



Was macht ein gutes Schaltnetzteil aus?

Erwärmung, Wirkungsgrad und Kondensator – Faktoren für das richtige Netzteil

Bei der Wahl einer geeigneten Stromversorgung gilt es, verschiedene Kriterien zu berücksichtigen. Zu beachten sind unter anderem die Ausfallwahrscheinlichkeit, die Rolle der Elektrolytkondensatoren sowie Faktoren, die sich auf die Betriebserwartung auswirken.

Autor: Frank Stocker

Die Anforderungen an eine Stromversorgung sind heutzutage vielfältig. Sie umfassen eine hohe Effizienz und eine geringe Standby-Stromaufnahme, ebenso wie eine hohe Leistungsdichte und damit eine kompakte Bauform. Auch die Konformität hinsichtlich der Normen für die Gerätesicherheit, die elektromagnetische Verträglichkeit und die Störaussendung spielen eine entscheidende Rolle. Nicht zuletzt ist eine marktgerechte Preisgestaltung wichtig. Anwender fordern jedoch vor allem eine hohe Zuverlässigkeit.

Betriebserwartung und Ausfallsicherheit

In einem Schaltnetzteil können Dutzende bis Hunderte elektronischer Komponenten Verwendung finden, abhängig von der Leistung und Topologie. Deshalb erfordert es Erfahrung und technisches Know-how seitens der Stromversorgungshersteller, um aus einer derartigen Vielzahl von unterschiedlichen Einzelkomponenten eine valide Zuverlässigkeitsbewertung vorzunehmen und eine effiziente und langlebige Stromversorgung zu bauen. Damit die Hersteller eine hohe Betriebserwartung und Ausfallsicherheit eines Schaltnetzteils erreichen und bestimmen können, müssen sie neben der Auswahl hochwertiger Komponenten auch das fertige Netzteil mittels elektrischer, thermischer und mechanischer Stresstests sorgfältig prüfen. Grundsätzlich bestimmen kritische Komponenten wie Lüfter oder Elektrolytkondensatoren die Betriebserwartung.

In der sogenannten Badewannenkurve wird der Zusammenhang zwischen Betriebsdauer und Ausfallrate dargestellt (Bild 1).

Detailliert lässt sich die Kurve wie folgt beschreiben:

- Phase I – Frühausfälle / abnehmende Fehlerrate: Um Frühausfälle etwa durch fehlerhafte elektronische Komponenten im Feld zu vermeiden, werden Schaltnetzteile in der Regel ab Werk einem Burn-In unterzogen, wobei das Netzteil über einen vorgegebenen Zeitraum bei definierter Temperatur und Last in Betrieb ist.
- Phase II – Konstante Fehlerrate: Diese Phase weist eine geringe Fehlerrate auf und beschreibt die eigentlich nutzbare Betriebsdauer. Die geringe Anzahl von Zufallsausfällen wird durch Installations- und Betriebsbedingungen (Umgebungstemperatur, Derating, Luftstrom, Vibration, etc.) beeinflusst.
- Phase III – Alterungsbedingte Ausfälle / steigende Fehlerquote: Nach der definierten Betriebszeit steigt die Fehlerquote stark an. Die Ausfälle sind hier auf die Alterung und den Verschleiß der verbauten Komponenten zurückzuführen, die das Ende ihrer Lebenserwartung erreichen.



Eck-DATEN

Stromversorgungen wird heute viel abverlangt: hohe Effizienz, kompakte Bauweise, elektromagnetische Verträglichkeit und noch mehr. Im industriellen Umfeld sind vor allem Betriebserwartung und Ausfallsicherheit besonders wichtig. Hier spielen die verbauten Elektrolytkondensatoren, die für Spannungsfestigkeit und Kapazität mitverantwortlich sind und sich auf Betriebsbedingungen und Betriebserwartung auswirken, eine zentrale Rolle. Ein weiterer limitierender Faktor ist die Erwärmung, die es zu kontrollieren gilt.

