Überspannungsphänomene „Surge“ und „Burst“ im industriellen Bereich

Störfestigkeit von Stromversorgungen gemäß IEC 61000-4-4 und IEC61000-4-5

Worst Case-Szenarien in der Industrie: Das Werkzeug versagt die Arbeit. Das wichtigste Instrument verweigert plötzlich den Dienst. Die Maschine steht still, die Produktion liegt auf Eis. All das kann geschehen, wenn eine recht unscheinbare Komponente unerwartet ausfällt: Die Stromversorgung.

Vor allem für industrielle Stromversorgungen gilt es entsprechend, eine höchstmögliche Ausfallsicherheit anzustreben und sich gegen eventuelle Störfälle zu wappnen. Zwei mögliche Störfaktoren sind die Überspannungsphänomene „Surge“ und „Burst“, für welche die entsprechende Störfestigkeit in der Normenreihe IEC 61000-4 geregelt wird. Dieser Fachartikel beschreibt die genannten Phänomene sowie die einzuhaltende Störfestigkeit laut geltender Norm grundlegend und gibt einige Tipps für die praktische Umsetzung in der Entwicklung sowie für die Auswahl einer geeigneten Stromversorgung.

Kurz gefasst

Die Stromversorgung ist eine meist unspektakuläre Komponente. Man erwartet, dass sie zuverlässig ihren Dienst tut. Fällt sie aus, kann dies schwerwiegende Folgen haben. Also gilt es die höchstmögliche Ausfallsicherheit anzustreben.

Die Überspannung und ihre Auswirkungen

Der Begriff „Überspannung“ beschreibt eine elektrische Spannung, welche den zulässigen Toleranzbereich der Nennspannung eines elektrischen Systems überschreitet. Für ein elektrisches Gerät hat das Phänomen aufgrund der mitunter destruktiven Wirkung eine zentrale Bedeutung: Die überschüssige Energie kann Bauteile der elektrischen Schaltung zerstören und auf diesem Wege zu Fehlern und Geräteausfällen führen. Deshalb ist es von enormer Wichtigkeit, die Störfestigkeit gegen mögliche auftretende Überspannungsfälle bei der Entwicklung einer Stromversorgung zu berücksichtigen.

Doch wann liegt ein sogenannter Überspannungsfall eigentlich vor? Innerhalb des europäischen Wechselspannungsnetzes liegt die Nennspannung gemäß der EN 60038 bei 230 V mit einer Toleranz von ±10 % in einphasigen Systemen. Somit sind in unserem Stromnetz Spannungen von mehr als 253 V per Definition als Überspannung anzusehen. Derartige Überspannungen können entweder dauerhaft auftreten, beispielsweise aufgrund einer fehlerhaften elektrischen Installation, oder aber kurzzeitig vorliegen, etwa durch Blitzeinschlag oder Schalthandlungen.

Während der Schutz eines Gerätes gegen dauerhafte Überspannungen nur unter sehr hohem Aufwand möglich wäre und zudem aufgrund des seltenen Ereigniseintritts innerhalb eines typischen Wechselstromnetzes auch nicht notwendig ist, liegen kurzzeitige Überspannungen häufiger vor als gedacht und bedingen entsprechende Schutzvorkehrungen. Die Überspannung kann dabei sowohl symmetrisch zwischen den elektrischen Leitern als auch asymmetrisch zwischen elektrischen Leitern und Erde auftreten.

Zwei Phänomene: Surge und Burst

Im Allgemeinen unterscheidet man im Rahmen der kurzzeitigen Überspannung zwei Phänomene,

Autoren:
Stefan Suttorp, Field Application Engineer Medical
Michael Brinkmeier, Head of Marketing, beide
FRIWO Gerätebau GmbH
www.friwo.de

