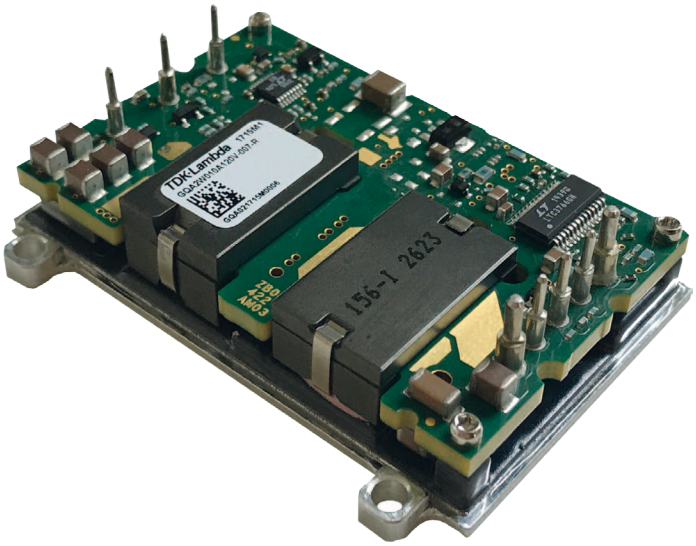
Technologiewandel bei Design und Fertigung von DC/DC-Wandlern



DC/DC-Modul der GQA-Serie mit in der Leiterplatte integrierter Trafowicklung (Bildquellen: TDK und TDK-Lambda)

DC/DC-Wandler werden in vielen Bereichen eingesetzt: Telekommunikation, Datenübertragung, Prüf- und Messtechnik, Automation, Halbleiterfertigung, industrielle Produktionsanlagen, medizinische Geräte und batteriebetriebene Geräte. Sie bieten eine einfache Möglichkeit, von einer leistungsstarken AC/DC-Versorgung mit z. B. 24V-Ausgang zur Versorgung von Motoren, Relais oder Pumpen, weitere Ausgänge mit geringer Leistung abzuleiten. In batteriebetriebenen Systemen sorgen DC/DC-Wandler unabhängig vom Ladezustand der Batterie für stabile, geregelte Ausgangsspannungen. Steuerungen, Logikschaltungen und integrierte Schaltkreise erfordern zum Betrieb typischerweise Einzel- oder Dualspannungen mit 3,3 V, 5 V, 12 V oder 15 V.

Die Miniaturisierung

von isolierten DC/DC-Wandlern war in den letzten Jahrzehnten sicherlich sehr beeindruckend. In den 1970er Jahren maß ein 1,5W-Wandler zur Leiterplattenmontage noch stolze 45 x 30,5 x 16,5 mm (22.646 mm^3). Im Jahr 2020 ist das Bauvolumen eines 3W-Wandlers auf gerade einmal noch 1.642 mm^3 geschrumpft. Im Prinzip hat sich die Leistungsdichte von DC/DC-Wandlern etwa alle 10 Jahre verdoppelt.

Diese Entwicklung ist in erster Linie auf enorme Verbesserungen des Wirkungsgrades zurückzuführen, basierend auf neuen Schaltungs-Topologien und Halbleiter-Materialien. Dazu gehören die brückenlose Gleichrichtung, der Einsatz hocheffizienter GaN (Galliumnitrid)-Bauelemente, die Synchrongleichrichtung und die digitale Regelung. Durch neue verlustarme Ferritmaterialien konnten Transformatoren und Induktivitäten drastisch verkleinert werden. Moderne Hochleistungs-DC/DC-Wandler kommen heute vollkommen ohne drahtgewickelte Transformatoren oder andere Induktivitäten aus. Der „Transformator" besteht hier nur noch aus Kupferbahnen in einer mehrschichtigen Leiterplatte um die von außen nur noch die Ferritkerne zusammengefügt werden.

