

# Messung des dynamischen MPP-Trackings bei Netzverbund-Invertern

Prof. Dr. H. Häberlin,  
M. Kämpfer, U. Zwahlen

Berner Fachhochschule  
Hochschule für Technik und Informatik  
Labor für Photovoltaik  
CH-3400 Burgdorf  
Tel: +41 34 426 68 11, Fax: +41 34 426 68 13  
e-mail: heinrich.haeblerlin@bfh.ch  
Internet: <http://www.pvtest.ch>



In den letzten Jahren wurde in mehreren Beiträgen die neue Grösse „totaler Wirkungsgrad“ vorgestellt, die eine viel bessere Charakterisierung des Betriebsverhaltens von Solarwechselrichtern für Netzverbundanlagen erlaubt.

Neben dem statischen Betriebsverhalten, das durch  $\eta$ ,  $\eta_{MPPT}$  und  $\eta_{tot}$  gut beschrieben werden kann, interessiert in der Praxis natürlich auch das dynamische Verhalten. Es ist für Zeiten mit rasch wechselnder Einstrahlung von Interesse. In einem Beitrag des FhG-ISE wurde letztes Jahr auf Grund von zeitlich hoch aufgelösten Messungen der Bestrahlungsstärke  $G$  gezeigt, dass in den auftretenden Strahlungsspitzen noch ein gewisses zusätzliches Energiepotenzial vorhanden wäre, wenn der Wechselrichter diese Spitzen effektiv verarbeiten könnte. Eine Voraussetzung dazu ist die richtige leistungsmässige Dimensionierung des Wechselrichters. Zudem kann die Energie in Strahlungsspitzen nur ausgenutzt werden, wenn das dynamische Maximum-Power-Point-Tracking (MPP-Tracking) schnell genug ist.

## Einführung Theorie

### Definition des statischen MPP-Tracking-Wirkungsgrades $\eta_{MPPT}$

$$\eta_{MPPT} = \frac{1}{P_{MPP} \cdot T_M} \int_0^{T_M} u_A(t) \cdot i_A(t) dt \quad (1)$$

- $u_A(t)$  = Spannung am DC-Eingang des Wechselrichters
- $i_A(t)$  = Strom am DC-Eingang des Wechselrichters
- $P_{MPP}$  = Verfügbare maximale Leistung im MPP
- $T_M$  = Dauer der Messung (Start bei  $t = 0$ ). Empfohlen: 60 s – 300 s pro Leistungsstufe mit hoher Abtastfrequenz von 1'000 – 10'000 Messpunkten pro Sekunde

### Definition des dynamischen MPP-Tracking-Wirkungsgrades

Für dynamische Tests, welche Tage mit wechselnder Bewölkung simulieren, sind relativ schnelle Variationen zwischen zwei Stufen mit bekannten  $P_{MPP}$ -Werten zweckmässig. Für kleine PV-Anlagen sind die Flanken der Leistungsvariationen dabei steiler als für grosse Anlagen. Bei kleinen Anlagen bis zu einigen kW kann die PV-Leistung bei speziellen Wettersituationen mit scharf definierten Wolkenrändern (speziell im Frühling und Frühsommer) in weniger als 500 ms von etwa 15% bis 120% der DC-Nennleistung variieren. Ein guter Wechselrichter sollte unter solchen Bedingungen zumindest nicht ausschalten. Ein einfach zu realisierender Test des dynamischen Verhaltens ist eine nahezu rechteckige Variation zwischen etwa 20% und 100% des Nennwertes von Strom resp. Leistung. Nach einer Stabilisierungsperiode von 1 – 5 Minuten erfolgen einige Testzyklen (z.B. 3), während denen die effektive dynamische MPPT-Messung stattfindet. Natürlich finden die meisten Wechselrichter den tatsächlichen MPP nicht sofort, deshalb wird die angebotene MPP-Leistung nach einer Änderung nicht sofort vollständig umgewandelt. Die Zeit  $T$ , während welcher der hohe und der tiefe Strom-, resp. Leistungswert während eines Testzyklus angeboten wird, kann zwischen 2 s und 60 s variieren, was eine totale Zykluszeit von 4 s bis 120 s und eine totale Testzeit  $T_M = \sum T_{Mi}$  auf dem gewählten Leistungs- und Spannungsbereich von höchstens 6 Minuten ergibt. Der dynamische MPP-Tracking-Wirkungsgrad kann dann analog wie in (1) berechnet werden:

$$\eta_{MPPT_{dyn}} = \frac{1}{\sum P_{MPPi} \cdot T_{Mi}} \int_0^{T_M} u_A(t) \cdot i_A(t) dt \quad (2)$$

$$\sum P_{MPPi} \cdot T_{Mi} = P_{MPP1} \cdot T_{M1} + P_{MPP2} \cdot T_{M2} + \dots + P_{MPPn} \cdot T_{Mn} \quad (3)$$

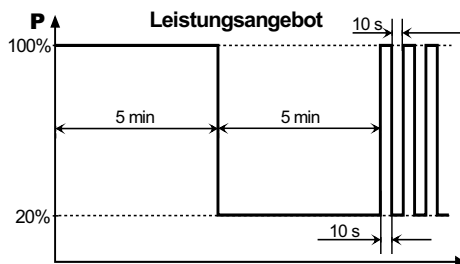
$\sum P_{MPPi} \cdot T_{Mi}$  = Summe der verschiedenen MPP-Energien, die unter optimalen Bedingungen auf den verschiedenen Leistungsstufen absorbiert werden könnten

$T_{Mi}$  = Zeit in welcher der Solargenerator-Simulator die MPP-Leistung  $P_{MPPi}$  anbietet

$$\text{Totale Messzeit } T_M = \sum T_{Mi} = T_{M1} + T_{M2} + T_{M3} + \dots + T_{Mn} \quad (4)$$

Der dynamische MPPT-Wirkungsgrad stellt somit das Verhältnis der vom Wechselrichter effektiv bezogenen Energie zur während des Testzyklus vom Solargenerator-Simulator in den jeweiligen MPPs angebotenen Energie dar.

Für einen realistischen Test ist es dabei sehr wichtig, dass sich der Solargenerator-Simulator wie ein realer Solargenerator auf konstanter Temperatur verhält, d.h. dass auf der kleineren Leistungsstufe die MPP-Spannung  $U_{MPP}$  tiefer ist als bei der hohen Leistungsstufe!



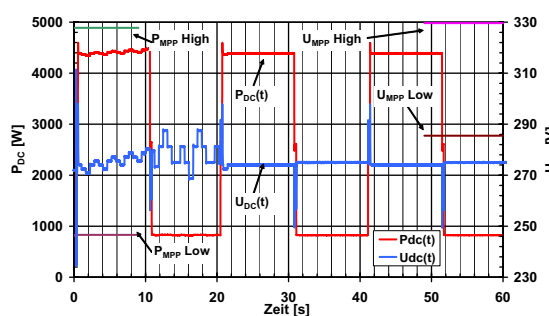
**Bild 1:** Vom Solargenerator-Simulator angebotene Leistung während eines dynamischen MPP-Tracking Tests. Vor dem dynamischen Test werden einerseits die MPP-Leistungen auf der hohen und tiefen Stufe genau bestimmt, andererseits wird dem Wechselrichter vor Beginn des Tests eine Stabilisierungsperiode von 5 min angeboten, um den MPP auf der tiefen Stufe sicher zu finden. Der eigentliche dynamische Test beginnt erst mit den schnellen Wechseln tief-hoch-tief-hoch mit jeweils 10 s Dauer pro Stufe.

Informationen über weitere Aktivitäten des PV-Labors der HTI in Burgdorf und weitere Publikationen sind unter <http://www.pvtest.ch> zu finden.

