

Revisión de controladores de corriente para condiciones LVRT en un sistema fotovoltaico

Review of current controllers for LVRT conditions in a grid-connected photovoltaic system

Yandi Gallego Landera^I, Lesyani León Viltre^{II} *, Grettel Quintana de Basterra^{II}, David Lara León^{II}

^I Grupo de Electrónica de Potencia y Accionamiento Eléctrico, Universidad Federal de Pernambuco, Brasil.

^{II} Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Central de Las Villas, Santa Clara, Cuba.

*Autor de correspondencia: lesyani@uclv.edu.cu

Recibido: 8 de abril de 2022

Aprobado: 10 de junio de 2022

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



RESUMEN/ ABSTRACT

La energía solar sigue siendo una de las mejores opciones disponibles entre las fuentes renovables de energía, ya que es abundante, limpia y confiable. Debido a la susceptibilidad del sistema fotovoltaico frente a fallas en la red, convencionalmente, el inversor fotovoltaico se desconectaría de la misma. Sin embargo, muchos países han implementado códigos de red para asegurar y regular la operación de los sistemas fotovoltaicos durante fallas en la red. Las tecnologías modernas han equipado a los inversores fotovoltaicos, entre otras cosas, con la capacidad de conducción de bajo voltaje (LVRT). En este documento se analizan los controladores de corriente para la inyección de corriente bajo condiciones de LVRT. Estos controladores se han clasificado en dos categorías principales: controladores lineales y los controles no lineales de corriente. Además, se ha presentado un análisis comparativo, discutiendo las ventajas y desventajas de estos esquemas de control.

Palabras clave: Conducción de bajo voltaje, Controles de corriente, Inversor fotovoltaico, Inyección de corriente.

Solar energy remains one of the best renewable energy options available, as it is abundant, clean and reliable. Due to the susceptibility of the PV system to grid failure, conventionally, the PV inverter would shut down. However, many countries have implemented grid codes to ensure and regulate the operation of photovoltaic systems during grid failures. Modern technologies have equipped PV inverters with Low Voltage Ride Through (LVRT) capability. This document discusses current controllers for current injection under LVRT conditions. These controllers have been classified into two main categories: linear controllers and nonlinear current controls. In addition, a comparative analysis has been presented, discussing the advantages and disadvantages of these control schemes.

Key Words: Current controls, Current injection, Low voltage, Low Voltage Ride Through, Photovoltaic inverter.

INTRODUCCION

El aumento de la investigación en el campo de las fuentes renovables de energía no solo ha reducido la dependencia de la energía fósil, sino que también ha ofrecido una alternativa económica y eficiente para hacer frente a las crecientes demandas de energía [1, 2]. La producción de energía de energía solar fotovoltaica presentó un aumento con una tasa anual de 60% en los últimos cinco años [3, 4]. Esa tasa de crecimiento fue posible debido a los costos reducidos de ese tipo de generación y al aumento de eficiencia de los módulos fotovoltaicos. Este tipo de sistemas fotovoltaicos conectados a la red están expuestos a fallas de red desequilibradas y expuestos a impactos negativos en los sistemas. La rápida desconexión de una planta de generación basada en fuentes renovables de energía puede afectar seriamente la estabilidad del sistema eléctrico[5-8]. Por tanto, los códigos de red de diversos países exigen que las plantas de generación renovable permanezcan conectadas cuando ocurren perturbaciones que causen una caída de tensión para un valor por debajo de un determinado porcentaje de la tensión nominal (normalmente 15%).

Cómo citar este artículo:

Yandi Gallego Landera, et al. Revisión de los controladores de corriente para condiciones lvrT en un sistema fotovoltaico conectado a la red. Ingeniería Energética, 2022, 43(2), mayo/agosto. ISSN:1815-5901.

Sitio de la revista: <https://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/index>

Algunos códigos de red estipulan además que la planta de generación renovable debe suministrar a la red corriente reactiva para ayudar a la estabilidad de tensión del sistema. Esta habilidad es llamada de LVRT (*Low Voltage Ride Through*) [9]. Para lograr los requisitos LVRT impuestos por los diferentes códigos de red, muchas técnicas de inyección de corriente han sido estudiadas e implementadas en simulaciones y prototipos prácticos. La contribución clave de este artículo es comentar sobre los posibles métodos y controladores en las técnicas de inyección de corriente para atender los requisitos LVRT en los sistemas fotovoltaicos conectados a la red, estableciendo las ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

DESARROLLO

Técnicas de inyección de corriente en condiciones de LVRT

Los controladores para las técnicas de inyección de corriente se pueden clasificar en dos categorías: controles lineales de corriente y controles no lineales de corriente. El principal objetivo de implementar estos controladores sigue siendo controlar la red eléctrica con técnicas de inyección de corriente durante las fallas de la red. Estas técnicas han aplicado la inyección de corrientes activas y reactivas, pero difieren en las estrategias de control.

A. Controles lineales de corriente

Esta sección profundizará en los controladores lineales de corriente que se han empleado como técnicas de inyección de corriente durante las fallas de la red en condiciones de LVRT. Las técnicas de control son el control basado en Proporcional Integral (PI) [10-12], el control basado en Proporcional Resonante (PR)[13-16] y el control resonante (RC)[17-19]. Existen tres referenciales para el control, también conocidos como referencial de referencia, nombrados, dq , $\alpha\beta$ y abc .

Control Proporcional Integral (PI)

El control basado en PI que se usa típicamente en los inversores de fuente de corriente (CSI), está relacionado con el control en referencial dq debido a la capacidad de controlar las variables continuas como se muestra en la figura 1. Este controlador ofrece la flexibilidad para ser utilizado en referencial abc donde es capaz de transformar las corrientes de red de abc en el referencial de control dq que gira simultáneamente con el voltaje de la red. Este controlador tiene sus propios inconvenientes, ya que no puede identificar una referencia sinusoidal sin un error de estado estable y no puede eliminar la perturbación, generalmente causada por una señal periódica. Las ecuaciones para el controlador de corriente PI y el control PI- dq se muestran en las ecuaciones (1) y (2), respectivamente :

$$G_{(PI)}(s) = k_p + \frac{k_i}{s} \quad (1)$$

$$G_{(PI)}(s)_{dq} = \begin{bmatrix} k_p + \frac{k_i}{s} & 0 \\ 0 & k_p + \frac{k_i}{s} \end{bmatrix} \quad (2)$$

donde k_p y k_i , son las ganancias proporcional e integral, respectivamente.

