

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

**Band:** 84 (1993)

**Heft:** 10

**Artikel:** Leistungsfähigkeit einiger Wechselrichter für nichtnetzgekoppelte Photovoltaik-Kleinkraftwerke

**Autor:** Durisch, Wilhelm / Bulgheroni, Willy

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-902693>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 01.04.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Da die Leistungsfähigkeit von Wechselrichtern in Photovoltaik-Anlagen von hoher Bedeutung ist und Kenntnisse darüber bei der systematischen Untersuchung von Gesamtanlagen unerlässlich sind, lohnt es sich, die verschiedenen Produkte etwas genauer zu untersuchen.

# Leistungsfähigkeit einiger Wechselrichter für nichtnetzgekoppelte Photovoltaik-Kleinkraftwerke

■ Wilhelm Durisch, Willy Bulgheroni

## Zusammenfassung

Im Rahmen mehrerer Studien zum Thema Solarstrom aus den Alpen betreibt das PSI in Zusammenarbeit mit dem Kanton Wallis eine Meteo-Messstation an ausgewählten möglichen Standorten für grössere Solarkraftwerke. Zur Versorgung dieser Station mit Strom dient ein Photovoltaik-Generator (Spitzenleistung: 1,2 kW) mit Batteriespeicher (Kapazität: 48 kWh). Um in dieser Station neben Gleichstrom- auch handelsübliche Wechselstrom-Verbraucher einzusetzen, werden Wechselrichter benutzt. Da ihre Leistungsfähigkeit gerade in Photovoltaik-Anlagen von besonderer Bedeutung ist und Kenntnisse darüber bei der systematischen Untersuchung von Gesamtanlagen unerlässlich sind, wurden mehrere auf dem Markt erhältliche Produkte etwas genauer unter die Lupe genommen. Dabei stellte sich heraus, dass die Lieferantangaben meist bei weitem zu optimistisch sind. So wurde beispiels-

weise in einem Fall lediglich ein Wirkungsgrad von maximal 80% gemessen, statt des angegebenen Wertes von «über 97%». Aber auch bei anderen Kenndaten ergaben sich erhebliche Diskrepanzen. Bei einem als hochqualitativ angepriesenen Gerät gab es Lieferschwierigkeiten: sämtliche Beschaffungsversuche blieben erfolglos. Aus den gesammelten Erfahrungen und den durchgeführten Messungen kann gefolgert werden, dass die Produzenten und Vertrieber von Inselbetrieb-Wechselrichtern sich selbst und insbesondere den Kunden wohl einen besseren Dienst erweisen würden, wenn sie mit ihren Produkten ein Leistungszertifikat einer neutralen Prüfstelle mitliefern würden, als durch unlautere Produktspezifikationen den Kreis enttäuschter Konsumenten zu vergrössern.

## Prüflinge

Bei den untersuchten Wechselrichtern handelte es sich um ein 12-Volt- und drei 24-Volt-Geräte mit unterschiedlichen Ausgangsleistungen. Ein Gerät hat eine sinusför-

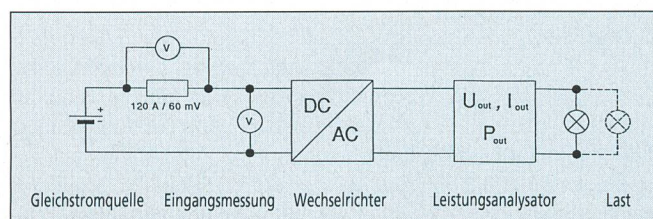


Bild 1 Prinzipschema des Messaufbaus

Adresse der Autoren:  
Dr. Wilhelm Durisch, Willy Bulgheroni,  
Paul-Scherrer-Institut, 5232 Villigen PSI.

