
Introducción



1.1 Introducción

Existen distintas maneras de controlar la transferencia de la energía eléctrica. El procesamiento y control de esta energía se lleva a cabo por medio de diferentes tipos de sistemas de potencia, que pueden estar formados por una o varias etapas [1].

La parte esencial de un sistema de potencia son los convertidores de potencia, estos difieren del tipo de alimentación que requieren y el tipo de carga al que se conectan. Por lo general, la alimentación de un sistema de potencia es la línea de alimentación de CA ya sea monofásica o trifásica.

El Convertidor Matricial forma parte de un sistema de potencia de una sola etapa, con la línea de alimentación de CA de tipo trifásica y una carga trifásica que por lo general la constituye un motor de inducción trifásico. A lo largo de este capítulo se definen con mayor detalle los conceptos antes mencionados.

1.2 Clasificación de los Sistemas de Potencia.

En electrónica de potencia es usual categorizar a los sistemas de potencia en base a sus formas de entrada y salida o su frecuencia. El diagrama de bloques de la Fig.1.1 muestra un modelo para un sistema de potencia.

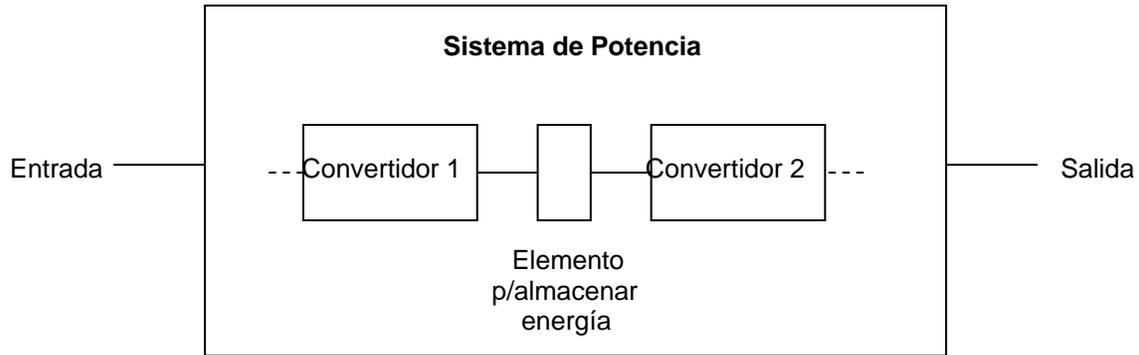


Figura 1.1 Diagrama de bloques de un sistema de potencia.

La mayoría de los sistemas de potencia tiene como entrada las líneas de alimentación de CA, dependiendo de la aplicación, la salida del sistema de potencia a la carga puede ser de la siguiente manera:

1. Salida de Corriente Directa CD
 - a. CD de magnitud regulada o constante
 - b. CD de magnitud ajustable

2. Salida de Corriente Alterna CA
 - a. CA de frecuencia constante y magnitud ajustable.
 - b. CA de frecuencia ajustable y magnitud ajustable.

En particular, las líneas de alimentación de CA y las cargas para CA pueden ser ya sean monofásicas o trifásicas. La dirección de la potencia es generalmente de la línea de alimentación a la carga, aunque hay excepciones. Por ejemplo en sistemas fotovoltaicos donde la dirección de la potencia es hacia la línea de alimentación de CA. En algunos sistemas la dirección de la potencia es reversible, dependiendo de las condiciones de operación.

Por lo general, un sistema de potencia consiste de más de una etapa de conversión, donde la operación de dichas etapas suelen estar desacoplada por elementos de almacenamiento como capacitores e inductores. Sin embargo, la potencia instantánea de entrada no tiene que ser igual a la potencia instantánea de salida.

Como un ejemplo del sistema de potencia de la Fig.1.1, se muestra en la Fig.1.2 un variador de velocidad ajustable para un motor de CA. Este consiste en dos convertidores, el convertidor 1 que opera como un rectificador y el convertidor 2 que opera como un inversor [2]. Como se ha mencionado, el capacitor en el bus de CD que desacopla la operación de los dos convertidores.

