

Netzgekoppelte Wechselrichter in Photovoltaikanlagen

H. Kabisch, Berlin

Moderne Photovoltaik-(PV)-Wechselrichter formen nicht nur solar gewonnenen Gleichstrom in netzkonformen Wechselstrom um. Sie beeinflussen wesentlich Energieerträge und Anlagengestaltung. Durch Einbeziehung weiterer Funktionen sind PV-Wechselrichter heute Netzeinspeisegerät und Informationszentrum zugleich. Ausgehend von den Erfahrungen der letzten zehn Jahre werden drei Grundvarianten vorgestellt.

1 Zentrale Wechselrichter für den kompletten Solargenerator

1.1 Erfahrungen aus dem 1000-Dächer-Programm¹⁾

In der ersten Hälfte dieses Jahrzehnts wurden im vereinten Deutschland rund 2250 staatlich geförderte netzgekoppelte Anlagen im Leistungsbereich von 1 bis 5,5 kWp errichtet. Damit begann weltweit erstmalig eine selbst heute noch nicht abgeschlossene Funktions- und Dauererprobung, bei der sich recht schnell der Wechselrichter als Schwachstelle erwies. Fehlanpassungen, Ausfälle und nicht einwandfreier Wechselrichterbetrieb waren eine der Hauptursachen für Energieerträge, die teilweise erheblich unter den Vorausberechnungen lagen. Noch 1993/94 entfielen fast zwei Drittel der gemeldeten Anlagenstörungen auf Wechselrichter. Nicht nur die Zahl der Ausfälle, sondern auch die langen Reparaturzeiten – bei mehr als der Hälfte der Schadensfälle lagen sie bei mehr als sieben Tagen – reduzierten die erwarteten Energieerträge der Betreiber bis unter die Schmerzgrenze.

Inzwischen gelten die Wechselrichter, die mehr als ein Dutzend Hersteller auf dem deutschen Markt anbieten, in der Regel als zuverlässig. Vielfach wurde der Zeitraum für die gewährte Gerätegarantie von zunächst zwei auf fünf Jahre verlängert. An integrierten Displays – die bedarfsabhängig auch durch getrennt angeordnete Großsichtanzeigen ergänzt werden – kann der Betreiber jederzeit Betriebsdaten ablesen und evtl. Fehler frühzeitig erkennen. Hilfreich sind Fehlermeldungen und integrierte Diagnosesysteme, die im Bedarfsfall sogar automatisch eine direkte Verbindung zu der vom Hersteller beauftragten Servicezentrale aufbauen. Als Ergebnis einer intensiven Weiterentwicklung hat sich das Konzept des zentralen Wechselrichters mit integrierter

Regelung auf den Arbeitspunkt maximaler Leistung MPP (Maximum Power Point) bis heute behauptet [1]. Anstelle des zunächst dominanten, weil einfach und kostengünstig mit Thyristoren zu realisierenden Wechselrichters gilt inzwischen das selbstgeführte, mit Leistungstransistoren bestückte Gerät als Vorzugsvariante [2, 3]. Damit verbunden waren der Verzicht auf Blindstromkompensation und die Verringerung der Netzrückwirkungen [4].

1.2 Erweiterte und verbesserte Funktionen

PV-Wechselrichtergeräte werden sowohl mit integriertem als auch ohne Transformator angeboten. Trafos passen das vom Generator vorgegebene Spannungsniveau nach Wechselrichtung dem 230 V-Netz an. Gleichzeitig trennen sie in Übereinstimmung mit den Sicherheitsanforderungen nach VDE 0100 galvanisch Netz- und Generatorpotential. Neben 50 Hz- sind HF-Trafos weit verbreitet. Trotz der zusätzlich erforderlichen HF-Umwandlung werden Gewicht und Volumen reduziert. Eine ebenfalls im Wechselrichter eingebaute Erdschluß- und Isolationsüberwachung sichert den Personenschutz. In traflosen Wechselrichtern übernimmt – soweit erforderlich – eine zusätzliche Elektronikschaltung (Hochsetzsteller) die Anpassung