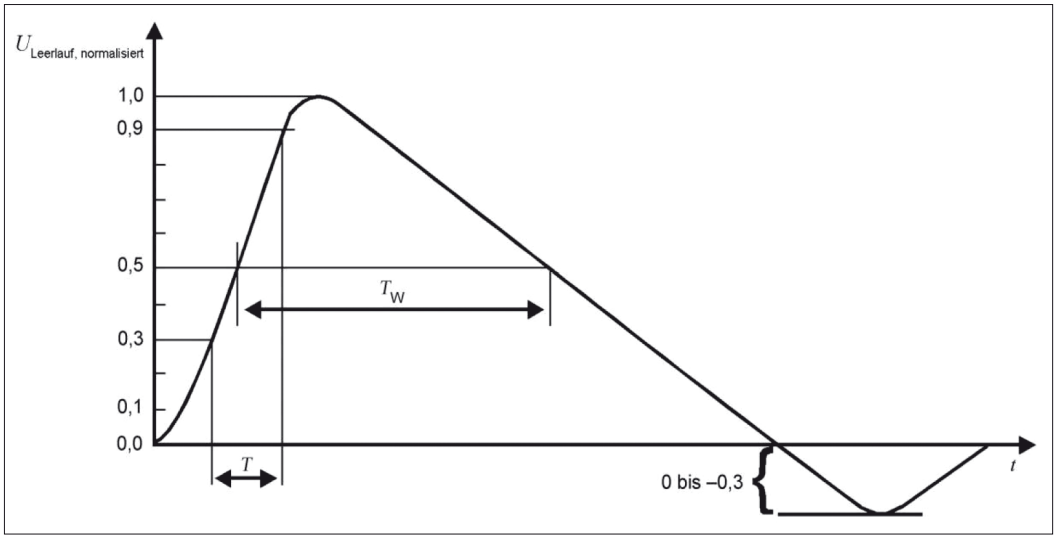

Bild 1: Impulsform für die Leerlaufspannung in Energienetzen: 1,2/50 µs (IEC61000-4-5)

welche im Folgenden samt ihrer Regelung in den entsprechenden Normen eine nähere Betrachtung erfahren sollen:
1. Stoßspannung (Surge)
2. Wiederkehrende schnelle Transienten (Burst)

Stoßspannung (Surge) gemäß IEC 61000-4-5

Das Phänomen der Stoßspannung wird in der IEC 61000-4-5 reguliert. Diese Norm beschreibt die „Prüfung der Störfestigkeit von elektrischen und elektronischen Betriebsmitteln, Geräten und Einrichtungen gegenüber Stoßwellen (Stoßspannungen und -ströme)“ und wurde in ihrer aktuellen Fassung im März 2015 verabschiedet.

In einem Stromversorgungsnetz werden kurzzeitige Stoßspannungen durch unterschiedlichste Ereignisse hervorgerufen. Man unterscheidet hier grundlegend zwischen Stoßspannungen aufgrund von Schalthandlungen oder Systemfehlern und Überspannungsfällen, welche durch Blitze verursacht werden. Bei letzterem handelt es sich nicht nur um Belastungen durch einen direkten Blitzeinschlag in ein Stromnetz, sondern auch durch indirekte Blitzeinschläge und induzierte Ströme im Masse- oder Erdungssystem einer Anlage, welche durch Blitzeinschläge in der näheren Umgebung entstehen.

Stoßspannungen entstehen häufiger als gedacht

Schon die reine Anzahl an Blitzeinschlägen pro Jahr verdeutlicht, wie häufig kurzzeitige Stoßspannungen in einem Stromnetz vorliegen können: Alleine im Jahr 2017 schlugen gut 450.000 Blitze in Deutschland ein, welche je nach Einschlagsort entsprechende Auswirkung auf unser Stromnetz mit sich brachten. Diese Zahl erscheint im Vergleich zu Vorjahren noch verhältnismäßig gering: Im Jahr 2015 beispielsweise waren es 550.000 Blitze, im Unwetterjahr 2007 wurde mit rund 1,1 Millionen Blitzen ein bisheriger Rekordwert registriert [(1)]. Hinzu kommen die nicht zählbaren Schalthandlungen, die zurzeit, speziell aufgrund des Wechsels von einer zentralen zu einer dezentralen Stromnetzstruktur (Stichwort: Smart Grid), stark zunehmen, sowie sonstiger Einflussgrößen, welche ebenfalls kurzzeitig zu hohen Belastungen einer Stromversorgung führen.

Normengerechte Simulation von Stoßspannungen

Generell handelt es sich bei einer Stoßspannung um einen kurzzeitigen, sehr energiereichen Impuls, welchen das Gerät unbeschadet überstehen muss. Zur Simulation einer solchen Stoßspannung wird in der Praxis ein Generator verwendet, welcher die Impulsform des Phänomens nachbildet. Die der Norm zugrundeliegende Impulsform für Stoßspannungen in Energienetzen hat eine Stirnzeit von 1,2 µs bei einer Impulsdauer von 50 µs (1,2/50 µs) (Bild 1) für die Leerlaufspannung sowie eine Stirnzeit von 8 µs bei einer Impulsdauer von 20 µs (8/20 µs) (Bild 2) für den Kurzschlussstrom.

