



Auf den Punkt gebracht

Dreipunktstromrichter mit IGBT effizient gestalten

Elektrische Energie ist ein wertvolles Gut, der rasant wachsenden Nachfrage stehen begrenzte Verfügbarkeit und steigende Preise gegenüber. Die Effizienz – und zwar auch im Sinne von Wirtschaftlichkeit und kurzen Entwicklungszeiten – bei sämtlichen Industrieapplikationen stetig zu verbessern, muss also das Ziel sein. Semikron zeigt anhand seiner Semitop-Leistungsmodule, wie es geht.

Autoren: Riccardo Ramin und Marco Di Lella

Die Nachfrage nach elektrischer Energie wächst weiterhin exponentiell. So wird sich der Energieverbrauch von 2005 bis 2030 um 50 Prozent erhöhen, nachlesbar im International Energy Outlook 2008. Tendenz steigend. Aus diesem Grund stehen die Reduzierung des Verbrauchs elektrischer Energie und die Erforschung alternativer Energiequellen im Vordergrund. Das heißt: ständige Verbesserungen der Effizienz bei allen Industrieanwendungen und Konsumgütern sind dringend geboten. In Zusammenhang mit Effizienz, fällt in erster Linie der Begriff elektrischer Wirkungsgrad. Diese Assoziation ist jedoch eine Einengung der eigentlichen Bedeutung von Effizienz. Bei Anwendungen im Bereich der Leistungselektronik konzentrieren sich die Entwickler eines neuen Produkts primär auf die Maximierung der Effizienz bei der elektrischen Energie und dem Wärmemanagement, auf die Minimie-

rung von Oberwellenstörungen sowie auf die Reduzierung der Geräteabmessungen. Zusätzlich darf aber die Effizienz im Sinne von Wirtschaftlichkeit und kurzen Entwicklungszeiten nicht außer Acht gelassen werden. Diese Ziele lassen sich in allererster Linie durch leistungsfähige Module mit verbesserten Effizienzdaten erreichen.

Die Leistungsmodule der Familie Semitop weisen hervorragende thermische Leistungsdaten auf. Sie verfügen über moderne Silizium-Halbleitertechnologien und Schaltungstopologien für eine bestmögliche Effizienz und Wirtschaftlichkeit. Die isolierten Powermodule sind für direktes Einlöten in Leiterplatten konzipiert. Der Einsatz von einer Montageschraube und eine Konstruktion, die vollständig auf die Kupfergrundplatte verzichtet, garantieren eine sehr gute thermische Leistungsfähigkeit, die zu hohen

Zuverlässigkeitswerten der Anwendungen führt. Der Hersteller wies die Zuverlässigkeit in einem umfassenden Qualifizierungsprogramm nach: 17 Prüfungen wurden über einen Testzeitraum von 10 000 Stunden erfolgreich durchgeführt.

Semikron ergänzte seine Produktreihe um ein weiteres Mitglied, das für Anwendungen in Dreipunktstromrichtern ausgelegt ist (Bild 1). Die Dreipunktstromrichter-Architektur kommt zunehmend bei unterbrechungsfreien Stromversorgungen (USV), auch im mittleren und unteren Leistungsbereich von fünf bis 40 Kilovoltampere zum Einsatz.

Die Mehrpunktstromrichter-Technologie beruht auf einem einfachen Konzept: Die Schaltung der IGBT-Module erfolgt in Serie. Dadurch sind erheblich höhere Betriebsspannungen möglich, als durch die Sperrspannungen der einzelnen IGBT erreichbar wäre. Dieses Konzept hatte seinen Ursprung bei Stromrichtern für Hochspannung und Hochleistung, um bei Applikationen mit Nennspannungen im Bereich von mehr als zehn Kilovolt, Standard-IGBT einsetzen zu können.

Durch Mehrpunktstromrichter lässt sich bei DC/AC-Anwendungen die Effizienz auf einfache Weise erhöhen. Der Stromrichter erzeugt ein Ausgangssignal, dessen Kurvenverlauf einer Sinuswelle sehr nahe kommt. Die Oberwellenstörungen sind extrem niedrig. Dadurch kommen folgende Vorteile zum Tragen:

- Im Vergleich zu Zweipunkt-Applikationen lässt sich die Schaltfrequenz niedriger wählen, was zu niedrigeren Schaltverlusten im Halbleiter führt.
- Ein minimierter Ausgangsfilter führt zu kleineren Gesamtmaßmessungen und niedrigeren Kosten.

