

# Abstract

---

The maximum power point tracking (MPPT) is one of the most important features of a system that process the energy produced by a photovoltaic generator must hold. It is necessary, in fact, to design a controller that is able to set the value of voltage or current of the generator and always ensure the working within its maximum power point. This point can considerably change its position during the day, essentially due to exogenous variations, then sunshine and temperature. The MPPT techniques presented in literature and adopted in commercially devices operate a voltage control of the photovoltaic generator and require careful design of the control parameters. It is in fact complex obtain high performance both in stationary that strongly variable conditions of sunshine without a careful choice of some parameters that affect in both conditions the performance of the algorithm for the MPPT. In this thesis has been addressed the analysis of an innovative current-based MPPT technique: the sensing of the current in the capacitor placed in parallel with the photovoltaic source is one of the innovative aspects of the proposal. The controller is based on a nonlinear control technique called "sliding mode" of which has been developed an innovative model that allow to obtain a set of conditions and enable the designing of the controller with extreme simplicity. The model also allow to demonstrate how the performance of this MPPT control technique are independent not only from the characteristics and operating conditions of the photovoltaic generator, but also by the parameters of the switching converter that implements the control. This property allows a significantly simplification in the designing of the controller and improve the performance in presence of rapid changes of the irradiance. An approach to the dynamic analysis of a class of DC/DC converters controlled by a sliding mode based maximum power point tracking for photovoltaic applications has been also presented. By referring to the boost and SEPIC topologies, which are among the most interesting ones in photovoltaic applications, a simple analytical model is obtained. It accounts for the sliding mode technique that allows to perform the maximum power point tracking of the photovoltaic generator connected at the converters input terminals. Referring to the previous approach, a correction term allowing to have an increased accuracy of the model at high frequencies has been also derived. The control technique proposed has been implemented by means of low cost digital controller in order to exploit the potential offered by the hardware device and optimize the performance of the controller. An extensive experimental analysis has allowed to validate the results of the research. The laboratory measurements were conducted on prototypes of DC/DC converters, boost and SEPIC, carried out by Bitron SpA. There are a considerable experimental tests both in the time and in the frequency domain , both using source generator in laboratory than photovoltaic panels. The results and theoretical simulations have found a large validation through laboratory measurements.

