

Hochstrom-Topologie-Schnittstellen am 28-Volt-Bordnetz

Kundenspezifische Stromversorgungen und Spezialanwendungen an Land, zu Wasser und in der Luft sind das Geschäft von SYKO.

Wie das Unternehmen die Herausforderungen löst, zeigt dieser Bericht.

REINHARD KALFHAUS *

SYKO bedient seit fast 50 Jahre sehr erfolgreich seinen Kundenkreis für Anwendungen an Land, zu Wasser und in der Luft gemäß deren Anforderungen. Es fallen durchschnittlich 20 Modifikationen pro Jahr an, es wurde noch kein Projekt „in den Sand gesetzt“ und es gab seitdem keinerlei Fehlschläge. Von dieser Zufriedenheit der Kunden profitieren das Unternehmen bei seinem Ziel, zu expandieren.

So war SYKO das erste Unternehmen, das in der Bahntechnik den ultraweiten Eingangsspannungsbereich von 13,5 bis 170 V_{DC} und den Universaleingangsspannungsbe-

reich 1000 V/16 2/3 Hz, 1500 V/50 Hz, 1500 V_{DC} und 3000 V_{DC} mit 680 V_{AC} bis 5050 V_{DC} sowie für den Defence-Markt <10 bis 174 V inklusive dem Kaltstart und einer 350-ms-Load-Dump-Überspannung ohne Stromreflexion (fehlender Sekundärstörer) beherrschte.

Weitere interessante Topologien wie der schnelle Aktiv-Verpolschutz gegen Handverpolung oder energetische Umpolung auf Versorgungsleitungen, der Aktiv-Load-Dump-Schutz mit Absorbierung der Überspannung wurden zur Serienreife gebracht. Die elfköpfige Entwicklungsmannschaft setzt auf das über 20 Jahre alte Patentverfahren der Regenerator-Topologie mit und ohne Potenzialtrennung als Tief- und Hochsetzsteller mit einem Transistor und einer Diode

(oder Synchronschalter), auf die Mehrstufentopologie, deren Wirkungsgrad besser als bei einer Einstufen-Topologie ausfällt, auf die Nulllastfähigkeit mit 100% Lastwechsel, auf die Einstufen-Erregertopologie für Generatoren und auf die Digitalisierung der Steuer- und Regelkreise. Die zuvor aufgezählten Topologien sind ein Auszug dessen, was bei kundenspezifischen Modifikationen an Knowhow erforderlich ist, um komplexe Pflichtenhefte mit hohem Systemverständnis hardwaremäßig umzusetzen.

Gehörten noch vor Jahren Modifikationen im Leistungsbereich bis 250 W zu den Hauptumsatzbringern, so hat sich dieser Stückzahlmarkt mit der Produktionsverlagerung in Preiswert-Lohnländer verlagert. Es ist am Power-Markt erkennbar, dass SYKO und dessen Marktbegleiter ihr Produktportfolio durch Komponenten höherer Leistung kontinuierlich erweitern oder auch ersetzen. Dies ist unter anderem das Ergebnis eines sich verändernden Marktes hin zu höherer Funktionalität und mehr „Luxus“ durch Leistungen bei höheren Sicherheitsstandards.

Massive Investitionen in Entwicklung und Nachhaltigkeit

Der Markt ist sehr stark im Wandel, der Zwang zu Investitionen in die Zukunft steigt rapide. Entgegen der momentanen Marktrezession bei der Produktion steigt der Bedarf an Entwicklungskapazität. SYKO investiert aus dem laufenden Umsatz und aus den Rücklagen jährlich mehr als 10% des Umsatzes in Forschung, Entwicklung und Umwelt. Umweltfreundliches Messequipment mit Energierückspeisung, Nutzen der großen hauseigenen Solaranlage und Klimaanlage zum Kühlen oder Heizen aller Betriebsräume sind ein Muss. Eine Steigerung der Qualität und des Wohlbefindens am Arbeitsplatz sind für die Zukunft wichtige Parameter.

