

Bau eines Solargenerator-Simulators von 100 kW

Heinrich Häberlin

Berner Fachhochschule (BFH), Technik und Informatik, Labor für Photovoltaik

Jlcoweg 1, CH-3400 Burgdorf / SCHWEIZ

Tel: +41 34 426 6811, Fax: +41 34 426 6813

e-Mail: heinrich.haeberlin@bfh.ch

Internet: www.pytest.ch

Einführung

Das Photovoltaiklabor der Berner Fachhochschule in Burgdorf führt seit 1989 Tests von Wechselrichtern für netzgekoppelte Photovoltaikanlagen im Leistungsbereich 0,1 kW bis 25 kW durch. Bei allen Wechselrichtern wurden DC-AC-Umwandlungswirkungsgrad, Oberschwingungsströme, EMV-Verhalten, Selbstlauf, Rundsteuer-signal-Empfindlichkeit, Einschaltleistung, Nennspannungsbereich und Betrieb bei Leistungsüberangebot untersucht. In den ersten Jahren wurden diese Untersuchungen vorwiegend mit der PV-Testanlage von 60 kWp auf dem Dach des Elektrotechnik-Gebäudes durchgeführt.

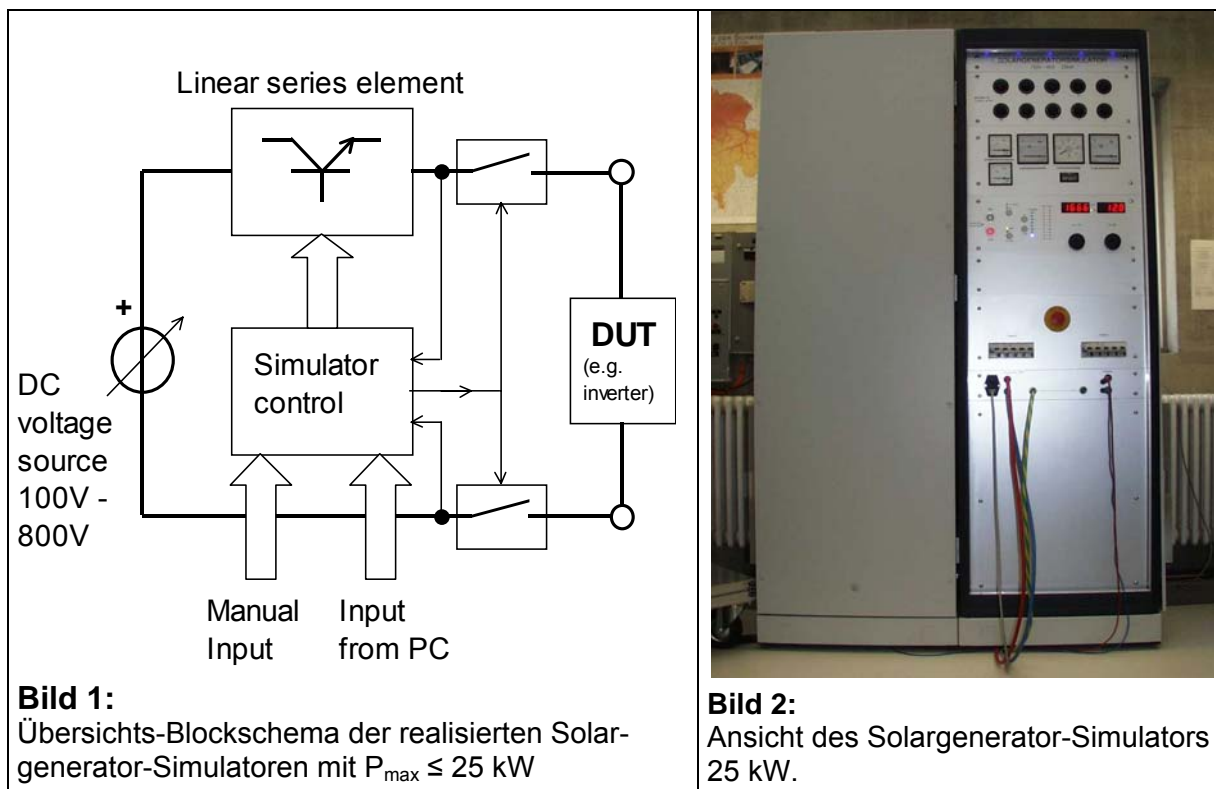
Nachdem in den letzten Jahren der Umwandlungs-Wirkungsgrad DC-AC von Photovoltaik-Wechselrichtern gegenüber früher deutlich verbessert werden konnte, treten für eine weitere Optimierung der Geräte neue, bisher noch nicht genügend untersuchte Aspekte in den Vordergrund (z.B. Optimierung der Anpassung an den Punkt maximaler Leistung (MPP) von Solargeneratoren auch bei schwankender Sonneneinstrahlung oder die Spannungsabhängigkeit des Wirkungsgrades bei Geräten mit weitem Eingangsspannungsbereich). Zu diesem Zweck sind aber wesentlich kompliziertere Laboreinrichtungen (computergesteuerte Solargenerator-Simulatoren) und Testverfahren notwendig als für die einfache Messung des DC-AC Umwandlungswirkungsgrades. Bei gleichzeitiger Messung von Umwandlungs- und MPPT-Wirkungsgrad an einem Solargenerator-Simulator kann der Gesamtwirkungsgrad oder totale Wirkungsgrad η_{tot} bestimmt werden, der eine viel bessere Charakterisierung eines Wechselrichters erlaubt [1], [2]. Je höher der Gesamtwirkungsgrad eines Wechselrichters ist, desto mehr Nutzenergie kann aus dem vorhandenen Energieangebot eines Solargenerators herausgeholt werden und desto höher ist der Nutzungsgrad der gesamten Photovoltaikanlage, was weiter zur Kostensenkung beiträgt. Es ist also sinnvoll, Wechselrichter durch entsprechende Messungen an geeigneten Solargenerator-Simulatoren bezüglich Gesamtwirkungsgrad zu optimieren.

