

## Electrónica de Potencia



### **UNIDAD N° 0. INTRODUCCIÓN A LA ASIGNATURA**

UNIDAD N° 1. REPASO DE CONCEPTOS Y DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES DE POTENCIA

UNIDAD N° 2. AMPLIFICADORES DE POTENCIA

UNIDAD N° 3. DISPOSITIVOS DE CUATRO CAPAS

UNIDAD N° 4. CONVERTIDORES

### **Tema 0.- Introducción a la Electrónica de Potencia**

Introducción. Concepto de electrónica de potencia. Evolución tecnológica y dispositivos. Convertidores. Ejemplos de aplicación

Prof. J.D. Aguilar Peña  
Departamento de Electrónica. Universidad Jaén  
[jagular@ujaen.es](mailto:jagular@ujaen.es)  
<http://voltio.ujaen.es/jagular>



0.1 Introducción	1
0.2 Electrónica de potencia	1
0.3 Campos de aplicación	2
0.4 Procedimientos de conversión	3
0.5 Requisitos del dispositivo electrónico de potencia	4
0.6 Componentes de base en la electrónica de potencia	4
0.6.1.- Comparación de semiconductores con capacidad de corte	6
0.7 Evolución tecnológica de los dispositivos semiconductores	6
0.8 Clasificación de los convertidores de potencia	8
0.8.1 Según el modo de conmutación	8
0.8.2 Según el tipo de conversión	9
0.8.3 Según el tipo de energía	12



## 0.1 Introducción

La Electrónica de Potencia es la parte de la electrónica que estudia los dispositivos y los circuitos electrónicos utilizados para modificar las características de la energía eléctrica, principalmente su tensión y frecuencia.

Esta rama de la electrónica no es reciente, aunque se puede decir que su desarrollo más espectacular se produjo a partir de la aparición de los elementos semiconductores, y más concretamente a partir de 1957, cuando Siemens comenzó a utilizar diodos semiconductores en sus rectificadores.

La Electrónica de Potencia se ha introducido de lleno en la industria en aplicaciones tales como las fuentes de alimentación, cargadores de baterías, control de temperatura, variadores de velocidad de motores, etc. Es la Electrónica Industrial quien estudia la adaptación de sistemas electrónicos de potencia a procesos industriales. Siendo un sistema electrónico de potencia aquel circuito electrónico que se encarga de controlar un proceso industrial, donde interviene un transvase y procesamiento de energía eléctrica entre la entrada y la carga, estando formado por varios convertidores, transductores y sistemas de control, los cuales siguen hoy en día evolucionando y creciendo constantemente.

El campo de la Electrónica de Potencia puede dividirse en grandes disciplinas o bloques temáticos:

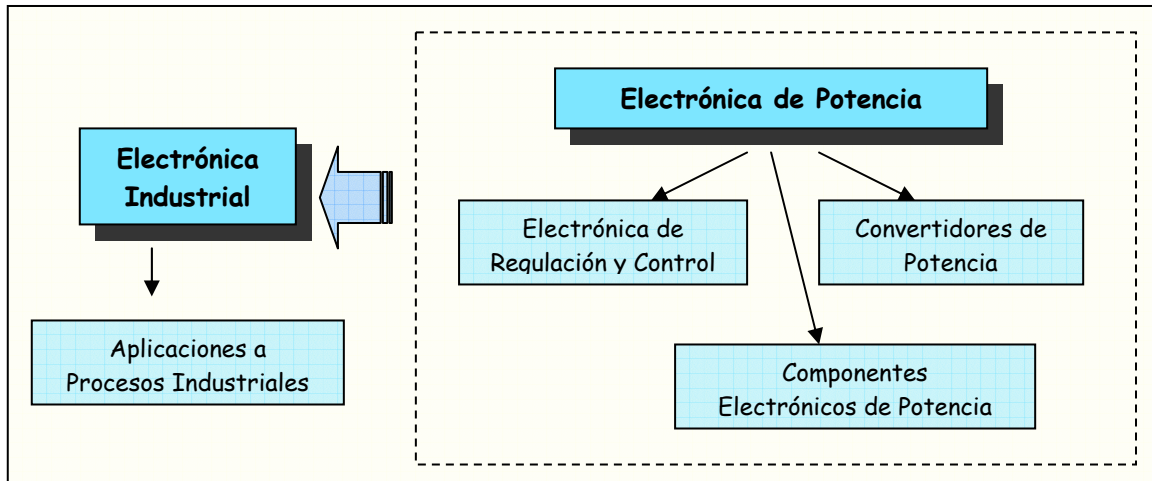


Fig 0.1 Bloques temáticos que comprende la Electrónica de Potencia

El elemento que marca un antes y un después en la Electrónica de Potencia es sin duda el Tiristor (SCR, *Semiconductor Controlled Rectifier*), cuyo funcionamiento se puede asemejar a lo que sería un diodo controlable por puerta. A partir de aquí, la familia de los semiconductores crece rápidamente: Transistores Bipolar (BJT, *Bipolar Junction Transistor*); MOSFET de potencia; Tiristor bloqueable por puerta (GTO, *Gate turn-off Thyristor*); IGBT, *Insulate Gate Bipolar Transistor*; etc., gracias a los cuales, las aplicaciones de la electrónica de potencia se han multiplicado.