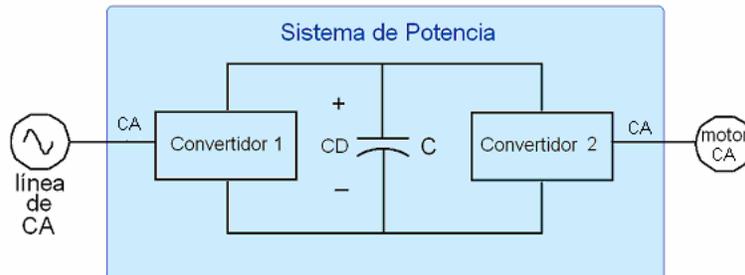


Figura 1.2 Diagrama de bloques de un variador de velocidad para motor.

De la Fig.1.2 el convertidor es el módulo mínimo del sistema de potencia. Este utiliza dispositivos semiconductores controlados por señales electrónicas o circuitos integrados. Dependiendo la manera en que estos dispositivos o interruptores son controlados, los convertidores pueden clasificarse como [45]

- **Convertidores a frecuencia de línea**, (conmutados de manera natural), donde los voltajes de la línea presentes en el convertidor facilitan el apagado o encendido de los dispositivos semiconductores. Para este tipo de convertidores, los interruptores se encienden y apagan a la frecuencia de la línea, 50 ó 60 Hz.
- **Convertidores conmutados**, (conmutación forzada), donde los dispositivos controlados se encienden y apagan a altas frecuencias comparadas con la frecuencia de la línea. A pesar de la alta frecuencia con que operan estos convertidores, la salida del convertidor puede ser ya sea CD o CA con una frecuencia comparable a la de la línea.

La conversión que realiza cada convertidor difiere por el tipo de voltaje en entrada y el tipo de voltaje de salida que generan, estas pueden clasificarse de la siguiente manera

- **Conversión Corriente Directa-Corriente Directa (CD/CD)**: Este tipo de conversión básicamente es utilizada para elevar o disminuir voltaje de corriente directa.
- **Conversión Corriente Directa-Corriente Alterna (CD/CA)**: Con este tipo de conversión se genera voltaje de corriente alterna a partir de corriente directa.

- **Conversión Corriente Alterna-Corriente Directa (CA/CD):** Esta conversión es comúnmente llamada rectificación, y su implementación más simple se efectúa con diodos y filtros para obtener un nivel de CD.
- **Conversión Corriente Alterna-Corriente Alterna (CA/CA):** Esta conversión permite controlar voltajes de CA para generar voltajes también de CA pero con diferentes características de voltaje o frecuencia.

Con respecto a este último tipo de conversión, la mayoría de los sistemas de potencia CA/CA utilizan más de una etapa de conversión, donde su operación se desacopla con el uso de elementos que almacenan energía entre las etapas (inductores o capacitores).

Teóricamente es posible reemplazar las etapas de conversión múltiples CA/CA y los elementos intermedios de almacenamiento por una sola etapa de conversión CA/CA. Dicha etapa de conversión puede realizarse con un Convertidor Matricial (CM) [1].

El CM utiliza una matriz de interruptores bi-direccionales, con un interruptor conectado entre cada terminal de entrada y cada terminal de salida, como se muestra en la Fig. 1.3 para un número arbitrario de fases de entrada y salida.

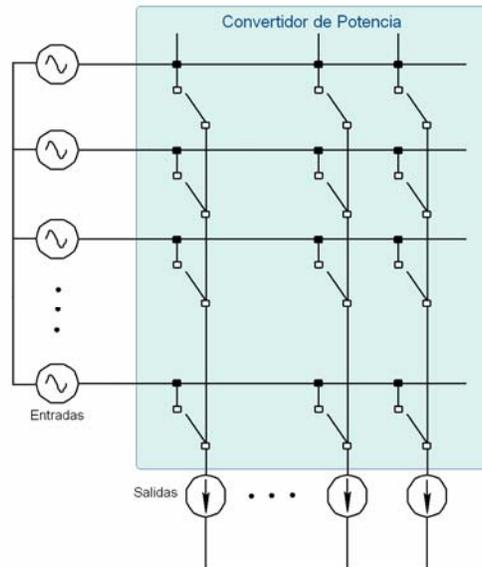


Figura 1.3 Convertidor Matricial

Con este arreglo de interruptores, la potencia en el convertidor puede ser reversible. Debido a que no existen elementos que almacenen energía, la potencia instantánea en la entrada debe ser igual a la potencia en la salida, asumiendo el caso ideal sin pérdidas en los interruptores. El ángulo de fase

entre los voltajes y corrientes de entrada puede ser controlado y no tiene que ser el mismo que en la salida. Además, la forma y frecuencia en ambas terminales del convertidor son independientes, por ejemplo. La entrada puede ser CA trifásica y la salida CD, o ambas pueden ser CD y CA.

