

Digital statt Analog

Um eine High-Cap-Batterie von $12 \times 6000 \text{ F}$ (zusammengesetzt aus 500-Farad-Kondensatoren) im Spannungsbereich ab 0 V bis 30 V an einer 12- und 24-V-Bordnetzspannung laden zu können, bedarf es einer Buck-Boost-Topologie. Hier hat im Hause Syko die digitale Zukunft des DSP begonnen. Die bisherige analoge Struktur ist jetzt komplett digital gelöst worden.

Fachartikel von Dipl.-Ing. Reinhard Kalffhaus

Bild 1 zeigt einen 1000 W Buck-Boost-Wandler mit kaskadierten Stromstrings im Interleaving-Betrieb, wodurch eine Filterfrequenz von 200 kHz erreicht wird. Der Wandler ist an Bordnetzen von 9 bis 36 V einsetzbar, bis 50 V auch 50 ms und 70 V bis 2 ms lang. Die im Prozessor zu berücksichtigenden Parameter sind $I_{E_{\max}} = 50 \text{ A}$, $I_{A_{\max}} = 70 \text{ A}$, $P_{\max} = 1 \text{ kW}$ im Temperaturbereich von -45 bis 70 °C, kurzzeitig auch bis 85 °C. Um eine EMV wesentlich besser als EN55022B zu erreichen, wurde ein „verstärkter“ Filteraufwand betrieben, was viel Platz bei den hohen Strömen in Anspruch nimmt. Im Filter und in der Chopperei musste auf Elektrolytkondensatoren verzichtet werden, es wurden wegen der sehr hohen Chopperströme und dem Temperaturbereich Folie- und Polymerkondensatoren eingesetzt. Ein adaptiver aktiver Transientenschutz absorbiert die Langzeitüberspannung oberhalb 36 V und schützt sich selbst über die Zeit und die nachfolgende Choppertopologie vor zu hohen Spannungen. Das AFI-Filter begrenzt außerdem die Aufschaltströme auf die nachfolgenden hochkapazitiven Chopper-Eingangskondensatoren.



Bild 1: Der Buck-Boost-Wandler clw. Der aktive Leistungsteil konnte komplett in SMT ausgeführt werden und das erforderliche Wärmemanagement wurde modifiziert. (Bild: Syko)

Die Buck-Boost-Topologie ist eine uralte Topologie als offene H-Brücke. Sowohl im Hochvoltbereich gewinnt sie durch GaN/SiC-Halbleiter als auch im Niedervoltbereich durch erheblich verbesserte Leistungs-FETs mit verhältnismäßig schnellen Dioden. Um die Kirchturm-Stromspitze des Einschaltstromes gering zu halten, muss bei einer Synchronstufe, bei der die Diode durch einen Off-Transistor ersetzt wird, die Sperrverzugszeit während der Strom durch die Chipdiode fließt, gering sein und die Totzeit während der Ablösung von Off auf On – also der Stromfluss durch die Diode von etwa 100 ns sehr gering gehalten werden.

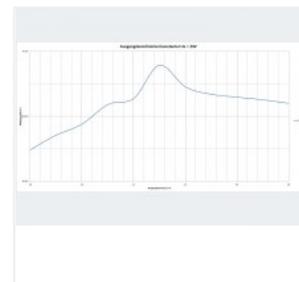
ECK-DATEN

Der Buck-Boost-Wandler CLW ermöglicht das Laden von Kondensator-Batterien an Netzen mit 9 bis 36 V mit einer Leistung von 1000 W. Erstmals kam hier eine vollständig digitale Regelung zum Einsatz.

