac{2 \times V_{dc}}{\pi} \times \int_{\delta}^{\pi-\delta} \sin(3wt) \times d(wt) = \frac{4 \times V_{dc}}{3 \times \pi} \times \cos(3\delta)$$

Por tanto se puede eliminar el tercer armónico si seleccionamos un δ=π/6. En realidad, todos los armónicos de orden 3n son eliminados, denominándose la forma de onda: libre de los triple-n armónicos. El único inconveniente es la no utilización de δ como parámetro de control de la potencia entregada.

Veamos a continuación un ejemplo concreto de eliminación del tercer y quinto armónico.

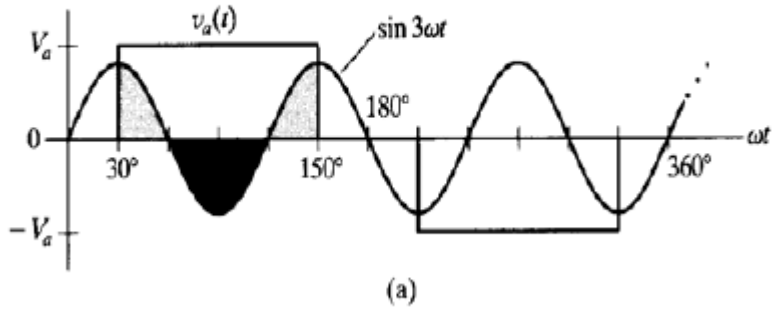


Figura 32

En esta Figura 32, se muestra la forma de onda del inversor en puente completo superpuesta con la componente senoidal del tercer armónico. Tal como se expuso

anteriormente, si δ=π/6, el tercer armónico se cancela, lo cual se observa en la Figura pues las áreas positivas y negativas son iguales.

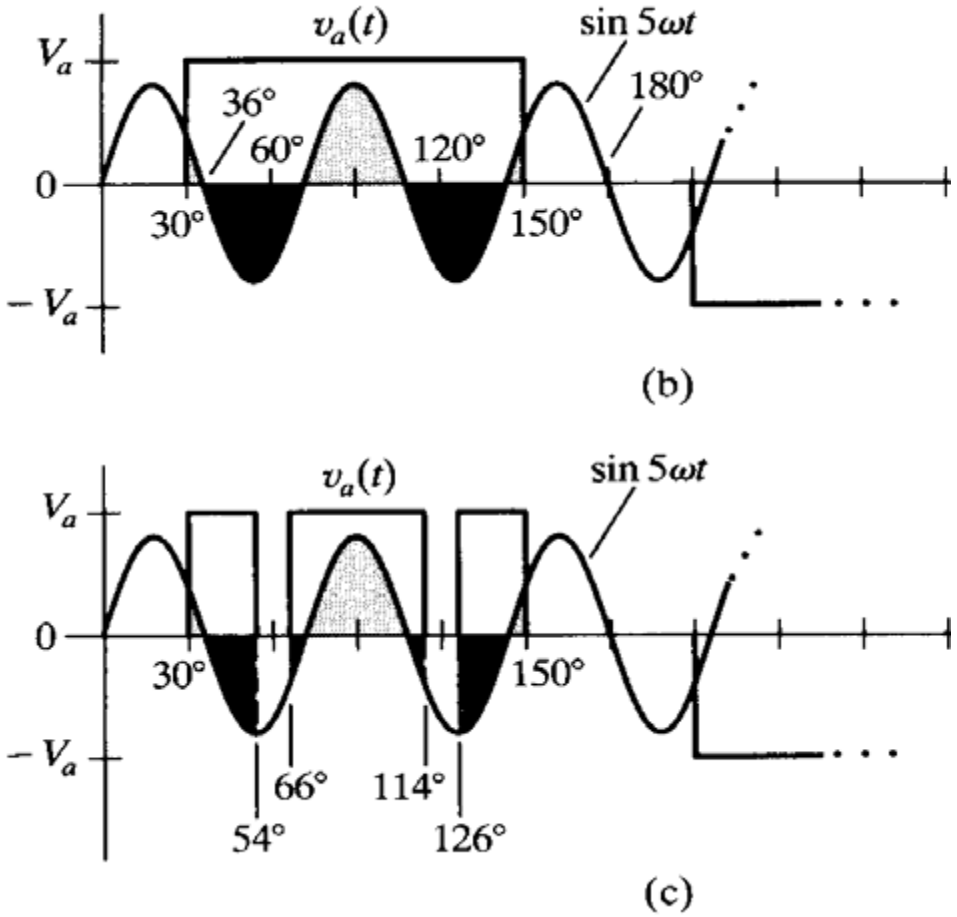


Figura 33

Además en la parte (b) de la Figura se ha superpuesto el componente del quinto armónico. Ahora debemos modificar la tensión va(t) para que durante un semiciclo, las áreas positivas y negativas de ese quinto armónico se igualen. El resultado se muestra en la parte (c) de la Figura , donde se ha eliminado la tensión en la carga dos veces en un semiperíodo, con una duración de 12º.

b) Cancelación de armónicos.

Se trata de obtener otra forma de cancelar armónicos, la cual se puede intuir sin más que pensar que la forma de onda Va del inversor en puente completo se puede obtener a partir de dos formas de onda de amplitud Vdc/2 desplazadas 60 grados una respecto de la otra.

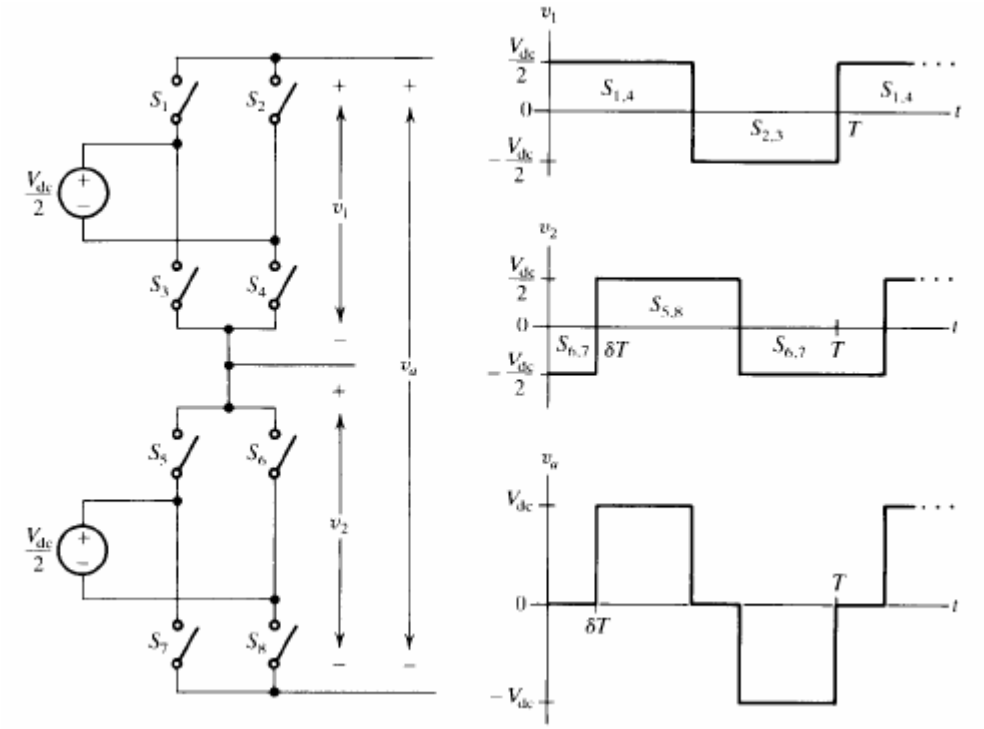


Figura 34

Aunque con esta configuración se duplica el número de conmutadores en relación al inversor en puente completo, cada uno de estos conmutadores sólo debe de soportar una tensión de bloqueo igual aVdc/2. La implementación práctica de esta disposición no es muy realista a causa de las dos fuentes de tensión de entrada aisladas. Por tanto se podría realizar una conexión a partir de una sola fuente de tensión, pero añadiendo un transformador en la parte de alterna con los secundarios en serie, tal como se muestra a continuación.

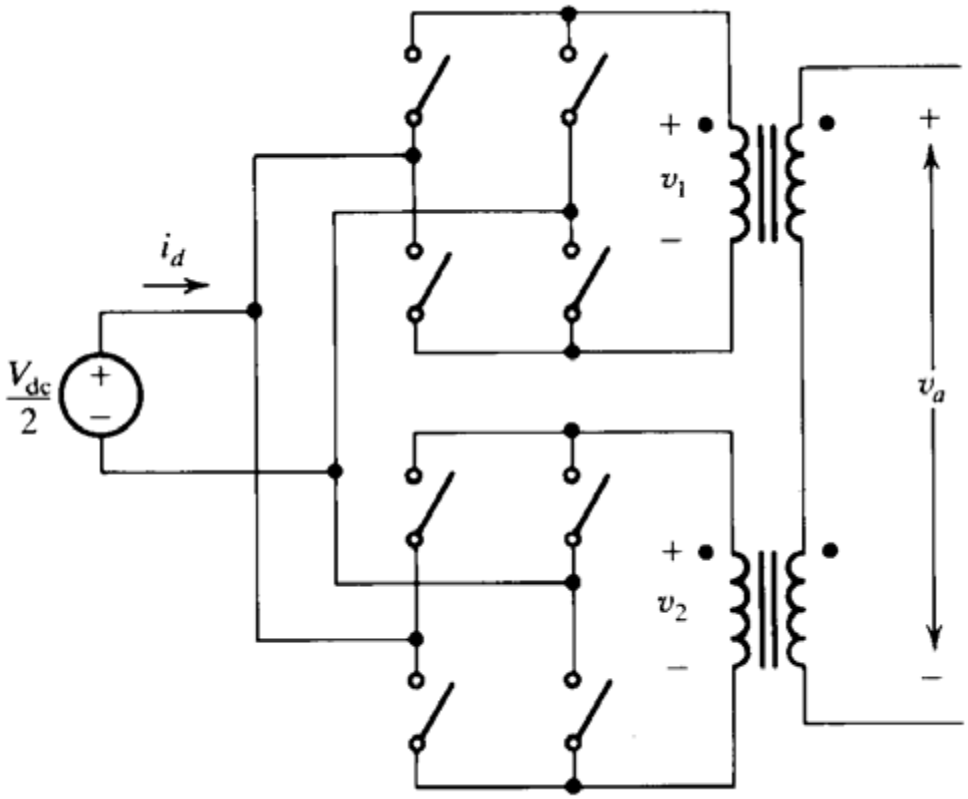


Figura 35

Un ejemplo de este tipo de cancelación, para el tercer y quinto armónico, se logra inicialmente haciendo que v1 y v2 estén libres del tercer armónico, para posteriormente crear una combinación lineal de ellas (va=v1+v2), que logren la eliminación del quinto armónico.

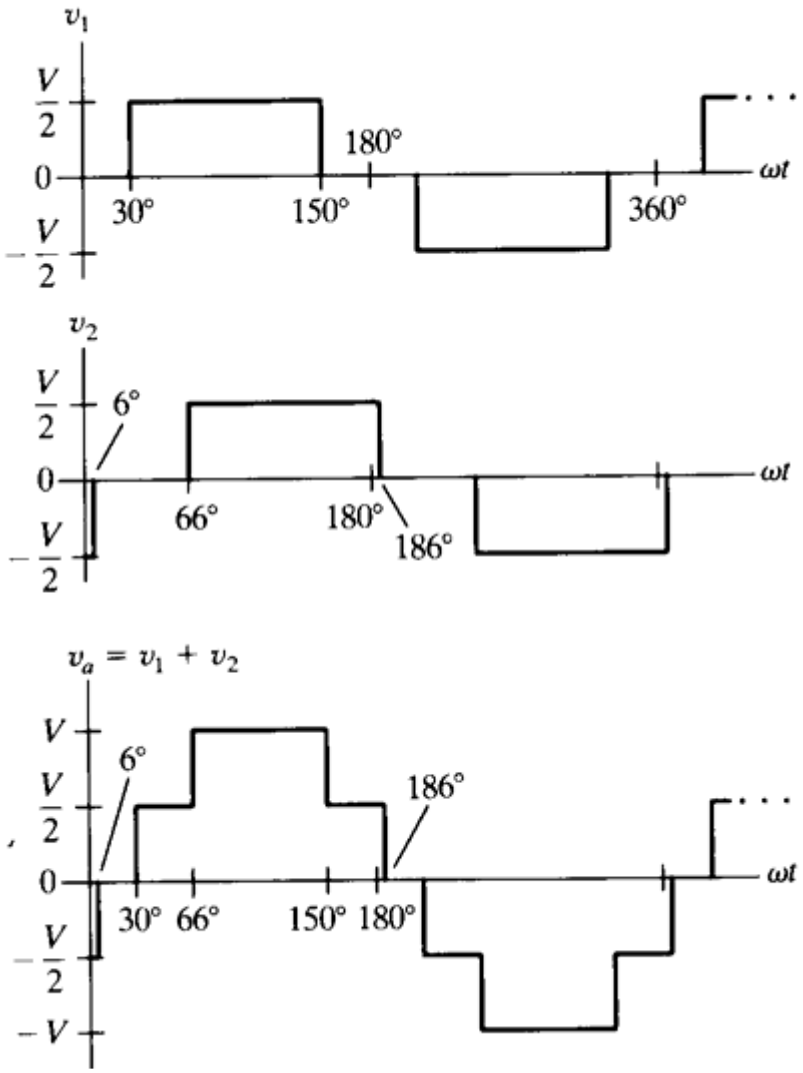


Figura 36

Las técnicas de eliminación de armónicos son apropiadas sólo para tensiones de salida constantes, incrementando el orden de los armónicos y reduciendo el valor del filtro de salida. De cualquier modo, esta ventaja puede ser limitada por el aumento de pérdidas del circuito de potencia así como el aumento de las pérdidas magnéticas del transformador debido a los armónicos de alta frecuencia.

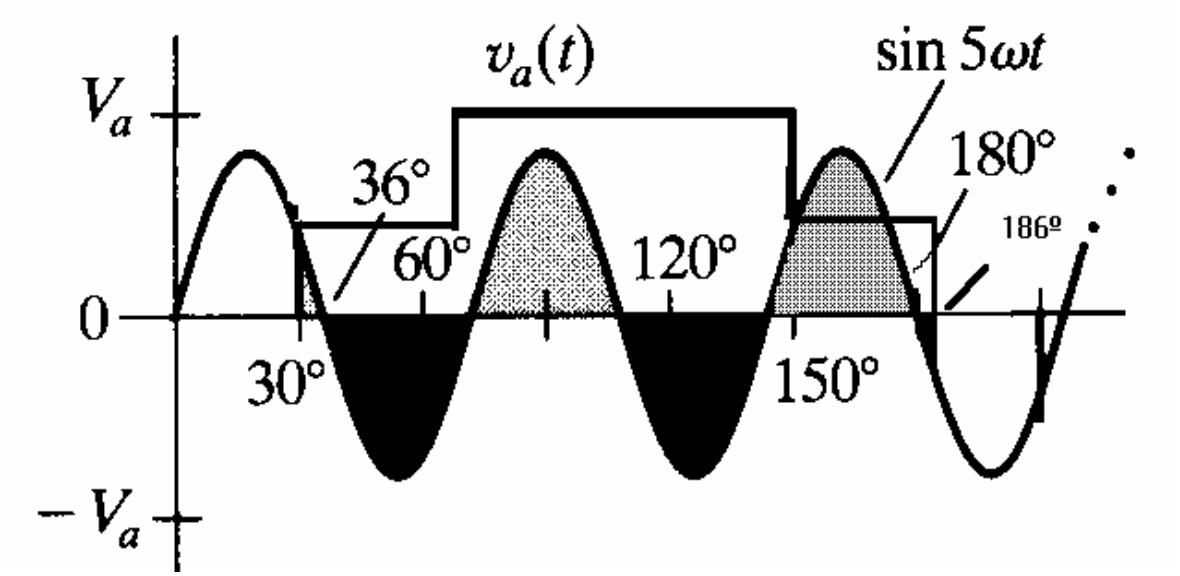


Figura 37

1.6 Inversores alimentados por corriente (CSI).

En este tipo de inversores la alimentación consiste en una fuente de corriente, de forma que la corriente de salida se mantiene constante independientemente de la carga, siendo la tensión de la salida la que se vea forzada a cambiar.

En los inversores vistos hasta ahora los circuitos de potencia se comportaban frente a la carga como una fuente de tensión que, al menos teóricamente, no cambia la forma de onda de la tensión de salida ni su valor al variar la carga y sí lo hace la intensidad de salida fluctuando de positivo a negativo y viceversa. Por el contrario, en el circuito inversor como fuente de intensidad no existe éste efecto ya que tiene como entrada una fuente de este tipo y la intensidad de salida se mantiene constante independientemente de la carga, siendo la tensión la forzada a cambiar.

Dado que la corriente se ve obligada a fluir de forma continua por la carga, siempre existirán dos transistores en conducción, en la Figura 38 siguiente, se muestra un inversor monofásico de este tipo en donde la bobina L debe tener un valor muy alto para que la intensidad se mantenga constante, siendo los diodos D1, D2, D3 yD4, dispuestos en serie con los transistores, utilizados para bloquear las tensiones inversas en los transistores.

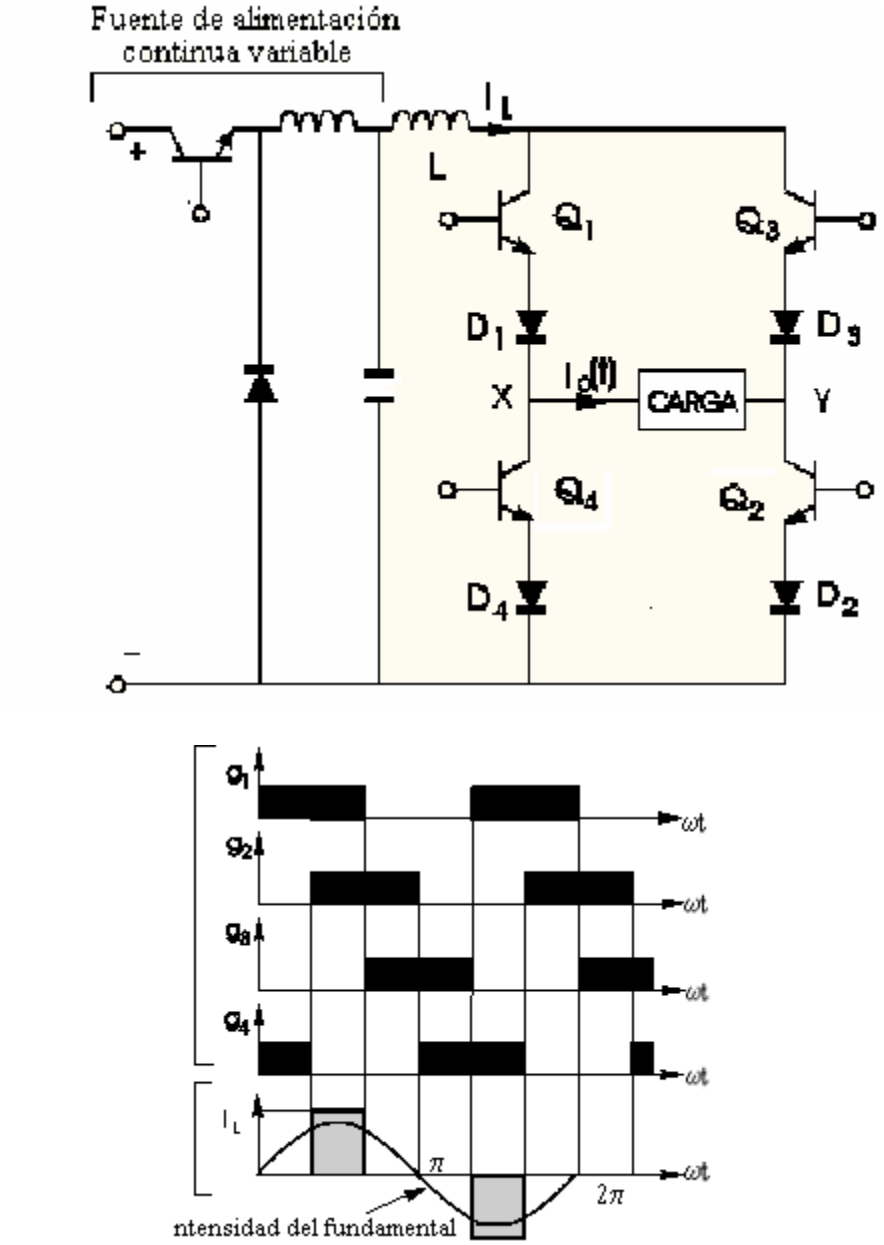


Figura 38

En este tipo de inversores, se pueden aplicar las mismas técnicas de modulación, para reducir el contenido armónico, que las mostradas para los inversores alimentados por corriente.

