

SINVERT PVM

Wechselrichter im Test

Sonderdruck aus PHOTON Profi Februar 2011,
Seiten 60-74



Die SINVERT PVM Wechselrichter

Answers for the environment.

SIEMENS

Ein neuer Spitzenreiter

Der Siemens Sinvert PVM20 hat den PHOTON-Wechselrichtertest mit dem besten Resultat der Baureihe absolviert; das mit dem Refusol 20K baugleiche Produkt setzt sich damit auch an die Spitze des Gesamtklassements

Die Siemens AG kooperiert im Bereich kleinerer Photovoltaikwechselrichter mit der Refu Elektronik GmbH aus Metzingen. Deren Refusol-Baureihe versteht Siemens mit einem eigenen Gehäusedesign und vertreibt sie ansonsten unverändert als »Sinvert PVM«-Geräte: Die Typen Sinvert PVM10, PVM13, PVM17 und PVM20 mit AC-Nennleistungen zwischen 10.000 und 19.200 Watt entsprechen den Modellen Refusol 10K, 13K, 17K und 20K.

o Für Querleser

- Der Siemens Sinvert PVM20 ist ein dreiphasig einspeisender, trafoloser Wechselrichter mit 19,6 Kilowatt DC- und 19,2 Kilowatt AC-Nennleistung. Er ist baugleich mit dem Refusol 20K von Refu Elektronik.
- Das Gerät ist kompakt und leicht, es kann außen wie innen montiert werden. Zur Ausstattung gehören ein interner Datenlogger, diverse Schnittstellen und ein sehr informatives Display.
- Der MPP-Spannungsbereich reicht von 480 bis 850 Volt, kann allerdings nicht uneingeschränkt genutzt werden. Auch wegen des sehr geringen Überlastbereichs ist eine sorgfältige Anlagenauslegung erforderlich.
- Trotz trafoloser Topologie ist der PVM20 auch für First-Solar-Dünnschichtmodule freigegeben.

Das darf als kluger Einkauf gelten, denn damit hat Siemens vier absolute Spitzenprodukte im Programm. Der Sinvert PVM10 erhielt schon im November 2010 die Note »sehr gut +« vom PHOTON-Labor. Nach der zum Jahreswechsel vorgenommenen Änderung des Benotungsschemas wurde daraus ein »sehr gut«, der Platz unter den Top Ten aller bislang getesteten Wechselrichter bleibt aber erhalten (siehe Seite 99). Und die nun vorliegenden Resultate der drei übrigen Vertreter dieser Familie genügen ebenfalls höchsten Erwartungen. Die Testergebnisse des leistungsmäßig stärksten werden hier ausführlich vorgestellt, die Berichte für die beiden anderen folgen in leicht komprimierter Form auf Seite 66 und Seite 72.

Der Siemens Sinvert PVM20 wurde dem PHOTON-Labor im September 2010 im Rahmen der hierfür üblichen Testvereinbarung zur Verfügung gestellt und ist das einzige Gerät der »Sinvert PVM«-Baureihe, dessen Pendant aus dem Sortiment des eigentlichen Herstellers Refu Elektronik GmbH – nämlich der Refusol 20K – noch nicht im PHOTON-Labor getestet wurde. Das ist in gewisser Hinsicht schade für Refu, denn nun kann Siemens die Ehre des besten bislang ermittelten PHOTON-Wirkungsgrades exklusiv mit dem eigenen Namen verbinden. 97,5 Prozent für mittlere Einstrahlung sind noch ein Zehntelprozentpunkt mehr, als der bisherige Spitzenreiter Refusol 17K (PHOTON Profi 10-2010) und sein Siemens-Gegenpart Sinvert PVM17 (siehe Seite 66) erreichen konnten.

Photon	
DAS SOLARSTROM-MAGAZIN	
Siemens Sinvert PVM20	
sehr gut	
97,5 % für mittlere Einstrahlung	2/2011
www.photon.de	

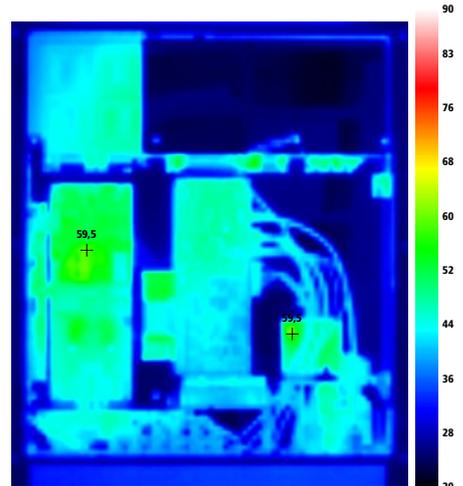
Photon	
DAS SOLARSTROM-MAGAZIN	
Siemens Sinvert PVM20	
sehr gut	
97,7 % für hohe Einstrahlung	2/2011
www.photon.de	

Aufbau

Wie alle Geräte der »Sinvert PVM«-Familie beruht der PVM20 auf einer Schaltung ohne Transformator und speist dreiphasig ins Stromnetz ein. Er hat zwar eine aufwendige Topologie, Aufbau und Anordnung der Bauteile sind aber sehr kompakt und fertigungsfreundlich. Das Gerät macht einen vollwertigen Eindruck und ist für einen dreiphasigen Wechselrichter dieser Leistungsklasse ausgesprochen leicht und klein.

Der innere Aufbau ist mehrlagig: Auf der vorderen Ebene befinden sich die Steuerplatine und die DC-Filterplatine mit dem Schaltnetzteil für die Hilfsspannungsversorgung, im hinteren Bereich eine große Leistungsteileiterkarte. Im oberen Teil des Geräts sind sieben Drosseln in einem separaten Teil des Gehäuses eingegossen: drei Sinusfilterdrosseln und vier Speicherdrosseln der Hochsetzsteller. Die Displayleiterkarte ist in der Gehäuseabdeckung montiert und durch eine durchsichtige Folie abgedeckt.

Die Leistungsteileiterkarte trägt alle Komponenten der eingangsseitigen DC-Wandler, den Spannungszwischenkreis mit den Elektrolytkondensatoren und die Ausgangsbrücken. Von ihrer Unterseite her sind die in drei separaten Modulgehäusen untergebrachten Leistungshalbleiter eingelötet. Ein großer, nicht zwangsbelüfteter Kühlkörper auf der Gehäuserückseite sorgt für die Temperierung der Halbleiter. Zusammen mit dem seitlichen Rahmen und der vorderen Abdeckung bildet er auch das Gehäuse. Der



▲ Das Innenleben des Sinvert PVM20 ist sehr kompakt organisiert. Das Wärmebild zeigt keinerlei Auffälligkeiten, wobei der Thermografiekamera allerdings der rückwärtig hinter den Leiterkarten platzierte Leistungsteil verborgen bleibt.

Sinvert PVM20 genügt der Schutzart IP 65, ist also für die Montage draußen oder in einem Gebäude geeignet.

Unterhalb der Leiterkarten befindet sich ein großer Lüfter, der die Innenbelüftung gewährleisten und Wärmester verhindern soll. Seine Lebensdauer ist mit 80.000 Stunden bei 40 Grad Celsius ausgewiesen. Sollte er dennoch ausfallen, lässt er sich ohne großen Aufwand austauschen.

Die eingesetzten Elektrolytkondensatoren im Leistungsteil und auch in der Steuerelektronik gehören der Temperaturklasse 105 Grad Celsius an und sind damit, bezogen auf die Umgebungstemperatur, gut ausgelegt.

Für die Sicherheit sorgt eine selbsttätige Freischaltstelle, die das Netz auf korrekte Spannung und Frequenz überprüft. Eine Isolationsprüfung des Solargenerators ermittelt den Isolationswiderstand zwischen den Generatoranschlüssen und der Erde. Zudem erfolgt die Prüfung des netzseitigen Ableitstromes. Unterhalb des Gehäuserahmens

neben den DC-Steckern besitzt der Sinvert PVM20 einen DC-Trennschalter.

Der Solargenerator wird durch sechs Paar MC4-Steckverbinder von Multi-Contact angeschlossen, zum Netzanschluss dient ein großer fünfpoliger Stecker von Phoenix Contact. Nach der Konfektionierung kann dieser mit zwei am Stecker vorhandenen Schrauben am Gehäuse befestigt werden. Daneben besitzt der Wechselrichter Anschlussmöglichkeiten für einen Einstrahlungs- und Temperatursensor, ein Relais (230 Volt / zwei Ampere AC) sowie drei Kommunikationsanschlüsse: RS485 (Ein- und Ausgang), USB und Ethernet.

Der Gerätezustand wird durch das Display und vier LEDs vermittelt. Über die USB- oder Ethernetchnittstelle können Daten ausgelesen und Updates der Firmware vorgenommen werden. Zusätzlich hat der Sinvert-Wechselrichter einen internen Datenlogger, der insgesamt 40 Messwerte aufnehmen kann. Diese müssen einzeln eingeschaltet und parametrisiert werden.

Als optionale Ausstattung sind ein größerer Netzanschlusstecker, alternative Steckverbinder für den Generatoranschluss sowie eine Fernüberwachung mithilfe verschiedener externer Geräte erhältlich.

Handhabung

Der PVM20 kommt, umgeben von dicken Pappen, gut verpackt und geschützt beim Anwender an. Eine Halterung ermöglicht die Wandmontage, die durch das für diese Leistungsklasse sehr geringe Gewicht von 41 Kilogramm erleichtert wird.

Ist der Solargenerator richtig ausgelegt und der DC-Freischalter betätigt, benötigt der Wechselrichter noch circa 126 Sekunden für verschiedene Tests, bevor er ans Netz geht.

Seine Arbeit lässt sich auf einem gut ablesbaren, in der Ebene der Frontabdeckung liegenden Display mit weißer Hintergrundbeleuchtung verfolgen, das seine Informationen wahlweise auf Deutsch, Englisch, Französisch, Italienisch,

Neues Benotungsschema

Seit Januar 2011 haben wir unser Benotungsschema für die im PHOTON-Labor getesteten Wechselrichter verschärft. Wir haben die Benotung damit der fortschreitenden Entwicklung der Geräte angepasst. Ein vor Januar 2011 mit »sehr gut« benotetes Gerät wird jetzt nur noch als »gut« geführt. In der Übersichtstabelle am Ende des Heftes listen wir die bis Dezember 2010 getesteten Geräte bis auf Weiteres so-

wohl mit der alten als auch mit der neuen Note.