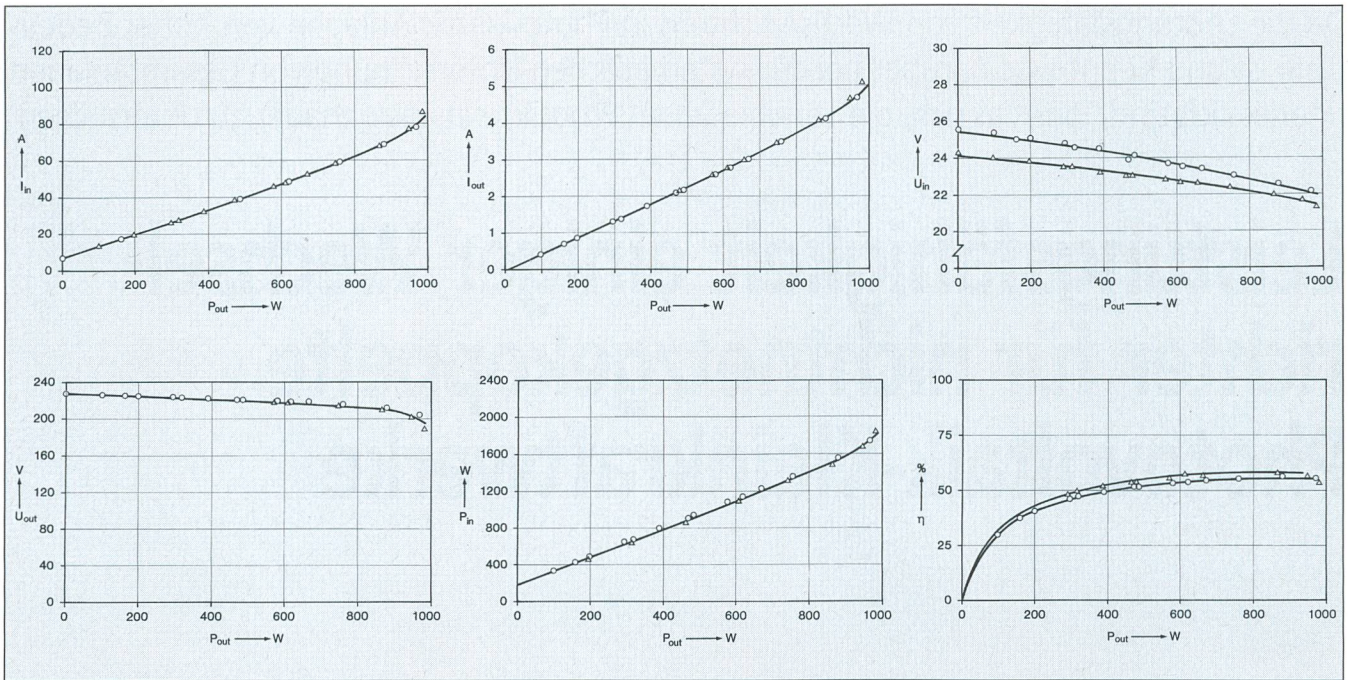


Bild 2 Messresultate zum Wechselrichter Typ A bei zwei leicht unterschiedlichen Eingangsspannungen  $U_{in}$ , die mit  $P_{out}$  leicht abfallen

