

### Aufgabe 15.1: Wechselstrombelastung von Batterien

Ein Photovoltaikmodul mit der Leistung  $P_{PV}$  versorgt einen Umrichter, der eine Wechselstromlast (einphasig) mit der Leistung  $P_L$  versorgt. Berechnen Sie den Batteriestrom bei einer Schaltungstopologie, wie sie in Abb. 15.3 dargestellt ist, also einer Batterie, die direkt ohne weitere Schaltmöglichkeiten mit dem Gleichstromzwischenkreis verbunden ist.

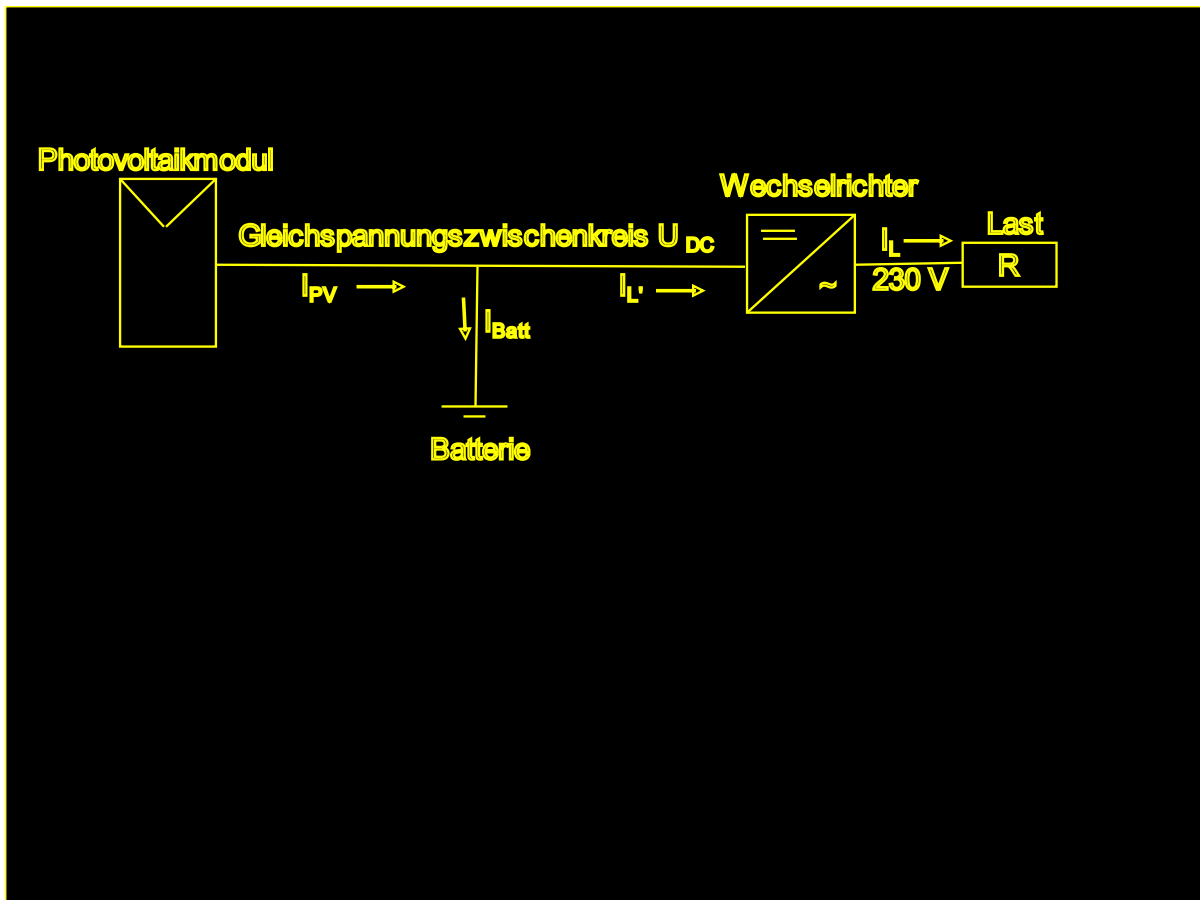


Abb. 15.3: Blockdiagramm einer PV-Anlage mit Batterie und Wechselrichter zur Versorgung einer 230 V Widerstandslast

Gehen Sie von folgenden Annahmen aus:

- Es gibt keinen Solarregler, der den von den PV-Modulen erzeugten Strom modifiziert. Die PV-Module liefern somit Gleichstrom  $I_{PV}$ .
- Der Gleichstromzwischenkreis hat eine konstante Spannung  $U_{DC}$ , die nicht durch den durch die Batterie fließenden Strom verändert wird.
- Im zeitlichen Mittel ist die von der Batterie gelieferte Leistung gleich der von der Widerstandslast bzw. dem Wechselrichter bezogenen Leistung
- Der Wechselrichter hat keine Verluste und nimmt keine Blindleistung auf. Seine Ausgangsspannung beträgt 230 V Wechselspannung bei 50 Hz. Betrachten Sie eine Periode  $T$  der Netzfrequenz, d.h. 20 Millisekunden.