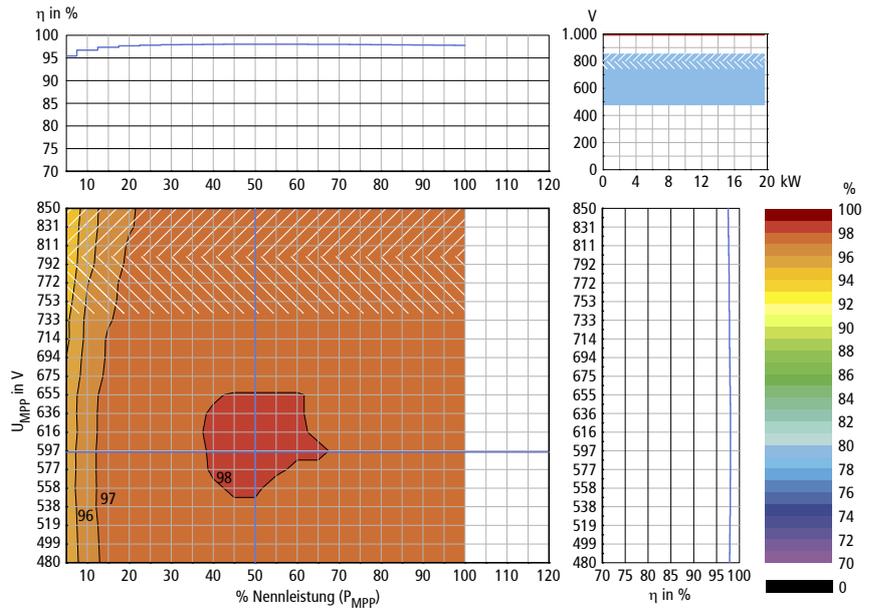
Möglich ist diese Umstellung, weil die Benotung allein auf Basis des PHOTON-Wirkungsgrades erfolgt. Andere Eigenschaften der Wechselrichter sind in den Testberichten zwar beschrieben, werden aber nicht benotet. Bei immer besseren Wirkungsgraden sind daher auch künftig Verschärfungen der Benotung möglich.

Das aktuelle Schema führt zu folgenden Noten:

- ≥ 99,0 %: sehr gut ++ (vorher sehr gut ++)
- < 99,0 %: sehr gut + (vorher sehr gut ++)
- < 98,0 %: sehr gut (vorher sehr gut +)
- < 96,5 %: gut (vorher sehr gut)
- < 95,0 %: befriedigend (vorher gut)
- < 93,5 %: ausreichend (vorher befriedigend)
- < 92,0 %: mangelhaft (vorher ausreichend)

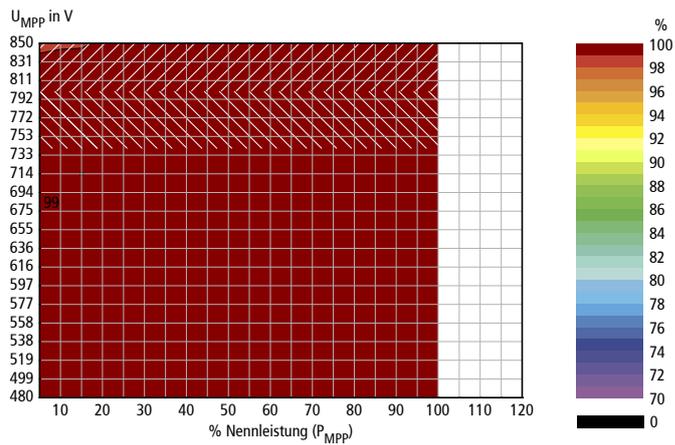
Umwandlungswirkungsgrad

► Der PVM20 hält Umwandlungswirkungsgrade von 97 Prozent und höher noch konstanter durch als die beiden anderen Testkandidaten PVM17 und PVM13



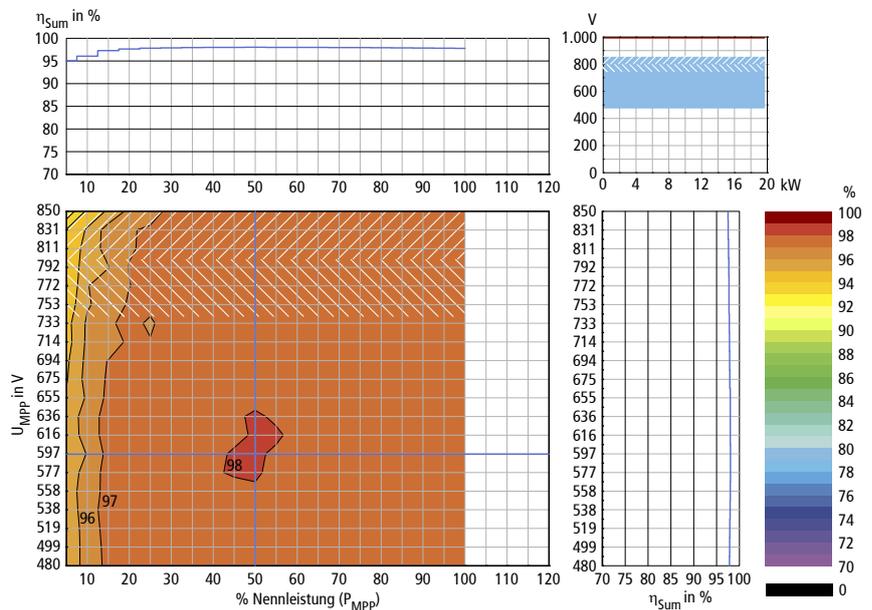
× MPPT-Anpassungswirkungsgrad

► Auch beim MPPT-Tracking kann der größte der Baureihe sich einen – wenn auch nur hauchdünnen – Vorsprung vor den Markenbrüdern erarbeiten



= Gesamtwirkungsgrad

► Als Produkt von Umwandlungs- und MPPT-Anpassungswirkungsgrad verläuft der Gesamtwirkungsgrad des PVM20 auf konstant hohem Niveau



Spanisch oder Tschechisch bietet. Mit Hilfe von acht Tasten lassen sich Einstellungen vornehmen. Neben diversen Status- und Fehlermeldungen gibt es eine »Default«-Anzeige mit den Istwerten von AC-Leistung und -Spannung sowie DC-Spannung und Tagesenergieertrag. Ein weiteres Menü liefert die Istwerte von DC-Leistung, -Spannung und -Strom, AC-Leistung, -Spannung und -Strom sowie die AC-Frequenz. Auch die Temperatur von Kühler und Innenraum sind abrufbar. Wenn entsprechende Sensoren angeschlossen sind, erscheinen außerdem die Einstrahlung und die Modultemperatur auf dem Display.

In der Anzeige sind auch der absolute oder der normierte Ertrag als Tages-, Monats-, Jahres- und Gesamtsumme abrufbar. Des Weiteren kann die eingespeiste Leistung des Tages oder der vergangenen Tage auch per Säulendiagramm angezeigt werden. Alles in allem liefert der Sinvert damit sehr viele Messwerte in übersichtlicher Form.

Bedienungsanleitung

Zum Lieferumfang gehören eine Betriebsanleitung in Druckform und auf der beigelegten CD sowie verschiedene Zertifikate. Die Anleitung gibt es in den oben genannten Displaysprachen und zusätzlich auf Griechisch, Koreanisch und Portugiesisch. Eine Kurzfassung ist für den schnellen Anschluss des Wechselrichters vorgesehen, sie enthält neben allgemeinen Erläuterungen und technischen Daten Hinweise zu Montage, Anschluss und Inbetriebnahme. Zur Menüführung gibt es eine Übersichtsgrafik. Des Weiteren sind die Bedienung des Displays, der Netzanschluss und der DC-Anschluss erläutert.

Die Kurzfassung und die ausführliche Bedienungsanleitung sowie die technischen Daten können auch von der Website des Herstellers heruntergeladen werden.

Schaltungsaufbau

Der Schaltungsaufbau ist im Prinzip zweistufig, entspricht aber keiner klassischen Topologie. Zunächst gelangt die Energie des Photovoltaikgenerators über einen Funkentstörfilter in die Leistungsstufe. Dort sitzt ein zweigeteilter Zwischenkreiskondensator, dessen Mittelpunkt mit dem N-Leiter des Netzes verbunden ist. Zwei dreiphasige Ausgangsbrücken sind ausgangsseitig parallel geschaltet; die erste ist spannungsmäßig direkt mit dem DC-Eingang verbunden,

die zweite wird über zwei in der Plus- und der Minusleitung des DC-Eingangs platzierte Hochsetzsteller versorgt, die wiederum einen weiteren zweigeteilten Zwischenkreiskondensator speisen.

Die Modulation für die Sinuswellen wird nun so zwischen diesen beiden Ausgangsbrücken aufgeteilt, dass beide nur einen Teil des Spannungshubes zur Erzeugung des sinusförmigen Stroms in den Ausgangsdrosseln durchführen. Dadurch werden die Verluste in den Leistungstransistoren und in den Ausgangsdrosseln reduziert. Zudem gibt es im Ausgang für jede Phase einen Freilaufzweig, der verhindert, dass die in den Ausgangsdrosseln gespeicherte Energie zum Zwischenkreiskondensator zurückfließt und zusätzliche Verluste bewirkt. Ein nachfolgender Filter glättet die modulierten Spannungsblöcke zur sinusförmigen Spannung mit einer Frequenz von 50 Hertz. Auftretende Funkstörungen beseitigt ein Ausgangsfilter, der direkt vor den Netzklemmen angeordnet ist.

Die vielen Schaltungskomponenten sind zwar sehr aufwendig, verhelfen dem Sinvert aber zu einem hohen Wirkungsgrad und guten EMV-Eigenschaften. Überdies stellt sich das DC-Potenzial an den DC-Anschlussklemmen symmetrisch zum Erdpotenzial ein.

Messungen

Alle nachfolgenden Messungen beziehen sich auf eine Netzspannung von 230 Volt. Die maximale DC-Spannung des Sinvert PVM20 beträgt 1.000 Volt. Die DC-Nennleistung und damit auch die maximal anschließbare Generatorleistung liegt bei 19.600 Watt.

Für MPP-Spannungen über 790 Volt musste bei den Messungen die Leerlaufspannung des Simulators begrenzt werden, weil diese bei einem Kennlinienfüllfaktor von 75 Prozent bereits höher als 950 Volt und somit nahe der maximalen DC-Spannung des PVM20 ist.

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 655 Volt benötigt der Wechselrichter nach Ablauf der etwa 126 Sekunden zum Aufschalten auf das Netz noch rund 28 Sekunden, bis er den MPP erreicht. Der Wechsel von 655 Volt in den nächstniedrigeren MPP-Bereich (636 Volt) dauert zehn Sekunden, der Wechsel in den nächsthöheren Bereich (675 Volt) circa acht Sekunden.

MPP-Bereich: Der MPP-Bereich reicht von 480 bis 850 Volt und entspricht

Kommentar des Herstellers

Die hohe MPP-Grenze war in erster Linie für Konzentratorphotovoltaik oder Hocheffizienzmodule (Füllfaktor 80 bis 85) notwendig. Weiterhin gibt es einige alte Modultypen zum Beispiel von Siemens, die einen Füllfaktor über 80 haben, sodass der MPP-Bereich bis circa 820 Volt benötigt wird.

