

ANÁLISIS Y EVOLUCIÓN DE LOS VARIADORES DE VELOCIDAD PARA MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA EN LA INDUSTRIA

Anderson Sting Castillo Aldana¹, Yhon Jharol Perez Becerra²

^{1,2}Tecnología en Mecánica Automotriz

Escuela Colombiana de Carreras Industriales (ECCI)

Cr 19 No. 49-20

Bogotá, Colombia

¹sting1585@hotmail.com

²yhonjharol@gmail.com

RESUMEN

A lo largo de este artículo se describe y explica las etapas de funcionamiento del variador de velocidad más usado actualmente en la industria; el variador de velocidad para motores de corriente alterna (asíncronos de jaula de ardilla o de rotor devanado) o también conocidos como variadores de frecuencia. También se describen y explican algunas de sus múltiples aplicaciones, la manera en que este tipo de variadores ha revolucionado el manejo de motores de corriente alterna y simplificado el funcionamiento de procesos industriales.

PALABRAS CLAVES: motor asíncrono, motor de corriente alterna, variador de velocidad.

ABSTRACT

Throughout this article describes and explains the stages of operation of the Variable Speed Drive VSD most currently used in industry; the variable speed drive for alternating current AC motors (asynchronous squirrel cage and wound rotor) or also known as inverters. It also describes and explains some of its many applications, the way this type of drives has revolutionized the management of AC motors and simplified operation of industrial processes.

KEYWORDS: Asynchronous motor, alternating current motor, variable speed drive.

1. INTRODUCCIÓN

Desde la invención de los motores eléctricos a mediados del siglo XIX, creados por Moritz von Jacobi (1834) y desarrollados por Werner von Siemens y James Clerk Maxwell (1866) [1], ha sido necesaria la regulación de la velocidad de los motores, debido a su gran aplicación en control de procesos industriales, que en su mayoría trabajan a velocidades variables, pero con valores precisos; para dar solución a esta necesidad se usaron inicialmente reóstatos de arranque (potenciómetro para manejar mayor corriente) y variadores mecánicos; posteriormente se han impuesto los variadores electrónicos debido a su economía, fiabilidad y además no necesitan mantenimiento [2]. El Variador de Velocidad (VSD, por sus siglas en inglés Variable Speed Drive) es definido de una manera general como un conjunto de dispositivos mecánicos, hidráulicos, eléctricos o electrónicos empleados para controlar la velocidad giratoria de maquinaria, especialmente de motores. También es conocido como Accionamiento de Velocidad Variable (ASD, también por sus siglas en inglés Adjustable-Speed Drive) [3]. Un variador es un convertidor de energía cuya función principal es controlar la energía que se le proporciona al motor.

Los avances de la electrónica de potencia y la microelectrónica han permitido la construcción de convertidores de frecuencia confiables y económicos. Los variadores de frecuencia permiten una aceleración y desaceleración progresivas y permiten fijar con precisión la velocidad a través de cuatro etapas: etapa rectificadora, etapa intermedia que filtra y suaviza la tensión, etapa inversora y etapa de control [4].

2. MARCO TEORICO

Los variadores de velocidad electrónicos han contribuido en gran parte en el control de procesos industriales, debido a sus múltiples ventajas como los son, economía, fiabilidad, ahorro de energía, operaciones más suaves, control de la aceleración, distintas velocidades de operación, etc.

2.1 Historia

Históricamente, la primera solución que se dio para el control de la velocidad de los motores eléctricos fueron los reóstatos de arranque (un tipo de potenciómetro para manejar mayor corriente) y los variadores mecánicos. Posteriormente se han impuesto los variadores electrónicos dando una solución moderna, económica, ahorro de energía, fiable y sin mantenimiento. Cabe destacar que los variadores de velocidad fueron desarrollados originalmente para el control de procesos, pero el ahorro energético tomo tanta importancia como el primero.

Dentro de los variadores electrónicos; el variador para corriente continua CC fue la primera solución propuesta. Luego, tras los avances de la electrónica de potencia y de la microelectrónica se han construido los variadores para motores de corriente alterna CA o también llamados variadores de frecuencia [2].

El variador de frecuencia, ha revolucionado la técnica en el manejo de motores de corriente alterna, simplificando el funcionamiento de muchos procesos industriales continuos, transportadoras de productos en cintas, pozos petrolíferos, ascensores entre otros [4].

