Messungen von Kenngrößen am Schaltnetzteil – gewusst wie

Wichtige Messungen für Verifikation, Design-In und den Zulassungsprozess - verständlich erklärt

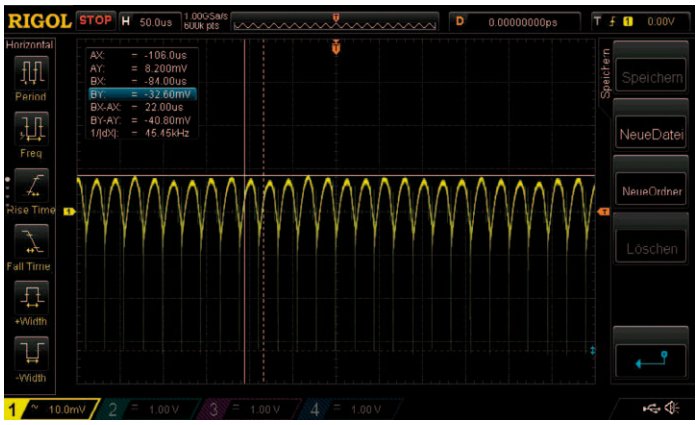

Bild 1: Messung mit Prüfspitze und Masseleitung

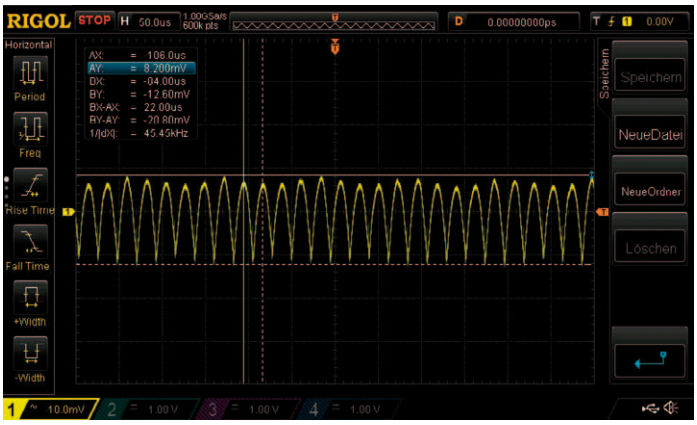

Bild 2: Messung mit Prüfspitze und Massering

Messungen am Schaltnetzteil gehören nicht zu den alltäglichen Tätigkeiten eines Entwicklungsingenieurs. Sie unterscheiden sich teilweise grundlegend von Messungen digitaler Größen und führen zu teilweise unterschiedlichen Ergebnissen.

Messungen auf der Sekundärseite

- Restwelligkeit und Ripple

Oftmals sind die Messbedingungen im Datenblatt des Netzteils vorgegeben z.B. „Abschluss der Prüfspitze (1:1) mit 10 µF Elektrolytkondensator parallel zu einem Folienkondensator; 20 MHz Begrenzung Oszilloskop“. Besonders wichtig ist aber auch zugleich der richtige Anschluss der Masse der Prüfspitze, denn er hat großen Einfluss auf das Messergebnis wie der folgende Vergleich von Bild 1 und 2 zeigt:

Der Unterschied beträgt nahezu 100%. Es ist zu empfehlen eine solche Kombination aus Elko+Folienkondensator auch auf der Kundenplatine zu installieren um die Peaks entsprechend zu dämpfen.

- Lastwechsel und Sprungantwort

Für eine richtige Messung der Lastausregelung ist es wichtig, die Spannung direkt an den Klemmen des Netzteils abzugreifen. Die nachfolgende Messung zeigt ein 12 V/100 W Netzteil mit einem Sprung von 1,66 A auf 8,33 A bei einer Frequenz von 500 Hz mit einem Stromanstieg von 2,5 A/µs. Je nachdem, ob die Spannung direkt an den Ausgangsklemmen oder am Ende eines im Beispiel 1000 mm langen Kabels an der Last gemessen wird, ergeben sich Unterschiede von >300% (Bild 3).