Durch Wolken bedingte Einstrahlungsspitzen werden nur bei einer Unterdimensionierung des Wechselrichters übertragen. Eine Gerätevariante mit gesplittetem MPP-Bereich wird zum jetzigen Zeitpunkt als nicht wirtschaftlich angesehen.

Die von PHOTON angegebenen Wirkungsgrade wurden unter Berücksichtigung von Messtoleranzen ebenso vom AIT (Austrian Institute of Technology) validiert. Unter Berücksichtigung dieser Messtoleranzen passen die von Ihnen gemessenen Werte.

dem eines Weitbereich-Wechselrichters. Die maximale MPP-Spannung von 850 Volt liegt bei heutigen Füllfaktoren aber zu nah an der maximalen Eingangsspannung von 1.000 Volt. In den Grafiken zu Umwandlungs-, MPPT-Anpassungs- und Gesamtwirkungsgrad weist deshalb ein schraffierter Bereich auf Einschränkungen ab ungefähr 800 Volt für kristalline und bereits ab ungefähr 740 Volt für Dünnschichtmodule hin.

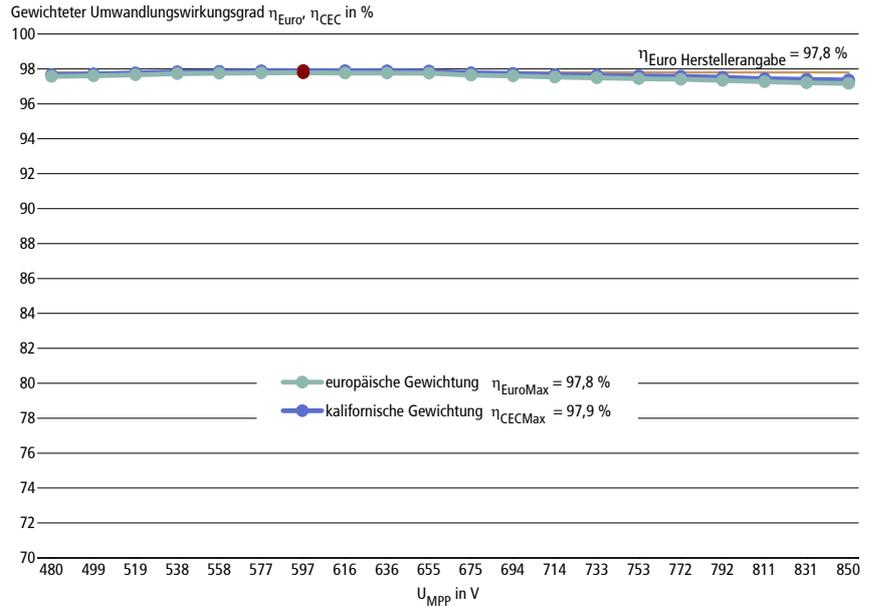
Umwandlungswirkungsgrad: Im Diagramm treffen die senkrechte Linie bei 50 Prozent der Nennleistung und die waagerechte Linie bei 597 Volt MPP-Spannung einander im Wirkungsgradmaximum von 98,0 Prozent. Die Herstellerangabe von 98,2 Prozent zum maximalen Wirkungsgrad wurde damit nicht ganz erreicht.

Der Bereich mit ungefähr gleich hohen Werten bildet im Diagramm ein Plateau zwischen den MPP-Spannungen von 558 bis 655 Volt und im Bereich von rund 37 bis 65 Prozent der Nennleistung. Im weitaus größten Teil des Arbeitsbereichs liegen die Werte zudem bei 97 Prozent und höher, die Abnahme zu großen MPP-Spannungen hin beträgt nur circa 0,5 und zu kleinen lediglich 0,3 Prozentpunkte. Erst bei Leistungen unterhalb von ungefähr 15 Prozent der Nennleistung fällt der Wirkungsgrad etwas deutlicher, aber auch nicht mehr als circa 2,5 bis 3,5 Prozentpunkte. Es stellte sich bei Nennleistung ein Leistungsfaktor $\cos \phi$ von circa eins ein.

Gewichteter Umwandlungswirkungsgrad: Der Europäische Wirkungsgrad des PVM20 erreicht seinen Höchstwert bei

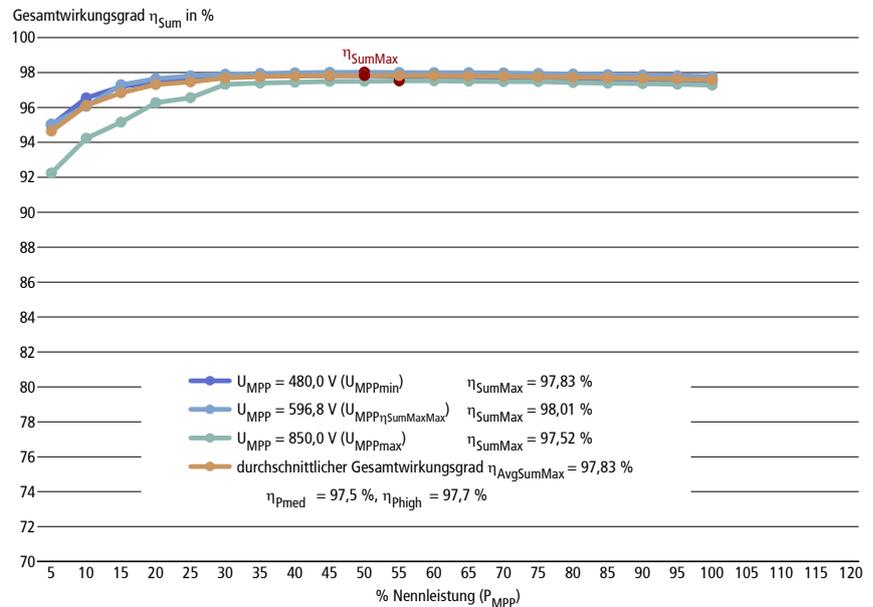
Gewichteter Umwandlungswirkungsgrad

► Die Kurven des Europäischen und Kalifornischen Wirkungsgrades laufen nahezu waagrecht und stets oberhalb von 97 Prozent, der vom Hersteller angegebene Höchstwert für europäische Gewichtung von 97,8 Prozent wird in den Messungen bestätigt



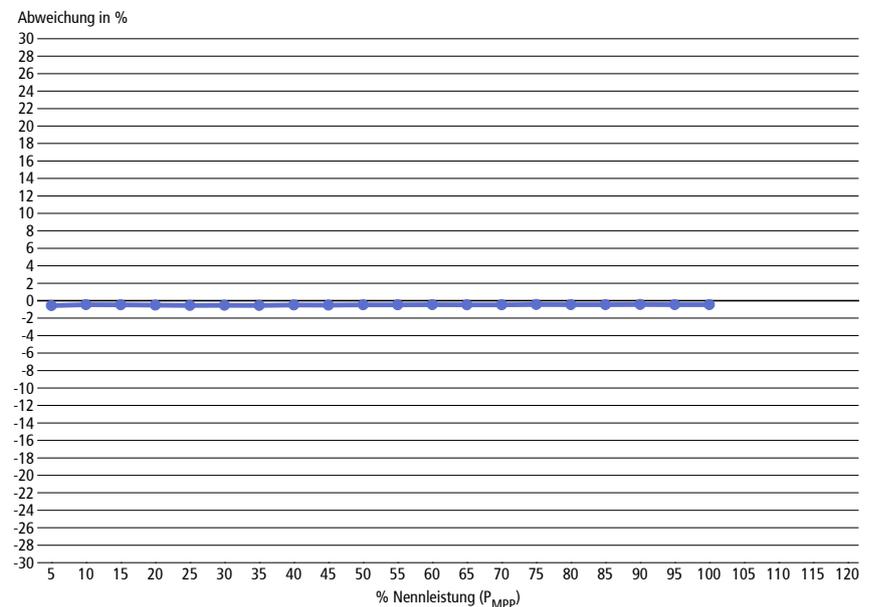
Gesamtwirkungsgrad bei unterschiedlichen Spannungen

► Noch besser als beim PVM13 und PVM17 stellt sich der Verlauf des Gesamtwirkungsgrades bei unterschiedlichen Spannungen dar; selbst die relativ schwächste (grüne) Kurve bei 850 Volt hat ihren Startpunkt bei 92 Prozent, steigt schnell an und hält dann ihr Niveau



Genauigkeit der Wechselrichteranzeige

► Die Leistungsmessung und -anzeige des PVM20 gibt keinen Grund zur Beanstandung, die Abweichung liegt bei maximal 0,6 Prozent



597 Volt MPP-Spannung und entspricht mit 97,8 Prozent der Herstellerangabe. Die Differenz zwischen maximalem Umwandlungswirkungsgrad und maximalem Europäischem Wirkungsgrad beträgt nur 0,2 Prozentpunkte. Der Kalifornische Wirkungsgrad erreicht sein Maximum von 97,9 Prozent ebenfalls bei 597 Volt MPP-Spannung.

MPPT-Anpassungswirkungsgrad: Der MPPT-Anpassungswirkungsgrad ist über den gesamten Arbeitsbereich gleichmäßig hoch. Nur bei kleinen Leistungen im obersten Spannungsbereich gibt es eine winzige Zone, in der die MPP-Leistung unter 99 Prozent der vorgegebenen Leistung sinkt.

Gesamtwirkungsgrad: Als Produkt aus Umwandlungswirkungsgrad und MPPT-Anpassungswirkungsgrad verläuft auch der Gesamtwirkungsgrad gleichmäßig auf hohem Niveau. Im Farbdiagramm markieren die senkrechte Linie bei 50 Prozent der Nennleistung und die waagerechte Linie bei 597 Volt MPP-Spannung das Gesamtwirkungsgradmaximum von 98,0 Prozent.

Gesamtwirkungsgradverläufe, durchschnittlicher Gesamtwirkungsgrad und PHOTON-Wirkungsgrad: Der PHOTON-Wirkungsgrad für mittlere Einstrahlung liegt bei 97,5 Prozent, der PHOTON-Wirkungsgrad für hohe Einstrahlung bei 97,7 Prozent. Beides entspricht der Note »sehr gut« und ist der beste Wert aller bislang von PHOTON getesteten Wechselrichter. Ermöglicht wird dieses Resultat durch hohe Maximalwerte, vor allem aber durch den raschen Anstieg und gleichmäßigen Verlauf des Gesamtwirkungsgrads. Bei hohen Spannungen (im Diagramm anhand der grünen Kurve für 850 Volt dargestellt) beginnt der Wirkungsgradverlauf bei rund 92 Prozent und erreicht Werte oberhalb von 97 Prozent ab ungefähr 30 Prozent der Nennleistung. Bei niedrigen Spannungen (die blaue Kurve für 420 Volt) beginnt der Anstieg sogar bei rund 95 Prozent und verläuft danach noch schneller.

Einspeisung der Nennleistung: Der Wechselrichter speist über den Eingangsspannungsbereich von 480 Volt bis 850 Volt und bei einer Umgebungstemperatur von 25 Grad Celsius 100 Prozent seiner Nennleistung ein.