Disponen de ciertas ventajas, en relación a la alimentación con fuente de corriente, tales como la gran protección ante cortocircuitos en la carga, así como la limitación de las corrientes de pico en los interruptores. Como mayor inconveniente, se puede mencionar la existencia de una inductancia de valor elevado, para simular la fuente de corriente, proporcionando una respuesta dinámica lenta, además de la necesidad de

redes de snubber en los conmutadores, para soportar las sobretensiones ocasionadas por los cambios bruscos de la corriente en los interruptores.

1.7 Aplicaciones.

Actualmente existen multitud de aplicaciones para los convertidores DC/AC. Entre ellas puede citarse el control de motores de corriente alterna, donde se hace necesario un rectificador controlado para convertir a continua la señal alterna y regular la potencia entregada al motor, para después volver a ondular la señal mediante un inversor. Otro ejemplo de aplicación de los inversores u onduladores es el de la recuperación de la energía retórica de un motor donde, mediante escobillas se recoge la energía que se pierde por rozamiento en el rotor de éste y, a través de un inversor, se convierte a la tensión y frecuencia necesarias para devolverla a la red.

Sin embargo, la aplicación que se han considerado como más generalizadas en la actualidad son los sistemas de alimentación ininterrumpida de C.A., siendo los sistemas que describiremos a continuación, dejando las demás aplicaciones para un tema específico.

1.8 Características de los sistemas UPS

Los sistemas de alimentación ininterrumpida aseguran la alimentación de una carga en cualquier instante, independientemente de los fallos o perturbaciones de la tensión de entrada al sistema. Las principales características son el funcionamiento ininterrumpido, baja distorsión armónica, mantenimiento de los rangos de tensión de salida con o sin carga, ante fluctuaciones de la línea alterna o ante cambio en la frecuencia de la red.

Definición de un Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI) o UPS.

El ANSI (Instituto Americano de Estándares Nacionales) define un sistema UPS como sigue:
“Un sistema que consiste de una fuente de batería, un convertidor, un inversor, y un equipo de control para proporcionar una onda de energía sinusoidal condicionada y limpia, por un periodo de tiempo finito. Generalmente, el UPS monitorea y sigue el voltaje y la frecuencia de la red normal. Puede ser la fuente preferida (en línea) o alternativa (operación de reserva o stand-by) de energía para la carga”

El sistema de alimentación ininterrumpida (**SAI**) es más conocido por sus siglas en inglés de **UPS (***uninter ruptible power supply)*, que es a la que aludiremos cada vez que la tratemos en éste y otros temas de aquí en adelante.

Es un dispositivo que gracias a sus baterías otros elementos almacenadores de energía, puede proporcionar energía eléctrica por un tiempo limitado y durante un apagón eléctrico a todos los dispositivos que tenga conectados. Otras de las funciones que se pueden adicionar a estos equipos es la de mejorar la calidad de la energía eléctrica que llega a las cargas, filtrando subidas y bajadas de tensión y eliminando armónicos de la red en el caso de usar corriente alterna.

Durante los periodos de energía de red normal, las unidades de (UPS), actúan como acondicionadores de energía, regulando las fluctuaciones de voltaje, y eliminando transientes, y otras formas de perturbaciones eléctricas. Si la energía de red normal fallase, estas unidades UPS continúan suministrando energía, utilizando un sistema inversor alimentado por baterías. Las cargas tales como los computadores deben restaurar su energía en milisegundos, lo cual es imposible de lograr con los sistemas generadores de energía de emergencia. Un buen sistema UPS puede minimizar o eliminar los problemas de energía eléctrica, desde la pérdida total de energía a cambios altos y bajos en la frecuencia, fluctuaciones de voltaje, ruido eléctrico y transientes.

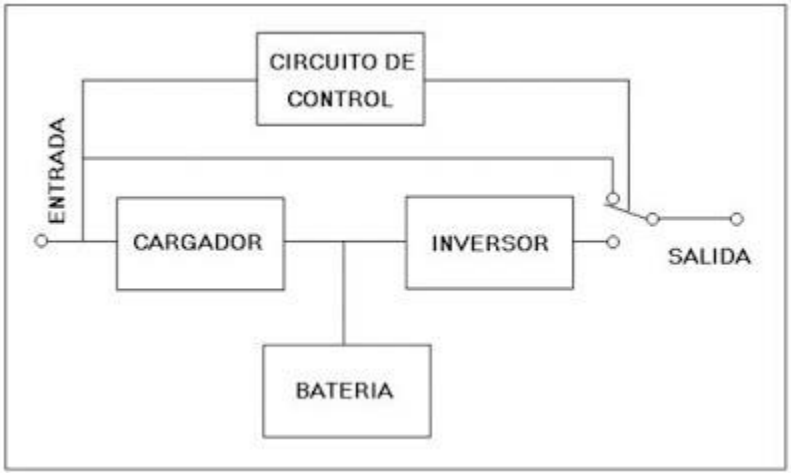


Figura 39
Diagrama en bloque de un sistema de alimentación ininterrumpida.

Una UPS está compuesta de los siguientes bloques:

1. Un sistema de almacenamiento de energía (baterías.)
2. Un rectificador para recargar la energía de las baterías.
3. Un inversor, alimentado desde DC, para proporcionar la tensión AC regulada en la salida.
4. Un interruptor automático, para conectar la carga con el inversor o con la entrada de tensión.

Configuraciones comunes

Existen diversas topologías y configuraciones. Las principales son las UPS en línea, donde el inversor proporciona potencia a la carga de manera continua, y las UPS fuera de línea, donde la fuente primaria de entrada es quien proporciona normalmente la potencia a la carga. Veamos a continuación sus diagramas de bloques:

a) En línea (Figura 40) es la clasificación en la cual *el inversor está continuamente* en el circuito de energía primaria a la carga.

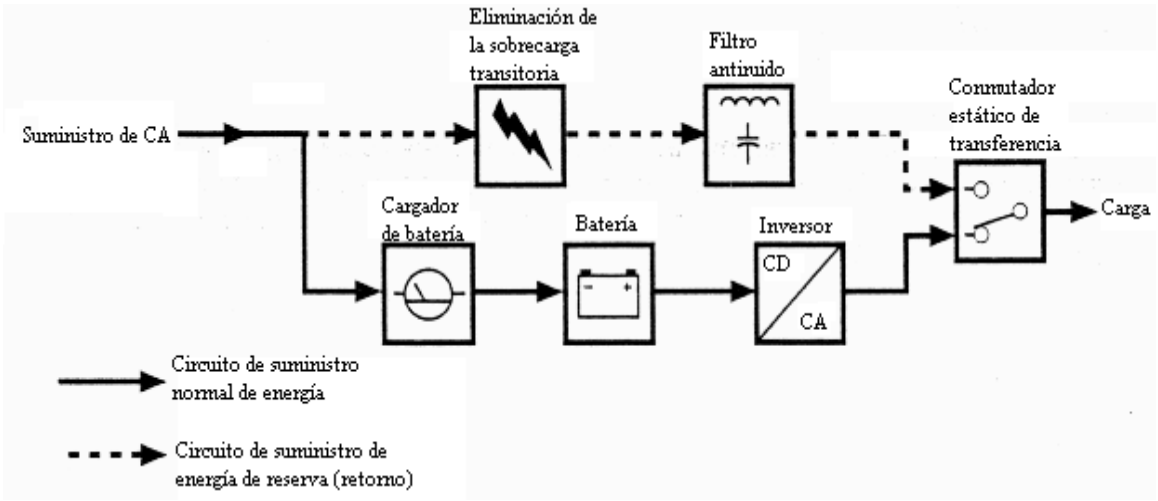


Figura 40
UPS en línea.

b) Fuera de línea, u *off-line* (Figura 39), denominada comúnmente modo de reserva o modo stand-by, es la clasificación en la cual *el inversor no está* en el circuito de energía primaria hacia la carga bajo condiciones de red normal.

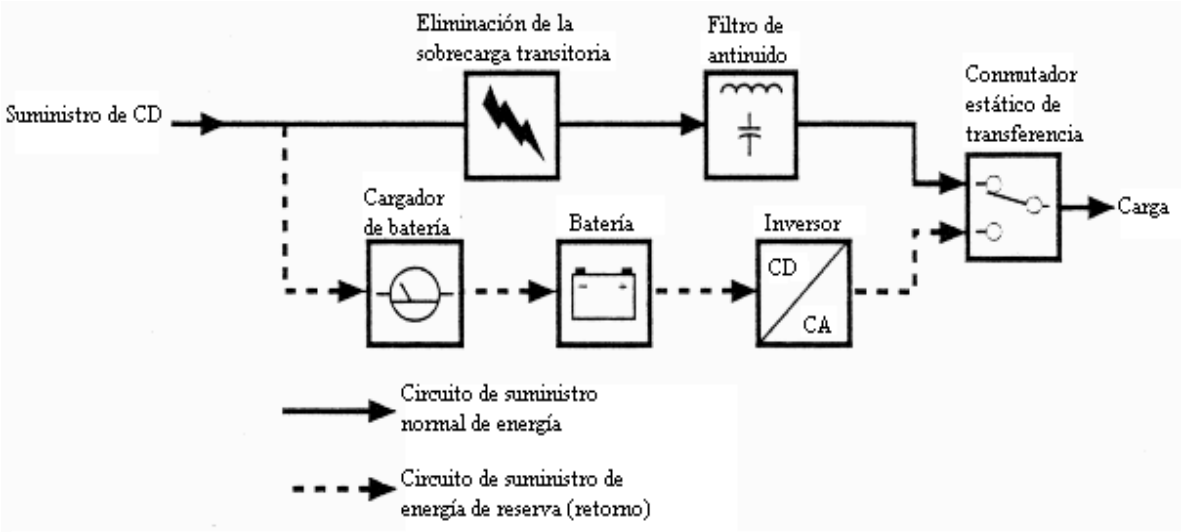


Figura 41
UPS fuera de línea.

En condiciones donde la fuente primaria de tensión AC es limpia y no está sujeta a transitorios o perturbaciones, se puede utilizar una UPS fuera de línea para alimentar la carga crítica con una reducción global de valor, dado que el circuito inversor puede reducir sus exigencias de calidad.

En la Figura siguiente se muestra un sistema de alimentación completo de tres ramas con un interruptor estático en cada una de ellas para aislarlas cuando una de ellas falla y que de esta forma no se vea perturbada la alimentación de la carga.

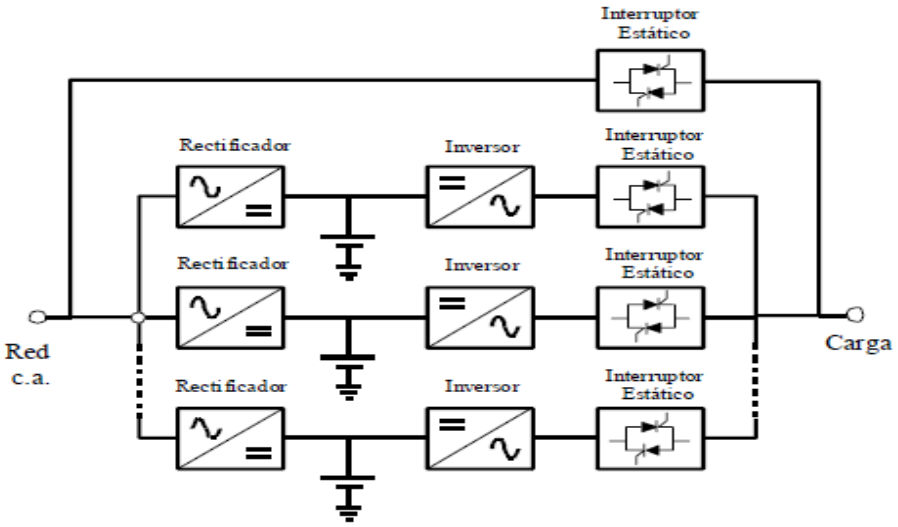


Figura 42
Sistema de alimentación de tres ramas.

Cada rama tiene una potencia igual a 1/m de la potencia de la carga (m ≤ n). Se llama "grado de redundancia al cociente" a la relación:

$$\frac{Potencia\ Del\ Sistema - Potencia\ De\ La\ Carga}{Potencia\ De\ La\ Carga}$$

Cuyo valor es (n - m)/m. Por ejemplo, si se dispone de seis módulos de potencia igual a la cuarta parte de la carga, el grado de redundancia es (n = 6, m = 4) igual al 50%.

Ya se ha visto que si falla la red la alimentación está asegurada gracias a las baterías. Si falla un número de inversores menor o igual a (n - m), la carga sigue alimentada por los restantes. Pero si el número de inversores que falla es mayor a (n - m), los inversores que quedan no pueden seguir alimentando a la carga y entonces se hace una "*transferencia a red*", es decir, se cierra el interruptor de red y se abren los de cada rama. De esta manera la alimentación se recibe directa e íntegramente de la red hasta que se efectúe la reparación y halla un número mayor o igual a "m" de inversores sanos, momento en el que se hace una transferencia de red a inversores.

La transferencia a red también puede desencadenarse, aunque no falle ningún inversor, siempre que la carga demande una fuerte punta transitoria de intensidad, por ejemplo, al arrancar un motor. Hay que recurrir a la red puesto que como se sabe los inversores poseen una limitación interna de intensidad para proteger a sus tiristores y asegurar su correcto bloqueo y de no hacerlo, se produciría una caída transitoria en la tensión de salida.

El correcto funcionamiento exige que permanentemente sean iguales la frecuencia y la fase de las tensiones de salida de los inversores y de la red.

Para bajas potencias lo más normal es que n = 1, configuración en que la relación coste/fiabilidad tiene el mayor valor. Por encima de 300 KW es mejor poner varios módulos para poder suministrar la potencia (n >1) que poner un sólo módulo asociando en serie y en paralelo sus tiristores.

Como se dijo existen en el mercado hoy en día diferentes tipos de sistemas UPS, así como también una variedad a menudo compleja de circuitos, sistemas y fabricantes. En esta sección, se examinarán algunos de los diseños más comunes.

Las unidades pueden ser monofásicas o trifásicas. Aunque los sistemas UPS más contemporáneos son de diseño "estático", también se encuentran disponibles unidades que utilizan componentes rotatorios. Para las unidades que utilizan componentes rotatorios, la CA normal es rectificada y alimentada hacia un motor de CC, el cual es acoplado a un alternador que produce CA. Si la CA de entrada falla, un grupo de baterías continuarán operando el equipo motor-alternador por un tiempo limitado.
Se mostró que las dos clasificaciones principales de sistemas UPS son fuera de línea y en línea. Analizaremos más en detalle cada una.

En el modo fuera de línea, si existe una falla en la red normal de energía CA, el switch de transferencia debe conmutar hacia el suministro de la energía de respaldo de las baterías. Esto significa que existe un retardo de tiempo inherente en la transferencia, no importa cuán corto sea este tiempo.

En el modo en línea, si existe una falla en la red normal de energía CA, el switch de transferencia no opera pues el sistema está ya conectado a la fuente de energía de respaldo. Por tanto, no existe un tiempo de transferencia.

Sin embargo, si existiera una falla de un componente interno de una UPS en línea, la unidad puede conmutar de vuelta hacia la línea de CA, por medio del switch de transferencia. Esto incluiría un retardo en el tiempo de transferencia.

El tamaño del cargador de la batería se ve muy afectado por la elección de una UPS tipo *fuera de línea* versus uno *en línea*. En el modo en línea, el cargador de batería (o convertidor) debe estar dimensionado para transportar la potencia total de la carga, para así evitar que la batería se descargue. Cuando se utiliza el modo stand-by, o el modo fuera de línea, el cargador de la batería sólo necesita suministrar la energía de recarga comparativamente pequeña de la batería.
El calor generado (pérdida de potencia) por la UPS es mucho mayor en el modo en línea. El flujo de energía constante a través del cargador de la batería y el inversor acorta la duración de vida de los componentes eléctricos en el UPS, y puede reducir la vida útil de la batería.

Tipo en línea sin by-pass

Como se estableció anteriormente, existen muchas variaciones y diseños híbridos para los sistemas UPS. Todos ellos varían en su costo, rendimiento y eficiencia. Uno de los tipos más simples y más económicos es "*en línea sin by-pass*", como se muestra en la Figura 43.

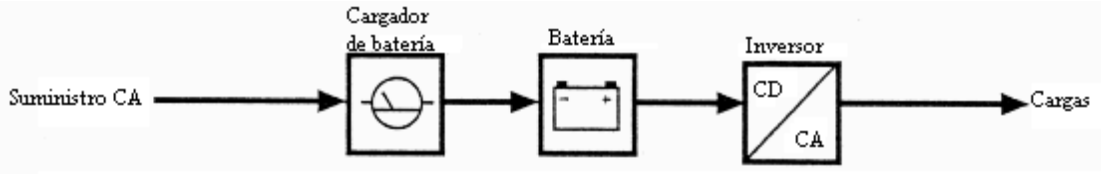


Figura 43
Figura UPS en línea sin by-pass

Esta unidad es básicamente la misma que el sistema "en línea" descrito antes, pero tiene la desventaja de no contar con energía de respaldo, en caso de una falla en cualquiera de los componentes. En todo caso, este UPS es un tipo en línea, y algunas veces es vendido como una alternativa de bajo costo para sistemas de poca capacidad.

Tipo ferro-resonante

El UPS del tipo ferro-resonante, es un sistema de reserva o stand-by que exhibe algunas de las características de un UPS en línea. Utiliza un transformador especial de tres devanados, el cual proporciona una regulación limitada. Como se muestra en el diagrama de bloques en la Figura 44 , el inversor normalmente está des-energizado (Off), y la energía de entrada pasa a través del switch de transferencia estático a la carga. Cuando la CA de entrada falla, un circuito detector especial conmuta y energiza el inversor, y abre el switch de transferencia.

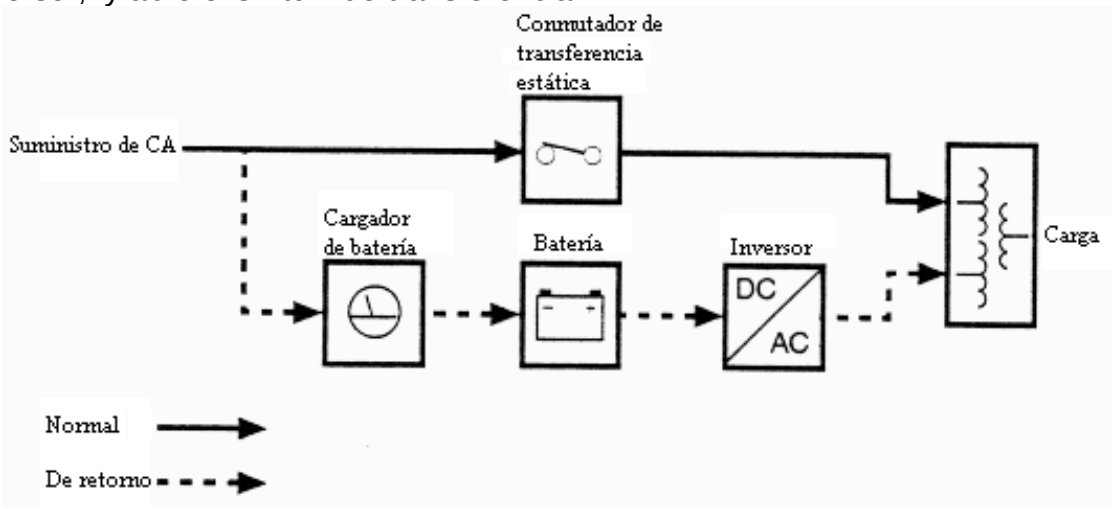


Figura 44
UPS ferro-resonante fuera de línea

Bajo condiciones normales de operación, el transformador ferro-resonante almacena una pequeña cantidad de energía eléctrica. Si el flujo de energía de red normal hacia el transformador se interrumpe, esta energía almacenada algunas veces puede ser suficiente para sustentar el voltaje de la carga hasta que el inversor de respaldo se energice. Este exhibe un tiempo de transferencia cercano a cero.

Tipo línea interactivo

Para el UPS del tipo línea interactivo (Figura 45), el inversor "batería –a-CA" siempre está conectada a la salida del UPS. Cuando la energía CA de entrada es normal, el inversor opera en forma reversa como un rectificador para la carga de dicha batería.

