

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

MT 5004

Laboratorio de Electrónica de Potencia Aplicada

Tarea 5: Variador de frecuencia para el control de motor trifásico

Jose Fabio Navarro Naranjo – 2019049626

Adrián Dittel Retana – 2019007945

Emmanuel Naranjo Blanco – 2019053605

Profesora: Johanna Vanessa Muñoz Pérez

Semestre II - 2021

Contenido

I.	Investigación previa	3
II.	Procedimiento.....	8
III.	Evaluación	8
	Referencias	17

I. Investigación previa

1. Investigue la función e implementación de los módulos que componen un variador de frecuencia: rectificador, bus DC, inversor y control. No olvide mencionar las ventajas de los IGBT como parte del módulo inversor.

Un variador de frecuencia es un dispositivo electrónico de precisión, diseñado para controlar la velocidad de los motores de inducción monofásicos y trifásicos de Corriente Alterna. El circuito electrónico de un variador de frecuencia se divide en tres módulos, etapa rectificadora, un bus de Corriente Continua y un inversor de salida que utiliza microcontroladores y transistores bipolares de puerta aislada (IGBT) (Figura 1). [1] [2]

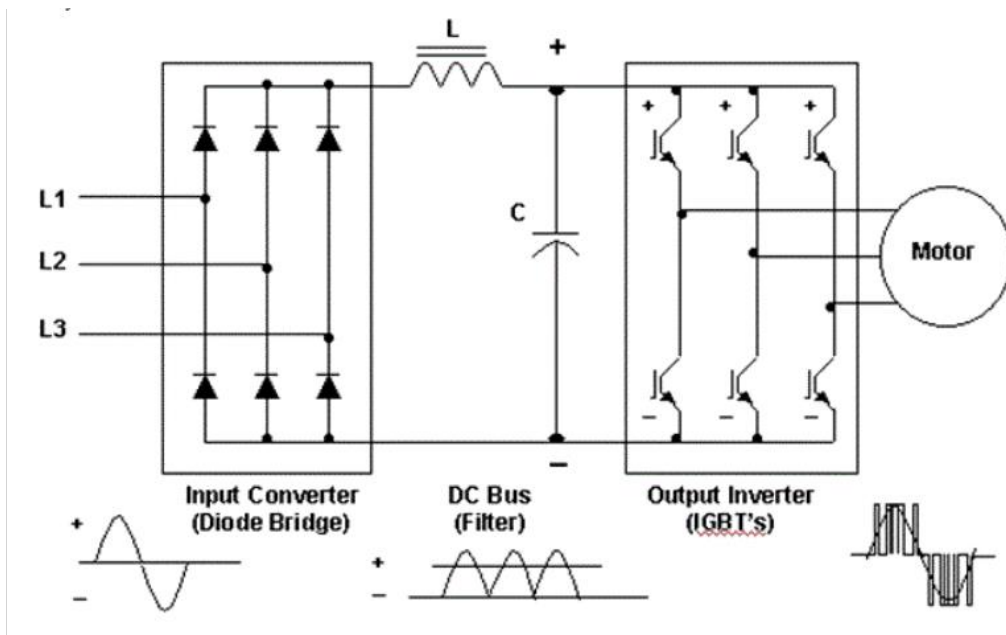


Figura 1. Módulos del variador de frecuencia. [2]

- **Rectificador:** En esta etapa se configuran los diodos de potencia de forma tal que la red CA sea rectificada en CD.
- **Bus DC:** En esta etapa se filtra la señal rectificada para extraer los componentes de CA y armónicos residuales. Su finalidad es hacer que la onda de salida sea ideal para los motores CA al eliminar armónicos indeseables.

- **Inversor:** En esta etapa se convierte de regreso la señal de CD a CA. Esta circuitería permite cambiar la frecuencia de salida, la tensión, y proporcionar una salida trifásica a partir de la entrada monofásica.

Se utilizan IGBT, GTO o SCR como interruptores de potencia que encienden y apagan la tensión CD para producir una forma de onda a la nueva frecuencia requerida. Los dispositivos como IGBT conmutan a altas velocidades produciendo una serie de pulsos de ancho corto y de amplitud constante. La ventaja del IGBT es que contiene las fortalezas de los PMOSFET y los BJT, superiorizando sus características, por ejemplo, variar el número de pulsos para modificar la frecuencia de salida del inversor.

Al finalizar esta etapa, la corriente resultante en el motor simula una onda sinusoidal con la frecuencia deseada, donde para evitar mayor distorsión armónica se acciona la conmutación mediante PWM.

- **Control:** En esta parte se controla el voltaje de salida que alimenta al motor y mantener una relación constante de tensión y frecuencia (V / Hz). “Consiste en un circuito electrónico que recibe información de retroalimentación del motor accionado y ajusta el voltaje o la frecuencia de salida a los valores deseados. El sistema de control puede estar basado en SPWM (PWM de onda sinusoidal), SVPWM (PWM modulado por vector espacial) o algún algoritmo basado en computación suave”. [2]

2. Investigue las características de los siguientes tipos de control en variadores de frecuencia: control de tensión lineal/frecuencia, control de tensión cuadrática/frecuencia y control vectorial.

