

Capítulo 1

Sistemas de Electrónica de Potencia

1.1 Introducción

La Electrónica de Potencia (EP) es una de las ramas de la Electrónica que más se ha desarrollado en los últimos tiempos. Esto se puede atribuir, entre otras cosas, a la invención del tiristor en el inicio de la década de los años 60. Las limitaciones de tamaño, fragilidad mecánica y, sobretodo tiempos de desionización muy grandes, no permitieron a las válvulas a gas que se empleaban anteriormente ser competitivas en muchas aplicaciones frente, por ejemplo, a grupos motor-generator.

Con el creciente número y variedades de circuitos y equipos electrónicos en diversas áreas de aplicación, hoy en día la EP es muy importante puesto que es el campo de la ingeniería responsable por la conversión de la forma de energía eléctrica disponible en otra adecuada a la carga a ser alimentada. En otras palabras, la EP es la disciplina que estudia los sistemas de potencia, encargados de realizar la transformación (procesado) de la energía eléctrica en sus distintas formas (corriente continua, corriente alterna).

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 muestra en la figura 1.1:

1. **Un circuito de Potencia**, compuesto de semiconductores de potencia y elementos pasivos, que liga la fuente primaria de alimentación con la carga. En éste circuito no se utilizan resistencias debido a su elevada disipación de potencia en forma de calor.
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.

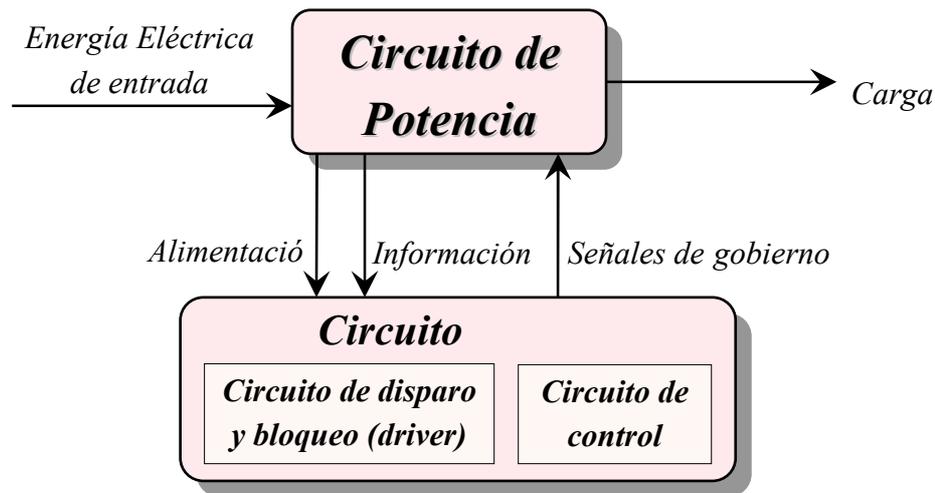


Fig.1. 1 Diagrama de bloques de un Sistema de Potencia

En la EP, el concepto principal es el rendimiento. El elemento de base no puede trabajar en régimen de amplificación pues las pérdidas serían elevadas, es necesario trabajar en régimen de **conmutación**, siendo el componente de base el semiconductor quien trabaja como interruptor. Este componente trabajando en conmutación deberá cumplir con las siguientes características:

- Tener 2 estados claramente definidos, uno de alta impedancia (bloqueo) y otro de baja impedancia (conducción).
- Poder controlar el paso de un estado a otro con facilidad y con pequeña potencia de control.
- Ser capaz de soportar altas tensiones cuando está bloqueado y grandes intensidades, con pequeñas caídas de tensión entre sus extremos, cuando está en conducción.
- Rapidez de funcionamiento para pasar de un estado a otro.