Una nueva dimensión de la electrónica de potencia aparece cuando el control de los elementos de potencia se realiza mediante la ayuda de sistemas digitales (microprocesadores, microcontroladores, etc). Esta combinación derivó en una nueva tecnología, que integra en un mismo dispositivo, elementos de control y elementos de potencia. Esta tecnología es conocida como Smart - Power y su aplicación en industria, automovilismo, telecomunicaciones, etc. tiene como principal límite la disipación de elevadas potencias en superficies semiconductoras cada vez más pequeñas.

## 0.2 Electrónica de potencia

El término “Electrónica de Potencia” cubre una amplia serie de circuitos electrónicos en los cuales el objetivo es controlar la transferencia de energía eléctrica. Se trata por tanto de una disciplina

## TEMA 0: INTRODUCCIÓN A LA ELECTRÓNICA DE POTENCIA

comprendida entre la Electrotécnica y la Electrónica. Su estudio se realiza desde dos puntos de vista: el de los componentes y el de las estructuras.

En el proceso de conversión de la naturaleza de la energía eléctrica, toma vital importancia el rendimiento del mismo. La energía transferida tiene un valor elevado y el proceso debe realizarse de forma eficaz, para evitar que se produzcan grandes pérdidas. Dado que se ponen en juego tensiones e intensidades elevadas, si se trabaja en la zona lineal de los semiconductores, las pérdidas de potencia pueden llegar a ser excesivamente elevadas, sobrepasando en la inmensa mayoría de los casos las características físicas de los mismos, provocando considerables pérdidas económicas y materiales. Parece claro que se debe trabajar en conmutación.

### 0.3 Campos de aplicación

En general los sistemas de potencia se utilizan para accionar cualquier dispositivo que necesite una entrada de energía eléctrica distinta a la que suministra la fuente de alimentación primaria. Podemos encontrar aplicaciones de baja potencia, media y alta, con un amplio margen, desde algunos cientos de vatios hasta miles de kilovatios.



[0\_1]

Veamos a continuación algunas de las aplicaciones industriales de cada uno de los convertidores:

#### Rectificadores:

- Alimentación de todo tipo de sistemas electrónicos, donde se necesite energía eléctrica en forma de corriente continua.
- Control de motores de continua utilizados en procesos industriales: Máquinas herramienta, carretillas elevadoras y transportadoras, trenes de laminación y papeleras.
- Transporte de energía eléctrica en c.c. y alta tensión.
- Procesos electroquímicos.
- Cargadores de baterías.

#### Reguladores de alterna:

- Calentamiento por inducción.
- Control de iluminación.
- Control de velocidad de motores de inducción.
- Equipos para procesos de electrodeposición.

#### Cambiadores de frecuencia:

- Enlace entre dos sistemas energéticos de corriente alterna no sincronizados.
- Alimentación de aeronaves o grupos electrógenos móviles.

#### Inversores:

- Accionadores de motores de corriente alterna en todo tipo de aplicaciones industriales.
- Convertidores corriente continua en alterna para fuentes no convencionales, tales como la fotovoltaica o eólica
- Calentamiento por inducción.
- SAI

#### Troceadores:

- Alimentación y control de motores de continua.
- Alimentación de equipos electrónicos a partir de baterías o fuentes autónomas de corriente continua.

## 0.4 Procedimientos de conversión

En general, cualquier conversión de energía eléctrica se puede realizar por *procedimientos electromecánicos* o por *procedimientos electrónicos*.

La mayor *flexibilidad y controlabilidad* de los dispositivos electrónicos, hace que se apliquen para resolver procesos cada vez más complejos. Un equipo electrónico de potencia consta fundamentalmente de dos partes, tal como se simboliza en la siguiente figura:

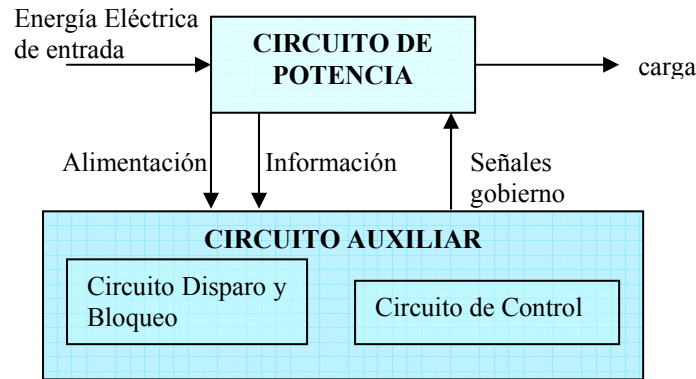


Fig 0.2 Diagrama de bloques de un sistema de potencia

1. **Un circuito de Potencia**, compuesto de semiconductores de potencia y elementos pasivos, que liga la fuente primaria de alimentación con la carga.
2. **Un circuito de mando**, que elabora la información proporcionada por el circuito de potencia y genera unas señales de excitación que determinan la conducción de los semiconductores controlados con una fase y secuencia conveniente.

### Diferencia entre la electrónica de señal y electrónica de potencia:

En la *electrónica de señal* se varía la caída de tensión que un componente activo crea en un circuito habitualmente alimentado en continua. Esta variación permite, a partir de una información de entrada, obtener otra de salida modificada o amplificada. Lo que interesa es la relación entre las señales de entrada y salida, examinando posteriormente la potencia suministrada por la fuente auxiliar que requiere para su funcionamiento. La función de base es la **amplificación** y la principal característica es la **ganancia**.



