UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO

DISEÑO DE MATERIAL DIDACTICO PARA ELECTRONICA INDUSTRIAL Y DE POTENCIA

TESIS
EN OPCION AL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA
ELECTRICA
CON ESPECIALIDAD EN CONTROL

QUE PRESENTA
ING. ANTONIO RODRIGUEZ GARCIA

CD. UNIVERSITARIA DICIEMBRE DE 2000

TM
Z5853
.M2
FIME
2000
R62743

DISEÑO DE MATERIAL DIDACTICO PARA ELECTRONICA INDUSTRIAL Y DE POTENCIA

A. R. G.

1020136370

m

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO

DISEÑO DE MATERIAL DIDACTICO PARA ELECTRONICA INDUSTRIAL Y DE POTENCIA

T E S I S
EN OPCION AL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA
ELECTRICA
CON ESPECIALIDAD EN CONTROL

QUE PRESENTA
ING. ANTONIO RODRIGUEZ GARCIA

CD. UNIVERSITARIA DICIEMBRE DE 2000

0140-84660

TM
Z5853
.M2
FIME
2000
R62743

FONDO
TESIS

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO

DISEÑO DE MATERIAL DIDACTICO PARA ELECTRONICA INDUSTRIAL Y DE POTENCIA

T E S I S
EN OPCION AL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA
ELECTRICA
CON ESPECIALIDAD EN CONTROL

QUE PRESENTA
ING. ANTONIO RODRIGUEZ GARCIA

CD. UNIVERSITARIA DICIEMBRE DE 2000

CAPILLA ALFONSINA
FONDO
TESIS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POST-GRADO

Los miembros del comité de tesis recomendamos que la tesis **"Diseño de material didáctico para Electrónica Industrial y de Potencia "**, realizada por el Ingeniero Antonio Rodríguez García, matricula 1041166 sea aceptada para su defensa como opción al grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica con especialidad en Control.

El Comité de Tesis

Asesor
M. C. Guadalupe Cantú Garza

Coasesor
M. C. Sergio Martínez Luna

Coasesor
M. C. Leopoldo Rene Villarreal Jiménez

Vo.Bo.
M. C. Roberto Villarreal Garza
División de Estudios de Post-grado

San Nicolás de los Garza, N.L. Diciembre del 2000

PRÓLOGO

El presente estudio bibliográfico y de campo, se pone a disposición para facilitar el trabajo docente, ya que es una herramienta de ayuda a la que pueden recurrir maestros de recién ingreso o las personas que no disponen de fuentes de información para documentarse en: tareas, proyectos, presentaciones, revistas, direcciones, simulaciones, etcétera, en el área de la Electrónica de Potencia.

En el capítulo uno, primero se realiza un planteamiento del problema a resolver y los procedimientos a seguir, para después pasar al capítulo dos, donde se presenta un condensado de las transparencias en que nos apoyaremos para cubrir los temas del curso, en el que se anexan conforme se avanza las consideraciones de cálculo, así como problemas resueltos para que se disponga en clase de un tiempo mayor para contestar las dudas que se presenten. En el capítulo tres, analizamos las aplicaciones típicas de la electrónica de potencia, en la que como son: pulsadores, interruptores estáticos, inversores del tipo PWM, fuentes de poder y propulsores de corriente alterna o directa, aunque este último tema se analizará en forma muy completa en la siguiente clase seriada que corresponde a Control Electrónico de Motores. En el capítulo cuatro se presenta el material que se dispondrá para clase como son: problemas y preguntas resueltos, clasificación de proyectos, suscripciones a revistas bien sea por correo o a través de Internet, circuitos típicos ya ensamblados para comprobación de cálculos, programas obtenidos para simulación de algunos circuitos para utilizar diferentes paquetes de programación tales como: Mat-Lab, Pspice o C ++ y direcciones de Internet para obtener una gran cantidad de información. Toda esta información se encuentra disponible en disco compacto, además de otras documentaciones que considero serán de gran utilidad con el pequeño inconveniente de que está en inglés, ¿pero qué información actualizada no está en este idioma?.

A continuación quiero hacer patente mi agradecimiento a quienes me apoyaron de una manera u otra para llegar a concluir con este trabajo. Todas aquellas personas como son: amigos, compañeros de trabajo, familiares y sin olvidar a mis maestros que hacen tanto esfuerzo por apoyarnos.

INDICE

SÍNTESIS 7

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema 8
1.2 Objetivo de la tesis 8
1.3 Hipótesis 8
1.4 Justificando temas de tesis 8
1.5 Límites del estudio 9
1.6 Metodología a emplear 9
1.7 Revisión de bibliografía 9

2. MATERIAL PARA CLASES

2.1 Antecedentes

2.1.1 Historia de la Electrónica de Potencia 12
2.1.2 Dispositivos semiconductores de potencia 13
2.1.3 Operación y aplicaciones de los dispositivos de potencia 15

2.2 Diodos de potencia

2.2.1 Antecedentes 22
2.2.2 Características de los diodos 22
2.2.3 Clasificación de diodos 24
2.2.4 Diodos conectados en serie o en paralelo 27

2.3 Circuitos con diodos y rectificación

2.3.1 Antecedentes 30
2.3.2 Diodos con cargas RC, RL, LC y RLC 30
2.3.3 Diodos de marcha libre 36
2.3.4 Parámetros de rendimiento 37

2.3.5 Rectificadores monofásicos de onda completa 39
2.3.6 Rectificador trifásico con carga RL 40
2-3.7 Efectos de las cargas RL y filtros 41

2.4 Tiristores y circuitos de activación

2.4.1 Antecedentes 44
2.4.2 Características 44
2.4.3 Tipos de activación y circuitos 46
2.4.4 Tiristores serie o paralelo y protecciones contra 49
2.4.5 Otros Tiristores similares al SCR 51
2.4.6 Elementos que generan una señal para activar 52

2.5 Convertidores de fase

2.5.1 Antecedentes 56
2.5.2 Clasificación y consideraciones 56
2.5.3 Otros Tiristores y circuitos de control 60

2.6 Pulsadores o Convertidores de CD a CD.

2.6.1 Antecedentes 63
2.6.2 Operación y clasificación 66

3. APLICACIONES INDUSTRIALES

3.1 Interruptores estáticos 69

3.2 Propulsores de corriente alterna 70

3.3 Propulsores de corriente directa 71

3.4 Fuentes de poder 73

4. MATERIAL DE APOYO

4.1 Preguntas y Problemas resueltos 74

4.2 Direcciones investigadas en Internet 149

4.3 Simulación 151

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones 167

5.2 Recomendaciones 168

- Bibliografía 169
- Listado de tablas 170
- Listado de figuras 171
- Resumen autobiográfico 181

SÍNTESIS

Este trabajo está destinado a estandarizar el material para la impartición de las clases de electrónica industrial y/o de potencia, debido a la gran cantidad de material existente en éstas materias.

En el capitulo 1 se dá una explicación *grosso modo* de los objetivos que éste trabajo trata de cubrir, así mismo como su justificación para realizarse.

Dentro del capitulo 2 se empieza con el material que se va a utilizar para la impartición de clases, empezando con los antecedentes de la electrónica de potencia, donde nos muestra la evolución por la que ha pasado la electrónica de potencia; los diferentes tipos de dispositivos que existen, así como unas diapositivas de las mismas; la operación y aplicaciones de los dispositivos que existen y diapositivas que muestran el símbolo, el tipo de señal que genera y sus aplicaciones.

Después se profundiza más en lo que son los diodos de potencia; mostrándonos sus características y clasificación, incluyendo diapositivas y problemas propuestos, aparte de aplicaciones con diodos conectados en serie o paralelo con problemas propuestos sobre este tema.

Otro tema que se aborda dentro de este capítulo son los diodos rectificados; aquí nos muestra a los diodos con carga, los diodos trabajando en marcha libre, los parámetros de rendimiento, la rectificación de media onda y onda completa con carga resistiva con CA y CA trifásica, los efectos de las cargas LC y filtros, con diapositivas con sus características y problemas ejemplo.

Dentro de este capitulo también se ve lo que son los Tiristores; aquí se ven las características, los tipos de activación y circuitos de activación de los SCR, en serie y paralelo y su protección entre transitorios, otros tiristores similares al SCR y elementos que generan señal para la activación de los tiristores; aquí se incluyen diapositivas de cada uno de estos temas relacionados para una mejor compresión de este tema.

Más adelante se toma el tema de los convertidores; en este tema se ve lo que son la clasificación y consideraciones, otros tiristores y circuitos de control; en este tema se muestran diapositivas con las características de los convertidores.

El tema final del capitulo 2 son los troceadores o convertidores de CD a CD; la finalidad de estos es convertir el voltaje ya sea elevando o disminuyéndolo, y la operación y clasificación de estos, como apoyo se utilizan diapositivas de los diferentes tipos de troceadores.

En el capitulo 3 nos habla de lo que son las aplicaciones industriales, aquí encontramos los interruptores estáticos, los propulsores de corriente directa, las fuentes de poder y propulsores de corriente alterna, con diapositivas de los circuitos y sus características.

Dentro del capitulo 4 encontramos lo que es material de apoyo, que es una base de datos de problemas y preguntas, aparte de referencias bibliográficas de paginas en la internet y programas para simulación en C++, MATLAB y PSPICE.

INTRODUCCIÓN

1.1 Problema a resolver

Diferencias en materiales de apoyo para la impartición de la cátedra, no se dispone de información y de material recopilado. Los maestros de reciente ingreso no disponen de una base de información.

1.2 Objetivo

La elaboración del material de apoyo para electrónica industrial y/o de potencia de diferentes tipos, como son bibliografía de libros, circuitos electrónicos y revistas, direcciones de Internet, programas para operar con software de simulación en algunos diseños de proyectos académicos.

1.3 Hipótesis

En la actualidad se presentan algunas diferencias en el material de apoyo utilizado para la cátedra ya sea porque no se cuenta con información o de algunos otros recursos necesarios para esto.

1.4 Justificación

Actualmente los instructores no disponen del mismo material de apoyo para la impartición de la cátedra en la materia electrónica de potencia y/o industrial, lo cual hace que ésta no sea uniforme en todos los grupos de clase.

Una solución a esto es el **Diseño de material didáctico para Electrónica Industrial y de Potencia**, que permitirá uniformizar los conocimientos impartidos a nuestros alumnos utilizando un mismo material de apoyo.

1.5 Límites

Se diseñará material didáctico para Electrónica Industrial y de Potencia, listado de programas de software, diseño de circuitos electrónicos, listado de textos de consulta, suscripciones posibles de revistas de la especialidad y direcciones de Internet para consulta o investigación.

1.6 Metodología

La metodología que se propone llevar es:

1. Se adquirirá toda la información relacionada con el curso de electrónica industrial y/o de potencia; tal como la lista de textos de consulta de la especialidad, el software, la información de las revistas en las que se puede suscribir y las direcciones de Internet para consulta o investigaciones.

2. Se seleccionará el material adquirido, organizándolo de acuerdo al programa del curso, para posteriormente clasificarlo y adecuarlo.

3. Desarrollo y prueba de simulaciones que están consideradas dentro del programa de los cursos.

4. Desarrollo de la tesis de acuerdo a toda la información recopilada y validada.

1.7 Revisión Bibliográfica

El texto **tiristores y triacs**, cuenta con la información necesaria para comprender la operación y algunas aplicaciones de los triacs y los SCR, pero no cuenta con los cálculos tan detallados como en otros textos.

El texto **Electrónica Industrial Moderna** comprende gran cantidad de temas de los cuales buena parte de estos no se ven con la profundidad necesaria para un buen análisis de diseño, pero si se cuenta con los suficientes datos para desarrollar los proyectos que plantea el texto.

El texto **Electrónica de Potencia Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones** es un buen texto y tiene buenos cálculos, y hace algunos análisis de diseño, pero casi nunca plantea un circuito completo, mas que solo a bloques y esto, considero que limita mucho la comprensión del mismo.

El texto **Introduction to Solid State Power Electronics** presenta la información de una forma muy básica pero comprensible lo cual permite un claro entendimiento de los semiconductores de potencia, su deficiencia consiste en que cuenta con pocos cálculos y circuitos de aplicación.

El texto **Motorola Thyristors Data** como su titulo lo indica es información de los componentes de potencia, pero también cuenta con circuitos de aplicación claramente explicados y con datos y cálculos mínimos necesarios para poder reproducir los circuitos que ahí explica.

El texto **Thyristors Product Catalog** presenta la información mínima para comprender los elementos de potencia SCR y triacs, así como algunos elementos para la activación de los dispositivos de potencia, otro de los puntos que trata este texto es la operación y manejo de equipo con procedimientos de seguridad para evitar accidentes.

El texto **Adjustable Speed Drives AC y DC** presenta la información de selección, operación, aplicación e información técnica, esta ultima de forma muy ordenada y completa de la manera en que funciona los controladores de los motores de CA y CD.

El texto **Fundamentals of Power Electronics** nos da un claro panorama de los pulsadores o troceadores o choppers o reguladores de CD y presenta un análisis muy detallado del principio de operación, su clasificación, calculo de protecciones, calculo de diseño y consideraciones para una buena aplicación, se considera un libro muy completo en esta área.

El texto **Integrated Solid State Devices and Circuits** plantea muy claros objetivos a cubrir para la comprensión de la electrónica de componentes, lo cual se considera que deberían tener los alumnos antes de tomar el curso de electrónica de potencia o industrial.

En el diseño del material didáctico se tomó en cuenta la información de los diferentes textos tomando las ideas del orden que debería llevar y ayudan en gran medida a comprender un poco más cada uno de los textos de la bibliografía, los cuales al inicio de esta revisión bibliográfica se explicó cada uno de sus puntos más importantes y a continuación explico en qué me ayudo cada uno de los textos:

- Tiristores y triacs me ayudo a una comprensión básica y análisis de diferentes circuitos básicos.
- Electrónica industrial moderna me permitió comprender aplicaciones básicas, cálculos básicos y desarrollo de proyectos funcionales.

- Electrónica de Potencia Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones es el libro de texto que llevamos en clase, el cual cuenta con gran cantidad de información para cálculos diversos y algunos análisis.
- Introduction to Solid State Power Electronics las ideas que se tomaron de aquí es la forma de explicar en forma sencilla y bien definida.
- Motorola Thyristors Data nos permite tener un mayor análisis en los circuitos y en las hojas de datos de los diferentes tipos de componentes.
- Thyristors Product Catalog permite hacer análisis de circuitos sencillos, pero no por ello menos importante para una buena comprensión de la electrónica de potencia.
- Adjustable Speed Drives AC y DC me permitió comprender mejor los pulsadores y todo el análisis, calculo y selección de protecciones en estos elementos para poder seleccionar el material adecuado para este trabajo.
- Fundamentals of Power Electronics este texto tiene la ventaja de disponer de lo necesario para ser utilizado como libro de consulta de maestros o de alumnos para apoyo de la clase y también tome ideas de este para el diseño del material didáctico.

2. TEMAS DEL CURSO

2.1 Antecedentes

La potencia eléctrica durante mucho tiempo se controló con diferentes dispositivos, pero las tendencias a tener una mayor eficiencia nos ha llevado por diferentes caminos que nos han permitido obtenerla a través de la **Electrónica de Potencia**, que en la actualidad la mayor parte de estos componentes tienden a ser de estado sólido, pero sin dejar de utilizar los elementos básicos de la electrónica tales como resistencia, capacitancia e inductancia, que es necesario que se comprendan completamente para una buena implementación de los sistemas que se desarrollen.

La electrónica de potencia siempre va en conjunto de tres áreas cómo son: los elementos de potencia, la electrónica de dispositivos y el control, los cuales se encuentran interrelacionados. Un punto que siempre deberemos recordar es que estos dispositivos tienen una sección donde manejan muy baja potencia alrededor de miliwats o escasos wats que corresponde a la parte de control y otra donde manejan alta potencia que por lo regular es de miles de wats a millones de wats, que corresponde a la parte de potencia

2.1.1 Historia de la electrónica de potencia

La historia podemos comentarla de diferentes puntos de vista pero al analizarla desde el punto de vista cronológico y remarcando los avances es posible ubicarla mejor. Así es que empieza a inicios del siglo pasado cuando se empieza a rectificar corriente eléctrica a través del arco de mercurio, después a mediados del siglo veinte se aplican para el control de la energía: el rectificador de tubo al alto vacío de rejilla controlada, el ignitrón, el fanotrón y tiratrón. Aunque en el año de 1948 los investigadores de Bell Telephone Laboratories inventan el transistor no es hasta 1956 cuando desarrollan el transistor PNPN que se definió como tiristor o rectificador controlado de silicio " SCR " y General Electric inicia su producción comercialmente. Después de ésto se han desarrollado una gran variedad de dispositivos con características mejores cada día y también la electrónica de componentes o dispositivos. En aquellos años el control se encontraba frenado por no disponer de equipos que pudieran procesar gran cantidad de funciones así es que al disponerse posteriormente de todas estas capacidades en los últimos treinta años del siglo veinte. En la siguiente figura se muestra en forma gráfica estos avances.

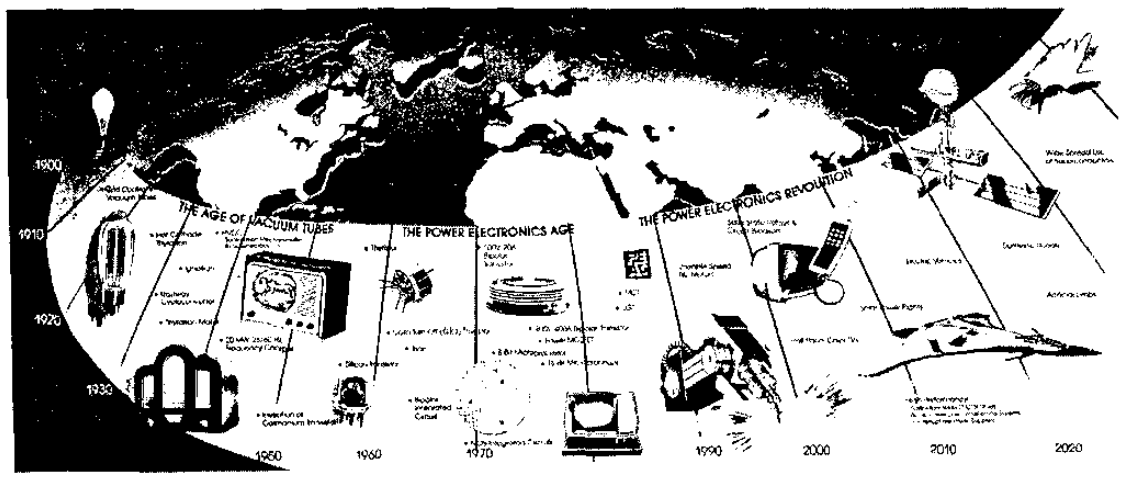


Figura 2.1.1 Historia de la electrónica de Potencia

2.1.2 Dispositivos semiconductores de potencia

Podríamos hacer diferentes clasificaciones para comprender y ubicar rápidamente las funciones de los elementos de potencia, pero esto se les puede dejar de tarea a los alumnos para que practiquen y obtengan una mejor comprensión de cada uno de los elementos de potencia. Por lo tanto, se explicará las características de cada uno de los elementos de potencia tales como: potencia que pueden manejar, niveles de corriente, niveles de voltaje, niveles de frecuencia, resistencia en estado de conducción de los dispositivos, tipo de señal que reciben en su compuerta y el tipo de corriente si es alterna o directa la que pueden manejar o ambas, entre ánodo-cátodo o colector-emisor o drenador-surtidor dependiendo el tipo de componente que sea.

Las siguientes figuras son para mostrar que tipo de presentación tienen.

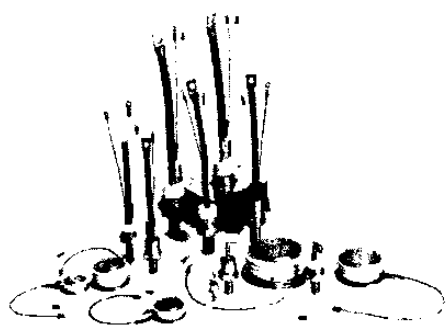


Figura 2.1.2 Tipos de SCRs

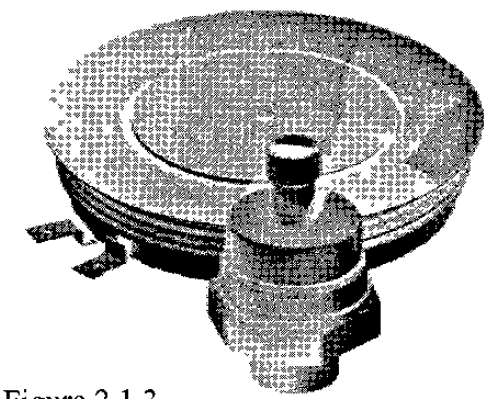


Figura 2.1.3 Tipo de SCR de Potencia

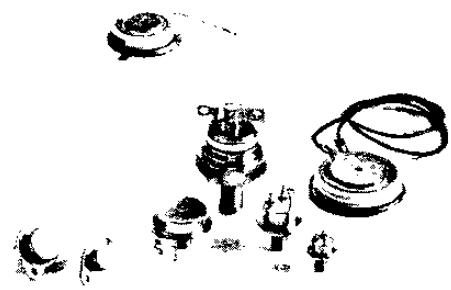
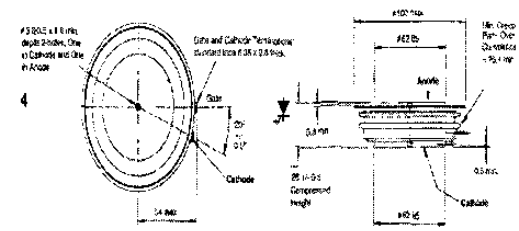


Figura 2.1.4 Otros Tipos



Dimensiones 1

Figura 2.1.5

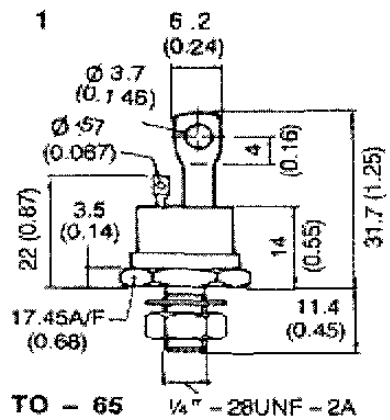


Figura 2.1.6 Dimensiones 2

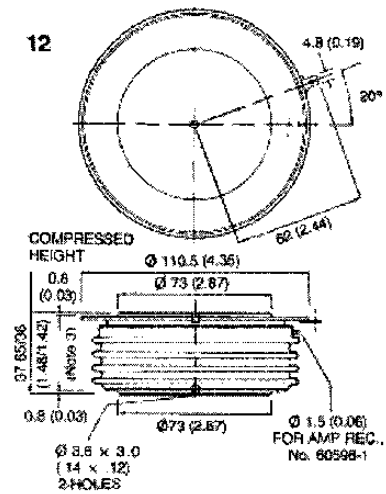


Figura 2.1.7 Dimensiones 3

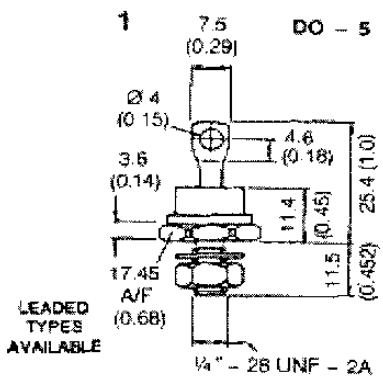


Figura 2.1.8 Dimensiones 4

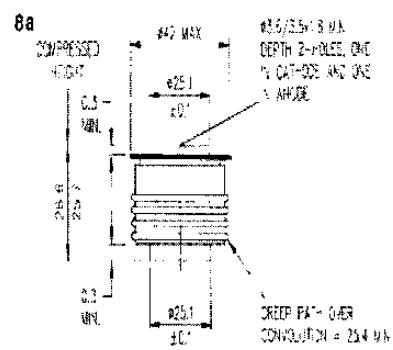


Figura 2.1.9 Dimensiones 5

2.1.3 Operación y aplicaciones de los dispositivos de potencia

Los dispositivos de potencia operan de diferentes formas y con diferentes tipos de señal, por lo que a continuación se muestran circuitos sencillos con sus curvas características de voltaje contra corriente de cada componente correspondientes para que se capte fácilmente su operación. Aquí se agrupan los componentes de potencia en función del tipo de corriente que manejan ya sea alterna o directa.

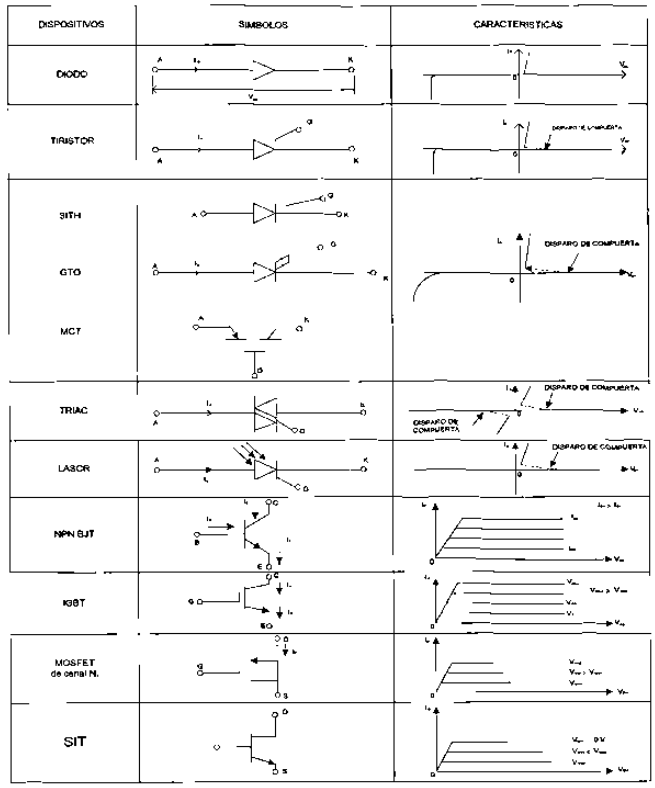


Tabla 2.1.10 Elementos

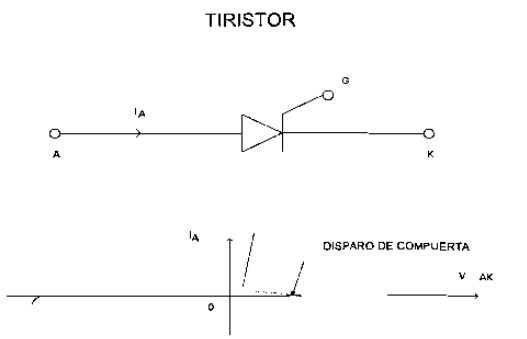


Figura 2.1.11 Tirístor

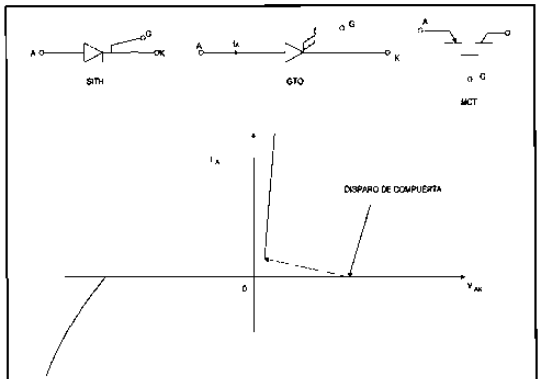


Figura 2.1.12 GTO

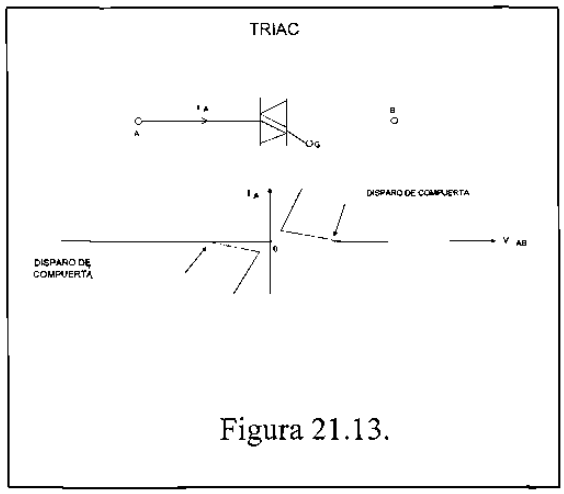


Figura 21.13.

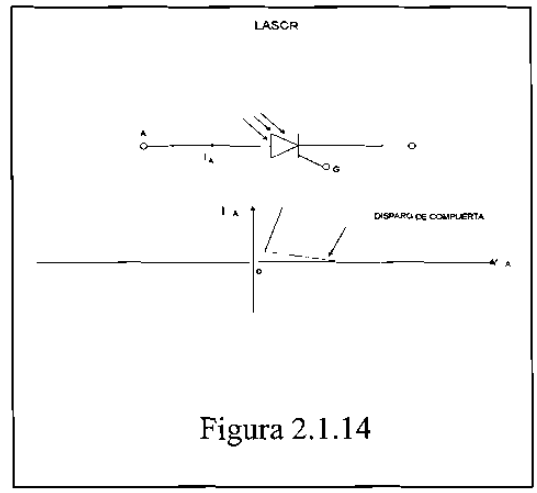


Figura 2.1.14

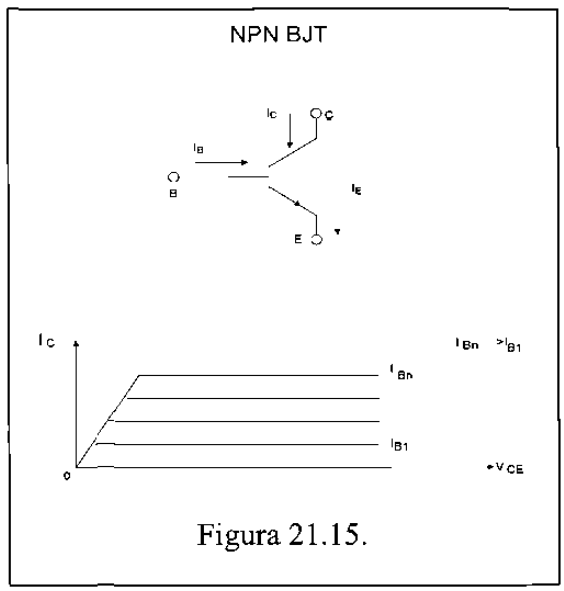


Figura 21.15.

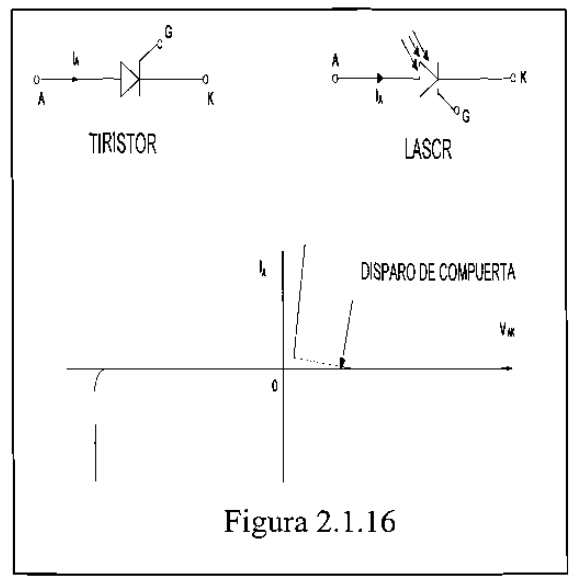


Figura 2.1.16

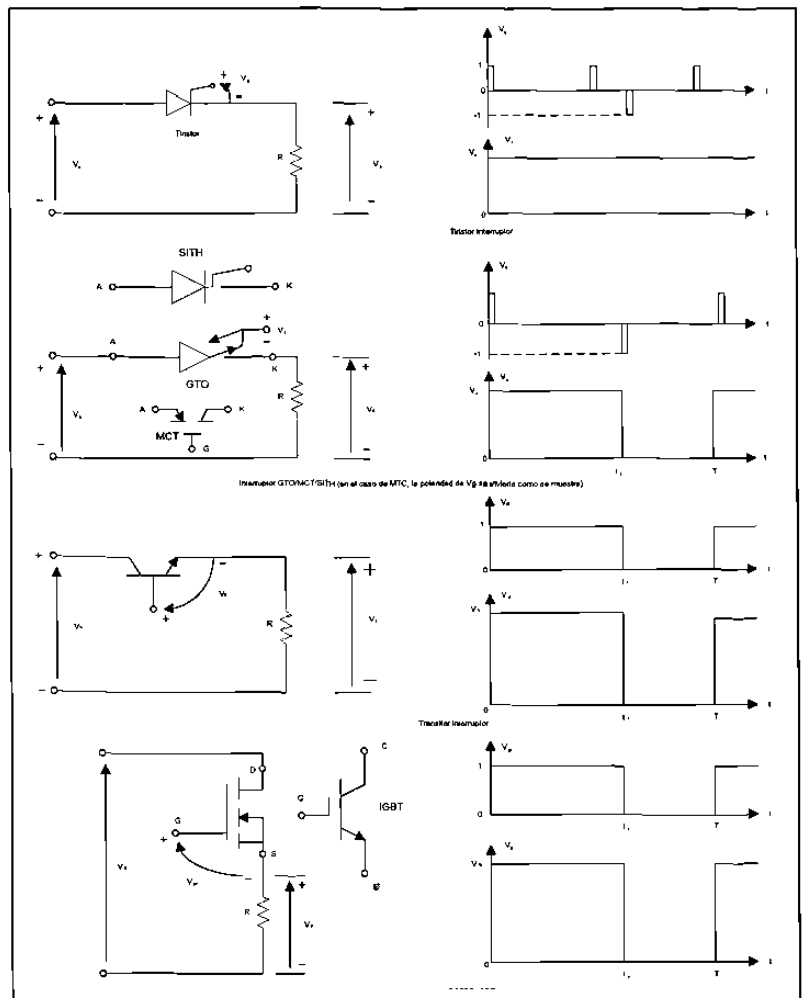


Figura 2.1.17 Clasificación de elementos de potencia

Las aplicaciones dentro de la vida diaria en las diferentes áreas de utilización como son: la industrial, la comercial, doméstica, etcétera. Podemos apreciarlo en el siguiente listado y gráfico.

Tabla 2.1.18

Aplicaciones

Contactores de estado sólido
Abre puertas eléctricos
Acondicionamiento del aire
Alarmas
Alarmas contra robo
Amplificadores de audio
Arranadores para turbinas de gas
Atenuadores
Atenuadores luminosos
Calderas
Calefacción por inducción
Cargador de batería
Controladores luminosos
Charolas para calentar alimentos
Cobijas eléctricas
Computadoras
Conductores
Controles de calor
Controles lineales de motor de
Corriente directa de alto voltaje (HVDC)
Cirsoles
Electrodepósito electromecánico
Electrodomésticos
Electroimanes
Elevadores
Estibadores
Excitadores de generador
Exhibidores
Fuentes de alimentación para aeronaves
Fuentes de alimentación para láser
Grabaciones magnéticas
Grúas y tornos
Herramientas eléctricas
Herramientas manuales de potencia
Hornos de cemento
Ignición electrónica
Iluminación de alta frecuencia
Juegos
Licuadoras
Locomotoras
Mezcladores de alimento
Molinos
Precipitadores electrostáticos
Procesos químicos
Publicidad
Puertas de cochera automáticas
Pulsador
Relevadores de enganche
Secadoras de ropa
Secadoras eléctricas
Soplidores
Fuentes de alimentación para radar / sonar
Transito masivo
Minería
Control de hornos
Controles de motor
Circuitos de televisión
Fuentes de alimentación
Compensación de voltamperios
Perforación de pozos petroleros
Generadores ultrasónicos
Propulsores motores
Máquinas dispensadoras automáticas
Interruptores estáticos
Bombas y compresores
Fonógrafos
Fotocopiadoras
Controles de señales de tránsito
Transmisores de muy baja frecuencia
Deflectores de televisión
Trenes de laminación
Sistemas de seguridad
Trenes miniatura
Amplificadores de radio frecuencia
Fuentes de alimentación de energía solar
Relevadores estáticos
Controles de temperatura
Prensas de impresión
Balastras para lámpara de arco de mercurio
Fuentes de alimentación no interrumpibles
Soldadora
Material fotográfico
Lavadoras
Juguetes
Producción de papel
Sistemas servo
Trenes
Arranque de máquinas eléctricas
Proyectores de cine
Reguladores de voltaje
Fuentes de poder para aplicaciones
Esterilizadores
Máquinas de coser
Aniladores de partículas
Magnetos o electroimanes
Fibras sintéticas
Rulevadores de estado sólido
Aspiradoras de vacío
Transportadores de personas
Unidad superficial de riego
Barra de control de reactor nuclear
Reguladores

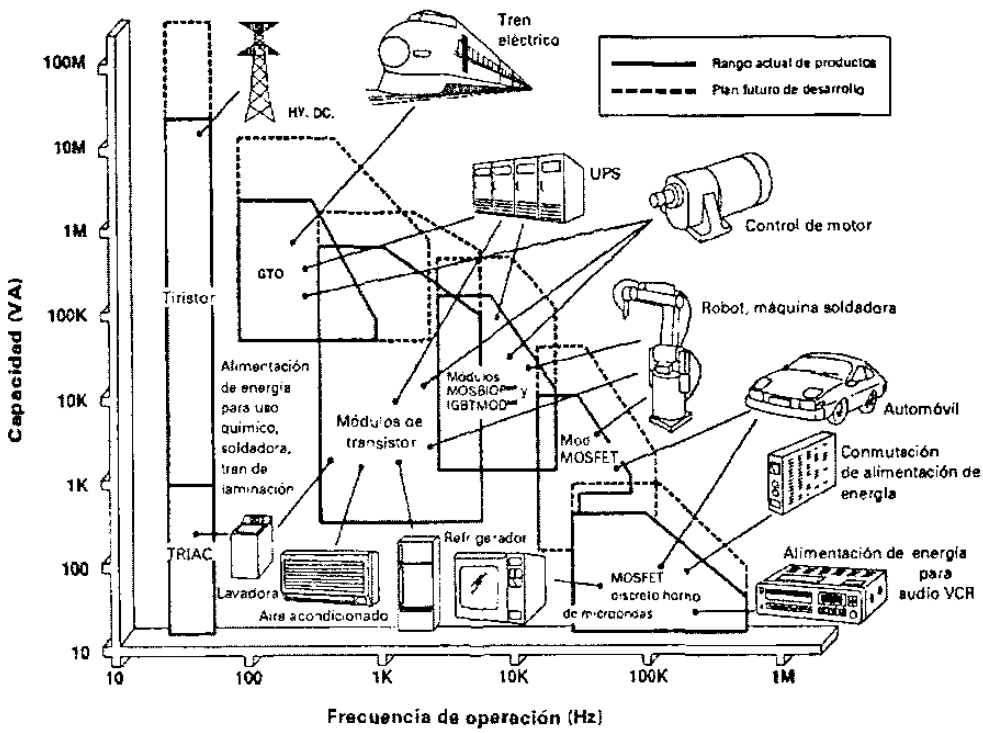


Figura 2.1.18-6 Aplicaciones de los dispositivos de potencia. (Cortesía de Powerex, Inc.)

Para el manejo de la energía eléctrica es necesario el acondicionamiento de la misma, por lo que es necesario la conversión de la potencia eléctrica de una forma a otra, ya sea de C.A. a CD o CD a CA. La conversión se logra con el switcheo correspondiente de los elementos de potencia y de acuerdo al circuito de conversión podemos clasificar parcialmente de la forma siguiente:

- Convertidores de CA-CD { Controlados / No controlados }
- Convertidores de CA-CA
- Convertidores de CD-CD
- Convertidores de CD-CA
- Interruptores estáticos

A continuación se presentan las filminas reducidas o figuras para acetatos que nos muestran los circuitos simplificados.

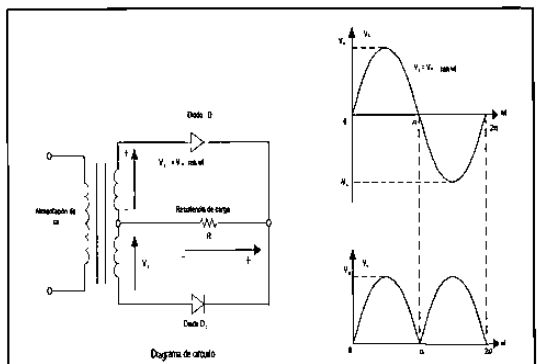


Figura 2.1.19 Aplicación 1

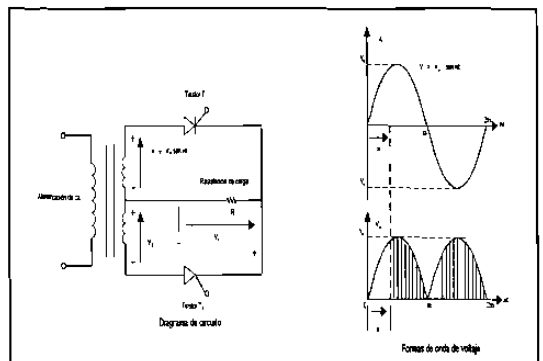


Figura 2.1.20 Aplicación 2

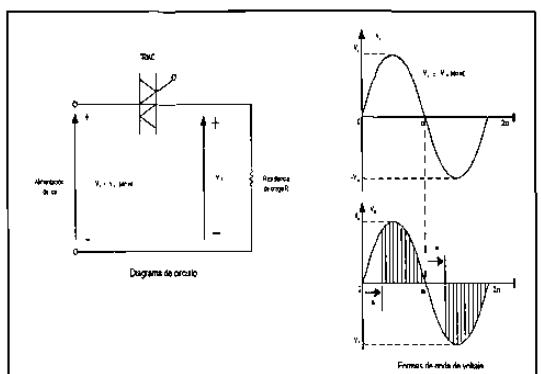


Figura 2.1.21 Aplicación 3

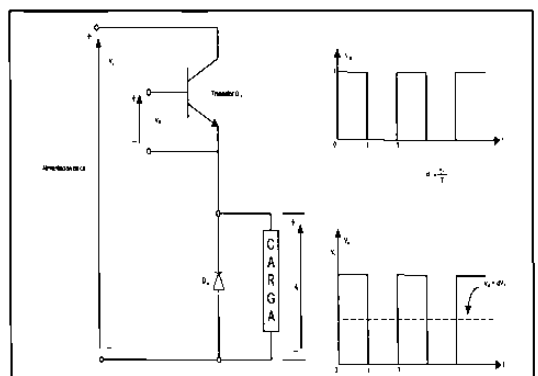


Figura 2.1.22 Aplicación 4

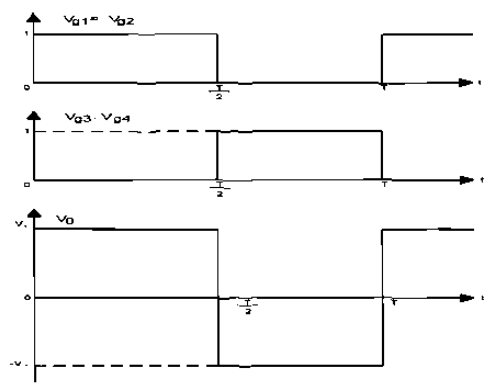


Figura 2.1.23 Forma onda

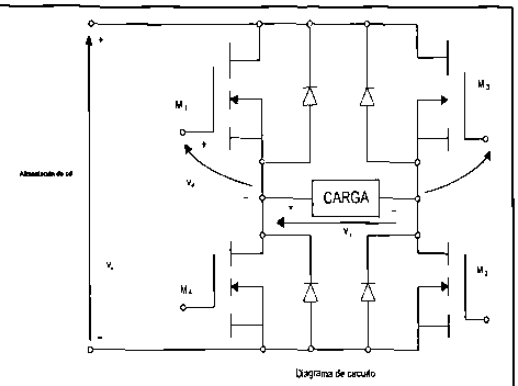


Figura 2.1.24 Aplicación 5

Ventajas y Desventajas de la aplicación de elementos de potencia en circuitos de switcheo. Así como presentan una serie de ventajas que nos ayudan a un mejor control de la potencia eléctrica tales como:

- Manejo de grandes cantidades de potencia
- Poco peso (ligero) y dimensiones
- Confiable (seguro)
- Gran rapidez en el apagado
- Necesita mínima potencia para el encendido
- No tiene partes móviles

También muestra a algunas desventajas de las que no debemos descuidar tales como:

- Caída de 1.5 volts en estado de encendido
- Limitación térmica debido a su dimensión
- Es necesario protegerlo contra transitorios
- Difícil de desactivar
- Generación e introducción de armónicos de corriente (I) o voltaje (V) en el sistema de alimentación y en la salida de los convertidores

Esto ocasiona una interferencia en diferentes equipos y para evitar estas interferencias es necesario aplicar filtros para eliminarlos.
A continuación se muestra un diagrama de bloques de un convertidor con algunas protecciones.

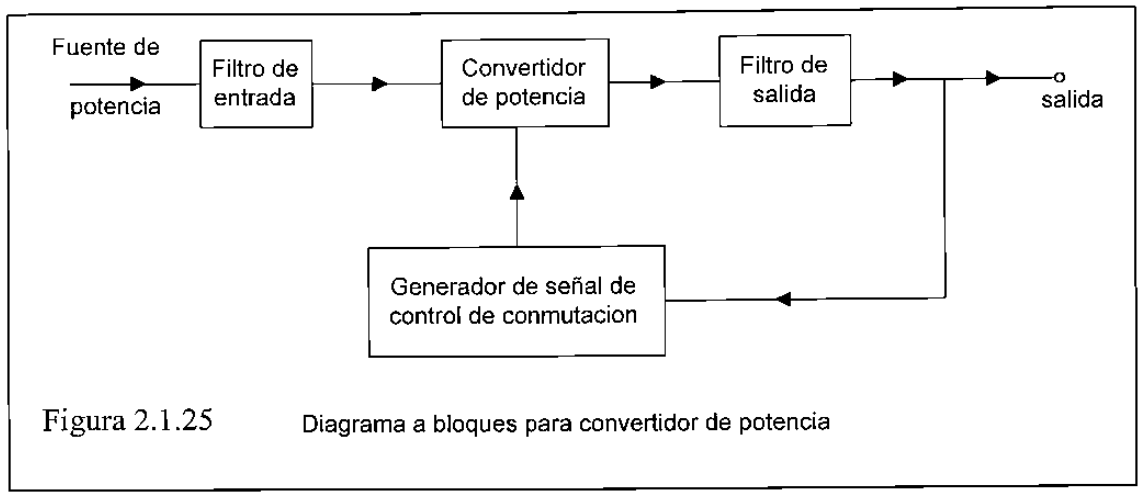


Figura 2.1.25 Diagrama a bloques para convertidor de potencia

2.2 Diodos de Potencia

2.2.1 Antecedentes

Los diodos de potencia tienden a cambiar el comportamiento en sus características o parámetros dependiendo en gran medida de la cantidad de corriente a manejar, por esta razón, hay mucha diferencia de las condiciones ideales con que realizamos nuestros cálculos; así que es conveniente tomar en cuenta las condiciones de cada sistema donde se trabaje y hay que detallar lo necesario, de acuerdo a la precisión que deseamos tener en nuestros cálculos.

Los diodos son aplicados en muy variados circuitos con funciones diferentes tales como: interruptores para rectificación, de marcha libre, en reguladores conmutados, en inversión de cargas en capacitores, transferencia de energía entre componentes de aislamiento de voltaje, retroalimentación de energía de la carga a la fuente de alimentación, etcétera.

2.2.2 Características de los diodos

Hay una gran variedad de parámetros que podremos analizar acerca de los diodos pero aquí veremos solo lo referente al efecto que tiene la temperatura en el componente o dispositivo, así también analizaremos las regiones de ruptura, polarización directa e inversa. A continuación se presentan los gráficos con que nos apoyaremos en estos temas de clase:

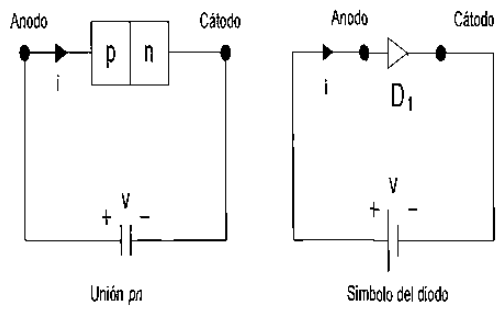


Figura 2.2.1 Símbolo diodo

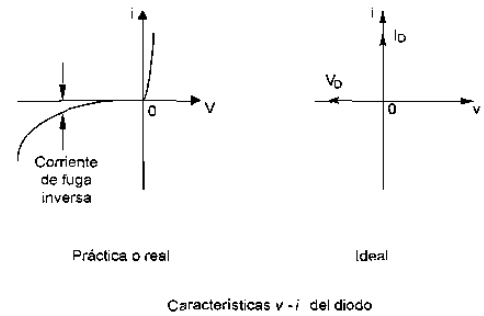


Figura 2.2.2 Característica v - i del diodo

Polarizacion directa de un diodo

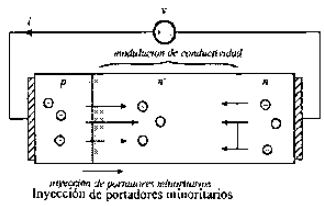


Figura 2.2.3

Diodos de potencia

Diodo de potencia bajo polarizacion inversa:

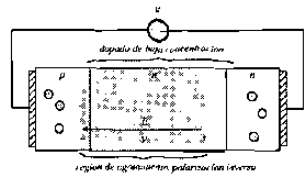


Figura 2.2.4

Forma de onda tipica de switcheo del diodo

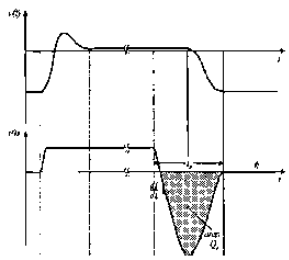


Figura 2.2.5

Tipos de diodos de potencia

Recuperacion estandar
- Tiempo de recuperacion no especificado, para 50/60Hz

Recuperacion Ultra-rapida
- Tiempo de recuperacion y carga especificado
- Para aplicaciones de canverticdores

Diodo schottky
- Dispositivo de portadores mayoritarios
- No tiene tiempo de recuperacion
- Modelo con caracteristicas de equilibrio i-v, en paralelo con la capacitancia de la region de agotamiento
- Restringido a voltajes bajos (pos pueden bloquear 100V o mas)

Figura 2.2.6

Caracterisiticas de algunos diodos rectificadores de potencia comercialesNumero de parte

Numero de par	Maximo Voltaje	Corriente promedio	V_F (Típico)	t_{rr} (máx)
Rectificador de recuperacion rapida				
1N3913	400V	30A	1.1V	400ns
SD453N25S20PC	2500V	400A	2.2V	20µs
Rectificador de recuperacion ultrarapida				
MUR815	150V	8A	0.975V	35ns
MURI860	600V	15A	1.2V	60ns
RHRU100120	1200V	100A	2.4V	60ns
Rectificador Schottky				
MBR6045L	30V	60A	0.48V	
44A70QC45	45V	440A	0.69V	
30CPQ150	150V	30A	1.39V	

Figura 2.2.7

Inspeccion a los dispositivos semiconductores de potencia

- Diodos de potencia
- MOSFETs de potencia
- Transistor de union bipolar (BJTs)
- Transistor de compuerta aislada (IGBTs)
- Tiristores (SCR, GTO, MCT)

- Resistencias vs. fallas por voltaje vs. tiempo de switcheo
- Mayoria y minoria de los dispositivos portadores

Figura 2.2.8

2.2.3 Clasificación de diodos

Como en cualquier fabricación de componentes o equipos, sabemos que a mayor calidad mayor costo, entonces, para tener una media óptima se tiene que prescindir de una muy alta calidad o de acuerdo al tipo de aplicación, rapidez de operación o capacidad de manejo de voltaje, para esto contamos con las siguientes gráficas en la cual presentamos únicamente la clasificación de los diodos y algunas gráficas.

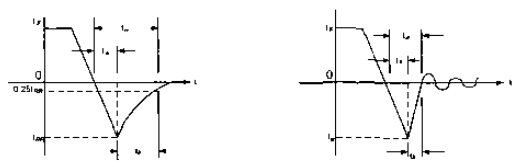


Figura 2.2.9 Tipo recuperación

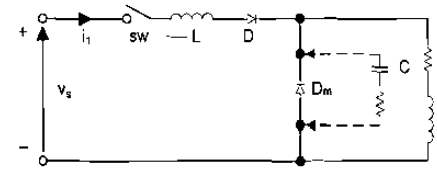


Figura 2.2.10 Protección 1

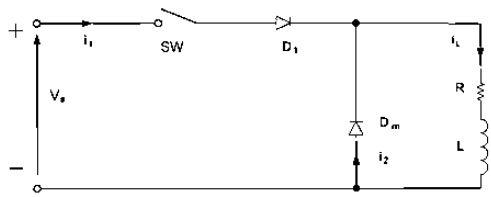


Figura 2.2.11 Protección 2

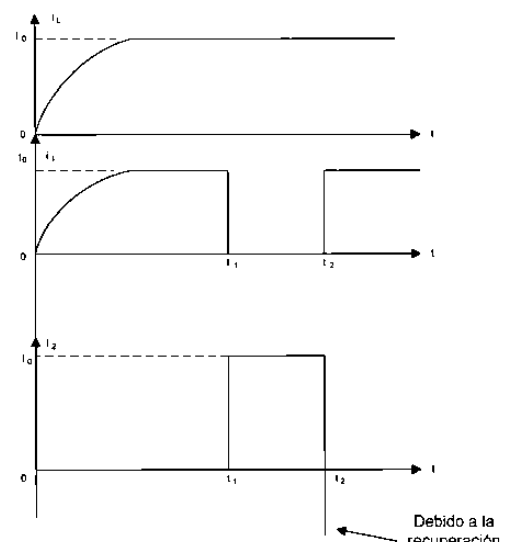


Figura 2.2.12 Forma onda a)

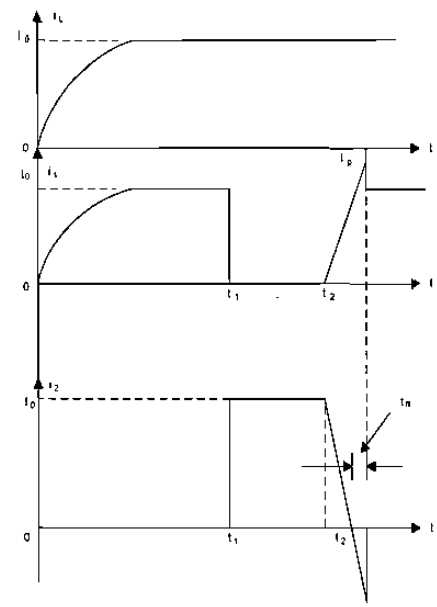


Figura 2.2.13 Forma onda b)

Problema 1

El tiempo de recuperación inversa de un diodo es trr=5μs, y la velocidad de reducción de la corriente del diodo es di/dt= 80 A/μs. Si el factor de suavidad es SF= 0.5, determine la carga de almacenamiento Qrr y la corriente inversa pico Irr.

trr=5 μs and di/dt = 80 A/μs

a) Ecuación (2.10) $trr = \sqrt{\frac{2QRR}{di/dt}}$

Q_{RR}= 0.5 (di/dt) trr^2 = 0.5 x 80x $5^2 x10^{-6}$ = 1000 μC

b) Ecuación (2.11) $I_{RR} = \sqrt{2QRR \frac{di}{dt}}$

$I_{RR} = \sqrt{2Q_{RR}\, di/dt} = \sqrt{2x1000x800} = 400$ A

Problema 2

Los valores medidos de un diodo a una temperatura de 25°C son V_{D1}= 1.0v a I_{D1}=50 A, V_{D2}=1.5V a I_{D2} = 600 A. Determine el coeficiente de emisión *n* y la corriente de fuga. V_T=25.8x10^{-3}mV

De la ecuación (2-3) despejamos el logaritmo natural (base e)

$$I_D = I_S (e^{\frac{V_T}{nV_T}} - 1)$$

$$\ln I_D = \ln I_S + \frac{V_D}{n V_T}$$

Después de la simplificación obtenemos el voltaje del diodo V_D el cual queda como:

$$V_D = n \quad V_T \ln\left(\frac{I_{D1}}{I_S}\right)$$ donde: n = factor de idealidad

Si la corriente del diodo I_{D1}, corresponde al voltaje de diodo V_{D2}, obtenemos:

$$V_{D1} = V_T \log\left(\frac{I_{D1}}{I_S} \right)$$

Si V_{D2} es similar al voltaje del diodo, este corresponde a la corriente del diodo I_{D2}, y obtenemos.

$$V_{D2} = nV_T \ln\left(\frac{I_{D2}}{I_S} \right)$$

Por lo tanto, la diferencia dentro del voltaje del diodo puede ser expresada por:

$$V_{D2} - V_{D1} = nV_T \ln\left(\frac{I_{D2}}{I_S} \right) - nV_T \ln\left(\frac{I_{D1}}{I_S} \right) = nV_T \ln\left(\frac{I_{D2}}{I_{D1}} \right)$$

a) Para $V_{D2} = 1.5$ V, $V_{D1} = 1.0$V, $I_{D2} = 600$A, and $I_{D1} = 50$A,

$1.5 - 1.0 = n \times 0.0258 \times \ln\left(\frac{600}{50} \right)$, el resultado de $n = 7.799$

b) Para.

