



RENIECYT - LATINDEX - Research Gate - DULCINEA - CLASE - Sudoc - HISPANA - SHERPA UNIVERSIA - E-Revistas - Google Scholar  
DOI - REDIB - Mendeley - DIALNET - ROAD - ORCID

## Title: Circuito de arranque suave para un motor monofásico de corriente alterna conectado a un sistema fotovoltaico

Authors: BRAVO-TAPIA, Jeremías, GARCÍA-MARTÍNEZ, Eric, RAMOS-GUZMÁN, Francisco y  
ESTÉVEZ-MARTÍNEZ, Yoxkin

Editorial label ECORFAN: 607-8695

BCIERMMI Control Number: 2019-264

BCIERMMI Classification (2019): 241019-264

Pages: 13

RNA: 03-2010-032610115700-14

### ECORFAN-México, S.C.

143 – 50 Itzopan Street  
La Florida, Ecatepec Municipality  
Mexico State, 55120 Zipcode  
Phone: +52 1 55 6159 2296  
Skype: ecorfan-mexico.s.c.  
E-mail: contacto@ecorfan.org  
Facebook: ECORFAN-México S. C.

Twitter: @EcorfanC

[www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org)

### Holdings

Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic
Spain	El Salvador	Republic
Ecuador	Taiwan	of Congo
Peru	Paraguay	Nicaragua



ECORFAN®

## Circuito de Arranque Suave para un Motor Monofásico de Corriente Alterna Conectado a un Sistema Fotovoltaico



# INTRODUCCIÓN

**Este trabajo describe el desarrollo de un circuito eléctrico para ser utilizado como Arrancador Suave en motores monofásicos de corriente alterna conectados a sistemas fotovoltaicos. El arranque directo de un motor conectado a un inversor activa su protección para minimizar y eliminar los altos picos de corriente que se generan debido a que no es capaz de soportar la corriente que el motor demanda; para contrarrestar esta situación, existen arrancadores suaves o variadores de frecuencia y otras técnicas utilizadas para motores trifásicos; sin embargo, no se ha hecho lo mismo para los motores monofásicos, por lo que el objetivo de esta investigación fué diseñar e implementar un circuito eléctrico de arranque suave para contrarrestar la marcha inicial de un motor monofásico de corriente alterna conectado a un sistema fotovoltaico. La metodología de desarrollo consistió en el diseño, la construcción, la implementación y la validación del circuito propuesto, utilizando para ello, un motor monofásico de  $\frac{1}{4}$  Hp y un inversor de 1,500 W. Los resultados obtenidos mostraron una reducción de la potencia con la cual inició el arranque directo que se observó de 930 watts, a 180 watts que presentó el motor con el circuito de arranque suave.**



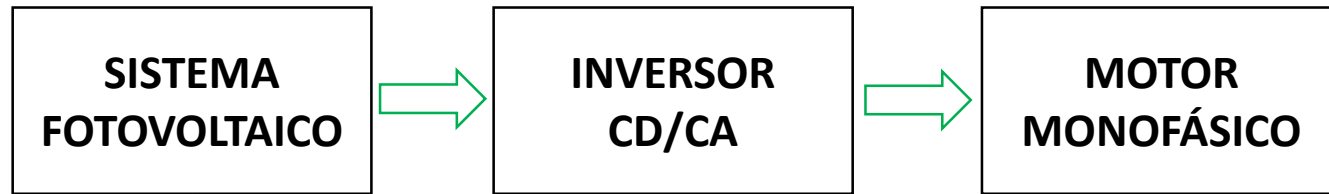
ECORFAN®

# Circuito de Arranque Suave para un Motor Monofásico de Corriente Alterna Conectado a un Sistema Fotovoltaico



## INTRODUCCIÓN

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ENERGÍA RENOVABLE Y EFICIENCIA ENERGÉTICA**



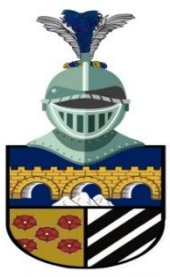
Se requiere implementación de sistemas fotovoltaicos a menor costo, tanto en el campo, en el hogar, en pequeñas y medianas empresas y a nivel industrial.