Sin embargo, hay ciertas consideraciones y restricciones que se deben tomar en cuenta para operar el CM. Las funciones de conmutación requerida para operar el convertidor, deben asegurar que los interruptores no cortocircuiten las fuentes de voltaje y no abran las fuentes de corriente. De otra manera el convertidor se dañaría.

La corriente a través de las fuentes de entrada puede cambiar instantáneamente, ocasionando que el voltaje a través de las fuentes de corriente cambie también instantáneamente.

Los interruptores del convertidor deben ser bi-direccionales, capaces de bloquear voltaje de cualquier polaridad y conducir corriente en cualquier dirección.

De manera resumida, el CM se clasifica dentro de los convertidores conmutados de conversión CA/CA con una salida de amplitud y frecuencia ajustables. Dentro de este grupo existen otros tipos de convertidores, la mayoría con más de una etapa de conversión que producen voltajes de frecuencia variable, generalmente nombrada como convertidores de frecuencia variable. En la sección 1.3 se mencionan algunas topologías básicas de esta clase.

1.3 Clasificación de los Convertidores de Frecuencia Variable.

Los convertidores de frecuencia variable, que actúan generalmente como interfase entre el sistema de alimentación de CA y un motor de inducción, deben satisfacer los siguientes requerimientos básicos [2].

1. Capacidad de ajustar la frecuencia de acuerdo a la velocidad de salida deseada.
2. Capacidad de ajustar el voltaje de salida de tal manera que permita mantener el torque en una región constante.
3. Capacidad de suministrar una corriente constante a cualquier frecuencia.

En general, los convertidores de frecuencia variable emplean inversores con una alimentación de CD. En aplicaciones de muy alta potencia, es común utilizar los ciclo-convertidores. La Fig.1.4 muestra la estructura básica donde la línea de CA se convierte en CD mediante el uso de rectificadores ya sea controlados o no controlados, entonces es invertida para suministrar voltajes o corrientes en forma trifásica al motor.

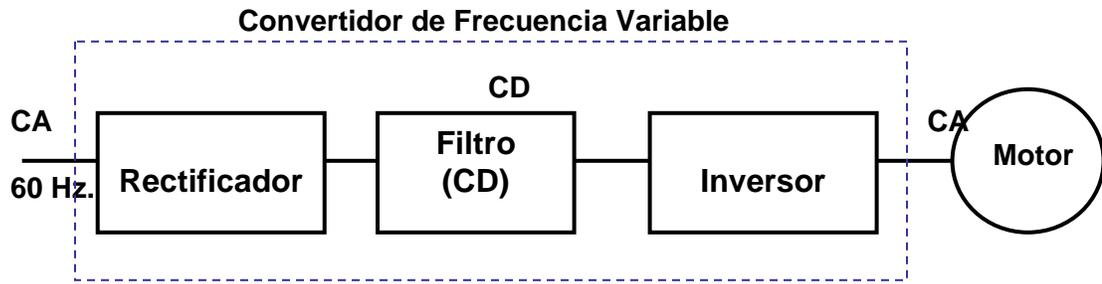


Figura 1.4 Convertidor de frecuencia Variable.

Estos convertidores son clasificados según el tipo de rectificador o inversor que utiliza,

1. Inversor PWM (Pulse Width Modulated) con rectificador de diodos.
2. Inversor Señal Cuadrada con rectificador controlado por tiristores.
3. Inversor de Corriente con rectificador controlado por tiristores.

La Fig.1.5 muestra el esquema para un inversor PWM con diodo rectificador. En la Fig.1.6 se muestra el inversor de onda cuadrada seguida por un rectificador controlado. El voltaje de entrada puede ser monofásico o trifásico. En ambos inversores controlados, es necesario de un capacitor en el bus de CD como entrada al inversor. Tomando en cuenta un motor de alimentación trifásica como carga, el inversor empleado es de conversión CD a CA trifásica.

La Fig.1.7 muestra un esquema del variador con inversor de corriente donde se utiliza un convertidor controlado a la entrada de la línea de alimentación. Debido al inductor utilizado de bus de CD, la entrada al inversor actúa como una fuente de corriente de CD.

