

Wissen, worauf es ankommt: Wie wirken sich Netzteil-Features in der Praxis aus?

Am Beispiel des Medizin-Netztes MPM-K450 zeigt dieser Beitrag auf, welche Besonderheiten Medizinnetzteile aufweisen und auf was ein Entwickler bei der Auswahl achten sollte.



1. Was braucht meine Anwendung - Schutzklasse I oder II?

Der grundlegende Unterschied zwischen Schutzklasse (SK) I und II ist, trivial gesagt, der Schutzleiteranschluss. Während in Krankenhäusern oftmals medizinisch-elektrische Geräte (ME-Geräte) mit Schutzleiter (SK I) genutzt werden, ist dies für Medizingeräte, welche im häuslichen Umfeld eingesetzt werden, nicht möglich. Die Norm EN60601-1-11 regelt u. a., dass ME-Geräte im privaten Umfeld ohne Schutzleiter in Schutzklasse II ausgeführt sein müssen. Dies hat für die Stromversorgung zwei maßgebliche Folgen:

- Elektrische Sicherheit

Ein Schutzklasse I Netzteil nutzt, wie bereits der Name Schutzleiter ausdrückt, diese zum Schutz des Bedieners bzw. Patienten. In Schutzklasse II ist diese nicht vorhanden, was dazu führt, dass zusätzliche Isolation eingesetzt werden muss.

- EMV

Bei einem Schutzklasse I Netzteil besteht die Möglichkeit, Störungen bzw. Emissionen mittels Y-Kondensatoren gegen Schutzleiter abzuführen, um die Emissionspegel zu verringern. Dies ist besonders bei Gleichtaktstörungen, also Störungen, die mit gleichem Pegel auf L und N anliegen, von Vor-

teil. Diese Möglichkeit bietet sich bei einem Schutzklasse II Netzteil nicht und muss z. B. durch zusätzliche stromkompensierte Drosseln ersetzt werden.

Der Unterschied zwischen Schutzklasse I und II ist also nicht nur das fehlende grün/gelbe Kabel, sondern er ist konstruktiv im Aufbau des Netztes begründet.

Zudem werden in der Praxis Medizinprodukte in Schutzklasse II oft mit einem Kunststoffgehäuse hergestellt, um den Patienten/Bediener zusätzlich zu schützen. Dies hat für die Gesamtapplikation wiederum Nachteile in der abgestrahlten EMV-Emission und ebenso für eingestrahelte Störungen, wie z. B. H- oder E-Feld. Hier ist es von Vor-

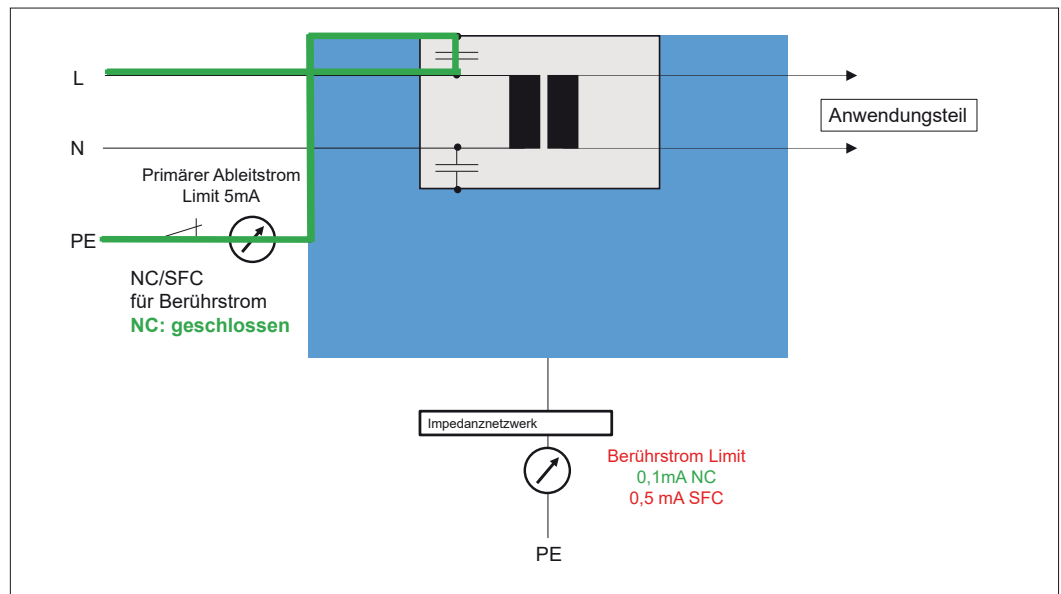


Bild 1: Netzteil SKI mit Berührstrom in NC-Bedingung

Autoren:
Frank Cubasch, Geschäftsführer
der Magic Power Technology
GmbH und Heidrun Seelen,
Vertriebsleitung.