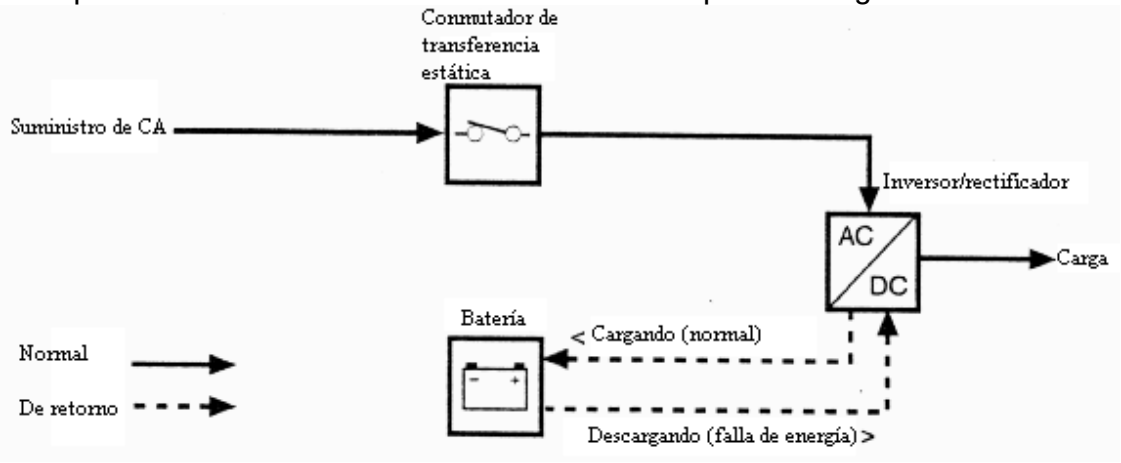


Figura 45
UPS tipo línea interactivo

Cuando la entrada de CA falla, el switch de transferencia se abre y el flujo de energía va desde la batería a la salida del UPS. Al mantener el inversor /rectificador conectado en forma continua a la salida, se reducen los efectos transitorios de la conmutación y filtros superiores en comparación a un UPS fuera de línea.

El UPS de línea interactivo es superior a un sistema fuera de línea porque cuando la energía de red normal falla, el inversor ya está comandando la carga mientras el switch de transferencia está cambiando de posición.

En un régimen de potencia baja, todos los sistemas UPS son comunes. Pero aproximadamente sobre los 5 KVA, los sistemas en línea y de línea interactivo componen la gran mayoría de los sistemas en el mercado.

1.9 Baterías, bancos de baterías, métodos de pruebas de baterías

1.9.1 Baterías.

Un componente esencial en los sistemas ininterrumpidos de energía son las baterías, entre ellas las más usadas son la de plomo / ácido.

Proceso químico: Durante el proceso de carga inicial, el sulfato de plomo (II) es reducido a plomo metal en las placas negativas, mientras que en las positivas se forma óxido de plomo (IV) (PbO_2). Por lo tanto, se trata de un proceso de dismutación. No se libera hidrógeno, ya que la reducción de los protones a hidrógeno elemental está cinéticamente impedida en una superficie de plomo, característica favorable que se refuerza incorporando a los electrodos pequeñas cantidades de plata. El desprendimiento de hidrógeno provocaría la lenta degradación del electrodo, ayudando a que se desmoronasen mecánicamente partes del mismo, alteraciones irreversibles que acortan la duración del acumulador. Sólo si se supera la tensión de carga recomendada se libera hidrógeno, se consume el agua del electrolito y se acorta la vida de las placas, con el consiguiente peligro de explosión por la combustibilidad del hidrógeno.

Durante la descarga se invierten los procesos de la carga. El óxido de plomo (IV) es reducido a sulfato de plomo (II) mientras que el plomo elemental es oxidado para dar igualmente sulfato de plomo (II). Los electrones intercambiados se aprovechan en forma de corriente eléctrica por un circuito externo. Los procesos elementales que trascurren son los siguientes:

$$PbO_2 + 2H_2SO_4 + 2e^- \rightarrow 2H_2O + PbSO_4 + SO_4^{2-}$$
$$Pb + SO_4^{2-} \rightarrow PbSO_4 + 2e^-$$

En la descarga baja la concentración del ácido sulfúrico porque se crea sulfato de plomo y aumenta la cantidad de agua liberada en la reacción. Como el ácido sulfúrico concentrado tiene una densidad superior al ácido sulfúrico diluido, la densidad del ácido puede servir de indicador para el estado de carga del dispositivo.

No obstante, este proceso no se puede repetir indefinidamente porque, cuando el sulfato de plomo forma cristales muy grandes, ya no responden bien a los procesos indicados, con lo que se pierde la característica esencial de la reversibilidad. Se dice entonces que el acumulador se ha sulfatado y es necesario sustituirlo por otro nuevo. Los cristales grandes también se forman si se deja caer por debajo de 1,8 V la tensión de cada celda.

Muchos de los acumuladores de este tipo que se venden actualmente utilizan un electrolito en pasta, que no se evapora y hace mucho más segura y cómoda su utilización.

Las baterías de plomo / ácido, libres de mantenimiento son las más comunes. Los sistemas UPS a menudo demandan un alto rango de descarga para un periodo corto de tiempo con una buena regulación de voltaje. Las baterías de níquel-cadmio tienen

ventajas y desventajas comparadas con la batería de plomo/ácido: ellas tienen una vida útil más larga, pero un costo mayor.

La naturaleza de la carga que se está suministrando por medio del sistema UPS, y el tiempo de protección requerido pueden ser factores decisivos en el tipo de batería a utilizar.||

La condición de la batería debe ser monitoreada en forma continua para protegerla contra la sobrecarga y la descarga excesiva.

1.9.2 Banco de baterías

Está formado por dos o más baterías en serie o paralelo, o híbrido, según su uso.

Para definirla en una solicitud de compra o pedido, se debe tener en cuenta lo siguiente:

1. Tensión por unidad, en volt.
2. Capacidad nominal, en A-hora.
3. Tipo de ciclo de carga y descarga.
4. Temperatura de trabajo.
5. Corriente máxima en amperes en descarga.
6. Tipo de bornes.
7. Material de carcasas.
8. Bajo mantenimiento o mantenimiento normal.

Método de pruebas sistemas de baterías.

Existen tres razones principales para probar sistemas de baterías:

- Para asegurar que el equipo soportado está respaldado adecuadamente
- Para evitar fallas inesperadas
- Para avisar/predecir el fin de su vida útil

Las baterías son complejos mecanismos químicos. Tienen numerosos componentes tales como rejillas, material activo, terminales, caja y tapa, etc. — y cualquiera de ellos puede fallar. Como con todos los procesos de fabricación, sin importar lo bien que se hayan fabricado sus partes, existen siempre fenómenos o comportamientos no fáciles de predecir o explicar (incluyendo los procesos químicos). Una batería puede considerarse como dos materiales metálicos disímiles separados por un electrolito. De hecho, se pueden poner una moneda de un centavo y una de cinco centavos en la mitad de una toronja y entonces se tiene una batería. Obviamente, una batería industrial es más sofisticada. No obstante, para que una batería opere en la manera en que está supuesta a hacerlo, debe mantenerse apropiadamente. Un buen programa de mantenimiento de baterías puede evitar, o al menos reducir, los costos y daños a equipos críticos, debido a un apagón de la fuente principal de AC. Aunque existen muchas aplicaciones para baterías, éstas se instalan únicamente por dos razones:

- Para proteger y soportar equipos críticos durante un apagón de la fuente de AC.
- Para evitar pérdidas económicas debidas a la interrupción del servicio eléctrico.

Seguidamente discutiremos sobre las fallas, enfocándonos en los mecanismos y tipos de falla y porque la prueba de impedancia trabaja tan bien para encontrar celdas débiles. La siguiente sección también contiene una discusión más detallada acerca de los métodos de prueba y sus pros y contras.

1.10 Cargadores de baterías

En la actualidad existe un espectro muy amplio de baterías con distintas características eléctricas, de las cuales si las clasificamos en una primera instancia como descartables y recargables, son las del segundo grupo las que centran nuestra atención. Las llamadas baterías recargables son aquellas que permiten bajo un régimen adecuado de carga (y a veces descarga), recuperar la misma un número de veces que depende de varios parámetros, como ser los tipos de componentes electroquímicos que la componen, velocidad de carga, régimen bajo el cual estuvo trabajando, nivel de descarga residual, etc. Existen algunas baterías que incluso presentan una condición de “memoria” y se vuelven reticentes a la recarga. En los últimos cuarenta años se han empleado fundamentalmente dos tipos de baterías que son las de plomo-ácido y las de carbón-zinc también llamadas secas. El inconveniente de las primeras es que liberaba gases y debía estar en posición horizontal. Con las nuevas tecnologías se consiguió a costa de un volumen un poco mayor, tener baterías de tipo sellada, para aplicaciones en telefonía y en las UPS.

De las denominadas secas, un avance se produjo con la incorporación de dióxido de manganeso como ánodo, dando origen a las pilas alcalinas tipo Duracell. Otra de las baterías que más éxito tuvieron en el mercado son las alcalinas de Ni-Cd, que tienen la ventaja de ser recargables, pero con el inconveniente de que presentan solo 1.2 V en vez de los 1.5 V de las anteriores, y también el efecto memoria comentado.

La gestión de carga de las baterías implica la medición del estado de carga y el mantenimiento de la misma en las mejores condiciones. Se debe controlar la cantidad de energía mediante el cálculo de las corrientes de carga y descarga. Si bien el circuito propuesto está implementado con elementos discretos, la idea que se persigue es el estudio de la filosofía de funcionamiento para a posteriori reformularla en un dispositivo basado en microcontroladores, teniendo en cuenta los factores que limitan la vida útil de las baterías, sobre todo en el régimen impuesto por los sistemas ininterrumpidos de energía. Lo interesante de esta propuesta desde el punto de vista del diseño, es la metodología basada en un nomograma que se corresponde con la topología del circuito considerado, y que facilita el cálculo de los componentes.

El diagrama en bloques del sistema propuesto es el siguiente:

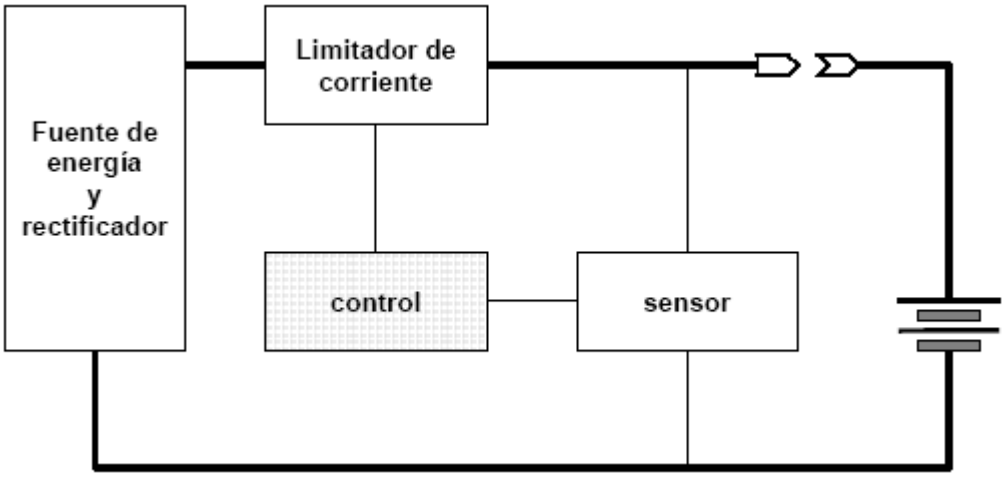


Figura 46
Diagrama en bloques del cargador.

En este diagrama podemos apreciar el elemento regulador de corriente que está comandado por el control dentro de un lazo de realimentación. De esta manera se regula la cantidad de corriente de carga que entrega el elemento de paso, como fuente constante y cuyo valor va a depender del grado de descarga de la batería. El sistema de control es una báscula de Schmitt, que conecta la fuente para un valor U mínimo y desconecta para U máximo.

El circuito que se implementó como cargador de baterías fue el siguiente:

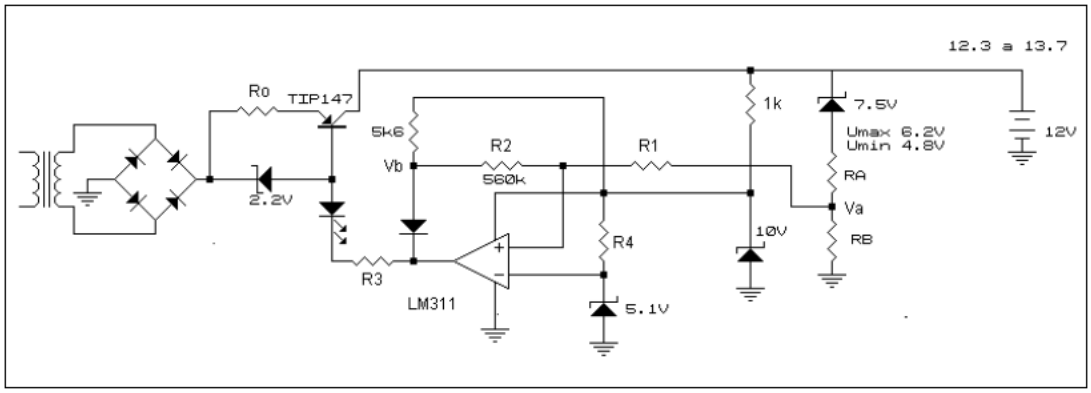


Figura 47
Diagrama esquemático del circuito utilizado.

El nomograma utilizado para el cálculo de los distintos componentes y del cual se desprenden las ecuaciones paramétricas, es el siguiente:

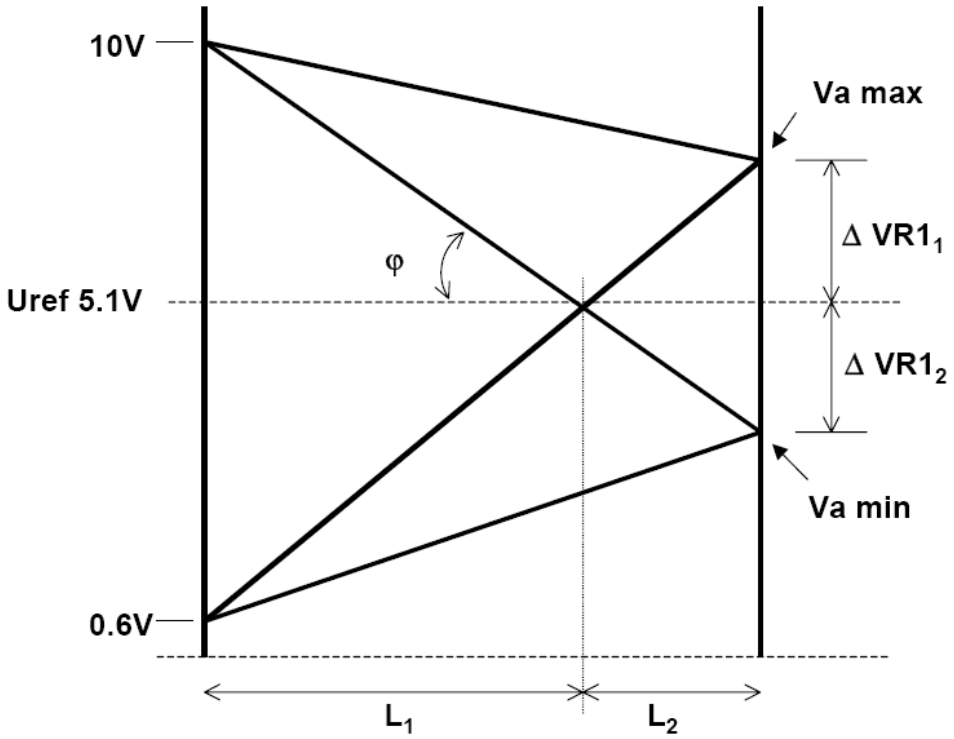


Figura 48
Nomograma paramétrico para cálculo de los componentes.

Donde en el primer eje tenemos representada la variación del potencial en el punto Vb y en el segundo, la variación en el punto Va. La tensión de referencia está dada por el diodo zener de 5,1V y que se ve reflejada en la entrada no inversora del operacional.

Con relación a la Figura 48, tenemos que la relación de tensiones en el punto Va, el cual tendrá valores comprendidos entre Va máx. y Va min dados por los valores máx. y min aceptables de la tensión en bornes de la batería.

Sistema de suministro ininterrumpido para baterías (UBSTM).
El problema básico.
Anteriormente, los consumidores solo tenían dos opciones básicas de tiempo de funcionamiento prolongado:

a) Series adicionales de baterías:
Es la manera más sencilla de lograr tiempo de funcionamiento prolongado. Este método presenta varias dificultades:

- Costo elevado. Una UPS de 18 KVA con un banco de baterías de 120VCC, necesita 10 baterías de 100 A-hora conectadas en serie para suministrar de 10-15 minutos de tiempo de funcionamiento de reserva con una inversión de US $2500; para ampliar el tiempo a tres horas se necesita un banco de unos US $17 500.
- Necesidad de mantenimiento constante de las baterías, como conexiones exentas de corrosión y ajuste de bornes.

- Necesitan estar equilibradas, son pesadas y ocupan mucho espacio.
- Deben cambiarse cada tres a cinco años.

b) Generadores AC:
Alternativo al uso de las baterías es contar con generación propia, lo cual conlleva los siguientes problemas:

- Problemas de arranque automático debido a falta de mantenimiento.
- Si el generador se va a emplear para alimentar computadoras se deberá sobredimensionar de 2.5 a 3 veces, debido a la carga de factor de cresta alta creado por las PCs.
- Costo de un conmutador de transferencia automático
- Sincronización entre la UPS y el grupo, para realizar el cambio de carga. Se realiza mediante dispositivos de sincronización electrónicos.
- Frecuencia del generador inestable con aumentos de carga, por lo que se debe sobredimensionar o colocar elementos de regulación de velocidad.
- Distorsión de la magnitud del voltaje y fase con cambios bruscos de la carga. Lo cual obliga al UPS a cambiar a funcionamiento por batería frecuentemente.

Una solución actual.
Es un sistema controlado por microprocesador que conectado en paralelo con las baterías del sistema UPS, logra un tiempo de funcionamiento casi ilimitado sin tener todas las desventajas de un sistema de baterías grande y caro o un generador de AC. La solución consiste en reforzar la UPS por medio de su circuito CC en lugar del Funcionamiento del sistema.

AC.
Ejemplo de la solución actual.

El nuevo producto introducido por Best Power Technology Inc.; conocido como *Sistema de suministro ininterrumpido para baterías (UBS)*, consiste que en esta configuración, la salida de suministro CC motorizado exterior se conecta en paralelo con las baterías la UPS.

Cuando la corriente CA entra en falla o cuando el monitor de la UPS determina que la alimentación es deficiente (ruido excesivo, sobre voltajes, caídas de tensión, etc.) la UPS cambia a su modo de suministro por baterías durante 10 a 15 minutos.

Mientras tanto el microprocesador del UBS vigila el voltaje de las baterías hasta que llega a un valor prefijado, entonces arranca automáticamente el generador motorizado de CC, permitiendo que las baterías se recarguen en un 80%.

Pasada la condición de falla se realiza el cambio, quedándose las baterías cargadas. Este método permite un refuerzo de energía casi ilimitado al mantenerse alimentado el generador CC, prolonga la vida útil de las baterías al cargarlas adecuadamente y funcionamiento económico al disminuir los problemas de mantenimiento.

Además el microprocesador permite manejar una amplia variedad de opciones adicionales (controla más de 55 parámetros), como hora, presión de aceite, alta corriente de carga, temperatura del equipo, memoria de fallas, porcentaje de carga, auto diagnóstico, alarmas diversas (combustible bajo, alta corriente de carga, etc.), interconexión a través del puerto de comunicación, niveles de protección por passwords, mensajes en vario idiomas, etc.

Actividad n°2

Mantención de sistemas celdas de baja, media y alta tensión

Introducción a la actividad
La siguiente actividad está diseñada para que los participantes conozcan las etapas que componen una UPS, los niveles y clase de corriente eléctrica presentes en ellos y finalmente comprobará los niveles de tensión en la salida mediante la aplicación de diferentes cargas. Cada medición implica medir la tensión de entrada. Los valores tabulados irán de sin carga a carga nominal de la UPS

Estrategias metodológicas para el instructor

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos utilizados para promover el aprendizaje a través de las actividades.

Explicación demostrativa vía plataforma web.	
Explicación demostrativa en aula.	√
Recurso audiovisual.	
Propuestas de situaciones problemáticas.	√
Formulación de preguntas.	√

<u>Identificar placa de datos, componentes internos, manipulación externa en panel frontal de UPS y poner en servicio con carga resistiva.</u>

Objetivos del aprendizaje
- Identificar etapas que la componen, conocer su importancia en sistemas de computación e informática, instalar y saber utilizar una UPS.

Descripción de la Actividad
El instructor podrá realizar esta actividad en grupos o en pares, según disponibilidad de UPS's.
Solicitará a los participantes que observen y cumplan con todas las medidas de seguridad para la tarea.
Solicitará a los participantes que realicen copia de la placa de datos (Tabla Nº 1) de la UPS recibida. Este análisis debe quedar reflejado en un informe técnico para que el instructor lo evalúe. El instructor deberá llevar una UPS desarmable, para observar e identificar sus componentes y la función que cumplen en ella.
Requerirá que los participantes armen en Laboratorio los circuitos de UPS con cargas resistivas monofásicas y trifásicas, según número de fases de la UPS, y harán mediciones

de tensión de entrada y tensión de salida, para diferentes cargas según Tabla Nº 2. Será usada diagramas analizados en clase anterior para armar ambos tipos de UPS`s. Se deberá graficar tensión de entrada y tensión de salida v/s carga de UPS, para: 10% de la carga (resistiva) y llegar a la carga nominal (100%), en ciclos de 10%.