Fig 0.3 Característica fundamental de un sistema electrónico de Señal

En la *electrónica de potencia* el concepto principal es la conversión de energía y el rendimiento. Partimos de una señal de gran potencia, que es tratada en un sistema cuyo control corre a cargo de una señal llamada de control o cebado, obteniendo a la salida del sistema una señal cuya potencia ha sido modificada convenientemente.



Fig 0.4 Característica fundamental de un sistema electrónico de Potencia

## 0.5 Requisitos del dispositivo electrónico de potencia

Un dispositivo básico de potencia debe cumplir los siguientes requisitos:

- Tener dos estados bien diferenciados, uno de alta impedancia (idealmente infinita), que caracteriza el estado de bloqueo y otro de baja impedancia (idealmente cero) que caracteriza el estado de conducción.
- Capacidad de soportar grandes intensidades con pequeñas caídas de tensión en estado de conducción y grandes tensiones con pequeñas corrientes de fugas cuando se encuentra en estado de alta impedancia o de bloqueo.
- Controlabilidad de paso de un estado a otro con relativa facilidad y poca disipación de potencia.
- Rapidez de funcionamiento para pasar de un estado a otro y capacidad para poder trabajar a frecuencias considerables.

De los dispositivos electrónicos que cumplen los requisitos anteriores, los más importantes son el Transistor de Potencia y el Tiristor. Estos dispositivos tienen dos electrodos principales y un tercer electrodo de control. Muchos circuitos de potencia pueden ser diseñados con transistores, siendo intercambiables entre sí en lo que se refiere al circuito de potencia exclusivamente y siendo diferentes los circuitos de control según se empleen Transistores o Tiristores.

## 0.6 Componentes de base en la electrónica de potencia.

Los componentes semiconductores de potencia que vamos a caracterizar se pueden clasificar en tres grupos de acuerdo a su grado de controlabilidad:

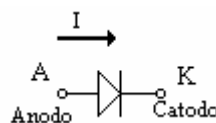
Diodos: Estado de ON y OFF controlables por el circuito de potencia.

Tiristores: Fijados a ON por una señal de control pero deben conmutar a OFF mediante el circuito de potencia.

Conmutadores Controlables: Conmutados a ON y a OFF mediante señales de control.(BJT, MOSFET, GTO, IGBT's).

### ▪ Diodo:

Es el elemento semiconductor formado por una sola unión PN. Su símbolo se muestra a continuación:

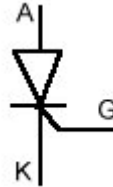


Son dispositivos unidireccionales, no pudiendo circular corriente en sentido contrario al de conducción. El único procedimiento de control consiste en invertir la tensión ánodo cátodo, no disponiendo de ningún terminal de control.

▪ **Tiristores.**

Dentro de la denominación general de tiristores se consideran todos aquellos componentes semiconductores con dos estados estables cuyo funcionamiento se basa en la realimentación regenerativa de una estructura PNPN. Existen varios tipos, de los cuales el más empleado es el *rectificador controlado de silicio* (SCR), aplicándole el nombre genérico de tiristor.

Dispone de dos terminales principales, *ánodo* y *cátodo*, y uno auxiliar de disparo o *puerta*. En la figura siguiente se muestra el símbolo.

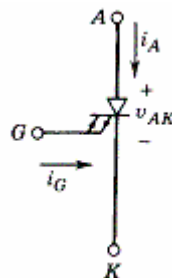


La corriente principal circula del ánodo al cátodo. En su estado de OFF, puede bloquear una tensión directa y no conducir corriente. Así, si no hay señal aplicada a la puerta, permanecerá en bloqueo independientemente del signo de la tensión  $V_{AK}$ . El tiristor debe ser disparado a ON aplicando un pulso de corriente positiva en el terminal de puerta, durante un pequeño instante. La caída de tensión directa en el estado de ON es de pocos voltios (1-3V).

Una vez empieza a conducir, es fijado al estado de ON, aunque la corriente de puerta desaparezca, no pudiendo ser cortado por pulso de puerta. Solo cuando la corriente del ánodo tiende a ser negativa, o inferior a un valor umbral, por la influencia del circuito de potencia, se cortará el tiristor.

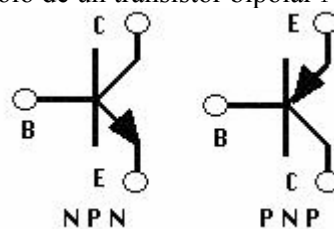
▪ **Gate-Turn-Off Thyristors (GTOs):**

Funcionamiento muy similar al SCR pero incorporando la capacidad de bloquearse de forma controlada mediante una señal de corriente negativa por puerta. Mayor rapidez frente a los SCR, soportando tensiones y corrientes cercanas a las soportadas por los SCR. Su principal inconveniente es su baja ganancia de corriente durante el apagado, lo cual obliga a manejar corrientes elevadas en la puerta, complicando el circuito de disparo. Su símbolo es el siguiente:



▪ **Bipolar Junction Transistor (BJT):**

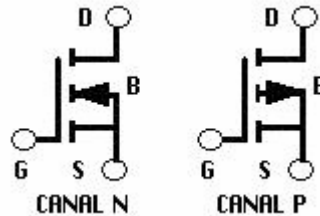
La figura siguiente muestra el símbolo de un transistor bipolar NPN y PNP:



Manejan menores voltajes y corrientes que el SCR, pero son más rápidos. Fáciles de controlar por el terminal de base, aunque el circuito de control consume más energía que el de los SCR. Su principal ventaja es la baja caída de tensión en saturación. Como inconveniente destacaremos su poca ganancia con  $v/i$  grandes, el tiempo de almacenamiento y el fenómeno de avalancha secundaria.

