

Photon

Photovoltaik-Fachwissen für die Praxis

Profi

4-2010



SONDERDRUCK:
TESTBERICHT DANFOSS TLX 15 K

**Solarerträge
simulieren**
Zehn Programme im Test



Debatte

Pro und Contra
»Freiflächenanlagen«

Wechselrichter

Im Test: Danfos TLX 15 k,
Phoenixtec PVG 10000 und
SMA SMC 7000TL

Fälschungen

Woran man die Plagiate der
Suntech-Module erkennt

Service

Neue Produkte
Modulpreisindex
Seminarplaner

Rundum gelungen

Der dreiphasige Danfoss TLX 15 k ist einer der besten Wechselrichter, die das PHOTON-Labor bislang getestet hat. Er vereint ein modernes, flexibles Konzept und eine gute Ausstattung mit einem sehr hohen Wirkungsgrad.

In der Februar-Ausgabe konnte PHOTON Profi nur recht unerfreuliche Nachrichten über den ersten Besuch eines Danfoss-Wechselrichters im Testlabor vermelden. Der ULX 1800 HV IN, ein schon etwas betagter, einphasig einspeisender Wechselrichtertyp mit Transformator und geringer Nennleistung, absolvierte die Prüfung mit »mangelhaft«. Dass aber die Ingenieure des dänischen Herstellers auch ganz anders können, haben sie mit dem ungleich moderneren, dreiphasig und trafolos arbeitenden TLX 15 k bewiesen. Das Gerät, im Januar vom Hersteller im Rahmen der hierfür üblichen Testvereinbarung dem Labor überlassen, überzeugte

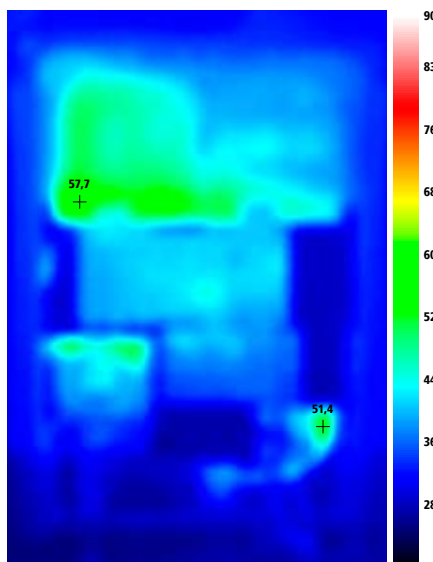
mit einer sehr modernen Konstruktion, einigen nicht alltäglichen Ausstattungsmerkmalen und vor allem einem spitzenmäßigen PHOTON-Wirkungsgrad. Damit hat Danfoss nach Refu, SMA, Diehl AKO und Sunways den Eintritt in die Riege der Hersteller von »Sehr gut +«-Geräten geschafft.

Aufbau

Der Testkandidat gehört zur »Triplelynx«-Familie, die in Geräte mit AC-Nennleistungen von 10.000 bis 15.000 Watt aufgeteilt ist. Alle Modelle dieser Familie beruhen auf einer Schaltung ohne Netztrenntrafo und speisen

dreiphasig ein. Da es sich beim TLX 15 k um einen Drei-Tracker-Wechselrichter handelt, können bis zu drei Teilgeneratoren angeschlossen und jeweils separat im MPP gehalten werden.

Der Aufbau ist aufgeräumt, übersichtlich und fertigungsfreundlich. Die Leiterkarten sind in mehreren Lagen angeordnet: Der Leistungsteil ist in der unteren und der mittleren Ebene untergebracht, die Steuerungs- und Kommunikationsleiterkarten befinden sich darüber. Ein kleiner Lüfter zur Innenbelüftung ist in der mittleren Ebene montiert. Die Leistungshalbleiter befinden sich in zwei integrierten Gehäusen, die auf der Unterseite der unteren Leistungsleiter-



▲ Der TLX 15 k ist ein sehr modernes, klar und fertigungsfreundlich aufgebautes Gerät, das wegen seiner mehrlagigen Innenarchitektur aber nicht alle Bereiche für

karte eingelötet und auf dem Kühlkörper befestigt sind. Das Display befindet sich in einem separaten, an der großen Abdeckung montierten Gehäuse. An der Unterseite des Inverters befindet sich neben den Steckverbindern zum Anschluss des Generators ein DC-Trennschalter.

Das Gehäuse des TLX 15 k besteht aus einem Aluminiumdruckgusskühlkörper als Montageplattform, zwei ebenfalls aus Aluminium gefertigten Seitenteilen, einem Ober- und einem Unterteil aus Kunststoff sowie einer Abdeckung aus Metall. Das Ganze besitzt die Schutzklasse IP 54, ermöglicht also die Montage an einem wassergeschützten, nicht übermäßig staubigen Ort. Letzteres sollte auch wegen der drei drehzahlgeregelten Lüfter beachtet werden, die auf der Rückseite unterhalb des Kühlkörpers platziert sind.

Für die Sicherheit sorgt eine selbsttätige Freischaltstelle, die das Netz auf korrekte Spannungs- und Frequenzverhältnisse überprüft. Zudem findet eine Isolationsprüfung auf der DC-Seite und eine Messung des Ableitstroms auf der AC-Seite statt. Über den Gerätezustand informieren neben dem Display auch zwei LEDs.

Die Elektrolytkondensatoren im Leistungsteil gehören der Temperaturklasse 105 Grad Celsius an, auf der Displayplatine finden sich auch einige wenige der Temperaturklasse 85 Grad Celsius. Diese Bauteile sind also bezogen auf die Umgebungstemperatur gut ausgelegt. Auf der oberen Leistungsteilleiterkarte sind temperaturüberwachte Varistoren vorzufinden.

Die DC-Anschlüsse erfolgen durch Multi-Contact-Stecker (MC4). Dane-

ben gibt es folgende weitere Anschlussmöglichkeiten: serielle Kommunikation (RS485), zwei Temperatursensoreingänge (PT1000), zwei Eingänge für Einstrahlungssensoren und einen Energiezähleingang (S0) sowie zwei potenzialfreie Kontakte (Relaisausgänge), an die sich zum Beispiel akustische oder optische Warngeräte anschließen lassen. Optional ist außerdem der Anschluss eines GSM-Modems und die Anbindung an einen Daten- oder Weblogger namens »Comlynx« möglich.

Handhabung

Das Gerät kommt gut verpackt und geschützt beim Anwender an, die Verwendung von zwei Styroporformhalbschalen ist dabei, ökologisch betrachtet, vielleicht sogar ein wenig zu viel des Guten. An der Wand wird der TLX 15 k mithilfe einer Halterung befestigt, die sehr scharfkantig und teilweise nicht entgratet ist – Handschuhe sind ratsam, wenn man sich keine blutigen Finger holen möchte. Bezogen auf seine Leistung ist das Gerät mit 35 Kilogramm recht leicht geraten.

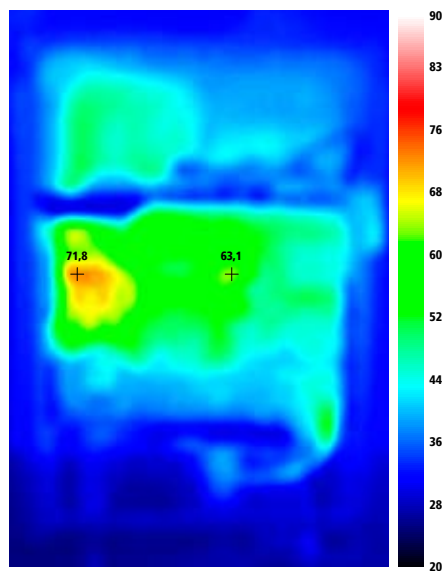
Ist der Solargenerator richtig ausgelegt und der interne DC-Freischalter betätigt, kann der Wechselrichter die Arbeit aufnehmen. Circa 41 Sekunden benötigt er für verschiedene Tests, bevor er ans Netz geht.