- Überstrombegrenzung

Nahezu jedes Schaltnetzteil hat eine elektronische Absicherung gegen Kurzschluss bzw. Überstrom auch OCP (over current potection) genannt. Typischerweise liegen die Abschaltströme im Bereich von etwa 120 - 130% des maximalen Ausgangsstromes. Verglichen mit einem Transformator (weiche Abschaltkennlinie, U/I-Kennlinie) hält das Schaltnetzteil die Spannung konstant und schaltet erst bei Erreichen des OCP schlagartig ab. Hierdurch werden u.a. die angeschlossenen Komponenten und Leitungen besser geschützt, weil der maximale Strom durch den OCP setpoint gegeben ist. Die meisten Schaltnetzteile nutzen diese Fold-Back Kennlinie und laufen nach dem Abschalten selbstständig wieder an, sofern die Last unterhalb des OCP Limits reduziert wurde (Bild 4).

Messungen auf der Primärseite

- Eingangsleistung

Messungen auf der Primärseite sind in aller Regel komplizierter durchzuführen. Neben der höheren Netzspannung per se, entstehen durch die Beschaltung mit einem Gleichrichter und nachfolgendem Siebkondensator nichtlineare Eingangsströme mit ungewöhnlichem Scheitelfaktor bezogen auf den Spannungsverlauf der Quelle (siehe Bild 5) . Dieser auch als Crest-Faktor bezeichnete Quotient aus Spitzenwert zu Effektivwert liegt bei Sinusspannungen und ohmscher Last bei 1,41 ($\sqrt{2}$). Der eingesetzte Siebelko übernimmt maßgeblich zwei Funktionen. Zum Einen ist er für die Glättung der Eingangsspannung für die nachgeschaltete PWM zuständig, zum Anderen ist er der Puffer bei Netzunterbrechungen. Die Ladespannung orientiert sich am Scheitelwert. Dadurch erreicht der Stromflusswinkel nur kleine Werte (siehe Bild 5). Seitens des Gesetzgebers ist hier eine Limitierung u.a. in der IEC61000-3-2 definiert. Vereinfachend wird in diesem Zusammenhang oft von Phasenverschiebung gesprochen, wobei dies nicht die komplette Beschreibung darstellt. Gemäß der Norm erfolgt die Bestimmung der Eingangsleistung durch die Messungen von bis zu 40 Oberwellen. Je nach Art des Endprodukts sind unterschiedliche Limits definiert (Klasse A bis D), die entweder einen Absolutwert des Stroms für jede Oberwelle vorgeben oder prozentual auf die Eingangsleistung abstellen. Entsprechend der jeweiligen Eingruppierung in eine Klasse (A - D) werden entweder alle Oberwellen berücksichtigt (in A und B) oder nur ungeradzahlige Oberwellen (C und D + 2. OW). Geprüft werden müssen Produkte mit einer Betriebsspannung von 230 V_{AC}, einem max. Strom von 16 A, mit Anschluss an das öffentliche Versorgungsnetz sofern sie eine Eingangsleistung von 75 - 1000 W (Klasse D 600 W) aufnehmen. Es ist anzuraten genau zu prüfen ob die Vorschrift im jeweiligen Fall zum Tragen kommt und falls ja, welche der Klassen (A - D) anzuziehen ist. Seitens der Stromversorgung sind hier deutliche Unterschiede im Design, Größe und letztendlich auch Kosten festzustellen.

Für kleinere Leistungen kann man die Limits der Klasse A ohne aktive Korrektur erreichen. Im Falle von Klasse D ist in aller Regel eine Korrekturstufe vor dem Siebelelko notwendig. Diese auch aktive Power-Factor-Correction (PFC-Stufe) genannte Schaltung setzt die Eingangsspannung auf etwa 380 V_{DC}

Autoren:

Dipl. Ing Heidrun Seelen, Vertriebsleitung, MBA Frank Cubasch, Geschäftsführer bei Magic Power Technology

