



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i6.2330>

Ciencias técnicas y aplicadas
Artículo de investigación

*Diseño y modelado de un variador de velocidad para motores trifásicos en
MATLAB/Simulink*

*Design and modeling of a variable speed drive for three-phase motors in
MATLAB / Simulink*

*Projeto e modelagem de uma unidade de velocidade variável para motores
trifásicos em MATLAB / Simulink*

Ismael Elías Erazo-Velasco^I
erazoismael@yahoo.com
<https://orcid.org/0000-0002-7647-4611>

Byron Fernando Chere-Quiñónez^{II}
bchere8077@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-1886-6147>

Juan Carlos Anchundia-Morales^{III}
anchundiamjc27@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-7607-9363>

Alejandro Javier Martínez-Peralta^{IV}
amartinez8875@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-1176-5001>

Correspondencia: erazoismael@yahoo.com

***Recibido:** 19 de septiembre de 2021 ***Aceptado:** 30 de septiembre de 2021 * **Publicado:** 12 de octubre de 2021

- I. Investigador Independiente, Experto en Sistema de Control y Automatización, Master en Energía Eléctrica y Electrotecnia en ASTRAKHAN STATE TECHNICAL UNIVERSITY, Ingeniero Eléctrico de la Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Ecuador.
- II. Ingeniero Eléctrico, Estudiante Investigador de Posgrado de la Maestría de Investigación en Electricidad, Mención Sistemas Eléctricos de Potencia en la Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- III. Ingeniero Eléctrico, Investigador Independiente, Gerente de la Empresa JUANK. AM, Esmeraldas, Ecuador.
- IV. Ingeniero Eléctrico, Estudiante Investigador de Posgrado de la Maestría de Investigación en Electricidad, Mención Sistemas Eléctricos de Potencia en la Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.

Resumen

Los motores trifásicos son el corazón en la industria ya que los procesos se los hace mediante el uso diario de estos. Este artículo presenta un enfoque novedoso para el diseño y simulación de un variador de velocidad para motores trifásicos, explicando su funcionamiento y describiendo sus partes fundamentales. La operación de velocidad variable del motor permite ahorros de energía sustanciales mediante la implementación de variadores de frecuencia. El objetivo de generar una salida de frecuencia variable adecuada para ser alimentada al motor de inducción con el fin de controlar la velocidad variable. También se presentan las herramientas especializadas del MATLAB/Simulink las mismas que utilizaremos en el procedimiento del diseño, y en la parte final se analiza un ejemplo de aplicación que utiliza un variador de un motor asíncrono con un rotor de jaula de ardilla.

Palabras claves: Inversor; filtro de frecuencia; rectificador de onda; velocidad síncrona.

Abstract

Three-phase motors are the heart of the industry since the processes are done through the daily use of these. This article presents a novel approach to the design and simulation of a variable speed drive for three-phase motors, explaining its operation and describing its fundamental parts. Variable speed operation of the motor allows substantial energy savings through the implementation of variable frequency drives. The objective of generating a suitable variable frequency output to be fed to the induction motor in order to control the variable speed. The specialized tools of MATLAB / Simulink are also presented, the same that we will use in the design procedure, and in the final part an application example that uses an asynchronous motor drive with a squirrel cage rotor is discussed.

Keywords: Inverter; frequency filter; wave rectifier; synchronous speed.

Resumo

Os motores trifásicos são o coração da indústria, uma vez que os processos são feitos através do uso diário destes. Este artigo apresenta uma nova abordagem para o projeto e simulação de um variador de velocidade para motores trifásicos, explicando seu funcionamento e descrevendo suas partes fundamentais. A operação de velocidade variável do motor permite economias substanciais

de energia por meio da implementação de inversores de frequência. O objetivo é gerar uma saída de frequência variável adequada para alimentar o motor de indução a fim de controlar a velocidade variável. Também são apresentadas as ferramentas especializadas do MATLAB / Simulink, as mesmas que usaremos no procedimento de projeto, e na parte final um exemplo de aplicação que utiliza um accionamento de motor assíncrono com rotor de gaiola de esquilo é discutido.

Palavras-chave: Inversor; filtro de frequência; retificador de onda; velocidade síncrona.