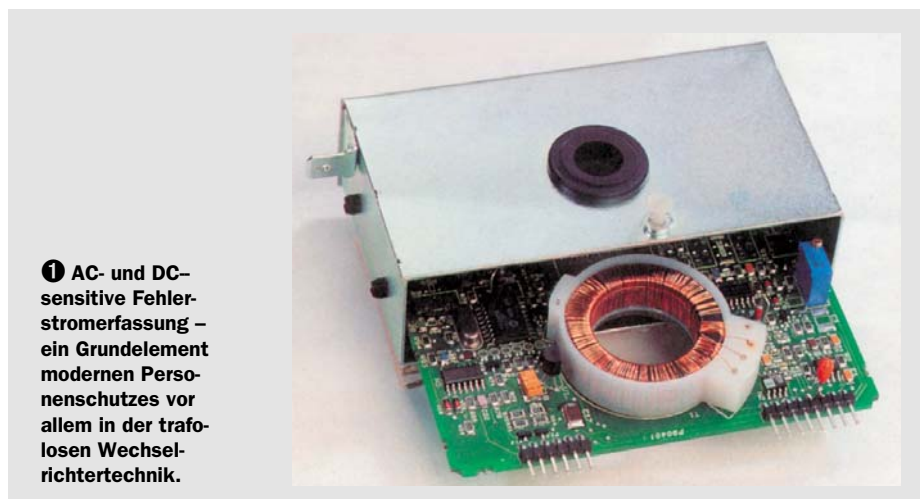
an das Netzniveau. Damit werden Eingangsspannungen bis zu 750 V DC beherrscht. Gegenüber gängigen Varianten mit Trafo werden die Verluste um nahezu 3 % verringert. Spitzenerzeugnisse erreichen maximale Wechselrichterwirkungsgrade bis über 96 %. Wegen der fehlenden Potentialtrennung zwischen Ein- und Ausgangsspannung ist nach VDE 0126 zum Personenschutz eine allstromsensitive Fehlerstromschutzschaltung unverzichtbar. In Ermangelung geeigneter FI-Schutzschalter haben inzwischen vereinzelt Hersteller von Wechselrichtern eigene, integrierte Lösungen entwickelt (Bild 1). Personen- und Geräteschutz, zunehmend aber auch Schnittstellen zur Kommunikation gehören zur Standardausrüstung der z.Z. vorhandenen PV-Wechselrichter. Auch die Netzüberwachungseinheit (ENS), die als eigenständige Baugruppe angeboten wird, kann bei Bedarf integriert werden [4, 5]. Darüber hinaus erweitern einzelne Hersteller die Gerätefunktion beispielsweise um ein Energiemanagementsystem, das durch gezielte Zu- und Abschaltung ausgewählter Verbraucher die Effektivität der PV-Anlage erhöht. Mit speziell dafür ausgerüsteten Wechselrichtern ist bei Netzausfall sogar eine Notstromversorgung möglich.

2 Neue, modular aufgebaute Systemtechnik mit leistungsschwachen Wechselrichtern

2.1 Zielsetzung: Der modulintegrierte Wechselrichter

Im Hinblick auf einen späteren massenweisen Einsatz der Photovoltaik entstand bereits Anfang des Jahrzehnts die Idee eines modular aufgebauten und damit problemlos universell fügaren PV-Generators. Grundelement ist der „Wechselstromgene-

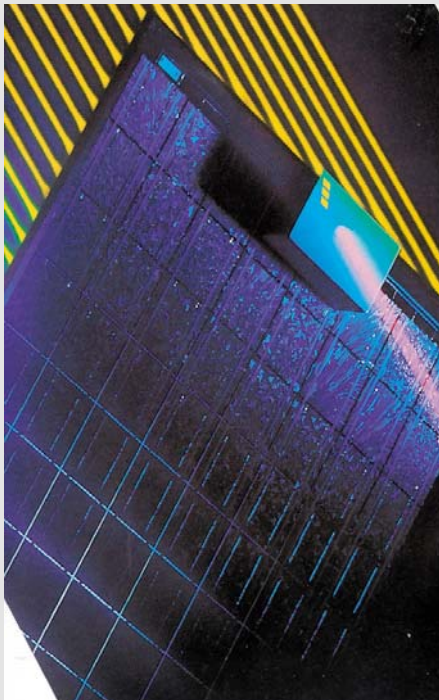
¹⁾ 1. Förderprogramm der Bundesregierung. Wird jetzt mit dem 100000-Dächer-Programm fortgesetzt (siehe ep 4/99, S. 340).