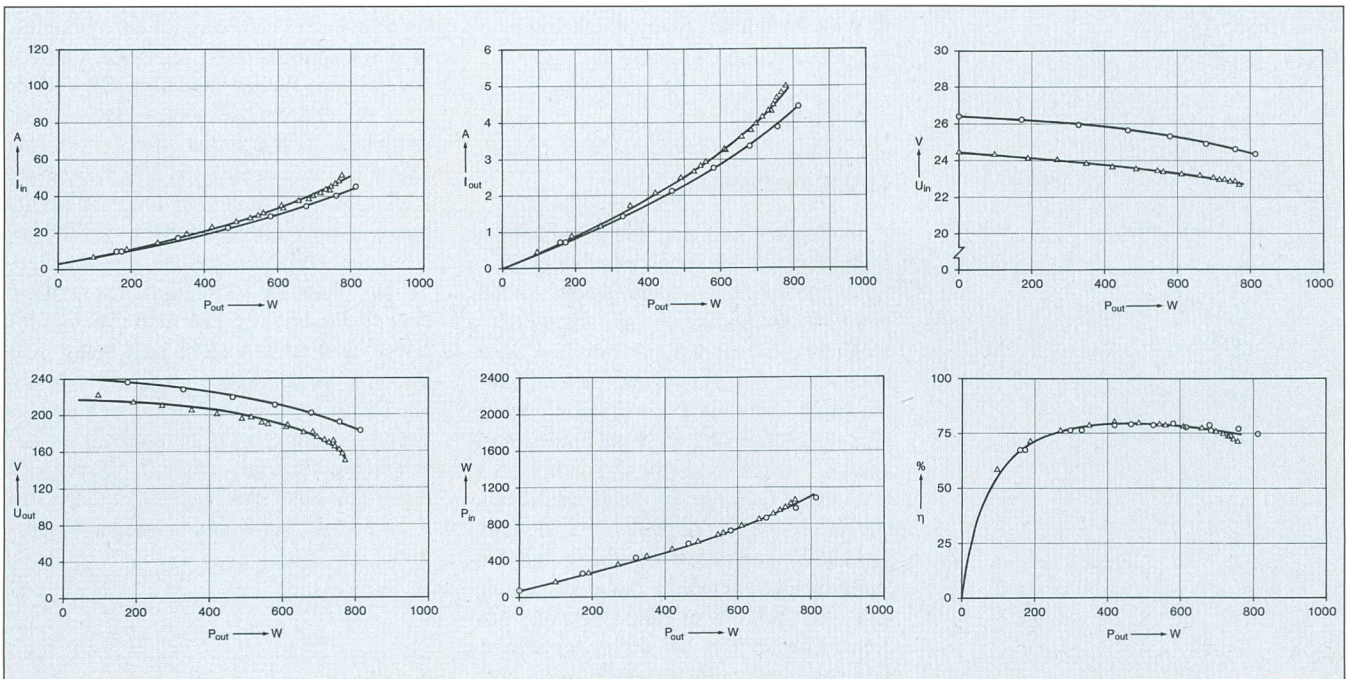


Bild 3 Messresultate zum Wechselrichter Typ B bei zwei leicht unterschiedlichen Eingangsspannungen  $U_{in}$ , die mit  $P_{out}$  leicht abfallen

mige, die anderen drei eine rechteckförmige Ausgangsspannung.

Von jedem Gerät wurden beim Lieferanten die nötigen Unterlagen wie Datenblatt, Betriebsvorschrift usw. verlangt. In Tabelle 1 sind die wichtigsten Daten aufgeführt.

**Messaufbau**

Die Prüflinge wurden an eine leistungsfähige Gleichstromquelle angeschlossen. Die

Eingangsspannung  $U_{in}$  und der Eingangsstrom  $I_{in}$  wurden mit je einem Digitalmultimeter erfasst. Die Eingangsleistung  $P_{in}$  wurde rechnerisch ermittelt:

$$P_{in} = U_{in} \cdot I_{in}$$

Wechselspannungsseitig wurden die Wechselrichter mit einer Glühlampenreihe stufenweise von Null W bis auf Nennleistung belastet.

Die Ausgangsdaten (Strom  $I_{out}$ , Spannung  $U_{out}$ , Leistung  $P_{out}$ ) wurden mit einem elek-

tronischen Leistungsanalysator erfasst. Der Wirkungsgrad errechnet sich aus:

$$\eta = P_{out}/P_{in}$$

Bild 1 zeigt den Messaufbau.

