

# 4.12 Netzpulsrichter mit Störgrößenbeobachter zur Verminderung der Oberschwingungen des Netzstromes

Karl-Heinz Glahe

## Zusammenfassung

Die Verwendung eines Störgrößenbeobachters führt zu einer wesentlichen Verminderung der Netzstromüberschwingungen von Netzpulsrichtern. Eine zusätzliche Messung der Netzspannungen ist hierbei nicht erforderlich. Die Oberschwingungsunterdrückung wird vor allem bei niedrigen Abtaststraten der Regelung (1...3 kHz) stark verbessert.

## 1 Einleitung

Netzpulsrichter (NPUR) bieten die Möglichkeit motorische und generatorische Lasten mit einer geregelten Gleichspannung zu versorgen. Im Gegensatz zu ungesteuerten Gleichrichtern können nahezu sinusförmige Netzströme bei einem Leistungsfaktor  $\lambda_0 \approx 1.0$  erzielt werden. Darüberhinaus kann bei generatorischer Last Energie in das Drehstromnetz rückgespeist werden. Die Verfügbarkeit moderner Mikrokontroller sowie leistungsfähiger Spezialchipsätze, die auf einer Kombination von Mikrokontroller und DSP basieren, haben in der Pulsrichtertechnik zu einer weiten Verbreitung von Regelverfahren in synchronen Koordinaten geführt. Diese erlauben eine hochdynamische Regelung der Grundschiwingung des Netzstromes. Bei größeren Leistungen werden meistens Pulsfrequenzen im Bereich von 1...3 kHz verwendet. Da die digitale Abtastregelung synchron mit der Pulsfrequenz arbeitet, liegen die Abtaststraten in der gleichen Größenordnung. Die Bandbreite des Netzstromregelkreises reicht unter diesen Bedingungen zwar aus um die Grundschiwingung des Netzstromes zu regeln, führt aber hinsichtlich der Oberschwingungen des Netzstromes zu unbefriedigenden Ergebnissen. Stromüberschwingungen kommen durch die Harmonischen der Netzspannung zustande, die als zusätzliche Störgrößen auf den Netzstromregler einwirken. Im folgenden soll ein Verfahren zur Verminderung derartiger Stromüberschwingungen vorgestellt werden.

## 2 Modellbildung

Das Regelungssystem besteht aus einem Spannungsregler für die Zwischenkreisspannung und einem unterlagerten Stromregler für den Netzstromraumzeiger  $\mathbf{i}_N = [i_d, i_q]^T$ . Die Stromregelung erfolgt in einem Koordinatensystem, das auf den mit der Winkelgeschwindigkeit  $\Omega$  rotierenden Netzspannungsraumzeiger  $\mathbf{u}_N = [e_d, e_q]^T$  orientiert ist. Die Gleichung der Stromregelstrecke ergibt sich damit als

$$\begin{bmatrix} \dot{i}_d \\ \dot{i}_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} & \Omega \\ -\Omega & -\frac{R}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} & 0 \\ 0 & \frac{1}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_d - e_d \\ u_q - e_q \end{bmatrix} \quad (1)$$

mit  $\mathbf{u}_U = [u_d, u_q]^T$  und  $\mathbf{u}_N = [e_d, e_q]^T$ .

Der Vektor  $\mathbf{u}_U = [u_d, u_q]^T$  stellt die Ausgangsspannung des Pulsrichters dar. Man erkennt, daß die Netzspannung  $\mathbf{u}_N$  als Störgröße am Streckeneingang angreift.

Tabelle 1 gibt die Frequenztransformation für einige symmetrische Netzspannungsüberschwingungen in das synchrone Koordinatensystem an. Die 5. und 7. Oberschwingung der Netzspannung haben

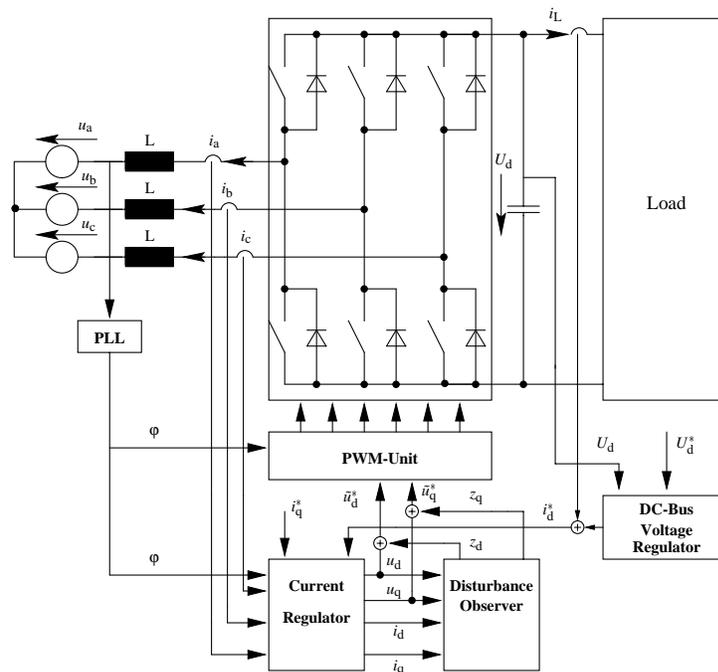
**Tabelle 1:** Transformation von Netzspannungsüberschwingungen in das  $dq$ -System

Ordnung $e_{(v)}$	Frequenz von $e_{d(v)}, e_{q(v)}$
$v = 2, 4$	150Hz
$v = 5, 7$	300Hz
$v = 8, 10$	450Hz
$v = 11, 13$	600Hz

entsprechende Anteile in den Phasenströmen des NPUR zur Folge. Die  $dq$ -Komponenten des Netzstromes enthalten deshalb Anteile mit einer Frequenz von 300Hz.