Bestehende Solargenerator-Simulatoren

Eine wichtige Voraussetzung für solche automatischen Wechselrichter-Messungen ist ein vom PC aus steuerbarer, hochstabiler Solargenerator-Simulator. Da Diodenkettensimulatoren ein inhärentes thermisches Stabilitätsproblem haben und nur eine Art von I-U-Kurve pro Diodenkette simulieren können, wurden andere

Ansätze untersucht. Geschaltete Simulatoren sind vom Prinzip her langsamer und haben zudem wegen der intern verwendeten PWM-Schaltfrequenzen ein deutlich schlechteres EMV-Verhalten. Um alle Anforderungen erfüllen zu können, ist die Verwendung einer gesteuerten linearen Stromquelle wahrscheinlich die beste Lösung. Dieser Aufbau zeigt eine sehr gute MPP-Stabilität, ein hervorragendes EMV-Verhalten (keine PWM-Schaltfrequenzen) und eine schnelle Ausregelung von Schwankungen der Last. In den Jahren 2000 bis 2004 wurden am PV-Labor zwei solche hochstabile computergesteuerte Solargenerator-Simulatoren von 20 kW ($U_{OC} \leq 810V$, $I_{SC} \leq 30A$) und 25 kW ($U_{OC} \leq 750V$, $I_{SC} \leq 40A$) entwickelt, die unabhängig vom Wetter eine halbautomatische Durchführung von solchen Wechselrichtertests ermöglichen [2], [3], [4], [5]. Wegen der notwendigen sehr hohen Stabilität sind solche hochpräzisen Messungen des MPP-Tracking-Wirkungsgrades resp. -Anpassungsgrades an realen PV-Generatoren nicht möglich.

Bild 1 zeigt das prinzipielle Blockscheema der beiden Simulatoren. Für den grossen Simulator von 25 kW zeigt Bild 2 eine Ansicht von vorne, Bild 3 ein I-U-Diagramm bei grosser und Bild 4 bei sehr kleiner Leistung.