**Messergebnisse**

Die Bilder 2–5 zeigen die gemessenen und errechneten Resultate in Abhängigkeit von

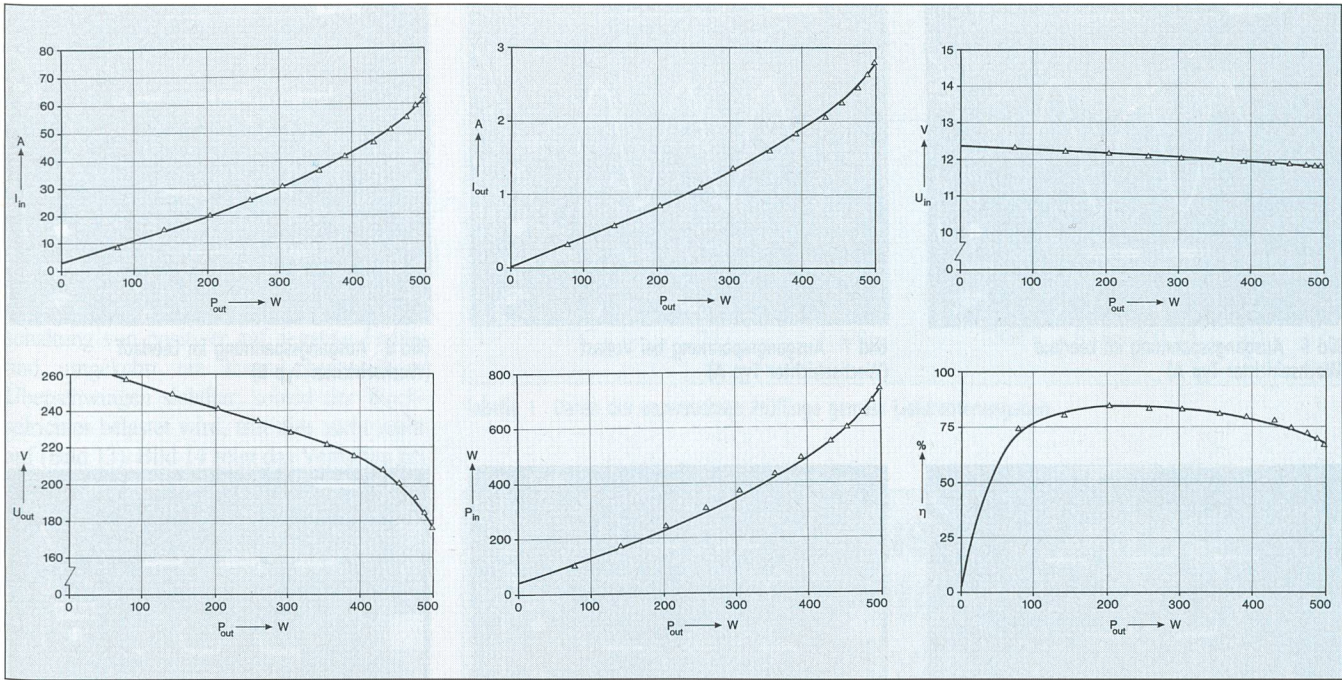


Bild 4 Messresultate zum Wechselrichter Typ C bei leicht abfallender Eingangsspannung  $U_{in}$

