

Elektronik

Sonderdruck aus Ausgabe 8, 9, 10/2007

PULS Überreicht durch die Firma PULS GmbH www.pulspower.com

Industrie-Schaltnetzgeräte im Test



Zwölf Schaltnetzgeräte 24 V / 10 A für die Hutschiene – Teil 1: stationäre Eigenschaften

Am Beispiel industrieller Stromversorgungsgeräte zur Montage an DIN-Hutschienen wird gezeigt, wie wichtige Kenngrößen von Stromversorgungen messtechnisch ermittelt werden können. Die Messungen an zwölf Netzgeräten gleicher Leistungsklasse von zehn Herstellern vermitteln einen Überblick über die charakteristischen Eigenschaften dieser Gruppe von Schaltnetzteilen. In Teil 1 dieses Berichts werden die stationären Eigenschaften untersucht. Das Verhalten bei dynamischen Vorgängen ist Thema des zweiten Teiles, und Teil 3 widmet sich der elektromagnetischen Verträglichkeit der Netzgeräte.

Von Alexander Bucher, Prof. Dr.-Ing. Manfred Albach,
Prof. Dr.-Ing. Thomas Dürbaum und Daniel Kübrich

Der Vergleich von Stromversorgungen anhand von Datenblättern stellt oftmals ein mühsames Unterfangen dar. Dennoch dienen hauptsächlich die darin gemachten Angaben als Grundlage für eine Kaufentscheidung. Während manche Produzenten dem Anwender im Internet hierfür vollständige Testprotokolle zur Verfügung stellen, bieten andere Hersteller nur wenige Informationen zu ihrem Produkt. Hat der Kunde anhand der verfügbaren Informationen erst einmal eine nähere Auswahl getroffen, so vergleicht er zunächst die für seine Anwendung relevanten Daten. Doch bei genauerer Betrachtung stellt er bald fest, dass ein objektiver Vergleich mit Hilfe von Datenblattwerten meist zum Scheitern verurteilt ist. Auf der einen Seite sind die Angaben von „typischen“ Werten weit verbreitet, deren genaues Zustandekommen aber nur in den seltensten Fällen eindeutig beschrieben ist. Andererseits gibt ein Teil der Hersteller im Datenblatt garantierte Minimal- oder Maximalwerte

an, welche ihre Produkte auch unter ungünstigsten Bedingungen noch einhalten. Diese Werte weichen aber in der Regel merklich von den Angaben typischer Werte ab, die in den meisten Fällen nur unter bestimmten Voraussetzungen gelten.

Inwiefern die Herstellerangaben von industriellen Schaltnetzteilen in der Realität eingehalten werden, wie die Daten zu interpretieren sind und welche technischen Unterschiede sich hinter den vorhandenen bzw. auch nicht vorhandenen Daten verbergen, zeigt dieses *Elektronik*-Projekt der Universität Erlangen-Nürnberg. Im Rahmen einer Diplomarbeit [1] am Lehrstuhl für elektromagnetische Felder wurde auch der Aufwand für die messtechnische Überprüfung solcher Kenngrößen untersucht, wobei sich die Anforderungen an die Messgeräte

und Messprozeduren bei den vorliegenden Untersuchungen weitgehend an den einschlägigen Normen orientiert haben.

■ Zwölf Netzgeräte, zehn Hersteller

Bei den getesteten Schaltnetzteilen handelt es sich um Typen mit eigenem Gehäuse zur Installation an DIN-Hutschienen (Bild 1). Alle Geräte sind zum Anschluss am einphasigen Versorgungsnetz vorgesehen, wobei das *SITOP modular 10 A* von Siemens alternativ zwischen zwei Phasen des Drehstromnetzes angeschlossen werden kann. Ausgangsseitig stellt jedes Netzgerät eine geregelte Gleichspannung mit 24 V Nennwert zur Versorgung von Lasten mit einer Leistungsaufnahme bis 240 W bereit. Alle Gerä-



Bild 1. Die Geräte im Test von links oben nach rechts unten (a = aktive PFC, p = passive PFC): ABB CP-C 24/10.0 (a); Idec P55R-SG24 (a); Lambda DLP240-24-1/E (a); Mean Well DRP-240-24 (a); MTM HSA 240S24 (p); Omron S8VS-24024AP (a); Phoenix Contact QUINT-PS-100-240AC/24DC/10 (a); Puls CS10.241 (p); Puls QS10.241 (a); Siemens SITOP modular 10 A (p); Siemens SITOP smart 10 A (p); Weidmüller CP SNT 250W 24V 10A (p). Die Frontansicht der getesteten Schaltnetzteile vermittelt einen Größeneindruck der Geräte. Die zwei kleinsten Stromversorgungen (Puls) benötigen zusammen ungefähr so viel Platz wie das größte Gerät (Weidmüller). Detaillierte Angaben zur Leistungsdichte enthält Tabelle 1. (Bild: M. Weiland)

te im Test können an Netzen mit 100 bis 120 V bzw. 230 bis 240 V Nennspannung und 50 Hz bzw. 60 Hz Netzfrequenz betrieben werden. Der nutzbare Eingangsspannungsbereich ist relativ weit, um auch Schwankungen der Versorgungsspannung ausgleichen zu können.

Das Testfeld lässt sich unterteilen in sieben Geräte mit aktiver Leistungsfaktorkorrektur (PFC) und in vier Geräte mit passiver PFC. Einem Netzgerät, dem CS10.241 von Puls, kommt hierbei eine Sonderrolle zu. Es wird für den Test der Gruppe der passiv leistungsfaktorkorrigierten Geräte zu-

geordnet, obwohl es die entsprechende Norm zur Begrenzung der Netzober-schwingungsströme (siehe Teil 3) nicht erfüllt. In Fällen, bei denen eine Sammelentstörung von vornherein vorhanden ist, bietet dieses Gerät ohne Leistungsfaktorkorrektur eine preisgünstige Alternative. Wahlweise ist das CS10.241 von Puls auch in einer Ausstattungsvariante mit passiver Leistungsfaktorkorrektur (PFC-Drossel) erhältlich.

Die Netzgeräte mit aktiver PFC weisen einen echten Weitbereichseingang auf. Bei den Testgeräten mit passiver PFC wird dagegen zwischen „Low-“ und „High-Line“-Betrieb gewechselt. Dieses Umschalten erfolgt bei Siemens SITOP modular 10 A und SITOP smart 10 A sowie Weidmüller CP SNT 250W 24V 10A manuell. Die beiden anderen Netzgeräte mit passiver PFC – MTM HSA240 S24 und Puls CS10.241 – schalten automatisch um. Einen Sonderfall bezüglich des erlaubten Eingangsspannungsbereichs stellt das Netzteil DRP-240-24 von Mean Well dar, da bei diesem Gerät unterhalb von 110 V Eingangsspannung nicht mehr die volle Ausgangsleistung entnommen werden darf.

Eine Übersicht über die Datenblattangaben zu einigen wichtigen Kenngrößen enthält Tabelle 1 auf S. 4/5. Die darin angegebenen elektrotechnischen Größen lassen sich grob in Größen des stationären Zustandes – z.B. Effektivwert des Eingangsstroms, Wirkungsgrad etc. – und in Kenngrößen dynamischer Vorgänge – z.B. Einschaltstrom, Verweilzeit – unterteilen. Dementsprechend unterschiedlich und aufwendig sind die anzuwendenden Messverfahren zur Bestimmung dieser Größen. So fließen während des Einschaltvorgangs kurzzeitig Ströme

in den Eingang eines Schaltnetzteils, welche ein Vielfaches des Scheitelwerts im Dauerbetrieb erreichen können. Dies stellt folglich komplett andere Anforderungen an die verwendeten Messgeräte als z.B. die Messung des Wirkungsgrades.

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal getakteter Schaltnetzteile ist die Qualität der Ausgangsspannung. Unter dem Begriff der „periodischen und nichtperiodischen Abweichungen“ (periodic and random deviations, PARD) zusammengefasst, wird darunter der Spitze-Spitze-Wert der überlagerten Wechsellspannung am Ausgang verstanden, welcher anhand geeigneter Filtermaßnahmen reduziert werden kann [2, 3]. Obwohl die anwendbare Norm DIN EN 61204-1 [4] eindeutige Messverfahren zur Ermittlung dieses Parameters beschreibt, messen Lambda und Mean Well diese Größe unter Zuhilfenahme zusätzlicher Filterkondensatoren am Ausgang ihrer Netzgeräte. Ein direkter Vergleich mit den Datenblattwerten anderer Hersteller ist damit nicht möglich.

Neben der Güte der Ausgangsspannung unterscheidet sich das Testfeld auch in den Reaktionen auf Überlastsituationen und Kurzschlüsse. Auf der einen Seite werden Testgeräte wie das QUINT-PS-100-240AC/24DC/10 von Phoenix Contact mit Überlastfähigkeiten von 150 % spezifiziert, auf der anderen Seite verbieten Idec, Lambda und Omron explizit eine Überlast über eine längere Zeitdauer. Diese Modelle sind dementsprechend auch laut Datenblatt nicht dauerkurzschlussfest. Die übrigen Geräte können dauerhaft unter Kurzschlussbedingungen arbeiten und begrenzen dann den Ausgangsstrom auf einen festen Wert. Bei dynamischen Kurzschlussverhältnissen spezifiziert Siemens für beide Testgeräte einen kurzzeitigen Ausgangsstrom bis zum Dreifachen und Puls für das QS10.241 bis zum 2,25-fachen des Nennwerts von 10 A.

Generell ist der Wert der Umgebungstemperatur entscheidend für die Fähigkeit der Netzgeräte, besonders hohe Lasten versorgen zu können. Übersteigt

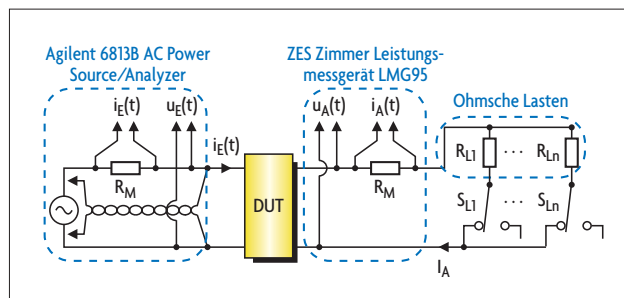
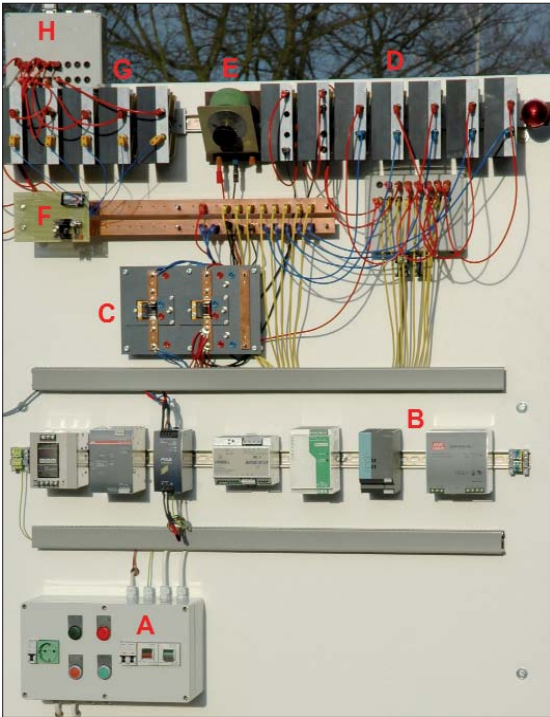


Bild 2. Messaufbau zur Ermittlung von Kenngrößen des stationären Zustands.