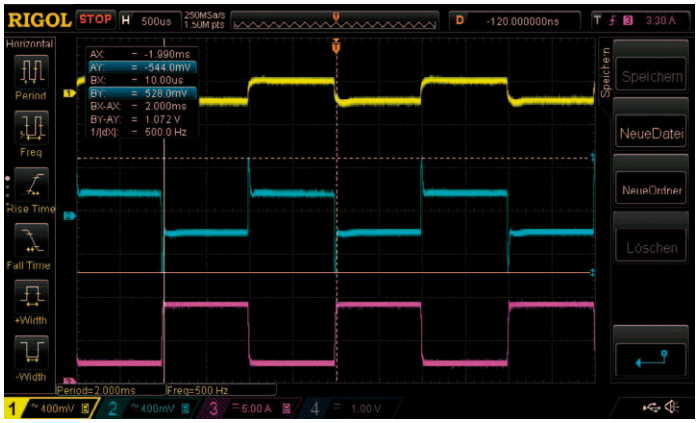

Bild 3: Lastwechsel am Netzteil (violett = Strom, gelb = Spannung direkt an den Klemmen, blau = Spannung am Ende der 1-m-Lastleitung)

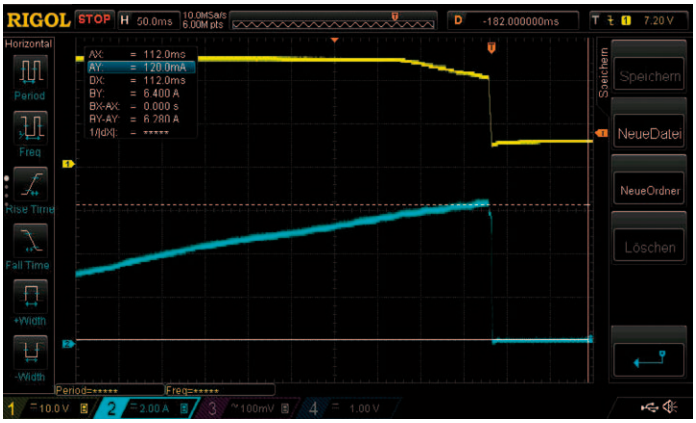

Bild 4: Überstromabschaltung (OCP) eines 24 V/115 W Netzteils (blau Strom, gelb Ausgangsspannung)

um und entnimmt dem Netz einen sinusähnlichen Strom, welcher phasengleich zur Versorgungsspannung fließt. In der Medizintechnik sind in der Regel Klasse A bzw. D anzutreffen, vereinzelt auch Klasse C.

Bei identischer Leistung ist zu erkennen, dass ein Netzteil mit einer PFC der Klasse A einen geringeren Stromflusswinkel mit höherem Spitzenstrom aufweist. Die Betrachtung der entsprechenden harmonischen Oberwellen der Messungen aus den Bildern 5 und 6 stellen sich wie folgt in den Bildern 7 und 8 dar:

Wie wirkt sich dies nun auf Messungen der Eingangsleistung aus?

Je kleiner der Stromflusswinkel wird, desto kritischer wird die Messung mit einem Amperemeter. Selbst im RMS-Modus ist es schwierig die Eingangsleistung mit Volt- und Amperemeter genau zu bestimmen. Hier ist mit Fehlern im zweistelligen Prozentbereich zu rechnen. Somit ist die Messung nach dieser Methode nicht zu gebrauchen. Ein Leistungsmessgerät mit entsprechender Messgeschwindigkeit kann die Leistung unter der Spannungs- und Stromkurve deutlich genauer auflösen. Die Messung wird bei 110 V_{AC} nicht einfacher, da hier naturgemäß höhere Ströme zum Tragen kommen. Damit verschlechtert sich der Wirkungsgrad i.d.R. um etwa 1 - 2%. Die Auswirkungen sind in den nachfolgenden Thermobildern bei 230 und 110 V_{AC} sichtbar. Die Differenz ist hierbei in den Baugruppen Eingangsfilter, PWM-Stufe und Primärseite Transformator (oberer Bildteil) zu sehen, während die Ausgangsseite (unterer Bildteil) keinen Unterschied aufzeigt (Bild 9).