Demanda de corriente durante el arranque de un motor es mucho más elevada que la de operación estabilizada del motor esto proporciona un consumo más elevado que la que soporta el inversor. Esto requiere un inversor de alto costo.

Actualmente existen arrancadores suaves o variadores de frecuencia y otras técnicas de arranque suave que se utilizan para motores trifásicos y lo que se requiere para este caso es un arrancador suave para motores monofásicos.

### **SOLUCIÓN:**

**Dispositivo de arranque suave para contrarrestar la marcha inicial de un motor monofásico de corriente alterna conectado a un sistema fotovoltaico mediante dispositivos electrónicos.**



ECORFAN®

# Circuito de Arranque Suave para un Motor Monofásico de Corriente Alterna Conectado a un Sistema Fotovoltaico



## INTRODUCCIÓN

El arranque de motores convencional directo o estrella-triángulo origina problemas eléctricos, por lo que desde hace años los fabricantes vienen desarrollando soluciones para mitigar los efectos negativos que provocan estos picos de intensidad.

- a. Problemas eléctricos
- b. Problemas mecánicos
- c. Problemas funcionales

Los arrancadores suaves son la solución idónea y sencilla para todos estos problemas. Con los arrancadores suaves es posible realizar arranques y paros suavemente, reduciendo al mínimo los esfuerzos eléctricos y mecánicos.



ECORFAN®

## Circuito de Arranque Suave para un Motor Monofásico de Corriente Alterna Conectado a un Sistema Fotovoltaico



# INTRODUCCIÓN

## Desarrollo del diseño e implementación circuitos de arranque suave para motores monofásicos

Controladores de motores que accionan las bombas fotovoltaicas (Miguel Llopis Morales, 2018).

El control de arranque del motor con los circuitos electrónicos de potencia es necesario donde se requiere el arranque suave (Ayyildiz, Shok, Soygenc, & Ergene, 2018)

El uso de arrancadores suaves o controladores de velocidad variable monofásicos puede resolver adecuadamente estos dos problemas. Sin embargo, estas soluciones son caras (Neri & Lyra, 2006)

Un motor de inducción fotovoltaico está acoplado mecánicamente a la bomba de agua. Los paneles solares que esencialmente proporcionan voltaje de CC se utilizan para bombear agua utilizando un motor de inducción...la frecuencia suministrada debe cambiarse para alcanzar la máxima potencia (Khan, Khan, & Hussain, 2015).

Para obtener la potencia de salida máxima del panel solar, el inversor funciona con un arranque suave para minimizar la corriente de arranque del motor... Se presenta un novedoso sistema de bombeo de agua con energía solar, especialmente adecuado para su uso en áreas rurales o remotas (Bhagyashree & Khule, 2017)



# Circuito de Arranque Suave para un Motor Monofásico de Corriente Alterna Conectado a un Sistema Fotovoltaico



## METODOLOGÍA

ECORFAN®

La prueba a realizar con el desarrollo del circuito es observar el arranque progresivo para un motor monofásico de pequeña potencia para ser conectado al inversor de un sistema fotovoltaico autónomo, los casos a observar se muestran en las figuras 1, 2 y 3 en las que se logra visualizar la diferencia básica entre el arranque en línea directa (DoL), el arranque en estrella-triángulo y el arranque suave, en cuanto a tensión del motor (V), intensidad del motor (I) y par del motor (M) en relación con el tiempo (t) y velocidad del motor (n) (Kling, 2002).

