

Entwicklung und Felderfahrung eines 5000 Watt BZ – Inverters unter Berücksichtigung alternativer Lösungen für Integrierte DC/ DC Wandler

Dipl. Ing. Dipl. Ökonom Werner Bergmann
Dr. Peter Ide
Dipl. Ing. Nigel Springet
Delta Energy System (Germany) GmbH
Coesterweg 45
59494 Soest, Deutschland

Kurzfassung

Das Konzept für die Entwicklung eines 5000 Watt Brennstoffzellen Wechselrichters mit integrierten DC/DC Wandler für die Versorgung eines Heiz – Energiesystems auf Basis einer PEM - Brennstoffzelle werden erläutert. Die gefundene Realisierung und die Erfahrungen aus dem Feldtest werden präsentiert und möglich neue Anforderungen und Lösungsmöglichkeiten diskutiert.

Abstract

The concept for the development of a 5000 fuel cell inverter with integrated dc/dc converter for the use in house energy systems with a PEM fuel cell will be explained. The chosen solution and the experience in the field is presented, following by the discussion of some new requirements and possible solutions.

1 Einführung

Die Entwicklung von Hausenergiesystemen unter Nutzung von Brennstoffzellen wird seit einiger Zeit untersucht, getestet und auch in im Feld erprobt. Zum Einsatz kommen dabei Brennstoffzellen auf Basis von PEM, SOFC und neuerdings auch Hochtemperatur – PEM Technology. Die erwarteten Vorteile gegenüber anderen Konzepten der Kraft – Wärme Koppelung sind ein hoher elektrischer Nutzgrad sowie ein hoher Gesamtwirkungsgrad über einen weiten Leistungsbereich. Der Betrieb der Brennstoffzellen erfordert bei allen Systemen Hilfsenergie für den Reformier und die Brennstoffzelle selbst – z. B. Pumpen, Lüfter, Ventile, Kompressoren und Die Steuerung und Überwachung. Die benötigte Leistung dafür kann im Hochlauf 15-30% und im Dauerbetrieb 5- 15% der BZ –Leistung betragen. Wird diese Leistung aus dem Netz entnommen verschlechtert sich der Gesamtwirkungsgrades des Systems. Wird dagegen diese Leistung nur im Anlauf aus dem Netz genommen, dagegen für den Dauerbetrieb möglichst direkt von der BZ zur Verfügung gestellt, kann der Gesamtwirkungsgrad deutlich erhöht werden.

Die konventionelle Lösung wie in **Bild 1** dargestellt entspricht einer Lösung mit 2 unabhängigen Einheiten, einem netzparallelen Wechselrichter und einem Netzgerät für den Eigenverbrauch.

Das hier betrachtete System ist eine Brennstoffzelle mit einer Gesamtleistung von 5600 Watt und einer Netzeinspeisung von 4600 Watt. Ausgehend von der Überlegung die Versorgung für die Hilfsenergie direkt aus der Brennstoffzelle zu ermöglichen hat sich Delta für eine bidirektionale Lösung entschieden.

Conventional solution using external auxiliary power supply

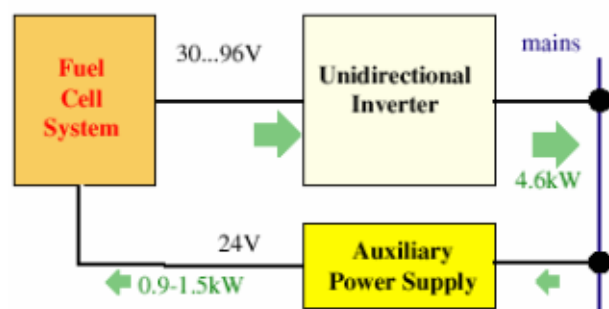


Bild 1. Konventionelle Lösung

2 Konzept des Wechselrichters mit integriertem DC/DC Wandler

2.1 Schaltungskonzepte

Bild 2 und **Bild 3** stellen mögliche Lösungsansätze dar. Die Überlegungen zu Bild2 sind schnell verworfen, da die zusätzlich erforderliche Diode den Wirkungsgrad dauerhaft verschlechtert und zudem die Komplexität des bidirektionalen Betriebs über beide Leistungsstufen deutlich steigt.