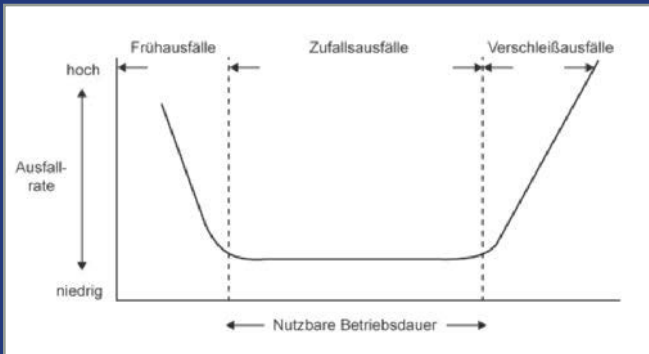


Bild 1: Lebenszyklusabbildung über eine dreigeteilte „Badewannenkurve“ mit den Bereichen: Frühausfälle, Zufallsausfälle während der nutzbaren Betriebszeit und alterungsbedingte Ausfälle zum Ende der Betriebszeit.

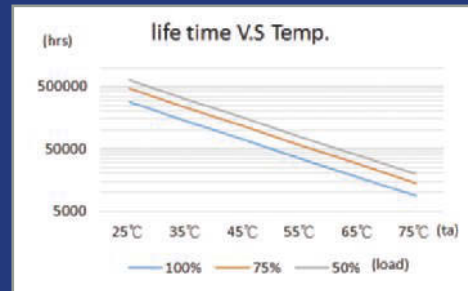
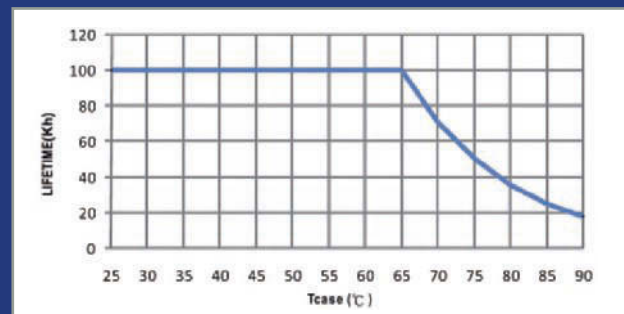


Bild 2: Beispiel einer Betriebserwartung eines Aluminium-Elektrolytkondensators in Abhängigkeit zur Umgebungstemperatur und Belastung (rechts oben) und Betriebserwartung der Schaltnetzteil-Serie XLG-200 Mean Well in Abhängigkeit zur Gehäusetemperatur (rechts unten).



Die MTBF (Mean Time Between Failures) definiert die Stabilität und Zuverlässigkeit. Dieser Wert bezieht sich auf den mittleren Teil der Badewannenkurve und spart die Frühausfälle und alterungsbedingten Ausfälle aus. Er errechnet sich aus dem Kehrwert der Addition aller Ausfallraten der verbauten Einzelkomponenten. Komplexe Netzteile weisen daher oftmals eine geringere MTBF als einfache Schaltnetzteil-Topologien auf. So lässt sich die Zuverlässigkeit verschiedener Produkte oder Systeme vergleichen. Jedoch ist bei einem Vergleich darauf zu achten, dass zur Berechnung der MTBF auch der identische Standard Verwendung findet. Die Berechnungen der einzelnen Standards wie Bellcore/Telcordia, MIL-HDBK-217 oder anderer unterscheiden sich und führen teils zu deutlich unterschiedlichen Ergebnissen.

Elektrolytkondensatoren in Schaltnetzteilen

Schon aus wirtschaftlichen Gründen sind sie unersetzlich: Elektrolytkondensatoren (Elkos) liefern eine hohe Spannungsfestigkeit, eine hohe Kapazität und besitzen kompakte Abmessungen. Bei Schaltnetzteilen sind sie im Grunde in Primär- und Sekundärkondensatoren zu unterteilen, wobei beide die Funktion der Energiespeicherung und Filterung besitzen. Primärkondensatoren absorbieren beispielsweise Überspannungsimpulse und verringern zudem elektromagnetische Interferenzen. Auf der Ausgangsseite kommen sie zur Filterung und zum Glätten von Restwelligkeiten zum Einsatz.