Angezeigte Ausgangsleistung: Bei konstanter MPP-Spannung von 655 Volt, also im mittleren Bereich, weicht die vom PVM20 gemessene und angezeigte Leistung im Bereich zwischen 5 und 100 Prozent der Nennleistung nur sehr wenig von den parallel erfassten Werten ei-

nes Leistungsanalysators ab: Bei kleinen Leistungen liegt der Fehler bei knapp minus 0,6 Prozent, ab 20 Prozent der Nennleistung im Bereich von minus 0,4 bis minus 0,5 Prozent. Damit entspricht die Anzeigegenauigkeit einem Stromzähler der Genauigkeitsklasse B (früher Genauigkeitsklasse 1).

Betrieb bei höherer Umgebungstemperatur: Der Wechselrichter speist bei DC-Nennleistung (19.600 Watt) und 655 Volt MPP-Spannung bis zu einer Umgebungstemperatur von 56,4 Grad Celsius mit 100 Prozent seiner Nennleistung ins Netz ein. Dann reduziert er die Leistung, der Wirkungsgrad sinkt sehr geringfügig um circa 0,1 Prozentpunkte. Diese Leistungsreduzierung tritt erst außerhalb des von minus 25 bis plus 55 Grad Celsius reichenden Temperaturbereichs auf und muss bei der Wahl des Montageorts für den PVM20 nicht berücksichtigt werden. Der sehr weite Temperaturbereich und die Gehäuseschutzart IP 65 ermöglichen einen Einsatz an tendenziell warmen Orten (zum Beispiel unter dem Dach) ebenso wie im Freien.

Überlastverhalten: Bietet man dem Sinvert PVM20 bei 655 Volt MPP-Spannung und einer Umgebungstemperatur von circa 25,1 Grad Celsius eine Überlast in Höhe des 1,3-fachen seiner Eingangsnennleistung an, also 25.480 Watt, begrenzt er auf circa 19.820 Watt. Dies entspricht 101,1 Prozent seiner DC-Nennleistung (19.600 Watt), der Überlastbereich des Wechselrichters ist also sehr klein. Bei dieser Leistungsbegrenzung verschiebt das Gerät den Arbeitspunkt auf der Kennlinie in Richtung höhere Eingangsspannung, und die DC-Spannung stellt sich auf einen Wert von circa 733 Volt ein.

Eigen- und Nachtverbrauch: Der Eigenverbrauch des PVM20 beträgt im getesteten Grundbauzustand circa 0,5 Watt auf der AC-Seite und maximal 28 Watt auf der DC-Seite. Der Hersteller macht hierzu keine Angaben. Nachts zieht der Wechselrichter rund 0,5 Watt Wirkleistung aus dem Netz, hier gibt der Hersteller »kleiner als 0,5 Watt« an.

Thermografie: Die Thermografie zeigt eine Draufsicht des Wechselrichters, während er bei einer Umgebungstemperatur von 22,8 Grad Celsius mit Nennleistung arbeitet. Durch den mehrlagigen Aufbau ist der Leistungsteil zum großen Teil unter einer Blechplatte verdeckt. Somit können nur völlig unerhebliche Temperaturerhöhungen beobachtet werden. Die maximale beobachtete Oberflächentemperatur betrug 59,5 Grad Celsius.

Fazit

Der Siemens Sinvert PVM20 erlangt den neuen ersten Platz unter den bislang von PHOTON getesteten Wechselrichtern; eine Ehre, die eigentlich der Refu Elektronik GmbH als der eigentlichen Herstellerin des Geräts gebührt. Der baugleiche Refusol 20K wurde aber dem Testlabor noch nicht zur Verfügung gestellt.

Der Aufbau des PVM20 ist kompakt und fertigungsfreundlich, zudem ist er für ein dreiphasiges Gerät dieser Leistung sehr leicht. Es gibt eine große Anzahl von integrierten Kommunikationsmöglichkeiten und mit dem internen Datenlogger und dem grafikfähigen Display eine gute Möglichkeit für statistische Bewertungen. Messung und Anzeige der Ausgangsleistung sind sehr genau.

Der maximale Umwandlungswirkungsgrad beträgt 98,0 Prozent, der Verlauf ist über den gesamten Spannungsbereich und Leistungsbereich sehr konstant. Bedingt durch den sehr gleichmäßigen und hohen MPPT-Anpassungswirkungsgrad ergibt sich für den Gesamtwirkungsgradverlauf ein sehr ähnlicher Verlauf wie beim Umwandlungswirkungsgrad. Kleine Schwächen zeigen sich lediglich bei niedriger Leistung im oberen MPP-Spannungsbereich. Als Ergebnis dieser gleichmäßigen Arbeit beträgt der PHOTON-Wirkungsgrad für mittlere Einstrahlung trotz des weiten Spannungsbereiches sehr gute 97,5 Prozent, der PHOTON-Wirkungsgrad für hohe Einstrahlung liegt sogar noch etwas höher bei 97,7 Prozent.

Der MPP-Spannungsbereich ist sehr weit, hat aber Einschränkungen im oberen Teil, weil der Abstand zwischen maximaler DC-Spannung und maximaler MPP-Spannung zu gering ausgelegt ist. Für die Auslegung des MPP einer Photovoltaikanlage kann der MPP-Spannungsbereich bis circa 740 Volt gewählt werden.

Der Wechselrichter besitzt praktisch keine Überlastfähigkeit. Der Temperaturbereich ist hingegen sehr weit, eine Leistungsabregelung trat nicht auf. Die Temperaturabhängigkeit des Umwandlungswirkungsgrades ist mit minus 0,1 Prozent sehr gering.

Als trafoloses Gerät ist der PVM20 grundsätzlich nur für kristalline Module geeignet. Es liegt aber eine Freigabe für die Verwendung von First-Solar-Dünnschichtmodulen vor, eine weitere Freigabe für Module von United Solar Ovonic (Uni-Solar) soll folgen.

| Heinz Neuenstein, Jochen Siemer

Den Erwartungen entsprechend

Der Siemens Sinvert PVM17 ist baugleich mit dem Refusol 17K. Ob er auch die gleiche hervorragende Arbeit leistet, musste er im PHOTON-Labor unter Beweis stellen.



Gemeinsam mit dem Sinvert PVM20 und dem PVM13 traf der PVM17 im vergangenen September im PHOTON-Labor ein. Auch dieses Gerät wurde vom Hersteller im Rahmen der hierfür üblichen Vereinbarung zur Verfügung gestellt. Ebenso wie beim großen Bruder durfte man erwarten, dass der Siemens-Inverter die hervorragenden Resultate des baugleichen Refusol 17K kopiert – was er dann auch getan hat.

Aufbau

Der Aufbau gleicht dem Sinvert PVM20 (siehe Seite 60).

o Für Querleser

- Der Siemens Sinvert PVM17 ist ein dreiphasig einspeisender, trafoloser Wechselrichter mit 16,8 Kilowatt DC- und 16,5 Kilowatt AC-Nennleistung. Er ist baugleich mit dem Refusol 17K von Refu Elektronik.
- Der Aufbau, die wesentlichen Eigenschaften und auch die Testergebnisse unterscheiden sich, ebenso wie beim Sinvert PVM13 (siehe Seite 72), nur in Details vom Sinvert PVM20 (siehe Seite 60)

Handhabung

Die Handhabung gleicht dem Sinvert PVM20 (siehe Seite 61).

Bedienungsanleitung

Die Bedienungsanleitung gleicht dem Sinvert PVM20 (siehe Seite 63).

Schaltungsaufbau

Der Schaltungsaufbau gleicht dem Sinvert PVM20 (siehe Seite 63).

Messungen

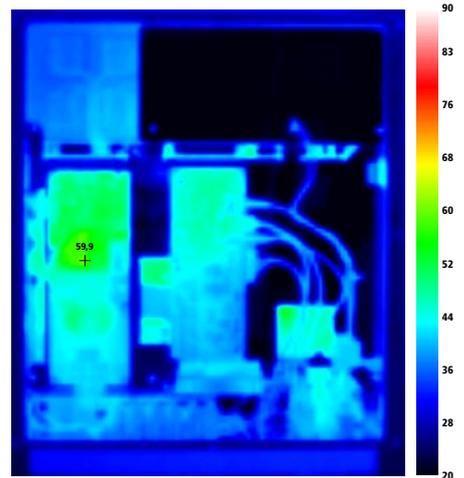
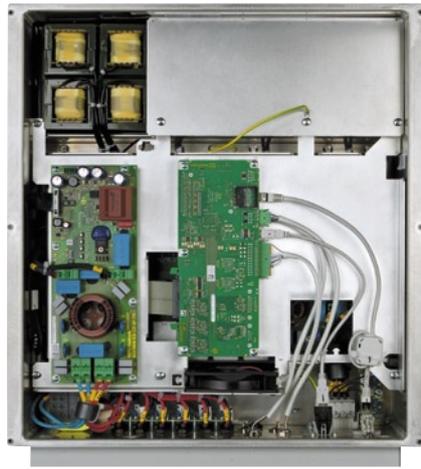
Alle nachfolgenden Messungen beziehen sich auf eine Netzspannung von 230 Volt. Die maximale DC-Spannung des Sinvert PVM17 beträgt 1.000 Volt. Die DC-Nennleistung und damit auch die maximal anschließbare Generatorleistung liegt bei 16.800 Watt.

Für MPP-Spannungen über 788 Volt musste bei den Messungen die Leerlaufspannung des Simulators begrenzt werden, weil diese bei einem Kennlinienfüllfaktor von 75 Prozent bereits höher als 970 Volt und somit nahe der maximalen DC-Spannung des PVM17 ist.

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 679 Volt benötigt der Wechselrichter nach Ablauf der etwa 126 Sekunden zum Aufschalten auf das Netz noch weitere rund 33 Sekunden, bis er den MPP erreicht. Der Wechsel von 679 Volt in den nächstniedrigen MPP-Bereich (662 Volt) dauert acht Sekunden, der Wechsel in den nächsthöheren Bereich (696 Volt) circa fünf Sekunden.

MPP-Bereich: Der MPP-Bereich reicht von 460 bis 850 Volt und entspricht dem eines Weitbereich-Wechselrichters. Die maximale MPP-Spannung von 850 Volt liegt bei heutigen Füllfaktoren aber zu nah an der maximalen Eingangsspannung von 1.000 Volt. In den Grafiken zu Umwandlungs-, MPPT- und Gesamtwirkungsgrad weist deshalb ein schraffierter Bereich auf Einschränkungen ab ungefähr 800 Volt für kristalline und bereits ab ungefähr 740 Volt für Dünnschichtmodule hin.