I Bild 3. Um den Testablauf für die zwölf Netzgeräte zu rationalisieren, wurde ein übersichtlicher Aufbau angefertigt (A: Netzanschluss mit Sicherungsautomaten; B: Hutschiene mit Testgeräten; C: Strommesswiderstände; D: Leistungs-Widerstände (stationäre Last); E: Leistungs-Potentiometer; F: Leistungs-MOSFET; G: Leistungs-Widerstände (Lastsprünge); H: Relaiskarten).

das Thermometer am Einbauort eine gewisse Schwelle, so schreiben die Datenblätter aller Testgeräte eine Drosselung der Ausgangsleistung vor. Diese Leistungsreduktion (Derating) erfolgt mit einer festgelegten Verminderung des zulässigen Ausgangsstroms in der Größenordnung von einigen Prozent pro Kelvin oberhalb der angegebenen Grenztemperatur. Insbesondere beim geplanten Einbau in einen Schaltschrank spielt der zulässige Betriebs-

leistung zur Erwärmung seiner Umgebung bei. Die mithin wichtigste Kenngröße in diesem Zusammenhang ist der Wirkungsgrad. Die Datenblattwerte von Omron (*S8VS-24024AP*, min. 80 %, typ. 86 %) bzw. von Mean Well (*DRP-240-24*, typ. 84 %) und Weidmüller (*SP SNT 250W 24V 10A*, 84 %) markieren das untere Ende der Datenblattangaben dieser Kenngröße, wohingegen Puls für das *CS10.241* und das *QS10.241*, Phoenix Contact

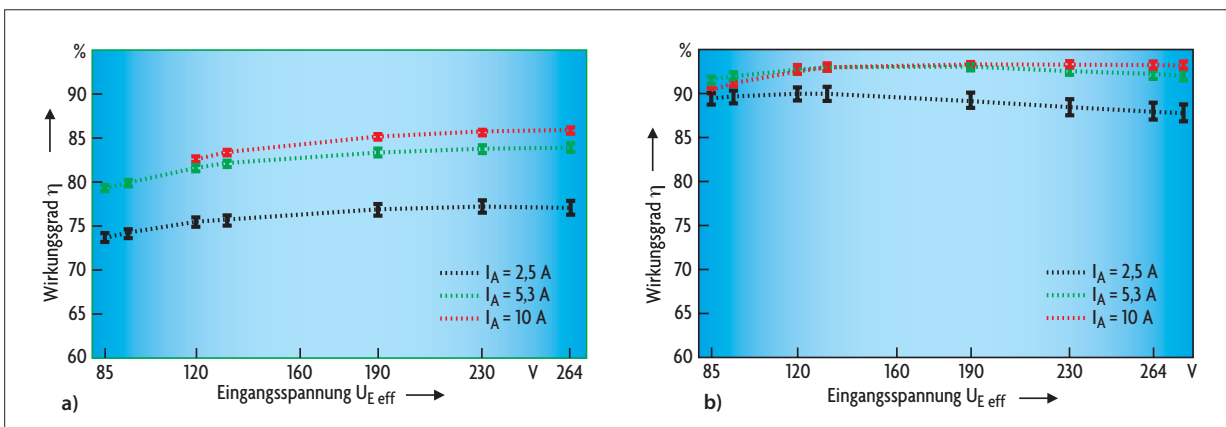
temperaturbereich eine wichtige Rolle hinsichtlich der Einsatzfähigkeit der getesteten Stromversorgungen. Der kleinste gemeinsame Wertebereich aller Testgeräte erstreckt sich von 0 °C bis +50 °C. Dabei gibt Siemens seine Geräte *SITOP modular 10 A* und *SITOP smart 10 A* nicht für Temperaturen unter dem Gefrierpunkt frei, während Idec für sein Netzgerät *PS5R-SG24* und Omron für das *S8VS-24024AP* zusätzlich zum Derating bei hohen Temperaturen auch für negative Temperaturen eine Herabsetzung der Ausgangsleistung vorsehen. Auch das Schaltnetzteil selbst trägt mit seiner Ver-

für das *QUINT-PS-100-240AC/24DC/10* und Siemens für das *SITOP modular 10 A* typische Werte der Effizienz von über 90 % ausweisen.

Die Leistungsdichte gibt Aufschluss darüber, mit welchem Volumenbedarf der Hersteller die angegebene Ausgangsleistung überträgt. Wird der verfügbare Platz im Schaltschrank knapp, erhält die Baugröße eines Hutschienen-Schaltnetzteils eine zunehmende Bedeutung für den späteren Einsatz des Geräts. Dabei müssen unter Umständen zusätzliche Abstände in horizontaler und vertikaler Richtung berücksichtigt werden. In diesem Zusammenhang vermittelt Bild 1 ein Gefühl für die Größenverhältnisse der Testkandidaten. Im Hinblick auf einen reibungslosen Betrieb der zu versorgenden Lasten und zur Minimierung etwaiger Ausfallzeiten der angeschlossenen Verbraucher sollte ein Schaltnetzteil zudem in der Lage sein, einen kurzzeitigen Ausfall bzw. starken Einbruch der Versorgungsspannung zu überbrücken. Dies wird durch die Angabe der Verweilzeit im Datenblatt spezifiziert.

■ Messungen im stationären Zustand

Den Messaufbau zur Ermittlung von Kenngrößen des stationären Zustands zeigen die **Bilder 2 und 3**. Zu beachten sind dabei auch thermische Einschwingzeiten. Auch nach dem Warmlaufen von Testschaltung und Messaufbau verursacht ein Wechsel des Arbeitspunktes (Eingangsspannung oder Last) eine veränderte Verlustleis-



I Bild 4. Exemplarische Messergebnisse des Wirkungsgrades inklusive der Messunsicherheiten: a) Mean Well *DRP-240-24*, b) Puls *QS10.241*. Für das Mean-Well-Netzteil ist ein Betrieb bei Vollast für Netzspannungen unter 110 V nicht erlaubt, daher endet dort die rote Kurve.

Hersteller	ABB	Idec	Lambda	Mean Well	MTM	Omron
Netzgerät	CP-C 24/10.0	P55R-SG24	DLP240-24-1/E	DRP-240-24	HSA240 S24	S8VS-24024AP
Eingangsspannungsbereich [V]	85 bis 132, 184 bis 264 umschaltbar	85 bis 264	85 bis 265	(85) 110 bis 264	90 bis 132, 190 bis 264, autoselect	85 bis 264
Frequenzbereich [Hz]	47 bis 63	47 bis 63	47 bis 63	47 bis 63	50/60	47 bis 63
Nennausgangsspannung [V]	22 bis 28	21,6 bis 26,4	21,6 bis 28	24 bis 28	23,8 bis 26,4	21,6 bis 27,6
Ausgangsstrom [A]	10	10	10	10	10	10
Kurzschlussstrom [A]	ca. 19	max. 13	10,5	10,5 bis 15, lastabhängig	10,5 bis 13	10,5 bis 16
Verhalten bei Kurzschluss	Strombegrenzung, dauerkurzschlussfest	nicht dauerkurzschlussfest	Strombegrenzung, Kurzschlussbetrieb für max. 30 s zulässig	Strombegrenzung	Strombegrenzung, dauerkurzschlussfest	Strombegrenzung, nicht dauerkurzschlussfest
Betriebstemperaturbereich [°C]	0 bis 60, -25 bis 70 bei red. Leistung (max. 75 %)	0 bis 45, -10 bis 60 bei red. Leistung (max. 60 %)	-10 bis 50, -10 bis 60 bei red. Leistung (max. 60 %); bis 70 bei $U_E > 170$ V	-10 bis 40, -10 bis 70 bei red. Leistung (max. 60 %)	-25 bis 50, -25 bis 70 bei red. Leistung (max. 40 %)	0 bis 40, -10 bis 60 bei red. Leistung (max. 60 %)
Anschlusstechnik	Schraubklemmen, 0,2 bis 2,5 mm ²	Schraubklemmen	Schraubklemmen, 0,5 bis 3,5 mm ²	Schraubklemmen	Schraubklemmen, <2,5 mm ²	Schraubklemmen, 0,823 bis 2,081 mm ²
Markteinführung	2004	2004	Mitte 2002	2002	2005	01/2003
Listenpreis [Euro]	auf Anfrage	188	120	auf Anfrage	auf Anfrage	295
Vertriebsart	Direktvertrieb, Großhandel	Direktvertrieb, Groß- und Einzelhandel	Direktvertrieb, Katalogdistribution: Conrad Business	Distributor: Emtron	Direktvertrieb	Direktvertrieb, Großhandel
Abmessungen (B × H × T) [mm]	90 × 126 × 130	80 × 125 × 150	120 × 97 × 110	125,5 × 125,2 × 100	80 × 130 × 130	100 × 115 × 125,3
Masse [g]	1340	1000	1000	1200	ca. 1000	max. 1150
Statische Eigenschaften						
Wirkungsgrad ⁶⁾ [%], Datenblatt/gemessen	>88/ 87,6 ± 0,4	typ. 84/ 89,2 ± 0,4	86/ 86,8 ± 0,4	typ. 84/ 85,7 ± 0,3	88/ 88,8 ± 0,4	typ. 86/ 88,8 ± 0,4
Verlustleistung [W]	34,1	29,1	36,4	40,4	30,5	30,3
Leistungsfaktor ⁷⁾ [%]	98,7	93,9	96,8	96,8	72,1	98,3
PAR ⁶⁾ [mV _{SS}], Datenblatt/gemessen	typ. <50/ 97	<480/ 37	<240 ²⁾ / 348	80/ 50 ³⁾	<480/ 79	<480, typ. 31,2/ 18

tungsentwicklung. Dementsprechend muss wieder eine gewisse Zeit abgewartet werden, bis der Prüfling einen neuen thermischen Gleichgewichtszustand erreicht hat. Im Test wurden nach einer Warmlaufzeit von jeweils einer halben Stunde die Werte der Messgeräte ausgelesen und der Arbeitspunkt verändert. Unter Berücksichtigung der thermischen Einschwingvorgänge dauerte ein Messdurchlauf mit mehreren Eingangsspannungs- und Lastwerten bereits etliche Stunden. Darüber hinaus dürfen die verwendeten Messgeräte über keine allzu großen

Messunsicherheiten verfügen, was sich insbesondere bei der Bestimmung von zusammengesetzten Messgrößen wie dem Wirkungsgrad negativ auswirken würde. Mit dem schematisch dargestellten Aufbau können Wirkungsgrad, Leistungsfaktor, Eingangsstromform, Stromoberschwingungsamplituden, stationäre Regelabweichung sowie Ausgangskennlinie gleichzeitig bestimmt werden. Unter Zuhilfenahme eines Steuerrechners lassen sich diese Größen aufgrund des Wegfalls manueller Bedienschritte vollautomatisch ermitteln.

Bild 4 zeigt exemplarische den Wirkungsgrad-Verlauf in Abhängigkeit von der Eingangsspannung und der Ausgangslast für das ineffizienteste Netzgerät im Test (a) und für das effizienteste Netzgerät (b). Beide Geräte zeigen eine unterschiedlich starke Abnahme des Wirkungsgrades bei Teillast und zu niedrigen Eingangsspannungen hin. **Bild 5** zeigt eine Übersicht über die gemessenen Werte des Testfeldes für 230 V Eingangsspannung unter Vollast. Zum Teil übertrafen die Testgeräte ihre Datenblattangaben sogar deutlich, wie beim Netzgerät des Herstellers

Phoenix Contact	Puls	Puls	Siemens	Siemens	Weidmüller
					
QUINT-PS-100-240AC/24DC/10	CS10.241	QS10.241	SITOP modular 10 A	SITOP smart 10 A	CP SNT 250W 24V 10A
85 bis 264	90 bis 132, 180 bis 264, autoselect	85 bis 276	85 bis 132, 176 bis 550, umschaltbar	85 bis 132, 170 bis 264, umschaltbar	88 bis 132, 176 bis 264, umschaltbar
45 bis 65	47 bis 63	47 bis 63	47 bis 63	47 bis 63	50/60
22,5 bis 28,5	24 bis 28	24 bis 28	24 bis 28,8	22,8 bis 28	24 bis 28
15 <40 °C, 10 <60 °C	12 <45 °C, 10 <60 °C	10, 15 für 4 s	10	12 <45 °C, 10 <60 °C	10
15	14 bis 18	8 bis 12,5 (dauerhaft), 21 bis 27 (kurzzeitig)	12 (dauerhaft), typ. 30 für 25 ms	12,5 bis 13,5 (dauerhaft), typ. 30/33 für 100 ms/200 ms	10,5 bis 13
Strombegrenzung, kurzschlussfest	Strombegrenzung, dauerkurzschlussfest	Strombegrenzung, dauerkurzschlussfest	Strombegrenzung, dauerkurzschlussfest	Strombegrenzung, dauerkurzschlussfest	Strombegrenzung
-25 bis 60, -25 bis 70 bei red. Leistung (max. 75 %)	-25 bis 60, -25 bis 70 bei red. Leistung (max. 75 %)	-25 bis 60, -25 bis 70 bei red. Leistung (max. 75 %)	0 bis 60	0 bis 60	-10 bis +55
Schraubklemmen	Schraubklemmen, 0,5 bis 6 mm ²	Federklemmen, 0,5 bis 6 mm ²	Schraubklemmen, 0,2 bis 2,5 mm ²	Schraubklemmen, 0,2 bis 2,5 mm ²	Schraubklemmen, 0,13 bis 6 mm ²
Frühjahr 2002	2006	2005	03/2003	11/2005	2005
auf Anfrage	122	163	170	153	139,20
Direktvertrieb (Internet), Großhandel	Direktvertrieb, Katalog-Distributoren	Direktvertrieb, Katalog-Distributoren	Direktvertrieb, Katalog-Distribution, Elektrogroßhandel	Direktvertrieb, Katalog-Distribution, Elektrogroßhandel	Direktvertrieb, Großhandel
85 × 130 × 125	60 × 124 × 117	60 × 124 × 117	90 × 125 × 120,5	70 × 125 × 125	125,5 × 125 × 110
1300	700	900	etwa 1400	etwa 800	1600
>91/ 90,7 ± 0,4	typ. 91,6/ 90,9 ± 1,2	typ. 93/ 93,3 ± 0,4	typ. 86/ 86,8 ± 0,4	typ. 91/ 89,7 ± 0,4	84/ 88,3 ± 0,4
24,8	24,2	17,3	36,5	27,6	31,7
98,6	42,1 ¹⁾	91,5	58,1	59,7	96,3
<100/ 45	<50/ 17	<50/ 16	<200 ⁴⁾ , typ. 20 ⁵⁾ / 177	<240, typ. 150/ 30	<100/ 48

I Tabelle 1. Datenblätter stellen eine wesentliche Informationsquelle zur Bewertung unterschiedlicher Netzteile im Hinblick auf die jeweilige Anwendung dar. Die Tabelle fasst einige wichtige Kenngrößen der getesteten Netzgeräte zusammen, die über typische Informationsquellen (Datenblätter, Internet etc.) frei zugänglich sind bzw. messtechnisch ermittelt wurden. Die Werte in den Datenblättern müssen jedoch kritisch beleuchtet werden, da je nach Herstellerphilosophie garantierte Min-/Max-Werte bzw. typische Werte in die Spezifikation aufgenommen werden.