Fully bidirectional inverter system with buck converter

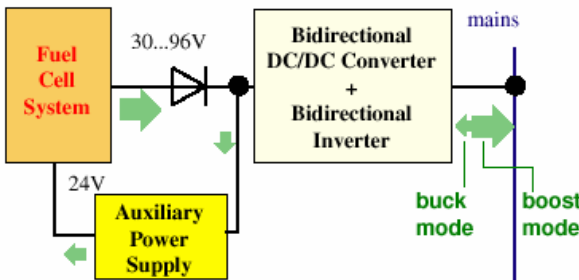


Bild 2 Komplett bidirektionale Lösungen

In dem Bild 3 ist die Lösung mit einer bidirektionaler Wechselrichterstufe und einem integriertem DC/DC Wandler dargestellt

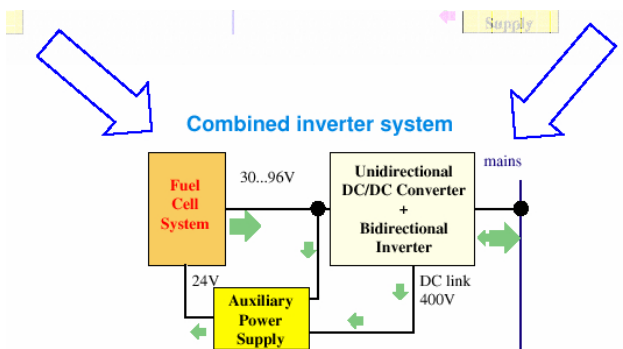


Bild 3 Konzipierte Lösungen

Bei diesem Konzept soll die vorhandene Elektronik der Wechselrichterstufe auch für die Versorgung vom Netz im Anlauf genutzt werden.

Bild 4 zeigt im Detail die realisierte Schaltung. Der Ausgangsstrom der BZ wird über einen DC/DC Wandler auf eine Zwischenkreisspannung von 400 V angehoben. Für die Inverterstufe ist eine 4 Quadranten Brückenschaltung gewählt, die auch einen bidirektionalen Betrieb ermöglicht. Der DC/DC Wandler für die benötigte Hilfsenergie hat 2 Eingänge, einmal direkt von dem Ausgang der Brennstoffzelle, zum anderen von dem Zwischenkreis mit 400 V.

Im Anlauf wird über die Inverterstufe der Zwischenkreis hoch geladen und bei Erreichen der erforderlichen Spannung wird über den DC/DC Wandler der Reformer und die Brennstoffzelle versorgt. Wenn die entsprechende Energie dann am Ausgang der BZ zur Verfügung steht wird der DC/DC Wandler dann direkt vom Spannungsniveau an der DC – Eingangsseite betrieben. Dabei kommt einfacher, effizient geregelter Tiefsetzsteller zum Einsatz.

Für die Auswahl einer entsprechenden Schaltung für den DC/ DC Wandler wurden verschiedene Lösungen untersucht. Gewählt wurde ein 2 Transistor Gegentaktwandler für den Anschluss an den Zwischenkreis und ein einfacher Tiefsetzsteller für direkt von der BZ. Beide Einheiten be-

sitzen eigene PWM – Controller und Treiber, die Spannungs- und Stromsteuerung ist gemeinsam ausgeführt.

