

Für jedes Kühlkonzept die richtige Lösung

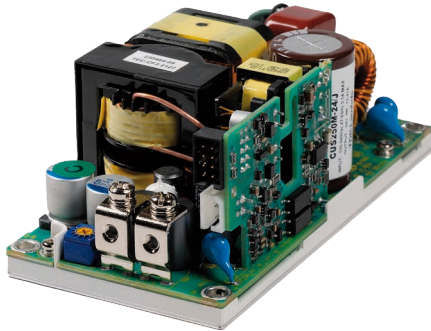


Bild 1: TDK-Lambda 250-W Open-Frame-Netzteil CUS250M

Bevor mit der Konstruktion des Gehäuses für ein neues elektronisches oder elektrisches System begonnen wird, sollten einige grundlegende Überlegungen angestellt werden. Die mechanischen Abmessungen werden häufig vom Projektmanager unter Design- und Marketinggesichtspunkten festgelegt. Ein ansprechendes Äußeres und möglichst kompakte Abmessungen stellen in vielen Anwendungen ein entscheidendes Kriterium für den Markterfolg der neuen Entwicklung dar und stehen daher im Focus. In der Frühphase der technischen Machbarkeitsstudie wird häufig eine 3D-Modellierung durchgeführt, um festzustellen, ob alle erforderlichen Teile und Baugruppen tatsächlich in die geplanten Abmessungen passen werden.

Kühlung einplanen

Normalerweise wird in diesem Zusammenhang auch definiert, wie das System gekühlt werden soll. Bei einem medizinischen Gerät zum Einsatz in unmittelbarer Nähe zum Patienten wird in der Regel sehr viel Wert auf einen möglichst geräuscharmen Betrieb gelegt. Aus diesem Grund versucht man soweit möglich auf eine Lüfterkühlung ganz zu verzichten oder die damit verbundene Geräuschbelastung zumindest so weit wie möglich zu reduzieren.

Auch bei Geräten für Büro- oder Industrieumgebung kann die Geräuschentwicklung ein bedeutendes Kaufkriterium darstellen oder es ergeben sich Beschränkungen hinsichtlich der Anzahl, Größe und Position möglicher Kühlöffnungen. Staub und andere Verunreinigungen in der unmittelbaren Umgebung – insbesondere leitfähige oder brennbare – lassen eine aktive Lüfterkühlung und die dafür erforderlichen Öffnungen im Gehäuse nicht immer zu.

Geräte zum Rack-Einbau

Bei Geräten zum Rack-Einbau, wie sie typischerweise in den Bereichen Testsysteme, Telekommunikation oder IT/Server eingesetzt werden, wird in der Regel immer eine Luftstromrichtung vom Anwender vorgegeben. Nahezu überall wo die Systeme zugänglich aufgestellt sind oder gar Bedien- und Anzeigeinstrumente auf der Frontseite angebracht sind, wird kühle Luft an der Frontseite eingesaugt und auf der Rückseite ausgestoßen. Verständlich, denn niemand möchte ununterbrochen warme Luft ins Gesicht geblasen bekommen, während man Instrumente abliest oder Einstellungen vornimmt.

Thermische Simulation

Sobald die Anordnung der wichtigsten Teile und Baugruppen im Gehäuse definiert ist, sollte eine computergestützte thermische Simulation



Bild 2: TDK-Lambda 250-W-Netzteil CUS250M im Gehäuse

durchgeführt werden. So lassen sich Bereiche lokalisieren, in denen die Abwärme mehrerer Komponenten sich aufsummiert und in Temperaturen mündet, welche die Lebenserwartung oder gar die Funktionssicherheit des Endgerätes in einem nicht akzeptablen Umfang beeinträchtigen würde. Mit der thermischen Simulation lässt sich der erforderliche Luftstrom ermitteln und daraus dann erforderliche Gehäuseöffnungen sowie Luftmenge und/oder die Strömungsgeschwindigkeit von Lüftern ableiten.

Geeignete Netzteile bestimmen

Bei Geräten zum Betrieb an der typischen Netzspannung (Steckdose) kommen in der Regel ein oder mehrere AC/DC-Netzteile zum Einsatz. In vielen Entwicklungen liegt es im Verantwortungsbereich von Elektro- oder Maschinenbaukonstrukteuren, geeignete Netzteile zu bestimmen.