¹⁾ Da dieses Netzgerät über keine PFC-Drossel verfügt, muss man bei der Messung des Leistungsfaktors besonders darauf achten, dass der verwendete Prüf-generator über eine niedrige Innenimpedanz verfügt, wie z.B. beim Power Source/Analyzer 6813B von Agilent. Schon bei Verwendung einer Quelle mit leicht höherer Impedanz, z.B. einem Trenntrafo mit entsprechender Streuinduktivität auf der Sekundärseite, erhält man unter Umständen höhere Werte für diese Kenngröße.

²⁾ Gemessen mit externen 100-nF-Folienkondensator und 100-µF-Elektrolytkondensator am Ausgang.

³⁾ Gemessen mit externen 100-nF-Kondensator und 47-µF-Kondensator am Ausgang.

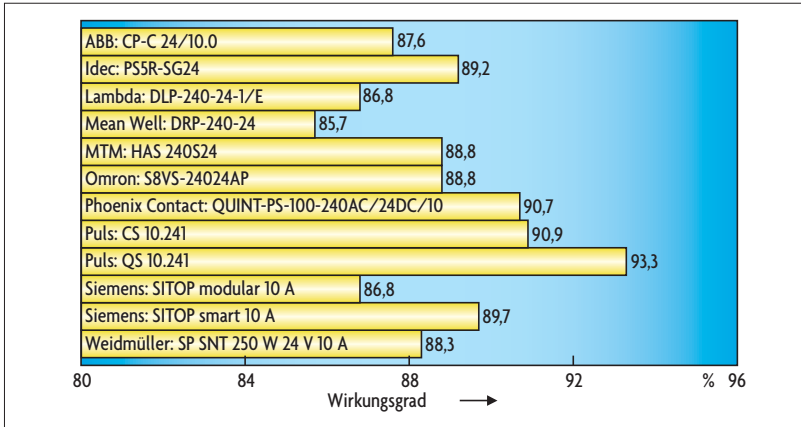
⁴⁾ Angabe aus mitgelieferter Anleitung.

⁵⁾ Angabe aus Homepage vom 07.11.06; erreichbar unter <https://mall.automation.siemens.com/DE/guest/index.asp?aktprim=0&nodeID=10013034&lang=en&foldersopen=-9919-1-9922-9938-9920-9921-9939-&jumpto=9939>

Die PARD-Werte wurden durch Auswertung eines Zeitfensters mit einer Dauer von 20 ms an einem einzigen Arbeitspunkt gewonnen. Durch die Länge dieses Zeitraums werden hierbei sowohl die Auswirkungen der hochfrequenten als auch der niederfrequenten Überlagerungen erfasst.

⁶⁾ Gemessen bei $U_E = 230 \text{ V} / 50 \text{ Hz}$ unter Volllast.

⁷⁾ Gemessen bei $U_E = 230 \text{ V} / 50 \text{ Hz}$ unter Volllast, $\Delta\lambda = \pm 1 \%$.



I Bild 5. Die Wirkungsgrade der zwölf getesteten Netzgeräte für $U_E = 230\text{ V}$ und $f = 50\text{ Hz}$ unter Volllast. Das Diagramm zeigt einen Unterschied von 7,6 % zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Messwert. Eine Tendenz zwischen Geräten mit passiver und aktiver Leistungsfaktorkorrektur lässt sich nicht feststellen. Die Genauigkeit der Messung beträgt $\pm 0,4\%$, lediglich für das *CS10.241* von Puls muss eine höhere Messunsicherheit von $\pm 1,2\%$ angegeben werden, da die Verwendung eines größeren Strommessbereichs notwendig ist (siehe hierzu auch Bild 6b).

Idec (*P55R-SG24*, typ. 84 %) bzw. Omron (*S8VS-24024AP*, typ. 86 %). Insgesamt zeigen sich relativ große Unterschiede in der Effizienz. Fast 8 % beträgt die Differenz im Wirkungsgrad zwischen dem sparsamsten und dem ineffizientesten Schaltnetzteil, wobei jedes Gerät in Abhängigkeit der Eingangsspannung und der Belastung am Ausgang mehr oder weniger starke Schwankungen des Wirkungsgrades aufweist. Insbesondere für kleine Ausgangsströme ist eine signifikante Abnahme dieser Kenngröße zu verzeichnen, welche beim Netzgerät *QS10.241* von Puls (Bild 4b) weniger drastisch ausfällt als beim Netzgerät *DRP-240-24* von Mean Well in Bild 4a.

Vergleicht man den niedrigsten gemessenen Wirkungsgrad von 85,7 %

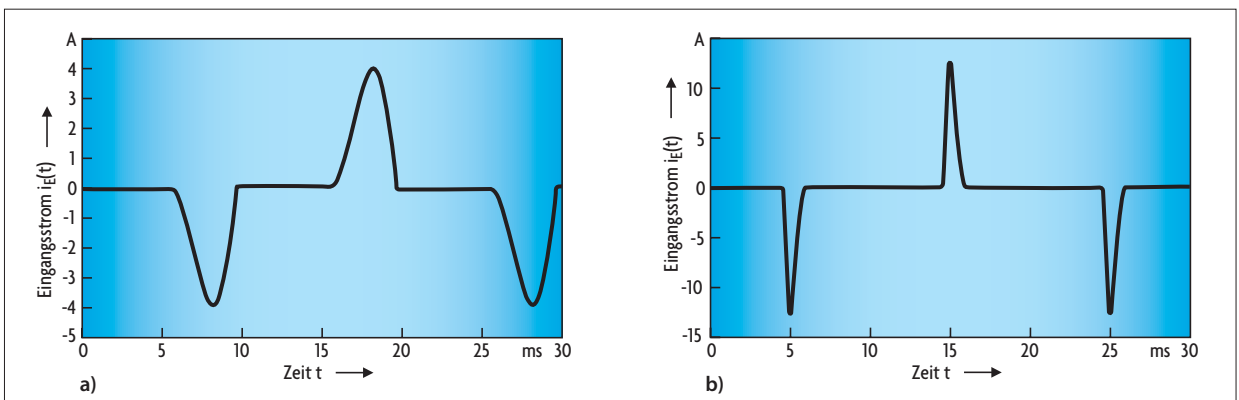
(Mean Well *DRP-240-24-1*) mit dem höchsten Messwert von 93,3 % (Puls *QS10.241*), so stellt man fest, dass ersteres Netzteil im laufenden Betrieb unter Volllast 23 W mehr Verlustleistung erzeugt. Bei ununterbrochenem Betrieb ergeben sich hieraus pro Jahr ca. 200 kWh nutzlos in Wärme umgesetzte Energie. Bei einem – niedrig angesetzten – Strombezugspreis von 0,1 Euro/kWh resultieren hieraus bereits Mehrkosten im Betrieb von 20 Euro pro Jahr. Angesichts steigender Strompreise rückt somit der Wirkungsgrad eines Stromversorgungsgeräts ins Zentrum des Interesses für den Kunden.

Neben den höheren Kosten, welche ein ineffizient arbeitendes Stromversorgungsgerät verursacht, spielt der Wirkungsgrad der getesteten Hutschie-

nen-Schaltnetzteile auch hinsichtlich des vorgesehenen industriellen Betriebsumfeldes eine wichtige Rolle. Die in Wärme umgewandelte Verlustleistung trägt zur Erhöhung der Temperatur im Schaltschrank bei und ist somit bei dessen thermischer Auslegung zu berücksichtigen. Unter Umständen können wärmeempfindliche Komponenten in ihrer Funktionsweise beeinträchtigt werden. Gegebenenfalls müssen zusätzliche Maßnahmen zur Wärmeabfuhr durchgeführt werden.

Wie aus Bild 5 hervorgeht, spiegelt sich die Art der vom Hersteller gewählten Leistungsfaktorkorrektur nicht im Wirkungsgrad wider. Hinsichtlich des gemessenen Leistungsfaktors – Verhältnis von aufgenommener Wirk- zu Scheinleistung – heben sich die Geräte mit aktiver PFC aber umso deutlicher von denen mit passiver PFC ab. Während für erstere die Messwerte dieser Kenngröße unter Nennbedingungen allesamt über 90 % lagen, wurden für die Geräte mit passiver PFC Werte zwischen 58 % und 72 % gemessen. Lediglich das *CS10.241* von Puls nahm aufgrund der fehlenden PFC-Drossel eine noch größere Scheinleistung auf.

Auch auf den Zeitverlauf des Eingangstroms wirkt sich der Verzicht einer PFC-Drossel beim *CS10.241* von Puls deutlich aus, wie aus Bild 6b hervorgeht. Beim Schaltnetzteil *HSA240S24* des Herstellers MTM (Bild 6a) bleibt die Amplitude des Eingangstroms unter Verwendung einer Glättungsdrossel knapp unterhalb von 4 A, während der Stromscheitelwert beim *CS10.241* von Puls etwas mehr als das Dreifache beträgt. Dementsprechend



I Bild 6. a) Der Zeitverlauf des Eingangstroms – gemessen bei $U_E = 230\text{ V}$ und $I_A = 10\text{ A}$ – am *HSA 240S24* von MTM steht exemplarisch für die getesteten Netzteile mit passiver PFC. b) Das Netzgerät *CS10.241* von Puls erzeugt aufgrund des Verzichts auf eine PFC-Drossel schmalere Nachladeimpulse mit höheren Scheitelwerten.

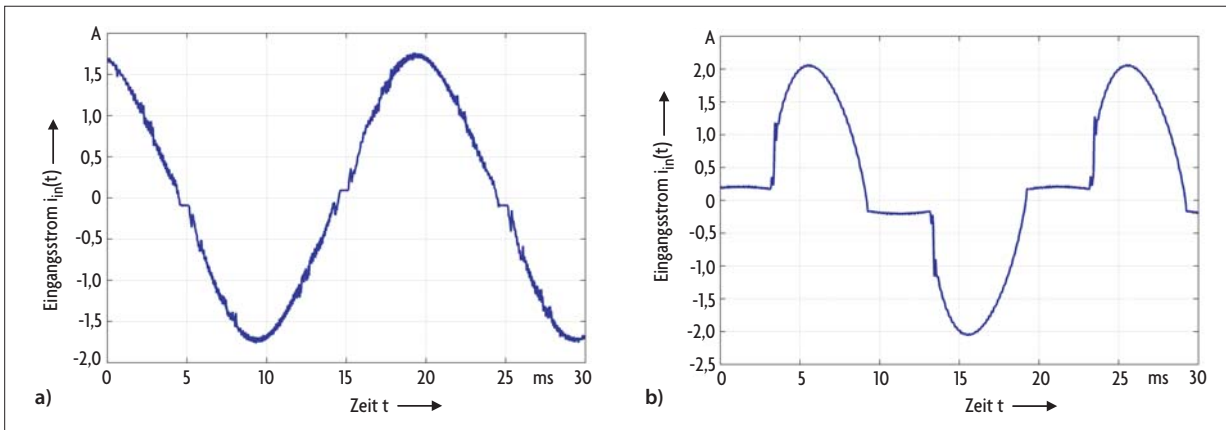


Bild 7. Bei den Netzgeräten mit aktiver Leistungsfaktorkorrektur unterscheiden sich die Kurvenformen des Eingangstroms – gemessen bei $U_E = 230\text{ V}$ und $I_A = 10\text{ A}$ – zum Teil deutlich: Bild a zeigt die weitgehend sinusförmige Eingangstromkurvenform des Netzgerätes *QUINT-PS-100-240AC/24DC/10* von Phoenix Contact, Bild b den Stromverlauf des *QS10.241* von Puls.

deutlicher fallen auch die Verzerrungen der Kurvenform aus Bild 6b gegenüber denen des Signals aus Bild 6a aus.

Innerhalb des Testfeldes generieren die Geräte mit aktiver PFC zwar deutlich weniger stark verzerrte Kurvenformen als solche mit passiver PFC, doch auch unter den Schaltnetzteilen der ersten Gruppe sind hierbei Unterschiede feststellbar. **Bild 7** zeigt in diesem Zusammenhang exemplarisch eine Gegenüberstellung zweier Geräte mit aktiver PFC. Während es dem Schaltnetzteil *QUINT-PS-100-240AC/24DC/10* von Phoenix Contact gelingt, einen nahezu verzerrungsfreien, sinusförmigen Eingangstrom zu erzeugen (Bild 7a), kommt es beim Gerät *QS10.241* von Puls (Bild 7b) zu Verzerrungen im Bereich der Netznulldurchgänge.