Magic Power Technology GmbH
www.mgpower.de

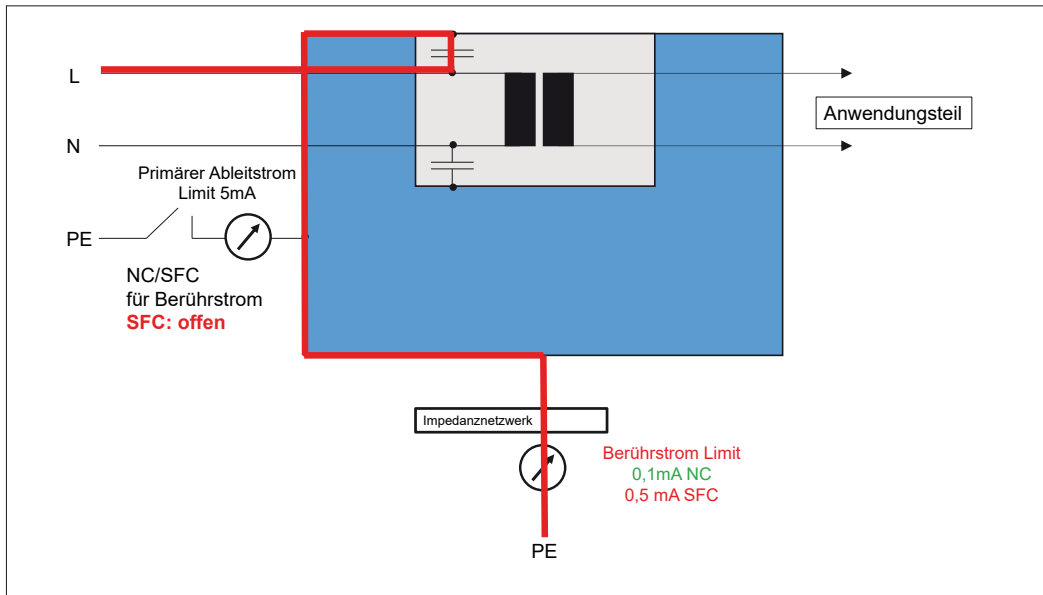


Bild 2: Netzteil SKI mit Berührstrom SFC-Bedingung

teil, wenn bereits das Netzteil, wie z. B. MPM-K450, „nackt“, also ohne Metallgehäuse und ohne weitere Filterelemente die Richtlinien einhält.

Ein weiterer, indirekter Vorteil eines Schutzklasse II Netzteils drängt sich bei Schutzklasse I Anwendungen mit Metallgehäuse auf. Es betrifft den Berührungsstrom, früher besser verständlich auch Gehäuseableitstrom genannt. Dies ist der Strom, der über ein Impedanznetzwerk vom Gehäuse zur Erde fließt. Gemessen wird er in zwei Testbedingungen:

- NC (Normalfall): Es liegt kein Fehler vor. Das Limit beträgt hier 100 μ A.
- SFC (1. Fehlerfall): In der Regel wird hier der Schutzleiter der Zuleitung aufgetrennt, bei einem Limit von 500 μ A.

Im Zuge der dritten Edition wurde bei der EN/IEC 60601 die Höchstgrenze des primären Ableitstromes, also des Stromes im PE-Leiter, für nicht ortsfeste Anlagen von 500 μ A (2nd edition) auf 5 mA erhöht. Was im ersten Schritt wie eine Erleichterung aussieht, kann unter bestimmten Umständen auch zu Problemen führen. Wird ein Schutzklasse I Netzteil in einem Metallgehäuse als Schutzklasse I Anwendung ausgeführt, so liegen die Y-Kondensatoren des Netzteils auch gegen das Gehäuse und PE. Nutzt man die Freiheiten der 3. Edition in Sachen primärer

Ableitstrom aus, so wäre ein Wert bis zu 5 mA noch konform. Dabei stellt die Berührungsstrommessung unter NC-Bedingungen noch kein Problem dar, da die PE-Zuleitung sehr niederohmig ist und über die parallel liegende Mess-Nachbildung vom Gehäuse zum PE somit nahezu kein Strom fließt. Anders sieht es im SFC-Fall aus, wenn die PE-Zuleitung aufgetrennt wird. Dann fließt der komplette Y-Kondensatorstrom über die Nachbildung und sorgt dafür, dass die 500 μ A SFC-Limit schnell gerissen werden können. Daraus folgt, dass ein Netzteil in Schutzklasse I Topologie die 500 μ A Primärableitstrom nicht

überschreiten sollte. Ein zusätzlicher Eingangsfilter mit Y-Kondensatoren oder gar mehrere Netzteile erhöhen die Problematik dabei noch, da auch diese Y-Kondensatoren zusätzlich parallel liegen. Hier ist ein Schutzklasse II Netzteil von Vorteil, da mangels PE-Anschluss (nur des Netzteils, die Applikation hat selbstverständlich einen PE-Anschluss) keine Y-Kondensatoren durch das Netzteil vorhanden sind und folglich darüber auch kein nennenswerter Berührungsstrom entstehen kann (siehe Bild 1 bis 3).

Die MPM-K450 Baureihe ist als SK II Netzteil ausgelegt und kann wahlweise in SK II und SK I Anwen-

dungen im Leistungsbereich bis zu 450 W (peak 10 sec 600 W) eingesetzt werden. Es erfüllt die Anforderungen der EN/CB/UL60601 für Sicherheit und EMV (60601-1-2) für Anwendungen mit Anwendungsteilen der Klassen B und BF.

