

# Analyse des Verbundbetriebs von PV-Zentralwechselrichtern während Netzfehlern

## Investigation of photovoltaic central inverters in parallel operation during grid faults

Gregor Dötter, Nicolas Bihler, Florian Ackermann, Roland Singer, Sönke Rogalla, Bruno Burger  
 Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE  
 Heidenhofstraße 2, 79110 Freiburg, Tel. 0761 4588-5947  
 gregor.doetter@ise.fraunhofer.de

### Kurzfassung

Welche Auswirkungen hat der Verbundbetrieb auf das Verhalten von parallel betriebenen Wechselrichtern? Zur Charakterisierung ihrer elektrischen Eigenschaften, gemäß den gültigen Einspeiserichtlinien, ist es üblich, jeweils nur ein einzelnes Gerät zu vermessen. Durch die Parallelschaltung entstehen Besonderheiten, die insbesondere während Netzfehlern, aber auch im stationären Betrieb Einfluss auf die Stabilität von Wechselrichtern und ganzen PV-Parks nehmen.

### Abstract

What are the effects of parallel operation onto the performance of PV-inverters? For the characterization of the electric properties, according to various grid codes, the measurement of only a single device is sufficient. Due to the parallel operation important issues, concerning the stability of the inverters during normal operation and during grid faults, arise. Among other points, this paper discusses the influence of the grid impedance and the influence of the number of parallel operated inverters onto the resonance of their grid filter.

## 1 Verschiebung der LCL-Filterresonanzstellen

Die Netzimpedanz setzt sich aus allen am Netz angeschlossenen Betriebsmitteln, Erzeugungsanlagen und Verbrauchern zusammen. Dabei spielt es keine Rolle, auf welcher Spannungsebene sich diese Elemente befinden. In Summe entsteht eine komplexe Impedanz, die typischerweise Resonanzstellen aufweist. Meist ist jedoch nur ein grober Wert der Netzimpedanz bei 50 Hz bekannt. Das Verhalten bei anderen Frequenzen soll in diesem Abschnitt analytisch berechnet werden.

In der Planungsphase von PV-Parks wird die Netzimpedanz meist nur zur Ermittlung der maximal anschließbaren Leistung herangezogen. Ihr Einfluss auf die Dämpfung von Oberschwingungen oder die Interaktion des Netzfilters der Wechselrichter mit der Netzimpedanz und die daraus entstehenden Resonanzstellen werden nur zweitrangig behandelt.

### 1.1 Berechnung der LCL-Filterresonanz

Zur Betrachtung der Resonanzstellen soll nach dem in Abb. 1 dargestellten Ersatzschaltbild vorgegangen werden. Die Wechselrichter (WR) sind ab den Klemmen des Leistungsteils dargestellt. Die rechteckförmige Ausgangsspannung der Brücken  $U_1 \dots U_x$  wird durch wechselrichterinterne LC-Filter, bestehend aus  $L_D$  und  $C_F$ , gefiltert. Im Zentralwechselrichterbereich werden üblicherweise LC-Filter eingesetzt. Die Streuinduktivität des Einspeisetrans-

formators wirkt als weitere netzseitige Induktivität  $L_F$ , wodurch eine LCL-Filteranordnung entsteht.

Im ersten Schritt wird die Netzimpedanz nur durch  $L_N$  dargestellt. Der kapazitive Einfluss von Kabeln und Freileitungen wird später durch  $C_N$  modelliert. Zur Vereinfachung wurden die ohmschen Anteile der Betriebsmittel vernachlässigt, da sie nur einen untergeordneten Einfluss auf die Übertragungsfunktion haben.

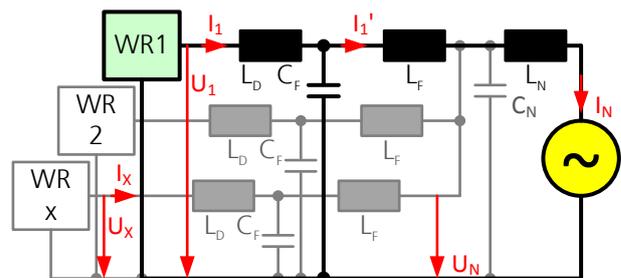


Abb. 1 Netzseitiges Ersatzschaltbild eines PV-Parks

Unter Vernachlässigung der grau dargestellten Bauteile ergibt sich für die Brückenspannung  $U_1$  folgende Übertragungsfunktion:

$$H_1(j\omega) = \frac{I_N}{U_1} = \frac{-1}{j\omega(L_D + L_F + L_N) - j\omega^3(C_F L_D(L_F + L_N))} \quad \text{Formel 1}$$

Die Resonanzstelle von  $H_1(j\omega)$  liegt bei:

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{L_D + L_G}{C_F L_D L_G}} \quad \text{mit } L_G = L_F + L_N \quad \text{Formel 2}$$

Die aus der Parallelschaltung von  $x$  Wechselrichtern nach Abb. 1 resultierende Übertragungsfunktion zeigt eine äh-