Die für die Berechnung von Kenngrößen des Eingangstroms notwendigen Amplituden der Oberschwingungsströme können im stationären Zustand direkt aus dem verwendeten Leistungsanalysator 6813B von Agilent (Bild 2) ausgelesen werden. Dies macht auch einen Vergleich mit Grenzwerten der DIN EN 61000-3-2 [5] möglich. Diese EMV-Grundnorm muss für die Konformität des Geräts mit der Produktnorm DIN EN 61204-3 erfüllt werden. Sie sieht eine Eingruppierung der getesteten Hutschienen-Stromversorgungen zur Klasse A vor. Die auf diese zulässigen Grenzwerte bezogenen relativen Pegel zweier Geräte zeigt **Bild 8**. Informationshalber sind auch die relativen Pegel

der Klasse D aufgetragen. In diese werden z.B. PCs und Monitore sowie Rundfunkempfänger eingeordnet. Bild 8a zeigt stellvertretend am Beispiel des Schaltnetzteils *CP-C 24/10.0* von ABB, dass auch diese schärferen Grenzwerte von Geräten mit aktiver PFC problemlos erfüllt werden. Die getesteten Geräte mit passiver PFC hingegen sind eingangsseitig so ausgelegt, dass sie den Anforderungen der

Klasse A genügen, die Grenzwerte der Klasse D können sie aber nicht mehr erreichen (Bild 8b). Wie bereits erwähnt, verzichtet das *CS10.241* von Puls als einziges Testgerät auf die Erfüllung der Grenzwerte der Klasse A. Puls bietet für den Fall des direkten Anschlusses an das öffentliche Versorgungsnetz aber eine modifizierte Ausstattungsvariante mit entsprechender PFC-Induktivität an.

Auch auf der Ausgangsseite zeigten die getesteten Geräte Unterschiede. Wie bereits aus den Datenblattangaben hervorgeht, können einige Geräte in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur deutliche Überlastströme liefern. **Bild 9** zeigt die bei Raumtemperatur gemessenen Ausgangskennlinien der laut Datenblatt dauerhaft überlastfähigen Geräte. Diese wurden mit Hilfe einer elektronischen Last (Höcherl & Hackl, PL906) anstatt der ohmschen Leistungswiderstände des Messaufbaus aus Bild 2 gewonnen. Die in Bild 9a aufgeführten Geräte sind in der Lage, in Überlastsituationen Ausgangsströ-

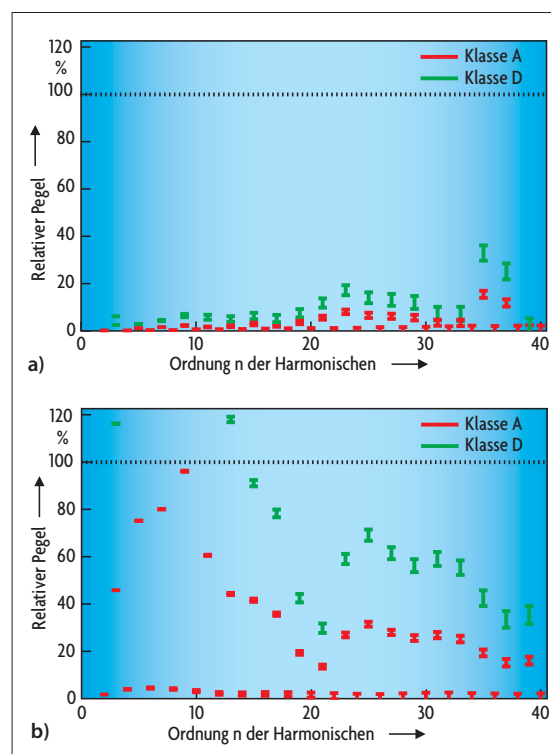
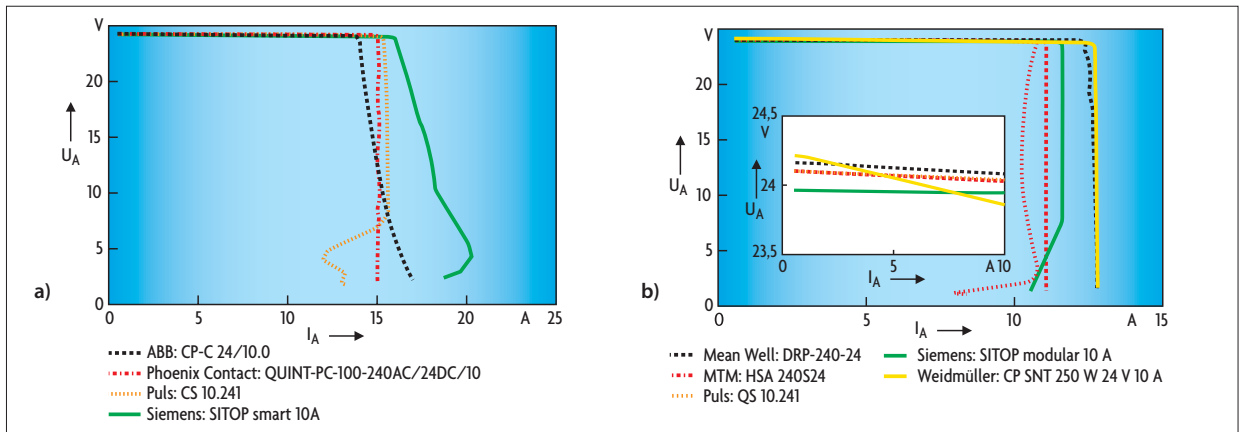


Bild 8. Exemplarischer Vergleich der relativen Pegel zweier Netzgeräte, bezogen auf die Grenzwerte der DIN EN 61000-3-2, Klassen A und D, für 230 V Eingangsspannung unter Vollast. a) Netzgerät mit aktiver Leistungsfaktorkorrektur; b) Netzgerät mit passiver PFC.



I Bild 9. Ausgangskennlinien im stationären Zustand (über 100 ms gemittelt mit $U_E = 230$ V). Fast alle Geräte erlauben auch im stationären Zustand höhere Ausgangsströme als 10 A. Die Ausgangskennlinien für Geräte mit mehr als 5 A zulässigem Überlaststrom sind im Bild a zusammengefasst, Geräte mit weniger als 5 A im Bild b. Dies zeigt, dass bei der Mehrzahl der Geräte Leistungsreserven – unter Beachtung der Umgebungstemperatur – abrufbar sind.

me größer 15 A für längere Zeitspannen bereitzustellen. Dabei setzt beim *CP-C 24/10.0* von ABB die Herabsetzung der Ausgangsspannung bereits kurz vor diesem Wert des Laststroms ein, bei den drei übrigen Geräten erst ab bzw. oberhalb dieses Wertes. Dies entspricht einer Leistungsreserve dieser Geräte von zusätzlichen 50 % und mehr. Die Netzteile aus Bild 9b hingegen erreichen auch bei kleinen Lastwiderstandswerten nur Stromwerte unterhalb von 15 A. Dennoch zeigten auch in dieser Gruppe Geräte wie das *CP SNT 250W 24V 10A* von Weidmüller oder das *SITOP modular*

10 A von Siemens Leistungsreserven bis zu 30 %. Das Gerät mit der augenscheinlich am frühesten einsetzenden Ausgangsspannungsdrockelung im stationären Zustand war das *QS10.241* von Puls, welches aber bei dynamischen Überlastsituationen noch über ausgeprägte Reserven verfügt, wie im Teil 2 des Artikels gezeigt wird.

Die vergrößerte Darstellung des Verlaufs der Ausgangsspannung aus Bild 9b in Abhängigkeit des Laststromes zeigt, dass die stationäre Regelabweichung – maximale Abweichung vom Mittelwert der gemessenen DC-

Ausgangsspannungswerte bei allen vermessenen Arbeitspunkten – für fast alle Geräte vernachlässigbar klein ist. Einzig das Netzgerät *CP SNT 250W 24V 10A* von Weidmüller zeigte eine im Rahmen der Messgenauigkeit erkennbare Variation des Gleichanteils der Ausgangsspannung in Abhängigkeit von der Ausgangsbelastung. Dieser Sachverhalt lässt sich am Gradienten der Ausgangsspannung mit zunehmendem Ausgangsstrom aus Bild 9b erkennen. Durchweg sehr gut gelingt allen Testgeräten die Ausregelung veränderter Eingangsspannungswerte. hs

Industrie-Schaltnetzgeräte im Test

Zwölf Schaltnetzgeräte 24 V / 10 A für die Hutschiene – Teil 2: dynamische Eigenschaften

Der erste Teil des Tests industrieller Schaltnetzgeräte [9] hat die stationären Eigenschaften der Testgeräte untersucht. Die Messungen im zweiten Teil widmen sich nun den dynamischen Eigenschaften. Die Prüfung der elektromagnetischen Verträglichkeit folgt im dritten Teil.

Von Alexander Bucher, Prof. Dr.-Ing. Manfred Albach, Prof. Dr.-Ing. Thomas Dürbaum und Daniel Kübrich

Vor allem im industriellen Umfeld müssen Schaltnetzteile bei dynamischen Änderungen von Einflussgrößen (Tabelle 2, S. 74) in

der Lage sein, möglichst fehlerfrei zu arbeiten. Etliche solcher Vorgänge werden von Störfestigkeitsnormen erfasst, wobei die DIN EN 61204-3 [6]

eine Übersicht anwendbarer Normen zur elektromagnetischen Verträglichkeit der untersuchten Hutschienen-Schaltnetzteile enthält. Insbesondere Spannungseinbrüche und Kurzzeitunterbrechungen – verursacht z.B. durch startende Maschinen – bzw. Fehlerfälle spielen hierbei eine wichtige Rolle – siehe auch DIN EN 61000-4-11 [7].

Der in Bild 10 dargestellte Messaufbau erlaubt die Nachbildung solcher dynamischer Vorgänge. Zusätzlich können damit Kenngrößen wie Einschaltstrom, Anlaufverhalten und Verweilzeit gemessen werden. Ausgangsseitig lassen sich beliebige Lastsprünge generieren, mit denen das

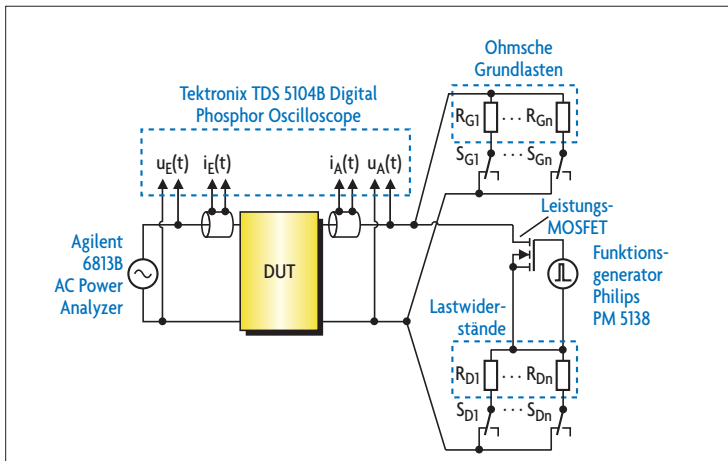


Bild 10. Der Messaufbau zur Bestimmung dynamischer Kenngrößen erlaubt die Nachbildung einer Vielzahl dynamischer Vorgänge ohne Umbau: Einbrüche und Kurzzeitunterbrechungen der Eingangsspannung, Lastsprünge, Kurzschlussstrommessung etc.

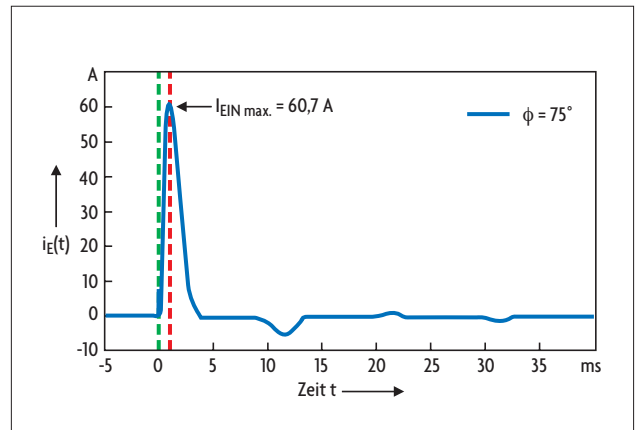


Bild 11. Der Einschaltstromverlauf beim Kaltstart des Netzgerätes HSA240 S24 von MTM für $U_E = 230$ V: Diese Abbildung zeigt den „klassischen“ Einschaltstromverlauf, der bei einer Strombegrenzung mittels NTC-Widerstandes im Eingangskreis zu erwarten ist.

Ausregelverhalten erfasst werden kann.

