

Die Schutzwirkung von IT-Schaltnetzteilen gegenüber leitungsgeführten Störungen auf der Netzspannung

Dipl.-Ing. Tim Peikert, Institut für Grundlagen der Elektrotechnik und Messtechnik, Leibniz Universität Hannover

Dipl.-Ing. Adrian Kreth, Institut für Grundlagen der Elektrotechnik und Messtechnik, Leibniz Universität Hannover

Prof. Dr.-Ing. Heyno Garbe, Institut für Grundlagen der Elektrotechnik und Messtechnik, Leibniz Universität Hannover

Dr.-Ing. Stefan Potthast, Wehrwissenschaftliches Institut für Schutztechnologien, Munster

1. Kurzfassung

Schaltnetzteile sind ein weit verbreitetes Betriebsmittel zur Wandlung der netzseitigen Wechselspannung in Gleichspannung. In IT-Systemen werden vorwiegend solche Schaltnetzteile zur Versorgung der internen Systemkomponenten verbaut. Ohne spezielle Filter stellen diese Netzteile den einzigen Schutz für die interne Hardware gegenüber leitungsgeführten Störsignalen dar. Im Allgemeinen stellen Schaltnetzteile aber durch den notwendigen Transformator und die hochfrequenten Schaltvorgängen selber eine elektromagnetische (EM) Störquelle da. Daher wird die elektromagnetische Störaussendung speziell in der Norm EN 50950 und der EMV-Richtlinie 2004/108/EC geregelt. Die Norm weder die Richtlinie schreiben nähere Untersuchung einer Schutzwirkung gegenüber bewusst hervorgerufenen leitungsgeführten Störungen vor.

2. Einleitung

Die Motivation der hier vorgestellten Arbeit ergibt sich aus der wachsenden Gefahr mittels Intentional Electromagnetic Interference (IEMI) angegriffen und der immer größeren Bedeutung von komplexen IT-Systemen im Leben unserer modernen Gesellschaft. Zur Bereitstellung der unterschiedlichen benötigten Spannungen für die Hardware der IT-Systeme werden vorwiegend Schaltnetzteile verwendet. Server Strukturen sind überwiegend mit Überspannungsschutz und Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) gegen Störungen auf der Netzspannung abgesichert. Dies ist bei IT-Clients, die mit dem Server kommunizieren, nicht die Regel. So stellen die Netzteile einen wichtigen Schutz vor leitungsgeführten Störungen da. Daher wird in dieser Arbeit die Schutzwirkung gegenüber leitungsgeführten Störungen auf der Netzspannung näher analysiert.

Ein IT-Schaltnetzteil besteht aus unterschiedlichen Stufen [1], welche in Bild 1 abgebildet sind. Die Eingangsstufe besteht aus einem Netzfilter zur Entstörung, Gleichrichtung und Siebung, so dass theoretisch keine Überspannungen, Oberwellen und andere Netzstörungen auf die folgenden Stufen gelangen. Aus der Wechselspannung wird eine hohe Gleichspannung erzeugt, die durch die folgende Transistor-schaltstufe wieder zu einer Wechselspannung mit einer höheren Frequenz zwischen 35 und 500 kHz gewandelt wird. Durch die hohe Frequenz können kleine Transformatoren verwendet werden. Was zur Übertragung höherer Leistungen und gleichzeitig zur Ver-

kleinerung der Baugröße eines Netzteils führt. Über mehrere Sekundärwicklungen werden unterschiedliche Ausgangsspannungen geliefert. Der geschlossene Regelkreis sorgt für die Ausgangsleistung, das Lastabhängig die geforderten Ströme fließen.