Für unsere nachfolgende Betrachtung gehen wir davon aus, dass ein handelsübliches Standard-Netzteil mit einer Leistung von 250 W benötigt wird. In diesem Leistungsbereich gibt es ein

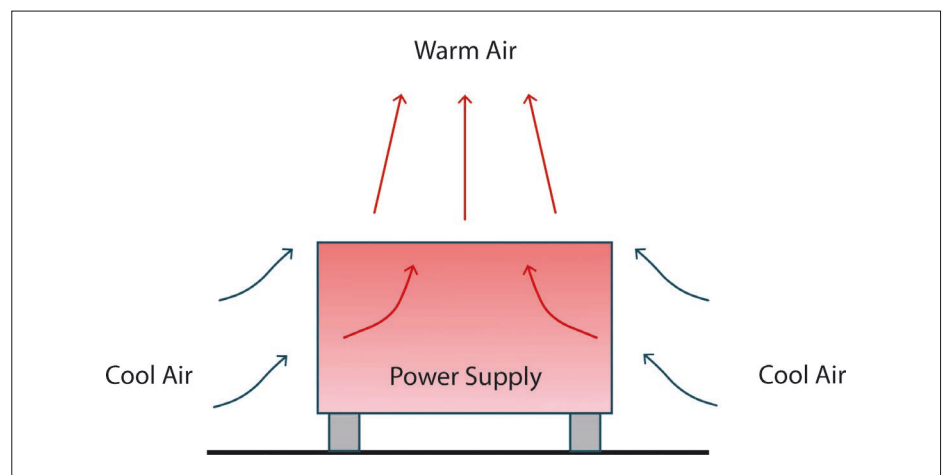


Bild 3: Natürlicher Luftstrom um ein konvektionsgekühltes Netzgerät

Autor:
Udo Schweizer
Technical Marketing Manager
TDK Lambda EMEA
www.emea.lambda.tdk.com/de

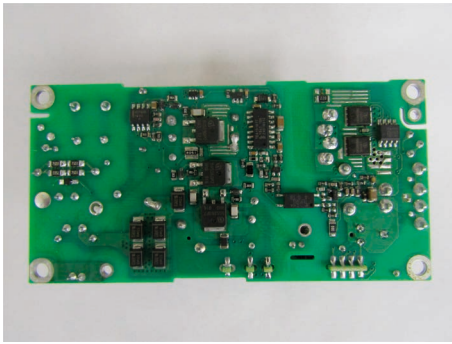


Bild 4: Leistungshalbleiter in SMD-Technik auf der Unterseite des CUS250M

breites Angebot unterschiedlicher Bauformen. Open-Frame Designs bestehen in der Regel nur aus einer bestückten Leiterplatte. Sie verfügen über auf der Leiterplatte bestückte Steck- oder Schraubklemmen (je nach Stromstärke) für den Netzeingang und den DC-Ausgang sowie vier Bohrungen in den Ecken der Leiterplatte. Die Montage im System erfolgt üblicherweise mittels Schrauben und Distanzhülsen (Bild 1).

Open-Frame-Netzteil

Ein Open-Frame-Netzteil kann seine Verlustwärme einfach nach allen Seiten abstrahlen und stellt zudem die kostengünstigste Lösung dar. Der Einbau im Endgerät muss aber so erfolgen, dass Anwender oder Servicepersonal nicht aus Versehen in Kontakt mit spannungsführenden oder heißen Teilen kommen können. Die Anforderungen zur Begrenzung leitungsgebundener und abgestrahlter Störungen im Rahmen der EMV-Richtlinie können es ferner erforderlich machen, das Netzteil mit Blechen abzuschirmen.

Beide Punkte schränken die Wärmeabstrahlung der Open-Frame Konstruktion ein und dürfen bei der thermischen Betrachtung keinesfalls vernachlässigt werden.

Stromversorgungen in geschlossener Bauweise (Bild 2) sind teilweise oder vollständig von einem Metallgehäuse umgeben.

Abdeckungen können Wärme ableiten

Diese Abdeckungen schränken die natürliche Konvektion zuerst einmal mehr oder minder stark ein. Gleichzeitig sind die Gehäuseteile aber in

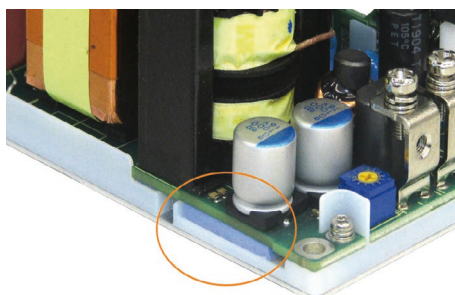


Bild 6: „Lückenfüller“ zwischen Leiterplatte und Gehäuse

der Lage, Wärme von Leistungshalbleitern wie den Schalt-MOSFETs und dem Ausgangsgleichrichter (oder FETs) aufzunehmen bzw. sogar auf das Gehäuse des Gesamtgerätes zu übertragen. Je nach verwendetem Gehäusematerial und dessen Stärke lässt sich so sehr viel Wärme abführen. Dickere Aluminiumbleche leiten beispielsweise wesentlich mehr Wärme ab als Stahlbleche.