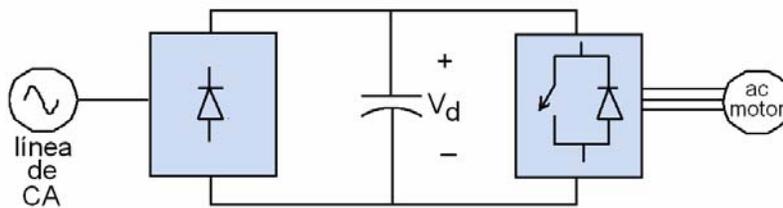


Figura 1.5 Inversor PWM con rectificador de diodos

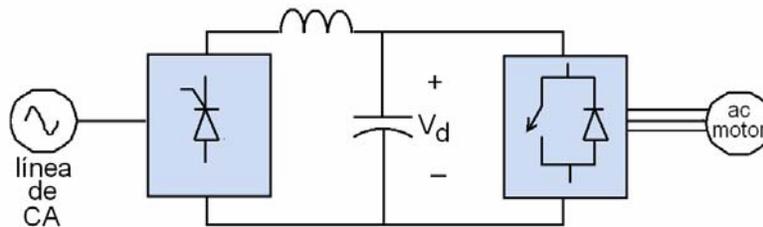


Figura 1.6 Inversor Señal Cuadrada con rectificador controlado por tiristores.

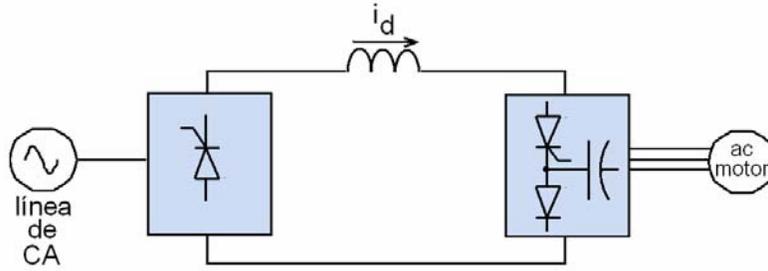


Figura 1.7 Inversor de Corriente con rectificador controlado por tiristores.

En aplicaciones de baja frecuencia y muy alta potencia, los ciclo-convertores son utilizados para controlar la velocidad de motores de inducción.

Un circuito básico del ciclo-convertor alimentado de la línea de CA se muestra en la Fig.1.8. La línea trifásica se aísla por medio de transformadores. Cada fase consiste en dos convertidores de tiristores. Los ángulos de disparo de los dos convertidores en cada fase son controlados cíclicamente para generar una salida senoidal de baja frecuencia.

La salida del ciclo-convertor proviene directamente de la línea de entrada si el uso de un bus de CD intermedio. La frecuencia máxima de salida esta limitada a un tercio de la frecuencia de entrada para mantener una forma de onda con bajo contenido armónico [2].

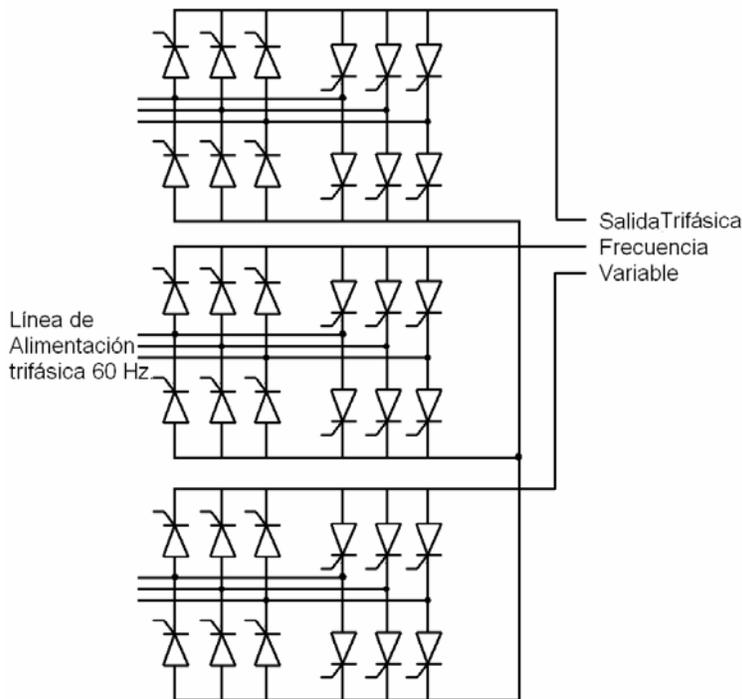


Figura 1.8 Ciclo-convertdor

Resumiendo, el CM se ubica en los convertidores CA/CA conmutados de frecuencia variable.