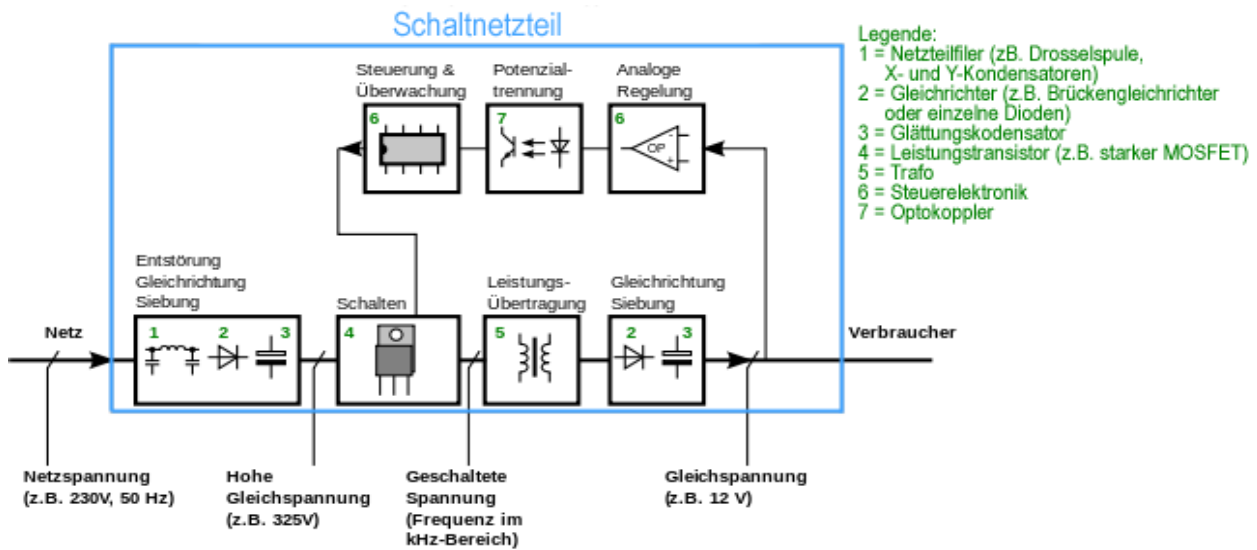


Bild 1: Topologischer Aufbau eines Schaltnetzteils [1]

Typischerweise schützen Schaltnetzteile sich selbst vor Überspannungen auf der Eingangsseite und über eine Strombegrenzung vor einer zu großen Ausgangsleistung. In wie Fern dieser Schutz ausreichend gegenüber bewusst hervorgerufenen leitungsgekoppelten Störungen auf der Netzspannung ist, wird in im folgenden Kapitel näher untersucht.

3. Störmessung der Schaltnetzteile und Ergebnisse

Die Messungen wurden unter Berücksichtigung der Normen IEC 61000-4-4 /-5 /-6 [4, 5, 6] realisiert. Das zu untersuchende System wurde über ein Line Impedance Stabilization (LISN) der Firma Rohde & Schwarz des Typs ESH 3-Z 5 vom Hausnetz getrennt. Das Störsignal wurde über die 1 m lange kapazitive Koppelzange von Schaffner auf die Netzleitung zum Netzteil eingekoppelt. Die zu treibende Ausgangslast am Netzteil wurde über unterschiedliche Leistungswiderstände realisiert, um eine definierte Belastung von 25%, 50% und 75% des Netzteils zu gewährleisten.

Als Netzteil wurden handelsübliches 420 Watt Netzteile gleichen Types verwendet. Insgesamt wurden zehn Stück für die jeweiligen Messungen verwendet, um eine bessere statische Aussage über das Ausfallverhalten zu erhalten. Für die Beschreibung des Ausfallverhaltens werden die Breakdown Failure Rate (BFR) und Destruction Failure Rate (DFR) von Camp [2] verwendet.

$$BFR = \frac{\text{Anzahl der Ausfälle}}{N_B} \quad \text{und} \quad DFR = \frac{\text{Anzahl der Zerstörungen}}{N_B} \quad (1)$$

In Gl.(1) beschreibt N_B die Anzahl der Beaufschlagung des Systems mit einer definierten elektromagnetischen Störgröße. Mit der Strommesszange wurde jeweils die unterschiedlichen Kabel von 3,3 Volt, 5 Volt und 12 Volt vermessen.

Die Netzteile waren für die Vermessung in einem PC-Gehäuse verbaut, um negative Effekte wie auftretende Resonanzen im Gehäuse zu berücksichtigen. Die Zuleitung von

der kapazitiven Koppelzange bis zum Netzteil betrug in jeder Messung 0,5 m. Die Auswirkung von transienten Pulsen im Versorgungsnetz in Gebäuden wurde von Hagmann [3] beschrieben und wurde in dieser Arbeit vernachlässigt.

