

Innovative Schaltung für eine wirtschaftliche Leistungsoptimierung auf PV-Strang-Ebene

(Der erste Schritt zum Solar-Park der Zukunft)

Sergej Koch, Nina Munzke, Marc Hiller

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen
Tel: 0721 / 608 28095
E-Mail: sergej.koch2@kit.edu
Internet: www.batterietechnikum.kit.edu

1 Einführung

Die Photovoltaik stellt eine tragende Säule der Energiewende dar. Der Großteil der marktfähigen Innovationen auf dem Gebiet der Photovoltaik fand in den letzten Jahren hauptsächlich im Bereich der Solarzellenentwicklung, der Speicherintegration und der Wechselrichter statt. Die einzelnen Leistungskomponenten werden immer effizienter, jedoch bietet das Verbindungssystem zwischen den jeweiligen Komponenten noch Raum für Optimierung und Effizienzsteigerung.



Abbildung 1: Beispiel einer aktuellen Combiner-Box mit 32 Strang-Anschlüssen.

Die festgelegte Systemspannungsgrenze von 1000 bzw. 1500 V bei Photovoltaik (PV) Anlagen bedingt eine Gruppierung der in Serie verschalteten PV-Module zu parallelen Strängen. Diese Stränge werden bei großen PV-Anlagen üblicherweise über eine Kombiniervorrichtung mit vorgeschalteten Sicherungen (**Combiner-Box**) parallelgeschaltet (Abbildung 1).

Unterschiede in der Stranglänge, Modulausrichtung, Temperatur, Einstrahlung, Verschattung, Alterung, Verschmutzung usw., führen zu Abweichungen in der vom jeweiligen Strang abgegebenen Leistung („Mismatch“).

Im idealen Betriebsfall und bei einer sinnvollen Konzipierung der PV-Anlage, ist der Mismatch nur sehr gering (~ 1 %). Im realen Betrieb kann es jedoch zu Unterschieden von 20-40 % der maximalen Systemspannung kommen. Dies führt zu einer erhöhten Belastung der Combiner-Box und der anderen Komponenten der Anlage. Die Folgen können eine

beschleunigte Alterung oder sogar eine Beschädigung der Anlage bzw. hohe Ertragsverluste durch ausgefallene Komponenten sein.

Die am Karlsruher Institut für Technologie entwickelte und patentierte Schaltung (High Efficiency Low Effort MPP-Tracking, kurz **HiLEM**) [1-2], gleicht die, durch den Mismatch verursachten, Spannungsdifferenzen aus und minimiert damit die genannten Belastungen und Leistungseinbußen. HiLEM ist theoretisch dafür ausgelegt eine unbegrenzte Anzahl an PV-Strängen zusammenzuführen und die Ausgangsspannung auf ein für den Wechselrichter geeignetes Niveau zu regeln. Dadurch kann jeder Strang mit seiner eigenen Spannung betrieben werden und der Punkt maximaler Leistung (Maximum Power Point, **MPP**), vor der Kombination und Weiterleitung zum Wechselrichter, separat eingestellt werden.

Abbildung 2 zeigt auf welchen Leveln einer PV-Anlage MPP-Tracking aktuell zum Einsatz kommt und welche Level bisher größtenteils noch ungenutzt bleiben. Während auf der Freifläche lediglich ein MPP-Tracking im Wechselrichter üblich ist, gibt es bei Dachanlagen bereits einige Anlagen die über ein MPP-Tracking auf Modulebene verfügen.