Der 2000 - 2001 entwickelte 25 kW-Simulator bestand aus 100 Elementarstromquellen von $I_{SC} \leq 0,4$ A. Diese konnten 2004 / 2005 durch Einsatz eines leistungsfähigeren Power-MOS-FETs wesentlich verbessert werden, so dass eine Elementarstromquelle nun für $I_{SC} \leq 1$ A ausgelegt ist. Der damit gebaute 20 kW-Simulator (siehe Bild 5) hat im knapp halben Volumen fast die gleiche Leistung wie das ältere Gerät.

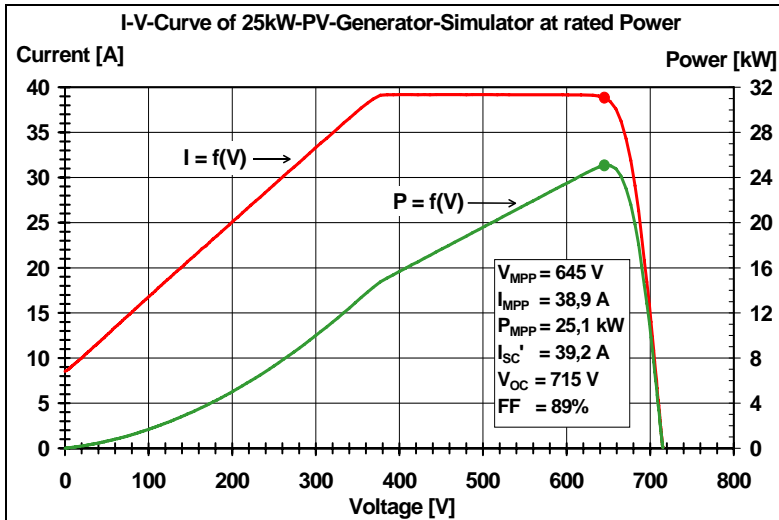


Bild 3:

Kennlinie des 25 kW-Solargenerator-Simulators mit 0,4A-Stromquellen bei Volllast mit einer Kennlinie mit relativ hohem Füllfaktor. Dank der linearen Regelung ist die Kennlinie sehr stabil und das dynamische Regelverhalten ausgezeichnet. Um die Endstufe nicht zu überlasten, wird bei Kennlinien mit Leerlaufspannungen über 350 V bei hohen Strömen und kleinen Spannungen der Strom reduziert. Da die Wechselrichter normalerweise im Bereich des MPP arbeiten, hat dies keine Auswirkungen auf die Wechselrichtertests.

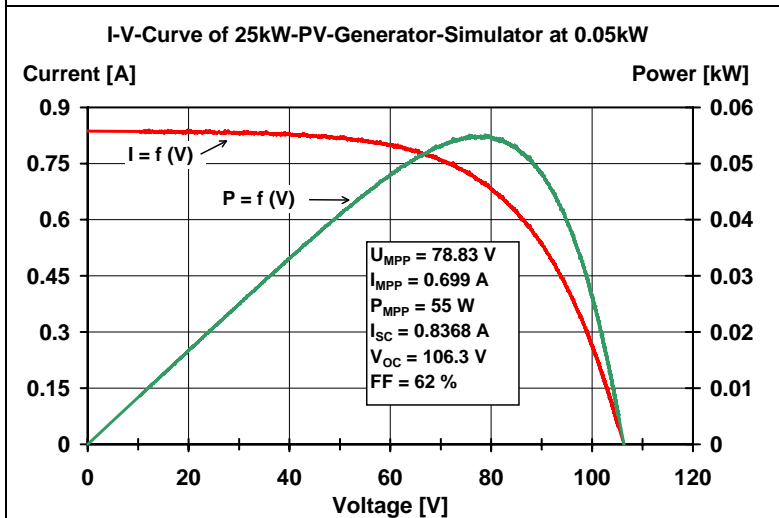


Bild 4:

Kennlinie des 25 kW-Solargenerator-Simulators mit 0,4A-Stromquellen bei extremer Teillast (nur etwa 2% des Nennstromes und gut 0,2% der Nennleistung!) mit einer Kennlinie mit relativ kleinem Füllfaktor. Angesichts der kleinen Leistung ist das Rauschen auf der Kennlinie sehr gering, d.h. die Stabilität ist sehr gut.

