



WHITE PAPER

BRENNSTOFFZELLEN UND ULTRAKONDENSATOREN: EINE ZUVERLÄSSIGE ALTERNATIVE FÜR DIE UNTERBRECHUNGSFREIE STROMVERSORGUNG

Maxwell Technologies, Inc.

Maxwell Technologies, Inc.
Worldwide Headquarters
9244 Balboa Avenue
San Diego, CA 92123
USA
Phone: +1 858 503 3300
Fax: +1 858 503 3301

Maxwell Technologies SA
CH-1728 Rossens
Switzerland
Phone: +41 (0)26 411 85 00
Fax: +41 (0)26 411 85 05

Maxwell Technologies GmbH
Brucker Strasse 21
D-82205 Gilching
Germany
Phone: +49 (0)8105 24 16 10
Fax: +49 (0)8105 24 16 19

Maxwell Technologies, Inc. -
Shanghai Representative Office
Rm.2104, Suncome Liauw's Plaza
738 Shang Cheng Road
Pudong New Area
Shanghai 200120, P.R. China
Phone: +86 21 5836 5733
Fax: +86 21 5836 5620

info@maxwell.com – www.maxwell.com

MAXWELL TECHNOLOGIES WHITE PAPER:

Brennstoffzellen und Ultrakondensatoren: Eine zuverlässige Alternative für die unterbrechungsfreie Stromversorgung

In vielen wichtigen Anlagen wird mit Backup-Stromaggregaten gearbeitet, um einen kontinuierlichen Betrieb sicherzustellen. Ein wichtiges Einsatzgebiet ist die Telekommunikationstechnik. Die Stromversorgung der Mobilfunk-Basisstationen muss jederzeit gewährleistet sein, auch bei einem Ausfall des Stromnetzes.

In den vergangenen Jahren wurden für die Backup-Stromversorgung Batterien eingesetzt. Bei der Suche nach einer zuverlässigeren, kostengünstigen Alternative waren in jüngster Zeit interessante Entwicklungen zu beobachten, wobei der Bedarf an einer neuen, wartungsfreien Lösung immer dringender wurde. Batterien werden diesem Anforderungsprofil nicht gerecht. Ausserdem war weltweit immer häufiger von einer „grünen Technologie“ die Rede, die keine schädlichen Auswirkungen auf unsere Umwelt hat. Die Problematik rund um die Entsorgung von Bleisäurebatterien ist hinlänglich bekannt. Deshalb kamen zunehmend neue Technologien auf den Markt, mit denen dieses Problem gelöst werden sollte. Jede dieser Technologien und Lösungen ist mit eigenen Herausforderungen verbunden. Einige sind zu teuer; andere basieren auf mechanisch beweglichen Teilen, die störanfällig sind, und wiederum andere weisen eine zu geringe Lebensdauer auf.

Die Brennstoffzelle – der umweltfreundliche Langzeitenergieerzeuger

Als beste Alternative hat sich mittlerweile die Brennstoffzelle etabliert. Moderne PEM-Brennstoffzellen (Proton Exchange Membrane / Protonenaustauschmembran) sind hocheffiziente Energieerzeuger, die bei Verfügbarkeit von Wasserstoff im Dauerbetrieb genutzt werden können.

Brennstoffzellen ähneln Batterien insofern, als auch sie mit einer Anode und einer Kathode ausgestattet sind. Batterien können Energie jedoch lediglich speichern. Brennstoffzellen dagegen können Energie erzeugen, und zwar solange, wie dem Energieträger Wasserstoff zugeführt wird. Schädliche Emissionen wie Luftverunreinigungen oder Treibhausgase entstehen dabei nicht. Die PEM-Zelle arbeitet bei Betriebstemperaturen zwischen 60°C und 100°C mit einer sehr geringen Geräuschentwicklung, ist extrem zuverlässig und weist einen Wirkungsgrad von mehr als 50 % auf. Sie ist umweltfreundlich und kann in vielen Einsatzbereichen eine zuverlässige Backup-Stromquelle darstellen. Zu ihren besonderen Vorteilen gehören eine große Zuverlässigkeit sowie niedrige Kosten, ein geringer Platzbedarf, ein geringes Gewicht und eine hohe Widerstandsfähigkeit gegen hohe Temperaturen und Luftfeuchten. Beim Einsatz von Brennstoffzellensystemen werden auch geringere Anforderungen an die

