Musterschüler mit zwei Schwächen

Der Wechselrichter PV-PNS06ATL-GER von Mitsubishi im Test

Verena Körfer / photon-pictures.com (3)

Außen schlicht, innen aufwendig gestaltet liefert der Wechselrichter mit dem wenig einprägsamen Namen PV-PNS06ATL-GER im Testlabor eine ordentliche Vorstellung ab: Er arbeitet stabil und gut, und wie die Thermografie deutlich macht, braucht kein Käufer eine Überhitzung des Gerätes zu befürchten.

Der PV-PNS06ATL-GER ist ein Photovoltaikwechselrichter des japanischen Konzerns Mitsubishi Electric Corp. mit Sitz in Gifu. Das Gerät wurde wie seine zwei Geschwister für den europäischen Markt entwickelt, aber im japanischen Werk »Nakatsugawa Works« gefertigt. Der getestete Wechselrichter wurde im Juli 2007 von der Unternehmenszentrale zur Verfügung gestellt, wobei mit dem PHOTON-Testlabor die übliche Testvereinbarung getroffen wurde. Die Geräte für den deutschen Markt werden vom Standort in Ratingen ausgeliefert, wo Mitsubishi Electric seine europäische Niederlassung für den Bereich Photovoltaik eingerichtet hat. Die Vertriebs- und Servicegesellschaft in Ratingen kooperiert für den Vertrieb in Deutschland mit mehreren Händlern wie der Phoenix Solar AG, Ralos Vertriebs GmbH oder MHH Solartechnik GmbH.

Aufbau

Das vorliegende Gerät ist Teil der PV-PNS-Familie, die aus drei Geräten besteht. Die Wechselrichter der Serie verfügen über eine AC-Nennleistung von 2.500 beziehungsweise 3.300 und 4.600 Kilowatt. Alle drei Modelle beruhen auf einer Schaltung ohne Netztrenntrafo.

Der Aufbau des Testkandidaten ist mit mehreren Ebenen und Montagerichtungen sehr komplex. Der Leistungsteil ist auf drei Leiterkarten untergebracht. Es gibt eine große zentrale Leiterkarte mit den DC- und AC-Funkentstörfiltern, der Hilfsspannungsversorgung und diversen anderen Funktionen. Eine zweite Leistungsteilleiterkarte beherbergt alle Elektrolytkondensatoren und ist kopfüber in einer zweiten Ebene montiert. In dieser Ebene befindet sich auch das kundenspezifische »Insulated Gate Bipolar Transistor«-Modul (IGBT) mit allen notwendigen Leistungshalbleitern. Auf diesem Modul befindet sich die Treiberplatine, die die sechs IGBTs im Modul ansteuert. Das Modul ist auf einem quer montierten Kühlkörper geschraubt, welcher sich in einem quer eingebauten Kühlkanal befindet und mit einem Lüfter zwangsbelüftet wird. Die Steuerleiterkarte ist an der linken Geräteseite senkrecht auf der zentralen Leistungsteilleiterkarte befestigt. Mit dem Lüfter wird der Kühlstrom gesteuert. Das Display mit vier Bedientasten ist in einer weiteren Ebene separat montiert und ragt durch einen Ausbruch durch die Gehäuseabdeckung. Das Display ist selbstjustierend und aufwendig montiert. Dazu werden sehr viele Kleinteile und Bleche benötigt.

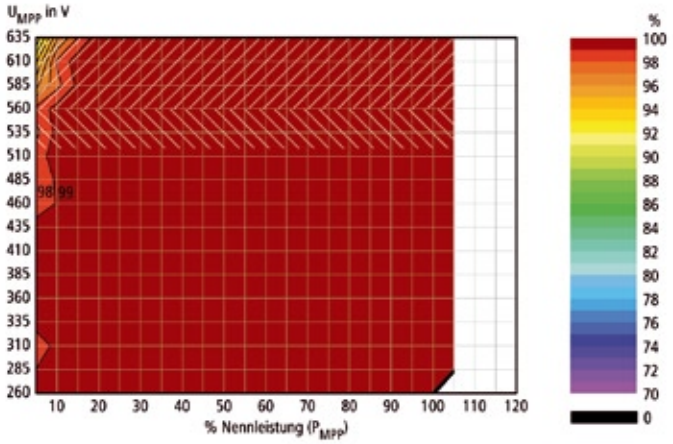
Das Gehäuse besteht aus mehreren Stahlblechteilen. Die Schutzart beträgt IP 41. Diese Angabe findet sich nicht in der Betriebsanleitung, sondern auf dem Typenschild und dem Datenblatt. Der Wechselrichter eignet sich laut Bedienungsanleitung nur für die Montage innerhalb eines Gebäudes im spritzwassergeschützten Bereich.

Der Lüfter ist mit einer Lebensdauer von 40.000 Stunden bei 60 Grad Celsius und einer Überlebensrate von 90 Prozent angegeben. Er ist bei einem Ausfall nur mit Aufwand demontier-

Der PHOTON-Wirkungsgrad für mittlere Einstrahlung liegt bei 93,9 Prozent, der PHOTON-Wirkungsgrad für hohe Einstrahlung liegt bei 94,6 Prozent. In beiden Fällen vergibt das Testlabor dafür die Note »gut«.