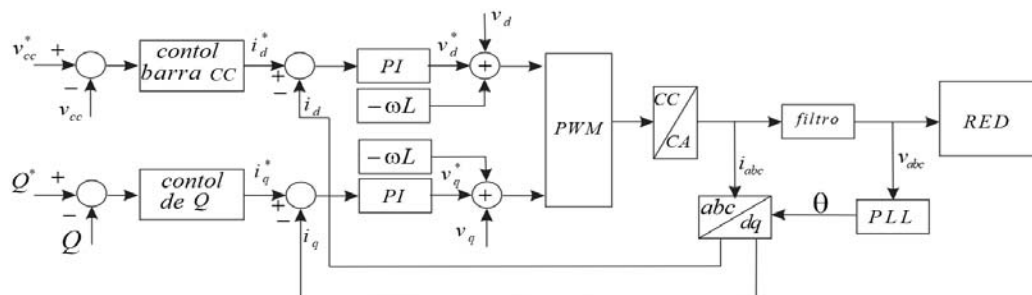


Fig. 1. Diagrama de bloques para el controlador PI en referencial dq [10]

- **Control Proporcional Resonante (PR)**

El control basado en PR es un controlador complementario al control basado en PI con la capacidad de identificar la referencia sinusoidal sin error de estado estable en referencial $\alpha\beta$ como se ilustra en la figura 2. Este controlador se puede imponer tanto en referencial abc como en referencial $\alpha\beta$ y también puede transformarse del abc existente para referencial $\alpha\beta$ usando un módulo de transformación.

La ecuación (3), muestra la expresión del controlador PR en referencial $\alpha\beta$ con el objetivo de lograr una alta ganancia en el espectro de frecuencias de resonancia.

$$G_{PR}^{\alpha\beta} = \begin{bmatrix} k_p + \frac{k_i s}{s^2 + \omega^2} & 0 \\ 0 & k_p + \frac{k_i s}{s^2 + \omega^2} \end{bmatrix} \quad (3)$$

donde ω es usada para la frecuencia de resonancia, k_p es la ganancia proporcional y k_i es la ganancia integral del controlador. El controlador PR puede lograr una alta ganancia alrededor del espectro de frecuencia de resonancia, dependiendo del valor de la ganancia integral k_i . Un valor pequeño de k_i establece una banda estrecha, mientras que un valor alto de k_i establece una banda más ancha. Varios trabajos de investigación sobre el controlador de PR también están disponibles en la literatura.

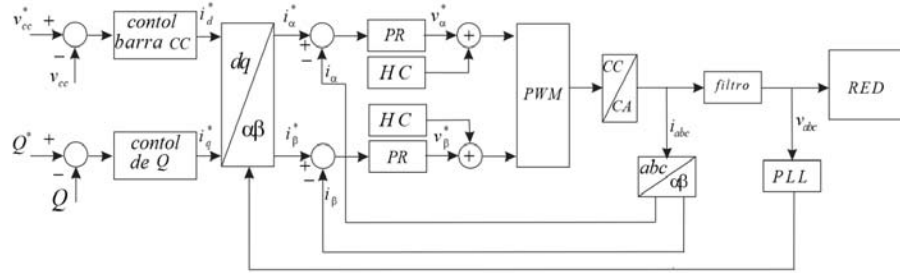


Fig. 2. Diagrama de bloques para el controlador PR en referencial $\alpha\beta$ [10]

- **Control Resonante (RC)**

Las referencias de potencia activa y reactiva generan los componentes de secuencia positiva y negativa en referencial síncrono dq en el método RC (también conocido como control repetitivo). Existen varios inconvenientes al implementar el método RC, que son la falla en el seguimiento de señales periódicas y los errores de retroalimentación de los componentes de secuencia positiva y negativa. El método RC se puede categorizar en dos métodos para resolver los inconvenientes como se explica a continuación:

I. Principio de modelo interno

Para garantizar que el RC pueda rechazar la perturbación innecesaria, el modelo de la perturbación y la referencia de corriente deben participar en la retroalimentación de control de lazo cerrado. El objetivo principal es contrarrestar el primer inconveniente en el seguimiento de señales periódicas. La ecuación (4), se deriva con base en el diagrama de bloques de la figura 3, que consiste en el controlador $G_c(s)$, el retardo del PWM, $G_d(s)$, y el filtro, $G_f(s)$ en el circuito de control de corriente del inversor.

$$\frac{\Delta I(s)}{E(s)} = \frac{(s^2 + \omega^2)(0.5T_s s + 1)}{(Ls + R)(s^2 + \omega^2)(0.5T_s s + 1) + (k_p s^2 + k_1 s + k_p \omega^2)} \quad (4)$$

donde $I(s)$ es la corriente en el lazo de control, E es la perturbación, y L y R son la inductancia y la resistencia de la red, respectivamente.

II. Transformación de coordenadas

El controlador en referencial síncrono, $G_{dq}(s)$ implementa la transformación inversa en el referencial estacionario $\alpha\beta$, donde $G_{\alpha\beta}(s)$ para compensar los errores de retroalimentación en los componentes de secuencia positiva y negativa se puede expresar como en la ecuación (5):

$$G_{\alpha\beta}(s) = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \frac{2k_i \omega s}{s^2 + 2\omega s + \omega^2} & 0 \\ 0 & \frac{2k_i \omega s}{s^2 + 2\omega s + \omega^2} \end{bmatrix} \quad (5)$$

- **Control por retroalimentación de estado (SFC)**

Un control por retroalimentación de estado lineal (SFC) es un enfoque simple, robusto y altamente confiable que se implementa para rechazar las perturbaciones externas en fallas de red y compensar la inyección de corriente en el LVRT.

El controlador puede operar en modo independiente o integrarse con otros controladores para formar un controlador híbrido, por ejemplo, integración con un controlador PI convencional y estimación de perturbaciones. La figura 4, muestra el sistema SFC que se integra con el controlador PI para mantener la señal de control del controlador PI y eliminar la necesidad de compensación [20, 21]. La expresión para el SFC está escrita en la ecuación (6):

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{x}_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A+Bk & Bk_e \\ -C & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ x_a \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} b \\ 0 \end{bmatrix} d; y = \begin{bmatrix} C & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ x_a \end{bmatrix} \quad (6)$$

donde: A B y C son las matrices de entrada y salida del sistema, respectivamente. Mientras que x , u , y y d son el vector de estado, entrada, salida y perturbación en el sistema de control, respectivamente. Las ganancias de retroalimentación se denotan como k y k_e .

