

Wechselrichter: Wirkungsgrad und Zuverlässigkeit

In vielen Systemen zur regenerativen Energieerzeugung – bei der Solarstromerzeugung, bei Blockheizkraftwerken oder zur Netzkopplung von Windkraftanlagen – spielen Wechselrichter eine wichtige Rolle. Sie entscheiden maßgeblich darüber, wie viel Nutzenergie am Ende zur Verfügung steht. In der Photovoltaik erreichen sie mittlerweile Spitzenwirkungsgrade von über 98 Prozent. Dennoch: Ein hoher Wirkungsgrad allein macht noch kein gutes Gerät. Wichtig ist auch, wie zuverlässig ein Wechselrichter arbeitet.

Bindeglied zwischen PV-Generator und Netz

Photovoltaik-Einspeisewechselrichter sind das Bindeglied zwischen PV-Generator und Wechselstromnetz. Die im PV-Generator erst seriell und dann parallel verschalteten Solarmodule erzeugen Gleichstrom. Zum Einspeisen in das öffentliche Stromnetz wandelt der Wechselrichter den Gleichstrom in Wechselstrom um und passt Frequenz und Spannung an das Netz an. Je nach Schaltung können Wechselrichter einphasigen Wechselstrom oder dreiphasigen Drehstrom liefern. Der Spitzenwirkungsgrad von Wechselrichtern gibt an, wie viel Prozent des Solarstroms maximal ins Netz eingespeist werden. Der Rest geht als Wärme verloren.

Den Bau von Solarwechselrichtern haben in den letzten Jahren immer mehr Firmen als lohnendes Geschäftsfeld entdeckt – der Markt ist kaum mehr zu überblicken: Inzwischen bieten über 40 Firmen mehr als 500 Geräte in allen Leistungsklassen von einem halben Kilowatt bis zu zwei Megawatt an. Die Jahresproduktion der meisten Anbieter umfasst nur einige Megawatt und nur wenige bieten ein lückenloses Leistungsspektrum für Anlagen vom Einfamilienhaus bis hin zu Megawatt-Solarparks. Einen Großteil des Marktes teilen sich SMA, Kaco, Fronius und Sputnik.

IGBT und MOSFET statt Thyristoren

Netzgeführte Thyristorgeräte, die noch in den 90er Jahren häufiger anzutreffen waren, sind in aktuel-

len Marktübersichten kaum mehr vertreten. Topologien mit Thyristoren erfordern einen hohen Filteraufwand zur Reduzierung von Blindleistung und Netzurückwirkung. Das reduziert den Wirkungsgrad deutlich. Heute kommen vielmehr Leistungstransistoren, vor allem IGBT aber auch MOSFET, zum Einsatz. Ein Vorteil dieser Bauelemente ist, dass sich mit ihnen nach dem Prinzip der Pulsweitenmodulation der sinusförmige Spannungsverlauf des öffentlichen Stromnetzes nachbilden lässt. Die allermeisten Geräte sind daher heute selbstgeführte Wechselrichter. Bei einphasigen Wechselrichtern formen vier dieser Leistungsschalter die Sinuskurve, man spricht von einer einphasigen Vollbrücke oder H4-Brücke.

Optimierung durch Heric-Topologie

Eine Optimierung der H4-Brücke stellt die Heric-Topologie dar, die 2003 auf den Markt kam und von *Heribert Schmidt* vom Fraunhofer ISE entwickelt wurde. Zwei Freilaufpfade hinter der H4-Schaltung verhindern den Rückfluss des Stroms vom Ausgang des Wechselrichters zum Pufferkondensator und verringern die damit verbundenen Blindleistungsverluste. Zwei Jahre später kam die H5-Schaltung auf den Markt, die die gleiche Idee mit anderen technischen Mitteln verwirklicht. Ein weiterer Schritt in Richtung höchster Wirkungsgrade ist die Vermeidung von Transformatoren mit ihren inhärenten Verlusten. Deshalb haben trafolose Geräte bereits einen Marktanteil von rund 70 %. Das beste Ergebnis



❶ Wie alle einphasigen trafolosen Wechselrichter von Kaco arbeitet auch der neue Powador 4000 supreme mit einer Vollbrücke ohne Hochsetzsteller

erzielen trafolose Geräte ohne Hochsetzsteller, wie sie beispielsweise Kaco als einer der Pioniere der trafolosen Wechselrichtertechnik bereits seit 1999 baut (Bild ❶). Mit solch einem einstufigen Design einspeisen zu können, setzt voraus, dass die Eingangsspannung am Wechselrichter über dem Scheitelpunkt der Netzspannung liegt.