$V_{D1} = 1.0$V, $I_{D1} = 50$A, y $n = 7.799$

$1.0 = 7.799 \times 0.0258 \times \ln\left(\frac{50}{I_S} \right)$, el resultado de $I_S = 0.347$A.

2.2.4 Diodos conectados en serie o en paralelo

A continuación se analizará el porqué de las instalaciones que tienen diodos en serie o paralelo y sus protecciones. Cuando no se dispone de elementos que cuentan la capacidad de voltaje es necesario conectarlos en serie para poder manejar un mayor voltaje, pero el conectarlos en serie puede ocasionar daños cuando se presentan voltajes transitorios, lo que se corrige con circuitos de protección. Conectando en paralelo un RC para evitar que el dv/dt del transitorio sea menor que la del componente de potencia o diodo.

En el caso de que pueda ser necesario manejar altas corrientes y no se dispone de componentes de la capacidad, es necesario conectar diodos en paralelo, los que soportarían la capacidad de la corriente. Pero si se presentan transitorios en convertidores podrían sufrir daños los elementos, por lo que es necesario que se conecten en serie con el elemento un RL que permite que al transitorio di/dt sea menor que el permitido en el elemento de potencia.

A continuación se presentan figuras con los circuitos, gráficas de comportamiento y además de problemas que nos permiten calcular las capacidades de los RL o RC necesarios.

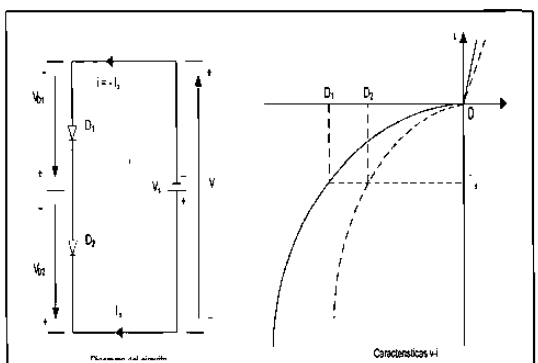


Figura 2.2.14 Diodo serie

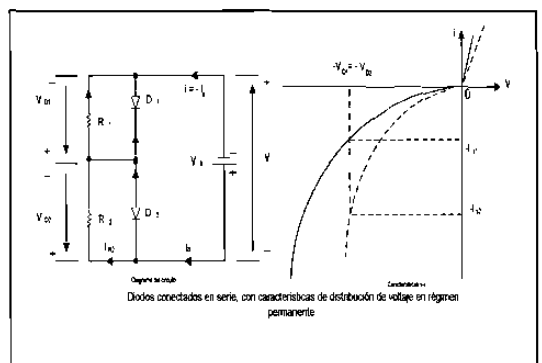


Figura 2.2.15 Diodos serie, con R

Problema 3

Dos diodos están conectados en serie y el voltaje a través de cada uno de ellos se mantiene igual mediante la conexión de una resistencia de distribución de voltaje, de tal forma que V_{D1}= V_{D2}= 2000 V y R_1= 100 KΩ. Las características *v-i* de los diodos aparecen en la figura. Determine las corrientes de fuga de cada diodo y la resistencia R_2 a través del diodo D_2

$V_{D1} = V_{D2} = 2000V, \ R_1 = 100K\Omega$

a) **De la figura 2.2.16**

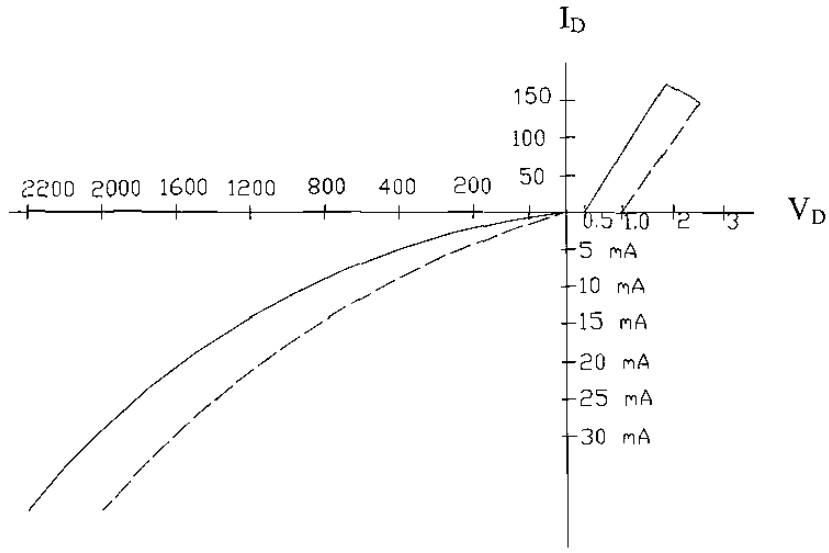


Figura 2.2.16 Característica de diodos en serie

Las corrientes son: $I_{s1} = 17mA$ y $I_{s2} = 25mA$

$$I_{R1} = \frac{V_{D1}}{R_1} = \frac{2000}{100000} = 20mA$$

b) De la ecuación 2-18, $I_{S1} + I_{R1} = I_{S2} + I_{R2}$

o $17 + 20 = 25 + I_{R2}$, o $I_{R2} = 12mA$

$R_2 = 2000/12 \quad mA = 166.67K\Omega$

Problema 2.4

Dos diodos están conectados en paralelo siendo la caída de voltaje directa a través de cada uno de ellos de 1.5V. Las características *v-i* de los diodos aparecen en la figura P2-3. Determine las corrientes directas a través de cada diodo.

Para V_D= 1.5V, figura P2-3 las corrientes I_{D1}= 140 y I_{D2}= 50 A

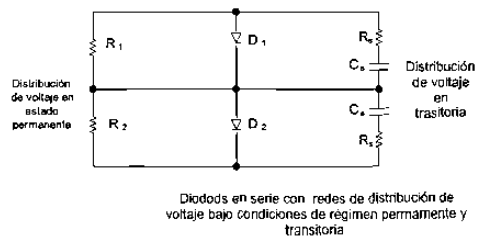


Figura 2.2.17 Diodos en serie con distribución de voltaje

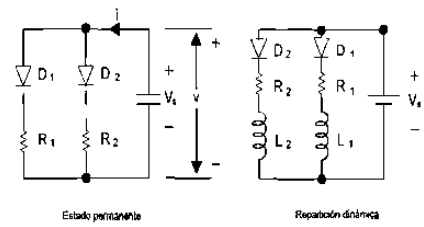


Figura 2.2.18 Diodos en paralelo

Problema 4

Dos diodos están conectados en paralelo, como se muestra en la figura 2.2.18, con resistencias de repartición de corriente. Las características *v-i* se muestran en la figura 2.2.16 . La corriente total es I_T=200 A. El voltaje a través de un diodo y su resistencia es V= 2.5 V. Determine los valores de las resistencias R_1 y R_2 si la corriente se comparte en forma ideal entre ambos diodos.

$$I_T = 200A, \quad V = 2.5$$

$$I_1 = I_2, \quad I_1 = \frac{I_T}{2} = \frac{200}{2} = 100\ A$$

$$Para \quad I_1 = 100A, \quad Figura\ 2.2.16 \quad \text{los valores son} \quad V_{D1} = 1.1\,V \quad y \quad V_{D2} = 1.95V$$

$$V = V_{D1} + I_1\ R_1 \quad \text{ó} \quad 2.5 = 1.1 + 100 \quad R_1 \quad ó \quad R_1 = 14m\Omega$$

$$V = V_{D2} + I_2\ R_2 \quad ó \quad 2.5 = 1.95 + 100 \quad R_2 \quad ó \quad R_2 = 5.5m\Omega$$

2.3 Circuitos con Diodos Rectificados

2.3.1 Antecedentes

Recordemos que los diodos son aplicados para convertir CA a CD no controlada o también conocido como fija.
Recordemos que los análisis hechos son considerando voltaje del diodo en conducción igual a cero a igual que el tiempo de recuperación inversa.

2.3.2 Circuitos con cargas RC, RL, LC, RLC.

A continuación se presentan los circuitos a analizar, pero se recomienda que se dé un repaso a las leyes fundamentales aplicadas en inductancias y capacitancias, sin olvidar las unidades para una mejor comprensión del comportamiento de estos elementos que serán principalmente aplicados como cargas, otro concepto que es necesario tener muy en claro es el concepto de resonancia.

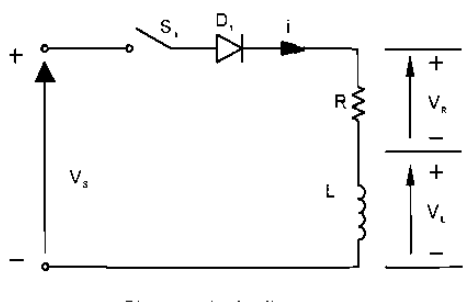


Figura 2.3.1 Diodo con carga RL

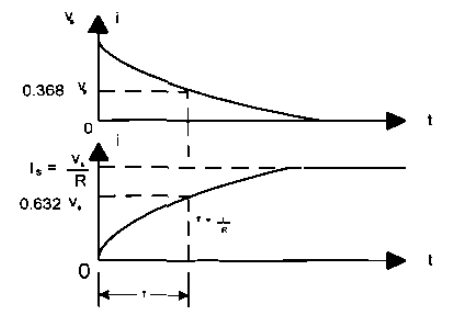


Figura 2.3.2 Curva típica RL

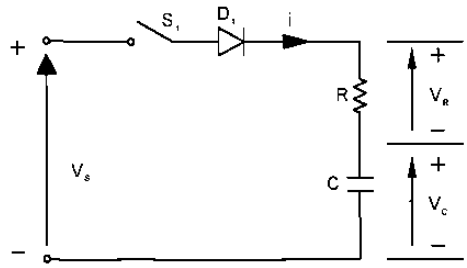


Figura 2.3.3 Diodo con carga RC

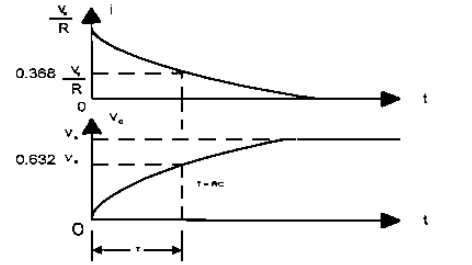


Figura 2.3.4 Curva típica RC

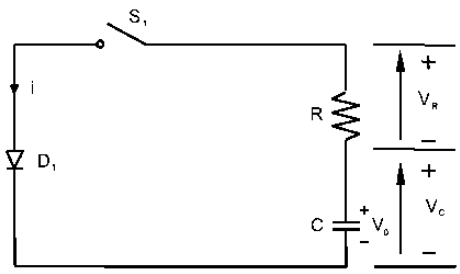


Figura 2.3.5 Descarga de RC

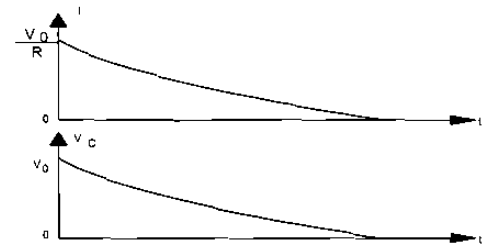


Figura 2.3.6 Curva de 2.3.5

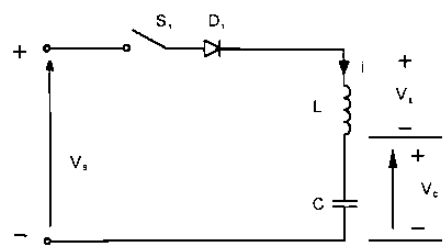


Figura 2.3.7 Diodo con carga LC

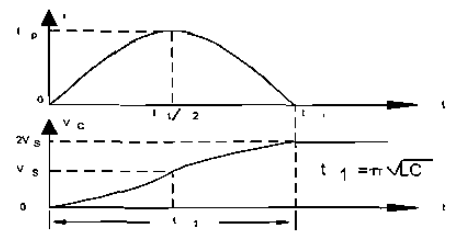


Figura 2.3.8 Curva típica LC

A continuación se presenta el análisis de circuito RLC .

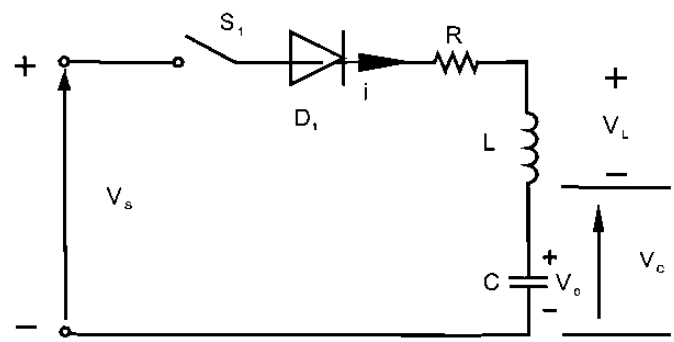


Figura 2.3.9 Diodo con RLC

En la figura 2.3.9 aparece un circuito de diodo con carga RLC. Si el interruptor S_1 se cierra en t=0, podemos utilizar la ley Kirchoff para escribir la ecuación de la corriente de carga i como

$$L\frac{di}{dt}+Ri+\frac{1}{C}\int idt+v_c(t=0)=V_s$$

con condiciones iniciales $i(t=0)$ y $v_c(t=0)=v_0$. Al diferenciar la ecuación y dividir ambos miembros entre L, obtenemos

$$\frac{d^2i}{dt^2}+\frac{R}{L}\frac{di}{dt}+\frac{i}{LC}=0$$

Bajo condiciones de régimen permanente u operación normal, el capacitor está cargado al voltaje fuente V_s, siendo la corriente de régimen permanente cero. También la ecuación es cero la componente forzada de la corriente. La corriente se debe al componente natural.
La ecuación característica de la transformada de Laplace de s es

$$s^2+\frac{R}{L}s+\frac{1}{LC}=0$$

Las raíces de la ecuación cuadrática están dadas por

$$s_{1,2}=-\frac{R}{2L}\pm\sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2-\frac{1}{LC}}$$

El *Factor de amortiguamiento*,

$$\varepsilon=\alpha=\frac{R}{2L}$$

La *Frecuencia de resonancia*,

$$\omega_0=\frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación, obtenemos

$$s_{1,2}=-\alpha\pm\sqrt{\alpha^2-\omega_0^2}$$

La solución en función de la corriente, que dependerá de los valores de α y de ω_0, seguiría alguno de tres casos posibles.

Caso 1. Si $\alpha = \omega_0$, las raíces son iguales, $s_1 = s_2$, y el circuito se conoce como *críticamente amortiguado*, la solución será de la forma

$$i(t) = (A_1 + A_2 t)e^{s_1 t}$$

Caso 2. Si $\alpha > \omega_0$, las raíces serán reales y el circuito se dice que estará *sobre amortiguado*. La solución toma la forma

$$i(t) = A_1 e^{s_1 t} + A_2 e^{s_2 t}$$

Caso 3. Si $\alpha < \omega_0$, las raíces serán complejas y el circuito se dice que estará *subamortiguado*. Las raíces son

$$s_{1,2} = -\alpha \pm j\omega_r$$

donde ω_r se conoce como la *frecuencia de resonancia* (o la frecuencia resonante amortiguada) y $\omega_r = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}$. La solución toma la forma

$$i(t) = e^{-\alpha t}(A_1 \cos\omega_r t + A_2 sen\omega_r t)$$

que es una *sinusoide amortiguada* o *de decaimiento*.

Problemas

Ejemplo 1

Si el interruptor S1 de la figura 2.3.10 se cierra en t=0, determine la expresión para:

(a) la corriente que fluye a través del interruptor i(t) y
(b) la velocidad de elevación de la corriente di/dt.
(c) Dibuje curvas corriente contra tiempo, di/dt.
(d) ¿Cuál es el valor de di/dt inicial? Para la figura 2.3.10 encuentre solo di/dt inicial.

Ejemplo 1

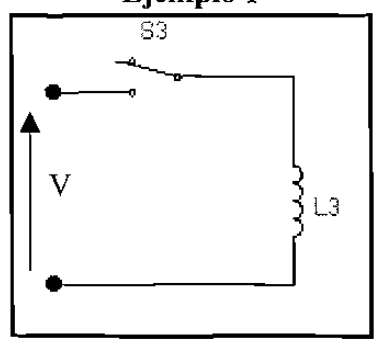


Figura 2.3.10 Problema ejemplo 1

$(a)\quad L\dfrac{di}{dt} = \mathrm{V} \quad o \quad i = \dfrac{V}{L}\int dt$

$(b)\quad di/dt = v_s / L;$

$(c)\quad di/dt \quad (a \quad t = 0) \quad = v_s / L.$

Ejemplo 2

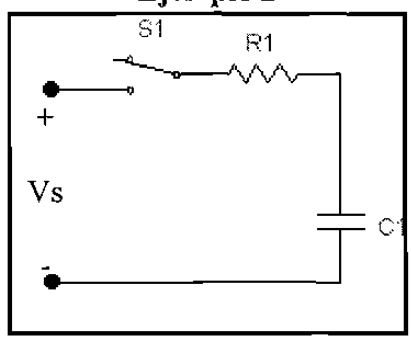


Figura 2.3.11 Problema ejemplo 1

$(a)\quad \dfrac{1}{C}\int i \quad \mathrm{dt} \quad + \quad \mathrm{Ri} = \mathrm{Vs} \quad - \quad \mathrm{V}_0 \qquad o \qquad i(t) = \dfrac{v_s - v_o}{R}\, e^{-t/RC}$

$(b)\quad \dfrac{di}{dt} = -\dfrac{v_s - v_o}{R^2\, C}\, e^{-t/RC}$

$(c)\quad En \quad t = 0,\ \ di/dt = (v_s - v_o)/(R^2\ C)$

Ejemplo 3

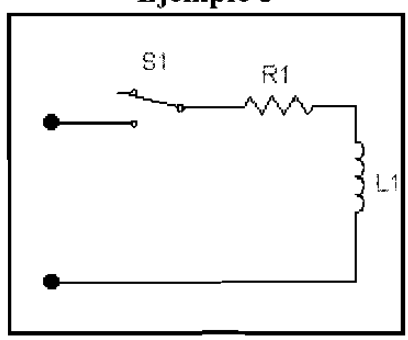


Figura 2.3.12 Problema ejemplo 1

$(a)\quad L\dfrac{di}{dt} + R\, i = v_s \quad o \quad i(t) = \dfrac{v_s}{R}\, e^{-tR/L}$

$(b)\quad \dfrac{di}{dt} \quad = \dfrac{v_s}{L}\, e^{-tR/L}$

$(c)\quad En \quad t = o,\ \ di/dt = \dfrac{Vs}{L}$

Ejemplo 4

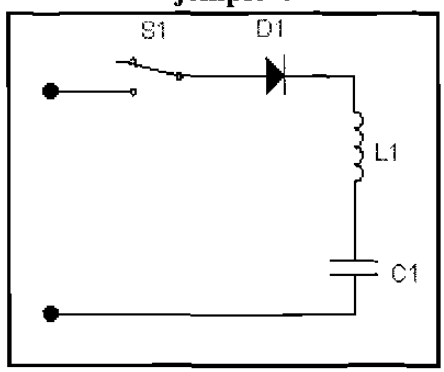


Figura 2.3.13 Problema ejemplo 1

$$(a) \quad v_s = L\frac{di}{dt} + \frac{1}{C}\int i\,dt + v_c(t=0)$$

con la condición inicial : $i(t=0) = 0$ *y* $v_c(t=0) = v_o$,

$$i(t) = (v_s - v_o)\sqrt{\frac{C}{L}} \quad sen\ \varpi ot = I_p\ sen\ \varpi ot$$

Donde $\varpi o = 1/\sqrt{(LC)}$

$$(b) \quad \frac{di}{dt} = \frac{v_s - v_o}{L}\cos \varpi ot$$

(d) *At* $t = 0$, $di/dt = (v_s - v_o)/L$

Ejemplo 5

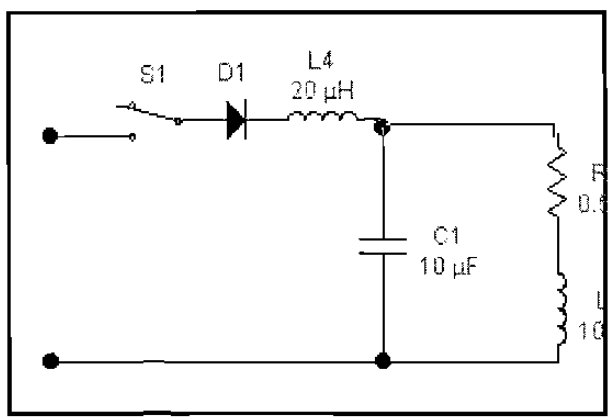


Figura 2.3.14 Problema ejemplo 1

En t=0, la inductancia se comporta como un circuito abierto y en el capacitor hay un corto circuito. La di/dt inicial es limitada solo por la inductancia L1. Así la di/dt inicial es:

$$di/dt = v_s/L_1 = v_s/20\mu H = v_s/20 \quad A/\mu s$$

2.3.3 Diodos de Marcha Libre

Para explicar el comportamiento del diodo de marcha libre es mas práctico observando el circuito correspondiente y así ya comprendido pasar a realizar los cálculos necesarios que se requieren en los problemas.

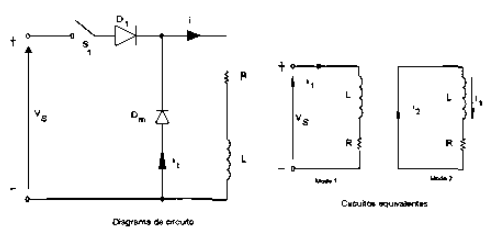


Figura 2.3.15 circuito con diodo marcha libre

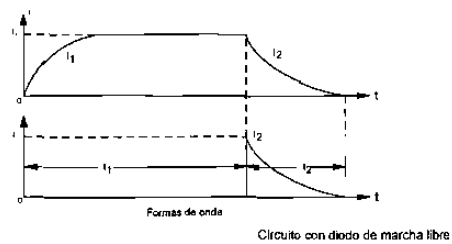


Figura 2.3.16 Curvas de 2.3.15

Problema

Un circuito de diodo aparece en la figura anterior con R= 10Ω, L= 5mH y Vs=220V. Si fluye una corriente de carga de 10 A a través del diodo de marcha libre Dm y el interruptor *S*1 se cierra en t=0, determine la expresión de la corriente *i* a través del interruptor. Considere al diodo como ideal sin caída de voltaje a través de éste.

$R = 1$

El interrupto r de corriente se describe con

$$Vs = L\frac{di}{dt} + R\,i$$

$$Con\ la\ condición\ inicial:\ \ i(t=0) = I_1,$$

$$i(t) = \frac{Vs}{R}(1 - e^{-tr/L}) + I_1 \quad e^{-tR/L} = 22 - 12\,e^{-2000t}A$$

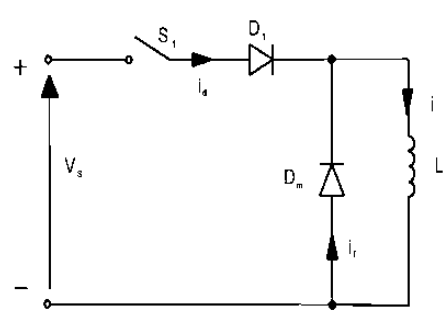


Figura 2.3.17 Problema ejemplo 2

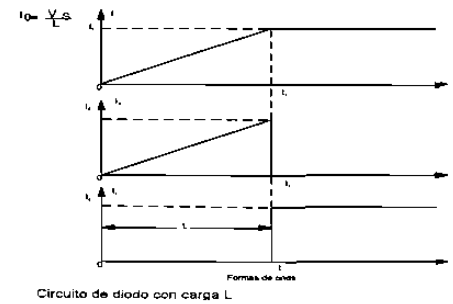


Figura 2.3.18 Curvas típicas

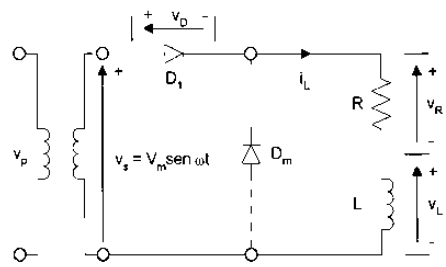


Figura 2.3.19 Circuito con CA

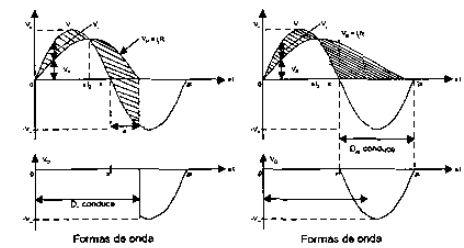


Figura 2.3.20 Curvas de 2.3.19

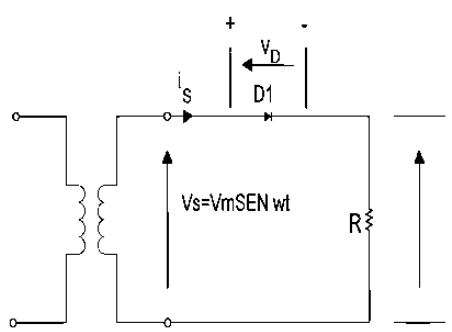


Figura 2.3.21 Circuito de CA y R

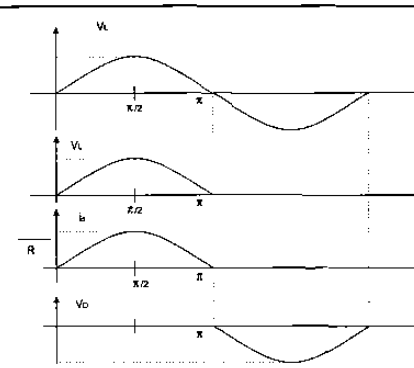


Figura 2.3.22 Curvas

2.3.4 Parámetros de rendimiento

Para analizar la calidad de la energía obtenida de un rectificador de cualquier tipo y los rendimientos de estos, se analizarán y calcularán los parámetros. Y estos son los siguientes: V_{CD}, I_{CD}, P_{CD}, V_{RMS}, I_{RMS}, P_{RMS}, η , V_{CA}, FF, RF, TUF, DF, HF, PF, CF.

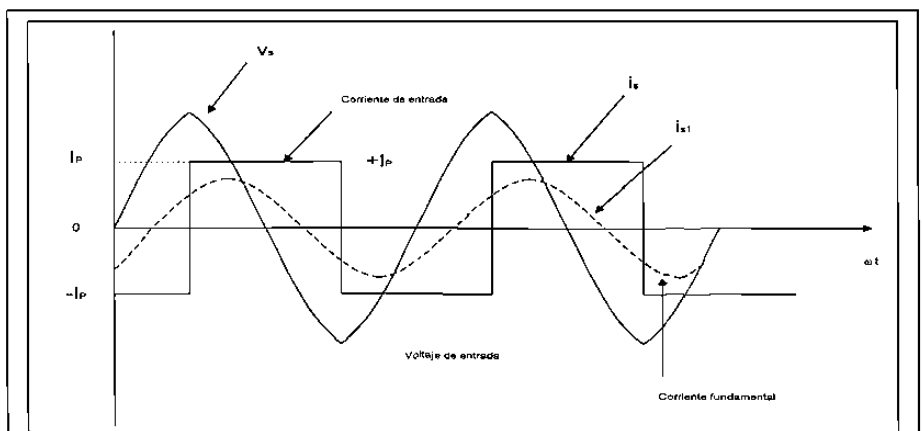


Figura 2.3.23 Curvas de corriente

3-12 ¿Cuáles son los parámetros de rendimiento de un rectificador?

Eficiencia $\eta = \frac{P_{cd}}{P_{ca}}$

$$RF = \frac{V_{ca}}{V_{cd}}$$

$$V_{ca} = \sqrt{V_{rms}^{2} - V_{cd}^{2}}$$

Factor de Forma

$$FF = \frac{V_{rms}}{V_{cd}}$$

Factor de Componente Ondulatoria

$$RF = \frac{V_{ca}}{V_{cd}}$$

Eficiencia

$$\eta = \frac{P_{cd}}{P_{ca}}$$

Eficiencia: porcentaje de la energía alterna que se aprovecha para convertirla en energía de corriente directa.

Factor de Utilización del Transformador

$$TUF = \frac{P_{cd}}{V_s I_s}$$

el porcentaje de la energía eficaz aportada por el transformador que se aprovecha para convertirla en potencia directa al circuito.

Factor de Desfase

DF= cosϕ; es el coseno del ángulo que existe entre las componentes fundamentales de la corriente y el voltaje.

Factor de Potencia de Entrada

$$PF = \frac{V_s I_{s1}}{V_s I_s} \qquad Cos\phi = \frac{I_{s1}}{I_s} Cos\phi$$

Factor de Armónicas

HF; es una medida de la distorsión de una forma de onda y también se conoce como distorsión armónica total(THD) y se define como:

$$HF = \sqrt{\frac{(I_s^{\,2} - I_{s1}^{\,2})}{I_{s1}^{\,2}}} = \sqrt{\frac{(I_s^{\,2} - 1)}{I_{s1}^{\,2}}}$$

2.3.5 Rectificación de ½ ondas y onda completa con carga R

De acuerdo a los diferentes circuitos para la rectificación de ½ y onda completa se analizan sus formas de rectificar y su comportamiento, para después pasar a calcular los de rendimiento para cada uno de los tipos de rectificación con los diferentes tipos de carga .

A continuación se presentan los diferentes circuitos típicos, las gráficas que se obtienen y algunos de los problemas típicos resueltos.

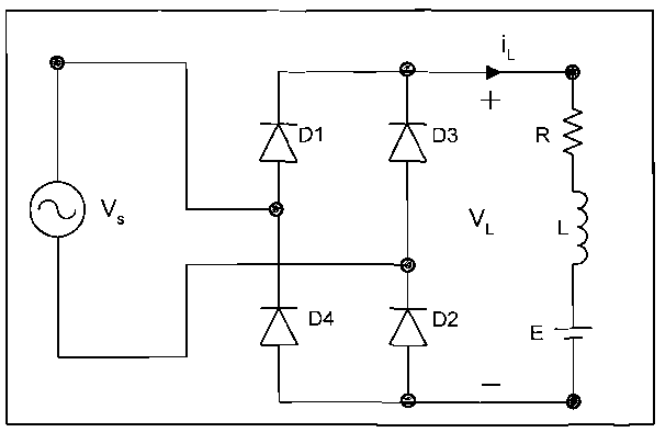


Figura 2.3.24
Puente Rectificador onda completa

Problema

Un puente rectificador monofásico tiene una carga permanente resistiva R=10Ω ,el voltaje pico de alimentación Vm= 170V y la frecuencia de alimentación f=60Hz. Determine el voltaje promedio de salida del rectificador, si la inductancia de la fuente es despreciable.

$V_m = 170\ V,\quad R = 10\ \Omega,\quad f = 60\ Hz$

$$V_{cd} = \frac{2}{T}\int_0^{T/2} \text{Vm sen } \omega t \text{ dt} = \frac{2\text{Vm}}{\pi} = 0.6366 \quad \text{Vm}$$

$$V_m = 0.6366 \times 170 = 113.32 \quad \text{V}$$

2.3.6 Rectificación de ½ y onda completa trifásica con carga R

Se analizará ahora los circuitos para rectificación de ½ y ondas completas trifásica y se analiza como se incrementa la eficiencia, si se incrementa el número de fases y los efectos armónicos en los circuitos de rectificación. Analizando también los parámetros de rendimiento para éstos.

A continuación se presentan los diferentes circuitos típicos, las gráficas que se obtienen y algunos de los problemas típicos resueltos.

Problema

Un rectificador de seis fases en estrella tiene una carga puramente resistiva R=10Ω , un voltaje pico de alimentación Vm= 170V y la frecuencia de alimentción f=60 Hz. Determine el voltaje promedio de salida del rectificador, si la inductancia de la fuente es despreciable.

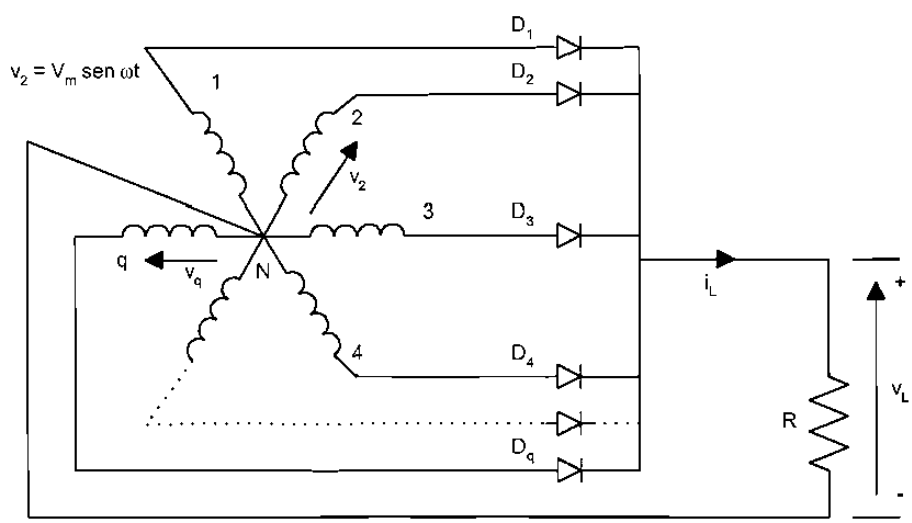


Figura 2.3.25 Rectificador multifase

$R = 10\Omega, \quad V_m = 170V, f = 60\ Hz$

Para un rectificador de seis fases en estrella $q = 6$

$$V_{cd} = \frac{2}{2\pi / q}\int_0^{T/q} \mathrm{Vm}\cos\omega t\, d(\omega t) = \frac{2\mathrm{Vm}}{\pi} = \mathrm{Vm}\frac{q}{\pi}\ \mathrm{sen}\frac{\pi}{q}$$

$$V_{cd} = 170\,(60/\pi)\quad sen(\pi/6) = 162.34\,V$$

2.3.7 Los efectos de cargas RL y filtros

De acuerdo a la carga que se presente en un circuito rectificador estos presentaran cambios en su comportamiento y por lo tanto en los parámetros de rendimiento. Por lo que se analizan en este apartado, los puntos que mayor cambio tienen, y que nos afectan la eficiencia y la calidad de rectificación. Uno de estos parámetros es el factor armónico presente que puede estar del lado de la alimentación o bien del lado de la carga, el cual se puede atenuar o eliminar con filtros.
Los filtros para ser aplicados del lado de la carga pueden ser L, C, o LC . Si fueran aplicados en la alimentación de CA estos deberán ser del tipo LC.

En algunos circuitos de rectificación se presentan inductancias tanto del lado de la alimentación como de lado de la carga y el comportamiento de las gráficas de Voltaje y de corriente en los diferentes puntos del circuito presentan mucho cambio, se recomienda que se utilice la simulación de este circuito en MATLAB o PSPICE que se encuentra en el apartado de PROGRAMAS DE SIMULACION, no sin dejar de hacer los cálculos en los problemas resueltos que se presentan de los circuitos de rectificación con diferentes tipos de cargas.

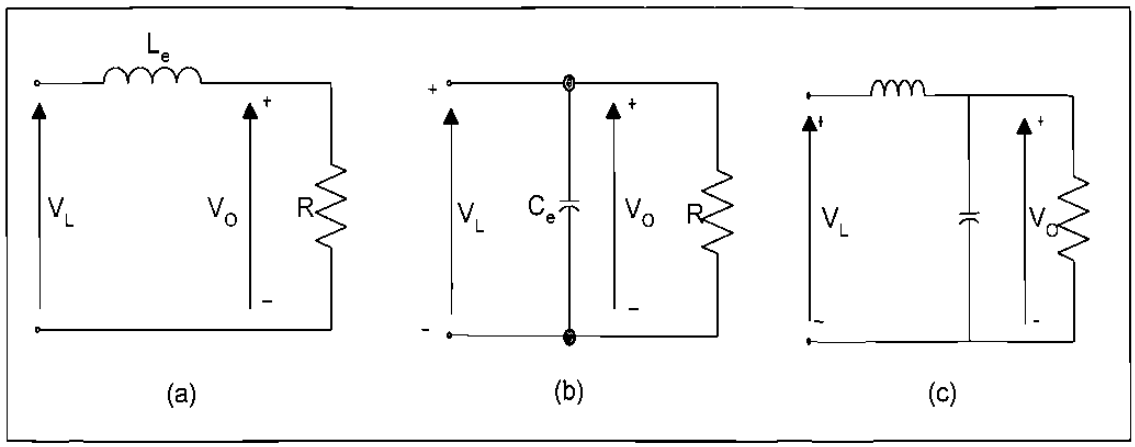


Figura 2.3.26 Filtro CD

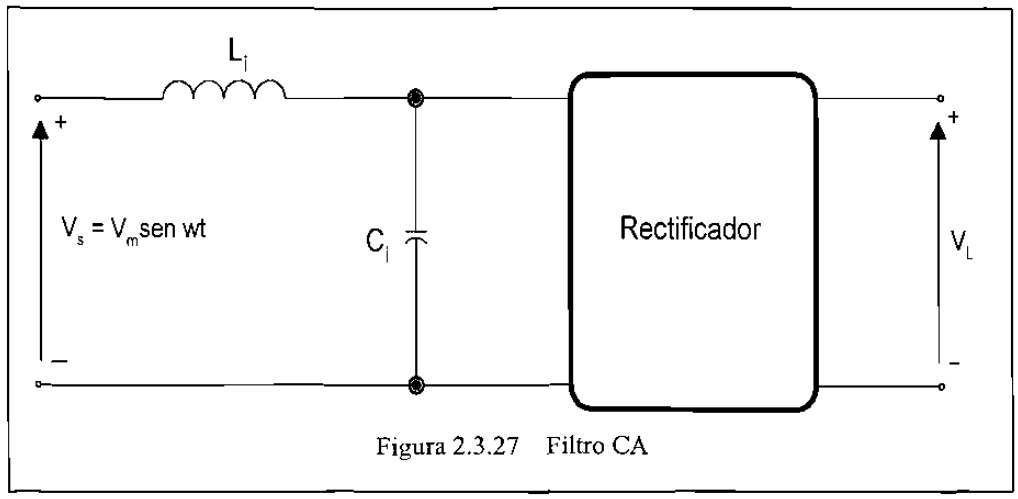


Figura 2.3.27 Filtro CA

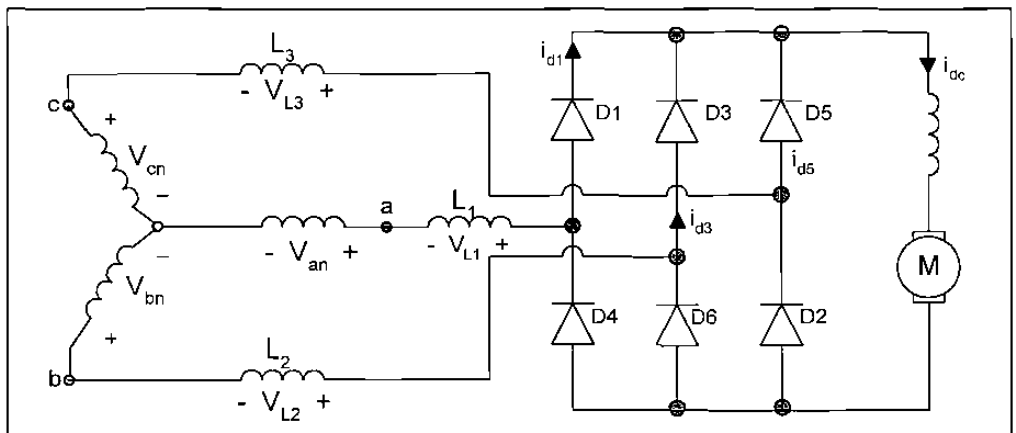


Figura 2.3.28 Circuito trifásico

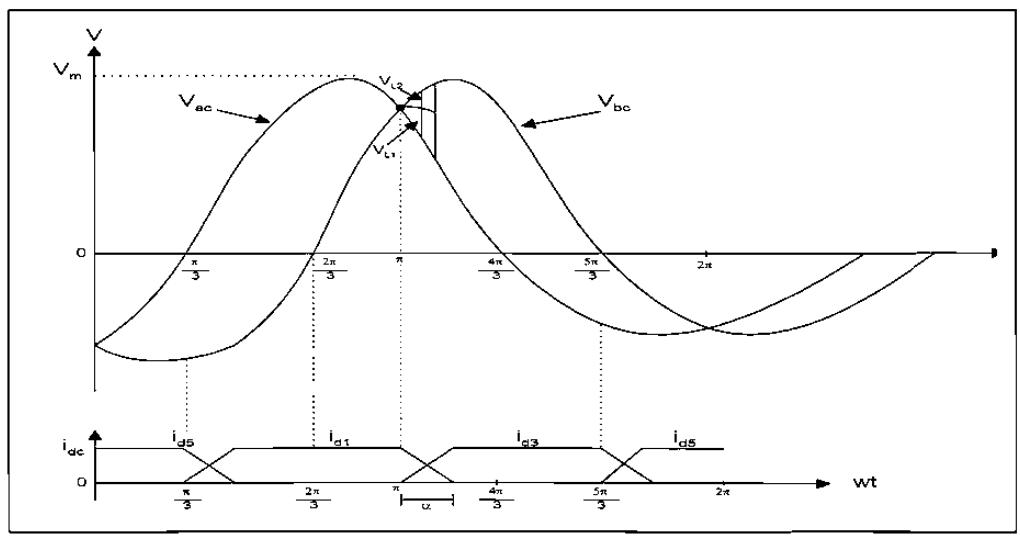


Figura 2.3.29 Curva

Problema para resolver con Pspice

El rectificador trifásico de onda completa de la figura 2.3.30 a tiene una carga L=2.5 mH, R=5Ω y E=20V. El voltaje de entrada, línea a línea es V_{ab}=208 V, 60Hz.
(a) Determine
(1) la corriente de carga en régimen permanente I_1 a $\omega t=\pi/3$,
(2) la corriente promedio de diodo I_d,
(3) la corriente rms de diodo I_r y
(4) la corriente rms de salida I_{rms}.
(b) Utilice PSpice para graficar la corriente instantánea de salida i_L. Suponga los parámetros de diodo IS= 2.22E-15, BV=1800V.

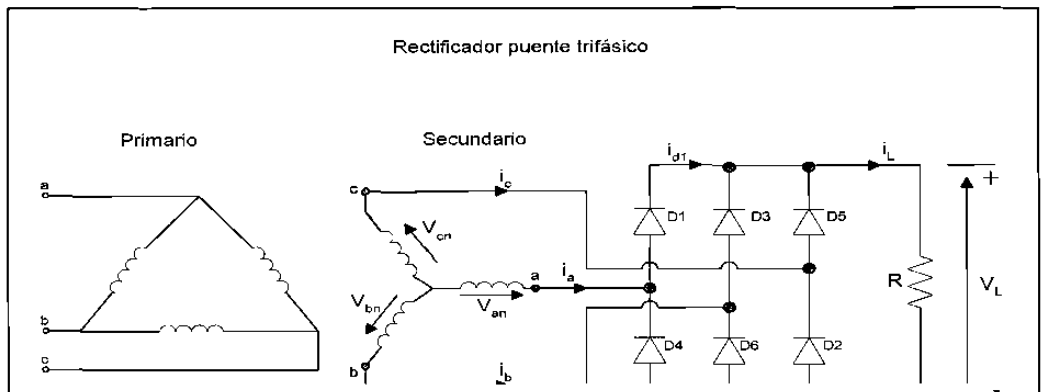


Figura 2.3.30 Rectificador puente trifásico

(a) $R = 5\Omega, L = 2.5mH, f = 60Hz, w = 2\pi * 60 = 377 rad/s$

$V_{ab} = 208V, z = [R^2 + (wL)^2]^{1/2} = 5.09\Omega, y\ \theta = tan^{-1}(wL/R) = 10.67°$

1.– *El estado inicial de la corriente de carga es* $t = \pi/3, I_1 = 50.6\ A.$

2.– *La integración numérica de* i_L *en la ecuación (3.84) cambia la corriente promedio del diodo como* $Id = 17.46\ A$. *Desde* $I_1 > 0$, *la corriente de carga es continua.*

3.– *Con la integración numérica de* i_L^2 *entre los límites* $wt = \pi/3$ *to* $2\pi/3$, *encontramos la corriente del diodo como* $Ir = 30.2\ A.$

4.– *La corriente de salida rms* $I_{rms} = \sqrt{3}Ir = \sqrt{3} \times 30.2 = 52.31A.$

2.4 Tiristores

2.4.1 Antecedentes

El SCR o TIRISTOR es un dispositivo semiconductor de potencia, el cual es considerado como un interruptor conmutador o un elemento que puede estar en un estado de no-conducción o en conducción, considerándolo como interruptor ideal para situaciones de análisis. Hay una evolución en estos elementos con características mejoradas de los cuales se analizan en esta los más similares al SCR en esta sección.

2.4.2 Características de los tiristores

El SCR es un elemento de cuatro capas con tres terminales A, K y G que corresponden al ánodo, cátodo y compuerta respectivamente. En las figuras se muestra el símbolo del SCR y dos gráficas de Voltaje-Corriente, una para A-K y otro por G-K, con los cuales nos apoyaremos para la explicación de la forma de actuar del SCR, ya que se analiza el bloqueo en polarización directa e inversa, también sus corrientes de fuga, de voltajes de ruptura directa e inversa, activación para compuerta, caída de voltaje en conducción, corriente de enclavamiento y de sostenimiento.

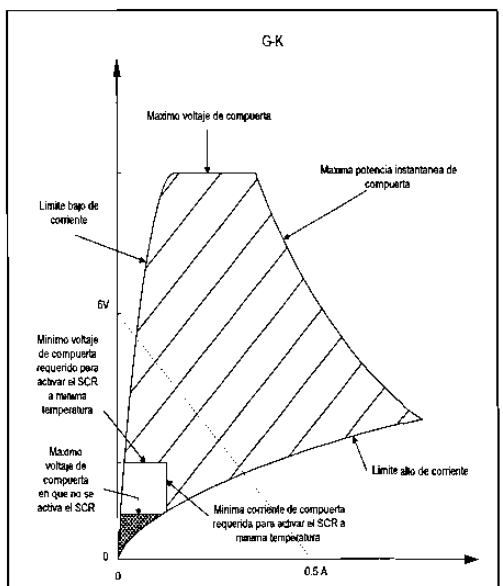


Figura 2.4.1 G-K

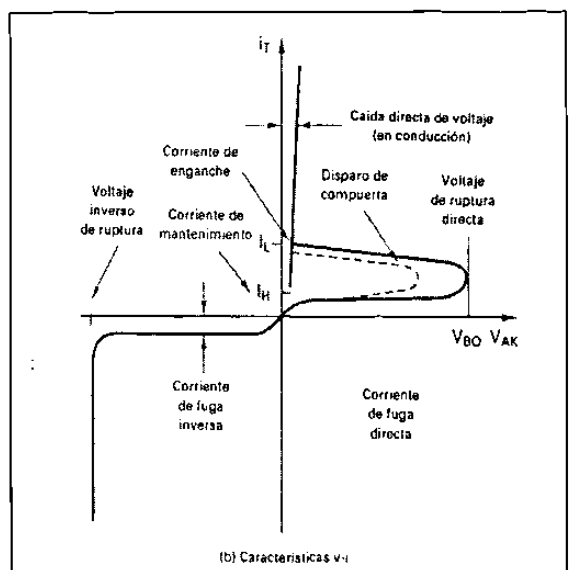


Figura 2.4.2 A-K

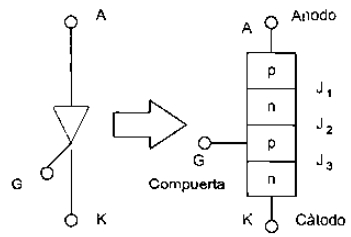


Figura 2.4.3 Símbolo tiristores

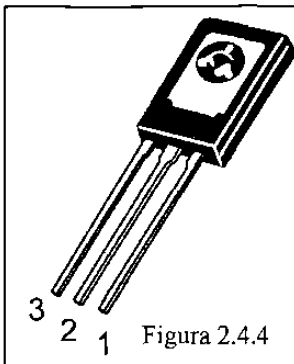


Figura 2.4.4 Elemento

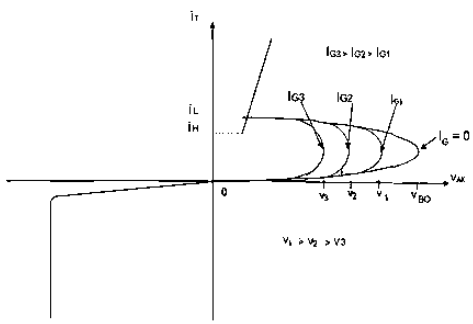


Figura 2.4.5 A-K V-I

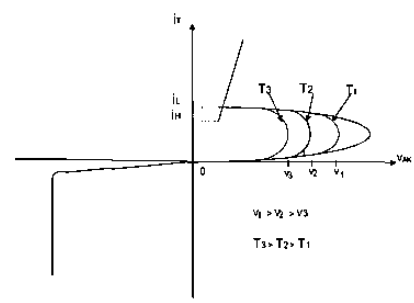


Figura 2.4.6 A-K V-T

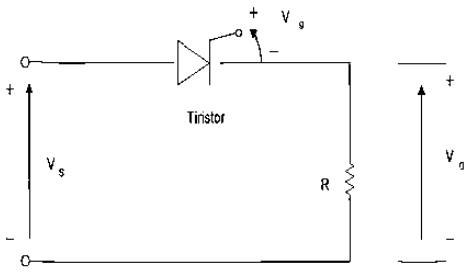


Figura 2.4.7 Activado SCR

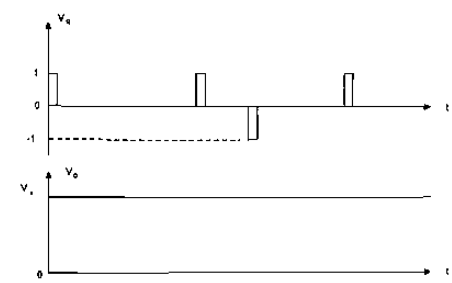


Figura 2.4.8 Curvas activado

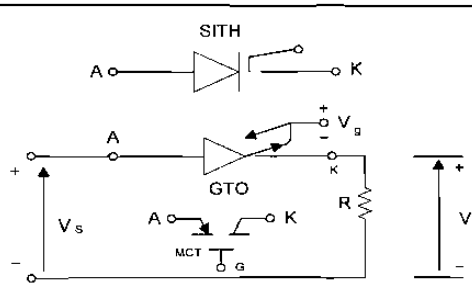


Figura 2.4.9 Activado GTO

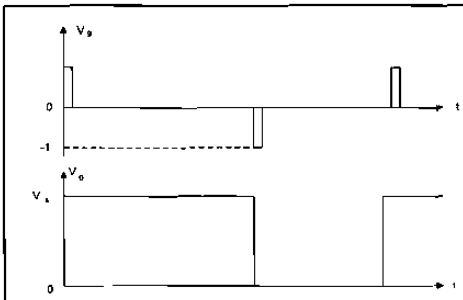


Figura 2.4.10 Curvas activado

2.4.3 Tipos de Activación y circuitos para activación del SCR.

Existen varias formas de activar los SRC como son: Térmica, Luz, Alto voltaje, dV/dT, y aplicación de señal en la compuerta.
Nuevamente nos basamos en las tablas para explicar adecuadamente cada una de los principios para activar el SRC.

CARACTERISTICAS ELECTRICAS					
Características	Símbolo	Min	tipo	Max	unidad
CARACTERISTICAS DE APAGADO					
(V_{AK}=Rated V_{DRM} or V_{RRM}, R_{GK}=1000Ohms) T_J=25°C T_J=110°C	I_{DRM} , I_{RRM}	- -	- -	10 100	µA µA
CARACTERISTICAS DE ENCENDIDO					
(I_{FM} = 1 A Peak for C106B, D, & M) (I_{FM} = 4 A Peak for C106D1, & M1)	V_{TM}	-	-	2.2	Volts
(V_{AK} = 6 Vdc, R_L = 100 Ohms) T_J = 25°C T_J = -40°C	I_{GT}	- -	15 35	200 500	µA
Peak Reverse Gate Voltage (I_{RG} = 10 µA)	V_{GRM}	-	-	6.0	Volts
(V_{AK} = 6 Vdc, R_L = 100 Ohms) T_J = 25°C T_J = -40°C	V_{GT}	0.4 0.5	.60 .75	0.8 1.0	Volts
(V_{AK} = 12 V, R_L = 100 Ohms, T_J = 110°C)	V_{GD}	0.2	-	-	Volts
(V_{AK} = 12 V, I_G = 20 mA) T_J = 25°C T_J = -40°C	I_L	- -	.20 .35	5.0 7.0	mA
Holding Current (V_D = 12 Vdc) (Initiating Current = 20 mA, Gate Open) T_J = 25°C T_J = -40°C T_J = +110°C	I_H	- - -	.19 .33 .07	3.0 6.0 2.0	mA
CARACTERISTICAS DINÁMICAS					
(V_{AK} = Rated V_{DRM}, R_{GK} = 1000 Ohms, T_J = 110°C)	dv/dt	-	8.0	-	V/µs

Tabla 2.4.11 Caracteristicas

Rangos	Símbolo	Valor	Unidades
Picos Repetitivos en-estado de Voltaje [1] (Onda seno, 50-60 Hz, R_{GK} = 1 kΩ, T_C = -40° to 110°C) C106B C106D, C106D1 C106M, C106M1	V_{DRM} V_{RRM}	 200 400 600	Volts
Activado Corriente RMS (180° Angulo Conduccion , TC = 80°C)	$I_{T(RMS)}$	4.0	Amps
Corriente promedio activado el SCR (180° Angulo Conduccion , TC = 80°C)	$I_{T(AV)}$	2.55	Amps
Picos no repetitivos de la I de surge (½ Ciclo, Onda seno, 60 Hz, TJ = +110°C)	I_{TSM}	20	Amps
Consideración de fusión del circuito	I^2T	1.65	A^2s
Picos de potencia en la compuerta (Ancho de pulso ≤ 1.0 µsec, TC = 80°C)	P_{GM}	0.5	Watts
Potencia promedio en la compuerta (Ancho de pulso ≤ 1.0 µsec, TC = 80°C)	$P_{G(AV)}$	0.1	Watts
Picos de corriente en la compuerta (Ancho de pulso ≤ 1.0 µsec, TC = 80°C)	I_{GM}	0.2	Amp
Rango de temperatura en la unión	T_J	- 40 to + 110	°C
Rango de temperatura de almecenaje	T_{stg}	- 40 to + 150	°C
Torque de Montaje	-	6.0	in. lb.