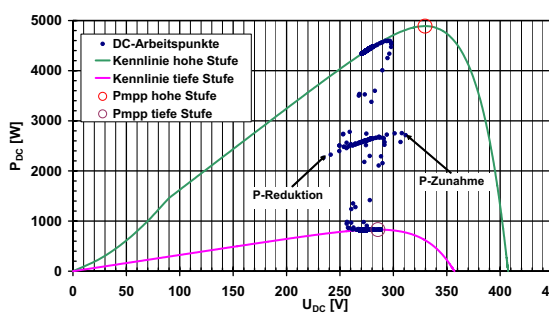
## Messresultate

### Dynamischer MPP-Tracking-Wirkungsgrad einiger Inverter

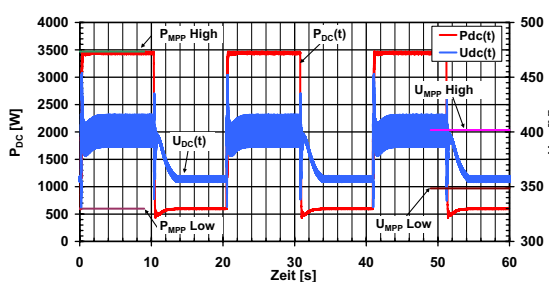
In Bild 2 und 3 ist exemplarisch das dynamische Verhalten eines Wechselrichters dargestellt. Die Bilder 2 – 5 beziehen sich jeweils auf ein Leistungsangebot gemäss Bild 1. Die Messungen erfolgten immer bei Nennleistung.



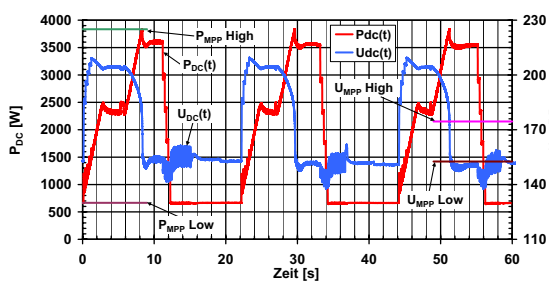
**Bild 2:** Dynamische Leistung  $P_{dc}(t)$  bei  $U_{MPP} = 330$  V bei einem Solarmax 6000C. Die Leistung der hohen Stufe wird nach dem Wechsel von tiefer zu hoher Leistung nicht sofort voll umgewandelt. Der dynamische MPPT-Wirkungsgrad beträgt hier  $\eta_{MPPT_{dyn}} = 91,7\%$ .



**Bild 3:** DC-Arbeitspunkte der dynamischen Messung gemäss Bild 2 bei  $U_{MPP} = 330$  V. Das Gerät verharrt praktisch während des ganzen Tests auf der MPP-Spannung der tiefen Stufe, arbeitet somit auf der hohen Stufe links vom MPP und verschenkt deshalb etwas Energie.



**Bild 4:** Dynamische Leistung  $P_{dc}(t)$  bei  $U_{MPP} = 400$  V bei einem NT4000. Das dynamische Verhalten dieses Gerätes ist hervorragend, der dynamische MPP-Tracking-Wirkungsgrad beträgt  $\eta_{MPPT_{dyn}} = 97,3\%$ .



**Bild 5:** Dynamische Leistung  $P_{dc}(t)$  bei  $U_{MPP} = 170$  V bei einem IG40. Das Gerät hat vermutlich noch ein Problem bei der schnellen Aktivierung des zweiten Teil-Wechselrichters. Die Leistung auf der hohen Stufe wird nach dem Wechsel von tiefer zu hoher Leistung nur ganz allmählich verwertet, der dynamische MPP-Tracking-Wirkungsgrad beträgt nur gerade  $\eta_{MPPT_{dyn}} = 71,6\%$ .

Weitere dynamische Messungen wurden auch an den Geräten SolarMax 2000E, 3000E, 6000E und 25C durchgeführt. Detaillierte Testberichte zu diesen Geräten unter [www.pvtest.ch](http://www.pvtest.ch) Wechselrichter-Testberichte.