Ein typischer Dreiphasenstromrichter mit klassischen Halbbrückentopologien kann seine Ausgangsspannung nur zwischen zwei Spannungswerten umschalten. Im Gegensatz dazu, ermöglicht die Dreipunktstromrichter-Topologie eine Ausgangsspannung, die zwischen drei Werten umgeschaltet werden kann.

Nachfolgend erklärt und analysiert die Nürnberger Semikron das dem Dreipunktstromrichter zugrundeliegende Funktionsprinzip, um die Unterschiede zu einem konventionellen Zweipunktstromrichter zu demonstrieren.

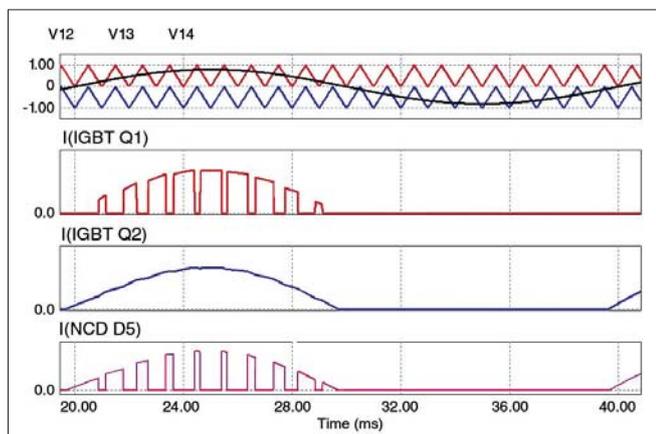


Bild 2: Wichtig: Um das Funktionsprinzip eines Dreipunktstromrichters zu verstehen, müssen die Signalverläufe der Dreieck-Trägersignale, des sinusförmigen Referenzsignals sowie die Stromverläufe der IGBT und der Klemmdiode NCD betrachtet werden.

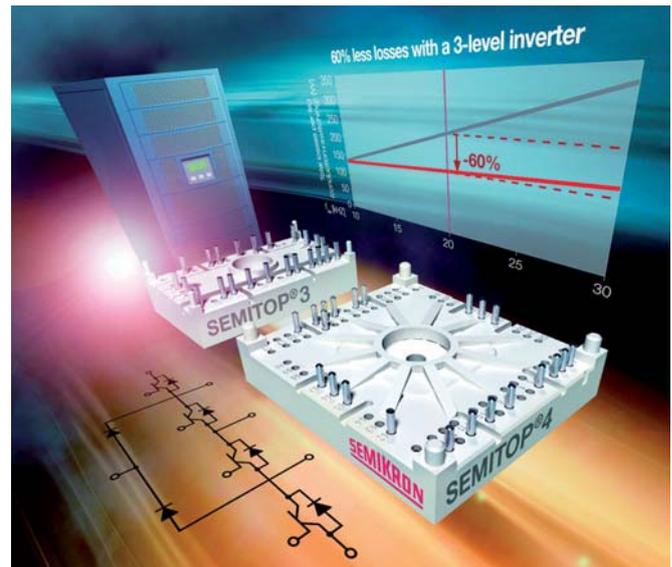


Bild 1: Erzielt mit integrierter IGBT-Technologie um 60 Prozent niedrigere Schalt- und Leitungsverluste im Vergleich zu Zweipunktstromrichtern: Das Semitop-Leistungsmodul für Dreipunktstromrichter.

Topologien festlegen

Für einen Dreiphasen-Dreipunktstromrichter wird eine Topologie mit 12 Leistungsschaltern – IGBT – benötigt. Jede Phase lässt sich zwischen drei Spannungswerten, nämlich plus zwei, Null und minus zwei Volt DC umschalten. Bei dieser Anordnung ist die maximal über einem IGBT anliegende Spannung auf die Hälfte der maximalen Zwischenkreisspannung begrenzt. Dies ist dem Umstand zu verdanken, dass die IGBT über zwei schnelle Klemmdioden, so genannten Neutral Clamp Diodes (NCD), mit dem Neutralleiter (MP) verbunden sind. Die Algorithmen zur Berechnung der Pulsbreitenmodulation (PWM) bei Dreiphasen-Zweipunktstromrichtern lassen sich auch bei Mehrpunktstromrichtern anwenden. Dabei ergibt der Algorithmus mit einem Dreieck-Trägersignal die niedrigsten Oberwellenanteile. Ein Dreipunktstromrichter benötigt also ein Trägersignal und ein Referenzsignal. In diesem Fall beträgt die Anzahl der Dreieck-Trägersignale $L-1$, wobei L die Anzahl der möglichen Spannungswerte ist. Für einen Dreiphasen-Dreipunktstromrichter müssen also zwei Dreieck-Trägersignale und ein sinusförmiges Referenzsignal zur Verfügung stehen. →

