

# Netzregelung mit LED-Lampentreibern für zukünftige Stromnetze ohne rotierende Massen

Eberhard Waffenschmidt,  
Betzdorferstr.2, 50679 Köln  
+49 221 8275 2020  
eberhard.waffenschmidt@th-köln.de  
www.100pro-erneuerbare.com

## 1. Einleitung

Demnächst müssen rotierende Massen im Stromnetz durch Leistungselektronik mit „Virtuellen Inertia“ ersetzt werden. Eine Möglichkeit bieten hier Zwischenkreiskondensatoren von Leistungselektronik-Konvertern. Bei der letzten Otti-Konferenz „Zukünftige Stromnetze für Erneuerbare Energien“ 2016 wurde vom Autor das Potential für Einspeisewechselrichter, z.B. für Photovoltaik (PV) – Wechselrichter hergeleitet [1].

Ein ähnliches Potential besteht allerdings auch auf der Verbraucherseite. Dieses Potential, Verbraucher zur Netzregelung mitzuverwenden, wird derzeit nahezu vollständig vernachlässigt. In diesem Beitrag wird ein bestehender LED-Lampentreiber zur Bereitstellung von Momentanregelung modifiziert und Messungen vorgestellt.

In dem genannten Beitrag [1] wurde, wie auch ausführlicher in [2], hergeleitet, dass bestehende Hardware genutzt werden kann, denn im alltäglichen Betrieb liegt die zusätzliche Leistungsmodulation im Promille-Bereich und die Spannungsschwankungen im einstelligen Prozentbereich. Weiterhin wurde dort hergeleitet, dass sich die zusätzliche Leistung  $\Delta P$  proportional zur zeitlichen Ableitung der Netzfrequenz  $df/dt$  verhalten muss. Damit ist die Zwischenkreisspannung direkt proportional zur Netzfrequenz  $f$ . Diese Überlegungen gelten analog bei Schaltnetzteilen für Lasten. Eine ausführliche Beschreibung des Gesamtsystems ist kürzlich unter [3] erschienen, von wo auch insbesondere Kapitel 4 und 5 weitgehend übernommen sind. Wesentliche Ergebnisse wurden durch N. Kovacs im Rahmen Ihrer Masterarbeit erarbeitet [4]. Der Beitrag hier zeigt, dass auch die Realisierung des

notwendigen Regelkreises durch eine einfache Modifikation existierender Regelschaltkreise möglich ist.

## 2. Leistungsfaktor-Korrektur-Schaltung (PFC) als Regler für Virtuelle-Inertia-Funktion

Schaltnetzteile, welche eine gewisse Leistung überschreiten, müssen eine erste Stufe enthalten, welche den Leistungsfaktor (inklusive höhere Harmonische) innerhalb von gewissen Grenzen hält. Bei Lampentreibern gilt das beispielsweise ab 25W (EN61000-3-2). Dieser sogenannte Power Factor Correction (PFC) Circuit wird normalerweise als Hochsetzsteller ausgeführt. Bild 1 zeigt eine solche typische Schaltung. Sie regelt den Leistungsfluss zum Zwischenkreis-Kondensator: Wenn die Zwischenkreisspannung fällt, benötigt die LED zu viel Leistung und der Regler erhöht den Strom und damit die Leistung von Netz. Wenn die Zwischenkreisspannung zu hoch ist, reduziert er die Leistung. Im allgemeinen versucht der Regler, die Zwischenkreisspannung auf einem vorgegebenen Wert zu halten.

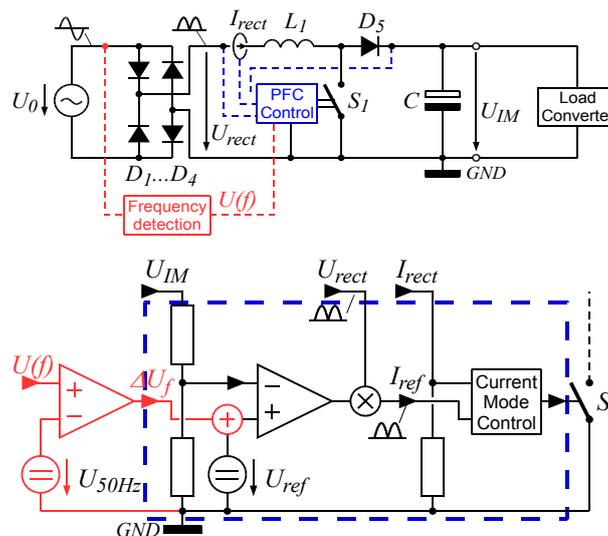


Bild 1: Generelles Regelkonzept. Links: Verallgemeinertes Blockschaltbild eines PFC-Konverters. Rechts: Details der Regelschaltung mit Hinzufügungen für eine Virtuelle-Inertia-Regelung