Siliziumkarbid-Transistoren für noch höhere Effizienz

In ein paar Jahren dürften Wechselrichter mit Siliziumkarbid-Transistoren für noch höhere Wirkungsgrade sorgen. Forscher vom Fraunhofer ISE haben als erste das Halbleitermaterial des amerikanischen Herstellers CREE in einem Wechselrichter verwendet, der mit einem maximalen Wirkungsgrad von 98,5 % einen neuen Rekord erzielte. Bis allerdings Siliziumkarbid-Transistoren in großem Maßstab verfügbar sein werden, vergehen noch ein paar Jahre. Aber auch mit neuartigen IGBT auf Siliziumbasis, die sich durch geringere Durchlassverluste auszeichnen, lässt sich die Effizienz von Wechselrichtern steigern, wie beispielsweise der Powador-30000xi-Park mit einem Spitzenwirkungsgrad von 97,4 % veranschaulicht.

Anpassungsgrad und Jahresertrag

In der Diskussion stehen oft maximale Wirkungsgrade im Vordergrund. Aus mehreren

Gründen greift das zu kurz: Der maximale Wirkungsgrad beschreibt lediglich das Umwandlungsoptimum für eine bestimmte Spannung und Leistung unter Standardtestbedingungen (STC). In der Praxis kommt dieser Betriebszustand nur selten vor. Von Bedeutung ist ein hoher Wirkungsgrad über alle relevanten Betriebsbedingungen, vor allem im Teillastbereich. Wichtig ist außerdem der Anpassungswirkungsgrad: Spannung und Strom ändern sich mit der Sonneneinstrahlung. Um immer die maximale solare Leistung in Wechselstrom umzuformen, muss der Wechselrichter mit dem sogenannten MPP-Tracking (MPP = Maximum Power Point) den optimalen Arbeitspunkt automatisch einstellen und verfolgen. Aber Spitzenwirkungsgrad und Anpassungswirkungsgrad allein reichen immer noch nicht aus. Am Ende entscheidend ist ein möglichst hoher Jahresertrag und der lässt sich definieren über das Produkt aus Wirkungsgrad und Zuverlässigkeit. Zuverlässigkeit meint dabei, wie verlässlich und dauerhaft ein Wechselrichter ins Netz einspeist, im Fachjargon die Uptime. Das kleine Einmaleins der Wechselrichter könnte man so schreiben:

$$\text{Wirkungsgrad} \times \text{Betriebszeit} = \text{maximaler Jahresertrag}$$

Es kommt also ebenso auf die verfügbare Betriebszeit eines Wechselrichters an. Eine einfache Rechnung macht das deutlich: Fällt der Wechselrichter nur an einem einzigen guten Sonnentag aus, ist schnell der Ertrag in einer Größenordnung vernichtet,



② Powador-Wechselrichter im Klimaschrank: Dort durchlaufen alle Geräte zweimal Temperaturen zwischen 0 und 70 °C

Fotos: Kaco

die die Differenz von einem halben Prozent Wirkungsgrad übersteigt.

Ähnlich wie beim Auto die Höchstgeschwindigkeit nicht so wichtig ist wie ein guter Platz in der Pannenstatistik, ist ein Vergleich von Wechselrichtern dann sinnvoll, wenn man auf die tatsächlich erzielten Erträge der damit ausgerüsteten Anlagen achtet.

Ein Beispiel: In zahlreichen, über den Powador-Web-Server überwachten Anlagen sorgen Powador-Wechselrichter von Kaco für Jahreserträge von bis zu 1.200 kWh je installiertem kW. Bereits 1.000 kWh sind ein gutes Ergebnis und Amortisationsberechnungen liegen in der Regel höchstens 900 kWh zu Grunde.