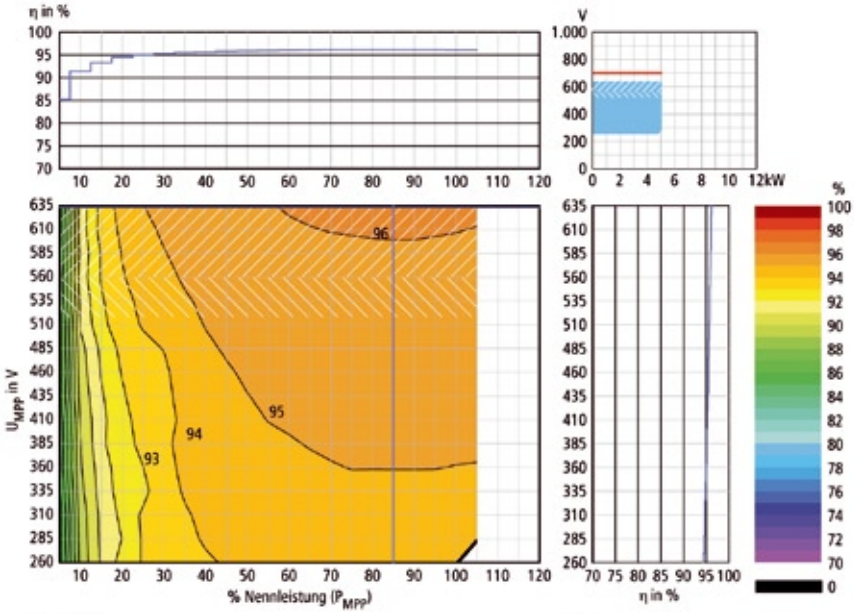
MPPT-Anpassungswirkungsgrad

Am Tracking-Verhalten des Mitsubishi-Gerätes ist nichts auszusetzen. Nur wenige Wechselrichter im PHOTON-Testlabor zeigten bislang solch ein hervorragendes Anpassungsvermögen.



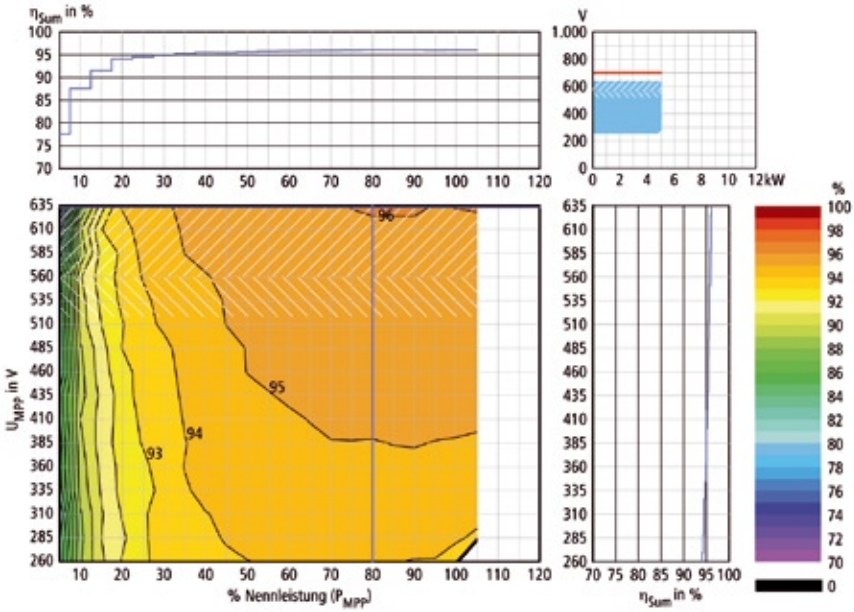
× Umwandlungswirkungsgrad

Gutes Ergebnis mit Wermutstropfen: Denn seinen höchsten Wirkungsgrad entfaltet das Gerät in einem Spannungsbereich, in dem der Wechselrichter sowohl in Verbindung mit kristallinen als auch mit Dünnschichtmodulen nicht mehr betrieben werden sollte. Dafür wandelt es über weite Leistungs- und Spannungsstrecken mit konstant hoher Effizienz.



= Gesamtwirkungsgrad

Das Diagramm ist fast identisch mit dem zum Umwandlungswirkungsgrad. Kein Wunder: Das Tracking-Verhalten des Wechselrichters ist so gut, dass an dieser Stelle kaum Verluste entstehen, weshalb sich die Werte für den Umwandlungs- und den Gesamtwirkungsgrad so stark gleichen.



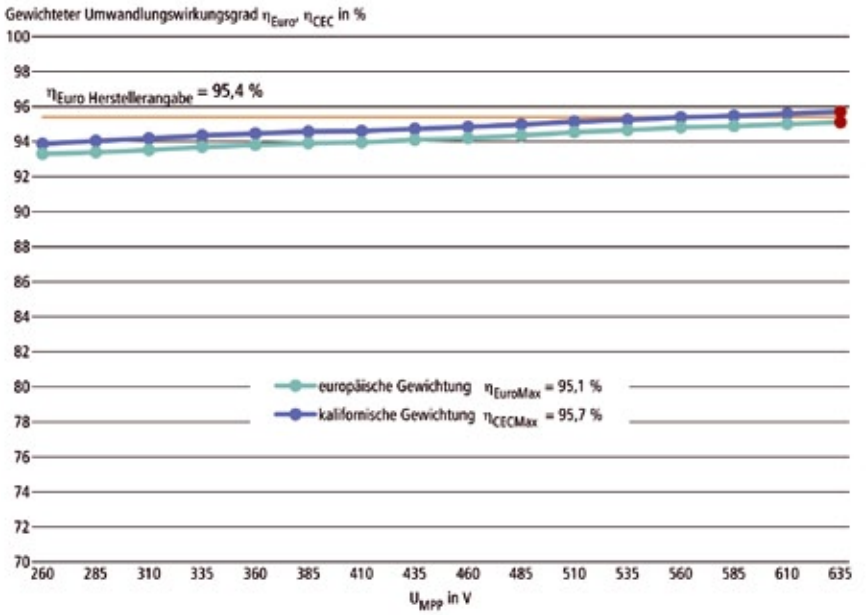
und austauschbar. Da ein Lüfter aber den Umgebungsbedingungen ausgesetzt ist, sollte solch ein Gerät nicht in stark verschmutzter Umgebung betrieben werden. Der Lüfter kann sich zusetzen und stehen bleiben.