Eine grüne und eine rote LED zeigen den Normalbetrieb (»On«) oder eine Störung (»Alarm«) an. Näheren Einblick gibt das hinterleuchtete und gut ablesbare Display, das ein wenig über die Frontabdeckung hinausragt. Seine Menüstruktur ist in vier Hauptbereiche aufgeteilt, die auf die vier oberen Tasten aufgelegt

und mit jeweils einer LED markiert sind. Jeder dieser Hauptbereiche verfügt über verschiedene Untermenüs. Die Istwerte sind im Hauptmenü »Status« zu finden, hier werden für jeden der drei Eingänge Spannung, Strom und Leistung sowie die Energiemenge jedes Teilgenerators und die Gesamtenergiemenge angezeigt. Außerdem lassen sich die Frequenz sowie Spannung, Strom und Leistung der AC-Seite ablesen. Bei Anschluss der entsprechenden Sensoren sind auch Einstrahlung (in Watt pro Quadratmeter), Modul- und Umgebungstemperatur verfügbar. Des Weiteren gibt es die Hauptmenüs »Ansicht«, »Energieprotokoll« und »Setup«. Damit bietet das Display sehr viele Messwerte und Informationen. Über eine Software sind die Bediensprachen Deutsch, Englisch, Italienisch, Spanisch und Französisch wählbar.

Bedienungsanleitung

Dem Gerät liegen ein Benutzerhandbuch und ein Installationshandbuch bei. Beide sind ebenfalls in englischer, deutscher, französischer, spanischer und italienischer Sprache verfügbar. Sie sind *(Fortsetzung auf Seite 49)*



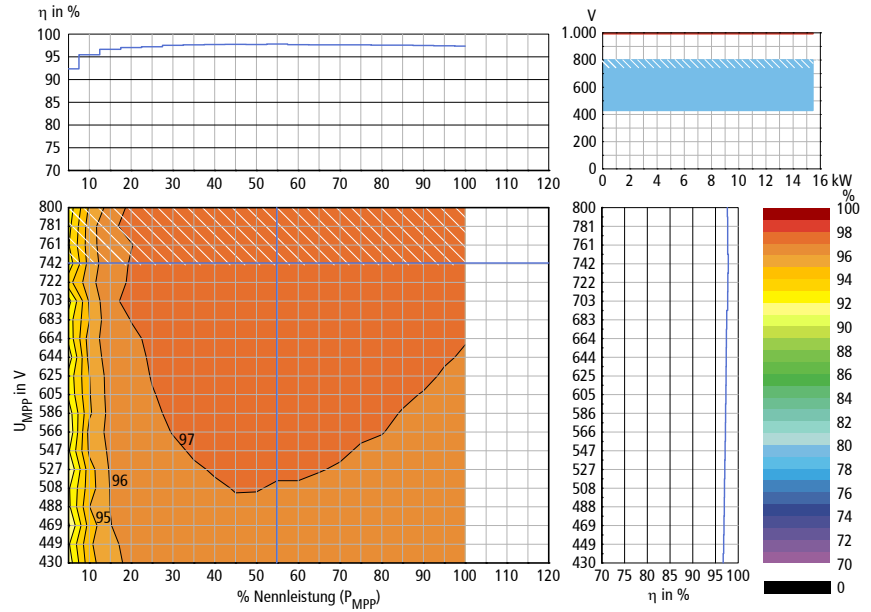
die Thermo grafiekamera erfassbar macht. Die gemessenen Werte waren jedoch allesamt unkritisch.

o Für Querleser

- Mit drei unabhängig arbeitenden, asymmetrisch belastbaren MPP-Trackern und 15,5 Kilowatt DC-Nennleistung ist der Danfoss TLX 15 k für mittelgroße Anlagen vielseitig einsetzbar.
- Das Gerät arbeitet ohne Trafo, ist aber auch für bestimmte Dünnschichtmodule freigegeben. Der Einsatz kristalliner Module gestaltet sich problemlos. Der Überlastbereich ist ein wenig klein geraten.
- Die Wirkungsgradverläufe sind bei symmetrischer und asymmetrischer Belastung sowie bei Parallelschaltung der MPP-Tracker immer gleichmäßig und auf hohem Niveau, die Spannungs- und Leistungsabhängigkeit ist sehr gering.
- Ausstattung, Verarbeitung und Handhabung sind, von kleinen Schwächen abgesehen, gut bis sehr gut. Das Gerät kann mit Regenschutz im Freien, aber auch an warmen Orten installiert werden. Hohen Staubbelastungen sollte es wegen seiner Lüfter nicht ausgesetzt werden.

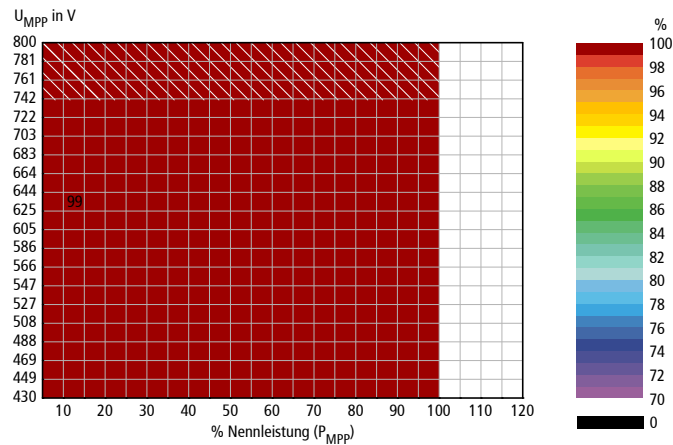
Umwandlungswirkungsgrad (symmetrisch)

► Der TLX 15 k erreicht in einem weiten Spannungsbereich und Leistungsbereich Umwandlungswirkungsgrade von über 97 Prozent. Dargestellt ist in diesem wie auch in allen anderen Diagrammen die Summation der Messwerte aller drei Tracker.



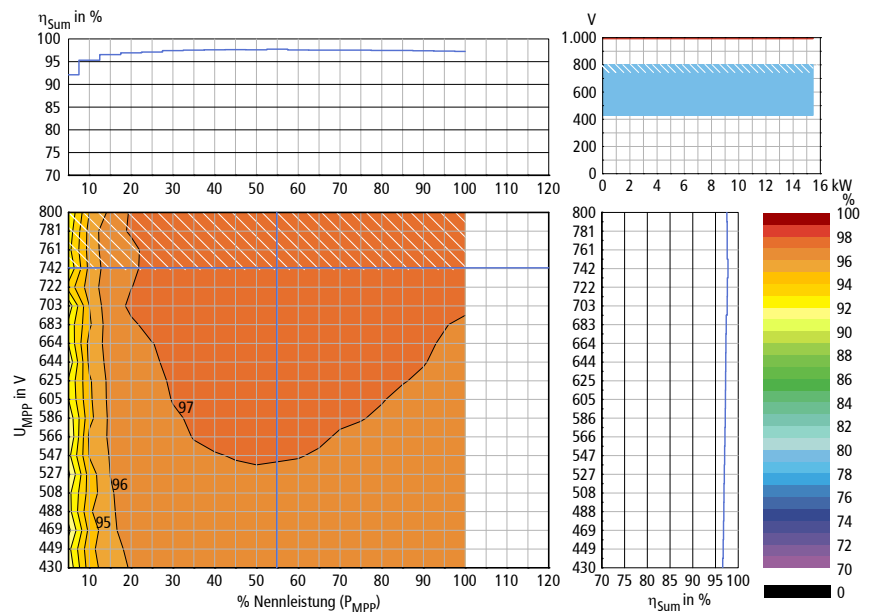
× MPPT-Anpassungswirkungsgrad (symmetrisch)