Produkte, die in die Jahre gekommen sind, unterliegen einer kontinuierlichen Produktpflege. Die Technologie der DC/DC-Wandler

* Reinhard Kalfhaus

... ist Geschäftsführer der SYKO Gesellschaft für Leistungselektronik mbH in Mainhausen.

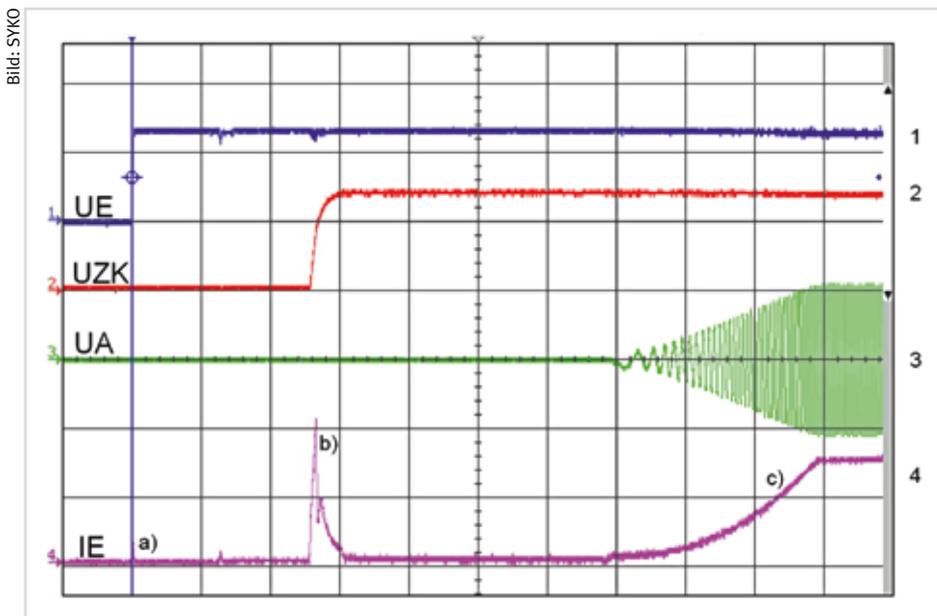


Bild 1: Spannungs- und Stromverläufe beim Hochfahren.

1. Aufschalten der Bordnetzspannung über Vorladeschutz a).
2. Aufbau der sekundären 700-V-Zwischenkreisspannung.
3. Hochfahren der AC-Ausgangsspannung frequenz- und amplitudenvariabel.
4. Differentieller Ladestrom b) der Elkos und Hochfahren der Ausgangslast c).
5. Der Eingangsstrom hat keine niederfrequente Stromüberlagerung.

Bild: SYKO

Bild 2: Dieses 70-kg- und 110-cm-Gehäuse ist EMV-dicht und auf IP67 wasserdicht. Bei Integration einer Wasserkühlschleife in die beiden Gehäusenhälften beherrscht der DC/DC-Wandler 12 kW Dauer- und 20 kW dynamische Leistung am 28-V-Bordnetz.



bis ca. 250 W wurde redesigned und verbessert, wobei das gewonnene Wissen über verschiedene Schaltungstopologien mit aktiv geschalteten Dioden und resonanten Schaltkreisen zur Funktions- und Wirkungsgradverbesserung gemäß Pflichtenheftanforderungen der Kunden integriert wurde.

In die Zukunft gerichtete hausinterne Grundlagen-Entwicklungen der Leistungselektronik bei statisch >6 kW, dynamisch bei >10 kW und kaskadiert bis >40 kW werden ausgebaut und als Hilfsbetriebeumrichter ausgeliefert. Mit diesen Systemtopologien geht SYKO den Markt der Frontendgeräte, der Batterielader und der Einphasen-Wechselrichter sowie der Dreiphasen-Drehrichter und Frequenzumrichter an.

Kombinierter Einsatz zertifizierter Frontendgeräte

Neu ist der kombinierte Einsatz der zertifizierten Frontendgeräte wie Batterielader, Dreiphasen-Drehrichter und Einphasen-Wechselrichter als Hilfsbetriebe-Umrichter in der Bahntechnik. Die Batterielader der Serie HBL.H 750 werden geregelt leistungskaskadiert bis >25 kW bzw. >800 A (1200 A) und die Drehrichter mit F/U-Control werden funktional leistungskaskadiert eingesetzt.

