

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



XVIII INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ELECTRICAL
ENGINEERING. “SIE 2019”

**Diseño y simulación de un inversor solar de baja potencia conectado a
la red eléctrica**

Design and simulations of a on grid low power solar inverter

Susset Guerra Jiménez¹, Ícaro de Albuquerque¹, Sabrina de Oliveira¹

1-Universidad Federal de Roraima, Brasil, susset.guerra@ufr.br

Resumen:

Existe una tendencia creciente en utilizar micro inversores solares en instalaciones residenciales y comerciales de bajo consumo. Los micro inversores constituyen uno de los componentes de un sistema fotovoltaico para generación distribuida y conectada a la red y su empleo garantiza una instalación con mayor rendimiento y extracción de potencia para sistemas de pequeño porte. Se presenta una revisión bibliográfica sobre micro inversores, se propone una metodología de proyecto y se simula un micro inversor en sus etapas CD/CA, tipo puente completo con modulación sinusoidal por ancho de pulso de dos niveles, así como el filtro LCL responsable por obtener una forma de tensión sinusoidal. Se proyectan los controladores a partir de los modelos matemáticos de gran señal obtenidos y se simulan los sistemas de control realimentados que garantizan la regulación apropiada de la corriente suministrada, el sincronismo con la red y la regulación de la tensión del enlace de corriente continua. Las simulaciones de modelos de circuito, incluyendo la etapa de control son realizadas utilizando el Software Matlab/Simulink/SymPowerSystem. Se muestran gráficamente los resultados obtenidos que validan la metodología de proyecto utilizada. Estos resultados serán empleados para la futura construcción de un prototipo del micro inversor.

susset.guerra@ufr.br
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



Abstract: There is a growing trend in using solar micro inverters in low consumption residential and commercial installations. The micro inverters are one of the components of a photovoltaic system for distributed generation connected to the grid and its use guarantees an installation with greater performance and power extraction for small systems. A bibliographic review about micro inverters is presented, a project methodology is proposed and a two-stage micro inverter with elevator converter and inverter (CC / AC) full bridge type with sinusoidal pulse width modulation of two levels is simulated, as well as the LCL filter responsible for obtaining a sinusoidal voltage form. The controllers are projected from the mathematical models of the large signal obtained and the feedback control systems that guarantee the appropriate regulation of the supplied current, the synchronism with the network and the regulation of the voltage of the DC link are simulated.

The simulations of circuit models, including the control stage, are developed using the Matlab /Simulink / SymPowerSystem software. The results obtained that validate the project methodology used are shown graphically. These results will be used for the future construction of a prototype of the micro inverter.

Palabras Clave: Microred, Generación distribuida, Solar FV, Inversor de red, Microinversor.

Keywords: *Micro-grid, Distributed generation, Solar PV, Grid inverter, micro-inverter.*

1. Introducción

Las microredes de energía combinan la existencia de varias fuentes renovables de generación eléctrica de una forma distribuida. La utilización de la energía solar continua con gran demanda por sus beneficios, incluyendo los costos de instalación que se reducen debido a los adelantos tecnológicos y la producción seriada. En los últimos cinco años se reportan tasas de crecimiento del 25 % de la generación fotovoltaica (Premkumar, 2018).

susset.guerra@ufr.br
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



Los micro inversores solares se han visto incrementados debido a su simple construcción, fiabilidad y tiempo de vida útil. Las dimensiones de los microinversores pueden reducirse en función de la frecuencia de conmutación de los dispositivos de potencia, para mantener la eficiencia, topologías y técnicas de control avanzadas son necesarias (Premkumar,2018).

Las dos principales clasificaciones de un FV son conectadas a la red y sistemas aislados, aunque se presenta con gran actualidad los sistemas híbridos, pues permiten mantener la potencia localmente.

Las principales variables a ser evaluadas para el estudio y selección de la topología de un microinversor solar son la necesidad o no de aislamiento galvánico, el número de etapas, operación conectada a la red o de forma aislada y la localización del capacitor de acoplamiento. Sobre estos aspectos se aborda en Brito (2013).