Tabla 2.4.12 Rangos

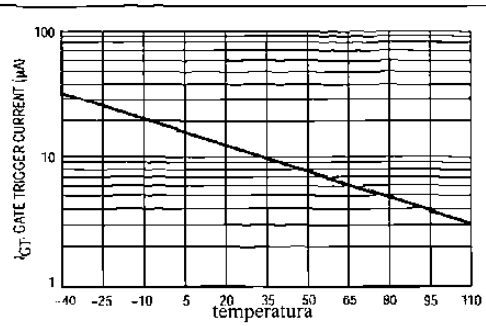


Figura 2.4.13 I_{GT} activado

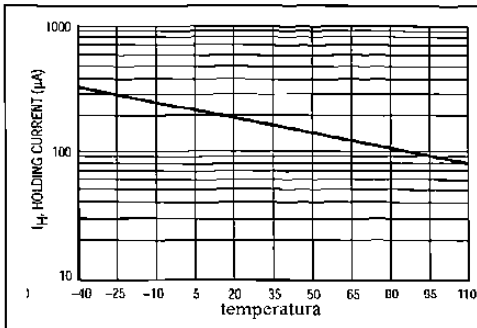


Figura 2.4.14 I_H Sostenimiento

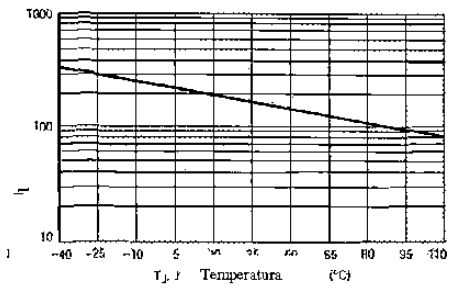


Figura 2.4.15 I_L Enclavamiento

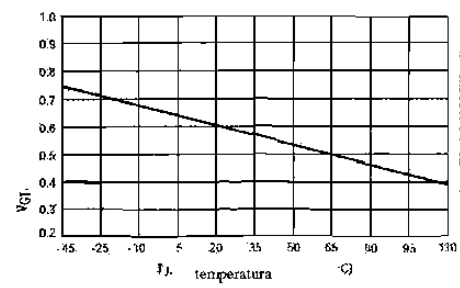


Figura 2.4.16 V_{GT} Activado

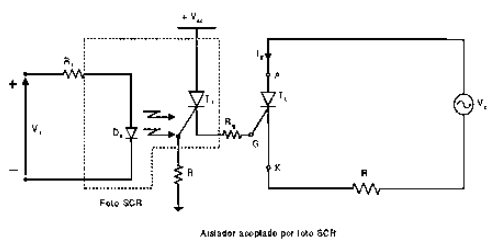


Figura 2.4.17 Foto SCR

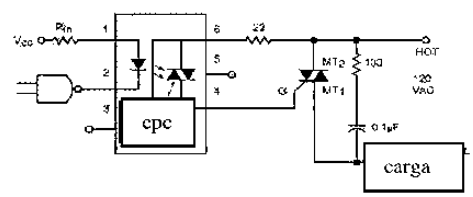


Figura 2.4.18 Foto Triac

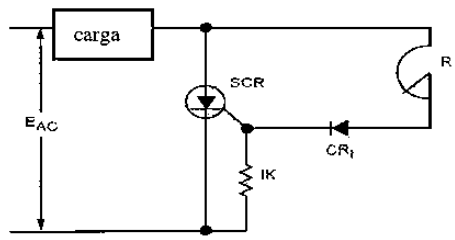


Figura 2.4.19 Circuito R

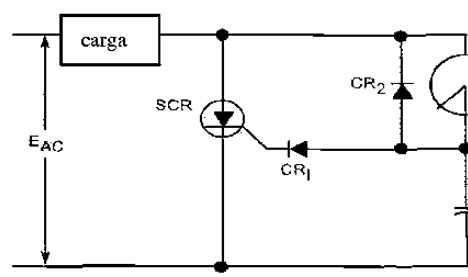


Figura 2.4.20 Circuito RC

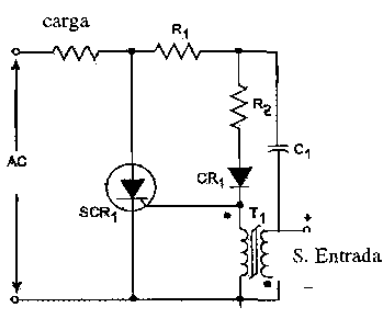


Figura 2.4.21 Circuito RL

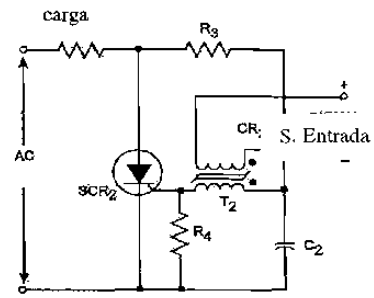


Figura 2.4.22 Circuito RLC

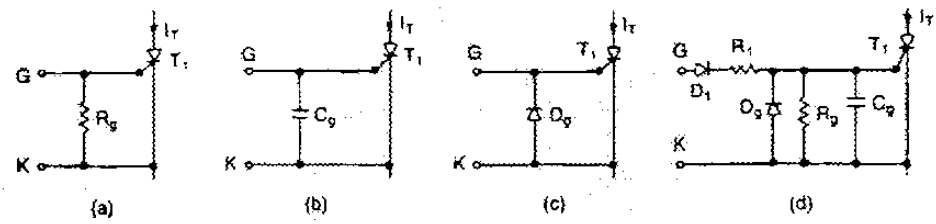


Figura 2.4.23 Típicos

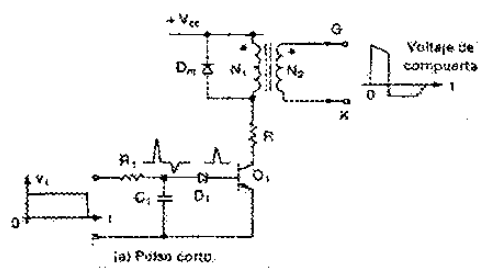


Figura 2.4.24 Pulso corto de un SCR

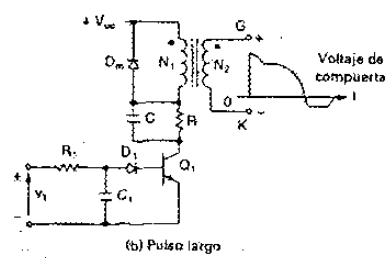


Figura 2.4.25 Pulso largo de un SCR

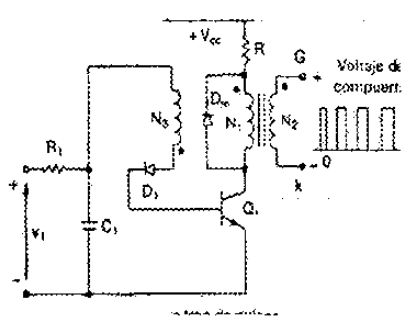


Figura 2.4.26 Generador de tren de pulsos de un SCR

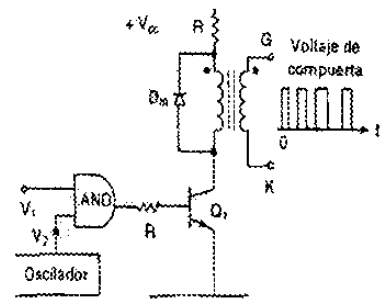


Figura 2.4.27 Tren de pulsos mecanismo de tiempo y lógica AND

2.4.4 Tiristores conectados en serie o en paralelo

Tal como se trató el tema de diodos en serie y en paralelo, para el manejo de más corriente y voltaje, es necesario proteger los elementos de potencia de los convertidores o rectificadores controlados para evitar que se activen involuntariamente o que se dañen por los transitorios de voltaje y de corriente aquí lo aplicaremos en forma similar a como se trabajo con los diodos.
A continuación se presentan gráficas y circuitos, además de algunos problemas donde calculamos los elementos necesarios para la protección bien sea de di/dt o bien dv/dt.

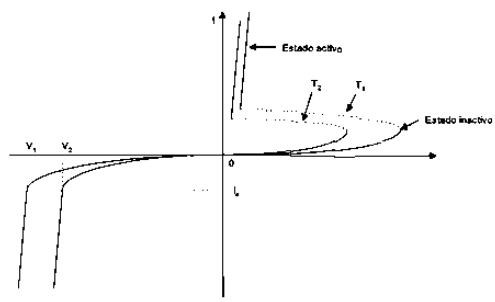


Figura 2.4.28 Activación y V-I

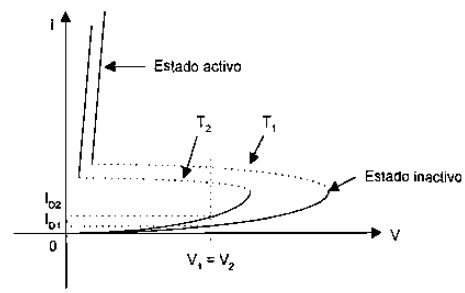


Figura 2.4.29 Activación D1 y D2

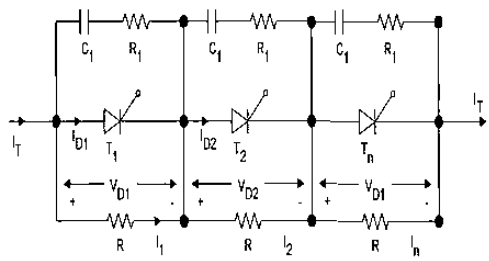


Figura 2.4.30 SCR en serie

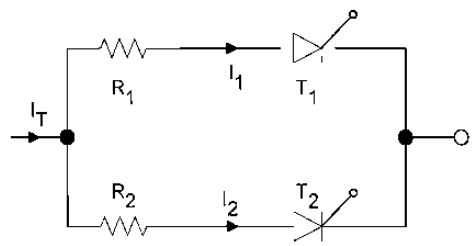


Figura 2.4.31 SCR en paralelo

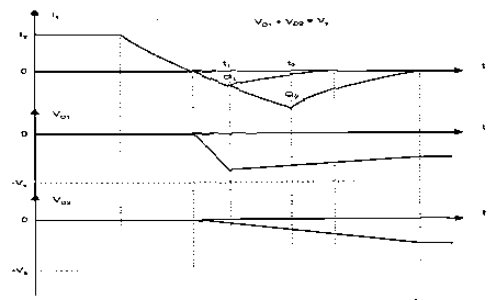


Figura 2.4.32 Curvas recuperación

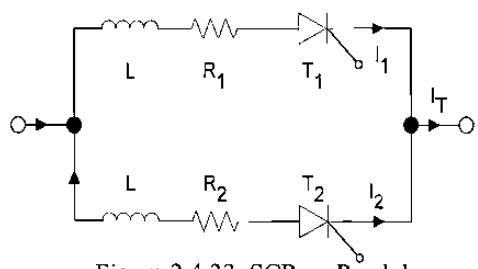


Figura 2.4.33 SCR en Paralelo con protección

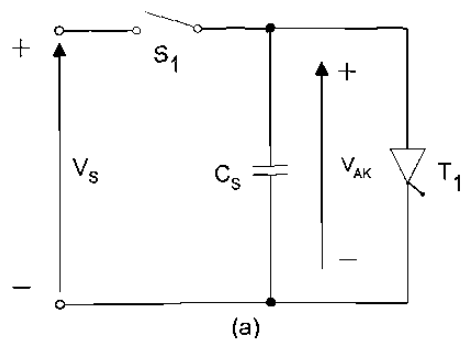


Figura 2.4.34 Protección C

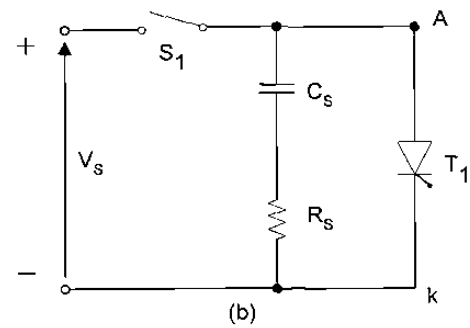


Figura 2.4.35 Protección RC

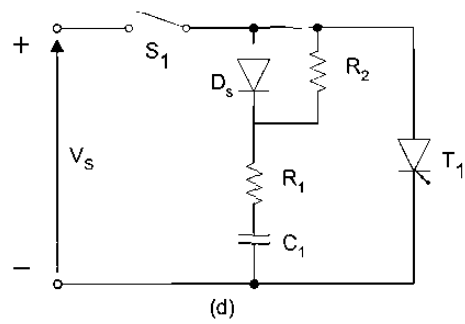


Figura 2.4.36 Protección D_s RC

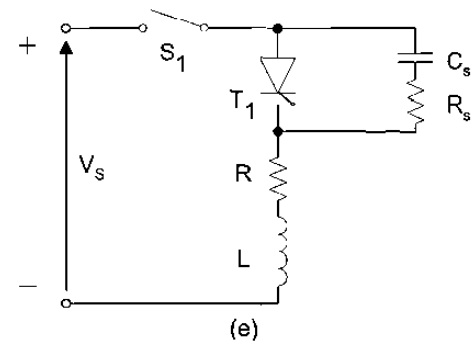


Figura 2.4.37 Protección D_s RCL

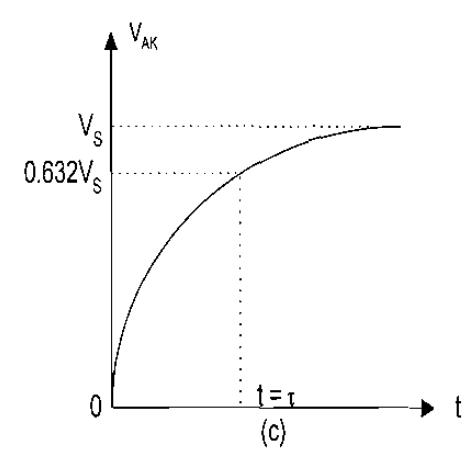


Figura 2.4.38 Curvas de protección

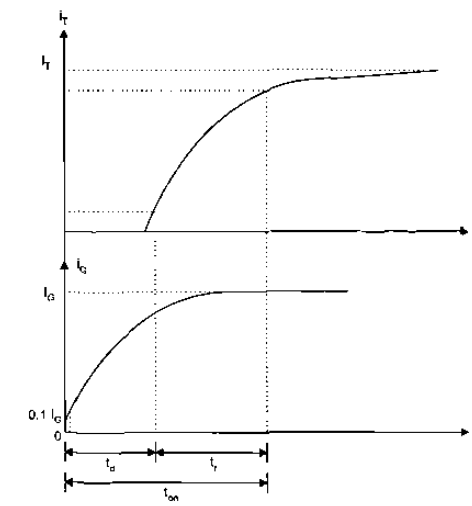


Figura 2.4.39 Curvas de protección

2.4.5 Otros tiristores similares al SCR

A pesar de tener grandes capacidades de manejo de potencia el SCR, conforme ha avanzado la tecnología, se han acrecentado las necesidades a cubrir, como es el caso de tener un elemento que podamos activar y desactivar cuando se requiera, otra necesidad es la de que tenga una velocidad de activación mayor.

A continuación se presentan representaciones esquemáticas para explicar y comparar estos elementos con el SCR que lo superan en algunas funciones pero que a la fecha no cubren las capacidades de potencia de este.

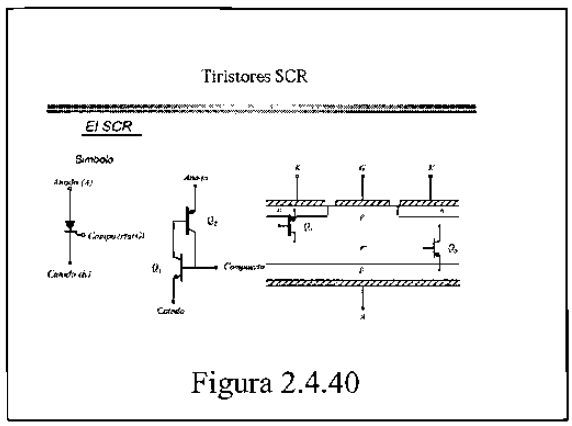


Figura 2.4.40

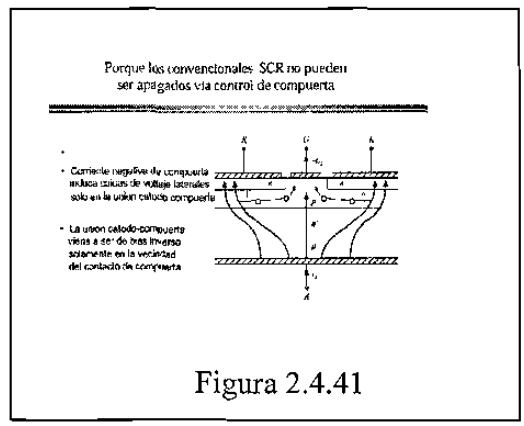


Figura 2.4.41

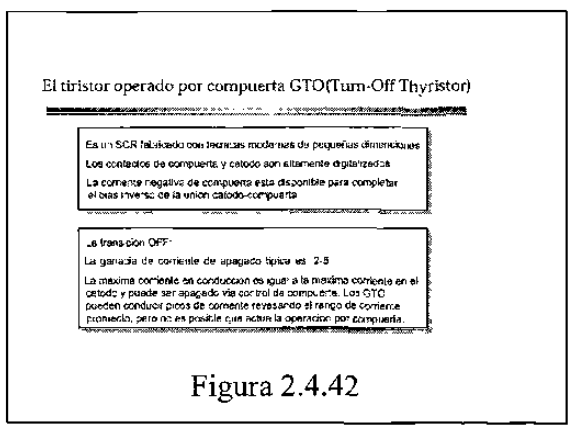


Figura 2.4.42

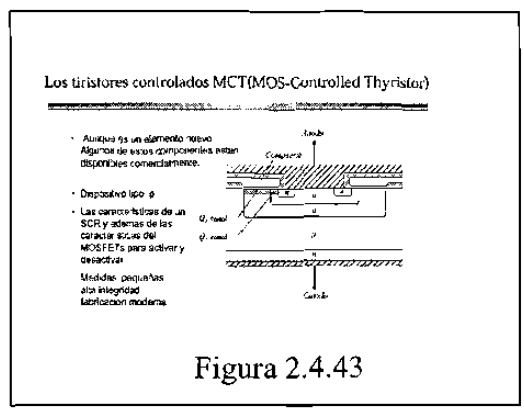


Figura 2.4.43

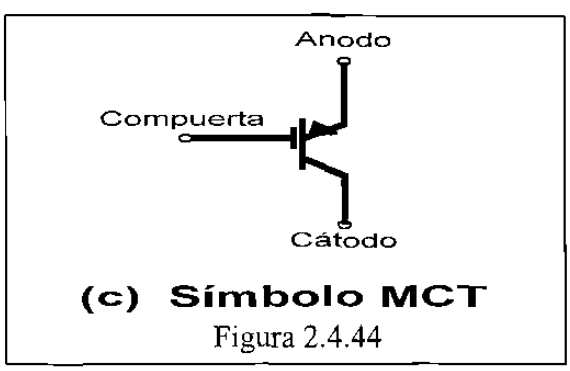


Figura 2.4.44

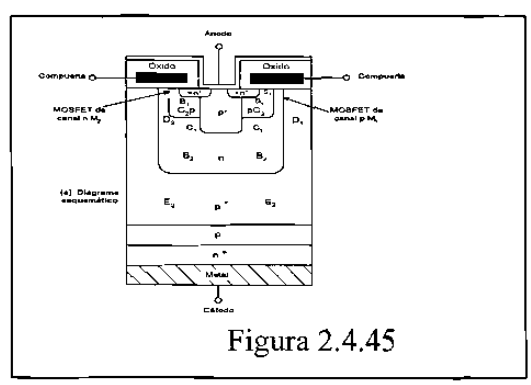


Figura 2.4.45

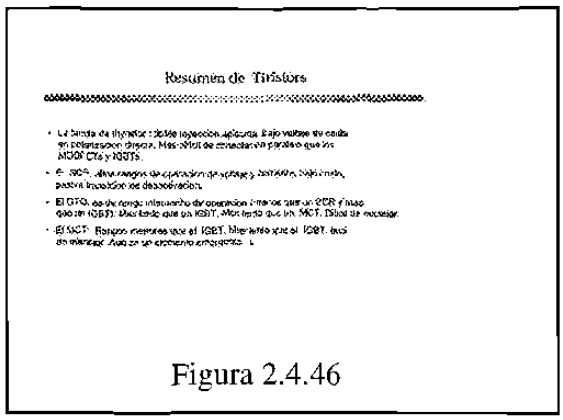


Figura 2.4.46

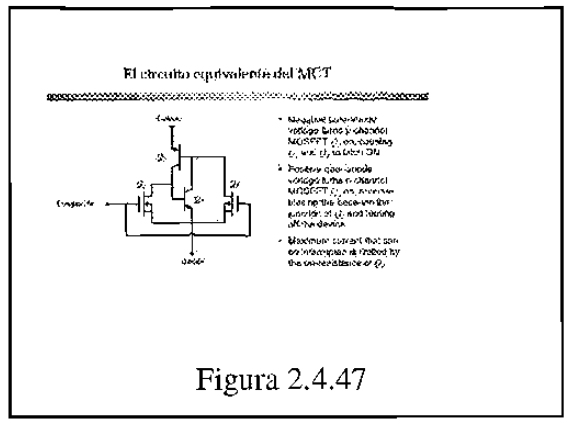


Figura 2.4.47

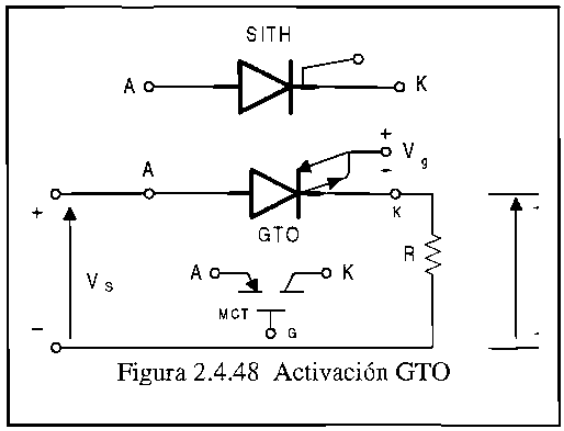


Figura 2.4.48 Activación GTO

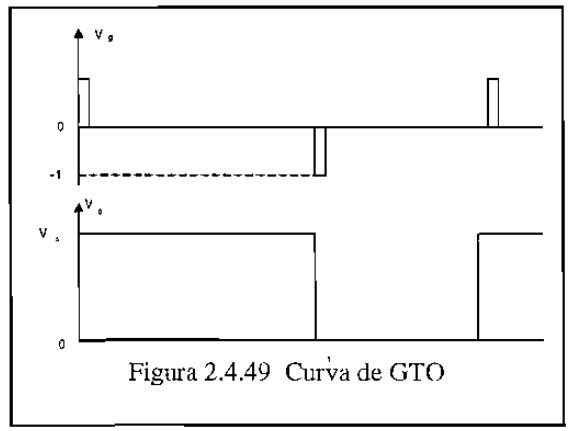


Figura 2.4.49 Curva de GTO

2.4.6 Elementos que generan señal para activar los Tiristores

Dentro de estos tipos de elementos, hay una variedad considerable, pero de las que analizamos aquí son el PUT que son los mas ampliamente actualizados y que aún se encuentran en venta, ya que la tendencia es a generar la señal de compuerta con otros tipos de dispositivos, tales como microprocesadores o algún otro tipo de dispositivos semiconductor integrado.

Aquí analizamos términos como son: I_{pico}, I_{valle}, V_{pico}, V_{valle}. región de corte, región de resistencia negativa, región de saturación, región de neutralización o equilibrio, y además se analizaran los circuitos típicos de aplicación de estos elementos y se presentan problemas para calcular de elementos o utilizar en circuitos.

Enseguida se presentan gráficas de los símbolos de elementos, circuitos y problemas típicos.

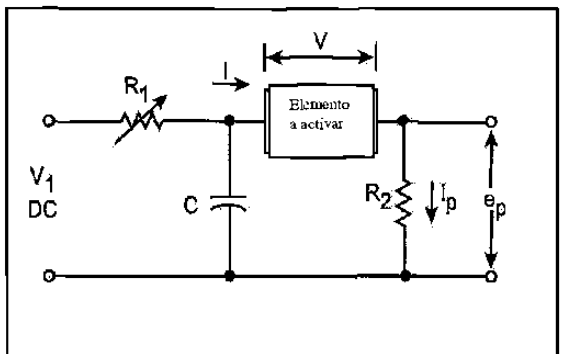


Figura 2.4.50 Típico de activación

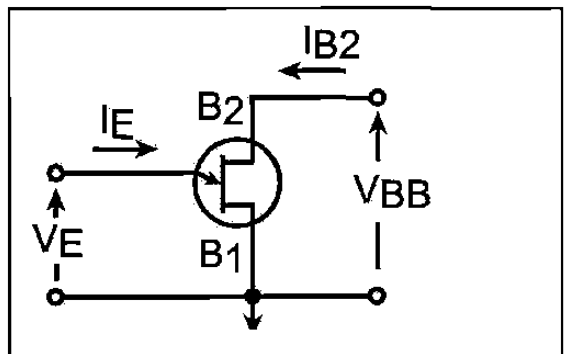


Figura 2.4.51 Símbolo UJT

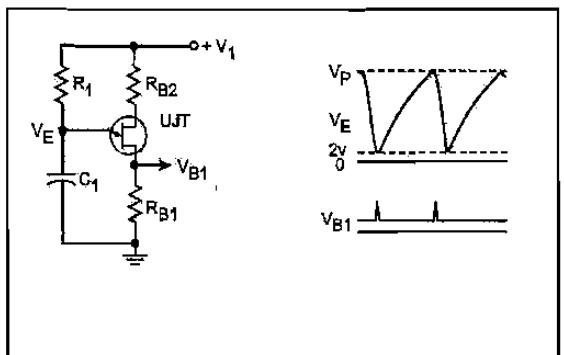


Figura 2.4.52 Circuito UJT

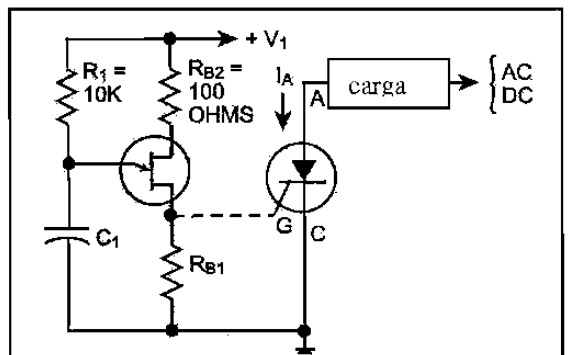


Figura 2.4.53 Aplicación UJT

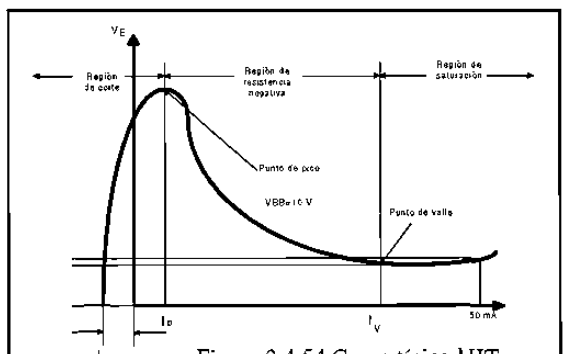


Figura 2.4.54 Curva típica UJT

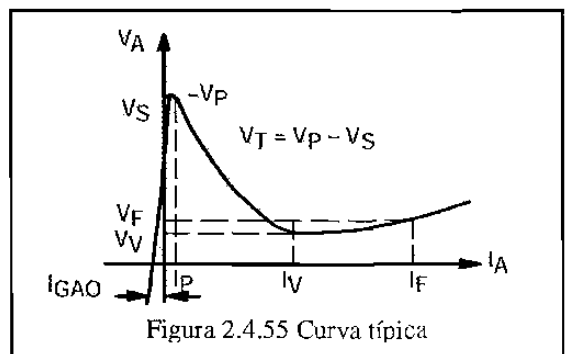


Figura 2.4.55 Curva típica

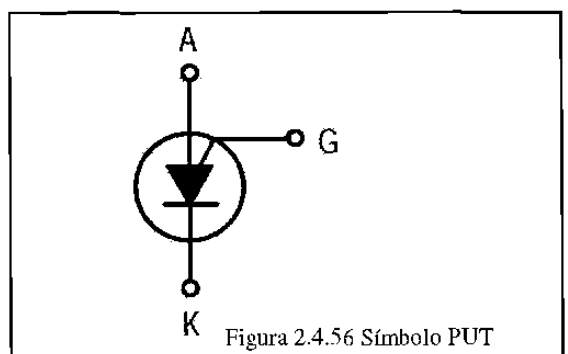


Figura 2.4.56 Símbolo PUT

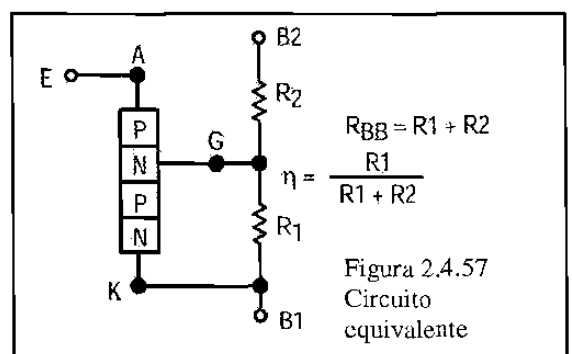


Figura 2.4.57 Circuito equivalente

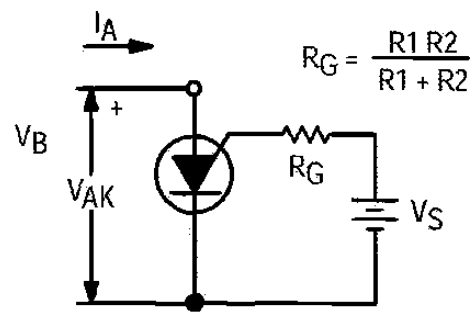


Figura 2.4.58 Circuito para pruebas

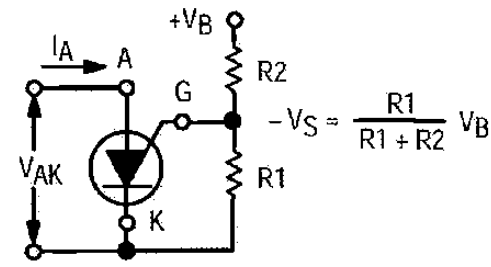


Figura 2.4.59 Circuito para pruebas

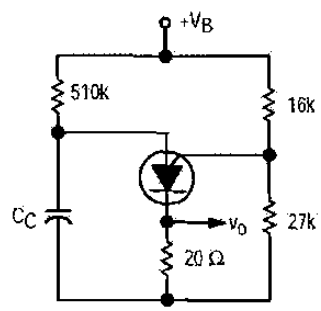


Figura 2.4.60 Oscilador PUT

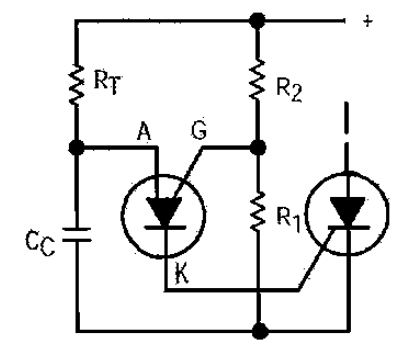


Figura 2.4.61 Aplicación

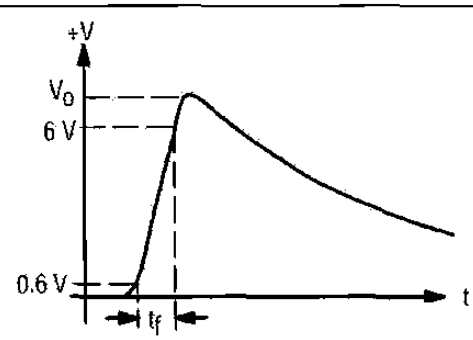


Figura 2.4.62 Curva

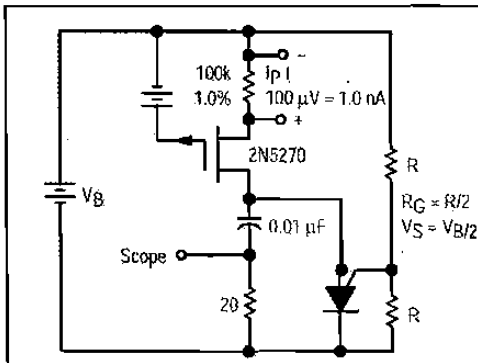


Figura 2.4.63 Configuración con carga

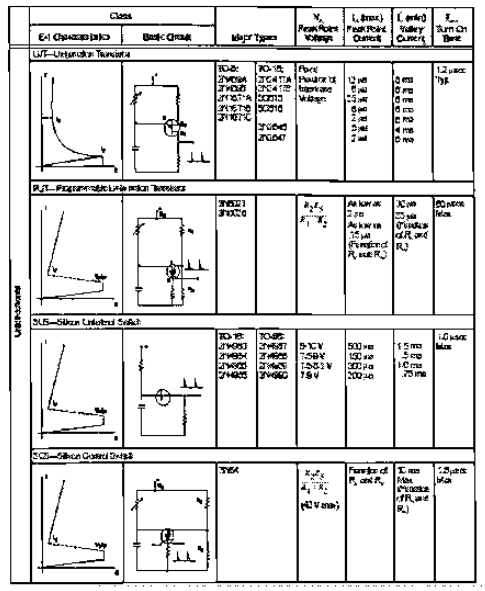


Tabla 2.4.64 Comparación uno

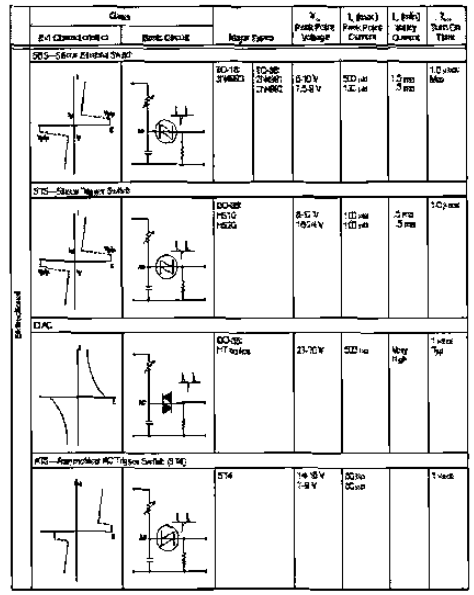


Tabla 2.4.65 Comparación dos

2.5 CONVERTIDORES

2.5.1 Antecedentes

Al igual que en los otros temas debemos de tener algunas clasificaciones y consideraciones para una mejor comprensión. Cuando vemos el tema de diodos y posteriormente el de rectificación, se comento que era del tipo no controlado.
En este tema que trataremos que es el de convertidores de fase analizaremos la rectificación controlada en la que podemos controlar el ángulo de conducción para obtener la potencia deseada.

2.5.2 Clasificación y consideraciones

Referente a la clasificación, podemos tener rectificación monofásica y trifásica de ½ y onda completa. Con la ventaja actual de retrazar el ángulo de activación. Dentro de la clasificación de acuerdo a su operación con la corriente y el voltaje tenemos tres tipos de curva, que son:

- Curva de un cuadrante es el que opera en I + V +
- Curva de dos cuadrantes son los que operan en I + V + y V –
- Curva de cuatro cuadrantes son los que operan en I + y I – V + y V –

Dentro de las consideraciones se tiende a estimar, que la inductancia de la carga es tan grande que la corriente, en esta, no tiene componentes ondulatorios y de esta forma nos evitamos hacer cálculos con series de Fourier, esto ultimo en los convertidores de dos y cuatro cuadrantes

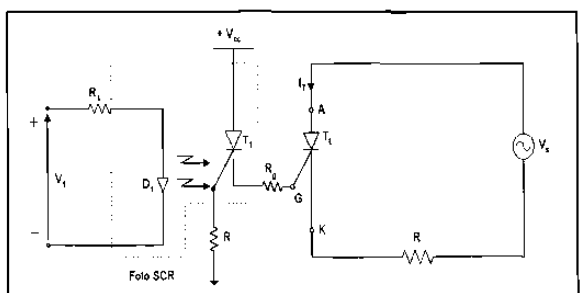


Figura 2.5.1 Convertidor

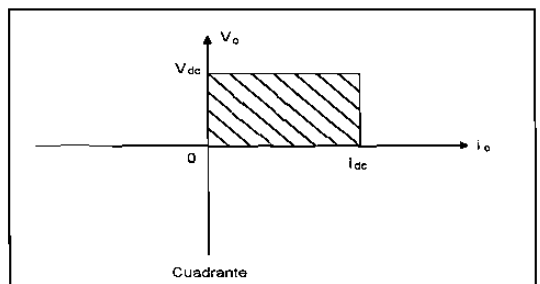


Figura 2.5.2 Grafica un cuadrante

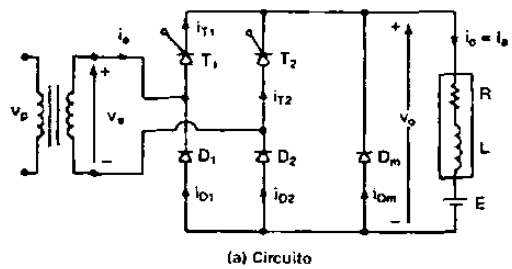


Figura 2.5.3 Convertidor de un cuadrante

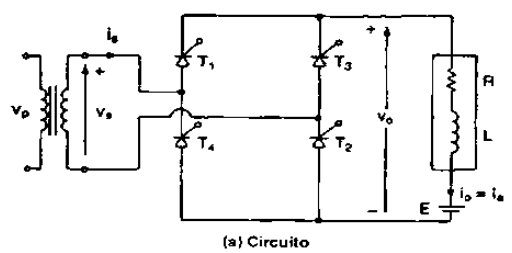


Figura 2.5.4 Convertidor de dos cuadrante

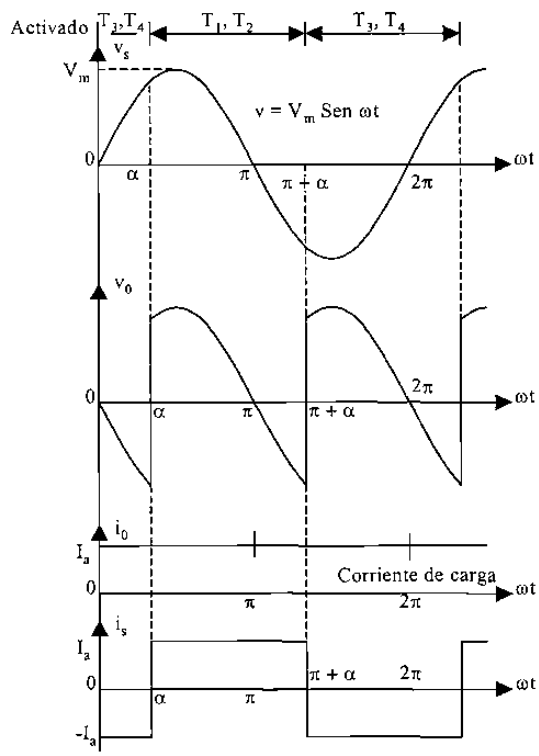


Figura 2.5.7 Curvas

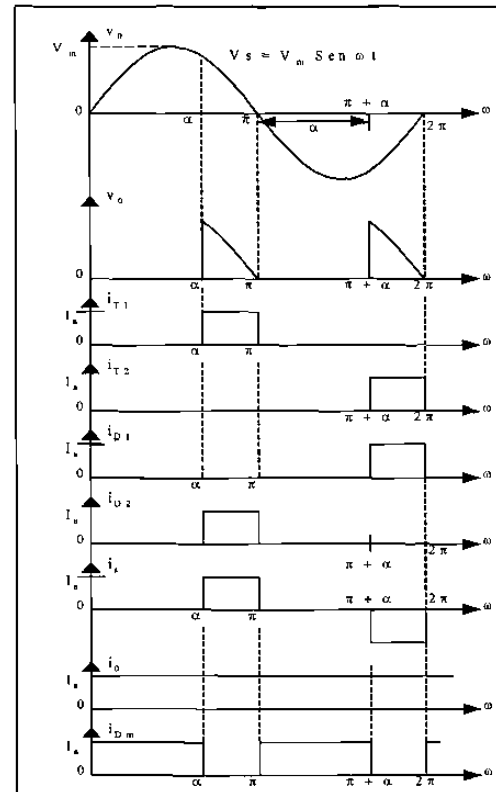


Figura 2.5.5 Curvas típicas

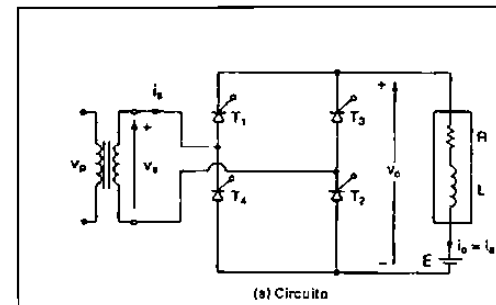


Figura 2.5.6 Convertidor de dos cuadrante

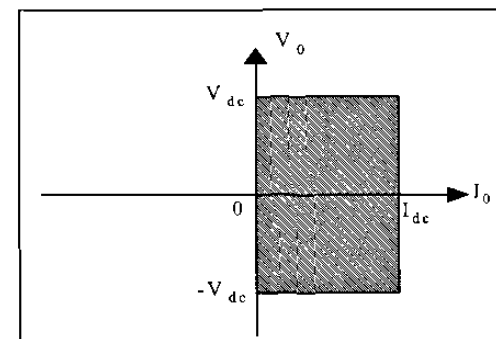


Figura 2.5.8 Grafica dos cuadrante

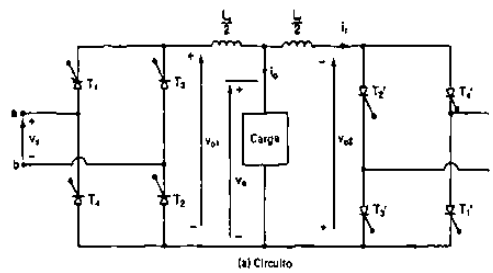


Figura 2.5.9 Convertidor 4 cuadrantes

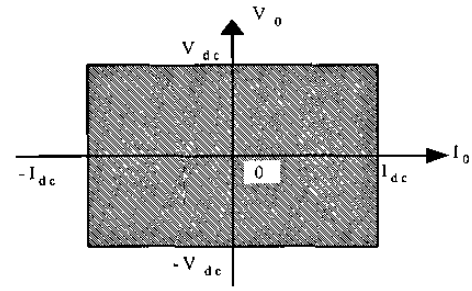


Figura 2.5.10 Grafica 4 cuadrantes

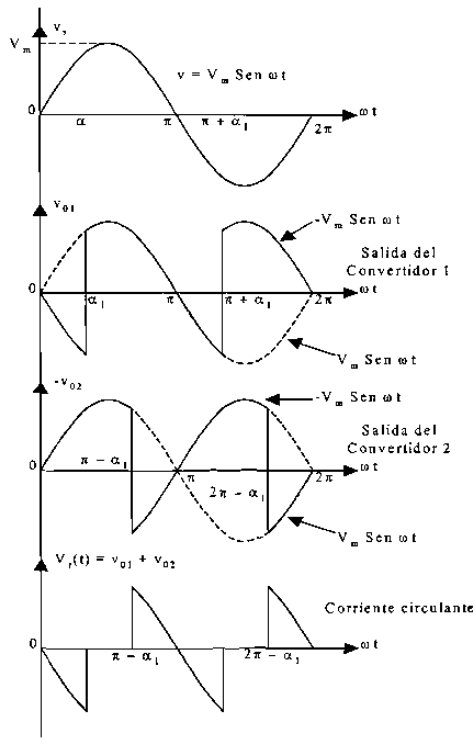


Figura 2.5.11 Curvas 4 cuadrantes

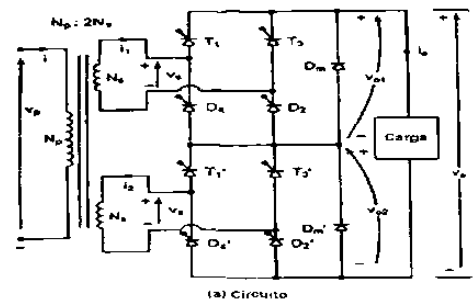


Figura 2.5.12 Serie 1 cuadrantes

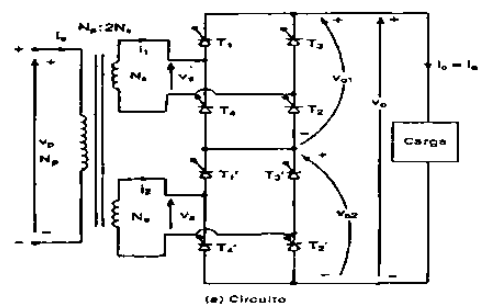


Figura 2.5.13 Scric 2 cuadrantes

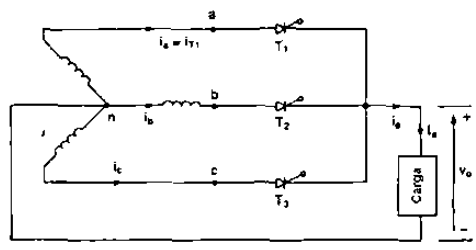


Figura 2.5.14 Trifásico ½ onda un cuadrante

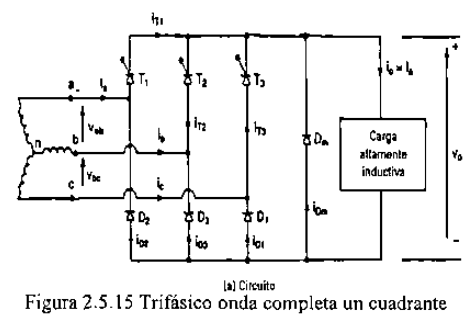


Figura 2.5.15 Trifásico onda completa un cuadrante

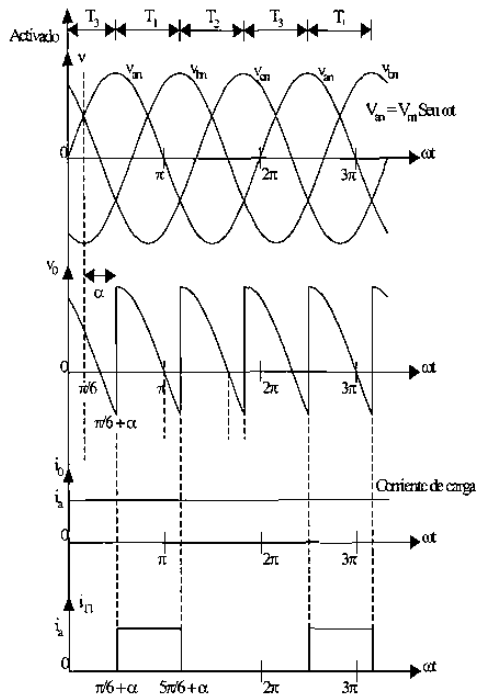


Figura 2.5.16 Curvas trifásico 2

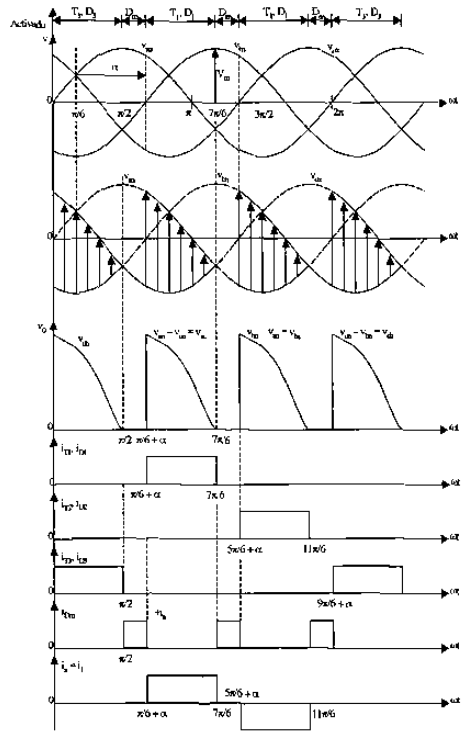


Figura 2.5.17 Curvas trifásico un cuadrante

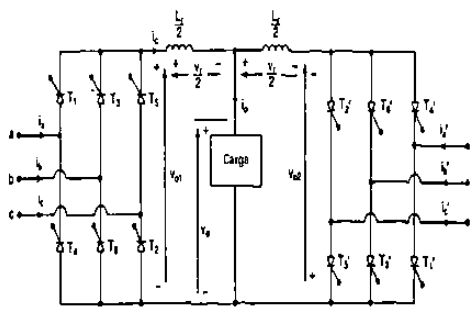


Figura 2.5.18 Convertidor Dual trifásico

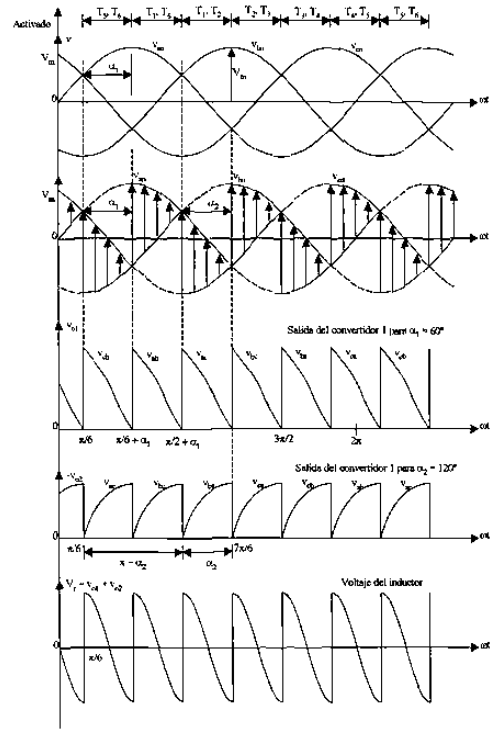


Figura 2.5.19 Curvas dual

2.5.3 Otros Tiristores y circuitos de control en convertidores

Como ya lo vimos en el tema de tiristores el retraso en el ángulo de conducción nos ocasiona armónicas dentro y fuera del equipo a operar, además de disminuir el FP y para mejorar estos factores , uno de los procedimientos es el uso de tiristores. Con características mejoradas como son: GTO, MCT, SITH.

Los procedimientos que se utilizaron son: el de ángulo de extinción, el de ángulo conducción, modulador de ancho de pulso y el modulador senoidal de ancho de pulso. Cada uno de estos es más simple observándolo y comprenderlo en las siguientes figuras. Además en estos sistemas de control, es necesario aplicar los filtros a la entrada y a la salida, similar a lo que se vio de los filtros en circuitos rectificadores con diodos.