Höhere Wirkungsgrade

reduzieren die Verlustleistung innerhalb des Moduls. Kühlkörper können dadurch verkleinert werden oder sogar durch SMD-Bestückung der Leistungshalbleiter direkt auf der Leiterplatte komplett entfallen. Multilayer-Platinen werden durch isolierte Metallsubstrat-(IMS-) Baseplates ersetzt. Hierbei werden Kupferbahnen mit einer hauchdünnen Isolationsschicht auf eine Aluminiumplatte aufgebracht. Diese Aluminiumplatte dient dann als Wärmeüberträger auf einen Profilkühlkörper zur Konvektionskühlung oder sogar auf eine Kühlplatte zur Wasserkühlung.

Präzisere SMD-Fertigungsverfahren

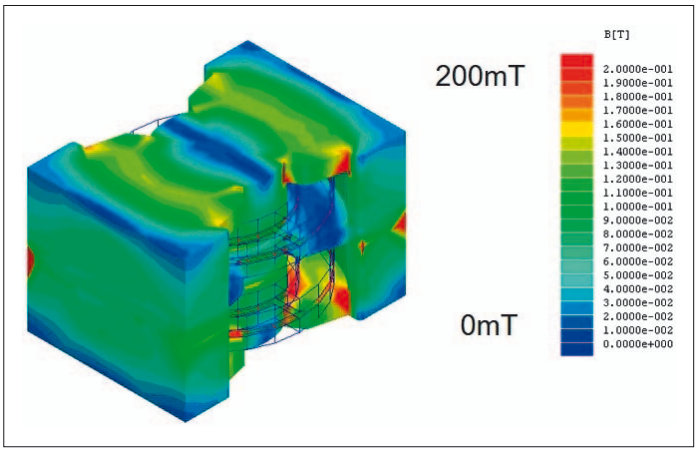
ermöglichen geringere Abstände zwischen den einzelnen Bauteilen. Ferner können auch grundsätzlich kleinere Bauformen zum Einsatz kommen, beispielsweise Widerstände und MLCCs (mehrschichtige Keramikkondensatoren) im Format 0603 (0,6 x 0,3 mm). Weitere ultrakompakte Halbleitergehäuse eignen sich für Signaldioden und Transistoren.

Sicherheitsabstände

Nicht jede Möglichkeit zur Miniaturisierung lässt sich im Produktdesign tatsächlich umsetzen. Internationale Safety-Standards definieren klare Mindestanforderungen für die Sicherheitsabstände zwischen der Primär- und Sekundärseite eines DC/DC-Wandlers. Höhere Isolationsspannungen bedingen in gleicher Weise auch größere Sicherheitsabstände. Weiter sind die Anforderungen an Sicherheitsabstände für Medizingeräte auf Basis der IEC60601-1 strenger als für Geräte der Informationstechnologie und Audio/Video-Geräte auf Basis der IEC62368-1.

Computersimulation

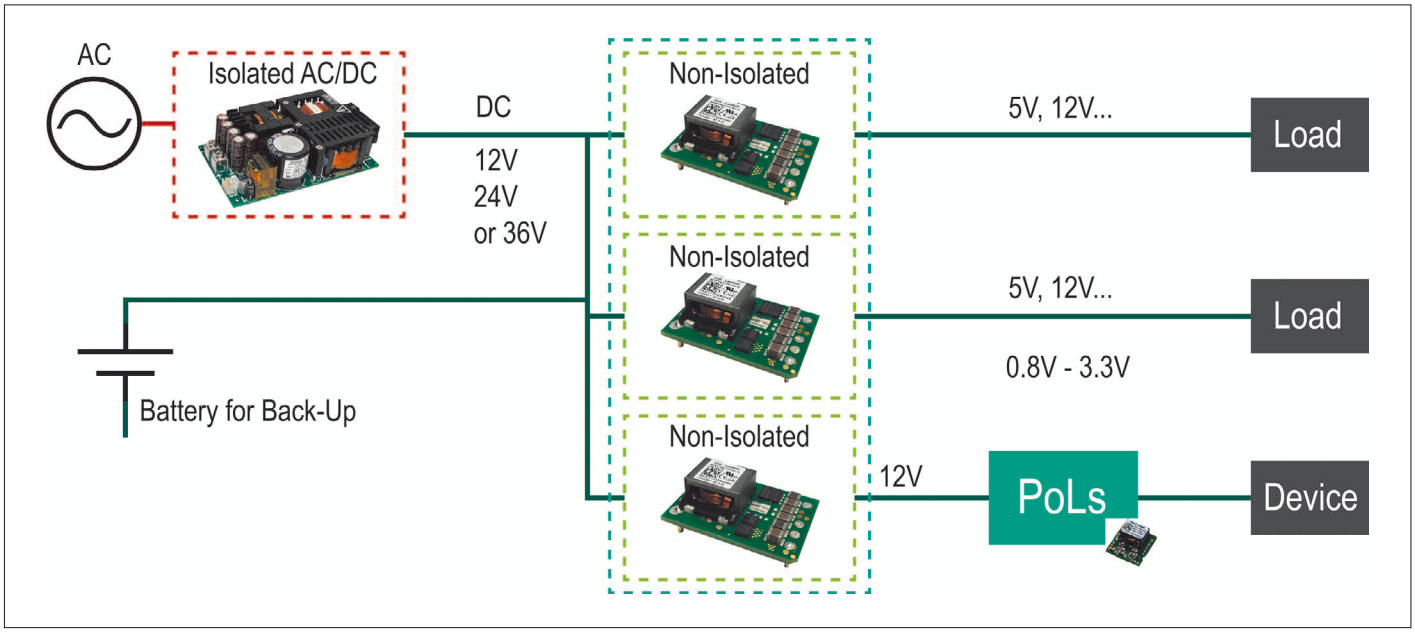
Bei der Grundlagenforschung und Produktentwicklung gewinnt die Computersimulation stark an Bedeutung. Mit Hilfe von 3D-CAD-Systemen