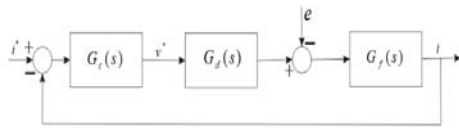


Fig. 3. Diagrama de bloques para el controlador RC

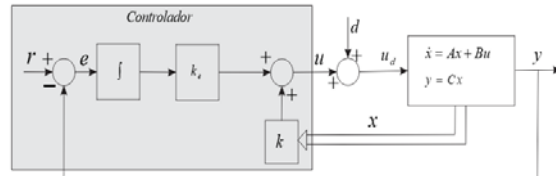


Fig. 4. Sistema de control de SFC [21]

B. Controladores no lineales de Corriente

En [13], se utilizaron controladores no lineales con un control abc individual para cada corriente de red. La posibilidad de tener tres controladores independientes en el diseño del controlador es típicamente el caso de histéresis, control $dead-beat$ y control predictivo. Generalmente, el control abc es una estructura de control no lineal que se prefiere debido a sus altas respuestas dinámicas [22]. Dado que el rendimiento de este controlador es proporcional a la frecuencia de muestreo, los avances en los Procesadores de Señales Digitales (DSP) se brinda una ventaja para la realización de dicho controlador. Un ejemplo que muestra la aplicación del control abc se ilustra en la figura 5, [12-14], donde la salida del controlador de voltaje de la barra de corriente continua (CC) se usa para configurar la referencia de corriente activa. Al utilizar el ángulo de fase de los voltajes de la red generados por PLL ($phase-locked-loop$), se producen las tres referencias de corriente. Cada una de las tres referencias de corriente se compara con la corriente medida correspondiente. Luego, el error de corriente se envía al controlador de corriente para generar señales de conmutación para el convertidor de potencia. Al usar controladores no lineales como histéresis, $dead-beat$ o predictivo, ya no se requiere un modulador, a diferencia de los controladores PI y PR. Aunque el controlador PI se usa ampliamente en el control dq , su implementación en el control abc también es posible, como se indica en [13, 14]. La implementación del controlador PR en abc es bastante simple, ya que el propio controlador ya se encuentra en referencial estacionario. La ecuación (7), define la implementación de tres controladores PR en el referencial abc .

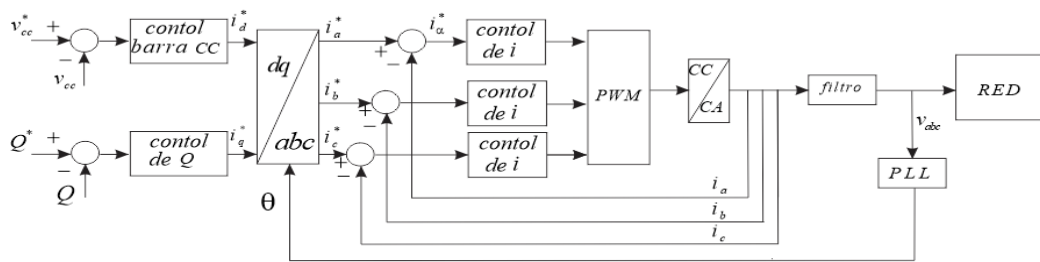


Fig. 5. Estructura general de control de corriente en abc

$$G_{PR}^{(abc)} = \begin{bmatrix} k_p + \frac{k_i s}{s^2 + \omega^2} & 0 & 0 \\ 0 & k_p + \frac{k_i s}{s^2 + \omega^2} & 0 \\ 0 & 0 & k_p + \frac{k_i s}{s^2 + \omega^2} \end{bmatrix} \quad (7)$$

• Control $dead-beat$

El nombre de " $Dead-Beat$ " se debe a que su operación de control anula el error al final de dos períodos de muestreo, como se muestra en la figura 6. El controlador $dead-beat$ [23, 24] que pertenece a la familia de los reguladores predictivos es una técnica de control popular en muchas aplicaciones recientes.

Cuando un controlador *dead-beat* está bien ajustado, presenta la respuesta transitoria más rápida entre todos los controladores de corriente digitales. La función de transferencia discreta del controlador de *dead-beat* es la mostrada en la ecuación (8):

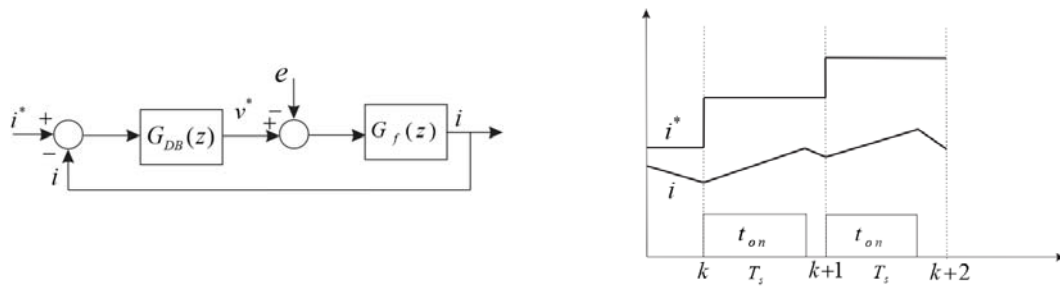


Fig. 6. (a) Esquema de control *dead-beat* y (b) Operación de control que anula el error después de dos muestras

$$G_{DB}^{abc}(s) = \frac{1-az^{-1}}{b(1-az^{-1})} = \frac{1 - \left(e^{-\frac{R_l T_s}{L_l}} \right) z^{-1}}{\left(-\frac{1}{R_l} \left(e^{-\frac{R_l T_s}{L_l}} - 1 \right) \right) (1-az^{-1})} \quad (8)$$

donde R_l es la resistencia de interfaz equivalente del inversor, L_l es la inductancia de interfaz equivalente del inversor y T_s es el retardo de tiempo de muestra.

• **Control por Hysteresis**

El control de *hysteresis* [25-27] es una técnica que se puede utilizar para controlar un inversor de fuente de voltaje donde la corriente de referencia y la corriente de la red se comparan instantáneamente para producir pulsos de conmutación para el inversor. En la figura 7 (a), se presenta una configuración del controlador de histeresis. La señal de error, e es la diferencia entre la corriente de referencia y la corriente de red real. Los límites inferior y superior asociados con los valores mínimo y máximo de la señal de error son e_{min} y e_{max} respectivamente. El rango de señal de error (e_{min} , e_{max}) donde se controla la corriente de salida del inversor se denomina banda de histeresis. Esto permite que la corriente se mantenga dentro de los límites superior e inferior de la banda de histeresis, como se muestra en la figura 7 (b). Las principales ventajas del controlador de histeresis son la simplicidad, la estabilidad no condicionada, la independencia de los parámetros de carga, la robustez y la buena respuesta transitoria [26].