Wer soll geschützt werden? - MOOP oder MOPP

In Bezug auf die Zulassungen ist zu entscheiden, ob das Netzteil als Last eine MOOP (means of operator protection) oder MOPP (means of patient protection) Anwendung treibt. Während bei einer MOOP-Applikation unter bestimmten Umständen auch ein EN62368 Netzteil (IT-Technik) verwendet werden kann, ist für eine MOPP-Anwendung zwingend ein Netzteil nach EN60601 einzusetzen. Hierbei ist neben der Isolationsspannung und dem Aufbau auch der ausgangsseitige Ableitstrom zu berücksichtigen. Je nach Anwendungsteil BF oder CF ist dieser entsprechend limitiert. Das MPM-K450 erfüllt dabei die Anforderungen an BF mit max. 100 μ A.

Welche Leistung benötigt meine Anwendung? – verschiedene Sichtweisen

Nominal- oder Spitzenleistung – was ist das wichtigere Kriterium?

Natürlich wird der Entwickler seine Auswahl zuerst auf Basis der

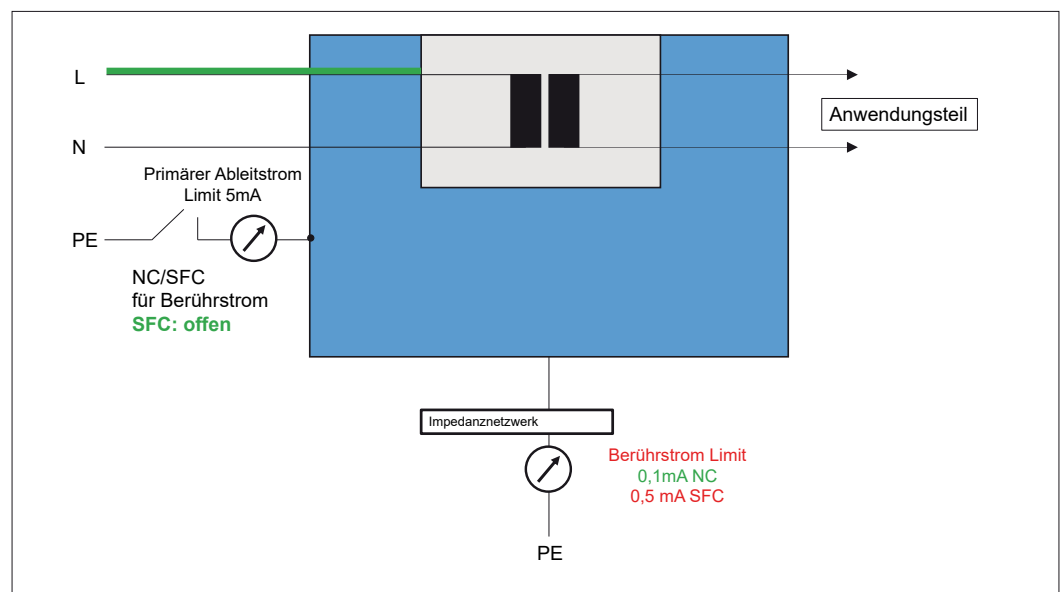


Bild 3: Netzteil SKII in SKI Anwendung Berührstrom SFC-Bedingung

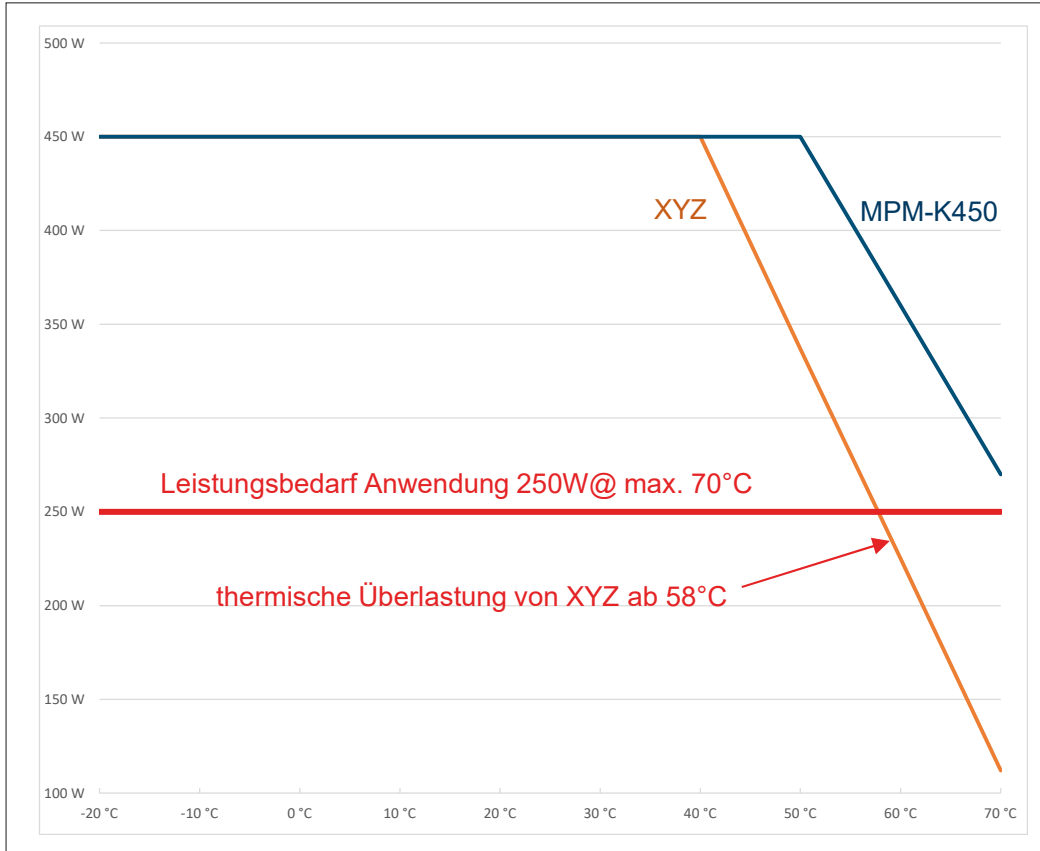


Bild 4: Vergleich Derating MPM-K450 zu Vergleichsnetzteil

Nominalleistung treffen. Daneben sind aber auch die Spitzenleistung, deren Dauer sowie die Wiederholfrequenz (duty cycle) wichtige Kriterien zur Auswahl eines Netzteils. Speziell Motoren bedürfen höherer (Anlauf)-Ströme, sind jedoch oftmals nur kurzzeitig in Betrieb. Aus dieser Sicht ist es in Bezug auf Kosten und Baugröße unvorteilhaft, die Nominalleistung des Netzteils an der Spitzenleistung der Anwendung auszurichten. Deshalb erlauben manche Stromversorgungen eine Überlastung für eine gewisse Zeit t. Z. B. bietet das MPM-K450 eine Peakleistung von 600 W für 10 sec und ermöglicht so auch Lasten mit großer Spitzenleistung bei hoher Wiederholfrequenz.

Leistungskurve in Abhängigkeit von der Temperatur

Es ist leicht nachzuvollziehen, dass bei medizinischen elektrischen Geräten bei Umgebungstemperaturen von 30 °C und mehr, eventuell sogar in geschlossenen IP67 Kunststoffgehäusen, im Inne-