Fragen:

- a) Was ist das Verhältnis von effektivem Laststrom  $I_{L,eff}$  und Photovoltaikstrom  $I_{PV}$  bei einer Batteriespannung (= Spannung des Gleichstromzwischenkreises) von 24 V?
- b) Berechnen Sie den zeitlichen Verlauf des Laststroms  $I_L$  und des vom Wechselrichter aufgenommenen Stroms  $I_{L'}$ , sowie das Verhältnis von  $I_{L',eff}$  zu  $I_{PV}$ .
- c) Berechnen Sie  $I_{Batt}$  und zeichnen Sie den Verlauf von  $I_{Batt}$  auf.  
Annahme: Batterie hat keine internen Verluste und ist eine ideale Spannungsquelle
- d) Wie groß oder klein muss der Photovoltaikstrom  $I_{PV}$  sein, damit  $I_{Batt}$  während des betrachteten Zeitraums  $T$  nicht seine Richtung ändert, d.h. die Batterie wird entweder geladen oder entladen?
- e) Wiederholen Sie die Berechnungen für einen Wechselrichter, der zusätzlich zu der Widerstandslast und Abgabe von Wirkleistung eine kapazitive oder induktive Last mit Blindleistung versorgt (Leistungsfaktor 0,6).

### Lösung

a) Die vom Wechselrichter (Annahme keine Verluste) während einer Periode  $T$  aus dem Zwischenkreis entnommene Energie (= die vom PV-Modul konstant eingespeiste Leistung  $\times T$ ) und die vom Wechselrichter an die Last während einer Periode  $T$  abgegebene Energie muss gleich sein.

$$I_{PV} \times U_{DC} \times T = I_{L,eff} \times U_{L,eff} \times T$$

$$P_{Durchschnitt} = I_{PV} \times U_{DC} = I_{L,eff} \times U_{L,eff}$$

$$I_{PV} = I_{L,eff} \times U_{L,eff} / U_{DC}$$

(1)

$I_{L,eff}$  ist um den Faktor  $24/230 = 0,104$  kleiner als  $I_{PV}$

b)  $I_L$  hat eine Frequenz von 50 Hertz und einen maximalen Wert, der um 1,41 (Wurzel 2) größer ist als  $I_{eff}$ .

Die Leistung auf der Wechselspannungsseite hat eine Frequenz von 100 Hz und schwankt zwischen Null und 2 x der im Durchschnitt abgegebenen Leistung:

$$P(t) = \sqrt{2} I_{L,eff} \times \sin \omega t \times \sqrt{2} U_{L,eff} \times \sin \omega t = 2 \times I_{L,eff} \times U_{L,eff} \times \sin^2 \omega t$$

$$P_{max} = 2 \times I_{L,eff} \times U_{L,eff}$$

Der vom Wechselrichter aus dem Zwischenkreis entnommene Leistungsverlauf ist identisch mit dem Leistungsverlauf auf der Wechselspannungsseite.  $I_{L'}$  hat, weil die Spannung im Zwischenkreis als konstant angenommen wird, die gleiche Form wie der Leistungsverlauf auf der Wechselspannungsseite, d.h. schwankt mit 100 Hertz zwischen Null und  $P_{max}$ .

$$P_{max} = U_{DC} \times I_{L'} = 2 \times I_{L,eff} \times U_{L,eff}$$

$$I_{L'} = 2 \times I_{L,eff} \times U_{L,eff} / U_{DC}$$

und entspricht damit dem doppelten des PV-Stroms  $I_{PV}$  gemäß (1) oben.

c) Die Batterie nimmt die Differenz zwischen  $I_{L'}$  und  $I_{PV}$  auf, d.h. liefert Energie, wenn die momentane Wechselstromleistung höher ist als die Leistung des PV-Moduls und speichert Energie, wenn die momentane Wechselstromleistung geringer als die Leistung des PV-Moduls ist.  $I_{batt}$  hat somit eine Frequenz von 100 Hz und die Amplitude von  $I_{PV}$ . Die Batterie wird ständig ge- und entladen. Ohne interne Verluste (keine Spannungsänderung beim Laden bzw. Entladen) würde das bedeuten, dass

die Batterie nur Blindleistung aufnimmt, weil sich im zeitlichen Mittel der Energieinhalt der Batterie nicht ändert.

d) Ohne Blindleistung: Eine Richtungsänderung des Batteriestroms kann nur verhindert werden, wenn

- entweder die konstante Leistung des PV-Moduls mindestens so groß wie die maximale Wechselstromleistung  $P_{\max}$  ist,
- oder das PV-Modul keine Leistung liefert.