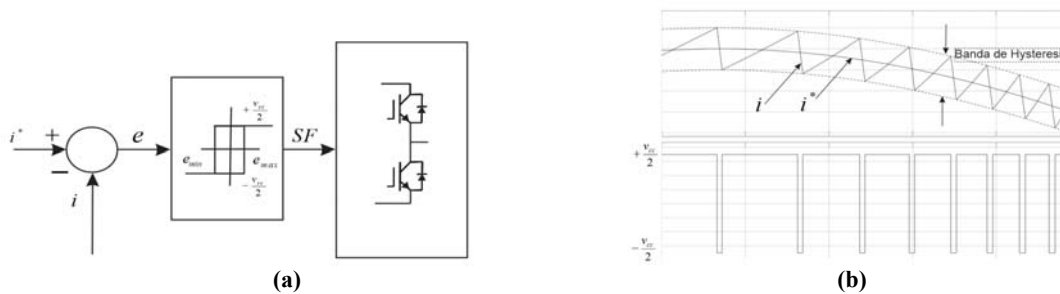


Fig. 7. (a) Diagrama del control por *Hysteresis* (b) Forma de onda de corriente del controlador por *Hysteresis* [10]

• **Control Predictivo (PC)**

El controlador predictivo [28-33] es bien conocido por su capacidad para manejar un sistema con no linealidad. El control de corriente predictivo compromete el potencial para lograr un control de corriente preciso con baja distorsión armónica y ruido, pero normalmente es más difícil de implementar y, por lo general, debe adaptarse a una carga exacta. El propósito de este controlador es la implementación de un modelo de predicción del comportamiento futuro de las variables.

Este controlador aplica el mismo concepto en el controlador de histeresis, la diferencia es que el PC controla el voltaje del inversor para hacer que la corriente de la red siga la corriente de referencia sin tener las bandas superior e inferior [34, 35].

• **Control de modo deslizante (SMC)**

Control de modo deslizante (SMC) [36-40], es ampliamente utilizado en varios campos debido a la simplicidad y estabilidad del controlador. SMC como un tipo de método de control no lineal es adecuado para controlar los convertidores de potencia, que pueden lograr una mejor regulación y un rendimiento dinámico para una gama más amplia de condiciones de funcionamiento. La razón principal es que no es necesario tener un modelo lineal del convertidor de potencia para el diseño de un controlador no lineal. Sin embargo, el principal obstáculo asociado con la aplicación de SMC es su naturaleza de frecuencia variable, lo que dificulta el diseño del filtro de salida. No obstante, si este problema se maneja adecuadamente, SMC es un poderoso método de diseño de control para convertidores de potencia y tiene un enorme potencial en aplicaciones industriales. La corriente de red i_d e i_q deben controlarse para rastrear las corrientes de referencia activa y reactiva i_d^* e i_q^* , respectivamente, donde i_d^* se adquiere del lazo de voltaje e i_q^* se configura manualmente para crear una potencia reactiva instantánea deseada, q como se ilustra en la figura 8.

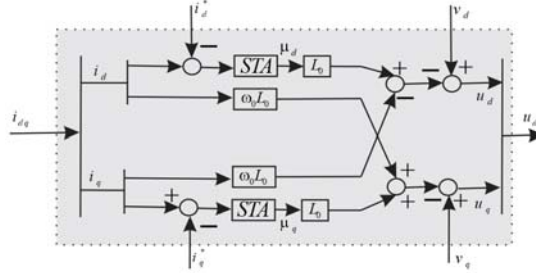


Fig. 8. Estructura de control de corriente por SMC

STA es el *super twisting algorithm*, L_0 y ω_0 son los valores nominales del inductor y frecuencia en rad/s, respectivamente. Las corrientes en referencial dq están definidas como en las ecuaciones (9) y (10).

$$i_d^* = \frac{p^*}{v_d}; i_q^* = \frac{q^*}{v_d} \quad (9)$$

$$s_d = i_d^* - i_d; s_q = i_q^* - i_q, \quad (10)$$

donde s_d y s_q son modos deslizantes para corriente activa y reactiva, respectivamente. Las derivadas del modo deslizante se definen como en la ecuación (11):

$$\begin{bmatrix} \dot{s}_d \\ \dot{s}_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_d^* + \frac{R}{L}i_d - \frac{v_d}{L} - \omega i_q \\ i_q^* + \frac{R}{L}i_q - \frac{v_q}{L} - \omega i_d \end{bmatrix} + \frac{v_{cc}}{L} \begin{bmatrix} u_d \\ u_q \end{bmatrix} \quad (11)$$

donde μ_d y μ_q son los controladores diseñados para la corriente activa y reactiva, respectivamente.

• **Control de Lógica Difusa (FLC)**

El control de lógica difusa (FLC) [41-43] es un controlador muy destacado que tiene flexibilidad y versatilidad para funcionar solo como un controlador puro o como un controlador híbrido con cualquier controlador convencional. El controlador tiene la capacidad de compensación de voltaje al controlar la potencia activa y reactiva en el punto de acoplamiento común (PCC) generada por los sistemas fotovoltaicos conectados a la red [44]. El FLC consta de cuatro clasificaciones para realizar la compensación de voltaje, como se explica a continuación [45, 46]:

- i. Fuzzificación: las entradas se convierten en variables difusas en función de las funciones predefinidas. Se impone la ecuación (12), para obtener el mejor rendimiento del sistema mediante la implementación de funciones de pertenencia gaussianas.

$$f_{(x,\sigma,c)} = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}} \quad (12)$$

donde σ y c son el ancho de la curva de campana y el centro del pico, respectivamente.

- ii. Base de reglas difusas: Comprende la información del sistema a utilizar en la inferencia difusa.

- iii. Inferencia difusa: Esta es la unidad de decisión que define el grado de conformidad, W_i para cada regla difusa como se expresa en la ecuación (13):

$$W_i = \mu_i(\Delta V) \quad (13)$$

i : número de regla

- iv. Defuzzificación: El método del centro de gravedad se aplica para que la defuzzificación dicte la salida mediante el cálculo del ciclo de trabajo (ecuación (14)). Donde μ_i es el parámetro de d expresado en términos de variables en la tabla de reglas difusas.

$$d = \frac{\int z \mu_i(z) dz}{\int \mu_i(z) dz} \quad (14)$$

• Redes Neuronales Artificiales (ANN)

Las tareas complejas requerían un controlador potente, robusto y de alta confiabilidad para realizar las operaciones, por ejemplo, reconocimiento de patrones, identificación de sistemas, clasificación, voz, visión y sistema de control. La red neuronal artificial (ANN) se ha empleado ampliamente para hacer frente a esas tareas complejas y otros problemas de ingeniería. ANN es un buen candidato para predecir los parámetros no lineales como la corriente en el sistema fotovoltaico conectado a la red. Sin embargo, la ANN depende en gran medida de la base de datos recopilada en el campo o de los experimentos y no es apropiada para usarse en el monitoreo en línea de fallas en la red. La figura 9, representa el controlador ANN en la detección del fallo de la red que consta de dos pasos, es decir, la generación de indicadores de tensión y la detección del fallo de la red. La detección de fallas en la red se compone de tres capas de entrada que son las entradas ($v_a(t)$, $v_b(t)$, $v_c(t)$), las capas ocultas (ANN1 – ANN7) y los valores de salida (caso bueno o falla de la red) [47, 48].