Die hohe Zuverlässigkeit erreichen die Kaco-Entwickler beispielsweise durch:

- Einbauen von „Reserven“ bei hochwertigen Bauteilen, zum Beispiel große Leitungsquerschnitte oder Auslegung der Kondensatoren für höchste Temperaturen.

- Konsequentes Qualitätsmanagement: Bei dem Hersteller müssen alle produzierten Platinen in einem Burn-in-Test stromlos mehrere Temperaturzyklen überstehen. Einige Stichproben werden bei bis -20 °C im Klimaschrank getestet. Für den In-Circuit-Test werden die Leiterplatten in einer speziell konstruierten Halterung unter Strom vollautomatisch untersucht und alle Lötstellen statisch wie dynamisch vermessen. Am Ende kommen alle fertig montierten Powador-Geräte erneut in den Klimawechseltest und durchlaufen

einen Temperaturzyklus von 0 bis +70 °C (Bild ②).

- Ausschluss von Fehlabschaltungen: Den zuverlässigen Betrieb eines Wechselrichters gewährleistet eine Netzüberwachung, die das Gerät nur dann vom Netz trennt, wenn das Stromnetz auch tatsächlich abgeschaltet ist. Durch Mehrfachmessungen ist hier die 3-Phasen-Überwachung gegenüber der Netzimpedanzmessung klar im Vorteil.
- Beschichtung der Leiterplatten mit Nanolack: Beim so genannten Fluorinated Coating Process wird eine hauchdünne und extrem stabile Polymerschicht aufgebracht, die die Leiterplatten vor jeglichem Schmutz schützt. Wechselrichter sind schließlich jahrelang Wind und Wetter ausgesetzt.
- Wenn möglich lüfterlose Technik einsetzen, da Lüfter typische Verschleißteile sind. Wo Lüfter benötigt werden, wie in großen Zentralwechselrichtern, kommen besonders langlebige Varianten zum Einsatz, die nicht ununterbrochen, sondern bedarfsgesteuert laufen.

Diese weniger sichtbaren, „inneren Werte“ von Wechselrichtern sollten bei der Beurteilung nicht vergessen werden. Hinzu kommt ein schneller Service des Herstellers. Bei Kaco heißt das z. B.: Wenn der Anruf bis mittags erfolgt, ist das Problem 24 Stunden später behoben. Reparaturen nach Ablauf der Garantie kosten nie mehr als 400 Euro und bei sieben Jahren Garantie muss sich der Anlagenbetreiber um den Ersatz keine Sorgen machen. ■

VDE

VERLAG

Besuchen Sie uns am Messestand!

ELEKTROTECHNIK Halle 4 Stand 4148

Dortmund, 02.-05. September 2009

VDE-Vorschriftenwerk auf DVD

Komfortabel wie nie zuvor: **Version 8**

- Frei konfigurierbare Bedienungsfenster
- Gleichzeitiges Arbeiten in mehreren Normen
- Suche in eigenen Notizen
- Frei konfigurierbare Trefferliste
- Windows Vista Aero Design
- völlig installationsfreie DVD-Nutzung



Angebot gilt für die **VDE-Auswahl für das Elektrotechniker-Handwerk** (bei Abschluss eines Abonnement-Vertrages direkt am Messestand).

Fachbücher

Heidler, F. / Stimper, K.

VDE-Schriftenreihe Band 128 Blitz und Blitzschutz

Grundlagen der Normenreihe VDE 0185, Entstehung von Gewittern, Blitzortungssysteme, Blitzströme und ihre Wirkungen, Schutz von Gebäuden und elektrischen Anlagen, Generatoren für die Stromprüfung

2009, 238 Seiten
ISBN 978-3-8007-2974-6
23,- €



Kiefer, G.

VDE 0100 und die Praxis Wegweiser für Anfänger und Profis

13., überarb. und erw. Aufl. 2009
1016 Seiten
ISBN 978-3-8007-3130-5
39,- €



VDE VERLAG GMBH · Berlin · Offenbach

Bismarckstraße 33 · 10625 Berlin

Tel.: (030) 34 80 01-220

Fax: (030) 34 80 01-9088

Mail: kundenservice@vde-verlag.de

Werb-Nr. 090733

vde-verlag.de