Für die Sicherheit sorgt eine redundante selbsttätige Freischaltstelle, die das Netz auf korrekte Spannung, Frequenz und Impedanzverhältnisse überprüft. Zusätzlich findet eine Isolationsprüfung und eine Überprüfung des DC-Anteils im Netzstrom statt. Der Gerätezustand wird durch das grafikfähige Display und zwei LEDs vermittelt.

Das Gerät macht insgesamt einen kompakten, aber sehr aufwendigen Eindruck mit vielen Leitungen, Montageebenen und Richtungen, was auf einigen Herstellungsaufwand schließen lässt. Die eingesetzten Elektrolytkondensatoren im Leistungsteil und auch in der Steuerelektronik gehören der Temperaturklasse 105 Grad Celsius an, sie sind also, bezogen auf die Umgebungstemperatur, gut ausgelegt.

Die Anschlüsse für den Solargenerator und das Netz werden mithilfe von Kabeldurchführungen in das Gehäuse geführt und auf Reihenklemmen aufgelegt. Da sogar eine RS485-Schnittstelle integriert ist, besitzt der Wechselrichter keine weiteren Optionen.

Gewichteter Umwandlungswirkungsgrad



In Gebieten mit hoher Sonneneinstrahlung arbeitet der Wechselrichter effizienter – hier sind die Werte für den Wirkungsgrad durchgehend höher gegenüber jenen für mittlere Breiten. Der Herstellerangabe nähern sich beide Größen erst im hohen MPP-Spannungsbereich.

Handhabung

Das Gerät kommt gut verpackt und geschützt beim Anwender an. An der Wand wird der Wechselrichter mit einer Wandhalterung befestigt. Mit seinen 20 Kilogramm ist der PV-PNS06ATL-GER ein recht leichtes Gerät.

Ist der Solargenerator richtig ausgelegt und ein externer DC-Freischalter angedockt, kann der Wechselrichter an den Start. Circa 90 Sekunden benötigt er für verschiedene Tests. Dann geht er ans Netz und beginnt mit der Arbeit.

Das Display liegt in der Ebene der Frontabdeckung, hat eine grüne Hinterleuchtung und ist gut ablesbar. Es können die Sprachen Deutsch, Englisch und Italienisch ausgewählt werden. Das Display ist zweizeilig und zeigt einen Istwert pro Anzeige an. Es wird 18 Sekunden nach dem Einschalten der DC-Spannung aktiv.

Das Gerät ist durch längeres Drücken der Power-Taste aus- und einschaltbar. Drei weitere Tasten dienen der Menüführung am Display. Neben diversen Status- und Fehlermeldungen werden die Werte für die Wechselstromleistung, die Gleichspannung, die Wechselspannung und der Wechselstrom in verschiedenen aktuellen und kumulierten Werten angezeigt. Darüber hinaus sind das Tagesmaximum der Ausgangsleistung des Wechselrichters sowie Datum und Uhrzeit ablesbar. In der Summen-, Tages-, Monats- und Jahresanzeige werden Energiemengen und Betriebsstunden angegeben. Damit stehen einige Messwerte zur Verfügung, allerdings nicht im Überblick.

Laut Bedienungsanleitung wird (zumindest für das erste Betriebsjahr) eine tägliche Überprüfung der Energieanzeige und der Fehler-LED empfohlen. Im dem Kapitel »tägliche Wartung« heißt es, dass die Lüftungsöffnungen in regelmäßigen Abständen, mindestens alle drei Monate, gereinigt werden sollen. Dazu muss der Wechselrichter ein- und ausgangsseitig getrennt und der Filter ausgebaut und gereinigt werden. Um einen Ertragsverlust zu vermeiden, sollte dies bei Dunkelheit erfolgen.

Bedienungsanleitung

Dem Gerät liegt eine Bedienungsanleitung in deutscher und englischer Sprache bei, die auch in einer weiteren

Version in italienischer und englischer Sprache erhältlich ist. Sie umfasst neben allgemeinen Erläuterungen die Bedienung und die Wartung des Wechselrichters und schlüsselt die Anzeigen zu Störmeldungen auf. Die technischen Daten werden nicht vollständig wiedergegeben. Die Bedienungsanleitungen stehen auch auf der Webseite des Herstellers im gesicherten Bereich als Download zur Verfügung.

Schaltungsaufbau

Der Schaltungsaufbau des Wechselrichters ist zweistufig. Zunächst gelangt die Energie der Photovoltaikanlage über einen Funkentstörfilter in die Leistungsstufe. Die erste Stufe besteht aus einem Hochsetzsteller mit zwei Transistoren, dessen Speicherdrossel symmetrisch auf die Plus- und die Minusleitung aufgeteilt ist. Durch das Ankoppeln dieses Hochsetzstellers an den nachfolgenden Zwischenkreis mithilfe von zwei Dioden wird ein symmetrischer Aufbau erzielt. Die zweite Stufe besteht aus zwei Halbbrücken. Eine davon ist eine Kondensatorhalbbrücke mit zwei in Reihe geschalteten Elektrolytkondensatoren, deren Mittelpunkt mit dem N-Leiter verbunden ist. Die zweite Halbbrücke besteht aus einer einphasigen Dreipunktschaltung, deren Ausgang über eine Sinusdrossel an die Phase L angeschlossen ist. Durch die Pulsweitenmodulation der zweiten Transistorhalbbrücke und dem nachfolgenden Sinusfilter wird die Ausgangsspannung sinusförmig. Der symmetrische Aufbau und die Ankopplung des Mittelpunkts der Kondensatorhalbbrücke an den N-Leiter bewirken, dass das Potenzial der Solargeneratoranschlüsse symmetrisch zum Erdpotenzial aufgeteilt ist.

