

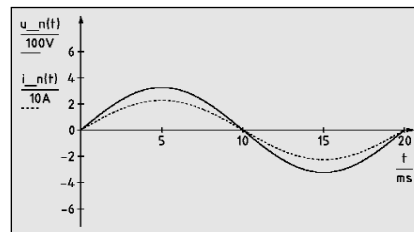
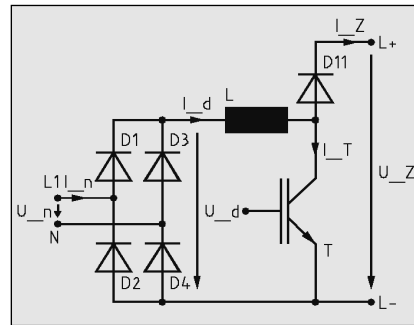
# Aktive Leistungsfaktorkorrektur bei Netzgleichrichtern

## Geregelte ein- und dreiphasige Gleichrichter mit minimierter Blindleistungsaufnahme

**I**m folgenden Beitrag wird die Funktionsweise verschiedener einphasiger und teilweise neuartiger dreiphasiger Netzgleichrichter mit aktiver Leistungsfaktorkorrektur beschrieben. Ergänzend zu den auch in ungesteuerten Gleichrichtern eingesetzten Dioden enthalten sie Transistoren, die als Stellglieder für die Regelung der netzseitigen Eingangsströme dienen. Neben einem optimierten EMV-Verhalten bieten diese Schaltungen zusätzliche Funktionalität. Die Entwicklung von Geräten, die diese Technik nutzen, wird durch den Einsatz von integrierten Leistungshalbleiter-Bauelementen erleichtert.

Ungesteuerte Netzgleichrichter sind bewährt, einfach anzuwenden, robust und preisgünstig. Ihre pulsformige Netzstrom-Aufnahme kann allerdings EMV-Probleme verursachen; die Einhaltung der Grenzwerte aus IEC61000-3-2 bzw. IEC61000-3-4 macht häufig den Einsatz von passiven Filtern erforderlich.

Der Aufwand für passive Filter reduziert sich demgegenüber auf ein Minimum, wenn ein geregelter Gleichrichter sinusförmige Netzströme mit einem Leistungsfaktor um eins einprägt. Die Regelung kann weiterhin genutzt werden, um Ausgangsspannung oder -strom des Gleichrichters über einen weiten Eingangsspannungsbereich konstant zu halten, wie für internationale Verwendbarkeit und sicheren Betrieb an schwachen Netzen vorteilhaft. Nimmt ein solcher Gleichrichter idealerweise keine Blindleistung auf, so ist zudem sichergestellt, dass aus einem mittels Sicherung strombegrenzten Anschluss die maximal mögliche Wirkleistung entnommen werden kann; dies ist beispielsweise für



Schweißgeräte im mobilen Einsatz von großer Bedeutung. Weitere typische Anwendungen, deren hohe Anforderungen an das EMV-Verhalten die aktive Leistungsfaktorkorrektur nahelegen, sind Stromversorgungen für Telekommunikation und Datenverarbeitung.

### Einphasige Gleichrichterschaltungen

Die Schaltung eines häufig eingesetzten einphasigen Netzgleichrichters mit Leistungsfaktorkorrektur zeigt Abb. 1a. Der Hochsetzsteller, bestehend aus  $L$ ,  $T$  und  $D_{11}$ , dient dazu, den Eingangstrom der ungesteuerten Diodenbrücke  $D_1$ - $D_4$  auf Sinusform zu regeln, wie Abb. 1c beispielhaft für eine Leistungsaufnahme von  $P_n = 3,6 \text{ kW}$  an  $U_n = 230 \text{ V}$  Netzspannung darstellt. Abb. 1b verdeutlicht die Funktionsweise der Regelung: Der Sollwert des Drosselstroms  $i_w(t)$  entspricht einem Ausschnitt aus der zu approximierenden Sinus-halbwelle des Netzstroms in Abb. 1c. Unterschreitet der Istwert des Stroms  $i_d(t)$  diesen Sollwert, so wird die Drossel  $L$  durch Einschalten des Transistors  $T$  an die Spannung  $u_d(t)$  gelegt und mithin mit steigendem

