

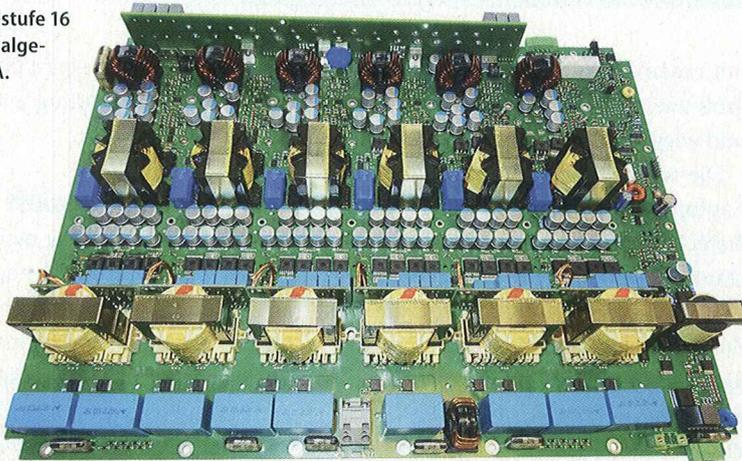
Frontend-DC/DC-Wandler am 24- und 110-V-Bordnetz

400/750 V Ausgangsgleichspannung mit 3 kW Dauerleistung

Gefordert war eine Ausgangsgleichspannung von 400 V beziehungsweise 750 V ± 5 Prozent, mit einer Dauerleistung von 3 kW und kurzzeitig 4,2 kW potenzialgetrennt über die Eingangsspannung 18 bis 36 V/dynamisch unter 16,8 V (beziehungsweise 110 V) mit einem Wirkungsgrad von mehr als 94 Prozent zur Verfügung zu stellen.

Autor: Dipl.-Ing. Reinhard Kalfhaus

Bild 1: Frontendstufe 16 bis 36 V potenzialgetrennt 72 V/30 A.



An die Ausgangsgleichspannung werden 1-Phasen-Wechselrichter beziehungsweise 3-Phasen-Drehrichter mit f/U -Regelung oder Hochvoltbatterien angeschlossen. Bei einem Übersetzungsverhältnis von 1:20 bis 1:40 wird die nicht kurzschlussfeste Boost-Topologie gegenüber der Transformatorlösung an Wirkungsgrad erheblich verlieren. Es lassen sich Hochstrom-Eingangsstufen mit einem maximalen Summen-Eingangstrom von 175 A/dynamisch bis zu 250 A beherrschen. Um die Produktionskosten gering zu halten, wurden alle aktiven Bauelemente in SMT und mit dem entsprechend von Syko (Eigenschreibweise: SYKO) entwickelten Wärmemanagement aufgebaut. Um die Ströme zu beherrschen, hat das Unternehmen die Leistungsblocks II und III in jeweils sechs Strings aufgeteilt. Um diese Leistung, Ströme und Spannungen zu beherrschen, muss jeder String zweistufig mit einer PWM-Leistungsstufe I und einer taktsynchronisierten 180° + 180° Gegentaktstufe II in Strom- und Spannungs-Resonanz

aufgebaut werden. Also eine Topologie ohne Spannungs- und Stromüberhöhung, mit einer primären Drosselbewertung und den Trafos mit einer 1+1-Wicklung. Die Streuinduktivität wurde für die Resonanz der Gegentaktstufe hergenommen. Die Ausgangsgleichrichtung arbeitet direkt auf den Ausgangskondensator CV bei Niedervoltausgängen mit Synchrongleichrichtung statt der Dioden zur Wirkungsgradverbesserung (Bild 2).

Die Einzelstrings werden parallel stromgeregelt auf Referenz-Genauigkeit, und es werden 3 \times 2 Stufen 120° phasenversetzt (Interleaving) zur Verringerung der Eingangsstromwelligkeit betrieben.