Durch die Synchronologie verbessert sich der Wirkungsgrad, da die Verlustleistung um mehr als 30 % sinkt. Bei einem Strom von maximal 80 A dynamisch muss auf $2 \times 40 \text{ A}$ kaskadiert werden, was ebenfalls die Verlustleistung reduziert. Allerdings verlangt das Stromkaskadieren stromgeregelte Strings mit gleichem Sollwert Eingang. Damit ist jede Stufe referenzgenau mit dem halben Gesamtstrom belastet. Ein wesentlicher Vorteil synchrongeschalteter Buck- und Boost-Stufen ist, dass der Drosselstrom nicht lückt und die Stromwelligkeit „beliebig“ groß sein darf. Ein wesentlicher Nachteil ist die Rückspeisung des

Ausgangskondensators über den Toff-Transistor. Um nun die Effektivstrombelastung der Kondensatoren und die Welligkeit am Eingangsfilter zu verringern, werden die stromkaskadierten Strings im Interleaving-Betrieb mit 180° Phasenversatz gefahren. Die Signale zeigen sehr saubere Strom-Spannungsflanken und eine Bedämpfung der Flanken ist erreichbar und dies ohne Wirkungsgradverlust aber mit EMV-Gewinn. Damit die On-Signale bis 100 % arbeiten können, wurden über einen Housekeeper (8 bis 80 V) alle Potentialebenen mit -4/+12 V für die Gatetreiber versorgt. Generell arbeitet die Prozessorebene als Insellösung in der PWM-Verarbeitung, Strom- und Spannungserfassung.

Um Ruhe in die Istwert-Erfassung zum Prozessor zu bringen, arbeitet diese adaptiv zur Flankensteuerung, sodass der Istwert nicht während eines Schaltvorganges erfasst wird. Syko arbeitet seit 40 Jahren mit unterlagerten Stromregelkreisen im Average-Current-Mode und diese erhalten von einem gemeinsamen Spannungsregelkreis das verstärkte und begrenzte Fehlersignal als gemeinsamen Stromsollwert. Die Hochstromanschlüsse sind mit verschiedenen Gewindeanschlüssen für entsprechende Kabelstärke und Kabelschuhe ausgelegt. Ein



Kommunikationsstecker als potentialgetrennte Insellösung zum Leistungsteil hat die Funktion des polaritätsfreien Inhibit mit 5 bis 36 V plus Überspannung und konstant 2 mA, eine 5 V-Hilfsspannung/100 mA, eine Sollwertvorgabe 4 bis 20 mA, Istwert-Spannung und Istwert-Strom sowie eine CAN-Schnittstelle mit Potentialtrennung für eine Bedienoberfläche.

Bild 2: Wirkungsgradkennlinie für 28 V Ausgangsspannung und 1000W Nennleistung bei konstanter Eingangsspannung von 24 V.
(Bild: Syko)

Abschied von Analogtechnik

Der langsame Abschied von der Analogtechnik ist auch die Lösung des Generationenproblems. Die Geschäftsleitung hat für die jungen Entwickler bei Syko den Prozessor und die digitale Regelung freigegeben und die „Jugend“, gepaart mit der Erfahrung, kann nun komplexe Systemtechnik mit komplexer Regeltechnik und Funktionalität wie hier innerhalb von sechs Monaten zur Serienreife bringen. Positiv überrascht ist die Seniorenmannschaft, wie Pflichtenheftparameter oder Funktionen verknüpft und verändert werden können, wenn die Werte im Rechner mal drin sind. Da Leistungskomponenten im mobilen Bereich mit ihren Temperaturanforderungen meistens auf maximale Leistung ausgelegt sind, soll der Wirkungsgrad auch dort, wo die größte Verlustleistung entsteht, maximal sein. Dies verhält sich anders als bei Netzteilen, die für die halbe Leistung konfiguriert sind und beim Dauereinsatz die meiste Energie über Jahre einsparen sollen und Maximalleistungen nur dynamisch angefahren werden.

Ob und wie viel der Prozessor gegenüber analoger Regelung an Vorteilen bringt, ist, bezogen auf den Wirkungsgrad, eher null, funktional ist er unübertroffen. Dabei darf es nicht passieren, dass dem DSP Attribute zugeschrieben werden, die durch Unwissenheit um interessante Schaltungstopologien und deren exakte Anwendung entstehen können. Der Einsatz moderner Leistungshalbleiter und Steuerbausteine, der Einsatz dieser im optimalen Wirkungsgradfeld und eine gesicherte Funktionalität bei optimalem Wärmemanagement ermöglichen spürbare Verbesserungen bei Funktion und Lebensdauer.