Maxwell Technologies, Inc.
Worldwide Headquarters
9244 Balboa Avenue
San Diego, CA 92123
USA
Phone: +1 858 503 3300
Fax: +1 858 503 3301

Maxwell Technologies SA
CH-1728 Rossens
Switzerland
Phone: +41 (0)26 411 85 00
Fax: +41 (0)26 411 85 05

Maxwell Technologies GmbH
Brucker Strasse 21
D-82205 Gilching
Germany
Phone: +49 (0)8105 24 16 10
Fax: +49 (0)8105 24 16 19

Maxwell Technologies, Inc. -
Shanghai Representative Office
Rm.2104, Suncome Liao's Plaza
738 Shang Cheng Road
Pudong New Area
Shanghai 200120, P.R. China
Phone: +86 21 5836 5733
Fax: +86 21 5836 5620

MAXWELL TECHNOLOGIES WHITE PAPER:

Brennstoffzellen und Ultrakondensatoren: Eine zuverlässige Alternative für die unterbrechungsfreie Stromversorgung

Klimatisierung gestellt Der sichere Betrieb der Brennstoffzellensysteme wird durch moderne Kontroll- und Online-Überwachungsfunktionen gewährleistet.

Der Einsatz von Wasserstoff für die Energiespeicherung und als Treibstoff weist gegenüber den bestehenden Alternativen weitere Vorteile auf. Wasserstoff kann durch die verschiedensten Methoden produziert und an den Standort geliefert werden. Industrielle Gaslieferanten können Wasserstoff in standardmäßigen Industrietanks anliefern, die regelmäßig in den verschiedensten Einsatzbereichen gebraucht werden, die ebenfalls Wasserstoff erfordern. Die Tanks können vom Lieferanten gemietet und bei Bedarf aufgefüllt werden. Es besteht auch die Möglichkeit durch Elektrolyse aufgrund einer Primärenergiequelle (Solarenergie, Wind oder Strom aus dem Netz) aus Wasser Sauerstoff und Wasserstoff herzustellen und in einem Speicherbehälter abzugeben.

Brennstoffzellen erwiesen sich in der Praxis mit über 1 Mrd. Betriebsstunden in über 10 Jahren Einsatz als Backup-Stromversorgungssysteme als außerordentlich zuverlässig. Geht man von einer Lebensdauer von 10-15 Jahren aus, kann eine Lösung auf der Grundlage von Brennstoffzellen ca. 30 % billiger als eine Backup-Lösung auf Batteriebasis sein.

Ultrakondensatoren – der optimale Kurzzeitleistungsspeicher

Eine typische Brennstoffzelle erreicht jedoch erst nach einer Inbetriebnahmephase von ca. 2 bis 15 Sekunden ihre volle Leistung. Das bedeutet, dass zur Gewährleistung eines kontinuierlichen Betriebs kurzfristig Überbrückungsstrom benötigt wird. Heute werden für diese kurzen Überbrückungszeiten Ultrakondensatoren eingesetzt, die hervorragend für den Einsatz mit Brennstoffzellen geeignet sind. Mit ihrem geringen äquivalenten Serienwiderstand und der hohen Speicherkapazität können Ultrakondensatoren große Ströme bei minimalen Spannungsschwankungen liefern. Dadurch ist bei Bedarfsspitzen eine schnelle Pufferung möglich. Auch bei einer vorübergehenden Unterbrechung wird die Versorgung reibungslos gewährleistet, und die Brennstoffzelle kann ohne Ineffizienzen weiterarbeiten.

Maxwell Technologies, Inc.
Worldwide Headquarters
9244 Balboa Avenue
San Diego, CA 92123
USA
Phone: +1 858 503 3300
Fax: +1 858 503 3301

Maxwell Technologies SA
CH-1728 Rossens
Switzerland
Phone: +41 (0)26 411 85 00
Fax: +41 (0)26 411 85 05

Maxwell Technologies GmbH
Brucker Strasse 21
D-82205 Gilching
Germany
Phone: +49 (0)8105 24 16 10
Fax: +49 (0)8105 24 16 19