Umwandlungswirkungsgrad: Im Diagramm treffen die senkrechte Linie bei 55 Prozent der Nennleistung und die waagerechte Linie bei 645 Volt MPP-Spannung einander im Wirkungs-



▲ Äußere Form und innerer Aufbau des Sinvert PVM17 unterscheiden sich nicht von den übrigen Modellen der Baureihe. Die Thermografie ist auch bei diesem Gerät komplett unspektakulär, allerdings wegen des verdeckten Leistungsteils nur von eingeschränkter Aussagekraft.

gradmaximum von 98,0 Prozent. Die Herstellerangabe von 98,2 Prozent zum maximalen Wirkungsgrad wurde damit nicht ganz erreicht.

Der Bereich mit ungefähr gleich hohen Werten bildet im Diagramm ein kleines Plateau zwischen den MPP-Spannungen von 563 bis 665 Volt und im Bereich von 40 bis 75 Prozent der Nennleistung. Im weitaus größten Teil des Arbeitsbereichs liegen die Werte zudem bei 97 Prozent und höher, die Abnahme zu großen MPP-Spannungen hin beträgt nur circa 0,5 und zu kleinen lediglich 0,3 Prozentpunkte. Erst bei Leistungen unterhalb von 15 Prozent der Nennleistung fällt der Wirkungsgrad deutlicher, aber auch nicht mehr als circa 3,5 Prozentpunkte. Es stellte sich bei Nennleistung ein Leistungsfaktor $\cos \phi$ von circa eins ein.

Gewichteter Umwandlungswirkungsgrad: Der Europäische Wirkungsgrad des PVM17 erreicht seinen Höchstwert bei 604 Volt MPP-Spannung und liegt dabei mit 97,7 Prozent nah an der Herstellerangabe von 97,8 Prozent. Die Differenz zwischen maximalem Umwandlungswirkungsgrad und maximalem Europäischem Wirkungsgrad beträgt nur 0,3 Prozentpunkte. Der Kalifornische Wirkungsgrad erreicht

sein Maximum von 97,9 Prozent ebenfalls bei 604 Volt MPP-Spannung.

MPPT-Anpassungswirkungsgrad: Der MPPT-Anpassungswirkungsgrad ist über nahezu den gesamten Arbeitsbereich gleichmäßig hoch. Zwischen circa 10 und 100 Prozent der Nennleistung beträgt die MPP-Leistung des Wechselrichters im gesamten Spannungsbereich über 99 Prozent der vorgegebenen Leistung. Abweichungen gibt es nur bei kleinen Leistungen in der oberen Spannungshälfte.

Gesamtwirkungsgrad: Als Produkt aus Umwandlungswirkungsgrad und MPPT-Anpassungswirkungsgrad verläuft auch der Gesamtwirkungsgrad gleichmäßig auf hohem Niveau. Im Farbdiagramm markieren die senkrechte Linie bei 55 Prozent der Nennleistung und die waagerechte Linie bei 645 Volt MPP-Spannung das Gesamtwirkungsgradmaximum von 98,0 Prozent.

Gesamtwirkungsgradverläufe, durchschnittlicher Gesamtwirkungsgrad und PHOTON-Wirkungsgrad: Der PHOTON-Wirkungsgrad für mittlere Einstrahlung liegt bei 97,4 Prozent, der PHOTON-Wirkungsgrad für hohe Einstrahlung bei 97,7 Prozent. Beides entspricht der Note »sehr gut«. Ermöglicht wird dieses Resultat durch hohe

Maximalwerte, vor allem aber den raschen Anstieg und gleichmäßigen Verlauf des Gesamtwirkungsgrads. Nur bei hohen Spannungen (im Diagramm anhand der grünen Kurve für 850 Volt dargestellt) beginnt der Wirkungsgradverlauf relativ weit unten bei rund 86 Prozent und erreicht das Plateau von 97 Prozent erst ab ungefähr 40 Prozent der Nennleistung.

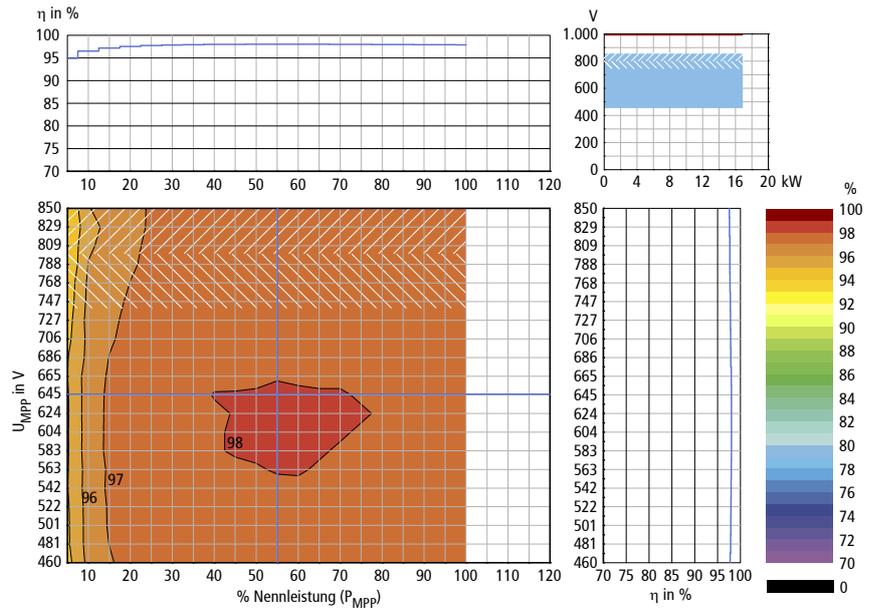
Einspeisung der Nennleistung: Der Wechselrichter speist über den Eingangsspannungsbereich von 460 Volt bis 850 Volt und bei einer Umgebungstemperatur von 25 Grad Celsius 100 Prozent seiner Nennleistung ein.

Angezeigte Ausgangsleistung: Bei konstanter MPP-Spannung von 679 Volt, also im mittleren Bereich, weicht die vom PVM17 gemessene und angezeigte Leistung im Bereich zwischen 5 und 100 Prozent der Nennleistung nur sehr wenig von den parallel erfassten Werten eines Leistungsanalysators ab: Bei kleinen Leistungen liegt der Fehler bei circa minus 0,5 Prozent, ab 20 Prozent der Nennleistung im Bereich von minus 0,8 Prozent. Damit entspricht die Genauigkeit der Anzeige einem Stromzähler der Genauigkeitsklasse B (früher Genauigkeitsklasse 1).

Betrieb bei höherer Umgebungstemperatur: Der Wechselrichter speist bei DC-

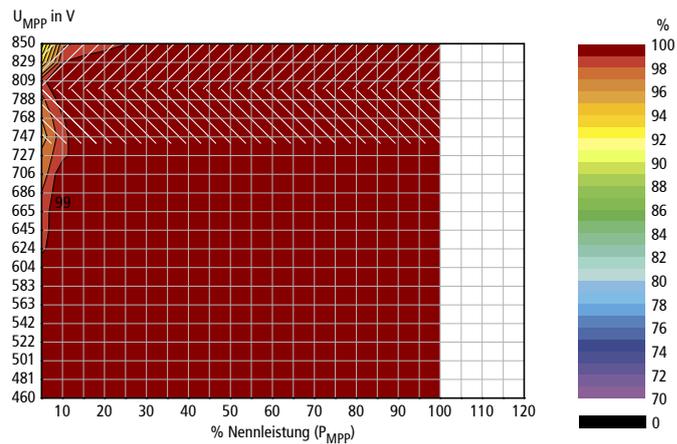
Umwandlungswirkungsgrad

► Ab 25 Prozent der Nennleistung – und bei Spannungen unter 700 Volt auch schon deutlich früher – arbeitet der PVM17 durchweg oberhalb von 97 Prozent Umwandlungswirkungsgrad



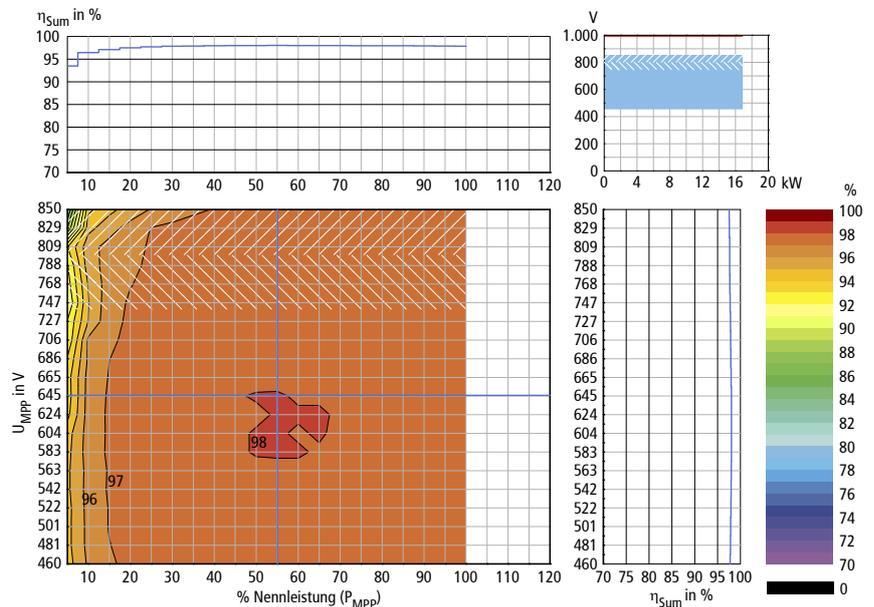
× MPPT-Anpassungswirkungsgrad

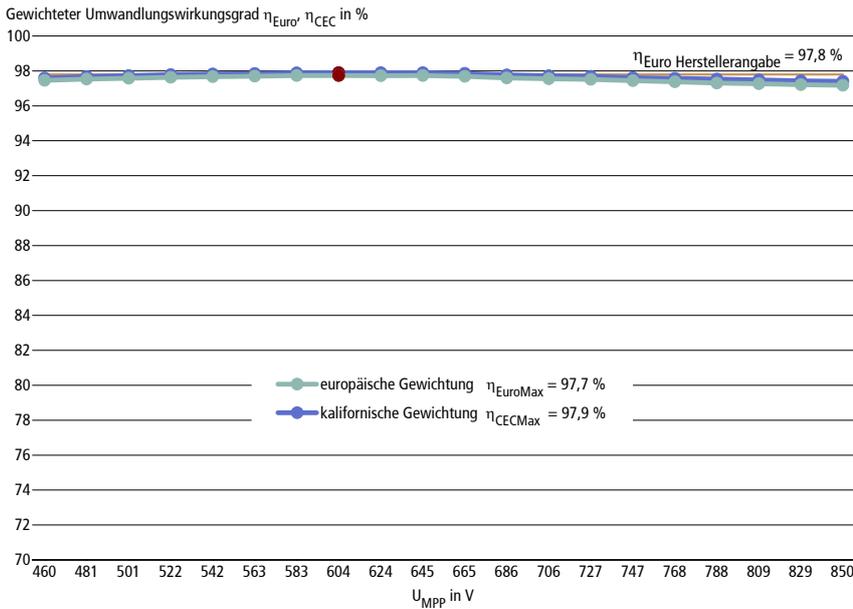
► Das MPP-Tracking offenbart nur im unteren Leistungsbereich bei hohen Spannungen leichte Schwächen