ren durchaus Temperaturen von 60 °C oder höher entstehen können. Umso wichtiger ist es, dass das Netzteil zum einen ein geringes Derating aufweist und zum anderen die Starttemperatur für das Derating möglichst hoch ist. Derating bedeutet in diesem Zusammenhang, dass der Entwicklungsingenieur rückwärts rechnen muss, ob das Netzteil bei einer bestimmten Leistung, Umgebungstemperatur und eventuell Eingangsspannung noch im spezifizierten Bereich betrieben wird.

Hierzu ein Beispiel:

Gegeben sei eine Temperatur im Inneren der Anwendung (= Umgebungstemperatur für das Netzteil) von 70 °C und eine Leistungsanforderung von 250 W. Zur Auswahl stehen zwei, auf den ersten Blick identisch starke Netzteile:

- Netzteil 1: MPM-K455 mit nominal 450 W@50 °C und einem derating von -2 %/°K
- Netzteil 2: XYZ mit nominal 450 W@40 °C und einem derating von -2,5 %/°K

Bei 70 °C erlaubt das MPM-K455 eine Leistung von

$$450 \text{ W} \times (1 - ((70 \text{ °C} - 50 \text{ °C}) \times 2\%)) = 270 \text{ W.}$$

Für das Vergleichsnetzteil lautet die Berechnungsformel

$$450 \text{ W} \times (1 - ((70 \text{ °C} - 40 \text{ °C}) \times 2,5\%)) = 112 \text{ W.}$$

Wenn auch auf den ersten Blick beide als 450-W-Netzteil definiert sind, so kann das Vergleichsnetzteil die geforderte Leistung nur bis 40 °C dauerhaft liefern. Allenfalls kurzfristig würde es auch bei 70 °C die benötigten 250 W zur Verfügung stellen können, eignet sich aber damit nicht für diesen Einsatzfall (siehe Bild 4) Zwar haben Netzteile dieser Leistungsklasse eine reversible thermische Überlastabsicherung mittels Thermoschalter. Dieser ist jedoch nicht primär dazu gedacht, die Deratingbedingungen zu überwachen. Er dient der elektrischen Sicherheit, weswegen der Temperaturschutz nicht zwangsläufig zum Abschalten führt und somit nicht als Bewertungs-

kriterium für die thermische Situation herangezogen werden kann. Was aber im Falle dieser schleichenden Überlastung passieren wird, sind deutlich frühere Ausfälle, da z. B. die Elektrolytkondensatoren empfindlich gegenüber hohen Temperaturen reagieren. Generell kann man davon ausgehen, dass eine um 10 °K höhere Temperatur circa eine Halbierung der Lebensdauer der Bauelemente zur Folge hat. Dieser Zusammenhang ist bei einem Netzteil mit besserem Derating konstruktiv bereits berücksichtigt, indem z. B. Elkos mit höherer Lebensdauer zum Einsatz kommen.