Así podemos definir la EP de la siguiente manera: *Electrónica de Potencia es la parte de la electrónica encargada del estudio de dispositivos, circuitos, sistemas y procedimientos para el procesamiento, control y conversión de la energía eléctrica.*

Podemos decir que se requieren sistemas electrónicos de potencia, por las siguientes razones, entre otras:

- La forma en que se suministra la energía no coincide con la forma en que se desea consumir. Por ejemplo, imagínese la alimentación de un ordenador

personal, en el que sus circuitos necesitan alimentación de tensión continua de 3V, 5V, 12V y -12V, pero se parte de la red monofásica alterna (220V, 50Hz). Evidentemente es necesario disponer de un sistema electrónico que transforme dicha energía para adaptarla a las necesidades del equipo que se está alimentado.

- En determinadas aplicaciones resulta rentable cambiar la forma de la energía, por ejemplo, para transmitirla. Es el caso de la transmisión de energía en corriente continua (CC) trabajando en alta tensión, conocida como transmisión HVDC (High Voltage Direct Current).
- No se puede hacer de otra forma. Supóngase por ejemplo el sistema de alimentación de un satélite. Éste está formado por baterías, las cuales pueden cargarse mediante paneles solares. En este caso es necesario un sistema electrónico que adapte dichas necesidades.
- Se requieren nuevas prestaciones por parte de los consumidores de energía. Por ejemplo, el caso de la conversión de una tensión alterna CA fija que llega a una industria proveniente directamente de una subestación, en una tensión variable en amplitud y frecuencia, necesaria para el control de la velocidad y del accionamiento de motores de una correa transportadora.

Como se puede notar en este último ejemplo, la EP es un área multidisciplinar, ya que para realizar la operación citada se debe tener conocimiento de máquinas (motor CA), control y de electrónica.

Por tanto, cuando se habla en EP, se habla necesariamente de:

- POTENCIA refiriéndose a equipos para operación y distribución de potencia eléctrica.
- ELECTRÓNICA refiriéndose a dispositivos de estado sólido y circuitos para procesamiento de señal para alcanzar los objetivos de control deseados.
- CONTROL refiriéndose a las características estáticas y dinámicas de sistemas de lazo cerrado.

Es la Electrónica Industrial quien estudia la adaptación de sistemas electrónicos de potencia a procesos industriales. Siendo un sistema electrónico de potencia aquel circuito 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, la figura 1.2 muestra los bloques temáticos que comprende la EP y nos muestra su relación con la electrónica Industrial.

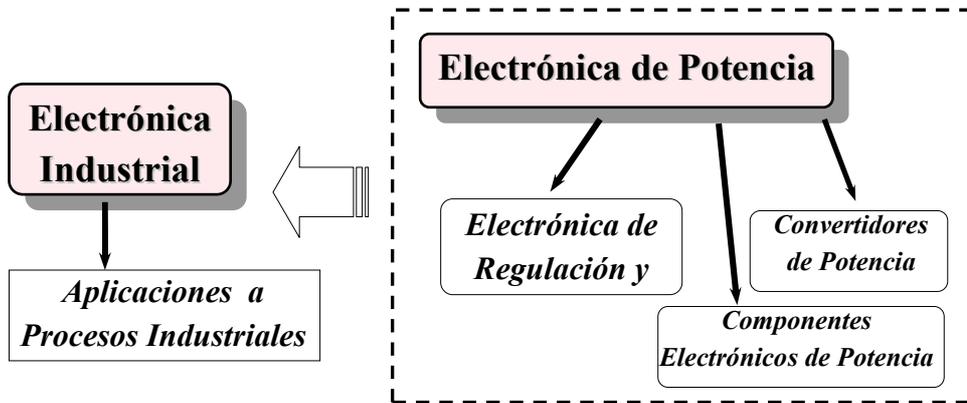


Fig.1. 2 Diagrama de bloques de un Sistema de Potencia

Por tanto, el campo de aplicación de la EP es muy amplio y se refiere principalmente al dominio de la industria moderna, abarcando aplicaciones militares, industriales y residenciales.