Beim Anlegen der Versorgungsspannung kommt es bei Schaltnetzteilen aufgrund der eingebauten Speicherkondensatoren zu hohen Stromamplituden. Der Wert dieser Spitzenströme ist stark abhängig vom Wert des Phasenwinkels, bei dem die Netzspannung aufgeschaltet wird. Mit Hilfe des automatisierten Messaufbaus aus Bild 10 kann gezielt nach dem Phasenwinkel mit maximalem Einschaltstrom gesucht werden. Gemäß DIN EN 61204-1 – siehe auch DIN EN 43743 [8] – ist dies der höchste Momentanwert des Eingangsstroms nach dem Einschalten, unter Vernachlässigung der ersten Millisekunde des Zeitverlaufs. Die in dieser Zeitspanne auftretenden Stromspitzen durch Funkent-

störkondensatoren bleiben bei der Ermittlung dieser Kenngröße außer Betracht. Die **Bilder 11 bis 14** verdeutlichen diesen Zusammenhang. Bei den meisten Geräten erfolgt die Limitierung des Einschaltstroms anhand passiver Bauelemente, während bei beiden Schaltnetzteilen CS10.241 und QS10.241 des Herstellers Puls unterschiedliche aktive Einschaltstrombegrenzungen zum Einsatz kommen.

Mit diesen Verfahren gelingt es effektiv, den Eingangsstrom während der ersten Netzperioden auf Werte unterhalb 3 A zu begrenzen. Der spezifizierte Maximalwert wird jedoch für das Netzgerät CS10.241 beim Zuschalten der Last überschritten, so dass eine normkonforme Betrachtungsweise den angegebenen höheren Wert von 9,9 A in Bild 12 liefert, welcher aber ande-

rerseits nur wenige Ampere über dem Scheitelwert im eingeschwungenen Zustand liegt.

Aufgrund dieses verzögerten Einschaltverhaltens benötigt das CS10.241 mit knapp 900 ms im Testfeld am längsten, bis seine Ausgangsspannung unter Vollast 95 % des eingestellten Endwerts erreicht hat, dicht gefolgt vom SITOP modular 10 A von Siemens mit 880 ms. Die beiden schnellsten Geräte benötigen hierfür nur 47 ms (Idec, PS5R-SG24) bzw. 81 ms (ABB, CPC 24/10.0).

■ Einschaltströme > 80 A beim Warmstart

Eine standardmäßige Realisierung einer Einschaltstrombegrenzung besteht in der Verwendung von NTC-Wider-

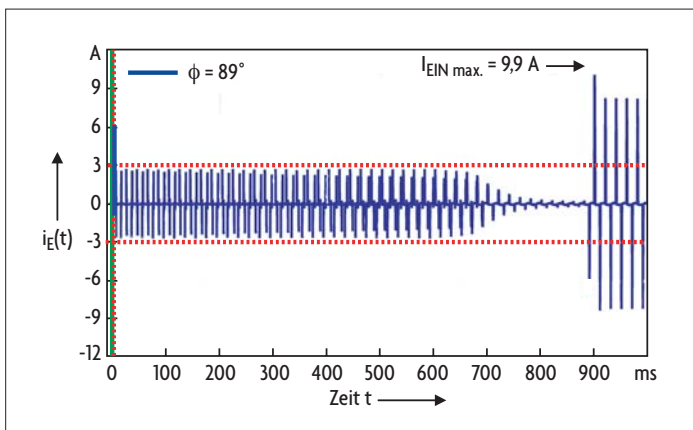


Bild 12. Der Einschaltstromverlauf beim Kaltstart des Netzgerätes CS10.241 von Puls für $U_E = 230$ V: Dieses Netzgerät weist eine aktive Einschaltstrombegrenzung auf, wobei pro Netzhälfte zwei kurze Strompulse mit Spitzenwerten kleiner 3 A auftreten.

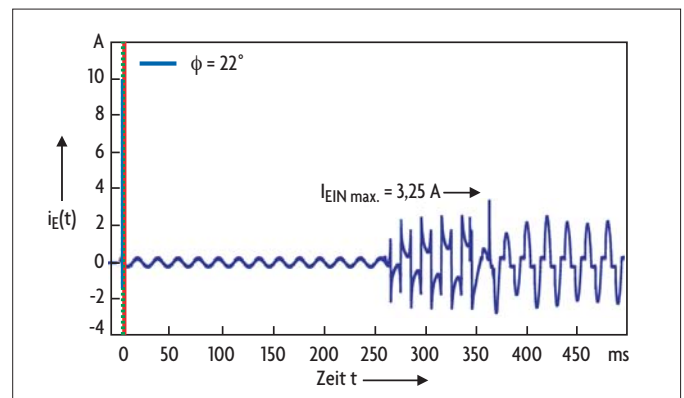


Bild 13. Der Einschaltstromverlauf beim Kaltstart des Netzgerätes QS10.241 von Puls für $U_E = 230$ V: Bei diesem Netzgerät mit aktiver Einschaltstrombegrenzung beginnt der eigentliche Ladevorgang des Elkos erst nach einer aktiven Verzögerung. Auch bei diesem Netzgerät wird der Ladestrom auf Werte um 3 A begrenzt.

Hersteller	ABB	Idec	Lambda	Mean Well	MTM	Omron	Phoenix Contact
Netzgerät	CP-C 24/10.0	PSSR-SG24	DLP240-24-1/E	DRP-240-24	HSA240 S24	S8VS-24024AP	QUINT-PS-100-240AC/24DC/10
Max. Einschaltstrom ⁶⁾ [A], Datenblatt/gemessen	max. 33/23,2	max. 50/35,5	typ. 45/26,8	typ. 45/22,1	k.A./60,2	max. 50/21,6	typ. 15/16,4
Warmes Wiedereinschalten, Maximalwerte des Spitzen- und des normgerechten Einschaltstroms ⁶⁾							
Ausschaltzeit t_{aus} [s]	60	–	30 180	180	–	0,072 180	0,065 180
Einschaltspitzenstrom [A]	23,4	>80	76,9 (51,4)	36,8	>80	75,9 (28,5)	39,3 (29,1)
Normkonformer max. Einschaltstrom [A]	16,1	–	(22,0) 32,6	17,8	–	(7,4) 21,6	(14,6) 20,7
Anlaufzeit und Einschalt-Überschwingweite der Ausgangsspannung ⁶⁾							
Anlaufzeit t_{anlauf} [ms]	81	47	462	362	489	793	474
Überschwingweite $U_{\text{über}}$ [V]	1,440	0,072	0,110	0,669	0,539	0,173	0,087
Verweilzeit, gemessene Maximal- und Minimalwerte ⁶⁾							
Max. Verweilzeit t_{vmax} [ms]	46,1	87	45,8	26,7	35,8	35,7	50,1
Min. Verweilzeit t_{vmin} [ms]	42,8	82,6	42,3	23,1	29,4	32,0	47,4
Datenblattwert [ms]	typ. >40	>20, <200	30	typ. 24	>20	>20, typ. 30	typ. >50
Ausgangsseitiges Ausregelverhalten: Messwerte für einen Sprung des Ausgangsstroms bei $U_{\text{E}} = 230 \text{ V} / 50 \text{ Hz}$							
– Lastsprung von 5 % auf 100 %							
Gesamtausregelzeit t [μs]	441	100	164	146	2840	307	2370
Abweichung [mV]	526	535	152	781	1490	187	667
– Lastabwurf von 100 % auf 5 %							
Gesamtausregelzeit t [μs]	514	744	0 ⁹⁾	220	7000	1350	1770
Abweichung [mV]	522	1550	108	298	1620	186	516

ständen im Leistungspfad. Im kalten Zustand verhindert deren hohe Impedanz verglichen zum betriebswarmen Zustand das Auftreten großer Strom-

spitzen beim Anlegen der Versorgungsspannung. Prinzipbedingt bereitet diese Art der Einschaltstrombegrenzung aber Probleme beim Einschalten eines warmen Geräts. Bei der Überprüfung des Einschaltverhaltens der aufgewärmten Testgeräte kam es dementsprechend bei vier Modellen (Idec *PSSR-SG24*, MTM *HSA240 S24*, Siemens *SITOP smart 10 A*, Weidmüller *CP SNT 250W 24V 10A*) zu derart hohen Stromspitzen (> 80 A), dass diese bereits von der verwendeten AC-Quelle (Agilent 6813B AC Power Source/Analyzer) begrenzt wurden. Die übrigen Netzgeräte zeigten nur eine leichte bis moderate Erhöhung der gemessenen Einschaltstromamplitude. Bei Netzgeräten mit aktiver Einschaltstrombegrenzung ist dieser Einschaltvorgang ohnehin unkritisch.

Verhalten bei Eingangsspannungseinbrüchen

Gemäß DIN EN 61204-3 [6] in Verbindung mit DIN EN 61000-4-11 [7] sollten die getesteten industriellen Stromversorgungsgeräte gewisse Störfestigkeitseigenschaften bei Einbrüchen oder kurzzeitigen Unterbrechungen der Eingangsspannung aufweisen. Bei einem Einbruch der Netzspannung auf 70 % des Bezugswertes von 230 V für die Dauer einer Netzhalbwellen konnten alle Geräte die Ausgangsspannung aufrechterhalten. Jedoch beim zweiten der laut Norm geforderten Einbrüche auf 40 % mit einer Dauer von 100 ms kam es bei vier Geräten mit passiver PFC zum vollständigen Wegfall der Ausgangsspannung, wobei sie nach Wiederherstellung des Nennwerts der Eingangsspannung automatisch wieder einschalteten. Lediglich der Ausgangsspannungsverlauf des *HSA240 S24* von MTM wies diesbe-

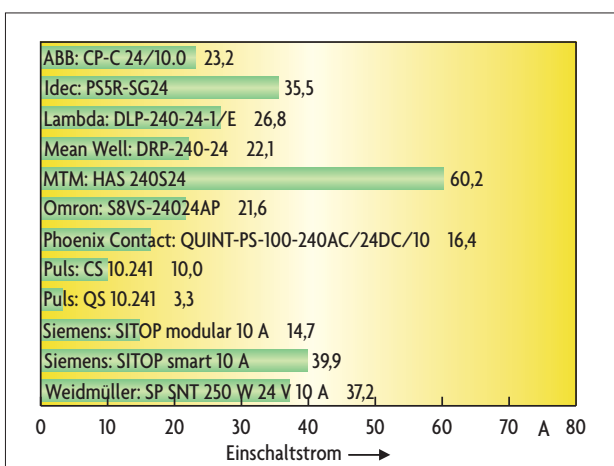
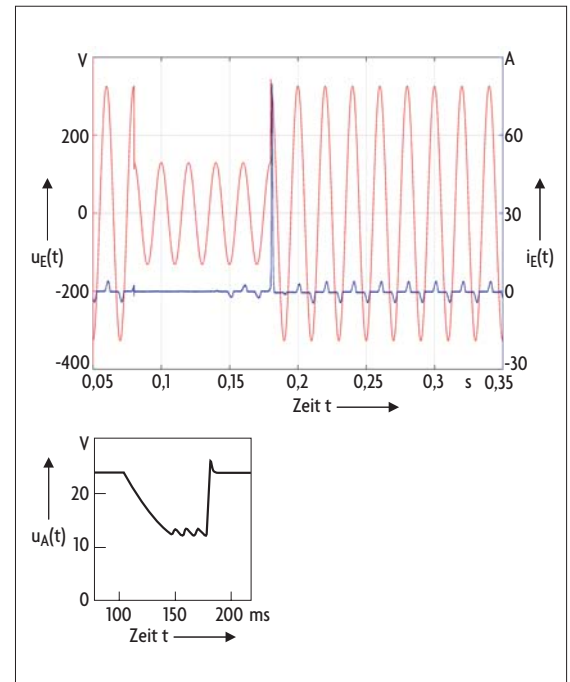
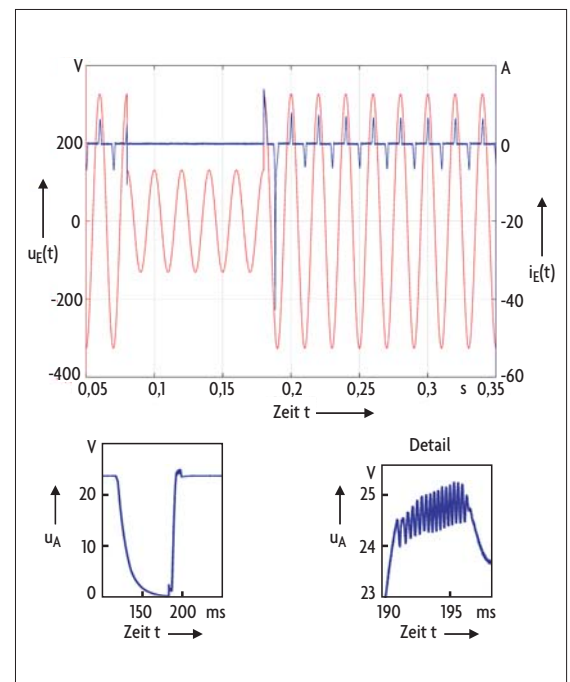


Bild 14. Die Einschaltstromaufnahme beim Kaltstart der getesteten Netzgeräte an 230 V bei Volllast im Vergleich: Die größten Unterschiede lassen sich bei den Spitzenwerten des Einschaltstroms ausmachen. Der größte gemessene Einschaltstrom ist um den Faktor 20 höher als der kleinste gemessene Einschaltstrom.