El principal desafío de los convertidores electrónicos aplicados a sistemas FV, es el aumento de su vida útil (Brito 2013). Los módulos FV duran de 3 a 4 veces mas que los convertidores electrónicos, los cuales deben sufrir mantenimiento o ser substituidos durante ese tiempo, aumentando el costo de la instalación y disminuyendo el tiempo de retorno de la inversión. Por tal motivo actualmente los investigadores académicos e industriales estudian posibles mejorías a estos convertidores. Las características de calidad aumentan el costo para lograr mínima inyección de corriente directa (CD) a la red, técnicas de sincronización y anti isla eficientes y seguras, protecciones por sobre corriente y de Corto circuito, entre otras. Premkumar (2018) hace una revisión de las principales topologías de microinversores utilizadas del 2013 al 2017, dentro de las cuales se encuentra una topología de dos etapas con conversor *boost* y puente H completo, la cual es recomendada al final de la revisión como una topología apropiada por poseer pocos componentes y algoritmos de control simples de ser implementados de forma práctica. Igualmente, Premkumar (2018) recomienda los filtros LC y LCL para obtener baja distorsión de armónicos a la red.

susset.guerra@ufr.br
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



En Silva (2017) se presenta un resumen de las clasificaciones de técnicas de control de corriente empleadas en microinversores conectados a red, dividiéndose principalmente en controladores ON-OFF (Histéresis, Predictivo) y controladores con modulación PWM (Lineales y No lineales). Dentro de los lineales pueden encontrarse Controladores PI, Controles P+Resonante (PR) y Control Repetitivo. Se hace en Silva (2017) una caracterización de cada grupo de métodos. Citando también un grupo de trabajos de cada técnica. Dentro de las técnicas de control no lineal se encuentran las redes neuronales y la lógica difusa.

Retomando las técnicas clásicas, el Controlador PI es una solución simple y conocida, pero para el control de corriente del micro inversor que debe seguir una referencia sinusoidal, es difícil alcanzar buen desempeño debido al error permanente, en tal sentido se encuentran en la literatura el uso de controladores resonantes y controladores repetitivos (Garzoli 2011), (Knabben 2017), (Silva 2017). Los controladores resonantes son eficaces en el seguimiento de señales sinusoidales, presentan ganancia infinita en la frecuencia fundamental y por tanto no tienen error permanente. Debe tenerse cuidado con la presencia de armónicos de orden superior, pues pueden causar inestabilidad.

Se reporta que las técnicas de control repetitivo y PR se basan en el principio del modelo interno. Son muy usados principalmente en microinversores monofásicos, para disminuir armónicos de tensión en la red (Silva 2017).

1.1 Configuraciones de inversores solares conectados a red

Los sistemas de conversión de energía fotovoltaica conectados a la red se agrupan de acuerdo a cuatro clasificaciones principales: configuración centralizada para plantas de gran escala (trifásicos), configuración de cadenas para sistemas de mediana escala (monofásicos y trifásicos), configuración multicadena para sistemas a gran escala (monofásicos y trifásicos) y configuración de módulos de CA para sistemas de pequeña escala (Abu-Rub 2014).

susset.guerra@ufr.br
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**

El módulo CA o la topología integrada en módulos conocida como micro inversor (Figura 1 d) es la arquitectura más distribuida, entre los sistemas fotovoltaicos conectados a la red por contar con un inversor por cada módulo FV. Por tanto, tiene la mejor capacidad de MPPT de todas las topologías. Producto de que los módulos FV suelen generar baja tensión (menos que 50 Volts), es necesario elevar la tensión para la conexión a la red, por lo que se incluyen convertidores CD-CD para elevar la tensión. Esta etapa puede incluir transformador de aislamiento de alta frecuencia para proporcionar aislamiento galvánico. Esta topología está destinada a sistemas fotovoltaicos de escala reducida y de uso doméstico.