Die generelle Idee ist nun, diesen Regler zu „missbrauchen“ und um die Virtuelle-Inertia-Regelung zu erweitern. Dies kann sehr einfach geschehen: Wie in [2] dargelegt wird, muss die Zwischenkreisspannung der Frequenz folgen. Daher wird der

Referenzwert für die Zwischenkreisspannung mit einem Offset versehen, der proportional zur aktuellen Frequenzabweichung ist. Damit folgt die Zwischenkreisspannung der Frequenzabweichung, und die Regelung des PFC sorgt inhärent dafür, dass die passende zusätzliche Leistung vom Netz bezogen oder abgegeben wird. Insbesondere sorgt diese Art Regelung dafür, dass die Zwischenkreisspannung immer innerhalb vorherbestimmter Grenzen bleibt, weil das auch für die Frequenzabweichung gilt.

### 3. Umsetzung

Um das Konzept für eine Virtuelle-Inertia-Regelung zu überprüfen, wurde ein Lampentreiber von Philips für eine 35 W LED-Lampe, welcher eine PFC-Stufe enthält, modifiziert. Es handelt sich um einen Philips Xitanium/Fortimo LED Driver 110-3000TD/I (siehe auch Bild 2).

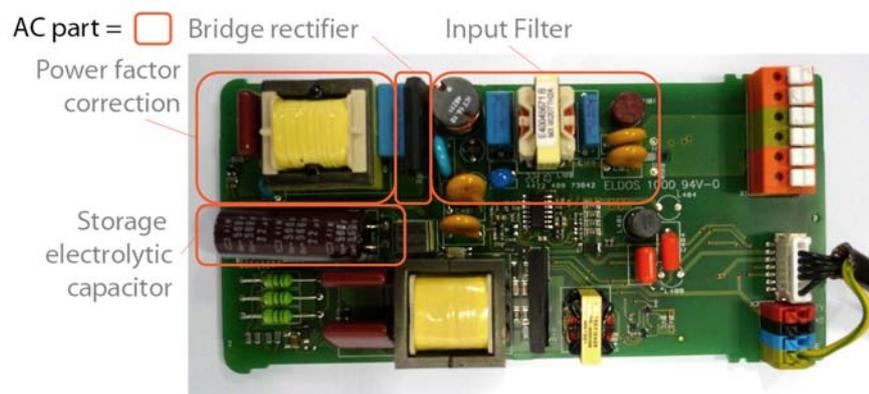


Bild 2: Foto des modifizierten LED-Treibers.

Als erster Test wurde ein Signal, das eine Frequenzabweichung repräsentiert, als Offset angelegt. Bild 3 zeigt die entsprechende Messung mit einem Signal (unten), welches eine linear an- und absteigende Netzfrequenzabweichung repräsentiert. Die Zwischenkreisspannung (oben) folgt klar dem invertierten Vorgabesignal. Die Eingangsleistung ist in der Mitte dargestellt. Sie oszilliert mit 100 Hz. Die dargestellte Hüllkurve entspricht dem ideal erwarteten Leistungsverlauf. Die Messungen zeigen, dass die Eingangsleistung tatsächlich wie erwartet beinahe einer Rechteckfunktion folgt. Während des Versuchs konnte keine sichtbare Änderung der LED-Helligkeit wahrgenommen werden. Die Messung zeigt, dass die Eingangsstufe des LED-

Treibers sich tatsächlich wie gewünscht die benötigten Eigenschaften für die Virtuelle-Inertia-Funktion bereitstellt.