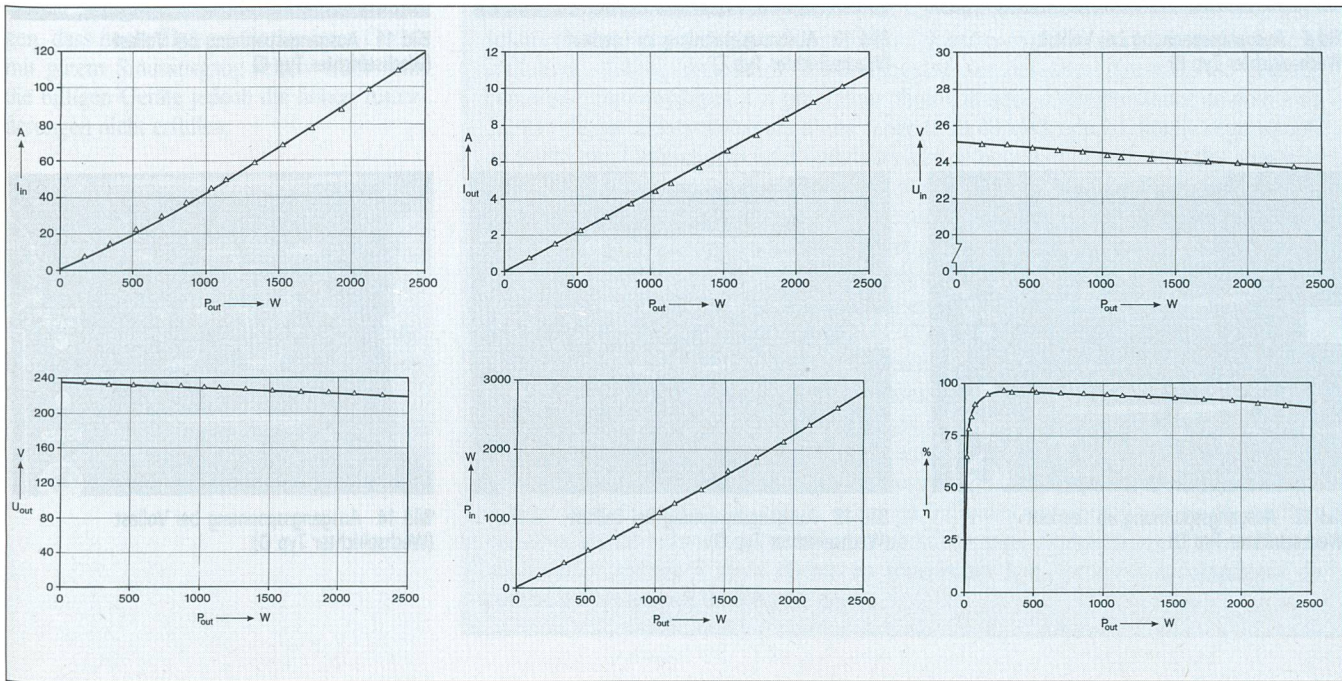


Bild 5 Messresultate zum Wechselrichter Typ D bei leicht abfallender Eingangsspannung  $U_{in}$

$P_{out}$ . Bei den in den Bildern 2–5 dargestellten Untersuchungen wurden zwei verschiedene Eingangsspannungen eingestellt. Die Kurvenform der Ausgangsspannung wird in den Bildern 6–14 im Leerlauf und unter Vollast gezeigt.

gleichzeitig:  
 $I_{in}$ - und  $U_{in}$ -Messung etwas zu tief,  
 das heisst  $dI_{in} < 0$  und  $dU_{in} < 0$

Daraus relativer Fehler für schlimmsten Fall:

$$\frac{\Delta\eta}{\eta} \approx \pm \left\{ \left| \frac{\Delta I_{out}}{I_{out}} \right| + \left| \frac{\Delta U_{out}}{U_{out}} \right| + \left| \frac{\Delta I_{in}}{I_{in}} \right| + \left| \frac{\Delta U_{in}}{U_{in}} \right| \right\}$$

(Minuszeichen für schlimmsten Fall in andere Richtung)

Falls die Messwerte von  $I_{out}$ ,  $U_{out}$ ,  $I_{in}$  und  $U_{in}$  alle denselben relativen Fehler von 0,25% aufweisen, hat der Wirkungsgrad im schlimmsten Fall einen relativen Fehler von  $\pm 1\%$ . Daraus ergibt sich, dass  $I_{out}$ ,  $U_{out}$ ,  $I_{in}$  und  $U_{in}$  genau gemessen werden müssen, damit  $\eta$  eine vernünftige Genauigkeit aufweist.