Speziell für Telekommunikationsanschlüsse, welche sich außerhalb von Gebäuden befinden, fordert die Norm höhere Impulse in Form von 1,2/50 µs für die Spannung und 5/320 µs für den Strom. Diese Impulsformen repräsentieren die spezifischen Eigenschaften eines Telekommunikationsnetzes. In anderen Normen finden sich zudem noch weitere Impulsformen wie 10/1000 µs. Industrielle Anwendungen und Geräte befinden sich in aller Regel in Gebäuden und werden folglich mit der Impulsdefinition von 1,2/50 µs und 8/20 µs für die Stromversorgung getestet.

Prüfschärfegrade

Über den Scheitelwert der Leerlaufspannung werden nun die verschiedenen Prüfschärfegrade festgelegt. Die IEC 61000-4-5 definiert Werte für vier verschiedene Schärfegrade. Welcher Schärfegrad für ein Gerät zugrunde gelegt wird, hängt von unterschiedlichen Faktoren ab und wird in der entsprechenden Produktnorm oder in der Fachgrundnorm der elektrischen Geräte spezifiziert. Für den industriellen Bereich gilt die Fachgrundnorm für elektromagnetische Störfestigkeit IEC 61000-6-2:2005. Elektrogeräte der Schutzklasse II, die in Gebäuden eingesetzt werden, müssen eine Störfestigkeit gegen Stoßspannungen des Schärfegrads 3 an AC Netzein- und -ausgängen aufweisen.

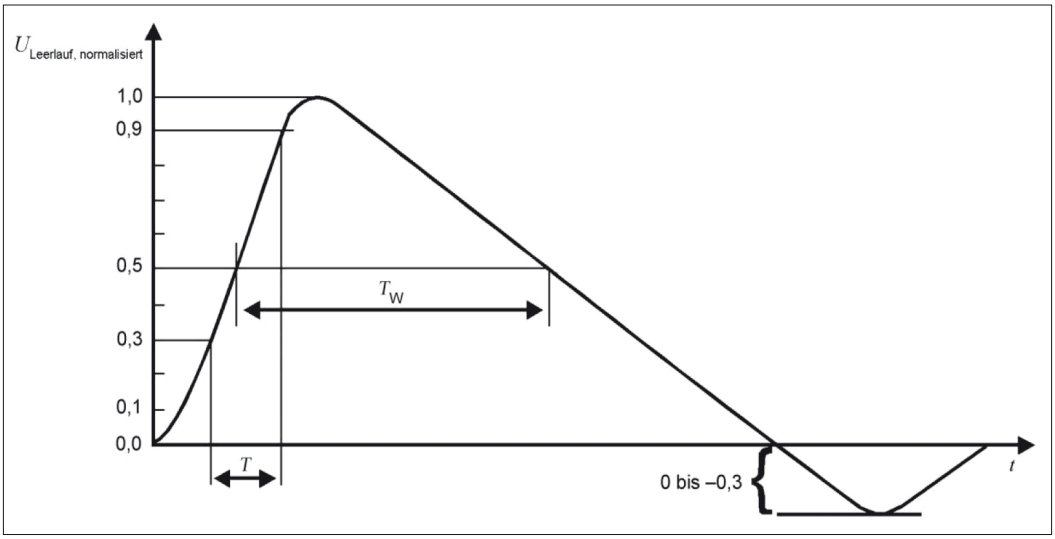

Bild 2: Impulsform für den Kurzschlussstrom in Energienetzen 8/20 µs Kurzschlussstrom (IEC61000-4-5)

Prüfschärfegrad	Prüf-Leerlaufspannung kV	
	Leitung – Leitung	Leitung – Erde
1	-	0,5
2	0,5	1
3	1	2
4	2	4
X	Besondere Festlegung	Besondere Festlegung

Prüfschärfegrade für Stoßspannungen (IEC 61000-4-5)

Da die Stoßspannung sowohl zwischen Versorgungsleitungen als auch zwischen Versorgungsleitungen und Erde auftreten kann, existieren neben den unterschiedlichen Spannungshöhen auch unterschiedliche Arten der Einkopplung:

- Bei Stoßspannungen zwischen Leitern kann man von einer geringen Impedanz und einer hohen Energie ausgehen, man spricht in diesem Fall auch vom „Differential Mode". Die Koppelimpedanz entspricht hier derjenigen des Generatorinnenwiderstands und ist mit 2 Ohm spezifiziert. Die Energie wird über einen 18 µF Koppelkondensator übertragen.
- Vom „Common Mode" spricht man bei Stoßspannungen zwischen Leitern und Erde. Hier ist die Impedanz höher und liegt bei 12 Ohm (2 Ohm Generatorinnenwiderstand + 10 Ohm aufgrund der schlechter leitenden Erde). Die Energie wird in diesem Fall über einen 9 µF Koppelkondensator übertragen, die Spannungshöhe ist aber doppelt so hoch wie beim „Differential Mode".
- Bei Signalleitungen findet man andere Impedanzen als bei Versorgungsleitungen, weshalb man hier auch andere Impedanzen verwendet. Häufig sind es Werte von 25 Ohm oder 42 Ohm.

Schutzmöglichkeiten gegen Stoßspannungen

Es existieren unterschiedliche Methoden, um Geräte vor der Zerstörung durch Stoßspannungen zu schützen. Die einfachste Art ist es, die betroffenen Komponenten wie Dioden und Kondensatoren auf die entsprechende Spannung auszulegen. Bei höheren Prüfspannungen ist dies allerdings nicht mehr möglich, weshalb Bauteile benötigt werden, welche die Spannung innerhalb des Gerätes begrenzen. Dies geschieht über den Einsatz von Varistoren (VDRs) oder Gasentladungsableitern, die bei einer bestimmten Spannung leitend werden und die überschüssige Energie in Wärme umsetzen. Gasentladungsableiter sind allerdings nicht für jeden Einsatz zulässig. Da diese Bauteile nicht nur spannungsbegrenzend wirken, sondern bei erreichter Durchbruchsspannung den Schaltkreis kurzschließen, dürfen sie lediglich in DC-Schaltkreisen verwendet werden. In AC-Versorgungsleitungen ist von ihrem Gebrauch abzusehen, da ein Kurzschluss in einer Versorgungsleitung zu einem langanhaltenden hohen Strom führt, welcher auch die Haussicherung auslösen kann und somit die Stromversorgung für alle Geräte dauerhaft unterbrochen ist. Folglich setzt man im Bereich der AC-Versorgungsleitungen man setzt hier VDRs ein.