- Leerlaufleistung

Noch schwieriger ist die Messung der Leerlaufleistung. Ein Schaltnetzteil läuft im Leerlauf unter Umständen im Burstmode, was bedeutet, dass nicht mit jeder Halbwelle Leistung aufgenommen wird. Die Ausgangsspannung wird auf der Ausgangsseite einem Vergleicher zugeführt, der sie mit einem Sollwert abgleicht. Erst wenn dieser unterschritten wird, wird über einen Optokoppler zur Primärseite das Signal zum Schalten gegeben. Moderne Schaltnetzteile erreichen sehr niedrige Verluste im Leerlauf deutlich kleiner 1 W. Dementsprechend lang kann es dauern, bis die Eingangsseite wieder angesteuert wird. Dies mit einem Amperemeter zu messen führt zu Werten teilweise größer 10 W. In unserem Beispiel liegt der reale Leistungsbedarf dagegen nur bei <0,3 W. Ist die Leistungsaufnahme konstant und das Netzteil befindet sich nicht im Burstmode, so kann man mit einem entsprechenden Wattmeter auch hier zu recht genauen Werten kommen. Noch genauer und insbesondere im Fall von schwankenden Eingangsleistungen ist gem. IEC62301 die elektrische Energie über einen Zeitraum von min. 5 Minuten zu messen und durch die Dauer zu teilen. So erhält man die mittlere, reale Eingangsleistung im Standby-Betrieb.

- Hold-Up-Zeit

Als Hold-Up-Zeit wird die Zeitspanne definiert, in welcher ein Netzteil nach Unterbrechung der Versorgungsspannung - die Ausgangsspannung unter (meist) Vollast bis zum Absinken auf 95% aufrecht erhält. Typische Werte sind hier 10 ms. Das Abschalten der Versorgung erfolgt meistens im Nulldurchgang. Idealerweise und auch genau reproduzierbar funktioniert dies wie hier gezeigt mittels eines AC-Generators. In diesem Test zeigt sich auch ein Vorteil einer passiven PFC Klasse A Lösung. Da die Kapazität des Siebelkos auf 110 V_{AC} Eingangsspannung ausgelegt wird (Bild 10), speichert er bei 230 V_{AC} deutlich mehr Energie und erlaubt somit eine längere Hold-Up-Zeit (Bild 11).

Sollten ein AC-Generator und ein Differentialtastkopf nicht verfügbar sein, kann man sich auch mit einem Schalter und einem kleinen Netztransformator zur Detektierung der Phasenlage behelfen. Dies bedarf zwar in aller Regel mehrerer Versuche bis man den Nulldurchgang trifft, lässt aber auch ein entsprechendes Ergebnis zu.

- Einschaltstrom

Diese Messung kann wie schon bei der Hold-Up-Zeit entweder mit AC-Generator oder auch mit einem simplen Schalter und Transformator durchgeführt werden. Wichtig ist, dass die Quelle eine niedrige Impedanz aufweist. Im Gegenzug zur Hold-Up-Messung wird hier die Spannung auf dem Scheitel eingeschaltet. Insbesondere bei Netzteilen kleinerer Leistungsklassen ist zu beachten, dass das Netzteil vor dem Test abgekühlt ist. Dies begründet

PFC Klasse	Produkte	Limits der Oberwellen	Geradzahlige Oberwellen	Ungeradzahlige Oberwellen	Bereich Eingangsleistung
A	Sonstiges	Absolutwert	Ja	Ja	75 – 1000 W
B	Tragbare E-Werkzeuge	Absolutwert	Ja	Ja	75 – 1000 W
C	Beleuchtung	Leistungsbezogener Wert	2. OW	Ja	75 – 1000 W
D	PC & TV	Leistungsbezogener Wert	nein	Ja	75 – 600 W