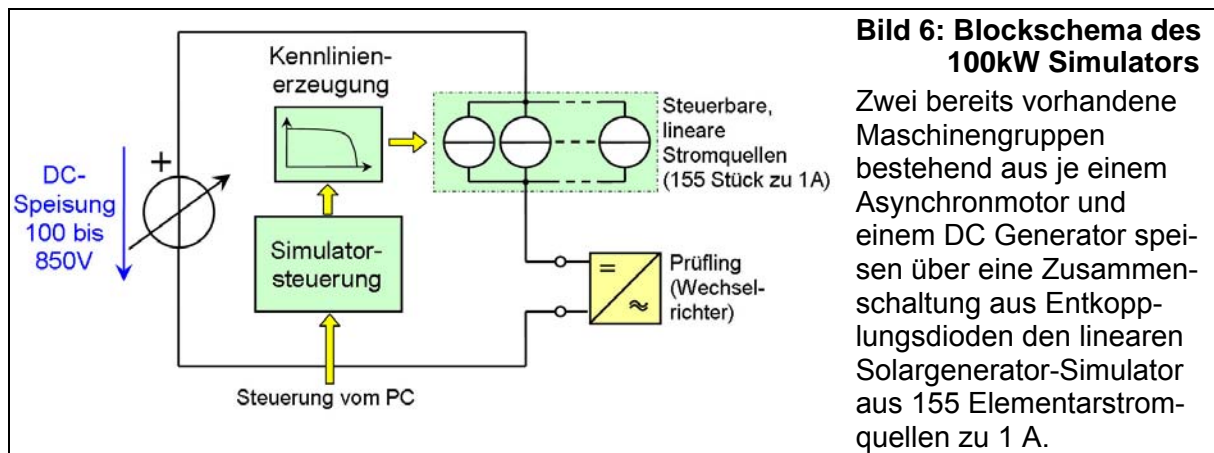


Bild 5:

Ansicht des neuen PV-Generator-Simulators 20 kW, 810 V, 30 A mit 30 Stromquellen zu 1 A.

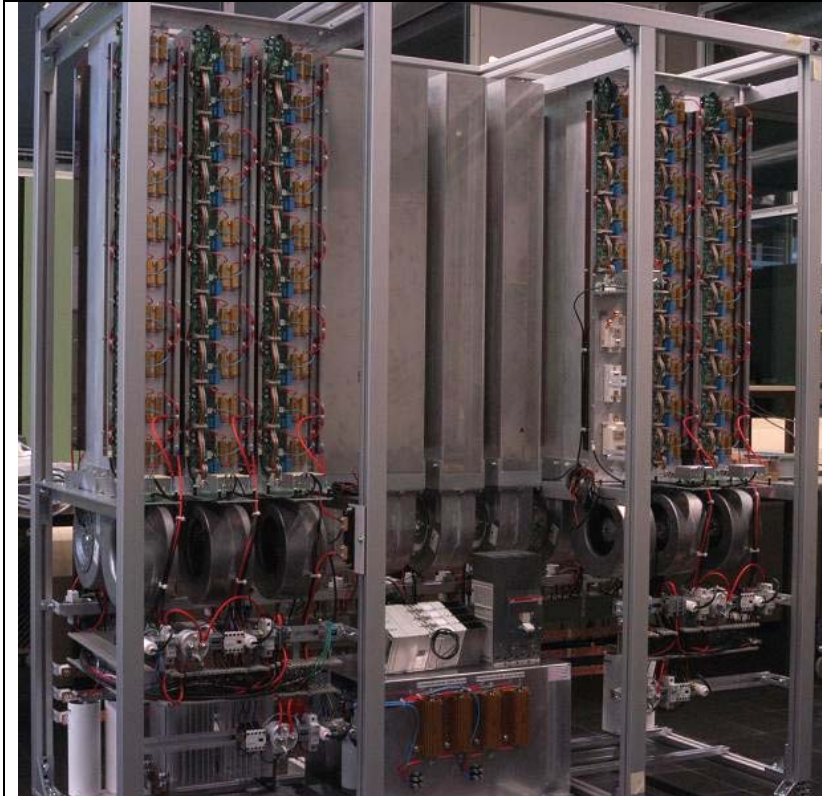
Neuer Solargenerator-Simulator von 100 kW