Materiales y Recursos

- Equipos UPS's monofásicas y trifásicos.
- Equipos UPS's monofásicas y trifásicos didácticas (desarmables) monofásica y trifásica.
- Amperímetro de tenazas
- Tester para medir tensión AC – DC, con escala de hasta 600Vac.
- Set de herramientas como desarmadores y alicates.
- Lab – Volt o similar.
- Extensiones eléctricas con enchufes hembra macho monofásicos y trifásicos.´
- Cables con pinzas terminales, apto para 400Vac y capacidad de corriente previamente calculada.
- Linterna (para ver datos de placa e identificar piezas de UPS's).

Seguridad:

En todas las actividades de taller es necesario recordar los siguientes aspectos de seguridad:

- Uso obligatorio de implementos personales de seguridad dentro de taller**:**
    - Casco
    - Lente de seguridad (claros en Laboratorio) y negros en actividades con exposición al sol.
    - Zapatos de seguridad para electricista
    - Guantes de cabritilla o de goma (para actividades sin energía en UPS).
    - Chaleco reflectante
    - Protector auditivo. Si aplica.
- Identificar riesgos asociados a la trabajo a realizar.
- Consultar al instructor a cargo respecto a cualquier duda
- Al finalizar el taller dejar todo limpio y ordenado.
- Trabajar en ambiente ventilado.

Desarrollo de la actividad

- Hacer hoja de datos de UPS a operar. Entregar en Informe Técnico como Tabla Nº 1.
- Con UPS desarmables, verificar partes principales y secundarias. Realizar secuencia fotográfica de la actividad. Incorporar en Informe Técnico.
- Conectar y efectuar mediciones, aplicando voltaje nominal de 220 o 380V según sea la UPS seleccionada, para diferentes cargas a la salida (graduando de 10% en 10% la potencia nominal hasta llegar al 100% del nominal de la UPS). Graficar tensión de entrada (V_1^1) y tensión de salida (V_2^1) v/s carga de UPS, para: 10% de la carga (resistiva) y llegar a la carga nominal (100%) en ciclos de 10%, e incorporar en Informe Técnico. En cada caso, aplicar corte de energía de la red y medir tensión de salida (

V_2^2).

Antecedentes aportados por instructor:
Verificar diagramas de conexionado de UPS's.

Descripción del comportamiento de ambas UPS's, ante cortes de energía.

Será parte del informe describir el funcionamiento de ambos medidores.

Cierre y Conclusiones

- Comentar la importancia del inversor en una UPS.
- Como se ha observado en la gráfica obtenida existe un ligero desplazamiento de la tensión de salida (carga) hacia abajo (menor tensión a la salida); sin embargo, sigue siendo conveniente y, lo más importante que, ante corte imprevisto de energía eléctrica, continuarán alimentando la carga con una tensión muy cercana a la de alimentación.
- Discutir si una UPS trifásica es más económica que varias monofásicas y porqué lo uno o lo otro. Qué factores influyen para elegir una u otra, o en un sistema mayor, si ambas pueden coexistir. Por ejemplo, oficinas computadores, ofimática, etc.) versus proceso industrial (control de grandes motores, transformadores, etc.)

2. Protecciones eléctricas en media y alta tensión

2.1 Introducción a protecciones eléctricas

Generalidades.
Todos los equipos componentes de un sistema eléctrico están sujetos a fallas que, en general, afectan el servicio y al mismo tiempo comprometen la integridad del equipo afectado e inclusive la de los equipos instalados entre el punto de la falla y el generador, los cuales no son responsables del defecto.

El sistema de protección tiene por objeto la detección, localización y desconexión en forma automática del equipo afectado a fin de minimizar los efectos que el funcionamiento prolongado en estado de falla tendría sobre la instalación. Para cumplir con estas funciones, el sistema de protección debe cumplir las siguientes condiciones fundamentales: selectividad – estabilidad – confiabilidad

- La selectividad es la cualidad de los sistemas de protección eléctrica por la cual su accionamiento debe sacar de servicio sólo la porción de la red afectada por la falla o en su defecto, la menor porción posible.
- La estabilidad es la que asegura que el sistema de protección no operará para fallas que se encuentran fuera del tramo o equipo al que se le ha asignado proteger (la protección permanece estable).
- La confiabilidad es otro de los requisitos que debe poseer el sistema de protección mediante el cual se determina la seguridad de que cada dispositivo opera en todas las ocasiones en que sea necesario de manera de no afectar la selectividad del conjunto.
- Considerando que la confiabilidad no es total, la misma se asegura mediante la protección de respaldo o reserva. Esta actúa solo en caso de falla por falta de la magnitud medida, falta de tensión continua de comando, falla en el relé propiamente dicho o bien en el circuito de comando del interruptor.

Es conveniente que la protección de respaldo esté dispuesto de forma tal que la causa de la falla de la protección principal no afecta su funcionamiento, o sea que no empleen o controlen elementos comunes a la protección principal. En el caso de líneas de transmisión la protección de respaldo suele ubicarse en otra estación transformadora.

Para prevenir fallas en el relé o en el circuito de desconexión del interruptor, en líneas de gran importancia se usan sistemas de protecciones duplicadas la cual consiste en conectar dos sistemas de protección para una misma línea y actuando sobre el mismo interruptor pero sobre bobinas de aperturas independientes.
El sistema de protección debe permitir máxima flexibilidad y operatividad, pudiéndose conformar todas las operativas posibles sin necesidad de modificar la regulación de los relés.

Tipos de sistemas de protección.

En el estudio de los sistemas de protección más usuales surge una diferencia fundamental entre dos grupos definidos y diferenciados entre sí. Dichos grupos se designan como:

a) Protecciones no limitadas
b) Protecciones limitadas o de zona

Las protecciones no limitadas son aquellas cuyo radio de acción se extiende a lo largo del sistema protegido sin límites perfectamente definidos prolongando su alcance hasta zonas adyacentes con protección propia actuando en ese caso como protección de reserva. En realidad el radio de acción queda de alguna manera definido, con la particularidad que el alcance puede modificarse a voluntad variando el ajuste respectivo.

Las protecciones de zona son aquellas cuyo radio de acción se encuentra perfectamente definido en forma física por el circuito mismo. El ajuste de las protecciones de zona es independiente del ajuste de las protecciones de tramos contiguos, teniendo en cuenta únicamente necesidades impuestas por el propio equipo a proteger.
Dentro de ambos grupos se encuentran la generalidad de los equipos utilizados para protección de sistemas de AT y MT utilizados en nuestro país y en la generalidad de las redes y equipos.

Protecciones no limitadas.

Dentro de este grupo se encuentran las siguientes protecciones:

a) Protección de sobre corriente o sobre intensidad
Es de aplicación en instalaciones de BT y MT contra cortocircuitos fundamentalmente, siendo utilizado para la protección de generadores, transformadores, líneas, cables, motores, etc.

Es importante diferenciar cortocircuito de sobrecarga, dado que si bien ambos casos se manifiestan por una elevación de la corriente que circula por el equipo, los efectos que producen sobre los mismos son distintos debiendo actuar las protecciones en forma distinta según se trate de un caso u otro.

Los cortocircuitos se caracterizan por valores de corrientes múltiples del I_n, grandes caídas de tensión y desfasaje importante entre la tensión y la corriente. Este tipo de falla debe ser eliminada en el menor tiempo posible debido a los perjuicios del tipo térmico fundamentalmente, que producen sobre los equipos.
En cambio las sobrecargas se caracterizan por valores de corrientes fracciones de veces superior a la nominal de los equipos por los que circula, mientras que la tensión y diferencia de fase entre la tensión y corriente no sufren variaciones de importancia. La capacidad de los equipos para admitir sobrecargas depende del tipo de equipo de que se trata y del estado de carga anterior al de la sobrecarga, ya que el efecto de esta última se

limita a producir un calentamiento del equipo diseñado para disipar las pérdidas que se producen con corrientes inferiores o iguales a la nominal. La protección contra sobrecargas es fundamentalmente una protección contra sobre temperatura, debiendo ser la temperatura del equipo y no la corriente que por él circula la magnitud de medida de la protección.

En presencia de una sobrecarga habitualmente no es necesario sacar el equipo de servicio ya que hay tiempo suficiente antes que se afecte el mismo, posibilitando al personal de operación tomar medidas a efectos de normalizar las cargas.

La forma más elemental de protección contra sobre corriente es el fusible en sus diversos tipos; utilizándose donde los relés de protección y los interruptores no son justificables económicamente. Cuando se re quiere mayor exactitud para la discriminación de la falla se utilizan relés de sobre corriente que pueden ser primarios o secundarios.

Los relés primarios son aquellos que se encuentran instalados en el circuito primario y operan con la corriente real del sistema, no requiriendo por ello TI, ni fuentes auxiliares para comando de interruptor. El principal inconveniente de estos relés es la imposibilidad de mantenimiento sin interrupción del servicio. Un esquema básico se muestra en la Figura 49.

No poseen precisión a causa de la robustez que tienen para soportar los esfuerzos electrodinámicos de las corrientes de cortocircuito.

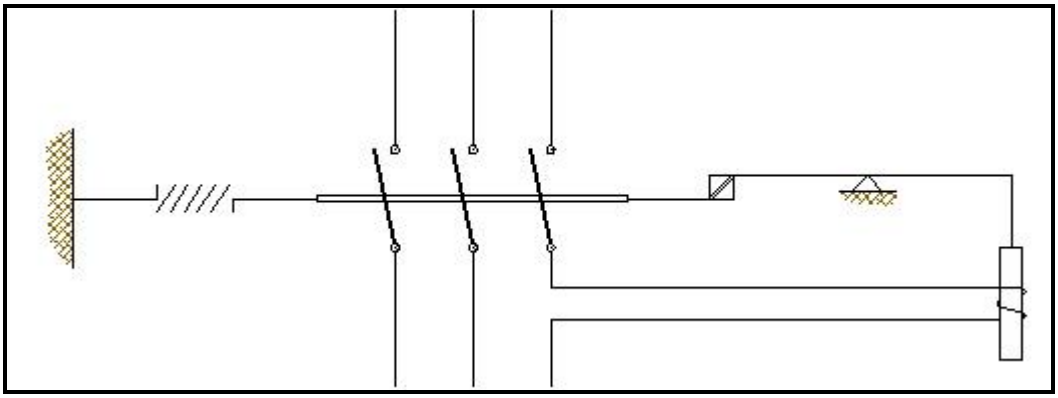


Figura 49
Esquema básico de relés primaros.

Se utilizan para redes de BT y MT en Centros de Distribución que alimentan líneas radiales. Pueden ser instantáneos o temporizados.
Los relés secundarios son aquellos accionados por las corrientes secundarias de los TI por cuyos primarios circulan las corrientes reales de carga y falla del sistema. Este tipo de relés se utilizan en sistemas de transmisión y distribución, prestando mayor sensibilidad, precisión y menor consumo que los anteriores.
Dentro de los relés secundarios existen tres tipos fundamentales según su principio de funcionamiento:

- Relés de atracción electromagnética: son instantáneos y funcionan en virtud de un elemento móvil de material ferromagnético que es atraído por un solenoide. Son aptos para CC o CA. Si bien se consideran instantáneos, responden a una característica de tiempo inverso.

  Si es necesario pueden temporizarse mediante dispositivos adicionales de retardo.

- Relés de inducción: se basan en el principio Ferraris y funcionan debido a la interacción de dos flujos magnéticos de CA. Se utilizan normalmente para relés de tiempo inverso.

- Relés de bobina móvil: tienen gran similitud con los instrumentos de bobina móvil e imán permanente, siendo aptos para CC. Su uso se logra mediante puentes rectificadores, son polarizados.

Las protecciones de sobre corriente se pueden clasificar en relés de tiempo independiente, es los cuales el tiempo de operación es fijo e independiente de la corriente de cortocircuito y en relés de tiempo inverso, aquellos en los que el tiempo de operación disminuye con el aumento de la corriente de falla.

b) Protección de impedancia

En redes complejas y con corrientes de cortocircuitos variables, una mejor discriminación y coordinación con menores tiempos de operación puede lograrse mediante relés cuyo tiempo de desconexión depende de la distancia entre relé y punto de falla. Es decir, una vez ajustado convenientemente el relé, el tiempo de operación depende exclusivamente de la distancia al punto de falla e independientemente del valor de la corriente de cortocircuito. Esta protección se denomina protección de distancia o de impedancia.

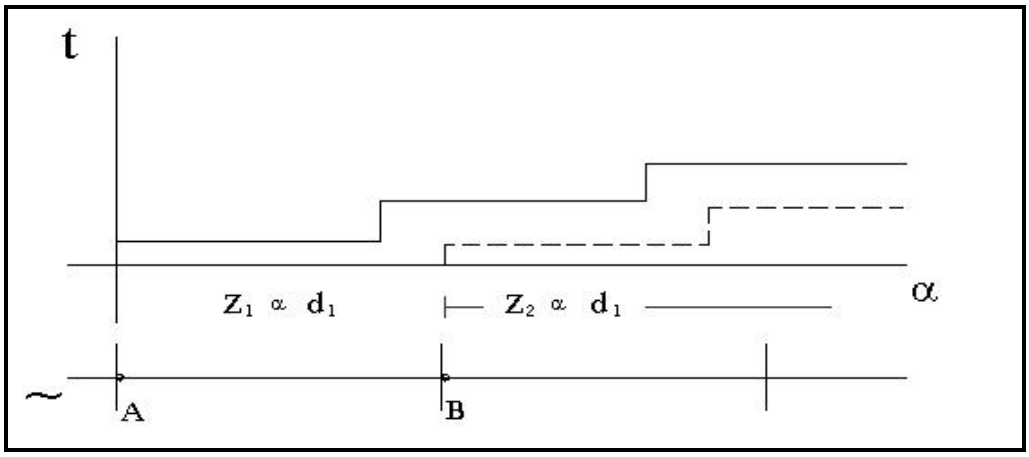


Figura 50
Característica tiempo – distancia de un relé de Impedancia.

Protecciones de zona.

La aptitud de una protección de zona puede medirse mediante dos magnitudes a saber:

Corriente mínima de operación (CMO): es el porcentaje de la corriente nominal del equipo protegido que arranca el relé. Por ejemplo 10% I_n.

Relación de estabilidad (RE): es el cociente entre la corriente máxima que puede entrar y salir de la zona protegida sin provocar desenganches y la corriente nominal del equipo protegido.

Existen dos formas fundamentales de protecciones de zona, siendo ellos los sistemas de corriente circulante y los de tensión balanceada. Dichos sistemas se observan en la Figura 51.a y 51.b respectivamente.

En los sistemas de corriente circulante los TI se conectan en serie por lo que aparecida una falla interior a la zona protegida, la corriente $I_1 > I_2$ y por la rama central aparecerá una corriente diferencial.

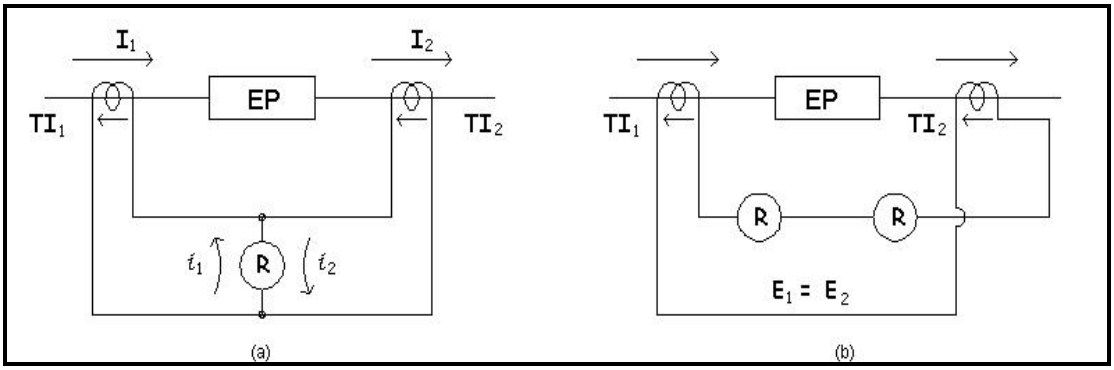


Figura 51
Protecciones de zonas.

$i_\Delta = i_1 - i_2$ que en caso de resultar superior al valor ajustado en el relé produce la actuación del mismo abriendo los interruptores a ambos lados del equipo. Este sistema se utiliza para protección de generadores, transformadores y reactores.

Su aplicación como protección de cables no se utiliza, dado que es un gran inconveniente el valor de corriente que circula por los hilos pilotos el cual es proporcional a la corriente primaria y puede alcanzar en casos de falla exterior a la zona protegida valores elevados. Ello provoca grandes caídas de tensión y consecuentemente son necesarios TI de elevada prestación.

En los sistemas de tensión balanceada, los TI se conectan en oposición tal que en servicio normal las tensiones en los secundarios de los TI se oponen balanceándose de tal modo que la corriente por los hilos pilotos es nula). Si la falla es interna aparece un desequilibrio de tensiones dando origen a una corriente de operación que ordenará por intermedio del relé la apertura de los interruptores).

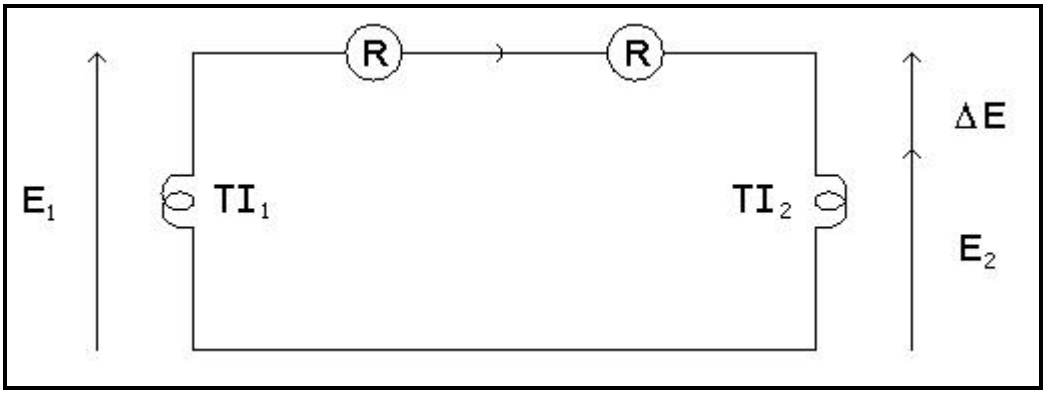


Figura 52
Sistema de protección en sistemas de tensión balanceada.

Un sistema como este, presenta el inconveniente que para cables muy largos durante fallas exteriores a la zona protegida la tensión de balanceo resulta aplicada entre los hilos pilotos, dando origen a corrientes capacitivas que pueden hacer operar uno o ambos relés.

2.2 Protección de transformadores de potencia.

2.2.1 Transformadores de potencia.

Se utilizan para transmisión y sub transmisión de energía eléctrica en alta y media tensión. Son de aplicación en subestaciones transformadoras, centrales de generación y en grandes usuarios, como mineras, fábricas, etc.

Figura 53
Transformador de potencia.

Se construyen en potencias normalizadas desde 1.25 hasta 20 MVA, en tensiones de 13.2, 33, 66 y 132 kV. y frecuencias de 50 y 60 Hz.

2.2.2 Transformadores de distribución.

Se denomina transformadores de distribución, generalmente los transformadores de potencias iguales o inferiores a 500 kVA y de tensiones iguales o inferiores a 67 000 V, tanto monofásicos como trifásicos. Aunque la mayoría de tales unidades están proyectadas para montaje sobre postes, algunos de los tamaños de potencia superiores, por encima de las clases de 18 kV, se construyen para montaje en estaciones o en plataformas. Las aplicaciones típicas son para alimentar a granjas, residencias, edificios o almacenes públicos, talleres y centros comerciales.

A continuación se describen algunos tipos de transformadores de distribución:

a) Transformador de distribución aéreo
Se utilizan en intemperie o interior para distribución de energía eléctrica en media tensión. Son de aplicación en zonas urbanas, industrias, minería, explotaciones petroleras, grandes centros comerciales y toda actividad que requiera la utilización intensiva de energía eléctrica.

Figura 54
Transformador de distribución aéreo.

Se fabrican en potencias normalizadas desde 25 hasta 1000 kVA y tensiones primarias de 13.2, 15, 25, 33 y 35 kV. Se construyen en otras tensiones primarias según especificaciones particulares del cliente. Se proveen en frecuencias de 50-60 Hz. La variación de tensión, se realiza mediante un conmutador exterior de accionamiento sin carga.

b) Transformadores secos encapsulados en resina epoxi

Se utilizan en interior para distribución de energía eléctrica en media tensión, en lugares donde los espacios reducidos y los requerimientos de seguridad en caso de incendio imposibilitan la utilización de transformadores refrigerados en aceite. Son de aplicación en grandes edificios, hospitales, industrias, minería, grandes centros comerciales y toda actividad que requiera la utilización intensiva de energía eléctrica.

Figura 55
Transformador seco encapsulado en resina epoxi.