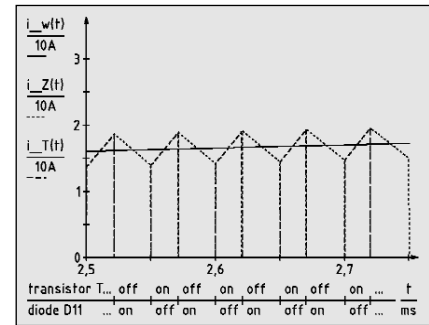


Abb. 1: Einphasiger Gleichrichter mit Hochsetzsteller zur Leistungsfaktorkorrektur, Schaltbild sowie Strom- und Spannungsverläufe

Strom  $i_d(t)$  aufmagnetisiert; überschreitet  $i_d(t)$  den Sollwert  $i_w(t)$ , wird  $T$  abgeschaltet und die Drossel  $L$  magnetisiert über  $D_{11}$  in den Gleichspannungs-Zwischenkreis  $U_Z$  ab. Der Netzstrom weist also einen sinusförmigen Verlauf mit zusätzlicher durch die Taktung des Transistors bedingter Welligkeit auf; deren Amplitude bleibt durch die typischerweise im Bereich von 50 kHz bis 100 kHz liegenden Taktfrequenzen klein im Verhältnis zum Nennstrom. Für die Ansteuerung dieser Schaltung kann auf verschiedene ICs zurückgegriffen werden, vgl. z.B. [1].

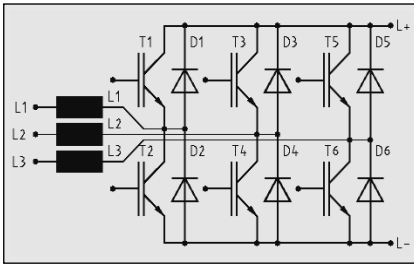
Es ist prinzipiell möglich, drei dieser einphasigen Gleichrichter im Stern oder Dreieck zu verschalten und als dreiphasigen Gleichrichter zu nutzen [2]; andere Topologien, die im folgenden vorgestellt werden, haben sich hierfür jedoch als in der Regel zweckmäßiger erwiesen.

### Dreiphasige Gleichrichterschaltungen

Die dreiphasige Brückenschaltung in Abb. 2 kann mit bekannten Steuerverfahren – z. B. Pulsbreitenmodulation – als Gleich- und Wechselrichter eingesetzt werden.

#### ► Autor

Dr.-Ing. A. LINDEMANN ist verantwortlich für die Entwicklung von Leistungshalbleiter-Bauelementen bei IXYS Semiconductor GmbH; Postfach 1180, D-68619 Lampertheim Fon: 0 62 06 / 5 03-214, Fax: 0 62 06 / 5 03-579 E-Mail: a.lindemann@ixys.de



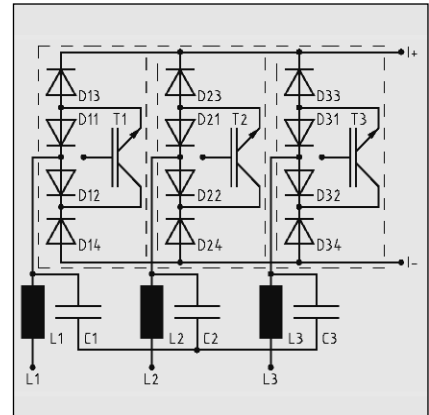
**Abb. 2: Dreiphasiger Gleichrichter in Brückenschaltung**