Mit der bestehenden Test-Infrastruktur war es bisher nicht möglich, Wechselrichter mit Leistungen über etwa 20 bis 25 kW zu testen. Da 100 kW in vielen Ländern eine wichtige Leistungsgrenze ist und deshalb viele Anlagen mit 100 kW-Wechselrichtern ausgerüstet werden, erhielt unser Labor vom BFE im Rahmen eines neuen Projektes den Auftrag, einen entsprechenden hochstabilen Simulator für vollautomatische Wechselrichter-Tests von Geräten bis 100 kW zu entwickeln. Gleichzeitig soll die Steuersoftware so ausgebaut werden, dass statt wie bisher nur halbautomatische neu auch vollautomatische Tests auf vielen verschiedenen MPP-Spannungsstufen und dynamische MPP-Tracking-Tests mit verschiedenen Rampen möglich werden. Das gegenwärtig im Bau befindliche Gerät ist wieder ein linearer Solargenerator-Simulator mit den neuen 1A-Stromquellen, der zumindest bei höheren Füllfaktoren $> 80 - 85\%$ die geforderte Leistung erreichen sollte (Planziel: 100 kW, $U_{OC} \leq 810$ V, $I_{SC} \leq 155$ A). Bild 6 zeigt das Blockscha des 100 kW Simulators. Gegenwärtig bereits realisiert sind 155 lineare neue 1 A-Stromquellen für einen gesamten I_{SC} von 155 A. Auch die Montage dieser Stromquellen im Gehäuse des neuen Solargenerator-Simulators ist schon relativ weit fortgeschritten (siehe Bild 7).



Das Gerät basiert auf 155 linearen, steuerbaren Stromquellen, welche jeweils 1 A liefern können. Lineare Quellen erreichen eine sehr hohe Dynamik ohne die störenden EMV-Emissionen, wie sie bei getakteten Systemen auftreten. Die Quellen können blockweise zugeschaltet werden, was eine gute Skalierbarkeit der Leistung bei sehr geringer parasitärer Parallelkapazität ermöglicht. Die Erzeugung der Solargenerator-Kennlinie geschieht auf dem Weg der direkten digitalen Synthese. Um eine hohe Flexibilität zu erreichen, werden mehrere verschiedene Kennlinien vorprogrammiert, darunter auch solche von teilbeschatteten Solargeneratoren. Die Leerlaufspannung und der Kurzschlussstrom der jeweiligen Kennlinie können durch die PC-Steuerung in weiten Bereichen frei vorgegeben werden. Die Simulatorsteuerung umfasst neben der Schnittstelle zur Kommunikation mit dem PC auch verschiedene Sicherheitsschaltungen, darunter einen Watchdog, der bei einem Computerabsturz den Simulator in einen definierten Stopp-Zustand versetzt.

Bild 7 zeigt den Montagezustand im Dezember 2007. Der Übergang zu einer solchen Leistung stellt wesentlich höhere Anforderungen an die gesamte Verkabelung, die Messtechnik und das Sicherheitskonzept. Für eine solche Anlage ist auch ein neuer Standort nahe bei der Hauptverteilung des Gebäudes erforderlich. Es ist geplant, die komplette Anlage bis im August 2008 in Betrieb zu nehmen.



**Bild 7:
Montagezustand des
100 kW Simulators im
Dezember 2007.**

Alle Stromquellentürme (15 Stück mit je 10 Elementarstromquellen und einem Spezialturm mit 5 Stromquellen) sind zusammen mit ihren Lüftern bereits montiert und fertig verdrahtet.

Es fehlt aber noch das MPPT-Interface für diese Leistung, die Steuerung und die Anlagen-Starkstromverdrahtung am zukünftigen Standort im Keller.