Eine selbsttätige Schaltstelle trennt den Wechselrichter vom Netz, sobald die Netzspannung, die Netzimpedanz oder die Netzfrequenz von den vorgegebenen Grenzwerten abweicht oder auf der Netzseite ein Fehlerstrom auftritt. Auftretende Funkstörungen beseitigt ein Ausgangsfilter, der direkt vor den Netzklemmen angeordnet ist.

Messungen

Alle nachfolgenden Messungen beziehen sich auf eine Netzspannung von 230 Volt.

Auffinden des MPP: Bei einer vorgegebenen Kennlinie mit Nennleistung und einer U_{MPP} von 460 Volt benötigt der Wechselrichter etwa 90 Sekunden, bis er sich auf das Netz aufschaltet. Zu Beginn der Messung waren die DC-Seite sowie die AC-Seite ausgeschaltet. Nach circa 26 Sekunden erreicht der Wechselrichter den Maximum Power Point (MPP). Beim Wechsel von 460 Volt nach 485 Volt benötigt er 30 Sekunden, für den Wechsel in den nächstniedrigeren MPP-Bereich von 435 Volt braucht er circa 25 Sekunden.

MPP-Bereich: Der MPP-Bereich von 260 bis 650 Volt entspricht dem eines Weitbereich-Wechselrichters. Jedoch hat die maximale MPP-Spannung von 650 Volt einen zu geringen Abstand zur maximalen Eingangsspannung von 700 Volt. In dem Bereich oberhalb der MPP-Spannung von 560 Volt und einer Leerlauf-

spannung von mehr als 700 Volt waren Messungen nur deshalb möglich, weil die DC-Spannung durch den Simulator begrenzt wurde.

Umwandlungswirkungsgrad: Der Umwandlungswirkungsgrad ist das Verhältnis von P_{AC} zu P_{DC}. Zur Darstellung der Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der Eingangsspannung U_{MPP} und der Eingangsleistung P_{DC} wurde der MPP-Spannungsbereich in 20 Schritte und der DC-Leistungsbereich in 24 Schritte unterteilt. Daraus resultieren 480 verschiedene Solargeneratorkennlinien, sodass ein Messdurchlauf aus 480 Messungen besteht. Jede Kennlinie besitzt einen Füllfaktor von 75 Prozent. Aus dieser Messreihe erhielten wir 480 Messwerte für den Wirkungsgrad. Diese bilden die Basis für die folgende dreidimensionale Darstellung der Abhängigkeiten des Wirkungsgrades. Die dritte Dimension ist dabei die Farbe. Das Farbspektrum und die Umsetzung in die Messwerte sind neben dem Diagramm abgebildet. Die vorgegebene Leistung P_{MPP} ist normiert auf die Nenneingangsleistung P_{DCN} des Wechselrichters und in Prozent der P_{MPP}-Nennleistung angegeben.

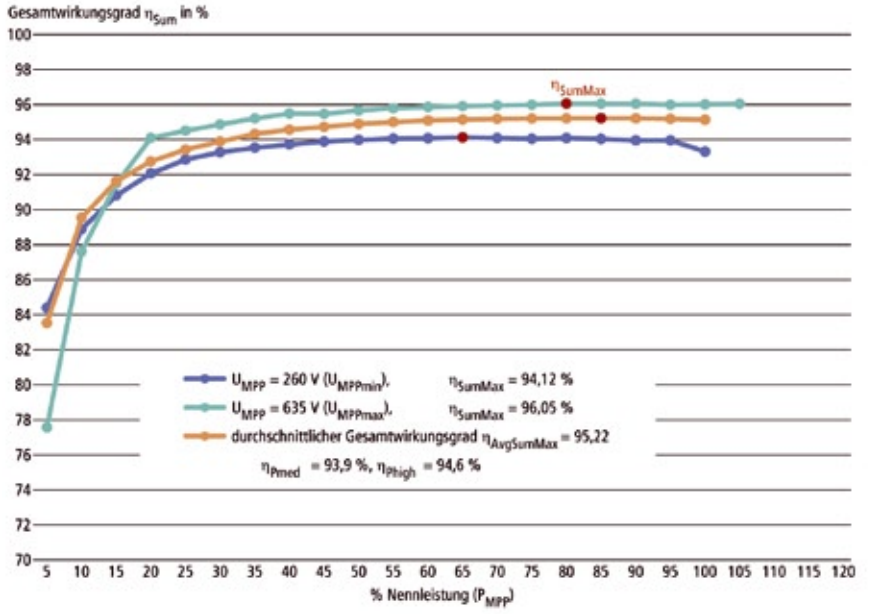
Sowohl über als auch rechts neben dem Diagramm sind entsprechende Querschnitte durch das dreidimensionale Farbdiagramm mit den Abhängigkeiten des Wirkungsgrades von der normierten Leistung und des Wirkungsgrades von der Spannung U_{MPP} zu sehen. Rechts oben findet sich eine Einordnung des Arbeitsbereichs des Wechselrichters bezogen auf den MPP-Spannungsbereich und die MPP-Leistung. Der Wechselrichter kann im MPP-Spannungsbereich von 260 Volt bis 650 Volt mit 100 Prozent der Nennleistung arbeiten. Für diesen Diagrammbereich wurde der Wirkungsgrad ermittelt.