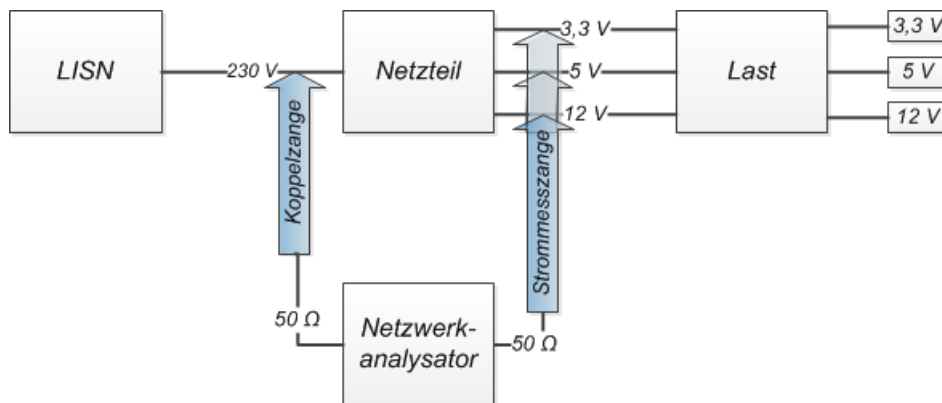


Bild 2: Messaufbau mit einem Netzwerkanalysator

Zur Messung des Koppelverhaltens wurden unterschiedliche Signalgeneratoren verwendet. Zu einem wurde wie in Bild 2 das DUT (Device Under Test) mit einem Netzwerkanalysator des Typs Agilent PNA N5222A oder R&S VNA ZVC gestört und der zugehörige S_{21} Parameter aufgenommen. Zusätzlich wurde das Störsignal mit einem Linear Verstärker (Amplifier Research 25A250A (10k bis 250MHz) und ENI 607L (0,5 bis 1000 MHz) verstärkt.

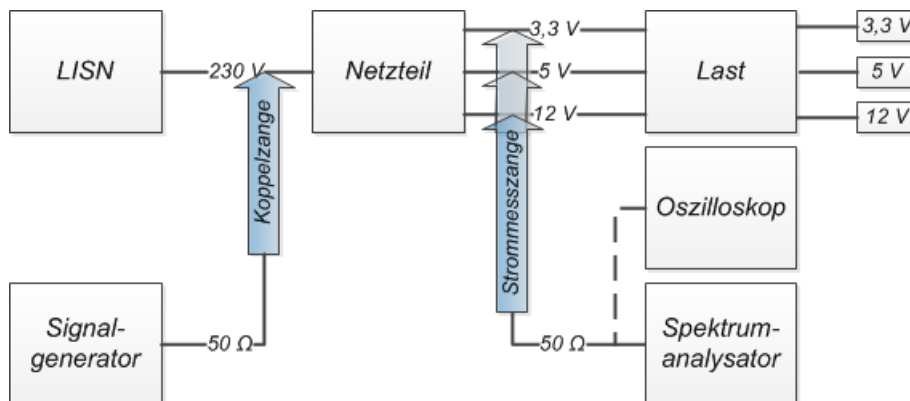


Bild 3: Messaufbau mit Signalgenerator und Spektrum Analysator

Zum anderen wurde das Störsignal wie in Bild 3 durch drei unterschiedliche Signalgeneratoren erzeugt:

- SMT – 3 Signalgenerator von R&S (kontinuierlicher Sinus)
- NSG2025 Burst Generator von Schaffner (Burst Signal)
- PBG 3 High Voltage Pulse Generator von Kentech Instruments Ltd. (doppelt exponentieller Puls)

Damit wurde die Schutzwirkung gegenüber unterschiedlichen transienten Störsignalformen genauer untersucht.

3.1 Messung mit Netzwerkanalysator

Als erste Analyse wurde das Übertragungsverhalten mit einem Netzwerkanalysator analysiert. Hierzu wurden die S_{21} Parameter unterschiedlichen Ausgangsleistungen gemessen und das Ausgangssignal des Netzwerkanalysators zusätzlich um 7 Watt (38 dBm) verstärkt. Es wurde ein Frequenzbereich von 20 kHz bis 1 GHz gewählt, da die Netzteile oberhalb von 1 GHz ein gutes Schutzverhalten gegenüber leitungsgeführten Störungen zeigten. Bei niedrigen Frequenzen von einigen kilo Hertz bis ungefähr 300 MHz, ist eine deutliche Leistungsübertragung vom Eingang zur Ausgangsseite des Netzteils zu erkennen.