Tabelle 1 Limits und Gruppierung der IEC61000-3-2

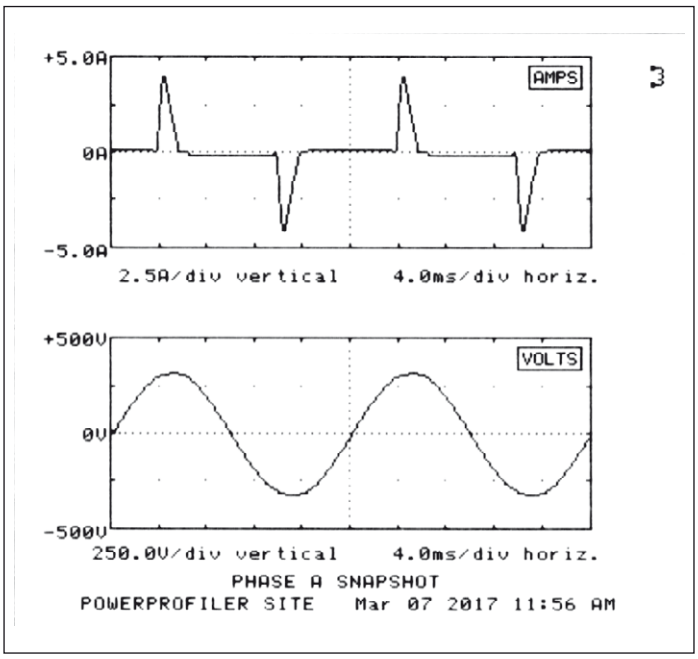

Bild 5: Stromverlauf Netzteil 120 W mit passiver Klasse A PFC

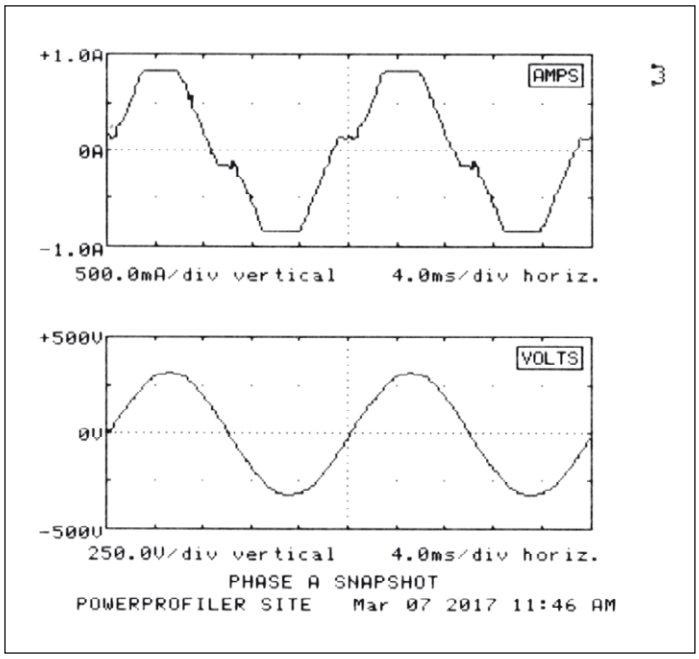

Bild 6: Stromverlauf Netzteil 120 W mit aktiver Klasse D PFC

sich darin, dass die Strombegrenzung oftmals mit einem Heißleiter (NTC) realisiert wird, welcher in Reihe zum Eingang liegt. Bei Netzteilen höherer Leistungsklassen wird dies z.B. durch ein Relais übernommen, welches einen Widerstand in Reihe kurz nach dem Hochlaufen überbrückt. Hier ist zu beachten, dass der Einschaltstrom im kalten und warmen Zustand nahezu identisch ist. Bei der Lösung mittels NTC können sich Unterschiede je nach Betriebstemperatur ergeben.

Temperaturmessungen / Derating

Wie jedes elektronische Bauelement unterliegt auch ein Netzteil einem Derating, mit der Maßgabe, dass die entnommene Ausgangsleistung der Erwärmungssituation angepasst wird. Da das Netzteil die Ausgangsleistung nicht selbst herunterregelt, muss es auf Basis der maximalen Betriebsbedingungen und entsprechend der Deratingkurve bzw. faktor (aus dem Datenblatt) ausgewählt werden. Maßgebliche Bedingungen sind:

a) Art der Kühlung aktiv – passiv
b) Eingangsspannung
c) Ausgangsleistung
d) Umgebungstemperatur des Netzteils
e) Temperaturerhöhung durch Wärmeabgabe der angeschlossenen Elektronik
f) Art des Einbaus z.B. Überkopf