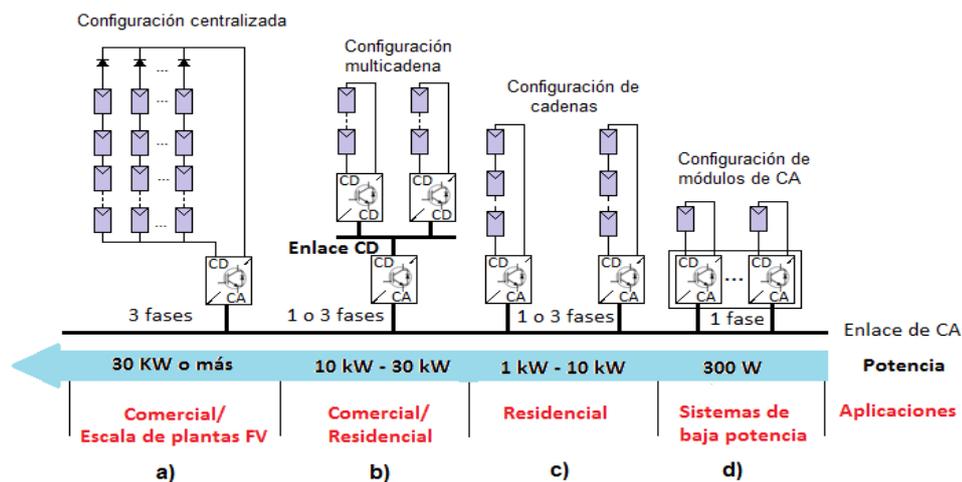


Figura 1. Configuraciones de sistemas FV conectados a la red: a) Centralizada b) De cadenas, c) Multicadenas y d) De módulos de CA. Tomado de Abu-Rub (2014)

1.2 Control del Inversor. Etapa DC-DC

Algunas configuraciones de cadenas, todas las configuraciones multicadenas y la mayoría de los módulos AC integrados incluyen una etapa CD-CD entre el generador FV y el inversor conectado a la red (Abu-Rub 2014). La función principal de la etapa CD-CD es introducir desacoplamiento entre las dos etapas CD. Por tanto, desacoplar la tensión de referencia MPP a la salida del generador FV, de la referencia de tensión del enlace de CD a la entrada del inversor. Funciones adicionales de la etapa CD-CD incluyen elevar la

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



tensión para adaptar el nivel bajo de tensión del generador FV a los requerimientos de tensión del eslabón de CD para conexión a la red y proporcionar aislamiento galvánico en ocasiones.

El esquema de control puede variar de una topología de convertidor CD-CD para otra, así como en dependencia del método de control (lineal, histéresis, fuzzy, etc). Las estructuras de control más encontradas en la práctica son basadas en lazos de control lineales en cascada, con un lazo de tensión externo más lento y uno interno de corriente, más rápido (Sahu, Shaw 2015).

En el caso de un convertidor elevador *boost* el esquema de control adoptado se muestra en la Figura 2. Cualquier algoritmo *MPPT* (Ebrahimi 2015) basado en tensión puede ser usado para generar tensiones de referencia del lazo externo v_{FV}^* . Mediciones de corriente i_{FV} y tensión v_{FV} del sistema son necesarias para el algoritmo *MPPT*. El lazo de tensión externo, controla la tensión del capacitor del convertidor *boost*, o sea, la tensión de salida del generador FV. Por tanto, la referencia para este lazo es dada por el algoritmo *MPPT*. El error de tensión es controlado usando un regulador PI, cuya salida es la corriente a través del capacitor i_C . Como el convertidor no controla directamente la corriente del capacitor, una compensación *feedforward* es incluida para calcular la referencia de corriente del convertidor que sería i_L^* . La corriente del inductor es medida para realimentar y calcular el error de corriente, el cual será controlado por un regulador PI. La salida del lazo de corriente es la referencia para el ciclo útil del convertidor *boost*, el cual es modulado usando *PWM*. La señal de compuerta resultante S_b es utilizada para controlar el semiconductor del *boost*. La tensión de salida v_{CD} del convertidor es controlada por el inversor conectado a la red y puede ser considerada como una tensión fija para propósito de control del *boost*.

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

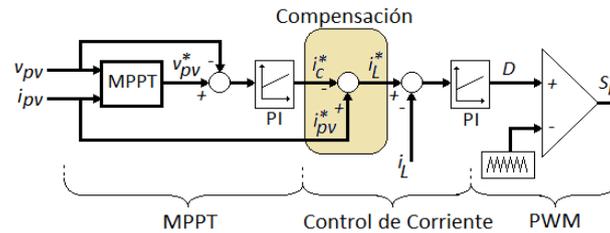


Figura 2. El esquema de control del *MPPT* para convertidor CD-CD *boost*. Tomado de Abu-Rub (2014).