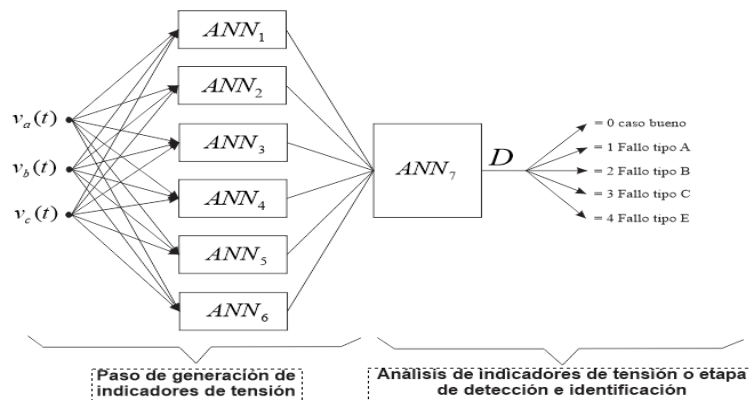


Fig. 9. ANN para la detección de falla en la red [48]

• Algoritmos Genéticos (GA)

El algoritmo genético (GA) es un método simple y poderoso que se integra con la supervivencia artificial del mejor y más completo cromosoma de operadores genéticos extraídos de la naturaleza para producir una técnica robusta y realizar un proceso de optimización dentro de un sistema [49]. El GA primero evaluará la aptitud del cromosoma como se expresa en la ecuación (15), seguido de las operaciones de reproducción, cruzamiento y mutación que se describen a continuación [50]:

- Reproducción: la cadena de alta calidad recibirá múltiples copias en la próxima generación, mientras que la cadena de baja calidad recibirá menos copias o ninguna.
- Cruce: tomar y dividir la cadena en dos partes en un punto de cruce generado aleatoriamente y fusionarla con otra cadena en el mismo punto de cruce.
- Mutación: Una alteración aleatoria de la cadena que ayuda a mantener la diversidad de la población. Finalmente, se formará una nueva población para reemplazar a la antigua.

$$calidad = \left(\frac{v_{cc,max} - v_{cc,ss}}{v_{cc,mv} - v_{cc,ss}} \right)^2 + \left(\frac{i_{pv,max} - i_{pv,ss}}{i_{pv,mv} - i_{pv,ss}} \right)^2 \quad (15)$$

donde ss representa el valor de estado estable, mv representa el valor máximo aceptable, especificado por el fabricante, i_{pv} indica la corriente fotovoltaica.

C. Comparación de los controladores de corriente

En esta sección, se presenta la tabla 1, donde se realiza un resumen de la comparación, que comprende las ventajas y desventajas de los controladores de corriente.

Tabla 1. Tabla comparativa de controladores para técnicas de inyección de corriente

Técnicas de inyección de corriente	Controlador de corriente	Ventajas	Desventajas
Controladores lineales de corriente	PI	<ul style="list-style-type: none"> • Controlador simple • Fácil de controlar 	<ul style="list-style-type: none"> • Mala compensación de armónicos
	PR	<ul style="list-style-type: none"> • Alta ganancia en la frecuencia de resonancia • Alta respuesta dinámica • Buena compensación de armónicos • Buena eliminación de error en estado estable 	<ul style="list-style-type: none"> • Complejidad de <i>hardware</i>
	RC	<ul style="list-style-type: none"> • Buena eliminación de error en estado estable • Alta ganancia en la frecuencia de resonancia • Buena compensación de armónicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja estabilidad • Respuesta dinámica lenta
	SFC	<ul style="list-style-type: none"> • Controlador simple • Buena estabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Menos sensible a las perturbaciones • Menos precisión y eficiencia
Controladores de corriente no lineales	<i>Dead-beat</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Alta sensibilidad • Buena respuesta transitoria • Robusto 	<ul style="list-style-type: none"> • Limitado solo a la aplicación de filtro activo
	<i>Hysteresis</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Independiente de parámetros • Buena estabilidad • Robusto 	<ul style="list-style-type: none"> • Frecuencia de conmutación variable
	PC	<ul style="list-style-type: none"> • Buena precisión • Buena respuesta dinámica • Bajos armónicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo rendimiento bajo parámetros variables • Alta frecuencia de muestreo
	SMC	<ul style="list-style-type: none"> • Buena estabilidad • Robusto • Alta velocidad de control 	<ul style="list-style-type: none"> • Función de control discontinua
	FCL	<ul style="list-style-type: none"> • Alta eficiencia • Fácil integración con controladores convencionales • Convergencia rápida 	<ul style="list-style-type: none"> • Controlador complejo • Depende de las reglas difusas
	ANN	<ul style="list-style-type: none"> • Potente controlador • Utilización para problemas complejos • Alta fiabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Controlador complejo • Alto tiempo computacional
	GA	<ul style="list-style-type: none"> • Amplio conjunto de soluciones 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto tiempo computacional
		<ul style="list-style-type: none"> • Buen método de optimización • Utilizado para problemas complejos 	

CONCLUSIONES

Los controladores como PR y ANN poseen controladores de alta complejidad, pero contribuyen a otros méritos como buena estabilidad, alta precisión y eficiencia. Por el contrario, los controladores simples generalmente se eligen en función de las necesidades de la aplicación, donde PI, SFC y SMC se identifican para tener la simplicidad de los controladores. A pesar de la sencillez, los controladores siguen siendo capaces de llevar a cabo satisfactoriamente la tarea de estabilidad y eficiencia. En cuanto a la estabilidad bajo ocurrencia de fallas en la red se ha demostrado en la literatura que el controlador PR tiene mejor estabilidad que el controlador PI y el controlador por *hysteresis*. Los controladores DB, *hysteresis*, SMC, y GA se encuentran entre los controladores más robustos en la inyección de corriente para hacer frente a la falla de la red.