Zur Auswahl des geeigneten Netzteils ist es von Vorteil, die endgültige Betriebstemperatur (d+e) recht früh in der Entwicklungsphase zu bestimmen. Etwas schwieriger gestaltet sich die Aussage in Bezug auf die Art der Kühlung und insbesondere auf die Art des Einbaus. Hierzu können aussagekräftige Ergebnisse bereits am Modell getroffen werden. Magic Power Technology führt derartige Temperaturmessungen für seine Kunden an Nachstellungen der Applikation durch. Durch diesen Service kann recht früh in einem Projekt ein geeignetes Netzteil festgelegt werden, welches zum einen die Leistung sicher unter allen Umgebungsbedingungen dauerhaft zur Verfügung stellt, zum anderen auch preislich das Optimum darstellt.

Deutlich wird dies an einem Beispiel:

Als maximale Eckdaten sind seitens der Anwendung 45 W im lüfterlosen Betrieb bei bis zu 50 °C Umgebungstemperatur der Gesamtapplikation notwendig. Ein Delta von +20 °K ergibt sich innerhalb des Gehäuses durch die Eigenerwärmung der Elektronik und des Netzteils, was letztendlich zu 70 °C Betriebstemperatur für das Netzteil führt. Im ersten Schritt erscheinen laut Datenblatt das MPE-S065 und das Vergleichsgerät identisch. Beide erlauben bis zu 60 W bei

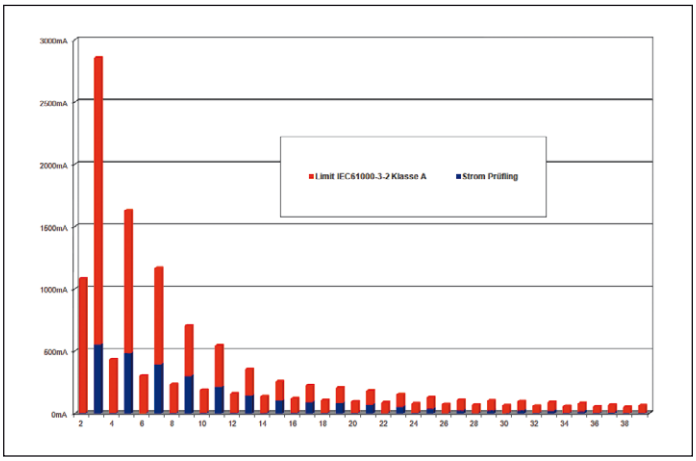

Bild 7: Harmonische Oberwellen PFC Klasse A (rot Limit, blau Messwert)

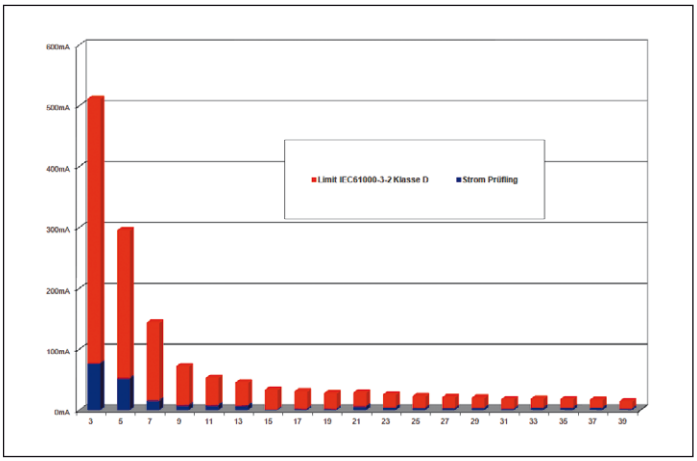

Bild 8: Harmonische Oberwellen PFC Klasse D (rot Limit, blau Messwert)