Elektromagnetische Störungen

Die Abdeckung des Netzteils und zu gewissen Teilen auch das Montageprofil schirmen zum einen unerwünschte elektromagnetische Störungen ab und schützen Anwender oder Wartungstechniker vor Stromschlägen durch unbeabsichtigten Kontakt mit spannungsführenden Teilen. Das Gehäuse verursacht aber auch zusätzliche Kosten, so dass der Preis eines Netzteils mit geschlossenem Gehäuse gegenüber einer Open-Frame Version höher ausfällt.

Zuverlässigkeit im Feld

Der störungsfreie Betrieb eines AC/DC-Netzteils über viele Jahre wird in hohem Maße durch die Umgebungstemperatur und damit einhergehend einer zuverlässigen Kühlung beeinflusst. In Stromversorgungen werden Elektrolytkondensatoren sowohl zur Speicherung als auch zur Filterung eingesetzt. Ihre Lebensdauer ist sehr stark temperaturabhängig. Als Faustformel rechnet man mit einer Halbierung je 10 °C Temperaturanstieg. Eine um 20 °C höhere Umgebungstemperatur hat somit eine Reduzierung der Lebensdauer der Kondensatoren um 75 % zur Folge.

Kondensatoren

Ein Hochspannungs-Zwischenkreiskondensator verhindert, dass bei einem Abfall oder gar vollständigem Ausfall der Netzspannung im Zeitbereich von typisch bis zu 20 Millisekunden, irgendwelche Beeinträchtigungen am Ausgang des Netzteils auftreten. Niederspannungskondensatoren kommen auf der Ausgangsseite zum Einsatz, um die hochfrequente Restwelligkeit des Schaltreglers zu glätten und die Ausgangsspannung bei plötzlichen Lastsprüngen zu stabilisieren. Weitere Elektrolytkondensatoren kommen in der internen Hilfsversorgung für die Steuer- und Regelkreise zum Einsatz. Ein Nachlassen dieser Kondensatoren führt zunächst zu Beeinträchtigungen der Regelgüte des Netzteils und kann am Ende sogar in einem Totalausfall münden.

Kühlung eines Netzteils

Es gibt verschiedene Methoden ein Netzteil zu kühlen, um einen zuverlässigen Betrieb zu gewährleisten. Dazu gehören Konvektionskühlung, Kühlung mittels Luftstrom und Kontaktkühlung. Diese können auch kombiniert werden, um die Abwärme der internen Bauteile des Netzteils möglichst gut abzuleiten. Bis vor kurzem waren die meisten Open-Frame-Netzteile auf Konvektionskühlung oder einen Luftstrom (in der



Bild 5: CUS250M/F mit integriertem, oben montiertem Lüfter

Regel durch einen externen Lüfter) ausgelegt. In jüngster Zeit haben die Hersteller nun neue Netzteil-Designs auf den Markt gebracht, die mit verschiedenen Gehäuseformen neue Möglichkeiten und mehr Flexibilität zur Wärmeabfuhr in den Systemen der Anwender eröffnen.

Konvektionskühlung

Bei Konvektionskühlung steht kein künstlich erzeugter Luftstrom zur Verfügung. Nur das physische Gesetz, nachdem erwärmte Luft aufsteigt, muss ausreichend eine zuverlässige Wärmeabfuhr sichergestellt (Bild 3). Wird dieser Luftstrom, der typischerweise nur etwa 0,3 m/s beträgt, durch umliegende Komponenten oder ein Gehäuse beeinträchtigt, führt dies unmittelbar zu wesentlich höheren Bauteiltemperaturen.

Forcierte Kühlung

Bei forcierter Kühlung wird ein externer Lüfter eingesetzt, der einen Luftstrom über bzw. durch das Netzteil leitet, um die Komponenten zu kühlen. Die Richtung des Luftstroms ist dabei ebenso wichtig wie das erforderliche Luftvolumen. Daher sollten die Hersteller unbedingt Angaben zur optimalen Richtung des Luftstroms und zu dessen Mindestgeschwindigkeit machen. Ferner ist eine Referenztafel mit den maximal zulässigen Bauteiltemperaturen unerlässlich.