Der in Abb. 3 dargestellte ‚Vienna-Rectifier‘ kommt mit nur drei steuerbaren Schaltern  $T_1$ – $T_3$  aus. Man erkennt im Schaltbild die netzseitigen Eingänge  $L_1$ – $L_3$  ohne Neutralleiter sowie den Gleichspannungs-Ausgang mit Mittelpunkt  $L+$ , MP,  $L-$ . Um die Funktionsweise nachzuvollziehen, sei ein Zeitintervall betrachtet, an dem  $L_1$  auf einem Potential zwischen demjenigen von MP und demjenigen von  $L+$  liege. Durch Einschalten des Transistors  $T_1$  magnetisiert die Drossel an  $L_1$  über die Potentialdifferenz zwischen  $L_1$  und MP auf – der Strompfad führt über  $D_{11}$ – $T_1$ – $D_{14}$ ; wird  $T_1$  abgeschaltet, so kommutiert der Strom auf den Freilaufpfad  $D_{11}$ – $D_{15}$  und die Drossel magnetisiert gegen die Potentialdifferenz zwischen  $L+$  und  $L_1$  in den Zwischenkreis ab. Bei anderer Polarität von Strom oder Spannung an  $L_1$  sowie in den anderen Phasen stellen sich in der symmetrischen Schaltung entsprechende Verläufe ein. Man erkennt, dass die Funktion des ‚Vienna-Rectifiers‘ der des beschriebenen hochsetzstellerbasierten einphasigen Gleichrichters sehr ähnlich ist. Ausführlichere Erläuterungen auch über die Regelverfahren finden sich in [3],[4],[5],[6].

Im Gegensatz zum ‚Vienna-Rectifier‘ weist der in Abb. 4 gezeigte Gleichrichter einen stromgeregelten Ausgang auf: Der konstante Ausgangsstrom zwischen  $I+$  und  $I-$  kann mit den Transistoren  $T_1$ – $T_3$  in Abhängigkeit von den Netzspannungen in einzelne Eingänge oder einen Freilaufzweig eingepreßt werden. Dies geschieht so, dass jeder Phasenstrom netzseitig vor dem LC-Filter der Sinusform der zugehörigen Phasenspannung folgt, wie in [7] näher erläutert.

## Integrierte Bauelemente

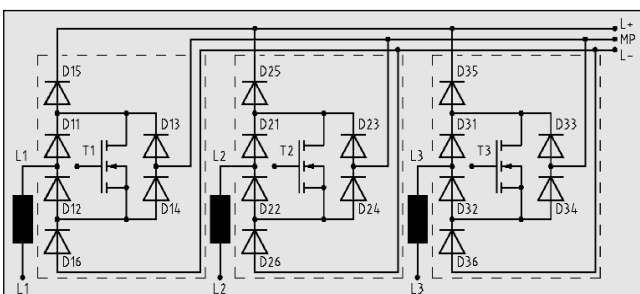
Die einzelnen Komponenten eines integrierten Halbleiterbauelements für Netzgleichrichter mit Leistungsfaktor-Korrektur sollen verschiedene Anforderungen erfüllen: Entsprechend wie bei ungesteuerten Gleichrichtern ist es zur Vermeidung von Kommutierungseinbrüchen in der Eingangsspannung vorteilhaft, wenn das Abschaltverhalten der mit Netzfrequenz betriebenen Gleichrichterdiode optimiert ist. Ebenso erfordern die erwähnten hohen Taktfrequenzen der Stellglieder hinreichend schnelles Schalten der Freilaufdiode und Transistoren: Bei den Freilaufdiode kann dies mit einer Reihen-