REFERENCIAS

- [1] OBEIDAT, F., "A comprehensive review of future photovoltaic systems," *Solar Energy*, 2018 vol. 163, p. 545-551, ISSN: 0038-092X. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X18300719>
- [2] OBI, M. and Bass, R., "Trends and challenges of grid-connected photovoltaic systems—A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016 vol. 58, p. 1082-1094, ISSN: 1364-0321. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136403211501672X?casa_token=vyC2KJcDN94AAAAA:jj19-WCvjZyTNh9-n-szvpKvzLfNpEkuNRytgmURGoA5LEBAoEHojsFLPv8FrPlh5OG81YEwnZU
- [3] TEODORESCU, R., Liserre, M., and Rodriguez, P., *Grid converters for photovoltaic and wind power systems*: John Wiley & Sons, 2011. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780470667057>
- [4] FU, R., Feldman, D. J., and Margolis, R. M., "US solar photovoltaic system cost benchmark: Q1 2018," National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States), 2018 Disponible en: <https://www.osti.gov/biblio/1483475>
- [5] ALMEIDA, P. M., Monteiro, K. M., Barbosa, P. G., Duarte, J. L., and Ribeiro, P. F., "Improvement of PV grid-tied inverters operation under asymmetrical fault conditions," *Solar energy*, 2016 vol. 133, p. 363-371, ISSN: 0038-092X. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X16300408?casa_token=_FR_1ppYS28AAAAA:6m7VDQq738uot0ij9ufnD-gP08y8_DPbBvOORdOKBzJBVw1rtQqkw0ZEeLFZJBy2FBjz6uugWk
- [6] AL-SHETWI, A. Q., Sujod, M. Z., Blaabjerg, F., and Yang, Y., "Fault ride-through control of grid-connected photovoltaic power plants: A review," *Solar Energy*, 2019 vol. 180, p. 340-350, ISSN: 0038-092X. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X19300416?casa_token=g-b-N38rMDkAAAAA:l9neQjwLro9AwQpi9IIDSQ4OCgDvB0JybgVhPvGgiHEwhF9TUhHljK6rIK5HWqtz3DmvYAAQ8FdlU
- [7] HUKA, G. B., Li, W., Chao, P., and Peng, S., "A comprehensive LVRT strategy of two-stage photovoltaic systems under balanced and unbalanced faults," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2018 vol. 103, p. 288-301, ISSN: 0142-0615. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S014206151830022X?casa_token=38IFT_fDv28AAAAA:9emig8zXSGIJSW-WBXILYDDQ6fu932W3fH35sq2dF3BrhOAL-fxcuc_JdWztMekhOizUT7v7taY
- [8] SOSA, J. L., Castilla, M., Miret, J., Matas, J., and Al-Turki, Y., "Control strategy to maximize the power capability of PV three-phase inverters during voltage sags," *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2015 vol. 31, p. 3314-3323, ISSN: 0885-8993. Disponible en: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7145468?casa_token=y0xjQxvcvIAAAAAA:hrMSfL4lh48MVG9wMe9fBi93XEytw321eDEYc50vmP8bnQODlumaF2WNvnvrOtlcklA7BsOyUNU
- [9] LANDERA, Y. A. G., Neves, F. A., Neto, R. C., Alonso, A. A. B., and Viltre, L. L., "Revisão e comparação dos recentes requisitos de integração de fontes renováveis de energia/Review and comparison of recent requirements for the integration of renewable energy sources/Revisión y comparación de los actuales requisitos de integración de fuentes renovables de energía," *Ingeniería Energética*, 2020 vol. 41, ISSN: 1815-5901. Disponible en: <https://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/article/view/601>
- [10] PARVEZ, M., Elias, M., Rahim, N., and Osman, N., "Current control techniques for three-phase grid interconnection of renewable power generation systems: A review," *Solar Energy*, 2016 vol. 135, p. 29-42, ISSN: 0038-092X. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X16301244>
- [11] MEO, S. and Perfetto, A., "Comparison of different control techniques for active filter applications," in *Proceedings of the Fourth IEEE International Caracas Conference on Devices, Circuits and Systems (Cat. No. 02TH8611)*, 2002, p. P016-P016, ISBN. 0780373804. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1004097>

- [12] HASSAINE, L., OLias, E., Quintero, J., and Salas, V., "Overview of power inverter topologies and control structures for grid connected photovoltaic systems," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014 vol. 30, p. 796-807, ISSN: 1364-0321. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032113007545>
- [13] BLAABJERG, F., Teodorescu, R., Liserre, M., and Timbus, A. V., "Overview of control and grid synchronization for distributed power generation systems," *IEEE Transactions on industrial electronics*, 2006 vol. 53, p. 1398-1409, ISSN: 0278-0046. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032113007545>
- [14] TIMBUS, A., Liserre, M., Teodorescu, R., Rodriguez, P., and Blaabjerg, F., "Evaluation of current controllers for distributed power generation systems," *IEEE Transactions on power electronics*, 2009 vol. 24, p. 654-664, ISSN: 0885-8993. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4801680>
- [15] KARANAYIL, B., Pou, J., Mirhosseini, M., and Agelidis, V. G., "Low-voltage ride through capability of three-phase grid-connected photovoltaic inverters with slim film capacitors," in *2014 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, 2014, p. 32-38, ISBN. 1479957763. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6953372>
- [16] YANG, Y., Zhou, K., and Blaabjerg, F., "Harmonics suppression for single-phase grid-connected PV systems in different operation modes," in *2013 Twenty-Eighth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, 2013, p. 889-896, ISBN. 1467343552. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6520316>
- [17] PRASAD, V., Jayasree, P., and Sruthy, V., "Active power sharing and reactive power compensation in a grid-tied photovoltaic system," *Materials Today: Proceedings*, 2018 vol. 5, p. 1537-1544, ISSN: 2214-7853. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785317325117>
- [18] RAZILI, A. M., Rahman, M. A., and Rahim, N. A., "Implementation of dq decoupling and feed-forward current controller for grid connected three phase voltage source converter," in *2014 IEEE Industry Application Society Annual Meeting*, 2014, p. 1-8, ISBN. 1479922889. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6978403>
- [19] ELYAALAOUI, K., Ouassaid, M., and Cherkaoui, M., "Dispatching and control of active and reactive power for a wind farm considering fault ride-through with a proposed PI reactive power control," *Renewable Energy Focus*, 2019 vol. 28, p. 56-65, ISSN: 1755-0084. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1755008418301133?casa_token=VOAeKoYQHfcAAAAA:6eM0n04poKoeKU_aKUf17zMxdWYiz4livPYHTs_3eZN92Vh1qADGKeqTvuH-vFjtwiOuej4aGNY
- [20] YANG, B., Hu, Y., Huang, H., Shu, H., Yu, T., and Jiang, L., "Perturbation estimation based robust state feedback control for grid connected DFIG wind energy conversion system," *International Journal of Hydrogen Energy*, 2017 vol. 42, p. 20994-21005, ISSN: 0360-3199. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319917326654>
- [21] TAVEIROS, F. E. V., Barros, L. S., and Costa, F. B., "Back-to-back converter state-feedback control of DFIG (doubly-fed induction generator)-based wind turbines," *Energy*, 2015 vol. 89, p. 896-906, ISSN: 0360-5442. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544215007835>
- [22] AKAGI, H., Watanabe, E. H., and Aredes, M., *Instantaneous power theory and applications to power conditioning*: John Wiley & Sons, 2017. Disponible en: https://books.google.com.br/books?id=Wf8fDgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- [23] RAMIREZ, D., Martinez-Rodrigo, F., de Pablo, S., and Herrero-de Lucas, L. C., "Assessment of a non linear current control technique applied to MMC-HVDC during grid disturbances," *Renewable energy*, 2017 vol. 101, p. 945-963, ISSN: 0960-1481. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148116308400?casa_token=_AlapoWjf3sAAAAA:9KZ8QVEQGynInZpag4wpuDXIMm-2XNZ6O8gERoTldJB9GPOhszDviujr3EgAG6Yg9SMorAduBE8
- [24] MALESANI, L., Mattavelli, P., and Buso, S., "Robust dead-beat current control for PWM rectifiers and active filters," in *Conference Record of 1998 IEEE Industry Applications Conference. Thirty-Third IAS Annual Meeting (Cat. No. 98CH36242)*, 1998, p. 1377-1384, ISBN. 0780349431. Disponible en: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/730323?casa_token=bhuqqLoPzz0AAAAA:qyO1vPBmLwTydB7Oxcui0ymWgSDDX54K9fkcfUUICieLD7K6GVVU-U2kbHzFomHEMtbvXZn811M
- [25] DAI, W., Wang, B., and Yang, H., "A hysteric current controller for active power filter with constant frequency," in *2009 IEEE International Conference on Computational Intelligence for Measurement Systems and Applications*, 2009, p. 86-90, ISBN. 1424438195. Disponible en: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5069924?casa_token=PARToRFduRIAAAAA:6n05s5TSPyQVD3nqpFZezTS_fQfdNuR87yrsVERxliiHkiiQUlxtWsZfW3TroWNpbqNhdYIK12g0
- [26] SHUKLA, A., Ghosh, A., and Joshi, A., "Improved multilevel hysteresis current regulation and capacitor voltage balancing schemes for flying capacitor multilevel inverter," *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2008 vol. 23, p. 518-529, ISSN: 0885-8993. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4447394>