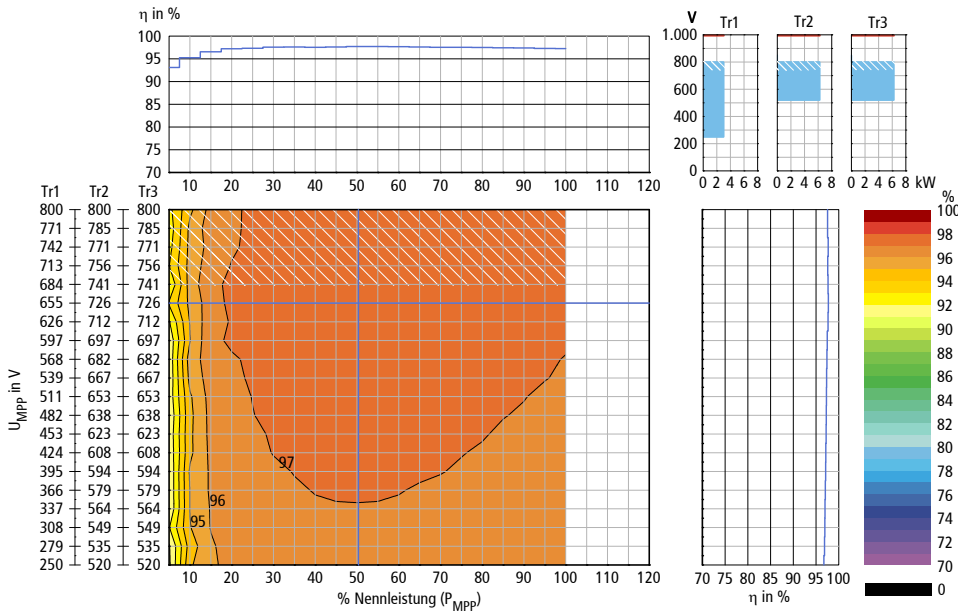
► Das MPP-Tracking deckt den gesamten Spannungsbereich und Leistungsbereich lückenlos mit Werten über 99 Prozent ab



= Gesamtwirkungsgrad (symmetrisch)

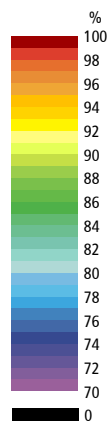
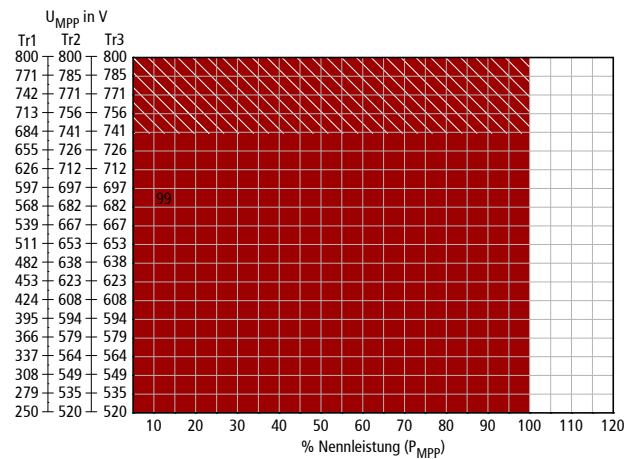
► In der Multiplikation von Umwandlungs- und MPPT-Wirkungsgrad ergeben sich wiederum sehr hohe und konstante Werte





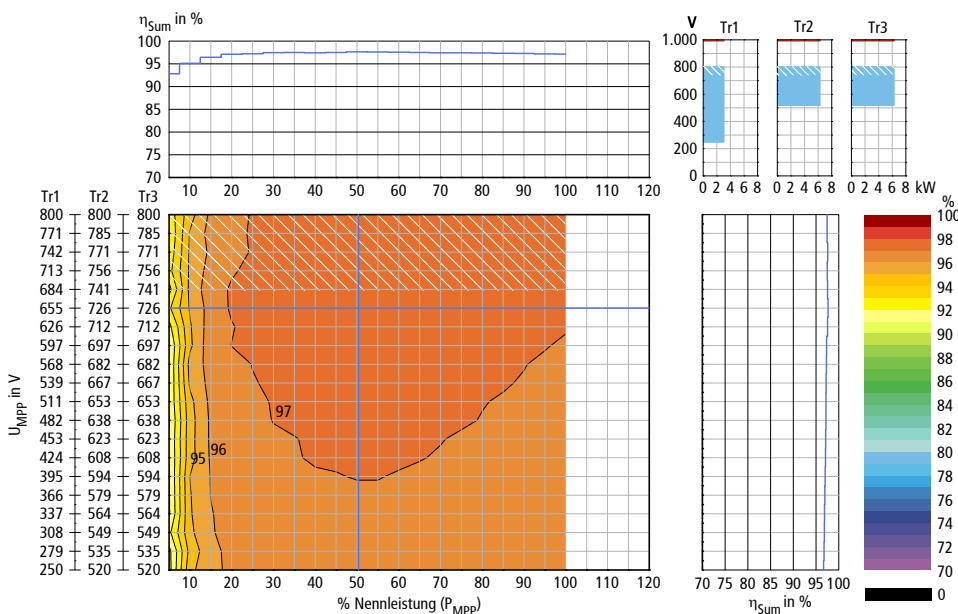
Umwandlungswirkungsgrad (asymmetrisch)

◀ Links im Diagramm sind die Spannungsbereiche der drei asymmetrisch belasteten MPP-Tracker-Eingänge aufgetragen, rechts oben die entsprechenden Arbeitsbereiche. Die Messwerte liegen nur geringfügig niedriger als bei symmetrischer Belastung.



× MPPT-Anpassungswirkungsgrad (asymmetrisch)

◀ Beim MPP-Tracking gibt es keine Unterschiede zur symmetrischen Lastaufteilung

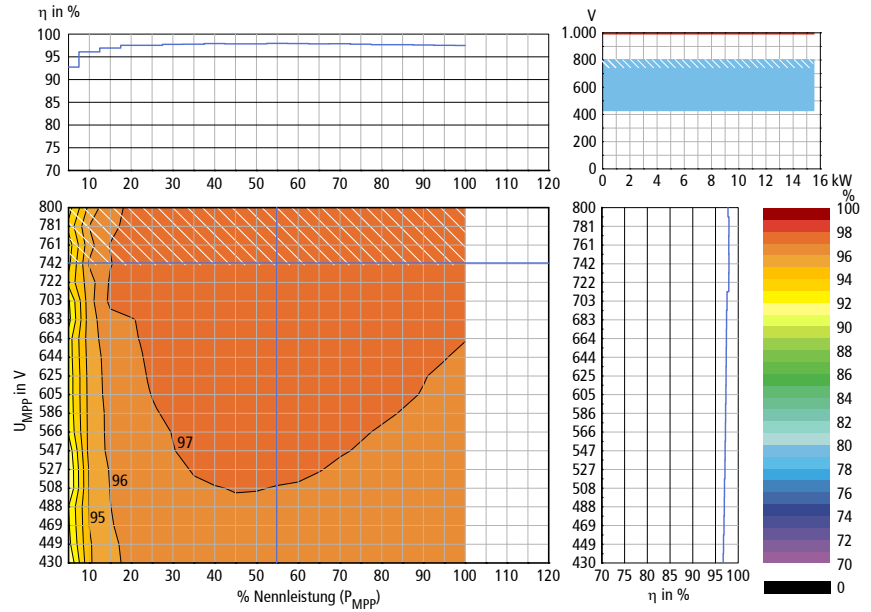


= Gesamtwirkungsgrad (asymmetrisch)

◀ Auch der Gesamtwirkungsgradverlauf ähnelt sehr demjenigen bei symmetrischer Belastung; der Höchstwert von 97,6 Prozent liegt nur 0,1 Prozentpunkte tiefer

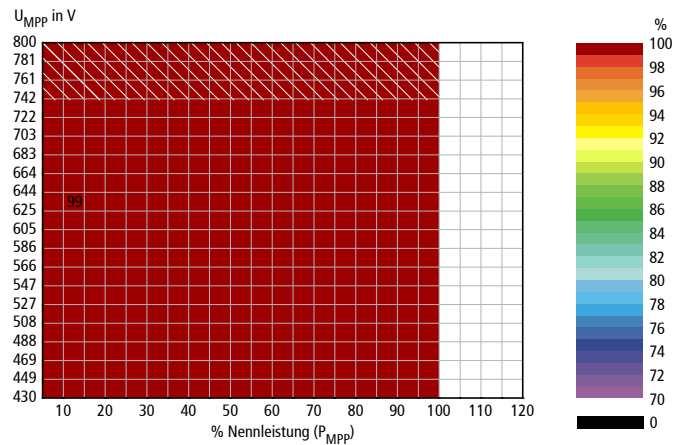
Umwandlungswirkungsgrad (parallel)