In Aluminium-Elektrolytkondensatoren, die in Schaltnetzteilen zum Einsatz kommen, bestimmen die Betriebsbedingungen die voraussichtliche Betriebserwartung. Zu den Faktoren zählen unter anderem Last, Rippleströme und Temperatur. Mit der Betriebsdauer verringert sich die Kapazität, während sich der Verlustfaktor ($\tan\delta$) erhöht. Dieses Phänomen heißt Diffusionseffekt: der Elektrolyt diffundiert durch das Dichtungsmaterial und wird dann nach außen abgegeben. Nach einer gewissen Zeit trocknet der Elektrolyt aus, wodurch sich die Kapazität reduziert, der ESR (Equivalent Series Resistance, Innenwiderstand) erhöht

und die Eigenwärmerung des Kondensators im Betrieb steigt. Erreicht ein Elko seine spezifizizierte Lebenszeit, hat er rund 20 Prozent seiner Kapazität verloren und der ESR ist gestiegen.

Solche Faktoren beeinflussen also am Ende die Betriebserwartung des Elektrolytkondensators. Diese lässt sich nach dem Arrhenius-Gesetz (Reaktionsgeschwindigkeit der chemischen

Diffusion) beurteilen. Dabei spielt die Temperatur die entscheidende Rolle, in Bezug auf die Betriebserwartung ist sie die begrenzen- de Komponente. Als Faustregel gilt: Die Betriebserwartung halbiert sich, wenn die Umgebungstemperatur um 10 K steigt. Sinkt die Temperatur hingegen um 10 K, kann sich die Betriebserwartung verdop- peln.

Elektrolytkondensatoren aus den Netzteilen wegzudenken ist jedoch trotz der beschriebenen nachteiligen Eigenschaften nicht erforderlich. Denn bei einem guten Netzteildesign, der Verwen- dung hochwertiger Komponenten und der Beachtung des Wär- memanagements bei der Installation lässt sich auch mit Alumi- nium-Elektrolytkondensatoren eine sehr lange Betriebszeit bis 100000 Stunden oder mehr erreichen (Bild 2).

Beim Design einer Stromversorgung ist es daher wichtig, sehr genau auf die Platzierung der Kondensatoren zu achten. Vor allem wegen der hohen Packungsdichten gilt es, die Temperaturent- wicklung der umliegenden Komponenten zu beachten und Hot- spots zu vermeiden. Stoßen Entwickler jedoch konstruktionsbe- dingt an die Grenzen, müssen sie andere Kondensatortechno- logien wie etwa Polymer-Feststoff-Kondensatoren verwenden.

Wirkungsgrad und Erwärmung

Für eine lange Betriebserwartung sollte die Umgebungstempe- ratur als limitierender Faktor möglichst niedrig ausfallen. Auch die Eigenerwärmung der Schaltnetzteile ist zu berücksichtigen und durch ein möglichst effizientes Produkt niedrig zu halten.

Den Wirkungsgrad eines Netzteils bestimmt das prozentuale Verhältnis von Gesamtausgangsleistung zu Eingangsleistung. Angegeben wird dieses in der Regel in den technischen Daten- blättern der Hersteller als Grafik in Bezug zur Last oder bei Volllast und Nenneingangsspannung. Da es physikalisch nicht möglich ist, einen 100-prozentigen Wirkungsgrad zu erreichen, entsteht zwangsweise eine Verlustleistung. Diese wird in Form der Erwärmung der verbauten passiven und aktiven Kompo- nenten abgebaut. Durch geeignete elektrische und thermische Aus- legung sowie eine gute Komponentenwahl ist es möglich, einen Wirkungsgrad von deutlich über 90 Prozent zu erreichen. Den- noch bleibt eine noch abzuführende Restwärme im Netzteil



Bild 3: 3,5-kW-Schaltnetzteil mit Wasserkühlung der PHP-3500-Serie von Mean Well.

bestehen. Je nach Anwen- dung variieren die Methoden zur Wärmeableitung. Im Allgemeinen zäh- len natürliche Konvektion, erzwungene Konvektion, Kontakt- kühlung und Wasserkühlung (Bild 3) zu den gängigen Methoden der Wärmeableitung, welche jedoch unterschiedliche Wärme- ableitungsfähigkeiten besitzen.