Introducción

Los motores eléctricos juegan un papel preponderante en el uso cotidiano y más aún en la industria donde su aplicación es amplia y constituyen aproximadamente el 85% de todos los tipos, su utilización principalmente es impulsar compresores, ventiladores, bombas y transportadores en la mayoría de las industrias, desde el molino de azúcar y arroz, hasta plantas de acero y cemento, además de ello funcionan con electricidad y necesitan una cierta cantidad de energía eléctrica para realizar su trabajo y proporcionar par y velocidad. La velocidad del motor debe coincidir exactamente con la velocidad requerida para el proceso en cuestión y utilizar sólo la energía necesaria, Sin embargo, un motor de inducción de jaula, un método más popular para implementar la operación del variador de velocidad sería a través del variador de frecuencia (Nurhaida et al., 2019).

Los accionamientos de velocidad variable son sistemas complejos compuestos por componentes de diferente naturaleza: convertidor de potencia, máquina eléctrica y sistema de control. El diseño y la simulación, requieren de un programa especializado para que el usuario desarrolle prototipos y modelos. Este software es el MATLAB/ Simulink, que proporciona al usuario una biblioteca de bloques que representan funciones las mismas que se pueden implementar y además pueden convertir un modelo creado en códigos. El modelado de sistemas es una representación analítica de un sistema soportado por sistemas matemáticos y computables y herramientas que permiten evaluar el impacto de los cambios en diversas variables, así como la selección de recursos óptimos para el proceso analizado (Ricci, Le-Huy, & Simulation, 2003).

Metodología

Convertidor de frecuencia

Los variadores de velocidad o convertidores de frecuencia y son dispositivos utilizados para controlar la velocidad de giro de un motor de C.A. o inducción.

El variador se coloca entre la red y el motor, recibiendo así la tensión de la red a la frecuencia de red (60Hz) y tras convertirla y ondularla produce una tensión de frecuencia variable. La velocidad del motor irá prácticamente proporcional a la frecuencia. Además, el variador también varía el voltaje aplicado al motor para asegurar que existe el par necesario en el eje del motor sin que surjan problemas de calentamiento (Ureña Martín, 2017).

La Figura 1 muestra un esquema básico de un variador de velocidad, vemos que está compuesto por un rectificador, un filtro y un ondulador:

Rectificador

Este puede ser controlado, semicontrolado o no controlado usando diodos o tiristores que veremos en siguiente capítulo. El uso de uno u otro depende de si queremos obtener una tensión de salida fija o variable. En nuestro caso será fija, por lo tanto, utilizaremos un rectificador trifásico no controlado. La función del rectificador es transformar la tensión trifásica de la red de suministro de corriente alterna en corriente continua.

Filtro o bus de continua

Son condensadores de gran capacidad (a veces también se utilizan bobinas) que filtran la corriente continua proveniente del rectificador para obtener un valor de continua estable y proporcionar la potencia reactiva para el funcionamiento del motor.

Ondulador o inversor

Convierte la entrada de continua en una salida trifásica, con valores de tensión, intensidad y frecuencias variables. Esta señal se obtiene por varios procedimientos, pero en nuestro caso utilizaremos señales de aproximación senoidal mediante la modulación por anchura de impulsos. Más conocido como PWM con uso de IGBT.

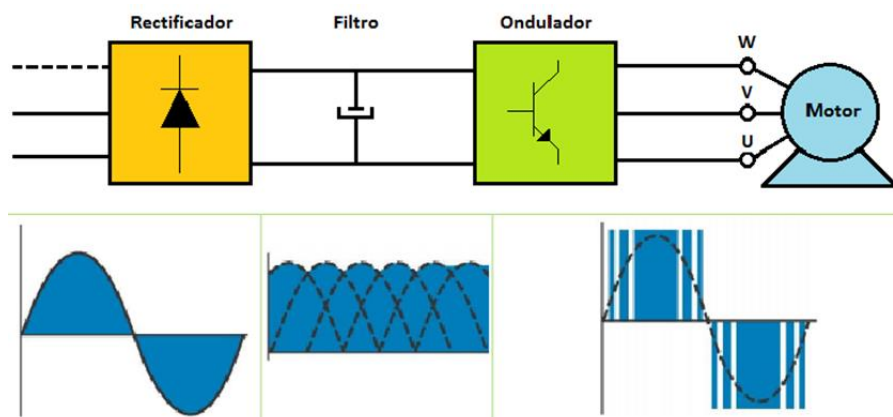


Figura 1. Esquema básico de un variador de velocidad.

Fuente: Ureña Martín, 2017

Principio de funcionamiento

El variador de frecuencia se basa en el principio de que la velocidad síncrona del motor de CA está determinada por la frecuencia de la corriente de CA suministrada y el número de polos en el estator de acuerdo con la relación.

$$RPM = \frac{60 \times f}{P}$$

Dónde

RPM = Son la revoluciones por minuto

F = Frecuencia de CA (hercios)

P = Número de polos

Ventajas y desventajas del uso de variador

En la Tabla 1 procederemos a resumir las algunas de las ventajas y desventajas de un variador de velocidad.