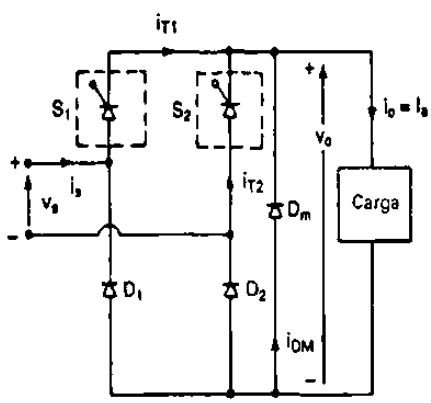


Figura 2.5.20 Monofásico un cuadrante

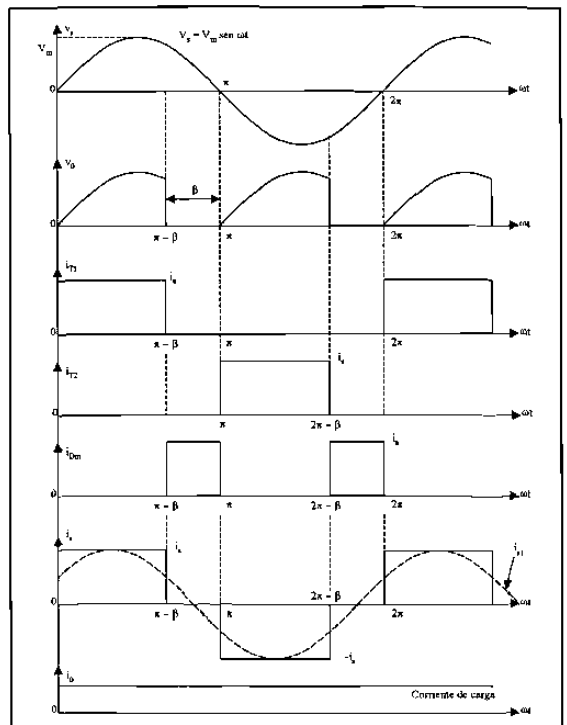


Figura 2.5.21 Curvas un cuadrante

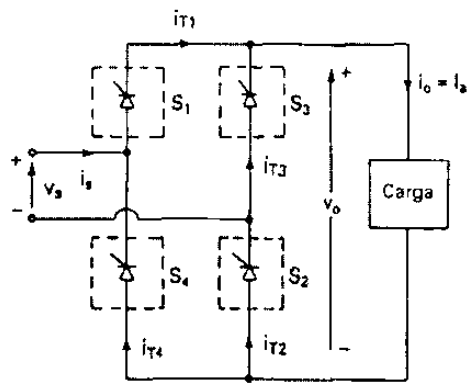


Figura 2.5.22 Montaje Dos cuadrantes

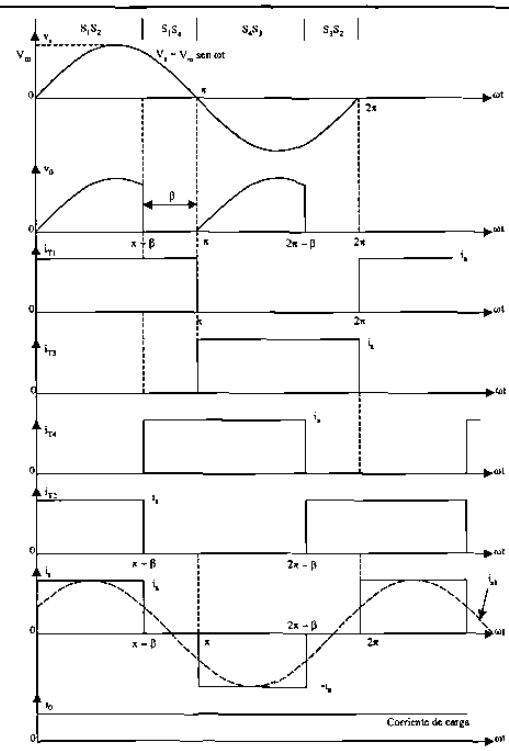


Figura 2.5.23 Curvas dos cuadrantes

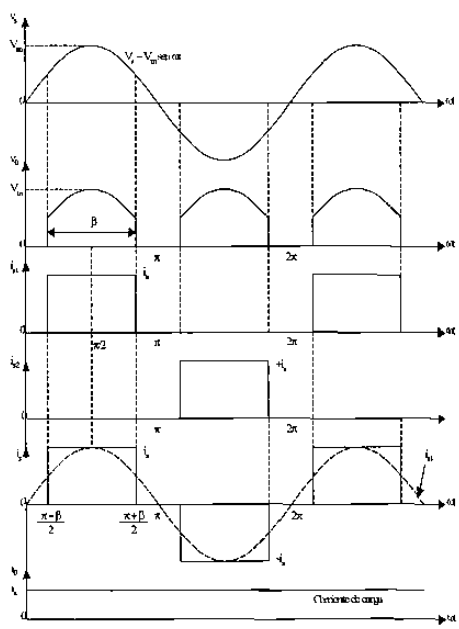


Figura 2.5.24 Mejoras al FP

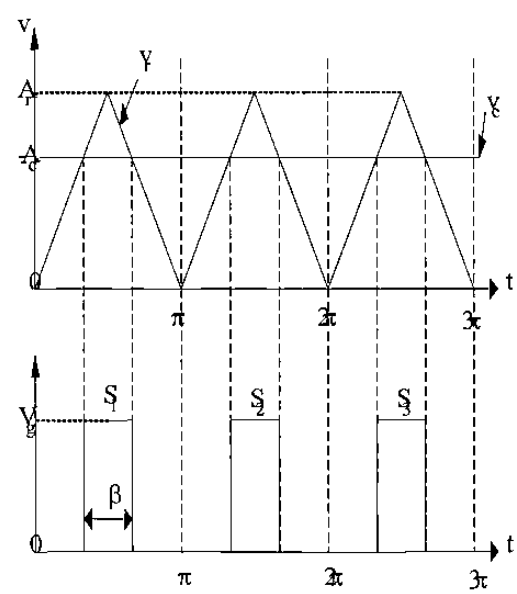


Figura 2.5.25 Mejoras al FP 2

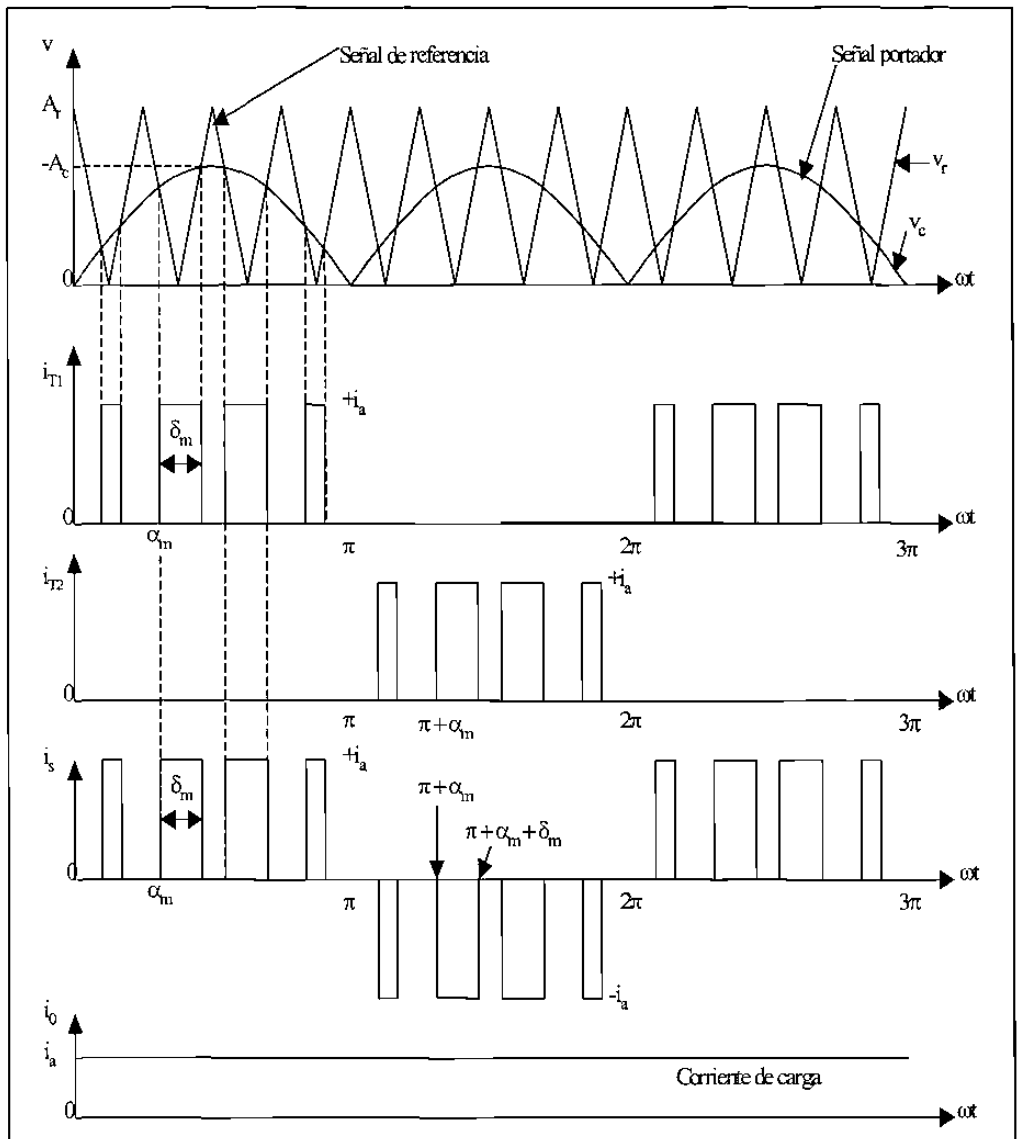


Figura 2.5.26 Control Senoidal del ancho de pulso

2.6 Troceadores (Pulsadores) o Convertidores de CD a CD

2.6.1 Antecedentes.

La finalidad principal de estos circuitos es la de convertir CD a CD, elevación o disminución de voltaje. A diferencia de los convertidores de fase en los pulsadores es necesario utilizar otro tipo de semiconductores y los más aplicados son: MOSFET, IGBT y BJT. Aunque los tiristores también son aplicados. Solo que el SCR requiere un circuito que permita su desactivación.
Los pulsadores en CD son equivalentes al transformador en CA.

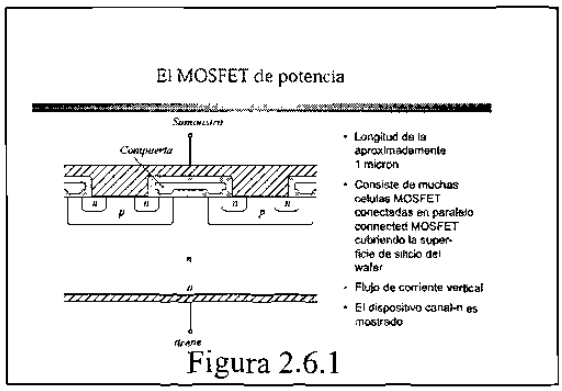


Figura 2.6.1

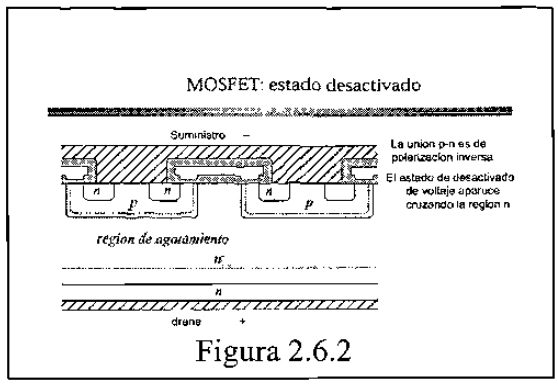


Figura 2.6.2

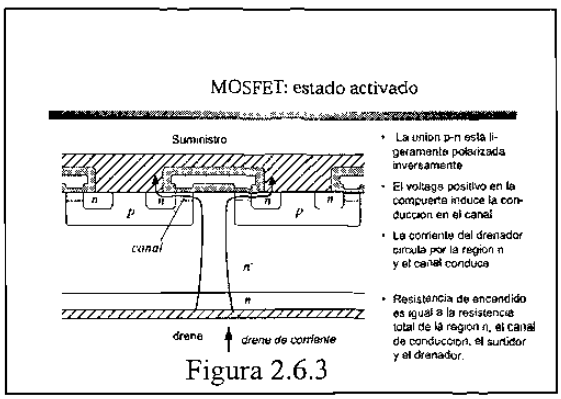


Figura 2.6.3

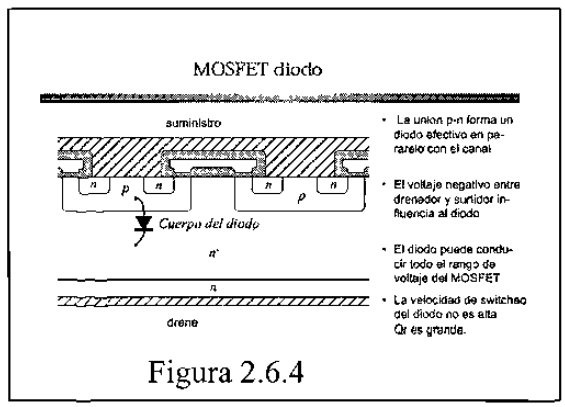


Figura 2.6.4

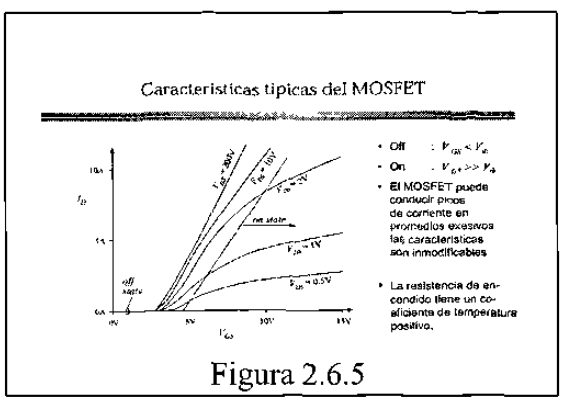


Figura 2.6.5

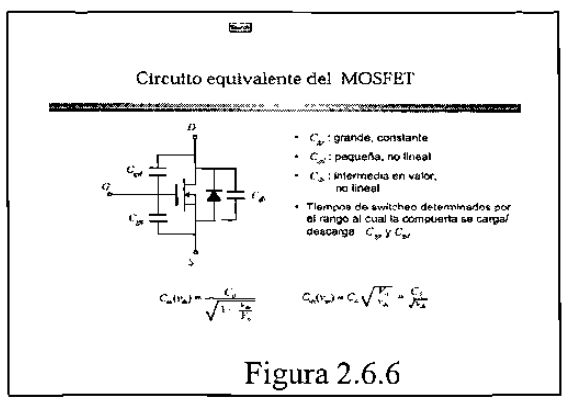


Figura 2.6.6

Caracteristicas de MOSFETs de potencia comerciales

part	max voltage	current	R	Qgd(max)
IRF246	150V	30A	0.018Ω	110nC
IRF511	100V	5.6A	0.54Ω	8.3nC
IRF540	100V	28A	0.077Ω	72nC
APT10M25BNR	100V	75A	0.025Ω	171nC
IRF740	400V	10A	0.55Ω	63nC
MTM15N40E	400V	15A	0.3Ω	110nC
APT5025BN	500V	23A	0.25Ω	83nC
APT1001RBNR	1000V	11A	1.0Ω	150nC

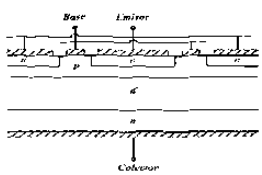
Figura 2.6.7

Conclusiones del MOSFET

- Dispositivo portador de cargas mayoritarias: alta velocidad de switcheo
- Frecuencias típicas de switcheo: decenas y centenas de kHz
- La Resistencia de encendido incrementa rapidamente con el voltaje
- Facil de manejar
- El dispositivo a escoger para bloquear voltajes menores a 500V
- Dispositivos para 1000V estan disponibles, pero son utiles a potencias bajas (100W)
- El numero de parte es seleccionado mas por sus resistencias que por la capacidad de corriente

Figura 2.6.8

Transistor de union bipolar (BJT)



- Emisor y base interdo-nectadas
- Flujo de corriente vertical
- Dispositivo npn
- Disp. portadores minoritarios
- on-state: base-emitter and collector-base junctions are both forward-biased
- on-state: substantial minority charge in p and n^- regions, conductivity modulation

Figura 2.6.9

BJT tiempos de switcheo

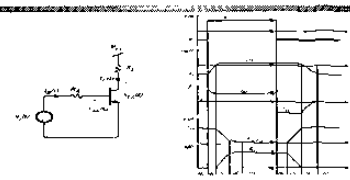


Figura 2.6.10

Formas de onda ideal de corriente base

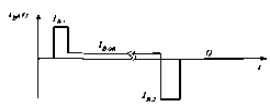
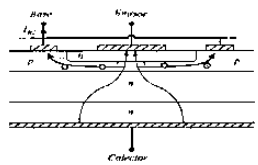


Figura 2.6.11

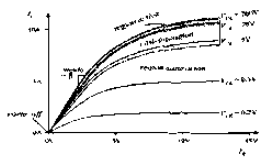
Analisis de exceso de corriente en I_{b2}



Hay formacion de puntos calientes y el elemento puede fallar

Figura 2.6.12

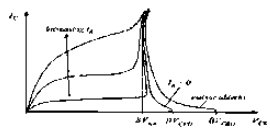
Caracteristicas BJT



- Off : $I_B = 0$
- On : $I_B > I_C/\beta$
- La ganancia de corriente β decrementa rapidamente en altas corrientes. El elemento no debe ser operado encuentros que excedan el rango permitido del elemento.

Figura 2.6.13

Voltages de quiebre



BV_{CBO}: Voltaje de avalanche de la union base-colector con el emisor del circuito abierto

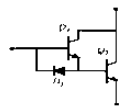
BV_{CEO}: Voltaje colector-emisor con cero corriente en la base

BV_{CEV}: Voltaje de quiebre observado con corriente positiva en la base

En la mayoria de las aplicaciones en el estado de apagado del transistor no debera de exceder BV_{CEV}

Figura 2.6.14

Arreglo Darlington con BJT



- Incrementar la ganancia de la corriente, para aplicaciones de alto voltaje
  En un elemento Darlington de una debe los tres clases (Q_1 y Q_2 estan integrados dentro del mismo componente.

La velocidad de D_1 sobre la unión de equipado permite el manejo de la base para activamente descargar la carga almacenada de Q_1 y Q_2 durante la transición de apagado.

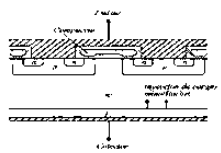
Figura 2.6.15

Conclusiones: BJT

- BJT ha sido remplazado por MOSFET para bajos-voltajes aplicaciones (<500V)
- BJT esta siendo remplazado por IGBT en aplicaciones de voltajes alrededor de 500V
- Un elemento de cargas minoritarias : comparado con el MOSFET, el BJT Muestra switcheo lento pero bajo en resistencia en altos voltajes

Figura 2.6.16

El transistor bipolar de compuerta aislada (IGBT)



- Es un elemento de cuatro capas
- Similar en construcción a un MOSFET, excepto por region una region extra de P
- En estado ON, los cargas minoritarias son inyectadas dentro de la region N para modular la conductividad
- comparado con MOSFET El tiempo de switcheo es lento. Baja resistencia en estado ON, y para utilizarse en todo voltaje de hasta 1700V

Figura 2.6.17

El IGBT

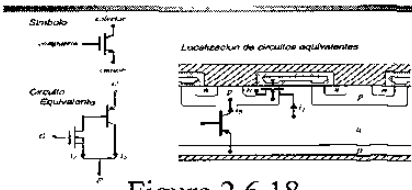


Figura 2.6.18

Corrientes de Salida de IGBTs

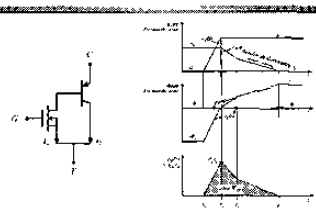


Figura 2.6.19

Características de Circuitos Comerciales

Nombre de Parte	Rango máximo de voltaje	Rango de corriente	Voltaje	[illegible]
Simple-chip dispositivos				
HGTG20N60A4	600V	20A	2.4V	0.62µs
HGTG10N120	1200V	30A	3.2A	0.35µs
Multiple-chip modulos de poder				
CM400HA-12E	600V	400A	2.7V	0.3µs
CM300HA-24E	1200V	300A	2.7V	0.3µs

Figura 2.6.20

Conclusiones: IGBT

- Es una buena selección en aplicaciones de 500-1700V y rangos de potencia de 1-1000kW
- Coeficiente de temperatura positivo en altas corrientes para modulos construidos en paralelo
- Caida de voltaje en polarización directa es de 2 a 4 Volts cuando esta conectado en serie con una resistencia
- Facil de manejar similar al MOSFET
- Mas lento que el MOSFET pero mas rapido que Darlington, GTO, SCR
- Las frecuencias de switcheo son. 3-30kHz
- IGBT Es una tecnologia que rapidamente avanza

Figura 2.6.21

2.6.2 Operación y clasificación.

Los pulsadores son circuitos alimentados con CD, y lo que entregan a la carga o salida es CD Pulsante.

Dentro de la clasificación de los pulsadores muy similar a convertidores de fase, aquí tenemos cinco tipos diferentes que son: A, B, C, D, E. Los cuales explicaremos con circuitos gráficos. Los tipos de conexión de cada elemento semiconductor utilizado para que opere en el tipo de pulsador que se utiliza.

Como la tendencia es que a gran cantidad de equipos con dispositivos basados en microprocesadores que lo que operan son pequeñas señales las que fácilmente pueden activar un interruptor, de estado sólido.

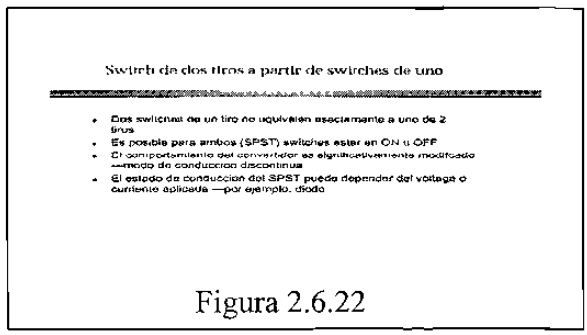


Figura 2.6.22

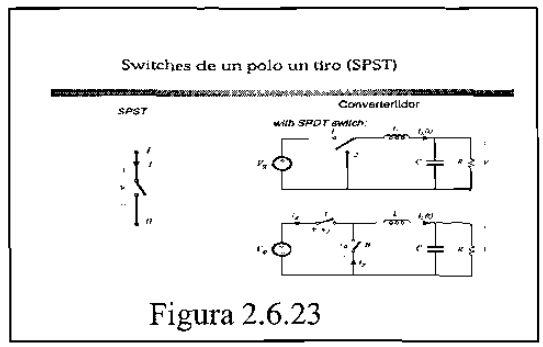


Figura 2.6.23

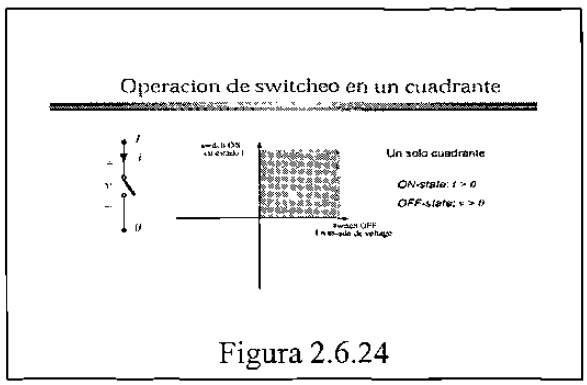


Figura 2.6.24

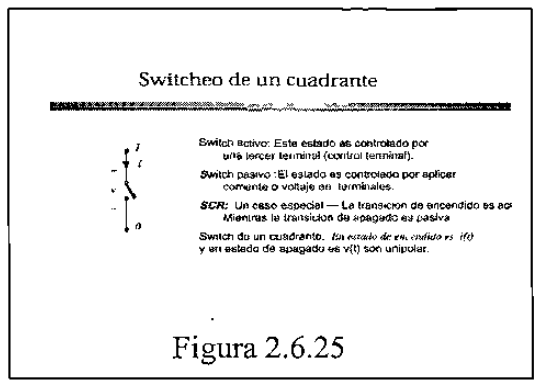


Figura 2.6.25

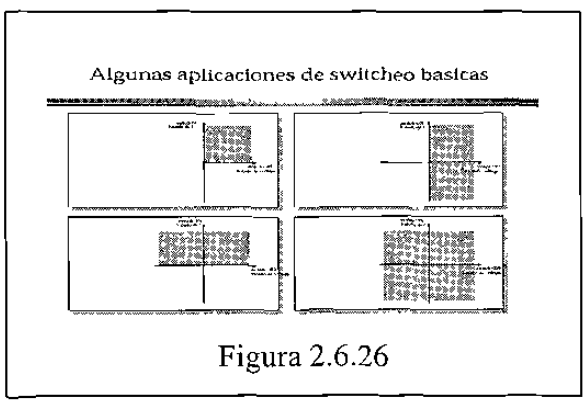


Figura 2.6.26

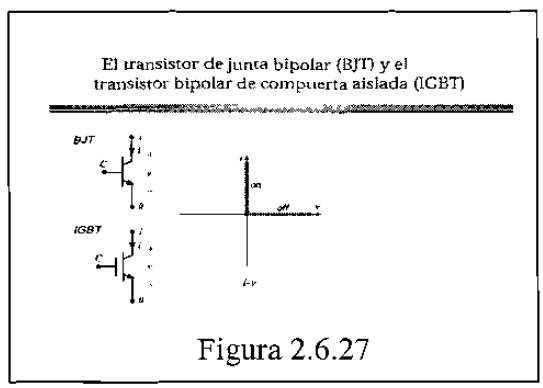


Figura 2.6.27

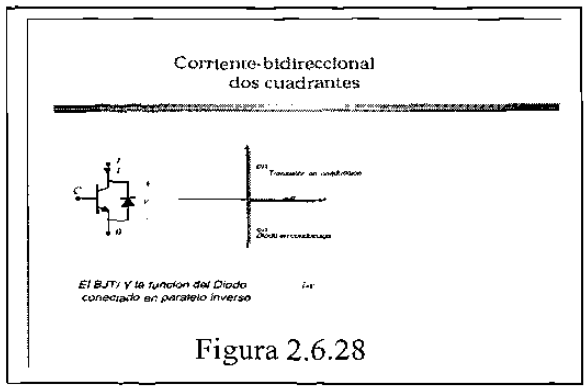


Figura 2.6.28

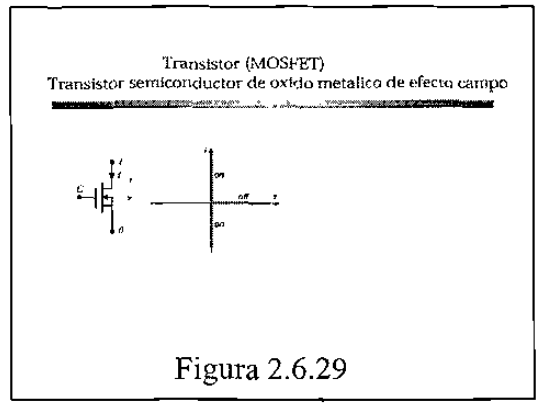


Figura 2.6.29

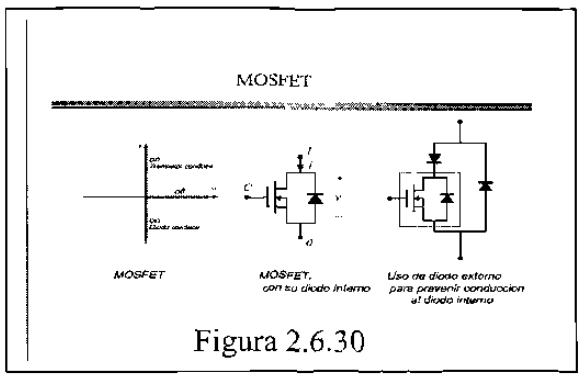


Figura 2.6.30

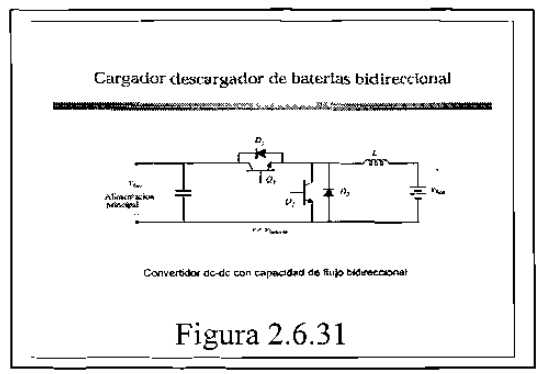


Figura 2.6.31

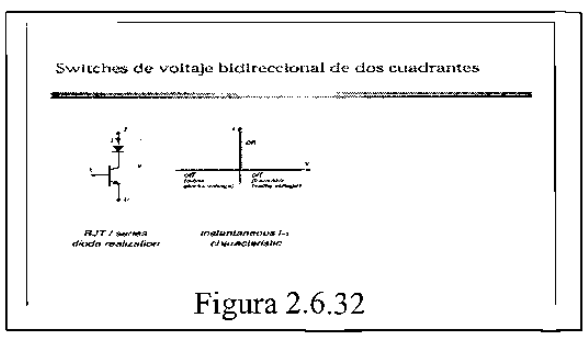


Figura 2.6.32

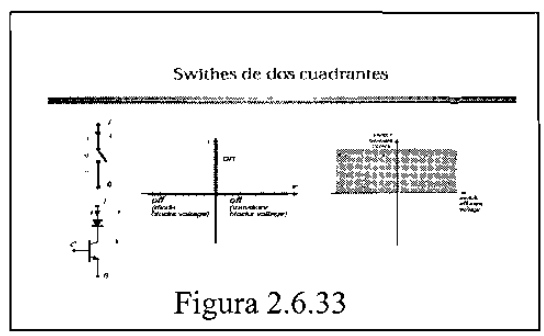


Figura 2.6.33

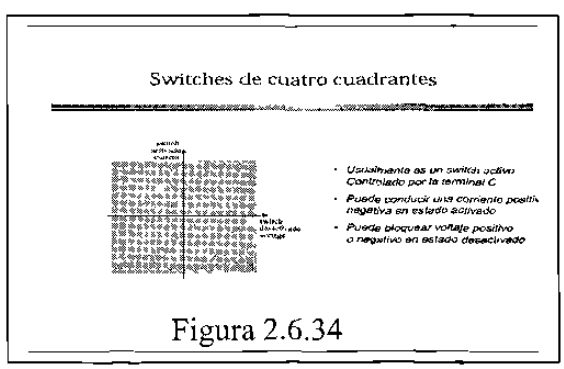


Figura 2.6.34

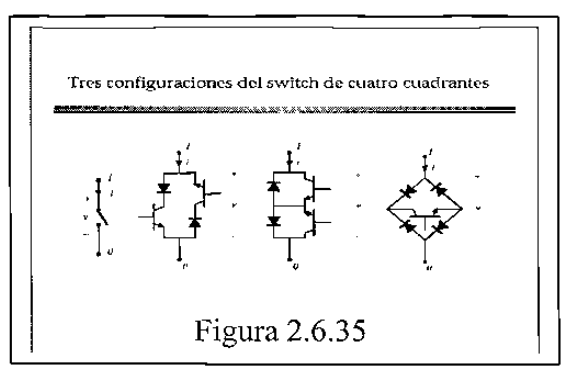


Figura 2.6.35

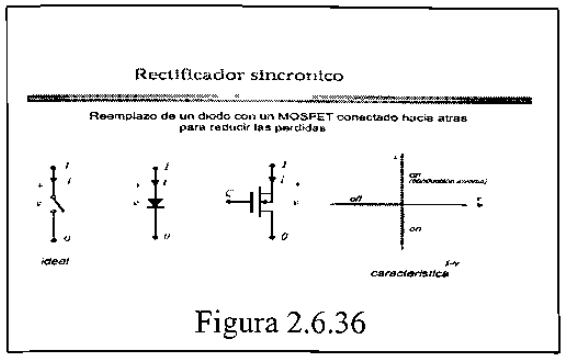


Figura 2.6.36

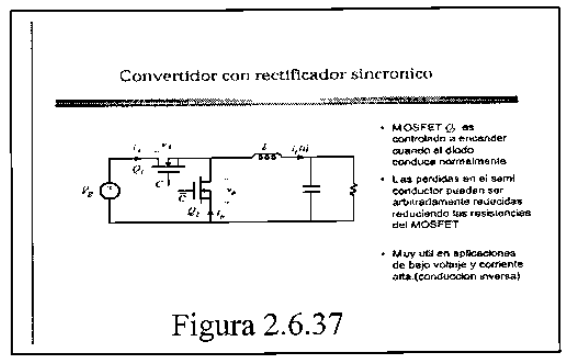


Figura 2.6.37

3. APLICACIONES INDUSTRIALES

3.1 Interruptores estáticos

La función de interrupción, puede ser en CA o en CD. Estas interruptores pueden ser aplicadas en situaciones que tengan un medio ambiente adverso, como en el caso de plantas en las que hay gran cantidad de polvos que ocasionan fallas y daños en los interruptores. A continuación se presentan circuitos simplificados que nos muestran la operación de estos dispositivos.

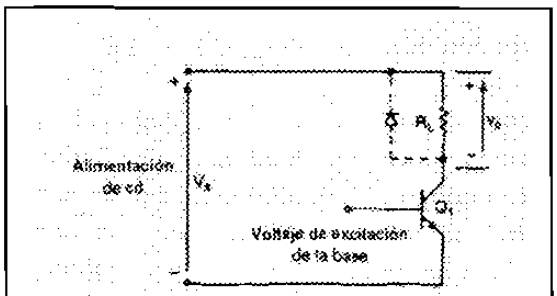


Figura 3.1.1 Interruptor CD

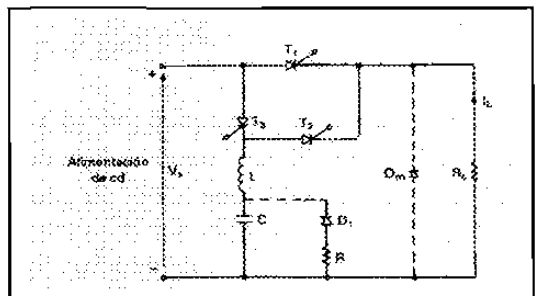


Figura 3.1.2 Interruptor con carga

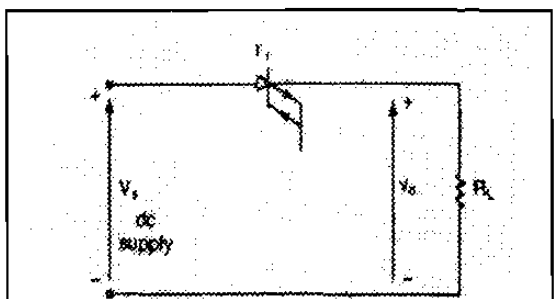


Figura 3.1.3 Interruptor con GTO

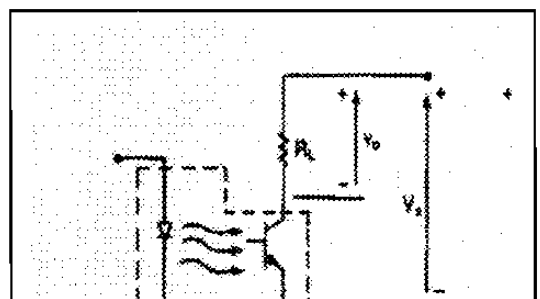
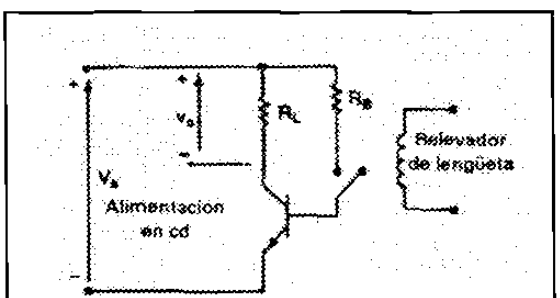
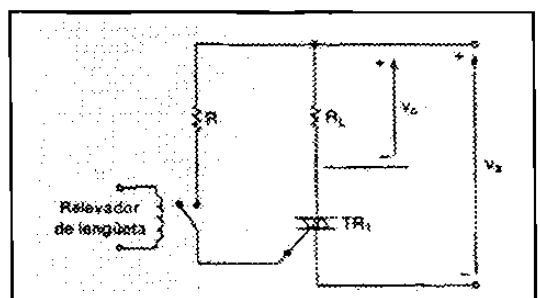


Figura 3.1.4 Interruptor opto aislado



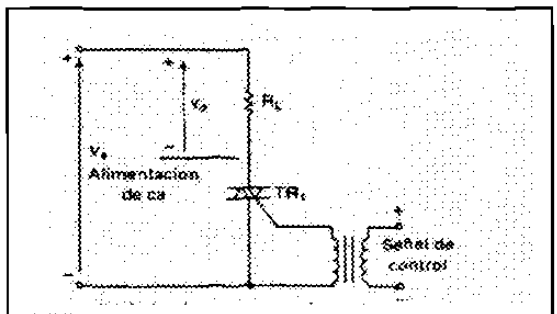
Aislamiento con relevador de lengüeta

Figura 3.1.5



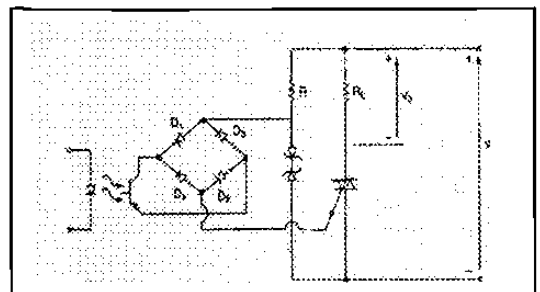
Aislamiento con relevador de compuerta

Figura 3.1.6



Aislamiento por transformador

Figura 3.1.7



Aislamiento por acoplamiento óptico

Figura 3.1.8

3.2 Propulsores de corriente directa

Los propulsores de control de motores de CD, básicamente hablamos de motores típico serie o paralelo que por sus características intrínsecas son fáciles de controlar. Estos tienen alimentación que puede provenir de un rectificador controlado o de un pulsador. Estos a su vez pueden operarse como: motor, freno regenerativo, freno dinámico, frenado invirtiendo rotación y de cuatro cuadrantes.

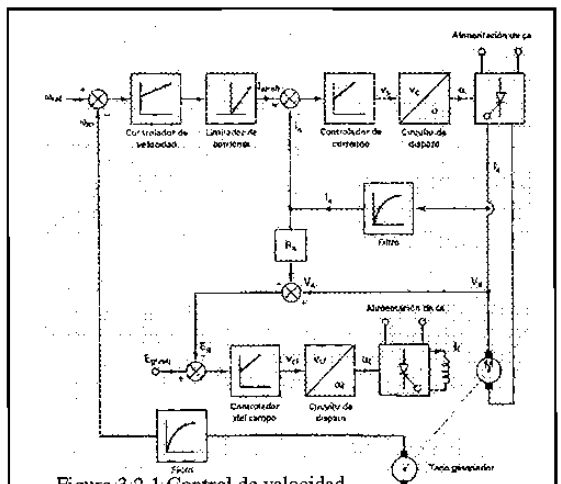


Figura 3.2.1 Control de velocidad

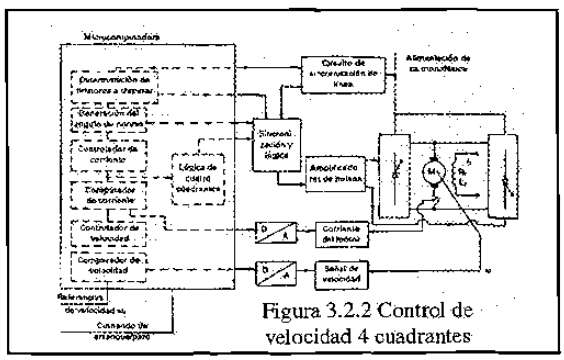


Figura 3.2.2 Control de velocidad 4 cuadrantes

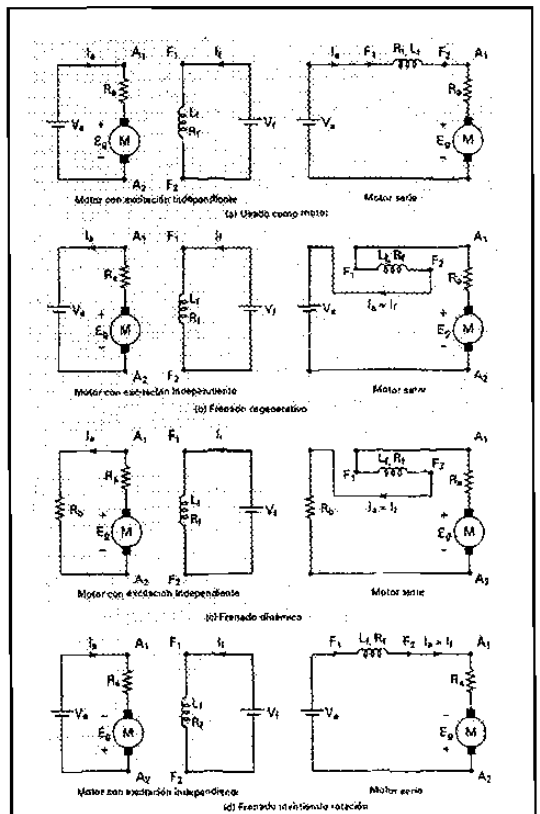


Figura 3.2.3 Tipo de conexión motor de CD

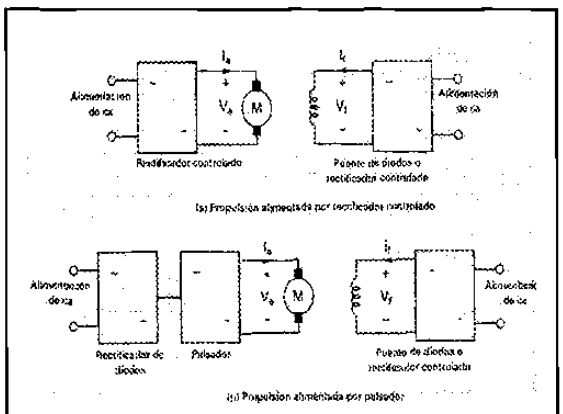


Figura 3.2.4 Control por diodos o SCR

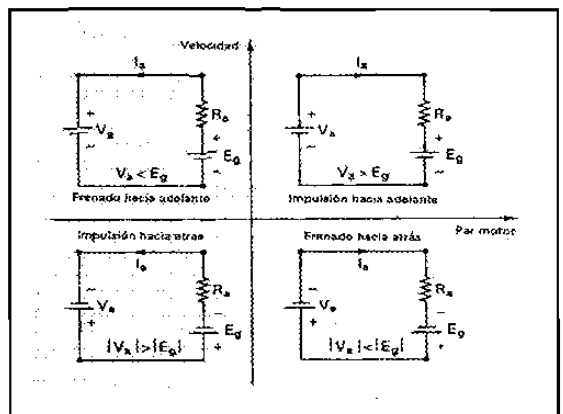
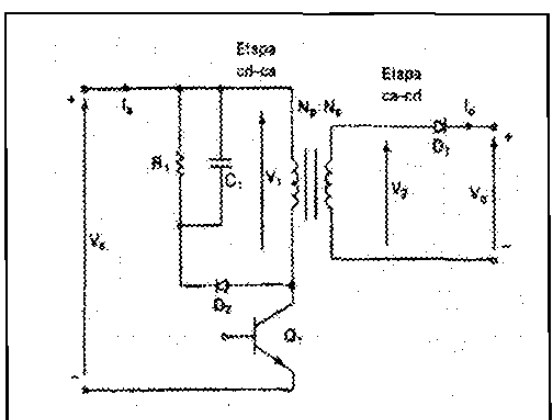


Figura 3.2.5 Grafica de operación

3.3 Fuentes de poder

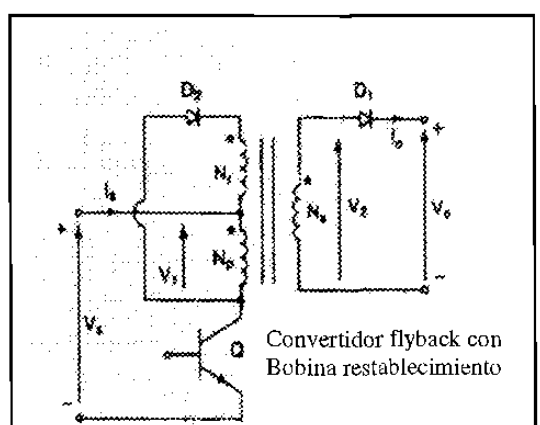
Estos pueden ser de CA o de CD, básicamente son los convertidores que ya se vieron, si clasificamos las fuentes de CD, tenemos: conmutadas, resonantes, y bidireccionales, y los de CA interrumpidas, resonantes y bidireccionales

A continuación presentamos los circuitos condensados de los diferentes tipos de fuentes.



Convertidor Flyback

Figura 3.3.1



Convertidor flyback con Bobina restablecimiento

Figura 3.3.2

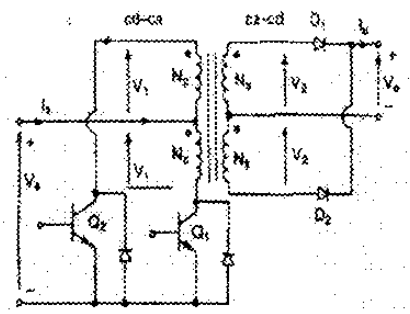


Figura 3.3.3 Convertidor Push pull

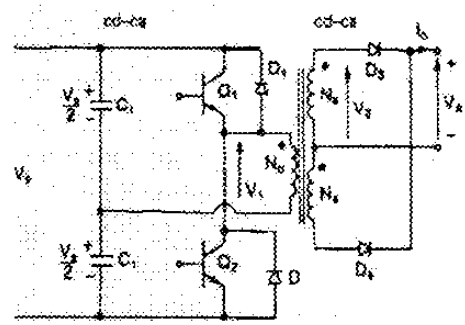
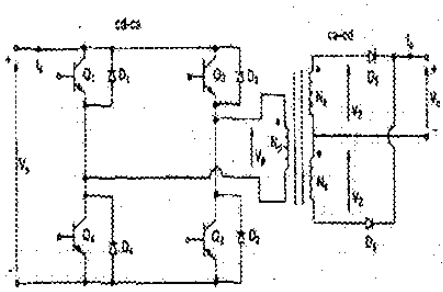
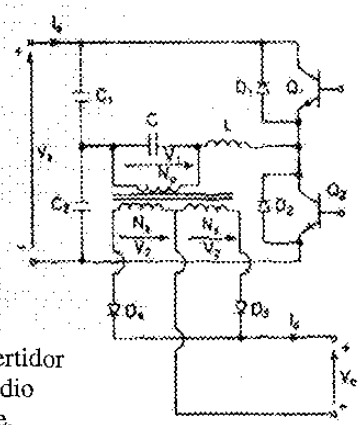


Figura 3.3.4 Convertidor de medio puente



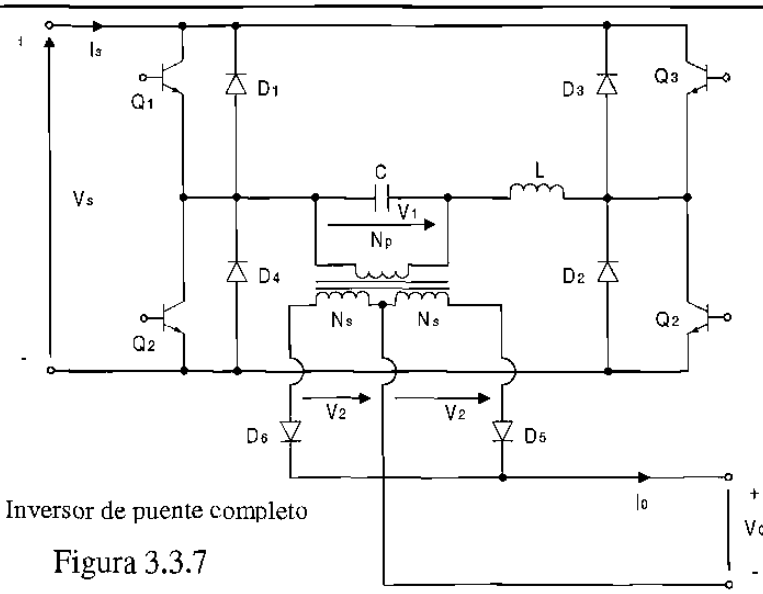
Convertidor de puente completo

Figura 3.3.5



Convertidor de medio puente.

Figura 3.3.6



Inversor de puente completo

Figura 3.3.7

3.4 Propulsores de corriente alterna

Los motores de CA requieren de un control mas complicado que los de CD, por lo que en décadas pasadas eran poco atractivo adquirir un controlador de velocidad de un motor de corriente alterna, ya que por una parte el costo muy alto y por otro lado la gran cantidad de interferencia que ocasionaba. A continuación se presenta el modelo de los motores de inducción. Los motores pueden ser controlados por las siguientes formas: controlador de voltaje del estator, control de voltaje del rotor, control de frecuencia, control de voltaje y frecuencia, control de corriente del estator y control de corriente, voltaje y frecuencia.

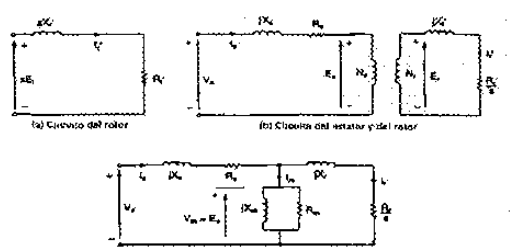


Figura 3.4.1 Circuito de motor

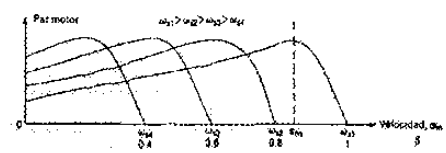


Figura 3.4.2 Curva

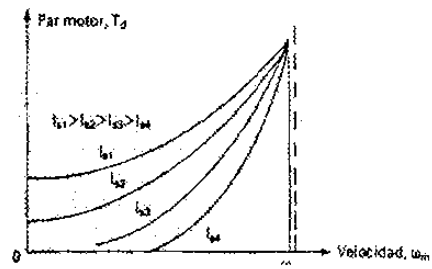


Figura 3.4.3 Controlador de motor de CA

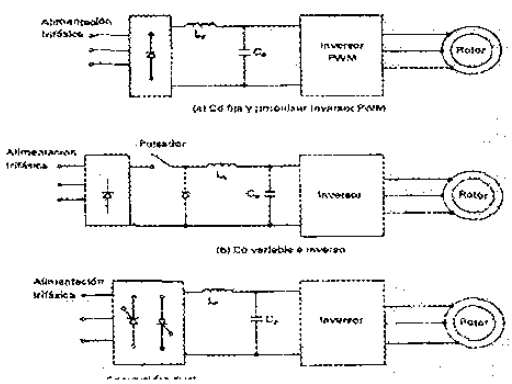


Figura 3.4.4 Curva

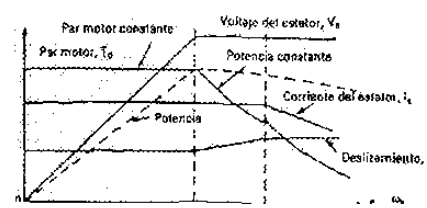


Figura 3.4.5 Curva de frecuencia

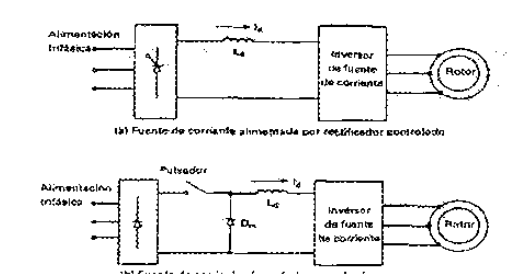


Figura 3.4.6 Controlador de motor de CA

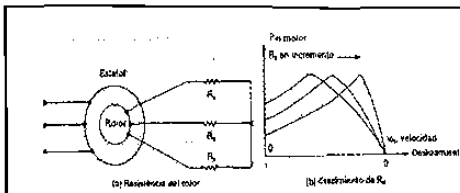


Figura 3.4.7 Curva par

4. MATERIAL DE APOYO

4.1 Preguntas y problemas resueltos.

A continuación se presentan preguntas y problemas resueltos, para disponer de una base de datos que nos permita aplicar exámenes similares y de esta forma el maestro de reciente ingreso dispone de un material de apoyo para su cátedra. A continuación se presentan un cuestionario y un problemario correspondientes al Capítulo dos cuyo titulo es MATERIAL PARA CLASES y se numeraron de acuerdo a temas en este.

2.1.1 ¿ Qué es electrónica de potencia?

Es la aplicación de la electrónica de estado sólido para el control y la conversión de la energía eléctrica. Se basa en primer termino, en la conmutación de dispositivos semiconductores de potencia. Combina la energía, la electrónica y el control.

2.1.2 ¿ Cuales son los diversos tipos de tiristores ?

1 -Tiristor de conmutación forzada.
2-Tiristor conmutado por línea
3-Tiristor desactivado por compuerta. GTO
4-Tiristor de conducción inversa, RCI
5-Tiristor de inducción estático, SITH
6-Tiristor desactivado con asistencia de compuerta, GATT
7-Rectificador controlado de silicio foto activado, LASCR
8-Tiristor controlado por MOS, MCT

2.1.3 ¿ Qué es un circuito de conmutación?

Este circuito se utiliza para desactivar los tiristores conmutados en forma forzada

2.1.4 ¿ Cuales son las condiciones para que un tiristor conduzca?

Haciendo pasar una pequeña corriente a través de la terminal de la compuerta hacia el cátodo, siempre y cuando la terminal del ánodo este a un potencial mas alto que el cátodo

2.1.5 ¿ Cómo se puede desactivar un tiristor en conducción?

a) Haciendo que el potencial del ánodo sea igual o menor que el potencial del cátodo.

b) Los tiristores conmutados en línea se desactivan en razón de la naturaleza senoidal del voltaje de entrada

c) Y los tiristores conmutados en forma forzada mediante un circuito adicional conocido como circuitería de conmutación.

2.1.6 ¿ Qué es conmutación en línea?

Si el voltaje de alimentación (o de la entrada) es de CA, la corriente del tiristor pasa a través de un cero natural, y a través del tiristor aparece un voltaje inverso. El dispositivo queda entonces desactivado en forma automática debido al comportamiento natural del voltaje de alimentación.

2.1.7 ¿ Qué es conmutación forzada?

En algunos circuitos el tiristor, el voltaje de entrada es de CD, para desactivar al tiristor, la corriente en sentido directo del tiristor se obliga a pasar por cero utilizando un circuito adicional conocido como circuito de conmutación.

Por lo general, se aplica en los convertidores de CD a CD (pulsadores) y en convertidores de CD a CA (inversores). Se puede lograr de 7 maneras diferentes:

1 Auto conmutación
2 Conmutación por impulso
3 Conmutación por pulso resonante
4 Conmutación complementaria
5 Conmutación por pulso externo
6 Conmutación del lado de la carga
7 Conmutación del lado de la línea.

2.1.8 ¿ Cuál es la diferencia entre un tiristor y un TRIAC?

Que el flujo de la corriente a través de un TRIAC se puede controlar en cualquier dirección.

2.1.9 ¿ Cuál es la característica de compuerta de un GTO?

Tristor auto desactivado, se activa mediante la aplicación de un pulso breve positivo y desactiva mediante la aplicación de un pulso corto negativo, resultan muy atractivos para la conmutación forzada de convertidores.

2.1.10 ¿ Cuál es el tiempo de desactivación de un tiristor?

Es el intervalo de tiempo entre el instante en que la corriente principal se reduce a cero después de la interrupción externa del circuito de voltaje principal, y el instante que el tiristor es capaz de aceptar un voltaje principal especificado, sin activarse.

2.1.11 ¿ Qué es un convertidor?

Dispositivo que convierte la potencia de una forma a otra, se puede considerar como matriz de conmutación. Convierte el voltaje de ca en cd o viceversa.

2.1.12 ¿ Cuál es principio de conversión de CA-CD?

En este el valor promedio de voltaje de salida se puede controlar variando el tiempo conducción de los tiristores o el ángulo de retraso de disparo. Obtener un voltaje de salida de CD a partir de una fuente de corriente alterna fija.

2.1.13 ¿ Cuál es el principio de conversión de CA-CA?

Obtener un voltaje de salida CA variable a partir de una fuente de corriente fija, controlando el voltaje de salida mediante la variación del tiempo de conducción de un TRIAC o el ángulo de retraso de disparo, α.

2.1.14 ¿ Cuál es el principio de conversión de CD-CD?

Llamado también regulador o un pulsador de conmutación. El voltaje promedio de salida se controla mediante la variación del tiempo de conducción "t", del transistor Ql. Si T es el periodo de corte entonces tl=dt, d se conoce como el ciclo de trabajo del pulsador.

2.1.15 ¿ Cuál es principio de conversión de CD-CA?

Hacer el cambio de polaridad en cada medio ciclo, lo cual nos dá una corriente con forma de onda senoidal tipo cuadrada (idealmente). Se conoce también como inversor.

2.1.16 ¿ Cuáles son los pasos incluidos en el diseño de un equipo de electrónica de potencia?

Diseños de los circuitos de potencia
Protección de los dispositivos de potencia
Determinación de la estrategia de control
Diseño de los circuitos lógicos y de mando

2.1.17 ¿ Cuáles son los efectos periféricos del equipo electrónico de potencia ?

La introducción de armónicas de corriente y de voltaje en el sistema de alimentación y en la salida de los convertidores, interferencia con circuitos de comunicación y señalización.

2.1.18 ¿ Cuáles son las diferencias entre las características de compuerta de los GTO y los tiristores?

Los GTO se pueden activar mediante un pulso positivo y desactivar mediante un breve pulso negativo.

2.1.19 ¿ Cuáles son las diferencias entre las características de compuerta de tiristores y transistores?

En el transistor siempre que la unión del colector al emisor esté correctamente polarizada, éste se conservará activado. VB > VE y la Ib suficientemente grande como para excitar al transistor en la región de saturación.

2.1.20 ¿ Cuáles son las diferencias en las características de compuerta de los BJT y los MOSFET?

Los MOSFET son de alta velocidad de respuesta y son de poca potencia relativamente (1OOOV, 5OA).

2.1.21 ¿Cuál es la característica de compuerta de un IGBT?

Controlados por voltaje son adecuados para alto voltaje, altas corrientes y frecuencia de más de 20 Khz. (l2OOV, 4OOA o más capacidad).

2.1.22 ¿Cuál es la característica de compuerta de un MCT?
Se puede activar mediante un pequeño pulso de voltaje negativo sobre la compuerta MOS (respecto a su ánodo) y desactivar mediante un pulso pequeño de voltaje positivo. La ganancia de desactivación es muy alta.

2.1.23 ¿Cuál es la característica de compuerta de un SITH?
Los tiempos de desactivación y activación son muy cortos, típicamente de 0.25μs. La característica de normalmente activo y la alta caída de voltaje limitan sus aplicaciones para conversiones de energía de uso general. Dispositivo de alta potencia y alta frecuencia (audio, VHF/UHF, amp. de microondas).

2.1.24 ¿Cuáles son las diferencias entre un BJT y los IGBT?
Los IGBT son más rápidos, ofrecen características de excitación y de salidas muy superiores a los de BJT.

2.1.25 ¿Cuáles son las diferencias entre un MCT y los GTO?
El MCT se activa con un pulso negativo y se desactiva con un pulso positivo, y la ganancia de desactivación es muy alta.

2.1.26 ¿Cuáles son las diferencias entre un SITH y los GTO?
Los SITH pueden ser aplicados a convertidores de mediana potencia con una frecuencia de varios cientos de Khz. , Y más allá del rango de frecuencia de los GTO. Y los GTO son atractivos para la conmutación forzada de convertidores.