▪ **Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistors (MOSFET):**

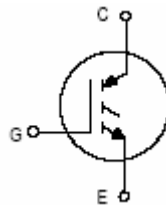
El control del MOSFET se realiza por tensión, teniendo que soportar solamente un pico de corriente para cargar y descargar la capacidad de puerta. Como ventajas destacan su alta impedancia de entrada, velocidad de conmutación, ausencia de ruptura secundaria, buena estabilidad térmica y facilidad de paralelizarlos. En la siguiente figura se muestra el símbolo de un MOSFET de canal N y un MOSFET de canal P.



▪ **Insulated Gate Bipolar Transistors (IGBTs):**

El IGBT combina las ventajas de los MOSFETs y de los BJTs, aprovechando la facilidad del disparo del MOSFET al controlarlo por tensión y el tipo de conducción del bipolar, con capacidad de conducir elevadas corrientes con poca caída de tensión.

Su símbolo es el siguiente:



El IGBT tiene una alta impedancia de entrada, como el Mosfet, y bajas pérdidas de conducción en estado activo como el Bipolar. Pero no presenta ningún problema de ruptura secundaria como los BJT.

El IGBT es inherentemente más rápido que el BJT. Sin embargo, la velocidad de conmutación del IGBT es inferior a la de los MOSFETs.

**0.6.1.- COMPARACIÓN DE SEMICONDUCTORES CON CAPACIDAD DE CORTE.**

Elemento	Potencia	Rapidez de conmutación
MOSFET	Baja	Alta
BIPOLAR	Media	Media
IGBT	Media	Media
GTO	Alta	Baja

**0.7 Evolución tecnológica de los dispositivos semiconductores.**

Durante los años setenta, los Tiristores (SCRs), los Tiristores Bloqueables por Puerta (GTOs); y los Transistores Bipolares (BJTs) constituían los dispositivos de potencia primordiales, mientras que los Transistores MOSFETs eran todavía demasiado recientes para participar en las aplicaciones de potencia. Los SCRs y los BJTs de aquella época podían conmutar a frecuencias entre 1 y 2KHz .



## TEMA 0: INTRODUCCIÓN A LA ELECTRÓNICA DE POTENCIA

Durante los **años ochenta** se consiguieron bastantes avances, tales como reducción de la resistencia en conmutación de los transistores MOSFETs, aumento de la tensión y la corriente permitida en los GTOs, desarrollo de los dispositivos híbridos MOS-BIPOLAR tales como los IGBTs, así como el incremento de las prestaciones de los circuitos integrados de potencia y sus aplicaciones.

Se imponen los dispositivos MOSFETs, ya que poseen una mayor velocidad de conmutación, un área de operación segura más grande y un funcionamiento más sencillo, en aplicaciones de reguladores de alta frecuencia y precisión para el control de motores.

Los GTOs son empleados con asiduidad en convertidores para alta potencia, debido a las mejoras en los procesos de diseño y fabricación que reducen su tamaño y mejoran su eficiencia. Aparecen los IGBTs, elementos formados por dispositivos Bipolares y dispositivos MOS, estos dispositivos se ajustan mucho mejor a los altos voltajes y a las grandes corrientes que los MOSFETs y son capaces de conmutar a velocidades más altas que los BJT.

Los IGBTs pueden operar por encima de la banda de frecuencia audible, lo cual, facilita la reducción de ruidos y ofrece mejoras en el control de convertidores de potencia. Mediados los años ochenta aparecen los dispositivos MCT que están constituidos por la unión de SCRs y MOSFETs.

En la **década de los noventa** los SCRs van quedando relegados a un segundo plano, siendo sustituidos por los GTOs. Se incrementa la frecuencia de conmutación en dispositivos MOSFETs e IGBTs, mientras que los BJT son gradualmente reemplazados por los dispositivos de potencia anteriores. Los C.I. (circuitos integrados) de potencia tienen una gran influencia en varias áreas de la electrónica de potencia.

Para concluir, decir que tecnológicamente se tiende a fabricar dispositivos con mayores velocidades de conmutación, con capacidad para bloquear elevadas tensiones, permitir el paso de grandes corrientes y por último, que tengan cada vez, un control más sencillo y económico en consumo de potencia.

En la figura 0.5 se pueden observar las limitaciones de los distintos dispositivos semiconductores, en cuanto a potencia controlada y frecuencias de conmutación. Dispositivos que pueden controlar elevadas potencias, como el Tiristor ( $10^4$  KVA) están muy limitados por la frecuencia de conmutación (orden de KHz), en el lado opuesto los MOSFETs pueden conmutar incluso a frecuencias de hasta  $10^3$  KHz pero la potencia apenas alcanza los 10 KVA, en la franja intermedia se encuentran los BJT (300 KVA y 10 KHz), los GTOs permiten una mayor frecuencia de conmutación que el Tiristor, 1 KHz con control de potencias de unos 2000 KVA, por último los IGBTs parecen ser los más ideales para aplicaciones que requieran tanto potencias como frecuencias intermedias.