- **Control de tensión lineal/frecuencia:** El voltaje que se aplica debe disminuir linealmente con la disminución de la frecuencia. Este proceso se conoce como degradación. Si la frecuencia eléctrica disminuye en 10%, mientras que la magnitud del voltaje aplicado permanece constante, el flujo incrementa cerca del 10%. Cuando la frecuencia eléctrica su frecuencia nominal, el voltaje se mantiene constante en el valor nominal. [3]
- **Control de tensión cuadrática/frecuencia:** Se tiene que, para el uso de variadores de frecuencia en motores, utilizando el control de tensión cuadrática/frecuencia, el inconveniente es que el par se reduce estrepitosamente con el cuadrado de la tensión. Por lo que solo ha alcanzado una cierta popularidad en aplicaciones con una curva de par

resistente cuadrático como en el caso de bombas y ventiladores. Solo en los ejemplos anteriores se puede proporcionar, con pequeñas corrientes de arranque y sin grandes calentamientos del motor, tanto el par de arranque como el par motor necesario cuando las velocidades distan de la síncrona, aproximadamente al 15% de la velocidad nominal. [4]

- **Control Vectorial:** Cuando el control es escalar las variables de control tienen valores escalares y pueden ser voltajes, corrientes, frecuencias, velocidades, entre otros valores, estas variables presentan un acoplamiento entre ellas, debido a este acople se ha restringido el uso de accionamientos eléctricos de alto desempeño. Las técnicas de control vectorial van a cambiar eso permitiendo desacoplar las variables de control. Hay varias técnicas, entre ellas: [3]
 1. Control por Campo Orientado (FOC):
 - Método Indirecto
 - Método Directo
 2. Control sin sensor (Sensorless Control).
 3. Control Directo del Par (Direct Torque Control o DTC).

3. Explique el concepto de operación en cuatro cuadrantes para un variador de frecuencia.

Para el correcto funcionamiento de un variador de frecuencia al aplicarlo a un motor, se tiene que ser capaz de acoplarse al funcionamiento y trabajar en los cuatro cuadrantes mostrados en la Figura 2. [5]

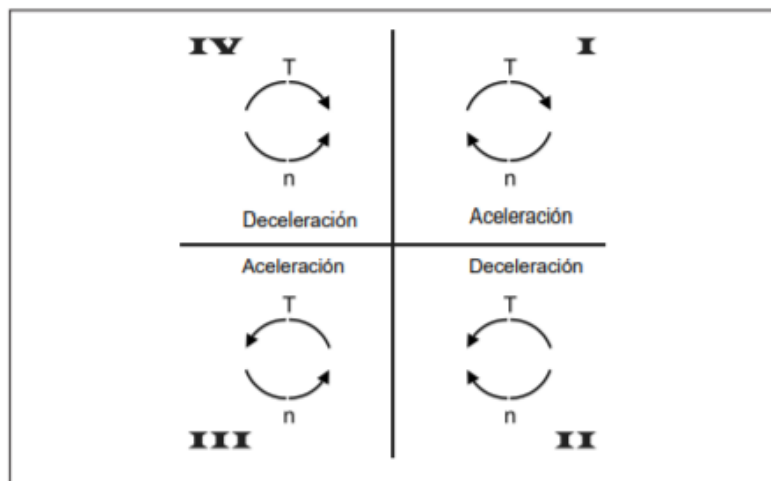


Figura 2. Distintos cuadrantes de funcionamiento.

Cuadrante I: En el primer cuadrante el motor gira en la dirección de las agujas del reloj. Dado que el par sigue la misma dirección que la velocidad, el accionamiento se acelera.

Cuadrante II: En el segundo cuadrante el motor sigue girando en la dirección de las agujas del reloj, pero el par está en la dirección opuesta, así que el accionamiento se desacelera.

Cuadrantes III y IV: En el tercer y cuarto cuadrante, el motor gira en dirección contraria a las agujas del reloj y el motor vuelve a acelerarse o desacelerarse dependiendo de la dirección del par.

Con un convertidor de frecuencia, los cambios en la dirección del par pueden aplicarse independientemente de la dirección de giro. Para producir un accionamiento de cuatro cuadrantes eficaz, es necesario algún tipo de dispositivo de frenado. [5]

4. Explique los siguientes tipos de frenado: paro libre, parada en rampa, frenado por inyección de CD y frenado dinámico.

– **Paro libre:**

Se entiende por frenado de paro libre a la acción de detener el motor únicamente al eliminar la alimentación en este. Donde las revoluciones por minuto disminuirán hasta cero una vez se elimina la tensión en las bobinas del rotor. Este tipo de frenado resulta ineficiente para aplicaciones donde se requiere el control de velocidad o la necesidad de frenar el motor en tiempos específicos. Para esto, se recomienda novedosas técnicas de frenado como parada en rampa, por inyección de CD o dinámico, cada uno con su peculiaridad.