### Fehlerbetrachtung

Schlimmster Fall:

$I_{out}$ - und  $U_{out}$ -Messung etwas zu hoch,  
 das heisst  $dI_{out} > 0$  und  $dU_{out} > 0$ ;

### Schlussfolgerung

Die Messresultate zeigen, dass die Lieferantenangaben über Wirkungsgrad und

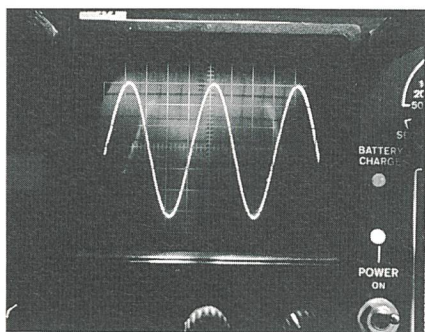


Bild 6 Ausgangsspannung im Leerlauf (Wechselrichter Typ A)

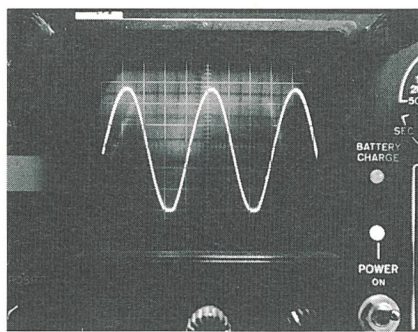


Bild 7 Ausgangsspannung bei Vollast (Wechselrichter Typ A)

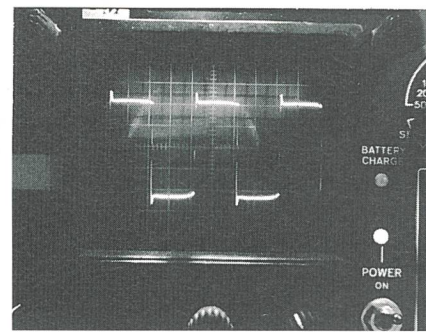


Bild 8 Ausgangsspannung im Leerlauf (Wechselrichter Typ B)

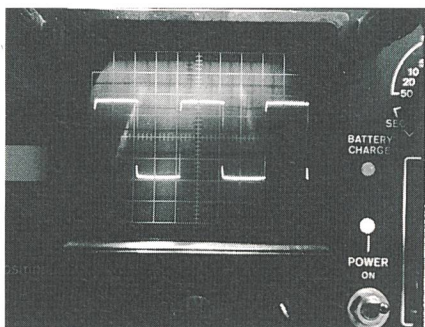


Bild 9 Ausgangsspannung bei Vollast (Wechselrichter Typ B)

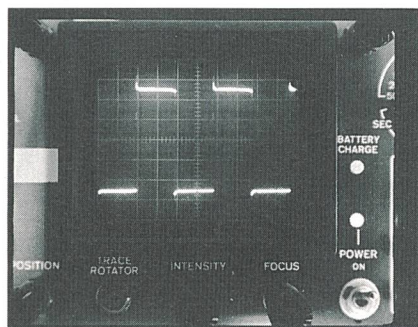


Bild 10 Ausgangsspannung im Leerlauf (Wechselrichter Typ C)

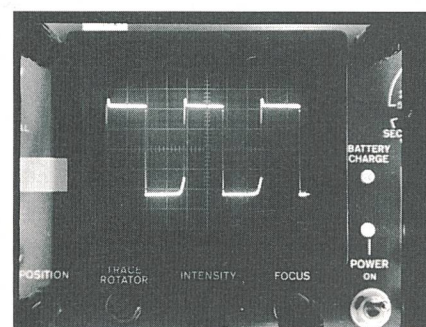


Bild 11 Ausgangsspannung bei Vollast (Wechselrichter Typ C)

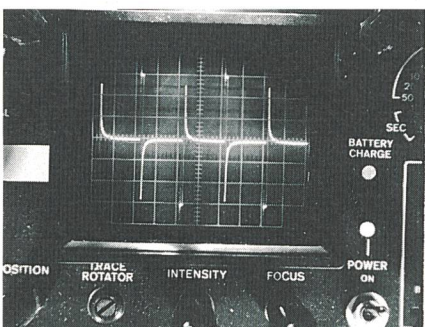


Bild 12 Ausgangsspannung im Leerlauf (Wechselrichter Typ D)