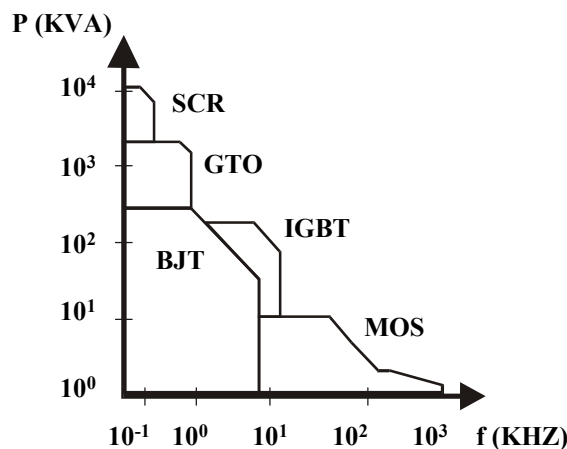


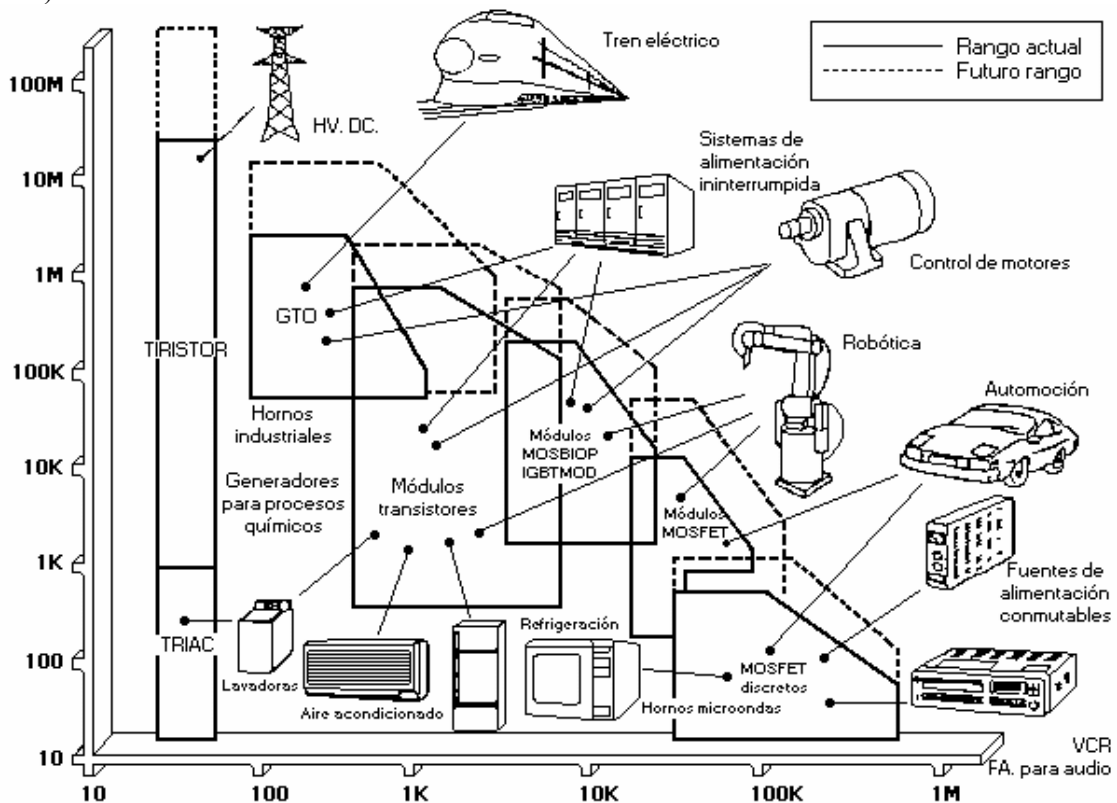
Fig 0.5 Características frecuencia – potencia conseguidas, durante los años 90, para los distintos tipos de semiconductores de potencia.

Todas estas consideraciones justifican la búsqueda de nuevos dispositivos y la incesante evolución desde la aparición de los semiconductores, siempre buscando el estado ideal; poder controlar la

## TEMA 0: INTRODUCCIÓN A LA ELECTRÓNICA DE POTENCIA

máxima cantidad de potencia, pudiendo hacer que los dispositivos conmuten a la mas alta frecuencia con el consiguiente beneficio en rapidez y en eliminación de ruidos pues interesa conmutar a velocidades superiores a la frecuencia audible (20 kHz)

En la figura 0.6 se pueden apreciar algunas de las principales aplicaciones de los distintos semiconductores, a lo largo de su historia, así como las cotas de potencia y frecuencias de conmutación alcanzadas y su previsible evolución futura, Destacar la utilización de SCRs en centrales de alta potencia; los GTOs para trenes eléctricos; Modulos de Transistores, modulos de MOSFETS, IGBTs y GTOs para sistemas de alimentación ininterrumpida, control de motores, robótica (frecuencias y potencias medias, altas); MOSFETs para automoción, fuentes conmutadas, reproductores de video y hornos microondas (bajas potencias y frecuencias medias); y por último módulos de Transistores para electrodomésticos y aire acondicionado (potencias bajas y frecuencias medias).



### 0.8 Clasificación de los convertidores de potencia [Bühler, 1998]

Los equipos de potencia se pueden clasificar:

- Según el modo de conmutación
- Según el tipo de conversión.
- Según el tipo de energía que los alimenta.

#### 0.8.1 SEGÚN EL MODO DE CONMUTACIÓN

Cuado se intentan clasificar los convertidores según el **modo de conmutación**, hay que tener en cuenta la forma en que se provoca el bloqueo del elemento semiconductor es decir el paso de conducción a corte; generalmente éste está provocado por la conmutación de corriente de un elemento rectificador a otro. Se pueden distinguir tres casos: sin conmutación, con conmutación natural y con conmutación forzada.