El sistema de control del convertidor *boost*, esencialmente ajusta el ciclo útil para alcanzar la relación de tensión entrada-salida deseada impuesta por el algoritmo *MPPT* y la tensión de CD del enlace de referencia. En estado estacionario el controlador ajustará el ciclo útil (d) del convertidor, el cual cumple que: $\frac{v_{CD}}{v_{FV}} = \frac{1}{1-d}$

1.3 Control de la etapa CD/CA conectada a la red

La función principal del inversor conectado a la red es la sincronización con la misma y el control del flujo de potencia activa y reactiva. Este último se traduce en un control de la corriente de la red y de la tensión en el capacitor del enlace de CD. Para el caso de sistemas monofásicos, la figura 3 muestra un diagrama en bloques del sistema de control para las topologías presentadas en la Figura 1 b, c y d. Ambas tareas son ejecutadas por un sistema de control en cascada, con un lazo interno de corriente con un regulador proporcional resonante (PR) para controlar la corriente de la red de forma sincronizada con la tensión de la misma y uno externo de tensión para fijar la tensión del enlace de CD a un valor de referencia fijado, con un regulador proporcional integral. Una función sinusoidal reconstruida con un PLL para extraer el ángulo de tensión de la red es multiplicada para lograr la sincronización y lograr factor de potencia unitario.

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

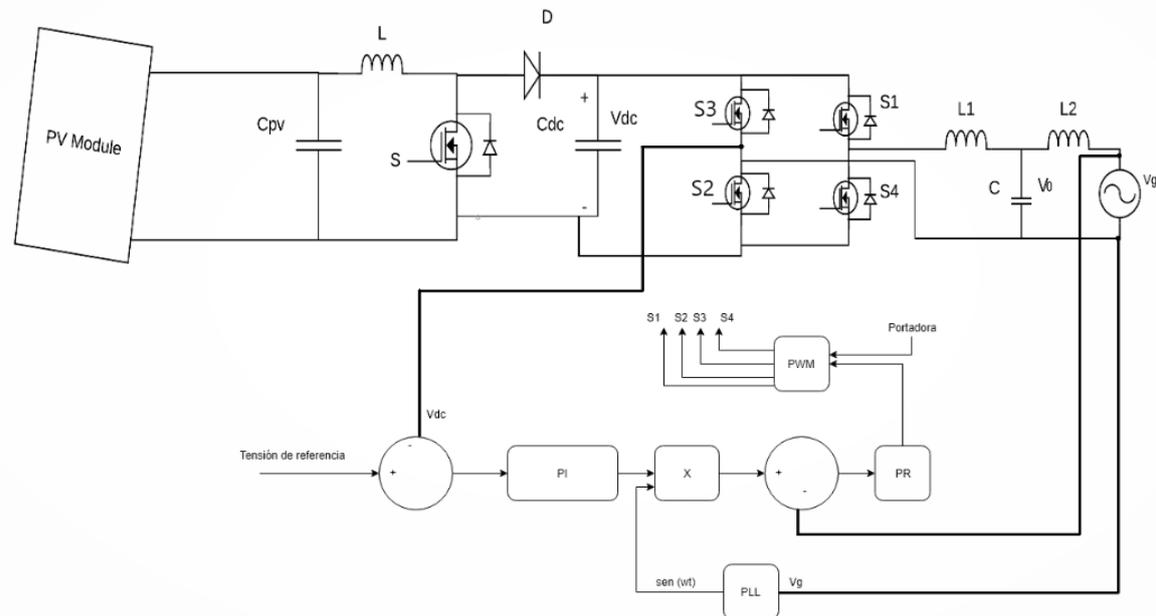


Figura 3. Topología y estrategia de control del inversor.

En este trabajo se presenta la metodología de modelado, control y simulación de la etapa CD/CA, que permitan posteriormente pasar a la etapa de construcción de un prototipo de microinversor.

2. Metodología

2.1 Definición de la estrategia de control del Conversor CD-CA

El conversor CD-CA del tipo puente completo posibilita la regulación de la corriente para lo cual es necesario que la estrategia de control sea tal que la corriente de salida que se inyecta a la red eléctrica, sea una corriente sinusoidal libre de armónicos de salida y que adicionalmente regule la tensión del enlace CD, que es la entrada a la etapa inversora.