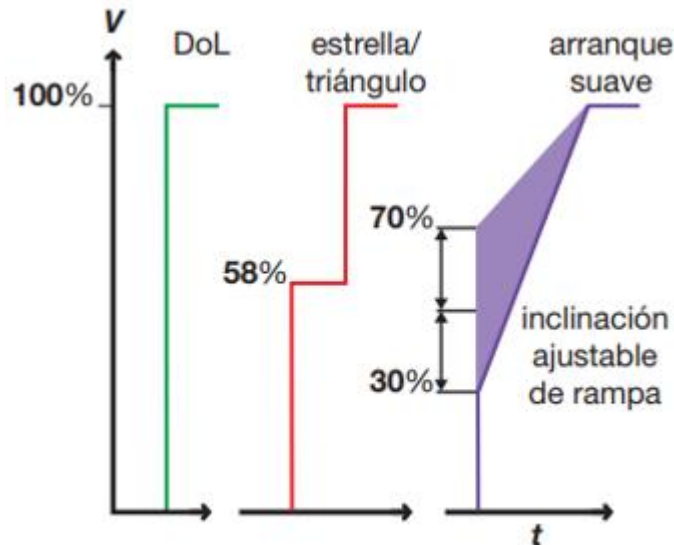


Figura 1 Curvas de tensión (Kling, 2002).

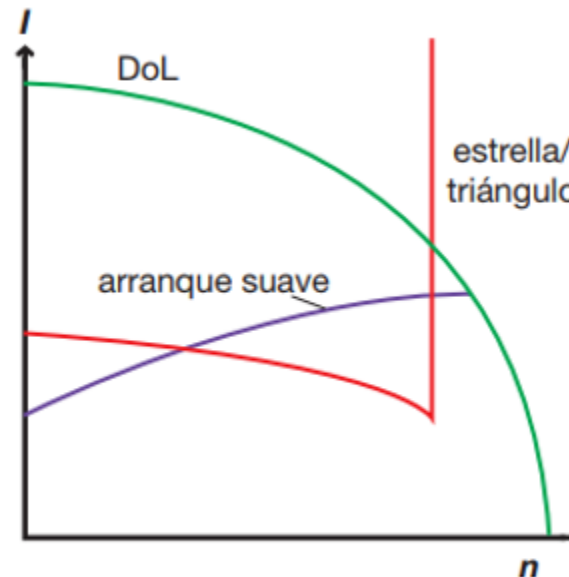


Figura 2 Curvas de corriente (Kling, 2002).

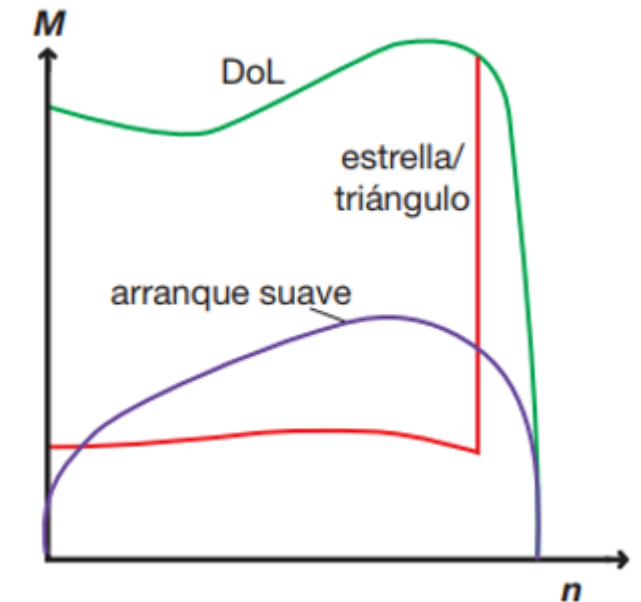


Figura 3 Curvas de par (Kling, 2002).