Die von SYKO bearbeiteten Eingangsspannungs-Bordnetze sind Niedervoltbatterien (24/110 V_{DC}), der 750-/1500-V-Fahrdraht, der 3- und 1-Phasen-AC-Eingang, DC-Zwischenkreisspannungen an sehr langen Leitungen und die UIC-Bordnetze. Für die 1- und 3-Phasen-Netzspannungen hat SYKO das Digital-Knowhow mit geregelter PFC-Stufe für Sinus-, Trapez- und Rechteckspannung zum

Einsatz gebracht – die hauseigene Entwicklungsoption Bidirektionalität gehört dazu (Bild 3).

Aktuell hat SYKO Kundenanforderungen am 28-Bordnetz im Hochleistungsbereich mit:

- 6 kW Dauerleistung ohne externe Fremdkühlung: $6000 \text{ W}/(0,94 \cdot 19 \text{ V}) = 336 \text{ A}$,
- 20 kW im Sekundenbereich ohne Fremdbelüftung: $11.000 \text{ W}/(0,93 \cdot 19 \text{ V}) = 616 \text{ A}$ Wasserkühlung,
- 11 kW Dauerleistung mit einer Container-Wasserkühlung: $20.000 \text{ W}/(0,92 \cdot 19 \text{ V}) = 1145 \text{ A}$ dynamisch.

Diese Leistung wurde bisher von der Hydraulik und unregelmäßigen 3-Phasen-Niedervolt-Generatoren erbracht. Bessere Batteriesysteme und ein durchdachtes Leistungsmanagement ermöglichen durch diese SYKO-Modifikation, die Leistung mittels geregelter, kurzschlussfester und I²t-überlastgeschützter DC/DC-Stufen kaskadiert aufzuarbeiten. So werden vier Module mit je sechs stromkaskadierten Einzelstrings mit 120° Phasenverschiebung wiederum geregelt und redundant parallel geschaltet. Alle Leistungshalbleiter primär und sekundärseitig wurden um Eingangsströme von ca. 1200 A komponentenverträglich mit geringstem Bestück- und Verdrahtungsaufwand in SMT aufgebaut.

Betrieben werden mit diesen Universal-Frontendstufen verschiedene Lasten:

- DC-Antriebssysteme hochdynamisch,
- Dreiphasen-Antriebe mit F/U-Control,
- Einphasen-Land/Lager/Systemversorgung.

Der Vorteil dieser SYKO-Frontendtopologie ist, dass gleichberechtigte Mehrfachaus-

Bild: SYKO

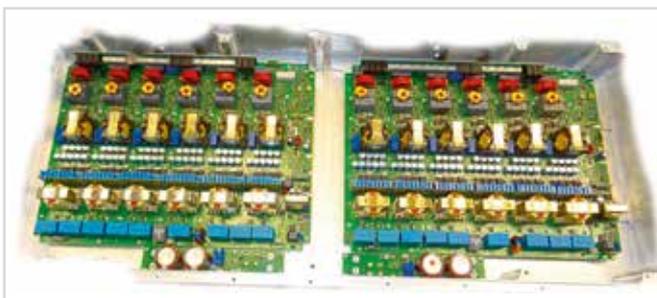


Bild 4: Diese sechsfach geregelten, stromkaskadierten Frontendstufen werden über eine Prozessoreinheit beliebig geregelt parallelgeschaltet für $n \times 3 \text{ kW}/5 \text{ kW}$ dynamisch.