➤ **Sin conmutación**

Este tipo de convertidores se caracteriza por el hecho de que la corriente por la carga se anula a la misma vez que se anula la corriente por el elemento rectificador. Como ejemplo podemos citar un regulador de corriente interna con dos tiristores.

➤ **Conmutación natural**

El paso de corriente de un elemento rectificador a otro se provoca con la ayuda de tensiones alternas aplicadas al montaje del convertidor estático. Como ejemplo podemos citar un rectificador controlado con SCR.



[0\_2]

➤ **Conmutación forzada**

El paso de corriente de un elemento rectificador a otro, está provocado generalmente por la descarga de un condensador o red LC que forma parte del convertidor. Como ejemplo podemos citar un convertidor dc-dc con tiristor.

**0.8.2 SEGÚN EL TIPO DE CONVERSIÓN**

Los equipos de potencia se pueden clasificar según el tipo de conversión de energía que realizan, independientemente del tipo de conmutación utilizada para su funcionamiento.

**A. Contactor de corriente**

Es un dispositivo estático que permite conectar y desconectar la carga instalada a su salida, con la ayuda de una señal de control de tipo lógico.

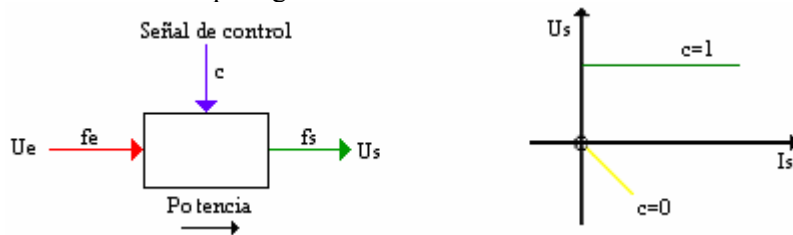


Fig 0.7 Contactor de corriente

Su característica fundamental es que la frecuencia a su salida es igual a la de entrada. La tensión de salida es igual a la de entrada si el contactor de corriente está cerrado ( $c = 1$ ). La corriente de salida depende de la carga. Si el contactor está abierto ( $c = 0$ ), la corriente de salida  $I_s$  es nula. La potencia activa  $P$  se dirige de la entrada hacia la salida. Se dice entonces que el contactor funciona en el primer cuadrante del plano  $I_s - U_s$  con dos estados bien diferenciados. OFF - ON

**B. Variador de corriente**

Su funcionamiento es idéntico al del contactor de corriente, la única diferencia está en que la señal de control es de tipo analógico. Variando esta señal de forma continua, se hace variar la tensión de salida  $U_s$  entre 0 y la tensión de entrada  $U_e$ .

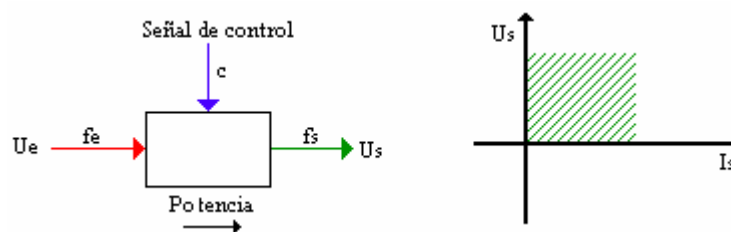


Fig 0.8 Variador de corriente o regulador

En realidad este dispositivo es un contactor de corriente que se desconecta y conecta periódicamente, con lo que se consigue trocear la tensión de entrada. De esta manera, los valores medio y eficaz de la tensión de salida son variables. Este dispositivo se conoce también con el nombre de regulador.

### C. Rectificador

Este dispositivo convierte las tensiones alternas de su entrada en tensiones continuas a su salida. En general, la tensión de salida es constante.

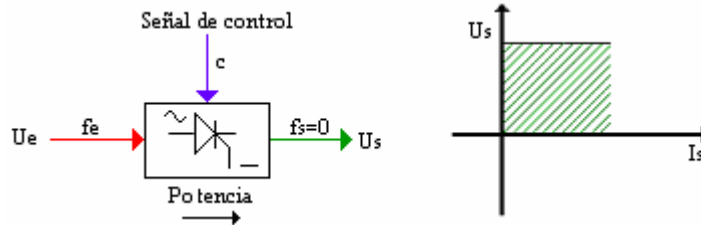


Fig 0.9 Rectificador

Es posible variar la tensión de salida de manera continua mediante una señal de control analógica. En este caso se habla de rectificador controlado. Tanto la tensión como la corriente de salida sólo pueden ser positivas. La potencia activa P se dirige de la entrada a la salida.

### D. Ondulador

Realiza la operación inversa al rectificador, convirtiendo una tensión continua de entrada en una tensión alterna a la salida.

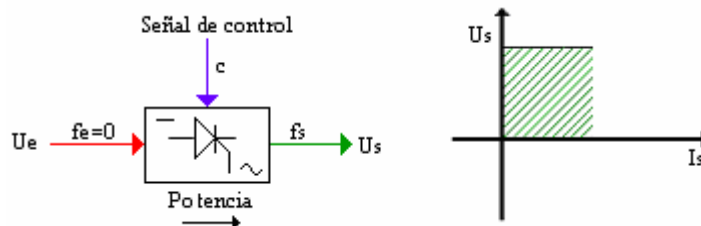


Fig 0.10 Ondulador

La señal analógica de control tiene como misión adaptar el funcionamiento del ondulador en función de una tensión de entrada variable, si la tensión de salida debe mantenerse constante, o para hacer variar la tensión de salida si la tensión de entrada es constante. La potencia activa P se dirige desde la entrada hacia la salida, es decir, del lado continuo al lado alterno del dispositivo.