Im dreidimensionalen Farbdiagramm auf Seite 85 sind flächige Bereiche gleicher Farbe, also gleichen Wirkungsgrades, zu erkennen. Der Bereich des maximalen Umwandlungswirkungsgrades befindet sich im oberen MPP-Spannungsbereich. Er fällt allgemein umso höher aus, je größer die DC-Spannung und die Leistung ist. Der Abschnitt des höchsten Umwandlungswirkungsgrades befindet sich in einem MPP-Spannungsbereich, in dem eine Photovoltaikanlage nicht mehr betrieben werden kann, da die Leerlaufspannung zu hoch wird.

Bei einer maximalen DC-Spannung von 700 Volt gibt es einen schraffierten Bereich am oberen Ende der Ordinate, der auf Einschränkungen des MPP-Spannungsbereichs beim Einsatz von kristallinen Modulen hinweist. Ein weiterer Bereich darunter mit entgegengesetzter Schraffur verdeutlicht Einschränkungen beim Einsatz von Dünnschichtmodulen wegen des zu geringen Abstandes von maximaler MPP- und maximaler DC-Spannung. Die senkrechte Linie bei 85 Prozent Nennleistung und die waagerechte Linie bei U_{MPP} = 635 Volt gehen durch das Wirkungsgradmaximum von 96,13 Prozent. Bei kleinen MPP-Spannungen nimmt der maximale Umwandlungswirkungsgrad um circa 1,8 Prozentpunkte ab. Die DC-Nennleistung des Gerätes beträgt P_{DCN} = 4.780 Watt.

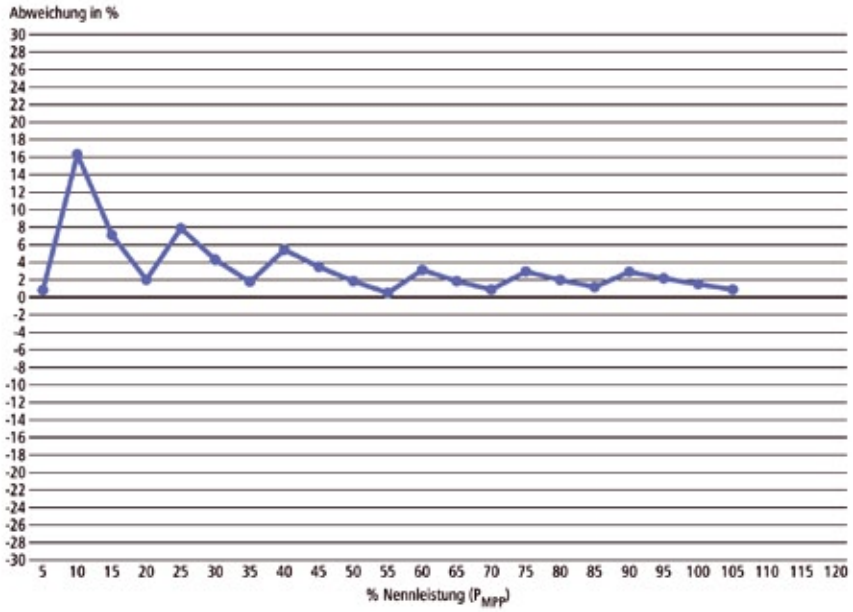
Die Herstellerangabe für den maximalen Wirkungsgrad von 96,2 Prozent wurde während der Messungen mit 96,13 Prozent nahezu erreicht, in der Praxis ist dieser Wert aber zurzeit nicht nutzbar. Bei kleinen Leistungen, unter 15 Prozent der Nennleistung, fällt der Wirkungsgrad bei diesem Gerät um circa 10 Prozent.

Gesamtwirkungsgrade bei unterschiedlichen Spannungen U_{MPP}



Der Wechselrichter arbeitet am besten bei hohen Spannungen und hohen Leistungen. Der Unterschied des maximalen Wirkungsgrades zwischen hohen und kleinen Spannungen tritt im Diagramm deutlich hervor – und fällt mit rund zwei Prozentpunkten sehr hoch aus.

Genauigkeit der Wechselrichteranzeige



Alles andere als exakt: Auf die Anzeige des Wechselrichters ist kein Verlass. Es wird eine höhere Stromproduktion suggeriert, als das Gerät tatsächlich ins Netz abgibt.

Es stellte sich bei Nennleistung ein Leistungsfaktor cos φ von circa eins ein.

Gewichteter Umwandlungswirkungsgrad: Der gewichtete Umwandlungswirkungsgrad wird mit europäischer und mit kalifornischer Gewichtung angegeben. Der Europäische Wirkungsgrad ist maximal im Bereich von U_{MPP} = 635 Volt und liegt mit 95,1 Prozent nur 0,3 Prozentpunkte entfernt von der Herstellerangabe von 95,4 Prozent. Die Differenz zwischen maximalem Wirkungsgrad und Europäischem Wirkungsgrad beträgt einen Prozentpunkt. Der Kalifornische Wirkungsgrad liegt mit 95,7 Prozent um circa 0,6 Prozentpunkte höher als der Europäische und ist ebenfalls maximal im Bereich von U_{MPP} = 635 Volt. Der Kalifornische Wirkungsgrad wurde von der California Energy Commission (CEC) definiert.