– **Parada en rampa:** [6]

En el método de frenado de parada en rampa se aplica un nivel de voltaje que se reduce a medida que el motor desacelera. Consiste en un frenado sin fricción que no implica pastillas de freno de ningún tipo, no hay mecanismo que haga contacto con una parte móvil para frenar el motor. El método de frenado de parada en rampa se realiza únicamente mediante corriente eléctrica. Cuando el motor inicia una parada, el voltaje en el estator del motor reduce la velocidad del motor. A medida que el motor se desacelera, el nivel de voltaje se reducirá de modo que se logre una desaceleración constante.

– **Frenado por inyección de CD:** [6]

En el método de frenado por inyección de CD se aplica una corriente de CD a las bobinas del estator energizadas por CA. Esto, a su vez, provoca que se induzcan corrientes en las

barras del rotor, lo que crea una fuerza de frenado en el rotor. Este tipo de frenado es útil ya que muchos motores de CA funcionan a velocidades muy altas. Por lo tanto, los rotores de los motores seguirán girando incluso una vez que se apague la energía y a niveles industriales el tiempo es importante. Además, el frenado por inyección de CD proporciona una parada rápida y puede mantener el motor mediante una fuerza de frenado aplicada después de que el motor se haya detenido.

– **Frenado dinámico:** [6]

Este consiste en un frenado que se consigue al reconectar el motor inmediatamente para que actúe como generador una vez que es apagado, deteniéndolo rápidamente. Dicha acción de generador convierte la energía mecánica de rotación en energía que se disipa en forma de calor en una resistencia. Para este frenado, es necesario tener acceso al rotor y así poder reconectarlo. Además, el frenado dinámica suele utilizarse cuando la carga es controlada por un variador de frecuencia.

5. Investigue distintos tipos de filtros de entrada y salida utilizados con los variadores de frecuencia, así como su utilidad.

- **FILTROS dV/dt :** Debido a la combinación de capacidad e inductancia parásita de los cables y a la inductancia del motor, los pulsos de tensión de la salida trifásica del variador generan picos de tensión elevados que pueden perforar los aislamientos de las bobinas y aumenta las corrientes de fuga. El efecto aumenta con la longitud del cable. El filtro dV/dt elimina estos picos de tensión y reduce las corrientes de fuga. [7]
- **FILTROS SENOIDALES:** Convierten la salida de pulsos del variador en una tensión senoidal sin ningún pulso de alta frecuencia, así es posible aumentar las distancias de los cables desde el variador a la bomba hasta 1000 metros sin que aparezcan los picos de tensión. [7]
- **FILTROS EMC:** Se les llama también filtros modo común. Impiden que los ruidos electromagnéticos salgan del variador. Reducen la emisión de ruido de alta frecuencia que podrían perturbar a otros equipos cercanos, como sondas, radio, autómatas, entre otros. [7]
- **FILTROS DCR:** Al utilizar la entrada AC del variador con corriente procedente de la red eléctrica, es necesario incluir este tipo de filtro para motores de potencia igual o superior a 75kW. Contribuyen a reducir la corriente de pico y los armónicos. Cuando se instalan, se

consigue una reducción de un 30% de la corriente nominal al 100% de la carga absorbida. También se reducen las distorsiones en la tensión. [7]

II. Procedimiento

La evidencia de la realización del procedimiento se encuentra disponible en el siguiente video:

https://youtu.be/_nhfoZUfz-c

III. Evaluación

1. Explique los parámetros que deben considerarse en las placas de datos del motor y del variador de frecuencia, para garantizar que son compatibles.

Para una correcta selección de un variador de frecuencia para el motor que se tenga o se desee utilizar, se debe de tomar en cuenta 3 cosas, la primera de ellas es la corriente que maneja el motor y dimensionar el variador acorde a eso, ya que si la corriente del motor es mayor que la que puede soportar el VDF, este se puede dañar; de igual forma se debe notar que se revise el par que entrega el motor así como la potencia máxima en su funcionamiento, esto tomando en cuenta siempre con qué tipo de carga se va a trabajar (constante, lineal, cuadrática o inversa), ya que nuevamente si el variador no cumple con estas características no solo se daña el equipo sino que no se logra el funcionamiento esperado, se recomienda que siempre se sobredimensione el VDF basado en las características anteriormente explicadas. [8]

2. Para el variador de frecuencia utilizado, investigue posibles usos de las salidas digitales (P1, P2, PC, MA, MB, MC), entradas digitales (S1-S7, SC), salidas analógicas (AM, AC, MP) y entradas analógicas (A1, A2, +V, AC, RP).

- **Salidas digitales:** los variadores de frecuencia disponen de relés que actúan como salidas digitales, que abren (o cierran) sus contactos según la programación realizada [9]. Entre las principales funciones que se pueden programar a los relés se encuentran las siguientes:
 - Fallo en variador.
 - Referencia de velocidad o frecuencia alcanzada.
 - Alarma por tensión de entrada inferior a la tensión nominal o subtensión.