Bei dem in Bild 1 dargestellten Open-Frame-Netzteil CUS250M sind keinerlei Leistungshalbleiter auf Kühlkörpern zu erkennen. Dies ist zum Teil dem hohen Wirkungsgrad von bis



Bild 7: CUS250M/U mit U-Gehäuse

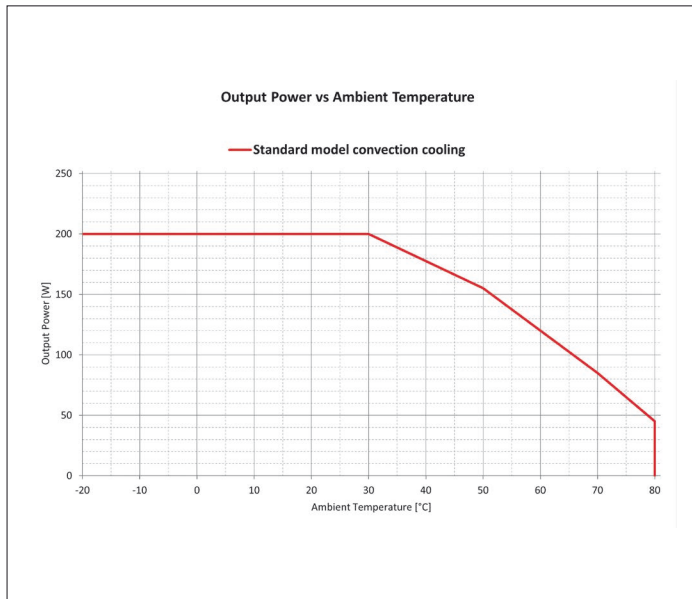


Bild 8a: Ausgangsleistung vs. Umgebungstemperatur (Konvektionskühlung)

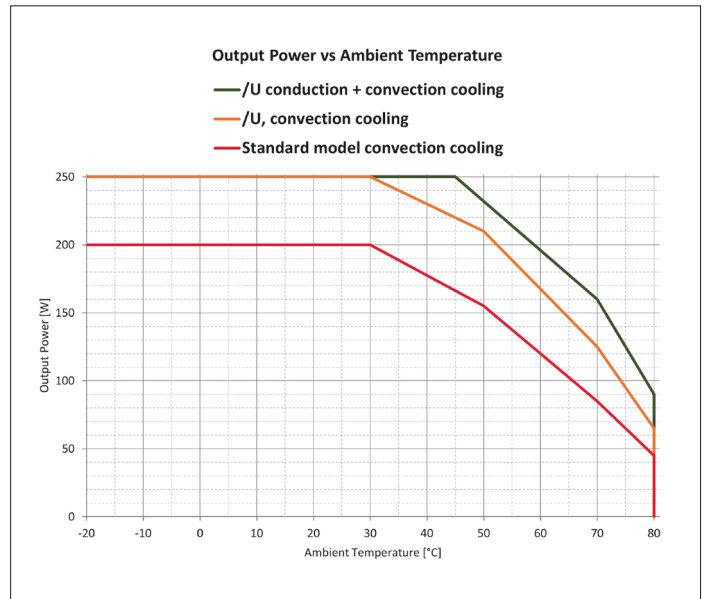


Bild 8b: Die Ausgangsleistung ist abhängig von der Umgebungstemperatur (bei Konvektions- und Kontaktkühlung)

zu 94 % zu verdanken, aber auch einer Besonderheit im Design: Die Leistungshalbleiter wurden ausnahmslos in SMD-Technik auf der Unterseite der Leiterplatte angeordnet. Daraus resultieren sehr geringe thermische Verluste zur Leiterplatte hin (Bild 4). Dieses „saubere“ Design erlaubt mehr Freiräume auf der Oberseite und damit ungehinderte Zirkulation der Luft um die Bauteile.

Integrierter Lüfter

Wenn im Endgerät kein forciert Luftstrom bereitgestellt werden kann, bieten die Netzteilhersteller häufig Modelle mit integriertem Lüfter an (Bild 5). So lange weder die ein- noch die ausströmende Luft anderweitig eingeschränkt wird, ist der zuverlässige Betrieb des Netzteiles innerhalb seiner Spezifikationen gewährleistet. Dies vereinfacht die Konstruktion des Systems sowohl aus mechanischer als auch aus thermischer Sicht. Die Größe des vom Hersteller vorgesehenen Lüfters bestimmt den Geräuschpegel. Ein größerer Lüfter kann das gleiche Luftvolumen mit einer viel geringeren Drehzahl erzeugen als ein kleinerer Lüfter. Daher hat ein Netzteil mit einem größeren Lüfter in der Regel ein geringeres hörbares Geräusch. Ein größerer Lüfter lässt aber immer die Größe des Netzteils mit wachsen und hier gilt es den optimalen Kompromiss zu finden.