Su principal característica es que son refrigerados en aire con aislación clase F, utilizándose resina epoxi como medio de protección de los arrollamientos, siendo innecesario cualquier mantenimiento posterior a la instalación. Se fabrican en potencias normalizadas desde 100 hasta 2500 kVA, tensiones primarias de 13.2, 15, 25, 33 y 35 kV y frecuencias de 50 y 60 Hz.

c) Transformadores herméticos de llenado integral

Se utilizan en intemperie o interior para distribución de energía eléctrica en media tensión, siendo muy útiles en lugares donde los espacios son reducidos. Son de aplicación en zonas urbanas, industrias, minería, explotaciones petroleras, grandes centros comerciales y toda actividad que requiera la utilización intensiva de energía eléctrica.

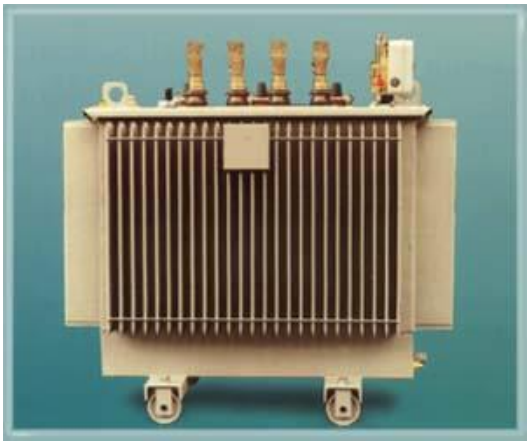


Figura 56
Transformador hermético de llenado integral.

Su principal característica es que al no llevar tanque de expansión de aceite no necesita mantenimiento, siendo esta construcción más compacta que la tradicional. Se fabrican en potencias normalizadas desde 100 hasta 1000 kVA, tensiones primarias de 13.2, 15, 25, 33 y 35 kV y frecuencias de 50 y 60 Hz.

c) Transformadores rurales

Están diseñados para instalación monoposte en redes de electrificación suburbanas monofilares, bifilares y trifilares, de 7.6, 13.2 y 15 kV.

En redes trifilares se pueden utilizar transformadores trifásicos o como alternativa 3 monofásicos.

Figura 57
Transformador rural.

e) Transformadores subterráneos

Transformador de construcción adecuada para ser instalado en cámaras, en cualquier nivel, pudiendo ser utilizado donde haya posibilidad de inmersión de cualquier naturaleza.

Figura 58
Transformador subterráneo.

Potencia: 150 a 2000KVA
Alta Tensión: 15 o 24,2KV
Baja Tensión: 216,5/125;220/127;380/220;400/231V

f) Transformadores auto protegidos

El transformador incorpora componentes para protección del sistema de distribución contra sobrecargas, corto-circuitos en la red secundaria y fallas internas en el transformador, para esto posee fusibles de alta tensión y disyuntor de baja tensión, montados internamente en el tanque, fusibles de alta tensión y disyuntor de baja tensión. Para protección contra sobretensiones el transformador está provisto de dispositivo para fijación de pararrayos externos en el tanque.

Figura 59
Transformadores auto protegidos.

Potencia: 45 a 150KVA.
Alta Tensión: 15 o 24,2KV.
Baja Tensión: 380/220 o 220/127V.

Protecciones propias del transformador.
También denominadas protecciones mecánicas del transformador, estos aparatos se instalan para detectar anomalías y defectos internos, para fallos externos al transformador o por efectos eléctricos como cortocircuitos o sobrecargas se utilizaran protecciones diferenciales las cuales se explican en el capítulo de protecciones.

A continuación se exponen las protecciones propias de transformador más utilizadas:

- **Relé de Buchholz (63):** detecta faltas internas del transformador como fugas de aceite o acumulación de gases, en consecuencia provoca una alarma que sólo produce un aviso en el sistema de P&C o un disparo que por medio de un relé de disparo y bloqueo manda abrir los interruptores que aíslan el transformador.

- **Válvula de sobrepresión:** se instala en transformadores que tienen un líquido como aislante, evita que se produzcan rupturas por presiones elevadas liberando la presión excesiva e impidiendo la entrada de agentes externos. Dispone de un nivel de alarma y otro de disparo que actúan de la misma forma que en el caso anterior.

- **Protección de imagen térmica (49):** mide la temperatura del punto más caliente del arrollamiento, lo hace midiendo la corriente que lo atraviesa. Tiene niveles de alarma y disparo.

- **Temperatura del aceite (26):** mide la temperatura del aceite cerca de la parte superior del transformador. Tiene niveles de alarma y disparo, a través de un relé de disparo y bloqueo.

- **Indicadores de nivel de aceite (71):** se encuentra en el depósito de expansión y proporciona alarma por bajo y alto nivel de aceite.

Los defectos que hacen alcanzar el nivel de disparo a estas protecciones son tan graves que obligan a separar totalmente el transformador de la red eléctrica, desconectando los interruptores de todos sus devanados.

Esto se consigue uniendo todos estos disparos junto con la protección diferencial de transformador y opcionalmente las protecciones de sobre intensidad sobre un relé de disparo y bloqueo con rearme manual o eléctrico (86).

Tras la apertura de los interruptores mediante contactos normalmente abiertos, otros contactos normalmente cerrados de este relé se abren para bloquear el cierre de los interruptores hasta que una vez solucionado el defecto sea posible el rearme.

Es deseable que el sistema de protección y control capture todas las alarmas y disparos de las protecciones propias del transformador así como la actuación del relé 86, que también por lógica digital impedirá el cierre de los interruptores. Si no se dispone de tantas entradas binarias, pueden agruparse informaciones afines, diferenciando siempre por la magnitud medida y el nivel de reacción.

Con este planteamiento, cada equipo debería contar con tres contactos normalmente abiertos y libres de tensión para: la información de alarma, disparo y actuación sobre el relé de disparo y bloqueo.

Por otra parte, se necesitarían más contactos si en instalaciones de alta y muy alta tensión se requieren dos relés de disparo y bloqueo independientes (86-1 y 86-2), cada uno de ellos actuando sobre la primera y segunda bobina de disparo del interruptor, respectivamente.

En los esquemas eléctricos de los sistemas de protección y control generalmente se monta un relé auxiliar multiplicador del contacto de disparo, obteniendo así todo lo necesario para las funciones de control y protección.

Protecciones externas de transformadores y subestaciones.

Protecciones de sobretensiones.

Las descargas atmosféricas y también ciertas maniobras de apertura y cierre de interruptores, pueden dar lugar a que la tensión en determinado punto del sistema aumente a valores varias veces por encima del valor nominal. Se dice entonces que se ha producido una sobretensión. Tal fenómeno por ser normalmente una variación brusca, se propaga a través de los conductores (líneas), llegando a afectar a partes del sistema alejadas del origen de la perturbación. Una tensión anormalmente alta podrá dar lugar a que se supere el nivel de aislamiento de ciertos elementos, provocando mal funcionamiento del sistema e incluso averías.

Para evitar tales perjuicios se instalan descargadores de sobretensión también conocidos como auto válvulas o pararrayos. Su función consiste en mantener la tensión entre sus terminales por debajo del valor de tensión correspondiente al nivel de aislamiento del equipo protegido.

En las subestaciones GIS (tipo encapsulado) se instalan en el exterior en los puntos de conexión de las líneas aéreas con la subestación, de cualquier modo también se pueden instalar en módulos aislados, formando parte de la instalación GIS.

El descargador dispone de un registro a través del cual es posible abrir el conductor interior para ensayos en la subestación, también tiene terminales para el monitoreo de gas y dispositivos de control del descargador.

2.3 Protecciones de generadores síncronos

2.3.1 Funciones y características de los relés de protección

La misión de un relé de protección consiste en detectar la variación de ciertas magnitudes eléctricas como la tensión, la intensidad, la impedancia, la potencia o la frecuencia, de forma que si las solicitaciones sobre las máquinas o circuitos protegidos son mayores que los valores especificados, estos elementos se desconectan de la red mediante la orden de disparo que el relé transmite a un dispositivo de corte.

Las solicitaciones que deben soportar las máquinas son de varios tipos:

- Solicitaciones eléctricas sobre las bobinas según su tensión de servicio asignada.
- Solicitaciones térmicas ligadas a las máximas temperaturas soportadas por los aislamientos sólidos.
- Solicitaciones mecánicas sobre los conductores, los aislamientos y las partes móviles del generador.

Por otra parte, los generadores forman parte de un sistema eléctrico que resulta perturbado cuando se desconectan de la red, esto implica que en ocasiones sea necesario mantenerlos en servicio, incluso existiendo algún tipo de defecto. Por el contrario, para ciertas faltas, y con el fin de evitar un daño muy severo en la máquina, es obligada la desconexión instantánea del generador. En general, es necesario llegar a un compromiso combinando ambos criterios.

Todo esto supone que los relés de protección se taren con unos umbrales de regulación que materialicen este compromiso. Así se debe permitir un funcionamiento del generador especialmente para defectos externos, durante un tiempo suficiente que garantice la actuación previa (en un tiempo menor) de otros relés de protección, siempre que las solicitaciones sobre la máquina, aun siendo mayores que las propias de un funcionamiento normal, permanezcan dentro de los valores admisibles utilizados en su diseño.

Las principales características de los relés de protección se pueden resumir como:

- Fiabilidad; Que se consigue generalmente recurriendo a un principio de funcionamiento lo más simple posible. El relé debe actuar frente a ciertas faltas, pero no debe actuar intempestivamente en otros casos.
- Sensibilidad; De forma que sean fiables, incluso ante la variación más pequeña detectable de la magnitud medida.
- Selectividad; El concepto de selectividad se aplica a la zona de protección, de forma que el relé más próximo al defecto es el único que debe actuar. También se aplica este concepto a la discriminación del tipo de defecto. Por ejemplo, un relé diferencial destinado a detectar sólo defectos internos no debe actuar nunca frente a un defecto externo a la zona protegida.

En cuanto a los tipos de relés, cabe clasificarlos también según su tecnología constructiva.

- Relés electromecánicos; Tienen partes móviles que son atraídas o movidas por los campos magnéticos creados por las corrientes a medir. Los tipos más utilizados son los de inducción y los electromagnéticos. Entre sus ventajas cabe destacar su fiabilidad, robustez y su inmunidad a las perturbaciones electromagnéticas, como inconvenientes su falta de precisión y repetitividad y las pocas posibilidades de regulación que ofrecen.
- Relés estáticos de tipo electrónico; No tienen partes móviles y van sustituyendo poco a poco los relés electromecánicos. Pueden combinar varias funciones de protección en el mismo relé y admiten más posibilidades de regulación. Entre sus ventajas respecto de los electromecánicos se puede destacar que presentan una carga menor sobre los transformadores de medida y tienen mayor velocidad de actuación debido a que no tienen partes móviles.
- Relés estáticos digitales; Son los más modernos, están basados en un microprocesador y en el muestreo de las señales de entrada al relé (tensiones o intensidades). Mediante algoritmos de cálculo se pueden implantar numerosas

funciones de protección y curvas de regulación. Ente sus ventajas se puede destacar que incorporan funciones de auto vigilancia y diagnóstico, que permiten reducir la complejidad del cableado y que su funcionamiento se puede integrar en un sistema completo de control digital.

2.3.2 Trasformadores de medida.

Las magnitudes de entrada de los relés de protección son tensiones o intensidades proporcionales a los valores presentes en la red de alta tensión, ya que es imposible conectar un relé directamente a alta tensión o hacerle pasar una intensidad elevada.

Para transformar las tensiones e intensidades a valores normalizados se utilizan respectivamente transformadores de protección de tensión y de intensidad. Los valores normalizados de tensión secundaria son 110 V, o 110 / √3, según que la conexión del transformador de tensión en el primario sea entre fases o fase tierra. En el caso de los transformadores de protección de intensidad, el valor normalizado de secundario es generalmente de 5 A.

Los transformadores de protección de tensión o de intensidad, tienen también una función de aislamiento dieléctrico entre el circuito de alta tensión y el relé. Así por ejemplo puede existir un transformador de intensidad de relación 5/5 A, cuya función no será disminuir el valor de la intensidad, sino el establecer un aislamiento dieléctrico entre el circuito principal de alta tensión y el circuito protección de baja tensión.

3. Celdas de Media / Alta Tensión

3.1 Prevención de riesgos eléctricos en media/alta tensión.

Trabajos con equipos desenergizados.

En este campo, debemos recordar las cinco reglas de oro de la prevención de accidentes eléctricos, que se pueden resumir en:

- Abrir todas las fuentes de tensión.
- Bloquear los aparatos de corte.
- Verificar la ausencia de tensión.
- Instalar los equipos de puesta a tierra.
- Delimitar y señalizar la zona de trabajo.

Si se respetan estas simples reglas, estaremos garantizando la seguridad de nuestros trabajadores, así como de cualquier persona que por descuido pueda realizar alguna maniobra. La seguridad eléctrica no se puede dejar al azar, debemos coordinar y no improvisar, porque muchas veces por esta razón ocurren los accidentes.

3.2 Tipos de celdas de media tensión.

En general, se entenderá como celdas de MT y AT (en inglés Switchgear) al conjunto continuo de secciones verticales (Celdas) en las cuales se ubican equipos de maniobra (interruptores de potencia extraíbles, seccionadores, etc.), medida (transformadores de corriente y de tensión, etc.), y, cuando se solicite, equipos de protección y control, montados en uno o más compartimientos insertos en una estructura metálica externa, y que cumple la función de recibir y distribuir la energía eléctrica.

Las Celdas de MT y AT tipo Metalclad, están definidas según la norma *IEC 60298***,** y sus principales características son:

- Equipos en compartimientos con grado de protección IP2X o mayor.
- Separaciones metálicas entre compartimientos.
- Al extraer un equipo de MT y AT, existirán barreras metálicas (“shutters”) que impedirán cualquier contacto con partes energizadas.
- Compartimientos separados al menos por: 1) cada interruptor o equipo de maniobra, 2) elementos a un lado del equipo de maniobra (por ej.: Cables de poder) 3) elementos al otro lado del equipo de maniobra (por ej. : Barras) y 4) equipos de baja tensión (por ej. : relés)
- Cuando las celdas son de doble barra, cada conjunto de barras debe ir en compartimiento separado.

En una subestación eléctrica, se pueden apreciar los siguientes tipos de celdas:

a) Celda de entrada de línea.
Son celdas que reciben las líneas desde el exterior del centro. Están equipadas con un interruptor o un interruptor - seccionador. A pesar de su nombre, pueden realizar la función de entrada o salida de línea.

b) Celda de seccionamiento.
En ella se encuentran los elementos de apertura de las diferentes líneas de tensión. En cuyo caso podría observarse un corte visible del mismo.

c) Celda de remonte
Permite remontar los cables directamente hasta el embarrado formado por el conjunto de celdas.

d) Celda de medida.
Estas celdas alojan en su interior los transformadores de medida, de tensión e intensidad. Estos transformadores convierten los valores de las magnitudes eléctricas (tensión e intensidad) propias de la línea a valores manejables por los equipos de medida (100V y 5A).

e) Celda de protección de transformador.

Son celdas dotadas con interruptor - seccionador automático con fusibles. Protege al transformador mediante relés indirectos que actúan sobre la bobina de disparo del interruptor. La protección frente a cortocircuitos la realizan los fusibles.

3.3 Descripción de sus principales características.

En la Figura 60 se presenta una de las celdas de MT y AT más modernas y vendidas del mundo. Las celdas fijas con interruptores de potencia son celdas para interiores, montadas en fábrica, con ensayos de tipo, envolvente metálica, separación metálica, aisladas en SF6 para aplicaciones de simple y doble juego de barras.

Se aplican en subestaciones de transformación y distribución.

Tienen diseño *libre de mantenimiento*. Las cubas de las celdas diseñadas como sistema de presión sellado, los dispositivos de maniobra libres de mantenimiento y los conectores de cables encapsulados proporcionan:

- Máxima seguridad de suministro.
- Seguridad del personal.
- Estanqueidad de por vida según IEC 62271-200 (sistema de presión sellado).
- Montaje, servicio, ampliación, sustitución sin trabajos de gas SF6.
- Gastos de servicio reducidos.
- Inversión económica.
- Omisión de ciclos de mantenimiento.

El empleo de sistemas secundarios digitales y equipos de protección y mando combinados proporciona:

- Una clara integración en sistemas de control de proceso.
- Ajustes flexibles y sencillísimos a nuevos estados de las celdas y, de este modo, a un servicio económico.

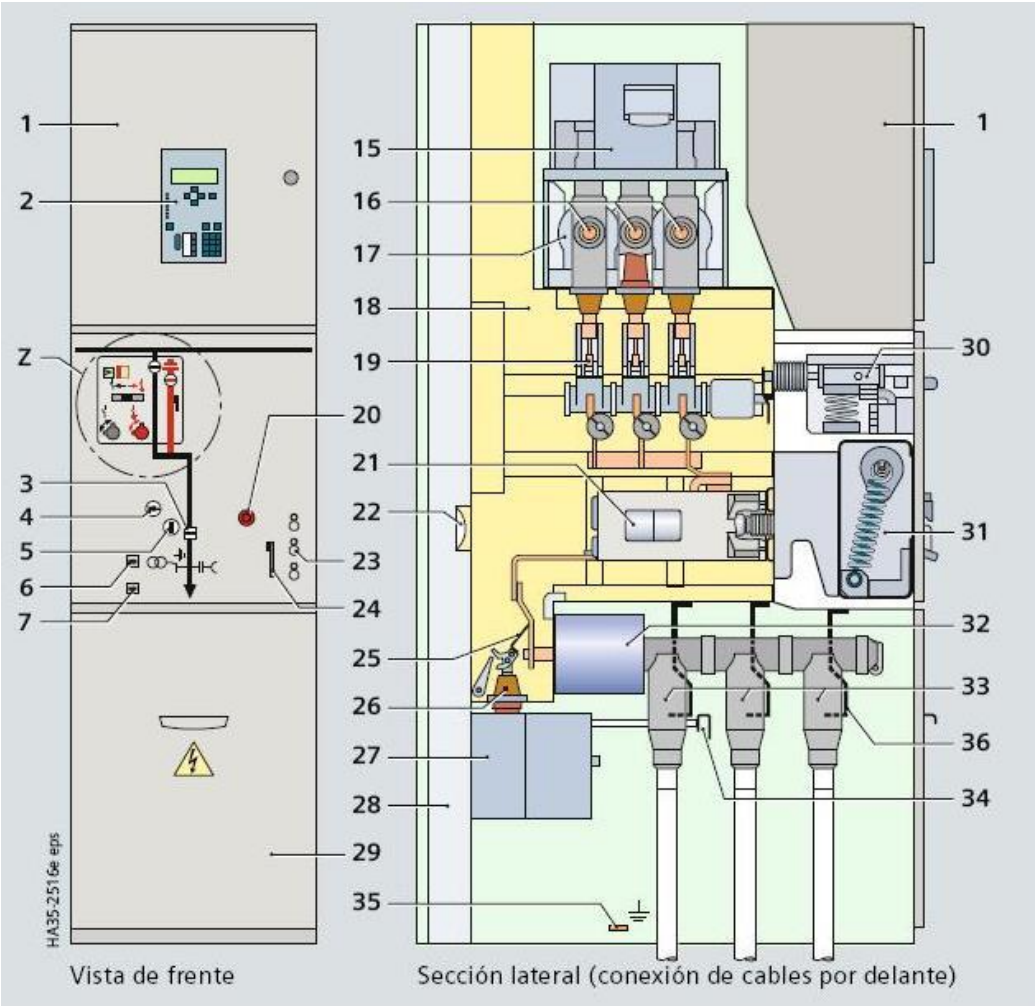


Figura 60
Celda de MT y AT (Siemens).

Este tipo de celda está fabricada para una vida útil de 35 años, según su fabricante (Siemens).

En la Figura 60, se observa un *corte lateral*, una *vista frontal* y un *detalle ampliado* de una de estas celdas con interruptor de potencia.

1 Compartimento de baja tensión.
2 Relé de protección multifuncional SIPROTEC 4 (ejemplo).
3 Indicador de posición del interruptor de potencia.
4 Abertura de mando para tensar los resortes del interruptor de potencia.