1.2 Aplicaciones de la electrónica de potencia

El consumo de la energía, en cifras aproximadas, puede dividirse en tres grandes bloques:

- El 65% está destinado a motores eléctricos (57% de corriente alterna y el resto de corriente continua).
- El 20% está dedicado a sistemas de iluminación.
- El resto es consumido por otros.

Actualmente el 50% de la energía es procesada o consumida por equipos electrónicos. Se prevé que en el futuro, la mayoría de la energía será procesada o consumida por equipos electrónicos.

La faja de potencia que puede abarcar la EP es muy extensa pudiendo ser desde algunos watts a varios megawatts. Las aplicaciones más usuales de la Electrónica de Potencia, entre otras, son:

- *Aplicaciones Industriales:* control y accionamiento de motores CA y CC, electrólisis, alarmas, tratamiento ultra-sonico, sistemas de alimentación,

soldaje, control de iluminación, alimentación de motores para compresores, bombas, ventiladores, inyectores, robótica, hornos de arco y de inducción, alumbrado, láseres industriales, calentamiento por inducción, fundición, etc.

- *Aplicaciones de Transporte:* control de tracción de vehículos eléctricos, cargadores de baterías, locomotoras eléctricas, transporte urbano, metro, electrónica del automóvil.
- *Aplicaciones de Distribución:* transmisión de energía en CC (HVDC), compensación estática de energía reactiva, corrección del factor de potencia, filtros activos, fuentes de energía renovable (aerogeneradores, paneles solares), sistemas de almacenamiento de energía (SMES).
- *Aplicaciones Aeroespaciales:* alimentación de satélites y lanzaderas. Alimentación de aeronaves.
- *Aplicaciones Comerciales:* calefacción, ventilación, aire acondicionado, refrigeración, alimentación de ordenadores y equipos, sistemas de alimentación ininterrumpida.
- *Aplicaciones Domésticas:* electrodomésticos, refrigeradores, congeladores, aire acondicionado, cocinas, iluminación, electrónica de consumo.

1.3 Convertidores estáticos de energía

Los sistemas que procesan la energía suelen denominarse convertidores estáticos de energía o simplemente convertidores de energía. El adjetivo "estáticos" se debe a que se trata de circuitos que utilizan semiconductores y no máquinas eléctricas para realizar la conversión, dado que en los primeros años de la Electrónica de Potencia la conversión de energía se realizaba por convertidores electromecánicos y esencialmente por máquinas giratorias. Hoy en día, estas técnicas no son más utilizadas ya que con el surgimiento de los convertidores estáticos se obtiene un desempeño más adecuado en todos los sentidos.

Por tanto, se puede decir que un convertidor estático de energía es un circuito electrónico constituido por un conjunto de elementos estáticos formando una red que constituye un equipo de conexión y transmisión entre un generador y un receptor.

Un convertidor estático de potencia ideal permite la transferencia de energía eléctrica del generador al receptor con un rendimiento unitario (sin pérdidas).

La figura 1.3 muestra el diagrama de bloques de un convertidor estático de energía aprovechando una potencia de entrada (P_I) para alimentar una carga que absorbe una potencia de salida P_O .