2.2.1 ¿ Cuales son los tipos de diodos de potencia?
1. diodos estándar o de recuperación
2. diodos de recuperación rápida
3. diodos schottky

2.2.2 ¿ Qué es la corriente de fuga de los diodos?
Es aquella que se presenta bajo condiciones de polarización inversa en el rango de los micros o miliamperios, cuya magnitud crece lentamente en función del voltaje inverso, hasta llegar al voltaje de avalancha o zener.

2.2.3 ¿ Qué es el tiempo de recuperación inversa de los diodos?
Es el intervalo de tiempo que los portadores minoritarios requieren para recombinarse con cargas opuestas y neutralizarse.

2.2.4 ¿ Qué es la corriente de recuperación inversa de los diodos?
Parámetro que puede ser expresado como corriente inversa de pico
di/dt.

2.2.5 ¿ Qué es el factor de suavidad de los diodos?
Es la relación que se tiene entre el tb y ta que son los tiempos de recuperación inversa que presenta el diodo.

2.2.6 ¿ Cuales son los tipos de recuperación de los diodos?

* El tiempo de recuperación de inversa trr.
* La carga de recuperación inversa qrr.
* El tiempo de recuperación directa.

2.2.7 ¿ Cuál es la causa del tiempo de recuperación inversa de un diodo de unión pn?

Debido a los portadores minoritarios que permanecen almacenados en la unión pn y en el material del cuerpo del semiconductor. Los portadores minoritarios requieren de cierto tiempo para recombinarse con cargas opuestas y neutralizarse.

2.2.8 ¿ Cual es efecto del tiempo de recuperación inversa?

Cuando un diodo esta en modo de conducción directa y su corriente se reduce a cero (debido al comportamiento natural del circuito del diodo o a la aplicación de un voltaje inverso), el diodo continua conduciendo.

2.2.9 ¿ Por que es necesario utilizar diodos de recuperación rápida para conversión de alta velocidad?

Tiene un tiempo de recuperación baja, por lo general tiene 5μseg. Y la velocidad de recuperación es a menudo de importancia critica.

2.2.10 ¿ Qué es el tiempo de recuperación directa?

El que limita la velocidad de elevación de la corriente directa y la velocidad de conmutación. Los diodos prácticos requieren de un cierto tiempo de activación, antes de que toda la superficie de la unión se haga conductora, el di/dt debe mantenerse bajo para alcanzar el limite de tiempo de activación.

2.2.11 ¿ cuales son las diferencias principales entre los diodos de unión pn y los diodos schottky?

- La carga recuperada de un diodo schottky es mucho menor que la de un diodo equivalente de unión pn.
- La corriente de un diodo schottky es mayor que la de un diodo de unión pn.
- Un diodo schottky tiene una salida de voltaje relativamente baja.
- Un diodo schottky con un voltaje de conducción relativamente bajo
- Tiene una corriente de fuga relativamente alta y viceversa.

2.2.12 ¿ Cuáles son las limitaciones de los diodos schottky?

Su voltaje máximo permisible está por lo general limitado a lOOv. Las especificaciones de corriente varían de 1 a 300 A.

2.2.13 ¿ Cuál es el tiempo de recuperación inversa típico de los diodos de uso general?
Tiene un tiempo de recuperación relativamente alto, típicamente de 25 (μseg.).

2.2.14 ¿ Cuál es el tiempo de recuperación inversa típico de los diodos de recuperación rápida?
Un tiempo relativamente bajo por lo general menor de 5 (μseg.).

2.2.15 ¿ Cuáles son los problemas de los diodos conectados en serie y cuáles son las soluciones posibles?
Problema.- en condición de bloqueo inverso, cada diodo debe de llevar la misma corriente de fuga y como resultado los voltajes de bloqueo variarán en forma significativa.
Solución: Obligar a que compartan el mismo voltaje con una resistencia a través de cada diodo. Debido a que esta distribución de voltajes iguales la corriente de fuga de cada diodo sería diferente.

2.2.16 ¿ Cuáles son los problemas de los diodos conectados en paralelo, y cuáles son las soluciones posibles?
Problema: Si se conectan resistencias de distribución de corriente pueden provocar pérdidas de energía.
Solución: Se minimiza este problema utilizando diodos con caída de voltaje directas iguales del mismo tipo.

2.2.17 Si dos diodos están conectados en serie con igual repartición de voltaje, ¿Por qué difieren las corrientes de fuga de los diodos?
Al obligar a los diodos a compartir el mismo voltaje , por esta razón la corriente de fuga de cada diodo es diferente ya que comparten esta corriente de fuga con la resistencia divisora de voltaje.

2.3.1 ¿ Cuál es la constante de tiempo de un circuito RL?

$$\tau = L / R$$

2.3.2 ¿ Cuál es la constante de tiempo de un circuito RC?

$$\tau = RC$$

2.3.3 ¿ Cuál es la frecuencia de resonancia de un circuito LC?

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

2.3.4 ¿ Cuál es el factor de amortiguamiento de un circuito RLC?

$$\varepsilon = R / 2L$$

2.3.5 ¿ Cuál es la diferencia entre frecuencia de resonancia y frecuencia de amortiguamiento de un circuito RLC?

Estas son dos propiedades de un circuito de segundo orden, la frecuencia de resonancia es la frecuencia en la cual el circuito entra en máxima amplitud y mínima impedancia. La frecuencia de amortiguamiento es aquella que nos atenúa el comportamiento de nuestra variable que analizamos, si ésta tiene el valor de uno. A continuación se presentan los casos típicos.

Si estos dos valores son iguales se tiene un sistema críticamente amortiguado,

Si $\alpha > \omega$ se tiene un sistema sobre amortiguado,

Si $\alpha > \omega$ se tiene un sistema sub-amortiguado.

2.3.6 ¿ Qué es un diodo de marcha libre y cuál es su uso?

Es un diodo que se utiliza para desviar la corriente en un circuito en el cual se tiene una inductancia y al terminar el suministro de energía a través del circuito de la inductancia genera una corriente. Para encontrar una trayectoria para la corriente de la carga inductiva.

2.3.7 ¿ Qué es la energía atrapada en el inductor?

La inductancia, al recibir corriente, ésta la va almacenando en forma de campo magnético y cuando hay un paro en el suministro este campo se transforma en corriente y se queda almacenada esta energía (corriente) al menos que esta sea disipada a través de una carga.

2.3.8 ¿ Cómo se puede recuperar la energía atrapada mediante un diodo?

Esto se puede hacer si se agrega al inductor un segundo bobinado y se conecta un diodo D1como sigue:

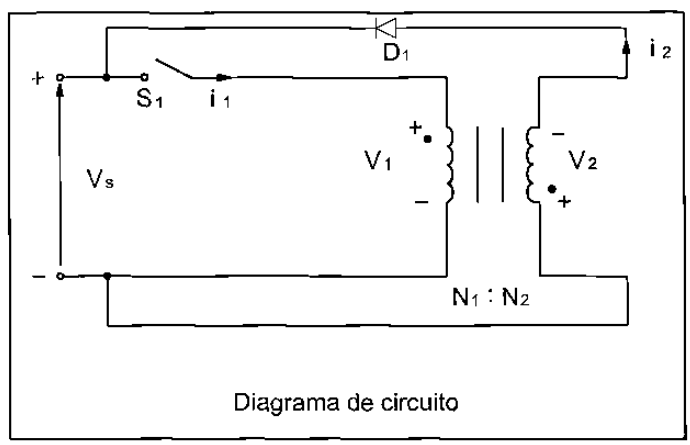


Diagrama de circuito

2.3.9 ¿ Cuál es la relación de vueltas de un transformador?

A= N2/N1

2.3.10 ¿ Qué es un rectificador? ¿Cuál es la diferencia entre un rectificador y un convertidor?

Es un circuito que convierte una señal alterna en una señal directa (rectificada), y el convertidor, su funcionamiento es que genera un voltaje de salida de CD variable a partir de un voltaje fijo de CA y el voltaje de salida se controla mediante la variación del tiempo de conducción de los tiristores o transistores.

2.3.11 ¿ Qué es la condición de bloqueo de un diodo?

Es cuando el medio ciclo negativo del voltaje de entrada al diodo, el diodo deja de conducir (se bloquea), y el voltaje de salida es cero.

2.3.12 ¿ Cuáles son los parámetros de rendimiento de un rectificador?

Eficiencia $\eta = \frac{P_{cd}}{P_{ca}}$; $FF = \frac{V_{rms}}{V_{cd}}$; $RF = \frac{V_{ca}}{V_{cd}}$; $TUF = \frac{P_{cd}}{V_s I_s}$

$$HF = \sqrt{\frac{(I_s^2 - I_{s1}^2)}{I_{s1}^2}} = \sqrt{\frac{(I_s^2 - 1)}{I_{s1}^2}} \quad ; \quad V_{ca} = \sqrt{V_{rms}^2 - V_{cd}^2}$$

2.3.13 ¿ Cuál es el significado del factor de forma de un rectificador?

es una medida de la forma de voltaje de salida. $FF = \frac{V_{rms}}{V_{cd}}$

2.3.14 ¿ Cuál es el significado del factor de componente ondulatoria de un rectificador?

es una medida del contenido de la componente ondulatoria. $RF = \frac{V_{ca}}{V_{cd}}$

2.3.15 ¿ Qué es la eficiencia de la rectificación?

es el porcentaje de la energía alterna que se aprovecha para convertirla en energía de corriente de corriente direct $= \frac{P_{cd}}{P_{ca}}$

2.3.16 ¿ Cuál es el significado del factor de utilización del transformador?

el porcentaje de la energía eficaz aportada por el transformador que se aprovecha para convertirla en potencia directa al circuito. $TUF = \frac{P_{cd}}{V_s I_s}$

2.3.17 ¿ Qué es el factor de desfase?

DF= cosϕ es el coseno del ángulo que existe entre las componentes fundamentales de la corriente y el voltaje.

2.3.18 ¿ Qué es el factor de potencia de entrada?

$$PF = \frac{V_s I_{s1}}{V_s I_s} \qquad Cos\phi = \frac{I_{s1}}{I_s} Cos\phi$$

2.3.19 ¿ Qué es el factor de armónicas?

HF, es una medida de la distorsión de una forma de onda y también se conoce como distorsión armónica total(THD) y se define como:

$$HF = \sqrt{\frac{(I_s^2 - I_{s1}^2)}{I_{s1}^2}} = \sqrt{\frac{(I_s^2 - 1)}{I_{s1}^2}}$$

2.3.20 ¿ Cuál es la diferencia entre un rectificador de media onda y uno de onda completa?

La diferencia radica en el rectificador de media onda, este sólo rectifica a directa en el semiciclo (+) de la señal de alterna de entrada y el rectificador de onda completa rectifica en el ciclo completo, es decir; En el semiciclo (-) también rectifica.

2.3.21 ¿ Cuál es el voltaje de salida de cd en un rectificador monofásico de media onda?

$Vcd = 0.318\ Vm = \frac{Vm}{\pi}$

2.3.22 ¿ Cuál es el voltaje de salida en cd de un rectificador monofásico de onda completa?

$Vcd = 2Vm/\pi = 0.6366\ Vm$

2.3.23 ¿ Qué es la frecuencia fundamental del voltaje de salida de un rectificador monofásico de onda completa?

La salida de un rectificador de onda completa contiene sólo armónicas pares. La segunda armónica es la más dominante y su frecuencia es 2f = 120 Hz.

2.3.24 ¿ Cuáles son las ventajas de un rectificador trifásico sobre un monofásico?

Que el rectificador trifásico se utiliza para aplicaciones de potencia mayores a 15 KW y el rectificador monofásico a potencias menores de 15 KW.

2.3.25 ¿ Cuáles son las desventajas de un rectificador trifásico sobre un rectificador Multifase de media onda?

Que tienen una mayor frecuencia fundamental de armónicas, 10 veces la frecuencia de la fuente.

2.3.26 ¿ Cuáles son las ventajas de un puente rectificador sobre un rectificador en estrella de seis fases?
Que el puente rectificador trifásico tiene mayor ganancia de voltaje de CD, que el estrella de seis fases. La potencia de salida de CD será:
$Pcd = I^2cd\ R$; $Pcd = Em^2/\ R\ (m/\pi\ sen\pi/m)^2$

2.3.27 ¿ Cuáles son los objetivos de los filtros en los circuitos de rectificación?
Para reducir el nivel de armónicas en la carga, el tamaño del filtro se reduce con el aumento de la frecuencia de las armónicas. (Suavizar la salida del voltaje en cd o del rectificador)

2.3.28 ¿ Cuáles son las diferencias entre los filtros de ca y cd?
Los filtros de cd normalmente son de L, C, LC, se utilizan para suavizar la salida de voltaje en cd del rectificador. Debido a la acción de rectificación la corriente de entrada del rectificador también contiene armónicas, para eliminar algunas de las armónicas del sistema de alimentación de energía, se utiliza un filtro de ca. (LC)

2.3.29 ¿ Cuáles son los efectos de las inductancias de la fuente sobre el voltaje de salida de un rectificador?
Hace que la transferencia de corriente de la alimentación hacia los diodos no sea instantánea.

2.3.30 ¿ Cuáles son los efectos de las inductancias de la fuente sobre el voltaje de salida de un rectificador?
Una inductancia en la carga ofrece una alta impedancia para las corrientes armónicas y actúa como un filtro para reducirlas. Sin embargo esta inductancia introduce un retraso de la corriente de carga con respecto al voltaje de entrada; en el caso de un rectificador de media onda monofásico, se requiere de un diodo de marcha libre para permitir una trayectoria para esta corriente inductiva.

2.3.31 ¿ Qué es la conmutación de diodos?
Cuando un diodo en serie con una red RL es auxiliado con otro diodo en paralelo en la red RL(diodo de marcha libre) el efecto de este diodo es prevenir que un voltaje negativo aparezca a través de la carga y como resultado de la energía magnética almacenada se incrementa. En $t=\pi/\omega$ (mitad del ciclo), la corriente del diodo es transferida al diodo de marcha libre y este proceso es llamado conmutación de diodos.

2.3.32 ¿ Qué es el ángulo de conmutación de un rectificador?
En un rectificador de tres fases hay un cierto período en el cual los voltajes de ánodo de los dos diodos son iguales, y ambos diodos conducen, éste período es llamado ángulo de conmutación.

2.4.1 ¿ Qué es la característica V-I de los tiristores?
Es la gráfica de corriente del tiristor contra voltaje entre terminales del tiristor

2.4.2 ¿ Qué es la condición inactiva de los tiristores?
Es cuando el ánodo del tiristor es positivo con respecto al cátodo, 2 de las 3 uniones internas del tiristor están directamente polarizadas, mientras que la unión central se encuentra polarizada inversamente y solo deja pasar una pequeña corriente de fuga.

2.4.3 ¿ Qué es la condición activa de los tiristores?
Cuando en la condición de apagado, el voltaje ánodo-cátodo VAK se incremento a un valor suficientemente grande, la unión inversamente polarizada se rompe y el tiristor comienza a conducir.

2.4.4 ¿ Qué es la corriente de enganche entre tiristores?
Es la mínima corriente del ánodo requerida para mantenerlo encendido, inmediatamente después que ha sido encendido y la señal de compuerta ha sido removida.

2.4.5 ¿ Qué es la corriente de mantenimiento de los tiristores?
Es la corriente directa del ánodo por debajo de la cual el tiristor se bloqueará.

2.4.6 ¿ Cuál es el modelo del tiristor con dos transistores?
La acción regenerativa o de enganche debido a la retroalimentación directa se puede demostrar mediante un modelo de tiristor de dos transistores.

2.4.7 ¿ Cuáles son los procedimientos para activar los tiristores?
Por temperatura, por luz, por alto voltaje, dv/dt y corriente de compuerta.

2.4.8 ¿ Cuál es el tiempo de activación de los tiristores?
Es el tiempo entre la aplicación de señal de compuerta y la conducción plena del tiristor. Se define como el intervalo de tiempo entre el 10% de la corriente de edo. estacionario de la compuerta y el 90% de la corriente del tiristor en edo. encendido y estacionario.

2.4.9 ¿ Cuál es el objetivo de la protección di/dt ?
Evitar que un dispositivo falle como resultado de la excesiva temperatura de un punto caliente (HOT-SPOT) causado por la velocidad de flujo de corriente muy rápida, comparada con la velocidad del proceso de encendido del tiristor.

2.4.10 ¿ Cuál es el método común de protección di/dt ?
Es la adición de una inductancia en serie con el elemento.

2.4.11 ¿ Cuál es el objetivo de la protección dv/dt ?
Es para que no se active por un transitorio de voltaje, o un voltaje que sea demasiado rápido.

2.4.12 ¿ Cual es el método común de protección de dv/dt ?
Con un circuito RC conectado en paralelo conocido como circuito de freno

2.4.13 ¿ Cuál es el tiempo de desactivaron de los tiristores ?
Es el mínimo valor del intervalo de tiempo entre ese instante en que la corriente del estado encendido ha decrecido a cero y en ese instante en que el tiristor es capaz de resistir un voltaje directo sin encenderse.

2.4.14 ¿ Cuales son los tipos de tiristores ?
Tiristores de control de fase de conmutación rápida, triac, rct, fet-ch. mct, y los de desactivación por compuerta

2.4.15 ¿ Qué es un SCR?
Por lo general opera a la a frecuencia de línea y desactiva por la conmutación natural. Es básicamente un dispositivo fabricado de silicio

2.4.16 ¿ Cuál es la diferencia entre SCR y un TRIAC ?
Utilizan aplicaciones de conmutación de alta velocidad con conmutación Reforzada. El TRIAC puede conducir en ambas direcciones y normalmente el control es por fase

2.4.17 ¿ Cuál es la característica de desactivación de los tiristores ?
La desactivación es el control de la compuerta que es la que resulta más dv/dt alto.

2.4.18 ¿ Cuáles son las ventajas y desventajas de los GTO?
La eliminación de las compuertas auxiliares en la conmutación forzada que dá como resultado una reducción de costo peso y volumen, la reducción del ruido acústico, la desactivación más rápida y más eficiente

2.4.19 ¿ Cuáles son las ventajas y desventajas de los SITH ?
Tiene velocidades de conmutación muy rápidas y capacidades altas de dv/dt y di/dt es extremadamente sensible a su proceso de fabricación voltaje 25000 V.

2.4.20 ¿ Cuáles son las ventajas y desventajas de los RCT ?
Ventajas: Se conoce como tiristor con diodo en paralelo inverso integrado y tiene características de dispositivo y requerimientos del circuito.

Desventajas: Se limita a diseños de circuitos muy específicos, ya que su bloque inverso es de 30 a 40 V.

2.4.21 ¿ Cuáles son las ventajas y desventajas de los LASCR ?
Se aplican en alto voltaje y corriente ofrece total aislamiento eléctrico entre la fuente de disparo luminoso

2.4.22 ¿ Cuáles son los dos tipos generales de conmutación?
Conmutación natural
Conmutación Forzada

2.4.23 ¿ Cuáles son los tipos de conmutación de forzada?

1. Auto-conmutación
2. Conmutación por impulso
3. Conmutación por pulso resonante
4. Conmutación complementaria
5. Conmutación por pulso externo
6. Conmutación del lado de la carga
7. Conmutación del lado de la línea

2.4.24 ¿ Cuál es la diferencia entre conmutación automática y natural?

Que la corriente del tiristor pasa a través de un cero natural, y a través del tiristor aparece un voltaje inverso.

2.4.25 ¿ Cuál es el principio de auto conmutación?

En este tipo de conmutación el tiristor es desactivado debido a las características naturales del circuito, se dice que el tiristor esta auto-conmutado.

2.4.26 ¿ Cuál es el principio de la conmutación por impulso?

Se supone que el capacitor está cargado inicialmente a un voltaje de -Vo. Supongamos que el tiristor T1 está inicialmente conduciendo y tiene una corriente de carga m. Cuando se dispara el tiristor auxiliar T2, el tiristor T1 queda con polarización inversa, debido al voltaje del capacitor, y T1 se desactiva. La corriente a través del tiristor T1 dejará de fluir y el capacitor conducirá la corriente de carga.

2.4.27 ¿ Cuál es el principio de la conmutación por pulso resonante?

El capacitor se carga inicialmente con la polaridad positiva estando el tiristor T1 en modo de conducción, con una corriente de carga m.

2.4.28 ¿ Cuál es el principio de la conmutación complementada?

Se utiliza para transferir corriente entre dos cargas; el disparo del tiristor conmuta a otro. Dado que cada varistor se desconecta debido a la conmutación por impulso, éste tipo de conmutación se le conoce como conmutación complementaria por impulso.

2.4.29 ¿ Cuál es el principio de la conmutación por pulso externo?

Para desactivar un tiristor que está conduciendo, se utiliza un pulso de corriente que se obtiene de un voltaje externo.

2.4.30 ¿ Cuáles son las diferencias entre la conmutación del lado de línea y de las de carga?

En la conmutación del lado de carga, la carga forma un circuito en serie con el capacitar, los circuitos de conmutación no pueden probarse sin conectar la carga. En la conmutación del lado de la carga, la descarga y recarga del capacitar no se

llevan a cabo a través de la carga, por lo que el circuito de conmutación se puede probar sin conectada.

2.4.31 ¿ Cuáles son las diferencias entre la conmutación por voltaje y por corriente?
En el proceso de desactivación de un tiristor, causa la transferencia del flujo de corriente a otras partes del circuito, cuando el tiristor está en modo de conducción, su caída de voltaje es pequeña

2.4.32 ¿ Cuáles son los objetivos del circuito de conmutación?
Es desactivar al tiristor, la corriente en sentido directo del tiristor se obliga a pasar por cero utilizando un circuito adicional.

2.4.33 ¿ Por qué debe ser mayor el tiempo de polarización inversa disponible que el tiempo de desactivación de un varistor?
El tiempo de descarga dependerá de la corriente de la carga, suponiendo una corriente de carga constante m.

2.4.34 ¿ Cuál es el objetivo de conectar un diodo en paralelo inverso a través del tiristor principal, con o sin un inductor en serie?
La utilización de un diodo hace que el tiempo de desactivado dependa menos carga.

2.4.35 ¿ Cuál es la relación entra la corriente de pico resonante y la carga para una conmutación por pulso resonante que minimice las pérdidas de conmutación?
Debido a la corriente de resonancia, la corriente en sentido directo del tiristor T1 se reduce a cero en t = ti cuando la corriente de resonancia se iguala con la corriente de carga m.

2.4.36 ¿ Cuáles son las expresiones para el valor óptimo de un capacitor y de un inductor de conmutación en una conmutación por pulso resonante?
$Vc(t = t_1) = - V_1 = -Vo \cos \omega m t_1$.

2.4.37 ¿ Por qué se sobrecarga el capacitor de conmutación en una conmutación por pulso resonante?
Ya que sus características de comportamiento son inversas. Porque cuando en el inductor la corriente es máxima, en el capacitor el voltaje es máximo y puesto que hay corriente máxima ésta tiende a acumularse como voltaje en el capacitor.

2.4.38 ¿ Cómo se invierte el voltaje del capacitor de conmutación en un circuito de conmutación?
Después del tiempo $t = t_{off}$ $t_{off} = n/LC$, la corriente se convierte en cero y el voltaje del capacitar se invierte a Vo.

2.4.39 ¿ Cuál es el tipo de capacitor que normalmente se utiliza en altas frecuencias de conmutación?

En la selección del capacitor de conmutación, deberá de satisfacer las especificaciones de corriente de pico, RMS y promedio, así como el voltaje de pico a pico.

2.4.40 ¿ Qué es un disipador de calor?

Es un elemento de Aluminio extruido con aletas de enfriamiento para aumentar la capacidad de transferencia de calor.

2.4.41 ¿ Cuál es el análogo eléctrico de la transferencia de energía correspondiente a un dispositivo semiconductor de potencia?

Inicialmente el Vc = -Vs y debido a la corriente de resonancia, ésta se hace cero en el sentido directo del tiristor y entonces el capacitor se vuelve a cargar hasta el voltaje de alimentación.

2.4.42 ¿ Cuáles son las precauciones a tomar para el montaje de un dispositivo en un disipador de calor?

1. El área de contacto entre el dispositivo y el disipador debe ser planas, lisas y libres de suciedad, corrosión y óxido superficiales.
2. Seguir el procedimiento de instalación generalmente los proporciona el fabricante.
3. En los dispositivos montados con pernos, no proporcionar pares de torsión de montajes excesivos, podría dañarse el dispositivo. El perno y la rosca no deben lubricarse ya que la lubricación aumenta la tensión sobre el perno.

2.4.43 ¿ Qué es una tubería de calor?

Son tuberías parcialmente llenas con un líquido de vapor de baja presión de vapor producido por el dispositivo vaporiza el líquido y el vapor fluye al otro extremo, donde se condensa, regresando el líquido a la fuente de calor.

2.4.44 ¿ Cuáles son las ventajas y desventajas de las tuberías de calor?

Ventajas: Disipa fácilmente el calor.

Desventajas: La tubería de calor puede provocar daños en los elementos al tener agua dentro de estas.

2.4.45 ¿ Cuáles las ventajas y desventajas del enfriamiento por agua?

Ventajas: Que el agua disipa fácilmente el calor tres veces mas eficaz que el aceite.

Desventajas: La tubería de calor puede provocar daños en los elementos al tener fugas en estas y requieren anticongelantes en época de frío.

2.4.46 ¿ Cuáles son las ventajas y desventajas de la refrigeración por aceite?

Ventajas: Proporciona un buen aislamiento y elimina problemas de corrosión y de congelamiento.

Desventajas: Es inflamable.

2.4.47 ¿ Porqué es necesario determinar la temperatura instantánea de unión de un dispositivo?

Si en los sistemas reales falla el medio de enfriamiento la elevación de la temperatura de los disipadores de calor sube, y deben servir para interrumpir los convertidores de potencia.

2.4.48 ¿ Qué es un circuito de apoyo polarizado?

Es un circuito RC aplicado a un tiristor o transistor y está conectado con un diodo en paralelo inverso y en serie con el RC, para limitar el transitorio de voltaje.

2.4.49 ¿ Qué es un circuito de apoyo no polarizado?

Es el que limita el transitorio de voltaje dv/dt pero no lleva diodos, es solo el circuito RC con dos transistores.

2.4.50 ¿ Cuál es la causa del voltaje transitorio de recuperación inversa?

La energía que queda atrapada en las inductancias del circuito.

2.4.51 ¿ Cuál es el valor típico del factor de amortiguamiento para un circuito de apoyo RC?

$\delta = \alpha/\omega_0 = 0.5$

2.4.52 ¿ Cuales son las consideraciones que deben tomarse en cuenta en el diseño de los componentes óptimos de un circuito de apoyo RC?

El circuito de apoyo puede o no estar polarizado. Un circuito de apoyo polarizado directo es adecuado cuando un tiristor o transistor esta conectado con un diodo paralelo inverso.

2.4.53 ¿ Cuál es la causa de los voltajes transitorios del lado de la carga?

A fin de limitar el voltaje transitorio se puede conectar un capacitor a través del primario o del secundario del transformador, en la practica se conecta una resistencia en serie con el capacitor.

2.4.54 ¿ Cuál es la causa de los voltajes transitorios del lado de la alimentación?

Por lo general se conecta un transformador en el lado de la entrada de los convertidores bajo condiciones de régimen permanente, se almacena una cantidad de energía en la inductancia de magnetización, Lm, del transformador y al conmutar la alimentación se produce un voltaje transitorio a la entrada.

2.4.55 ¿ Cuales son las características de los diodos de selenio?
Este tipo de diodos tiene un voltaje directo bajo, pero un voltaje de ruptura bien definido.

2.4.56 ¿ Cuales son las ventajas y desventajas de los varistores en la supresión de voltaje?
Ventajas: Limitan el voltaje transistores a magnitud bien definida

Desventajas: No limitan a los transistores en el mismo grado que en un circuito RC debido a que el varistor es mas lento y por su confiabilidad esta por debajo de circuito RC.

2.4.57 ¿ Cuál es el tiempo de fusión de un fusible?
Es el tiempo que la corriente que pasa por el fusible en un circuito determinado llega al valor pico permitido es decir es el tiempo que tarda en elevarse la corriente de falla hasta que el fusible se funde.

2.4.58 ¿ Cual es la corriente de falla posible?
Es cuando la corriente de falla llaga a su primer pico, esta corriente que podría haberse elevado sino existiera fusible, se denomina corriente de falla posible.

2.4.59 ¿ Cuales son las consideraciones a tomar en cuenta en la selección de un fusible para un dispositivo semiconductor?

1. El fusible debe conducir en forma continua la corriente de especificación del dispositivo.

2. El valor permitido del fusible antes que se libere la falla debe ser menor que el dispositivo protegido.

3. El fusible debe ser capaz de soportar el voltaje después de la especificación de voltaje de pico del dispositivo.

4. El voltaje de arco en su valor pico debe ser menor que la especificación de voltaje de pico del dispositivo.

2.4.60 ¿ Qué es un crowbar?
Es un circuito que sirve para proteger circuitos o equipos bajo condiciones de falla en las que la cantidad de energía involucrada resulta demasiado alta y no se puede utilizar los circuitos normales de protección. ejemplo: un transistor BJT que forma parte de un circuito donde ocurre un corto y este hace que la corriente aumente trayendo como consecuencia que el transistor se sale de saturación y la corriente de base no se modifica y ocasiona que se dañe el transistor aun cuando la corriente de falla no sea suficiente par fundir el fusible.

2.4.61 ¿ Cuales son los problemas para la protección de transistores bipolares mediante fusibles?
Puede ocurrir un corto circuito produciendo un aumento de corriente y de voltaje por lo tanto existe mas potencia disipada en el transistor y daña a este sin fundir el fusible.

2.4.62 ¿ Cuales son los problemas de instalación de fusibles en circuitos de C.D.?
Como la corriente de corto circuito depende del tiempo del corto esta puede ser muy baja para no fundir el fusible de lo contrario si la corriente aumenta muy lentamente tampoco se funde el fusible.

2.5.1 ¿ Qué es una conmutación natural o de línea?
Si el voltaje de alimentación es de CA la corriente de tiristor pasa a través de un cero natural, y a través del tiristor aparece un voltaje inverso.

2.5.2 ¿ Qué es un rectificador controlado?
Estos convierten CA en CD y se conocen como convertidores CA-CD y se utilizan en forma extensa en aplicaciones industriales en propulsores de velocidad variable, con potencias mínimas hasta megawatts.

2.5.3 ¿ Qué es un convertidor?
Un dispositivo que convierte la potencia de una forma a otra, se puede considerar como matriz de conmutación

2.5.4 ¿ Qué es el control de ángulo de retraso de los convertidores?
Es cuando el voltaje de entrada empieza a hacerse positivo hasta que se dispara el tiristor a este ángulo es conocido como alfa, ángulo de retraso o de activación.

2.5.5 ¿ Qué es un semiconvertidor?
Es un convertidor de un cuadrante, y tiene una misma polaridad de voltaje y de corriente de salida

2.5.6 ¿ Qué es un convertidor completo?
Es un convertidor de dos cuadrantes, la polaridad de su voltaje de salida puede ser positiva o negativa, la corriente de salida solo tiene una polaridad

2.5.7 ¿ Qué es un convertidor dual?
Este puede operar un cuatro cuadrantes, y tanto su voltaje como su corriente de salida pueden ser positivos como negativos

2.5.8 ¿ Cuál es el principio de control de fase?
Durante el medio ciclo positivo de voltaje de entrada, el ánodo de tiristor es positivo con respecto al cátodo por lo que se dice que el tiristor tiene polarización inversa.

2.5.9 ¿ Cuáles son los efectos de eliminar el diodo de marcha libre en los semiconvertidores monofásicos?
Deja de conducir y no proporciona continuidad de corriente de la carga inductiva.

2.5.10 ¿ Porqué es mejor el factor de potencia de los semiconvertidores que el de los convertidores completos?
Porque el semiconvertidor tiene la misma polaridad de voltaje y corriente de salida.

2.5.11 ¿ Cuál es la causa de la corriente circulante en los convertidores duales?
Los voltajes instantáneos de salida de los dos convertidores están fuera de fase, existe una diferencia instantánea de voltaje.

2.5.12 ¿ Por qué se requiere de un inductor de corriente circulante en los convertidores duales?
Porque la corriente no fluirá a través de la carga y por lo general estará limitada

2.5.13 ¿ Cuáles son las ventajas y las desventajas de los convertidores en serie?
Ventajas: Se puede conectar en serie para compartir el voltaje y mejorar el factor de potencia.

Desventajas: No deben perder sincronía y operar al mismo tiempo.

2.5.14 ¿ Cómo esta relacionado el ángulo de retraso de un convertidor con el ángulo de retraso de otro convertidor en un sistema dual?
Que uno funciona como convertidor 1 y 2 respectivamente y el otro funciona como inversor pero ambos conducen el mismo voltaje.

2.5.15 ¿ Cuál es el modo de inversión de los convertidores?
El voltaje de entrada es negativo y la corriente de entrada positiva, existiendo un flujo inverso de potencia, de la carga hacia la alimentación.

2.5.16 ¿ Cuál es el modo de rectificación de los convertidores?
El voltaje de entrada y la corriente de entrada son positivos, la potencia fluye de la alimentación a la carga.

2.5.17 ¿ Cuál es la frecuencia de la armónica de orden menor en semiconvertidores trifásicos?
3 fs

2.5.18 ¿ Cuál es la frecuencia de la armónica de orden menor en los convertidores completos trifásicos?
Fs

2.5.19 ¿ Cuál es la frecuencia de la armónica de orden menor en los semiconvertidores monofásicos?
2 fs

2.5.20 ¿ Cómo se activan y desactivan los tiristores disparados por compuerta?
Puede activarse mediante la aplicación de una señal positiva de compuerta, y se desactiva mediante una señal negativa de compuerta.

2.5.21 ¿ Cómo se activa y desactiva un tiristor de control de fase?
Se activa cuando el voltaje de entrada es positivo, el ánodo del tiristor es positivo con respecto al cátodo y se desactiva cuando el voltaje de entrada empieza a hacerse negativo cuando ánodo es negativo con respecto al cátodo.

2.5.22 ¿ Qué es la conmutación forzada? ¿Cuáles son las ventajas de la conmutación forzada para los convertidores de CA-CD?
El voltaje de entrada es de CD para desactivar al tiristor la corriente en sentido directo de tiristor se obliga a pasar por cero utilizando un circuito adicional llamado circuito de conmutación.

2.5.23 ¿ Qué es el control de ángulo de extinción de los convertidores?
Cuando la corriente pasa por cero y el tiristor se desactiva.

2.5.24 ¿ Qué es el control de ángulo simétrico de los convertidores?
El control del ángulo es el que permite la operación en un cuadrante.

2.5.25 ¿ Qué es el control de modulación de ancho de pulso de los convertidores?
Es PWM los conmutadores de convertidor se cierran y se abren varias veces durante medio ciclo, el voltaje de salida se controla variando el ancho de los pulsos.

2.5.26 ¿ Qué es el control por modulación senoidal de ancho de pulso de un convertidor?
Genera los anchos de pulso comparando un voltaje de referencia triangular de amplitud y la frecuencia con un voltaje semi senoidal portador de amplitud y de frecuencia.

2.5.27 ¿ Cómo se varia el voltaje de salida de un convertidor de un control de fase?
Vcd puede variar desde Vm = 1 hasta 0, al variar α desde 0 hasta 7 radianes. El voltaje promedio de salida se hace máximo en cero.

2.5.28 ¿ Cómo se varía el voltaje de salida en un convertidor con control por modulación senoidal dela ancho de pulso?
Varia al modificar la amplitud AC el índice de modulación M desde 0 hasta 1

2.5.29 ¿ Depende el ángulo de conmutación del ángulo de retraso de los convertidores?
Sí

2.5.30 ¿ Depende la caída de voltaje ocasionada por inductancias de conmutación, el ángulo de retraso de los convertidores?
No

2.5.31 ¿ Depende el factor de potencia de entrada de los convertidores del factor de potencia de la carga?
Sí

2.5.32 ¿ Dependen del ángulo de retraso los voltajes de las componentes ondulatorias de salida de los convertidores?
No

2.6.1 ¿ Cuáles son las ventajas y las desventajas del control de abrir y cerrar?
Ventajas: Se utiliza en aplicaciones que tienen una alta inercia mecánica y una alta constante de tiempo térmica.

Desventajas: Debido a la conmutación en voltaje y corriente cero de los varistores las armónicas generadas por las acciones de conmutación existen.

2.6.2 ¿ Cuáles son las ventajas y las desventajas del control de ángulo de fase?
Ventajas: El rango de control esta limitado y el voltaje RMS efectivo de salida solo puede variar entre 70 y 100.

Desventajas: El voltaje de salida y la corriente de entrada son asimétricos y contienen una componente de CD.

2.6.3 ¿ Cuáles son los efectos de la inductancia de carga sobre el rendimiento de los controladores de voltaje de CA?
El tiristor puede o no desactivarse en cada medio ciclo de voltaje de entrada y esto puede ocasionar una perdida de control.

2.6.4 ¿ Qué es el ángulo de extinción?
El ángulo 0 o de extinción es cuando la corriente pasa por cero y el tiristor se desactiva.

2.6.5 ¿ Cuáles son las ventajas y desventajas de los controladores unidireccionales?
Ventajas: Contiene corriente de entrada CD y un contenido de armónica más alto debido a la naturaleza asimétrica de la forma de onda voltaje de salida.

Desventajas: No se utilizan normalmente en los impulsores para motores de CA. Por lo general se utiliza un control bidireccional trifásico.

2.6.6 ¿ Cuáles son las ventajas y desventajas de los controladores bidireccionales?

Ventajas: Las operaciones de éste controlador es similar a la de un controlador de media onda.

Desventajas: La trayectoria de la corriente de regreso está dada por los tiristores en vez de los diodos.

2.6.7 ¿ Qué es el arreglo de control de amarre?
Es un dispositivo de potencia bidireccional trifásico se puede juntar una conexión y permite el ensamble de todos los varistores como una sola unidad.

2.6.8 ¿ Cuáles con los pasos necesarios para determinar las formas de ondas de voltaje de salida de los controladores trifásicos unidireccionales?
Para $0 < \theta < 60^{o}$ dos tiristores conducen inmediatamente antes del disparo de Tl una vez disparado Tl conducen tres tiristores.

2.6.9 ¿Cuáles son las ventajas de los controladores conectados en delta?

Ventajas: Requieren únicamente de tres tiristores y simplifica la circuitería de control.

2.6.10 ¿ Cuál es el rango de control de ángulo de retraso para los controladores monofásicos unidireccionales?
$0 < \theta < 150^{o}$

2.6.11 ¿ Cuál es el rango de control de ángulo de retraso para los controladores monofásicos bidireccionales?
$0 < \pi - \alpha_1 < 60.1$

2.6.12 ¿ Cuál es el rango de control de ángulo de retraso para los controladores trifásicos unidireccionales?
$0 < \alpha$

2.6.13 ¿ Cuáles son las ventajas de los cambiadores de derivaciones de transformador?
Ventajas: Tiene la ventaja de una acción de conmutación muy rápida.

2.6.14 ¿ Cuáles son los métodos de control del voltaje de salida de los cambiadores de derivaciones de transformador?
En el rango de control 0 < Vo para variar el voltaje de la carga dentro de este rango, se desactivan los tiristores Tl y T2. Rango de control 0 ---Vo < (vl +v2), Los tiristores T3 y T4 están desactivados. Rango de control Vl < Vo«Vl + V2), el varistor T3 se activa en wt = O y el voltaje en el secundario Vl aparece a través de la carga.

2.6.15 ¿ Qué es un cambiador de derivaciones sincrónico?

Es el voltaje secundario Vl aparece a través de la carga, en tanto T2 se dispare wt = 7r + a Cuando T2 se dispara en wt = 7c+a T4 se desactiva debido al voltaje inverso V2 y el voltaje de carga es (Vl +V2) En wt--2p, T2 es auto conmutado T3 se vuelve a activar y el ciclo se repite a este tipo de control se le conoce cambiador asíncrono.

2.6.16 ¿ Qué es un ciclo-convertidor?

Es un cambiador de frecuencia directa que convierte la potencia de ca a una frecuencia en potencia de frecuencia alterna a otra frecuencia mediante conversión de CA a CA sin necesidad de un eslabón de conversión intermedia.

2.6.17 ¿ Cuáles son las ventajas de un ciclo convertidor?

Ventajas: Se puede obtener un voltaje de salida variable a frecuencias variables a partir de conversiones de dos etapas CA fija a CD variable (rectificadores controlados) y CD variable a CA variable a una frecuencia variable (inversores) Sin embargo los ciclo convertidores pueden eliminar la necesidad de uno o más convertidores intermedios.

2.6.18 ¿ Cuáles son las ventajas y las desventajas de los controladores de voltaje de CA?

Suministran un voltaje de salida variable pero la frecuencia del voltaje de salida es fija y además el contenido armónico es alto, especialmente en el rango del voltaje de salida baja.

2.6.19 ¿ Cuál es el principio de operación del ciclo convertidor?

La mayor parte de los ciclo-convertidores son de conmutación natural, estando la frecuencia de salida máxima limitada a un valor que es solo una fracción de la frecuencia de la fuente. Como resultado, la aplicación de mayor importancia de los ciclo-convertidores son los motores electrónicos de baja velocidad.

2.6.20 ¿ Cuáles con los efectos de la inductancia de la carga sobre el rendimiento de los ciclo-convertidores?

Permiten la síntesis y la puesta en práctica de estrategias avanzadas de conversión para cambiadores directos de frecuencia de conmutación forzada, a fin de optimizar la eficiencia y reducir los contenidos armónicos.

2.6.21 ¿ Cuáles son tres disposiciones posibles para un controlador monofásico de voltaje de CA de onda completa?

Si el convertidor P esta operando solo, el voltaje promedio de salida es positivo, y si el convertidor N esta operando, el voltaje de salida es negativo.

2.6.22 ¿ Cuáles son las ventajas de las técnicas de reducción armónica senoidal de los ciclo-convertidores?

Suprime los pulsos de compuerta hacia el convertidor que no esta suministrando corriente de carga

2.6.23 ¿ Cuáles son los requisitos de señal de compuertas de los tiristores para controladores de voltaje con carga RL?
Las especificaciones de los dispositivos de potencia deben diseñarse para las condiciones de peor caso, que ocurrirán cuando el convertidor suministre el valor rms máximo de voltaje de salida.

2.6.24 ¿ Cuáles son los efectos de las inductancias de alimentación y de carga?
El efecto de cualquier inductancia de alimentación sería retrasar la desactivación de los varistores.

2.6.25 ¿ Cuáles son las condiciones de diseño en peor caso de dispositivos de potencia para controladores de voltaje de CA?
Ocurre cuando el convertidor suministre el valor máximo de velocidad deberá determinarse el ángulo de retrazo

2.6.26 ¿ Cuáles son las condiciones de diseño en peor caso de los filtros de carga para controladores de voltaje de CA?
Ocurre cuando el convertidor suministre el valor máximo del voltaje de salida.

PROBLEMAS

Problema 2.2.1

El tiempo de recuperación inversa de un diodo es trr=5μs, y la velocidad de reducción de la corriente del diodo es di/dt= 80 A/μs. Si el factor de suavidad es SF= 0.5, determine la carga de almacenamiento Qrr y la corriente inversa pico Irr.

t_{rr}=5 μs and di/dt = 80 A/μs

a) Ecuación $t_{rr} = \sqrt{\frac{2Q_{RR}}{di/dt}}$

Q_{RR}= 0.5 (di/dt) t_{rr}^2 = 0.5 x 80x 5^2x10^{-6} = 1000 μC

b) Ecuación $I_{RR} = \sqrt{2Q_{RR}\frac{di}{dt}}$

I_{RR}= $\sqrt{2Q_{RR}\ di/dt}$ = $\sqrt{2x1000x800}$ = 400 A

Problema 2.2.2

Los valores medidos de un diodo a una temperatura de 25°C son V_{D1}= 1.0v a I_{D1}=50A V_{D2}=1.5V a I_{D2} = 600 A. Determine el coeficiente de emisión *n* y la corriente de fuga. V_T=25.8x10^{-3}mV

De la ecuación $I_D = I_S(e^{\frac{V_D}{nV_1}} - 1)$ despejamos el logaritmo natural (base e)

$$\ln I_D = \ln I_S + \frac{V_D}{nV_1}$$

Después de la simplificación obtenemos el voltaje del diodo V_D el cual queda como

$$V_D = n\ V_1 \ln(\frac{I_{D1}}{I_S})$$

Si la corriente del diodo I_{D1}, corresponde al voltaje de diodo V_{D2}, obtenemos.

$$V_{D1} = V_T \log(\frac{I_{D1}}{I_S})$$

Si V_{D2} es similar al voltaje del diodo, este corresponde a la corriente del diodo I_{D2}, y obtenemos.

$$V_{D2} = nV_T \ln(\frac{I_{D2}}{I_S})$$

Por lo tanto, la diferencia dentro del voltaje del diodo puede ser expresada por

$$V_{D2} - V_{D1} = nV_T \ln(\frac{I_{D2}}{I_S}) - nV_T \ln(\frac{I_{D1}}{I_S}) = nV_T \ln(\frac{I_{D2}}{I_{D1}})$$

a) Para $V_{D2} = 1.5$ V, $V_{D1} = 1.0$V, $I_{D2} = 600$A, and $I_{D1} = 50$A,

$1.5 - 1.0 = n \times 0.0258 \times \ln(\frac{600}{50})$, el resultado de n = 7.799

b) Para. $V_{D1} = 1.0V$, $I_{D1} = 50A$, *y* $n = 7.799$

$1.0 = 7.799\ x\ 0.0258\ x\ \ln(\frac{50}{I_S})$, *el resultado de* $I_S = 0.347A$.

Problema 2.2.3

Dos diodos están conectados en serie y el voltaje a través de cada uno de ellos se mantiene igual mediante la conexión de una resistencia de distribución de voltaje, de tal forma que $V_{D1} = V_{D2} = 2000$ V y $R_1 = 100$ KΩ. Las características *V-I* de los diodos aparecen en la figura P2.2.3. Determine las corrientes de fuga de cada diodo y la resistencia R_2 a través del diodo D_2

$V_{D1} = V_{D2} = 2000\text{V}, \quad R_1 = 100\text{K}\Omega$

a) De la **figura P2.2.3,**

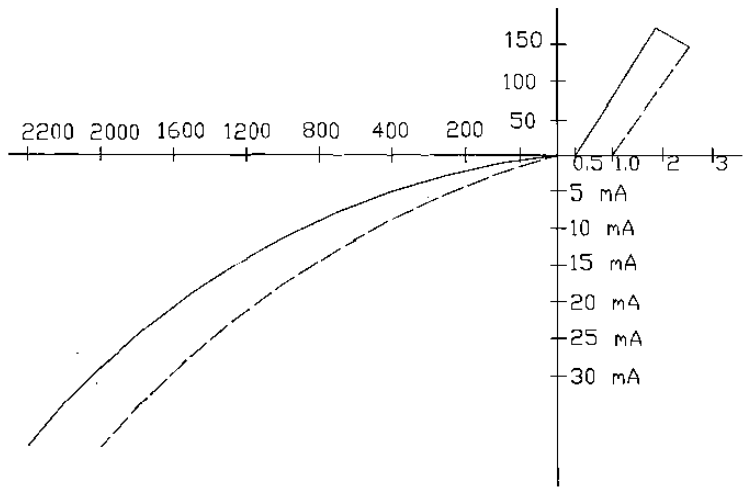


Figura P2.2.3

Las corrientes son: $I_{s1} = 17\text{mA}$ y $I_{s2} = 25\text{mA}$

$$I_{R1} = \frac{V_{D1}}{R_1} = \frac{2000}{100000} = 20\text{mA}$$

b) De la ecuación, $I_S = I_{S1} + I_{R1} = I_{S2} + I_{R2}$

o $17 + 20 = 25 + I_{R2}$, o $I_{R2} = 12\text{mA}$

$R_2 = 2000 / 12 \quad mA = 166.67 \quad \text{K}\Omega$

Problema 2.2.4
Dos diodos están conectados en paralelo siendo la caída de voltaje directa a través de cada uno de ellos de 1.5 V. Las características *V-I* de los diodos aparecen en la figura P2.2.3. Determine las corrientes directas a través de cada diodo.

Para $V_D = 1.5V$, figura **P2.2.3** las corrientes $I_{D1} = 140$ y $I_{D2} = 50$ A

Problema 2.2.5
Dos diodos están conectados en paralelo, como se muestra en la figura 2.2.18a, con resistencias de repartición de corriente. Las características V-*I* se muestran en la figura P2.2.3. La corriente total es $I_T = 200$ A. El voltaje a través de un diodo y su resistencia es V = 2.5 V. Determine los valores de las resistencias R_1 y R_2 si la corriente se comparte en forma ideal entre ambos diodos.

$I_T = 200A, \ V = 2.5$

$I_1 = I_2, \ I_1 = \frac{I_T}{2} = \frac{200}{2} = 100 \ A$

$Para \quad I_1 = 100A, \ Figura \ P2.2.3$ los valores son $V_{D1} = 1.1V \quad y \quad V_{D2} = 1.95V$

$v = V_{D1} + I_1 \ R_1 \quad o \quad 2.5 = 1.1 + 100 \quad R_1 \quad o \quad R_1 = 14m\Omega$

$v = V_{D2} + I_2 \ R_2 \quad o \quad 2.5 = 1.95 + 100 \quad R_2 \quad o \quad R_2 = 5.5m\Omega$

Problema 2.2.6
Dos diodos están conectados en serie. La resistencia a través de los diodos es de $R_1 = R_2 = 10k$
El voltaje de entrada de corriente directa es $V_D = 5$ Kv. Las corrientes de fuga son $Is_1 = 25$ mA e $Is_2 = 40$ mA. Determine el voltaje en cada diodo.

$R_1 = R_2 = 10K\Omega, \ V_S = 5kV, \ I_{S1} = 25 \ mA, \ I_{S2} = 40mA$

$De \ la \ ecuación \ (2-18), \ I_{S1} + I_{R1} \ = \ I_{S2} + I_{R2}$

$o \quad I_{S1} + \frac{V_{D1}}{R1} = \ I_{S2} + \frac{V_{D2}}{R_2}$

$25 \times 10^{-3} + \frac{V_{D1}}{10000} \ = \ 40 \times 10^{-3} + \frac{V_{D2}}{10000}$

$V_{D1} + V_{D2} = V_S = 5000$

$Resolviendo \ para \ V_{D1} \ y \ V_{D2} \ el \ resultado \ es \ V_{D1} = 2575v \ y \ V_{D2} = 2425 \ V$

Problema 2.3.1

En la figura P2.3.1 aparecen las formas de onda de corriente de un capacitor. Determine las especificaciones promedio, rms y pico de este capacitor.

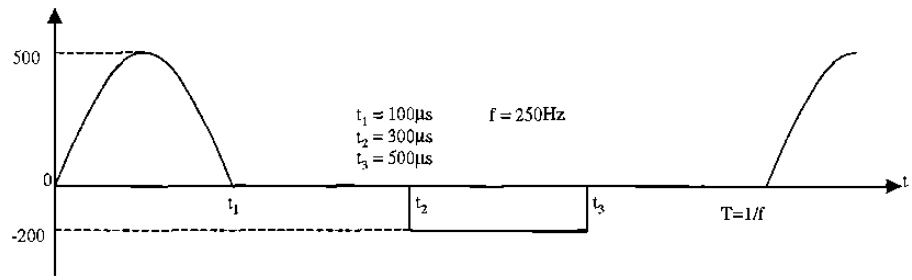


Figura P2.3.1

$t_1 = 100\mu s$, $t_2 = 300\mu s$, $t_3 = 500\mu s$. $f = 250Hz$. $fs = 250Hz$, $I_m = 500$ A y $I_a = 200A$

a) La corriente promedio es $I_{av} = 21I_m \quad ft_1/\pi - I_a \quad (t_3 - t_2)f = 7.96 - 10 = -2.04A$.

b) Para la onda senoidal, $I_{r1} = I_m\sqrt{(ft_1/2)} = 55.9A$ y para la onda rectangular negativa. $I_{r2} = I_a\sqrt{[f(t_3 - t_2)]} = 44.72A$

La corriente rms es $I_{rms} = \sqrt{(55.9^2 + 44.72^2)} = 71.59A$

c) La corriente pico varia de $500A$ a $-200A$.

Problema 2.3.2

Las formas de onda de la corriente que fluye a través de un diodo aparecen en la figura P2.3.2. Determine las especificaciones de corriente promedio, rms y pico del diodo.

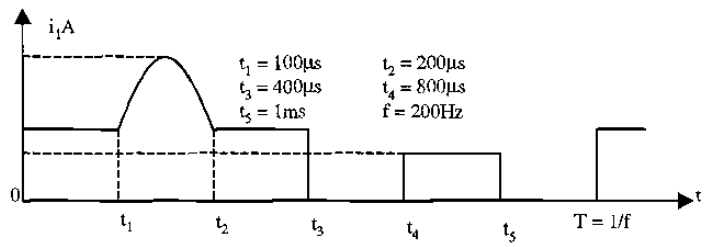


Figura P2.3.2

$t_1 = 100\mu s,\ t_2 = 200\mu s,\ t_3 = 400\mu s,\ t_4 = 800\mu s,\ f = 200Hz,$

$I_a = 150A,\ I_b = 100A$ y $I_p = 300A$

a) La corriente promedio es

$I_{av} = I_a\, ft_3 + I_b\, f(t_5 - t_4) + 2(I_p - I_a)\ f(t_2 - t_1)/\pi =$

$15 + 5 + 2.387 = 22.387A.$

b) $I_{r1} = (I_p - I_a)\ \sqrt{[f(t_2 - t_1)/2]} = 16.77A,\ I_{r2} = I_a\ \sqrt{(ft_3)} = 47.43A$

y $I_{r3} = I_b\sqrt{[f(t_5 - t_4)]} = 22.36A.$

La corriente rms es $I_{rms} = \sqrt{(16.77^2 + 47.43^2 + 22.36^2)} = 55.05A$

Problema 2.3.3

Un circuito de diodo se muestra en la figura P2.3.3 con R = 22 Ω y C =10 μf. Si el interruptor *S*1 se cierra en t = 0, determine la expresión para el voltaje a través del capacitor y la energía perdida del circuito.

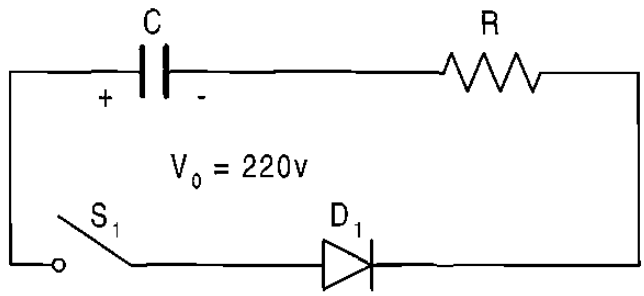


Figura P2.3.3

$R = 22\Omega,\ C = 10\mu F,\ V_o = 220V$

$0 = V_R + V_C = V_R + \frac{1}{C}\int \mathrm{idt} + V_C(t=0)$

Con la condición inicial : $_C(t=0) = -V_o$, *la corriente es*

$i(t) = \frac{V_o}{R} e^{-t/RC}$

El voltaje del capacitor es

$V_C(t) = -Ri = -v_o\ e^{-t/RC} = -220\ e^{-tx10^6/220}$

b) La energia disipada es

$W = 0.5\ c\ v_0^2 = 0.5 \times 10 \times 10^{-6} \times 220 \times 220 = 0.242 J.$

Probema 2.3.4

Un circuito de diodo aparece en la figura P2.3.4 con R = 10Ω, L = 5mH y Vs = 220V. Si fluye una corriente de carga de 10 A a través del diodo de marcha libre Dm y el interruptor *S*1 se cierra en t = 0, determine la expresión de la corriente *i* a través del interruptor.