Integrierte Lüfter für die erzwungene Konvektion oder externe Lüfter kommen zum Einsatz, wenn eine natürliche Konvektion oder Kontaktkühlung nicht ausreicht. Sie weisen jedoch unver- meidliche Schwächen auf. Dazu zählen eine nicht zu verhin- dende Geräuschentwicklung durch die Rotation des Lüfters oder Strömungsgeräusche, mögliche Vibrationen, zusätzlicher Strom- verbrauch, Staubablagerung und dadurch mögliche unerwartete Ausfälle sowie eine begrenzte Betriebsdauer. Eine große Rolle spielt hier die Beschaffenheit des Lüfterlagers. Auch wenn aus eher kommerziellen Gründen die Wahl auf Lüfter mit Gleitlager fällt, versprechen Lüfter mit doppelten Kugellagern oder magnetische gelagerte Lüfter eine deutlich längere Betriebserwartung.

Die Wasserkühlung verfügt über höhere Wärmeableitfähi- gkeiten (Bild 4), allerdings müssen Entwickler dafür höhere Kos- ten für die Konstruktion des Systemmechanismus berücksich- tigen. Der Vergleich zwischen verschiedenen Wärmeableitungs- methoden bringt sowohl Vor- als auch Nachteile mit sich und sollte an die Anwendung angepasst sein.

Analyse von Alterung und Kapazitätsverlust

Nachdem Mean Well die Netzteile der CLG-Serie nach fast 12 Jah- ren endgültig vom Markt nahm und auch die Produktion im April

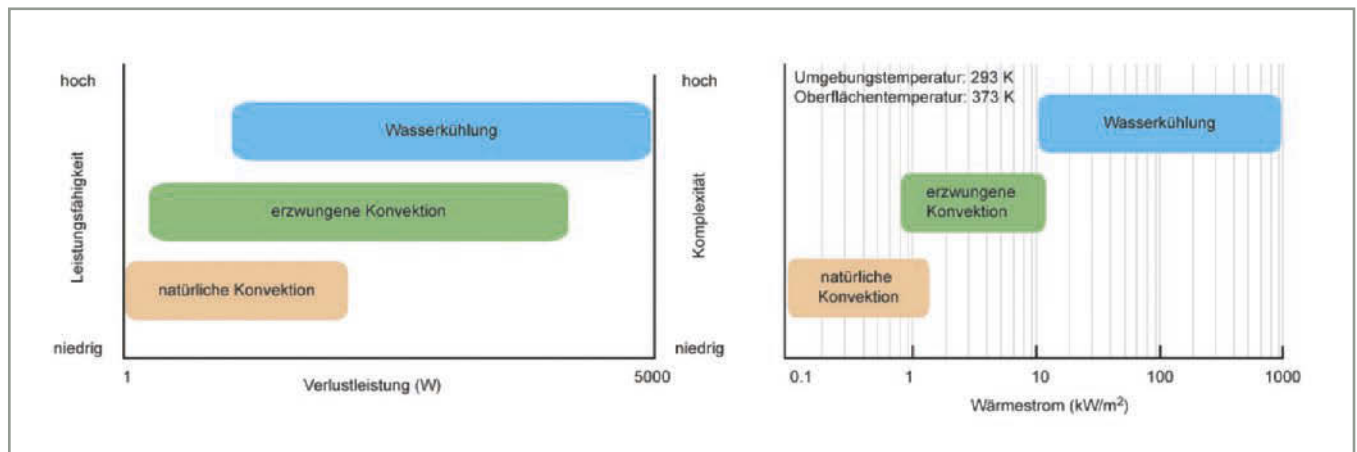


Bild 4: Schematischer Vergleich der Wärmeableitfähigkeit zwischen verschiedenen Wärmeableitverfahren.

Bild 5: Messwerte der Eingangs- und Ausgangs-elektrolytkondensatoren laut Spezifikation sowie Messwerte nach zehn Jahren Betrieb.