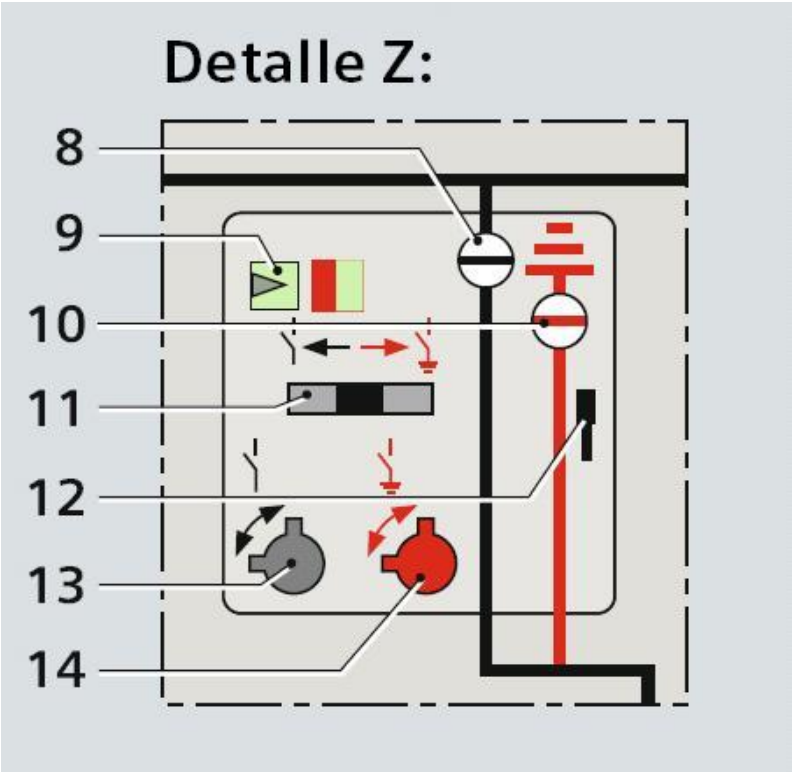


Figura 61

Detalle ampliado de Celda de MT y AT (Siemens)

5 Pulsador de CIERRE del interruptor de potencia.
6 Indicador de “resorte tensado”.
7 Contador de ciclos de maniobra del interruptor de potencia.
8 Indicador de posición para la función de “seccionamiento” del interruptor de tres posiciones.
9 Indicador de disposición de servicio.
10 Indicador de posición para la función de “puesta a tierra preparada” del interruptor de tres posiciones.
11 Corredera de preselección y dispositivo de inmovilización para las funciones de “seccionamiento / puesta a tierra” del interruptor de tres posiciones.
12 Palanca de interrogación.
13 Abertura de mando para la función de “seccionamiento” del interruptor de tres posiciones.
14 Abertura de mando para la función de “puesta a tierra preparada” del interruptor de tres posiciones.
15 Opción: Transformador de tensión para el embarrado (juego de barras), enchufable.
16 Juego de barras unipolar, totalmente aislado, enchufable, puesto a tierra en la parte exterior.
17 Opción: Transformador de corriente para el embarrado.
18 Cuba de la celda soldada herméticamente, llena de gas SF6.
19 Seccionador de tres posiciones.

20 Pulsador de APERTURA del interruptor de potencia.
21 Tubo de maniobra al vacío del interruptor de potencia.
22 Alivio de presión (disco de ruptura).
23 Sistema detector de tensión capacitivo.
24 Dispositivo de inmovilización para la derivación (adecuado para bloquear con un candado).
25 Dispositivo de seccionamiento del transformador de tensión de la derivación.
26 Pasa tapas del transformador de tensión de la derivación.
27 Opción: Transformador de tensión de la derivación.
28 Opción: Canal de alivio de presión.
29 Compartimento de cables.
30 Mecanismo de funcionamiento para el interruptor de tres posiciones.
31 Mecanismo de funcionamiento para el interruptor de potencia.
32 Transformador de corriente de la derivación.
33 Conexión de cables con conector en T de cono exterior.
34 34 Accionamiento del dispositivo de seccionamiento del transformador de tensión de la derivación.
35 Embarrado de puesta a tierra con conexión de puesta a tierra.
36 Chapas guía en la conexión de cables.

3.4 Operación de las celdas de media / alta tensión.

En la Figura 62 se muestran las partes una celda operativa de media a baja tensión.

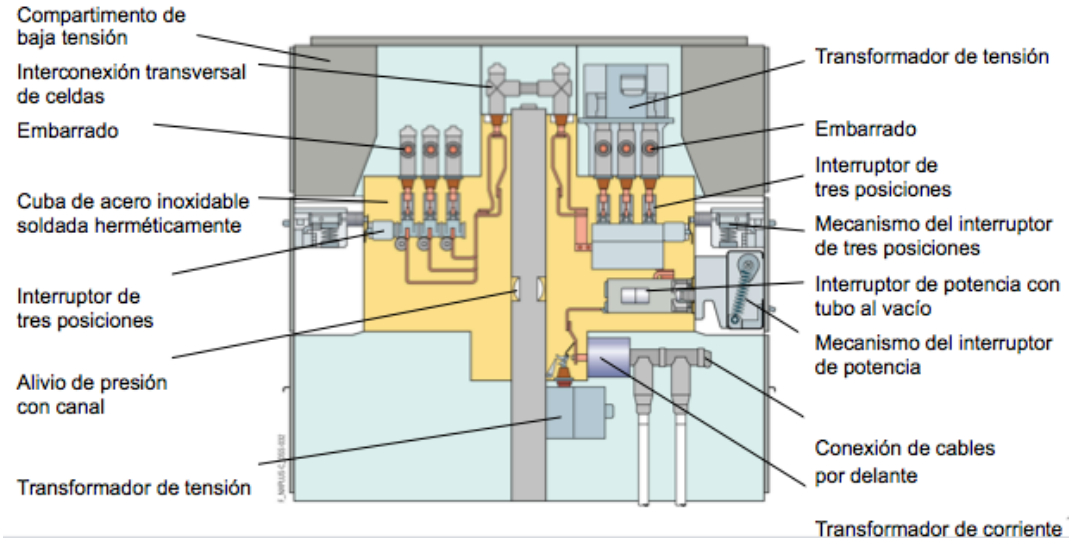


Figura 62
Compartimientos de una celda en servicio.

Como se dijo más arriba la norma IEC 60298 define que las celdas de MT para uso eléctrico deben ser METAL ENCLOSED (es decir, metálicas), pero dentro de esta clasificación pueden ser compartimentadas o sin compartimentar. Las celdas con cuatro

compartimientos (Baja Tensión, Cables, aparato de maniobra, y conducto de barras) se denominan METALCLAD.
La división entre compartimientos debe ser galvánica (es decir metálica y puesta a tierra). Una división aislante no es galvánica, y de existir (por ejemplo los aisladores de contacto fijo o aisladores campanas) deben poseer una pantalla metálica o cortina que brinde la separación galvánica antes de habilitar el ingreso de un operador al compartimiento.

Un recinto metálico y puesto a tierra asegura que no existe ningún potencial eléctrico que pueda afectar al operador que trabaje dentro del mismo. Si la separación con otro compartimiento con tensión fuera aislante, al apoyar una mano sobre ésta podría recibir una descarga eléctrica que atravesaría la placa.

Una celda puede ser METALCLAD, pero no necesariamente de seguridad aumentada. Para ello debe tener un diseño especial para soportar una descarga interna (construcción sólida del tipo blindado, puertas con trabas múltiple, tapas con ganchos de retención, Visores que no vayan a astillarse durante la falla, etc.).

Luego, cumplidas las condiciones requeridas por la normativa, la puesta en marcha se hará de acuerdo a los estándares y reglamentos que cada usuario haya implantado en la empresa o lugar de funcionamiento de la(s) celda(s).

3.5 Instalación de las celdas de media/alta tensión.

La Celda que se muestra en la Figura 63 es para Montaje a Piso y está diseñada para conexión y protección de líneas subterráneas hasta 38kV.
El gabinete está compuesto por un reconectador automático, un control RC, un mecanismo de enclavamiento de aislación a tierra y un compartimiento para el cable de conexión.

Figura 63
Celda de reconectador a montar.

En la Figura 64 se muestra la forma de levantar, trasladar y montar una celda, mediante el uso de eslingas tomadas o afianzadas en cáncamos (los cuales vienen incorporados de fábrica), además del sistema rodante.

1. Ventana de Visualización Switch de Tierra
2. Bushings Lado Carga
3. Bushings Lado Fuente
4. Barra de Tierra
5. Conector 630A Tipo DIN 47636 Serie 400
6. Switch de Tierra
7. Transformador Auxiliar Fase-Fase
8. Mecanismo de Interbloqueo en Posición Normal

8A. Mecanismo de Interbloqueo en Posición Abierto (Aislado).

9. Batería Sellada de Plomo Acido
10. Modulo Alimentación PSM y Modulo Driver
11. Modulo de Procesamiento Principal MPM
12. Interruptor de Caja Moldeada BT y Enchufe de Propósito General
13. Puntos de Izaje
14. Eslingas Guias
15. Ventana de Visualización Estado del Reconectador
16. Brazo de Operación Removible Mostrado en Posición Aislado Pero no Aterrizado

16A. Brazo de Operación Removible Mostrado en Posición Aislado y Aterrizado

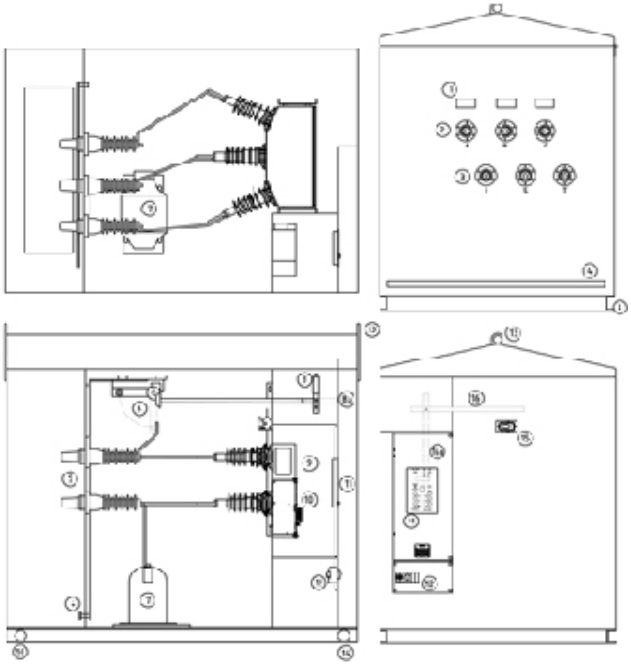


Figura 64
Accesorios de izaje y traslado de Celda.

Conexionado y características de la celda..

La entrada de los cables subterráneos es a través de una placa metálica provista en la base del compartimiento del cable de conexión. Para la conexión de los cables terminales al reconectador automático tanto en el lado fuente como lado carga se dispone de 6 bushingepóxicos del tipo DIN 400 o ANSI Taper. Para la conexión de tierra se dispone de una barra de tierra ubicada en el mismo compartimiento.

El gabinete es fabricado de acero inoxidable o acero galvanizado y es pintado al polvo.

El compartimiento del control posee protección IP65 / NEMA 4, mientras que el compartimiento principal y del cable de conexión poseen protección IP55 / NEMA 3.
El gabinete es montado en una base tipo pedestal galvanizado al caliente. Posee dos puntos de izaje en cada extremo de la parte superior del mismo. El pedestal tiene también dos eslingas en la parte inferior para levantar el gabinete en forma segura.

El reconectador automático mostrado incorpora interruptor al vacío encapsulados en una carcasa polimérica tipo dieléctrico solido dentro de un tanque de acero inoxidable con ventilación contra arco. Esto garantiza una máxima vida útil y una máxima confiabilidad con un completo sistema de aislación dentro de la carcasa de alta durabilidad.

El voltaje se mide en los seis (6) bushings mediante pantallas de fibra de carbono capacitivamente acopladas. La corriente se mide en las (3) fases mediante transformadores.

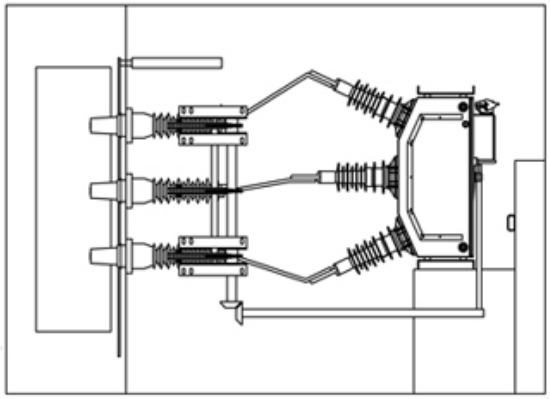


Figura 65
Vista superior del reconectador a montar.

El mecanismo del Reconectador se opera por tres (3) accionadores magnéticos separados, uno por fase. Estos accionadores magnéticos están enclavados mecánicamente para garantizar la operación correcta de las tres (3) fases. El dispositivo es bloqueado en posición cerrada mediante trabas magnéticas. Cada accionador magnético usa una única bobina. En la instalación se deben inspeccionar visualmente los enclavamientos.

Las posiciones de abierto y cerrado del equipo son indicadas con un '0' color verde como abierto y con un 'I' color rojo para indicación de que el equipo está cerrado. Esto debe ser verificado, mirando a través de la ventana al lado del cubículo de control.
El estado del reconectador es también reflejado por un microswitch conectado a la electrónica del control. La placa donde va fijado el microswitch no tiene elementos activos lo cual mejora considerablemente la inmunidad frente a impulsos.

Los bushings del circuito principal son fabricados de polímetro resistente UV y la cubierta de goma silicona del bushingesta diseñada para proporcionar la distancia de fuga necesaria.

Los accionadores magnéticos se operan desde capacitores cargados con energía almacenada, ubicados en el cubículo de control RC10. En la base del tanque hay una placa de características nominales con los detalles de las características nominales según lo requiere la norma ANSI C37.60. Hay un punto de conexión a tierra en la parte lateral del tanque.

El diagrama de sección transversal que aparece debajo detalla la configuración y los componentes principales del tanque.

Revisión de control electrónico

La caja de control y comunicaciones RC es un controlador basado en un microprocesador que proporciona protección de sobre corriente direccional, falla a tierra y sensible de falla a tierra, relé de cierre automático, medición instantánea, registro de eventos, registros de perfil de carga y unidad terminal remota (RTU) para el control remoto todo en un paquete único.

El panel de control del operador se proporciona con una pantalla de LCD con iluminación posterior de cuatro líneas y un teclado para proporcionar las funciones de control local.

3.6 Mantención a celdas de media/alta tensión.

Ya sea un mantenimiento correctivo, preventivo, o programado y ya sea con personal propio o externo, las medidas de seguridad deben ser las pauteadas por el fabricante y las desarrolladas por el usuario, las cuales deben seguirse al pie de la letra para evitar eventos no deseados durante el proceso de revisión y/o reparación.
Básicamente existen dos tipos de mantenimiento:

a) Mantenimiento correctivo.
Mantenimiento llevado a cabo tras la detección de una anomalía (hasta la falla del equipo) y dirigido a restaurar el funcionamiento en condiciones normales.

Figura 66
Equipo que funcionó hasta la falla.

Este enfoque se basa en la firme creencia de que los costos que aparecen durante los tiempos de inactividad y reparación en caso de falla son más bajos que la inversión requerida para un programa de mantenimiento.

Esta estrategia puede ser rentable hasta que una falla catastrófica se produce.

b) Mantenimiento preventivo.
Mantenimiento llevado a cabo a intervalos predeterminados o de acuerdo con los criterios prescritos, para reducir el riesgo o degradación del rendimiento del equipo.

Figura 67
Mantenimiento a celdas programadas.

Este método se basa en las actividades programadas realizadas con el equipo fuera de servicio, incluyendo: control visual, aparatos de limpieza, lubricación de componentes mecánicos, uso de piezas de repuesto y la ejecución de test de rutina.

Los ciclos de mantenimiento se planifican de acuerdo con la necesidad de llevar el dispositivo fuera de servicio. La incidencia de fallas de funcionamiento se reduce.

Es posible subdividir este último sistema en dos sistemas, a saber:

b1) Mantenimiento basado en el riesgo.

Mantenimiento llevado a cabo mediante el análisis integrado, actividades de medición y pruebas periódicas para estandarizar el mantenimiento preventivo.

La información recogida se considera en el contexto del ambiente, operación y condición del proceso de los equipos en el sistema. El objetivo es realizar la evaluación de la condición y riesgos de los equipos y definir el programa de mantenimiento adecuado.

Todos los equipos que muestren valores anormales son reformados o reemplazados. De este modo es posible ampliar la vida útil y garantizar el equipo durante más tiempo respecto a los niveles récord de fiabilidad, seguridad y eficiencia de la planta.

b2) Mantenimiento basado en condiciones.

Mantenimiento basado en la monitorización del rendimiento del equipo, y el control de las acciones correctivas llevadas a cabo.

La condición real del equipo es evaluada por la detección on-line de los parámetros principales del equipo y su comparación automática con los valores promedio y el rendimiento.

El mantenimiento se realiza cuando ciertos indicadores señalizan que el equipo se está deteriorando y la probabilidad de falla es cada vez mayor.

Esta estrategia, a largo plazo, permite reducir drásticamente los costos asociados de mantenimiento, con lo que se minimiza la aparición de faltas graves y se optimiza la gestión de los recursos económicos disponibles.

Mantenimiento de las celdas de media y alta tensión.

Según sea el criterio del sistema de mantenimiento adoptado, las celdas deben ser sometidas a mantenimiento que garanticen su fiabilidad, seguridad y correcto desempeño durante su vida útil.

El programa adoptado deberá considerar, al menos, lo siguiente:

a) Sustitución de piezas desgastadas o defectuosas por piezas de repuesto originales.
b) Personal acreditado de mantenimiento, en lo posible entrenado por el fabricante.
c) Integración de las últimas tecnologías para aumentar la seguridad, rendimiento y funcionalidad.
d) Implementar soluciones de actualización para que la celda siga cumpliendo con las normativas vigentes.

3.7 Partidores magnéticos.

Su función principal es controlar un motor eléctrico en partida o arranque como en parada del motor, así como la protección de éste y del operador de la maquinaria a la cual provee el movimiento.

Las partes principales de un partidor son el contactor magnético y la protección asociada contra sobrecargas, cortocircuito y otro que el usuario estime necesaria para proteger el motor que comanda.

Un contactor magnético es un componente electromecánico que tiene por objetivo establecer o interrumpir el paso de corriente, ya sea en el circuito de potencia o en el circuito de mando, tan pronto se dé tensión a la bobina (en el caso de ser contactores instantáneos). Un contactor es un dispositivo con capacidad de cortar la corriente eléctrica de un receptor o instalación, con la posibilidad de ser accionado a distancia, que tiene dos posiciones de funcionamiento: una estable o de reposo, cuando no recibe

acción alguna por parte del circuito de mando, y otra inestable, cuando actúa dicha acción. Este tipo de funcionamiento se llama de "todo o nada". En los esquemas eléctricos, su simbología se establece con las letras KM (SI) o M (EE.UU) seguidas de un número de orden.

La función conmutación todo o nada a menudo establece e interrumpe la alimentación de los receptores. Esta suele ser la función de los contactores electromagnéticos. En la mayoría de los casos, el control a distancia resulta imprescindible para facilitar la utilización así como la tarea del operario que suele estar alejado de los mandos de control de potencia. Como norma general, dicho control ofrece información sobre la acción desarrollada que se puede visualizar a través de los pilotos luminosos o de un segundo dispositivo. Estos circuitos eléctricos complementarios llamados “circuitos de esclavización y de señalización” se realizan mediante contactos auxiliares que se incorporan a los contactores, a los contactores auxiliares o a los relés de automatismo, o que ya están incluidos en los bloques aditivos que se montan en los contactores y los contactores auxiliares. La conmutación todo o nada también puede realizarse con relés y contactores estáticos. Del mismo modo puede integrarse en aparatos de funciones múltiples, como los disyuntores motores o los contactores disyuntores.

Componentes de un partidor magnético.

a) Carcasa

Es el soporte fabricado en material no conductor que posee rigidez y soporta el calor no extremo, sobre el cual se fijan todos los componentes conductores al contactor. Además, es la presentación visual del contactor.

b) Electroimán

Es el elemento motor del contactor, compuesto por una serie de dispositivos, los más importantes son el circuito magnético y la bobina; su finalidad es transformar la energía eléctrica en magnetismo, generando así un campo magnético muy intenso, que provocará un movimiento mecánico.

c) Bobina.

Es un arrollamiento de alambre de cobre muy delgado con un gran número de espiras, que al aplicársele tensión genera un campo magnético. Éste a su vez produce un campo electromagnético, superior al par resistente de los muelles, que a modo de resortes, se separan la armadura del núcleo, de manera que estas dos partes pueden juntarse estrechamente. Cuando una bobina se alimenta con corriente alterna la intensidad absorbida por esta, denominada corriente de llamada, es relativamente elevada, debido a que en el circuito solo se tiene la resistencia del conductor.

Esta corriente elevada genera un campo magnético intenso, de manera que el núcleo puede atraer a la armadura y a la resistencia mecánica del resorte o muelle que los mantiene separados en estado de reposo. Una vez que el circuito magnético se cierra, al juntarse el núcleo con la armadura, aumenta la impedancia de la bobina, de tal manera que la corriente de llamada se reduce, obteniendo así una corriente de

mantenimiento o de trabajo más baja. Se hace referencia a las bobinas de la siguiente forma: A1 y A2.

d) Núcleo.

Es una parte metálica, de material ferro magnético, generalmente en forma de E, que va fija en la carcasa. Su función es concentrar y aumentar el flujo magnético que genera la bobina (colocada en la columna central del núcleo), para atraer con mayor eficiencia la armadura.

e) Espira de sombra.