- Variador bloqueado por seguridad (Safe Torque Off).
- Sobrecalentamiento.
- Control de electrofreno.

Por ejemplo, para el control de electrofreno con un variador de frecuencia, se debe independizar la alimentación de la bobina del freno del motor, para evitar que el freno no llegue a despegar (esto debido a que la baja tensión que alimenta al motor en el arranque no alcanza para liberar el freno). Por lo anterior, se programa una salida digital con el objetivo de controlar el contactor del electrofreno, de manera que aunque la alimentación sea baja, se libere el freno. [9]

A continuación, se presentan las funciones específicas de cada pin:

- MA: N.O. (falla). [10]
 - MB: Salida N.C. (falla). [10]
 - MC: común de salida digital.
 - P1: salida de fotoacoplador 1 (durante funcionamiento). [10]
 - P2: salida de fotoacoplador 2 (aceptación de frecuencia). [10]
 - PC: Común de salida de fotoacoplador. [10]
- **Entradas digitales:** estas entradas sirven para acciones de control del variador de frecuencia como el encendido o apagado. Todas estas entradas son multifunción, y a continuación se muestra la funcionalidad de cada pin específicamente:
- S1: cerrado: funcionamiento hacia adelante, abierto: alto. [10]
 - S2: cerrado: funcionamiento en reversa, abierto: alto. [10]
 - S3: falla externa (N.O.). [10]
 - S4: restablecimiento de falla. [10]
 - S5: referencia de velocidad multipasos 1. [10]
 - S6: referencia de velocidad multipasos 2. [10]
 - S7: referencia de avance lento. [10]
 - SC: común de control. [10]
-

- **Salidas analógicas:** las salidas analógicas se programan para que den distintas señales:
 - Tensión entre 0 y 10 V.
 - Tensión entre -10 y 10 V.
 - Intensidad entre 0 y 20 mA.
 - Intensidad entre 4 y 20 mA.

Es importante mencionar, que en ocasiones es preferible utilizar señales de intensidad, ya que las señales de tensión sufren pérdidas por la misma resistencia del cable [9]. Este tipo de salidas, se pueden programar para que sean proporcionales a los siguientes valores:

- Frecuencia de salida del variador.
- Potencia suministrada por el variador.
- Intensidad del variador.

Y de esta manera, se pueden utilizar estos parámetros anteriores, como un tipo de control para la funcionalidad que se le quiera dar a la señal analógica. A continuación, se muestra específicamente, la funcionalidad de cada pin para el variador de frecuencia estudiado en este documento:

- MP: salida de tren de pulsos. [10]
 - AM: salida de monitor analógico. [10]
 - AC: común de monitor. [10]
-
- **Entradas analógicas:** estas entradas, funcionan de manera similar a las entradas digitales, sin embargo, al ser analógicas, permiten un control más variado, como por ejemplo, variar la velocidad en función del valor del voltaje de entrada como se hizo a lo largo del procedimiento. A continuación, se presenta la funcionalidad de cada pin:
 - RP: entrada de tren de pulsos multifunción. [10]
 - +V: fuente de alimentación de entrada analógica. [10]
 - A1: entrada analógica multifunción. [10]
 - A2: entrada analógica multifunción. [10]
 - AC: común de referencia de frecuencia. [10]

3. Mencione dos aplicaciones de los variadores de frecuencia en la industria describiendo con un diagrama de bloques los componentes requeridos para su implementación (por ejemplo, sensores, PLC, HMI, bandas, protecciones).

Como se mencionó anteriormente, los variadores de frecuencia tienen distintas aplicaciones. Entre ellas a nivel industrial se usan frecuentemente en metalurgia, química, gas, minería, plásticos, energía, hidráulica; entre otros.

Por ejemplo, en la Figura 3 ilustra el diagrama para control de la presión de salida del suministro de agua según la cantidad de agua en la tubería y en la red. Para esto, se utiliza un variador de frecuencia de CA con un PID incorporado para realizar el suministro automático de agua a presión constante, lo cual potencializa el ahorro de energía en las instalaciones que lo utiliza. En este se muestra además, el uso de un interruptor de aire, un interruptor de fugas, u interruptor de arranque / parada, un manómetro remoto, una resistencia limitadora de corriente y la alimentación.

[11]