2.2 Componentes

Están compuestos de dos módulos: un módulo de control que controla el funcionamiento del variador y un módulo de potencia que entrega la energía eléctrica al motor.

Módulo de Control: Este módulo controla todas las funciones mediante un microprocesador que gestiona la configuración, las ordenes transmitidas por un operador o por una de proceso y los datos proporcionados por las medidas como lo son velocidad, corriente, etc. También, el microprocesador dirige las rampas de aceleración y desaceleración, el control de la velocidad y la limitación de corriente mediante la generación de las señales de control en los componentes de potencia.

Módulo de Potencia: Está compuesto principalmente por:

- Componentes de potencia (diodos, transistores, IGBT)
- Interfaces de medida de las tensiones
- En algunos casos un sistema de ventilación

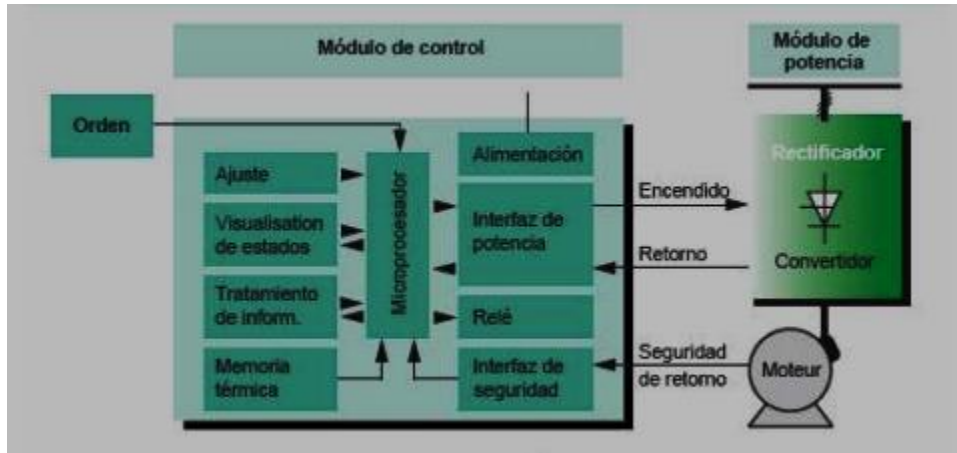


Figura1. Estructura general de un variador de frecuencia electrónico [2].

Los componentes de potencia integrados en un módulo de potencia, constituyen un convertidor que alimenta a un motor a partir de una tensión y frecuencia fijas, entregando tensión y frecuencias variables. Estos componentes son la clave de la variación de la velocidad.

El Diodo

Es un semiconductor que tiene dos zonas P (ánodo) y N (cátodo) y que solo deja circular la corriente en un solo sentido, de ánodo a cátodo. El diodo conduce cuando el ánodo tiene una tensión positiva respecto al cátodo, por el contrario se bloquea y se comporta como un interruptor abierto.

El Transistor

Es un semiconductor bipolar controlado constituido por tres capas alternas PNP o NPN. Este dispositivo deja pasar la corriente en un solo sentido: del emisor al colector en PNP y del colector al emisor en NPN. Los transistores de potencia capaces de funcionar con tensiones industriales son del tipo NPN. El transistor puede funcionar como amplificador o como conmutador (todo o nada): abierto si no hay corriente en la base, y cerrado en saturación. Este segundo modo de funcionamiento es el que se utiliza en los circuitos de potencia de los variadores.

Los transistores manejan tensiones hasta de 1200V y soportan corrientes de hasta 800A. En la actualidad este componente ha sido sustituido en los convertidores por el IGBT.

El IGBT

El transistor bipolar de puerta aislada (IGBT, del inglés Insulated Gate Bipolar Transistor), es un transistor de potencia, controlado por una tensión aplicada a un electrodo llamado puerta "gate" aislada del circuito de potencia. Este componente necesita de una energía mínima para hacer circular corrientes importantes. Sus características son similares a la de los transistores bipolares, pero sus prestaciones en energía y frecuencia de conmutación son muy superiores a todos los conductores [2].

2.3 Funcionamiento

Un variador de frecuencia (siglas VFD, del inglés: Variable Frequency Drive o también AFD Adjustable Frequency Drive) es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna(AC) por medio del control de la frecuencia y el voltaje de alimentación suministrada al motor. Los variadores de frecuencia son también llamados driver de frecuencia ajustable (AFD), driver de CA, micro drivers o inversores o Variadores de velocidad

por Frecuencia y Voltaje (V.V.V.F) [11]. Los variadores de frecuencia trabajan entre una frecuencia mínima y una máxima, pudiéndose regular dicha frecuencia en todo el rango con facilidad.