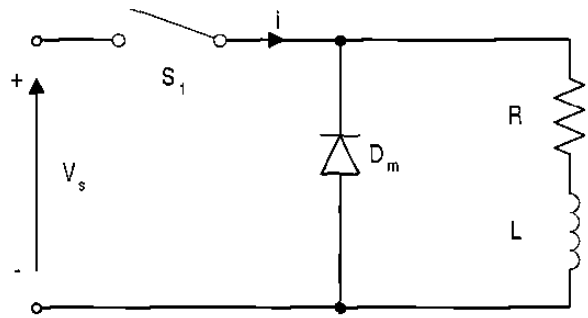


Figura P2.3.4

$R = 10\Omega,\ \ L = 5mH,\ \ Vs = 220v,\ \ I_1 = 10A$

El interruptor *de corriente se describe con*

$$Vs = L\frac{di}{dt} + R\,i$$

Con la condición inicial : $i(t=0) = I_1,$

$$i(t) = \frac{Vs}{R}(1 - e^{-tr/L}) + I_1 \quad e^{-tR/L} = 22 - 12\,e^{-2000t}A$$

Problema 2.3.5

Si el inductor del circuito de la figura 2.3.7 tiene una corriente inicial de Io, determine la expresión para el voltaje a través del capacitor.

$$Vs = L\frac{di}{dt} + \frac{1}{c}\int i\ dt + v_c(t=0)$$

Con la condición inicial : $i(t=0) = I_o$ *y* $V_c(t=0) = 0$, *hacemos*

$$i(t) = I_m \cos(\omega ot) + V_s \sqrt{(C/L)}\ sen(\omega ot)$$

El voltaje del capacitor es

$$V_c\ (t) = \frac{1}{C}\int i\ dt = I_o\sqrt{\frac{L}{C}} sen\ (\omega ot) - V_s\ \cos\ (\omega ot) + V_s$$

Donde $\varpi o = 1/\sqrt{(CL)}$

Problema 2.3.6

Si el interruptor S1 de la figura P2.3.6 se cierra en t = 0, determine la expresión para

(a) la corriente que fluye a través del interruptor i(t)
(b) la velocidad de elevación de la corriente di/dt.
(c) Dibuje esbozos de i(t) y de di/dt.
(d) ¿Cuál es el valor de di/dt inicial? Para la figura P2.3.6 encuentre solo di/dt inicial.

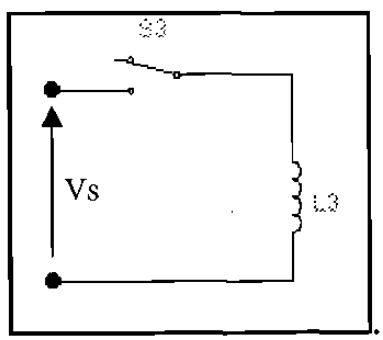


Figura P2.3.6a

$(a)\quad L\,di/dt = V_s \quad o \quad i(t) = V_s \quad t/L$

$(b)\quad di/dt = V_s/L;$

$(c)\quad di/dt \quad (en \quad t=0) \quad = V_s/L.$

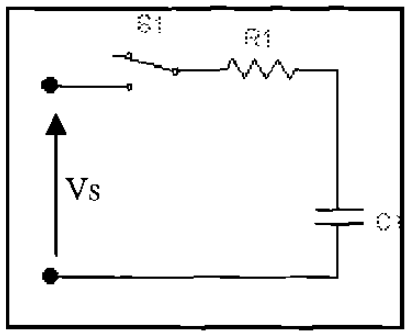


Figura P2.3.6b

$$(a)\quad \frac{1}{C}\int i\,dt + Ri \quad = V_s - V_o \quad o \quad i(t) = \frac{V_s - V_o}{R}\,e^{-t/RC}$$

$$(b)\quad \frac{di}{dt} = -\frac{V_s - V_o}{R^2\,C}\,e^{-t/RC}$$

$$(c)\quad En \quad t=0,\ di/dt = (V_s - V_o)/(R^2\,C)$$

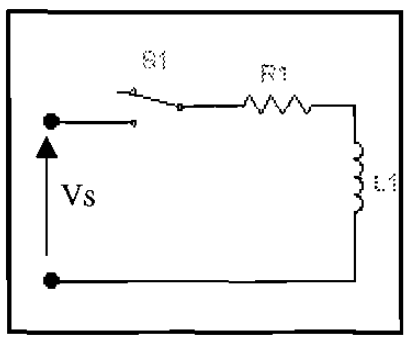


Figura P2.3.6c

$$(a)\quad L\frac{di}{dt} + R\,i = v_s \quad o \quad i(t) = \frac{v_s}{R}\,e^{-tR/L}$$

$$(b)\quad \frac{di}{dt} \quad = -\frac{v_s}{L}\,e^{-tR/L}$$

$$(c)\quad En \quad t=o,\ di/dt = v_{s/L}$$

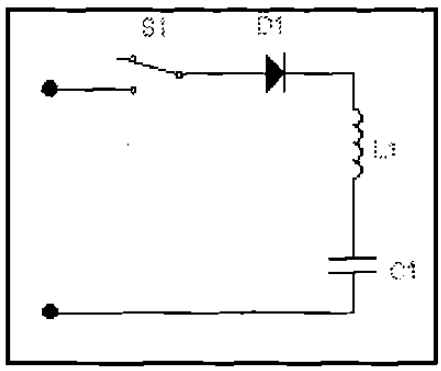


Figura P2.3.6d

$$(a)\quad V_s = L\frac{di}{dt} + \frac{1}{C}\int i\,dt + V_c(t=0)$$

con la condición inicial : $i(t=0)=0$ y $V_c(t=0)=V_o$,

$$i(t) = (V_s - V_o)\sqrt{\frac{C}{L}}\ \ sen\ \varpi ot = I_p\ sen\ \varpi ot$$

Donde $\varpi o = 1/\sqrt{(LC)}$

$$(b)\quad \frac{di}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L}\cos \varpi ot$$

$$(c)\quad En\quad t=0,\ di/dt = (V_s - V_o)/L$$

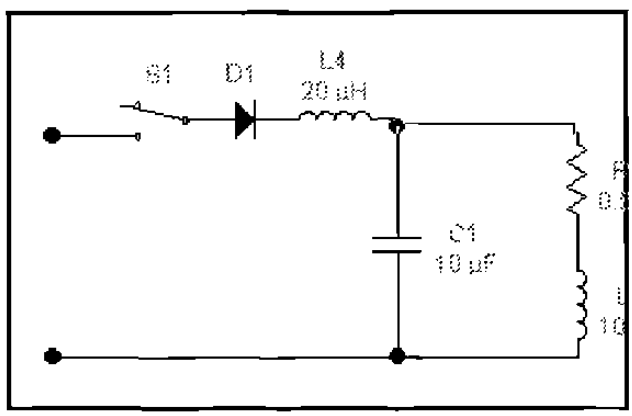


Figura P2.3.6e

En t = 0, la inductancia se comporta como un circuito abierto y en el capacitor hay un corto circuito. La di/dt inicial es limitada solo por la inductancia L1. Así la di/dt inicial es:

$$di/dt = V_s/L_1 = V_s/20\mu H = V_s/20 - A/\mu s$$

Problema 2.3.7

El circuito de segundo orden de la figura 2.3.9 tiene un voltaje de fuente Vs = 220V, una inductanica L = 5 mH, una capacitanica C = 10μF y una resistencia R = 22Ω. El voltaje inicial del capacitor es Vo = 50V. Si el interruptor se cierra en t = 0, determine

(a) una expresión para el valor de la corriente y
(b) el tiempo de conducción del diodo.
(c) dibuje un esbozo de *i*(t)

$V_s = 220\ v,\ L = 5\ mH,\ C = 10\mu F,\ R = 22\Omega\ \ y\ \ V_O = 50\ V$

$(a)\ De\ \ la\ \ ecuación\ \ \alpha = \dfrac{R}{2L},\ \alpha = 22\times 10^3/(2\times 5) = 2200$

$De\ \ la\ \ ecuación,\ \varpi_o = 1/\sqrt{(LC)} = 4472\ \ rad/s$

$\varpi_r = 4472^2 - 2200^2 = 3893\ \ rad/s$

Dado que $\alpha <$ *wo, se trata de un caso subamortiguado, y la solución es de la forma*

$i(t) = e^{-\alpha t}(A_1 \cos\varpi_r t + A_2\ sen\varpi_r t)$

$En\ \ t = 0,\ i(t=0) = 0\ \ y\ \ esto\ \ da\ \ A_1 = 0$

$i(t) = e^{-\alpha t}\ \ A_2\ \ sen\,\varpi_r t$

$\dfrac{di}{dt} = \varpi_r\ \cos\varpi_r t\ A_2 e^{-\alpha t} - \alpha\ sen\varpi_r t\ A\ e^{-\alpha t}$

$\dfrac{di}{dt}\Big|_{t=0} = \varpi_r\ A_2 = \dfrac{V_s}{L}$

$o\ A_2 = V_s/(\varpi_r\ L) = 220\times 1000/(3893\times 5) = 11.3$

La expresión final para la corriente $i(t)$ *es*

$i(t) = 11.3\ \ sen(3893t)\ \ e^{-2200t} A$

(b) *El tiempo de conducción es* $\varpi_r t_1 = \pi\ \ o\ \ t_1 = \pi/3893 = 807\mu s$

(c) *El trazo para la corriente aparece en la figura*

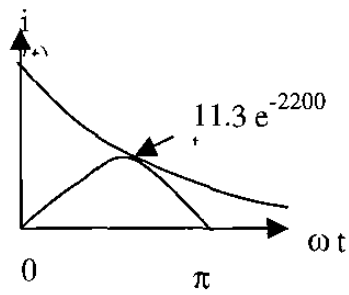


Figura P2.3.7

Problema 2.3.8

Para el circuito de recuperación de energía de la figura P2.3.8, la inductancia magnetizante del transformador es Lm = 150 μH, N_1 = 10 y N_2 = 200. Las inductancias de fuga y las resistencias del transformador son despreciables. El voltaje de fuente es Vs = 200 V y en el circuito no existe corriente inicial. Si durante un tiempo t_1 = 100 ms se cierra el interruptor S_1 y a continuación se abre,

(a) determine el voltaje del diodo D_1,
(b) calcule la corriente pico del primario,
(c) calcule la corriente pico del secundario,
(d) determine el tiempo durante el cual el diodo D_1 conduce
(e) determine la energía porporcionada por la fuente.

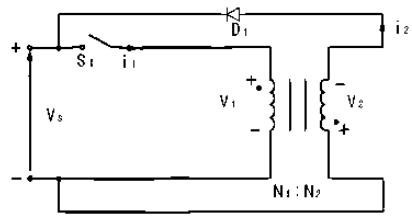


Figura P2.3.8

$V_s = 220V, \quad L_m = 150\mu H, \quad N_1 = 10, \quad N_2 = 200 \quad y \quad t_1 = 100\mu s$

La relación de vueltas es $a = \dfrac{N_1}{N_2} = \dfrac{200}{10} = 20$

(a) *De la ecuación* $v_D = V_s(1+a)$

el voltaje inverso del diodo es $V_D = 200 \times (1+20) = 4620\ v$

(b) *De la ecuación* $I_0 = \dfrac{V_s}{L_m} t_1$

el valor pico de la corriente primario es, $I_o = 220 \times 100/150 = 146.7\ A$

(c) *El valor pico de la corriente secundario* $I_0' = I_0 / a = 146.7/20 = 7.3A$

(d) *De la ecuación* $I_0 = \dfrac{V_s}{L_m} t_1$

el tiempo de conducción del diodo es, $t_2 = 20 \times 100 = 2000\ \mu s.$

(e) *La energíade la fuente*

$$W = \int_0^t Vi\, dt = \int_0^t \frac{v_s}{L_m} t\, dt = \frac{1}{2} \frac{V_s^2}{L_m} t_1^2$$

De la ecuación , $I_0 = \dfrac{V_s}{L_m} t_1$

$$\omega = 0.5 \quad L_m\, I_o^2 = 0.5 \times 150 \times 10^{-6} \times 146.7^2 = 1.614J$$

Problema 2.3.9

Un puente rectificador monofásico tiene una carga permanente resistiva R = 10 Ω, el voltaje pico de alimentación Vm = 170 V y la frecuencia de alimentación f = 60 Hz. Determine el voltaje promedio de salida del rectificador, si la inductancia de la fuente es despreciable.

$$V_m = 170\ V,\quad R = 10\ \Omega,\quad f = 60\ Hz$$

$$De\ la\ ecuación,\quad V_{cd} = \frac{2}{T}\int_0^{T/2} V_m sen\omega t dt = \frac{2V_m}{\pi} = 0.6366 V_m$$

$$V_m = 0.6366 \times 170 = 113.32\ V$$

Problema 2.3.10

Repita el problema anterior si la inductancia de la fuente por fase (incluyendo la inductancia de fuga del trasnformador) es Lc = 0.5 mH.

$$V_m = 170\ V,\quad R = 10\ \Omega,\quad f = 60\ Hz$$

$$De\ la\ ecuación,\quad V_{cd} = \frac{2}{T}\int_0^{T/2} V_m sen\ \omega t dt = \frac{2V_m}{\pi} = 0.6366\ V_m$$

$$V_m = 0.6366 \times 170 = 113.32\ V$$

$$I_{cd} = V_{cd} / R = 113.32 / 10 = 11.332\ A$$

$$De\ la\ ecuación\quad V_x = 6 f L_c I_{cd}$$

encontramos la reducción del voltaje de salida debido a la

conmutació n $V_x = 2 \times 60 \times 0.5 \times 10^{-3} \times 11.332 = 0.676\ v$

y el voltaje de salida efectivo es

$(113.32 - 0.676) = 112.64\ V$

Problema 2.3.11
Un rectificador de seis fases en estrella tiene una carga puramente resistivas R = 10 Ω, un voltaje pico de alimentación Vm = 170 V y la frecuencia de alimentción f = 60 Hz. Determine el voltaje promedio de salida del rectificador, si la inductancia de fuente es despreciable.

$R = 10\Omega, \quad V_m = 170V, \; f = 60 \; Hz$

Para un rectificad or de seis fases en estrella

$q = 6$ *en la ecuación*

y de esta ecuación $V_{cd} = \dfrac{2}{2\pi / q} \int_0^{\pi/q} V_m \cos \omega t d(\omega t) = V_m \dfrac{q}{\pi} sen \dfrac{\pi}{q}$

$$V_{cd} = 170\,(60/\pi) \quad sen(\pi/6) = 162.34 \quad V$$

Problema 2.3.12
Repita el problema anterior si la inductancia de fuente por fase (incluyendo la inductancia de fuga del trasformador) es Lc = 0.5 mH.

$R = 10\Omega \,, V_m = 170\,V, \; f = 60Hz, \quad Lc = 0.5mH$

Para un rectificador de seis fases en estrella $q = 6$ *en la ecuación y*

$$V_{cd} = \frac{2}{2\pi / q} \int_0^{\pi/q} V_m \cos \omega t d(\omega t) = V_m \frac{q}{\pi} sen \frac{\pi}{q}$$

$Vcd = 170(6/\pi)\; sen = 162.34, \; Icd = 162.34/10 = 16.234 \; A$

De la ec. $V_{cd} = \dfrac{2}{2\pi / q} \int_0^{\pi/q} V_m \cos \omega t d(\omega t) = V_m \dfrac{q}{\pi} sen \dfrac{\pi}{q}$

encontramos la reducción de voltaje de salida debido a la canmutación

$Vx = 6 \times 60 \times 0.5 \times 10^{-3} \times 16.234 = 2.92\,V$ *y el voltaje de salida efectivo es*

$(162.34 - 2.92) = 159.42\,V$

Problema 2.3.13

Un puente rectificador trifásico tiene una carga puramente resistiva R = 100 Ω y está alimentado a partir de una fuente de 280 V, 60 Hz. El primario y el secundario del transformador de entrada están conectados en estrella. Determine el voltaje promedio de salida del rectificador si las inductancias de fuente son despreciables.

$R = 100\Omega, V_s = 280v, f = 60\ Hz$

$V_m = 280 \times \sqrt{2} / \sqrt{3} = 228.6\ V$

De la ecuación, $V_{cd} = \dfrac{2}{2\pi / 6} \int_0^{\pi/6} \sqrt{3} V_m \cos \omega t d(\omega t)$

$Vcd = 1.6542 \times 228.6 = 378.15\ V$

Problema 2.3.14

Repita el problema anterior si la inductancia de fase por fase (incluyendo la inductancia de fuga del trasnformador) es Lc = 0.5 mH.

$Vx = 6 \times 60 \times 0.5 \times 10^{-3} \times 37.815 = 6.81\ V$ *y el voltaje de salida efectivo es*

$(378.15 - 6.81) = 371.34\ V$

$Icd = Vcd / R \quad Icd = 378.15/100 = 37.815\ A$

De la ecuacion $V_{cd} = \dfrac{2}{2\pi / q} \int_0^{\pi/q} V_m \cos \omega t d(\omega t) = V_m \dfrac{q}{\pi} sen \dfrac{\pi}{q}$

encontramos la reducción de voltaje de salida debido a la canmutación

$R = 100\Omega, V_s = 280v, f = 60\ Hz \quad y \quad Lc = 0.5mH$

$V_m = 280 \times \sqrt{2} / \sqrt{3} = 228.6\ V$

De la ecuación $V_{cd} = \dfrac{2}{2\pi / 6} \int_0^{\pi/6} \sqrt{3} V_m \cos \omega t d(\omega t)$

$Vcd = 1.6542 \times 228.6 = 378.15\ V$

Problema 2.3.15

El puente rectificador monofásico de la figura P2.3.15 se necesita para alimentar un voltaje promedio de Vcd = 400 V a una carga resistiva R = 10 Ω. Determine las especificaciones del voltaje y la corriente de los diodos y del transformador.

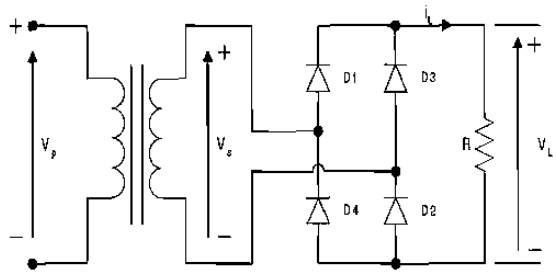


Figura P2.3.15

$Vcd = 400V, \quad R = 10\Omega$

De la ecuación $V_{cd} = \frac{2}{T}\int_0^{T/2} V_m sen\,\omega t dt = \frac{2V_m}{\pi} = 0.6366\,V_m$

$Vdc = 400 = 0.6366Vm \quad o \quad Vm = 628.34V$

El voltaje de fase rms es $V_s = V_m / \sqrt{2} = 628.34/\sqrt{2} = 444.3\ V$

$I_{dc} = V_{cd} / R = 400/10 = 40\ A$

<u>*Diodos*</u> :

Corriente pico, $Ip = 628.34/10 = 62.834\ A$

Corriente promedio, $I_d = I_{cd}/2 = 40/2 = 20\ A$

Corriente rms, $I_R = 62.834/2 = 31.417\ A$

<u>*Transformar*</u> :

Voltaje rms, $V_s = V_m / \sqrt{2} = 444.3\ V$

Corriente rms, $I_s = I_m / \sqrt{2} = 44.43\ A$

Volt – Amp, $VI = 444.3 * 44.43 = 19.74\ KVA$

$Pcd = (0.6366\,V_m)^2 / R \quad y \quad Pca = V_s I_s = V_m^2 / 2R$

$TUF = Pcd / Pca = 0.6366^2 \times 2 = 0.8105$

y la especificación del factor del transformador es

$1/TUF = 1.2338.$

Problema 2.3.16

Se requiere de un puente rectificador trifásico para alimentar un voltaje promedio de Vcd = 750 V en una corriente libre de componente ondulatorio de Icd = 9000 A. El primario y el secundario del trasformador están conectados en estrella. Determine las especificaciones de voltaje y de corriente para los diodos y el transformador.

$$V_{cd} = 750\,V, \quad I_{cd} = 9000\,A.$$

De la ecuación. $V_{cd} = \dfrac{2}{2\pi / q}\int_0^{\pi/q} V_m \cos \omega t d(\omega t) = V_m \dfrac{q}{\pi} sen \dfrac{\pi}{q}$

$$V_{cd} = 750 = 1.6542 \quad V_m \quad o \quad V_m = 453.39\ V$$

El voltaje de fase es $V_s = V_m/\sqrt{2} = 453.39/\sqrt{2} = 320.59$ V

<u>Diodos :</u>

Corriente pico, $I_p = 9000$ A

Corriente promedio, $I_d = I_{cd}/2 = 9000/2 = 4500$ A

Corriente rms, $I_R = 9000/\sqrt{2} = 6363.96$ A

<u>Transformar :</u>

Voltaje rms, $V_s = 320.59$ V

Corriente rms, $I_s = I_p = 9000$ A

Volt– Amp por fase, VI = 320.59 * 9000 = 2885.32 κ VA

TUF = Pcd/Pca = 750 * 900/(3 * 2885.31) = 0.7798

y la especificación del factor del transformador es.

1/TUF = 1.2824.

Problema 2.3.17

El rectificador monofásico de la figura P2.3.17 tiene una carga RL. Si el voltaje pico de entrada es Vm = 170 V, la frecuencia de entrada es f = 60 Hz, y la resistencia de carga R = 15 Ω. Determine la inductancia de carga L para limitar la armónica de corriente de carga a un 4% del valor promedio Icd.

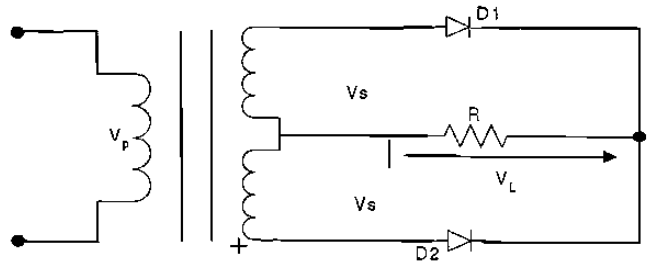


Figura P2.3.17

$$V_m = 170V, f = 60Hz, R = 15\Omega \text{ y } \varpi = 2\pi f = 377 \text{ rad/s}$$

De la ecuación

$$V_L(t) = \frac{2V_m}{\pi} - \frac{4V_m}{3\pi}\cos 2\omega t - \frac{4V_m}{15\pi}\cos 4\omega t - \frac{4V_m}{35\pi}\cos 6\omega t - \ldots$$

el voltaje de salida es

$$V_L(t) = \frac{2V_m}{\pi} - \frac{4V_m}{3\pi}\cos 2wt - \frac{4V_m}{15\pi}\cos 4\varpi t - \frac{4V_m}{35\pi}\cos 6\varpi t \ldots$$

La carga de la impedancia $z = R + j(n\varpi L) = \sqrt{R^2 + (n\varpi t)^2} \angle \theta n$

y $\theta n = \tan^{-1}(n\varpi l/R)$ *y la corriente de carga es*

$$i_L(t) = I_{cd} - \frac{4V_m}{\pi\sqrt{R^2 + (n\varpi t)^2}}\left[\frac{1}{3}\cos(2\varpi t - \theta_2) - (4\varpi t - \theta_4)..\right]$$

Donde $I_{cd} = \frac{V_{cd}}{R} = \frac{2V_m}{\pi R}$

El valor de la corriente rms es

$$I_{ca}^2 = \frac{(4V_m)^2}{2\pi^2[R^2 + (2\varpi L)^2]}(1/3)^2 + \frac{(4V_m)^2}{2\pi^2[R^2 + (4\varpi L)^2]}(1/15)^2 +$$

Consideran do solo la armónica de orden (n = 2),

$$I_{ca} = \frac{4V_m * (1/3)}{\sqrt{2}\pi\sqrt{[R^2 + (2\varpi L)^2]}}$$

Usando el valor de Icd y despues de la simplific ación el factor es

$$RF = \frac{Ica}{Icd} = \frac{0.481}{\sqrt{1 + (2\varpi L/R)^2}} = 0.04$$

$$0.481^2 = 0.04^2\,[1 + (2 * 377\ L/15)^2]\ o\ L = 238.7\ mH$$

Problema 2.3.18

El rectificador trifásico estrella de la figura 2.3.25 tiene una carga RL. Si el voltaje pico es el secundario por fase es Vm = 170 V, a 60 Hz y la resistencia de carga es R = 15 Ω, Determine la inductancia de carga L para limitar las armónicas de corriente de la carga a 2% del valor promedio Icd.

$$Vm = 170\ V, F = 60\ Hz, R = 15\Omega\ y\ \varpi = 2\pi f\ o\ 377\ rad/s$$

De la siguiente ecuación nos da el voltaje de salida para q = 6

$$VL = (t) = 0.9549\ Vm\ [1 + \frac{2}{35} cos\ 6\ wt\ \frac{2}{143} \cos\ wt + ..]$$

La carga de la impedancia $z = R + J(nwL) = \sqrt{R^2 + (nwL)^2}\ /\ \theta n$

$y\ \theta n = tan^{-1}(nwL\ /\ R)$

Y la corriente de carga es

$$i_L(t) = I_{cd} - \frac{0.9549\ V_m}{\sqrt{R^2 + (nwL)^2}}[\frac{2}{35}\cos(6wt - \theta_6) - \frac{2}{143}\cos\ (12wt - \theta_{12})]$$

Donde $I_{cd} = \frac{V_{cd}}{R} = \frac{0.9549\ V_m}{R}$

El valor de la corriente rms es

$$I_{ca}^2 = \frac{(0.9549\ V_m)^2}{2[R^2 + (6wL)^2]}(2/35)^2 + \frac{(0.9549\ V_m)^2}{2[R^2 + (6wL)^2]}(2/143)^2 + ..$$

Consideran do solo la armónica de orden (n = 6),

$$I_{ca} = \frac{0.95492V_m\ (2/35)}{\sqrt{2}\sqrt{[R^2 + (6wL)^2]}}$$

Usando el valor de Icd y despues de la simplific ación, el factor es

$$RF = \frac{Ica}{Icd} = \frac{2/(\sqrt{2} \times 35)}{\sqrt{1 + (6WL\ /\ R)^2}} = 0.02$$

$0.0404^2 = 0.02^2\ [1 + (6 * 377\ L/15)^2\ o\ L = 11.64\ mH$

Problema 2.3.19

El voltaje de batería de la figura P2.3.19 es E = 20 V y su capacidad es de 200 W-h. La corriente de carga promedio deberá ser Icd = 10 A. El voltaje de entrada primario es V_p = 120 V, 60 Hz teniendo el transformador una relación de vueltas n = 2:1.

Calcule (a) el ángulo de conducción δ del diodo,
(b) la resistencia limitadora de corriente R,
(c) la especificación de potencia P_R de R,
(d) el tiempo de carga h en horas,
(e) la especificación η de rectificador y
(f) el voltaje de pico inverso PIV del diodo.

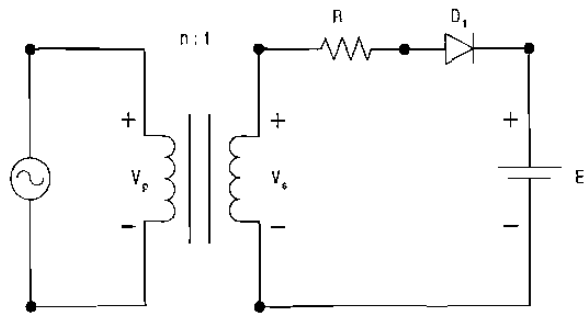


Figura P2.3.19

$E = 20\,v, I_{cd} = 10\,A, V_p = 120\,V, V_s = V_p/n = 120/2 = 60\,V$

$V_m = \sqrt{2}V_s = \sqrt{2} * 60 = 84.85\,V$

a) De la ecuación $$\alpha = sen^{-1}\frac{E}{V_m}$$

$\alpha = sen^{-1}(20/84.85) = 15.15°$ *o* $0.264\ rad$

$\beta = 180 - 15.15 = 164.85°$

El ángulo de conducción es $\delta = \beta - \alpha = 164.85 - 15.15 = 149.7°$

b) La ecuación $$I_{dc} = \frac{1}{2\pi}\int_{\alpha}^{\beta}\frac{V_m sen\omega t - E}{R}d(\omega t) = \frac{1}{2\pi R}(2V_m\cos\alpha + 2E\alpha - \pi E)$$

nos da la resistencia R como

$$R = \frac{1}{2\pi I_{cd}}(2V_m\cos\alpha + 2E\alpha - \pi E)$$

$$R = \frac{1}{2\pi \times 10}[2*84.85*\cos 15.15° + 2*20*0.264 - \pi*20] = 1.793\Omega$$

c) La ecuaciones $I^2_{rms} = \frac{1}{2\pi}\int_{\alpha}^{\beta}\frac{(V_m sen\,\omega t - E)^2}{R^2}d(\omega t)$

nos da la corriente rms de la bateria como

$$I^2_{rms} = \frac{1}{2\pi R^2}[(\frac{V_m{}^2}{2} + E^2)(\pi - 2\alpha) + \frac{V_m{}^2}{2} sen\, 2\alpha - 4\, V_m\, E \cos\alpha\,] = 272.6$$

$o\; I_{rms} = \sqrt{272.6} = 16.51\, A.$

La especificación de potencia R es $P_R = 16.51^2 * 1.793 = 488.8\, W$

d) La potencia entregada P_{cd} *a la batería es*

$P_{cd} = E\;\; I_{cd} = 20 * 10 = 200\, W$

$h\;\; P_{cd} = 100 \quad o \;\; h = 200/P_{cd} = 200/200 = 1\, hr$

La eficiencia η *del rectificad or es*

$$\eta = \frac{P_{cd}}{P_{cd} + P_R} = \frac{200}{200 + 488.8} = 29\%$$

El voltaje de pico inverso PIV del diodo es

$PIV = V_m + E = 84.85 + 20 = 104.85\, V$

Problema 2.3.20

El rectificador monofásico de onda completa de la figura P2.3.20 tiene una L = 4.5 mH,

R = 5 Ω y E = 20 V. El voltaje de entrada es Vs = 120 V a 60 Hz

A) Determine:

a) la corriente de carga en régimen permanente I_1 a ωt = 0,

b) la corriente promedio del diodo I_d,

c) la corriente rms del diodo I_r, y

d) la corriente de salida rms I_{rms}.

B) Utilice PSpice para graficar la corriente instantanea de salida i_L. Suponga los parametros del diodo IS = 2.22e-15, BV = 1800 V.

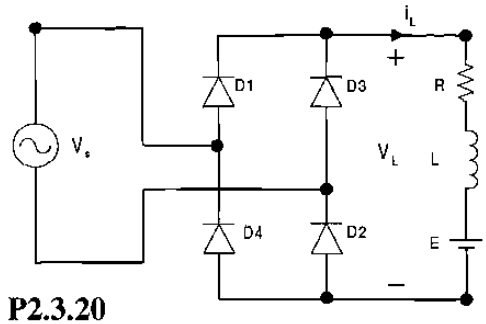


Figura P2.3.20

Si se conoce que la corriente de carga es continua o descontinua. Suponiendo que la corriente de carga es continua procede con la solución. Si la suposición no es correcta la corriente de carga pasa por cero y la corriente pasa al caso para unna corriente descontinua.

A) $R = 5\Omega, L = 4.5mH, f = 60Hz, w = 2\pi \times 60 = 377\ rad/s,$

$Vs = 120V,$

$Z = [R^2 + (wL)^2]^{1/2} = 5.28\Omega,\ y\ \theta = tan^{-1}(wL/R) = 18.74°$

a) La corriente de carga en estado inicial de $t = 0, I_1 = 6.33A$. Desde $I_1 > 0$, la corriente de carga es continua y la suposición es correcta.

b) La int *egración numerica de i_L dentro de la ec. cambia la corriente del diodo como $I_d = 8.8$ A.*

c) Con la intergración numerica de iL entre los limites $t = 0$ a π, obtenemos la corriente rms del diodo como $Ir = 13.83$ A.

d) La corriente de salida rms $Irms = \sqrt{2}Ir = \sqrt{2} * 13.83 = 19.56A$.

Problema 2.3.21

El rectificador trifásico de onda completa de la figura P2.3.21 tiene una carga L = 2.5 mH, R = 5 Ω y E = 20 V. El voltaje de entrada, línea a línea es V_{ab} = 208 V, 60 Hz.

Determine:

a) **la corriente de carga en régimen permanente I_1 a $\omega t = \pi/3$,**
b) **la corriente promedio de diodo I_d,**
c) **la corriente rms de diodo I_r y**
d) **la corriente rms de salida I_{rms}.**

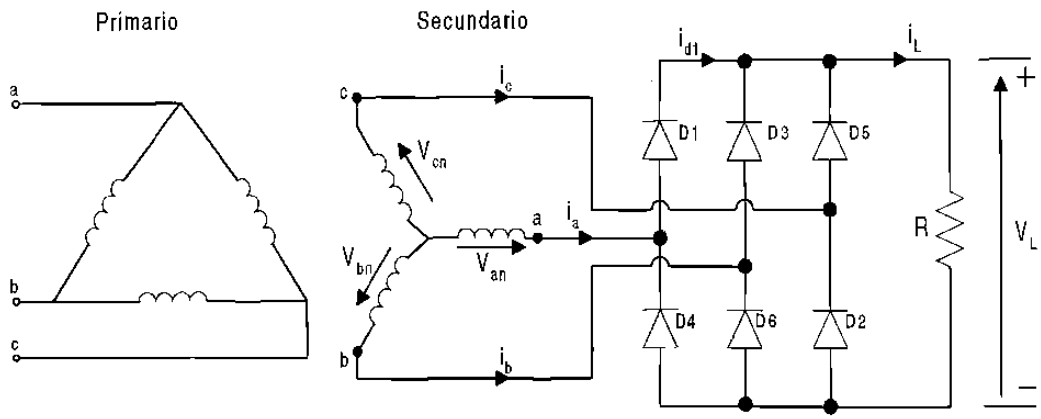


Figura P2.3.21

$R = 5\Omega, L = 2.5mH, \ f = 60\,Hz, w = 2\pi * 60 = 377\ rad\ /\ s$

$V_{ab} = 208\,V, z = [R^2 + (wL)^2]^{1/2} = 5.09\,\Omega$, y $\theta = tan^{-1}(wL/R) = 10.67°$

(a) El estado inicial de la corriente de carga es t = π/3, I_1 = 50.6 A.

(b) La int *ergración numerica de i_L en la ecuación*

$$i_L = \frac{\sqrt{2}V_{ab}}{Z}\left[sen\,(\omega t - \theta) + \frac{sen\,(2\pi/3 - \theta) - sen\,(\pi/3 - \theta)}{1 - e^{-(R/L)(\pi/\omega)}} e^{-(R/L)t}\right] - \frac{E}{R}$$

para $\pi/3 \le \omega t \le 2\pi/3$ *e* $i_L \ge 0$

cambia la corriente promedio del diodo como Id = 17.46 A.

Desde $I_1 > 0$, la corriente de carga es continua.

(c) Con la integrací ó n numerica de i_L^2 entre los limites wt = π/3 to 2π/3, encontramo s la corriente del diodo como Ir = 30.2 A.

(d) La corriente de salida rms $I_{rms} = \sqrt{3}Ir = \sqrt{3} \times 30.2 = 52.31\,A$.

Problema 2.3.22

Un puente rectificador monofásico está alimentado desde una fuente de 120 V, 60 Hz. La resistencia de carga es R = 200 Ω.

(a) Diseñe un filtro C, de tal forma que el factor de componente ondulatoria del voltaje de salida sea meneor de 5%.

(b) con el valor del capacitor C de la parte (a), calcule el voltaje promedio de la carga V_{cd}.

$$RF = 5\%, R = 200\Omega, y\ f = 60H$$

$$(a) Resolviendo\ Ce\ con\ la\ ecuación\ \ V_{cd} = \frac{2}{2\pi / q}\int_0^{\pi/q} V_m \cos\omega t d(\omega t) = V_m \frac{q}{\pi} sen\frac{\pi}{q}$$

$$Ce = \frac{1}{4\times 60\times 200}\left(\left(1+\frac{1}{\sqrt{2}\times 0.05}\right)\right) = 315.46\mu F$$

$$(b) De\ de\ la\ ecuación\ \ V_{cd} = \frac{2}{2\pi / q}\int_0^{\pi/q} V_m \cos\omega t d(\omega t) = V_m \frac{q}{\pi} sen\frac{\pi}{q}$$

$$el\ voltaje\ promedio\ de\ carga\ V_{cd}\ es$$

$$V_{cd} = 169.7 - \frac{169.7}{4\times 60\times 200\times 415.46\times 10^{-6}} = 169.7 - 11.2 = 158.49$$

Problema 2.3.23

El voltaje rms de entrada al circuito de figura P2.3.23 es 120 V, 60 Hz.

(a) Si el voltaje de salida de corriente directa es V_{cd} = 48 V a Icd = 25 A, determine los valores de la inductancia L_e, α, β e I_{rms}.

(b) Si I_{cd} = 15 A y L_e = 6.5 Calcule los valores de V_{cd}, a, e I_{rms}.

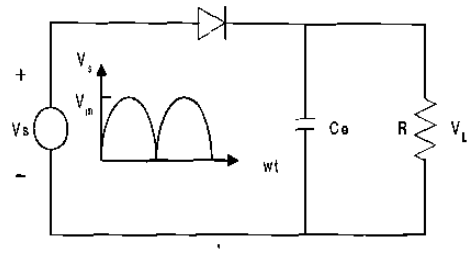


Figura P2.3.23

$w = 2\pi \times 60 = 377 rad/s, Vcd = 48V, Vs = 120V, V_m = \sqrt{2} \times 120 = 169.7V$

(a) *La relación de voltaje* $x = V_{cd}/V_m = 48/169.7 = 28.28\%$

$\alpha = sen^{-1}(x) = 16.43°$

Resolviendo de la ecuación $\cos\beta + x\beta = \cos\alpha + x\alpha$ *en función de* β

obtenemos el valor de $\beta = 117.43°$

Ecuación $I_{cd}/I_{pk} = \frac{2}{2\pi}\int_{\alpha}^{\beta}\frac{\omega L_e}{V_m} i_L d(\omega t)$ *obtenemos la relación de corriente* $I_{cd}/I_{pk} = 13.425\%$

Así $I_{pk} = I_{cd}/0.13425 = 186.22$ A

El valor requerido de inductancia es

$L_e = V_m/(wI_{pk}) = 169.7/(377 * 186.22) = 2.42$ mH

Ecuación $\frac{I_{rms}}{I_{pk}} = \left[\frac{2}{2\pi}\int_{\alpha}^{\beta}\left(\frac{\omega L_e}{V_m} i_L\right)^2 d(\omega t)\right]^{1/2}$

obtenemos la relación de corriente $I_{rms}/I_{pk} = 22.59\%$

Así $I_{rms} = 0.2259 * I_{pk} = 0.2259 * 186.22 = 42.07A.$

$(b) - I_{cd} = 15$ A, $Le = 6.5$ mH, $I_{pk} = V_m//wL_e) = 169.7/(377 * 6.5\ mH) = 69.25$ A.

$y = I_{cd}/I_{pk} = 15/69.25 = 21.66\%$

Utilizando la interpolación lineal, obtenemos

$x = (x_n - x_{n+1} - x_n)(y_n - y)/(y_{n+1} - y_n)$

$= 10 - (15 - 10)(25.5 - 21.66)/(21.5 - 25.5) = 14.8\%$

$V_{cd} = xV_m = 0.148 * 169.7 = 25.12V.$

$\alpha = \alpha_n - (\alpha_{n+1} - \alpha_n)(Y_n - y)/(y_{n+1} - y_n)$

$= 5.75 - (8.63 - 5.74)(25.5 - 21.66)/(21.5 - 25.5) = 8.51°$

$\beta = \beta_n - (\beta_{n+1} - \beta_n)(y_n - y)(y_{n+1} - y_n)$

$= 139.74 - (131.88 - 139.74)(25.5 - 21.66)/(21.5 - 25.5) = 132.19°$

$z = I_{rms}/I_{pk} = z_n - (z_{n+1} - x_n)(y_n - y)/(y_{n+1} - y_n) =$

$37.06 - (32.58 - 37.06)(25.5 - 21.66)/(21.5 - 25.5) = 32.76\%$

Así $I_{rms} = 0.3276 * I_{pk} = 0.3276 * 69.25 = 22.69$ A.

Problema 2.3.24

El rectificador monofásico de la figura P2.3.24 tiene una carga resistiva R, y un capacitor C está conectado a través de la carga. La corriente promedio de carga es Icd. Suponiendo que el tiempo de carga del capacitor es despreciable en comparación con el de descarga, determine las armonicas del voltaje rms de salida, Vca.

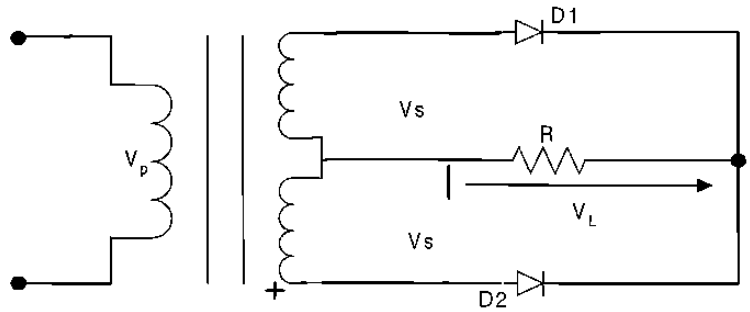


Figura P2.3.24

Supongamos que t_1 es el tiempo de carga y t_2 es el tiempo de descarga del capacitor para un rectificador de onda completa, el voltaje de salida es T/2, donde T es periodo de la frecuencia $f = 1/T$.

$T_1 + T_2 = T/2$. *Si* $t_2 >> t_1$ *En el caso normal de,* $t_2 \approx T/2$.

Durante el periodo de descaga del capacitor, el voltaje de salida del capacitor, el capacitor se descarga en forma exponencial a través de :

$V_o(t) = V_m\, e^{-t/RC}$

Donde V_m *es el valor del voltaje de pico.*

El voltaje de pico a pico se encuentra

$V_r = V_o(t = t_1) - V_o(t = t_2) = V_m - e^{-t2/RC} = Vm(1 - e^{-t2/RC})$

Por lo tanto si $e^{-x} \approx -x$, $v_r = V_m(1 - 1 + t_2/RC) = V_m\, t_2/RC = V_m/(2fRC)$

Así el valor del voltaje de salida rms de la armónica es

$$V_{ca} = \frac{V_r}{2\sqrt{2}} = \frac{V_m}{4\sqrt{2}\, f\, RC}$$

Problema 2.3.25

El filtro LC que se muestra en la figura P2.3.25 es utilizado para reducir el contenido de componente ondulatoria del voltaje de salida en un rectificador estrella de seis fases. La resistencia de carga es R = 20 Ω, la inductancia L = 5 mH, y la frecuencia de la fuente es 60 Hz. Determine los parámetros del filtro Le y Ce de tal manera que el factor de componente ondulatoria del voltaje de salida sea 5%

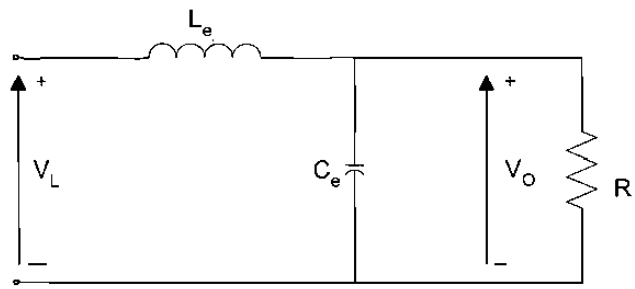


Figura P2.3.25

$R = 20\Omega, L = 5mH, f = 60Hz, w = 2\pi f = 377\ rad/s$

Tomando una relación de 10 : 1, el valor del capacitor es mostrado por

$$\sqrt{[R^2 + (6wL)^2]} = 10/(6wC_e)\ ó\ C_e = \frac{10}{6*377\sqrt{R^2 + (6*377\,L)^2}} = 192.4\mu F$$

$$La\ ec.\ i_L = \frac{\sqrt{2}V_S}{Z}\left[sen(\omega t - \theta) + \frac{2}{1 - e^{-(R/L)(\pi/\omega)}} sen\theta e^{-(R/L)t}\right] - \frac{E}{R},$$

da el valor de rms para la sexta armónica como

$$V_6 = \frac{2}{32\sqrt{2}} 0.9549 V_m$$

$$La\ ec. V_{on} = \left|\frac{-1/(n\omega C_e)}{(n\omega L_e) - 1/(n\omega C_e)}\right| V_n = \left|\frac{-1}{(n\omega)^2 L_e C_e - 1}\right| V_n,$$

da el valor del voltaje de entrada rms como

$$V_{ca} = \frac{V_6}{(nw)^2\ L_1 C - 1} = \frac{2}{35\sqrt{2}} \frac{0.9549 V_m}{(6w)^2\ L_1 C - 1}$$

$$V_{cd} = 0.9549 V_m$$

El factor de potencia de entrada es

$$RF = \frac{Vca}{Vcd} = \frac{\sqrt{2}}{35} \frac{1}{(6w)^2\ L_1 C - 1} = 0.05 \quad o \quad (6w)^2\ L_1 C - 1 = 0.808$$

$$y\ L_1 = 1.837\ mH$$

Problema 2.3.26

El puente rectificador trifásico de la figura P2.3.26 tiene una R_l y es alimentado a partir de una fuente conectada en estrella.

(a) Use el método de las series de Fourier para obtener expresiones para el voltaje de salida $v_L(t)$ y de la corriente de carga $i_L(t)$.

(b) Si el voltaje pico de fase es V_m = 170 V a 60 Hz y la resistencia de carga l para limitar la corriente de componente ondulatoria a 2% del valor promedio I_{cd}

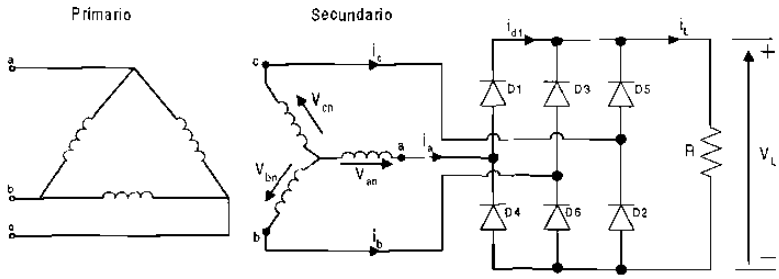


Figura P2.3.26

$$(a)\ Con\ q=6,\ De\ la\ ec.\ v_L(t)=0.9549V_m(1+\frac{2}{35}\cos 6\omega t-\frac{2}{143}\cos 12\omega t+...)$$

obtenemos el voltaje de salida como

$$V_l(t)=0.9549\,V_m[1+\frac{2}{35}\cos 6wt-\frac{2}{143}\cos 12\,wt+..]$$

La impedancia de carga $z=R+j(nwL)=\sqrt{R^2+(nwL)^2}\angle\,\theta n$

$y\ \theta n=tan^{-1}\ (nwL/R)$ *y la corriente de carga es*

$$i_L(t)=I_{cd}-\frac{0.9549V_m}{\sqrt{R^2+(nwL)^2}}[\frac{2}{35}\cos(6wt-\theta_6)-\frac{2}{143}\cos(12wt-\theta_{12})...]$$

$$Donde\ I_{cd}=\frac{V_{cd}}{R}=\frac{0.9549V_m}{R}$$

$(b)V_m=170\,v,\ f=60\ Hz,\ R=200\,\Omega,\ w=2\pi f=377\ rad/s$

El valor de corriente de entrada es

$$I_{ca}^2=\frac{(0.9549V_m)^2}{2[R^2+(6wL)^2]}(2/35)^2+\frac{(0.9549V_m)2}{2[R^2+(6wL)^2]}(2/143)^2+..$$

Considerando solo la armónica de mas bajo orden $(n=6)$

$$Ica=\frac{0.95492\,Vm(2/35)}{\sqrt{2}\sqrt{R^2+(6wL)^2}}$$

Usando el valor de I_{cd} *y después de simplificar el factor de potencia de entrada tenemos*

$$RF=\frac{Ica}{Icd}=\frac{2/(\sqrt{2}*35)}{\sqrt{1+(6wL/R)^2}}=0.02$$

$$0.0404^2=0.02^2[1+(6*377\,L/200)^2]\ o\ L=11.64\ mH$$

Problema 2.3.27

El rectificador monofásico de media onda de la figura P2.3.27 tiene un diodo de marcha libre y una corriente promedio de carga, libre de componente ondulatoria, Ia.

(a) Dibuje las formas de onda para las corrientes en D_1, D_m, y el primario del transformador

(b) Exprese la corriente del primario en series de Fourier y

(c) determine el factor de potencia de entrada del rectificador. Suponga una relación de vueltas del transformador igual a la unidad.

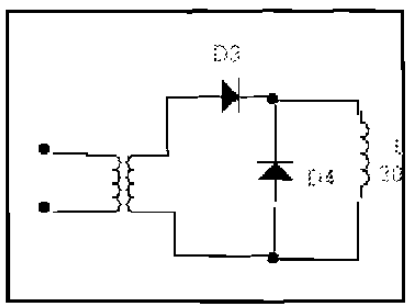


Figura P2.3.27

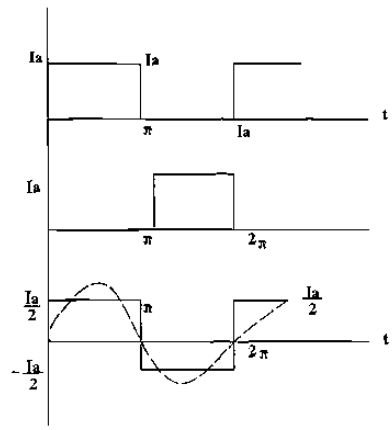


Figura P2.3.27a

(b) Para la corriente del primario en series de Fourier

$a_o = 0$

$$a_n = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} \frac{I_a}{2}\cos n\theta \, d\theta = 0$$

$$b_n = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} \frac{I_a}{2} sen \; n\theta \, d\theta = \frac{2I_a}{n\pi}$$

$$\phi_n = tan^{-1}(a_n/b_n) = 0$$

$$i_s(t) = \frac{2I_a}{\pi}\left(\frac{sen\ t}{1} + \frac{sen\ 3t}{3} + \frac{sen\ 5t}{5} + ..\right)$$

El valor fundamental de la corriente rms es $I_1 = 2I_a/(\pi\sqrt{2})$

La corriente rms es $I_s = I_a/2$.

$$PF = I_1/I_s = 2\sqrt{2}/\pi = 0.9 \text{ y } HF = \sqrt{(I_s/I_1)^2 - 1} = 0.4834.$$

(c) Para la entrada del rectificador en el secundario

$a_o/2 = I_a/2$

$$a_n = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} I_a \cos n\theta \, d\theta = 0$$

$$b_n = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} I_a \, sen \; n\theta \, d\theta = \frac{I_a}{n\pi}(1 - \cos n\theta)$$

$$\phi_n = tan - 1(a_n/b_n) = 0$$

$$c_n = \sqrt{(a_n^2 + b_n^2)} \text{ e } I1 = C_1/\sqrt{2} = \sqrt{2}\, I_a/\pi \text{ y } I_s = I_a/\sqrt{2}$$

$$PF = I_1/I_s = 2/\pi = 0.6366 \text{ y } HF = \sqrt{(I_s/I_1)^2 - 1}) = 1.211$$

Problema 2.3.28

Un rectificador monofásico de onda completa de la figura P2.3.28 tiene una corriente promedio de carga, libre de componente ondulatoria, Ia,

(a) Dibuje las formas de onda de las corrientes en D_1, D_2 y el primario del transfromador,

(b) Exprese la corriente del primario en series de Fourier y

(c) Determine el factor de potencia de entrada PF y el factor armónico HF de la corriente de entrada al rectificador. Suponga una relación de vueltas del trasformador igual a la unidad.

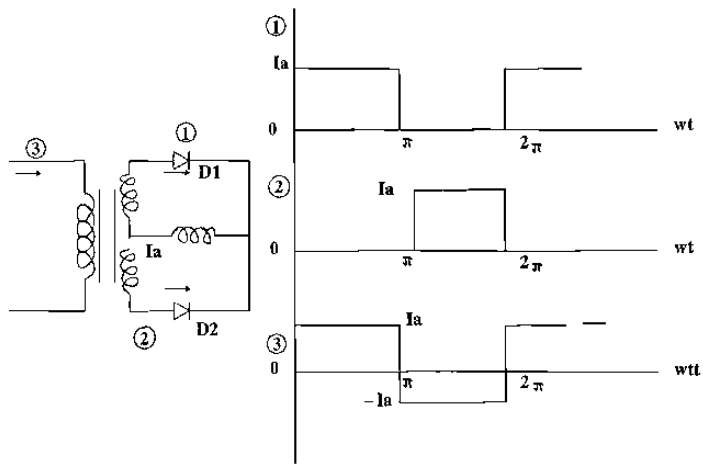


Figura P2.3.28

(b) Para la corriente del primario: De la siguiente ec. la corriente en el primario es.

$$i_s(t) = \frac{4I_a}{\pi}\left(\frac{sen\ wt}{1} + \frac{sen\ 3wt}{3} + \frac{sen\ 5wt}{5} + \ldots\right)$$

$$I_1 = 4I_a/(\pi\sqrt{2})$$

$$La\ corriente\ rms\ es\ I_s = I_a, PF = I_1/I_s = 2\sqrt{2}/\pi = 0.9$$

$$y\ HF = \sqrt{(I_s/I_1)^2 - 1} = 0.4834$$

$$La\ corriente\ de\ entrada\ del\ rectificad\ or\ en\ el\ secundari\ o$$

$$(c) Para\ la\ entrada\ del\ rectificad\ or\ en\ el\ secundari\ o$$

$$a_o/2 = I_a/2$$

$$a_n = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} I_a \cos n\theta\, d\theta = 0$$

$$b_n = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} I_a\, sen\ n\theta\, d\theta = \frac{I_a}{n\pi}(1 - \cos n\theta)$$

$$\phi_n = \tan^{-1}(a_n/b_n) = 0$$

$$c_n = \sqrt{(a_n^2 + b_n^2)}\ \ e\ I1 = C_1/\sqrt{2} = \sqrt{2}\, I_a/\pi \quad y\ \ I_s = I_a/\sqrt{2}$$

$$PF = I_1/I_s = 2/\pi = 0.6366\ \ y\ HF = \sqrt{(I_s/I_1)^2 - 1)} = 1.211$$

Problema 2.3.29

El rectificador multifase en estrella de la figura P2.3.29 a tiene tres pulsos proporcionando una corriente promedio de carga, libre de componente ondulatoria, I_a. El primario y el secundario del transformador están conectados en estrella. Suponga una relación de vueltas del transformador igual a la unidad.