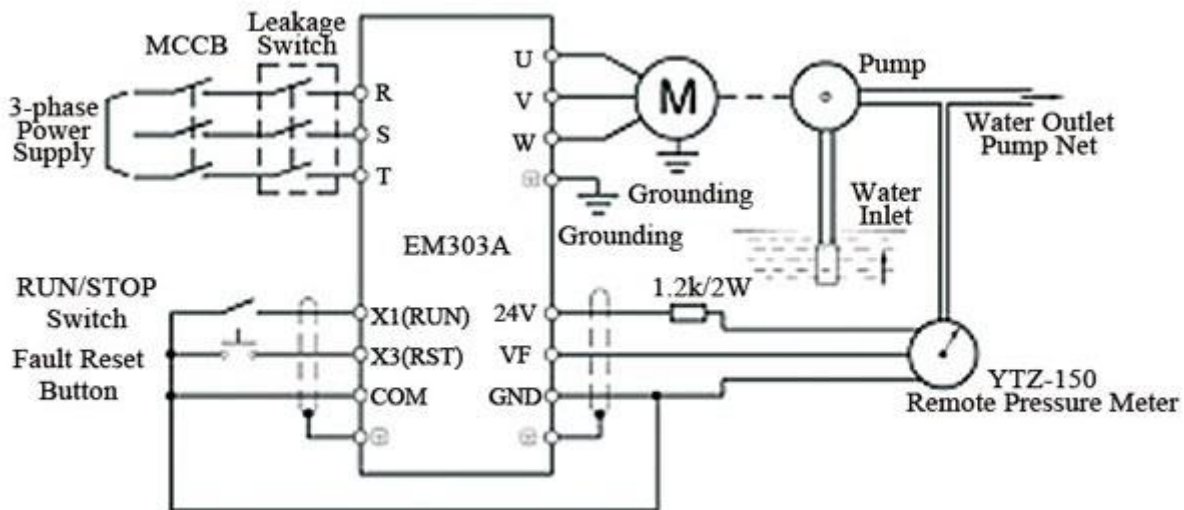


Figura 3. VFD para cableado de suministro de agua a presión constante. [11]

Otro ejemplo consiste en un variador de frecuencia que funciona como generador para variar la velocidad de un motor de inducción trifásico. En este sistema, el rectificador y el filtro convierten la entrada de CA en CD; el inversor es controlado por un microcontrolador que sintetiza la onda CD en voltaje variable trifásico CA de frecuencia variable. Además, gracias a la integración conjunta de los atenuadores, aislantes, switches, drivers y paneles de control, se puede proporcionar características adicionales, como detección de voltaje de bus de CC, disparo *OV* y *UV*, protección contra sobrecorriente, control de velocidad, posición y temperatura, monitoreo en tiempo real, corrección del factor de potencia (PFC), etc. [12]

La Figura 4 muestra un VFD inteligente típico para esta aplicación con suministro monofásico.

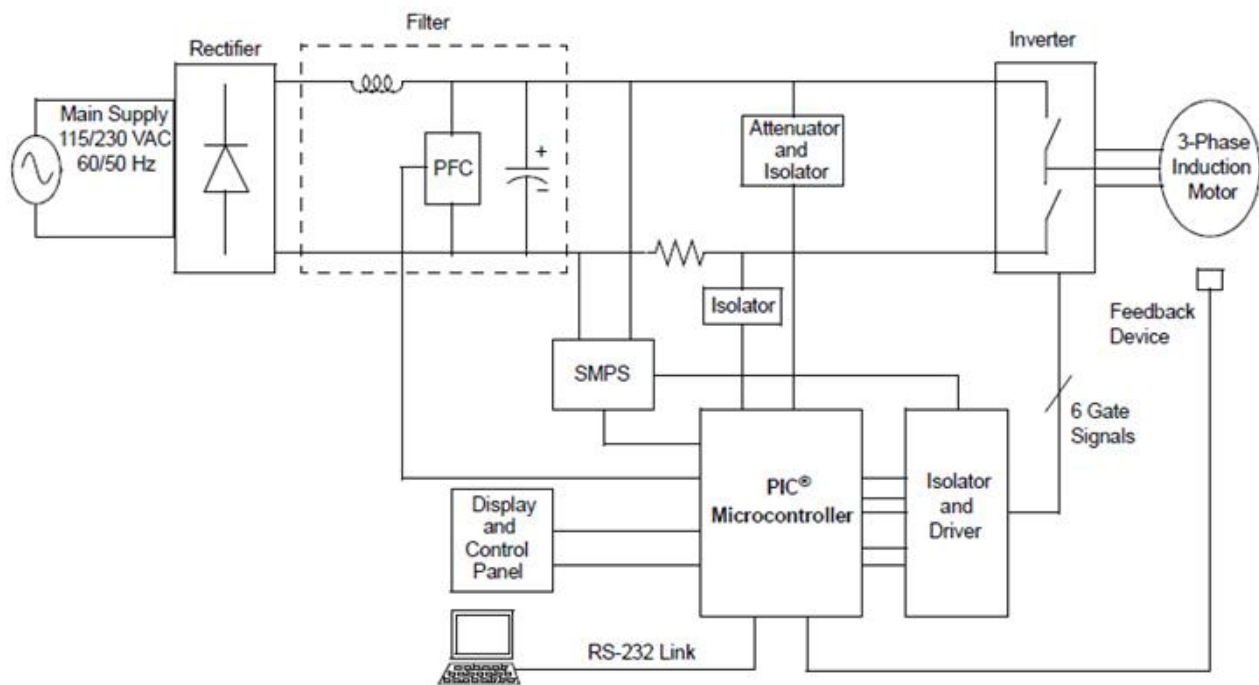


Figura 4. Diagrama de bloques de VFD para motor de inducción trifásico. [12]