Der DSP bringt im maximalen Leistungsbereich eher keine Verbesserung des Wirkungsgrades, aber in den Randbereichen können durch funktionale Adaption Gewinne erzielt werden. Die Summe der funktionalen Integration in den DSP ermöglicht Bauteileeinsparung und Anwendungsflexibilität. So wäre diese beschriebene Buck-Boost-Topologie in Bidirektionalität mit stromkaskadierten Strings ohne Prozessoranwendung in dem eingegrenzten Parameterfeld überhaupt nicht denkbar. Es entwickeln sich Jungingenieure sehr schnell zu Topologiespezialisten mit der Fähigkeit, den DSP zu beherrschen. Dabei hilft Geduld und Integration, aber auch das Wissen, dass es hohe Aufwendungen für die Veränderung der Organisationsstruktur bedarf.



Bild 3: Wirkungsgradkennlinie für 16 V konstanter Ausgangsspannung und 800 W Nennleistung.
(Bild: Syko)

Der hier erreichte Wirkungsgrad bei maximaler Leistung beträgt 97 % inklusive des Filteraufwandes, aktivem Transientenschutz und allen Hilfsspannungsversorgungen bei einer Konfiguration für diesen weiten Eingangsspannungsbereich.

Bidirektionaler Betrieb

Ist die Buck-Boost-Topologie flexibel mit allen Parametern im DSP aufgebaut, dann ist das Umschalten auf einen bidirektionalen Betrieb verhältnismäßig einfach. Dynamisch könnte das Bordnetz rückspeisend aus den Caps mit über 100 A versorgt werden. Bei der Ladung der Caps entsteht eine Spannungsunsymmetrie, die umgekehrt proportional zur Differenz der Zellenkapazitäten ist. Aber das haben die Cap-Hersteller mittlerweile im Griff und da hilft es, die Summe der Zellenspannungen 10 %

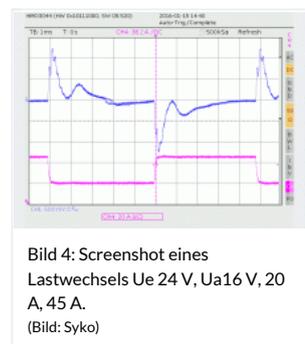


Bild 4: Screenshot eines Lastwechsels Ue 24 V, Ua16 V, 20 A, 45 A.
(Bild: Syko)

unter den maximalen Spannungswert zu legen. Sollte Zeit zur Symmetrierung der Zellen gegeben sein, so kann man diese aktiv oder verlustbehaftet symmetrieren und kurz vor Nutzung mit Schnellladung auf den maximalen Wert anheben. Mit entsprechender Kapazität 250 oder 500 Farad ist es gemäß dem Syko-Patentanspruch

möglich, die Kondensatoren aus einer fast leeren Batterie zu laden und die Cap-Energie auf den Starter zu „schießen“. Damit lassen sich große Trucks mit einem System als Notstarteinrichtung (Patentverfahren) ohne Batterie starten.

Wer diesen Weg in neue Kompetenzbereiche geht, benötigt für die erforderlichen Investitionen eine gut gefüllte „Kriegskasse“. Syko hat dafür keine Hilfe durch Forschungs- und Entwicklungsgelder aus dem Topf für KMUs erhalten.

(ah)

ÜBER DEN AUTOR

Dipl.-Ing. Reinhard Kalfhaus

geschäftsführender Gesellschafter der Syko Gesellschaft für Leistungselektronik mbH, Mainhausen.

● UNTERNEHMEN

SYKO Ges.f.Leist.ele.GmbH

Postfach 1001

63527 Mainhausen

Deutschland

[Zum Firmenprofil >](#)