1 AC- und DC-sensitive Fehlerstromerfassung – ein Grundelement modernen Personenschutzes vor allem in der traflosen Wechselrichtertechnik.

Autor

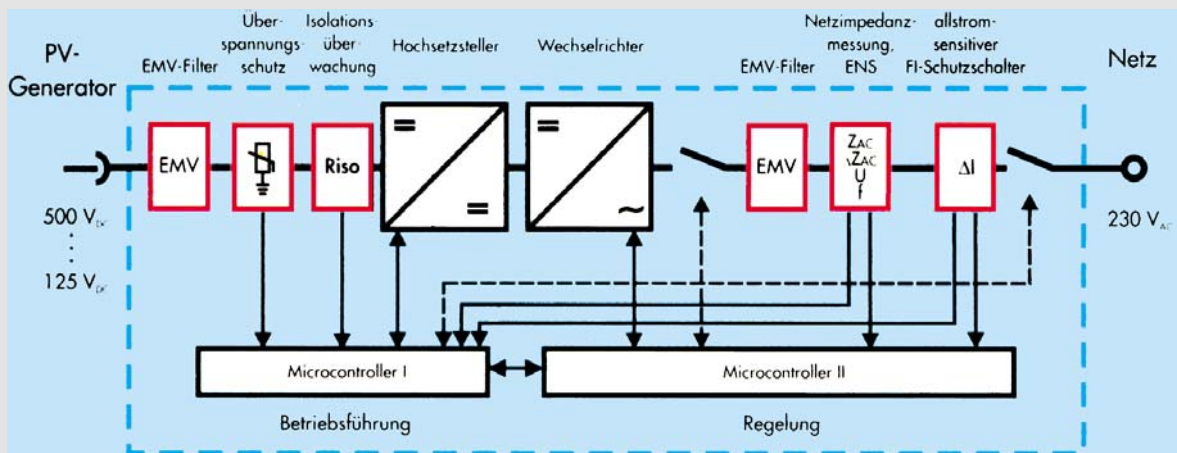
Dipl.-Ing. Helmut Kabisch ist als freier Fachjournalist in Berlin tätig.



② Modulintegrierter Kleinwechselrichter

③ Technische Daten einer Typenreihe modulorientierter Kleinwechselrichter mit 230 V AC Ausgangsspannung.

Typenbezeichnung	DMI 100	DMI 200	DMI 400
Eingangsleistung ($T_{\text{U}} \leq 60^\circ\text{C}$)	120W	250W	500W
Nenneingangsleistung	100W	200W	400W
Maximaler Wirkungsgrad	90%	91%	93%
Netzeinspeisung ab	2W	3W	5W
Standby-Verluste	0W, Nachtabschaltung		
Eingangsspannungsbereich	25V – 55V DC		
MPP-Spannungsbereich	28V – 50V		
Nenn- und Einschaltspannung	35V DC		
Ausgangsspannung	230V AC \pm 10%		
Ausgangsstrom	geregelter Sinus, Netzfrequenz 50Hz		
Cos φ	1		
Umgebungstemperaturbereich	-25 bis +70°C		
Zulässige Luftfeuchtigkeit	0 – 95%		
Netzurückwirkungen	DIN VDE 0838, EN 16555		
Geräusch-Emission	35 dB		
Schutzklasse Gehäuse	IP 65		
Potentialtrennung	Ringkerntransformator		
CE-Prüfzeichen	vorhanden	vorbereitet	vorbereitet
Abmessungen (B x L x H)	100 x 200 x 80 mm	160 x 240 x 100 mm	160 x 320 x 100 mm
Gewicht	2,75 kg	5,80 kg	8,20 kg



④ Schutzeinrichtungen des transformatorlosen String-Wechselrichters, dessen Nennleistung 1500 W beträgt.