Maxwell Technologies, Inc. -
Shanghai Representative Office
Rm.2104, Suncome Liauw's Plaza
738 Shang Cheng Road
Pudong New Area
Shanghai 200120, P.R. China
Phone: +86 21 5836 5733
Fax: +86 21 5836 5620

MAXWELL TECHNOLOGIES WHITE PAPER:

Brennstoffzellen und Ultrakondensatoren: Eine zuverlässige Alternative für die unterbrechungsfreie Stromversorgung



Abbildung 1: Ultrakondensator-Baugruppe bestehend aus 12 Maxwell 350 Farad D Zellen für den Einsatz in Brennstoffzellen-Backup-Systemen der Firma Dantherm Power

Im Gegensatz zu Batterien weisen Ultrakondensatoren eine lange Lebensdauer, Wartungsfreiheit, einen stabilen Ladezyklus sowie eine wesentlich höhere Leistung bei extremen Temperaturen auf. Die Lebensdauer heutiger Ultrakondensatoren liegt in der Regel bei mehr als einer Million Zyklen, sodass sie für den Einsatz in der unterbrechungsfreien Stromversorgung bestens geeignet sind. Bei langlebigen Anwendungen entfallen dadurch die höheren Wartungskosten und mangelnde Zuverlässigkeit.

Ein wichtiger Vorteil der Ultrakondensatoren im Vergleich zu Batterien liegt in ihrer Sicherheit und Benutzerfreundlichkeit. Während Batterien, insbesondere Li-Ionen und Ni-MH-Batterien, regelmäßig kontrolliert und geladen werden müssen, sind Ultrakondensatoren benutzerfreundlicher und erfordern während ihres Einsatzes keinen oder nur einen geringen Wartungsaufwand. Der Zustand ist in jedem Lebenszyklus problemlos zu kontrollieren, sodass die Lebenserwartung leicht prognostiziert werden kann.

Ultrakondensatoren zeichnen sich noch durch einen weiteren Vorteil aus, der sie für den Einsatz als Unterstützung von Brennstoffzellen in Backup-Anwendungen prädestiniert: Die Leistung einer Brennstoffzelle schwankt in Abhängigkeit von der Belastung. Die Leistung einer Batterie ist annähernd konstant, was die Leistung der Brennstoffzelle beeinträchtigt. Ultrakondensatoren hingegen haben keine feste Betriebsspannung und können direkt über den Ausgang einer Brennstoffzelle an die Leistungselektronik angeschlossen werden.

Ultrakondensatoren und Brennstoffzellen – Ein unschlagbares Team

Brennstoffzellen weisen eine hohe Energiedichte auf und können Strom liefern, solange Wasserstoff verfügbar ist. Ultrakondensatoren hingegen sind sehr leistungsstark. Sie

Maxwell Technologies, Inc.
Worldwide Headquarters
9244 Balboa Avenue
San Diego, CA 92123
USA
Phone: +1 858 503 3300
Fax: +1 858 503 3301

Maxwell Technologies SA
CH-1728 Rossens
Switzerland
Phone: +41 (0)26 411 85 00
Fax: +41 (0)26 411 85 05

Maxwell Technologies GmbH
Brucker Strasse 21
D-82205 Gilching
Germany
Phone: +49 (0)8105 24 16 10
Fax: +49 (0)8105 24 16 19

Maxwell Technologies, Inc. -
Shanghai Representative Office
Rm.2104, Suncome Liauw's Plaza
738 Shang Cheng Road
Pudong New Area
Shanghai 200120, P.R. China
Phone: +86 21 5836 5733
Fax: +86 21 5836 5620

info@maxwell.com – www.maxwell.com

MAXWELL TECHNOLOGIES WHITE PAPER:

Brennstoffzellen und Ultrakondensatoren: Eine zuverlässige Alternative für die unterbrechungsfreie Stromversorgung

werden im geladenen Zustand gehalten und decken bei einem Ausfall der Stromversorgung den Strombedarf in den 2-15 Sekunden bis zum Erreichen der vollen Leistung der Brennstoffzelle ab. Das Layout des Brennstoffzellen-Ultrakondensatoren-System ist im Vergleich zu einem herkömmlichen Batterie-Backup-System in Abbildung 2 dargestellt.