Die Strings

Bei den heutigen Halbleitern (niederohmige/schnell schaltend) ist es egal, ob die Strings des Block II in Buck- oder Boost-Topologie aufgebaut werden. In die Strings des Blocks III muss eine kurzschlussfeste LLC-Topologie genommen werden, wenn in II eine Boost-Topologie genommen würde. Syko macht zur Bedingung, dass die

Blöcke II und III mit frequenzkonstanter taktsynchroner Ansteuerung arbeiten und der Block III sind einfach hocheffiziente stromresonante und weich kommutierende Gegentaktstufen. Die Buck-Topologie arbeitet mit 100 kHz und die Gegentaktstufe mit 50 kHz. Da die Strings des Block II alle mit dem gleichen Strom in die Gegentaktstufen arbeiten, können die Ausgänge durch diese geregelte Stromaufteilung parallelgeschaltet werden. Um die Strings des Block II nicht stromlückend zu betreiben, werden die Dioden durch Synchronschalter wirkungsoptimiert ersetzt.

Wegen der Stromresonanz des Block III sind die 400/750-V-Dioden problemlos, da sie bei Strom-Nulldurchgang kommutieren. Block II und III wurde mit SMT-Halbleitern bestückt und Syko beherrscht das Wärmemanagement mit -40 bis +70 °C Umgebungstemperatur ohne Derating (optional +85 °C). Wirkliche Probleme entstanden im Passiv-Bereich. Die Niedervolt-Zwischenkreise A, B und eventuell C sind in den Einzelstrings durch hohe Effektivströme bis etwa 30 A_{eff} belegt. Folienkondensatoren sind viel zu groß, um die erforderliche geringe Spannungswelligkeit zu halten. Tantalkondensatoren beherrschen die Spannung, den Effektivstrom und schnelles Spannungsaufschalten nicht und sind eine Brandgefahr. Die heutige Lösung sind Polymer-Kondensatoren. Diese vertragen mehr als 3,5 A_{eff} pro Gehäuse, 10 mm Durchmesser/12,5 mm Höhe und durch Parallelschalten die Effektivströme von 30 A_{eff} mit 80 V (A)/40 V (B). Generell setzt Syko Polymer-Kondensatoren erfolgreich – und wenn richtig dimensioniert – problemlos ein. Im Niedervoltbereich sind

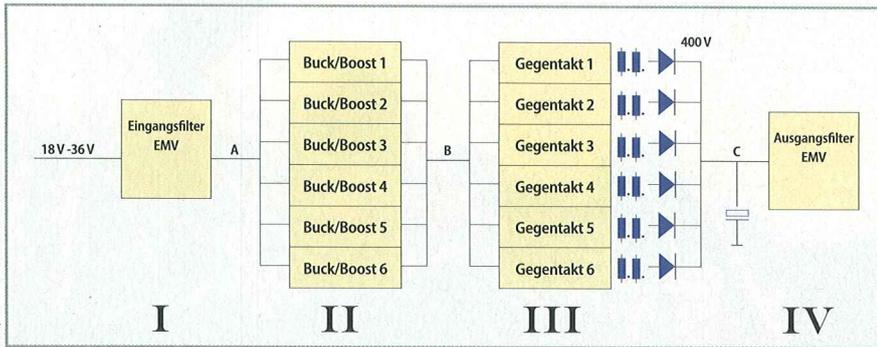


Bild 2: Blockschaltung der einzelnen Leistungsblöcke I bis IV.

$$R_x = \sqrt{\frac{L}{C}} + R \sim \sqrt{\frac{4 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 10^{-6}}} + 50 \text{ m}\Omega + 50 \text{ m}\Omega = 0,73 \Omega \quad \text{Formel 1}$$

$$I_x = \frac{40 \text{ V}}{0,74 \Omega} = 55 \text{ A} \quad \text{Formel 2}$$

$$C \Delta U^2 \sim L I^2 \rightarrow \Delta U = \sqrt{\frac{L}{C}} \times I \cong R \times I \quad \text{Formel 3}$$

$$I_{max} = \frac{P_{max}}{\eta \times U_{Emin}} \times 1,25 = \frac{250 \text{ A}}{0,96} \times 1,25 = 325 \text{ A} \quad \text{Formel 4}$$

sie eine gute Alternative zu Tantal-Lösungen, da sie sehr niederohmig im ESR (25 mΩ) und konstant über die Temperatur resistent gegen hohe Effektivstrombelastung und hochkapazitiv für hart schaltende und resonante Effektivströme sind.