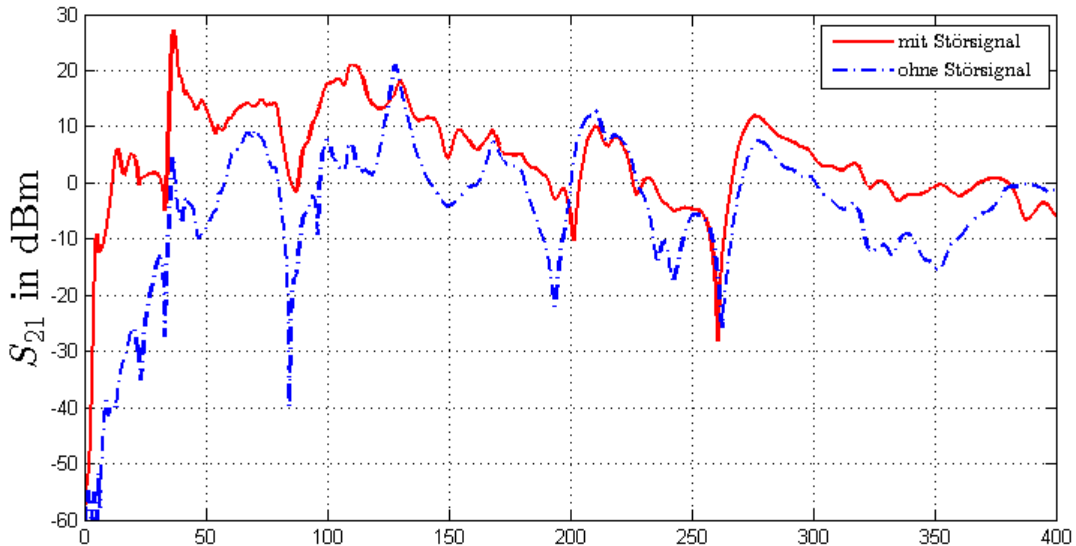


Bild 4: Übertragungsverhalten der Störung bei 30 dBm Eingangsleistung

Ab einem Grenzwert schaltet die Überspannungsschutzfunktion des Netzteils das Netzteil aus. Bei diesem Grenzwert bleibt bei weiterhin anliegendem Störsignal das Netzteil im Schutzmodus. Erst nach der Deaktivierung der Störgröße, kann das Netzteil wieder von Hand eingeschaltet werden.

Leistung	22 dBm	24 dBm	26 dBm	28 dBm	30 dBm
BFR @75%	5 %	35 %	75 %	100 %	100 %
BFR @50%	5 %	25 %	65 %	95 %	100 %
BFR @25%	0 %	10 %	15 %	80 %	95 %
DFR	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

Tabelle 1: Breakdown Failure Rate der Netzteile bei unterschiedlicher Belastung

In Tabelle 1 ist der ermittelte BFR-Wert von 20 Messungen die Belastungen von 25 %, 50 % und 75 % gegeneinander aufgestellt. Daraus lässt sich erkennen, dass bei einer höheren Belastung, die Elektronik anfälliger gegenüber Störungen ist. Das ist auf den Regelkreis (siehe Bild 1) zurück zu führen, da der Regelkreis im Netzteil für die geforderte Ausgangsleistung zuständig ist und bei höheren Lasten der Regelkreis häufiger die Transistorstufe schalten muss.