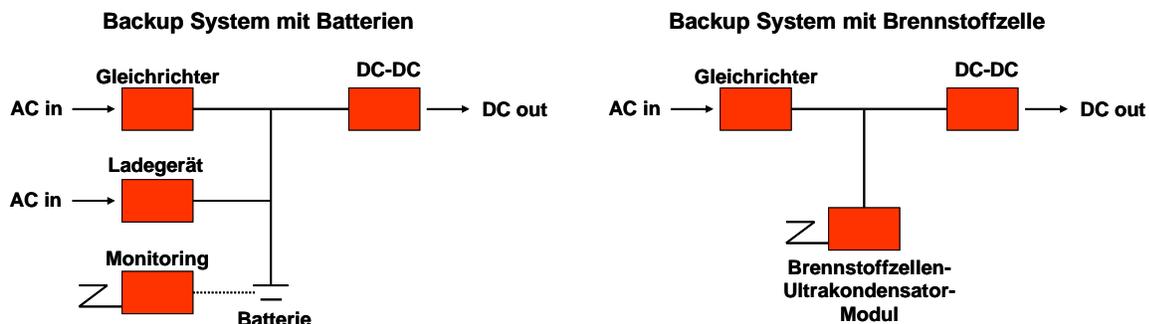


Abbildung 2: Batterie-Backup System und Brennstoffzelle-Ultrakondensator-Backup-System

Ein System basierend aus Brennstoffzellen und Ultrakondensatoren spricht somit praktisch sofort an. Dies gilt auch für minimale Unterbrechungen, die zu kurz für eine Reaktion durch die Brennstoffzelle sind. In über 90% von Netzausfällen dauern die Vorfälle weniger als 5s und können somit optimal durch den Ultrakondensatorspeicher gepuffert werden (Abbildung 3). Zudem werden bei einer Hybridkonfiguration Bedarfsspitzen, die leistungsmässig über die Auslegung der Brennstoffzellen hinausgehen, durch die Ultrakondensatoren abgedeckt.

MAXWELL TECHNOLOGIES WHITE PAPER:

Brennstoffzellen und Ultrakondensatoren: Eine zuverlässige Alternative für die unterbrechungsfreie Stromversorgung

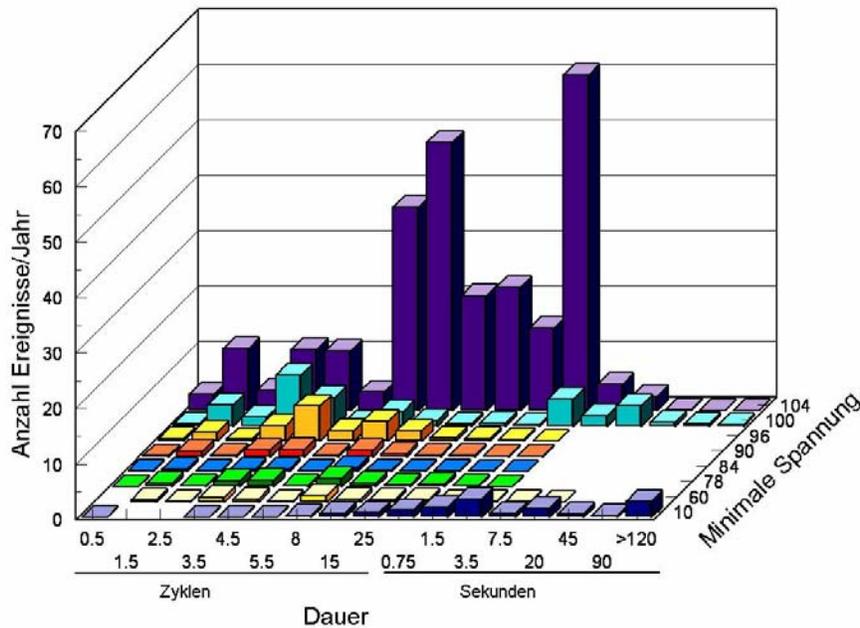


Abbildung 3: Netzausfallstatistik für Zentraleuropa

Der Endverbraucher kann durch eine Kombination beider Systeme Gesamtkostenvorteile erzielen. Die Wartungskosten sind überschaubar, und die Lebensdauer liegt weit über der von Batterien, die ständig gewechselt werden müssen. Zudem erhält er mit diesem vollständig batteriefreien System eine energiereiche und extrem umfeldfreundliche Energieversorgungs-lösung.