Por último, en la Figura 5 se propuso un sistema de control basado en la técnica de optimización que mejora el ahorro de energía de la ventilación en una mina. En este proyecto, presentado en el

artículo *Optimization of Energy Use for Mine Ventilation Fan with Variable Speed Drive*, se utilizó un algoritmo de optimización por enjambres de partículas (PSO) para el control de velocidad de retroalimentación, implementado mediante variadores de frecuencia / velocidad (VSD), los cuales se basan en la corriente del flujo de aire y la presión del aire en las minas subterráneas. Dentro de este sistema se utilizan sensores, microcontroladores, controladores de torque y flujo, rectificadores, inversores, choppers, temporizadores y la carga que representa al ventilador. [13]

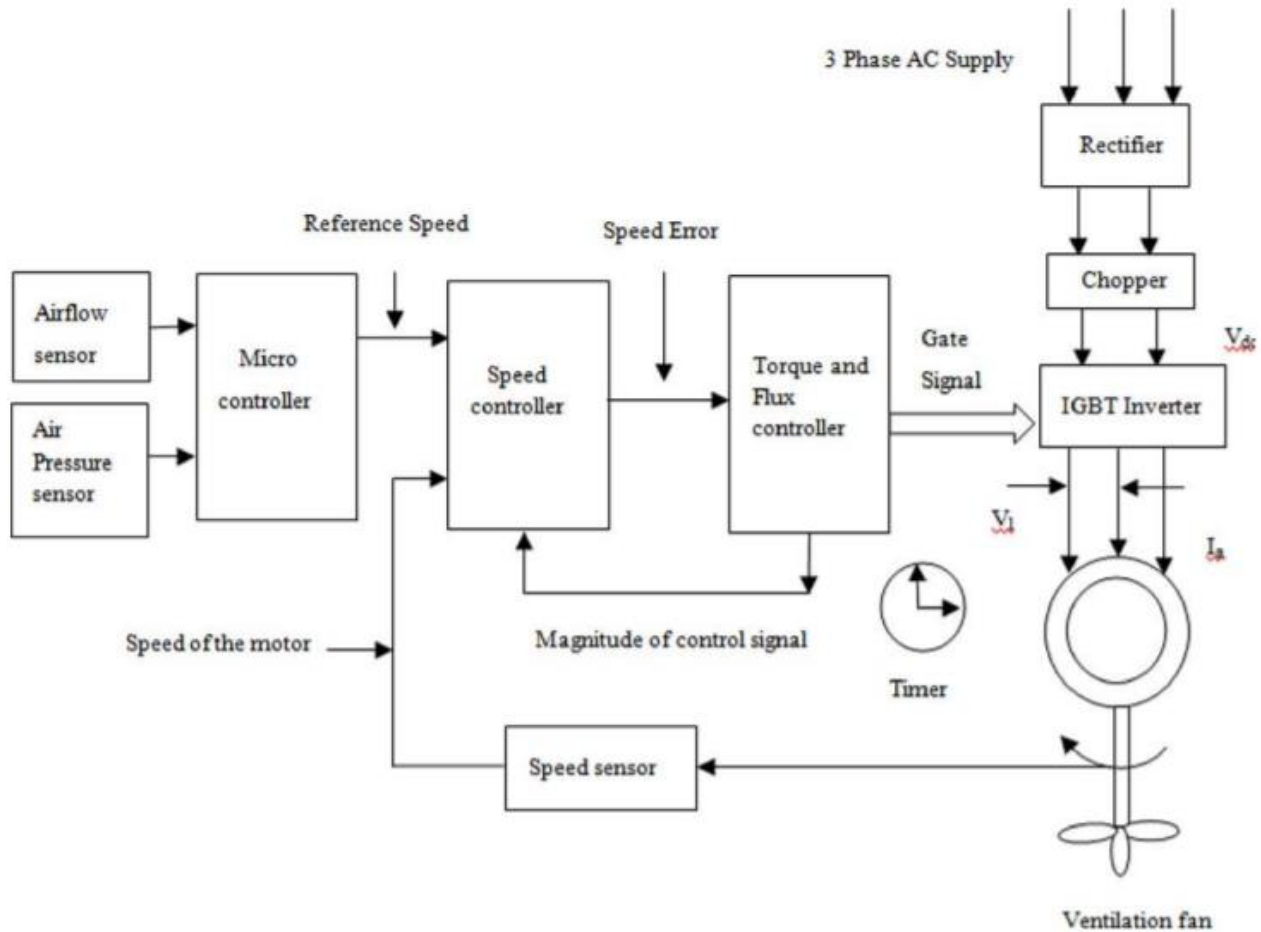


Figura 5. Diagrama de bloques de la optimización por VSD propuesto en el artículo. [13]

4. Realice una comparación entre los arrancadores suaves y los variadores de frecuencia en cuanto a sus características y aplicaciones recomendadas.