Para cumplir el objetivo se propone un sistema de control en cascada, el lazo interno regulando la corriente de salida y el lazo externo regulando la tensión de entrada cuyo esquema se presenta en la figura 4.

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

La figura 4 muestra la tensión de referencia del enlace Vcd, (V_{cd}^*), se compara con el valor real de tensión medida en el enlace CD de entrada al convertor CD-CA, como resultado aparece la señal de error, la cual sirve de referencia al controlador del lazo de tensión (PI), que genera una señal de control que se multiplica por una señal sinusoidal en fase con la tensión de la red eléctrica para garantizar que la tensión de la red y la corriente a ella entregada, estén en fase. La salida del bloque multiplicador servirá de referencia (i_r^*) para el lazo de control interno de corriente. El lazo de corriente recibe además la señal de corriente medida (corriente entregada a la red), generándose a la salida del comparador el error de corriente. A la salida del compensador de corriente (PR), se obtiene una señal de tensión que se aplica al modulador PWM, el cual genera los pulsos de comando para los interruptores del convertor.

La forma de obtener la señal sinusoidal para conformar la referencia de corriente es por mediciones de la tensión de la red, la cual se ve afectada por armónicos que estén presente en la composición espectral de la tensión de la red. La solución para ese problema es utilizar un PLL, como se muestra en la figura 3.

Se puede obtener una representación de la figura 3 utilizando completamente un diagrama de bloques, como muestra la figura 4.

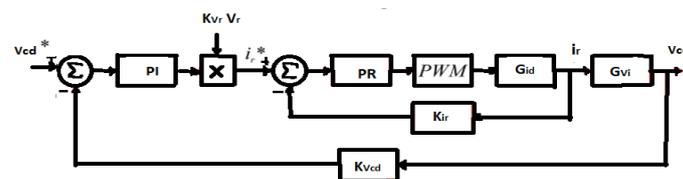


Figura 4. Diagrama de bloques de los lazos de control del inversor.

En esta figura 4 el convertor fue representado por su función de transferencia $G_{id}(s)$, mostrando la relación dinámica entre la corriente controlada como variable de salida y el ciclo útil impuesto por el modulador PWM, como resultado de la estrategia de control. Adicionalmente se utiliza la función transferencial $G_{vi}(s)$ que muestra la relación

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

dinámica entre la tensión del enlace CD, como variable de salida externa y la corriente inyectada a la red.

2.2 Obtención de los modelos promedios de grandes señales

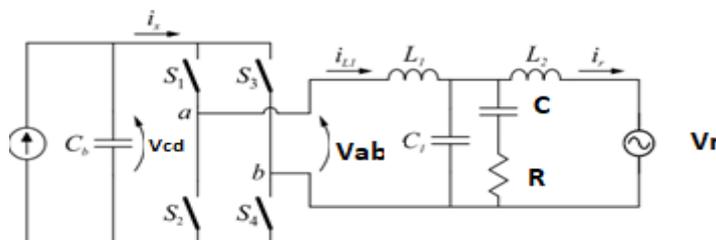
La función del modelo promedio de grandes señales de un convertor estático representa su comportamiento estático y dinámico en valores promedios cuasi instantáneos, se exhibe el valor promedio de las variables en un período de conmutación (Ericson 2007). Se elimina el análisis de las oscilaciones en la frecuencia de conmutación, retirando las discontinuidades provenientes del accionamiento de los interruptores y posibilitando la aplicación de técnicas clásicas de control.

El convertor CD/CA utilizado en este trabajo con el filtro de salida, es mostrado en la figura 5 y fue el presentado por Knabben (2017). Se consideran complementares los interruptores S1 y S2, así como S3 y S4. Considerando la modulación de dos niveles, existen 2 estados posibles de conmutación: U=1 (Q1 y Q4 están conduciendo). Las variables de estado del sistema son: i_{L1} , i_{Lr} y V_c . Escribiendo las ecuaciones del circuito en termino de esas variables, obtenemos:

$$V_{dc} - L_1 \frac{di_{L1}}{dt} = v + RC \frac{dv}{dt}, \quad L_r \frac{di_r}{dt} + v_r = v + RC \frac{dv}{dt}, \quad C \frac{dv}{dt} = i_2 - i_r$$

Dichas ecuaciones pueden ser representadas como un sistema de ecuaciones en forma matricial.

