



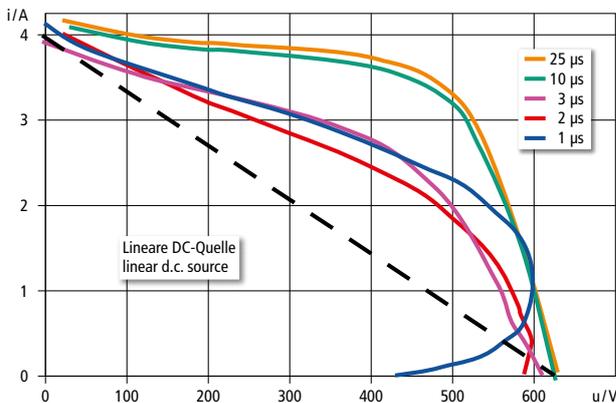
**PV-Simulator mit hoher Dynamik zur realitätsnahen
Nachbildung von Schaltvorgängen in PV-Anlagen**
*PV simulator with high dynamics for a realistic
simulation of switching operations in PV systems*

Geräte und Komponenten, die in PV-Anlagen eingesetzt werden, müssen auf deren spezielle Anforderungen abgestimmt werden. Besonders für Geräte die in PV-Anlagen Schutz- und Schaltfunktionen sicherstellen gilt es deren Betriebsverhalten durch realitätsnahe Laborsimulationen nachzuweisen.

Da konventionelle DC-Quellen gänzlich ungeeignet sind das Verhalten der PV-Anlage hinreichend genau abzubilden, wurde bei DEHN + SÖHNE ein PV-Simulator entwickelt, der durch seine dynamische i/u-Charakteristik die realitätsnahe Nachbildung von Schaltvorgängen in PV-Anlagen erlaubt.

Dynamische i/u-Charakteristik von PV-Generatoren

Ein PV-Generator in einem Versuchsaufbau (Reihenschaltung von 16 Panelen vom Typ SW175 mit $P_{max} = 175 \text{ W}_p$, $V_{OC} = 44,4 \text{ V}$, $V_{mpp} = 35,8 \text{ V}$, $I_{SC} = 5,3 \text{ A}$, $I_{mpp} = 4,89 \text{ A}$, angeschlossen mit möglichst kurzen Leitungen) wurde über einen Halbleiterschalter mit einstellbarem Schaltverhalten kurzgeschlossen/getrennt. In den Schaltversuchen wurden die zeitlichen Verläufe von Strom und Spannung gemessen und die dynamische Quellencharakteristik des PV-Generators bestimmt.



Dynamisch wirkende i/u-Kennlinien der PV-Quelle bei unterschiedlichen Schaltzeiten $t_{AUS} = 1 - 25 \mu\text{s}$

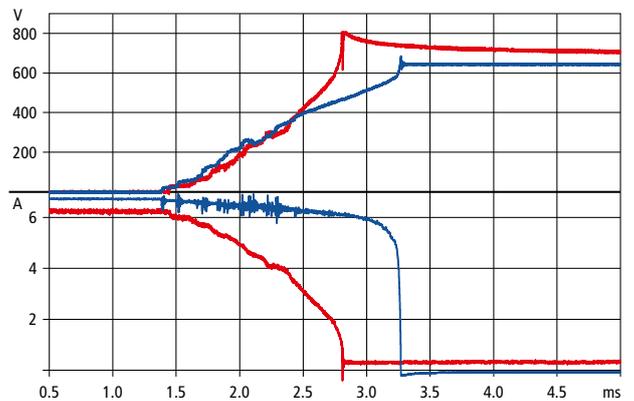
Dynamic i/u characteristics of the PV source at different switching times $t_{cross} = 1$ to $25 \mu\text{s}$

Devices and components used in PV systems must be adapted to the special requirements of these systems. Particularly the operating performance of devices that ensure the protection and switching functions in PV systems must be proven by means of realistic laboratory simulations.

Since conventional d.c. sources are totally unsuited to simulate the behaviour of the PV system with sufficient accuracy, DEHN + SÖHNE developed a PV simulator that allows a realistic simulation of switching processes in PV systems due to its dynamic i/u characteristic.

Dynamic i/u characteristic of PV generators

In a test set-up (series connection of 16 panels of type SW175 with $P_{max} = 175 \text{ W}_p$, $V_{OC} = 44.4 \text{ V}$, $V_{mpp} = 35.8 \text{ V}$, $I_{SC} = 5.3 \text{ A}$, $I_{mpp} = 4.89 \text{ A}$, connected by means of cables that are as short as possible) a PV generator was short-circuited / isolated via a semiconductor switch with an adjustable switching behaviour. In switching tests, current and voltage were measured as a function of time and the dynamic source characteristic of the PV generator was determined.



Ausschalten eines realen PV-Generators (blau) und einer linearen DC-Quelle (rot) mit gleichem Kurzschlussstrom I_k und $L/R \sim 20 \mu\text{s}$ (beispielhaft für ein mechanisches Schaltgerät)

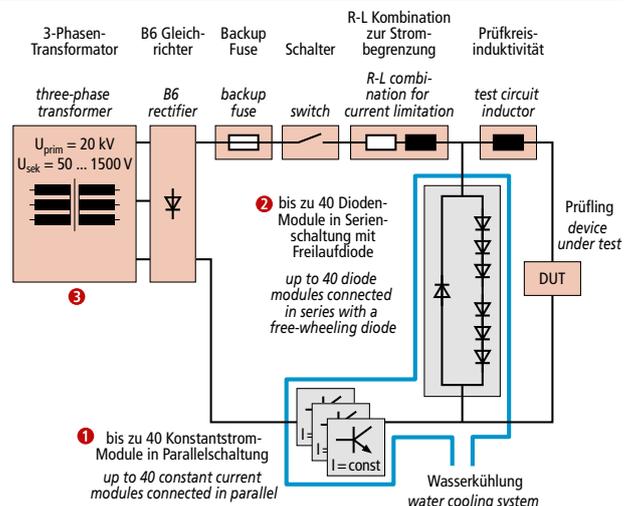
Disconnection of a real PV generator (blue) and a linear d.c. source (red) with the same short-circuit current I_k and $L/R \sim 20 \mu\text{s}$ (exemplary for a mechanical switching device)

Konzeption und Realisierung eines PV-Simulators

Die labortechnische Nachbildung der Ersatzschaltung einer belasteten Solarzelle besteht aus der Parallelschaltung von Dioden und idealer Stromquelle. Über die Serienschaltung einer Vielzahl von Einzeldioden kann die Leerlaufspannung eingestellt werden. Ein schneller Konstantstromregler simuliert für eine ausreichend lange Zeit eine ideale Stromquelle. Dieses erprobte Konzept ist geeignet, die nichtlineare i/u-Charakteristik eines PV-Generators auch dynamisch nachzubilden. Es wurde ein neuer PV-Simulator konzipiert, der die Simulation von PV-Quellen mit $U_{OC} = 1500 \text{ V}$ und $I_{SC} = 100 \text{ A}$ (300 A) erlaubt.

The laboratory simulation of the equivalent circuit of a loaded solar cell consists of a diode connected in parallel with an ideal current source. The open-circuit voltage can be defined by connecting various single diodes in series. A fast constant current regulator simulates an ideal current source over a sufficiently long time. This approved concept is suited to dynamically simulate the non-linear i/u characteristic of a PV generator. A new PV simulator was designed, allowing the simulation of PV sources with $U_{OC} = 1500 \text{ V}$ and $I_{SC} = 100 \text{ A}$ (300 A).

Concept and implementation of a PV simulator



Prinzipschaltbild des PV-Simulators mit Kühlkreislauf
Circuit diagram of the PV simulator with cooling circuit

Konstantstromquelle mit hoher Dynamik bis zu 150 kW_p ①

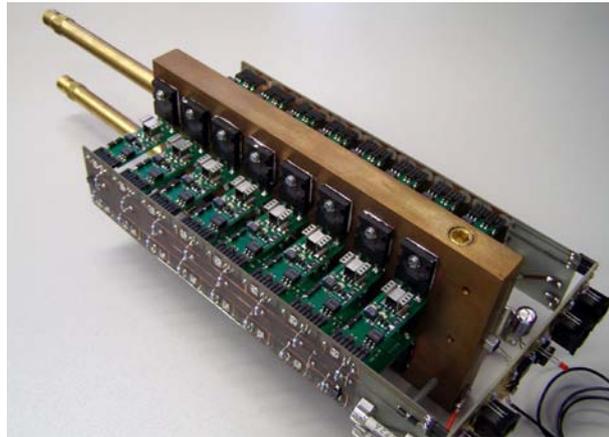
Constant current source with high dynamics up to 150 kW_p ①

Parallelschaltung von 40 Modulen, maximaler Strom 100 A

- Maximale Leistung: 1500 V_{DC}/2,5 A_{DC}/3750 W
- Konstantstromregelung mit Hilfe von 32 parallelen Hochspannungstransistoren pro Modul
- Wärmeabfuhr über flüssigkeitsgekühlten Kupfer-Körper
- Integrierte Temperaturüberwachung und Überlastschutz

Parallel connection of 40 modules, max. current of 100 A

- *Max. capacity: 1500 V_{DC}/2.5 A_{DC}/3750 W*
- *Constant current regulation by means of 32 parallel high-voltage transistors per module*
- *Heat dissipation via liquid-cooled copper element*
- *Integrated temperature monitoring and overload protection*



Diodenkette bis 1500 V_{DC}/100 A_{DC} ②

Diode chain up to 1500 V_{DC}/100 A_{DC} ②

Reihenschaltung von 40 Modulen = 1500 V_{DC}

- Maximale Verlustleistung / Modul 3840 W bei 100 A_{DC}
- Wärmeabfuhr über flüssigkeitsgekühlten Kupfer-Körper
- Integrierte Temperaturüberwachung

Series connection of 40 modules = 1500 V_{DC}

- *Max. power loss / module: 3840 W at 100 A_{DC}*
- *Heat dissipation via liquid-cooled copper element*
- *Integrated temperature monitoring*



Integration in ein DC-Prüffeld und mechanischer Aufbau ③

Integration into a d.c. testing station and mechanical design ③

Dreiphasen-Hochspannungstransformator

- Leistung 630 kVA
- 20 kV AC Einspeisung
- Gleichrichtersatz DC-Spannungen für 50 V bis 1500 V

Three-phase high-voltage transformer

- *Capacity of 630 kVA*
- *20 kV a.c. infeed*
- *Rectifier set for d.c. voltages from 50 V to 1500 V*



Montage der Module der Konstantstromregelung der Diodenkette im Schienensystem

- Maximal Verlustleistung pro Rack 150 kW_p
- Mechanischer Aufbau, elektrische Einspeisung und die installierte Kühlleistung erlauben einen Ausbau bis zu 300 kW_p

Mounting the modules of the diode chain constant current regulation in a busbar system

- *Max. power loss per rack: 150 kW_p*
- *The mechanical design, electrical infeed and cooling capacity allow an expansion up to 300 kW_p*





Überspannungsschutz
Blitzschutz / Erdung
Arbeitsschutz

Surge Protection
Lightning Protection / Earthing
Safety Equipment

DEHN + SÖHNE
GmbH + Co.KG.
Hans-Dehn-Str. 1
Postfach 1640
92306 Neumarkt
Germany

Contact
Dipl.-Ing. Jens Ehrler
Tel. +49 9181 906-231
Fax +49 9181 906-55 231
NEW as of 01.01.2012:
Tel. +49 9181 906-1231
Fax +49 9181 906-55 1231
jens.ehrler@dehn.de

Weitere Informationen,
Kataloge, Druckschriften,
Planungshilfen und An-
sprechpartner finden Sie
unter www.dehn.de.

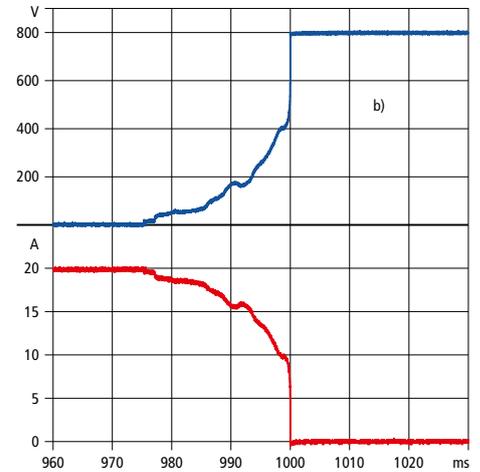
For more information,
catalogues, brochures,
planning aids, contacts
and consulting please
visit us at www.dehn.de.

Messungen am PV-Simulator

Measurements on the PV simulator

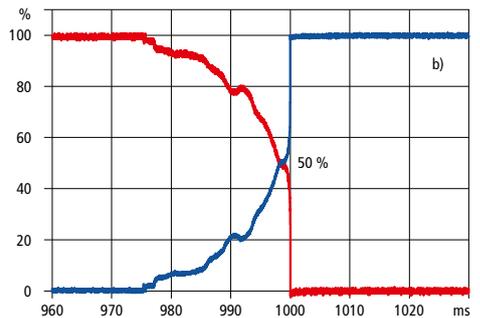
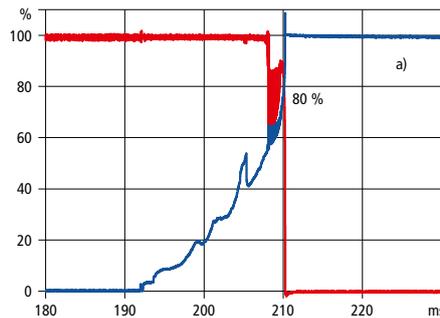
Abschalten mit mechanischem Schalter und zusätzlicher Induktivität 100 μH

Disconnection by means of a mechanical switch and an additional 100 μH inductor



Abschalten (normierte Darstellung) mit Schnittpunkt $i(t) / u(t)$

Disconnection (standardised view) with intersection $i(t) / u(t)$



a) PV-Simulator ($I_{SC} = 20 \text{ A}$, $U_{OC} = 500 \text{ V}$)

a) PV simulator ($I_{SC} = 20 \text{ A}$, $U_{OC} = 500 \text{ V}$)

b) Lineare DC-Quelle ($I_{SC} = 20 \text{ A}$, $U_{OC} = 800 \text{ V}$)

b) linear d.c. source ($I_{SC} = 20 \text{ A}$, $U_{OC} = 800 \text{ V}$)

Zusammenfassung

Conclusion

Der wesentlich größere Energieumsatz beim Schalten in einem PV-Kreis erschwert das Löschen von Schaltlichtbögen und begrenzt das Schaltvermögen der Schaltgeräte.

The considerably higher energy input during switching in a PV circuit makes it difficult to extinguish switching arcs and limit the switching capacity of the switching devices.

Das dargestellte Konzept und die Ergebnisse der Messung weisen nach, dass der gewählte Schaltungsaufbau geeignet ist, das nichtlineare Verhalten von PV-Generatoren auch unter dynamischen Bedingungen nachzubilden.

The concept presented above and the measurement results prove that the selected circuit arrangement is suitable to simulate the non-linear behaviour of PV generators even under dynamic conditions.

Mit dem PV-Simulator steht ein leistungsfähiger Prüfkreis zur Verfügung, mit dem realitätsnahe Prüfungen an Überstrom-Schutzeinrichtungen, mechanischen Schaltgeräten und Überspannungs-Schutzeinrichtungen durchgeführt werden können. Der gegenwärtige Ausbau des PV-Simulators ermöglicht individuelle Einstellwerte bis $U_{OC} = 1500 \text{ V}$, $I_{SC} = 100 \text{ A}$, $P = 150 \text{ kW}_p$.

This PV simulator is a powerful test circuit for realistic tests on overcurrent, mechanical switching and surge protective devices. The current state of the PV simulator allows to set individual values up to $U_{OC} = 1500 \text{ V}$, $I_{SC} = 100 \text{ A}$, $P = 150 \text{ kW}_p$.