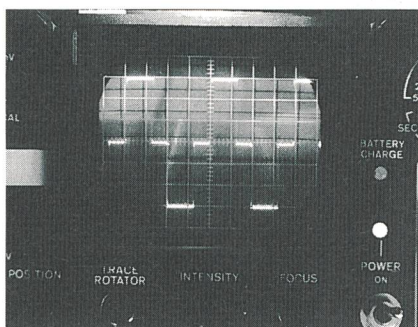


Bild 13 Ausgangsspannung bei Teillast (Wechselrichter Typ D)

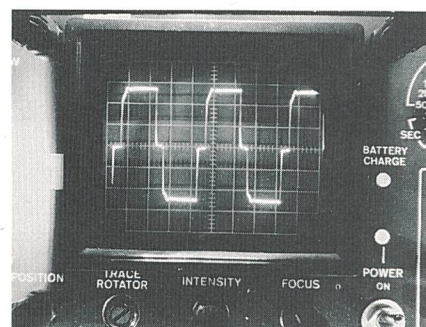


Bild 14 Ausgangsspannung bei Vollast (Wechselrichter Typ D)

Spannungsstabilität teilweise stark von der Realität abweichen. Beim Sinuswechselrichter Typ A war der höchste gemessene Wirkungsgrad 58% gegenüber 62% laut Datenblatt (bei einer Ausgangsleistung von 866 VA). Die Ausgangsspannung fiel von 225 V auf 209,7 V ab. Beim Versuch mit einer etwa 1 V höheren Eingangsspannung war der Wirkungsgrad rund 2% schlechter. Der Leerlaufstrom beträgt 6,8 A, was einer Leistungsaufnahme von 166 VA entspricht, die ohne Leistungsabgabe «verheizt» wird. Wie die Bilder 6 und 7 zeigen, ändert sich die Kurvenform zwischen Leerlauf und Vollast nicht, bleibt also sinusförmig.

Der Unterschied zwischen Messung und Datenblatt war beim Rechteckwechselrichter Typ B noch grösser. Gemessen wurde  $\eta_{max} = 79,7\%$  gegenüber  $>97\%$  laut Datenblatt. Die Ausgangsleistung betrug 487 VA bei 196,3 V. Bei der höheren Eingangsspannung war auch eine höhere Ausgangsspannung zu verzeichnen, so dass der Wirkungsgrad in derselben Grössenordnung blieb. Die 2,8 A Leerlaufstrom bzw. 70 VA Leistungsaufnahme entsprechen bereits 10% der Nennleistung. Bei der Rechteck-Kurvenform war im Leerlauf beim Spannungsanstieg eine leichte Überschwingung festzustellen, die bei Vollast nicht auftrat (Bilder 8 und 9).

Der maximale Wirkungsgrad des Wechselrichters Typ C lag mit 84,3% rund 10% unter den angegebenen 94%. Dies bei einer Ausgangsleistung von 200 VA und 241 V. Die Ausgangsspannung nahm Werte zwischen 257,8 und 176 V an, wobei die Ausgangsleistung zwischen 75–495 VA lag. Die vom Lieferant angegebene Ausgangsleistung von 600 VA konnte bei einer brauchbaren Ausgangsspannung nicht erreicht werden. Der Leerlaufstrom betrug 2,8 A bzw. 40 W.