**Abb. 4: dreiphasiger Gleichrichter mit Stromzwischenkreis**

**Tabelle 1: integrierte Leistungshalbleiter-Bauelemente für aktive Leistungsfaktorkorrektur**

Typenbezeichnung (IXYS)	Ausführung	übertragbare Leistung $P_n$
<b>einphasiger Gleichrichter mit Hochsetzsteller</b>		
VUI9-06N7	Modul mit schnell schaltenden Netzdiode, IGBT und Serien-FRED	$P_n=2100(900)W$ bei $U_n=240(110)V, U_Z=400V, f_T=75kHz, T_C=80^\circ C$
FBO16-08N (Gleichrichter) FID35-06C (Hochsetzsteller)	ISOPLUS i4 <sup>TM</sup> ISOPLUS i4 <sup>TM</sup> mit IGBT und Serien-FRED	$P_n=2600(950)W$ bei $U_n=240(110)V, U_Z=400V, f_T=75kHz, T_C=80^\circ C$
FBO16-08N (Gleichrichter) FMD21-05QC (Hochsetzsteller)	ISOPLUS i4 <sup>TM</sup> ISOPLUS i4 <sup>TM</sup> mit MOSFET und Serien-FRED	$P_n=3100(1400)W$ bei $U_n=240(110)V, U_Z=400V, f_T=75kHz, T_C=80^\circ C$
VUM24-05N	Modul mit MOSFET	$P_n=2800(2200)W$ bei $U_n=240(110)V, U_Z=400V, f_T=75kHz, T_C=80^\circ C$
VUM33-05N	Modul mit MOSFET	$P_n=4200(3300)W$ bei $U_n=240(110)V, U_Z=400V, f_T=75kHz, T_C=80^\circ C$
<b>dreiphasiger Gleichrichter in Brückenschaltung</b>		
MWI30-06A7-MWI200-06A8 MWI15-12A7-MWI100-12A8	IGBT-Module	$P_n$ typabhängig, $U_n=240V$ $P_n$ typabhängig, $U_n=400V$
<b>„Vienna-Rectifier“</b>		
VUM25-05 (1 Stück pro Phase)	Modul mit MOSFET	$P_n=10kW$ bei $U_n=400V, T_C=80^\circ C$
VUM85-05A (1 Stück pro Phase)	Modul mit MOSFET	$P_n=30kW$ bei $U_n=400V, T_C=80^\circ C$
<b>dreiphasiger Gleichrichter mit Stromzwischenkreis</b>		
VUI30-12A (1 Stück pro Phase)	Modul mit IGBT	$P_n=15kW$ bei $U_n=400V, f_T=15kHz, T_C=80^\circ C$



**Abb. 3: dreiphasiger ‚Vienna-Rectifier‘**

schaltung mehrerer aufeinander abgestimmter ‚Fred‘-Chips (fred = Fast Recovery Epitaxial Diode) innerhalb des Bauelements erreicht werden. Um die Ansteuerleistung klein zu halten, ist eine geringe Gate-Ladung der Transistoren – spannungsgesteuerte Mosfets oder IGBTs – vorteilhaft. Die Verbindungen zwischen den einzelnen schnell schaltenden Chips müssen zur Vermeidung von Überspannungsspitzen durch Stromänderungen

niederinduktiv ausgeführt sein; besonders günstig sind in der Regel Aufbauten, in denen die Leistungshalbleiter-Chips auf die Leiterbahnen eines DCB-Substrats (DCB = Direct Copper Bond) gelötet sind, was zusätzlich eine hohe Zuverlässigkeit des Bauelements bei Temperaturwechseln gewährleistet. Die im DCB-Substrat enthaltene Keramik isoliert außerdem die leistungselektronische Schaltung auf Netzpotential gegenüber dem in der Regel geerdeten Kühlkörper, wobei nur eine geringe Koppelkapazität im pF-Bereich entsteht. Man unterscheidet zwischen Leistungshalbleiter-Modulen auf DCB-Basis und DCB-isolierten diskreten Bauelementen.

Die gleichzurichtende Leistung wird durch die in den Leistungshalbleiter-Chips entstehende Verlustwärme begrenzt; in Kenntnis der Funktionsweise der Schaltung wie oben beschrieben, der Betriebsbedingungen, sowie der Halbleiter-Charakteristika lässt sie sich berechnen. Einige Ergebnisse für Bauelemente, in die die verschiedenen oben beschriebenen Schaltungen integriert sind, fasst Tabelle 1 zusammen. Die angegebenen Werte wurden für typische Betriebsbedingungen ermittelt – vgl. Angaben von Netzspannung  $U_n$ , Zwischenkreisspannung  $U_z$ , Taktfrequenz  $f_T$  und Gehäusetemperatur  $T_C$ . Sie dienen als Anhaltspunkt für die Auswahl von Bauelementen; bei einer Geräteentwicklung sollte diese Auswahl unter Berücksichtigung der tatsächlichen Betriebsbedingungen verifiziert werden.