= Gesamtwirkungsgrad

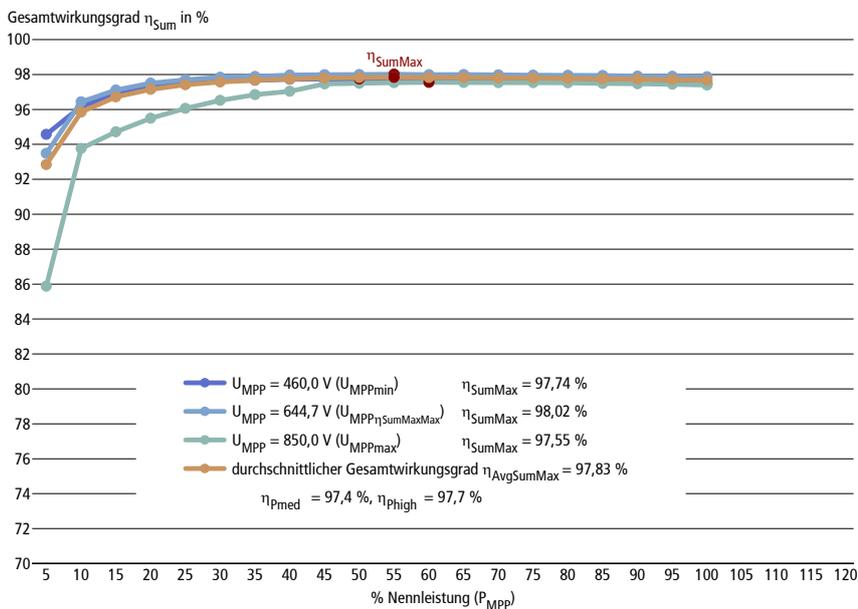
► Als Resultat entstehen sehr gleichmäßig und auf hohem Niveau verlaufende Gesamtwirkungsgrade





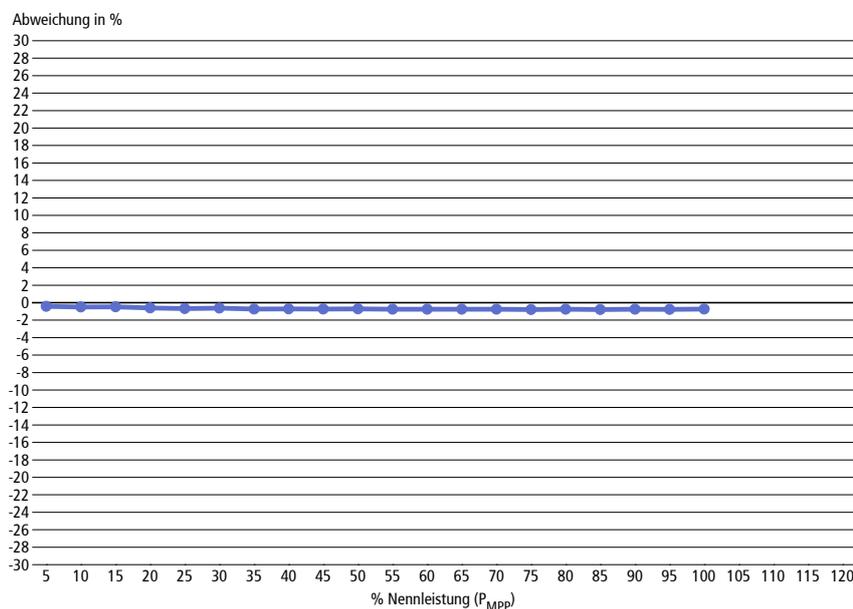
Gewichteter Umwandlungswirkungsgrad

◀ Der Europäische und der Kalifornische Wirkungsgrad verlaufen sehr konstant in der Nähe des maximalen Gesamtwirkungsgrades von 98 Prozent



Gesamtwirkungsgrad bei unterschiedlichen Spannungen

◀ Bei hohen MPP-Spannungen (grüne Kurve bei 850 Volt) kommt der Gesamtwirkungsgrad etwas zögerlich auf die Beine, sonst aber ist der PVM17 sofort hellwach und hält seine hohen Werte mit beachtlicher Konstanz – die Basis für die sehr guten Werte zum PHOTON-Wirkungsgrad



Genauigkeit der Wechselrichteranzeige

◀ Die Messungen zur Genauigkeit der Leistungsangabe offenbaren die einzige größere Diskrepanz zwischen dem Sinvert und seinem baugleichen Vetter von Refu. Bei Letzterem zeigte das Testgerät bei kleinen Leistungen einige Abweichungen, die bei der Siemens-Version nicht festgestellt werden konnten: Der PVM misst durchweg sehr akkurat.

Nennleistung (16.800 Watt) und 679 Volt MPP-Spannung bis zu einer Umgebungstemperatur von 51,2 Grad Celsius mit 100 Prozent seiner Nennleistung ins Netz ein. Dann reduziert er die Leistung, der Wirkungsgrad sinkt geringfügig um circa 0,2 Prozentpunkte. Die Leistungsreduzierung sollte bei der Wahl des Montageorts für den PVM17 berücksichtigt werden. Ansonsten ermöglichen der sehr weite Temperaturbereich von minus 25 bis plus 55 Grad Celsius und die Gehäuseschutzart IP 65 einen Einsatz an tendenziell warmen Orten (zum Beispiel unter dem Dach) ebenso wie im Freien.

Überlastverhalten: Bietet man dem Sinvert PVM17 bei 679 Volt MPP-Spannung und einer Umgebungstemperatur von circa 25,4 Grad Celsius eine Überlast in Höhe des 1,3-Fachen seiner Eingangsnennleistung an, also 21.840 Watt, begrenzt er auf circa 17.102 Watt. Dies entspricht lediglich 101,8 Prozent seiner DC-Nennleistung (16.800 Watt), der Überlastbereich des Wechselrichters ist also sehr klein. Bei dieser Leis-

tungsbegrenzung verschiebt das Gerät den Arbeitspunkt auf der Kennlinie in Richtung höherer Eingangsspannung, und die DC-Spannung stellt sich auf einen Wert von circa 758 Volt ein.

Eigen- und Nachtverbrauch: Der Eigenverbrauch des PVM17 beträgt im getesteten Grundbauzustand etwa 0,5 Watt auf der AC-Seite und maximal 31 Watt auf der DC-Seite. Der Hersteller macht hierzu keine Angaben. Nachts zieht der Wechselrichter rund 0,6 Watt Wirkleistung aus dem Netz, hier gibt der Hersteller nur »kleiner als 0,5 Watt« an.

Thermografie: Die Thermografie zeigt eine Draufsicht des Wechselrichters, während er bei einer Umgebungstemperatur von 23 Grad Celsius mit Nennleistung arbeitet. Durch den mehrlagigen Aufbau ist der Leistungsteil zum großen Teil unter einer Blechplatte verdeckt. Daher können nur völlig unerhebliche Temperaturerhöhungen beobachtet werden. Die maximale beobachtete Oberflächentemperatur betrug 59,9 Grad Celsius.

Fazit

Die Beurteilung des Siemens Sinvert PVM17 unterscheidet sich nur in Nuancen vom Sinvert PVM20, auch der Kommentar des Herstellers zu den Resultaten ist derselbe (siehe Seite 63). Der PVM17 liefert zudem praktisch identische Testresultate zum baugleichen Refusol 17K und gehört damit zur Spitze der bislang von PHOTON getesteten Wechselrichtern.

Der PHOTON-Wirkungsgrad für mittlere Einstrahlung beträgt trotz des weiten Spannungsbereiches sehr gute 97,4 Prozent, der PHOTON-Wirkungsgrad für hohe Einstrahlung liegt sogar noch etwas höher bei 97,7 Prozent.

Der Wechselrichter besitzt eine nur geringe Überlastfähigkeit. Der Temperaturbereich ist hingegen sehr weit, bei einer Umgebungstemperatur von 51,2 Grad Celsius beginnt allerdings die Leistungsabregelung.

Alle anderen wesentlichen Eigenschaften sind mit denen des PVM20 praktisch identisch.

| 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 Nenneingangsleistung 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 entgegengesetzter

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 MPPT-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 Definition 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_{Pmed}) beziehungsweise hohe Einstrahlung (η_{Pmax}) gewichtet, ergibt sich der jeweilige **PHOTON-Wirkungsgrad**. Er ist ebenfalls im Diagramm notiert.

Etwas kleiner, aber genauso oho

Der Siemens Sinvert PVM13 liefert im Test eine ebenso überzeugende Vorstellung wie die leistungsstärkeren PVM17 und PVM20

Gemeinsam mit dem Sinvert PVM20 und dem PVM17 traf der PVM13 im vergangenen September im PHOTON-Labor ein. Auch dieses Gerät wurde vom Hersteller im Rahmen der hierfür üblichen Vereinbarung zur Verfügung gestellt.

Aufbau

Der Aufbau gleicht dem des Sinvert PVM20 (siehe Seite 60).

Handhabung

Die Handhabung gleicht der beim Sinvert PVM20 (siehe Seite 61).

Bedienungsanleitung

Die Bedienungsanleitung gleicht der des Sinvert PVM20 (siehe Seite 63).

Schaltungsaufbau

Der Schaltungsaufbau gleicht dem des Sinvert PVM20 (siehe Seite 63).

o Für Querleser

- Der Siemens Sinvert PVM13 ist ein dreiphasig einspeisender, trafoloser Wechselrichter mit 12,6 Kilowatt DC- und 12,4 Kilowatt AC-Nennleistung. Er ist baugleich mit dem Refusol 13K von Refu Elektronik.
- Der Aufbau, die wesentlichen Eigenschaften und auch die Testergebnisse unterscheiden sich nur in Details vom Sinvert PVM20 (siehe Seite 60).

Messungen

Alle nachfolgenden Messungen beziehen sich auf eine Netzspannung von 230 Volt. Die maximale DC-Spannung des Sinvert PVM13 beträgt 1.000 Volt. Die DC-Nennleistung und damit auch die maximal anschließbare Generatorleistung liegt bei 12.600 Watt.

Für MPP-Spannungen über 790 Volt musste bei den Messungen die Leerlaufspannung des Simulators begrenzt werden, weil diese bei einem Kennlinienfüllfaktor von 75 Prozent bereits höher als 950 Volt und somit nahe der maximalen DC-Spannung des PVM13 ist.

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 624 Volt benötigt der Wechselrichter nach Ablauf der 126 Sekunden zum Aufschalten auf das Netz noch rund 24 Sekunden, bis er den MPP erreicht. Der Wechsel von 624 Volt in den nächstniedrigeren MPP-Bereich (601 Volt) dauert sieben Sekunden, der Wechsel in den nächsthöheren Bereich (624 Volt) circa zehn Sekunden.