Während des Entwicklungsprozesses in der Praxis kann man die thermischen Gegebenheiten nur über eine Messung der Netzteiltemperatur oder aus Unterlagen des Herstellers der Bauteile sicher feststellen. Ein simples „die Lampe brennt seit 24 h --> ergo funktioniert das Netzteil“ kann eine trügerische Sicherheit suggerieren. Bei Unsicherheiten oder bei Montagearten, welche die Entwärmung einschränken wie z. B. Über-Kopf-Montage, sollte der Netzteilhersteller unbedingt mit ins Boot genommen werden. Er kann die Ergebnisse bewerten oder die Applikation entsprechend vermessen und dann die Einsatzbedingungen für das Netzteil bestätigen.

Wieviel Leerlaufleistung ist erlaubt?

Die Leerlaufleistung ist ein Wert, der bereits im Vorfeld berücksichtigt werden muss, da verschiedene Anwendungen per Verordnung mit maximalen Stand-by-Leistungen versehen sind. Und liegt hier bereits das Netzteil über diesem Wert, kann die gesamte Applikation dies natürlich auch nicht einhalten. Mit <0,5 W ist die K450 Baureihe für alle Anwendungsrichtlinien geeignet. An die Messung der Leerlaufleistung werden dabei hohe Anforderungen gestellt. Neben der Genauigkeit der Messmittel an sich sorgt ein Schaltnetzteil durch seinen diskontinuierlichen Betrieb im Leerlauf dafür, dass eine simple Leistungsmessung $P = U \times I$ (wie z. B. bei Vollast) oftmals zu falschen Werten führt. Die Messung sollte in Anlehnung an die IEC62301 durchgeführt werden. Dabei wird die elektrische Ener-

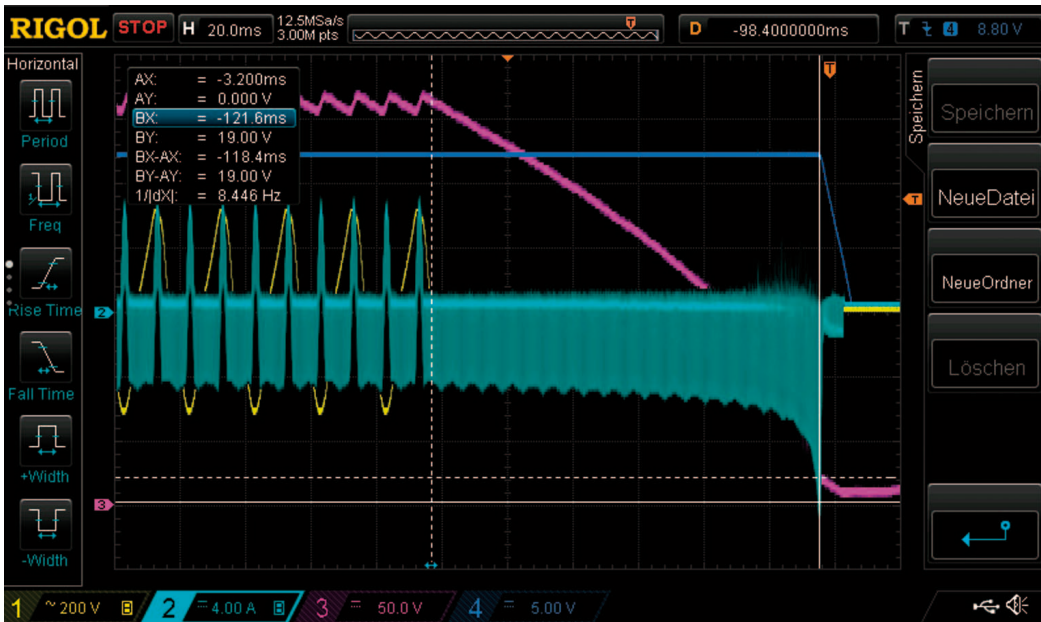


Bild 5: Spannungs- und Stromverläufe Netzteil ohne PFC 230 VAC

gie über einen längeren Zeitraum (z. B. 5 min) gemessen und über die Zeit auf eine Durchschnittsleistung zurückgerechnet.

Wo in der Welt wird das Medizingerät eingesetzt? – Besonderheiten

Eingangsspannungsbereich

Generell weisen Schaltnetzteile gegenüber linearen bzw. Transformatornetzteilen den Vorteil eines weiten Eingangsspannungsbereiches auf. Dieser umfasst oftmals nominal 115- 230 VAC zzgl. Toleranzen. Exportiert man nach Japan, findet man dort ein 100 VAC-Versorgungsnetz vor. Deshalb sollte das Netzteil für einen Eingangsbereich ab mindestens 90 VAC, besser 85 VAC geeignet sein. Am oberen Ende sind 260 bzw. 264 VAC zu empfehlen. Je nach Qualität und Aufbau des Versorgungsnetzes sowie anhand der parallel angeschlossenen Geräte kann sich allerdings eine Überspannung aufbauen, weswegen das Netzteil ein kurzzeitig erhöhtes Eingangsspannungsniveau tolerieren sollte. Beim MPM-K450 sind das z. B. 280 VAC über 5 sec.