Los VFD entregan a partir de una red de corriente alterna de frecuencia fija, una tensión alterna trifásica y frecuencias variables. Dichos VFD se usan en su mayoría en los motores de jaula de ardilla, debido a que dichos motores presentan las ventajas de estandarización, bajo costo, estanqueidad y ningún mantenimiento [2].



Figura 2. Variadores de Frecuencia de distintos rangos de potencia, que son elegidos de acuerdo a cada aplicación [7].

Los variadores de frecuencia operan bajo el principio de que la velocidad mecánica de un motor de corriente alterna CA es directamente proporcional a la frecuencia a la que es alimentada el motor, e inversamente proporcional al número de polos en el estator de la maquina (cantidad que siempre deberá ser par), de acuerdo a la siguiente relación[11]:

$$RPM = \frac{120 \times f}{p} \quad (1)$$

Donde:

RPM= Revoluciones por Minuto

f : Frecuencia de suministro CC (Hercios)

p : Número de polos

La siguiente tabla contiene las velocidades de rotación del campo giratorio, o velocidad de sincronización siguiendo la anterior relación, correspondiente a las frecuencias industriales de 50 Hz, 60 Hz y 100 Hz, de acuerdo al número de polos.

Tabla 1. Velocidades de rotación de acuerdo a la frecuencia y número de polos.

Número de polos	Velocidad de rotación en rpm		
	50 Hz	60 Hz	100 Hz
2	3000	3600	6000
4	1500	1800	3000
6	1000	1200	2000
8	750	900	1500
10	600	720	1200
12	500	600	1000
16	375	450	750

Tomada de [12]

Las características del motor de CA necesitan de una variación proporcional del voltaje cada vez que la frecuencia es variada. Por ejemplo, si un motor está diseñado para trabajar a 460 voltios a 60Hz, el voltaje aplicado debe reducirse a 230 voltios cuando la frecuencia es reducida a 30 Hz, así la relación Voltios/ Hercios se debe mantener con un valor constante para un óptimo funcionamiento. El control de esta relación Voltios/Hercios se realiza por modulación de ancho de pulso (PMW= Pulse Width Modulation).

Para comprender mejor el funcionamiento de un variador de frecuencia, lo dividiremos en cuatro etapas:

- La rectificadora, que es la convierte la tensión alterna a continua mediante diodos rectificadores y tiristores
- La etapa intermedia que filtra y suaviza la tensión rectificada, por medio de condensadores o bobinas.
- Etapa inversora que hace que sea variable la tensión y la frecuencia al generar pulsos (PMW)
- Etapa de control, que es la que controla los transistores bipolares de puerta aislada (IGBTs), y de esta manera, controlar los pulsos variables de tensión y frecuencia.

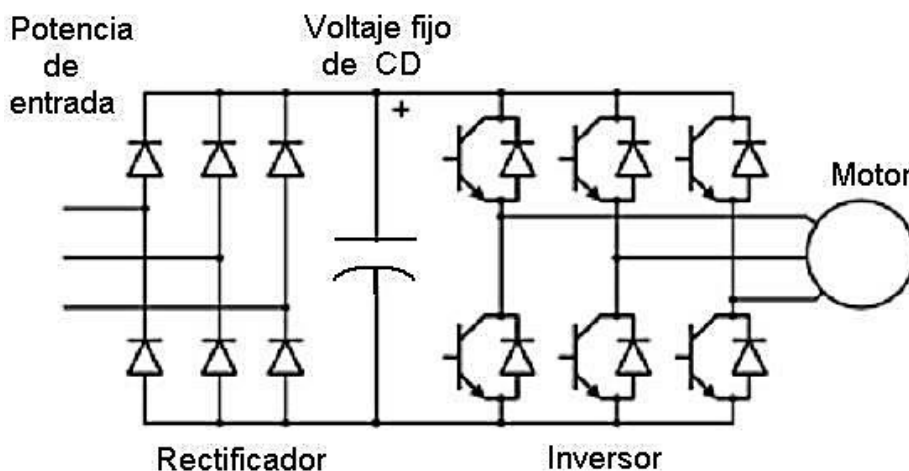


Figura 4. Diagrama eléctrico general de un variador de frecuencia [11].

PWM: Por sus siglas en ingles significa modulación por anchura de pulsos (pulse- width modulation).