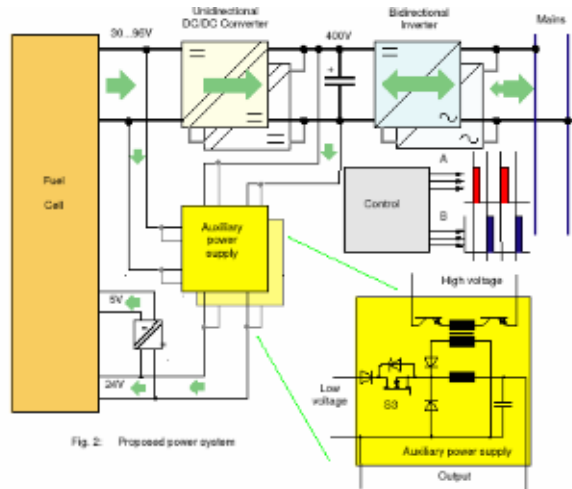


Bild 4 Schaltbild

2.2 Verluste und Wirkungsgrade

In der Schematischen Darstellung Bild 5 sind die erwarteten Verluste für die einzelnen Stufen aufgezeigt und die Unterschiede zwischen der Lösung Bild 1 (konventionelles System) und der Lösung gemäß Bild 3 (realisiertes System) dargestellt. Dabei ist Dauerbetrieb gegeben. Der Vergleich ergibt eine Verbesserung des Gesamtwirkungsgrades um 2,5%.

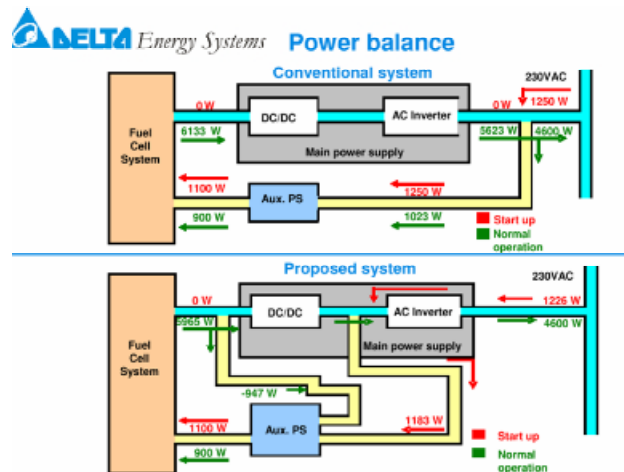


Bild 5 Leistungsflüsse

Nehmen wir als Mittelwert für alle Baugruppen eine Wirkungsgrad von 93% an und setzen wir den Hilfsenergiebedarf mit 20 % der elektrischen Leistung des Brennstoffzellensystems an so reduziert sich für das konventionelle System der Teilwirkungsgrad für die Bereitstellung der Hilfsenergie auf 80% und der Gesamtwirkungsgrad auf 90,5% gegenüber 93% bei dem vorgeschlagenem System.

Natürlich gibt es weitere Einflüsse auf den Wirkungsgrad die von der tatsächlichen Realisierung abhängen. Nachstehend wird noch auf den zusätzlichen Vorteil hingewiesen, ein solches System nach dem Start auch im Stand – BY betreiben zu können wenn eine Abschaltung des Netzes vorliegt.

3. Feldtest

Die Geräte sind 2003 entwickelt und dann in einen Feldtest mit 43 Systemen gegangen der 2006 abgeschlossen wurde. Insgesamt sind dabei ca. 40000 Betriebsstunden erreicht worden, dabei sind ca. 1 Million kWh elektrische Leistung erzeugt worden und entsprechend etwa 2 Millionen kWh Wärme

Bild 6 zeigt den Umfang und die räumliche Verteilung der Installationen. Die schematische Darstellung des Geräts in das BZ System ist in **Bild 7** zu erkennen.