MEV Elektronik Service GmbH
00338711-009
72.0 mm x 297.0 mm (Format:
13A1)

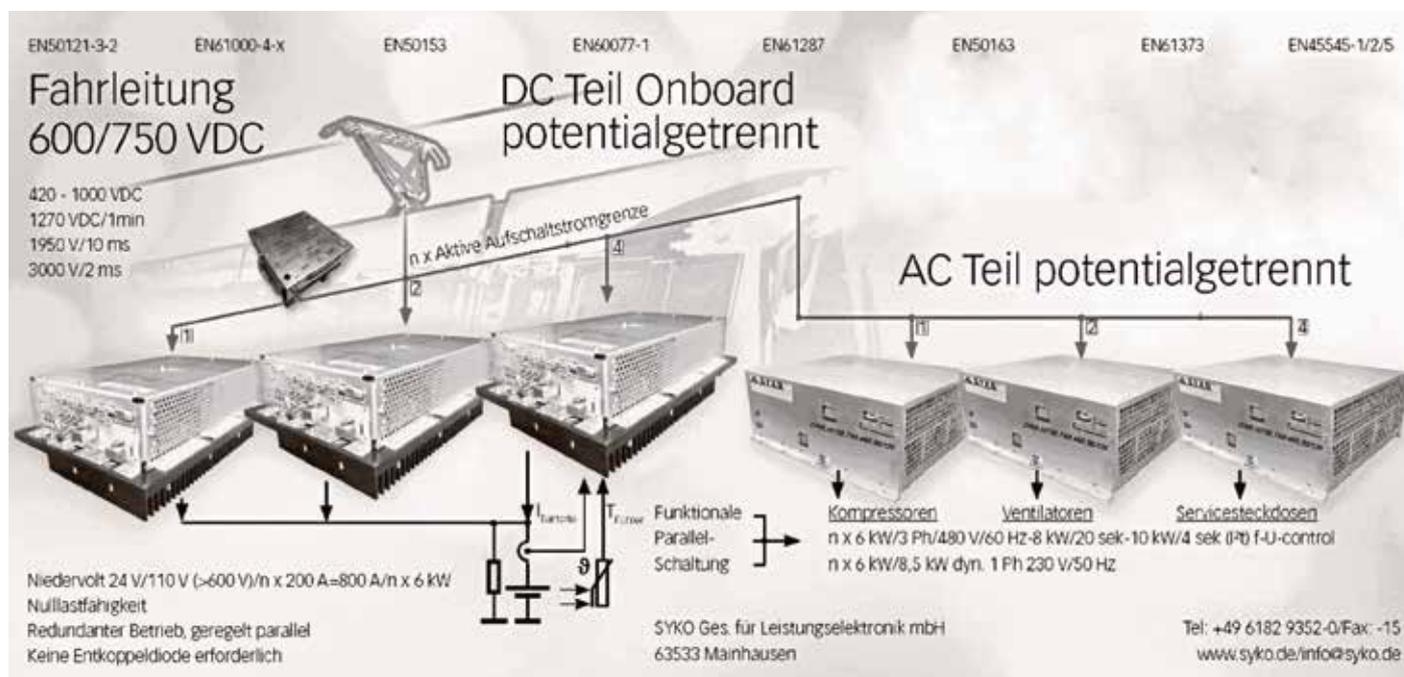


Bild 3: Übersicht der von SYKO bearbeiteten Eingangsspannungs-Bordnetze.

gangsspannungen von <200 bis >800 V_{DC} aufgebaut werden können. So hat SYKO Dreiphasen-Umrichter bis 12 kW mit synthetischem Sinus für die Klimatechnik entwickelt und bietet diese als dritte Stufe hinter dem Frontend an. Hochvoltausgänge erschließen bei geänderter Digitalstruktur auch das Laden von Hochvoltbatterien.

Eine Erkenntnis wurde gewonnen, dass IGBTs hier wirkungsgradabträglich sind, auch wenn sie Hochstromhalbleiter sind. SYKO hat diese Modifikation während der Coronazeit innerhalb von fünf Monaten als vorserienreifen Prototypen ausgeliefert, mit einem Wirkungsgrad von $>94\%$ bei einer Taktfrequenz von 100 kHz.

Die Lastwechsel zeigen eine statische Ausgangsstabilität bei sekundärseitiger Spannungsregelung von 1% und dynamische Lastwechselamplituden von ≤ 15 Vs bei einem Lastwechsel von 0,3 nach 100% Lastwechsel.