Einer der ersten Anwender dieser Technologie ist die Telekommunikationsbranche, wo die mangelnde Eignung von Batterien zur längeren Backup-Stromversorgung als problematisch erkannt wurde. Denn Prognosen über den Zustand der Batterien waren immer eine Herausforderung. Brennstoffzellen liefern dagegen Strom, solange Wasserstoff verfügbar ist. Die Backup-Zeit ist länger als die von Batterien und exakt vorhersagbar. Heute stehen mit Ultrakondensatoren und Brennstoffzellen ausgestatteten Kombinationsprodukte auf dem Markt zur Verfügung, welche die unterschiedlichsten Bedürfnisse der Telekommunikationsbranche erfüllen. Im Unterschied zu konventionellen Batterien garantieren sie eine absolute Flexibilität der Backup-Zeiten, sind zuverlässiger und kostengünstiger und zeichnen sich durch einen wesentlich geringeren Wartungsaufwand und eine höhere Lebensdauer aus.

Maxwell Technologies, Inc.
Worldwide Headquarters
 9244 Balboa Avenue
 San Diego, CA 92123
 USA
 Phone: +1 858 503 3300
 Fax: +1 858 503 3301

Maxwell Technologies SA
 CH-1728 Rossens
 Switzerland
 Phone: +41 (0)26 411 85 00
 Fax: +41 (0)26 411 85 05

Maxwell Technologies GmbH
 Brucker Strasse 21
 D-82205 Gilching
 Germany
 Phone: +49 (0)8105 24 16 10
 Fax: +49 (0)8105 24 16 19

Maxwell Technologies, Inc. -
Shanghai Representative Office
 Rm.2104, Suncome Liauw's Plaza
 738 Shang Cheng Road
 Pudong New Area
 Shanghai 200120, P.R. China
 Phone: +86 21 5836 5733
 Fax: +86 21 5836 5620

MAXWELL TECHNOLOGIES WHITE PAPER:

Brennstoffzellen und Ultrakondensatoren: Eine zuverlässige Alternative für die unterbrechungsfreie Stromversorgung

Herausforderung		Lösung
Lage	Schwieriger Zugang Limitierter Platz, hohe Mietkosten Hohe elektrische Kosten	Niedrige Wartungsanforderungen, Fernsteuerung möglich Leichte und sehr kompakte Systeme, einfacher Einbau Weniger Stromverbrauch, geringerer Kühlaufwand
Klima	Hitze Kälte Extreme klimatische Einflüsse	Betrieb bei hohen Temperaturen, geringe Kühlanforderungen Technische Lösung ermöglicht Anwendung bei tiefen Temperaturen Robuste Technologie und Design
Netz	Kurzzeitige Netzunterbrüche Langzeitige Netzunterbrüche Häufige Netzunterbrüche Kein verfügbares Netz	Sofortige Verfügbarkeit, 2 in 1 Backup System: Ultrakondensatoren für kurzfristige Stromausfälle, Brennstoffzellen für längere Ausfälle Unbegrenzte Laufzeit, voraussagbare verbleibende Backupzeit Jederzeit verfügbares System, sofortige Wiederaufladung, unbegrenzte Anzahl Neustarts Kombiniert mit erneuerbaren Energien (Solar) unbegrenzte Laufzeit
Wasserstoff	Verfügbarkeit Bereitstellung	Lokale Produktion, weltweit erhältlich Distributionslogistik vorhanden

Tabelle: Herausforderungen und Lösungsansatz von Brennstoffzellen-Ultrakondensator-Backup-Systemen

Wie bei neuen Technologien üblich, gibt es am Anfang einige wenige innovative Anbieter, die solche Systeme in ausreichender Stückzahl produzieren, sodass die anfänglich hohen Kosten gesenkt werden können. Das führt zu einer erhöhten Nachfrage und der Entwicklung einer Lieferkette für eine zunehmende Anzahl an Anwendungen. Bei Ultrakondensatoren waren in den letzten 10 Jahren aufgrund rasant wachsender Akzeptanz in den verschiedensten Märkten deutlich sinkende Preise zu verzeichnen. Die Entwicklungstendenz bei Brennstoffzellen ist vergleichbar; auch hier ist ein enormes Wachstum zu verzeichnen. Dies wird dazu führen, dass Brennstoffzellen-Backup-Systeme schon in kurzer Zeit auch für wesentlich kürzere Überbrückungszeiten gegenüber Batterien die kostengünstigere Lösung darstellen (Abbildung 4).