► Am höchsten fallen die Messergebnisse bei Parallelschaltung der MPP-Tracker aus, das Maximum liegt bei 98 Prozent; nur geht in diesem Fall die Flexibilität verloren, der TLX 15 k wird zum Ein-Tracker-Gerät



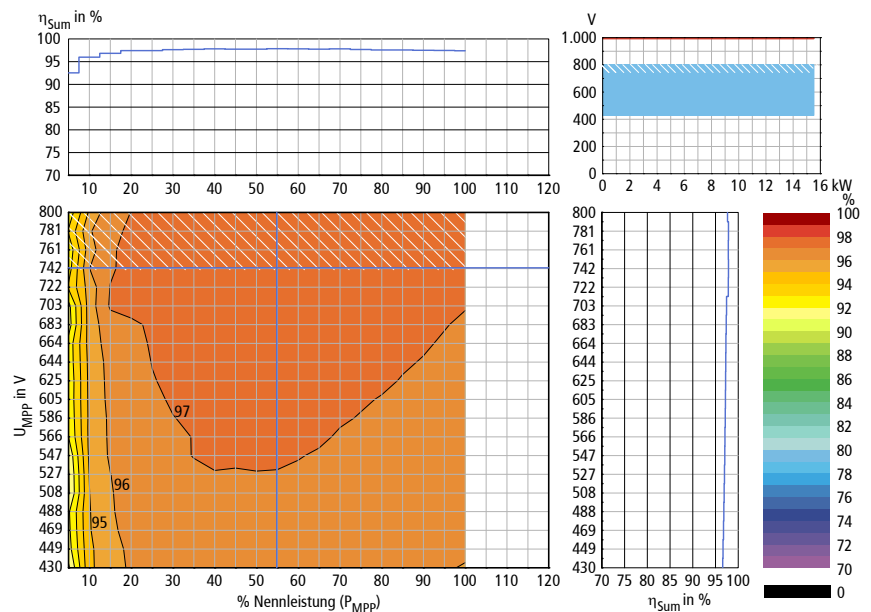
× MPPT-Anpassungswirkungsgrad (parallel)

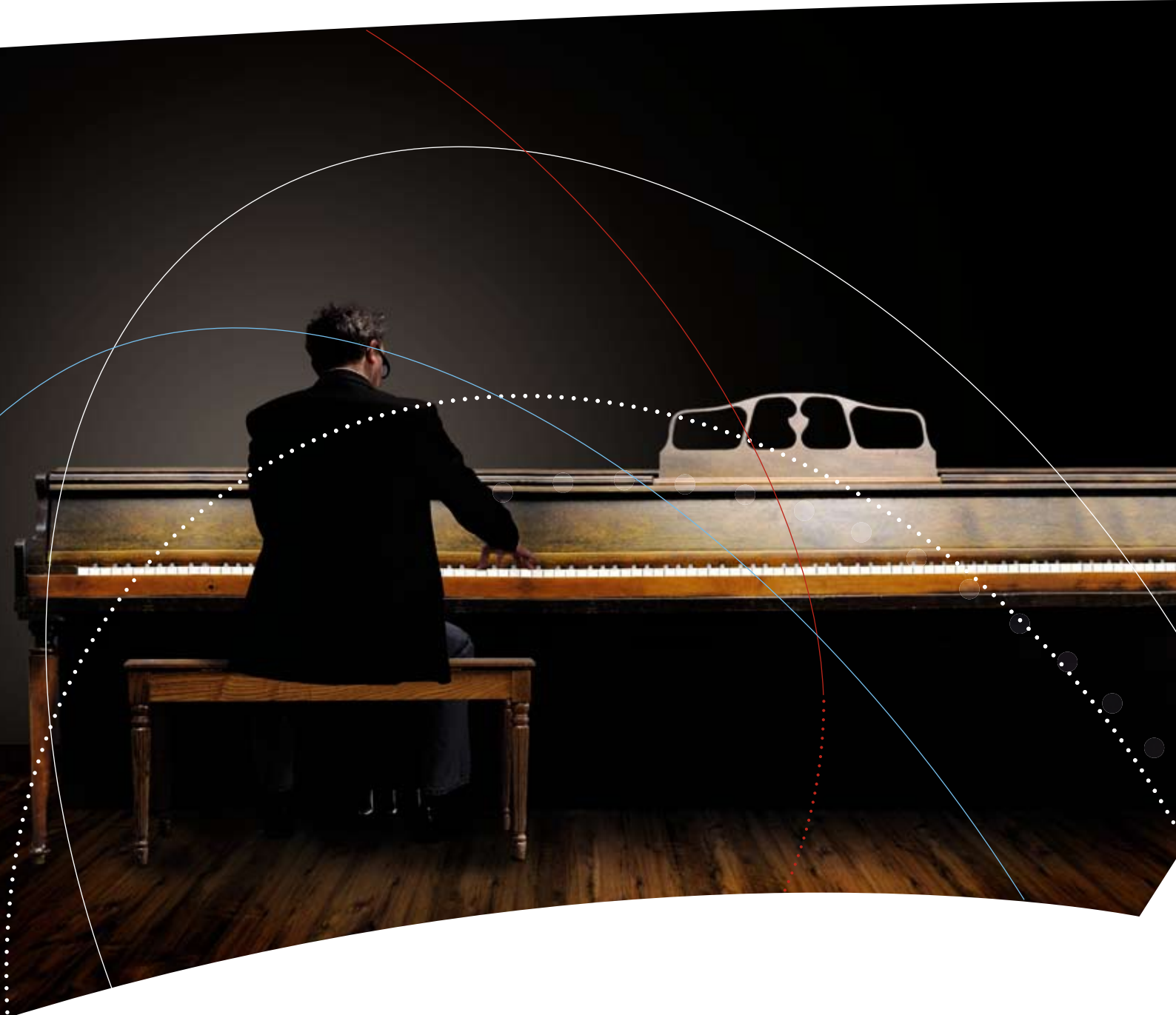
► Kompletts rot, also bei 99 Prozent oder höher, ist das Diagramm für den MPPT-Anpassungswirkungsgrad auch im Parallelbetrieb



= Gesamtwirkungsgrad (parallel)

► Wie der Umwandlungswirkungsgrad so verläuft auch der Gesamtwirkungsgrad bei parallel geschalteten MPP-Trackern noch um Nuancen besser als bei symmetrischer Belastung. Der Maximalwert liegt bei 97,9 Prozent.





Erweitern Sie Ihr Repertoire Eine neue Alternative zu Zentralwechselrichtern

Jahre lang waren Zentralwechselrichter für große PV-Anlagen die erste Wahl. Doch für kostenbewusste Betreiber gibt es nun eine Alternative.

Die high-end String-Wechselrichter von heute verbinden hohe Effizienz mit den wesentlichen Vorteilen der Zentralwechselrichter, wie hohe Systemspannung und die dreiphasige Einspeisung.

Zusätzlich erhalten Sie die bewährten Stärken der String-Wechselrichter, wie Flexibilität, effizientes MPP-tracking, einfache Installation und Service.