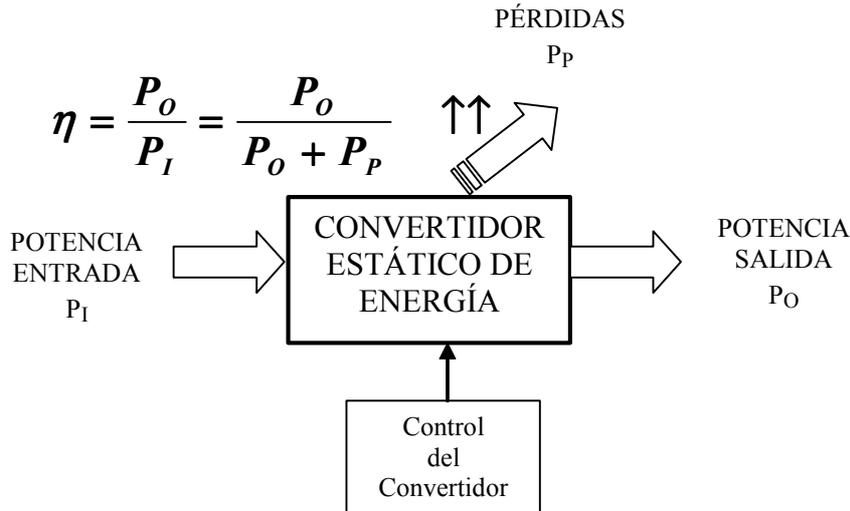


Fig.1.3 Diagrama de bloques de un convertidor estático de energía

Puesto que no es ideal, como es de esperar, se producen unas pérdidas P_p , aunque uno de los objetivos de cualquier convertidor de potencia - básicamente por razones energéticas, económicas y ecológicas - es transformar la energía con el mayor rendimiento (η) posible. Para ello, los dispositivos empleados trabajarán como interruptores en conmutación (cerrados y abiertos) y se utilizarán bobinas y condensadores como elementos auxiliares. Excepto en aplicaciones muy específicas se evita el empleo de resistencias y de dispositivos trabajando en la zona lineal.

Por tanto, se puede decir que los elementos que constituyen los convertidores estáticos de potencia son fundamentalmente de dos tipos:

- *Interruptores estáticos*: Son elementos semiconductores de potencia que actúan como interruptores y son llamados de elementos no lineales.
- *Elementos reactivos*: Son condensadores, inductores y transformadores responsables por el almacenamiento y aislamiento (en el caso de los transformadores) de la energía y filtrado de las tensiones y corrientes. También son los principales responsables por el peso, volumen y coste de los equipos.

Los tipos de conversión estudiados en ésta área son: corriente alterna, CA para corriente continua, CC (fija o variable), CC para CA (con tensión y frecuencia variable), CC (fija) para CC (variable) y CA (frecuencia fija) para CA (frecuencia variable) .

Cuando en funcionamiento, el convertidor estático de potencia conecta, por intermedio de sus interruptores, las mallas del sistema eléctrico (generador o receptor) permitiendo un flujo controlado de energía entre esos sistemas.

En función de las formas de energía de la entrada y de la salida de un convertidor, podemos clasificarlos como:

- Rectificador no controlado:** Transforma la corriente alterna de tensión constante en corriente continua de tensión constante. Formado por diodos, constituye montajes irreversibles.
- Rectificador controlado:** Transforma la corriente alterna de tensión constante en corriente continua de tensión variable. Formado por tiristores. El montaje puede ser reversible, denominándose **inversor no autónomo**.
- Reguladores de AC:** Transforman la corriente alterna de tensión constante en corriente alterna de tensión variable y de la misma frecuencia.
- Cicloconvertidores:** Reguladores de alterna o convertidores directos alterna/alterna de distinta frecuencia.
- Ondulador autónomo o inversor:** Transforman una corriente continua en corriente alterna de frecuencia fija o variable.
- Convertidor CC/CC o Troceador:** transforma corriente continua de tensión constante en corriente continua de tensión variable.

Estos convertidores son denominados convertidores directos de energía, pues utilizan una única etapa de potencia para la conversión. Cuando se emplea más de una etapa de potencia para realizar una conversión, entonces se habla de convertidores indirectos de energía, como es el caso de los convertidores indirectos de tensión y frecuencia. La figura 1.4. muestra los diferentes tipos de convertidores de acuerdo a su clasificación.