3.2 Messung mit Signalgenerator mit fester Frequenz

Als zweite Messung wurde ein kontinuierlicher Sinus mit fester Frequenz als Störsignal (Bild 5) und ein Spektrumanalysator zur Auswertung verwendet. Das Spektrum von drei

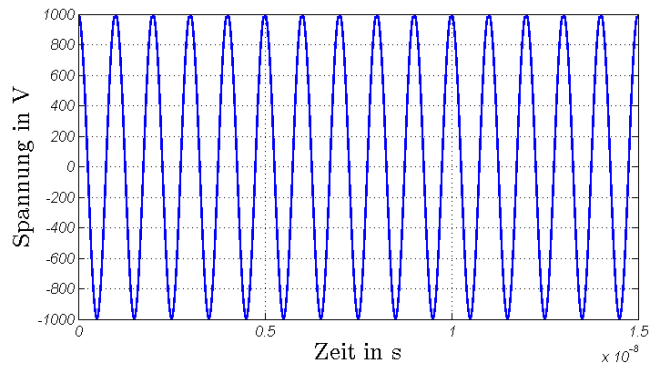


Bild 5: Signalgenerator von Rohde & Schwarz (links) zur Erzeugung eines Sinus als Störsignal (rechts)

Signalen mit 9 MHz, 21 MHz und 67 MHz des Störsignals ist in Bild 6 zu sehen. Im Spektrum sind die höheren Harmonischen des Störsignals deutlich zu erkennen. Die Signale wurden direkt vor dem Abschalten des Netzteils aufgenommen. Die Netzteile schalten sich bei Anspruch des Überspannungsschutz einer eingekoppelten Leistung auf die kapazitive Koppelzange von 23 dBm bis 30 dBm im Frequenzbereich zwischen 5 bis 16 MHz, zwischen 20 bis 23 MHz und im Bereich zwischen 65 bis 70 MHz aus. Bei höheren Frequenzen des Störsignals wird weniger Energie über die Leitung übertragen und jenseits von 70 MHz sinkt die BFR auf 0 %.

Frequenzbereich in MHz	0 bis 10	10 bis 20	20 bis 40	40 bis 70	70 bis 100
BFR @75%	65 %	85 %	25 %	85 %	5 %
BFR @50%	65 %	80 %	20 %	80 %	0 %
BFR @25%	60 %	75 %	15 %	80 %	0 %
DFR	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

Tabelle 2: Breakdown Failure Rate bei einem Sinus als Störsignal

Dass sich das Netzteil bei bestimmten Frequenzen ausschaltet, ist auf Resonanzen im Regelkreis des Netzteils und in dem Bauelemente des verwendeten Eingangsfilters zurückzuführen. In Bild 6 ist die Übertragung der höheren harmonischen bei einem Störsignal von einer Frequenz von 67 MHz zu sehen. Durch die höheren harmonischen besteht die Möglichkeit Resonanzen der IT-Hardware, die durch das Schaltnetzteil versorgt wird, zu treffen.

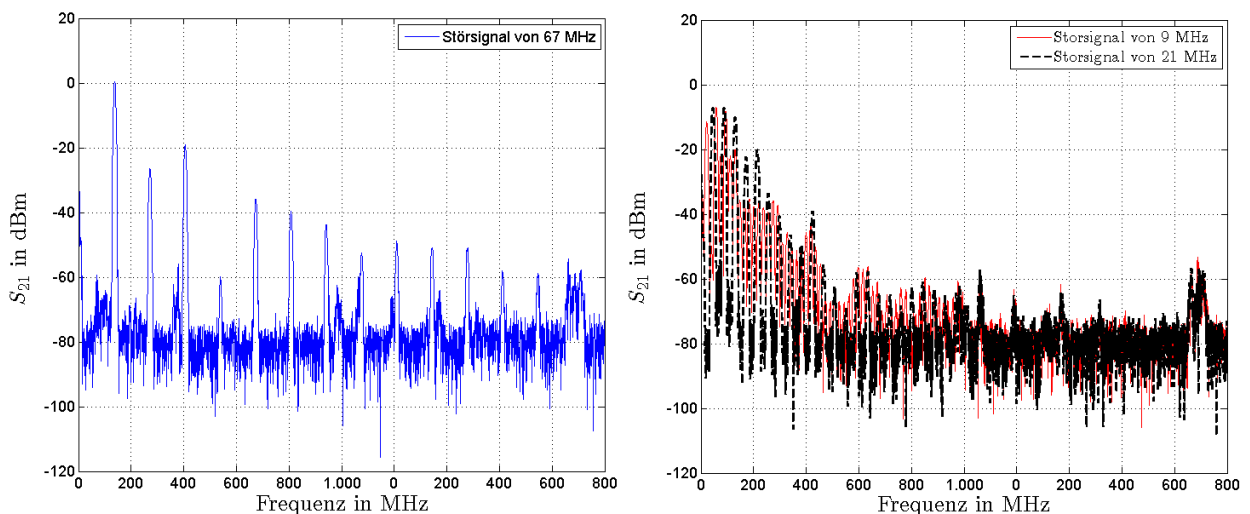


Bild 6: Störmessung mit Signalgenerator SMT 3 von R&S und der Messung des Spektrums am Ausgang