SOLAR INVERTERS

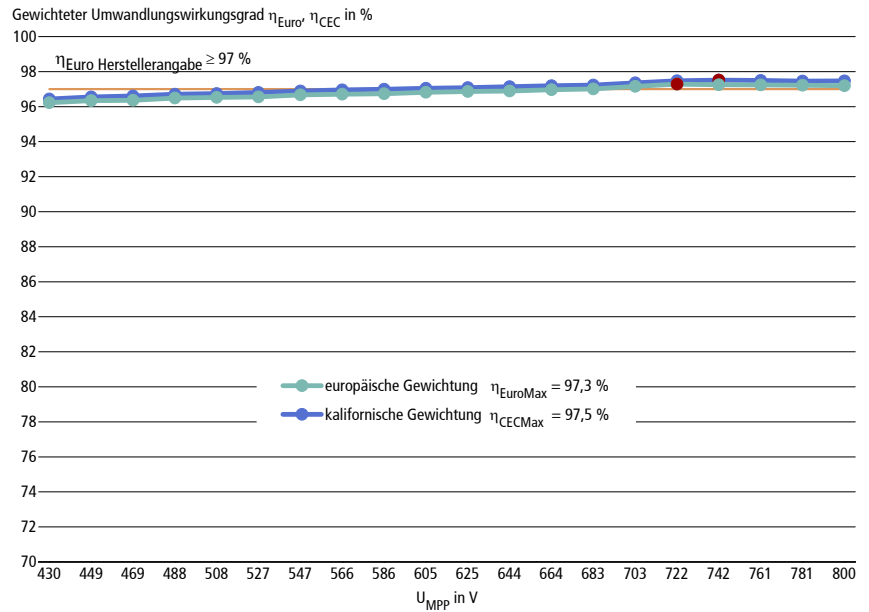


Besuchen Sie noch heute www.stringinverters.de und laden Sie sich unser Concept Paper zu einer 10 MWp-Anlage herunter. Sie werden sehen, String-Wechselrichter erweitern Ihr Repertoire.

www.stringinverters.de

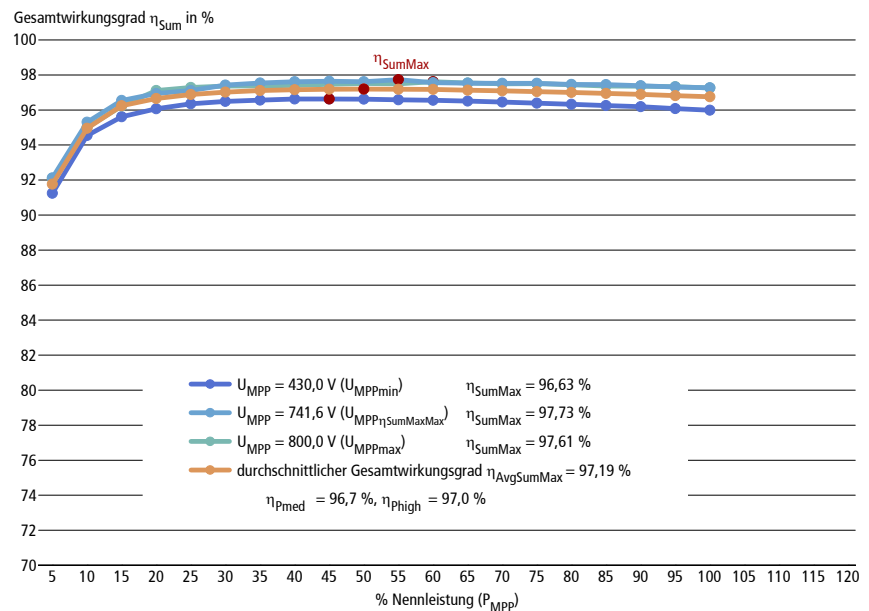
Gewichteter Umwandlungswirkungsgrad

► Die Wirkungsgrade mit »europäischer« und »kalifornischer« Gewichtung sind beinahe identisch; der Europäische Wirkungsgrad liegt nur 0,5 Prozentpunkte unter dem maximalen Umwandlungswirkungsgrad



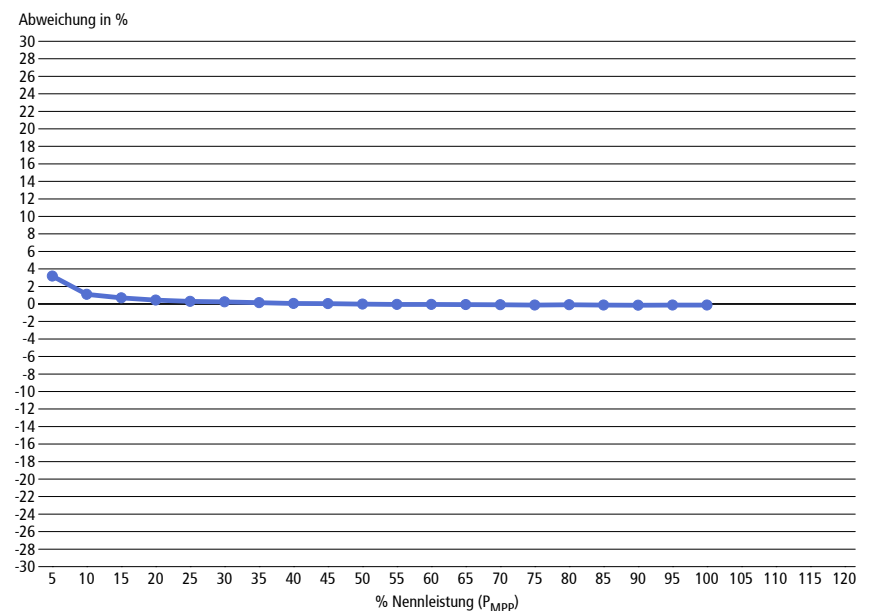
Gesamtwirkungsgrad bei unterschiedlichen Spannungen U_MPP

► Bei fünf Prozent der Nennleistung beginnen die verschiedenen Wirkungsgradverläufe bereits mit mehr als 90 Prozent, steigern sich noch und halten dann das Niveau – ein sicheres Indiz für einen hohen PHOTON-Wirkungsgrad



Genauigkeit der Wechselrichteranzeige

► Zu guter Letzt überzeugt auch die interne Leistungsmessung des TLX 15 k: Der Fehler steigt nie über 3,2 Prozent, im überwiegenden Bereich des Leistungsbereichs liegt er nahe null



(Fortsetzung von Seite 43)

relativ umfangreich und umfassen neben einem allgemein erläuternden Teil die Montage, den Anschluss und Erläuterungen zum Betriebsverhalten, zur Anzeige und zu Statusmeldungen. Von der Website des Herstellers kann nur das Datenblatt heruntergeladen werden.

Schaltungsaufbau

Zunächst gelangt die Energie der Teilgeneratoren über Funkentstörfilter in die Leistungsstufen des trafolos arbeitenden Inverters. Die drei unabhängigen MPP-Tracker in den Eingängen werden jeweils durch einen Hochsetzsteller mit Speicherdrossel und Freilaufdiode im Minuszweig gebildet. Sie speisen eine Kondensatorhalbbrücke, deren Mittelpunkt mit dem N-Ausgangsleiter verbunden ist. Die Formung der pulsweitenmodulierten Ausgangsspannung erfolgt durch drei Dreipunkthalbbrücken, deren Mittelpunkt einer Phase entspricht. Der nachfolgende Filter glättet die modulierten Spannungsblöcke zur sinusförmigen Spannung mit der Netzfrequenz von 50 Hertz. Die Trennung vom Netz durch die selbsttätige Schaltstelle erfolgt, sobald die Netzspannung oder die Netzfrequenz von vorgegebenen Grenzwerten abweicht und ebenso, wenn auf der AC-Seite ein Fehlerstrom auftritt oder auf der Gleichspannungsseite ein zu geringer Isolationswiderstand gemessen wird. Auftretende Funkstörungen beseitigt ein Ausgangsfilter, der direkt vor den Netzklemmen angeordnet ist.

Messungen

Alle nachfolgenden Messungen beziehen sich auf eine Netzspannung von 230 Volt. Die maximale DC-Spannung des TLX 15 k beträgt 1.000 Volt, die DC-Nennleistung P beträgt 15.500 Watt.

Die Definition zum MPP-Spannungsbereich ist für Multitracker-Wechselrichter wie den TLX 15 k mehrteilig.

Fall 1: Ist die DC-Leistungsaufteilung auf die Anzahl der Tracker symmetrisch und ergibt in der Summe die DC-Systemnennleistung, trifft die Definition des MPP-Spannungsbereichs für Eintracker-Wechselrichter zu. Bei jedem Spannungswert innerhalb dieses Bereichs kann der Inverter 100 Prozent dieser DC-Systemnennleistung verarbeiten.