Typ/Verwendung		Spezifikation			Messwert		
Eingangskondensator	C5	150/450V 105°C	D=0.24	NCC CLA	C: 129.6 uf	D=0.08	ESR: 0.574 Ω
AUX Hilfsstrom-kondensator	C120	22u/50V 105°C	D=0.1	NCC KY ESR = 0.7 Ω	C: 20.9uf	D=0.06	ESR: 0.43 Ω
	C55	100u/25V 105°C	D=0.14	NCC KY ESR = 0.22 Ω	C: 89.4uf	D=0.09	ESR: 0.16 Ω
	C42	22u/50V 105°C	D=0.19	RUB. YXM Ω	C: 19.9 uf	D=0.08	ESR: 2.2 Ω
	C52	47u/35V 105°C	D=0.12	RUB. ZLH ESR = 0.22 Ω	C: 48.13uf	D=0.06	ESR: 0.183 Ω
Ausgangs-kondensator	C105	330u/50V 105°C	D=0.1	NCC KY ESR = 0.22 Ω	C: 313uf	D=0.025	ESR: 0.037 Ω
	C106	330u/50V 105°C	D=0.1	NCC KY ESR = 0.22 Ω	C: 313 uf	D=0.025	ESR: 0.04 Ω
	C107	330u/50V 105°C	D=0.1	NCC KY ESR = 0.22 Ω	C: 313 uf	D=0.025	ESR: 0.04 Ω
	C108	120u/63V 105°C	D=0.09	YXG-LLC ESR = 0.22 Ω	C: 111.7 uf	D=0.09	ESR: 0.101Ω

2020 einstellte, sollten diese einer Analyse unterzogen werden. Die CLG-150-Serie kam 2008 auf den Markt und wurde auch dank des Booms der LED in sehr hohen Stückzahlen verkauft. Aufgrund der Schnellebigkeit und Dynamik im Lighting-Geschäft produzierte Mean Well bereits ab 2010 Nachfolgeserien.

Für die Analyse nutzte das Unternehmen folglich einige CLG-150-Netzteile aus einem der ersten Produktionslose von Dezember 2008, die seitdem in einer Straßenbeleuchtungsanwendung in Taiwan mit regionalen Temperaturen zwischen 10 und 35° C im Einsatz waren. Nach einer Betriebszeit von zehn Jahren und zwölf Stunden pro Tag sowie einer Auslastung des Netzteils von rund 80 Prozent wurden diese ausgebaut und einer technischen Analyse unterzogen. Dabei erfolgte vor allem ein Test der Elektrolytkondensatoren auf Alterung und Kapazitätsverlust.

Die Werte wie Effizienz, Power-Faktor, Ripple-and-Noise sowie Set-Up- und Hold-Up-Zeit bewegten sich, verglichen mit der Spezifikation des Produkts von 2008, innerhalb der spezifizierten Werte. Das erste Fazit war, dass die Eingangs- und Ausgangskondensatoren auch nach einer langen Betriebszeit scheinbar noch kaum Alterungseffekte aufwiesen. Die anschließende Messung der verwendeten Kondensatoren bestätigte das. Sowohl die Kapazität als auch der Innenwiderstand und Verlustfaktor lagen noch innerhalb der Toleranzen des Herstellerdatenblattes. (Bild 5)

Für eine garantierte Zuverlässigkeit und lange Betriebserwartung von Schaltnetzteilen in einer Serienproduktion sind umfangreiche Qualitätstests in der Produktion erforderlich. So durchläuft jedes produzierte Netzteil von Mean Well unter anderem auch einen Burn-In (Einbrennen, Testprozess vor Inbetriebnahme).

Zur Minimierung der Eigenerwärmung sind also effiziente Netzteil designs sowie eine gute Wärmeverteilung und Ableitung unerlässlich. Jedes Neudesign eines Netzteils versucht dem nachzukommen, was bei der CLG-Serie gut ersichtlich ist. Die Nachfolger dieser abgekündigten Serie, die HLG-, ELG- und XLG-Serien, weisen einen Leistungsbereich von bis zu maximal 1000 W und eine maximale Effizienz von 96 Prozent auf. Verglichen mit den unterschiedlichen Leistungsklassen hat sich hier die Effizienz um bis zu 5 Prozent erhöht, was eine Reduzierung der Eigenerwärmung von knapp 45 Prozent unter Volllast bedeutet. Vertrieben werden die Netzteile von Mean Well bereits seit über 20 Jahren von dem Elektronik-Distributor Schukat electronic. (prm) ■

Autor

Frank Stocker

Field Application Engineer Power Supplies bei Schukat