3.3 Messung mit Burst Generator

Eine weitere Messung wurde mit dem Burst Generator von Schaffner (Bild 7) durchgeführt. Hierfür wurde das Zeitsignal am Ausgang des Netzteils über ein Oszilloskop aufgenommen. Das gemessene Signal ist in Bild 8 zu sehen.

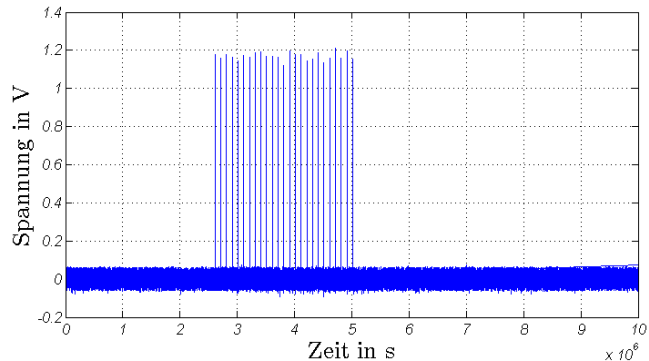


Bild 7: Burst Generator von Schaffner (links) zur Erzeugung des Störsignals (rechts)

Die drei Fälle (Bild 8) veranschaulichen wie groß der Einfluss vom ausgesendeten Feld über der leitungsgeführten Störung ist. Der Einfluss des Feldes fällt vergleichsweise gering gegenüber den beiden Messungen mit angeschlossenen Netzstecker aus.

Amplitude	-0,5 kV	0,5 kV	-2 kV	2 kV	4 kV	-4 kV
BFR @75%	0 %	0 %	0 %	0 %	100 %	100 %
BFR @50%	0 %	0 %	0 %	0 %	100 %	100 %
BFR @25%	0 %	0 %	0 %	0 %	100 %	100 %
DFR	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

Tabelle 3: Breakdown Failure Rate bei einem Burst Signal als Störsignal

Erst bei einer Ausgangsamplitude von 4 kV am Burstgenerator schalten sich die Netzteile zu jedem Puls kurzzeitig aus und danach sofort wieder ein. Die Netzteile mussten somit nicht wieder von Hand eingeschaltet werden, aber das ständige Ein- und Ausschalten könnte zu einem Defekt der zu versorgenden IT-Hardware führen. Weiterhin ist bei ausgeschaltetem Netzteil ein deutliches Störsignal auf der Ausgangsseite zu erkennen.