Fall 2: Kann die DC-Leistungsaufteilung auf die Tracker asymmetrisch erfolgen, müssen im Datenblatt die DC-Systemnennleistung und die maximale Leistung der einzelnen Tracker

genannt werden. Daraus folgen zwei einander ergänzende Definitionen zum MPP-Spannungsbereich, nämlich für einen mit maximaler Leistung arbeitenden sowie für einen mit reduzierter Leistung arbeitenden Tracker. Wenn bei einem (oder zwei) von mehreren Trackern die volle Leistung anliegt, muss bei dem (oder den) übrigen die Leistung entsprechend reduziert werden, um nicht die Systemnennleistung zu überschreiten. Dieser Tracker arbeitet dann mit einem erweiterten MPP-Spannungsbereich.

Fall 3: Ein weiterer Freiheitsgrad ist die Möglichkeit der Parallelschaltung von Trackern. Beim TLX 15 k können die Tracker 1, 2 und 3 parallel geschaltet und als Einheit betrachtet werden. Dadurch wird das Gerät indes zu einem ganz normalen String-Wechselrichter.

Die Ermittlung des PHOTON-Wirkungsgrads und damit die Benotung erfolgt wie bei allen Multitracker-Geräten nach Fall 1 (symmetrische Belastung aller MPP-Tracker).

Auffinden des MPP: Zu Beginn der Messung waren die DC-Seite sowie die AC-Seite ausgeschaltet. Bei einer vorgegebenen Kennlinie mit Nennleistung und einer MPP-Spannung von 605 Volt benötigt der Wechselrichter nach Ablauf der 41 Sekunden für das Aufschalten auf das Netz circa drei weitere Sekunden für das Erreichen des MPP. Beim Wechsel in den nächsthöheren MPP-Bereich von 605 Volt nach 625 Volt vergehen vier Sekunden, der Wechsel in den nächstniedrigeren MPP-Bereich von 605 Volt nach 585 Volt dauert drei Sekunden.

MPP-Bereich: Die maximale MPP-Spannung von 800 Volt liegt angenehm weit entfernt von der maximalen Eingangsspannung von 1.000 Volt. Wegen der Möglichkeit der asymmetrischen Belastung der drei Tracker muss bei der Definition des MPP-Bereichs zwischen symmetrischer und voll asymmetrischer Belastung unterschieden werden.

Im symmetrischen Belastungsfall werden die drei Tracker mit je einem Drittel der DC-Systemnennleistung belastet. Der MPP-Bereich reicht dann von 430 Volt bis 800 Volt und entspricht dem eines Weitbereich-Wechselrichters.

Bei voll asymmetrischer Belastung wird Tracker 1 in einem erweiterten Spannungsbereich von 250 bis 800 Volt mit 3.000 Watt belastet. Tracker 2 und 3 werden unabhängig voneinander in einem reduzierten Spannungsbereich von 520 bis 800 Volt mit 6.240 Watt betrieben. Diese Konfiguration wurde mithilfe von Danfoss ermittelt.

Wenn alle drei Tracker parallel geschaltet sind, entspricht der Spannungsbereich dem symmetrischen Belastungsfall.

Umwandlungswirkungsgrad: Die aufgrund des zu geringen Spannungsabstands von maximaler MPP-Spannung und maximaler DC-Spannung geltenden Einschränkungen beim TLX 15 k betreffen lediglich Dünnschichtmodule, für die dieses trafolose Gerät vorbehaltlich der Herstellerfreigabe geeignet ist (für Unisolar und First Solar liegt laut Angaben von Danfoss eine Freigabe vor). Dieser Bereich ist im Diagramm schraffiert dargestellt.

Fall 1, symmetrische Lastaufteilung: Der Wechselrichter kann im MPP-Spannungsbereich von 430 Volt bis 800 Volt mit 100 Prozent seiner Nennleistung arbeiten. Der Bereich des maximalen Wirkungsgrades bildet im Diagramm ein großes Plateau auf sehr hohem Niveau zwischen den MPP-Spannungen von 508 bis 800 Volt und dem Leistungsbe- reich von 20 bis 100 Prozent. Die senkrechte Linie bei 55 Prozent der Nennleistung und die waagerechte Linie bei 742 Volt MPP-Spannung markieren in ihrem Schnittpunkt das Wirkungsgradmaximum von 97,8 Prozent; dies liegt nur knapp unter der Herstellerangabe von 98 Prozent.

Zu kleinen MPP-Spannungen hin nimmt der maximale Umwandlungswirkungsgrad um lediglich 1,1 Prozentpunkte ab. Bei kleinen Leistungen unter 15 Prozent der Nennleistung fällt er nur um circa fünf Prozentpunkte ab. Es stellte sich bei Nennleistung ein Leistungsfaktor $\cos \phi$ von circa eins ein.

Fall 2, asymmetrische Lastaufteilung: Die DC-Systemnennleistung beträgt auch hier 15.500 Watt: Tracker 1 kann im Spannungsbereich von 250 Volt bis 800 Volt mit 100 Prozent der für diesen Belastungsfall definierten Tracker-Leistung von 3.000 Watt arbeiten. Tracker 2 und 3 können im Spannungsbereich von 520 bis 800 Volt mit 100 Prozent ihrer definierten Leistung von jeweils 6.240 Watt arbeiten.

Im Diagramm sind alle drei Spannungsbereiche aufgetragen, rechts oben sind die Arbeitsbereiche der drei MPP-Tracker dargestellt. Die Arbeitspunkte in den Spannungsbereichen lagen immer gleichzeitig an den Trackereingängen an. Die Messwerte liegen etwas niedriger als bei symmetrischer Belastung. Das Wirkungsgradmaximum von 97,7 Prozent ist bei 50 Prozent der Nennleistung und 655 Volt für Tracker 1 sowie 726 Volt für Tracker 2 und 3 erreicht.

Fall 3, drei Tracker parallel geschaltet: In diesem Belastungsfall kommt der Wechselrichter im MPP-Spannungsbereich von 430 Volt bis 800 Volt auf seine volle DC-Systemnennleistung von 15.500 Watt. Die Messwerte zum Wirkungsgrad liegen noch etwas höher als im symmetrischen Fall. Bei 55 Prozent der Nennleistung und 742 Volt MPP-Spannung ist das Wirkungsgradmaximum von 98,0 Prozent erreicht. Dies entspricht exakt der Herstellerangabe.

Gewichteter Umwandlungswirkungsgrad: Der Europäische Wirkungsgrad ist maximal im Bereich von 700 bis 800 Volt MPP-Spannung und überschreitet mit 97,3 Prozent die Herstellerangabe von größer als oder gleich 97 Prozent aus dem technischen Datenblatt. Die Differenz zwischen maximalem Umwandlungswirkungsgrad und maximalem Europäischen Wirkungsgrad ist mit 0,5 Prozentpunkten sehr klein. Der maximale Kalifornische Wirkungsgrad beträgt 97,5 Prozent und ist ebenfalls maximal im Spannungsbereich von 700 bis 800 Volt.

MPPT-Anpassungswirkungsgrad, Fall 1, symmetrische Leistungsaufteilung: Der MPPT-Anpassungswirkungsgrad ist über den gesamten Arbeitsbereich ausgesprochen gleichmäßig und sehr hoch, er beträgt durchgehend mehr als 99 Prozent der vorgegebenen Leistung.

Fall 2, voll asymmetrische Leistungsaufteilung: Auch hier ist der MPPT-Anpassungswirkungsgrad über den gesamten Arbeitsbereich ausgesprochen gleichmäßig und sehr hoch, er liegt ebenfalls konstant über 99 Prozent.

Fall 3, drei Tracker parallel geschaltet: Das Bild gleicht Fall 1 und Fall 2, das MPP-Tracking erreicht konstant über 99 Prozent Anpassungswirkungsgrad.

Gesamtwirkungsgrad, Fall 1, symmetrische Leistungsaufteilung: Die Bereiche gleichen Wirkungsgrades im Farbdigramm haben wegen des hohen MPPT-Anpassungswirkungsgrades nahezu die gleichen Konturen wie beim Umwandlungswirkungsgrad. Bei 55 Prozent der Nennleistung und 742 Volt MPP-Spannung ist das Gesamtwirkungsgradmaximum von 97,7 Prozent erreicht.