Dada la naturaleza del CM es hasta cierto punto complejo tratar de hacer una comparación con los sistemas CA-CA presentados, sin embargo, existen notables diferencias que pueden ser mencionadas y que se detallan en el siguiente capítulo.

A diferencia del sistema tradicional, Rectificador PWM / Bus CD / Inversor PWM (CA/CD/CA), el CM requiere del 50% más de dispositivos semiconductores y circuitos de disparo. El CM genera menores pérdidas en aplicaciones que requieren de la conversión CA-CA de potencia elevada; debido a la ausencia del bus de CD, la vida útil de operación del CM es significativamente superior [3],[4].

El control del CM es ciertamente más complejo, esto debido principalmente al elevado número de dispositivos semiconductores a controlar.

El CM ofrece una operación eficiente en los cuatro cuadrantes, cuya operación reduce la generación de armónicos en aproximadamente el 8% del nivel asociado a los convertidores convencionales [3].

1.4 Planteamiento del problema

En los sistemas tradicionales de variadores de velocidad para motores CA/CD/CA por lo general se utilizan rectificadores de diodos para la primera etapa de conversión CA/CD lo que genera armónicos que contaminan las líneas de alimentación. Estos sistemas por tanto tienen un factor de potencia bajo.

Por otro lado, el bus de CD entre el rectificador y el inversor de salida requiere el uso de capacitores electrolíticos de gran tamaño. Esto no solo representa el uso de espacio para su colocación, si no que estos componentes son el principal factor

que limita la vida útil de los sistemas de potencia, debido a que estos pierden su capacidad al pasar el tiempo, especialmente cuando operan a una altas temperaturas.

Finalmente, en los diseños convencionales la transferencia de energía entre la fuente y la carga es en un sentido. Por lo general, al detener un motor no sólo se desperdicia energía que no puede regresar a la fuente, esta tiene que ser disipada, usualmente por grandes resistencias que producen calor [3].

Con lo antes mencionado, se enlistan los principales problemas en los convertidores para variadores de velocidad convencionales

- Sistemas multi-etapa que utilizan una etapa de rectificación inicial con un bajo factor de potencia generando contaminación armónica.
- Elementos reactivos por la etapa de bus de CD que limitan la vida útil de los sistemas de potencia y aumentan el tamaño del sistema.
- Operación no regenerativa que ocasiona gasto excesivo de energía.

El uso del Convertidor Matricial supera este tipo de problemas, como podrá verse en el desarrollo del trabajo, ofreciendo una solución eficiente en calidad de la energía, tamaño y vida útil de operación.

Por lo que el presente trabajo esta dedicado al estudio de esta tecnología de la cual existe poca documentación que detalle los conceptos fundamentales y que muestre herramientas útiles que permitan verificar sus principales características.

1.5 Objetivo

El objetivo principal consiste en un estudio general del Convertidor Matricial CA-CA trifásico y la implementación de un prototipo que permita verificar los conceptos fundamentales en el uso de esta tecnología.

1.6 Aportaciones

Cubrir los aspectos fundamentales de operación y funcionamiento del CM de manera clara y sencilla que ofrezcan una herramienta útil que sirva como base para estudios posteriores.

La implementación de un prototipo del CM con el fin de verificar el funcionamiento de una de las estrategias de control fundamentales en el desarrollo de esta tecnología, así como los principales conceptos de operación del CM.

Simulación del CM utilizando las herramientas más actuales para electrónica de potencia que ofrece Simulink de Matlab, buscando obtener los resultados más cercanos a los esperados experimentalmente.

Generación de las señales de control mediante el diseño de un control digital de bajo costo y de fácil operación basado en microcontrolador y PLDs. Con este control digital se logró modificar tanto la amplitud como la frecuencia en el voltaje de salida, lo cual pudo verificarse con el uso de una carga resistiva, de tal manera que la implementación se enfoca principalmente en el control de los interruptores del CM conservando las características esenciales del CM.

En el siguiente capítulo se expone el desarrollo de este convertidor así como sus características y requerimientos principales.