Die entsprechende Anspeisung von 850 V und 155 A ist noch im Bau. Erst in Planung ist das notwendige MPPT-Messinterface für die hochpräzise MPP-Messung bei Strömen I_{MPP} bis etwa 150 A. Es besteht die Möglichkeit, mit diesem grossen Simulator im Rahmen der ab Herbst 2008 beginnenden Master-Studiengänge 100 kW-Wechselrichter verschiedener Hersteller zu untersuchen.

Literatur

- [1] H. Häberlin: "Photovoltaik – Strom aus Sonnenlicht für Verbundnetz und Inselanlagen". AZ-Verlag, CH-5001 Aarau, 2007, ISBN 978-3-905214-53-6, VDE Verlag, Berlin, ISBN 978-3-8007-3003-2.
- [2] H. Häberlin, L. Borgna, M. Kämpfer und U. Zwahlen: "Totaler Wirkungsgrad – ein neuer Begriff zur besseren Charakterisierung von Netzverbund-Wechselrichtern". 20. Symp. PV-Solarenergie, 2005.
- [3] H. Häberlin and L. Borgna: "A new Approach for Semi-Automated Measurements of PV Inverters, especially MPP Tracking Efficiency, using a Linear PV Array Simulator with High Stability". 19th EU PV Conf., Paris, 2004.
- [4] H. Häberlin, M. Kämpfer und U. Zwahlen: "Neue Tests an Photovoltaik-Wechselrichtern: Gesamtübersicht über Testergebnisse und gemessene totale Wirkungsgrade". 21. Symp. PV-Solarenergie, Staffelstein, 2006.
- [5] H. Häberlin, M. Kämpfer und U. Zwahlen: "Messung des dynamischen Maximum-Power-Point-Trackings bei Netzverbund-Wechselrichtern". 21. Symp. PV-Solarenergie, Staffelstein, 2006.

Informationen über weitere Aktivitäten des Photovoltaik-Labors der BFH in Burgdorf und viele weitere Publikationen (teilweise online) sind unter <http://www.pvtest.ch> zu finden.

Abstract

For tests of PV inverters, PV array simulators are very useful tools. Therefore the PV laboratory of the University of Applied Sciences (BFH) in Burgdorf has developed two linear PV generator simulators up to 25 kW with high stability and fast transient response between 2000 and 2004. With these devices, which are controlled by computers, it is possible to perform semi-automated tests of PV inverters including the measurement of MPP-tracking efficiency [1]. From these measurements, the total efficiency can be calculated, which allows a much better assessment of inverter performance than conversion efficiency alone [2]. So far many inverter tests have been performed with this equipment.

With the PV array simulators presently available in the laboratory, it is only possible to carry out semi-automated inverter tests with inverters up to a DC input power of 25 kW. When a new MPP-voltage is chosen, the test has to be started again by an assistant, which increases labor cost for such tests. As 100 kW is an important power limit in many countries, it would be highly desirable to perform detailed inverter tests also for inverters up to this power level, which would also allow to determine MPP-tracking behavior and total efficiency η_{tot} as it is currently done for smaller devices.

In 2007, a new project funded by the Swiss federal office of energy was started. In this project the PV laboratory was mandated to develop a new PV array simulator, which should be capable to perform fully automated tests of inverters up to 100 kW like those carried out with smaller devices up to 25 kW. Developing a PV array with such a high power is a quite challenging project and brings along new requirements as far as safety issues are concerned. Development is currently under way and hopefully the new equipment can be commissioned by August 2008.

References in English:

- [1] H. Haeberlin and L. Borgna: "A new Approach for Semi-Automated Measurements of PV Inverters, especially MPP Tracking Efficiency, using a Linear PV Array Simulator with High Stability". 19th EU PV Conf., Paris, 2004.
- [2] H. Häberlin, L. Borgna, M. Kämpfer und U. Zwahlen: "Total Efficiency η_{tot} – A new Quantity for better Characterisation of Grid-Connected PV Inverters". 20th EU PV Conf., Barcelona, Spain, June 2005.

Further information about the research activities of the PV laboratory of BFH on the internet: <http://www.pvtest.ch>.