

Abstract

The intensive and prolonged use of fossil fuels to power most human activities has resulted in severe environmental and climatic consequences. In response to these challenges, the past decade has witnessed increasing global efforts to identify and implement sustainable alternatives with a lower environmental footprint. This has led to a major shift toward renewable energy sources, with solar photovoltaic and wind power emerging as the most widely adopted technologies.

The continuous development and cost reduction of PV and wind systems have enabled their large-scale deployment in power generation. Nevertheless, one of the key limitations of renewable energy sources lies in their inherent intermittency, making them non-dispatchable sources. To mitigate this problem, efficient and scalable energy storage systems are crucial. Such systems allow the temporary storage of excess energy produced during peak generation periods and its subsequent release during times of low production or high demand.

Among the various energy storage systems, hydrogen-based storage has gained growing interest in recent years due to its versatility and potential for large-scale integration. Hydrogen can function both as a long-term energy carrier and as a clean fuel capable of decarbonising hard-to-abate sectors such as heavy industry and transportation.

Among the various techniques for producing hydrogen, the one that best matches renewable sources is electrolysis. General information on the production process, the various technologies used, the structure of the plants and hydrogen storage systems, as well as the challenges still to be faced, is provided to give as clear a picture as possible of the current state of the art. Because of their characteristics, the focus is then placed solely on Proton Exchange Membrane (PEM) electrolyzers and metal hydride storage systems.

An analysis of the literature on the types of electronic power converters used or theorised for this application is also carried out. Of all the converter topologies already considered, the one best suited to powering a PEM-type electrolyser is the stacked interleaved buck, thanks to its ability to cancel the output current ripple under any load condition. A modulation technique is therefore studied to maximise the efficiency of the converter while ensuring the cancellation of current ripple on the electrolyser. Finally, simulations and experimental tests are conducted to validate the proposed solution.

Abstract

L'uso intensivo e prolungato dei combustibili fossili per alimentare la maggior parte delle attività umane ha provocato gravi conseguenze ambientali e climatiche. In risposta a queste sfide, nell'ultimo decennio si è assistito a un aumento degli sforzi globali volti a identificare e implementare alternative sostenibili con un minore impatto ambientale. Ciò ha portato a un importante passaggio alle fonti di energia rinnovabile, con l'energia solare fotovoltaica e l'energia eolica che si sono affermate come le tecnologie più diffuse.

Il continuo sviluppo e la riduzione dei costi dei sistemi fotovoltaici ed eolici hanno consentito la loro diffusione su larga scala nella produzione di energia elettrica. Tuttavia, uno dei limiti principali delle fonti di energia rinnovabile risiede nella loro intrinseca intermittenza, che le rende fonti non dispacciabili. Per mitigare questo problema, sono fondamentali sistemi di accumulo dell'energia efficienti e scalabili. Tali sistemi consentono l'accumulo temporaneo dell'energia in eccesso prodotta durante i periodi di picco di generazione e il suo successivo rilascio nei momenti di bassa produzione o di elevata domanda.

Tra i vari sistemi di accumulo di energia, quello basato sull'idrogeno ha suscitato un interesse crescente negli ultimi anni grazie alla sua versatilità e al suo potenziale di integrazione su larga scala. L'idrogeno può fungere

sia da vettore energetico a lungo termine che da combustibile pulito in grado di decarbonizzare settori complessi come l'industria pesante e i trasporti.

Tra le varie tecniche di produzione dell'idrogeno, quella che meglio si adatta alle fonti rinnovabili è l'elettrolisi. In questa tesi vengono fornite informazioni generali sul processo di produzione, sulle varie tecnologie utilizzate, sulla struttura degli impianti e sui sistemi di stoccaggio dell'idrogeno, nonché sulle sfide ancora da affrontare, al fine di fornire un quadro il più chiaro possibile dello stato dell'arte attuale. Date le loro caratteristiche, l'attenzione è poi focalizzata esclusivamente sugli elettrolizzatori a membrana a scambio protonico (PEM) e sui sistemi di stoccaggio a idruri metallici.

Viene inoltre effettuata un'analisi della letteratura sui tipi di convertitori di potenza elettronici utilizzati o teorizzati per questa applicazione. Tra tutte le topologie di convertitori già prese in considerazione, quella più adatta ad alimentare un elettrolizzatore di tipo PEM è lo stacked interleaved buck, grazie alla sua capacità di annullare l'ondulazione della corrente di uscita in qualsiasi condizione di carico. Viene quindi studiata una tecnica di modulazione per massimizzare l'efficienza del convertitore garantendo al contempo l'annullamento dell'ondulazione di corrente sull'elettrolizzatore. Infine, vengono condotte simulazioni e prove sperimentali per convalidare la soluzione proposta.