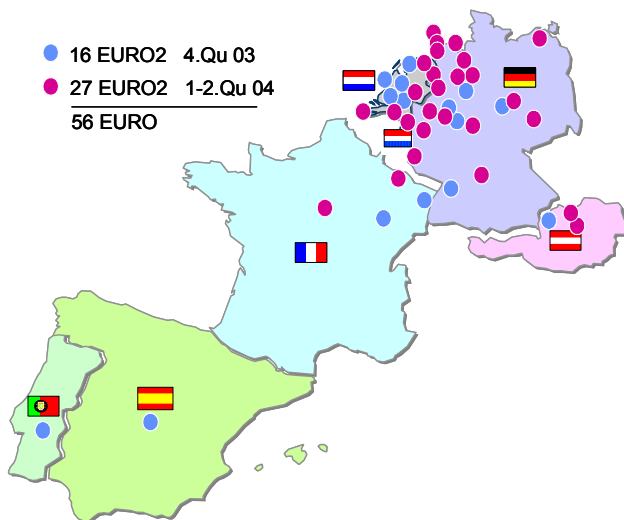


Bild 6 Standorte der Testinstallationen

Der Wechselrichter ist an der Frontseite des BZ- System eingebaut. Die Kühlung erfolgt über Lüfter, gegen Verschmutzung ist das System über Filtermatten geschützt.

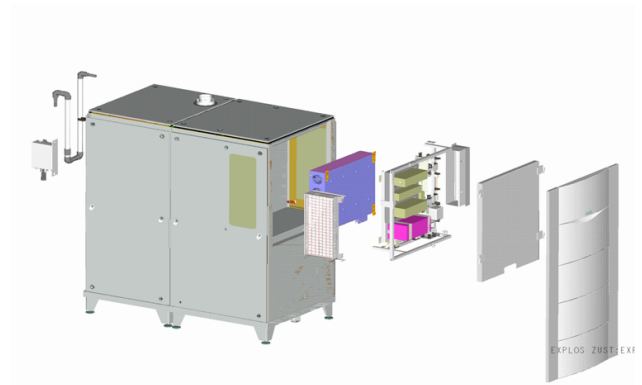


Bild 7 Aufbau des BZ- Systems

Aus den oben genannten Zahlen kann der Feldtest für den Wechselrichter als erfolgreich bezeichnet werden - bezogen auf die Brennstoffzellensysteme haben die Erkenntnisse zu neuen Anforderungen geführt. Trotzdem gibt es einige Beobachtungen, die erwähnenswert sind:

- Beim Anlauf der Brennstoffzelle traten negative Stackspannungen auf die den Verpolschutz des Wechselrichters auslösten und zum Abschalten des Systems führten
- Es ergab sich häufiges Ein – Ausschalten des Systems wenn die Stackspannung unter die eingestellt Abschaltspannung fiel, danach aber wieder die Einschaltspannung anlag. Ursache dafür ist eine nicht stabile Spannung des Stacks.
- Bei einigen Anlagen war die Kühlung nicht ausreichend was eine Leistungsreduzierung zur Folge hatte. Durch Einsatz einer dünneren Filtermatte konnte dies behoben werden.
- Die erforderliche Netzüberwachung und die richtige oder falsche Auslösung stellt ein Problem für den Betrieb der Brennstoffzelle dar.

Aufgrund zum Teil nicht vorhandener oder bekannter Parameter über das Betriebsverhalten der BZ ergeben sich noch Schachstellen in der Anpassung, die aber bei genauerer Definition vom Wechselrichter aufgefangen werden können.

4 Weitere Entwicklung und zusätzliche Anforderungen.

Der oben beschriebene Wechselrichter ist als einfach zu integrierende Komponente in weitere netz-parallel betriebene BZ –Systeme eingesetzt und hat sich als robuste Lösung bewährt. Dabei sind Systeme mit einer Gesamtleistung bis zu maximal 30 kW realisiert worden (6 Wechselrichter in Sternschaltung für 3 phasigen An-

schluss). Die relative einfache Schnittstelle RS 485 erlaubt eine unkomplizierte Einbindung in die Systemsteuerung.



Bild 8 Wechselrichter

Auf Grund vorliegender Informationen ergeben sich folgende weitergehende Forderungen.