Por un lado, los arrancadores suaves sirven para el ajuste continuo del arranque de los motores asíncronos trifásicos mediante el control de la tensión en el motor (también pueden usarse en motores CD, esto al colocarlo entre el motor y la línea de suministro eléctrico. Lo cual permite un arranque con potencia reducida, disminuyendo daños por descargas eléctricas y mecánicas. [14] [15]

El arrancador suave integra accionamientos de control: controlador que enciende y apaga la corriente en el motor, y protección contra sobrecargas: evita el consumo de corrientes exageradas, y previene el sobrecalentamiento. Asimismo, los arrancadores suaves se utilizan para evitar sobrecargar el sistema de distribución de energía, y para evitar el desgaste innecesario del equipo mediante la reducción del par de arranque. Cabe destacar que estos dispositivos tienen propiedades más adecuadas para aplicaciones específicas; por lo que para hacer la selección adecuada es necesario consultar las especificaciones en las hojas de datos. [14] [15]

Sus características les permiten ser usados en aplicaciones donde se requiera el control del torque de arranque o parada y donde se requiera limitar los picos de corriente debido a variaciones rápidas de las características del sistema como la velocidad. Entre ellos, ventiladores, bombas centrífugas, bandas transportadoras, compresores, molinos y mezcladoras. [14] [15]

Por otro lado, el uso de los variadores de frecuencia trae méritos en cuanto al ahorro de energía al proporcionar un control. El sistema de accionamiento del motor de velocidad variable es más eficiente que todos los demás métodos de control de flujo como válvulas, turbinas, transmisiones hidráulicas y amortiguadores. Además, brindan mayor confiabilidad que los enfoques mecánicos tradicionales como el uso de válvulas, engranajes, persianas o turbinas para controlar la velocidad y el flujo. Así como proporcionar variaciones de velocidad óptimas en aplicaciones donde el rango de velocidad de operación puede ser amplio. [2]

Por su parte, los variadores de frecuencia facilitan el arranque suave de motores grandes y eliminan los inconvenientes asociados con corrientes de entrada, reduciendo las posibilidades de daños en el aislamiento o el devanado y prolonga la vida útil del motor. Razón por la cual ofrece una mejor

protección al motor contra problemas como sobrecargas electrotérmicas, fallas de fase, sobrevoltaje, bajo voltaje, entre otros. Otra característica es que mantienen el alto factor de potencia. [2]

Algunas de sus aplicaciones más comunes son principalmente en industrias para motores de inducción cuya potencia nominal varía entre los kW y MW; en sistemas de tracción; también se utilizan en ascensores, escaleras mecánicas y sistemas de bombeo modernos, refrigeradores energéticamente eficientes, aire acondicionado y economizadores de aire exterior. [2]

5. Explique la función de una resistencia de frenado, en qué terminales del V1000 se conecta e indique un modelo que podría utilizar en combinación con este variador.

La función de las resistencias de frenado consiste en detener un motor de una manera bastante suave, en la que no existan rozamientos ni elementos mecánicos forzados. A pesar de ser resistencias normales, su funcionalidad radica en que son ideales para disipar energía en forma de calor [16].

Respecto a un modelo para la utilizar con este equipo, la selección del mismo depende de la funcionalidad en la que está trabajando el equipo, ya que se puede seleccionar una entrada monofásica o trifásica, con una salida trifásica o monofásica, y también del valor de la tensión de entrada y salida. Sin embargo, a modo de ejemplo, se presenta a continuación un modelo útil para la mayoría de los modos de funcionamiento:

- SKU 1689, resistencia de frenado $25\ \Omega$ / 5.5 kW / para VF. 49AMP Yaskawa (SKS-25R).

Para el variador de frecuencia V1000, la resistencia de frenado se debe conectar entre las terminales B1 y B2 como se muestra en el siguiente diagrama.