Puls	Puls	Siemens	Siemens	Weidmüller
CS10.241	QS10.241	SITOP modular 10 A	SITOP smart 10 A	CP SNT 250W 24V 10A
typ. 3/10,0	max. 10/3,3	max. 35/14,7	max. 65/39,9	k.A./37,2
60	0,075	0,063	–	–
27,6 ⁸⁾	10,5 ⁸⁾	38,4	>80	>80
27,6 ⁸⁾	4,2 ⁸⁾	38,4	–	–
898	331	877	121	631
0,062	0,053	1,540	0,826	0,546
52,7	28,9	45,1	55,1	36,3
44,2	24,3	37,8	47,7	28,9
typ. 47	typ. 27	>25	>20	15
67,8	74,2	1430	121	116
325	305	551	726	537
67,2	72,4	6660	120	178
334	311	466	756	659



! Bild 15. Zeitverläufe des Netzgerätes *HSA240 S24* von MTM bei einem Spannungseinbruch nach DIN EN 61000-4-11 unter Vollast. Bei diesem Netzgerät mit passiver PFC bricht die Ausgangsspannung nicht komplett ein, sondern wird auf Werte zwischen 12 V und 14 V gehalten.



! Bild 16. Zeitverläufe des Netzgerätes *SITOP modular 10 A* von Siemens bei einem Spannungseinbruch nach DIN EN 61000-4-11 unter Vollast. Wie bei den meisten Geräten mit passiver Leistungsfaktorkorrektur fällt die Ausgangsspannung aufgrund der Dauer des Einbruchs vollständig aus. Beim *SITOP modular 10 A* zeigen sich beim Wiederanlauf Oszillationen im Ausgangsspannungsverlauf (siehe vergrößerte Darstellung des Ausgangsspannungsverlaufes) und dadurch bedingt ein Überschwingen der Ausgangsspannung.

! Tabelle 2: Dynamische Eigenschaften

Es wurde jeweils gezielt nach dem Maximalwert des normkonformen Einschaltstroms der Testgeräte gesucht. Aufgrund der unterschiedlichen Einschaltstrombegrenzungsvarianten ergeben sich diese bei verschiedenen Phasenwinkeln der Netzspannung. Hierbei kommt den Netzgeräten *CS10.241* und *QS10.241* von Puls (aktive Einschaltstrombegrenzung) eine Sonderrolle zu.

Für die Messung des Einschaltstroms beim warmen Wiedereinschalten wurden die Geräte zunächst für eine halbe Stunde unter Vollast betrieben und so ins thermische Gleichgewicht gebracht. Daraufhin wurden die Geräte aus- und nach einer kurzen Pause t_{aus} wieder eingeschaltet. Die Pausenzeit wurde variiert, um den Zeitpunkt mit dem maximalen Einschaltstrom zu finden – je nach Konstruktionsprinzip z.B. abhängig von der Abkühlgeschwindigkeit des Einschaltstrombegrenzungs-NTC und vom Entladezustand des Elkos. Aufgelistet sind sowohl die Werte des Spitzenwertes des Zeitverlaufes als auch die normkonformen Einschaltstromwerte.

Bei vier Testgeräten war der maximal gemessene Momentanwert des Eingangsstroms größer als 80 A, so dass bereits die Strombegrenzung der Leistungsquelle 6813B von Agilent wirksam wurde. Daher konnte für diese Netzgeräte im warmen Zustand der normkonforme Einschaltstrom nicht ermittelt werden.

Für die Ermittlung der Anlaufzeit wurden die Zeitverläufe der Einschaltvorgänge (Kaltstarts) ausgewertet. Gemessen wurde die Zeitdauer, welche die Netzgeräte benötigten, um nach dem schlagartigen Anlegen der Versorgungsspannung die Ausgangsspannung auf 95 % des ab Werk eingestellten Sollwertes zu bringen.

⁶⁾ Gemessen bei $U_E = 230 \text{ V} / 50 \text{ Hz}$ unter Vollast.

⁸⁾ Gemessen am Tektronix TDS 5104B.

⁹⁾ Siehe Bild 20.

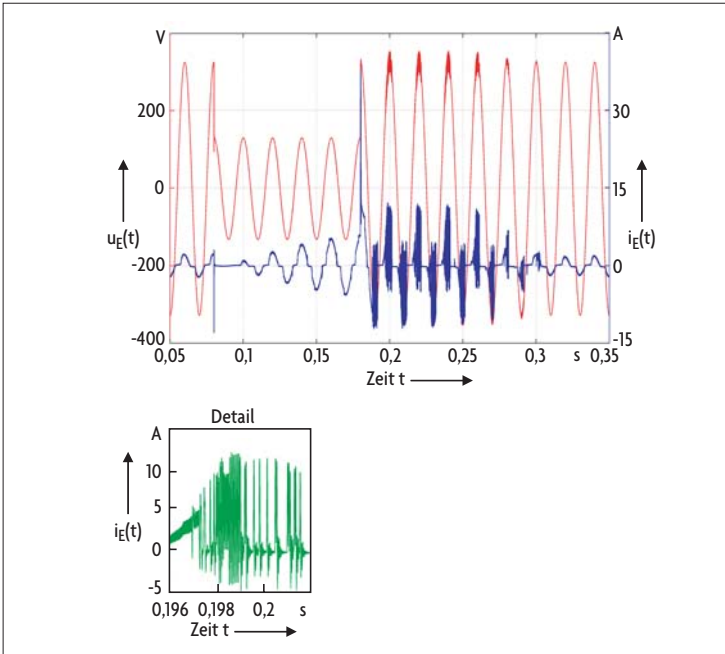


Bild 17. Zeitverläufe des Netzgerätes PSSR-SG24 von Idec bei einem Spannungseinbruch nach DIN EN 61000-4-11 unter Volllast. Netzgeräte mit aktiver Leistungsfaktor-korrektur halten die Ausgangsspannung selbst bei längeren Netzspannungseinbrüchen auf Nennwert. Drei der getesteten Netzgeräte mit aktiver PFC – Idec PSSR-SG24, Lambda DLP240-24-1/E und Omron S8VS-24024AP – zeigen jedoch beim Rücksprung auf Nennspannung Oszillationen im Eingangsstrom.

zätzlich Besonderheiten auf, wie in Bild 15 dargestellt: Die Ausgangsspannung dieses Geräts verharrte in einem Bereich zwischen 12 V und 14 V bis zur Wiederherstellung der vollen Eingangsspannung. Dementsprechend müssen an diesem Gerät angeschlossene Verbraucher für die Dauer eines solchen Spannungseinbruchs mit diesem Verlauf der Ausgangsspannung zu-recht kommen. Ferner kam es beim Wiederanlaufen des SITOP modular 10 A von Siemens nach Erreichen von

24 V auf der Ausgangsspannung zu Oszillationen und infolge dessen zu einem Überschwingen der Ausgangsspannung, wie aus der vergrößerten Darstellung in Bild 16 hervorgeht. Dieses Verhalten wurde auch bei Kaltstarts dieses Netzgeräts beobachtet. Bei drei Testgeräten mit aktiver PFC – PSSR-SG24 von Idec, DLP240-24-1/E von Lambda, S8VS-24024AP von Omron – kam es nach erfolgtem Rücksprung zu Oszillationen des Eingangsstroms, wie Bild 17 zeigt, wobei diese

beim Netzgerät PSSR-SG24 von Idec am längsten anhielten. Bei den übrigen getesteten aktiven PFC-Schaltnetz-teilen waren bei der Rückkehr zum Normalbetrieb keine Oszillationen im Ein-gangsstrom zu beobachten.

Verhalten bei kurzzeitigem Ausfall der Eingangsspannung

Eine weitere Kenngröße im Zusammen-hang mit Spannungseinbrüchen ist die Verweilzeit. Diese beschreibt

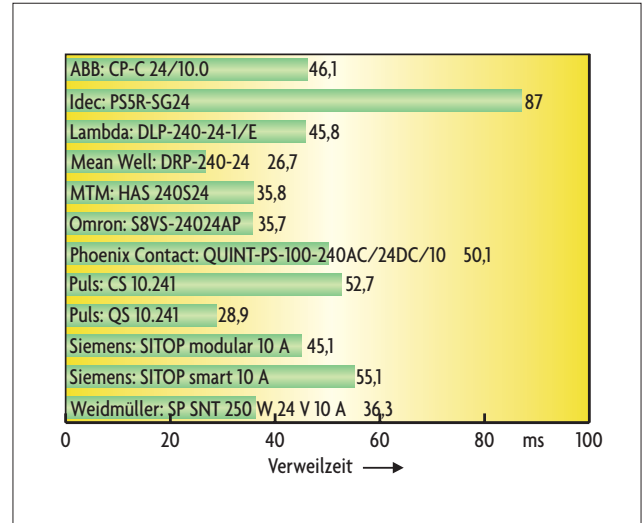


Bild 18. Fällt die Eingangsspannung aus, so können Netzgeräte die Aus-gangsspannung noch für eine als Verweilzeit definierte Zeitspanne auf einem Wert > 95 % des Ursprungswertes halten. Bei einem Ausfall der 230-V-Eingangsspannung und Volllast erreichte das Netzgerät PSSR-SG24 von Idec mit 82,6 ms die längste Verweilzeit – es ist als einziges Netzgerät im Test speziell gemäß dem Standard SEMI F47 der Halbleiterindustrie aus-gelegt. Alle anderen Netzgeräte sind jedoch ebenfalls in der Lage, bei Komplettausfall des Netzes mindestens für 20 ms die Ausgangsspannung aufrechtzuerhalten.

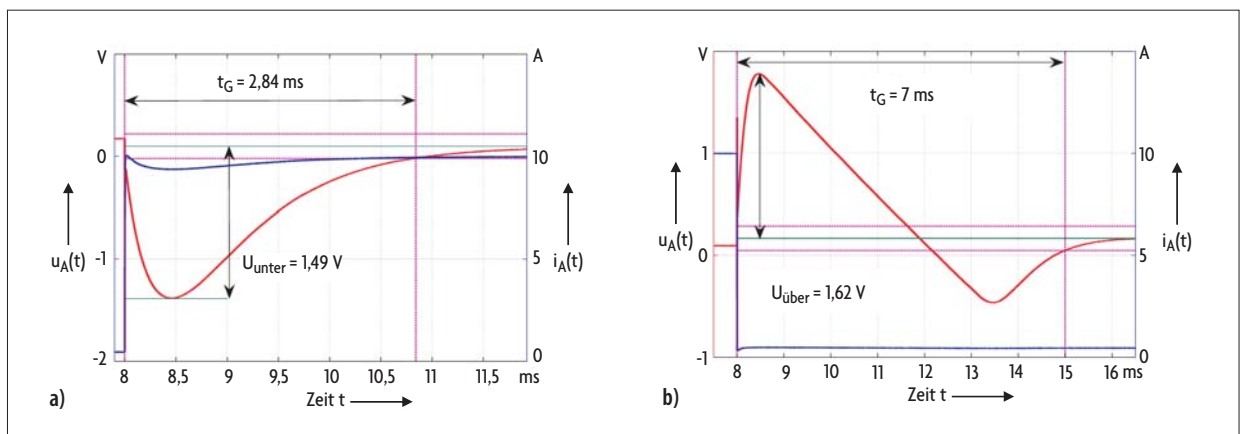


Bild 19. Das Ausregelverhalten des Netzgerätes HSA240 S24 von MTM. a) Zeitverlauf beim positiven Lastsprung von 5 % auf 100 % des Nennwerts. Die größten Abweichungen der Ausgangsspannung treten jedoch für den umgekehrten Fall, den negativen Lastsprung, auf (b) – Spannungsüber-schwinger mit bis zu 1,62 V. Die Ausregelzeit kann bis zu 7 ms betragen (Ausgangsspannung bezogen auf Nennwert 24 V).