Während der Modifikation zeigte sich, dass die Gleichlaufeigenschaft der Ströme der vier Module sich günstiger gestalten,

wenn der Spannungsregelkreis von der Sekundärseite auf den primärseitigen Zwischenkreis verlegt wurde. Dabei bleibt die Ausgangsspannung bei einer guten Wicklungskopplung auf $\pm 4\%$ über die Leistung 60 W bis 20 kW statisch stabil und ein dynamischer Lastwechsel von 250 W/20 kW/ 250 W erzeugte eine dynamische Spannungsabweichung von <20 Vs (Bild 5).

Wer mehr über Hardware-Topologie erfahren möchte, wird am DC/DC-Wandlertag in dem Referat mehr erfahren.

Um die Eingangsspannung von <19 V dynamisch zu beherrschen, wird der Spannungswert adaptiv reduziert, die Ausgangsspannung sinkt um den gleichen Prozentsatz und der Regler bleibt im Eingriff, sodass dynamische Eingangsspannungssprünge nicht zum Ausgang durchgreifen. Weiterhin besteht die Kundenanforderung, dass die Aufschaltströme auf die Eingangskapazität ($\Sigma 20$ mF Folienkondensatoren) durch Vorladung und der Anlaufstrom bei

Aktivierung der Leistungsstufen-Strings integral nicht überhöht auftreten dürfen.

Schutz vor Umwelteinflüssen und Verbesserung der EMV

An das Gehäuse werden die Anforderungen gestellt, hohe mechanische Belastung, hohe Schock-/Vibrationsbedingungen zu erfüllen, es soll wasserdicht auf IP66/67 sein und EMV-dicht gemäß der AECTP-Normen. Hier hat SYKO ein Filtersystem entwickelt mit EMV-Dichtung und die Oberfläche des Containers wurde speziell behandelt. Damit erreichte man eine Dichtigkeit auf fünf Meter Wassertiefe und die EMV-Kennlinien in Bild 6, die bei Serienreifmachung noch einmal durch spezielles EMV-Material verbessert werden.

Diese Konstruktion erlaubt eine Dauerausgangsleistung am 28-V-Bordnetz von 6 kW ohne externe Aktiv-Kühlung von $-40/55$ °C und kurzfristig beim Anlauf bis 70 °C. // TK

SYKO

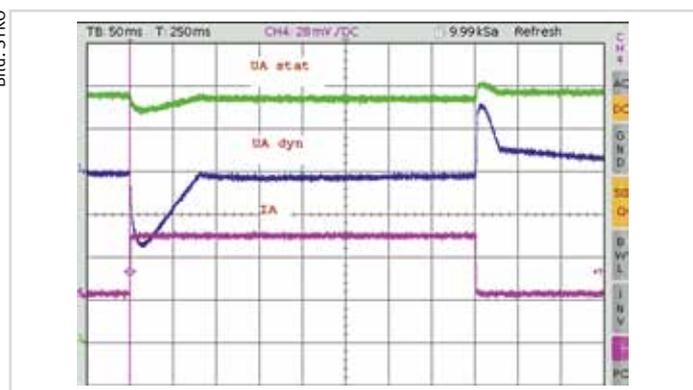


Bild 5: Lastwechselreaktionen nach der Modifikation.

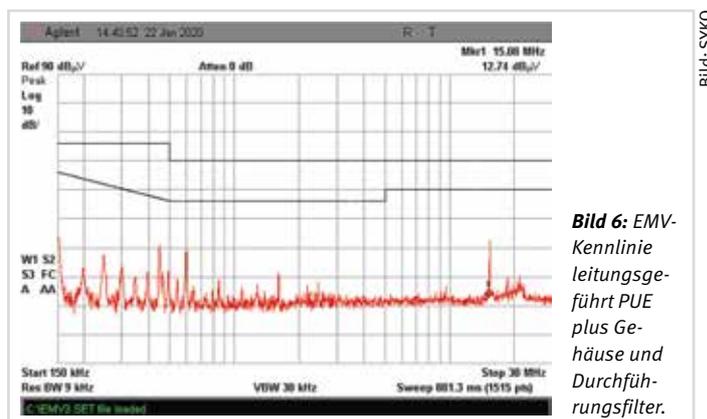


Bild 6: EMV-Kennlinie leitungsgeführt PUE plus Gehäuse und Durchführungsfilter.