Tabla 1. Ventajas y desventajas que ofrece un variador de velocidad.

Ventajas	Desventajas
El variador de velocidad no tiene elementos móviles, ni contactos.	Es un sistema caro, pero rentable a largo plazo.
La conexión del cableado es muy sencilla.	Instalación, mantenimiento y programación solo puede ser realizado por personal cualificado.
Evita picos de intensidad en el arranque el motor.	La Instalación o aislación debe ser perfecta. De no hacerlo puede derivar ruidos e interferencias que

<p>El par es controlable a cualquier velocidad. No tiene factor de potencia ($\cos\phi = 1$) evitando de esta manera el uso de baterías de condensadores y el consumo de energía reactiva. Los arranques y paradas del motor son controladas. Protege completamente al motor. El consumo de energía se adapta a la exigencia del motor.</p>	<p>podrían afectar a otros elementos electrónicos cercanos. Si la aplicación es sencilla, supone una gran inversión pudiendo ser sustituido por un contactor-guardamotor. Las averías no se pueden reparar in situ (envíos a la casa o servicio técnico).</p>
--	---

Fuente: Ureña Martín, 2017.

Diseño y simulación del variador de velocidad en MATLAB/Simulink

Para simular el convertidor de frecuencia, utilizaremos un motor asíncrono con un rotor de jaula de ardilla con dos rotores debajo de acuerdo con el siguiente diagrama que lo observamos a continuación en la Figura 2, ahí explicaremos cómo funciona.

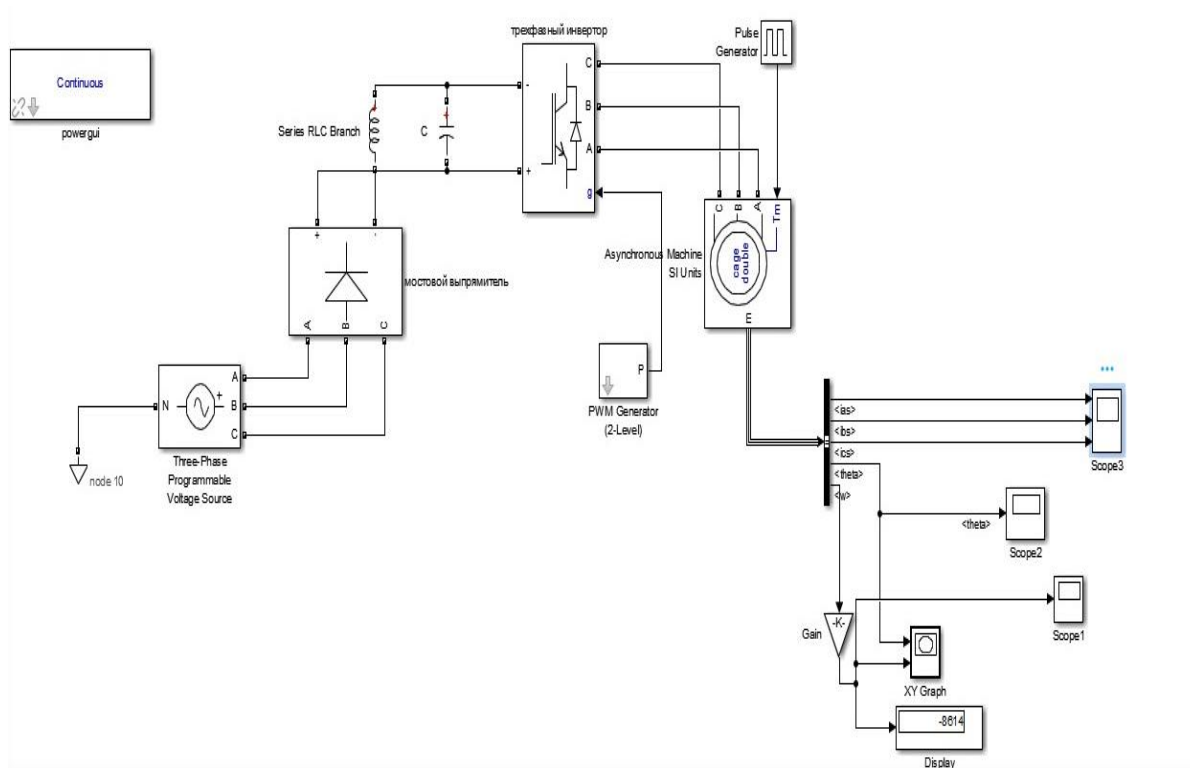


Figura 2. Esquema principal en MATLAB/Simulink.