MPP-Bereich: Der MPP-Bereich reicht von 420 bis 850 Volt und entspricht dem eines Superweitbereich-Wechselrichters. Die maximale MPP-Spannung von 850 Volt liegt bei heutigen Füllfaktoren aber zu nah an der maximalen Eingangsspannung von 1.000 Volt. In den Grafiken zu Umwandlungs-, MPPT-Anpassungs- und Gesamtwirkungsgrad weist deshalb ein schraffierter Bereich auf Einschränkungen ab ungefähr 800 Volt für kristalline und bereits ab ungefähr 740 Volt für Dünnschichtmodule hin.



Umwandlungswirkungsgrad: Im Diagramm treffen die senkrechte Linie bei 60 Prozent der Nennleistung und die waagerechte Linie bei 624 Volt MPP-Spannung einander im Wirkungsgradmaximum von 98,0 Prozent. Die Herstellerangabe von 98 Prozent zum maximalen Wirkungsgrad wurde damit exakt erreicht.

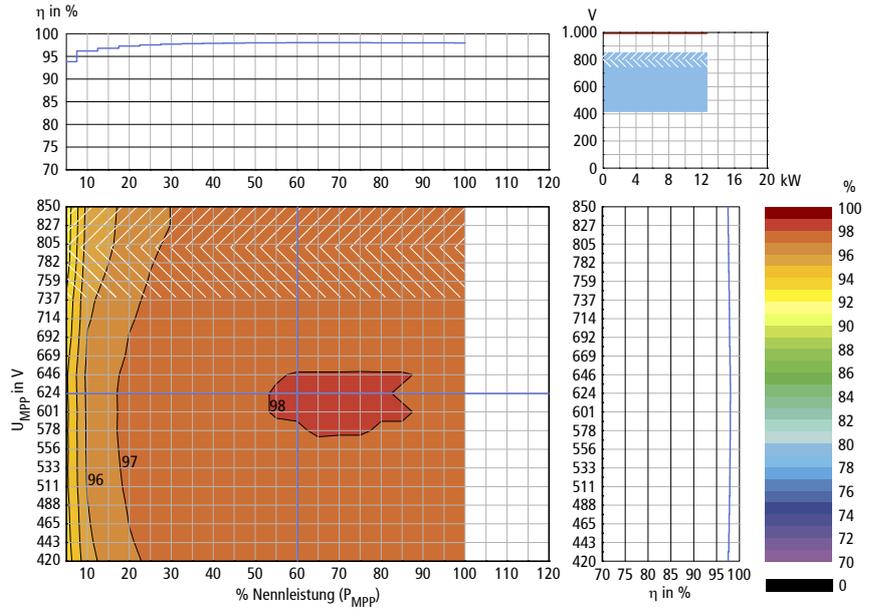
Der Bereich mit ungefähr gleich hohen Werten bildet im Diagramm ein Plateau zwischen den MPP-Spannungen von 578 Volt bis 646 Volt und im Bereich von 55 bis 85 Prozent der Nennleistung. Im weitaus größten Teil des Arbeitsbereichs liegen die Werte zudem bei 97 Prozent und höher, die Abnahme zu großen und kleinen MPP-Spannungen hin beträgt nur circa 0,5 Prozentpunkte. Erst bei Leistungen unterhalb von 15 Prozent der Nennleistung fällt der Wirkungsgrad deutlicher um circa vier bis fünf Prozentpunkte. Es stellte sich bei Nennleistung ein Leistungsfaktor $\cos \phi$ von circa eins ein.

Gewichteter Umwandlungswirkungsgrad: Der Europäische Wirkungsgrad des PVM13 erreicht seinen Höchstwert bei 624 Volt MPP-Spannung und übertrifft mit 97,6 Prozent sogar die Herstellerangabe von 97,5 Prozent. Die Differenz zwischen maximalem Umwandlungswirkungsgrad und maximalem Europäischem Wirkungsgrad beträgt nur 0,4 Prozentpunkte. Der Kalifornische Wirkungsgrad erreicht sein Maximum von 97,9 Prozent ebenfalls bei 624 Volt MPP-Spannung.

MPPT-Anpassungswirkungsgrad: Der MPPT-Anpassungswirkungsgrad ist über nahezu den gesamten Arbeitsbereich gleichmäßig hoch. Nur im unteren Leistungsbereich bei hohen Spannungen sowie im obersten Leistungs-

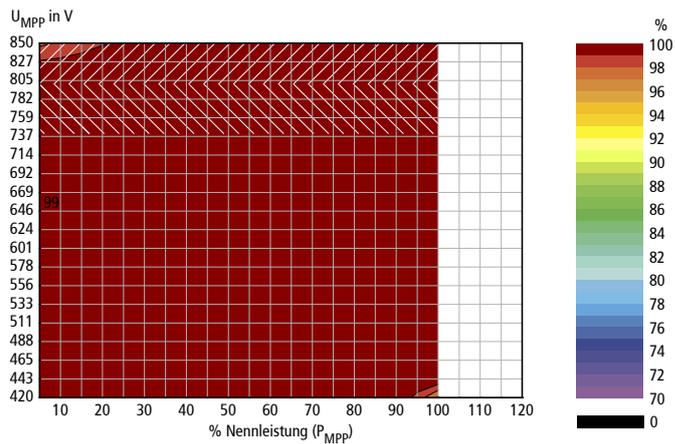
Umwandlungswirkungsgrad

► Bei hohen MPP-Spannungen ist die Leistungsentfaltung des PVM13 nicht ganz so harmonisch wie im Bereich unterhalb von circa 700 Volt, insgesamt bietet sie jedoch ein äußerst homogenes Bild



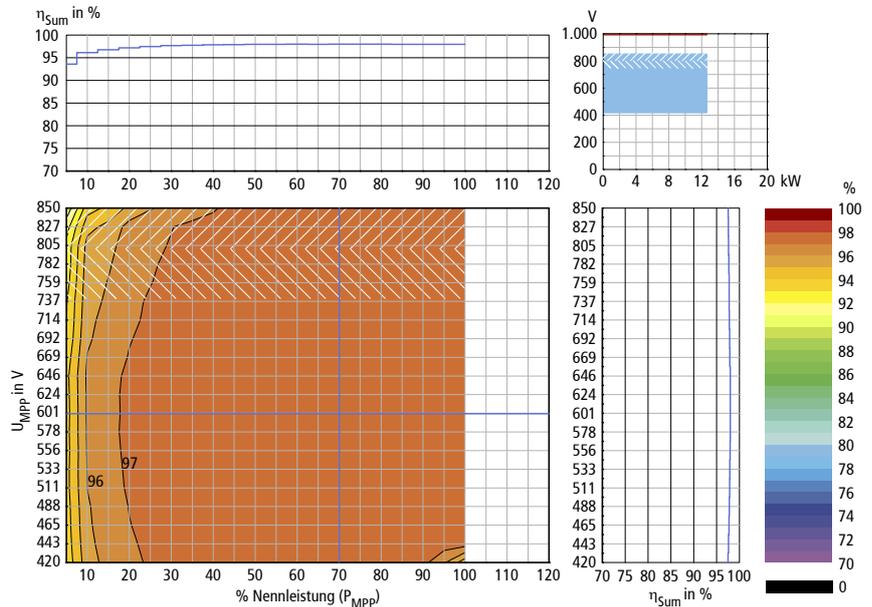
× MPPT-Anpassungswirkungsgrad

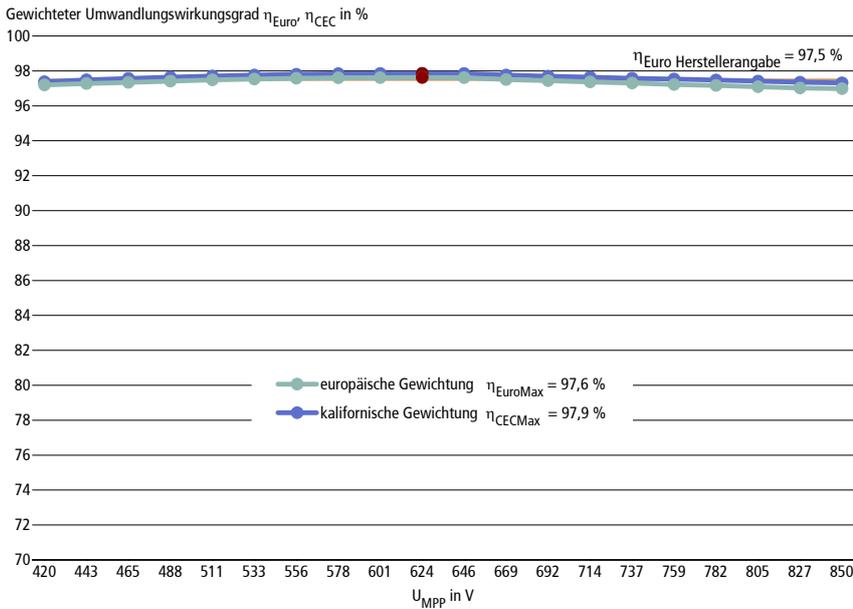
► Das Diagramm zum MPPT-Tracking weist nur zwei winzige Fenster links oben und rechts unten auf, in denen die Werte unter 99 Prozent sinken



= Gesamtwirkungsgrad

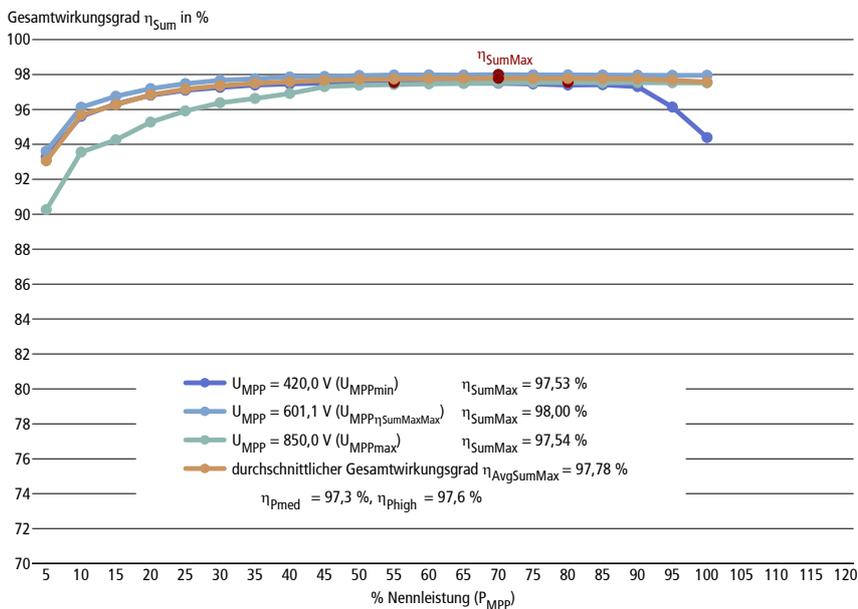
► Im Ergebnis verlaufen logischerweise auch die Gesamtwirkungsgrade sehr konstant und auf hohem Niveau