Dado que $V_{ab} = V_{cd} \cdot d - V_{cd} \cdot d'$, $V_{ab} = V_{cd}(2d-1)$



PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

Figura 5. Circuito do Conversor CC-CA con filtro presentado en Knabben 2017.

$$Vdc(2d - 1) - L_1 \frac{d\bar{i}_{L1}}{dt} = \bar{v} + RC \frac{d\bar{v}}{dt}, \quad L_r \frac{d\bar{i}_r}{dt} + \bar{v}_r = v + RC \frac{dv}{dt}, \quad C \frac{d\bar{v}}{dt} = \bar{i}_2 - \bar{i}_r$$

Las variables considerando pequeñas variaciones entorno de un punto de operación son del tipo: $\bar{i} = I + \hat{i}$. Y deben aplicarse a cada una de las variables de estado. Sustituyendo en las ecuaciones del sistema las variables por sus variables de perturbación y aplicando transformada de Laplace, se obtiene la función de transferencia que representa el comportamiento dinámico entre i_r y d .

2.3 Proyecto del compensador de la corriente de salida del inversor y del regulador de tensión del enlace CD.

El lazo de control de la corriente de salida corresponde a una parte del diagrama de bloques presentado en la figura 4. Como fue explicado en la introducción, el controlador PI no alcanza error estacionario nulo ante entradas sinusoidales, por lo que una alternativa es utilizar el controlador Proporcional más el Resonante (PR). Gazoli (2011) presenta un resumen de las características negativas del uso de PI en el control de la corriente en microinversores y detalla las expresiones para el control PR de tipo 1 y tipo 2. Las cuales se colocan a continuación.

$$C(s) = k_p + \frac{2k_i s}{s^2 + \omega_0^2} \quad e \quad C(s) = k_p + \frac{2k_i \omega_c s}{s^2 + 2\omega_c s + \omega_0^2}$$

El compensador PR, fue discutido en Silva (2017) y en Knabben (2017), ambos proponen una metodología para el cálculo de los parámetros del controlador PR. El primer trabajo parte de sintonizar un PI para el lazo interno de corriente y a partir de los parámetros del PI se obtienen los del CR, siendo que la frecuencia ω_0 se fija en 60 Hz. En el caso de Knabben (2017) se realizan los diagramas de bode de tres conjuntos de valores para k_i ,

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

w_c . Cabe resaltar que el proyecto de este controlador no depende de la tensión del inversor, por tanto, se escoge el mismo presentado por Knabben (2017), dado que los resultados, al compararlos con los del filtro propuesto por Silva (2017) fueron superiores.

Para el lazo de control externo, es sintetizado un PI, proyectado para cumplir con requerimientos de frecuencia, seleccionando la frecuencia de cruce por 0 dB como 13 Hz y el margen de fase 60 grados. Los parámetros del controlador se obtuvieron mediante la herramienta SISOTOOL del Matlab. El diagrama de bloques realizado para la simulación de ambos lazos de control en Matlab es destacado en las figuras 6 y 7.

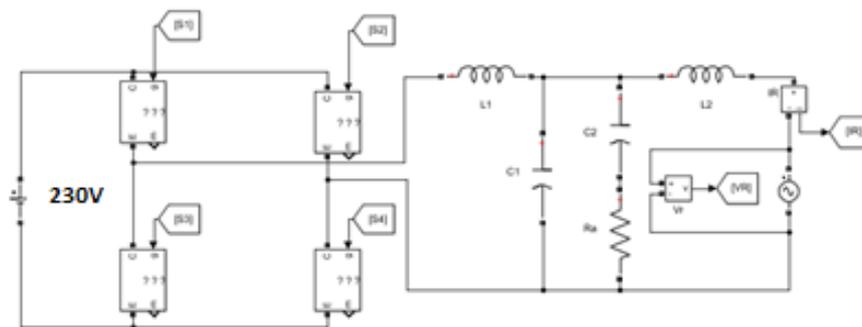


Figura 6. Estructura de la etapa inversora en Matlab-Simulink.