Fall 2, voll asymmetrische Leistungsaufteilung: Auch hier gleichen die Zonen hoher Gesamtwirkungsgrade im Farbdigramm denjenigen beim Umwandlungswirkungsgrad nahezu vollkommen. Bei 50 Prozent der Nennleistung und einer MPP-Spannung von 655 Volt bei Tracker 1 sowie 726 Volt bei Tracker 2 und 3 liegt das Gesamtwirkungsgradmaximum von 97,6 Prozent – nur 0,1

Prozentpunkte niedriger als im symmetrischen Belastungsfall.

Fall 3, drei Tracker parallel geschaltet: Abermals gibt es kaum einen Unterschied zum Diagramm des Umwandlungsgrades. Das Maximum bei 55 Prozent der Nennleistung und 742 Volt MPP-Spannung beträgt 97,9 Prozent und liegt damit 0,2 Prozentpunkte höher als im symmetrischen Belastungsfall.

Gesamtwirkungsgradverläufe, durchschnittlicher Gesamtwirkungsgrad und PHOTON-Wirkungsgrad: Der PHOTON-Wirkungsgrad für mittlere Einstrahlung beträgt 96,7 Prozent, der PHOTON-Wirkungsgrad für hohe Einstrahlung liegt bei 97,0 Prozent. Beides entspricht der Note »sehr gut +«.

Einspeisung der Nennleistung: Der Wechselrichter speist über den Eingangsspannungsbereich von 430 Volt bis 800 Volt und bei einer Umgebungstemperatur von 25 Grad Celsius 100 Prozent seiner Nennleistung ein.

Angezeigte Ausgangsleistung: In einer weiteren Messreihe wurde der TLX 15 k bei konstanter MPP-Spannung von 605 Volt, also im mittleren Bereich, nacheinander mit unterschiedlichen Leistungen von 5 bis 100 Prozent seiner Nennleistung gespeist. Die vom Wechselrichter angezeigten Messwerte für die Ausgangsleistung wurden mit denjenigen eines Leistungsanalysators verglichen. Die Abweichung beträgt bei kleinen Leistungen bis plus 3,2 Prozent. Ab 20 Prozent der Nennleistung liegt nur noch ein sehr geringer Fehler von weniger als plus 0,5 Prozent vor, der dann Richtung Nennleistung auf minus 0,1 Prozent abfällt. Die Anzeigegenauigkeit ist damit sehr hoch und entspricht einem Zähler der Genauigkeitsklasse B (früher Genauigkeitsklasse 1).

Betrieb bei höherer Umgebungstemperatur: Erhöht man die Umgebungstemperatur, speist der Wechselrichter bis zu einer Umgebungstemperatur von circa 58 Grad Celsius mit 100 Prozent seiner Nennleistung ins Netz ein. Beim Erreichen dieser Temperatur reduziert er seine Leistung, der Wirkungsgrad sinkt um circa 0,5 Prozentpunkte. Der gewählte Arbeitspunkt lag bei 5.150 Watt DC-Leistung je Tracker und 605 Volt MPP-Spannung. Unter Berücksichtigung dieser Leistungsreduzierung kann sich der Montageort, bedingt durch den sehr großen Temperaturbereich von minus 25 bis plus 60 Grad Celsius und die Schutzart IP 54, unter dem Dach oder mit einem Regenschutz auch draußen befinden.

Überlastverhalten: Bietet man dem TLX 15 k bei 605 Volt MPP-Spannung und einer Umgebungstemperatur von

Kommentar des Herstellers

Wir sind sehr zufrieden mit den PHOTON-Testerergebnissen des TLX 15 k. Die geringen Unterschiede zwischen den vom PHOTON-Labor ermittelten Wirkungsgraden und unseren eigenen Messungen betrachten wir als Resultat unterschiedlicher Messaufbauten (im PHOTON-Aufbau entstehen mehr Kabelverluste) sowie allgemeiner Messtoleranzen zwischen verschiedenen Laboren.

Zu beachten ist, dass PHOTON bei der Berechnung des Europäischen Wirkungsgrades die Photovoltaikleistung als Grundlage nimmt und nicht (wie Danfoss) die AC-Leistung. Dies führt zu geringeren Wirkungsgradwerten. Wir sind aber in jedem Fall sehr froh darüber, dass im PHOTON-Labor für den symmetrischen Belastungsfall ein Spitzenwirkungsgrad von 98 Prozent ermittelt wurde.

Für die Verwendung von Dünnschichtmodulen liegt uns inzwischen eine Freigabe für Uni-Solar (United Solar Ovonic) und First Solar vor.

circa 25 Grad Celsius eine Überlast des 1,3-Fachen der Eingangsnennleistung an, also drei mal 6.695 Watt, begrenzt er an Tracker 1 auf eine Leistung von circa 5.276 Watt, auf 5.335 Watt an Tracker 2 und 5.311 Watt an Tracker 3. Dies ergibt eine DC-Gesamtleistung von 15.922 Watt und entspricht bei einer DC-Nennleistung von 15.500 Watt einer Überlast von 2,7 Prozent. Damit besitzt das Gerät einen nur geringen Überlastbereich. Bei der Leistungsbegrenzung verschiebt es den Arbeitspunkt auf der Kennlinie in Richtung einer höheren Eingangsspannung bis circa 675 Volt.

Eigen- und Nachtverbrauch: Der Eigenverbrauch des Geräts, gemessen über alle Tracker und Netzphasen, beträgt im getesteten Grundbauzustand circa 0,8 Watt auf der AC-Seite und circa 16 Watt auf der DC-Seite. Der Hersteller gibt hier zehn Watt an. Nachts zieht der Wechselrichter rund 2,4 Watt Wirkleistung aus dem Netz. Hier gibt der Hersteller weniger als fünf Watt an.

Thermografie: Die Thermografie wurde zweigeteilt. Die erste Aufnahme zeigt eine Draufsicht auf die Steuerleiterkarten des Wechselrichters, während er bei einer Umgebungstemperatur von 25,9 Grad Celsius mit Nennleistung arbeitet. Auf den Leiterkarten ist alles im grünen beziehungsweise blauen Bereich der Temperaturskala.

Die zweite Thermografie zeigt die mittlere Leiterkartenebene des Wechselrichters, ebenfalls während er bei einer Umgebungstemperatur von 25,9 Grad

Celsius mit Nennleistung arbeitet. Die Oberflächentemperaturen im Bereich der Netzrelais lagen bei 71,8 Grad Celsius. Auf 63,1 Grad Celsius erwärmte sich eine stromkompensierte Drossel aus der Hilfsspannungserzeugung. Die Elektrolytkondensatoren aus dem Leistungsteil waren wegen des mehrlagigen Aufbaus nicht erfassbar.

Fazit

Der Danfoss TLX 15 k ist sehr übersichtlich und fertigungsfreundlich aufgebaut. Die Anordnung der Leiterkarten ist mehrlagig. Gehäuse und Lüfter entsprechen der Schutzart IP 54.

Der Umwandlungswirkungsgrad weist seine höchsten Werte von 97,8 Prozent bei hohen MPP-Spannungen auf, bewegt sich aber auch bei niedrigeren Spannungen auf hohem Niveau. Die Leistungsabhängigkeit ist ebenfalls sehr gering. Durch den sehr gleichmäßigen und sehr hohen MPPT-Anpassungs-

wirkungsgrad ergibt sich hieraus ein im Zahlenwert mit dem Umwandlungswirkungsgrad nahezu identischer Verlauf für den Gesamtwirkungsgrad.

Durch die geringe Abnahme des Umwandlungswirkungsgrades um nur rund einen Prozentpunkt zu tieferen MPP-Spannungen und wenige Zehntelprozentpunkte zu höheren Leistungen hin fällt der PHOTON-Wirkungsgrad für mittlere Einstrahlung mit 96,7 Prozent sehr hoch aus, der Wert für hohe Einstrahlung liegt mit 97,0 Prozent noch etwas höher. Die Differenz von circa einem Prozentpunkt zwischen maximalem Umwandlungswirkungsgrad und PHOTON-Wirkungsgrad ist ein Maß für die geringe Spannungs- und Leistungsabhängigkeit.