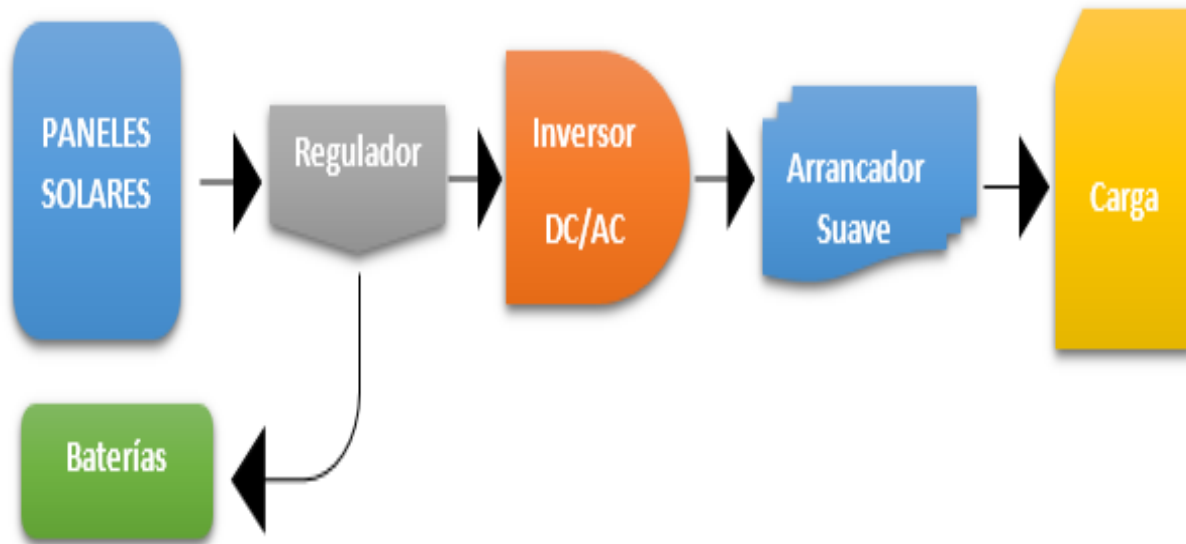
# Circuito de Arranque Suave para un Motor Monofásico de Corriente Alterna Conectado a un Sistema Fotovoltaico