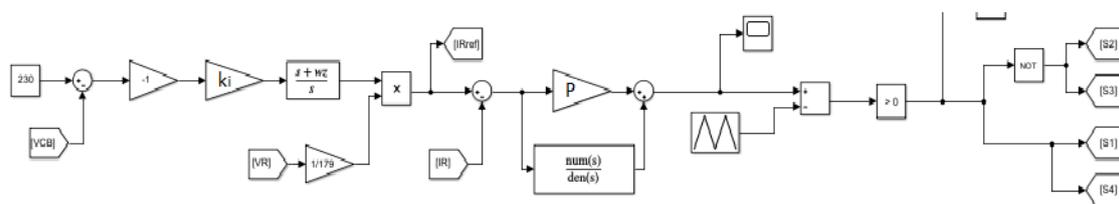


Figura 7. Diagrama del sistema de control del inversor.

3. Resultados y discusión

Como parte de los resultados se logra aplicar correctamente la metodología de modelado de inversor puente completa, tanto con filtro LC como con filtro LCL. El modelo es

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

validado mediante comparación de la respuesta con la obtenida de la simulación directa del circuito del inversor conmutado.

A partir del modelo obtenido y validado se proyectan los controladores PR y PI, los cuales son probados y su diagrama de control se presenta en las figuras 6 y 7. Mediante ese sistema de controle se realizaron varias pruebas.

La figura 8 muestra el seguimiento de la corriente de la red a un valor de referencia sinusoidal en fase con la tensión de la red. En el instante 1.02 segundos se modifica la amplitud de referencia de corriente, simulando un aumento de la corriente entregada por el generador solar, se aprecia de forma ampliada en la figura 8 a el seguimiento a la nueva señal en un tiempo inferior a 1 ms.

La figura 9 a) muestra que la tensión y la corriente están en fase y la figura 9 b) representa el control de la tensión del enlace CD, realizada por el lazo de tensión externo. Se aplica una inyección de corriente en el instante 0.82 s y como resultado la tensión en el enlace CD sube, como respuesta a ese incremento de tensión Vdc, se aparecía en la figura 10 que la referencia de corriente exige un aumento de la corriente entregada a la red y como consecuencia la tensión de la red de la fig 9 a) vuelve a establecerse en 230 V, que es el valor de referencia para Vcd. Los controladores utilizados son susceptibles a mejores sintonías para disminuir la sobre cresta de la tensión Vcd y se destaca que la oscilación de Vdc es inferior al 1%, que fue considerado como elemento de proyecto.

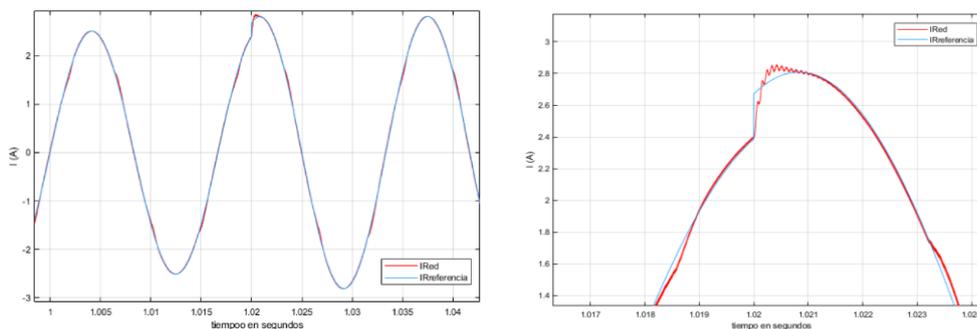


Figura 8. a) Respuesta del lazo de control de la corriente de la red i_r , ante un cambio de amplitud en el valor de referencia en el tiempo 1.02 s. b) Respuesta ampliada en el instante 1.02 s.

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

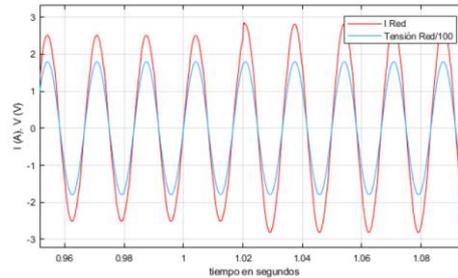


Figura 9. Muestra que la tensión de la red y la corriente se mantienen en fase.