### E. Convertidor de corriente

Este dispositivo es capaz de funcionar como rectificador controlado o como ondulador. La entrada es alterna, mientras que la salida es continua.

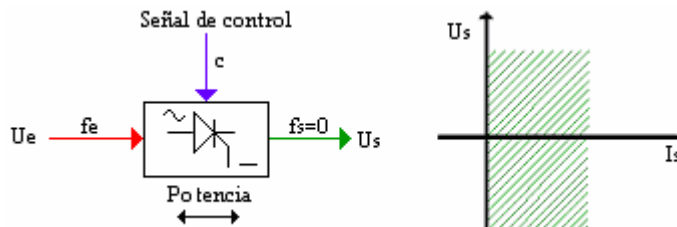


Fig 0.11 Convertidor de corriente

Es importante hacer notar que la corriente sólo puede circular en una dirección dada la presencia de elementos rectificadores que impiden el paso de la misma en sentido contrario. Si la tensión media a la salida del convertidor es negativa la potencia entregada es negativa, indicando en este caso la transferencia de energía desde la carga a la fuente primaria

### F. Convertidor de corriente bidireccional

Está formado por dos convertidores de corriente. La corriente puede circular tanto de la entrada a la salida, como de la salida a la entrada. Su polaridad y su valor, así como el signo de la tensión continua de salida pueden ser variados mediante la señal analógica de control. El convertidor de corriente bidireccional puede funcionar en los cuatro cuadrantes del plano  $I_s - U_s$ , por lo que la potencia activa ( $P$ ), puede ser positiva o negativa.

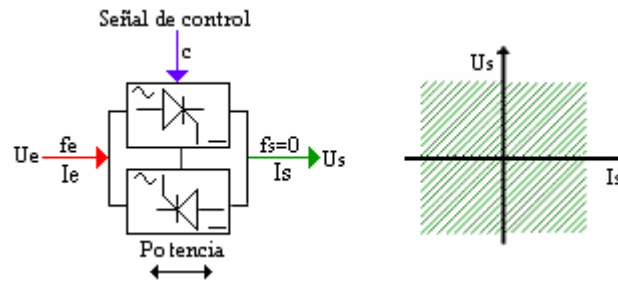


Fig 0.12 Convertidor de corriente bidireccional

### G. Convertidor de frecuencia directo

Su funcionamiento básico consiste en proporcionar una señal alterna de frecuencia distinta a la de la señal alterna de entrada. Está constituido por un convertidor de corriente bidireccional. La potencia activa puede circular de la entrada hacia la salida o viceversa.

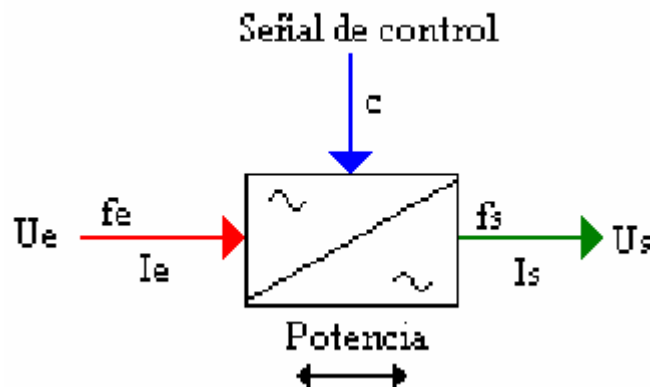


Fig 0.13 Convertidor de frecuencia directo

### H. Convertidor de frecuencia con circuito intermedio

A diferencia del circuito anterior, ahora la conversión de la frecuencia no se realiza de manera directa, sino indirectamente. El dispositivo está formado por un rectificador a la entrada y un ondulador a la salida.

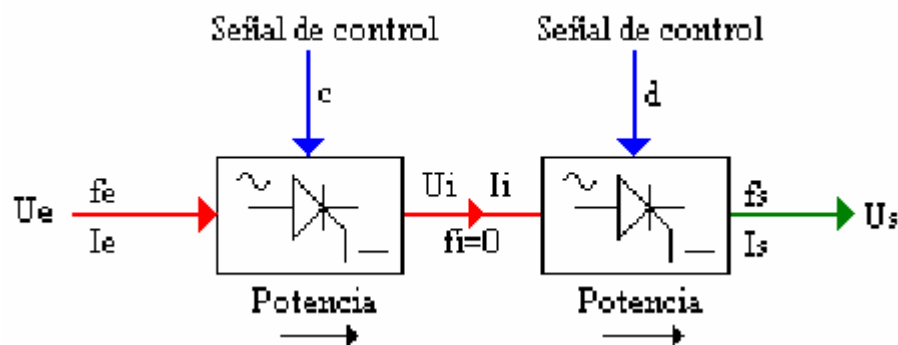


Fig 0.14 Convertidor de frecuencia con circuito intermedio

La tensión alterna de entrada de frecuencia  $f_e$  se rectifica para obtener la tensión continua  $U_i$  del circuito intermedio (con frecuencia  $f_i = 0$ ). Esta tensión se convierte en alterna mediante el uso de un ondulator, y la frecuencia suele ser distinta a la de la entrada. El rectificador y el ondulator estarán controlados de forma adecuada por dos señales analógicas. En el esquema de la figura se puede apreciar que la potencia activa sólo puede ir de la entrada a la salida.