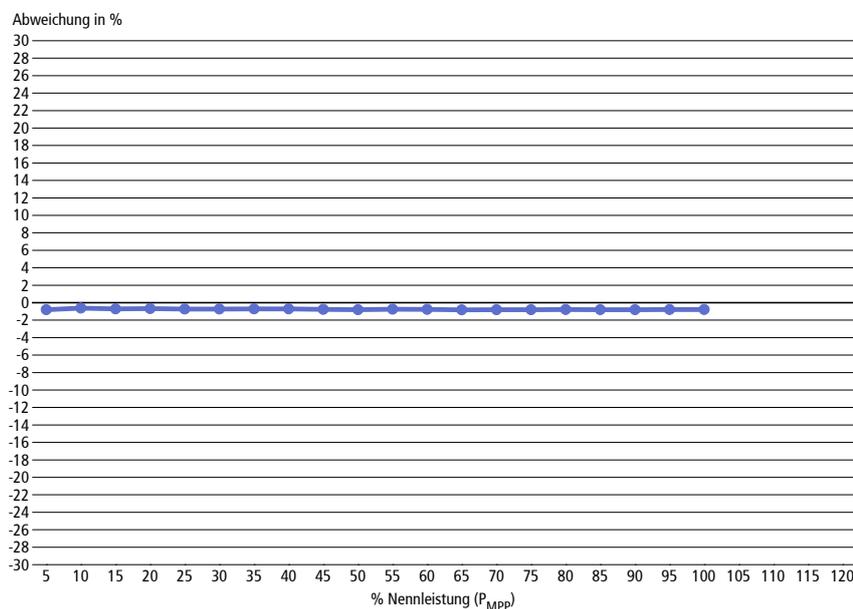
Gewichteter Umwandlungswirkungsgrad

◀ Die Kurven für den Europäischen und den Kalifornischen Wirkungsgrad verlaufen nahezu waagrecht, die Herstellerangabe zum Höchstwert wird sogar leicht übertroffen



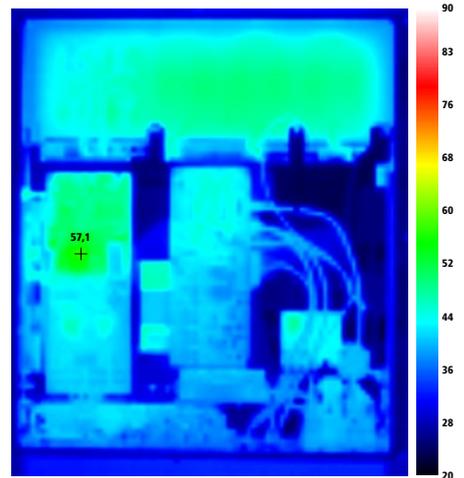
Gesamtwirkungsgrad bei unterschiedlichen Spannungen

◀ Wie der PVM17 hat auch der PVM13 nur bei hohen Spannungen (grüne Kurve für 850 Volt) ganz leichte Anlaufschwierigkeiten, zudem fällt der Wirkungsgradverlauf bei niedrigen Spannungen (blaue Kurve für 420 Volt) im obersten Leistungsbereich etwas ab



Genauigkeit der Wechselrichteranzeige

◀ Mustergültig präsentiert sich die Leistungsmessung und -anzeige des Wechselrichters: Die sehr geringen und über den gesamten Bereich konstanten Abweichungen sind nicht der Rede wert



▲ Innen und außen gleicht der Sinvert PVM13 seinem großen Bruder, dem PVM20. Da er mit praktisch identischen Komponenten eine geringere Leistung zu stemmen hat, fällt die Thermografie – soweit der mehrlagige, den Leistungsteil verdeckende Aufbau hier ein Urteil zulässt – noch unkritischer aus.

bereich bei niedrigen Spannungen gibt es kleine Zonen, in denen die MPP-Leistung unter 99 Prozent der vorgegebenen Leistung sinkt.

Gesamtwirkungsgrad: Als Produkt aus Umwandlungswirkungsgrad und MPPT-Anpassungswirkungsgrad verläuft auch der Gesamtwirkungsgrad gleichmäßig auf hohem Niveau. Im Farbdigramm markieren die senkrechte Linie bei 70 Prozent der Nennleistung und die waagerechte Linie bei 601 Volt MPP-Spannung das Gesamtwirkungsgradmaximum von 98,0 Prozent.

Gesamtwirkungsgradverläufe, durchschnittlicher Gesamtwirkungsgrad und PHOTON-Wirkungsgrad: Der PHOTON-Wirkungsgrad für mittlere Einstrahlung liegt bei 97,3 Prozent, der PHOTON-Wirkungsgrad für hohe Einstrahlung bei 97,6 Prozent. Beides entspricht der Note »sehr gut«. Ermöglicht wird dieses Resultat durch hohe Maximalwerte, vor allem aber durch den raschen Anstieg und den gleichmäßigen Verlauf des Gesamtwirkungsgrads. Nur bei hohen Spannungen (im Diagramm anhand der grünen Kurve für 850 Volt dargestellt) beginnt der Wirkungsgradverlauf relativ weit unten bei rund 90 Prozent und erreicht das Plateau von 97 Prozent erst ab ungefähr 45 Prozent der Nennleistung. Bei niedrigen Spannungen (die blaue Kurve für 420 Volt) gibt es ab ungefähr 90 Prozent der Nennleistung einen leichten Abfall. Dies könnte auch schon die Erklärung dafür sein, dass der PVM13 ein winziges bisschen schlechter abschneidet als der PVM17.

Einspeisung der Nennleistung: Der Wechselrichter speist über den Eingangsspannungsbereich von 420 Volt bis 850 Volt und bei einer Umgebungstemperatur von 25 Grad Celsius 100 Prozent seiner Nennleistung ein.

Angezeigte Ausgangsleistung: Bei konstanter MPP-Spannung von 624 Volt, also im mittleren Bereich, weicht die vom PVM13 gemessene und angezeigte Leistung im Bereich zwischen 5 und 100 Prozent der Nennleistung nur sehr wenig von den parallel erfassten Werten eines Leistungsanalysators ab: Der Fehler liegt bei circa minus 0,8 Prozent. Damit entspricht die Anzeigenauigkeit einem Stromzähler der Genauigkeitsklasse B (früher Genauigkeitsklasse 1).

Betrieb bei höherer Umgebungstemperatur: Der Wechselrichter speist bei DC-Nennleistung (12.600 Watt) und 624 Volt MPP-Spannung bis zu einer Umgebungstemperatur von 59,8 Grad Celsius mit 100 Prozent seiner Nennleistung ins Netz ein. Dann reduziert er die Leistung, der Wirkungsgrad sinkt sehr geringfügig um circa 0,1 Prozentpunkte. Diese Leistungsreduzierung tritt erst außerhalb des von minus 25 bis plus 55 Grad Celsius reichenden Temperaturbereichs auf und muss bei der Wahl des Montageorts für den PVM13 nicht berücksichtigt werden. Der sehr weite Temperaturbereich und die Gehäuseschutzart IP 65 ermöglichen einen Einsatz an tendenziell warmen Orten (zum Beispiel unter dem Dach) ebenso wie im Freien.

Überlastverhalten: Bietet man dem Sinvert PVM13 bei 624 Volt MPP-Spannung und einer Umgebungstemperatur von circa 25,3 Grad Celsius eine Überlast in Höhe des 1,3-Fachen seiner Eingangsnennleistung an, also 16.380 Watt, begrenzt er auf circa 13.010 Watt. Dies entspricht 103,3 Prozent seiner DC-Nennleistung (12.600 Watt), der Überlastbereich des Wechselrichters ist also klein. Bei dieser Leistungsbegrenzung verschiebt das Gerät den Arbeitspunkt auf der Kennlinie in Richtung höhere Eingangsspannung, und die DC-

Spannung stellt sich auf einen Wert von circa 695 Volt ein.

Eigen- und Nachtverbrauch: Der Eigenverbrauch des PVM13 beträgt im getesteten Grundbauzustand circa 0,4 Watt auf der AC-Seite und maximal 28,5 Watt auf der DC-Seite. Der Hersteller macht hierzu keine Angaben. Nachts zieht der Wechselrichter rund 0,5 Watt Wirkleistung aus dem Netz. Hier gibt der Hersteller »kleiner als 0,5 Watt« an.

Thermografie: Die Thermografie zeigt eine Draufsicht des Wechselrichters, während er bei einer Umgebungstemperatur von 24,9 Grad Celsius mit Nennleistung arbeitet. Durch den mehrlagigen Aufbau ist der Leistungsteil zum großen Teil unter einer Blechplatte verdeckt. Somit können nur völlig unerhebliche Temperaturerhöhungen beobachtet werden. Die maximale beobachtete Oberflächentemperatur betrug 57,1 Grad Celsius.

Fazit

Die Beurteilung des Siemens Sinvert PVM13 unterscheidet sich nur in Nuancen vom Sinvert PVM20, auch der Kommentar des Herstellers zu den Resultaten ist derselbe (siehe Seite 63).

Der PHOTON-Wirkungsgrad ist mit 97,3 Prozent für mittlere und 97,6 Prozent für hohe Einstrahlung jeweils etwas niedriger, genügt aber immer noch der Note »sehr gut«. Damit gilt auch für den PVM13, dass er zu den besten der bisher von PHOTON getesteten Wechselrichter gehört.

Geringfügige Unterschiede gibt es zum Beispiel bei der Überlastfähigkeit, die nicht ganz so gering wie die des PVM20 ist. Alle anderen wesentlichen Eigenschaften sind mit denen des PVM20 praktisch identisch.

| Heinz Neuenstein, Jochen Siemer

Siemens AG
Industry Sector
Control Components and Systems Engineering
Postfach 23 55
90713 FÜRTH, DEUTSCHLAND

www.siemens.de/sinvert

Änderungen vorbehalten 03/2011
Bestell-Nr.: E20001-A2180-P300
DISPO 46371
WÜ/32713 MI.CE.PV.XXXX.52.1.10 DS 03115.
Gedruckt in Deutschland
© Siemens AG 2011

Die Informationen in dieser Broschüre enthalten lediglich allgemeine Beschreibungen bzw. Leistungsmerkmale, welche im konkreten Anwendungsfall nicht immer in der beschriebenen Form zutreffen bzw. welche sich durch Weiterentwicklung der Produkte ändern können. Die gewünschten Leistungsmerkmale sind nur dann verbindlich, wenn sie bei Vertragsschluss ausdrücklich vereinbart werden.

Alle Erzeugnisbezeichnungen können Marken oder Erzeugnisnamen der Siemens AG oder anderer, zuliefernder Unternehmen sein, deren Benutzung durch Dritte für deren Zwecke die Rechte der Inhaber verletzen kann.