MPPT-Anpassungswirkungsgrad: Der Vergleich von vorgegebener DC-Leistung P_{MPP} zur aufgenommenen DC-Leistung des Wechselrichters gibt Aufschluss über das statische MPP-Tracking des Gerätes, also darüber, wie viel der vorgegebenen P_{MPP}-Leistung der Wechselrichter übernimmt. Der MPPT-Anpassungswirkungsgrad ist über den ganzen Arbeitsbereich gleichmäßig hoch. Bei vorgegebenen Leistungen zwischen circa 10 und 105 Prozent Nennleistung beträgt die MPP-Leistung des Wechselrichters im gesamten MPP-Spannungsbereich über 99 Prozent der vorgegebenen Leistung. Bei hohen Spannungen und kleinen Leistungen nimmt der Anpassungswirkungsgrad ab.

Gesamtwirkungsgrad: Der Gesamtwirkungsgrad wird errechnet und ist die Multiplikation des Umwandlungswirkungsgrades und des MPPT-Anpassungswirkungsgrades für alle 480 Messpunkte. Sowohl über als auch rechts neben dem Diagramm auf Seite 88 sind entsprechende Querschnitte durch das dreidimensionale Farbdiagramm mit den Abhängigkeiten des Gesamtwirkungsgrades von der normierten Leistung und des Gesamtwirkungsgrades von der MPP-Spannung zu sehen. Rechts oben ist eine Einordnung des Arbeitsbereichs des Wechselrichters bezogen auf den MPP-Spannungsbereich und die MPP-Leistung zu finden.

Im dreidimensionalen Farbdiagramm sind flächige Bereiche gleicher Farbe, also gleichen Wirkungsgrades, zu erkennen. Der Bereich des maximalen Gesamtwirkungsgrades ist bei höheren Spannungen und Leistungen über 50 Prozent zu finden. Bei einer maximalen DC-Spannung von 700 Volt gibt es wie schon im Diagramm zum Umwandlungswirkungsgrad einen oberen schraffierten Bereich, der auf Einschränkungen des MPP-Spannungsbereichs beim Einsatz von kristallinen Modulen hinweist. Außerdem deutet ein weiter Bereich mit entgegengesetzter Schraffur auf Einschränkungen beim Einsatz von Dünnschichtmodulen wegen des zu geringen Spannungsabstandes von maximaler MPP-Spannung und maximaler DC-Spannung hin. Die senkrechte Schnittlinie bei 80 Prozent Nennleistung und die waagerechte Schnittlinie bei U_{MPP} = 635 Volt gehen durch das Gesamtwirkungsgradmaximum von 96,05 Prozent.

Gesamtwirkungsgradverläufe, durchschnittlicher Gesamtwirkungsgrad und PHOTON-Wirkungsgrad: Im Diagramm ist der Gesamtwirkungsgradverlauf für die minimale und die maximale MPP-Spannung, bei der sich das absolute Gesamtwirkungsgradmaximum befindet, mit den jeweiligen maximalen Werten dargestellt. Der durchschnittliche Gesamtwirkungsgradverlauf wird durch Mittelung aller Gesamtwirkungsgradergebnisse einer Leistungsstufe ermittelt. Dazu erfolgt in einer Leistungsstufe die Mittelung aller Gesamtwirkungsgradergebnisse über alle Spannungsstufen. Daraus ergibt sich eine zweidimensionale Kurve. Die Auswertung erfolgt über den gesamten vom

Hersteller angegebenen UMPP-Bereich inklusive der schraffierten Bereiche. Die Bildung des Durchschnitts erfolgt für die Leistungsstufen von 5 bis 100 Prozent Nennleistung.

Die Bestimmung des PHOTON-Wirkungsgrades erfolgt aus den errechneten Werten zum durchschnittlichen Gesamtwirkungsgrad. Der PHOTON-Wirkungsgrad für mittlere Einstrahlung liegt bei 93,9 Prozent, der PHOTON-Wirkungsgrad für hohe Einstrahlung liegt bei 94,6 Prozent. Dafür vergibt das Testlabor zweimal die Note »gut«.

Einspeisung der Nennleistung: Der Wechselrichter speist über den Eingangsspannungsbereich von 260 bis 650 Volt und bei einer Umgebungstemperatur von 25 Grad Celsius 105 Prozent der Nennleistung ein.

Angezeigte Ausgangsleistung: In einer weiteren Messreihe wurde der Wechselrichter bei konstanter MPP-Spannung von 460 Volt, also im mittleren Bereich, nacheinander mit unterschiedlichen Leistungen von 5 bis 105 Prozent Nennleistung gespeist. Dabei wurden jeweils die Messwerte für die Wechselrichterausgangsleistung aufgenommen, die einerseits vom Wechselrichter und andererseits vom Leistungsanalysator angezeigt wurden. Die vom Wechselrichter gemessene und über das Display veranschaulichte Ausgangsleistung weicht stark vom Messwert des Leistungsanalysators ab – bei kleinen Leistungen liegen die angezeigten Werte um bis zu 16 Prozent über den Messdaten des Testlabors. Der Fehler nimmt bei höheren Leistungen auf etwa zwei bis drei Prozent ab. Damit hat die Leistungsanzeige eine völlig unzureichende Genauigkeit.

Betrieb bei höherer Umgebungstemperatur: Erhöht man die Umgebungstemperatur, speist der Wechselrichter bis zu einer Umgebungstemperatur von circa 57 Grad Celsius mit 100 Prozent der Nennleistung ins Netz ein. Beim Erreichen dieser Temperatur reduzierte der Wechselrichter seine Leistung. Der gewählte Arbeitspunkt war P_{DC} = 4.780 Watt und U_{MPP} = 460 Volt. Der Wirkungsgrad fiel über diesem Temperaturbereich um circa 0,2 Prozentpunkte. Der Montageort des Wechselrichters kann sich, bedingt durch den sehr weiten Temperaturbereich, auch unter dem Dach befinden.