### 3 Regelungskonzept

In Abb. 1 ist die Struktur eines Regelungssystems dargestellt, das die Kompensation derartiger Störkomponenten zum Ziel hat. Es besteht im wesentlichen aus den Komponenten PLL, Spannungsregler,



**Abbildung 1:** Vereinfachtes Blockschaltbild

Stromregler und Störgrößenbeobachter. Die Aufgabe des Störgrößenbeobachters ist es, bestimmte Oberschwingungen der Netzspannung zu schätzen und als Kompensationsgröße  $[z_d, z_q]$  für die Vorsteuerung der PWM zur Verfügung zu stellen. Die PLL liefert den Winkel für die Transformation der Netzströme in das  $dq$ -System.

### 4 Versuchsaufbau

Die in Abb. 1 angegebene Regelungsstruktur wurde mit einem Umrichter auf Basis des Mikrocontrollers 80C167 realisiert (AEG Multiverter). Die erforderliche Rechenleistung für die Reglerkomponenten wird von einem zusätzlichen Fixed-Point DSP (Motorola 56002) erbracht. Der Datentransfer zwischen

Mikrokontroller und DSP erfolgt über ein Dual-Ported RAM. Die Aufgabe des Mikrokontrollers ist die Meßwerterfassung und Pulsmustererzeugung, der DSP berechnet die Regler- und Beobachtergleichungen.

Der Beobachter basiert auf der Erweiterung des Streckenmodells gemäß Gl. (1) mit einem Störmodell, das ausgewählte harmonische Störkomponenten beschreibt. Der Entwurf von Regler und Beobachter erfolgt mit der Control-Toolbox des Programmpaketes MATLAB.

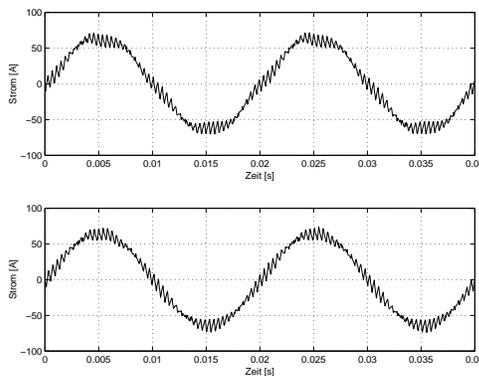
## 5 Meßergebnisse

Im folgenden werden einige Meßergebnisse vorgestellt, die am Versuchsaufbau unter den Bedingungen in Tabelle 2 gewonnen wurden. Abb. 2 zeigt den Netzstrom  $i_a$  bei Nennlast im Gleichrichterbetrieb.

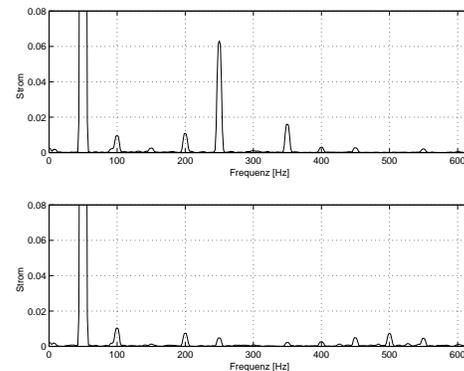
Netzspannung (RMS)	230 V
5. Oberschw. d. Netzspg.	2.5 %
7. Oberschw. d. Netzspg.	1.0 %
Netzstrom (RMS)	42 A
Induktivität L	2 mH $\sim$ 0.11 p.u.
Zwischenkreisspannung	622 V
Zwischenkreiskondensator	1500 $\mu$ F
Schaltfrequenz = $1/T_s$	2.4 kHz

**Tabelle 2:** Daten des Versuchsaufbaus

Die obere Kurve zeigt den zeitlichen Verlauf von  $i_a$  ohne Störkompensation, die untere Kurve gibt den



**Abbildung 2:** Netzstrom  $i_a$  bei Nennlast



**Abbildung 3:** Spektrum des Netzstromes  $i_a$

Verlauf mit Störkompensation an. Die normierten Spektren der oben dargestellten Netzströme sind in Abb. 3 wiedergegeben. Bezugswert ist der Betrag des Grundschwingsanteils.

Ohne Störkompensation tritt bei 250Hz eine Stromkomponente von ca. 6% der Grundschwingung auf (obere Kurve). Mit Störkompensation (das Störmodell ist auf 300 Hz abgestimmt) liegen die 5. und 7. Oberschwingung deutlich unter 1% (untere Kurve).