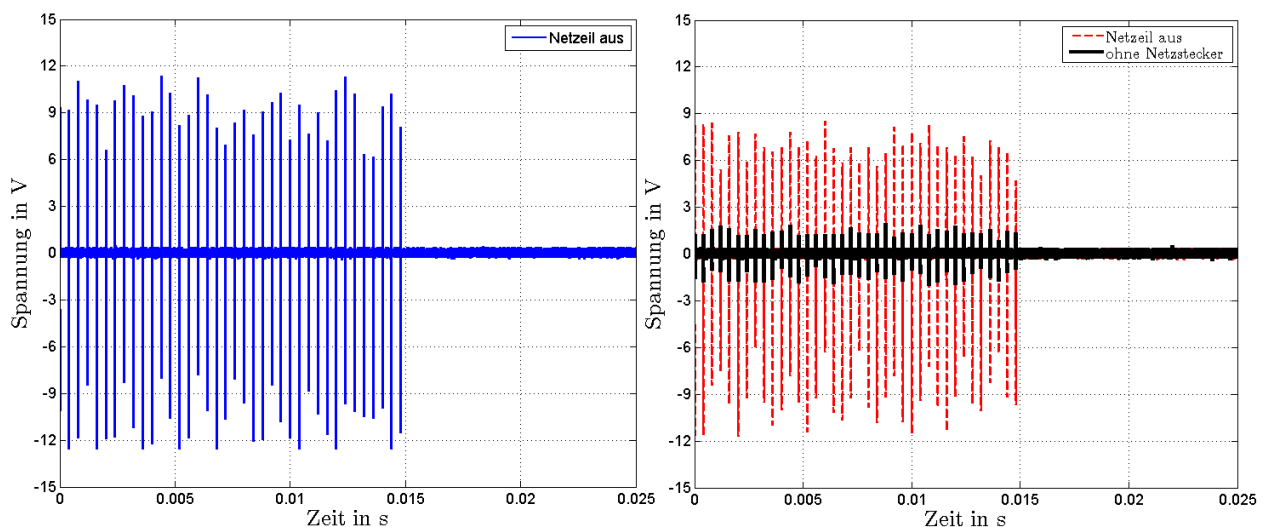


Bild 8: Zeitsignal bei der Störung mit einem Burst Signal

3.4 Messung mit High Voltage Pulse Generator

Als letzte Messung wurde ein doppelt exponentieller Puls nach Bild 9 verwendet, der vom PBG 3 erzeugt wurde. Der PBG 3 liefert als maximale Ausgangsamplitude einen Puls von 12 kV.

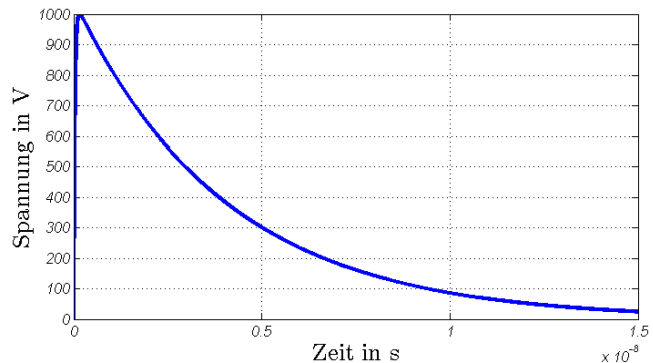


Bild 9: PBG 3 Generator (links) zur Erzeugung eines doppelt exponentiellen Pulses (rechts) als Störsignal

Auf der Ausgangseite des Netzteils wurde das Zeitsignal wie beim Burst Generator mit einem Oszilloskop aufgenommen. Das gemessene Signal ist in Bild 10 zu sehen und zeigt wieder die drei Varianten:

- Netzteil eingeschaltet
- Netzteil ausgeschaltet
- Netzteil ohne Netzstecker

In dieser Messung ist der Einfluss des ausgestrahlten Feldes gegenüber der leitungsgeführten Störung minimal. Hier ist ein deutliches Signal auf der Ausgangsseite zu erkennen, welches die zu versorgende IT-Hardware zusätzlich stören wird.

Amplitude	5 kV	8 kV	10 kV	12 kV
BFR @75%	0 %	0 %	10 %	100 %
BFR @50%	0 %	0 %	5 %	100 %
BFR @25%	0 %	0 %	5 %	100 %
DFR	0 %	0 %	0 %	0 %

Tabelle 4: Breakdown Failure Rate bei einem doppelt exponentiellen Puls als Störsignal

Bei dem maximalen Ausgangspegel des PBG 3 von 12 kV wurde das Netzteil ausgeschaltet. In diesem Fall blieben die Netzteile dauerhaft ausgeschaltet und gingen nicht wieder von selbst an oder ließen sich durch den Schalter wieder von Hand aktivieren.