Quellen: SMA Regelsysteme GmbH (1, 4), Dorf Müller Solaranlagen GmbH (2, 3)

ator“, bestehend aus PV-Modul und einem leistungsgleichen Wechselrichter. Eine Vielzahl von Vorteilen – darunter durchgängige Kostenreduzierungen in allen Prozessen, optimale Nutzung der Sonnenstrahlung und Ersatz der Gleich- durch Wechselstromverdrahtung – sind das Ziel. Kern der Forschung war und ist die Suche nach einem technisch befriedigenden und Kostensenkung versprechenden Wechselrichterkonzept (Bild ②). Nach umfangreichen Vorarbeiten ging im Oktober 1995 in Chemnitz die erste mit 100 W-Wechselstrom-Solarmodulen bestückte PV-Anlage in Betrieb [6]. Bevor mit modulintegrierten Wechselrichtern – mit denen die Vorteile der modularen Systemtechnik konsequent genutzt werden können – kostengünstig wechselstrombasierte Generatorkonzepte durchgängig realisiert werden, müssen noch

einige technische Probleme gelöst werden. Neue, in der Leistungs- und Mikroelektronik bereits weit entwickelte Integrations-Technologien könnten die Grundlage für eine zukünftige Massenproduktion sein. Geplant ist die Bereitstellung von Wechselrichtern, die ähnlich wie PV-Module unter extremen Umweltbedingungen zuverlässig arbeiten und die vorgenannten wirtschaftlichen Vorteile sichern [7].

2.2 Erste Anwendung: Der modulorientierte Kleinwechselrichter

Inzwischen werden von zwei Unternehmen Kleinwechselrichter gefertigt, um vorzugsweise die Solarenergie von bis zu drei parallel geschalteten Modulen über eine separat angeordnete ENS in das 230 V-Netz einzuspeisen. Die Wechselrichter werden dazu modultnah über kurze Gleich-

stromverbindungen mit den Modulen verbunden (Bild 3). Gegenüber Wechselstrom-Solarmodulen können bei dieser „modulorientierten“ Anordnung die Wechselrichter gegen Überhitzung geschützt und besser zugänglich platziert werden. Hauptanwendungsgebiete sind PV-Module an Fassaden einschließlich Balkonen und Balkondächern [8]. Richtig eingesetzt sind sie eine echte Alternative zu anderen Systemen und unterstützen darüber hinaus eine solar geprägte Architektur. Über geeignete Kommunikationsschnittstellen werden alle im Wechselrichter anfallenden Betriebsdaten erfasst und meßtechnisch einfacher als bei jedem anderen System auch ein Modulfehler genau geortet. Kleinwechselrichter erreichen je nach Nennleistung maximal einen Wirkungsgrad von 90 bis 93 %. Damit liegen die Umwandlungsverluste etwa 3 - 6 % unter jenen ihrer leistungsstärkeren Gegenspieler, den im folgenden Punkt vorgestellten String-Wechselrichtern. Dem stehen geringere Verluste im PV-Generator und in der Verkabelung gegenüber. Auch der bei Ausfall eines Kleinwechselrichters vergleichsweise geringe Energieertragsausfall verbessert die Bilanz. Aus den genannten Gründen kann die jährliche Energiebilanz trotz des funktionsbedingt geringeren Wechselrichter-Wirkungsgrades den einer PV-Anlage mit Zentral-Wechselrichter überschreiten. Mit Übergang auf Klein- oder Strangwechselrichter entfallen im PV-Generator die bei Parallelschaltung zum Schutz gegen Rückströme erforderlichen Strangdioden. Dadurch und durch die bei zentralisierter Wechselrichtung unvermeidbare Fehlanpassung sind dort die Verluste höher. Ursache der letztgenannten Leistungsverluste sind fertigungsbedingte Exemplarstreuungen der PV-Module, Einstrahlungs- und Temperaturdifferenzen sowie Teilverschattungen beispielsweise durch Antennen (!), Gebäudeteile etc. Aus den genannten Gründen entstehen Verluste in Höhe von 3 - 6 %, die durch eine eigenständige MPP-Arbeitspunktregelung, also durch Übergang zu modulorientierten Wechselrichtern, vermieden werden.