- [27] MERAL, M. E. and Çelik, D., "A comprehensive survey on control strategies of distributed generation power systems under normal and abnormal conditions," *Annual Reviews in control*, 2019 vol. 47, p. 112-132, ISSN: 1367-5788. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1367578818301718?casa_token=oh6SyAokrxUAAAAA:700vGGRxWfCKjvd233ooh-SIQji2vfB5oZacxSCAtY5QTMite0_aNdj776qKCZjoF9Od2oN1How
- [28] CORTES, P., Kazmierkowski, M. P., Kennel, R. M., Quevedo, D. E., and Rodríguez, J., "Predictive control in power electronics and drives," *IEEE Transactions on industrial electronics*, 2008 vol. 55, p. 4312-4324, ISSN: 0278-0046. Disponible en: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4663816?casa_token=bbFka3-p6_8AAAAA:1jwPcv36AYnTuxNDU6jddnB8nQff6D65irfB0dmRFWZE9drGoD1pR2L0PLJsIR8he4RyXEQ7BZ0
- [29] MATAVELLI, P., Spiazzi, G., and Tenti, P., "Predictive digital control of power factor preregulators with input voltage estimation using disturbance observers," *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2005 vol. 20, p. 140-147, ISSN: 0885-8993. Disponible en: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1217713?casa_token=isEMiV8YsNcAAAAA:he43yPT4RvVBY-vPh8dV5EqkRS5EgQVh-h0e7oEF314oyz9QOLCZ4JSONCoGGYyabe5xFCPY8r0
- [30] MATTEVALLI, P., Spiazzi, G., and Tenti, P., "Predictive digital control of power factor preregulators using disturbance observer for input voltage estimation," in *IEEE 34th Annual Conference on Power Electronics Specialist, 2003. PESC'03.*, 2003, p. 1703-1708, ISBN. 0780377540. Disponible en: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1377402?casa_token=IUJpNR9CpcAAAAA:yXnBrWbvVzeY0vnexAVkB-jrJcwUuJ1ECbxOZ5xxy4Hq7w7pET7J5s6UOJmF85Ta9RvZ0gk4G4
- [31] CHATTRJEE, A. and Mohanty, K., "Control of single phase power inverter using model predictive controller for grid integrated renewable energy systems," in *2016 IEEE Region 10 Conference (TENCON)*, 2016, p. 1678-1681, ISBN. 1509025979. Disponible en: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7848303?casa_token=fblbQdY-cu0AAAAA:t7H2Qyg7-lj5WzFpRsENNpPICQ_9VqNyYrxyAkVhmQspmXXVS6eV8BtRkGdx2jkeRC79Jk1hOc
- [32] KRISHNA, R., Kottayil, S. K., and Leijon, M., "Predictive current controller for a grid connected three level inverter with reactive power control," in *2010 IEEE 12th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics (COMPEL)*, 2010, p. 1-6, ISBN. 1424474639. Disponible en: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5562428?casa_token=zS_McsF-r-wAAAAA:ljhIEChGhu3ree9DDvEMC-k4KTQtKQ_k1LEkvQe752M4tQRjBYKYXtnwwkp5qcsOQrQb6ME740
- [33] BODE, G. H., Loh, P. C., Newman, M. J., and Holmes, D. G., "An improved robust predictive current regulation algorithm," *IEEE transactions on industry applications*, 2005 vol. 41, p. 1720-1733, ISSN: 0093-9994. Disponible en: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1542328?casa_token=yEgilMYK798AAAAA:cKt0H2tniQibk7r7iFTaUSQNJy1RN4Mv83GFsbgyFobHy-7Y7u0kAGclorJrnuz4juxClOo_gPE
- [34] YU, B. and Chang, L., "Improved predictive current controlled PWM for single-phase grid-connected voltage source inverters," in *2005 IEEE 36th Power Electronics Specialists Conference*, 2005, p. 231-236, ISBN. 0780390334. Disponible en: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1581629?casa_token=N-uFFM1cCuAAAAA:cVYNF9iw8Rj0dSV9ZJqOqTYlTI2hJe3StL90Rqv5HboRm0EIBxkmdRH5Glf6DoBy50GL-VtKuXY
- [35] GALVEZ-CARRILLO, M., De Keyser, R., and Ionescu, C., "Nonlinear predictive control with dead-time compensator: Application to a solar power plant," *Solar energy*, 2009 vol. 83, p. 743-752, ISSN: 0038-092X. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X08002971?casa_token=rwhVLVgr0sAAAAA:dXb___5eL4WHjKaJZcmc7Z7pd4ZPuDeXnb7ilJes6r1HhN4YfrdMil3B_zUNKJ5AjBf7FTtDwlo
- [36] LIU X., "Power control of single-stage PV inverter for distribution system volt-var optimization," 2013. Disponible en: https://uknowledge.uky.edu/ece_etds/36/
- [37] ABADLIA, I., Adjabi, M., and Bouzeria, H., "Sliding mode based power control of grid-connected photovoltaic-hydrogen hybrid system," *International Journal of Hydrogen Energy*, 2017 vol. 42, p. 28171-28182, ISSN: 0360-3199. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319917337989?casa_token=D21_BtUo1rUAAAAA:cltxSF8bxtJNMi0MvaqFeTILxOM87YWzuFeUeIN_G2fVMwV2jwEAPt8rjgCFahT8AcSgyTHz3cQ
- [38] KERRUCHE, K. D. E., Mezouar, A., Boumediene, L., and Van Den Bossche, A., "A comprehensive review of LVRT capability and sliding mode control of grid-connected wind-turbine-driven doubly fed induction generator," *Automatika: časopis za automatiku, mjerenje, elektroniku, računarstvo i komunikacije*, 2016 vol. 57, p. 922-935, ISSN: 0005-1144. Disponible en: <https://hrcak.srce.hr/196087>
- [39] LIU, J., Luo, W., Gao, Y., Yin, Y., and Sun, G., "Sliding mode control of grid-connected power converters for microgrid applications," in *Distributed Control Methods and Cyber Security Issues in Microgrids*, ed: Elsevier, 2020, p. 3-27,. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128169469000013>