La modulación por anchura de pulsos, es la que modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica que varía la velocidad de un motor.

Cuanto más tiempo quede o pase la señal, mayor será la velocidad de un motor, manteniendo además el par motor constante.

2.4 Aplicaciones

Las principales aplicaciones en las que se utilizan los variadores de frecuencia son:

- Transportadoras: Controlan y sincronizan la velocidad de producción de acuerdo al tipo de producto que se transporta, para evitar ruidos y golpes en transporte de botellas y envases, para arrancar suavemente y evitar la caída del producto que se transporta, etc.
- Bombas y ventiladores centrífugos: Controlan el caudal, uso en sistemas de presión constante y volumen variable. En este caso se obtiene un gran ahorro de energía porque el consumo varía con el cubo de la velocidad, o sea que para la mitad de la velocidad, el consumo es la octava parte de la nominal.
- Bombas de desplazamiento positivo: Control de caudal y dosificación con precisión, controlando la velocidad. Por ejemplo en bombas de tornillo, bombas de engranajes. Para transporte de pulpa de fruta, pasta, concentrados mineros, aditivos químicos, chocolates, miel, barro, etc.
- Ascensores y elevadores: Para arranque y parada suaves manteniendo el torque del motor constante, y diferentes velocidades para aplicaciones distintas.
- Extrusoras: Se obtiene una gran variación de velocidades y control total del toque del motor.
- Centrífugas: Se consigue un arranque suave evitando picos de corriente y velocidades de resonancia.
- Compresores de aire: Se obtienen arranques suaves con máxima torque y menor consumo de energía en el arranque.
- Pozos petrolíferos: Se usan para bombas de extracción con velocidades de acuerdo a las necesidades del pozo.

2.5 Marcas Comerciales

Dentro de las principales marcas comerciales que producen variadores de frecuencia, se encuentran las siguientes:

- ABB
- Yaskawa
- Telemecanique
- General Electric
- Siemens
- Baldor
- Cutler-Hammer
- Allen-Bradley.

3. PROGRAMACIÓN

Actualmente, los VFD disponen de un modo de funcionamiento de supervisión que permite observar algunos parámetros mientras el motor se encuentra funcionando; como lo son: tensión en bornes del motor, velocidad estimada, estado térmico del variador, corriente consumida, tensión de la red de alimentación, etc.

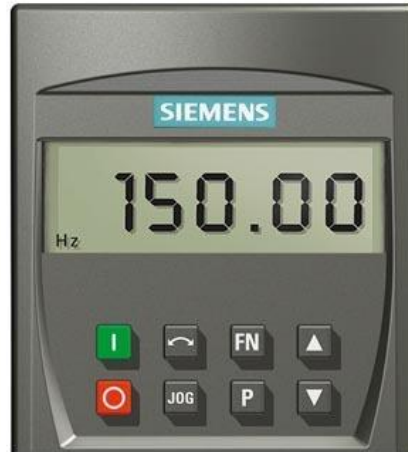


Figura 5. Terminal de programación básico [6].

Los variadores de frecuencia, disponen de una variedad de parámetros amplia que son programables en función del modelo.

La programación se puede llevar a cabo a través de distintos métodos:

- Desde un panel de operación que viene incorporado en el variador
- Mediante un terminal de programación externo que se adquiere por separado y que permite una programación avanzada.
- Desde un computador portátil a través de un cable de conexión y un software de parametrización.

Algunos de los parámetros característicos que se pueden ajustar y programar en un VFD son:

- Ajustes de fábrica: Pone todos los parámetros del variador a los valores de fábrica.
- Rampa de aceleración: Es el tiempo en segundos que tarda el motor en conseguir la velocidad programada.
- Rampa de desaceleración: Es el tiempo en segundos que tarda el motor en disminuir su velocidad hasta pararse o lograr otra velocidad programada.

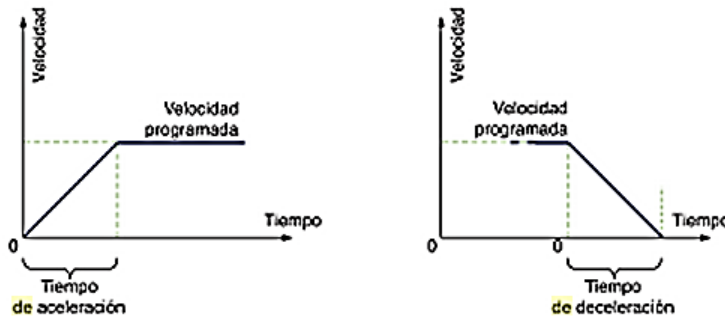


Figura 5. Rampas de aceleración y desaceleración programables [5].