La funzionalità di Maximum Power Point Tracking (MPPT) è uno dei fattori chiave di ogni sistema fotovoltaico. Tra le diverse tecniche di MPPT, quella denominata Perturba e Osserva è sicuramente la più diffusa, sia per la sua robustezza che per la sua semplicità, che ne rende molto agevole l'attuazione su controllori digitali a basso costo. Negli ultimi anni si è osservato un notevole sforzo verso l'ottimizzazione del rendimento elettrico dei sistemi di conversione fotovoltaica, dimenticando spesso che il rendimento totale in tali sistemi è anche funzione del rendimento dell'algoritmo di MPPT. Quest'ultimo è influenzato dalle prestazioni a regime e in transitorio, ovvero dal comportamento dell'algoritmo in presenza di un livello di irraggiamento quasi costante oppure tempo variante. L'ottimizzazione delle prestazioni di un algoritmo Perturba e Osserva può essere ottenuta mediante una opportuna scelta dei valori dei due parametri che lo caratterizzano, che sono l'ampiezza e la frequenza delle perturbazioni applicate alla variabile di controllo del convertitore switching che attua il controllo. La maggior parte degli algoritmi MPPT presentati in letteratura e disponibili in commercio è basata sul controllo della tensione del generatore fotovoltaico, in quanto si sfrutta la dipendenza logaritmica di tale grandezza rispetto al livello di irraggiamento. Tuttavia, per conseguire un controllo MPPT molto veloce, sarebbe conveniente sfruttare la dipendenza lineare della corrente del generatore fotovoltaico dal livello di irraggiamento. Questo però può compromettere seriamente la produttività energetica dell'impianto qualora si verificassero variazioni ampie di soleggiamento. Non a caso, infatti, esistono pochi esempi di controllo MPPT basati sulla corrente piuttosto che sulla tensione del generatore. In questo lavoro di tesi vengono affrontate l'analisi, il progetto e l'implementazione pratica di una tecnica innovativa di controllo MPPT Perturba e Osserva di tipo current-based applicata a convertitori dc/dc per il fotovoltaico. Il metodo permette un'ottima stima delle variazioni di soleggiamento e, in aggiunta, garantisce una elevata reiezione ai disturbi che caratterizzano qualsiasi sistema fotovoltaico e ne influenzano l'efficienza di MPPT. Il metodo current-based proposto unisce i vantaggi di un anello interno di controllo in corrente, realizzato attraverso una tecnica di tipo Sliding Mode, con quelli ben noti garantiti da un anello esterno di controllo in tensione. L'anello interno opera sulla misura della corrente che interessa il condensatore che viene posto in parallelo alla sorgente fotovoltaica. Il controllo in corrente Sliding Mode assicura ottime performance in termini di stabilità e una elevata reiezione ai disturbi provenienti dall'uscita del convertitore dc/dc, anche di ampiezza elevata, garantendo una buona risposta dinamica e robustezza. Sebbene il controllo Sliding Mode sia particolarmente indicato per i sistemi non lineari e tempo varianti quali sono i convertitori switching, pochi sono gli strumenti analitici di progetto disponibili in letteratura. Ciò è dovuto al fatto che, rispetto ai classici metodi lineari utilizzati per il progetto dei controllori più comuni, è richiesto un approccio completamente diverso, spesso formalizzato teoricamente, ma mai reso fruibile ad un progettista elettronico, il quale è interessato ad un set di condizioni che coinvolgono i parametri circuitali e di controllo e che permettono di verificare l'instaurarsi del regime di Sliding e la stabilità di funzionamento. In questo lavoro di tesi viene dunque affrontato il problema della creazione di un flusso di progetto adeguato per l'analisi e la sintesi di un controllore Sliding Mode per convertitori switching dc/dc per applicazioni fotovoltaiche, sintetizzando i diversi concetti cardine della teoria mediante un approccio tipicamente grafico. Uno degli argomenti principali è la ricerca di condizioni fisiche per la verifica della cosiddetta "condizione di esistenza" del regime Sliding. Nell'imporre una precisa dinamica al convertitore attraverso la scelta di una specifica legge di controllo, ovvero attraverso la cosiddetta superficie di Sliding, è necessario che le

dinamiche delle singole sottostrutture in cui si scompone il convertitore, che si alternano durante lo switching, siano attratte dalla superficie stessa e rimangano vincolate su di essa. Se tale condizione viene verificata, si instaura il regime di Sliding desiderato e dunque la risposta del convertitore a sollecitazioni o disturbi risulta predicibile. Nella ricerca di tale regione bisogna inevitabilmente affrontare problemi strettamente connessi a quello della risoluzione di sistemi di equazioni differenziali e risulta generalmente complesso arrivare alla soluzione finale, a causa ad esempio dell'ordine elevato del sistema, mentre spesso l'utilizzo pratico dei risultati ottenuti non è agevole per un progettista. Uno degli obiettivi di questo lavoro di tesi è la definizione, all'interno di un flusso di progetto ben definito e per determinate topologie di convertitori, degli strumenti per la scrittura di relazioni di progetto e di condizioni specifiche da utilizzare sia per la definizione della regione di esistenza del regime di sliding, sia più in generale in fase di analisi e sintesi dei convertitori. La progettazione del controllore è stata realizzata utilizzando le equazioni di progetto cui si è pervenuti al termine dello studio teorico. Particolare attenzione è stata dedicata anche all'implementazione del modulatore sliding mode, che spesso viene realizzato unicamente utilizzando dispositivi analogici. Nell'ambito del lavoro di tesi è stata invece realizzata una versione ibrida, analogica e digitale, del controllore Sliding Mode, con notevoli vantaggi in termini di flessibilità e compattezza. Simulazioni circuitali e acquisizioni sperimentali hanno permesso di validare i risultati dello studio, in particolare su un convertitore del secondo ordine (Boost) e su uno di ordine superiore (Sepic): i prototipi sono stati realizzati in collaborazione con Bitron S.p.A.