Kontaktkühlung

Ist ideal für Anwendungen, bei denen nur geringe oder gar keine hörbaren Geräusche akzeptiert werden und gleichzeitig auch keine Lüftungsöffnungen oder Lüfter im System möglich sind. Dies gilt beispielsweise für medizinische Geräte, bei denen das permanente hochfrequente Laufgeräusch eines Lüfters vom Patienten als störend oder ermüdend

wahrgenommen wird und damit seine Genesung behindert.

Auch bei Einsatz in der freien Natur oder in hermetisch dichten Gehäusen kann die Abwärme einer Stromversorgung über Kontaktkühlung an das umgebende Gehäuse abgegeben werden, dessen Oberfläche nach Bedarf noch mit Kühlprofilen maximiert wird. Kontaktkühlung ist ebenfalls die Basis für alle wasser- oder peltiergekühlten Anwendungen.

Wärmeleitmaterialien

Wie bereits erwähnt, sind bei einem Netzteil wie dem CUS250M alle Leistungshalbleiter in SMD-Technik ausgeführt und auf der Unterseite der Leiterplatte angeordnet. Am Markt ist heute ein riesiges Angebot an Wärmeleitmaterialien unterschiedlichster Materialstärke mit hoher Wärmeleitfähigkeit und geringem thermischen Widerstand verfügbar. Damit lassen sich die Lücken zwischen Bauteilen unterschiedlicher Höhe und dem Gehäuseteil unter dem Netzteil auffüllen und damit eine optimale Wärmeabfuhr mittels Kontaktkühlung erzielen (Bild 6).

Zur optimalen Kontaktkühlung kann ein Netzteil mit einer Metallgrundplatte oder einem U-Gehäuse ausgestattet werden (Bild 7).

Derating-Kurven beachten

Unabhängig davon, welche Kühlmethode ausgewählt wurde, dürfen die Derating-Kurven des Herstellers nicht außer Acht gelassen werden, um sicherzustellen, dass das Netzteil innerhalb seiner Nennwerte betrieben wird. Diese sind in der Regel schon im Datenblatt oder in einem Installationshandbuch oder weiteren detaillierten Anwendungshinweisen zu finden.

Zur Veranschaulichung greifen wir erneut auf das Netzteil CUS250M als Beispiel zurück. Bild 8a zeigt, dass das Netzteil

mit reiner Konvektionskühlung bei einer Umgebungstemperatur von 30 °C volle 200 W Ausgangsleistung liefern kann, bei einer Umgebungstemperatur von 50 °C aber nur noch 160 W.

Kontaktkühlung erhöht Ausgangsleistung

Durch Kontaktkühlung mit der U-Gehäuse-Option (Bild 8b, orangefarbene Linie) kann das Netzteil bei 30 °C Umgebungstemperatur dagegen sogar 250 W liefern. Die Leistungshalbleiter können hier mehr Verlustwärme über die Grundplatte an das Metallgehäuse abführen und dadurch sind höhere Ausgangsleistungen möglich.

Wird das U-Gehäuse im Endgerät auf ein Kühlprofil oder ein thermisch gut leitfähiges Systemgehäuse montiert (Bild 8b, grüne Linie), verbessert sich die Wärmeabfuhr weiter, so dass das Netzteil die volle Leistung von 250 W nun bis zu 45 °C Umgebungstemperatur und 230 W bis zu 50 °C erbringen kann.

Grundsätzlich sollten die kritischen Bauteiltemperaturen eines Netzteils unter realen Bedingungen in der endgültigen Einbausituation im Endgerät gemessen werden.

Fazit

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass eine Netzteilserie mit für verschiedene Kühlungsarten optimierten Varianten, für alle Herausforderungen im Systemdesign stets die optimale Lösung bieten kann. Im Gegensatz zu einem vordergründig auf Konvektionskühlung ausgelegten Open-Frame-Netzteil lässt sich die vom Gesamtsystem geforderte Leistung auch unter erschwerten Umgebungsbedingungen mit einem kompakteren Gerät bereitstellen. Dies reduziert den erforderlichen Platzbedarf im Gesamtsystem und bietet obendrein Einsparpotentiale bei Gewicht und nicht zuletzt den Kosten. ◀