Mit Blindleistung: Das PV-Modul muss die Leistung der Wechselstromlast und den maximalen Momentanwert für die Blindleistung liefern. Nur dann gibt es keine Mikrozyklen. Selbst wenn das PV-Modul keine Energie liefert gibt es somit Lade- und Entladeströme für die Batterie, weil die Batterie die Blindleistung aufnehmen muss.

e) Je größer der Innenwiderstand der Batterie, desto größer ist auch die Spannungsänderung der Batterie. Die Messung des Spannungsrippels ist also eine Möglichkeit zur Innenwiderstandsbestimmung der Batterie. Da die Spannungsänderungen sehr klein gegenüber der Durchschnittsspannung sind, müssen sie bei technischen Auslegungen nicht berücksichtigt werden.

Die beiden folgenden Abbildungen zeigen die Verläufe für eine Einspeisung von 500 Watt (durchschnittlich) auf der Wechselspannungsseite. Die Ströme sind für den Fall konstanter Wirkleistung auf der Wechselstromseite berechnet.

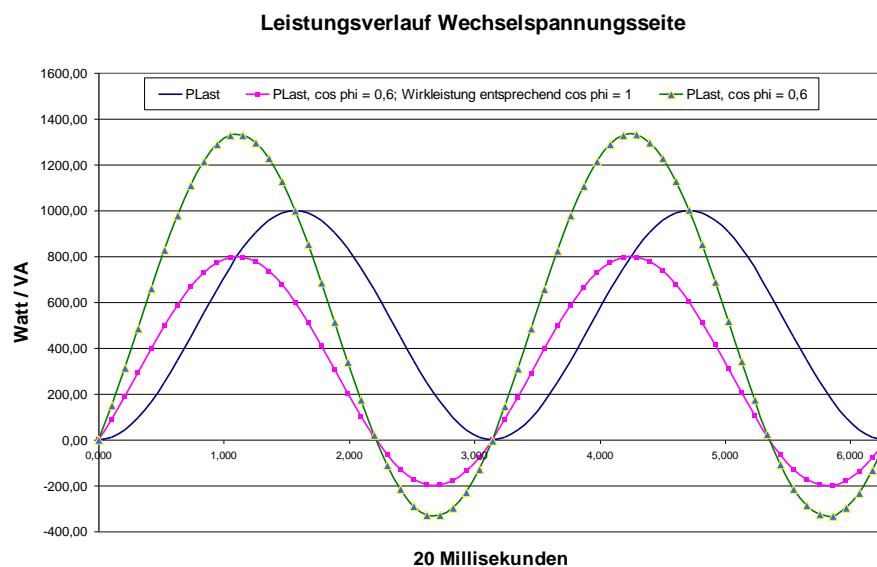


Abb. A.15.1.1: Leistungsverlauf auf der Wechselstromseite

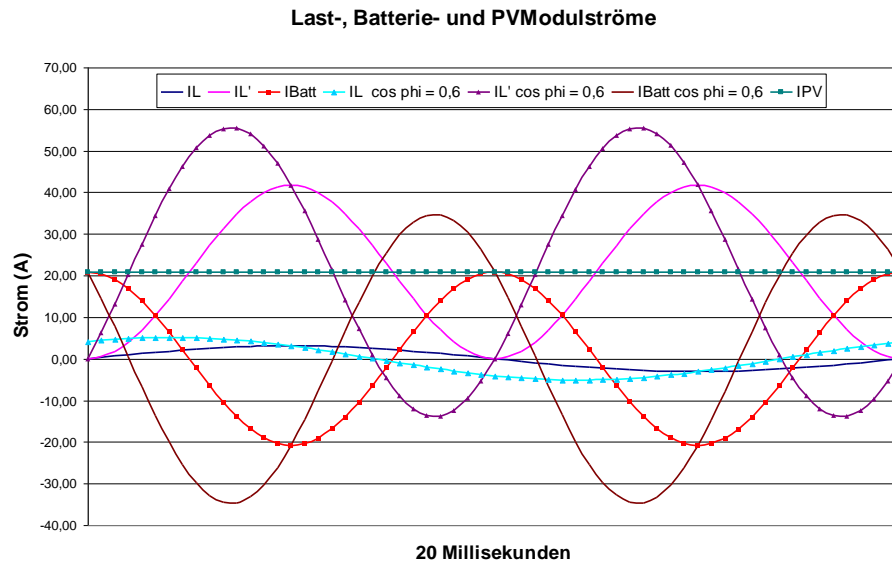


Abb. A15.2.2: Stromverlauf durch Last und Batterie