Aktive vs. passive PFC

Die IEC61000-3-2 legt bestimmte Werte für die Oberwellen des Eingangsstromes fest. Diese richten sich nach der Eingruppierung der

Anwendung in die Klassen A - D. Die Ströme sind je nach Klasse entweder prozentual zur Leistung oder als genereller Maximalwert vorgegeben. Für Anwendungen außerhalb von Beleuchtungen (Klasse C) und tragbaren Elektrowerkzeugen (Klasse B) kommen für die meisten Anwendungen die Klassen D (Rechner, IT, Monitore) und Klasse A (Sonstiges) zur Auswahl. Die Norm gilt für einphasige Produkte (Klasse A auch symmetrisch 3-phasig) mit einer Leistung von 75 W (Klasse C 25 W) – 1000 W (Klasse A - C) bzw. 600 W (Klasse D).

Bis etwa ca. 200 W Ausgangsleistung sind Netzteile ohne aktive PFC verfügbar, oberhalb ist eine aktive PFC Stand der Technik. Die aktive PFC besteht aus einem sogenannten Hochsetzsteller (step-up Konverter), also einem nicht isolierten DC-DC-Wandler, der vor dem eigentlichen isolierten Hauptwandler in Richtung Netzeingang platziert ist. Dieser PFC-Wandler übernimmt die gleichgerichtete Eingangsspannung und setzt diese auf eine Zwischenkreisspannung von ca. 370 VDC um. Die Umsetzung erfolgt so, dass die Stromaufnahme bis zur 39. Harmonischen Oberwelle quasi einem Widerstand entspricht.

Für das Netzteil hat dies drei Vorteile:

- Der Hauptwandler „sieht“ aus der aktiven PFC nur eine hochgenaue Versorgungsspannung von 370 VDC (Zwischenkreis). Bei einem Netzteil ohne aktive PFC schwankt die Zwischenkreisspannung zwischen 120 VDC (85 VAC) und 373 VDC (264 VAC). Man kann sich nun leicht vorstellen, wie breit in diesem Fall der Eingangsbereich des Übertragers ausgelegt werden muss und welche unterschiedlichen Taktverhältnisse er bei unterschiedlichen Netz- und Lastbedingungen verarbeiten muss.
- Die PFC-Stufe stellt zwar eine zusätzliche Baugruppe dar und hat wie jedes Bauelement einen Wirkungsgrad <1 . Jedoch speziell bei niedrigen Eingangsspannungen ist der Verlust an der PFC-Stufe geringer als der potentielle Verlust am Hauptwandler durch die niedrige Eingangsspannung. Dieser müsste sonst auf einen hohen Strom ausgelegt werden, die passive PFC entsprechend breiter dimensioniert werden. Dadurch erhöht die PFC den Wirkungsgrad des Hauptwanderteils.
- Hold-Up: Bei einer aktiven PFC (mit Step-up Konverter) liegen am Speicherelko immer die o. g. 370 VDC unabhängig von