## Zusammenfassung

Verschiedene Ansätze zur aktiven Leistungsfaktorkorrektur bei ein- und dreiphasigen Netzgleichrichtern haben Anwendungsreife erlangt: Schaltungen und Regelverfahren sind

## Anzeige

erarbeitet und dokumentiert, integrierte Leistungshalbleiter-Bauelemente vereinfachen den Aufbau der Leistungsteile. Die zunehmende Einführung solcher Gleichrichter mit Leistungsfaktorkorrektur steht insbesondere in solchen Geräten zu erwarten, in denen die zusätzliche Funktionalität des geregelten Gleichrichters über die Verbesserung des EMV-Verhaltens hinaus von Nutzen ist.

## Literatur

- [1] Herfurth, M.: Power Factor Controller TDA4862 Applications; Siemens HL application note AT 2 9402 E
- [2] Kolar, J.W.; Stögerer, F.; Nishida, Y.: Single Phase Unity Power Factor Rectifier Systems ( $\Delta$ -Rectifier) in Comparison to a Direct Three Phase Rectifier Realization; PCIM Conference, Nürnberg, 2001
- [3] Kolar, J.W.; Ertl, H.; Zach, F.C.: IXYS-VUM25-E – A New Isolated Power Module for Low-Cost/Weight/Volume High Performance Three-Phase Sinusoidal Input Current Power Conditioning; Power Quality Conference, Nürnberg, 1995
- [4] J. W. Kolar, U. Drogenik, F. C. Zach: DC Link Voltage Balancing of a Three-Phase/Switch/Level PWM

(Vienna) Rectifier by Modified Hysteresis Input Current Control; PCIM Conference, Nürnberg, 1995

- [5] Kolar, J.W.; Drogenik, U.; Zach, F.C.: Space Vector Based Analysis of the Variation and Control of the Neutral Point Potential of Hysteresis Current Controlled Three-Phase/Switch/Level PWM Rectifier Systems; International Conference on Power Electronics and Drive Systems, Singapore, Feb. 21-24, 1995
- [6] Miniböck, J.; Stögerer, F.; Kolar, J.W.: A Novel Concept for Mains Voltage Proportional Input Current Shaping of a Vienna Rectifier Eliminating Controller Multipliers; APEC Conference, Anaheim/CA, March 4-8, 2001
- [7] M. Baumann, F. Stögerer, J. W. Kolar, A. Lindemann: Design of a Novel Multi-Chip Power Module for a Three Phase Buck and Boost Unity Power Factor Utility Interface Supplying the Variable Voltage DC link of a Square Wave Inverter Drive; APEC Conference, Anaheim/CA, March 4-8, 2001
- [8] Lindemann, A.: Combining the Features of Modules and Discretes in a New Power Semiconductor Package; PCIM Conference, Nürnberg, 2000

www.publish-industry.net

more @ click EK2C0301

C.03

## LESERTIPP

? **Sie interessieren sich dafür, wie Sie die DESIGN & VERIFICATION Fachmedien – Das Medienkonzept für die Elektronik – optimal für die Vermarktung Ihrer Produkte nutzen können?**

**Wir informieren Sie gerne über unser Kommunikationskonzept sowie die Verknüpfung zwischen Internet und Print. Rufen Sie unsere Anzeigenleitung, Frau Katja Kuziak, an (Telefon: +49-89-50 03 83-24)!**

publish industry VERLAG GMBH

Gollierstraße 23 • D-80339 München • Fon: 089/500383-0 • Fax: 089/500383-10 • E-Mail: info@publish-industry.net • Internet: www.publish-industry.net