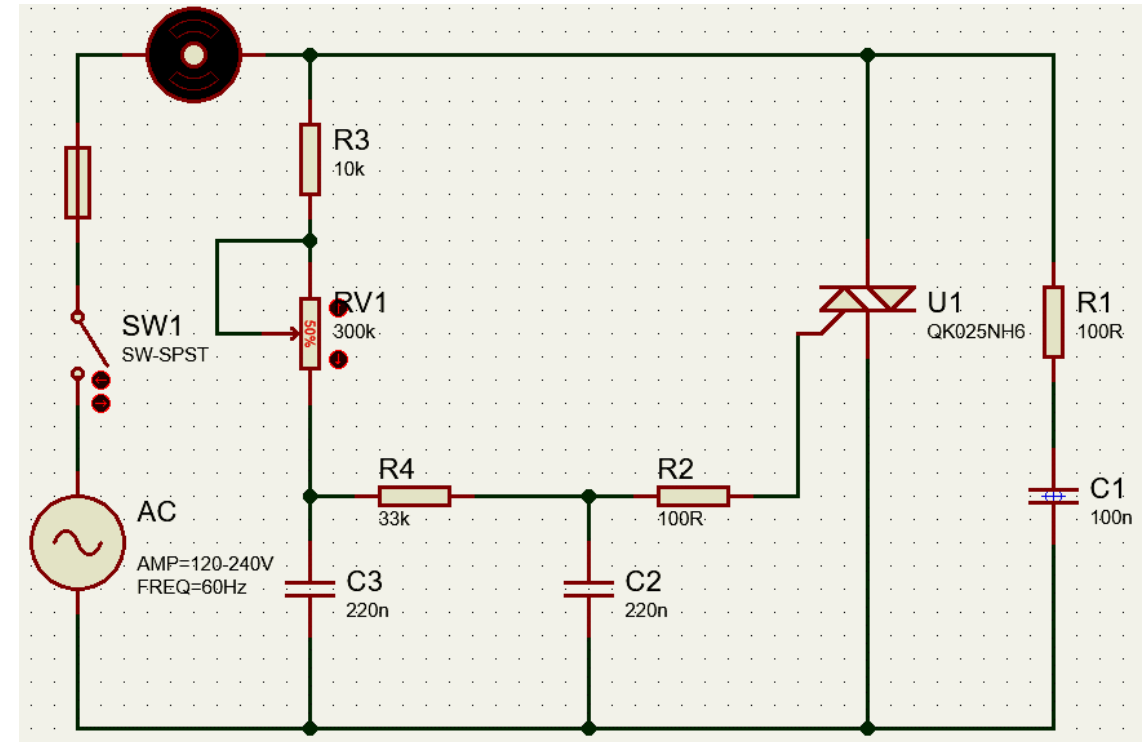
## METODOLOGÍA

ECORFAN®

A continuación, se muestra el diagrama correspondiente a la ubicación de cómo estará conectado el Arrancador Suave al sistema fotovoltaico. Queda conectado entre el inversor y la carga o el motor. También se muestra el circuito utilizado.



**Figura 4** Estructura de conexión del Arrancador Suave.



**Figura 8** Circuito elegido como arrancador suave.



ECORFAN®

# Circuito de Arranque Suave para un Motor Monofásico de Corriente Alterna Conectado a un Sistema Fotovoltaico



## METODOLOGÍA

### Pruebas realizadas con motores diferentes de baja potencia.

#### Prueba en arranque directo.

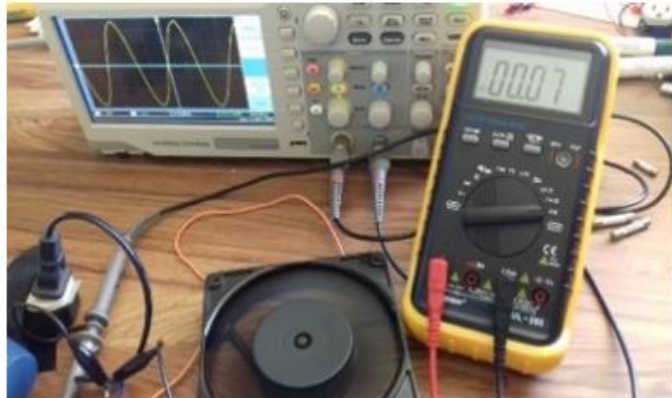


Figura 9 Medición de corriente en arranque directo.



Figura 10 Medición de voltaje en arranque directo.

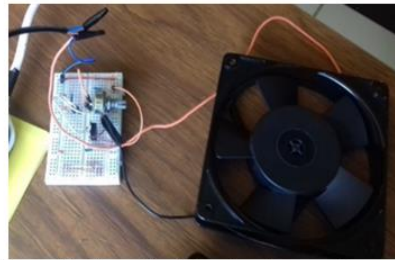


Figura 11 Conexión del motor al arrancador suave.



Figura 12 Mediciones al comenzar el arranque del motor. Medición 1.



Figura 13 Mediciones con incremento de velocidad en el arranque del motor. Medición 2.



Figura 14 Gráfica de medición al incrementar la velocidad. Medición 2.



Figura 15 Mediciones con incremento de velocidad en el arranque del motor. Medición 3.

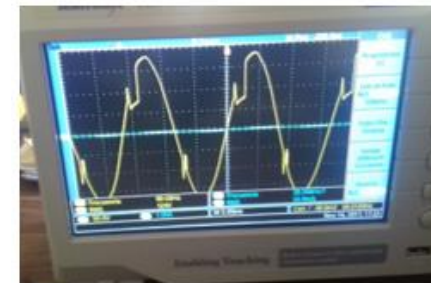


Figura 16 Gráfica de medición al incrementar la velocidad. Medición 3.