- [40] SEKHAR, P. and Mishra, S., "Sliding mode based feedback linearizing controller for grid connected multiple fuel cells scenario," *International journal of electrical power & energy systems*, 2014 vol. 60, p. 190-202, ISSN: 0142-0615. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0142061514000702?casa_token=EIL64qHoNgoAAAAA:aeu_Uts3GjGSfjtQxP4FkhQafWTe7SUL9fvHowaAFhBkv5WpG_IPjpagQONNkmZEvppNV9mkUVM
- [41] SOUFI, Y., Kahla, S., and Bechouat, M., "Feedback linearization control based particle swarm optimization for maximum power point tracking of wind turbine equipped by PMSG connected to the grid," *International journal of hydrogen energy*, 2016 vol. 41, p. 20950-20955, ISSN: 0360-3199. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319916309685?casa_token=8vo8GUZFNDUAAAAA:bi4tKMB83-eiEQ1OmZ-1P-f9mPq_GSm299WXIpxCkQjVr_JxrHg01Ay95-5wi2Lc3nF54oPhwMY
- [42] MONTOYA, O. D., Garcés, A., and Serra, F. M., "DERs integration in microgrids using VSCs via proportional feedback linearization control: Supercapacitors and distributed generators," *Journal of Energy Storage*, 2018 vol. 16, p. 250-258, ISSN: 2352-152X. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352152X17303912?casa_token=fEDFsB8c4yYAAAAA:10Bva9eaUnlnskOpv00ZICQqOxVNWfOaVGSBqJQviPiUvOl3_GTmb2F2ejj2ioPqabLDhlt8Ypc
- [43] LALILI, D., Mellit, A., Lourci, N., Medjahed, B., and Berkouk, E., "Input output feedback linearization control and variable step size MPPT algorithm of a grid-connected photovoltaic inverter," *Renewable energy*, 2011 vol. 36, p. 3282-3291, ISSN: 0960-1481. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148111001996?casa_token=8oo3AyrvNwIAAAAA:aolIpsHL0MoCzCfLKK6I7YGMRrINyYfC2Yb1pa9QCYsZDL9cyjuskltP5s2upooDZ1pf2xWCEU
- [44] MORKRYANI, G., Siano, P., Piccolo, A., and Calderaro, V., "A fuzzy logic controller to increase fault ride-through capability of variable speed wind turbines," *Applied Computational Intelligence and Soft Computing*, 2012 vol. 2012, ISSN: 1687-9724. Disponible en: <https://www.hindawi.com/journals/acisc/2012/405314/>
- [45] REZAIE, H. and Kazemi-Rahbar, M. H., "Enhancing voltage stability and LVRT capability of a wind-integrated power system using a fuzzy-based SVC," *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 2019 vol. 22, p. 827-839, ISSN: 2215-0986. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215098618318871>
- [46] RASHID, G. and Ali, M. H., "Fault ride through capability improvement of DFIG based wind farm by fuzzy logic controlled parallel resonance fault current limiter," *Electric Power Systems Research*, 2017 vol. 146, p. 1-8, ISSN: 0378-7796. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378779617300275>
- [47] ALBERDI, M., Amundarain, M., Garrido, A., and Garrido, I., "Neural control for voltage dips ride-through of oscillating water column-based wave energy converter equipped with doubly-fed induction generator," *Renewable Energy*, 2012 vol. 48, p. 16-26, ISSN: 0960-1481. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148112002558>
- [48] ADOUNI, A., Chariag, D., Diallo, D., Hamed, M. B., and Sbita, L., "FDI based on artificial neural network for low-voltage-ride-through in DFIG-based wind turbine," *ISA transactions*, 2016 vol. 64, p. 353-364, ISSN: 0019-0578. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S001905781630101X>
- [49] VAS, P., "Artificial intelligence based drives," *MH Rashid. Power Electronics Handbook. Canada: Academic Press*, 2001 Disponible en: https://books.google.com/cu/books?hl=es&lr=&id=16Ai4r7qjulC&oi=fnd&pg=PA49&dq=Artificial+intelligence+based+drives,&ots=shc9oYja7m&sig=GIWDX4s9DCzOLvO6WVvelkha_iQg&redir_esc=y#v=onepage&q=Artificial%20intelligence%20based%20drives%2C&f=false
- [50] VRIONIS, T. D., Koutiva, X. I., and Vovos, N. A., "A genetic algorithm-based low voltage ride-through control strategy for grid connected doubly fed induction wind generators," *IEEE Transactions on Power Systems*, 2013 vol. 29, p. 1325-1334, ISSN: 0885-8950. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6680722>

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES:

Yandi Gallego Landera: <https://orcid.org/0000-0002-9576-4796>

Conformación de la idea de la investigación, desarrollo del estudio, Estudio de la bibliografía, diseño del artículo, redacción del texto del artículo, revisión crítica del contenido y aprobación final.

Lesyani Leon Viltre: <https://orcid.org/0000-0003-1822-2480>

Conformación de la idea de la investigación, desarrollo del estudio, Estudio de la bibliografía, diseño del artículo, redacción del texto del artículo, revisión crítica del contenido y aprobación final.

Grettel Esther Quintana de Basterra: <https://orcid.org/0000-0003-0804-3956>

Asesoramiento técnico para la implementación de la técnica, colaboración en la redacción de la introducción del trabajo, revisión del contenido y aprobación final.

David Lara León: <https://orcid.org/0000-0002-9344-0093>

Colaboración en la redacción de la introducción del trabajo, revisión del contenido y aprobación final.