Explosive Zerstörung vermeiden

Eine Falschbehandlung führt erfahrungsgemäß zu einer explosiven Zerstörung, und es ist ein „Blitz“ zu sehen, aber keine anhaltende Flamme. Als Niedervolt-Zwi-

Bild 3: Eine 1,6-/dynamisch 1,9-kW-Frontendleistungsstufe mit potenzialgetrennter nachgeschalteter 230-V-Sinus-Wechselrichterstufe, 1,5 kW mit IT-Sicherungskonzept und für extreme Schock/Vibrationsbelastung für den Defence-Markt (Serie DWR 1500).



schlenkreis-Abblockung an Buck/Boost, Gegentaktstufe und Hochstromausgängen ohne Drosseln setzte Syko entsprechend dem Effektivstrom der Leistungsstufe die erforderliche Anzahl parallel geschalteter Kondensatoren ein. Dabei wird durch Mehrlagen-Leiterplatten auf eine gute Aufteilung des Gesamtstromes auf die einzelnen Kondensatoren geachtet.

Ein hartes Aufschalten der Versorgungsspannung bis 40 V macht als X-Kondensator in Eingangsfiltern und Ausgangsfiltern bei Batterieladern bislang keine Probleme. Dabei ist zu beachten, dass die Aufschaltströme höher sind als der vom Hersteller genannte Spitzenstrom. Dies geht einher mit der integralen Verlustleistung aus Spannung und Strom während der Aufladephase. Hier würde der größere Folienkondensator mit seiner wesentlich größeren Folienfläche diese

Explosionsgefahr nicht aufweisen. Ein Kondensator mit kleiner 50 mΩ an 4 m Kabel (4 μH) als nicht sättigende Induktivität und einer Kapazität von 10 μF/200 V erzeugt einen Aufschaltstrom I_x von 55 A bei 40 V und einer dynamischen Quellimpedanz von 50 mΩ (Formeln 1 und 2). Kommt man nun auf

den Gedanken, die Leistungsinduktivität durch nicht sättigende Drosselkerne (MPP) zu vergrößern, so steigt der R_x -Wert und der I_x -Wert sinkt aber durch die Speicherenergie in der Gesamtinduktivität (LI^2) ab. Nach dem Erreichen der Versorgungsspannung am Kondensator steigt dessen Spannung weiter an (Formel 3).

Weiterhin Folienkondensatoren

Somit hat Syko entschieden die Hochvolt-Hybrid-Kondensatoren im Eingangsfilterkreis, die beim harten Aufschalten explodieren, wohl doch weiterhin durch Folienkondensatoren zu ersetzen und dort wo die Kapazität auf engstem Raum benötigt wird mittels Vorladung sanft aufzuladen. Bei einer 3/4,2 kW Frontendstufe bis auf 18 V runter, tritt ein Gesamtstrom von 175 A statisch/246 A dynamisch auf. Bei einem PWM-Signal von 50 Prozent beträgt der maximale Effektivstrom etwa $125 A_{eff}/170 A_{eff}$ dynamisch. Das bedeutet ungefähr 48 Kondensatoren oder mehr. Aufgeteilt wird die Topologie in mindestens sechs Strings mit nun etwa acht Kondensatoren pro String. Will man die Kondensatoren durch hartes Aufschalten nicht überfordern, so setzt Syko sein Patentverfahren des Aktiven-Load-Dump-Schutzes ein. Dabei entstehen keine differenziellen Aufschaltströme und die Eingangsstufe kann transientenfest bis deutlich über 100 V/350 ms werden, und die maximale Ausgangs-Zwischenkreisspannung wird auf 40 V begrenzt. Optional werden auch Load-Dump-Impulse (VG96916) mit 151 V/350 ms beherrscht und der Aufschaltstrom beträgt 325 A (Formel 4). Auch dieser Strom kann nur durch eine geregelte Stromkaskadierung beherrscht werden.

Das dem Aktiven-Load-Dump-Schutz vorgeschaltete EMV-Filter wird mit hochstromfesten Folienkondensatoren ausgelegt. Die Filter-Kapazität mit vorhandener Leistungsinduktivität bildet zwar einen Schwingkreis, aber der PWM-Regelkreis dämpft diese Resonanzerscheinung durch seine Störgrößenaufschaltung. (jj) ■

Autor

Dipl.-Ing. Reinhard Kalfhaus
Geschäftsführer von Syko

all-electronics.de

infoDIREKT

522ei0319