Für die Auslegung des MPP einer Photovoltaikanlage kann das obere Drittel des MPP-Spannungsbereichs gewählt werden. Der vom Hersteller spezifizierte MPP-Spannungsbereich hat einen angenehm weiten Abstand zur

maximalen DC-Spannung des Wechselrichters und ist lediglich für Dünnschichtmodule nicht voll nutzbar. Der Überlastbereich ist mit 103 Prozent gering, der Temperaturbereich sehr weit. Dabei muss allerdings eine Leistungsabregelung ab circa 58 Grad Celsius berücksichtigt werden. Die Abhängigkeit des Umwandlungswirkungsgrades von der Temperatur ist mit 0,5 Prozentpunkten sehr gering. Die Anzeige der Wechselrichterausgangsleistung besitzt eine sehr gute Genauigkeit.

Durch die verwendete Schaltungstopologie als Drei-Tracker-Gerät mit Hochsetzsteller und seinen weiten MPP-Spannungsbereich ist der TLX 15 k sehr flexibel einsetzbar. Im Test konnte dies durch die Definition des symmetrischen und des voll asymmetrischen Belastungsfalls sowie die Parallelschaltbarkeit der Tracker auch dargestellt werden. Mit der Note »sehr gut +« liegt dieses Gerät somit im Spitzenfeld der bisherigen Testkandidaten.

| Heinz Neuenstein, Jochen Siemer

Erläuterungen zu Messungen und Grafiken

Die Diagramme zu MPPT-Wirkungsgrad, Umwandlungswirkungsgrad und Gesamtwirkungsgrad stellen die Abhängigkeit dieser Größen von der Eingangsspannung U_{MPP} und der Eingangsleistung P_{DC} dar. Der MPP-Spannungsbereich ist dabei jeweils in 20 Schritte, der DC-Leistungsbereich in 24 Schritte unterteilt. Der Solargeneratorsimulator im PHOTON-Labor erzeugt also 480 verschiedene Kennlinien, alle mit einem Füllfaktor von 75 Prozent.

Die in dieser Messreihe ermittelten 480 Werte dienen als Basis für die dreidimensionale Darstellung. Die dritte Dimension ist dabei die Farbe, sie zeigt den bei einem bestimmten Verhältnis von U_{MPP} und P_{DC} jeweils erreichten Wirkungsgrad an. Das Farbspektrum mit den zugehörigen Werten ist neben den Diagrammen abgebildet. Die y-Achse gibt die Eingangsspannung U_{MPP} gemäß dem vom Hersteller des jeweiligen Geräts deklarierten Bereich an. Auf der x-Achse findet sich die vorgegebene Leistung P_{MPP} in relativen Werten, normiert auf die Nennleistung P_{DCNenn} des Wechselrichters und angegeben in Prozent der P_{MPP} -Nennleistung. Wie weit dieser Bereich die 100-Prozent-Marke überschreitet, richtet sich ebenfalls nach den Herstellervorgaben.

Liegt die vom Hersteller angegebene maximale MPP-Spannung nah an der maximalen DC-Spannung, zeigt ein schraffierter Bereich die entsprechenden Einschränkungen beim Einsatz von kristallinen Modulen und darunter ein weiterer Bereich mit entge-

gensetzter Schraffur die Einschränkungen beim Einsatz von Dünnschichtmodulen an.

Der **MPPT-Anpassungswirkungsgrad** bezeichnet das Verhältnis zwischen vorgegebener DC-Leistung P_{MPP} und der aufgenommenen DC-Leistung des Wechselrichters. Er gibt somit Aufschluss über das statische MPP-Tracking des Geräts, also darüber, wie viel der vom Solargenerator vorgegebenen P_{MPP} -Leistung der Wechselrichter auch tatsächlich übernimmt.

Der **Umwandlungswirkungsgrad** ist das Verhältnis der vom Wechselrichter gelieferten AC-Leistung P_{AC} zu der auf seiner Gleichstromseite aufgenommenen Leistung P_{DC} . Über dem Diagramm sowie rechts daneben zeigen Querschnitte durch die dreidimensionale Darstellung die Abhängigkeiten des Wirkungsgrades von der normierten Leistung beziehungsweise von der Spannung U_{MPP} . Rechts oben ist eine Einordnung des Arbeitsbereichs des Wechselrichters bezogen auf den MPP-Spannungsbereich und die MPP-Leistung zu finden.

Der **Gesamtwirkungsgrad** wird errechnet und ist die Multiplikation des Umwandlungswirkungsgrades und des MPPT-Anpassungswirkungsgrades für alle 480 Messpunkte. Die Grafik ist analog derjenigen zum Umwandlungswirkungsgrad aufgebaut.

Das Diagramm zum **gewichteten Umwandlungswirkungsgrad** zeigt den für mittlere Sonneneinstrahlung (Europäischer Wirkungsgrad) sowie den gemäß der Defi-

nition der California Energy Commission (CEC) für hohe Einstrahlung (Kalifornischer Wirkungsgrad) ermittelten Wirkungsgrad jeweils über den gesamten MPP-Spannungsbereich.

Das Diagramm zum **Gesamtwirkungsgrad bei unterschiedlichen Spannungen** zeigt dessen Verlauf über die Nennleistung P_{MPP} jeweils für die minimale und die maximale MPP-Spannung (U_{MPPmin} und U_{MPPmax}) sowie für den kleinsten und den größten Wert der MPP-Spannung, bei der ein Wechselrichter seinen maximalen Wirkungsgrad erreicht ($U_{MPP\eta_{SumMaxMin}}$ und $U_{MPP\eta_{SumMaxMax}}$). Die jeweiligen maximalen Werte (η_{SumMax}) sind im Diagramm notiert. Falls die Kurven für $U_{MPP\eta_{SumMaxMin}}$ und U_{MPPmin} beziehungsweise $U_{MPP\eta_{SumMaxMax}}$ und U_{MPPmax} identisch sind, wird im Diagramm nur eine Kurve mit den entsprechenden Werten eingetragen (nämlich U_{MPPmin} oder U_{MPPmax}).

Im selben Diagramm ist auch der **durchschnittliche Gesamtwirkungsgradverlauf** dargestellt und sein höchster Wert ($\eta_{AvgSumMax}$) notiert. Der durchschnittliche Gesamtwirkungsgrad ergibt sich, indem bei der jeweiligen Stufe des MPP-Nennleistungsbereichs der Mittelwert aller Gesamtwirkungsgrade über den vom Hersteller ausgewiesenen MPP-Spannungsbereich errechnet wird. Entlang den Leistungsstufen von 5 bis 100 Prozent der MPP-Nennleistung ergibt sich hieraus eine Kurve. Wird der Verlauf dieser Kurve für mittlere (η_{med}) beziehungsweise hohe Einstrahlung (η_{max}) gewichtet, ergibt sich der jeweilige **PHOTON-Wirkungsgrad**. Er ist ebenfalls im Diagramm notiert.



TripleLynx – Solar-Wechselrichter im Rampenlicht

Entdecken Sie den Star auf der Solarenergie-Bühne. Der dreiphasige netzgekoppelte TripleLynx Wechselrichter mit einer Leistung von 10-15 kW bietet in Bezug auf Energieertrag, Vielseitigkeit und einfache Installation herausragende Vorteile. So erzielen Sie aus Ihrer Investition in Solarenergie den optimalen Nutzen.

Mit einer maximalen Systemspannung von 1000 V und einem maximalen Wirkungsgrad von 98% setzt der Wechselrichter Maßstäbe am Markt. Dank mehrerer unabhängiger Strangeingänge,

einem weiten Betriebsbereich und einer echten symmetrischen dreiphasigen Einspeisung passt der transformatorlose TripleLynx-Wechselrichter zu einem breiten Modulspektrum mit unterschiedlichen Spezifikationen. Das Gerät bietet zudem ein Optimum an Energieausbeute bei langer Lebensdauer.

TripleLynx String-Wechselrichter sind für den Einsatz in Installationen von 10 kW bis zu Anlagen mit mehreren MW geeignet und gleichzeitig eine ausgezeichnete Alternative zu Zentralwechselrichtern.

Danfoss Solar Inverters A/S

Ulsnaes 1
DK-6300 Graasten
Tel. : +45 7488 1300
E-mail : solar-inverters@danfoss.com
www.solar-inverters.danfoss.de