Simulation des magnetischen Flusses für Transformatorkerne

Autor:
Lars Foerster, DC/DC Business Development Manager EMEA

TDK-Lambda Germany GmbH
www.emea.lambda.tdk.com
www.emea.lambda.tdk.com/de



Distributed Power Architecture (DPA) mit nicht isolierten Wandlern und PoLs

wird die Positionierung der Bauteile optimiert. Zusätzlich erlauben thermische Simulationen bereits zu Beginn der Entwicklung zuverlässige Prognosen zur Temperaturentwicklung und Wärmeverteilung des DC/DC-Wandlers. Selbst die magnetische Flussdichte von Transformatoren und deren Streuverluste lassen sich im Voraus für verschiedene Ferritkernformen simulieren.

Neue technische Anforderungen

Technologiewandel und Kommerzialisierung bei Netzwerk- und Telekommunikationssystemen haben die Art und Weise wie DC/DC-Wandler eingesetzt werden und damit auch die technischen Anforderungen verändert. Dies hat in den zurückliegenden zwei Jahrzehnten zur Entwicklung neuartiger Distributed Power Architectures (DPA) geführt. Die Versorgungsspannung für ASICs, FPGAs und andere Mikroprozessoren ist von anfänglichen 5 V auf mittlerweile unter 1 V gesunken. Ursprünglich versorgten AC/DC-Netzteile mit 24 V oder 48 Vdc Ausgangsspannung galvanisch getrennte DC/DC-Wandler. Mittlerweile wurden diese durch kostengünstigere, nicht isolierte PoL-Wandler (Point of Load) weitgehend verdrängt. Diese sitzen unmittelbar neben dem zu versorgenden Prozessor, da nur so dessen Betriebsspannung unter hohen dynamischen Lastanforderungen präzise ausgeregelt werden kann. Viele Datacom- und Computersysteme setzen jetzt auf eine AC/DC-Stromversorgung mit 12 Vdc um damit PoLs mit Weitbereichseingang für sowohl 5 V als auch 12 V Nennspannung, zu versorgen. Auf die galvanische Trennung in den PoLs kann verzichtet werden, da die erforderlichen Isolationsstrecken bereits durch das vorgeschaltete AC/DC-Netzteil sichergestellt werden. Dies gilt in gleicher Weise für medizinische Anwendungen.

Eigene DC/DC-Wandler entwickeln?