- Velocidad máxima: Velocidad más alta a la que se desea que gire el motor.
- Velocidad mínima: Velocidad más baja a la que se desea que gire el motor.
- Velocidades preseleccionadas: Conjunto de velocidades que programa el operario y que se eligen a través de las entradas lógicas o por algún bus de comunicación
- JOG: Funcionamiento del motor a impulsos. Necesita una velocidad preseleccionada propia y tener asociada una entrada lógica para conectar a ella un pulsador o interruptor.

- Frenado. Permite ajustar el tipo de frenado del motor, que puede ser por inyección de corriente continua o rueda libre [6].

4. CONCLUSIONES

- Un variador de frecuencia (VFD), es un dispositivo eléctrico- electrónico que tiene la capacidad de variar la velocidad de un motor de corriente alterna, modificando su tensión y frecuencia de alimentación.
- Para lograr el cambio de velocidad, usa semiconductores como lo son: diodos, transistores, IGBT que son controlados por un microprocesador.
- Existen múltiples tipos de VFD, que son usados de acuerdo a la aplicación y al tipo de potencia requerida.
- Actualmente existen varias formas para programar los distintos parámetros de los variadores de frecuencia.
- A lo largo del trabajo se conocieron la historia, las características, el funcionamiento y las principales aplicaciones de los variadores de frecuencia; y estos temas son importantes para nuestro desarrollo como estudiantes de ingeniería y un aprendizaje más profundo de la electricidad y electrónica de potencia.

5. AGRADECIMIENTOS

Este artículo fue posible gracias a Dios por darnos vida y salud, a nuestro empleo con el cual se han proporcionado los recursos económicos para estudiar nuestra carrera y a los profesores de la Universidad Escuela Colombiana de Carreras Industriales ECCI que nos han transmitido los conocimientos en las diferentes materias para desarrollar este artículo.

6. REFERENCIAS

- [1] Motor Eléctrico, Historia-Wikipedia, http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_el%C3%A9ctrico#Historia
- [2] Schneider Electric, “Cuaderno técnico #208, Arrancadores y variadores de velocidad electrónicos”, Biblioteca Técnica de Schneider Electric España S.A., 2004
- [3] Variador de Velocidad- Wikipedia, http://es.wikipedia.org/wiki/Variador_de_velocidad , 2015.
- [4] Carlos Francisco Tedesco, “*Ascensores Electrónicos y Variadores de Velocidad*”, Editorial Alsina, Buenos Aires
- [5] Marc Couedic, “*Circuitos Integrados para Tiristores y Triacs*” Ed.Dunod, Paris 1997, pág. 95-100
- [6] Juan Carlos Martín, María Pilar García, “*Automatismos Industriales*” Ed. Editex, 2009, pág. 211-225
- [7] Sistemas de control y regulación automáticos: Variadores de velocidad, 2015
http://ingenieros.es/files/proyectos/Variadores_de_frecuencia.pdf
- [8] Regulación de Velocidad de motores asíncronos trifásicos
http://diagramas.diagramasde.com/otros/Sistemas_de_regulacion_maquinas_electricas.pdf
- [9] Fundamentos Tecnológicos la regulación electrónica de velocidad en motores
http://www.fra.utn.edu.ar/download/carreras/ingenierias/electrica/materias/planestudio/quintonivel/electronicaII/apuntes/variadores_de_frecuencia.pdf

- [10] Anexo B, Variadores de Frecuencia- Universidad Tecnológica de San Juan del Rio.
http://es.slideshare.net/misiku_mich/variadores-de-frecuencia-drives
- [11] Variador de Frecuencia- Wikipedia http://es.wikipedia.org/wiki/Variador_de_frecuencia
- [12] Regulación de Velocidad de motores asíncronos trifásicos- I.E.S Antonio Jose Cavaniles Alicante, Departamento de Electricidad
http://diagramas.diagramasde.com/otros/Sistemas_de_regulacion_maquinas_electricas.pdf
- [13] The Basics of Variable-Frequency Drives- Electrical Construction & Maintenance <http://ecmweb.com/power-quality/basics-variable-frequency-drives>
- [14] What is a VFD? – VFDs.com <http://www.vfds.com/blog/what-is-a-vfd>