4.1 Betriebsverhalten

Insbesondere der Betrieb der SOFC Brennstoffzelle und auch der Betrieb der Hochtemperatur PEM Brennstoffzelle erfordern ein möglichst kontinuierliches Arbeiten. Das bedeutet, das zum Beispiel die BZ bei Abschaltungen vom Netz entweder mit konstanter Last weiterarbeiten soll oder zumindest in einen geregelten Standby – Betrieb gehen soll. Es muss hier von einer begrenzten Zyklusfestigkeit ausgegangen werden, ein Abkühlen des Systems bei kurzzeitigen Unterbrechungen soll auf jeden Fall vermieden werden. Zum Teil scheint es erforderlich, die Leistungsabgabe während der Aufwärmphase und der Abkühlphase zu unterbinden. Auch zu starke dynamische Belastungen im Dauerbetrieb sollen unterbunden werden.

4.2 Verbesserung des Wirkungsgrades.

Das unter Punkt 2 beschriebene System - entwickelt 2002 / 2003 - entspricht nicht mehr den Anforderungen und Möglichkeiten hinsichtlich des erreichten Wirkungsgrades. Analog der Entwicklung bei Wechselrichtern für Solaranwendungen kann auch hier unter Beibehaltung der DC – AC Isolation ein deutlich verbesserter Wirkungsgrad erreicht werden.

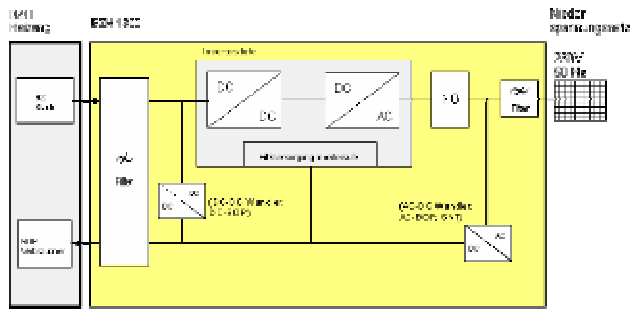


Bild 7 Modifizierte Konzepte 1300 Watt BZ Wechselrichter

Bild 7 zeigt ein realisiertes Konzept für einen Wechselrichter mit einer Leistung von ca., 1,5 kW elektrisch. Auch hier ist ein integrierter DC/DC Wandler vorhanden allerdings nur für den Dauerbetrieb. Für den Anlauf ist ein weiteres Netzgerät integriert. Wesentliche Überlegung ist hier, die Versorgung der Hilfsenergie nicht von der Netzüberwachung und den erforderlichen Aufwendungen nach VDE 126 abhängig zu machen, und auch eine reduzierte Komplexität zu erreichen.

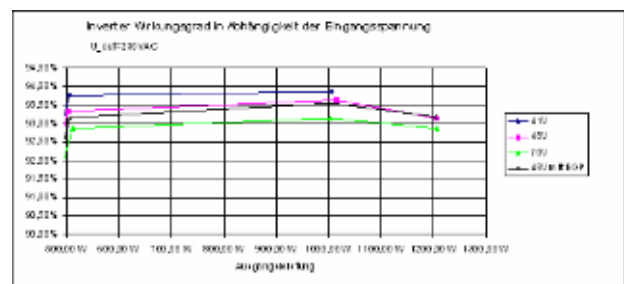


Bild 8 Wirkungsgrade Messung

Bild 8 zeigt die gemessenen Wirkungsgrade. Auf Grund des hier gewählten Tiefsetzstellers ergibt sich ein besserer Wert mit geringerer DC – Eingangsspannung. Die Schaltung hier ist für den DC – Teil des Wechselrichters mit einem Resonanz – Wandler ausgeführt.

4 Literatur

[1] Wetzel,H.;Frölecke,N.;Böcker,;J.Ide,P.; Kunze,J. Fuel Cell Inverter System with Integrated Auxiliary Supply, PCIM 2005, Nuremberg

[2] Ide,Perter.; Wetzel,H.;Kunze,J.; Modular Fuel Cell System with integrated High efficient power supply, EPE 2005

[3] Oerder,B.; Felderfahrung mit dem Delta Inverter für Brennstoffzellen Heizgeräte, Remscheid 2006