Die großen Halbleiter-Hersteller haben in den letzten Jahren voll integrierte Controller-ICs zum einfachen Aufbau von nicht isolierten DC/DC-Wandlern auf den Markt gebracht. Für kleinere Leistungen stehen mittlerweile sogar voll integrierte Reglerbausteine in Standard-IC Formaten zur Verfügung. Unter zu Hilfenahme eines ausführlichen Handbuchs zur erforderlichen Grundbeschaltung soll jeder Leiterplattendesigner in die Lage versetzt werden, seinen eigenen DC/DC-Wandler zu entwickeln. Große Entwicklungsabteilungen mögen über das erforderliche KnowHow verfügen, um auf Basis dieser Topologien ihren eigenen DC/DC-Wandler zu entwickeln. Der Teufel steckt im Detail

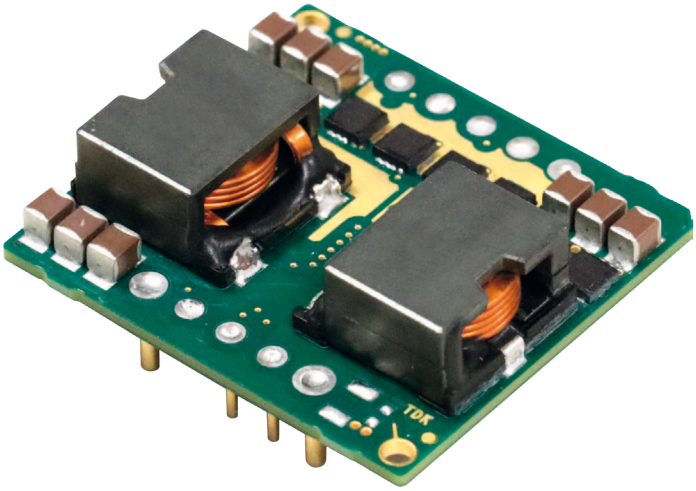
Auf den ersten Blick scheint dies der ideale Ansatz um einen exakt auf die jeweilige Anforderung zugeschnittenen DC/DC-Wandler mit obendrein optimierten Kosten zu entwickeln. Es ist aber nicht damit getan die erforderlichen Induktivitäten und Keramik-Vielschichtkondensatoren im Umfeld des vollintegrierten Reglers möglichst platzsparend anzuordnen. Dynamische Lastprofile und die Anforderungen zur Einhaltung von EMV-Grenzwerten können schnell zu einer ausufernden Evaluierungsphase führen, bis der Wandler endlich unter allen Einsatzbedingungen und nicht zu vergessen über den gesamten Betriebstemperaturbereich zuverlässig arbeitet. Der Teufel steckt hier oft im Detail und man sollte als Entwickler den Aufwand für die auf den ersten Blick recht überschaubare Außenbeschaltung nicht unterschätzen. Ein kompletter Standard DC/DC-Wandler vom Spezialisten kann in der Endabrechnung dann doch sowohl die insgesamt kostengünstigste als auch kompakteste Lösung darstellen.

Nicht-isolierte DC/DC-Wandler

Vor kurzem wurden neuartige nicht-isolierte DC/DC-Wandler mit bisher nicht verfügbarem Leistungsniveau auf den Markt gebracht. Diese neuen Typen sind entweder als reiner Buck-Regulator (Abwärtswandler) oder auch als Buck-Boost-Regulator erhältlich. Bei einem Buck-Regulator (Abwärtswandler) muss die Eingangsspannung stets einige Volt höher als die benötigte Ausgangsspannung liegen. Im Gegensatz dazu ist eine Buck-Boost Stufe in der Lage, ihre Ausgangsspannung sowohl aus einer höheren als auch aus einer geringeren Eingangsspannung zu erzeugen. Die herausragenden Merkmale dieser Wandler sind ein sehr breiter Eingangsspannungsbereich und ein extrem hoher Wirkungsgrad (bis zu 98,5 %). Dieser bedingt eine nur geringe Wärmeentwicklung und bietet dem Anwender neben äußerst kompakten Abmessungen durch den vergleichsweise einfachen Aufbau ohne galvanische Trennung erhebliche Kostenvorteile. Konkret liefert der neue Buck-Regulator der Baureihe i7C in einem 1/16 Brick Footprint bis zu 750 W Ausgangsleistung bei einem Eingangsspannungsbereich von 18 bis 60 Vdc.