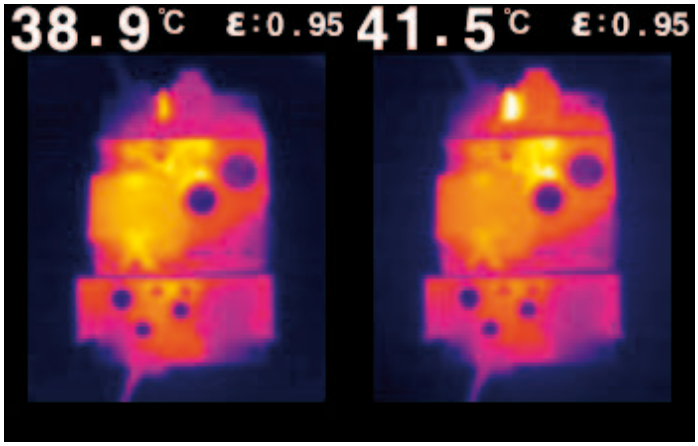

Bild 9: Schaltnetzteil an 230V_{AC} (links) und 110V_{AC} (rechts)

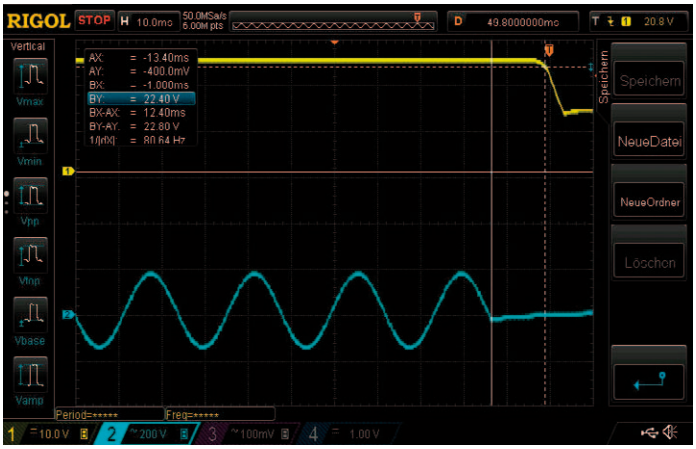

Bild 10: Hold-Up Zeit an Netzteil Klasse A PFC mit 110V_{AC} Eingang

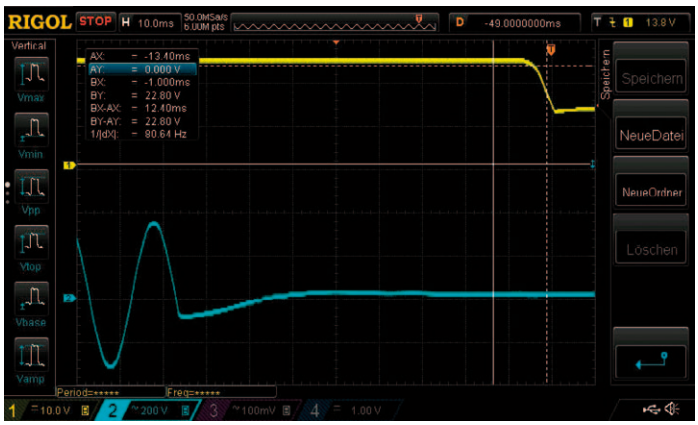

Bild 11: Hold-Up-Zeit an Netzteil Klasse A PFC mit 230V_{AC} Eingang

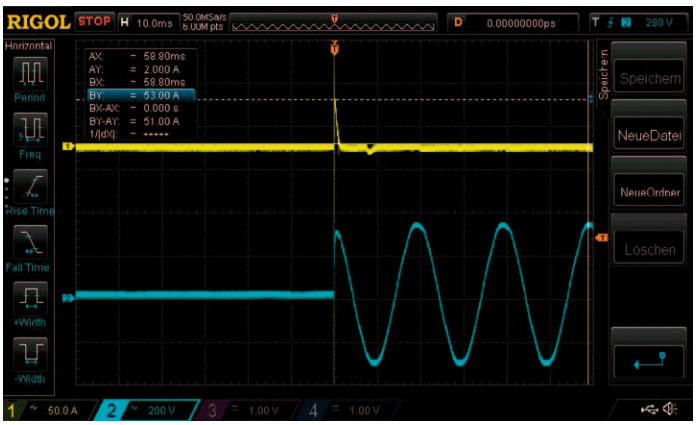

Bild 12: Messung Einschaltstrom

einer Umgebungstemperatur von 50 °C. Über diesem Wert ist bei dem Vergleichsgerät ein Derating von -2,5%/°K anzusetzen, was zu entsprechend 30 W bei 70 °C führt. Hier kann das Vergleichsgerät dauerhaft die Leistung von 45 W bei 70 °C nicht sicher zur Verfügung stellen. Kurzfristig wird dies sicherlich funktionieren, mittelfristig ist mit deutlich reduzierter Lebensdauer zu rechnen. Um bei entsprechendem Derating eine sichere Lösung zu finden wäre hier ein Netzteil von mindestens 90 W