Maxwell Technologies, Inc.
Worldwide Headquarters
9244 Balboa Avenue
San Diego, CA 92123
USA
Phone: +1 858 503 3300
Fax: +1 858 503 3301

Maxwell Technologies SA
CH-1728 Rossens
Switzerland
Phone: +41 (0)26 411 85 00
Fax: +41 (0)26 411 85 05

Maxwell Technologies GmbH
Brucker Strasse 21
D-82205 Gilching
Germany
Phone: +49 (0)8105 24 16 10
Fax: +49 (0)8105 24 16 19

Maxwell Technologies, Inc. -
Shanghai Representative Office
Rm.2104, Suncome Liauw's Plaza
738 Shang Cheng Road
Pudong New Area
Shanghai 200120, P.R. China
Phone: +86 21 5836 5733
Fax: +86 21 5836 5620

MAXWELL TECHNOLOGIES WHITE PAPER:

Brennstoffzellen und Ultrakondensatoren: Eine zuverlässige Alternative für die unterbrechungsfreie Stromversorgung

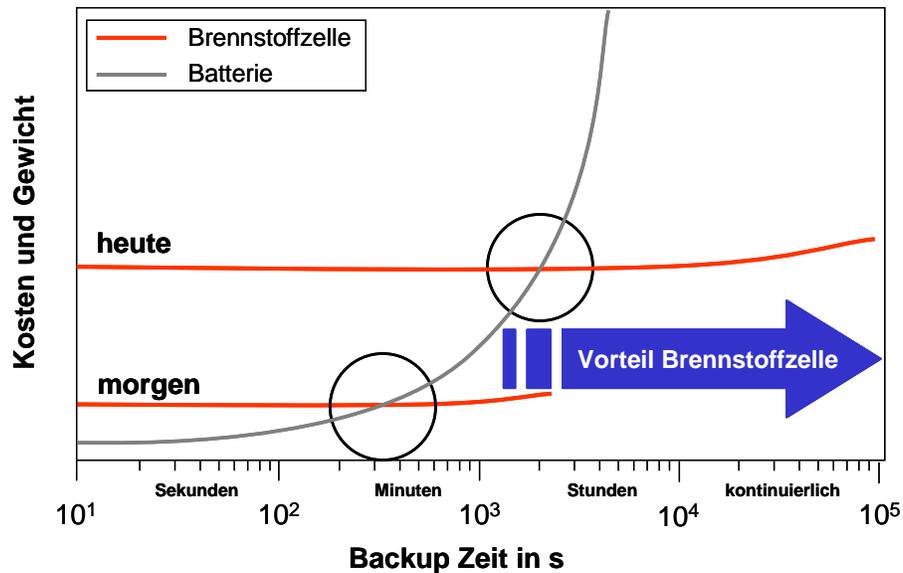


Abbildung 4: Kosten von herkömmlichen Batterie- gegenüber Brennstoffzellen-Backup-Systemen



Maxwell Technologies, Inc.
Worldwide Headquarters
 9244 Balboa Avenue
 San Diego, CA 92123
 USA
 Phone: +1 858 503 3300
 Fax: +1 858 503 3301

Maxwell Technologies SA
 CH-1728 Rossens
 Switzerland
 Phone: +41 (0)26 411 85 00
 Fax: +41 (0)26 411 85 05

Maxwell Technologies GmbH
 Brucker Strasse 21
 D-82205 Gilching
 Germany
 Phone: +49 (0)8105 24 16 10
 Fax: +49 (0)8105 24 16 19

Maxwell Technologies, Inc. -
Shanghai Representative Office
 Rm.2104, Suncome Liauw's Plaza
 738 Shang Cheng Road
 Pudong New Area
 Shanghai 200120, P.R. China
 Phone: +86 21 5836 5733
 Fax: +86 21 5836 5620

MAXWELL TECHNOLOGIES WHITE PAPER:

Brennstoffzellen und Ultrakondensatoren: Eine zuverlässige Alternative für die unterbrechungsfreie Stromversorgung