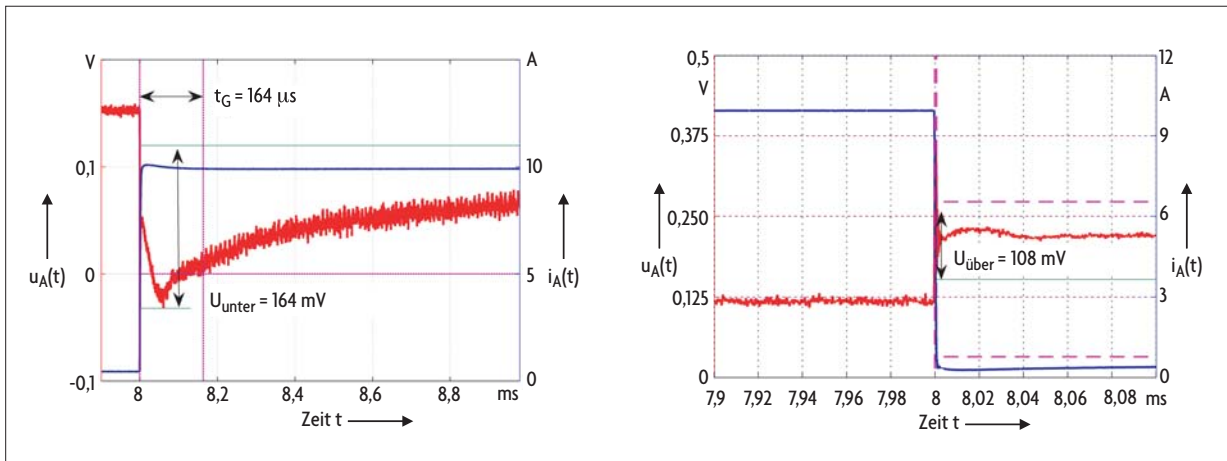


Bild 20. Das Netzgerät *DLP240-24-1/E* von Lambda weist nur ein geringes Über- bzw. Unterschwingen auf und regelt in kurzer Zeit aus (Ausgangsspannung bezogen auf Nennwert 24 V).

die Zeitspanne, in der ein Stromversorgungsgerät die Ausgangsspannung bei Wegfall der Versorgungsspannung innerhalb eines bestimmten Wertebereichs halten kann. Bei den gemessenen Verweilzeiten in **Bild 18** schneidet das Netzgerät *PS5R-SG24* von Idec mit Abstand am besten ab. Dieses Gerät ist nach Datenblatt auch für die Anwendung in der Halbleiterindustrie (Standard Semi F47) geeignet. Sämtlichen übrigen Schaltnetzteilen gelingt es unter den angegebenen Bedingungen, die Ausgangsspannung für mindestens eine Netzperiode über 95 % des Anfangswertes zu halten. Hinsichtlich der Datenblattangaben war mit der gewählten 95%-Schranke eine gute Übereinstimmung mit den angegebenen typischen Werten der Hersteller zu verzeichnen. Die garantierten Datenblattwerte wurden zum Teil erheblich übertroffen – wie zum Beispiel beim *PS5R-SG24* von Idec, mit einem garantierten Wert der Verweilzeit von 20 ms laut Homepage des Herstellers.

▣ Dynamisches Lastverhalten

Neben abrupten Änderungen der Eingangsspannung wurden auch plötzliche Laständerungen untersucht. Auf Seiten des Anwenders ist dabei eine möglichst schnelle Ausregelung der Effekte dieser Störgrößenänderung auf die Ausgangsspannung wünschenswert. Infolge dieser Ausregelvorgänge sollte es aber zu keinem allzu großen Unter- oder Überschwingen der Regelgröße kommen. Für die

Auswertung der in den **Bildern 19** und **20** dargestellten Zeitverläufe der Regelgröße Ausgangsspannung wurden Abweichungen von $\pm 0,5\%$ bezogen auf den Nennwert von 24 V zugrunde gelegt. Das Netzgerät *DLP240-24-1/E* von Lambda reagiert

Die Reaktion der Testgeräte auf dynamische Überlastsituationen wurde wiederum mit Hilfe der für die Messung der stationären Kennlinie verwendeten elektronischen Last (Heiden, 1308-901) ermittelt. Hierfür wurde den getesteten Stromversorgungs-

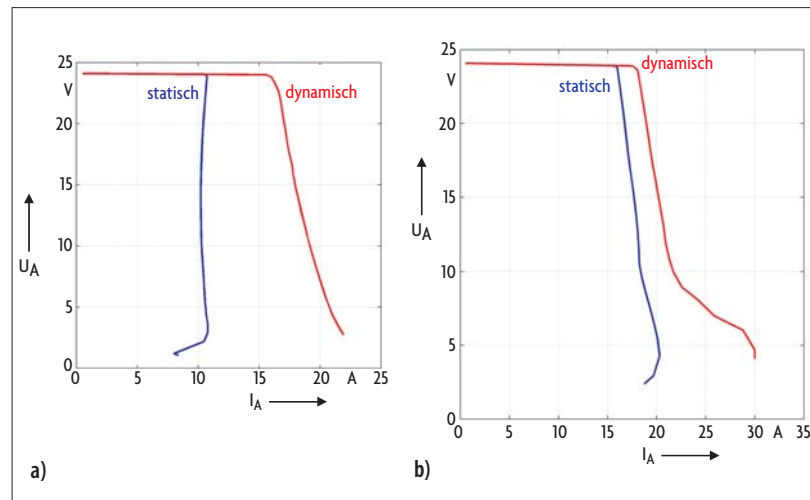


Bild 21. Netzgeräte mit ausgeprägter dynamischer Überlastfähigkeit: Gegenüber dem stationären Zustand (siehe auch **Bild 9** in Teil 1 [9]) können die beiden Netzteile *QS10.241* von Puls (a) und *SITOP smart 10 A* von Siemens (b) kurzzeitig Lastströme über dem maximalen Dauerstrom liefern.

te mit den geringsten Abweichungen des Testfeldes auf die dargestellten Sprünge des Laststroms von 0,5 A auf 10 A. Beim Netzgerät *HSA240 S24* von MTM kam es zu deutlichen Abweichungen des Momentanwertes der Ausgangsspannung vom anschließenden Endwert. Dementsprechend lange fiel die Gesamtausregelzeit vom Zeitpunkt des Stromsprungs bis zum Erreichen des Eintrittsbereichs der Regelgröße aus.

geräten, ausgehend von der Nennlast, schlagartig eine Überlast abverlangt und die Ausgangsgrößen nach 500 ms gemessen. Bei diesem Test zeigten lediglich die Netzgeräte *QS10.241* von Puls und das *SITOP smart 10 A* von Siemens nennenswerte Abweichungen zur statischen Kennlinie, wie in **Bild 21** gezeigt. Diese beiden Geräte verfügen über eine dynamische Überlastfähigkeit z.B. zum Abfangen von Anlaufvorgängen. *hs*

Industrie-Schaltnetzgeräte im Test

Zwölf Schaltnetzgeräte 24 V / 10 A für die Hutschiene – Teil 3: elektromagnetische Verträglichkeit

Nach der Prüfung stationärer und dynamischer Eigenschaften in den Heften 8 und 9 [9, 13] folgt nun im dritten und letzten Teil des Netzgeräte-Vergleichstests die Untersuchung der elektromagnetischen Verträglichkeit.

Von Alexander Bucher, Prof. Dr.-Ing. Manfred Albach, Prof. Dr.-Ing. Thomas Dürbaum und Daniel Kübrich

Die Überprüfung der Testgeräte hinsichtlich ihrer Störfestigkeit gegen schnelle transiente elektrische Störgrößen [10] und gegen Stoßspannungen [11] brachte keine nennenswerten Abweichungen des Betriebsverhaltens nach Anwendung der höheren Prüfschärfegrade der DIN EN 61204-3 (Burst mit 2 kV, Surge mit 1 kV Leiter-Leiter und 2 kV Leiter-Erde) hervor.

Leitungsgeführte Störungen

Neben Anforderungen zur Störfestigkeit sieht DIN EN 61204-3 auch die

Erfüllung von Normen zur Störausendung vor. Die bereits erwähnte DIN EN 61000-3-2 reglementiert dabei die niederfrequenten Rückwirkungen auf das Stromversorgungsnetz, wohingegen in DIN EN 55022 [12] die Grenzwerte für die höherfrequenten Funkstörspannungen festgelegt sind. Für den Einsatz der untersuchten Stromversorgungsgeräte in Wohn-, Geschäfts- und kleinindustrieller Umgebung müssen dabei die Grenzwerte der Klasse B eingehalten werden. Bild 22 und Bild 23 zeigen den verwendeten Messaufbau zur Bestimmung der leitungsgeführten Störgrößen. Dargestellt ist ferner die Aufteilung des hochfrequenten Störstroms in Gleichtakt- (common-mode, cm) und Gegentakt-Anteile (differential-mode, dm).

Im Hinblick auf die durchzuführenden Entstörmaßnahmen ist eine Aufteilung der Funkstörspannungen in ihren Gleichtakt- und Gegentakt-Anteil erforderlich. Hierfür wurden zwei Strommesszangen (Typ: CT-2) von Tektro-nix in geeigneter Weise im Messpfad der 50-Ω-Widerstände installiert. Durch die gezeigte Verschaltung kann am Abgriff der oberen Messzange eine zum auftretenden Gleichtakt-Störstrom proportionale Spannung detektiert werden. An der unteren Strommesszange erhält man ein zum Gegentakt-Störstrom proportionales Spannungssignal. Bei der gezeigten Positionierung der Strommesszangen ergeben sich zwei entscheidende Vorteile:

► Es kann keine Sättigung der Strommesszangen infolge der 50-Hz-Ströme auftreten.

Der von der Norm geforderte Frequenzgang der Netznachbildung ist in den beiden Messsignalen automatisch berücksichtigt.

Zur genaueren Charakterisierung der Funkstörspannungen wurden anstelle von Leistungswiderständen – mit ihren großen Kühlkörpern – 24-V-Glühlampen mit entsprechend kleineren Erdkapazitäten als ohmsche Lasten eingesetzt. In einer zweiten Messung wurden die Ausgänge der Prüflinge leitend mit dem Schutzleiter verbunden, um z.B. den Fall eines großen Motors mit entsprechend großer Erdkapazität nachzubilden. Die Bilder 24 bis 26 zeigen exemplarisch die gemessenen Funkstörspannungspegel dreier Testgeräte. Während es beim Netzgerät *DRP-240-24* von Mean Well doch zu Grenzwertüberschreitungen bei Verwendung des Quasi-Spitzenwertdetektors kam (Bild 24), hielt das Netzgerät *QS10.241* von Puls in Bild 25 den größten Abstand des Testfeldes zu den zulässigen Grenzwerten ein. Das *QUINT-PS-100-240AC/24DC/10* von Phoenix Contact (Bild 26) wies im zweiten Messaufbau – Netzgeräte-Ausgang mit Schutzleiter verbunden – verglichen mit dem ersten Messaufbau eine Zunahme der gemessenen Funkstörspannung im Bereich zwischen 0,5 MHz und 1 MHz auf.

Messaufbau und Messtechnik können Zeit einsparen helfen

Bereits die Ermittlung grundlegender Kenngrößen eines Schaltnetzteils stellt einige Anforderungen an die zu verwendende Messtechnik. Die benutzten Messgeräte sollten über möglichst kleine Messunsicherheiten verfügen. Ferner ist es wünschenswert, dass insbesondere der Prüfgenerator – neben der Bereitstellung der Versorgungsspannung – Fähigkeiten zur Generierung bestimmter transienter Kurvenformen aufweist. Je vielfältiger der Prüfgenerator einsetzbar ist, desto mehr Kenngrößen können in ein und demselben Aufbau ermittelt werden.

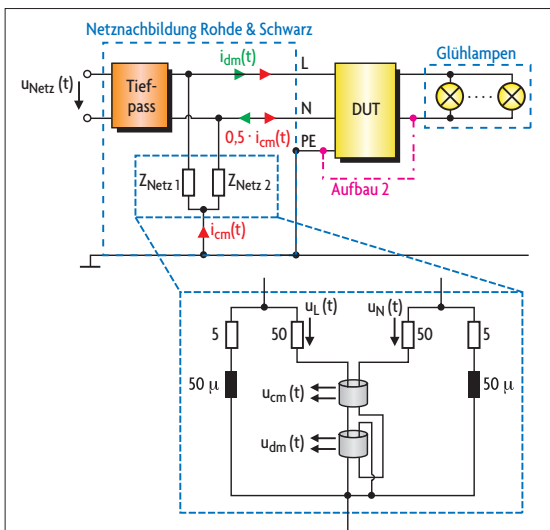


Bild 22. Die in der schematischen Darstellung des Messaufbaus erkennbare Modifikation der Netznachbildung erlaubt die getrennte Bestimmung der Gleichtakt- (common-mode, cm) und Gegentakt-Funkstörspannungen (differential-mode, dm), die im Rahmen der hier dargestellten Untersuchungen [1] ebenfalls als solche separat gemessen wurden. Von größerem Interesse ist diese Trennung insbesondere für eine zielgerichtete Entstörung während der Entwicklungsphase.

Agilent Technologies (www.agilent.de) hat für die Dauer der Messungen zu diesem Projekt dem Lehrstuhl für Elektromagnetische Felder der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg einen Netz-Analyser des Typs 6813B (AC Power Source/Analyzer) kostenfrei zur Verfügung gestellt. Die Heidenpower GmbH (www.heidenpower.de) unterstützte das Projekt mit der leihweisen Überlassung einer elektronischen Last des Typs 1308-901. Beiden Unternehmen dankt die *Elektronik* für die Unterstützung dieses Projektes.