Beim leistungsstärksten Wechselrichter Typ D konnte ein Wirkungsgrad von 96,6% gemessen werden, was einen sehr guten Wert darstellt. Die Ausgangsspannung schwankte

zwischen 238 V bei 65 VA und 230 V bei 2500 VA. Die in Bild 5 aufgetragene Wirkungsgradkennlinie entspricht weitgehend der des Herstellers. Der Leerlaufstrom von 0,052 A bzw. 1,3 W Leistungsaufnahme im Leerlauf entspricht nur 0,052% der Nennleistung, was einen ausgezeichneten Wert darstellt. Der Wechselrichter wurde in der Pulsbreitenmodulationstechnik aufgebaut. Bild 12 zeigt die Kurvenform des Wechselrichters im Leerlauf. Dabei ist bei der Umschaltung von positiver auf negative Flanke und umgekehrt ein kurzes gegenteiliges Überspringen sichtbar; sobald der Wechselrichter belastet wird, tritt dies nicht mehr auf (Bild 13). Bild 14 zeigt das Verhalten bei Vollast.

Bei den ausgemessenen Wechselrichtern erfüllt nur der Typ D die Erwartungen. Die anderen drei haben sowohl tiefe Wirkungsgrade als auch zu tiefe Ausgangsspannungen bei Vollast und zu hohe Leerlaufströme.

Beim Sinuswechselrichter handelt es sich um ein Modell aus dem Jahr 1979. Es ist anzunehmen, dass in der Zwischenzeit bessere und billigere Typen auf dem Markt sind. Die vier ausgemessenen Wechselrichter zeigen, dass hocheffiziente Geräte bzw. Geräte mit gutem Sinusausgang relativ teuer sind, die billigen Geräte jedoch die hohen Anforderungen nicht erfüllen.

### Verdankung

Wir danken Albert Kölliker für die Mithilfe bei den Messungen und der Auswertung.

Typ	Beschaffungsjahr	Eingangsspannung $U_{in}$ , VDC	Ausgangsspannung $U_{out}$ , VAC	Ausgangsleistung $P_{out}$ , VA	Wirkungsgradangabe $\eta$ , %	Preis Sfr.
A	1979	24	220	1000	62	4224.-
B	1985	24	220	700	> 97	1050.-
C	1986	12	220	600	≈ 94	470.-
D	1987	24	220	2500	97 bei 400 VA	5020.-

Tabelle 1 Daten der untersuchten Prüflinge gemäss Lieferantenangaben

## Performance de quelques onduleurs utilisés par de petites installations photovoltaïques indépendantes du réseau

Dans le cadre de plusieurs études réalisées sur le thème de l'électricité d'origine solaire produite dans les Alpes, l'Institut Paul Scherrer exploite, en collaboration avec le canton du Valais, une station météorologique sur des sites potentiels de grandes centrales photovoltaïques. Un générateur photovoltaïque d'une puissance de pointe de 1,2 kW équipé d'accumulateurs d'une capacité de 48 kWh approvisionne cette station en électricité. Celle-ci dispose d'onduleurs afin de pouvoir utiliser, outre des appareils à courant continu, des appareils à courant alternatif usuels. Etant donné que la performance des onduleurs est d'une importance particulière pour les installations photovoltaïques et que des connaissances à ce sujet sont indispensables au moment d'étudier systématiquement ces installations dans leur ensemble, plusieurs produits commercialisés ont fait l'objet d'une évaluation. Il en est ressorti que les indications des fournisseurs sont en général bien trop optimistes. C'est ainsi, à titre d'exemple, qu'un rendement de seulement 80% au maximum au lieu de «plus de 97%» a été mesuré dans un cas précis. D'autres données ont elles aussi présenté de grandes différences. Des problèmes de livraison sont en outre apparus à propos d'un appareil vivement recommandé du point de vue de sa qualité: tous les efforts entrepris pour l'acheter sont restés infructueux. Les expériences acquises et les mesures réalisées montrent que, plutôt que d'augmenter le nombre de clients déçus en indiquant des spécifications de produits erronées, les fabricants et les vendeurs d'onduleurs pour exploitation en îlot rendraient un meilleur service à leurs clients en fournissant leurs produits accompagnés du certificat d'un service de contrôle neutre.