Überlastverhalten: Bietet man dem PV-PNS06ATL-GER bei U_{MPP} = 510 Volt und einer Umgebungstemperatur von 23 Grad Celsius eine Überlast des 1,3-Fachen der Eingangsnennleistung an, also 6.214 Watt, begrenzt er auf eine Leistung von circa 5.120 Watt. Dies entspricht einer Überlast von sieben Prozent bei einer DC-Nennleistung von 4.780 Watt. Bei dieser Leistungsbegrenzung verschiebt das Gerät den Arbeitspunkt auf der Kennlinie in Richtung höhere Eingangsspannung. Die MPP-Spannung stellt sich auf einen Wert von circa 564 Volt ein.

Eigen- und Nachtverbrauch: Der Eigenverbrauch des Gerätes im getesteten Grundbauzustand beträgt circa 0,4 Watt auf der AC-Seite und liegt bei 7,6 Watt auf der DC-Seite, der Hersteller macht hierzu allerdings keine Angaben. Nachts zieht der Wechselrichter rund 0,4 Watt Wirkleistung aus dem Netz. Hier gibt der Hersteller 0,5 Watt an.

Thermografie: Die Thermografie zeigt eine Draufsicht des Wechselrichters, während er bei einer Umgebungstemperatur von 26 Grad Celsius mit Nennleistung arbeitet. Da es sich hier um einen mehrlagigen Aufbau handelt, in dem die oberen Leiterkarten kopfüber montiert sind, kann nur die Rückseite der Leiterkarten betrachtet werden – ohne dass die Bauteile im Einzelnen zu erkennen sind. Dort wurden aber auch keine auffälligen Temperaturen festgestellt. Oben rechts ist die Oberflächentemperatur der Hochsetzstellerdrossel mit 79,3 Grad Celsius und unten rechts die Oberflächentemperatur einer Filterdrossel mit 73,8 Grad Celsius gemessen worden. Das sind normale Temperaturbereiche für diese Bauteile.

Kommentar des Herstellers

Die Ergebnisse der Messung des Wirkungsgrades von PHOTON im Leistungsbereich P_{DC} von mehr als 500 Watt entsprechen nahezu unseren internen Messergebnissen. Auf der anderen Seite sind die PHOTON-Ergebnisse im Leistungsbereich von weniger als 500 Watt um rund ein Prozent niedriger als bei uns. Wir sind der Ansicht, dass der Unterschied im Abfall der Spannung U_{DC} in Arbeitspunkten mit einer Leistung kleiner P_{DC} begründet ist.

Bezüglich des Europäischen Wirkungsgrades liegen die Ergebnisse von PHOTON etwa 0,3 Prozentpunkte niedriger als bei uns. Wahrscheinlich liegt auch dies am Abfall der Spannung U_{DC} in Arbeitspunkten bei einer niedrigen Leis-tung P_{DC}. Wir messen den Wirkungsgrad in der Regel im Konstantspannungsbetrieb. Bezüglich des MPPT-Anpassungswirkungsgrades scheint es, dass die Bedingungen der PHOTON-Messung sich von unseren unterscheiden, zum Beispiel die Mittelung über die Zeit der Messung. Dies kann zu Unterschieden in den Messergebnissen führen.

Wir nutzen eine Wechselrichtertopologie, die das Potenzial der Photovoltaikmodule gegen Erde konstant hält. Die Nutzung dieser Topologie senkt den Umwandlungswirkungsgrad, aber minimiert den Ableitstrom durch die parasitären Kapazitäten von Photovoltaikmodulen und bietet eine höhere Sicherheit, was für den Nutzer wichtiger ist.

Fazit

»Der neue Photovoltaikwechselrichter von Mitsubishi ist ein Wunder an Effizienz und Zuverlässigkeit«, so bewirbt der Konzern sein neues Gerät. Bekanntermaßen neigt Werbung zu Übertreibung, im Falle des PV-PNS06ATL-GER ist jedoch nur ein Wort überzogen: Der Wechselrichter von Mitsubishi ist kein Wunder, denn auch Geräte der Konkurrenz besit-

zen ein ähnliches Leistungsvermögen wie jenes, das dem Testlabor überlassen wurde. Aber das Gerät mit dem unsäglichen Namen arbeitet effizient und zuverlässig – das belegen die Messungen von PHOTON. Hervorzuheben ist vor allem der gute Anpassungswirkungsgrad des trafolosen und verhältnismäßig leichten Wechselrichters. Nur einen Bruchteil der vom Generator gelieferten Leistung nutzt er nicht. So kommt es, dass sich die Werte für den Umwandlungs- und für den Gesamtwirkungsgrad nur geringfügig unterscheiden.