Die Ausarbeitung reproduzierbarer Messaufbauten stellt sich in der Regel als sehr zeitintensiv heraus. Zur Verifikation der gewonnenen Ergebnisse wurden diese so weit wie möglich mit alternativen Messmethoden abgesichert [1]. Diese Vorgehensweise treibt zwar einerseits den nötigen Zeitaufwand in die Höhe, andererseits werden die gewonnenen Ergebnisse noch einmal überprüft.

Auch die Durchführung der Messreihen selbst nimmt je nach erforderlichem Detaillierungsgrad sehr viel Zeit in Anspruch. Die dabei anfallenden

Datenmengen sind, insbesondere bei Zeitverläufen mit langer Beobachtungsdauer und hoher Abtastrate, enorm und daher nur durch automatisierte Auswerterroutinen sinnvoll handhabbar. Die Programmierung solcher Auswerterroutinen und der Steuerroutinen der Messprozeduren erhöht zwar das anfängliche Arbeitspensum, stellt aber sicher, dass die verschiedenen Prüflinge unter gleichen Bedingungen getestet werden.

Eine gründliche Überprüfung des verwendeten Messaufbaus ist in besonderem Maße für die Durchführung von EMV-Messungen wichtig. Die Sicherstellung eines niedrigen Fremdstörspegels ist für diese Messungen entscheidend, um die gemessenen Pegel auch eindeutig dem Testobjekt zuordnen zu können [1].

Häufig wird der Zeitaufwand für die Durchführung ausführlicher Tests von Schaltnetzteilen unterschätzt. Der Anwender selbst hat für die Durchführung solcher Untersuchungen in der Regel weder Mittel noch Ressourcen und kann die Angaben der Hersteller bezüglich der Eigenschaften ihrer Produkte selbst kaum überprüfen. Wie die Untersuchungen im Rahmen dieses Artikels aber zeigen, kann sich der Anwender in der Regel auf die Datenblattangaben

der getesteten Geräte verlassen. Die vorgestellten Messergebnisse einiger ausgewählter Kenngrößen bestätigen jedoch, dass sich innerhalb der Gruppe der untersuchten Hutschienen-Schaltnetzteile merkliche Unterschiede ergeben. Bei nahezu allen durchgeführten Tests traten Eigenheiten bestimmter Geräte zutage, mit denen sich der An-

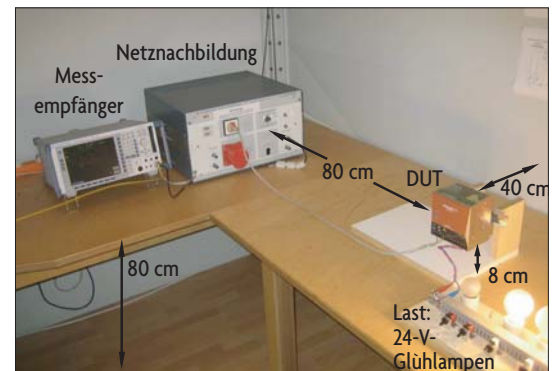


Bild 23. Die Messungen zur Bestimmung der Funkstörspannungen erfolgten in einer abgeschirmten EMV-Kammer. Im Foto sind die in der Norm vorgeschriebenen Abstände eingetragen.

wender im Hinblick auf seine Applikationsanforderungen auseinandersetzen muss. Dementsprechend kritisch können z.B. nicht dauerhaft überlastfähige Geräte bewertet werden, wenn vom Anwender von vornherein abzusehen ist,

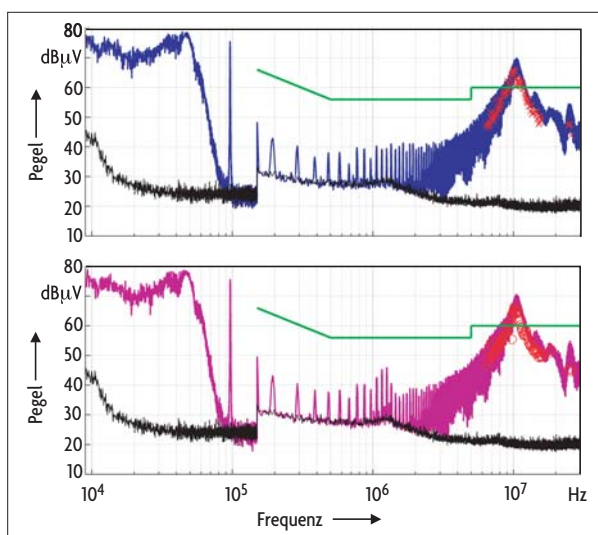


Bild 24. Die Messkurve der Funkstörspannung – Spitzenwertdetektor, Nachmessung mit Quasi-Peak (1 s) – gemessen am Netzgerät *DRP-240-24* von Mean Well: Der gemessene Pegel nähert sich in beiden Messaufbauten – oben Messaufbau 1, unten Messaufbau 2, Netzgerätea Ausgang mit Schutzleiter verbunden – oftmals der Grenzwertkurve der Klasse B (grün). Auch die Nachmessungen mit Quasi-Peak-Detektor im Bereich um 10 MHz (rote Kreuze bzw. rote Kreise) liefern hohe Pegel.

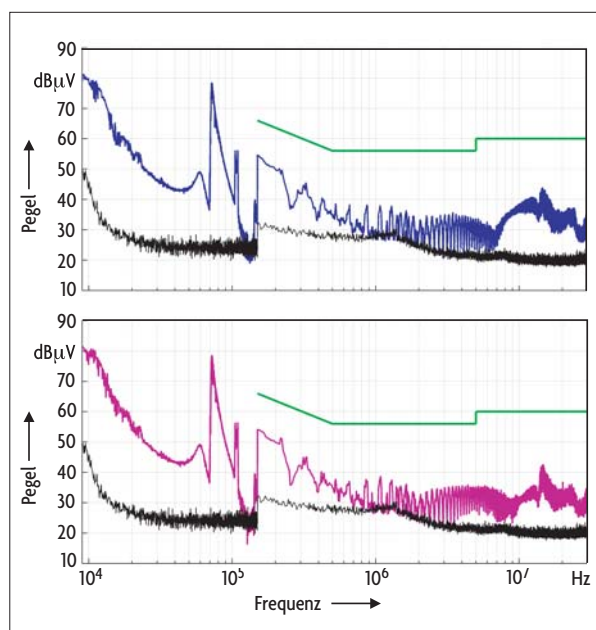


Bild 25. In Relation zu den anderen Netzgeräten im Test zeigt die Messkurve der Funkstörspannung – Spitzenwertdetektor – des Netzgerätes *QS10.241* von Puls einen hohen Abstand zur Grenzwertkurve der Klasse B (grün). Das obere Diagramm wurde mit Messaufbau 1 aufgenommen, die untere mit Messaufbau 2.

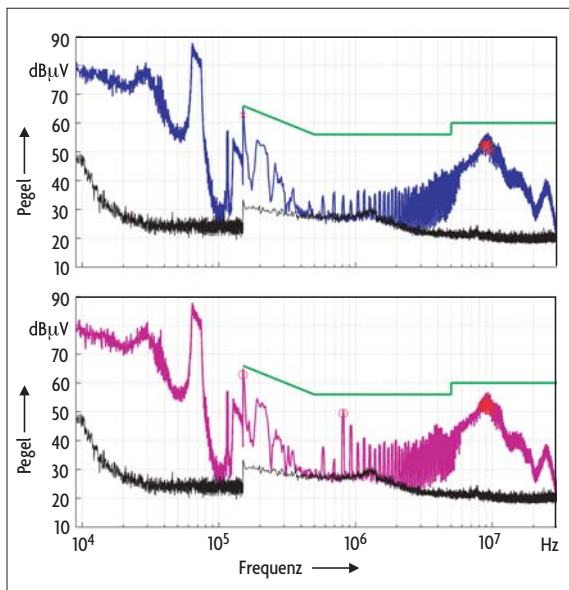


Bild 26. Beim Netzgerät *QUINT-PS-100-240AC/24DC/10* von Phoenix Contact erhöht sich der gemessene Pegel der Funkstörspannung – Spitzenwertdetektor, Nachmessung mit Quasi-Peak (1 s) – im Messaufbau 2 (unten), wenn der Netzgeräteausgang mit dem Schutzleiter verbunden ist, verglichen zum Messaufbau 1 (oben) im Bereich um 800 kHz. Die mit Quasi-Peak-Detektor gemessenen Pegel sind mit roten Kreuzen bzw. roten Kreisen eingetragen.

dass solche Lastsituationen nicht verhindert werden können. Im Umkehrschluss sind Kenngrößen wie der Einschaltstrom im kalten Zustand eher von untergeordneter Bedeutung, wenn das Gerät für einen ununterbrochenen Betrieb vorgesehen ist und Einschaltvorgänge demnach nur vereinzelt vorkommen. Nur der Anwender kann mit Blick auf die von ihm geplante Applikation

die hierfür kritischen Parameter identifizieren und muss die Testergebnisse dementsprechend bewerten, um das am besten geeignete Netzgerät auswählen zu können. *hs*

Literatur

- [1] *Bucher, A.*: Vergleichende wissenschaftliche Untersuchungen an Stromversorgungen. Diplomarbeit, Dezember 2006, Lehrstuhl für Elektromagnetische Felder, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.
- [2] *Schubert, H.*: DC/DC-Wandler und EMV. *Elektronik* 2006, H. 9, S. 138.
- [3] *Schubert, H.*: DC/DC-Wandler und EMV. *Elektronik* 2006, H. 12, S. 106.
- [4] DIN EN 61204-1, November 2001, Stromversorgungsgeräte für Niederspannung mit Gleichstromausgang – Eigenschaften.
- [5] DIN EN 61000-3-2, September 2005, Grenzwerte für Oberschwingungsströme (Geräte-Eingangstrom bis einschließlich 16 A je Leiter).
- [6] DIN EN 61204-3, Oktober 2001, Stromversorgungsgeräte für Niederspannung mit Gleichstromausgang – Teil 3: Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV).
- [7] DIN EN 61000-4-11, Februar 2005, Prüf- und Messverfahren – Prüfungen der Störfestigkeit gegen Spannungseinbrüche, Kurzzeitunterbrechungen und Spannungsschwankungen.
- [8] DIN 41747-1, Februar 1976, Stabilisierte Stromversorgungsgeräte; Meßverfahren, Stromversorgungsgeräte mit Gleichstromausgang.
- [9] *Bucher, A.; Albach, M.; Dürbaum, Th.; Kübrich, D.*: Industrie-Schaltnetzgeräte im Test – Teil 1: stationäre Eigenschaften. *Elektronik* 2007, H. 8, S. 56 – 65.

- [10] DIN EN 61000-4-4, Juli 2005, Prüfung der Störfestigkeit gegen schnelle transiente elektrische Störgrößen/Burst.
- [11] DIN EN 61000-4-5, Dezember 2001, Prüfung der Störfestigkeit gegen Stoßspannungen.
- [12] DIN EN 55022, September 2003, Einrichtungen der Informationstechnik; Funkstöreigenschaften – Grenzwerte und Messverfahren.
- [13] *Bucher, A.; Albach, M.; Dürbaum, Th.; Kübrich, D.*: Industrie-Schaltnetzgeräte im Test – Teil 2: dynamische Eigenschaften. *Elektronik* 2007, H. 9, S. 72 – 78.



Dipl.-Ing. Alexander Bucher

studierte bis 2006 allgemeine Elektrotechnik an der Friedrich-Alexander-Universität (FAU) Erlangen-Nürnberg. Seit 2007 arbeitet er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Elektromagnetische Felder der FAU. Seine Arbeitsgebiete umfassen die Analyse resonanter Wandler sowie die Untersuchung feldtheoretischer Aufgabenstellungen aus dem industriellen Umfeld.

alexander.bucher@emf.eei.uni-erlangen.de



Dipl.-Ing. Daniel Kübrich

absolvierte eine Ausbildung zum Industrie-elektroniker bei der Siemens AG, Erlangen. Er studierte allgemeine Elektrotechnik an der FAU Erlangen-Nürnberg. Seit 2004 befasst er sich als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für elektromagnetische Felder mit Leistungselektronik, insbesondere mit Schaltungen zur Leistungsfaktorkorrektur.

d.kuebrich@emf.eei.uni-erlangen.de



Prof. Dr.-Ing. Manfred Albach

leitet seit 1999 den Lehrstuhl Elektromagnetische Felder an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Zu den Forschungsschwerpunkten gehören die Maxwell'sche Feldtheorie und die Leistungselektronik mit den Schwerpunkten Elektromagnetische Verträglichkeit und induktive Komponenten.

m.albach@emf.eei.uni-erlangen.de



Prof. Dr.-Ing. Thomas Dürbaum

vertritt seit Ende 2003 das Gebiet der Schalt- netzteiltechnologie an der FAU Erlangen-Nürnberg in Forschung und Lehre. Seine Forschungsinteressen umfassen hochfrequent getaktete AC/DC- sowie DC/DC-Netzteile unter Ausnutzung weichschaltender und resonanter Prinzipien sowie die Modellierung und Regelung von Stromversorgungssystemen.

t.duerbaum@emf.eei.uni-erlangen.de