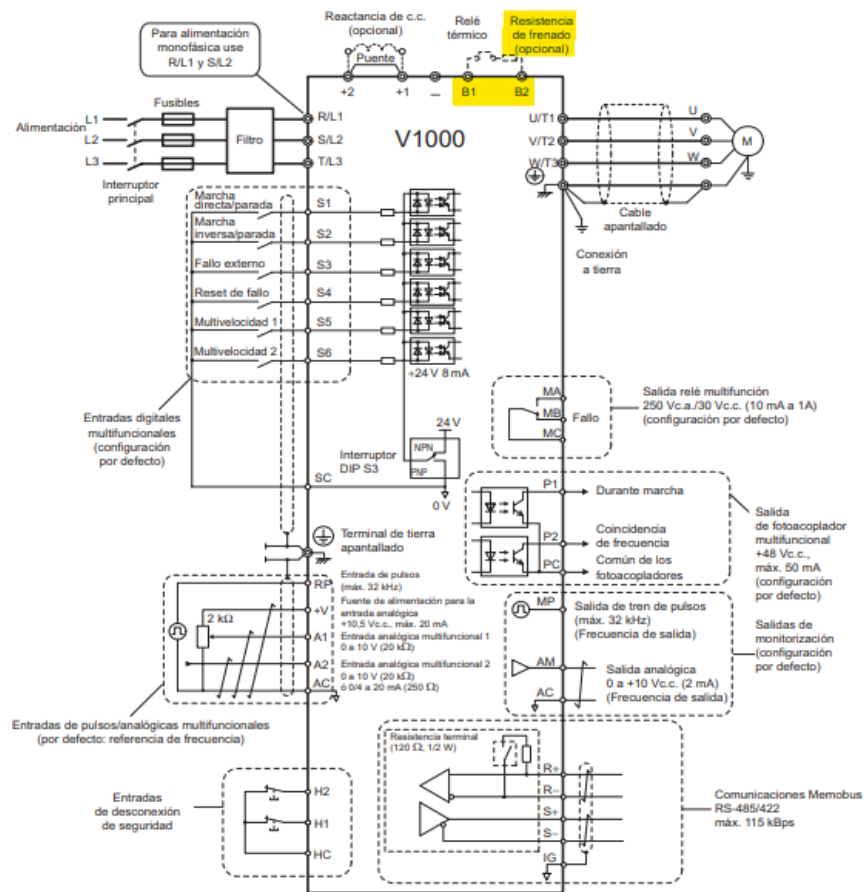


Figura 6. Diagrama de conexión para el variador de frecuencia Yaskawa V1000. [10]

Referencias

- [1] Centro de Formación Técnica para la Industria , «Qué es y qué hace un Variador de Frecuencia,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.cursosaula21.com/que-es-variador-de-frecuencia/> .
- [2] Electrical 4 U, «Variable Frequency Drive or VFD.,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.electrical4u.com/variable-frequency-drive/> .
- [3] A. Álzate, D. Murillo Yarce y M. González Valencia, «Control de velocidad mediante relación voltajefrecuencia,» *Scientia et Technica Año XVI, Universidad Tecnológica de Pereira.*, n° 49, 2011.
- [4] Mecanica Moderna, «CONTROL DE LA VELOCIDAD POR VARIACIÓN DE LA TENSIÓN DE RED. CASO PARTICULAR DE LOS ARRANCADORES ESTÁTICOS,» Mecanica Moderna, 2019. [En línea]. Available: <https://mecmod.com/control-de-la-velocidad-por-variacion-de-la-tension-de-red-caso-particular-de-los-arrancadores-estaticos/>. [Último acceso: 10 Octubre 2021].
- [5] ABB, «Guía de Accionamientos de Velocidad Variable.,» 02 Octubre 2000. [En línea]. Available: https://library.e.abb.com/public/9a99a6aac66b96e7c1256d280040e83b/Technical_Guide_No_4.pdf. [Último acceso: 10 Octubre 2021].
- [6] AmbiTech Electronic Brakes, «AC Motor Braking Methods: A Quick Guide,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.ambitechbrakes.com/ac-motor-braking-methods-a-quick-guide/> .
- [7] Atersa Grupo Elecnor, «Filtros para Variadores,» [En línea]. Available: <https://www.atersa.com/Common/pdf/atersa/manuales-usuario/bombeo-de-agua/FiltrosVariadores-FUJI.PDF>. [Último acceso: 10 Octubre 2021].
- [8] S. Hidalgo, «Consideraciones para seleccionar y configurar un VDF,» Revista ElectroIndustria, Julio 2015. [En línea]. Available: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2555>. [Último acceso: 11 Octubre 2021].
- [9] J. R. V. Sancho, «Formación para la industria 4.0,» [En línea]. Available: <https://automatismoindustrial.com/curso-variadores-de-frecuencia/configuracion-de-salidas/>. [Último acceso: 13 Octubre 2021].
- [10] Yaskawa, «Inversor de CA YASKAWA - V1000,» [En línea]. Available: <https://www.yaskawa.com/delegate/getAttachment?documentId=TOSPC71060622&cmd=documents&documentName=TOSPC71060622.pdf>. [Último acceso: 13 Octubre 2021].

- [11] AC Drive China, «Variable Frequency Drive for Constant Pressure Water Supply,» 2021. [En línea]. Available: <http://www.acdrive-china.com/applications/vfd-for-constant-pressure-water-supply.htm>.
- [12] Laxmi Hydraulics Pvt. Company, «VFD School - Industry applications,» 2017. [En línea]. Available: http://lhp.co.in/index_without_right.php?file=vfd_school .
- [13] T. M. a. S. B. V. R. Babu, «Optimization of energy use for mine ventilation fan with variable speed drive,» *2016 International Conference on Intelligent Control Power and Instrumentation (ICICPI)*, pp. 148-151, 2016.
- [14] E. Csanyi, «13 Features and advances of using electronic soft starters for a motor starting,» 2014. [En línea]. Available: <https://electrical-engineering-portal.com/13-features-and-advances-of-using-electronic-soft-starters-for-a-motor-starting>.
- [15] CALCO, «The Many Types and Uses of Soft Starters,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.galco.com/comp/prod/.htm>.
- [16] Fidestec, «Resistencias de frenado, qué son y cómo funcionan,» [En línea]. Available: <https://fidestec.com/blog/resistencias-frenado/>. [Último acceso: 13 Octubre 2021].