Auf einen Blick

Durchlass- und Schaltverluste reduzieren

Energieeffizienz ist die Schlüsselkomponente, um die sich in der Leistungselektronik alles dreht. Doch das heißt nicht nur, den elektrischen Wirkungsgrad und die technischen Features eines Bausteins zu betrachten, sondern vermehrt auf Wirtschaftlichkeit und kurze Entwicklungszeiten zu schauen, denn diese gehen Hand in Hand. Mit verbesserten Halbleitertechnologien und Schaltungstopologien punkten beispielsweise Semitop-Leistungsmodule mit niedriger Verlustleistung und hoher Effizienz.

infoDIREKT www.elektronikjournal.de
Link zu Semikron

101ejl0309

VORTEIL Durch weniger Schaltverluste und niedrige Durchlassspannung lassen sich die Effizienz erheblich verbessern und damit die Gesamtkosten minimieren.

S = 20 kVA	cos(φ) = 0,85	f _{sw} = 20 kHz
M = 1	V _{k,rms} = 400V	I _{out,rms} = 29 A
I _{bk} = 40,8 A	T _s = 80°C	

Bild 4: Kamen beim Vergleich zweier Module zum Einsatz: Formeln für die Berechnung der Schalt- und Durchlassverluste bei einem Dreipunkt- und einem Zweipunktstromrichter.

	IGBT Sperrspannung	I _c @ T _s =80°C	Sättigungsspannung @ 50A chip level	Eon+Eoff @ I _c =50A, R _g =33Ω	IGBT R _{thj,s}
SK 30 MLI 066	600V	31A	1,65 V	4,2mJ @ V _{cc} =300V, T _j = 150°C	1,8 [K/W]
SK 60 GB 128	1200V	44A	1,9 V	12,5mJ @V _{cc} =600V, T _j =125°C	0,6 [K/W]

Bild 3: Standardmodule im Vergleich: Das Bild verdeutlicht die Simulationsbedingungen und wesentlichen IGBT-Parameter.

Beim Dreipunktstromrichter können drei Verfahren der PWM mit unterschiedlichen Phasenbeziehungen der Trägersignale zum Einsatz kommen:

- Alternative Phase Opposition Disposition (APOD)
Die Trägersignale in benachbarten Bändern werden um 180 Grad phasenverschoben.
- Phase Opposition Disposition (POD)
Die Trägersignale oberhalb des Referenznullpunkts werden gegenüber den Signalen unterhalb des Referenznullpunkts um 180 Grad phasenverschoben.
- Phase Disposition (PD)
Die Trägersignale in allen Bändern sind in Phase.

Das PD-Verfahren findet am häufigsten Anwendung, weil es in Hinsicht auf die Spannungen zwischen den Ausgängen sehr niedrige Oberwellenstörungen erzeugt. **Bild 2** illustriert die Signalverläufe der Dreieck-Trägersignale, des sinusförmigen Referenzsignals sowie die Stromverläufe der IGBT und der Klemmdiode. Die Schaltungstopologie eines Dreipunktstromrichters wirkt im Vergleich zu einem herkömmlichen Zweipunktstromrichter sehr aufwendig. Allerdings sprechen die technischen und wirtschaftlichen Vorteile stark für den Einsatz der Dreipunktstromrichter-Technologie.

Die Sperrspannung reduzieren

Bild 3 zeigt zwei Standard-Module, die in der gleichen Applikation mit identischen Randbedingungen verglichen werden. Die Durchlass- und Schaltverluste der IGBT und Dioden lassen sich entspre-

3-Punktstromrichter (3L)	
Durchlassverluste IGBT Q1/Q4	$P_{on} = U_{ce} \cdot I_{avg} + r_f \cdot I_{ms}^2$ $I_{avg} = \frac{M \cdot I}{4\pi} \cdot [\sin \phi + (\pi - \phi) \cos\phi]$ $I_{ms}^2 = \frac{M \cdot I^2}{4\pi} \left[1 + \frac{4}{3} \cos\phi + \frac{1}{3} \cos(2\phi) \right]$
Durchlassverluste IGBT Q2/Q3	$P_{on} = U_{ce} \cdot I_{avg} + r_f \cdot I_{ms}^2$ $I_{avg} = \frac{I^2}{\pi} - \frac{M \cdot I}{4\pi} \cdot [\sin \phi - \phi \cos\phi]$ $I_{ms}^2 = \frac{I^2}{4} - \frac{M \cdot I^2}{4\pi} \left[1 - \frac{4}{3} \cos\phi + \frac{1}{3} \cos(2\phi) \right]$
Schaltverluste IGBT Q1/Q4	$P_{sw} = \frac{1}{\pi} \cdot (E_{on} + E_{off}) \cdot f_{sw}$
2-Punktstromrichter (2L)	
Durchlassverluste Q1/Q2	$P_{on} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{V_{ce}}{\pi} \cdot i + \frac{r_{ce}}{4} \cdot i^2 \right) + m \cdot \cos\phi \cdot \left(\frac{V_{ce}}{8} \cdot i + \frac{r_{ce}}{3 \cdot \pi} \cdot i^2 \right)$
Schaltverluste IGBT Q1/Q2	$P_{sw} = f_{sw} \cdot E_{sw} \cdot \frac{\sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{I_{in}}{I_{off}} \cdot \left(\frac{V_{ce}}{V_{off}} \right)^{K_c}$

