
**CONTROL PREDICTIVO DE FRECUENCIA CUASI-CONSTANTE DEL
CONVERTIDOR VERSÁTIL BUCK-BOOST PARA APLICACIONES
FOTOVOLTAICAS**

**BRIAN IAN BARRUETO CÁRCAMO
INGENIERO CIVIL MECATRÓNICO**

RESUMEN

En este proyecto de investigación se estudia el problema de la obtención de la máxima potencia de un módulo fotovoltaico con dos diodos de bypass. En este contexto, existen dos posibles puntos de máxima potencia. Uno de ellos se presenta cuando un diodo bypass es activado por una condición de sombra, limitando la potencia aproximadamente a la mitad y ubicando el punto de potencia máxima aproximadamente a la mitad de la tensión nominal. El otro punto de operación indica ausencia de sombreado, y el panel opera a máxima potencia y voltaje nominal. La ley de control se caracteriza por un doble lazo, un lazo interno de corriente y un lazo externo de tensión. El controlador de corriente propuesto se basó en la estrategia de control predictivo de estados finitos basado en modelo. El segundo corresponde a un lazo externo de tensión de tipo proporcional-integral. El algoritmo de seguimiento del punto de máxima potencia (Maximum Power Point Tracking (MPPT)) seleccionado fue una técnica clásica simple de perturbar y observar ya que la principal aportación de este trabajo de tesis se enfoca en el lazo interno de corriente. La característica principal del lazo interno es que en estado estacionario tiene la capacidad de establecer una frecuencia de conmutación cuasi-constante de 100 kHz. Para ello, el algoritmo posee tres estados de conmutación posibles (estado buck, estado boost y estado común para ambos modos) y dos modos de operación (modo buck y boost). El modo buck corresponde a un modo de operación en que el algoritmo alterna entre el estado buck y el estado común cuando el panel opera en ausencia de sombra. Por otro lado, el modo boost corresponde al modo de operación en que el algoritmo alterna entre el estado boost y el estado común cuando el panel se encuentra en presencia de sombra. Luego de decidir el modo de operación, el algoritmo establece el tipo de control de corriente (peak o valle) para definir el tiempo de

permanencia en cada estado. Finalmente, el algoritmo calcula también el tiempo necesario que debe permanecer en el estado complementario para mantener la frecuencia cuasi-constante. El controlador se implementó en un convertidor conmutado DC-DC buck-boost no inversor con inductores acoplados y red de amortiguamiento debido a sus diferentes ventajas: alto nivel de eficiencia, ancho de banda amplio, posibilidad de controlar corriente de entrada, corriente de salida, voltaje de entrada o voltaje de salida, y operar en modo buck o boost de manera independiente, entre otras. En adelante, se hará mención a este convertidor como convertidor versátil buck-boost. Las ventajas y características previamente establecidas hacen al convertidor versátil buck-boost adecuado para una aplicación fotovoltaica particular que requiera una operación de elevación o reducción de voltaje. El sistema de estudio consiste en un panel solar, un convertidor DC-DC y una batería. El panel solar (del sistema panel fotovoltaico - convertidor DC-DC- batería) ha sido emulado a través de una fuente de tensión variable, mediante la cual se han programado tanto la curva característica I-V como condiciones de sombreado parcial. El desarrollo del proyecto comprende simulación y experimentación. El software utilizado es PSIM, el cual está diseñado específicamente para aplicaciones de electrónica de potencia. A continuación, se presenta una descripción de los capítulos de esta memoria. En el Capítulo 1 se desarrolla una descripción de la problemática abordada, se presenta un estado del arte de los convertidores DC-DC clásicos en conjunto con el convertidor versátil buck boost y se establecen los objetivos, alcances, limitaciones y metodología de trabajo. En el Capítulo 2 se desarrolla un estudio de algoritmos MPPT clásicos de la literatura tales como perturbar y observar, conductancia incremental, voltaje fraccionario de circuito abierto y corriente fraccionaria de cortocircuito. En el Capítulo 3, se establece el diseño del controlador propuesto. Inicialmente, se lleva a cabo un análisis del principio de funcionamiento del control predictivo de estados finitos basado en modelo (Finite Control Set Model Predictive Control (FCS-MPC)). Luego, se implementan dos sistemas MPPT con una estrategia de control multilazo. El primero utiliza en el lazo externo de tensión un controlador PI, mientras que el controlador del lazo interno de corriente es un control FCS-MPC

clásico. El segundo sistema utiliza un controlador PI para el lazo externo de tensión, mientras que en el lazo interno de corriente se implementa el controlador FCS-MPC desarrollado en este proyecto. En el Capítulo 4 se exponen los resultados de simulación y experimentales tanto para el controlador FCS-MPC clásico como para el controlador FCS-MPC a frecuencia cuasi-constante. Como primera etapa, se evalúa el funcionamiento del lazo interno de corriente fijando voltajes constantes de entrada y salida del convertidor, verificando así el seguimiento de diferentes referencias de corriente a una frecuencia cuasi-estacionaria de 100 kHz. Como segunda etapa, evalúa el funcionamiento del lazo externo de tensión, reemplazando la fuente de voltaje DC a la entrada del convertidor por un panel solar y verificando el seguimiento de referencias de tensión constantes. Como tercera etapa y final, se integra el algoritmo MPPT para verificar el seguimiento del máximo punto de potencia del panel solar con activación y desactivación del diodo de derivación al programar una condición de sombreado parcial. Los resultados experimentales obtenidos se han contrastado con simulaciones realizadas mediante el software de simulación de PSIM, obteniendo resultados satisfactorios tanto para estado estacionario como estado transitorio. Finalmente, se establecen conclusiones pertinentes al trabajo desarrollado en la presente memoria de título. Este proyecto se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Aplicaciones en Redes Inteligentes (LARI) en el área de aplicaciones en corriente continua en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Talca. Este trabajo fue apoyado por el Gobierno de Chile en el marco del Proyecto CONICYT/FONDECYT 1191680 y SERC Chile (CONICYT/FONDAP/15110019). El proyecto contó con la colaboración del Dr. Carlos Restrepo (Director del proyecto), quien es profesor titular del departamento de ingeniería eléctrica de la Universidad de Talca, Duberney Murillo Yarce, estudiante de doctorado de la Universidad de Talca y el Dr. Roberto Giral, profesor titular en el Departamento de Ingeniería Electrónica, Eléctrica y Automática de la Universidad Rovira i Virgili, quien en su estancia en Chile contribuyó enormemente con el desarrollo conceptual y teórico del algoritmo de control.