Bild 6: Spannungs- und Stromverläufe Netzteil ohne PFC 110 VAC

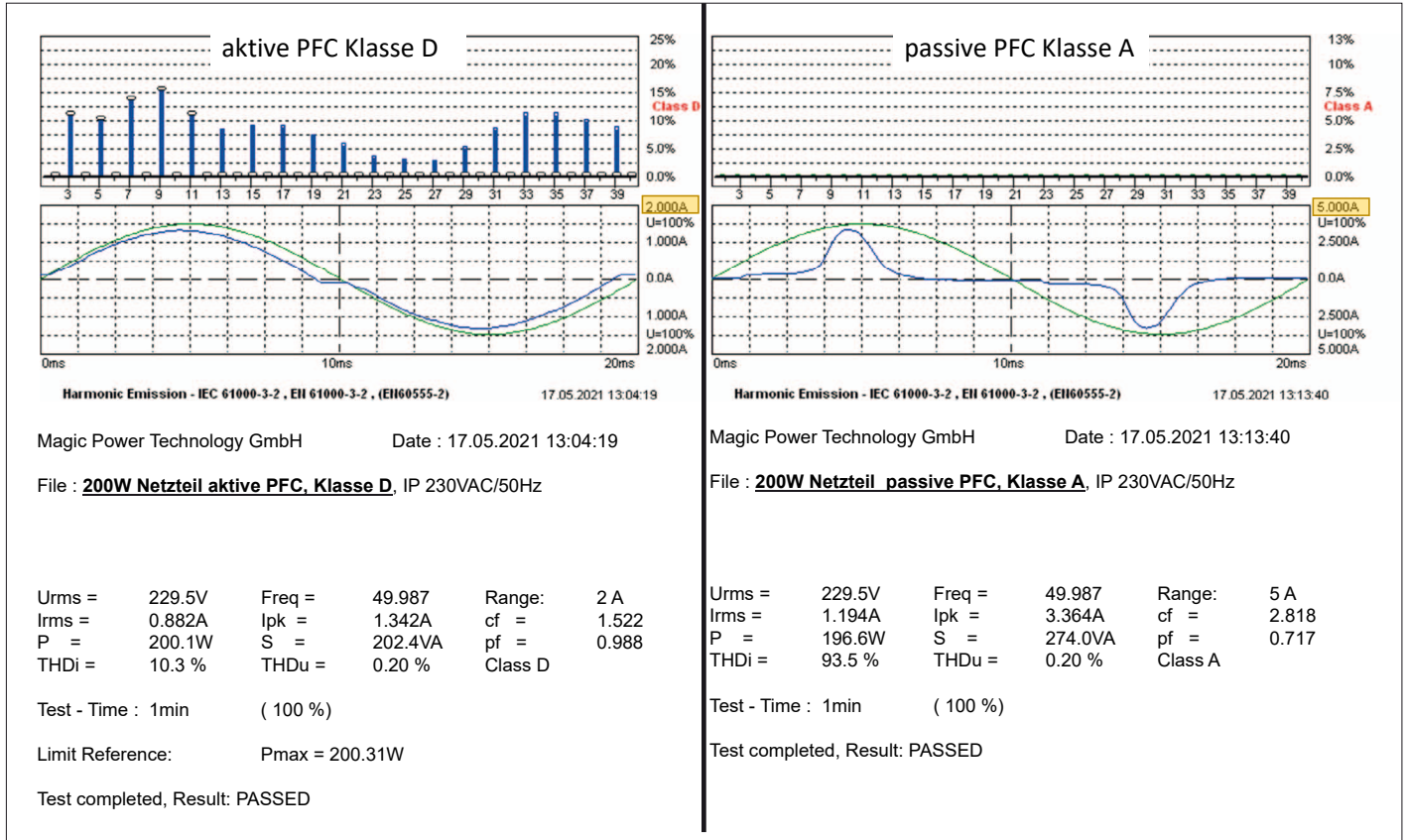


Bild 7: Vergleich aktive vs passive PFC im Detail

der aktuellen Eingangsspannung an. Anders ausgedrückt: Der Hauptwandler „weiß nicht“, ob er in Europa oder den USA betrieben wird. Bei einem Netzteil ohne PFC schwankt die Zwischenkreisspannung am Siebelko je nach Eingangsspannung zwischen den o. g. Werten. Dies führt dazu, dass die Kapazität für die Hold-Up Zeit nach Maßgabe von $E=1/2 \times C \times U^2$ auf Basis der kleinsten Eingangsspannung berechnet werden muss. Zwar hat man dann bei 230 VAC immens lange hold-up Zeiten (siehe z. B. Bild 5 und 6), teilweise bis zum 5- oder mehrfachen der 110 VAC hold-up Zeit. Erkauft wird das aber durch den Mehraufwand eines großen Speicherkondensators nebst Kosten und der daraus folgenden umfangreicheren Einschaltstrombegrenzung, insbesondere dann bei 230 VAC Eingangsspannung.

Die Bilder 5 und 6 zeigen die Spannungsverläufe bei einem Netzteil mit passiver PFC bei 230 VAC (Bild 5) und 110 VAC (Bild 6).

* Gelb: Eingangsspannung (unterschiedliche Messbereiche zwischen 110 und 230 VAC Messung)
 * Violett: Spannung am Siebelko (= 1,41 x Eingangsspannung) mit der typischen Sägezahn Lade/Entladekurve
 * Türkis: Strom von und in Siebelko
 * Blau: Ausgangsspannung

Man erkennt deutlich die höhere Hold-Up Zeit bei 230 VAC von 118 ms gegenüber den 20 ms bei 110 VAC Eingang.

Dagegen verhält sich ein Netzteil mit aktiver Power-Faktor-Korrektur Stufe (PFC), von außen her vermessen, fast wie ein Widerstand. Stromspitzen wie bei einem Netzteil ohne aktive PFC-Stufe sind hier nicht zu erkennen. Dadurch ist auch der Einsatz in Rechnersystemen erlaubt, wo dies regulatorisch seitens der EN61000-3-2 für Computer sowieso gefordert ist.

In Bild 7 erkennt man den Unterschied in der Stromaufnahme bei 200 W von einem passiven PFC Klasse B Netzteil zu einem aktiven PFC Klasse D Netzteil. Bei identischer Wirkleistung beträgt der Spitzenstrom bei passiver PFC etwa das 2,5-fache der aktiven Ausführ-

ung. Der Stromflusswinkel dagegen beträgt nur knapp 2 ms je Halbwelle im Vergleich zur aktiven Version mit fast 10 ms.

Einsatzhöhe

5000 m ist nicht nur die Höhe des Mont Blanc, sondern in diesem Zusammenhang auch die in der Spezifikation der Kundenapplikation immer öfter geforderte Einsatzhöhe des Netzteils. Verschiedene Exportgebiete setzen dies voraus. Auch das MPM-K450 ist bis zu einer Einsatzhöhe von 5000 m spezifiziert. Der Netzteilhersteller muss diese Eigenschaft über entsprechend große Luft- und Kriechstrecken sicherstellen.

Immer wieder beliebt – die EMV

EN60601-1-2 4. Edition

Einen Unterschied zwischen IT und Medizin stellt die EMV dar. In der Medizintechnik ist die EMV in einem Teil der Sicherheitszulassung EN60601 bereits beinhaltet. In der EN60601-1-2 wird die EMV entsprechend beschrieben, und

im Zuge der 4. Edition wurden die Anforderungen in Sachen Immissionen deutlich erhöht. Während die Emissionen zwischen Medizin und IT vergleichbar sind, sind die Immissionen, also die Beaufschlagungen, in der Medizinnorm deutlich anspruchsvoller. Ein Beispiel hierfür ist die elektrostatische Entladung (ESD) mit 15 kV Luftentladung.