Forma parte del circuito magnético, situado en el núcleo de la bobina, y su misión es crear un flujo magnético auxiliar desfasado 120° con respecto al flujo principal, capaz de mantener la armadura atraída por el núcleo evitando así ruidos y vibraciones.

f) Armadura.

Elemento móvil, cuya construcción es similar a la del núcleo, pero sin espiras de sombra. Su función es cerrar el circuito magnético, una vez energizadas las bobinas, ya que debe estar separado del núcleo, por acción de un muelle. Este espacio de separación se denomina cota de llamada.

Las características del muelle permiten que, tanto el cierre como la apertura del circuito magnético, se realicen de forma muy rápida, alrededor de unos 10 milisegundos. Cuando el par resistente del muelle es mayor que el par electromagnético, el núcleo no logrará atraer a la armadura o lo hará con mucha dificultad. Por el contrario, si el par resistente del muelle es demasiado débil, la separación de la armadura no se producirá con la rapidez necesaria.

g) Contactos

Son elementos conductores que tienen por objeto establecer o interrumpir el paso de corriente en cuanto la bobina se energice.

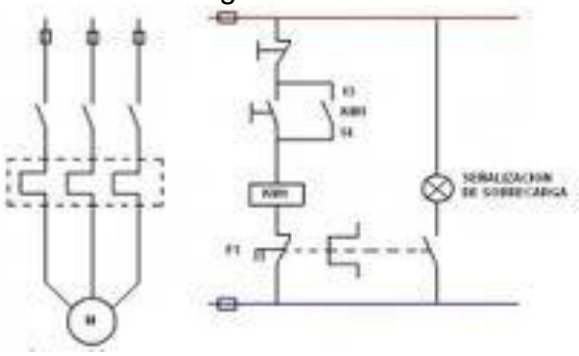


Figura 68

. Simbología de contactos principales (izquierda) y contactos auxiliares (derecha) de un partidor o arrancador.

Todo contacto está compuesto por tres conjuntos de elementos:

- Dos partes fijas ubicadas en la coraza y una parte móvil colocada en la armadura para establecer o interrumpir el paso de la corriente entre las partes fijas. El contacto móvil lleva el mencionado resorte que garantiza la presión y por consiguiente la unión de las tres partes.
- Contactos principales: su función es establecer o interrumpir el circuito principal, consiguiendo así que la corriente se transporte desde la red a la carga. Simbología: se referencian con una sola cifra del 1 al 6.
- Contactos auxiliares: son contactos cuya función específica es permitir o interrumpir el paso de la corriente a las bobinas de los contactores o los elementos de señalización, por lo cual están dimensionados únicamente para intensidades muy pequeñas. Los tipos más comunes son:
- Instantáneos: actúan tan pronto se energiza la bobina del contactor, se encargan de abrir y cerrar el circuito.
- Temporizados: actúan transcurrido un tiempo determinado desde que se energiza la bobina (temporizados a la conexión) o desde que se des energiza la bobina (temporizados a la desconexión).
- De apertura lenta: el desplazamiento y la velocidad del contacto móvil es igual al de la armadura.
- De apertura positiva: los contactos cerrados y abiertos no pueden coincidir cerrados en ningún momento.
- En su simbología aparecen con dos cifras donde la unidad indica:
  - ✓ 1 y 2, contacto normalmente cerrados, NC.
  - ✓ 3 y 4, contacto normalmente abiertos, NA.
  - ✓ 5 y 6, contacto NC de apertura temporizada o de protección.
  - ✓ 7 y 8, contacto NA de cierre temporizado o de protección.

Por su parte, la cifra de las decenas indica el número de orden de cada contacto en el contactor. En un lado se indica a qué contactor pertenece.

h) Relé térmico.

El relé térmico es un elemento de protección que se ubica en el circuito de potencia, contra sobrecargas. Su principio de funcionamiento se basa en la deformación de ciertos elementos, bimetales, bajo el efecto de la temperatura, para accionar, cuando este alcanza ciertos valores, unos contactos auxiliares que desactiven todo el circuito y energicen al mismo tiempo un elemento de señalización.

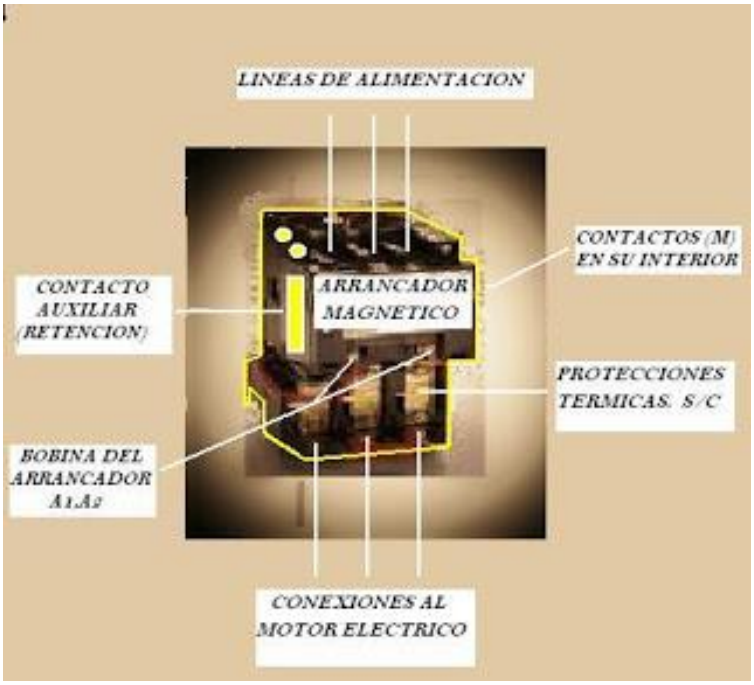


Figura 69
Componentes de un partidor magnético con protector térmico.

El bimetal está formado por dos metales de diferente coeficiente de dilatación y unidos firmemente entre sí, regularmente mediante soldadura de punto. El calor necesario para curvar o reflexionar la lámina bimetálica es producido por una resistencia, arrollada alrededor del bimetal, que está cubierto con asbesto, a través de la cual circula la corriente que va de la red al motor.

Los bimetales comienzan a curvarse cuando la corriente sobrepasa el valor nominal para el cual han sido dimensionados, empujando una placa de fibra hasta que se produce el cambio de estado de los contactos auxiliares que lleva. El tiempo de desconexión depende de la intensidad de la corriente que circule por las resistencias.

i) Resorte.

Es un muelle encargado de devolver los contactos a su posición de reposo una vez que cesa el campo magnético de las bobinas.
Funcionamiento de un partidor.

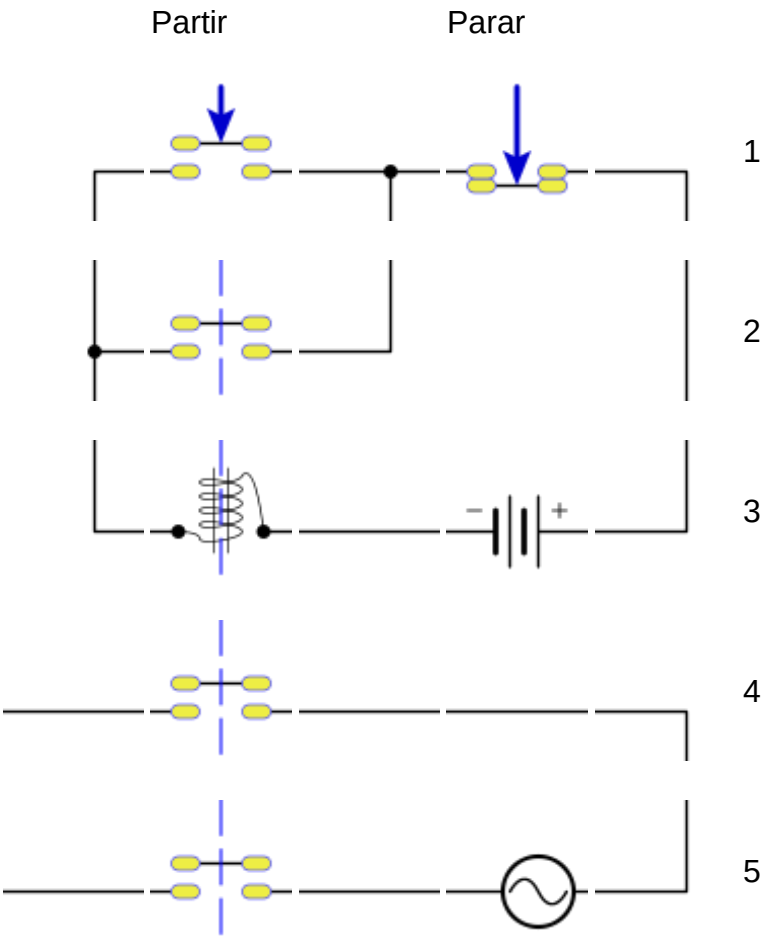


Figura 70
Esquema de funcionamiento de un contactor.

El contactor de la Figura 69, funciona de la siguiente manera:

Para conectar las salidas bifásicas de un generador, en el esquema se pueden ver dos circuitos, el de los niveles 1, 2 y 3, de maniobra, donde están los pulsadores de conexión y desconexión, la bobina del contactor, su contacto auxiliar, y la fuente de alimentación del circuito de maniobra.

En los niveles 4 y 5, de fuerza, está el generador bifásico y los contactos del contactor que conectan o desconectan las salidas.

El contactor del ejemplo tiene un contacto auxiliar para su realimentación, la bobina y dos contactos de fuerza en la parte inferior, esquematizado en la línea azul a trazos vertical.

El funcionamiento del mecanismo es el siguiente: mediante los pulsadores **Partir** y **Parar** se conecta o desconecta la bobina del contactor, al pulsador **Partir**, que está en paralelo con el contacto auxiliar, de modo que una vez la bobina excitada se autoalimenta, no siendo necesario que el pulsador **Partir** siga pulsado.

Si se pulsa **Parar** se corta la alimentación a la bobina, que se des excita, desconectándose tanto su realimentación por el contacto auxiliar, como la salida del generador por los contactos de fuerza.

Si se pulsa simultáneamente **Partir** y **Parar** el contactor se desactiva, dado que **Parar** corta la alimentación a la bobina, independientemente de la posición de **Partir** o del contacto auxiliar.

No es necesario señalar que este mismo mecanismo puede emplearse para poner en marcha un motor, conectando o desconectando el motor de una fuente de alimentación exterior, y que el número de contactos de fuerza puede ser mayor.

Tipos de partidas de motor eléctrico con partidores.

Sistema de partida directa con contactor de un motor eléctrico.

La Figura siguiente muestra el esquema del motor y su accionamiento directo, el cual es el método más común, simple y económico. Ofrece un alto par de arranque, pero requiere un suministro estable.

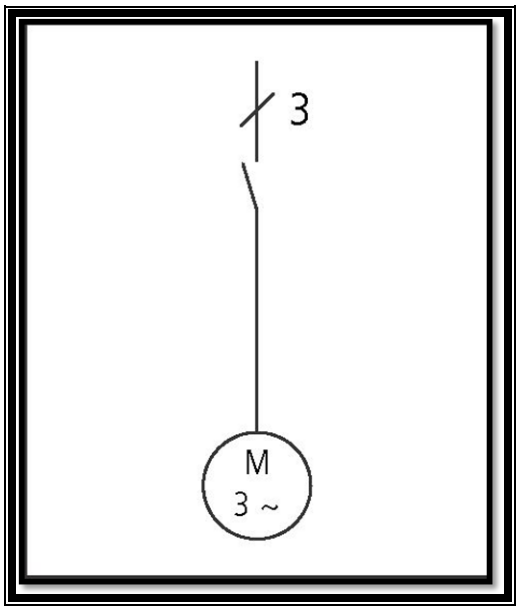


Figura 71
Conexión con contactor de partida directa de motor de inducción.

Es necesario limitar la corriente de arranque de los motores asíncronos trifásicos, ya que éstos están conectados a la red de distribución de energía eléctrica en paralelo con otros usuarios, que podrían sufrir bajadas momentáneas de tensión de suministro durante el arranque de los mencionados motores debido a la caída de tensión provocada por la impedancia de las líneas de transporte.

POTENCIA NOMINAL DEL MOTOR (EN KW)	$I_{ARRANQUE}/I_{PLENA\ CARGA}$
DE 0.75 A 1.5	4.5
DE 1.5 A 5	3.0
DE 5 A 15	2.0
DE MÁS DE 15	1.5

Corrientes máximas admisibles según Normas.

Para regular estos fenómenos, existen una serie de normas que imponen limitaciones en cuanto a corrientes máximas admisibles que se resumen en la Figura 69. Por ello se ha optado por el método descrito a continuación.

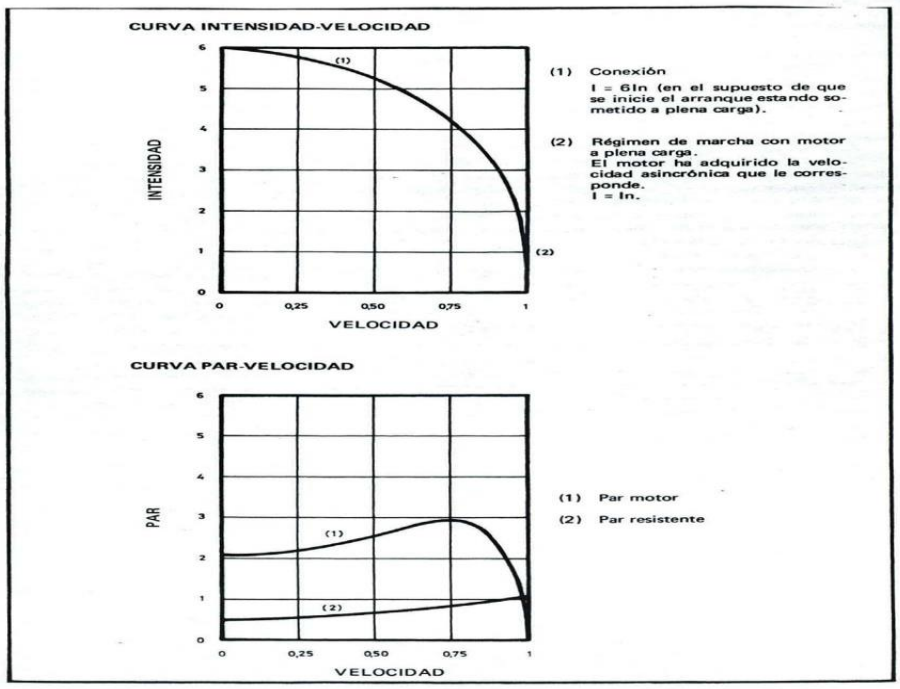


Figura 72
Curvas Intens. – Velocidad y Par – Velocidad para partida directa.

Sistema de Partida con contactores Y-Δ de un Motor Eléctrico de Inducción.

Este método de arranque se puede aplicar tanto a motores de rotor devanado como a motores de rotor en jaula de ardilla, la única condición que debe de cumplir el motor para que pueda aplicársele este método de arranque es que tenga acceso completo a los devanados del estator (6 bornes de conexión).

Consiste en aplicar en el arranque la tensión nominal del motor en la conexión de triángulo cuando éste está conectado en estrella, con lo que la tensión de alimentación se reduce en √3 y el par de arranque en 1/3. Una vez que el motor ha empezado a girar (se aconseja no pasar de la conexión estrella a la conexión triángulo hasta que el motor no haya adquirido, al menos, una velocidad del 80% de la nominal), se conmuta la conexión de los devanados a triángulo, con lo que se le está aplicando la tensión nominal de alimentación. En la Figura 73 siguiente se muestra el diagrama esquemático.

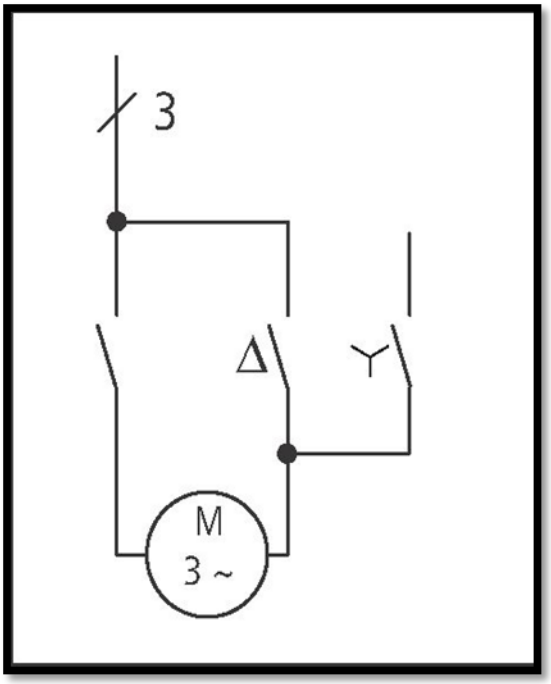


Figura 73
Conexión para partida Estrella – Triángulo de Motor de inducción.

La corriente de arranque se reduce en 1/√3= 0.6 en relación con la corriente de arranque directo.

Este método presenta los siguientes inconvenientes:

- Disminuye el par de arranque al disminuir la tensión de alimentación en un factor de 1/3.
- El motor se deja de alimentar durante el cambio de la conexión de estrella a triángulo en los devanados del estator.
- Aumenta el tiempo de arranque.

La Figura siguiente muestra curvas asociadas a funcionamiento de este sistema.

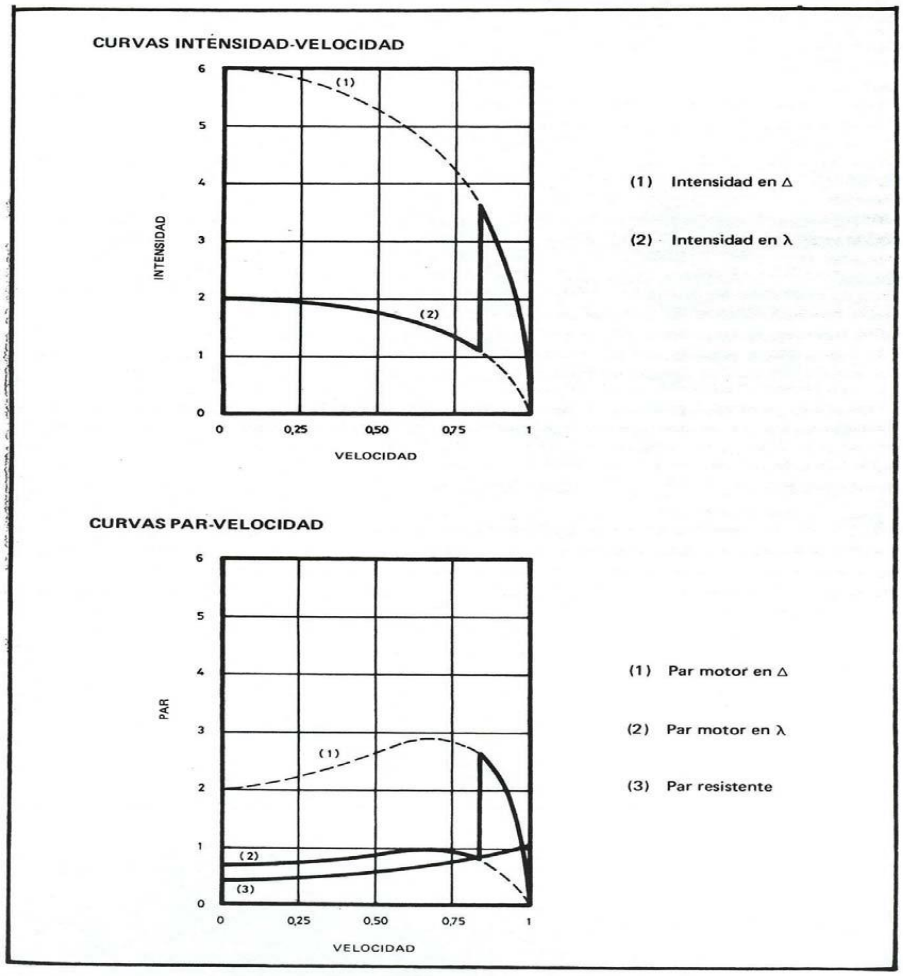


Figura 74
Curvas Intensidad – Velocidad y Par – Velocidad para partida *Y-Δ*

Aplicaciones en función de la categoría de servicio.

Las aplicaciones de los contactores, en función de la categoría de servicio, son:

- **AC1** (cos φ>=0,9): cargas puramente resistivas para calefacción eléctrica. Son para condiciones de servicio ligeros de cargas no inductivas o débilmente inductivas, hornos de resistencia, lámparas de incandescencia, calefacciones eléctricas. No para motores.
- **AC2** (cos φ=0,6): motores síncronos (de anillos rozantes) para mezcladoras centrífugas.
- **AC3** (cos φ=0,3): motores asíncronos (rotor jaula de ardilla) en servicio continuo para aparatos de aire acondicionado, compresores, ventiladores.
- **AC4** (cos φ=0,3): motores asíncronos (rotor jaula de ardilla) en servicio intermitente para grúas, ascensores.