(a) Dibuje las formas de onda para las corrientes en D_1, D_2, D_3 y en el primario del transformador,

(b) Exprese la corriente en el primario en series de Fourier y

(c) Determine el factor de potencia de entrada PF y el factor armónico HF de la corriente de entrada

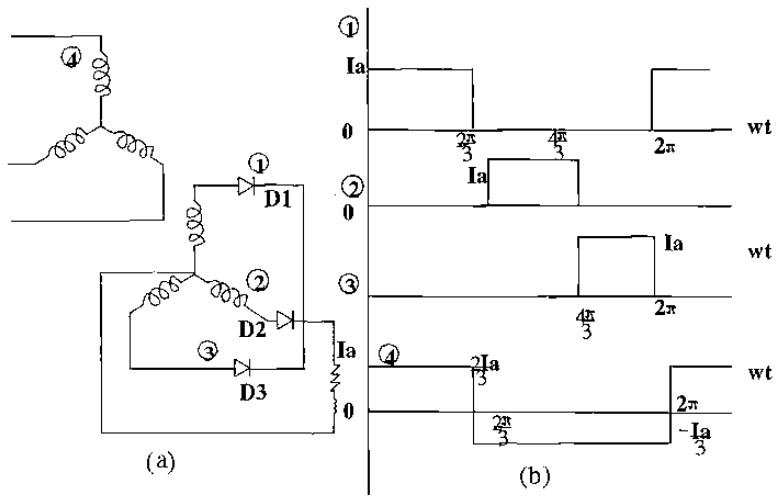


Figura P2.3.29

(b) Para la corriente de fase o de línea en el secundario

$$a_o/2 = 0$$

$$a_n = \frac{1}{\pi}\int_{\pi/6}^{5\pi/6}(2I_a/3)\ \cos n\theta\ d\theta - \frac{1}{\pi}\int_{5\pi/6}^{2\pi+\pi/6}(I_a/3)\cos n\theta\ d\theta$$

$$= \frac{2I_a}{n\pi}\cos\frac{n\pi}{3}\,sen\frac{n\pi}{3}$$

$$b_n = \frac{1}{\pi}\int_{\pi/6}^{5\pi/6}(2I_a/3)\ sen\, n\theta\ d\theta - \frac{1}{\pi}\int_{5\pi/6}^{2\pi+\pi/6}(I_a/3)\, sen\, n\theta\ d\theta$$

$$= \frac{2I_a}{n\pi}\,sen\frac{n\pi}{2}\,sen\frac{n\pi}{3}$$

$$c_n = \sqrt{(a_n^2 + b_n^2)} = \frac{2I_a}{n\pi}\,sen\frac{n\pi}{3}$$

$$\phi_n = tan^{-1}(\ a_n/b_n\ ) = \tan^{-1}(\cot n\pi/2)$$

$$(c)\ I_1 = C_1/\sqrt{2} = \sqrt{3}I_a/(\pi\sqrt{2}),\quad \phi_1 = 0\ \ y\ I_s = \sqrt{2}I_a/3$$

$$PF = I_1/I_s = 3\sqrt{3}/2\pi\ = 0.827\ y\ HF = \sqrt{(I_s/I_1)^2 - 1)} = 0.68$$

Problema 2.3.30

Repita el problema anterior si el primario del transformador está conectado en delta y el secundario en estrella.

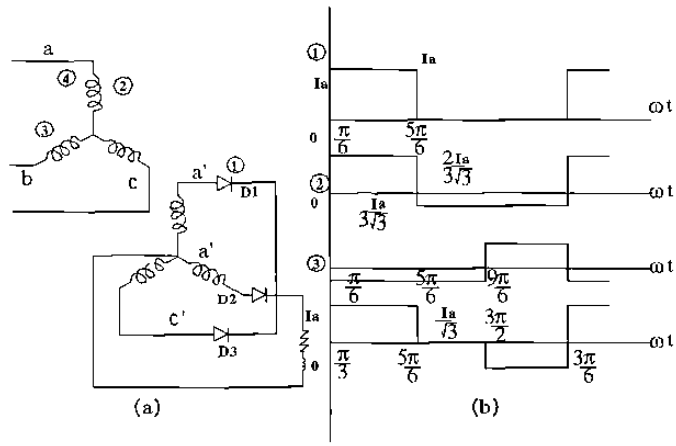


Figura P2.3.30

$$a_o/2=0$$

$$a_n=\frac{1}{\pi}\int_{\pi/6}^{5\pi/6}(I_a/3)\ cos\,n\theta\ d\theta-\frac{1}{\pi}\int_{3\pi/2}^{2\pi+\pi/6}(I_a/3)\ cos\,n\theta\ d\theta=\frac{2I_a}{\sqrt{3}n\pi}sen\frac{n\pi}{6}(1-\cos\frac{2n\pi}{3})$$

$$b_n=\frac{1}{\pi}\int_{\pi/6}^{5\pi/6}(I_a/3)\,sen\,n\theta\ d\theta\ -\frac{1}{\pi}\int_{3\pi/2}^{2\pi+\pi/6}(I_a/\sqrt{3})\,sen\,n\theta\ d\theta=\frac{2I_a}{\sqrt{3}n\pi}\cos\frac{n\pi}{6}(1-\cos\frac{2n\pi}{3})$$

$$c_n=\sqrt{(a_n^{\ 2}+b_n^{\ 2})}\ =\frac{2I_a}{\sqrt{3}n\pi}(1-\cos\frac{2n\pi}{3})$$

$$\phi_n=tan^{-1}(\ a_n/b_n\ )=\tan^{-1}(-\tan n\pi/6)=-n\pi/6$$

$$I_1=C_1/\sqrt{2}=\sqrt{3}I_a/(\pi\sqrt{2}),\quad \phi_1=-\pi/6\ \ y\ I_s=\sqrt{2}I_a/3$$

(c) Para la corriente de fase en el secundario o en el primario

$$a_o/2=0$$

$$a_n=\ \frac{1}{\pi}\int_{\pi/6}^{5\pi/6}(2I_a/3\sqrt{3})\ cos\,n\theta\ d\theta-\frac{1}{\pi}\int_{3\pi/2}^{2\pi+\pi/6}(I_a/3\sqrt{3})\ cos\,n\theta\ d\theta=\frac{2I_a}{\sqrt{3}n\pi}\cos\frac{n\pi}{2}sen\frac{n\pi}{3})$$

$$b_n=\frac{1}{\pi}\int_{\pi/6}^{5\pi/6}(I_a/3\sqrt{3})\,sen\,n\theta\ d\theta\ -\frac{1}{\pi}\int_{3\pi/2}^{2\pi+\pi/6}(I_a/3\sqrt{3})\,sen\,n\theta\ d\theta=\frac{2I_a}{\sqrt{3}n\pi}sen\frac{n\pi}{2}sen\frac{n\pi}{3})$$

$$c_n=\sqrt{(a_n^{\ 2}+b_n^{\ 2})}\ =\frac{2I_a}{3n\pi}sen\frac{n\pi}{3})$$

$$\phi_n=tan^{-1}(\ a_n/b_n\ )=\tan^{-1}(\cot n\pi/2\ )$$

$$I_1=C_1/\sqrt{2}=I_a/(\pi\sqrt{2}),\quad \phi_1=0\ \ y\ I_s=\sqrt{2}I_a/(3\sqrt{3})$$

$$PF=I_1/I_s=3\sqrt{3}/2\pi\ =0.827\ y\ HF=\sqrt{(I_s/I_1)^2-1)}=0.68$$

Problema 2.3.31

El rectificador multifase en estrella de la figura P2.3.31a tiene seis pulsos proporcionando una corriente promedio de carga, libre de componente ondulatoria I_a. El primario del transsformador está conenctado en delta y el secundadario en estrella. Suponga una relación de vueltas del transformador igual a la unidad.

(a) Dibuje las formas de onda para las corrientes en D_1, D_2, D_3 y el primario del transformador,

(b) Exprese la corriente en el primario en series de Fourier

(c) determine el factor de potencia de entrada PF y el factor armónica HF de la corriente de entrada.

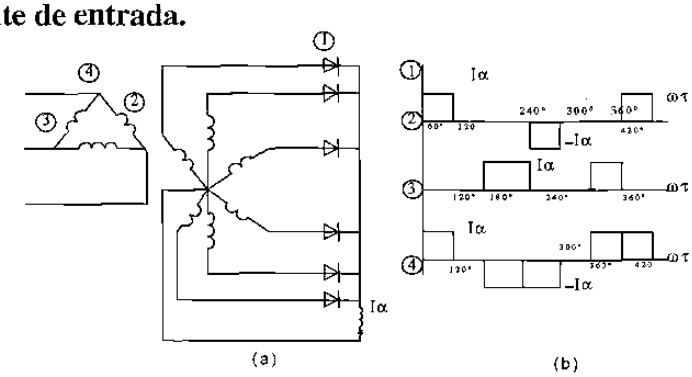


Figura P2.3.31

(b) Para la corriente de linea en el secundario

$a_o/2 = 0$

$$a_n = \frac{I_a}{\pi}[\int_{\pi/3}^{2\pi/3}\cos n\theta\, d\theta - \int_{\pi}^{5\pi/3}\cos n\theta\, d\theta + \int_{2\pi}^{2\pi+\pi/3}\cos n\theta\, d\theta] = -\frac{2I_a}{n\pi}\, sen\frac{n\pi}{2}\cos\frac{7\,n\pi}{6})$$

$$b_n = \frac{I_a}{\pi}[\int_{\pi/3}^{2\pi/3} sen\, n\theta\, d\theta - \int_{\pi}^{5\pi/3} sen\, n\theta\, d\theta + \int_{2\pi}^{2\pi+\pi/3} sen\, n\theta\, d\theta] = \frac{I_a}{\pi}(1-\cos n\pi - 2sen\frac{n\pi}{2}\, sen\frac{7\,n\pi}{6})$$

$Para\ n = 1, C_1 = \sqrt{(a_1^2 + b_1^2)} = 2\sqrt{3}I_a/\pi$

$\phi_1 = \tan^{-1}(\ a_1/b_1\ ) = tan^{-1}(1/\sqrt{3}) = \pi/6$

$I_1 = C_1/\sqrt{2} = \sqrt{2}\sqrt{3}I_a/\pi,\ y\ Is = I_a\sqrt{(2/3)}$

(c) Para corrientede fase en el secundario o primario

$a_o/2 = 0$

$$a_n = \frac{I_a}{\pi}[\int_{\pi/3}^{2\pi/3}\cos n\theta\, d\theta - \int_{4\pi/3}^{5\pi/3}\cos n\theta\, d\theta\ ] = 0$$

$$b_n = \frac{I_a}{\pi}[\int_{\pi/3}^{2\pi/3} sen\, n\theta\, d\theta - \int_{4\pi/3}^{5\pi/3} sen\, n\theta\, d\theta] = \frac{4I_a}{n\pi}\, sen\frac{n\pi}{2}\, sen\frac{n\pi}{6}$$

$Cn = bn\ y\ \phi n = 0$

$C_1 = 2\ I_a/\pi,\ I_1 = C_1/\sqrt{2} = 2I_a/(\sqrt{2}\pi),\ \phi 1 = 0\ y\ I_s = I_a/\sqrt{3}$

$PF = I_1/I_s = \sqrt{2}\sqrt{3}/\pi = 0.78\ y\ HF = \sqrt{(I_s/I_1)^2 - 1} = 0.803$

Problema 2.3.32

El puente rectificador trifásico de la figura P2.3.32 a proporciona una corriente de carga, libre de componente ondulatoria, I_a. El primario y el secundario del transformador están conenctados en estrella. Suponga una relación de vueltas del transformador igual a la unidad

(a) Dibuje las formas de onda para las corrientes en D_1, D_3, D_5 y la corriente de fase en el secundario del transformador,

(b) Exprese la corriente de fase en el secundario de Fourier y

(c) Determine el factor de potencia de entrad PF y del factor armónico HF de la corriente de entrada.

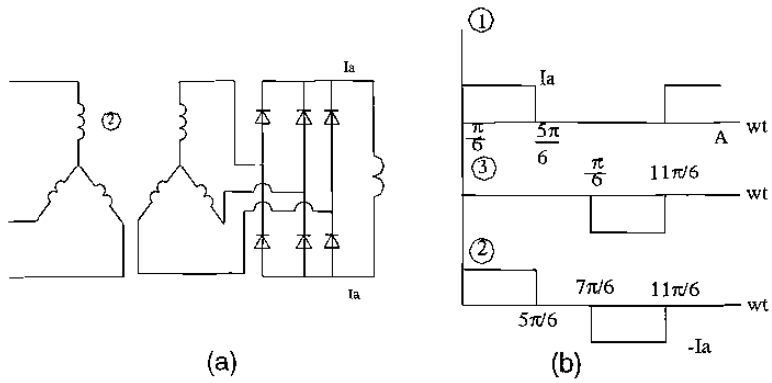


Figura P2.3.32

(b) *Para la corriente de fase o de linea en el primario o secundario*

$a_o/2 = 0$

$$a_n = \frac{2I_a}{\pi}\int_{\pi/6}^{5\pi/6} \cos n\theta \, d\theta = \frac{4I_a}{n\pi} sen \frac{n\pi}{3} \cos \frac{n\pi}{2}$$

$$b_n = \frac{2I_a}{\pi}\int_{\pi/6}^{5\pi/6} sen\, n\theta \, d\theta = \frac{4I_a}{n\pi} sen \frac{n\pi}{3} sen \frac{n\pi}{2}$$

$$C_n = \frac{4I_a}{n\pi} sen \frac{n\pi}{3} \quad y\ \phi_n = tan^{-1}(a_n/b_n) = \tan^{-1}(\cot n\pi/2)$$

$(c)\, C_1 = 2\sqrt{3}\, I_a/\pi \qquad \phi_1 = 0$

$I_1 = C_1/\sqrt{2} = \sqrt{2}\sqrt{3} I_a/\pi,\ y\ I_s = I_a\sqrt{(2/3)}$

$PF = I_1/I_s = 3/\pi = 0.9549\ y\ HF = \sqrt{(I_s/I_1)^2 - 1} = 0.3108$

Problema 2.3.33
Repita el problema anterior si el primario del trasformador está conectado en delta y el secundario en estrella.

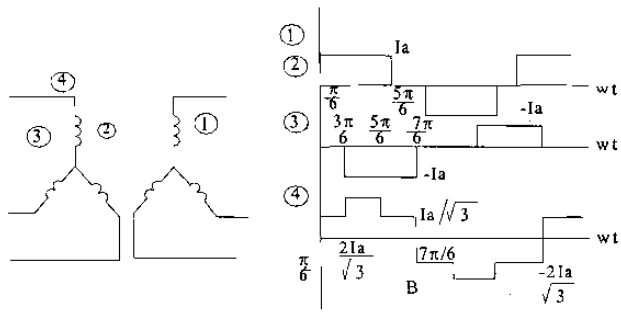


Figura P2.3.33

Problema 2.3.34
Repita el problema 2.3.32 si tanto el primario como el secundario del transformador están conectados en delta.

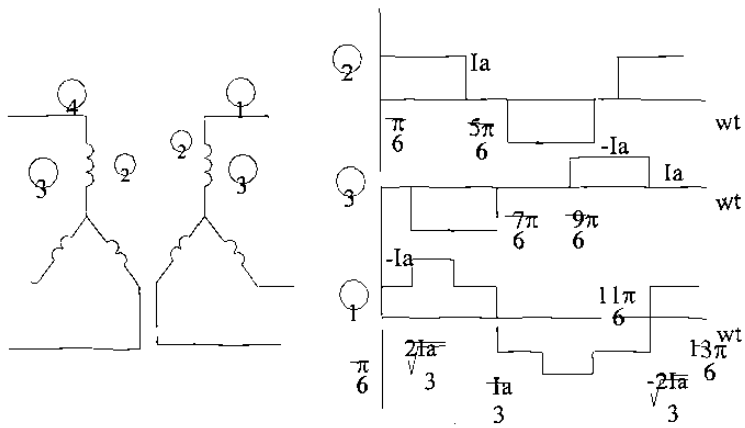


Figura P2.3.34

(b) *Para la corriente de linea en el primario o secundari o*

$a_o/2 = 0$

$$a_n = \frac{2I_a}{\pi}[\int_{\pi/6}^{5\pi/6} \cos n\theta \, d\theta = \frac{4I_a}{n\pi} sen \frac{n\pi}{3} cos \frac{n\pi}{2}$$

$$b_n = \frac{2I_a}{\pi}[\int_{\pi/6}^{5\pi/6} sen \, n\theta \, d\theta = \frac{4I_a}{n\pi} sen \frac{n\pi}{3} sen \frac{n\pi}{2}$$

$$c_n = \frac{4I_a}{n\pi} sen \frac{n\pi}{3} \quad y$$

$$\phi_n = \tan^{-1}(a_n / b_n) = tan^{-1}[cot\,(n\pi/2)]$$

$$I_1 = C_1/\sqrt{2} = \sqrt{2}\sqrt{3}I_a/\pi, \; \phi 1 = 0 \quad y \; I_s = I_a\sqrt{(2/3)}$$

(c) *Para la corriente de fase en el primario o secundari o*

$a_o/2 = 0$

$$a_n = \frac{2I_a}{3\pi}[\int_{\pi/6}^{\pi/2} \cos n\theta \, d\theta + \int_{\pi/2}^{5\pi/6} 2\cos n\theta \, d\theta + \int_{5\pi/6}^{7\pi/6} cos \, n\theta \, d\theta]$$

$$= \frac{8I_a}{3n\pi} cos \frac{2n\pi}{3} sen \frac{n\pi}{3} cos \frac{n\pi}{6}$$

$$b_n = \frac{2I_a}{3\pi}[\int_{\pi/6}^{\pi/2} sen \, n\theta \, d\theta + \int_{\pi/2}^{5\pi/6} 2sen \, n\theta \, d\theta + \int_{5\pi/6}^{7\pi/6} sen \, n\theta \, d\theta]$$

$$= \frac{8I_a}{3n\pi} sen \frac{2n\pi}{3} sen \frac{n\pi}{3} cos \frac{n\pi}{6}$$

$$c_n = \frac{8I_a}{3n\pi} sen \frac{n\pi}{3} cos \frac{n\pi}{6}$$

$$\phi_n = \tan^{-1}(a_n / b_n) = tan^{-1}[cot\,(2n\pi/3)]$$

$$C_1 = 2I_a/\pi \; y \quad I_1 = C_1/\sqrt{2} = \sqrt{2}I_a/\pi, \quad \phi_1 = \tan^{-1}(-1/\sqrt{3}) = -\pi/6$$

$$I_s = \sqrt{2}I_a/3, \quad PF = I_1/I_s = 3/\pi = 0.9549$$

$$HF = \sqrt{(I_s/I_1)^2 - 1} = .3108$$

Problema 2.3.35

Un circuito de diodos se muestra en la figura P2.3.35, donde la corriente de carga está fluyendo a través del diodo D_m. Si se cierra el interruptor Si en t = 0, Determine:

(a) expresiones para $v_c(t)$, $i_c(t)$ e $i_d(t)$;
(b) el tiempo t_1 donde el diodo D_1 deja de conducir,
(d) el tiempo t_q donde el voltaje a través del capacitor se convierte en cero
(e) el tiempo requerido para que el capacitor se recargue al voltaje de alimentación V_s.

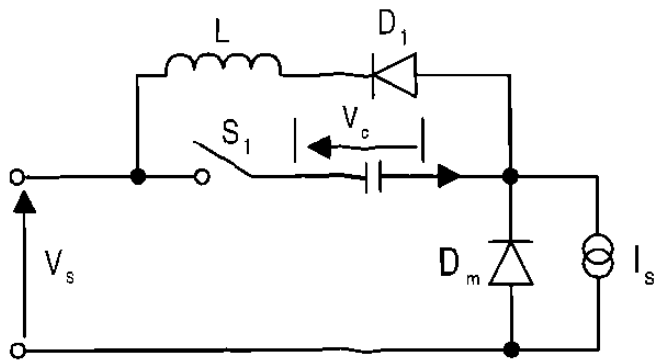


Figura P2.3.35

$$(a) i_c = i_d + I_m$$

$$v_c = \frac{1}{C}\int i_c \; dt + v_c(t=0) = -L\frac{di_d}{dt} = -L\frac{di_c}{dt}$$

$$Con\ la\ condición\ inicial:\ i_c(t=0) = I_m \quad y \quad v_c(t=0) = -V_s,$$

$$i_c(t) = V_s\sqrt{\frac{C}{L}}\ sen(w_o\ t) + I_m\ cos\ (w_o\ t)$$

$$Donde\ w_o = 1/\sqrt{(LC)}$$

$$v_c(t) = \frac{1}{C}\int_0^t i_c(t)\ dt = I_m\sqrt{\frac{L}{C}}sen(w_o\ t) - V_s\ cos(w_o\ t)$$

$$i_d(t) = V_s\sqrt{\frac{C}{L}}\ sen(w_o\ t) + I_m\ cos(w_o\ t) - I_m$$

$$(b) Para\ i_d\ (t = t_1) = 0$$

$$i_d(t) = V_s\sqrt{\frac{C}{L}}\ sen(w_o\ t) + I_m\ cos(w_o\ t) - I_m = 0$$

$o \ \cos\alpha \ sen\, w_o t + sen\ \alpha \ \cos w_o t = \dfrac{1}{\sqrt{1+x^2}}$

$o \ sen\ (w_o t_1 + \alpha) = \dfrac{1}{\sqrt{1+x^2}}$

$o\ w_o t_1 = sen(\dfrac{1}{\sqrt{1+x^2}}) - \tan^{-1}(1/x)$

Donde $x = (Vs/I_m)\ \sqrt{(C/L)}$

$(c)\, v_c(t = t_q) = 0 \qquad v_c(t) = I_m\sqrt{\dfrac{L}{C}}\ sen\ (w_o\ t) - V_s\ \cos(w_o\ t) = 0$

$o \quad t_q = \sqrt{(LC)}\ \ \tan^{-1}(x)$

(d) El tiempo requerido para que el capacitor se cargue al voltaje de aliemtación en una corriente constante de I_m *es,*

$v_c = v_s = \int_0^t Im\ dt \qquad t_1 = v_s\ c/I_m$

El tiempo que tarda en cargar y descargar es $t_2 = t_1 + t_q$

Problema 2.4.1

La capacitancia de unión de un tiristor puede suponerse independientemente del voltaje en estado inactivo. El valor limitante de la corriente de carga para activar el tiristor es 12 mA. Si el valor crítico de *dv/dt* es 800 V/µs, determine la capacitancia de la unión.

$dv/dt = 800\ V/\mu s, i_{j2} = 12mA.$ *Desde* $d(C_{J2})/dt = 0,$ *podemos encontrar el valor crítico de dv/dt en la ec.* $i_{j2} = \dfrac{d(q_{j2})}{dt} = \dfrac{d}{dt}(C_{j2}V_{j2}) = V_{j2}\dfrac{dC_{j2}}{dt} + C_{j2}\dfrac{dV_{j2}}{dt}$

$dv/dt = 800V/\mu s = i_{J2}/C_{J2} = 12\times10^{-3}/C_{J2}$

$o \quad C_{J2} = 15 \quad pF$

Problema 2.4.2

La capacitancia de unión de un tiristor es C_{J2}= 20 pF y se puede suponer independiente del voltaje en estado inactivo. El valor limitante de la corriente de carga para activar el tiristor es 15 mA. Si se conecta un capacitor de 0.01 μF a través del tiristor , determine el valor crítico de *dv/dt.*

$C_{J2} = 20\,pF$, $i_{j2} = 15\,mA$, $C_1 = 0.01\,\mu F = 10000\,pF$

La capacitancia efectiva $Ce = C_1 + C_{J2} = 10020\,pF$

$dv/dt = i_{J2}/C_{J2} = 15\times10^{-3} / (20\times10^{-12}) = 750\ V/\mu s$

$i_2 = C_1\ dv/dt = 0.01\times10^{-6} * 750\times10^{6} = 7.5\ A.$

Sustituyendo la corriente total $i_T = i_{J2} + i_1 = 0.015 + 7.5 = 7.515\ A.$

Nota : Si consideramos la corriente de carga con 20 mA entonces $i_T = 20mA$,

el valor crítico de dv/dt es :

$dv/dt = i_T/C_e = 10\times10^{-3} /(10020\times10^{-12}) = 1.497\ V/\mu s$

Problema 2.4.3

En la figura P2.4.3 aparece un circuito de tiristor. La capacitancia de unión del tiristor es C_{J2} = 15 pF y se puede suponer independiente del voltaje en estado inactivo. El valor limitante de la corriente de carga para activar el tiristor es 5 mA y el valor crítico de *dv/dt* es 200 V/μs. Determine el valor de la capacitancia C_s tal que el tiristor no se activa debido a *dv/dt.*

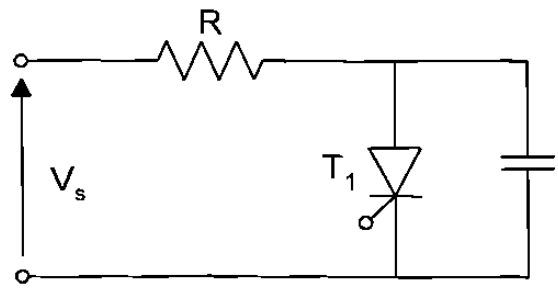


Figura P2.4.3

$C_{J2} = 15\,pF$, $i_{j2} = 5\,mA$, $dv/dt = 200\ V/\mu s$

La capacitancia efectiva

$Ce = Cs + C_{J2}$

$dv/dt = 200\times10^{6} = i_T/C_e = 5\times10^{-3} / Ce$ o $Ce = 25\,pF$

$Cs = Ce - C_{j2} = 25 - 15 = 10\,pF$

Problema 2.4.4

El voltaje de entrada en la figura P2.4.4 es Vs = 200 V, con una resistencia de carga de L = 50 μH. Si la relación de amortiguamiento es 0.7 y la corriente de descarga del capacitor es de 5mA. Determine:

(a) los valores de Rs y Cs, y
(b) el *dv/dt* máximo

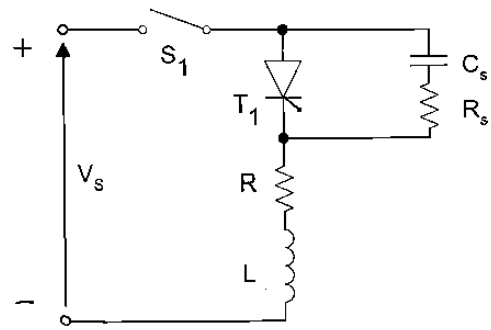


Figura P2.4.4

$I_{TD} = 5A, \quad R = 10\,\Omega \qquad L = 50\,\mu H, \qquad Ls = 0, \qquad V_s = 200V, \qquad \delta = 0.7$

$R_s = 200 / I_{TD} \quad = \quad 40\Omega$

$a)$ *De la ecuación* $\delta = \dfrac{\alpha}{\omega_0} = \dfrac{R_S + R}{2}\sqrt{\dfrac{C_S}{L_S + L}},$

$0.7 = \quad [(10 + 40)/2] \qquad \sqrt{(C_s/L)} \qquad o \qquad C_s = 0.0392 \quad \mu F$

$b)$ *De la ecuación* $V_s = n_s V_{D1} - (n_s - 1)R\Delta I_D$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{0.368 * 10 * 200}{0.0392 \times 10^{-6} * (10 + 40)} = 375.5\, V/\mu s$$

Problema 2.4.5
Repita el problema anterior si el voltaje de entrada es de CA, Vs = 179 sen 377t.

$I_{TD} = 5\ A,\ \ R = 10\Omega,\ L = 50\ \mu H\ \ , L_s = 0,\ \ \ V_m = 179V, \delta = 0.7$
$= 377\ rad/s,\ R_s = 179/I_{TD}\ =\ 179/5\ =\ 35.8\Omega$

(a) *De la ecuación* $\delta = \dfrac{\alpha}{\omega_0} = \dfrac{R_S + R}{2}\sqrt{\dfrac{C_S}{L_S + L}},$

$0.7 = [(10 + 35.8)/2\ ]\ \sqrt{(Cs/L)}\quad o\quad Cs = 0.0467\ \mu F$

$X_L =\ j\,377 * 50 \times 10^{-6} =\ j0.0189\,\Omega$

$X_C = -\,10^6\ /\ (377 * 0.0467\ ) = -\ j56799\Omega$

$X_C << X_L,$ *y el efector de la inductancia lo tomamos de .*

$(\,Rs + R\,)\,i + \dfrac{1}{Cs}\ \ \int i\,dt = V_m\ sen\,\theta,\ \ donde\ \ \theta = 377\ t$

La corriente se soluciona de la siguiente forma

$$i(t) = I_o\ e^{-t/\tau}\ +\ \frac{V_m\ C_s}{[1 + (w\tau)^2\ ]^{\ 1/2}}\ sen\ (\theta + \delta\,)$$

$donde\ \ \tau = (R_s + R)\ C_s,\ \ \delta = tan^{\ -1}[1/(w\tau\,)]$

La condición de $i(t) = Io$ *Así* $t = 0$ *obtenemos,*

$$I_o = -\,\frac{V_m\ Cs}{[\ 1 + (w\tau)^2\ ]^{\ 1/2}}\,sen\,\delta$$

$$i(\,t\,) = \frac{V_m C_s}{[1 + (\,w\tau)^2\,]^{1/2}}\,[-sen\,\delta\ e^{\ -t/\tau}\ +\ sen\,(\theta + \delta\,)]$$

El voltaje total es :

$v_t(t) = Vs - R\,i(t)$

$$= V_m\ sen\ \theta - \frac{V_m\ C_s}{[1 + (w\tau)^2\ ]^{\ 1/2}}\,[-\ sen\,\delta\,e^{-t/\tau}\ +\ sen\,(\theta + \delta\,)]$$

$$\frac{dv}{dt} = Vm\cos\theta - \frac{V_m\ C_s}{[1 + (w\tau)^2\ ]^{\ 1/2}}\,[-\frac{sen\,\delta}{\tau}\,e^{-t/\tau}\ +\ cos\,(\theta + \delta\,)]$$

$\delta = 89.95°$

El resultado para dv/dt contra el tiempo cede un valor máximo a dv/dt.

El valor máximo para dv/dt con $\theta = 0°\ \ o\ \ 180°$

Así $\theta = 0°\ \ dv/dt = 66009\ v/s$

Así $\theta = 180°\ \ dv/dt = -\ 67483\,V/s$

$Io = -\ 3.15\ mA.\qquad Ip = 3.15\ mA.$

Problema 2.4.6

Un tiristor conduce una corriente como aparce en la figura. P2.4.6. La frecuencia de conmutación es *fs* = 50 Hz. Determine la corriente promedio en estado activo I_T.

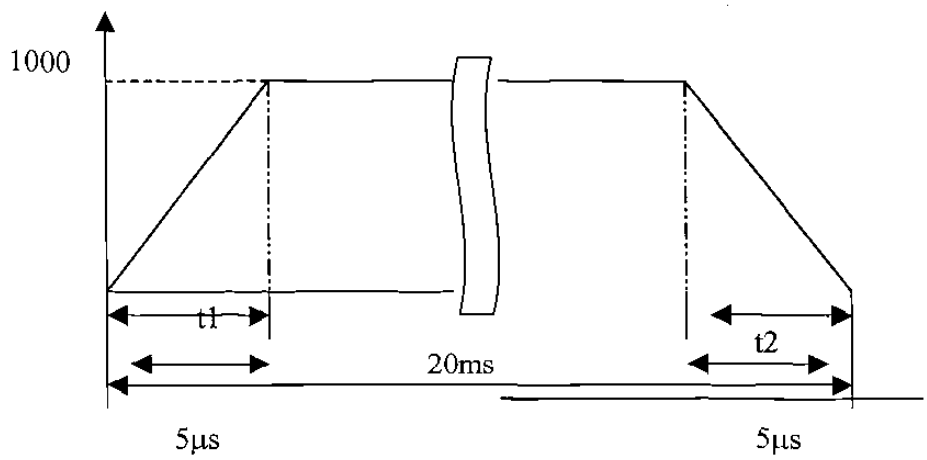


Figura P2.4.6

$I_p = I_{TM} = 1000v\,A$, $T = 1/fs = 1/50 = 20\,ms.\ t_1 = t_2 = 5\mu s$

La corriente promedio en estado activo es.

$$I_T = \frac{1}{20000}\,[0.5*5*1000 + (20000 - 2*5)*1000 + 0.5*5*1000] = 999.5\,A.$$

Problema 2.4.7

Una cadena de tiristores se conecta en serie para soportar un voltaje de CD Vs = 15 kV. La corriente de fuga máxima y las diferencias de carga de recuperación de los tiristores son de 10 mA y 150 μC, respectivamente. Un factor de reducción de especificación o decaimiento del 20% ha sido aplicado a la distribución en régimen de estado permanente y de voltaje transitorio de los tiristores. Si la compartición máxima de voltaje de régimen permanente es 1000 V, determine:

a) la resistencia R de compartición de voltaje en régimen permanente de cada tiristor.
b) la capacitancia C_1 del voltaje transitorio de cada tiristor.

$$V_s = 15000V,\ I_D = 10\ mA,\ Q = 150\ \mu C,\ DRF = 20\%\quad V_D(max) = 1000V$$

$$De\ la\ ecuación\ \ DRF = 1 - \frac{V_S}{n_S V_{DS(max)}}$$

$$DRF = 1 - V_s/(n_s - V_{D(max)})\ o\ 0.2 = 1 - 15000\ /\ (n_s * 1000)$$

$$ns = 18.75 \approx 19\ (tiristores)$$

$$(a)\ De\ la\ ecuación\ \ V_{DS(max)} = \frac{V_S + (n_S - 1)RI_{D2}}{n_S}$$

$$1000 = [\ \frac{15000 + (19+1)\ R * 10 \times 10^{-3}}{19}\ ]\ o\ \ R = 222.222\ k\Omega$$

$$(b)\ De\ la\ ecuación\ \ V_{DT(max)} = \frac{1}{n_s}\left[V_S + \frac{(n_s - 1)Q_2}{C_1}\right]$$

$$1000 = \frac{1}{19}[15000 + \frac{(19-1) * 150 \times 10^{-6}}{C_1}]\quad o\quad C_1 = 0.675\mu F$$

Problema 2.4.8

Dos tiristores están conectados en paralelo para convertir una corriente de carga total IL = 600 A. La caída de voltaje en estado activo de un tiristor es V_{T1} = 1.0 a 600 A y la de los otros tiristores es V_{T2} = 1.5 V a 300 A. Determine los valores de las resistencias en serie necesarisas para obligar a la compartición de corriente con una diferencia del 10%. El voltaje total V = 2.5 V.

$I_T = 600A,\ V_{T1} = 1.0\ a\ 300A,\ V_{T2} = 1.5V, a\ \ 300A\ \ El\ voltaje\ total\ es$

$V_T = 2.5V,$

$I_1 - I_2\ \ = 0.1 * 600 = 60A.$

$I_1 + I_2\ \ = 600A$

$I_1\ \ = 330A,\ I_2 = 270A$

$V_{T1} + R_1\ I_1 = V_T$

$V_{T1} + R_1\ I_1 = V_{T2} + R_2\ I_2$

$1 + R_1 * 330 = 1.5 + R_2 * 270 \qquad 330\ R_1 - R_2 = 0.5$

$V_{T1} + R_1\ I_1 = V_T$

$o\ R_1 = (V_T - V_{T1})\ /I_1 = (2.5 - 1)\ /330 = 4.545\ m\Omega$

$V_{T2} + R_2\ I_2 = V_T$

$o\ \ R_2 = (\ V_T - V_{T2}\ )\ /\ I_2 = (2.5 - 1.5\ )\ /270 = 3.7037\ m\Omega$

Problema 2.4.9

Diseñe el circuito de disparo de la figura P2.4.9. Los parametros de UJT son Vs = 20 V, η= 0.66, I_p= 10μA, V_v = 2.5 e I_v = 10 mA. La frecuencia de oscilación es f = 1 kHz, y el ancho de pulso de compuerta es t_g = 40 μs.

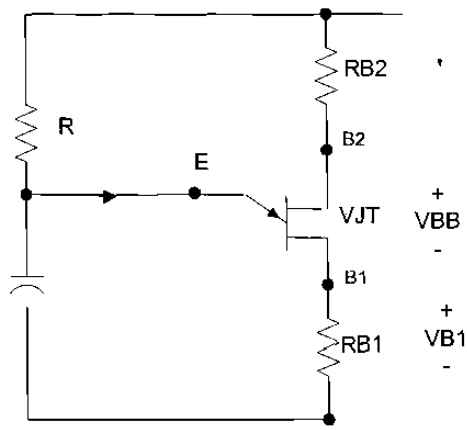


Figura P2.4.9

$T = 1/f \quad = 1/1 \quad kHz = 1\,ms$

$De\ la\ ec. V_p = \eta V_{BB} + V_D, Vp = 0.66 * 20 + 0.5 = 14.2\,V$

$Dejando\ C = 0.5\ \mu F$

$De\ la\ ecs.\ R < \dfrac{V_S - V_p}{V_p}\ y\ R > \dfrac{V_S - V_v}{I_v},$

La resistencia R esta limitada entre los valores de

$R < (20 - 14.2)/10\ \mu A = 580\ k\Omega$

$R > (20 - 2.5)/10\ mA = 1.75\ k\Omega$

$De\ la\ ec. T = \dfrac{1}{f} \approx RC\ln\dfrac{1}{1-\eta}, 1\,ms = R * 0.5\ \mu F * \ln[1/(1-0.66)]$

$Esto\ nos\ da\ R = 1.58\ k\Omega$

Y cae dentro del valor limite.

El voltaje de pico $V_{B1} = V_p = 14.2\,V.$

$De\ la\ ec. t_g = R_{B1}C, R_{B1} = tg/C = 40\ \mu s/0.5\ \mu F = 80\Omega$

$De\ la\ ec. R_{B2} = \dfrac{10^4}{\eta V_S},\ R_{B2} = 10^4/(0.66 * 20) = 758\Omega$

Problema 2.4.10

Diseñe el circuito de disparo de la figura P2.4.10. Los parametros de PUT son vs= 20 V,e I_G=1.5 mA. La frecuencia de oscilación es f= 1 kHz. El ancho de pulso es t_g=40μs y el pulso pico de disparo es V_{Rs}=8 V.

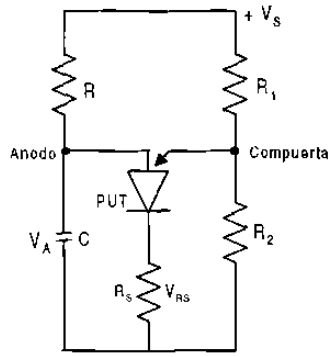


Figura P2.4.10

$T = 1/f = 1/1 \quad kHz = 1ms$

El pulso pico de disparo es $V_{Rk} = V_p = 10V$.

Dejando $C = 0.5\,\mu F$

De la ecuacion, $t_g = R_{B1}C, \quad Rk = tg/C = 40\ \mu s/0.5\ \mu F = 80\ \Omega$

De la ecuacion, $R_{B2} = \dfrac{10^4}{\eta V_S}, \quad \eta = V_p / Vs = 10/20 = 1/2$

De la ecuacion, $T = \dfrac{1}{f} \approx RC\ ln \dfrac{V_S}{V_S - V_p} = RC\ ln\left(1 + \dfrac{R_2}{R_1}\right)$

$1\ ms = R * 0.5\ \mu F * ln\ [20/(20-10)],$

Encontramos $R = 2.89\ k\Omega$

Para $I_G = 1.5\ mA, \quad Ec.(4.32)\ da$

$R_G = (1 - 1/2) * 20/1.5\ mA = 6.67\ k\Omega.$

De la ecuacion, $R_1 = \dfrac{R_G}{\eta}, R_1 = R_G/\eta = 6.67\ k\Omega * 2/1 = 13.33\ k\Omega$

De la ecuacion, $R_2 = \dfrac{R_G}{1-\eta}, R_2 = R_G/(1-\eta) = 6.67\ k\Omega * 2/1 = 13.33\ k\Omega$

Problema 2.4.11

La perdida de potencia de un dispositivo se muestra en la figura P2.4.11 Grafique la elevación instantánea de temperatura de la unión por arriba de la cápsula. Para $t_1 = t_3 = t_5 = t_7 = 0.5$ ms $\quad Z_1 = Z_3 = Z_5 = Z_7 = 0.025°$ C/W.

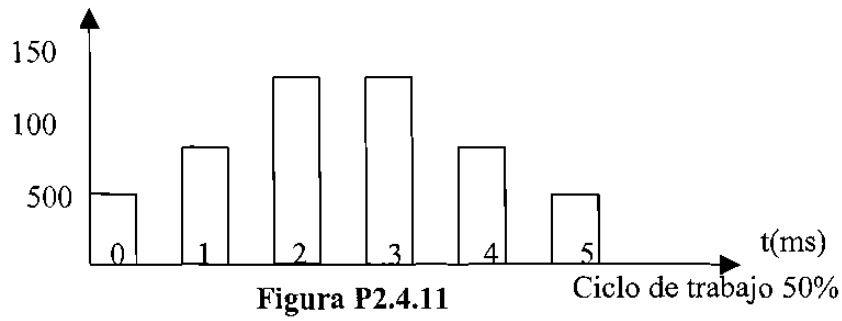


Figura P2.4.11

$P_1 = 500\,W, P_3 = 1000\,W, P_5 = 5000\,W,\ P_7 = 1500W,\ P_9 = 1000\,W, P_{11} = 500\,W$

Para $t_1 = t_3 = t_5 = t_7 = t_9 = t_{11} = 0.5\,ms,$

$z(t = t_1) = Z_1 = Z_2 = Z_5 = Z_7 = Z_9 = Z_{11} = 0.0025°C/W$

Para $t_2 = t_4 = t_6 = t_8 = t_{10} = 0.5\,ms,$

$z(t = t_2) = Z_2 = Z_4 = Z_6 = Z_8 = Z_{10} = 0.0025°C/W$

Se puede aplicar la ecuación $T_j(t) = T_{j0} + \sum_{n=1,3,\ldots}^{m} P_n(Z_n - Z_{n+1})$

directamente a fin de calcular la elevación de temperatura de la unión

$\Delta T_J\ (t = 0.5ms) = T_J(t = 0.5\ ms) - T_{J0} = Z_1P_1 = 0.0225 * 500 = 1.25\ °C$

$\Delta T_J\ (t = 1\,ms) = 12.5 - Z_2P_1 = 1.25 - 0.0025 * 1000 = 0°C$

$\Delta T_J\ (t = 1.5\,ms) = 0 + Z_3P_3 = 0 + 0.0025 * 1000 = 2.5°C$

$\Delta T_J\ (t = 2\,ms) = 2.5 - Z_4P_3 = 2.5 - 0.0025 * 1000 = 0°C$

$\Delta T_J\ (t = 2.5\,ms) = 0 + Z_5P_5 = 0 + 0.0025 * 1500 = 3.75°C$

$\Delta T_J\ (t = 3\,ms) = 3.75 - Z_6P_5 = 3.75 + 0.0025 * 1500 = 0°C$

$\Delta T_J\ (t = 3.5\,ms) = 0 + Z_7P_7 = 0 + 0.0025 * 1500 = 3.75°C$

$\Delta T_J\ (t = 4\,ms) = 3.75 - Z_8P_7 = 3.75 - 0.0025 * 1500 = 0°C$

$\Delta T_J\ (t = 4.5\,ms) = 0 + Z_9P_9 = 0 + 0.0025 * 1000 = 2.5°C$

$\Delta T_J\ (t = 5\,ms) = 2.5 - Z_{10}P_9 = 2.5 - 0.0025 * 1000 = 0°C$

$\Delta T_J\ (t = 5.5\,ms) = 0 + Z_{11}P_{11} = 0 + 0.0025 * 500 = 1.25°C$

Problema 2.4.12

La pérdida de potencia de un dispositivo aparece en la figura P2.4.12. Grafique la elevación instantanea de la unión por arriba de la temperatura de la cápsula Para $t1 = t2 = ...t9 = t10 = 1$ ms, $Z_1 = Z_2 =... = Z_9 = Z_{10} = 0.035°C/W$.
(Sugerencia: aproximese mediante cinco puslos rectangulares de igual duración.)

Figura P2.4.12

$P_1 = 385W,\ \ P_2 = 960W,\ P_3 = 1440W,\ P_4 = 1440W,\ P_5 = 600W$

$Po = 12.5*75.4 = 942.5W.$

De la ecuación $\delta = -tan^{-1}\dfrac{I_a X_q cos\theta_m}{V_a - I_a X_q sen\theta_m}$

$tan(3.67°) = [\dfrac{18.5\, Ia\ cos\theta m}{132.79 - 3\, Ia\ sen\theta m}]$

$y\ Po = 942.5 = 3*132.79\ Ia\ cos\theta m$

Ia y θm las dos se puedendeterminarcon
la siquientesecuacionesy encontramos

$Ia = 7.76A \quad y\ \theta m = 72.25°.$

$PF = cos(72.25°) = 0.3049$

Para $t_1 = t_2 = t_3 = t_4 = t_5 = 2ms,$

$z(t = t_1) = Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z_4 = Z_5 = Z_5 = 0.005°C/W$

Se puedeaplicarla ecuación $T_j(t) = T_{J0} + \sum_{n=1,3,...}^{m} P_n(Z_n - Z_{n+1})$
directamente a fin de calcularla
elevaciónde temperatura de la unión

$\Delta T_J\ (t = 2ms) = T_J(t = 2ms) - T_{J0} = Z_1 P_1 = 0.005*385 = 1.925\ °C$

$\Delta T_J\ (t = 4ms) = 1.925 + 0.005*(960 - 385) = 4.8°C$

$\Delta T_J\ (t = 6ms) = 4.8 + 0.005*(1440 - 960) = 7.2°C$

$\Delta T_J\ (t = 8ms) = 7.2 + 0.005*(1440 - 1440) = 7.2°C$

$\Delta T_J\ (t = 10ms) = 7.2 + 0.005*(600 - 1440) = 3°C$

Problema 2.4.13

La forma de la onda de la corriente a través del tiristor IR, tipo S30EF, se muestra en la figura P2.3.13. Grafique:

(a) la pérdida de potencia en función del tiempo, y

(b) la elevación instantaneá de la temperatura de la unión por arriba de la cápsula. (Sugerencia: suponga la perdida de potencia de potencia durante el encendido y el apagado en forma de rectangulos.)

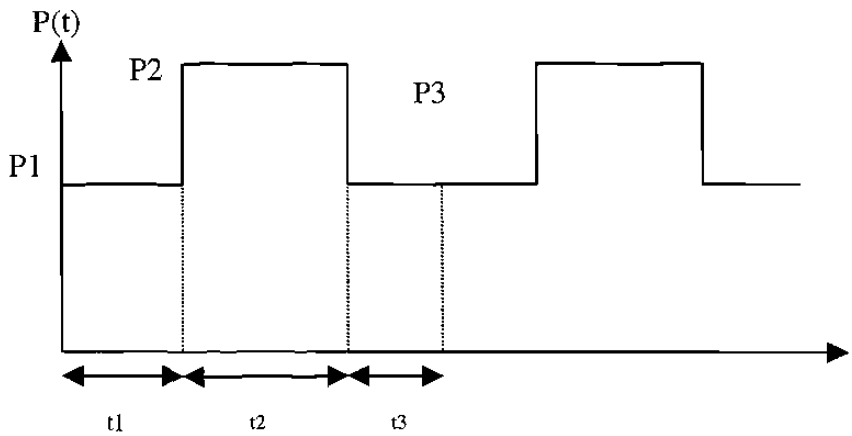


Figura P2.4.13

$fs = 50\ Hz,\ t_1 = t_3 = 5\mu s,\ t_2 = 20\ ms$

Para $0 \le t \le t_1$ *en* $Ip = 1000\ A$,

el dato de la hoja da la energía perdida por pulso,

$Ws = 0.08\ W/pulso$ *(Para una duración de* $10\ \mu s$*)*

$P_1 = P_3 = 0.08 * 50 = 4\ W$

El ciclo $K = 20/(0.005 + 20 + 0.05) \approx 1.$

De la hoja de datos, en $Ip = 1000\ A.$ *y*

$k = 1, P_2 = 2000\ W$

De la hoja de datos, $z(t = t_1) = Z_1 = Z_3 = 4 \times 10^{-4}\ °C/W$

$z(t = t_2) = Z_2 = 1.2 \times 10^{-2}\ °C/W$

Se puede aplicar la ecuación $T_j(t) = T_{J0} + \sum_{n=1,2...}^{m} Z_n (P_n - P_{n+1})$

directamente a fin de calcular la

elevación de la temperatura de la unión

$\Delta T_J = (t = 5\ \mu s) = T_J\ (t = 5\mu s) - T_{J0} = Z_1 P_1 = 4 \times 10^{-4} * 4 = 16 \times 10^{-4} = 0°C$

$\Delta T_J = (t = 20.005\ ms) = 16 \times 10^{-4} + Z_2 (P_2 - P_1) = 35.93°C$

$\Delta T_J = (t = 20.01\ ms) = 35.93 + Z_3 (P_3 - P_2) = 35.13°C$

Problema 2.4.14

La corriente de recuperación de un dispositivo es Ir = 30 A y la inductancia del circuito es L = 20 μH. La corriente de entrada es Vs = 200 V. Si resulta necesario limitar el voltaje transitorio de pico a 1.8 veces el voltaje de entrada, determine:

a) **el valor optimo de la relación de corriente Vo,**
b) **el factor óptimo de amortiguación δo,**
c) **la capacitancia del circuito de apoyo C,**
d) **la resistencia del circuito de apoyo R,**
e) **el dv/dt promedio y**
f) **el voltaje inicial inverso.**

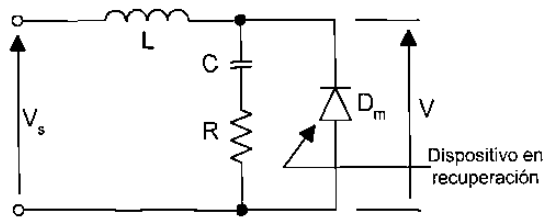


Figura P2.4.14

$I_R = 30\,A,\ L = 20\,\mu H,\ V = 200\,V,\ V_p = 1.8 * 220 = 360\,V$

Para $V_p/V_s = 1.8$, *De las caracteristicas optimas encontramos :*

(a) El factor optimo de corriente $d = 1.4$,

(b) El factor optimo de amortiguamiento $\delta = 0.27$

(c) De la ecuacion $C = L\left[\dfrac{I_R}{dV_s}\right]^2$, *la capacitancia del circuito de apoyo C es :*

$-C = 20\,[\,30/\,(1.4 * 200\,)]^2 = 0.2296\,\mu F$

(d) De la ecuacion $R = 2\delta\sqrt{\dfrac{L}{C}}$, *la resistencia del circuito de apoyo es :*

$-R = 2 * 0.27\sqrt{(20/0.2296)} = 5.04\,\Omega$

(e) De la ecuacion $\omega_0 = \dfrac{1}{\sqrt{LC}}$, $w_o = 10^6 / \sqrt{(20 * 0.2296)} = 466667\ rad/s$

por parámetros óptimos : $\dfrac{dv/dt}{V_s\ w_o} = 1.2$

o $dv/dt = 1.2\,V_s\ w_o = 1.2 * 200 * 466667 = 112\,V/\mu s$

(f) De la ecuacion $V(t=0) = RI_R$, *el voltaje inicial inverso es*

$V(t=0) = 5.04 * 30 = 151.2\,V$

Problema 2.4.15

La corriente de recuperación de un dispositivo es Ir = 10 A y la inductancia del circuito es L = 80μH. La corriente de entrada es Vs = 200 V. La resistencia del circuito de apoyo es R = 2Ω y la capacitancia del mismo es C = 50 μF determine:

a) **la relación de amortiguamiento δ,**
b) **el voltaje transitorio de pico Vp,**
c) **la relación de corriente d,**
d) **el dv/dt promedio y**
e) **el voltaje inicial inverso.**

$I_R = 10\ A,\quad L = 80\ \mu H,\ C = 50\ \mu F,\ R = 2\ \Omega\ V_s = 200\,V$

De la ecuacion $\alpha = \dfrac{R}{2L},\quad \alpha = 2/(2*80) = 12500$

De la ecuacion $\omega_0 = \dfrac{1}{\sqrt{LC}},\ w_o = 10^6/\sqrt{(80*50)} = 9682\ rad/s$

a) De la ecuacion $\delta = \dfrac{\alpha}{\omega_0}$, *la relación de amortiguamiento es*

$\delta = (2\sqrt{2})\ \sqrt{(50/80)} = 0.7906$

b) De la ecuacion $\tan\omega t_1 = \dfrac{\omega[(V_s - RI_R)2\alpha + I_R/C]}{(V_s - RI_R)(\omega^2 - \alpha^2) - \alpha I_R/C},$

$t_1 = 192.54\ \mu s$

De la ecuacion $V_p = v(t = t_1),\ V_p = 226.52\,V$

c) De la ecuacion $d = \dfrac{I_R}{V_S}\sqrt{\dfrac{L}{C}} = \dfrac{I_R}{I_P},\ d = (10/200)\ \sqrt{(80/50)} = -0.0632$

d) De la ecuacion $V_S\omega_0(2\delta - 4d\delta^2 + d)$, *el dv/dt promedio* $= 4.5V/\mu s$

e) De la ecuacion $d = \dfrac{I_R}{V_S}\sqrt{\dfrac{L}{C}} = \dfrac{I_R}{I_P}$, *el voltaje inicial inverso* $= 2*10 = 20\,V.$

4.2 Direcciones investigadas en Internet

Actualmente se dispone de un gran recurso que es el Internet donde existen gran cantidad de recursos de actualidad de casi todas las áreas, en donde podemos revisar cual es la tendencia tecnológica, tener información de otras universidades del mundo, simposium en diferentes partes, proyectos de investigación, condensados de libros, cursos de actualización, datos de componentes y otras muchas áreas mas.
Las direcciones que a continuación se presentan, fueron seleccionadas en función a la relación que tienen con algunos de estos tópicos.

http://www.arduini.com/papers.html
http://nmp.jpl.nasa.gov/ds1/tech/lpe.html
http://www.danfoss.com/Products/A50APP.asp
http://www.apec-conf.org/
http://www.ee.washington.edu/class/cadta/cadence/index.html
http://www.cdsp.neu.edu/
http://www.cieem.rpi.edu/
http://clpe.ece.arizona.edu/
http://www.usnews.com/usnews/edu/ugrad00/drglance_1131.htm
http://www.cpes.vt.edu/
http://www.danfoss.com/
http://www.danfossdrives.com/danfoss.html
http://www.grahamdrives.com/
http://schof.colorado.edu/~ecen5797/1998/syllabus/Lecture_schedule.html
http://schof.colorado.edu/~ecen5807/
http://www.ee.unsw.edu.au/ugrad/subjects/elec3005.htm#text
http://www.rpi.edu/dept/epe/WWW/corslist.html
http://www.semikron.de/seminew/framee11.htm
http://www.ece.orst.edu/~schreier/HSPICE/device.html
http://www.cdpowerelectronics.com/
http://www.hanmiohm.co.kr/
http://www.hitachi.com/
http://www.hwsams.com/power_supply_t&r.html
http://www.semikron.de/seminew/framee3.htm
http://www.survivalsystems.com/
http://www.iap.com/
http://www.pels.org/Comm/History/History.htm
http://www.ieee.org/organizations/pubs/pub_preview/pel_toc.html
http://schof.colorado.edu/~ecen5807/course_material/compact_notes/
http://www.ece.orst.edu/~schreier/HSPICE/Training/
http://powerlearn.ece.vt.edu/modules/index.html
http://www.lindelectronics.com/
http://www.ucop.edu/research/micro/
http://www.wkap.nl/kaphtml.htm/BOORDINF
http://www.ornl.gov/etd/peemc/PEEMCProjects.htm
http://pesc00.ucg.ie/
http://www.eng.uci.edu/pel/pel.html#anchor70459

http://ece-www.colorado.edu/~maksimov/links.html
http://www.powerelectronics.net/
http://www.ntu.edu/1/credit/ps541c.htm
http://www.ac-simplex.fr/products/default.htm
http://www.eng.rpi.edu/frame.html
http://news.stockmaster.com/sec_key.asp?ticker=MOT
http://www.survivalsystems.com/techart.html
http://www.trans-ie.uni-wuppertal.de/abs/ies46_2.html
http://schof.colorado.edu/~pwrelect/Rframeset.html
http://www.cdpowerelectronics.com/
http://www.asl.kuee.kyoto-u.ac.jp/

Universidades

http://www.ecpe.vt.edu/
http://www.engr.wisc.edu/ece/courses/
http://al-basit.info-ab.uclm.es/~amartine/
http://www.ucc.ie/ucc/depts/elec/research/mechatronics/mechatronics.html
http://faith.swan.ac.uk/wrongway.html
http://www.nasa.gov/
http://pei.ucc.ie/INDEX.HTML
http://eepe.swan.ac.uk/elinks.htm
http://www.rwth-aachen.de/
http://society.swan.ac.uk/index.html
http://www.engr.wisc.edu/

Libros

http://www.e-insite.net/
http://www.e-insite.net/e-insite/publications.asp
http://www.fatbrain.com/
http://powerelectronics.com/arc/
http://www.infotrac.apla.galegroup.com/itw/start_session?http_rc=400&class=session&sev=temp&type=session&cause=http%3A%2F%2Fweb7.infotrac.apla.galegroup.com%2Fitw%2Finfomark%2F373%2F1%2F60217724w3%2Fpurl%3D%26dyn%3Dsig!1%3Fsw_aep%3Ddit&cont=&msg=No+session+cookies&sw_aep=dit

Revistas en Línea

http://www.pcim.com/onlineart.html

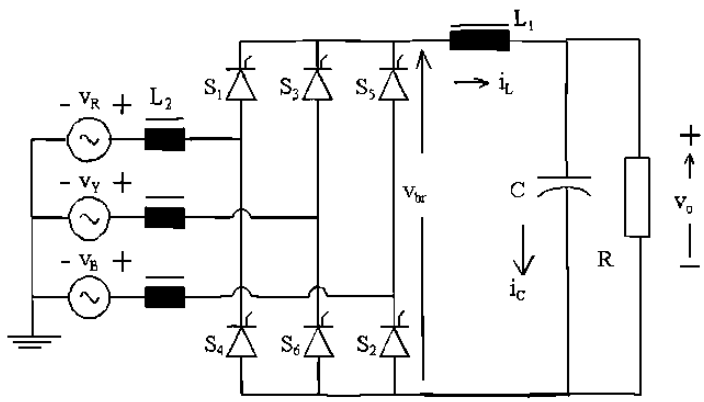
Suscripción de Revistas

http://www.airpaxppp.com/pppsite/tpsales.html
http://www.mot.com/SPS/WIRELESS/cellular/
http://www.clarostat.com/
http://ebus.motorola.com/ProdCat/DesignCenter
http://www.mot-sps.com/support/index.html
http://www.mot-sps.com/news_center/press_releases/PR000127A.html
http://www.sensorsmag.com/articles/0200/28/index.htm
http://www.transducertechniques.com/product1.html
http://www.kavlico.com/index_flash.html

4.3 Simulaciones

Los programas para simulación que se obtuvieron, son para operar con los siguientes paquetes de software: Mat-Lab, C++, Pspice y applet.
Este tipo de programas puede ser modificados en función de lo que deseemos obtener.