Semiconductor Embedded in SUBstrate

Auch bei den Bauformen gibt es grundlegende Neuerungen auf dem DC/DC-Markt. Mit SESUB (Semiconductor Embedded in SUBstrate) wurde eine neuartige hochintegrierte Bauform vorgestellt. Bei dieser Technologie wird der Leistungshalbleiter vollständig in die Leiterplatte integriert, so dass die Induktivität als größtes Bauteil platzsparend direkt darüber platziert werden kann. Die Konfiguration des Bausteins erfolgt digital über eine I²C-Schnittstelle, so dass auch keine externen Trimm-Widerstände erfor-



750 W nicht-isolierter DC-DC-Wandler

derlich sind. Diese gerade einmal noch 3,3 x 3,3 x 1,5 mm großen Module können bis zu 6 A Ausgangsstrom liefern und eignen sich insbesondere für den Einsatz in Hochleistungs-Power-Management-Einheiten (PMU) von mobilen Geräten wie Smartphones, Tablets sowie Bluetooth-Modulen.

Vollautomatische Produktion

DC/DC-Technologie entwickelt sich aber nicht nur durch grundlegende Neuerungen wie SESUB weiter, sondern auch durch Fortschritte im Produktionsprozess und Optimierung der Typenvielfalt. Wandler aus 100 % SMD-Komponenten lassen sich mit vollautomatischen Roboterlinien 24 Stunden am Tag fertigen. So eine Fertigungslinie erreicht eine Produktionskapazität von 5.000.000 Stück im Jahr. Der hohe Automatisierungsgrad erlaubt schnell zusätzliche Produktionslinien auch in anderen Ländern aufzubauen und die Fertigung so nahe wie möglich zu den wichtigsten Großkunden zu bringen. Dies verkürzt die Lieferzeiten zum Endkunden und wirkt sich damit positiv auf Faktoren wie Pufferlager, Produktvorlaufzeiten und damit Gemeinkosten aus.

Weite Eingangsspannungsbereiche

Möglichst weite Eingangsspannungsbereiche sind mittlerweile Standard, was die Artikelvielfalt und Lagerhaltung reduziert. Die Verdoppelung der Eingangsspannungsbereiche auf 4:1 ermöglicht einen Spannungsbereich von 4,5 bis 76 Vdc mit nur noch drei Modellen abzudecken. Dadurch reduziert sich die Typenvielfalt enorm; sowohl für den Hersteller als auch für den Endkunden. So kann ein neuartiger DC/DC-Wandler zum Beispiel die früher gebräuchlichen 5-V- und 12-V-Eingänge gleichzeitig abdecken. Technisch lassen sich heute sogar noch viel weitere Eingangsspannungsbereiche realisieren, allerdings zu Lasten des Wirkungsgrades und der Baugröße und zu höheren Kosten.

Neue Anforderungen an die Qualitätssicherung

Viele moderne DC/DC-Wandler sind heute mit SMD-Komponenten auf mehreren Ebenen übereinander bestückt. So sitzen zum Beispiel unter einem vergleichsweise großen Leistungstransformator kleine SMD-Widerstände oder -Dioden. Dies stellt vollkommen neue Anforderungen an die Fertigungsinspektion und Qualitätskontrolle. Visuelle Inspektionsverfahren sind hier nicht mehr länger ausreichend. Neue Fertigungslinien bei TDK Lambda werden daher nun mit hochauflösenden Röntgenscannern ausgestattet. Diese Geräte sind in der Lage Bilder aus verschiedenen Winkeln aufzunehmen und daraus mehrschichtige 3D-Modelle zu erzeugen. Die Qualitätskontrolle aller Lötstellen erfolgt dann automatisiert über ein Computerprogramm in nur einem einzigen Arbeitsschritt.

Fazit

Außenstehende Betrachter der Stromversorgungsbranche vertreten häufig die Ansicht, dass Stromversorgungen nicht unbedingt zu den Innovationsträgern gehören. Tatsächlich beweisen voll digitale Regelungen und höchstes technisches Niveau bei der vollautomatischen Fertigung und Inspektion aber genau das Gegenteil. Die Stromversorgungsbranche setzt hier neueste Trends um und ist damit anderen Bereichen der Elektronikindustrie deutlich voraus. ◄