1.1.a

1.1.b *Figure 5: Ultrakondensatormodul eines Brennstoffzellen-Backup-Systems von Dantherm Power*

Heute sind Brennstoffzellen-Ultrakondensator-Backup-Systeme von verschiedenen Anbietern auf dem Markt erhältlich. So zum Beispiel die Power Backup Module zur unterbrechungsfreien Stromversorgung der Firma Dantherm Power. Das Systems, welches in Abbildung 5 dargestellt ist, weist eine garantierte Lebensdauer von 4'000 Betriebsstunden auf. Unter optimalen Bedingungen wie reiner Luft und einer limitierten Anzahl Überbrückungsvorgängen kann diese Zahl sogar wesentlich höher sein. Die Degradation der Brennstoffzelle ist dabei nahezu linear, was die Vorhersage des Endes der Lebensdauer einfach gestaltet. Die Ultrakondensatoren wurden so dimensioniert, dass ihre Kapazität ausreicht, um die Zeit zur Inbetriebnahme der Brennstoffzelle von ca. 2 s sowie eine Überbrückungszeit von 6s unter maximaler Leistung abzudecken.

Ein weiteres Beispiel ist das Premion-T-System von P21 (Abbildung 6). Das Backup-System weist eine Ausgangsleistung von maximal 3 kW auf. Die typische Lebensdauer liegt bei 10-15 Jahren. Zur Gewährleistung einer solch hohen Zuverlässigkeit ist das Premion T mit einer ausgefeilten Überwachungssoftware und einer Fehlerprotokollierungsfunktion ausgestattet; auch Fernwartung ist möglich. Mithilfe der Überwachungssoftware können Informationen zum Betrieb der Systems angezeigt werden. Im Standby-Betrieb werden die Ultrakondensatoren über das Stromnetz auf die nominelle Betriebsspannung von 54V aufgeladen. Sofort nach dem Ausfall des Stromnetzes setzt die Versorgung durch die Ultrakondensatoren des Backup-Systems ein, noch ehe die Brennstoffzellen ihren Betrieb aufgenommen haben. Parallel dazu wird die Brennstoffzelle hochgefahren, bis sie ihre maximale Leistung erreicht hat. Die Ultrakondensatoren werden darauf von den Brennstoffzellen nachgeladen und stehen sogleich für den nächsten Überbrückungsvorgang zur Verfügung.

Maxwell Technologies, Inc.
Worldwide Headquarters
9244 Balboa Avenue
San Diego, CA 92123
USA
Phone: +1 858 503 3300
Fax: +1 858 503 3301

Maxwell Technologies SA
CH-1728 Rossens
Switzerland
Phone: +41 (0)26 411 85 00
Fax: +41 (0)26 411 85 05

Maxwell Technologies GmbH
Brucker Strasse 21
D-82205 Gilching
Germany
Phone: +49 (0)8105 24 16 10
Fax: +49 (0)8105 24 16 19

Maxwell Technologies, Inc. -
Shanghai Representative Office
Rm.2104, Suncome Liauw's Plaza
738 Shang Cheng Road
Pudong New Area
Shanghai 200120, P.R. China
Phone: +86 21 5836 5733
Fax: +86 21 5836 5620

MAXWELL TECHNOLOGIES WHITE PAPER:

Brennstoffzellen und Ultrakondensatoren: Eine zuverlässige Alternative für die unterbrechungsfreie Stromversorgung



1.1.c *Figure 6: P21 Premion-T-System*

Maxwell Technologies, Inc.
Worldwide Headquarters
9244 Balboa Avenue
San Diego, CA 92123
USA
Phone: +1 858 503 3300
Fax: +1 858 503 3301

Maxwell Technologies SA
CH-1728 Rossens
Switzerland
Phone: +41 (0)26 411 85 00
Fax: +41 (0)26 411 85 05

Maxwell Technologies GmbH
Brucker Strasse 21
D-82205 Gilching
Germany
Phone: +49 (0)8105 24 16 10
Fax: +49 (0)8105 24 16 19

**Maxwell Technologies, Inc. -
Shanghai Representative Office**
Rm.2104, Suncome Liauw's Plaza
738 Shang Cheng Road
Pudong New Area
Shanghai 200120, P.R. China
Phone: +86 21 5836 5733
Fax: +86 21 5836 5620

info@maxwell.com – www.maxwell.com