basierend auf einem Derating >50 °C mit -2,5%/°K auszuwählen. Noch drastischer stellt sich die Situation dar, wenn das Derating bereits bei 40 °C einsetzt. Das MPE-S065 erreicht ein Derating von nur -0,75%/°K. Es erlaubt somit dauerhaft 51 W bei 70 °C auch bei längeren Betriebszeiten (Bild 13).

Durch eine optimierte und ggf. mit Temperaturmessungen abgesicherte Auswahl des Netzteils unter Berücksichtigung der Deratingfaktoren lassen sich in vielen Fällen Platz und Kosten sparen.

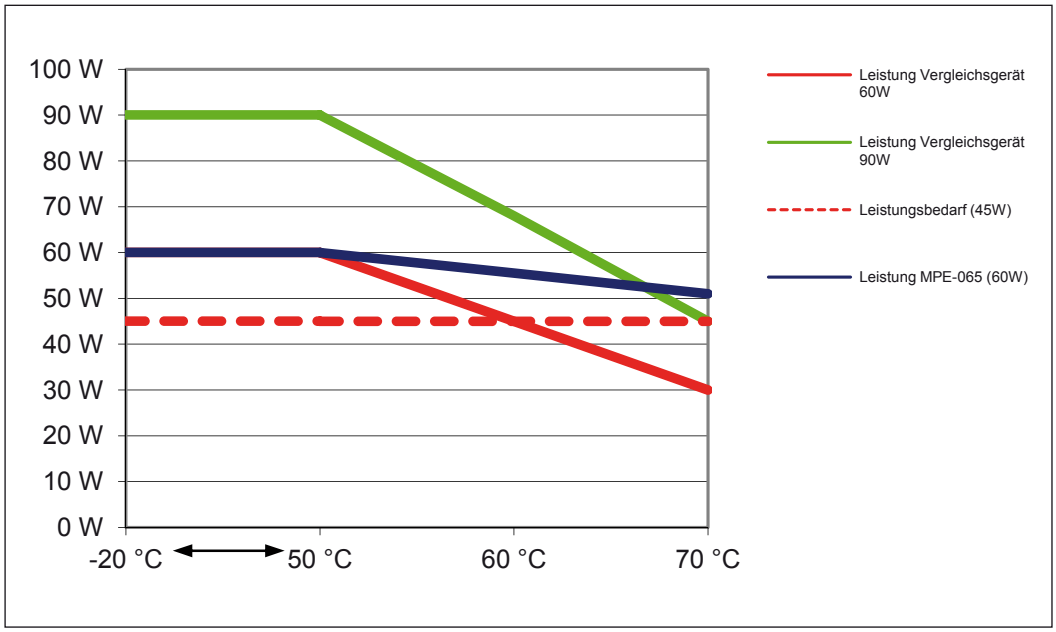

Bild 13: Vergleich Derating MPE-S065 zu Vergleichsgeräten

Fazit

Besonders in den sensiblen Anwendungen der Medizintechnik ist es sehr wichtig, Leistungs- und Einsatzkriterien von Applikation und Stromversorgung optimal aufeinander abzustimmen. Die beschriebenen Messmethoden sind hierfür ein Hilfsmittel, das Sicherheit gibt.

■ *Magic Power Technology GmbH*
www.mgpower.de