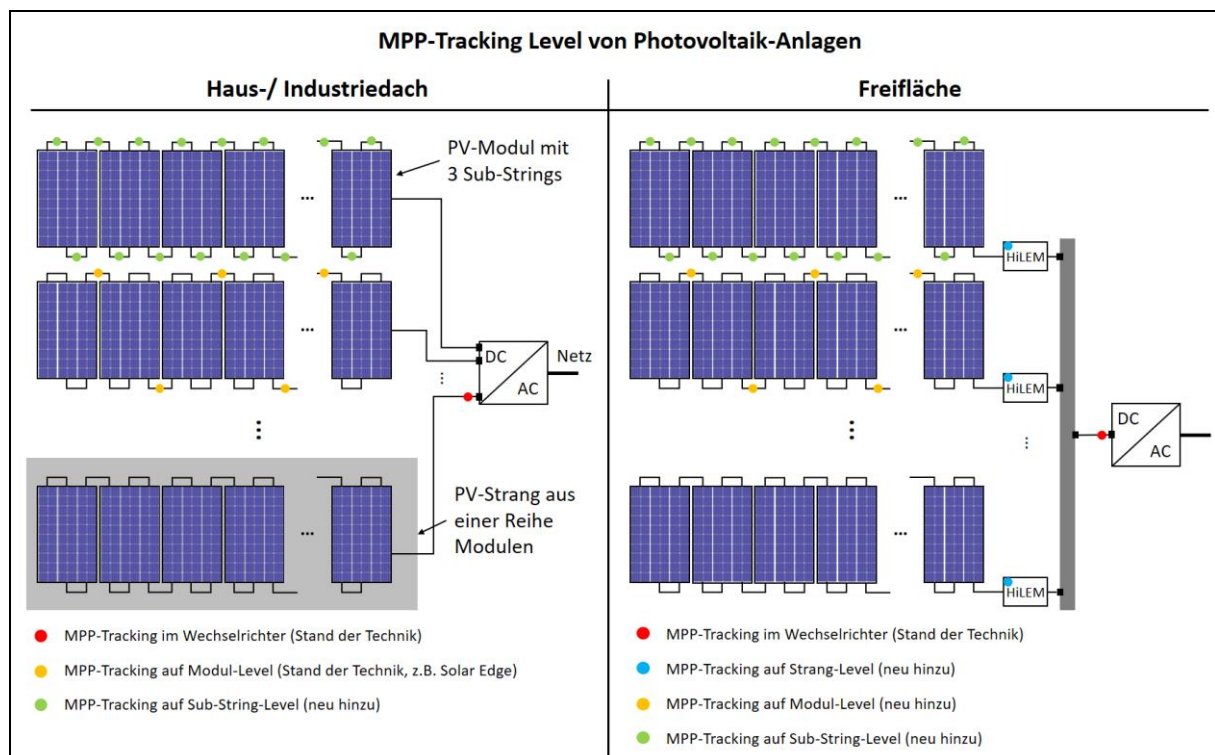


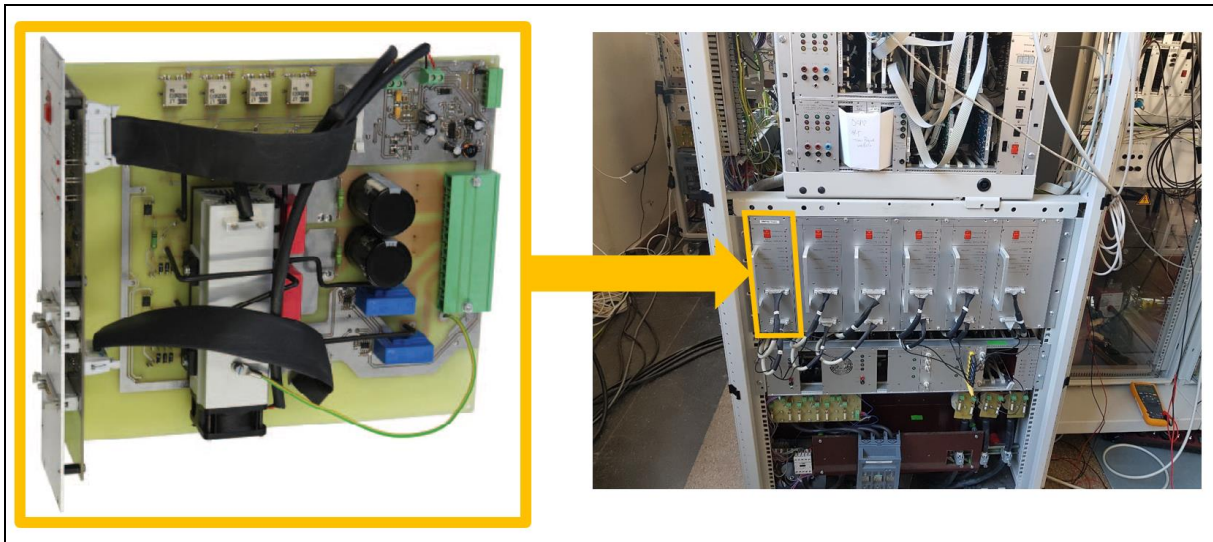
Abbildung 2: Darstellung der MPP-Tracking Level von Haus- und Industriedach Anlagen im Vergleich zu Anlagen auf Freiflächen mit Bezug auf den Stand der Technik

2 Methodik

Die HiLEM-Schaltung wurde im Rahmen einer Doktorarbeit im Jahre 2015 entwickelt und zum Patent angemeldet [1]. In diesem Rahmen konnte die Funktionalität im Labor-Maßstab (Abbildung 3) und mit einer ca. 3 kWp PV-Hausdachanlage, bestehend aus drei PV-Strängen, nachgewiesen werden [2]. Das Design der Schaltung wurde modular gestaltet und für eine parallele Einschubstruktur entworfen. Dadurch ließe sich theoretisch eine

unbegrenzte Anzahl an Strängen parallelisieren und der MPP für jeden Strang separat einstellen.