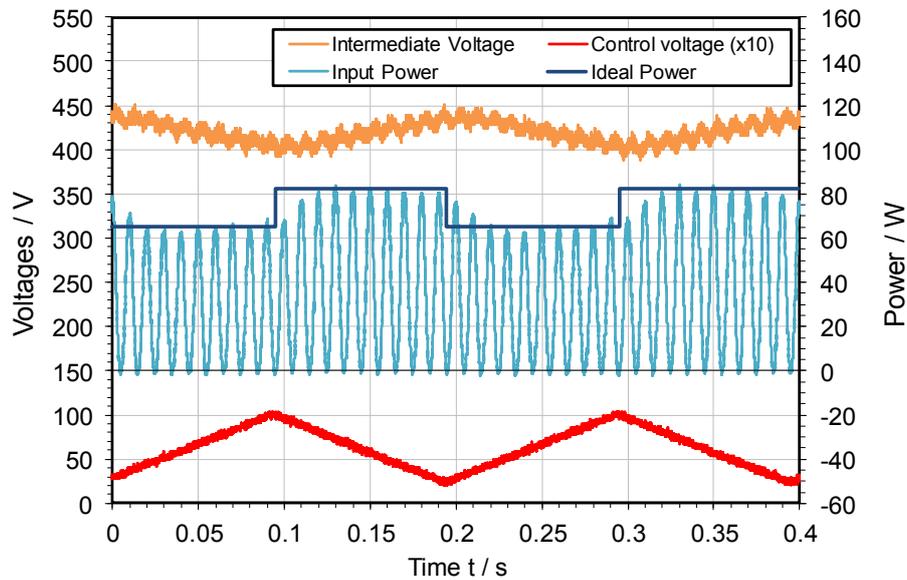


Bild 3: Messungen der Zwischenkreisspannung (oben) und der Eingangsleistung (mitte) mit linear an- und absteigendem Regelsignal (unten).

#### 4. Frequenzerkennung

Um die Reaktion auf eine tatsächliche Netzfrequenzänderung zu demonstrieren, wurde ein Frequenz-Spannungs-Konverter nach Bild 4 entworfen. IC 1 (LM2907) wandelt die Netzfrequenz in eine Spannung. IC2 zieht einen Offset ab um ein Signal für die Frequenzabweichung zu erhalten, und IC3 verstärkt dieses Signal. Dieser Ausgang ist dann mit dem Regel-Eingang für die Zwischenkreisspannung des Controllers verbunden.

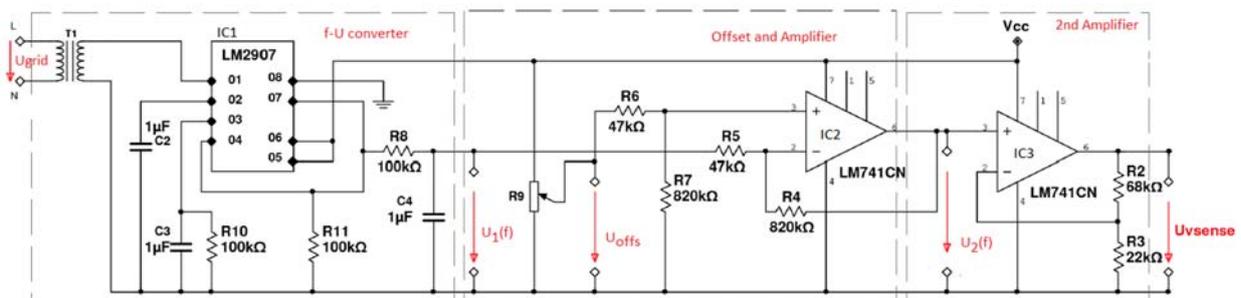
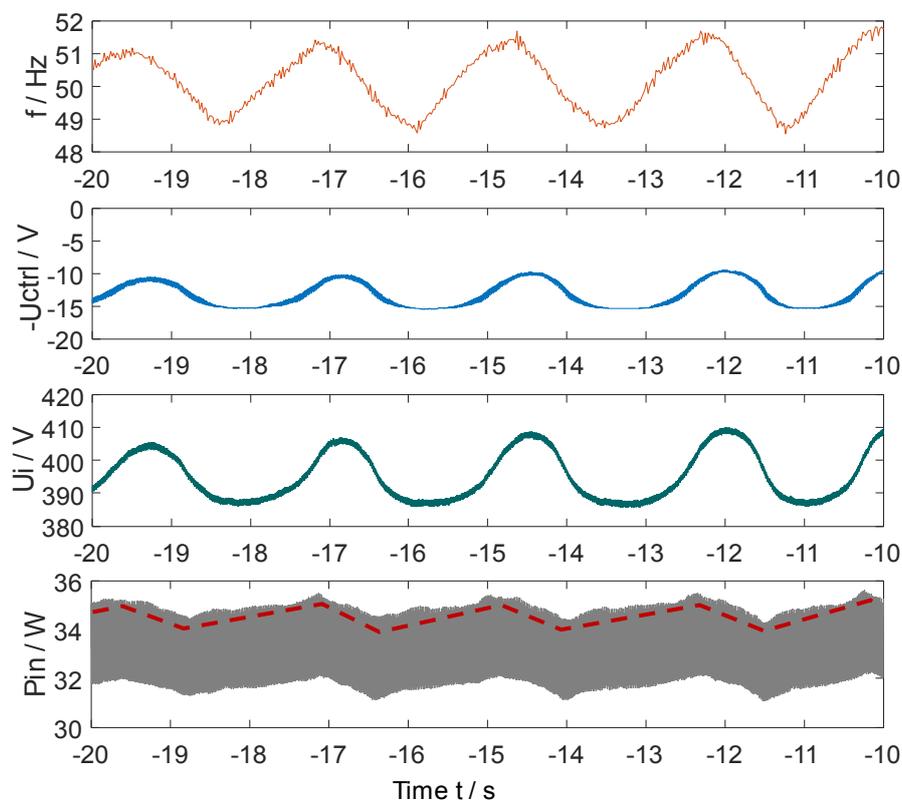