chend der in **Bild 4** abgebildeten Formeln berechnen. Ein Dreipunktstromrichter kommt mit einem IGBT, der eine Sperrspannung von 600 anstelle von 1200 Volt aufweist, aus. 600-Volt-Chips sind normalerweise dünner und schneller als ihr höhervoltiges Pendant. Dadurch kann der Dreipunktstromrichter mit niedrigeren Schaltverlusten und einer niedrigeren Durchlassspannung überzeugen. Ergebnis: Die Gesamtverluste je Brückenweig sind beim Dreipunktstromrichter 60 Prozent niedriger als beim Zweipunktstromrichter.

Die Gesamtverluste eines Brückenweigs als Funktion der Schaltfrequenz betrachten

Zur Reduzierung der Geräusentwicklung arbeiten USV im 20-Kilovoltampere-Bereich mit Schaltfrequenzen oberhalb des hörbaren Bereichs. Im Bereich dieser Schaltfrequenzen liegen die Gesamtverluste eines Brückenweiges beim Dreipunktstromrichter erheblich unter den Werten des Zweipunktstromrichters. Darüber hinaus ist der Verlauf der Ausgangsspannung beim Dreipunktstromrichter nahezu sinusförmig, was in kleinen Ausgangsfiltern resultiert. Die reduzierten Belastungen der IGBT und Dioden bei der 3L-Topologie führen zu einer verbesserten Langzeitzuverlässigkeit und einer höheren Effizienz der Applikation.

Kosten reduzieren

Aus wirtschaftlicher Sicht überzeugt ein Brückenweig des Dreipunktstromrichters auf Basis von 600 Volt Sperrspannungen, weil er etwa 25 Prozent billiger ist als der vergleichbare Zweig eines Zweipunktstromrichters mit 1200 Volt. Pluspunkte des Dreipunktstromrichter-Modells: niedrige Belastung der Leistungsschalter durch niedrige Schalt- und Leitungsverluste und die Möglichkeit, die Ausgangsspannung in drei Stufen zu schalten. Die sich ergebende Kurvenform der Ausgangsspannung ist nahezu sinusförmig. Aufgrund der reduzierten Oberwellenstörungen lassen sich kleinere Ausgangsfilter verwenden. Kleinere Abmessungen beim Kühlkörper und Ausgangsfilter führen unmittelbar zu kleineren Gerätegrößen der USV und damit zu Einsparungen bei den Gesamtkosten der Applikation. Fazit: Semitop-Module bei Dreipunktstromrichtern für USV-Geräte verbessern nicht nur die elektrische und thermische Effizienz, sondern verkürzen die Entwicklungszeit und Gesamtkosten des Gerätes. (eck) ■

Infokasten

Feature-Stenogramm

Die Semitop-Familie weist folgende Merkmale auf:

- DCB-Substrat im Direktkontakt mit dem Kühlkörper. Heißt: es ist keine Grundplatte erforderlich.
- Isolierung durch Keramiksubstrat
- Anschlüsse für Lötmontage auf Leiterplatten
- Einfache Montage über nur eine Schraube
- Nennströme von bis zu 200 Ampere bei 600-Volt-IGBT, bis zu 100 Ampere bei 1200-Volt-IGBT und bis zu 300 Ampere bei Mosfets.

Dadurch entstehen Vorteile, wie:

- Niedrige Montagekosten
- Verbesserter thermischer Widerstand
- Hohe Vielfalt an Chiptechnologien in diversen Topologien: Eingangsgleichrichterbrücken, Stromrichter, AC-Schalter, Halbbrücken, Gleichrichter-Wechselrichter-Bremsenansteuerung, Brems-Chopper
- Kosten- und platzsparendes Design
- Anschlussstifte mit niedrigen Serienwiderständen



Die Autoren: Riccardo Ramin und Marco Di Lella sind Produktmanager bei Semikron in Mailand, Italien.