Die HiLEM-Schaltung besteht aus einem Leistungsteil und einer aufgesetzten Signalverarbeitung. Der Leistungsteil beinhaltet eine Eingangsstufe für den Anschluss der PV-Stränge und eine Ausgangsstufe für die Kombination der PV-Stränge Richtung Netz-Wechselrichter. Eingangsstufe und Ausgangsstufe befinden sich dabei auf getrennten Einschubmodulen, um eine bessere Modularität zu bewerkstelligen. Alle Stufen werden vom Signalteil geregelt und auf einander abgestimmt.



*Abbildung 3: Links: Teilplatine des ersten Prototyps der HiLEM-Schaltung für PV-Anlagen mit 3 kWp
Rechts: Beispiel des HiLEM Prototyps als Funktionaler Aufbau*

Im Vergleich zu ähnlichen auf dem Markt verfügbaren Systemen, fließen durch die HiLEM-Schaltung geringere Leistungen, solange die Spannungsdifferenz zwischen den Strängen kleiner als 50 % der maximalen Systemspannung beträgt. Somit müssen die Betriebsbereiche der Leistungshalbleiter und Drosselspulen nur für einen Bruchteil der gesamten Systemspannung ausgelegt werden.

Dies spart sowohl Kosten als auch Bauraum und führt zu höheren Wirkungsgraden durch geringere Verlustleistungen.

Die HiLEM-Schaltung hat außerdem positive Auswirkungen auf Bereiche wie Wartung und Instandhaltung, die Verkabelung (AC und DC), die Kommunikations-Infrastruktur (Integration von zusätzlicher Intelligenz in vormals „simpler“ Sicherungshardware), den Installationsaufwand und die Lebensdauer der Anlage.

Die Recherche zum aktuellen Stand der Technik und die kürzlich erfolgte Patenterteilung auf EU-Ebene unterstreichen den innovativen Charakter des HiLEM-Konzepts, obgleich bereits andere jedoch nur theoretische Versuche des MPP-Trackings auf Strang-Ebene existieren.

3 Ergebnisse

Basierend auf den Ergebnissen [2] des alten Prototyps, muss die Funktionalität des neuen Prototyps auf einer höheren Leistungsklasse aktuell neu validiert werden.

4 Ausblick

Um die Bedingungen für die Serienreife zu schaffen und eine externe Lizenznahme zu motivieren, soll die Schaltung zunächst für höhere Leistungsklassen von ca. 30 kW pro Einschubmodul mit jeweils 3 Strang-Eingängen weiterentwickelt werden.

Basierend auf dem alten Prototyp der HiLEM-Schaltung (Abbildung 3) und einer analytischen und simulativen Auslegung des hoch skalierten neuen Prototyps, soll auch hier ein modular erweiterbarer Aufbau erfolgen. Die angestrebte Leistungsklasse liegt in der Größenordnung von 150 kW bei ca. 100/150 A Gesamtstrom und 1500/1000 V Systemspannung. Der Aufbau soll durch ein Platinen-orientiertes, parallelisierbares Design realisiert werden und zunächst als funktionaler Prototyp aus bereits bestehenden Standardkomponenten, wie zum Beispiel einem „Einplatinenstromrichter“ (Abbildung 4), aufgebaut werden.