3 Modulare Systemtechnik mit String-Wechselrichtern

Zwischen den gegensätzlichen Konzepten der zentralen und der modulintegrierten Energieaufbereitung steht der String-Wechselrichter als zweite Variante der modulorientierten Wechselrichtertechnik. An jedem dieser Wechselrichter wird in der Regel ein String, bestehend aus mehreren in Reihe geschalteten Modulen, angeschlossen. Durch Parallelschaltung dieser PV-Anlagen-Module kann die Leistung der Gesamtanlage bis in den MW-Bereich

erweitert werden. Dabei entfallen die zur Parallelschaltung in anderen Systemen erforderlichen PV-Verteiler (Generatorschaltkästen). Jeder Wechselrichter besitzt die eingangs genannten Eigenschaften wie MPP-Regelung, Geräte- und Personenschutz und ENS (Bild 4). Besonders hervorzuheben ist die Kommunikation über das gebäudeinterne Niederspannungsnetz. Ohne zusätzlichen Aufwand können die vom Wechselrichter gelieferten Daten direkt auf einen PC oder einen speziellen Controller übertragen und an einer beliebigen netznahen Stelle ausgewertet und angezeigt werden. Vorreiter und Marktführer dieser Technologie ist die SMA Regelsysteme GmbH aus Niestetal. Nach Ansicht ihres Geschäftsführers Günther Cramer werden inzwischen „von nahezu allen Wechselrichterherstellern ebenfalls String-Wechselrichter angeboten, so daß konventionelle, zentrale Wechselrichter mehr und mehr vom Markt verdrängt werden“. Mit drei unterschiedlichen Typen, die den Leistungsbereich von wenigen 100 W bis in den MW-Bereich umfassen, wird der Einsatz von PV-Modulen unterschiedlicher Ströme ebenso möglich wie ihre nahezu beliebige Reihenschaltung.

Mit den beiden leistungsschwächeren Typen empfiehlt sich der String-Wechselrichter bereits ab wenigen 100 W. Bereits im Leistungsbereich von 2 bis 5 kW sieht SMA ein marktgerechtes Preis-/Leistungsverhältnis, das aber gleichzeitig auf Leistungen bis 100 kW orientiert ist. Inzwischen ist der mit 1500 W Nennleistung stärkste String-Wechselrichter sogar in den MW-Bereich eingedrungen. Seit 1998 wandeln im nordrhein-westfälischen Herne annähernd 600 dezentral angeordnete Wechselrichter den Solarstrom einer 1 MW-Anlage in Netzstrom um.

Literatur

- [1] Sieberth, W.-D.: Photovoltaikanlagen im 1000-Dächer-Programm – Einführung und erste Erfahrungen. Elektropraktiker, Berlin 46 (1992) 11, S. 810 - 818
- [2] Kabisch, H.: Netzgekoppelte Kleinkraftwerke im Langzeittest. Elektropraktiker, Berlin 47 (1993) 11 LuK, S. 10 - 13
- [3] Kabisch, H.: Führung, Kommutierung und Taktung – drei wichtige Unterscheidungsmerkmale von Stromrichtern. Elektropraktiker, Berlin 48 (1994) 10 LuK, S. 10 - 13
- [4] Knaupp, W.: Errichtung von netzgekoppelten Photovoltaik-Anlagen. Elektropraktiker, Berlin 53 (1999) 2, S. 132 - 138
- [5] Kabisch, H.: Netzgekoppelte Photovoltaikanlagen kleiner Leistung. Elektropraktiker, Berlin 50 (1996) 5, S. 396 - 399
- [6] Voigtländer, I. u.a.: 10 kV-Fassade mit 100 W Wechselstrom-Solarmodulen. Tagungsband 11. Symposium Photovoltaische Solarenergie Stafelstein. Ostbayerisches Technologie Transfer Institut e.V. (OTTI), Regensburg 1996, S. 95 - 99
- [7] Lang, J.: PV-Wechselrichter – Von der zentralen zur modularen Energieaufbereitung. Faltblatt BINE Projekt Info-Service 10/96
- [8] Kabisch, H.: Vier Photovoltaik-Komplexe auf und unter einem Dach. Elektropraktiker, Berlin 52 (1998) 6 LuK, S. 1 - 3