Resonanzwandler

Verschiedene Netzteiltypen besonders bei größeren Leistungen basieren heute auf einer Resonanzwandlertopologie. Dadurch ändert das Netzteil seine Taktfrequenz anhand der Last, was zu einem Wirkungsgrad von bis zu 95 % führt und auch für die EMV-Emissionen Vorteile mit sich bringt. Dabei werden die Quasipeak-Messungen in einem 1 sec Zeitfenster durchgeführt. Auch die Baureihe MPM-K450 ist als Resonanzwandler konzipiert.

Zusatzsignale

Neben den üblichen Ausgangsspannungen bieten manche Netzteilserien Zusatzsignale- bzw. -spannungen optional oder als festen

Bestandteil. Je nach Ausgestaltung der elektronischen Baugruppen können hierdurch Zusatzfunktionen bei der Anwendung generiert werden:

a) Eine zusätzliche 5 Vsb Spannung ermöglicht z. B., die Hauptspannung des Netzteils über ein Digitalsignal (High/Low) ein- und auszuschalten. Je nach Strombedarf sollte dieser Ausgang mindestens 1 A liefern können.

b) Das Power Good/Power Fail Signal (PG/PF) signalisiert der Anwendung zwei Betriebszustände:

- Mit dem PG-Signal zeigt das Netzteil an, dass nach dem Hochlaufen die Betriebsspannungen im Sollbereich sind

- Mit dem PF-Signal signalisiert das Netzteil der Applikation, dass die Betriebsspannung in Kürze (i.d.R. 1 ms) nicht mehr verfügbar ist. Dadurch kann z. B. eine Datensicherung getriggert werden.

Die beispielhaft betrachtete Netzteilserie MPM-K450 ist z. B. mit den Ausgangsspannungen 12 V, 24 V, 48 V und 56 V verfügbar und liefert optional 5 Vsb sowie PG/PF.

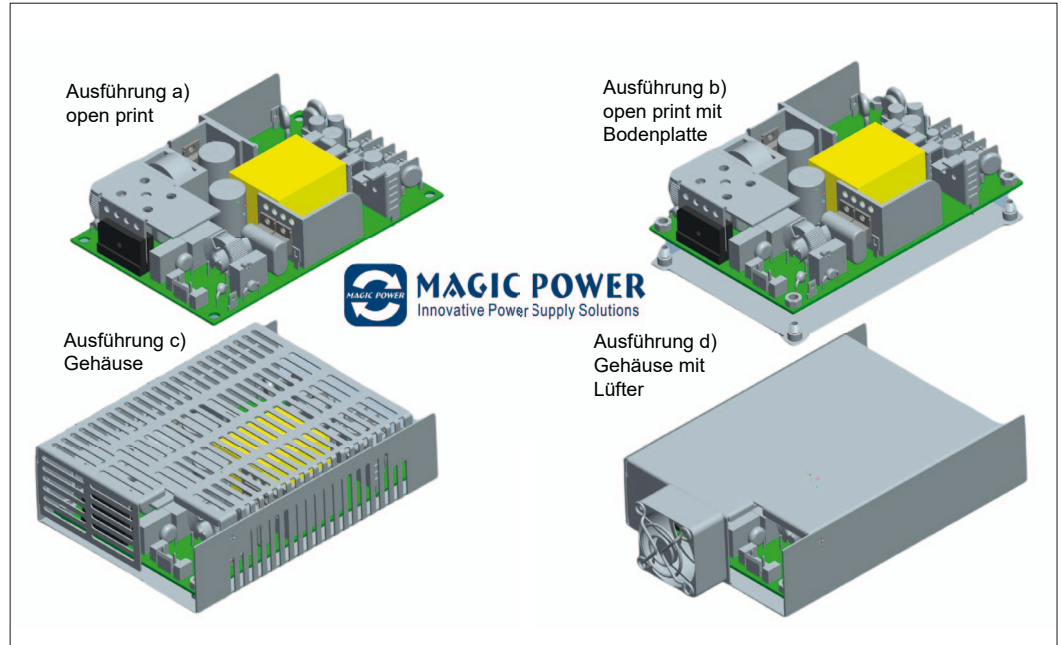


Bild 8: Bauarten MPM-K450

Open frame, Gehäuse, Lüfter – was erfordert die Einbausituation

Montagefreundlichkeit, Berührungsschutz, Luftstrom im Sinne der Arbeitstemperaturbetrachtung... Es gibt viele Gesichtspunkte, die hier hineinspielen. Deshalb bieten Netzteilhersteller oftmals verschiedene mechanische Lösungen an. Als Beispiel gibt es bei der Baureihe MPM-K450 vier mecha-

nische Varianten, so dass der Konstrukteur die Auswahl hat (Bild 8):

- a) für open print Einbau
- b) mit Bodenplatte
- c) geschlossen
- d) geschlossen mit Lüfter

Die Baugröße der open print version beträgt in diesem Fall 152 x 101 x 37 mm und ist damit im Standardraster. Im Gehäuse c) sind es 160 x 112 x 46 mm.

Fazit

Es ist längst nicht damit getan nur anhand der Leistung eine Auswahl der Stromversorgung zu treffen. Temperatur, Derating, Zulassungen, EMV, Peak-Power, Signale usw. sind Features, die bei der Auswahl berücksichtigt werden müssen, um eine zuverlässige Lösung zu finden. ◀