Después de realizar las conexiones de los diferentes bloques que forman el esquema principal del circuito se determinaron las variables a medir las cuales son las siguientes:

1. Las corrientes en el estator de motor Ia, Ib, Ic
2. Torque electromecánico del motor
3. Velocidad en RPM del motor

Luego de saber que variables se van a medir en el Scope, realizamos la simulación y obtuvimos los siguientes resultados.

Resultados

Corrientes en el estator

En la Figura 3 podemos observar la corriente en el estator, observamos que la corriente de arranque es un poco elevada, pero una vez que el motor arranca el valor de la fase Ia, Ib, Ic se estabilizan en un valor de 0.5 amperios de corriente.

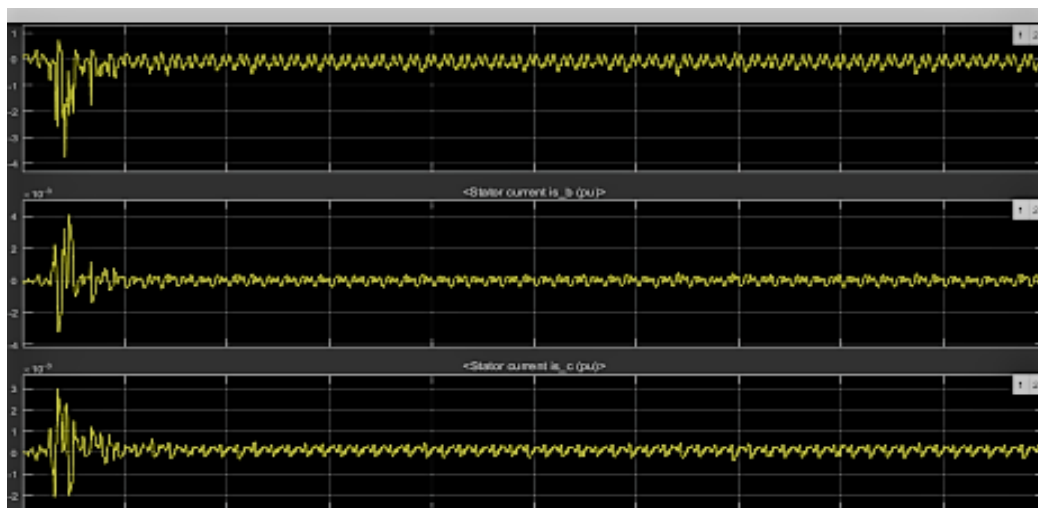


Figura 3. Corrientes en las fases del estator Ia, Ib, Ic.

Torque electromagnético

En la Figura 4 podemos apreciar que al momento en que el motor arranca el torque electromagnético es bien grande, esto se debe a que al momento de arranque del motor absorbe de 3 a 7 veces más corriente eléctrica de la nominal, con esta corriente absorbida se genera el campo magnético rotante necesario para que la maquina funcione.

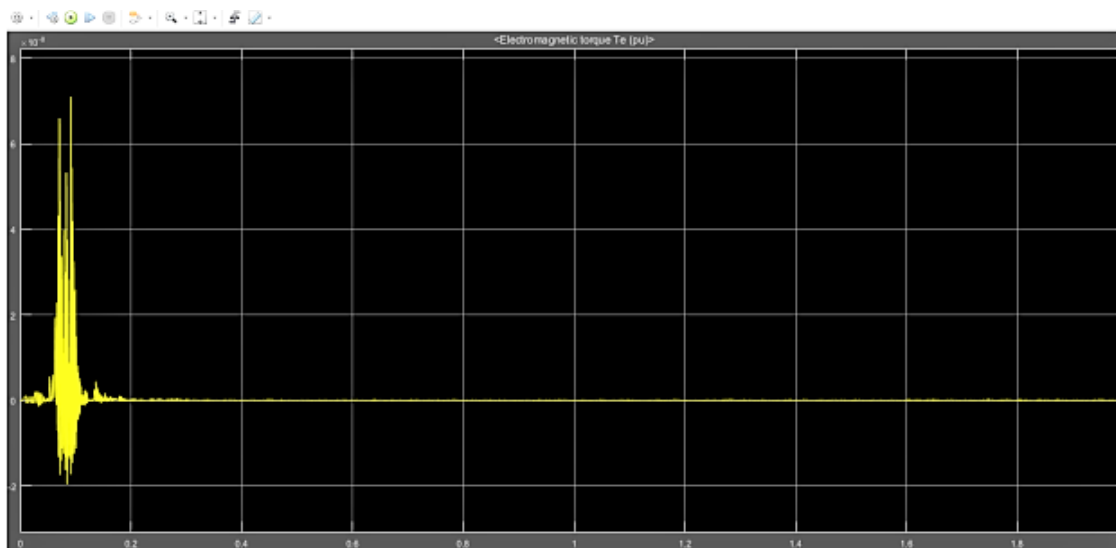


Figura 4. Torque electromagnético.