Bild 4: Schaltplan des Frequenz-Spannung-Konverters [4].

Die komplette Schaltung wurde sodann an einem Synchrongenerator getestet, der eine manuell regelbare variable Netzfrequenz vorgeben kann. Bild 5 zeigt entsprechend gemessene Ergebnisse. Die Frequenz (oben) steigt und fällt mehr oder weniger linear. Die Regelspannung (zweite von oben), welche vom Frequenz-Spannungs-Konverter bereitgestellt wird, ist hier invertiert dargestellt, um einen besseren Vergleich mit der Netzspannung zu ermöglichen. Weiterhin sind die Zwischenkreisspannung (dritte von oben) sowie gemittelte Eingangsleistung (unten) dargestellt. Die gestrichelte Linie im unteren Diagramm ist als Darstellungshilfe für die Eingangsspannung hinzugefügt.



*Bild 5: Messergebnis mit einer von einem manuell gesteuerten Synchrongenerator erzeugten Netzspannung.*

Die Regelspannung folgt der Netzfrequenz andeutungsweise, aber die Form ist verzerrt und das Signal verzögert. Insbesondere der Tiefpass (R8, C4) von IC1 trägt zu diesem Effekt bei. Hier musste ein Kompromiss gefunden werden um den Ripple auf dem Signal zu begrenzen. Die Zwischenkreisspannung folgt dem Regelsignal gut. Die Eingangsleistungvariation kann tatsächlich wie beabsichtigt der zeitlichen

Ableitung der Zwischenkreisspannung zugeordnet werden. Jedoch ist der Zusammenhang zwischen Leistungsvariation und Frequenzabweichung aufgrund des beschriebenen Tiefpasses noch deutlich verbesserungswürdig. Eine verbesserte Frequenzumwandlung wäre hier auf jeden Fall notwendig. Bei einer Integration dieser Funktion in den Controller-Chip wäre mit Sicherheit eine deutlich bessere Funktion zu erwarten.

## **5. Fazit**

Eine vergleichsweise einfache Modifikation der Regelung von Power-Fact-Correction (PFC)-Eingangsstufen in Schaltnetzteilen könnte ohne weitere Hardware-Änderung einen deutlichen Beitrag zur Momentan-Reserve und damit zur Stabilität von zukünftigen Stromnetzen mit viel Erneuerbaren Energien liefern. Während die aktuelle Testschaltung im Detail durchaus verbesserungswürdig ist, lässt sich das Potential anhand der Messungen durchaus erkennen.

## **Referenzen**

- [1] Eberhard Waffenschmidt, "Momentan-Regelung mit Photovoltaik-Wechselrichtern", Ottili-Konferenz "Zukünftige Stromnetze für erneuerbare Energien", Berlin, 26.-27. Jan. 2016
- [2] Eberhard Waffenschmidt, Ron S.Y. Hui, "Virtual inertia with PV inverters using DC-link capacitors", EPE'16 ECCE Europe - 18th European Conference on Power Electronics and Applications, 5.-9. Sep. 2016, Karlsruhe, Germany
- [3] Eberhard Waffenschmidt, "Leistungselektronik ersetzt rotierende Massen im Stromnetz der Zukunft - Virtuelle Schwungmasse", Elektronik Power, Okt. 2016, S. 16
- [4] Nora Kovacs, "Momentanregelung mit Licht emittierenden Dioden (LED) Lampentreibern", Master Thesis at TH-Köln, 23. May 2016.