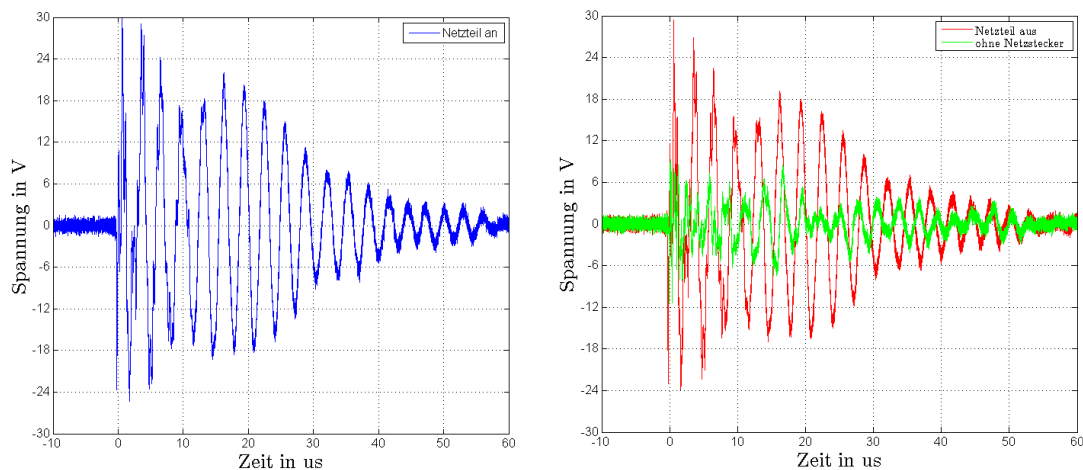


Bild 10: Zeitsignal bei der Störung mit einem doppelt exponentiellen Puls

Erst nach einstweiliger Trennung vom Netz, ließen sich die Netzteile wieder einschalten. Daher liegt die BFR hier bei 100 % Eine Zerstörung des Netzteils blieb auch bei diesem Störsignal aus.

4. Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Schutzwirkung von IT-Schaltnetzteilen gegenüber leitungsgeführten Störungen auf der Netzspannung untersucht. Es zeigte sich, dass die verschiedenen eingekoppelten Störsignale auf der Netzspannung durch das Netzteil auf die Ausgangsleitungen koppeln. Hierfür ist ein ein- oder ausgeschaltetes Netzteil nicht von großer Bedeutung, da die gemessenen Signale sich teilweise nur geringfügig voneinander unterscheiden. Bei Frequenzen oberhalb von 300 MHz wurde durch die EingangsfILTERstufe des Netzteils der Großteil herausgefiltert. Unterhalb von 300 MHz war eine eindeutige Übertragung des Störsignals vom Ein- zum Ausgang zu erkennen.

Des Weiteren ergab sich bei jedem Störsignalen ein Grenzwert, bei dem die Überspannungsschutzfunktion des Netzteils zum bewussten ausschalten führte. Größtenteils schaltete sich das Netzteil nach der Deaktivierung der Störquelle wieder von selbst ein, außer bei dem doppelt exponentiellen Puls. Hier musste das Netzteil vom Netz getrennt werden und war danach wieder einsatzbereit.

Es ist daher möglich über eine bewusste Störung auf der Netzleitung, ein IT-Netzteil ohne dessen Zerstörung auszuschalten. Über einen Burst-Signal kann das IT-System in den Zustand des ständigen Ein- und Ausschalten gebracht werden. Was sich negativ auf die Hardware nach dem Netzteil auswirken könnte.

Somit schützt ein Netzteil vor Frequenzen über 300 MHz, ist aber im Frequenzbereich von 0 bis 100 MHz anfällig auf Störungen, die auf die Ausgänge koppelt und so weiteren Schaden verursachen könnte.

5. Literatur

- [1] U. Schlien, Schaltnetzteile und ihre Peripherie: Dimensionierung, Einsatz, EMV, Springer Vieweg, (2012)
- [2] M. Camp, H. Garbe, and D. Nitsch, UWB and EMP susceptibility of modern electronics, 2001 IEEE EMC International Symposium. International Symposium on Electromagnetic Compatibility, vol. 2, pp. 1015-1020, 2001.
- [3] J. H. Hagmann, S. Dickmann and S. Potthast, Application and Propagation of Transient Pulses on Power Supply Networks, Proc. of the 10th Int. Symposium on Electromagnetic Compatibility, September pp. 26 – 30, 2011
- [4] DIN EN 61000-4-4, Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Teil 4-4: Prüf- und Messverfahren - Prüfung der Störfestigkeit gegen schnelle transiente elektrische Störgrößen/Burst, DIN, 2004.
- [5] DIN EN 61000-4-5, Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Teil 4-5: Prüf- und Messverfahren - Prüfung der Störfestigkeit gegen Stoßspannungen, 2005: DIN.
- [6] DIN EN 61000-4-6, Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Teil 4-6: Prüf- und Messverfahren - Störfestigkeit gegen leitungsgeführte Störgrößen, induziert durch hochfrequente Felder, DIN, 2006