#### Prueba con arranque Suave.

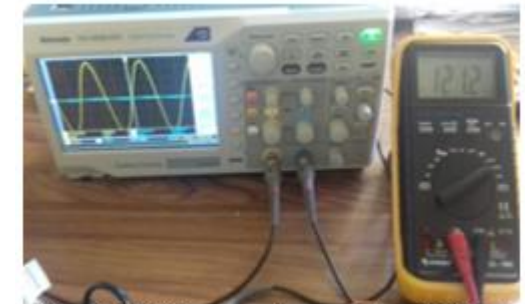


Figura 17 Mediciones con incremento de velocidad al 100% en el motor. Medición 4.

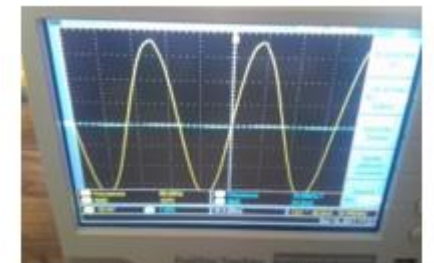


Figura 18 Gráfica de medición al incrementar la velocidad al 100%. Medición 4.





ECORFAN®

# Circuito de Arranque Suave para un Motor Monofásico de Corriente Alterna Conectado a un Sistema Fotovoltaico METODOLOGÍA



## Pruebas y mediciones realizadas en arranque directo con un motor de 120V de CA a ¼ Hp.



Figura 19 Mediciones de voltaje y corriente en arranque directo.



Figura 22 Arranque del motor conectado al Arrancador Suave.



Figura 25 Medición de corriente mínima al estar activo al 100%.



Figura 21 Medición de potencia en arranque directo.



Figura 23 Medición de potencia.



Figura 24 Medición de voltaje.



Figura 26 Medición de factor de potencia.



ECORFAN®

# Circuito de Arranque Suave para un Motor Monofásico de Corriente Alterna Conectado a un Sistema Fotovoltaico



## RESULTADOS



Figura 27 Medición de potencia en arranque suave de 180 W.



Figura 29 Circuito Arrancador Suave.



Figura 28 Medición de potencia en arranque directo de 930 W.



Figura 30 Conexión del Arrancador Suave con el inversor DC/AC.

Se identificó que la corriente que demanda el motor conectado con el Arranque Suave es más factible que en Arranque Directo; la corriente que demanda el motor cuando se estabiliza es muy baja comparada con el de arranque directo, es decir que el motor puede trabajar a máxima capacidad sin quemarse por el sobrecalentamiento que se genere.

La diferencia entre la potencia es mucha ya que la potencia con la cual inicia el arranque suave es de 180 watts que se muestra en la figura 27 y la del arranque directo es de 930 watts como se observa en la figura 28; provocando que el motor se caliente en el arranque y genere un consumo mayor de corriente; en cambio, el arranque suave no genera calentamiento en el motor y conforme la perilla del potenciómetro se regula la velocidad del motor incrementa sin alterar bruscamente la corriente.



ECORFAN®

# Circuito de Arranque Suave para un Motor Monofásico de Corriente Alterna Conectado a un Sistema Fotovoltaico



## RESULTADOS



Figura 33 Desmontaje y montaje del controlador al sistema de bombeo fotovoltaico.



Figura 31 Identificación de los componentes y etapas del controlador.



Figura 32 Pruebas realizadas de funcionamiento en el laboratorio de Electrónica del ITS AO.