Velocidad del motor al variar la frecuencia RPM

En la Figura 5, la curva nos indica el motor busca la estabilidad a medida que se energiza, también podemos observar que al ir variando la frecuencia la velocidad de estabilidad o de operación también varía, y se estabiliza a 1800 rpm, pero esa velocidad puede variar simplemente aumentando o reduciendo la frecuencia.

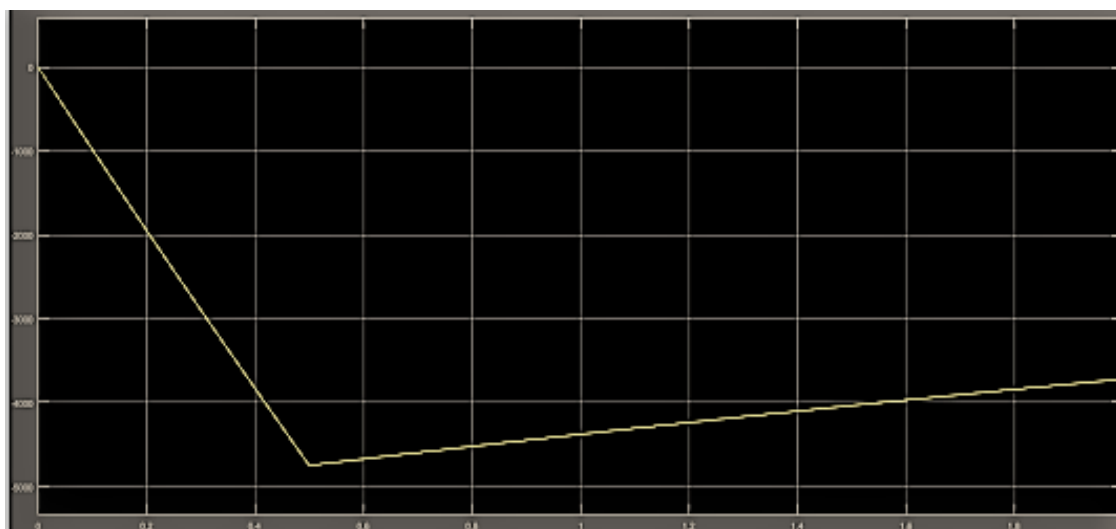


Figura 5. Velocidad en RPM del motor.

Conclusiones

- Los convertidores de frecuencia o convertidores son sistemas que se disponen entre la fuente de alimentación eléctrica y los motores eléctricos. Se utilizan para regular la velocidad de los motores de corriente alterna (CA).
- Al regular la frecuencia de la corriente que recibe el motor, el convertidor de frecuencia consigue dotar a este motor de la electricidad que necesita, evitando así pérdidas de energía y optimizando el consumo.

Mirando los resultados del modelado de nuestro sistema, podemos sacar las siguientes conclusiones:

- La velocidad del motor eléctrico varía en proporción a la frecuencia amplificada por la unidad generadora PWM.
- El par mecánico y el par electromagnético de la máquina durante el arranque de la máquina son excelentes, pero con el tiempo, el par electromagnético disminuye hasta que se estabiliza cuando la máquina rompe la inercia.
- Las corrientes que absorbe el motor durante la ignición son altas y no sinusoidales, pero al poco tiempo disminuyen hasta alcanzar una onda casi sinusoidal.

Referencias

1. Nurhaida, A., Firdaus, A. A., Kamarudin, K., Azmi, S., Ridzuan, M., & Hafis, S. (2019). Design and development of three-phase voltage source inverter for variable frequency drive. Paper presented at the IOP conference series: Materials science and Engineering.
2. Ricci, F., Le-Huy, H. J. M., & Simulation, C. i. (2003). Modeling and simulation of FPGA-based variable-speed drives using Simulink. 63(3-5), 183-195. doi:[https://doi.org/10.1016/S0378-4754\(03\)00066-1](https://doi.org/10.1016/S0378-4754(03)00066-1)
3. Ureña Martín, M. (2017). Diseño de un variador de velocidad CA.

©2020 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).