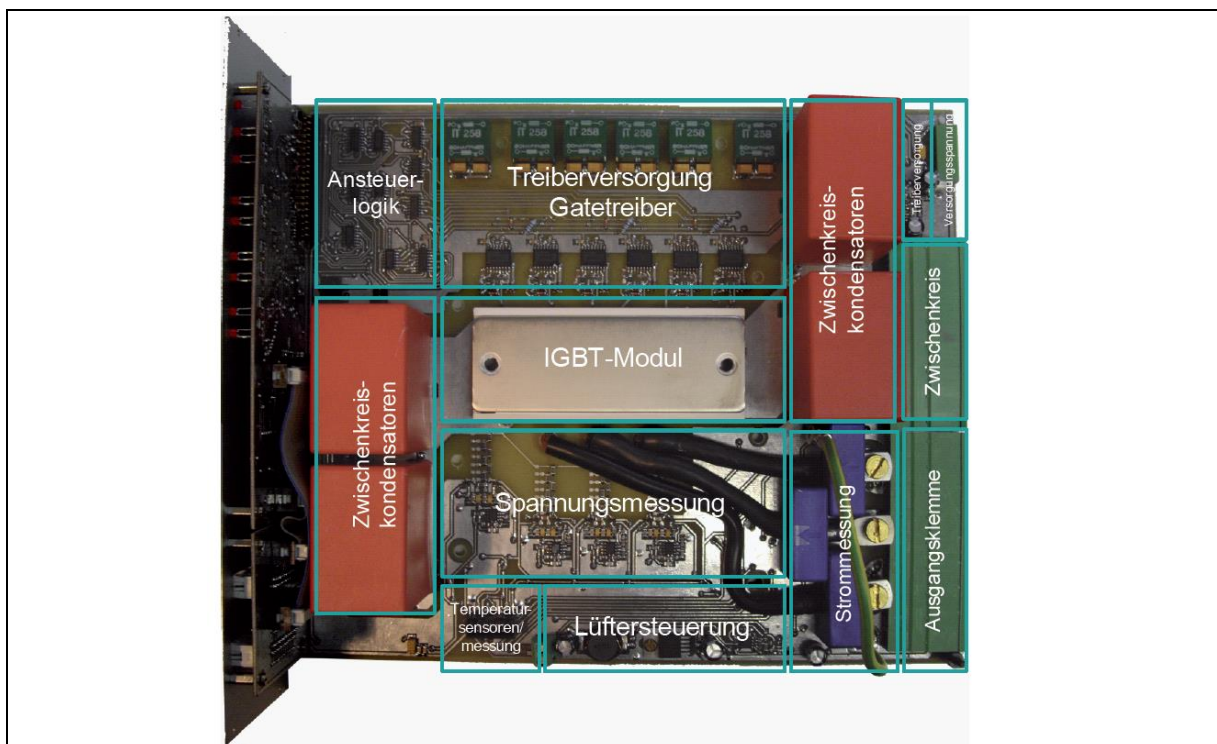


Abbildung 4: Beispiel eines Einplatinenstromrichters des KIT

Das resultierende HiLEM-System soll aus fünf Eingangsstufen und einer Ausgangsstufe bestehen, die eingangsseitig mit jeweils drei Strängen verbunden werden können. Somit könnten bis zu 15 Stränge mit jeweils 10 kW durch ein HiLEM-System parallel kombiniert werden. Die HiLEM-Topologie besteht in diesem Fall aus 5 x 3 Eingangs-DC/DC-Stellern, die einen gemeinsamen Zwischenkreis speisen und einer Ausgangsstufe, die die Leistung einem Zentralwechselrichter zuführt.

Das neue HiLEM-Design soll dabei im Labor aufgebaut und ein erster Funktionstest an der institutseigenen PV-Anlage durchgeführt werden. Anschließend wird ein geeignetes Einschub- und Parallelisierungssystem für die Module entworfen und die Regelungstechnik für das Gesamtsystem implementiert und getestet. Im Anschluss an den Funktionsnachweis der Leistungsstufe und des Regelkreises im Labor, soll das HiLEM-System in einem witterungsbeständigen und kompakten Gehäuse auf dem 1 MW PV-Feld des KIT einem

Dauertest unterzogen werden. Die dabei aufgezeichneten Daten dienen als Basis für eine modellbasierte Validierung der HiLEM-Topologie.

Die Industrie hat bereits hohes Interesse am HiLEM Konzept bekundet. Deswegen werden aktuell Vorbereitungen für ein Nachfolge-Projekt getroffen. Bei diesem Projekt soll das MPP-Tracking gleich auf mehreren Ebenen, von Strang-Level bis hin zum Sub-String-Level, eines PV-Parks, einerseits zu höheren Erträgen bei Verschattungs- und Verschmutzungs-Szenarien führen, und andererseits die Planungs-, Errichtungs- und Betriebskosten senken und die Lebensdauer erhöhen. Hierzu soll auch ein KI gestütztes Konzept entwickelt werden, das die Basis für ein wirtschaftliches „Condition Monitoring“ für große PV-Freiflächenanlagen bilden soll, jedoch auch in Haus- und Industriedachanlagen Anwendung finden könnte.

Quellen

[1] M. Gommeringer, A. Schmitt and J. Kolb. Europäische Patentanmeldung EP2911284A1, Schaltungsanordnungen und Verfahren zum Abgreifen elektrischer Leistung von mehreren Modulsträngen.

[2] M. Gommeringer, A. Schmitt, F. Kammerer and M. Braun. An Ultra-Efficient Maximum Power Point Tracking Circuit for Photovoltaic Inverters. In IECON 2015 - 41st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. Yokohama, Japan.