Posteriormente a este resultado se ha realizado una inspección del funcionamiento de un controlador de bombeo fotovoltaico en el que se logró identificar que efectivamente transforma la corriente directa procedente de los paneles a corriente alterna para alimentar una bomba sumergible; se visualizó que cuenta con una red RC para el arranque del motor y protección del circuito con arreglo de relevadores sin TRIAC. En las figuras 31 a 33 se muestran las pruebas realizadas como identificación de componentes y etapas de funcionamiento del controlador en el Laboratorio de electrónica del ITS AO, así como el desmontaje y montaje en el sistema de bombeo fotovoltaico.



ECORFAN®

## Circuito de Arranque Suave para un Motor Monofásico de Corriente Alterna Conectado a un Sistema Fotovoltaico



# CONCLUSIONES

En la actualidad los diversos tipos de arrancadores suaves, sólo son para motores de inducción conectados a fuentes trifásicas, es decir, que sólo son diseñados para este tipo de motores que son usados en la industria. La utilización de un arrancador suave en motores monofásicos es de gran ayuda ya que es capaz de disminuir el consumo de la energía de arranque que estos motores tienen y a su vez se puede incrementar la velocidad del motor desde cero hasta la máxima capacidad sin provocar un alto pico de corriente en el arranque, por lo tanto, permitirá disminuir el costo tan elevado que le genera al consumidor al comprar un inversor de alta potencia.

Con el desarrollo de ésta investigación se han sentado las bases principales para diseñar un circuito de arranque suave para contrarrestar la marcha inicial de un motor monofásico de corriente alterna conectado a un sistema fotovoltaico mediante dispositivos electrónicos; se lograron obtener los resultados teóricos, simulados y prácticos, para que en un futuro, este trabajo sea mejorado implementándose completamente mediante el desarrollo de un controlador completo que incluya la parte de un inversor de onda pura con arrancador suave para motores monofásicos parecido al controlador de los sistemas de bombeo fotovoltaico.



ECORFAN®

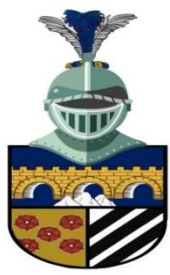
## Circuito de Arranque Suave para un Motor Monofásico de Corriente Alterna Conectado a un Sistema Fotovoltaico



# SUGERENCIAS PARA EL TRABAJO

Se sugiere que para trabajos futuros se mejore el desempeño del circuito incluyendo la incorporación de opto-acopladores, que presentan la ventaja de tener entradas que están eléctricamente aisladas de la corriente alterna o del circuito de potencia realizando una etapa del control mediante la programación de un microcontrolador cambiando el TRIAC para ajustarlo al tamaño de la carga.

En lugar del potenciómetro para el ajuste manual agregarle posiblemente una red de TRIAC's con una configuración de arranque en varios tiempos para permitir un arranque de velocidad gradual por milésimas de segundo hasta alcanzar la velocidad máxima automáticamente.



ECORFAN®

# Circuito de Arranque Suave para un Motor Monofásico de Corriente Alterna Conectado a un Sistema Fotovoltaico



## REFERENCIAS

- Adding a Soft Start to Water Pump Motors - Reducing Relay Burning Problems | Homemade Circuit Projects. (s. f.). Recuperado de <https://www.homemade-circuits.com/adding-soft-start-to-water-pump-motors/>
- Arrancador suave de estado sólido monofásico Carlo Gavazzi RGTS - Informática industrial - Arrancador suave de estado sólido monofásico. (s. f.). Recuperado de [https://www.interempresas.net/Informatica\\_Industrial/FeriaVirtual/Producto-Arrancador-suave-de-estado-solido-monofasico-Carlo-Gavazzi-RGTS-173442.html](https://www.interempresas.net/Informatica_Industrial/FeriaVirtual/Producto-Arrancador-suave-de-estado-solido-monofasico-Carlo-Gavazzi-RGTS-173442.html)
- Ayyildiz, M., Shok, F., Soygenc, O. C., & Ergene, L. T. (2018). Soft Starter Circuit Design for Single Phase Squirrel Cage Induction Motor. *2018 20th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA)*, 1-4. doi:10.1109/SIELA.2018.8447074
- Bhagyashree, S. M. M., & Khule, S. S. (2017). Design of solar water pumping system with FCMA soft starter. *2017 International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*, 951-954. doi:10.1109/ICCMC.2017.8282608