Criterios para la elección de un contactor.

Debemos tener en cuenta algunas cosas, como las siguientes:

1. El tipo de corriente, la tensión de alimentación de la bobina y la frecuencia.
2. La potencia nominal de la carga.
3. Si es para el circuito de potencia o de mando y el número de contactos auxiliares que necesita.
4. Para trabajos silenciosos o con frecuencias de maniobra muy altas es recomendable el uso de contactores estáticos o de estado sólido.

Ventajas de los contactores.
Los contactores presentan ventajas en cuanto a los siguientes aspectos, por los que se recomienda su utilización: automatización en el arranque y paro de motores, posibilidad de controlar completamente una máquina, desde varios puntos de maniobra o estaciones, se pueden maniobrar circuitos sometidos a corrientes muy altas, mediante corrientes muy pequeñas, seguridad para personal técnico, dado que las maniobras se realizan desde lugares alejados del motor u otro tipo de carga, y las corrientes y tensiones que se manipulan con los aparatos de mando son o pueden ser pequeños, control y automatización de equipos y máquinas con procesos complejos, mediante la ayuda de aparatos auxiliares(como interruptores de posición, detectores inductivos, presostatos, temporizadores, etc.), y un ahorro de tiempo a la hora de realizar algunas maniobras.

A estas características hay que añadir que el contactor:

- es muy robusto y fiable, ya que no incluye mecanismos delicados.
- se adapta con rapidez y facilidad a la tensión de alimentación del circuito de control (cambio de bobina).
- facilita la distribución de los puestos de paro de emergencia y de los puestos esclavos, impidiendo que la máquina se ponga en marcha sin que se hayan tomado todas las precauciones necesarias.
- protege el receptor contra las caídas de tensión importantes (apertura instantánea por debajo de una tensión mínima).
- funciona tanto en servicio intermitente como en continuo

3.8 Partidores de contactos al vacío.

Los contactores y arrancadores al vacío fueron diseñados para arrancar y controlar motores CA 50/60 Hz trifásicos, cuya diferencia más destacada con respecto a los descritos en el acápite anterior, tiene relación que sus contactos principales (fuerza) no están al aire, sino que encapsulados.

Cada contacto está encerrado en una botella al vacío (ver Figura 75) para reducir y contener el arqueo de contactos. Ese diseño ofrece un desempeño excelente para aplicaciones de frenado por contracorriente y mando por impulsos.

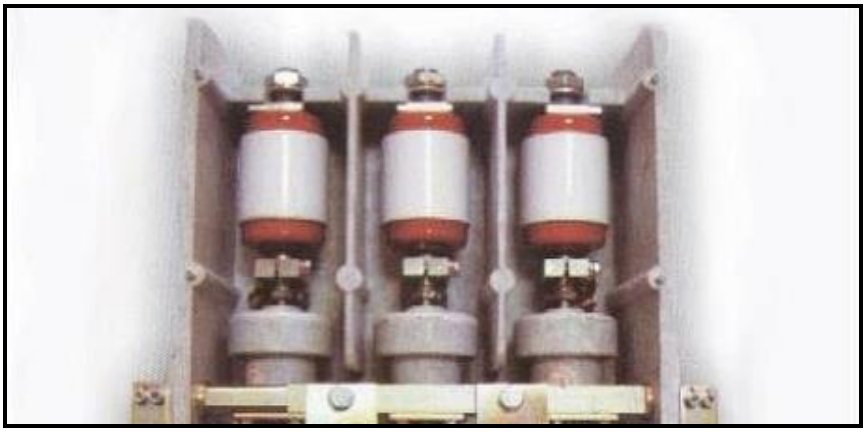


Figura 75
Contactos al vacío contenidos en botella.

En la Figura , se muestra un partidor con contactos al vacío.

Un gran fabricante ofrece los partidores de vacío en tres clasificaciones. Son dispositivos clasificados NEMA de hasta 600 VAC, dispositivos clasificados para aplicaciones especiales de hasta 1500 VAC y dispositivos para minería con clasificación de hasta 1500 VAC. Cada dispositivo se prueba según distintos estándares para servir a su mercado. Las aplicaciones típicas incluyen el control de voltaje total de motores trifásicos de jaula de ardilla, el control primario de motores de rotor bobinado de baja tensión y la conmutación de circuito de condensadores de baja tensión para mejorar el factor de potencia.

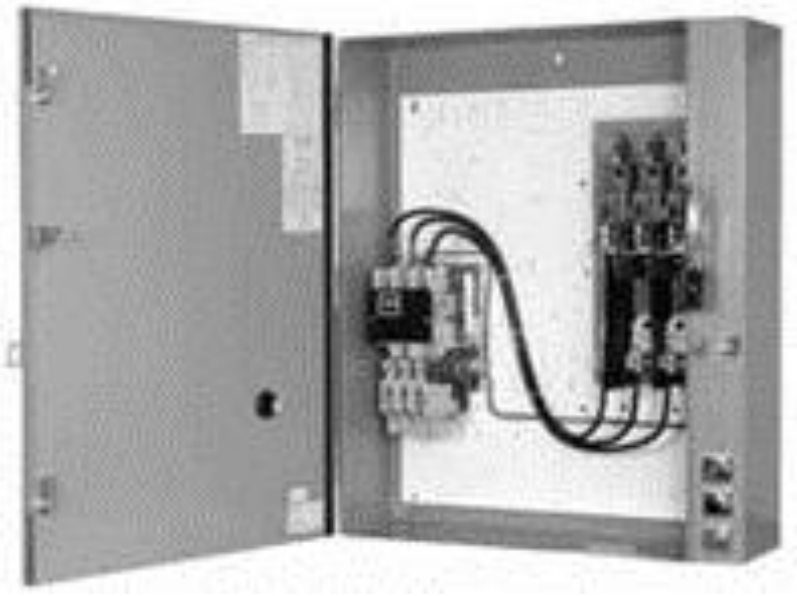


Figura 76
Partidor con contactos al vacío.

Características principales de un partidor con contactos al vacío.

Un partidor de contactos al vacío, debe poseer ciertas características básicas y avanzadas para su buen funcionamiento.

Un famoso y antiguo fabricante señala de su producto las características siguientes:

- La cámara libre de aire permite que la extinción del arco y la interrupción de corriente se completen dentro de una fracción de un ciclo, lo que minimiza la erosión de los contactos.
- Los fuelles de metal duraderos dentro de la cámara permiten que se cierre el contacto móvil y se lo abra al halar desde el exterior sin que entre aire en la cámara.
- La bobina y elementos auxiliares extraíbles por el frente permiten un mantenimiento fácil.
- Los interruptores estándar de corte bajo eliminan la necesidad de supresores de sobre voltajes adicionales.
- Los indicadores de desgaste de los contactos ayudan a la planificación del programa de mantenimiento preventivo.
- Los contactos de carburo de plata al tungsteno proporcionan el máximo rendimiento.

3.9 Componentes de control (luces piloto, regletas de conexión, fusibles, contactores, relés, interruptores, transformador de control, cables).

Los componentes de control para señalización y comando son muy variados y dependen del uso del equipo de maniobra a utilizar.

a) Estación pulsadora partir parar

Es un interruptor que se activa presionando y 2 o más contactos se abren o cierran. Estos botones tienen un resorte que los hace regresar a su posición original al soltarlos

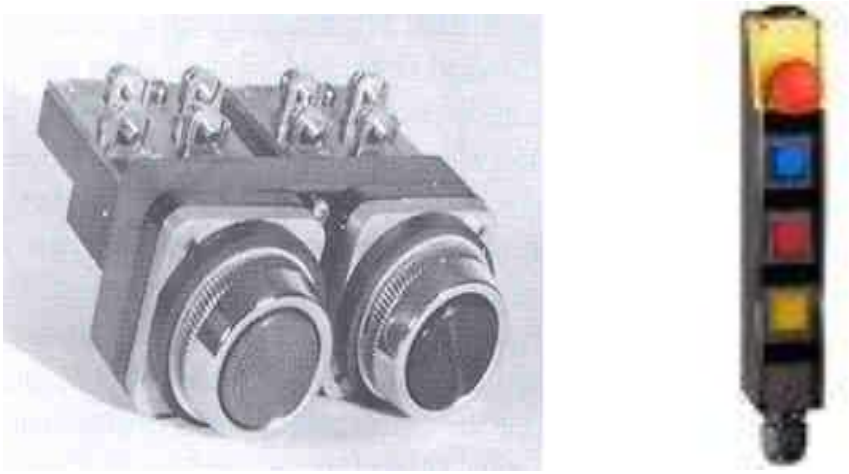


Figura 77
Estaciones de control de dos o más botones de comando.

Para el caso de pulsador partir el contacto normal abierta pasa, mientras se mantiene presionada, de normal abierto a normal cerrado. Para el caso de parar se presiona el pulsador, cambiando el estado del contacto momentáneo de normal cerrado a normal abierto (abriendo el circuito de control al interrumpir el flujo de corriente si lo había, hasta ese momento).

b) Parada de emergencia.

a) Tipo retención. b) Tipo por tracción de cable.

Figura 78
Paradas de emergencia y Cordon de tiro (Pull Cord)

c) Relés de control.

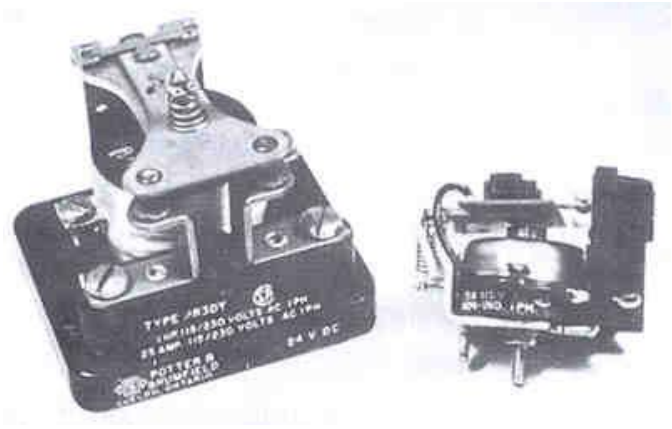


Figura 79
Relé de control de 220V – 25A.

Es un interruptor electromagnético que abre y cierra un conjunto de contactos cuando su bobina es energizada. La bobina del relevador produce una fuerza magnética que atrae a una armadura móvil que soporta un polo de los contactos. Son usados en circuitos de baja potencia. Incluyen relevadores de tiempo cuyos contactos abren o cierran después de un tiempo determinado, un tiempo medido después de que la bobina ha sido energizada.

d) Luces Pilotos.

Indica el estado de encendido/apagado de un componente remoto en sistemas de control.

Figura 80
Luces pilotos de una estación pulsadora.

e) Interruptores límites y especiales.

Son dispositivos de baja potencia de acción con levas que abren o cierran un contacto, dependiendo de una parte mecánica. Otros interruptores límite son sensitivos a la presión, temperatura, nivel de líquido, dirección de rotación, etc.

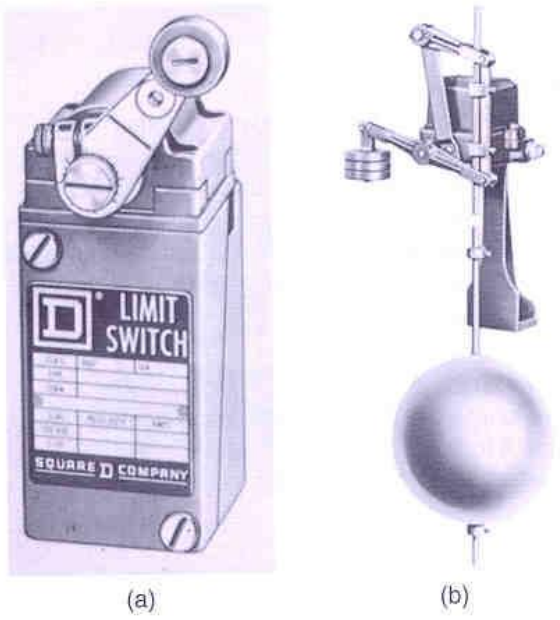


Figura 81
a) Interruptor de final de carrera, b) Interruptor de nivel de líquido.

f) Transformador de control.

Son usados exclusivamente para alimentar el sistema de control de equipos eléctricos de maniobra.

Figura 82
Transformador de control Primario: 380/460VAC, 50/60Hz. Secundario 120V y 24V.

Pueden tener una o varias bobinas secundarias y proporcionan las tensiones necesarias para el funcionamiento de control de tableros, celdas, etc. Incorpora un fusible que corta su circuito primario cuando el transformador alcanza una temperatura excesiva, evitando que éste se queme, con la emisión de humos y gases que conlleva el riesgo de incendio.

g) Regletas de conexión.

Es habitual en tableros, celdas, circuitos de control, la utilización de regletas o bornes de conexión entre dos conductores. Por ejemplo, para empalme entre cables del interior del tablero y los provenientes del exterior.

Figura 83
Regleta con 10 bornes de conexiones.

h) Sensores de seguridad.

Son ampliamente usados en sistemas de control y operación de correas, puertas, maquinas herramientas, etc. Ya sea para señalización, control u operación.

Figura 84
Tipos de sensores de seguridad.

i) Interruptores termomagnéticos de control.

Un interruptor magnetotérmico, interruptor termo magnético o llave térmica, es un dispositivo capaz de interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando ésta sobrepasa ciertos valores máximos. Su funcionamiento se basa en dos de los efectos producidos por la circulación de corriente eléctrica en un circuito: el magnético y el térmico (efecto Joule). El dispositivo consta, por tanto, de dos partes, un electroimán y una lámina bimetálica, conectadas en serie y por las que circula la corriente que va hacia la carga.

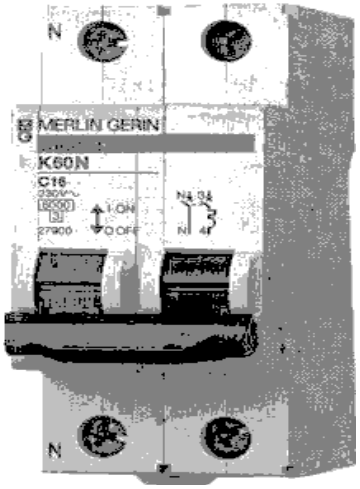


Figura 85
Interruptores magnetotérmicos.

j) Cables de fuerza y control.

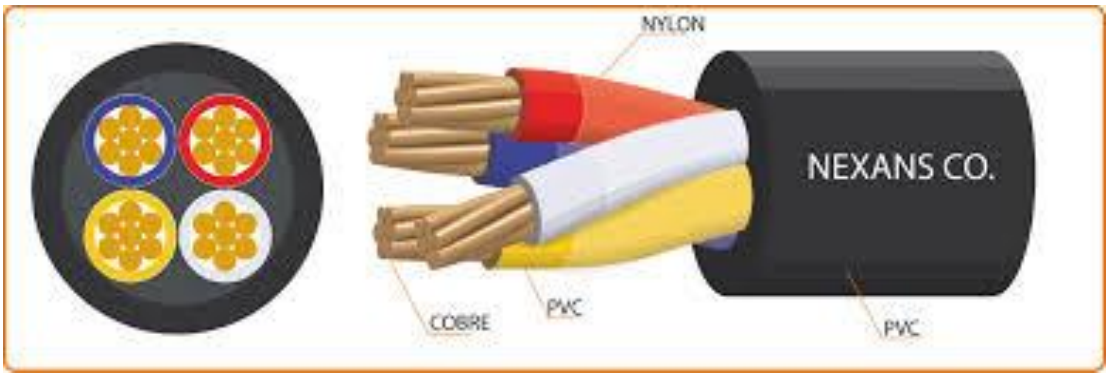


Figura 86
Cables de fuerza.

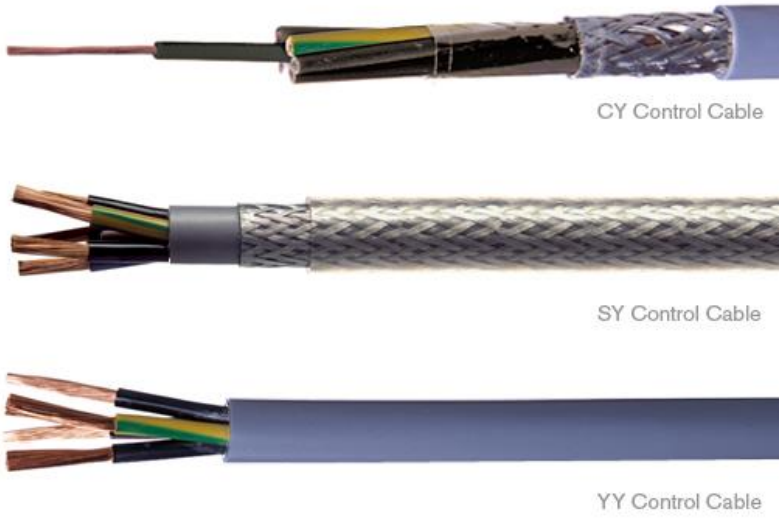


Figura 87
Cables de control e instrumentación.

Actividad N°3

Introducción a la actividad
La siguiente actividad está diseñada para que el participante tenga un primario conocimiento de las celdas eléctricas en baja, media y alta tensión, métodos de seguridad para su retiro y manipulación, e instalación, operación, y mantención de ellas.

Estrategias metodológicas para el instructor

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos utilizados para promover el aprendizaje a través de las actividades.

Explicación demostrativa vía plataforma web.	
Explicación demostrativa en aula.	√
Recurso audiovisual.	
Propuestas de situaciones problemáticas.	√
Formulación de preguntas.	√

Identificar en celdas de media y alta tensión componentes relacionados con maniobra, control, señalización y protecciones como: Interruptores de poder, partidores magnéticos y de contactos al vacío, luces pilotos, fusiblesciones.

Objetivos del aprendizaje
- Conocer y estudiar celdas de media y alta tensión
- Conocer funcionamiento de una celda de corte, operando un interruptor de poder mediante estación pulsadora incorporado.

Descripción de la Actividad
El instructor podrá realizar estas actividades en grupos, en pares o individualmente. Solicitará a los participantes que observen y cumplan con todas las medidas de seguridad para la tarea.

Solicitará a los participantes que realicen copia de la placa de datos de las celdas de baja, media y alta tensión, e incluir todos sus componentes.. Este análisis debe quedar reflejado en un informe técnico para que el instructor lo evalúe.

Materiales y Recursos

- Celdas de media y alta tensión.
- Partidores magnéticos y contactos al vacío.
- Amperímetro de tenazas.
- Micro óhmetro.
- Tester con escala de 400Vac.
- Set de herramientas como destornilladores, y alicates.
- Lab – Volt o similar.
- Extensiones eléctricas con enchufes hembra macho monofásicos y trifásicos.´
- Cables con pinzas terminales, apto para 400Vac.

Seguridad:

En todas las actividades de taller es necesario recordar los siguientes aspectos de seguridad:

- Uso obligatorio de implementos personales de seguridad dentro de taller**:**
    - Casco
    - Lente de seguridad
    - Zapatos de seguridad para electricista
    - Guantes de cabritilla
    - Chaleco reflectante
    - Protector auditivo. Si aplica.
- Identificar riesgos asociados a la trabajo a realizar.
- Consultar al instructor a cargo respecto a cualquier duda
- Al finalizar el taller dejar todo limpio y ordenado.
- Trabajar en ambiente ventilado.
-

Tabla Nº 1
Confeccionar tabla con datos solicitados: Placa de datos de celdas de baja tensión, celdas de media tensión, celdas de alta tensión.

Una vez tomado los datos de las celdas, se harán pruebas de conexión y desconexión de partidores magnéticos con contacto al aire y al vacío, mediante operación de sus accionamientos.
Con un micro óhmetro se harán mediciones de resistencia de los contactos al cierre. Se hará un registro de ello e irá en Informe.

Antecedentes aportados por instructor:

Circuito de control del partidor mag.

Descripción de funcionamiento de partidores magnéticos de contactos al aire y de contactos al vacío en simulación.

Será parte del informe describir el funcionamiento de los partidores magnéticos de ambos tipos de contactos.

Cierre y Conclusiones

a) Los participantes, según las hojas de datos de las celdas disponibles, señalarán a que voltajes de funcionamiento corresponden. Aprenderán a diferencia el aislamiento de cada una (baja, media y alta tensión).
b) Comprenderá al operar un partidor magnético con contactos al aire y otro de contactos al vacío el desgaste por arco que se produce en cada uno y concluirá porqué es mejor el segundo (contacto al vacío).

Consejo Minero
Dirección: Apoquindo 3500, Piso 7, Las Condes, Santiago.
Teléfono: (562) 2347 2200
www.ccm.cl

AngloAmerican

ANTOFAGASTA MINERALS

BARRICK

bhpbilliton
resourcing the future

CODELCO
Orgullo de Todos

COLLAHUASI

FREEPORT-MCMORAN COPPER & GOLD

GLENCORE

KGHM
POLSKA MIEDŹ S.A.

LUMINA
COPPER CHILE

Teck

YAMANAGOLD