SIMULACION UTILIZANDO C




```
// Simulación de un circuito rectificador de onda
// completa monofásico
// Con este programa obtenemos la respuesta transitoria,
// el periodo . El ángulo de  conmutación es también calculado
// Cálculos, tales como:  El voltaje promedio que pasara por
// el rectificador del puente de diodo con
// carga resistiva y tomando esta como unitaria.
// La corriente promedio a través de la carga resistiva
// con carga puramente resistiva en el puente rectificador de
// diodos es tomada como la corriente unitaria.
// Los parámetros que se deben proporcionar son tres:
// La relación entre la carga ocasionada por la XL y la R  XL1/R
// La relación de la XL de la fuente a la R de la carga XL2/R
// Y por ultimo el ángulo de disparo del scr expresado en grados.

#include <math.h>
#include<stdlib.h>
```

```
#include<stdio.h>
#include<string.h>
#include<iostream.h>

void kreateRespFile(void);
void tranResponse(void);
void OneCycle(void);
void computeOneStep(void);
void produceEntries(void);


const double pi=3.1415926;
const double deg_rad=pi/180.0;
const double step=pi/720.0;

double L1,L2,alpha,fang,elapseAng,cycleAng,tote_knt;
double cur_load,cur_line,outVolt,vSource,vInput,capVolt;
double OverLapangle,Cap,capCur,dcLinkCur,Res;
int commute,toggle,yes_Entry,modeSw;
FILE *fnew;
char *tstr,*p;



int main(void)
{
 float  ka1,kb2,kc3,kd4,ke5;
 printf(" \n");
 printf("     Constante de tiempo de la carga  en radianes = ");
 scanf("%f",&ka1);
 L1=(double)ka1;
 if (L1<0.05) L1=0.05;
 printf(" \n");
 printf("     Constante de tiempo de la reactancia de línea en radianes = ");
 scanf("%f",&kb2);
 L2=(double)kb2;
 printf(" \n");
 printf("   Constante de tiempo del filtro capacitor en radianes   = ");
 scanf("%f",&kc3);
 Cap=(double)kc3;
```

```
if (Cap<0.1) Cap=0.1;
if (Cap>10.0) Cap=10.0;
printf(" \n");
printf("   Resistencia de carga en p.u.   = ");
scanf("%f",&ke5);
Res=(double)ke5;
if (Res<0.1) Res=0.1;
if (Res>10.0) Res=10.0;
printf(" \n");
printf("     Angulo de disparo en grados = ");
scanf("%f",&kd4);
alpha=(double)kd4;
fang=alpha*deg_rad;
alpha=0.0;
printf("  \n");

// Inicializar no es necesario para variables globales

elapseAng=0.0 ;  cycleAng=0.0;  capCur=0.0;  capVolt=0.0;
cur_load=0.0;  cur_line=0.0;  outVolt=0.0;  tote_knt=0.0;
OverLapangle=0.0;  commute=0;  yes_Entry=0; dcLinkCur=0.0;
cur_load=0.0;


// Se crea un archivo para introducir respuesta transitoria
fnew=fopen("tran_v3.csv","w+r");
tranResponse();
fclose(fnew);
return 0;
}

void kreateRespFile(void)
{
int n1,n2;
tstr="Angle,InputV,VoutBr,dcLinkCur,LineCur,IndVolt,LoadVolt,capCur"
;
p=strtok(tstr,",");
fprintf(fnew,p); fprintf(fnew,",");
n2=8;
for (n1=0;n1<(n2-1);n1++)
```

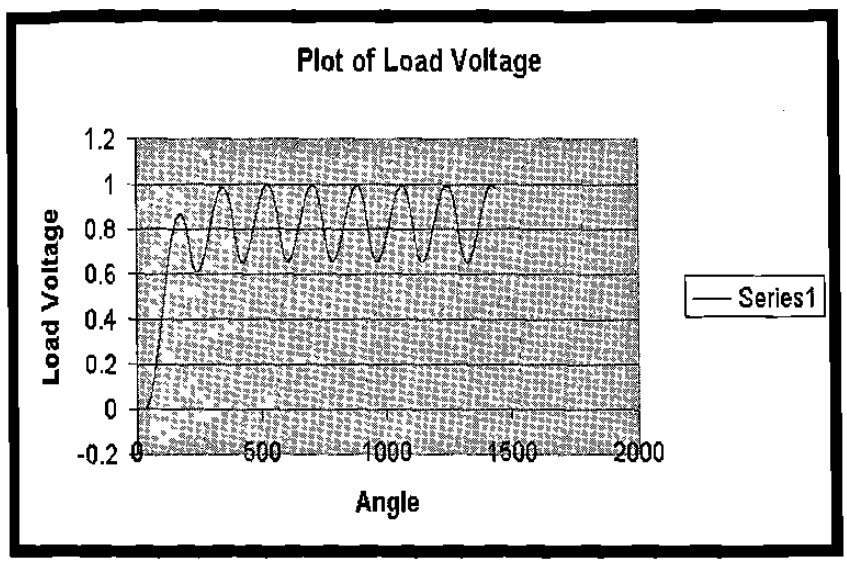
```
        {
        p=strtok(NULL,",");
        if (n1!=(n2-2))
              {
              fprintf(fnew,p); fprintf(fnew,",");
              }
        else
              {
              fprintf(fnew,p); fprintf(fnew,"\n");
              }
        }
}

void tranResponse(void)
{
 double d1;
 int NumCycles,count;
 d1=(6.0*(L1+L2+Cap))/(2.0*pi)+0.5;
 NumCycles=(int)d1 + 1;
 kreateRespFile();
 modeSw=1;
 for (count=0;count<=NumCycles;count++)
        OneCycle();
}


void OneCycle(void)
{
 int knt;
 double dknt;
 dknt=0.0;


 for (knt=0;knt<1440;knt++)
        {
        cycleAng=dknt*step;
        vInput=pi/2.0*sin(cycleAng);
        if ((cycleAng<fang) || (cycleAng>(fang+pi)))
              {
              if (cycleAng<fang) vSource=pi/2.0*sin(cycleAng+pi);
```

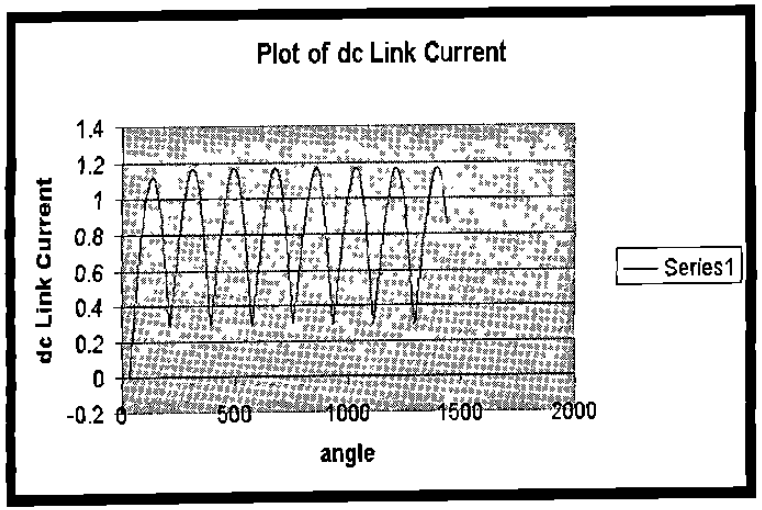
```
            else vSource=pi/2.0*sin(cycleAng-pi);
            toggle=0;
            }
        else
            {
            vSource=pi/2.0*sin(cycleAng);
            toggle=1;
            }
        if (modeSw!=toggle)
            {

            commute=1;
            if (L2<0.0005) commute=0;
            modeSw=toggle;
            }
        computeOneStep();
        dknt+=1.0;
        }
}

void computeOneStep(void)
{
 double dLoadI,dLineI,doutV;

 switch (commute)
        {
        case 0:
         dLoadI=(vSource-dcLinkCur)/(L1+L2)*step;
         doutV=(dcLinkCur-capVolt/Res)*step/Cap;
         dcLinkCur=dcLinkCur+dLoadI;
         capVolt=capVolt+doutV;
         if (capVolt<0.0) capVolt=0.0;
         if (dcLinkCur<0.00001) dcLinkCur=0.0;
         if (toggle==0) cur_line=-dcLinkCur;
         else cur_line=dcLinkCur;
         outVolt=cur_load+(vSource-cur_load)*L1/(L1+L2);
         cur_load=capVolt/Res;
         capCur=dcLinkCur-cur_load;
        break;
```

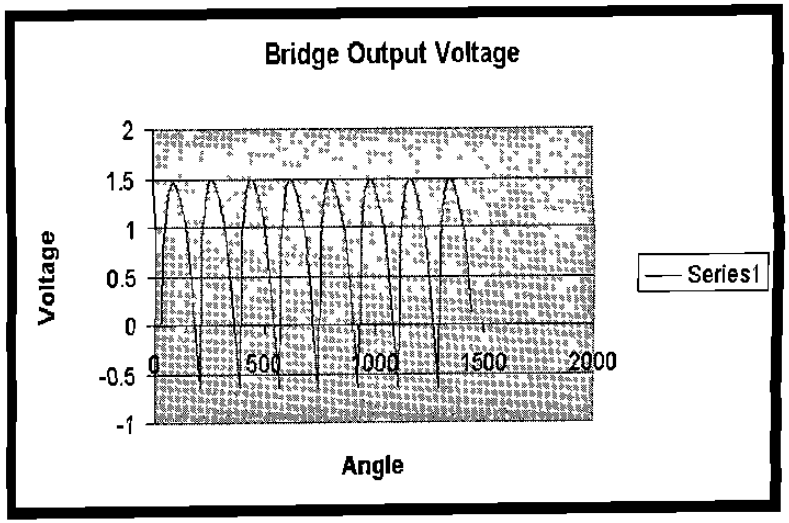
```
        case 1:
         dLoadI=(0.0-cur_load)/L1*step;
         doutV=(dcLinkCur-capVolt/Res)*step/Cap;
         dcLinkCur=dcLinkCur+dLoadI;
         capVolt=capVolt+doutV;
         if (capVolt<0.0) capVolt=0.0;
         if (dcLinkCur<0.00001) dcLinkCur=0.0;
         dLineI=vInput/L2*step;
         cur_line=cur_line+dLineI;
         if (toggle==1)
              {
              if (cur_line>dcLinkCur) commute=0;
              }
         if (toggle==0)
              {
              if ((cur_line+dcLinkCur)<0.0) commute=0;
              }
         if (dcLinkCur<0.00001) outVolt=capVolt;
         else outVolt=0.0;
         cur_load=capVolt/Res;
         capCur=dcLinkCur-cur_load;
        break;
       }
 tote_knt+=1.0;
 elapseAng=tote_knt*step;
 alpha=tote_knt/4.0;
 yes_Entry+=1;
 if (yes_Entry==4) produceEntries();
 if (yes_Entry==4) yes_Entry=0;
}

void produceEntries(void)
{
 double negate;
 gcvt(alpha,5,p);
 fprintf(fnew,p);
 fprintf(fnew,",");
 gcvt(vInput,5,p);
 fprintf(fnew,p);
 fprintf(fnew,",");
```

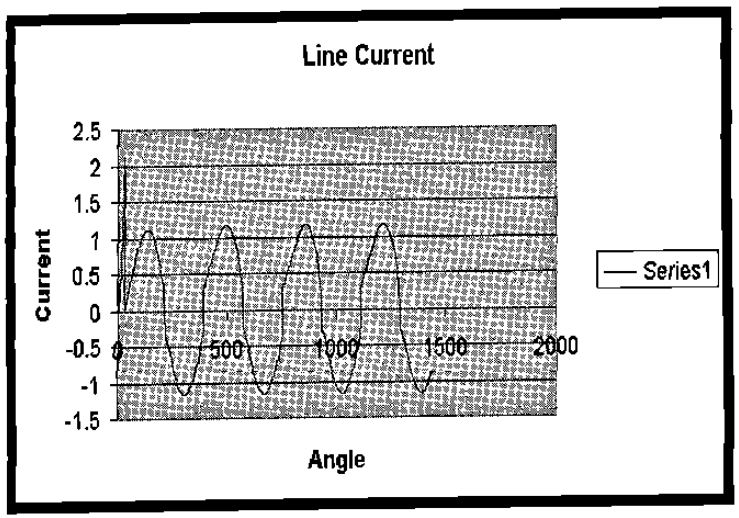
```
gcvt(outVolt,5,p);
fprintf(fnew,p);
fprintf(fnew,",");
gcvt(dcLinkCur,5,p);
fprintf(fnew,p);
fprintf(fnew,",");
gcvt(cur_line,5,p);
fprintf(fnew,p);
fprintf(fnew,",");
if (toggle==0) negate = 1.0; else negate=-1.0;
gcvt(vInput-negate*outVolt,5,p);
fprintf(fnew,p);
fprintf(fnew,",");
gcvt(capVolt,5,p);
fprintf(fnew,p);
fprintf(fnew,",");
gcvt(capCur,5,p);
fprintf(fnew,p);
fprintf(fnew,"\n");
}
```

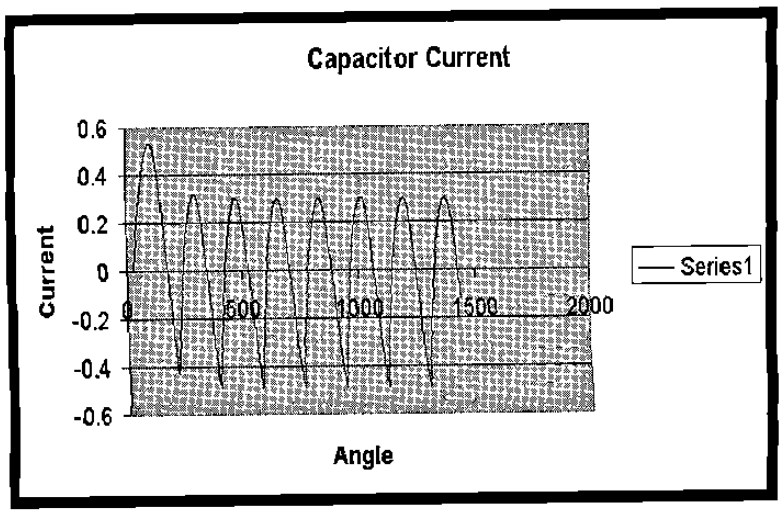
Las graficas obtenidas son de acuerdo a los siguientes datos: L1=1.0, L2=0.1, R=1.0, C=1.0 y Angulo =30°



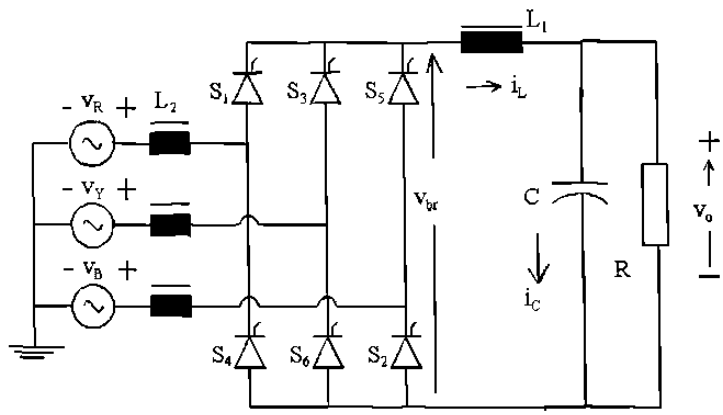

Plot of dc Link Current
dc Link Current
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
0
500
1000
1500
2000
angle
Series1


Bridge Output Voltage
Voltage
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
0
500
1000
1500
2000
Angle
Series1


Line Current
Current
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
0
500
1000
1500
2000
Angle
Series1


Capacitor Current
Current
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
0
500
1000
1500
2000
Angle
Series1

PSPICE SIMULATION



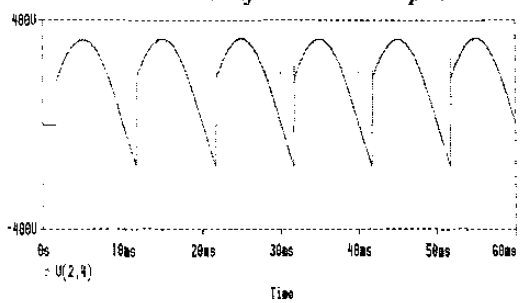
El programa utilizado en pspice para simulación es como sigue:

```
* Puente rectificador de onda completa con carga RL y fuente inductiva
VIN 9 0 SIN(0 340V 50Hz)
XT1 1 2 5 2 SCR
XT2 0 2 6 2 SCR
XT3 4 0 7 0 SCR
XT4 4 1 8 1 SCR
VP1 5 2 PULSE(0 10 1667U 1N 1N 100U 20M)
VP2 6 2 PULSE(0 10 11667U 1N 1N 100U 20M)
VP3 7 0 PULSE(0 10 1667U 1N 1N 100U 20M)
VP4 8 1 PULSE(0 10 11667U 1N 1N 100U 20M)
L1 2 3 31.8M
L2 1 9 1.6M
R1 3 4 10
C1 3 4 318.5u
R2 1 0 1MEG
R3 2 0 1MEG
R4 4 0 1MEG

* Sub circuito para SCR
.SUBCKT SCR 101 102 103 102
S1 101 105 106 102 SMOD
RG 103 104 50
VX 104 102 DC 0
```

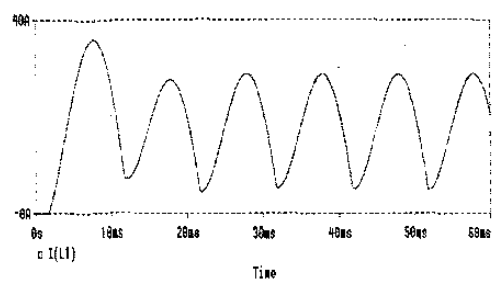
```
VY 105 107 DC 0
DT 107 102 DMOD
RT 106 102 1
CT 106 102 10U
F1 102 106 POLY(2) VX VY 0 50 11
.MODEL SMOD VSWITCH(RON=0.0105 ROFF=10E+5 VON=0.5 VOFF=0)
.MODEL DMOD D((IS=2.2E-15 BV=1200 TT=0 CJO=0)
.ENDS SCR
.TRAN 10US 60.0MS 0.0MS 10US
.FOUR 50 V(2,4) I(VIN)
.PROBE
.OPTIONS(ABSTOL=1N RELTOL=.01 VNTOL=1MV)
.END
```

Los resultados obtenidos son presentados como siguen:

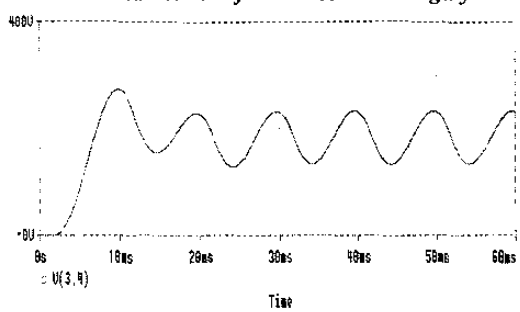
Forma de onda del voltaje de salida del puente

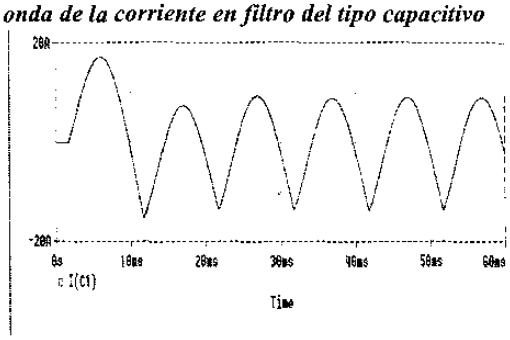


Forma de onda de la corriente de salida del puente

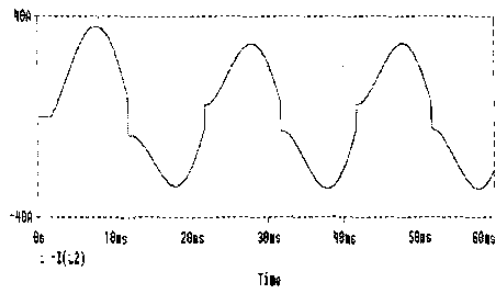


Forma de onda del voltaje a través de la carga y Forma de onda de la corriente en filtro del tipo capacitivo

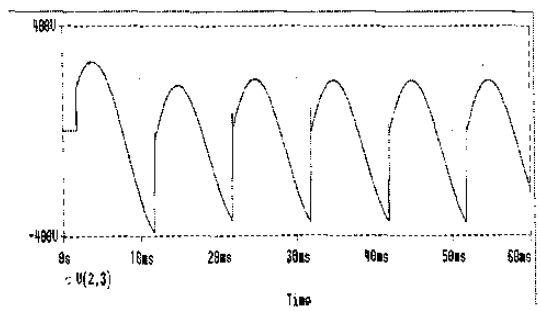




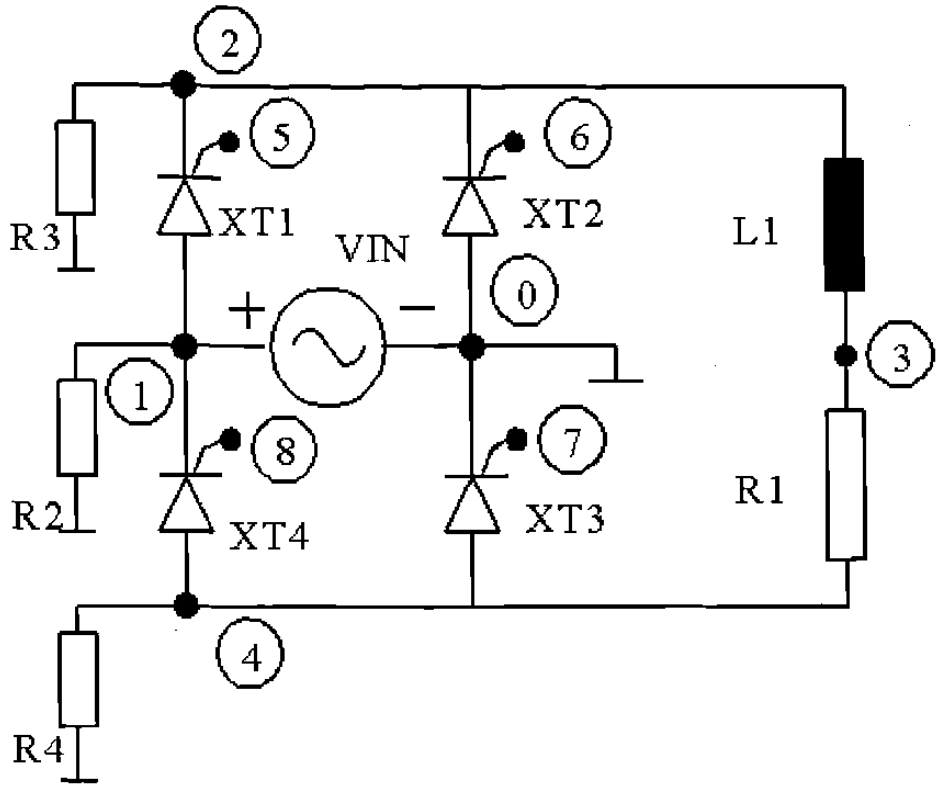
Forma de onda de corriente de línea



Forma de onda del voltaje en el inductor.



MATLAB SIMULATION



El programa utilizado para la simulación es el siguiente:

```
% Programa para simular un circuito rectificador de onda completa
% Simulando un especifico angulo de activacion
% Los datos que hay que introducir son:
% El Voltaje pico en      V
% La Frecuencia en        Hz
% La Inductancia en       mH
% La Resistencia en       Ohms
% Los valres tipicos son: voltaje= 340V,  frecuencia= 50Hz,
% Inductancia= 31.8 mH  y la  resistencia= 10 Ohms
disp('El valor tipico para voltaje pico es 340 V')
peakV=input('Introduzca el valor de voltaje pico en Volts>');
disp('El valor tipico de frecuencia de linea es 50 Hz')
freq=input('Introduzca la frecuencia de linea en Hz>');
disp('El valor tipico para la inductancia de carga es 31.8 mH')
```

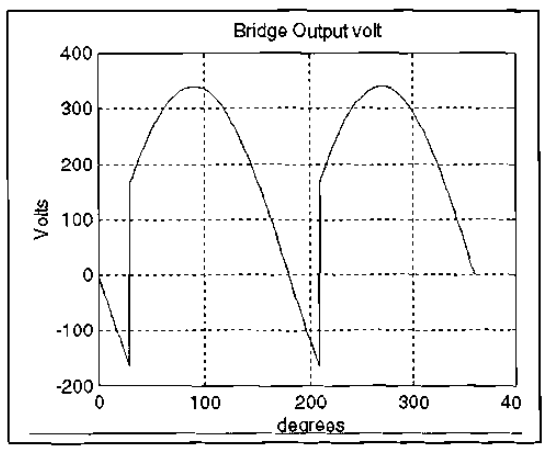
```
L=input('Introduzca la inductancia de carga en mH>');
disp('El valor tipico para la resistancia de carga es 10.0 Ohms')
R=input('Introduzca el valor de resistencia de carga en Ohms>');
disp('El valor tipico para el angulo de disparo es 30.0 grados')
fangDeg=input('Introduzca el angulo de disparo con rango entre 0 y 180 >');
fangRad=fangDeg/180.0*pi;

w=2.0*pi*freq;
X=w*L/1000.0;
if (X<0.001) X=0.001; end;
Z=sqrt(R*R+X*X);
tauInv=R/X;
loadAng=atan(X/R);
k1=peakV/Z;
k2=2.0*k1*sin(loadAng-fangRad)/(1.0-exp(-pi*tauInv));
k3=k1*sin(loadAng-fangRad);
if (fangRad<loadAng)
  A=k2;
  sw=1;
else
  A=k3;
  sw=2;
end;

Ampavg=0;
AmpRMS=0;

for n=1:360;
  theta=n/180.0*pi;
  X(n)=n;
  if (sw==1);
    if (n<fangDeg);
        cur=k1*sin(pi+theta-loadAng)+A*exp(-tauInv*(pi+theta-fangRad));
        vbr(n)=peakV*sin(theta+pi);
        vind(n)=vbr(n)-R*cur;
        iLoad(n)=cur;
        vSCR(n)=peakV*sin(theta);
        Ampavg=Ampavg+cur*1/360;
        AmpRMS=AmpRMS+cur*cur*1/360;
      elseif ((n>=fangDeg) & (n<(180+fangDeg)));
```

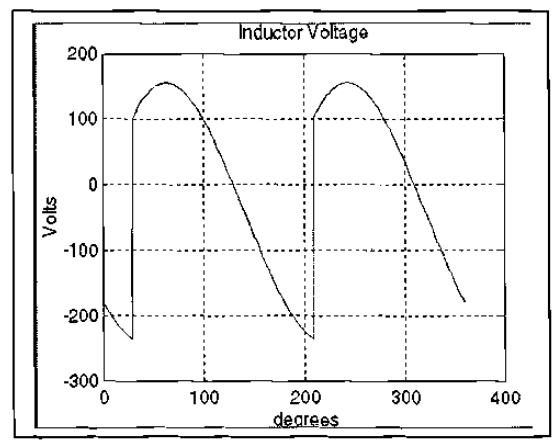
```
      cur=k1*sin(theta-loadAng)+A*exp(-tauInv*(theta-fangRad));
      vbr(n)=peakV*sin(theta);
      vind(n)=vbr(n)-R*cur;
      iLoad(n)=cur;
      vSCR(n)=0;
      Ampavg=Ampavg+cur*1/360;
      AmpRMS=AmpRMS+cur*cur*1/360;
    else (n>=(180+fangDeg));
   cur=k1*sin(theta-pi-loadAng)+A*exp(-tauInv*(theta-pi-fangRad));
      vbr(n)=peakV*sin(theta-pi);
      vind(n)=vbr(n)-R*cur;
      iLoad(n)=cur;
      vSCR(n)=peakV*sin(theta);
      Ampavg=Ampavg+cur*1/360;
      AmpRMS=AmpRMS+cur*cur*1/360;
     end;

else
 if (n<fangDeg);
      cur=k1*sin(pi+theta-loadAng)+A*exp(-tauInv*(pi+theta-fangRad));
      if (cur>0);
        vbr(n)=peakV*sin(theta+pi);
        vind(n)=vbr(n)-R*cur;
        iLoad(n)=cur;
        vSCR(n)=peakV*sin(theta);
        Ampavg=Ampavg+cur*1/360;
        AmpRMS=AmpRMS+cur*cur*1/360;
      else;
        vbr(n)=0.0;
           vind(n)=0.0;
           iLoad(n)=0.0;
        vSCR(n)=peakV*sin(theta)/2.0;
      end;

    elseif ((n>=fangDeg) & (n<(180+fangDeg)));
      cur=k1*sin(theta-loadAng)+A*exp(-tauInv*(theta-fangRad));
      if (cur>0);
        vbr(n)=peakV*sin(theta);
        vind(n)=vbr(n)-R*cur;
        iLoad(n)=cur;
```

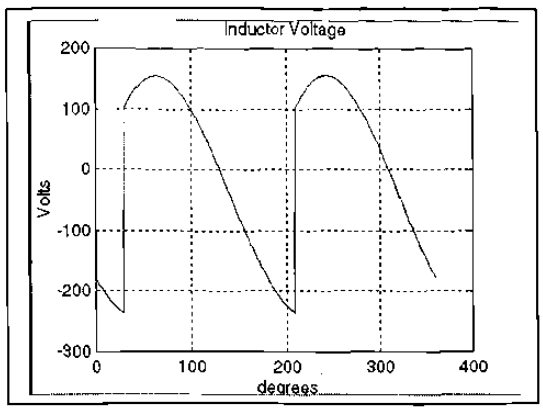
```
        vSCR(n)=0;
        Ampavg=Ampavg+cur*1/360;
        AmpRMS=AmpRMS+cur*cur*1/360;
    else;
        vbr(n)=0.0;
           vind(n)=0.0;
           iLoad(n)=0.0;
        vSCR(n)=peakV*sin(theta)/2.0;
       end;

     else (n>=(180+fangDeg));
    cur=k1*sin(theta-pi-loadAng)+A*exp(-tauInv*(theta-pi-fangRad));
       vbr(n)=peakV*sin(theta-pi);
       vind(n)=vbr(n)-R*cur;
       iLoad(n)=cur;
       vSCR(n)=peakV*sin(theta);
       Ampavg=Ampavg+cur*1/360;
       AmpRMS=AmpRMS+cur*cur*1/360;
     end;
  end;
end;


plot(X,iLoad)
title('La corriente de carga')
xlabel('Grados')
ylabel('Amperes')
grid
pause

plot(X,vbr)
title('Voltaje de salida del puente')
xlabel('Grados')
ylabel('Volts')
grid
pause

plot(X,vind)
title('Voltaje del inductor')
xlabel('Grados')
```

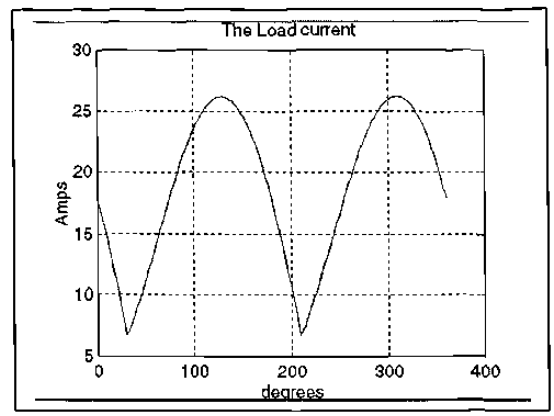
```
ylabel('Volts')
grid
pause

plot(X,vSCR)
title('SCR Voltage')
xlabel('Grados')
ylabel('Volts')
grid


AmpRMS=sqrt(AmpRMS);
[C,message]=fopen('fwrl1ph1.dat','w');
fprintf(C,'Avg Load Cur=\t%d\tRMS Load
Cur=\t%f\n',Ampavg,AmpRMS);
fclose(C);
```

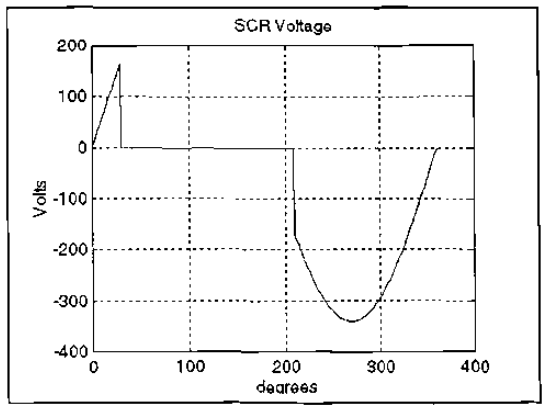
Las respuestas obtenidas por los valores tipicos aplicados a continuacion se muestran:

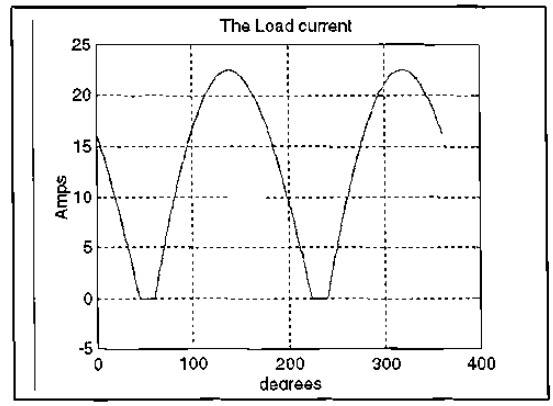


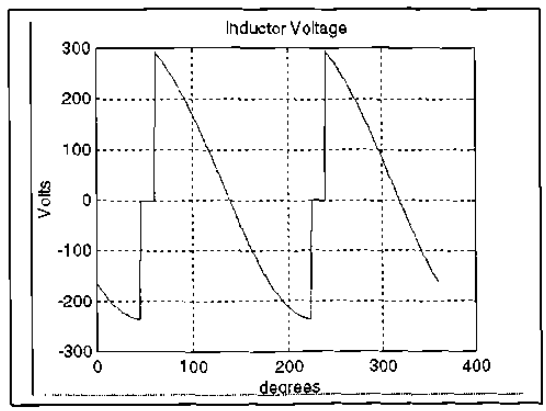


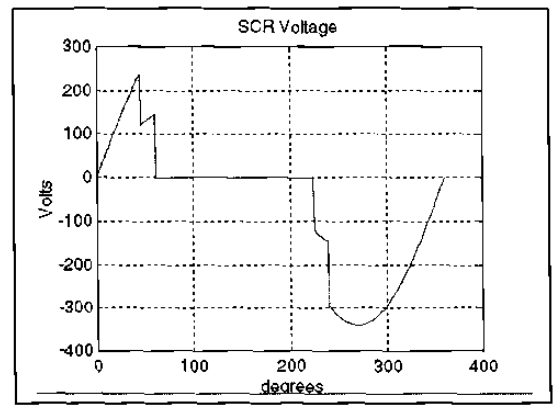












Los resultados obtenidos por un ángulo de 60grados se muestran a continuación. Los otros valores son iguales como los previamente aplicados. Cuando el ángulo de activación se retraza mucho, la corriente de la carga es discontinua.

CONCLUSIONES

Conforme se buscó información, se localizó una gran cantidad de ésta para cada una de las áreas buscadas. El incremento en el número de aplicaciones en las áreas en las que anteriormente no tenía acceso la Electrónica Industrial y/o de Potencia actualmente es muy considerable gracias a los grandes avances tecnológicos en el desarrollo de los nuevos semiconductores y de la gran cantidad de mejoras que se han hecho a los ya existentes.

Quise haber integrado toda la información obtenida, pero ésta es una de las fallas que tenemos, bien sea porque queremos actualizar nuestro curso o bien hacerlo lo más completo posible. En esto me hizo reflexionar mi asesor, a lo que me dijo: unas buenas bases pueden soportar cualquier cambio tecnológico que se avecine o que llegue. Así es que tratemos de lograr la empatía con nuestros estudiantes, para comprender la situación de ellos y no saturarlos de información demasiado reciente o tan detallada que lleguemos a perder la base o fundamento de nuestro curso.

RECOMENDACIONES

Unas de las recomendaciones que me permito hacer son las siguientes:

Debido al cambio que se aproxima referente a la impartición de la cátedra, al disminuir las sesiones semanales de cinco a tres y el cubrir un programa más ambicioso por los mismos cambios en tecnologías, considero necesario que se disponga de **salones de clase dedicados** y **equipados** para la impartición de estas clases y así disponer de **un mismo material** para todos los catedráticos.

A **salones de clase dedicados** me refiero a que sólo se imparta estas cátedras, la razón es de que existen una gran cantidad de grupos que justifican su inversión y el hecho de que sean dedicados.

A **equipados** me refiero al hecho de que se cuente con todo lo necesario, para la impartición de cátedra de buen nivel y no tener que perder buena parte de la hora de clase en andar solicitando o buscando el material necesario. El equipo mínimo necesario que considero es el siguiente:

1. Computadora equipada
2. Proyector de cañón
3. Vídeo casetera
4. Televisión de 30" mínimo
5. Proyector de acetatos
6. Pantalla antireflejante
7. Reproductor de DVD
8. Puerto de comunicación para red

A **un mismo material** nos referimos a que se cuente con los mismos problemas, videos, presentaciones, acetatos, preguntas, respaldo bibliográfico, revistas de actualidad, suscripciones, y otros materiales más que se vayan integrando al material disponible.

BIBLIOGRAFÍA

	Año Edición
Tiristores y Triacs Henry Lilen Alfa-Omega Marcombo Boixareu Editores	1995
Electrónica Industrial Moderna Timothy J. Maloney Prentice Hall Inc.	1997
Electrónica de Potencia Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones Muhammad H. Rashid Prentice Hall Inc.	1995
Introduction to Solid State Power Electronics John William Motto Jr. Westinghouse Electric Corporation Semiconductor Division.	1987
Motorola Thyristors Data Semiconductor Division Motorola	1997
Thyristors Product Catalog Teccor Electronics A Sibe Group Company	1999
Adjustable Speed Drives AC y DC Electronics Drives Danfoss	1997
Fundamentals of Power Electronics R.W. Erickson Chapman and Hall fué adquirida por Kluwer Academic Publishers en 1998	1996
Integrated Solid State Devices and Circuits Syllabus Prentice Hall	1999

LISTA DE TABLAS

CAPITULO 2

		Página
Tabla 2.1.10	Dispositivos de Potencia	12
Tabla 2.1.18	Aplicaciones de dispositivos de potencia	15
Tabla 2.4.11	Características	43
Tabla 2.4.12	Rangos	43
Tabla 2.4.64	Comparación uno	52
Tabla 2.4.65	Comparación dos	52

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO 2

		Página
Figura 2.1.1	Historia de la electrónica de Potencia	10
Figura 2.1.2	Tipo de SCR	10
Figura 2.1.3	Tipo de SCR de Potencia	10
Figura 2.1.4	Otros Tipos	11
Figura 2.1.5	Dimensiones 1	11
Figura 2.1.6	Dimensiones 2	11
Figura 2.1.7	Dimensiones 3	11
Figura 2.1.8	Dimensiones 4	11
Figura 2.1.9	Dimensiones 5	11
Figura 2.1.11	Transistor	12
Figura 2.1.12	Dispositivos SITH, GTO, MCT, Disparo de Compuerta	12
Figura 2.1.13	TRIAC	13
Figura 2.1.14	LASCR	13
Figura 2.1.15	NPN BJT	13
Figura 2.1.16	Tiristor , LASCR	13
Figura 2.1.17	Clasificación de elementos de potencia	14
Figura 2.1.19	Aplicación 1	16
Figura 2.1.20	Aplicación 2	16
Figura 2.1.21	Aplicación 3	16
Figura 2.1.22	Aplicación 4	16
Figura 2.1.23	Forma onda	17

Página

Figura 2.1.24	Aplicación 5	17
Figura 2.1.25	Diagrama a bloques para el convertidor de potencia	18
Figura 2.2.1	Símbolo diodo	19
Figura 2.2.2	Característica v - i del diodo	19
Figura 2.2.3	Polarización directa de un diodo	20
Figura 2.2.4	Diodos de potencia	20
Figura 2.2.5	Forma de onda típica de switcheo del diodo	20
Figura 2.2.6	Tipos de diodos de potencia Diodo schottky	20
Figura 2.2.7	Características de algunos diodos rectificadores	20
Figura 2.2.8	Inspección a los dispositivos semiconductores de potencia	20
Figura 2.2.9	Tipo recuperación	21
Figura 2.2.10	Protección 1	21
Figura 2.2.11	Protección 2	21
Figura 2.2.12	Forma onda a)	21
Figura 2.2.13	Forma onda b)	21
Figura 2.2.14	Diodo serie	24
Figura 2.2.15	Diodos serie, con R	24
Figura 2.2.16	Característica de diodos en serie	25
Figura 2.2.17	Diodos en serie con distribución de voltaje	26
Figura 2.2.18	Diodos en paralelo	26
Figura 2.3.1	Diodo con carga RL	27
Figura 2.3.2	Curva típica RL	27
Figura 2.3.3	Diodo con carga RC	27
Figura 2.3.4	Curva típica RC	27
Figura 2.3.5	Descarga de RC	28
Figura 2.3.6	Curva de 2.3.5	28
Figura 2.3.7	Diodo con carga LC	28
Figura 2.3.8	Curva típica LC	28
Figura 2.3.9	Diodo con RLC	28

Página

Figura 2.3.10	Problema ejemplo 1	30
Figura 2.3.11	Problema ejemplo 1	31
Figura 2.3.12	Problema ejemplo 1	31
Figura 2.3.13	Problema ejemplo 1	32
Figura 2.3.14	Problema ejemplo 1	32
Figura 2.3.15	circuito con diodo marcha libre	33
Figura 2.3.16	Curvas de 2.3.15	33
Figura 2.3.17	Problema ejemplo 2	33
Figura 2.3.18	Curvas típicas	33
Figura 2.3.19	Circuito con CA	34
Figura 2.3.20	Curvas de 2.3.19	34
Figura 2.3.21	Circuito de CA y R	34
Figura 2.3.22	Curvas	34
Figura 2.3.23	Curvas de corriente	34
Figura 2.3.24	Rectificado onda completa	36
Figura 2.3.25	Rectificado multifase	37
Figura 2.3.26	Filtro CD	38
Figura 2.3.27	Filtro CA	39
Figura 2.3.28	Circuito trifásico	39
Figura 2.3.29	Curva	39
Figura 2.3.30	Rectificador puente trifásico	40
Figura 2.4.1	G-K	41
Figura 2.4.2	A-K	41
Figura 2.4.3	Símbolo tiristores	42
Figura 2.4.4	Elemento	42
Figura 2.4.5	A-K V-I	42
Figura 2.4.6	A-K V-T	42
Figura 2.4.7	Activado SCR	42

Página

Figura 2.4.8 Curvas activado 42

Figura 2.4.9 Activado GTO 42

Figura 2.4.10 Curvas activado 42

Figura 2.4.13 I_{GT} activado 43

Figura 2.4.14 I_H Sostenimiento 43

Figura 2.4.15 I_L Enclavamiento 44

Figura 2.4.16 V_{GT} Activado 44

Figura 2.4.17 Foto SCR 44

Figura 2.4.18 Foto Triac 44

Figura 2.4.19 Circuito R 44

Figura 2.4.20 Circuito RC 44

Figura 2.4.21 Circuito RL 44

Figura 2.4.22 Circuito RLC 44

Figura 2.4.23 Típicos 45

Figura 2.4.24 Pulso corto de un SCR 45

Figura 2.4.25 Pulso largo de un SCR 45

Figura 2.4.26 Generador de tren de pulsos de un SCR 45

Figura 2.4.27 Tren de pulsos con mecanismo de tiempo y lógica AND 45

Figura 2.4.28 Activación y V-I 46

Figura 2.4.29 Activación D1 y D2 46

Figura 2.4.30 SCR en serie 46

Figura 2.4.31 SCR en paralelo 46

Figura 2.4.32 Curvas recuperación 46

Figura 2.4.33 SCR en Paralelo con protección 46

Figura 2.4.34 Protección C 47

Figura 2.4.35 Protección RC 47

Figura 2.4.36 Protección D_s RC 47

Página

Figura 2.4.37 Protección D_s RCL 47

Figura 2.4.38 Curvas de protección 47

Figura 2.4.39 Curvas de protección 47

Figura 2.4.40 Tiristores SCR 48

Figura 2.4.41 Porque los convencionales SCR no pueden ser apagados 48

Figura 2.4.42 El tirístor operado por compuerta GTO 48

Figura 2.4.43 Los tiristores controlados MCT 48

Figura 2.4.44 Símbolo MCT 48

Figura 2.4.45 Esquemático MCT 48

Figura 2.4.46 Resumen de tiristores 49

Figura 2.4.47 El circuito equivalente de MCT 49

Figura 2.4.48 Activación GTO 49

Figura 2.4.49 Curva de GTO 49

Figura 2.4.50 Típico de activación 50

Figura 2.4.51 Símbolo UJT 50

Figura 2.4.52 Circuito UJT 50

Figura 2.4.53 Aplicación UJT 50

Figura 2.4.54 Curva típica UJT 50

Figura 2.4.55 Curva típica 50

Figura 2.4.56 Símbolo PUT 50

Figura 2.4.57 Circuito equivalente 50

Figura 2.4.58 Circuito para pruebas 51

Figura 2.4.59 Circuito para pruebas 2 51

Figura 2.4.60 Oscilador PUT 51

Figura 2.4.61 Aplicación 51

Figura 2.4.62 Curva 51

Figura 2.4.63 Configuración con carga 51

Figura 2.5.1 Convertidor 53

Página

Figura 2.5.2	Grafica un cuadrante	53
Figura 2.5.3	Convertidor de un cuadrante	54
Figura 2.5.4	Convertidor de dos cuadrante	54
Figura 2.5.5	Curvas típicas	54
Figura 2.5.6	Convertidor de dos cuadrante	54
Figura 2.5.7	Curvas	54
Figura 2.5.8	Grafica dos cuadrante	54
Figura 2.5.9	Convertidor cuatro cuadrantes	55
Figura 2.5.10	Grafica cuatro cuadrantes	55
Figura 2.5.11	Curvas 4 cuadrantes	55
Figura 2.5.12	Serie un cuadrantes	55
Figura 2.5.13	Serie 2 cuadrantes	55
Figura 2.5.14	Trifásico ½ onda un cuadrante	55
Figura 2.5.15	Trifásico onda completa un cuadrante	55
Figura 2.5.16	Curvas trifásico 2 cuadrantes	56
Figura 2.5.17	Curvas trifásico un cuadrante	56
Figura 2.5.18	Convertidor Dual trifásico	56
Figura 2.5.19	Curvas dual	56
Figura 2.5.20	Monofásico un cuadrante	57
Figura 2.5.21	Curvas un cuadrante	57
Figura 2.5.22	Monofásico Dos cuadrantes	58
Figura 2.5.23	Curvas dos cuadrantes	58
Figura 2.5.24	Mejoras al FP	58
Figura 2.5.25	Mejoras al FP 2	58
Figura 2.5.26	Control senoidal	59
Figura 2.6.1	El **MOSFET**	60
Figura 2.6.2	No activado	60
Figura 2.6.3	Activado	60

Página

Figura 2.6.4	Mosfet con diodo	60
Figura 2.6.5	Curvas características	60
Figura 2.6.6	Equivalente	60
Figura 2.6.7	Listado	61
Figura 2.6.8	Conclusiones	61
Figura 2.6.9	BJT	61
Figura 2.6.10	Curvas I y V	61
Figura 2.6.11	Formas de onda	61
Figura 2.6.12	Análisis	61
Figura 2.6.13	Curvas características	61
Figura 2.6.14	V quiebre	61
Figura 2.6.15	BJT darlington	62
Figura 2.6.16	Conclusiones	62
Figura 2.6.17	El IGBT	62
Figura 2.6.18	Símbolo	62
Figura 2.6.19	Curva I	62
Figura 2.6.20	Listado	62
Figura 2.6.21	Conclusiones	62
Figura 2.6.22	Switch	63
Figura 2.6.23	Pulsador	63
Figura 2.6.24	Un cuadrante	63
Figura 2.6.25	Comentarios	63
Figura 2.6.26	Gráficos típicos	63
Figura 2.6.27	BJT e IGBT	63
Figura 2.6.28	I +- dos cuadrantes	64
Figura 2.6.29	MOSFET	64
Figura 2.6.30	Símbolo	64
Figura 2.6.31	Circuito	64

Página

Figura 2.6.32 Switch dos cuadrantes 64
Figura 2.6.33 Grafica dos cuadrantes 64
Figura 2.6.34 Switch de 4 cuadrantes 64
Figura 2.6.35 Configuraciones 64
Figura 2.6.36 Tipos de rectificador 65
Figura 2.6.37 Circuito 65

CAPITULO 3

Página

Figura 3.1.1 Interruptor CD 66
Figura 3.1.2 Interruptor con carga R 66
Figura 3.1.3 Interruptor con GTO 66
Figura 3.1.4 Interruptor opto aislado 66
Figura 3.1.5 Aislamiento con relevador de lengüeta 66
Figura 3.1.6 Aislamiento con relevador de compuerta 66
Figura 3.1.7 Aislamiento por transformador 67
Figura 3.1.8 Aislamiento por acoplamiento óptico 67
Figura 3.2.1 Control de velocidad 67
Figura 3.2.2 Control de velocidad 4 cuadrantes 67
Figura 3.2.3 Tipo de conexión motor de CD 67
Figura 3.2.4 Control por diodos o SCR 68
Figura 3.2.5 Grafica de operación 68
Figura 3.3.1 Convertidor Fly-back 68
Figura 3.3.2 Fly-back con bobina 68
Figura 3.3.3 Convertidor Push-pull 69

Página

Figura 3.3.4	Convertidor medio puente	69
Figura 3.3.5	Convertidor puente completo	69
Figura 3.3.6	Convertidor medio puente	69
Figura 3.3.7	Inversor puente completo	69
Figura 3.4.1	Circuito de motor	70
Figura 3.4.2	Curva	70
Figura 3.4.3	Controlador de motor de CA	70
Figura 3.4.4	Curva	70
Figura 3.4.5	Curva de frecuencia	70
Figura 3.4.6	Controlador de motor de CA	70
Figura 3.4.7	Curva par	70
Figura P2.3.1	Figura de Problema	101
Figura P2.3.2	Figura de Problema	102
Figura P2.3.3	Figura de Problema	103
Figura P2.3.4	Figura de Problema	104
Figura P2.3.6	Figura de Problema	105
Figura P2.3.6b	Figura de Problema	106
Figura P2.3.6c	Figura de Problema	106
Figura P2.3.6d	Figura de Problema	107
Figura P2.3.6e	Figura de Problema	107
Figura P2.3.7	Figura de Problema	108
Figura P2.3.8	Figura de Problema	109
Figura P2.3.15	Figura de Problema	113
Figura P2.3.17	Figura de Problema	115
Figura P2.3.19	Figura de Problema	117
Figura P2.3.20	Figura de Problema	119
Figura P2.3.21	Figura de Problema	120
Figura P2.3.23	Figura de Problema	122
Figura P2.3.24	Figura de Problema	123
Figura P2.3.25	Figura de Problema	124

		Página
Figura P2.3.26	Figura de Problema	125
Figura P2.3.27	Figura de Problema	126
Figura P2.3.27a	Figura de Problema	126
Figura P2.3.28	Figura de Problema	127
Figura P2.3.29	Figura de Problema	128
Figura P2.3.30	Figura de Problema	129
Figura P2.3.31	Figura de Problema	130
Figura P2.3.32	Figura de Problema	131
Figura P2.3.33	Figura de Problema	132
Figura P2.3.34	Figura de Problema	132
Figura P2.3.35	Figura de Problema	134
Figura P2.4.3	Figura de Problema	136
Figura P2.4.4	Figura de Problema	137
Figura P2.4.6	Figura de Problema	139
Figura P2.4.9	Figura de Problema	142
Figura P2.4.10	Figura de Problema	143
Figura P2.4.11	Figura de Problema	144
Figura P2.4.12	Figura de Problema	145
Figura P2.4.13	Figura de Problema	146
Figura P2.4.14	Figura de Problema	147

RESUMEN AUTOBIOGRAFICO

Nombre:	Antonio Rodríguez García
Nombre de los padres:	Juan Rodríguez Cazares Socorro García López
Lugar y fecha de nacimiento:	Monterrey, N.L. 16 de Julio de 1954
Grado de escolaridad:	Ing. en Control e Instrumentación Universidad Mexicana del Noreste
Campo profesional: **De 1990 - Actual**	Catedrático de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, impartiendo clases de: Electrónica Industrial, Electrónica de Potencia e Instrumentación Digital. Laboratorios de: E. Industrial, E de Potencia, Instrumentación Analógica e Instrumentación Digital.
De 1982 - Actual	Catedrático en el Instituto Tecnológico de Nuevo León impartiendo clases de Instrumentación Analógica, Instrumentación Digital e Instrumentación Analítica así como sus respectivos laboratorios.
De 1988 a 1988	Ingeniería de ventas, Honeywell S.A.
De 1981 a 1986	Ingeniería de Ventas, en Foxboro S.A.
De 1980 a 1980	Ingeniería de Ventas, en Schultz del Norte
De 1977 a 1979	Instrumentista, en Fundidora Monterrey, S.A.
De 1972 a 1977	Instrumentista, Industrias del Alcali S.A.
Grado que deseo obtener:	**Maestro en ciencias de la Ingeniería Eléctrica con especialidad en Control.**
Nombre de la tesis:	**Diseño de material didáctico para Electrónica Industrial y de Potencia**