- Boylestad, R. L., & Nashelsky, L. (2009). *Electrónica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos* (10 ed.). México: Pearson Educación.
- Castro, J. D. Á., Rios, O. A. de los, & Merino, Y. (2017). Dispositivo electrónico para controlar la frecuencia en un motor monofásico de corriente alterna. *Scientia Et Technica*, 22(4), 308-314.
- CENTRO DOCUMENTACIÓN DE ESTUDIOS Y OPOSICIONES. (s. f.). Tema 11. *Análisis de circuitos electrónicos para el control de potencia. Dispositivos y elementos utilizados. Clasificación, función, tipología y características. Criterios y procedimientos utilizados para el diseño de estos circuitos.* Recuperado de [https://www.serina.es/empresas/cede\\_muestra/212/TEMA%20MUESTRA.pdf](https://www.serina.es/empresas/cede_muestra/212/TEMA%20MUESTRA.pdf)
- EasyStart 364 (3-ton) Single Phase Soft Starter for Air Conditioners - Micro-Air, Inc. (s. f.). Recuperado de <https://www.microair.net/products/easystart-364-3-ton-single-phase-soft-starter-for-air-conditioners?variant=30176048267>
- González Ponce Abraham. (2016). *Bombeo Solar con Variadores de Frecuencia para Aplicaciones de Regadío* (Tesis). Universidad Rey Juan Carlos.

- Khan, R. A., Khan, L. A., & Hussain, S. Z. (2015). Design and Simulation of 0.75hp Soft Start AC Water Pump Powered by PV Solar System. *Universal Journal of Mechanical Engineering*, 3(4), 113-121. doi:10.13189/ujme.2015.030401
- Kling, S. (2002). Nuevos arrancadores suaves para motores eléctricos. *ABB Control AB*, 1, 56-63.
- Ludeña Jimenez, M. E., & Lapo Camisan, D. L. (2018). Tesis. Recuperado a partir de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/31324>
- Maloney, T. J. (2006). *Electrónica Industrial Moderna* (5ta ed.). México: Pearson Educación.
- Miguel Alonso, A., & Faustino Chenlo, R. (s. f.). *Sistemas de Bombeo Fotovoltaico*. Recuperado de <https://www.eoi.es/es/file/18718/download?token=36ZyZ5Nj>
- Miguel Llopis Morales. (2018). *Diseño de una instalación solar fotovoltaica para bombeo de 55 kW para el riego de la Huerta de Alicante en Muxamel*. (Tesis de maestría, Escuela Técnica Superior Ingenieros Industriales de Valencia). Recuperado de <https://riunet.upv.es/handle/10251/110369>

- Neri, A. L., & Lyra, A. C. C. (2006). Starting Control Using Angle Adjustment of the Double Dimmer Supply Method for Single-Phase Induction Motor. *2006 12th International Power Electronics and Motion Control Conference*, 979-983. doi:10.1109/EPEPEMC.2006.4778527
- Orellana Zea, A. A., & Pintado Garate, I. E. (2019). *Desarrollo de un microinversor para la optimización del arranque en motores monofásicos*. Recuperado de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17008>
- TODOPRODUCTIVIDAD: La tecnología del arranque suave de los motores. (2011, marzo 12). Recuperado de <http://todoproductividad.blogspot.com/2011/03/la-tecnologia-del-arranque-suave-de-los.html>



**ECORFAN®**

© ECORFAN-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIERMMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- ([www.ecorfan.org/](http://www.ecorfan.org/) booklets)