

Modellbasierte Lichtbogendetektion in Photovoltaik Systemen

Einleitung: Um dem Klimawandel entgegenzuwirken hat sich bspw. die Europäische Union zum Ziel gesetzt bis 2030 den Anteil an erneuerbarer Energie um 27 Prozent zu erhöhen. Eine Art der erneuerbaren Energieträger ist Photovoltaik (PV). Weil PV-Systeme sehr komplexe Strukturen aufweisen können und hohe Gleichspannungen (DC) bis 1000V und darüber bereitstellen, besteht ein erhebliches Risiko für das Auftreten von gefährlichen Lichtbögen (Arc). Derartige Fehlerfälle können bspw. durch schlechte Verbindungen oder Stecker verursacht werden. Im Fehlerfall erlöschen solche Lichtbögen im DC-Netz aufgrund der fehlenden Nulldurchgänge nicht automatisch, was eine schnelle und zuverlässige Erkennung von Lichtbögen und deren Abschaltung notwendig macht.

Methode: Die hier vorgestellte Idee der modellbasierten Lichtbogendetektion basiert auf der Identifikation des normalen Betriebsverhaltens der PV-Anlage (Abb. 1). Es werden der PV-Generator sowie die PV-Verkabelung modelliert und die unbekanntenen Modellparameter geschätzt. Ereignisse, welche nicht im PV-Modell abgebildet sind, z.B. Lichtbögen, resultieren in ungültigen Parameterwerten, wodurch eine Lichtbogenerkennung möglich wird. Um zulässige Änderungen des Betriebspunktes der PV-Anlage, verursacht durch z.B. schwankende Sonneneinstrahlung, Wolken, etc., nicht fälschlicherweise als Lichtbögen zu detektieren, wird das PV-Modell mit Hilfe eines Identifikationsalgorithmus mit exponentiellem Vergessen ständig nachparametriert.

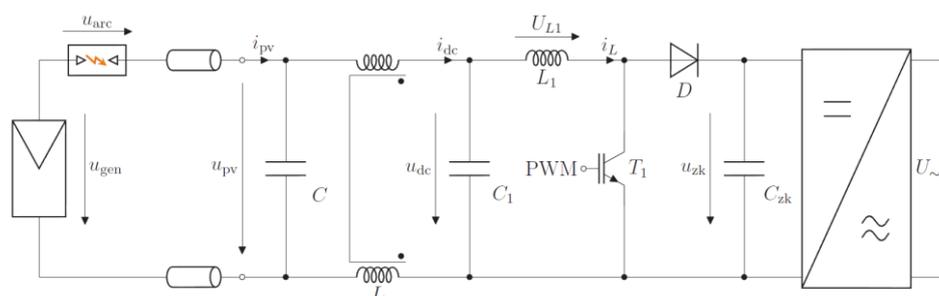


Abbildung 1: Schematische Darstellung des untersuchten PV-Systems, bestehend aus PV-Generator, Verkabelung, EMV-Filter, DC-DC Konverter und DC-AC Konverter

Im einfachsten Fall werden der PV-Generator und die PV-Verkabelung durch eine Spannungsquelle mit Innenwiderstand modelliert, siehe Abb. 2.

Der entwickelte Ansatz zur modellbasierten Lichtbogendetektion besteht aus:

- Online Parameterschätzung der PV-Modellparameter U_0 , R_0 mit den Messgrößen u_{pv} , i_{pv} mittels der Methode der kleinsten Fehlerquadrate (Least-Squares) und exponentiellem Vergessens-Faktor

- Berechnung eines zur Lichtbogenerkennung geeigneten Kriteriums, basierend auf den geschätzten Modellparametern²
- Vergleich des Kriteriums mit einem Schwellwert zur Lichtbogendetektion

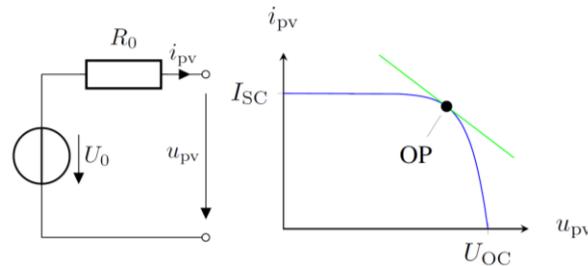


Abbildung 2: Approximation der nichtlinearen PV-Kennlinie durch ein einfaches lineares Ersatzmodell im aktuellen Betriebspunkt

Ergebnisse: Die Validierung des Detektors erfolgte anhand von Simulationen und Messungen an einer realen Photovoltaikanlage in Kombination mit einem Lichtbogengenerator zur Rekonstruktion von Fehlerfällen. Bei den Tests wurden alle Lichtbögen erfolgreich detektiert. Anhand einer Messung über den Zeitraum eines ganzen Tages zeigte sich zudem, dass es möglich ist Lichtbogenereignisse eindeutig von Einstrahlungsänderungen, verursacht durch Wolken oder Verschattung, zu unterscheiden. Ein Auszug dieser Messung ist in Abb. 3 dargestellt. Diese Abbildung zeigt bspw. die erfolgreiche Detektion von vier Lichtbögen während einer schnell wechselnden Verschattung der Module (a) und die erfolgreiche Detektion eines Lichtbogens während einer lang anhaltenden Abschattung durch Wolken (b).

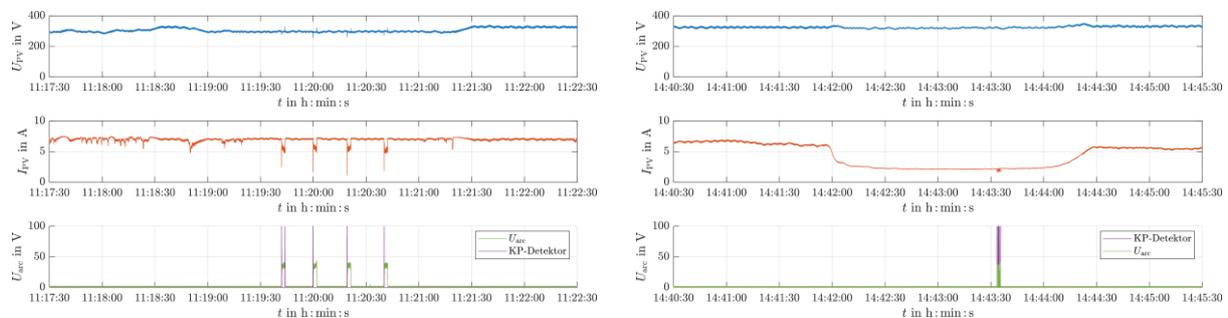


Abbildung 3: (a) Lichtbogendetektion bei Verschattung

(b) Lichtbogendetektion während einer Wolke

Der große Vorteil des entwickelten Detektionsprinzips ist der wesentlich geringere Rechenaufwand im Vergleich zu den herkömmlichen Ansätzen, welche meist auf Methoden im Frequenzbereich basieren. Dieser Aspekt spielt vor allem bei der praktischen Implementierung im Wechselrichter eine entscheidende Rolle, weil auf den Mikroprozessoren nur beschränkt Rechenleistung zur Verfügung steht. Ein weiterer maßgeblicher Vorteil ist die signifikant geringere Detektionszeit. Ein Vergleich mit am Markt erhältlichen Detektoren zeigt, dass der entwickelte Algorithmus Lichtbögen ca. 15 bis 20-mal schneller detektiert.

² Aus Gründen der Geheimhaltung kann zum aktuellen Zeitpunkt nicht näher auf das verwendete Kriterium eingegangen werden.