### 0.8.3 SEGÚN EL TIPO DE ENERGÍA

De manera general se puede abordar el estudio de los distintos convertidores en función de los cuatro tipos de conversión posibles.

Desde el punto de vista real, dado que el funcionamiento del sistema encargado de transformar el tipo de “presentación” de la energía eléctrica viene condicionado por el tipo de energía disponible en su entrada, clasificaremos los convertidores estáticos de energía en función del tipo de energía eléctrica que los alimenta, tal y como se muestra en la siguiente figura:

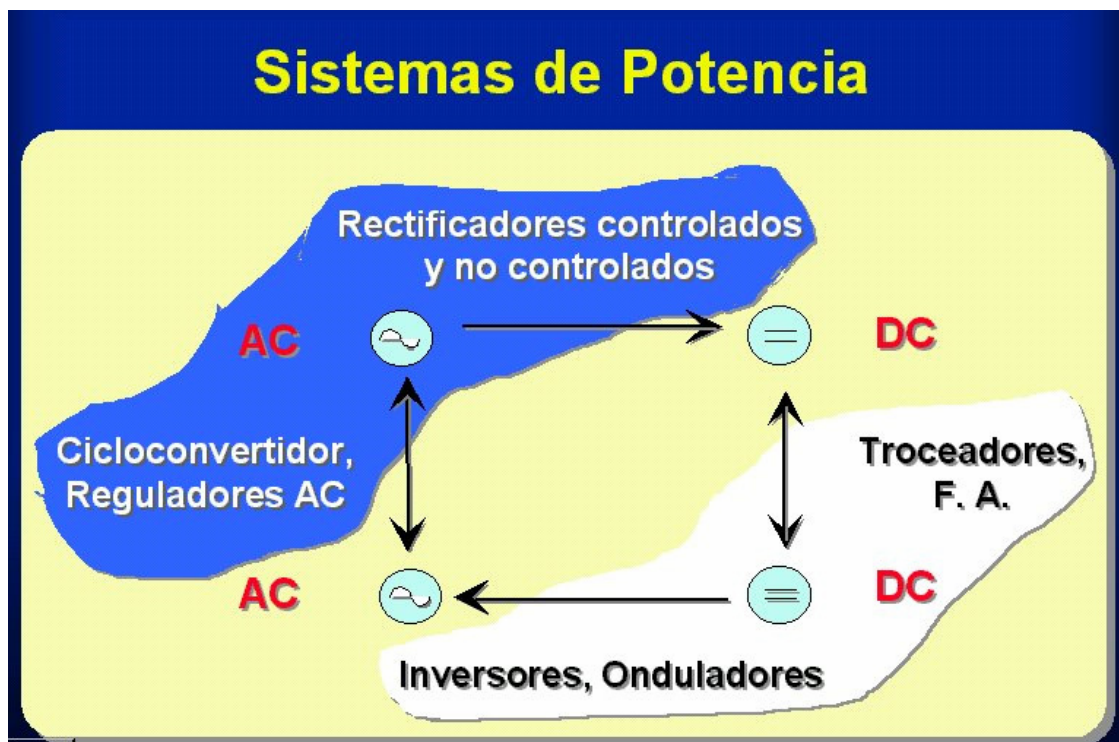


Fig 0. 15 Clasificación de los convertidores estáticos según la energía que los alimenta



## Bibliografía básica para estudio

**HART, Daniel W.** *Electrónica de Potencia*. Ed. Prentice Hall. Madrid 2001. ISBN 84-205-3179-0

**RASHID, M. H.** *Electrónica de Potencia: circuitos, dispositivos y aplicaciones*. Ed. Prentice Hall Hispanoamericana, S.A. México 1995.

## Bibliografía ampliación

**BÜHLER, HANSRUEDI.** *Electrónica industrial: Electrónica de Potencia*. Ed. Gustavo Gili, 1988. ISBN: 84-252-1253-7

**MOHAN, N.; UNDELAND, T. M.; ROBBINS W. P.** *Power electronics: Converters, Applications and design*. 2ª Edición. Ed. John Wiley & Sons, Inc., 1995.

**SÉGUIER, G.** *Electrónica de potencia: los convertidores estáticos de energía. Funciones de base*. Ed. Gustavo Gili. Barcelona, 1987. ISBN: 968-8887-063-3

## Enlaces web interesantes

[www.powerdesigners.com/InfoWeb/resources/links/Power\\_links.shtm](http://www.powerdesigners.com/InfoWeb/resources/links/Power_links.shtm) [Consulta: 5 de julio de 2004]

Sitio web general pspice con mucha información [www.pspice.com](http://www.pspice.com) [Consulta: 5 de julio de 2004]

Interactive Power Electronics Seminar (iPES). <http://www.ipes.ethz.ch> [Consulta: 5 de julio de 2004]

Tutorial de electrónica de potencia de html Venkat Ramaswamy

<http://www.powerdesigner.com> [Consulta: 5 de julio de 2004]

www curso de electrónica de potencia ( Portugués)

<http://www.dee.feis.unesp.br/gradua/elepot/principal.html> [Consulta: 5 de julio de 2004]

Applet Java de Semiconductores <http://jas.eng.buffalo.edu> [Consulta: 5 de julio de 2004]