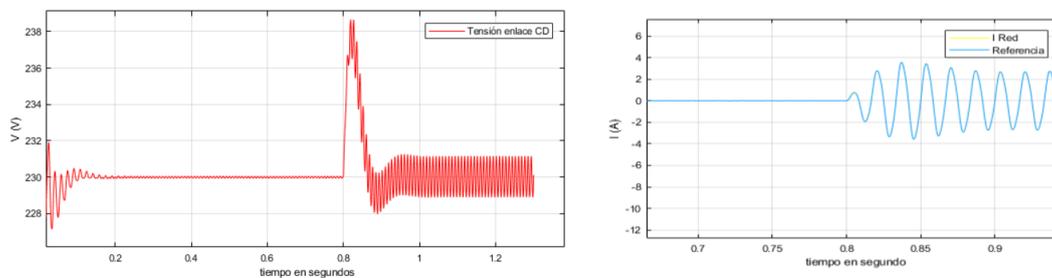


Figura 10. a) Respuesta de la corriente de la red ante una inyección de corriente en el enlace CD
b) Respuesta del lazo de control de tensión V_{cd} , ante una inyección de corriente en el enlace CD.

4. Conclusiones

Este trabajo permite seguir una metodología para proyectar la etapa CD/CA de un microinversor fotovoltaico. La metodología seguida fue obtenida de Knabben (2017) y en este trabajo se aplica para un inversor de 127 V, resultando adecuada. Puede comprobarse que tanto el proyecto del filtro, como de los controladores a partir del modelo obtenido para el sistema, comprueban el funcionamiento correcto del sistema. Una próxima etapa del trabajo corresponde a la construcción del prototipo y a la incorporación del algoritmo anti isla y del PLL para sincronismo con la tensión de la red. Es posible incorporar otros tipos de controladores o mejores ajustes para los actuales, para mejorar la respuesta transitoria de la tensión V_{cd} y la corriente inyectada a la red.

5. Referencias bibliográficas

susset.guerra@ufr.br
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**



**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**

Premkumar, M., Karthick, K. and Sowmya, R. (2018). “A Review on Solar PV Based Grid Connected Microinverter Control Schemes and Topologies”. International Journal of Renewable Energy Development, 7(2), pp-179-182, <https://doi.org/10.14710/ijred.7.2.171-182>

Abu-Rub, H., Malinowski M., Al-Haddad, K. (2014). Photovoltaic Energy Conversion Systems in Power Electronics for Renewable Energy Systems, Transportation and Industrial Applications. Wiley-IEEE Press. pp.832. doi: 10.1002/9781118755525.

Brito, M.A.G.D. (2013) Inversores Integrados Monofásicos eTrifásicos para Aplicações Fotovoltaicas: Técnicas para obtenção de MPPT, detecção e proteção de ilhamento, sincronização e paralelismo com a rede de distribuição de energia elétrica. Tesis Doctoral. Universidad Estadual Paulista “Julio de Mesquitas Filho”.

Ebrahimi Y. M. J. (2015). General overview of maximum power point tracking methods for photovoltaic power generation systems. 30th International Power System Conference (PSC), Teheran.

Sahu, P.K., Shaw, P. and Maity, S. (2015). “Modeling and control of grid-connected DC/AC converters for single-phase micro-inverter application”. 2015 Annual IEEE India Conference (INDICON). New Delhi, 17-20 Diciembre 2015. IEEE. (pp. 1-6). pp. 228-233.

Gazoli J.R (2011) Microinversor monofásico para Sistema Solar FV Conectado à Rede Elétrica. Campinas Brasil.

Knabben, G.C. (2017) Microinversor fotovoltaico não isolado de dois estágios. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina.

Silva, J.N.D. (2017) Controle Repetitivo Discreto Aplicado A Um Inversor Monofásico Conectado à Rede Elétrica. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Bahia.

Erickson, R.W. y Maksimovic, D. (2007). Fundamentals of power electronics. Springer Science & Business Media.

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



susset.guerra@ufr.br
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu