
PV-LICHTBÖGEN SICHER ERKENNEN

Weiterentwicklung der Produktstandards auf UL- und IEC-Ebene



Felix Eger

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

PV-Symposium 2018
Bad Staffelstein, 26.04.2018

www.ise.fraunhofer.de

Agenda

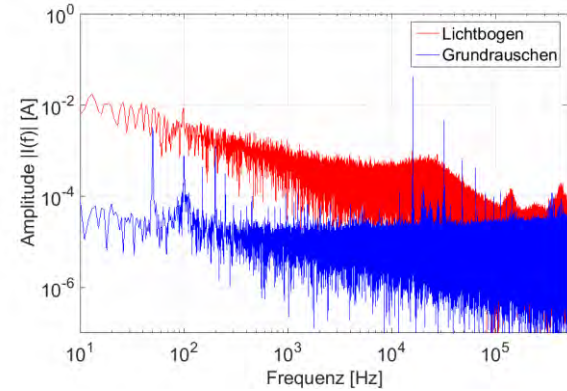
- Grundlagen
- Bestehende Prüfnormen
- Weiterentwicklung der Prüfverfahren
- Zwischenfazit & Ausblick
- Performance-Tests verschiedener Lichtbogendetektoren

Grundlagen

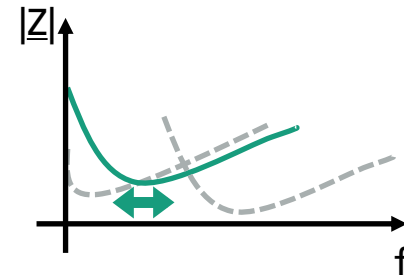
Eigenschaften von Lichtbögen I



- Auslöser z.B. gelöste Schraub- oder Steckverbinder, defekte Isolierung, kalte Lötstelle etc.
- Temperaturen bis zu 10.000 K, Brandgefahr
- Hochfrequente Spannungsänderung erzeugt 1/f-Rauschen (pink noise)
 - Messbar als impedanzabhängiges Stromrauschen
 - $I_{LB}(f) = U_{LB}(f) / Z(f)$

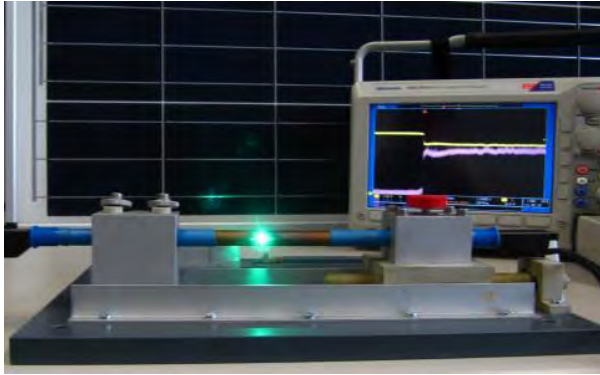


PV-Generator Impedanz

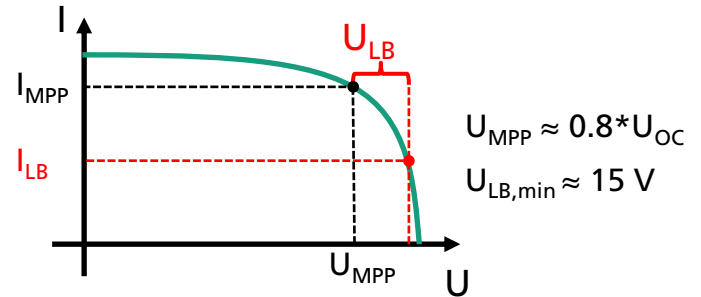
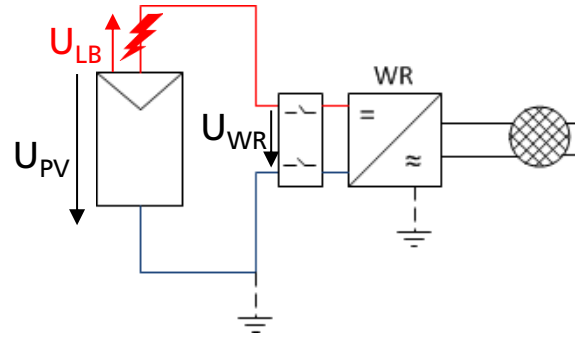


Grundlagen

Eigenschaften von Lichtbögen II



- Spannungsabfall über Lichtbogen erzeugt Arbeitspunktänderung im System
 - Stromsprung am Wechselrichter*
- Lichtbogendetektoren (LBD) nutzen Stromsprung und/oder Rauschen zur Fehlererkennung





* abhängig von MPP-Tracking

Bestehende Prüfnormen für Lichtbogendetektoren

Übersicht

- USA: Vorschrift zur Installation eines Lichtbogendetektors (LBD) in neu installierten PV-Anlagen seit 2011
 - PV-Freiflächenanlagen können seit 2017 ausgenommen werden
- International: Erarbeitung des Produktstandards IEC 63027 in Kooperation mit UL Arbeitsgruppe

		
Installationsvorschriften	NEC 690.11 (seit 2011)	N.V.
Prüfnormen	UL 1699B (2013)	IEC 63027 (Draft 2018)

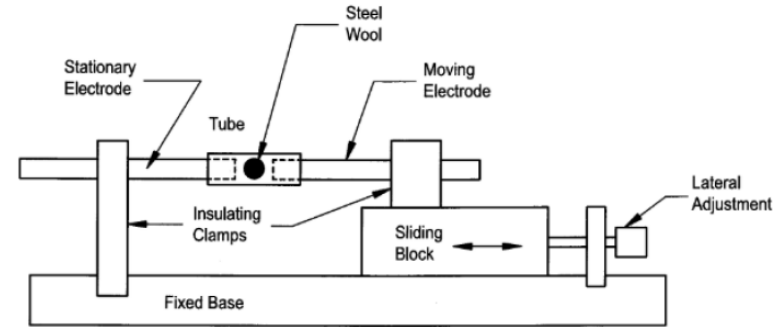
Revision in Bearbeitung **Entwurf in Bearbeitung**

Bestehende Prüfnormen für Lichtbogendetektoren

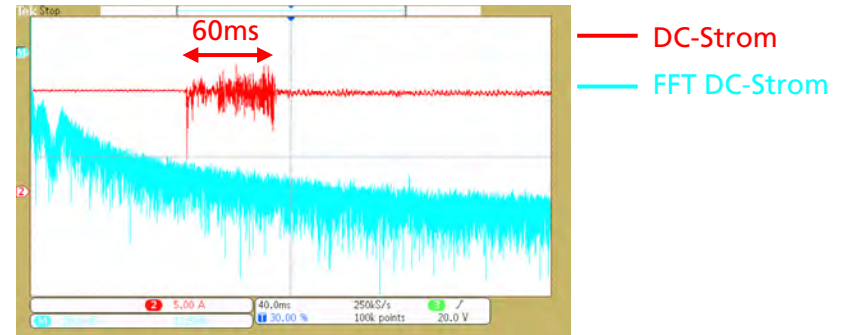
Schwächen der UL 1699B (2013)

Lichtbogenzündung

- Zündung mit undefinierter Menge an Stahlwolle zwischen zwei Kupferelektroden
 - Sehr starkes Rauschen durch Verglühen der Stahlwolle
 - Eigentliches Lichtbogenrauschen u.U. deutlich schwächer
-
- Prüfung unterscheidet sich in relevantem Zeitraum um Lichtbogenzündung von realem Fehlerfall!



Quelle: UL1699B (Rev. 2013)



Quelle: ABB [1]

Bestehende Prüfnormen für Lichtbogendetektoren

Schwächen der UL 1699B (2013)

PV-Generator Impedanz

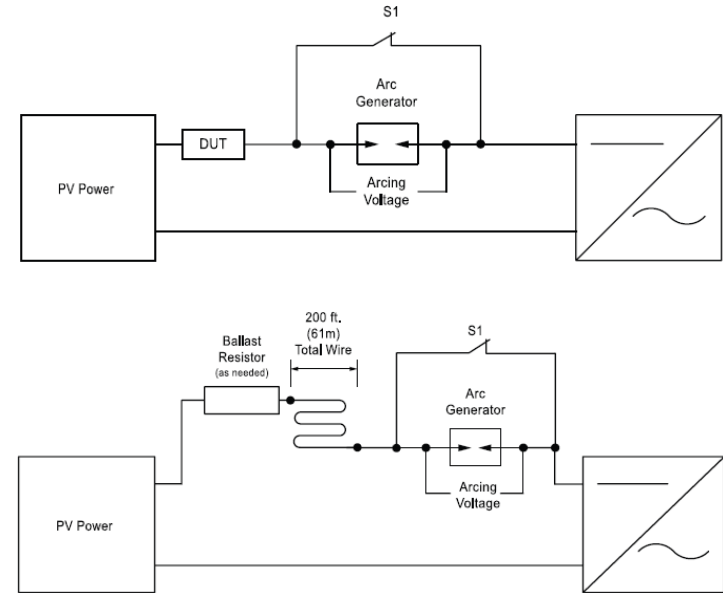
- Prüfaufbau für serielle Lichtbögen berücksichtigt lange PV-Leitungen
- Einfluss der PV-Generator Impedanz auf das Lichtbogenrauschen wird nicht berücksichtigt

Wiederzuschaltung

- Nach Auslösung muss die Wiederzuschaltung manuell erfolgen

Felderfahrung

- Einige LBD-Hersteller hatten trotz UL-Zertifizierung Probleme mit Fehlauflösungen und nicht erkannten Lichtbögen im Feld [2][3]



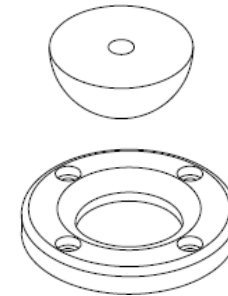
Quelle: UL1699B (Rev. 2013)

Weiterentwicklung der Prüfverfahren

Lichtbogenzündung

- Zündung durch Auseinanderziehen zweier Elektroden mit definierten Geschwindigkeiten („Pull-Apart-Methode“)
 - Reproduzierbar, realitätsnah

- Elektrodenform: zylindrische Kupferstäbe oder „ball & ring“ Anordnung aus Wolfram
 - Ball & ring stellt geometrische Verhältnisse eines Klemmblocks nach
 - Entscheidung für eine der beiden Elektrodenformen steht noch aus

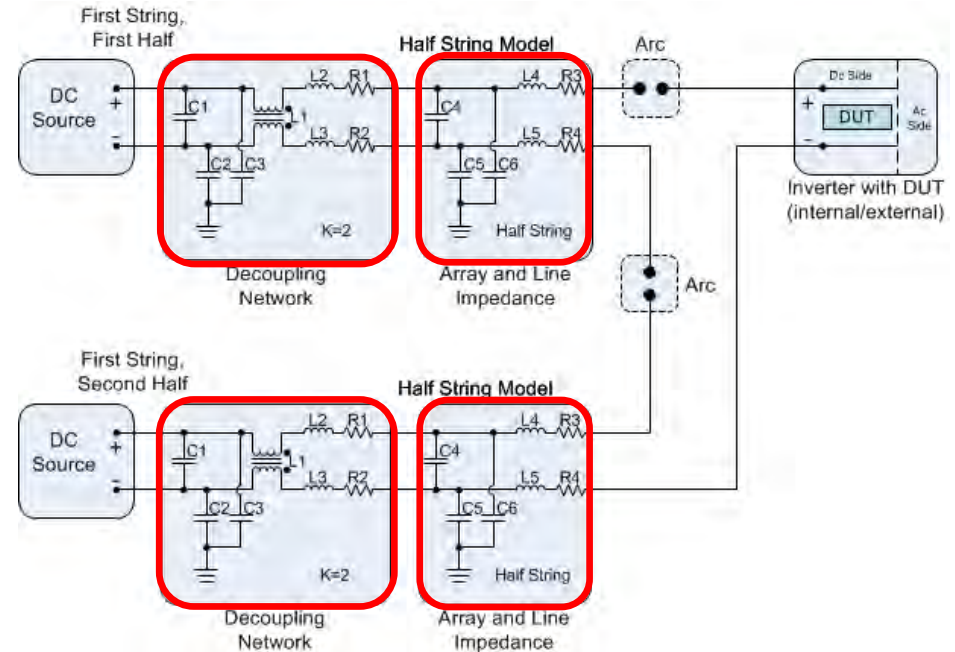


Quelle: Kaylaco Enterprises

Weiterentwicklung der Prüfverfahren

Prüfaufbau

- Filternetzwerk zur Entkopplung von Prüfling und DC-Quelle
- Nachbildung der Impedanz eines
 - PV-Moduls,
 - PV-Strings oder
 - parallelen PV-Strings
- Zusätzliche Fallbeispiele für modulnahe Elektronik und Strangsammler



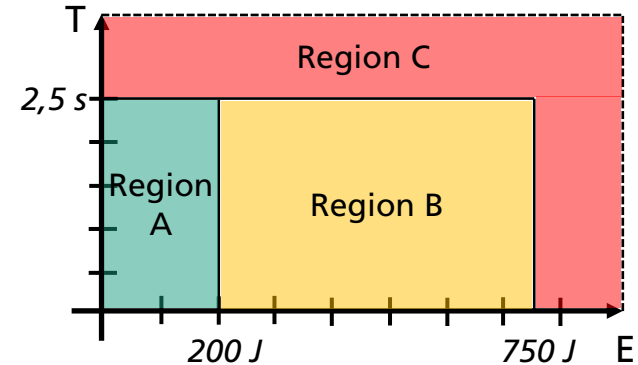
Quelle: E DIN EN 63027 VDE 0126-27:2018-02

Weiterentwicklung der Prüfverfahren

Ab- und Zuschaltung

Abschaltung

- Lichtbögen müssen erkannt und abgeschaltet werden, bevor eine kritische Energiemenge freigesetzt wird
 - $E < 200 \text{ J}$: keine Meldung notwendig
 - $E < 750 \text{ J}$ und $t \leq 2.5 \text{ s}$: Prüfung bestanden
 - $E \geq 750 \text{ J}$ oder $t > 2.5 \text{ s}$: Prüfung nicht bestanden



Wiederzuschaltung

- Bei Einhaltung minimaler Wartezeiten sind nach einer Auslösung mehrere automatische Wiederzuschaltungen möglich

Zwischenfazit

- Realitätsnaher Prüfaufbau kann Risiko von nicht erkannten Lichtbögen und Fehlauslösungen im Feld deutlich senken
- Automatische Wiederschaltung ermöglicht sensiblere Detektoren

Ausblick

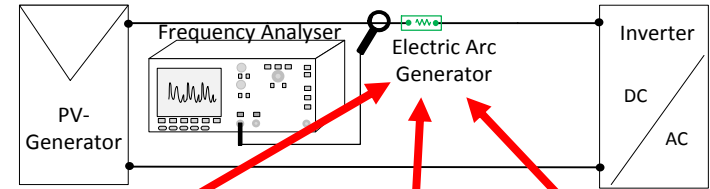
- Neue Revision der UL 1699B wahrscheinlich noch in diesem Jahr
- Veröffentlichung der IEC 63027 geplant in Q2/2019

LBD-Performance Tests @ Fraunhofer ISE

Prüfung mit Replay-Methode

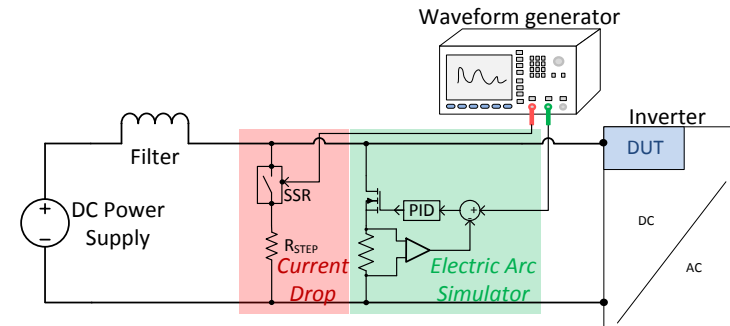
Schritt 1

- Aufbau einer Datenbank aus Lichtbogen- und Störsignalen im realen PV-Generator
 - Abtastung mit 1 MS/s
 - verschiedene Fehlerstellen, PV-Module, Stringkonfigurationen und Wechselrichter
 - Auswahl von 50 Datensätzen



Schritt 2

- Aufprägen des aufgezeichneten Stromsignals auf Prüfling im DC-Kreis
- Hochfrequente Rauscherzeugung mit Halbleiter
- Stromteiler stellt Stromsprung nach



LBD-Performance Tests @ Fraunhofer ISE

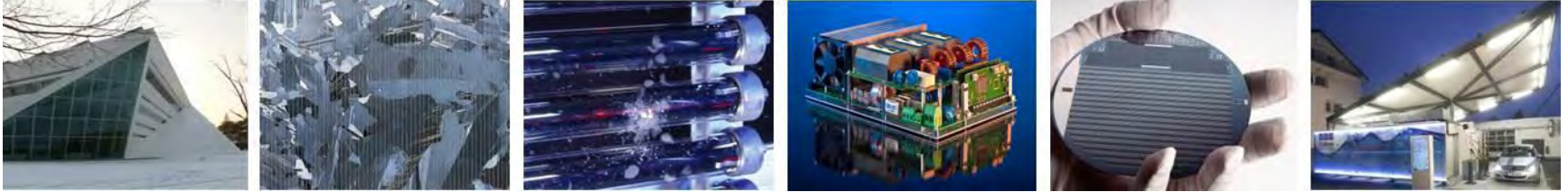
Ergebnisse

	Auslösung im Fehlerfall	Auslösung ohne Fehler	Auslösezeit [ms]	Erfolgsquote
System A	26 von 27	3 von 23	< 800	92 %
System B	23 von 27	3 von 23	170 - 700	86 %
System C	27* von 27	6 von 23	20 - 100	68 %

- Gute Erkennungsquoten sind nach Stand der Technik erreichbar
 - Bei Messungen in 2013 lag die Erfolgsquote noch bei ca. 50 % [2]
- Fehlauflösungen bei Verwendung verschiedener WR
 - WR-integrierte Detektoren können dieses Problem entschärfen
 - Einige große WR-Hersteller bieten diese an
- Weiterentwicklung des Prüfstands mit Fronius geplant



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Felix Eger

www.ise.fraunhofer.de

felix.eger@ise.fraunhofer.de

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages
(FKZ: 0325742B)

Quellen

- [1] S. Macerini, F. Mastronardi, „AFCI-UL1699B Arc generator modification proposal“, UL1699B working group, 2015
- [2] R. Grab, H. Häberlin, L. Borgna, „Lichtbögen in PV-Anlagen“, 3. Workshop PV-Brandschutz, Köln, April 2014
- [3] J. Johnson, K. Armijo, M. Avrutsky, D. Eizips, S. Kondrashov, „Arc-Fault Unwanted Tripping Survey with UL 1699B-Listed Products“, 42nd IEEE PVSC, New Orleans, LA, Juni 2015

Backup

Marktlage Lichtbogendetektoren

- Wechselrichter-integrierte,...



Quelle: SMA Solar Technology

- String-Combiner-integrierte...



Quelle: SolarBOS

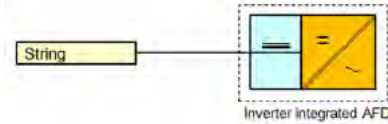
- und eigenständige Detektoren sind am Markt erhältlich.



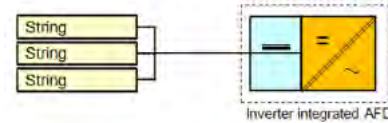
Quellen: Santon (o.), E-T-A (u.)

Backup

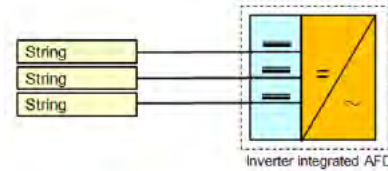
Normung: Multistring vs. Multichannel



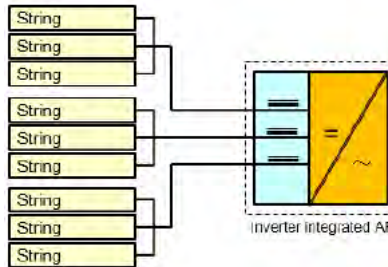
Single string, single channel



Parallel string, single channel



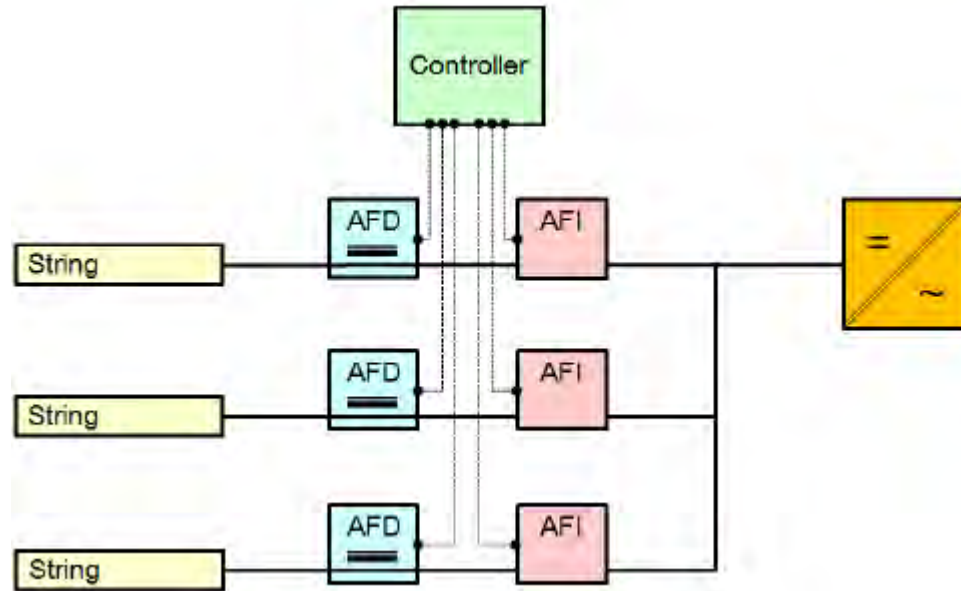
Single string, multi channel



Parallel string, multi channel

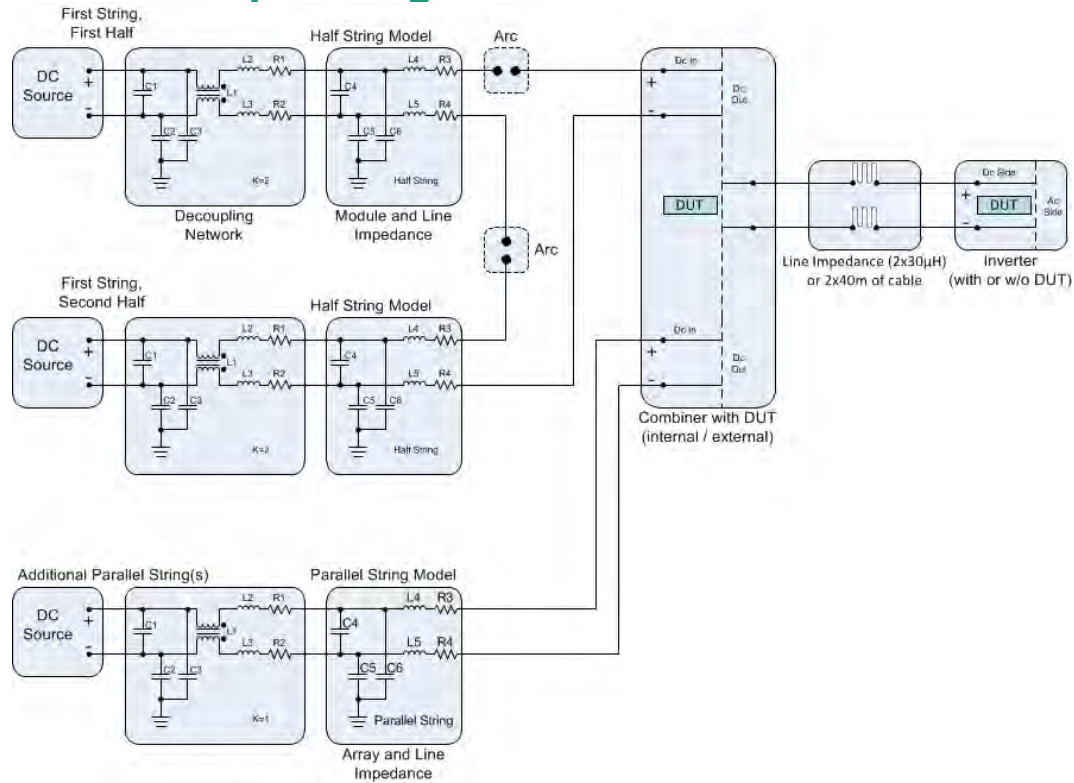
Backup

Normung: Verteilte Systeme



Backup

Normung: Combiner setup, string level



Backup

Lichtbogentests mit Replay-Methode

Spezifikation

- Geeignet für DC-Systeme bis 1000 V und 24 A
- Wiedergabe von Rauschsignalen von ca. 5 bis 500 kHz
- Galvanisch getrennte Eingangssignale
- Optional Arbeitspunktsprünge von bis zu 40 V oder 4 A nachstellbar