Der Wirkungsgrad des Gerätes ist ohnehin gut. Das Maximum des Umwandlungswirkungsgrades liegt bei 96,13 Prozent. Vor allem ändern sich die Werte über den gesamten Spannungs- und Leistungsbereich gesehen relativ wenig. Für den Gesamtwirkungsgrad beträgt die Schwankungsbreite über den MPP-Spannungsbereich rund 1,8 Prozentpunkte, und ab 20 Prozent Leistung über den Leistungsbereich liegt sie bei 2 bis 3 Prozentpunkten. Der PHOTON-Wirkungsgrad für mittlere Einstrahlung fällt somit gut und hoch aus, er beträgt 93,9 Prozent. Der Zahlenwert des PHOTON-Wirkungsgrad für hohe Einstrahlung liegt, bedingt durch den recht konstanten Verlauf der Gesamtwirkungsgradkurven bei höheren Leistungen und einer hier vorliegenden höheren Gewichtung, mit 94,6 etwas höher, erhält jedoch die gleiche Note, nämlich ein »Gut«. Die Differenz von etwa zwei Prozentpunkten zwischen dem Umwandlungswirkungsgrad und dem PHOTON-Wirkungsgrad ist ein Maß für die doch schon spürbare Spannungs- und Leistungsabhängigkeit des Wirkungsgrades. Für die Auslegung des MPPs einer Photovoltaikanlage sollte eher der mittlere MPP-Spannungsbereich gewählt werden. Der Wechselrichter besitzt mit nahezu 105 Prozent nur ein kleines Überlastvermögen. Die Leistung des Photovoltaikgenerators sollte daher schon genau auf die des Wechselrichters angepasst werden. Die Abhängigkeit des Umwandlungswirkungsgrades von der Temperatur ist mit 0,2 Prozent sehr gering. Der Temperaturbereich des Wechselrichters ist sehr groß, und eine Leistungsabregelung erfolgt erst bei einer hohen Umgebungstemperatur von 57 Grad Celsius.

In den hohen Spannungsbereichen tritt jedoch einer von zwei Schwachpunkten des Gerätes zutage: Ab etwa 560 Volt ist es nur eingeschränkt mit kristallinen Modulen und bereits ab 515 Volt nur eingeschränkt mit Dünnschichtmodulen zu verwenden. Darauf weisen die Schraffierungen in den dreidimensionalen Diagrammen hin, in deren Gebiet sich auch das Maximum des Umwandlungswirkungsgrades verorten lässt. Nutzbar ist dieser Wert nicht, da der MPP einer realen Photovoltaikanlage nicht in diesen Bereich gelegt werden darf, da andernfalls die Leerlaufspannung zu hoch wird. Mitsubishi änderte bereits im Verlauf der Messungen von PHOTON den MPP-Spannungsbereich, allerdings nur im unteren Bereich. Reichte er ehemals von 160 bis 650 Volt, wurde die Spanne inzwischen auf 260 bis 650 Volt eingeschränkt.

Der zweite Schwachpunkt ist bei diesem Gerät das Display, was jedoch auf die Stromproduktion an sich keine Auswirkungen hat. Da in den Tests im Labor jedoch bis zu 16 Prozent mehr erzeugte Energie vom Gerät angegeben als gemessen wurde, sollte man die Stromproduktion lieber am Stromzähler ablesen.

Dennoch bleibt festzuhalten: Der PV-PNS06ATL-GER ist ein gutes Gerät und liegt in der Reihe der bislang von PHOTON getesteten Wechselrichter im oberen Drittel. Heinz Neuenstein, Ines Rutschmann

Testergebnisse im Überblick

Wechselrichter	betrachteter Spannungsbereich	mittlere Einstrahlung			hohe Einstrahlung			Ausgabe
		η_{Pmed}	Note	Platz	η_{Phigh}	Note	Platz	
SMA SMC 8000 TL	335 - 487 V	96,9 %	sehr gut +	1	97,0 %	sehr gut +	1	10-2007
Phoenixtec PVG 2800 (überarbeitetes Modell)	250 - 450 V	94,4 %	gut	2	95,1 %	sehr gut	2	5-2008
Conergy IPG 5000 vision	301 - 706 V	94,0 %	gut	3	94,7 %	gut	4	7-2007
Delta Energy Systems SI 3300	150 - 435 V	93,9 %	gut	4	94,7 %	gut	4	5-2008
Mitsubishi PV-PNS06ATL-GER	260 - 650 V	93,9 %	gut	4	94,6 %	gut	6	6-2008
Sputnik SolarMax 2000C*	165 - 515 V	93,8 %	gut	6	93,1 %	befriedigend	13	4-2007
Sunways NT 2600 (unterer Spannungsbereich)	350 - 623 V	93,8 %	gut	6	95,1 %	sehr gut	2	11-2007
Ingeteam Ingecon Sun 3,3 TL	159 - 414 V	93,4 %	befriedigend	8	94,3 %	gut	7	8-2007
SMA SB 3800	208 - 395 V	93,2 %	befriedigend	9	93,6 %	gut	10	2-2007
Kaco Powador 3501xi	350 - 597 V	92,6 %	befriedigend	10	92,9 %	befriedigend	14	6-2007
Kaco Powador 2500xi	350 - 597 V	92,5 %	befriedigend	11	93,4 %	befriedigend	11	12-2007
Diehl Ako Platinum 4600S	320 - 628 V	92,9 %	befriedigend	12	93,3 %	befriedigend	12	4-2008
Sunways NT 2600 (oberer Spannungsbereich)	476 - 749 V	92,3 %	befriedigend	13	93,9 %	gut	8	11-2007
Mastervolt QS 2000*	212 - 366 V	92,3 %	befriedigend	13	92,7 %	befriedigend	15	1-2008
Riello HP 4065REL-D	255 - 435 V	91,7 %	ausreichend	15	93,9 %	gut	8	9-2007
Fronius IG 30	150 - 397 V	91,4 %	ausreichend	16	92,2 %	befriedigend	16	1-2007
Siemens Sitop solar 1100 Master*	200 - 552 V	90,2 %	ausreichend	17	91,7 %	ausreichend	17	5-2007
Phoenixtec PVG 2800 (ursprüngliches Modell)*	255 - 435 V	78,4 %	mangelhaft	18	85,8 %	mangelhaft	18	2-2008

* = nur noch Lagerbestände, Gerät wird nicht mehr produziert