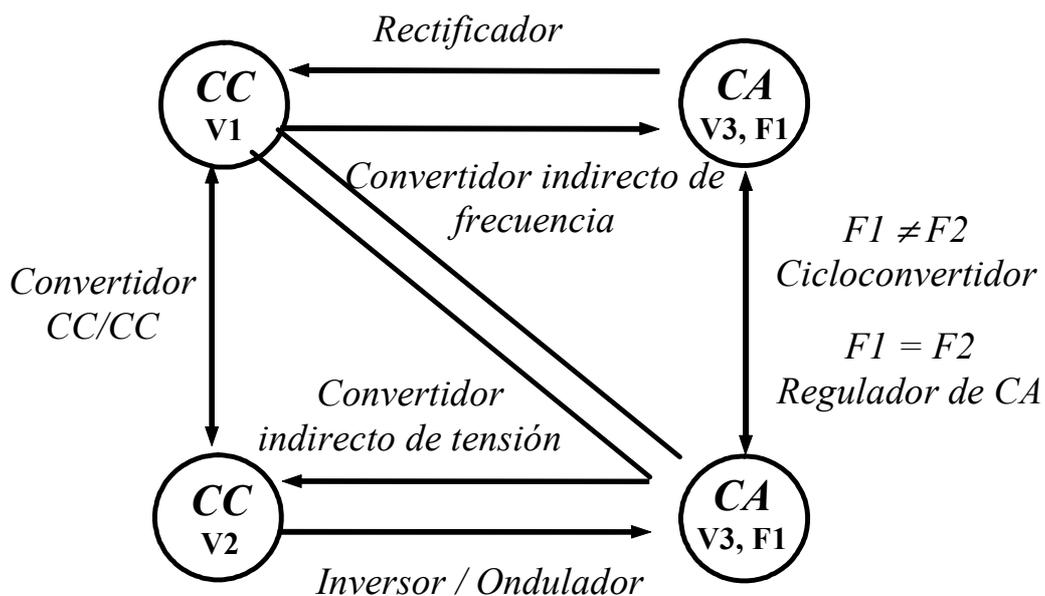


Figura 1.4. Tipos de convertidores estáticos de energía

Así, se puede concluir que para un buen entendimiento del funcionamiento de los convertidores estáticos se hace necesario inicialmente el conocimiento tanto de los interruptores como también de los fenómenos de conmutación entre ellos.

Los tipos de dispositivos semiconductores de potencia usados como interruptores estáticos son: diodos, tiristores (SCR, triac y GTO) y transistores (bipolares, MOSFET e IGBT). Para cada dispositivo (interruptor) se estudiará principalmente las características estáticas.

Actualmente con el creciente desarrollo de tecnologías de fabricación de semiconductores, se consigue alcanzar altos índices de capacidad de operación a alta potencia (por encima de 2 MW) y frecuencia (velocidad de conmutación) por encima de 100 kHz. El trabajar a alta frecuencia hace con que se reduzca el tamaño físico de los elementos reactivos reduciendo así el peso, el volumen y también el coste del equipo.

Otro factor importante que ha ayudado al aumento de la densidad de potencia, ha sido la invención de nuevos componentes (como por ejemplo el IGBT) y la evolución en términos de circuitos integrados dedicados a realizar la conmutación de los dispositivos semiconductores. Estos hechos son consecuencia de la demanda de los convertidores estáticos en el mercado, exigiendo, cada vez más investigación y así una evolución en el campo de la electrónica de potencia.

1.4 Bibliografía

- "Power Electronics: Converters, Applications and Design", Mohan, Undeland y Robbins, John Wiley & Sons, 2ª Ed, Nueva York, 1995.
- "Eletrónica de Potência", J. A. Pomilio, Universidade Estadual de Campinas, SP - Brasil.
- "Introducción a las etapas de potencia", J. I. Artigas y A. Sanz, Universidad de Zaragoza, IEC.
- "Introducción a los sistemas de potencia", I.T.T.(S.E), Universitat de València..
- "Electrónica de Potencia", D. W. Hart, Valparaíso University, Valparaíso Indiana. Prentice Hall.