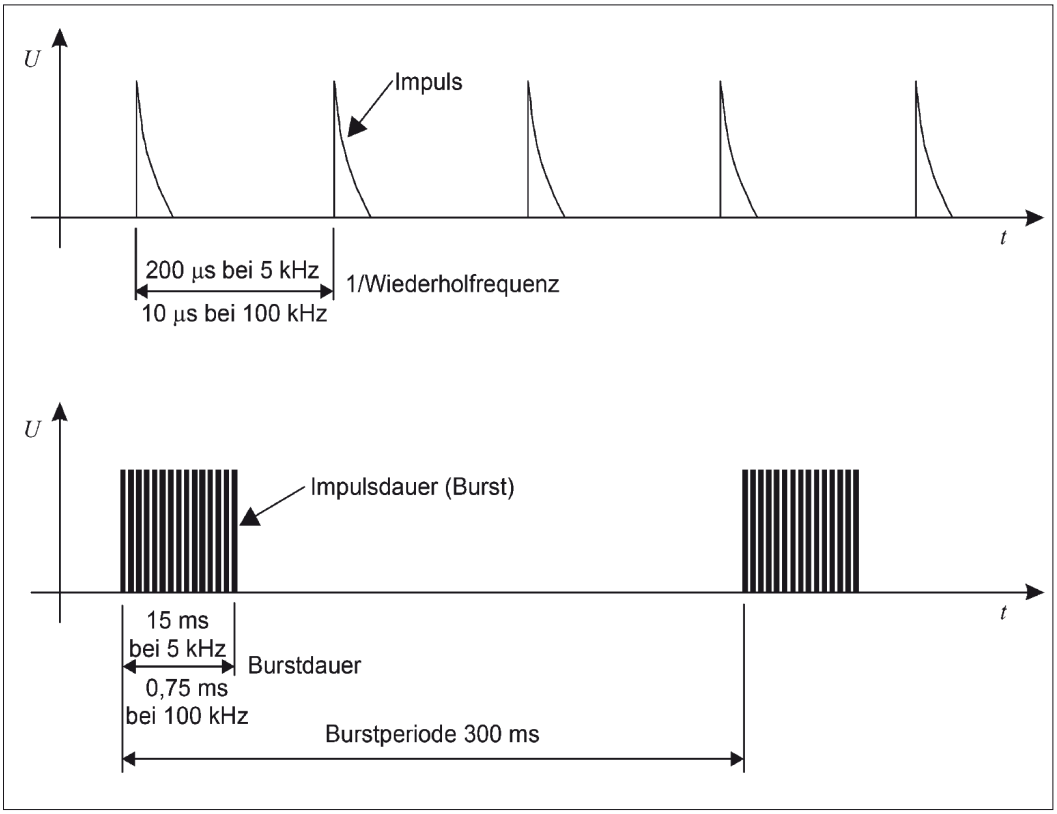

Bild 3: Schema: Wiederkehrende schnelle Transienten (Burst) (IEC61000-4-4)

Wiederkehrende schnelle Transienten (Burst) gemäß IEC 61000-4-4

Transiente Störgrößen entstehen durch kurzzeitige Schalthandlungen, wie etwa dem Unterbrechen von induktiven Lasten oder dem Prellen von Relaiskontakten in einem Stromversorgungsnetz sowie in Steuer- und Signalleitungen. Bei diesen Störgrößen handelt es sich um Spannungsspitzen, welche in sogenannten Impulspaketen (Bursts) auf Leitungen eingekoppelt werden. Kennzeichnend hierfür sind die hohe Amplitude, die kurze Anstiegszeit, die hohe Wiederholfrequenz sowie die niedrige Energie der Transienten (Bild 3).

Prüfung der Störfestigkeit gegen wiederkehrende schnelle Transienten

Eine grundlegende Regulierung erfährt der Umgang mit diesem Phänomen in der Norm IEC 61000-4-4; „Prüfung der Störfestigkeit gegen schnelle transiente elektrische Störgrößen/Burst". In ihrer aktuellen Fassung von April 2013 benennt die Norm die zu prüfende Wiederholfrequenz der Transienten mit 5 und/oder 100 kHz, wobei der tatsächliche Wert des Burst-Phänomens eher bei 100 kHz liegt. Die Prüfvorgabe 5 kHz rührt noch aus Zeiten, in denen das Testequipment nicht in der Lage war, Transienten mit einer so hohen Wiederholfrequenz zu erzeugen.

Die Einkopplung der schnellen Transienten erfolgt beim Test entweder mittels eines Koppelkondensators direkt auf die Versorgungsleitungen, oder aber indirekt über eine kapazitive Koppelzange auf Steuer- und Signalleitungen. Der einzuhaltende Schärfegrad wird beim Burst letztendlich in der jeweiligen Produktnorm des Gerätes bestimmt, für industrielle Geräte ist dies der Grad 3.

Im Allgemeinen sind Burst-Impulse nicht so zerstörerisch wie Surge-Impulse. Sie führen jedoch häufig zu unerwünschtem Verhalten von Geräten, welches sich beispielsweise in Form von flackernden Displays oder Fehlmessungen in den Schaltungen ausdrücken kann. Bei sehr hohen Amplituden kann ein Gerät aber letztendlich auch zerstört werden. Die generelle Problematik an Burstimpulsen liegt darin, dass sie

nur sehr eingeschränkt herausfilterbar sind. Ein VDR ist hier als Schutzmaßnahme auch nur bedingt hilfreich, da die Ansprechzeit dieser Varistoren zu lang ist. Als mögliche Lösung kann dagegen der Einsatz schneller Suppressordioden dienen.

Die Auswahl des richtigen Netzteils

Einkäufer und Entwickler sollten bei der Auswahl der passenden Stromversorgung für ihre Applikation zielgerichtet auf die Einhaltung der genannten Normen IEC 61000-4-4 und IEC 61000-4-5 achten, um ihre Anwendung vor der zerstörerischen Wirkung der Überspannungsphänomene Surge und Burst zu schützen. Vor allem für besonders sicherheitskritische Anwendungen, etwa Infrastruktursystem oder Geräte zum Betrieb hochwertiger Maschinen an abgelegenen Orten, sollten die von der Norm geforderten Werte aber eher als Sockel angesehen werden. Hier lohnt sich die nähere Betrachtung der Applikation samt der zu treffenden Sicherheitsvorkehrungen gemeinsam mit einem Stromversorgungsspezialisten, um eine bestmögliche Störfestigkeit – etwa mit Entwicklungen von bis zu 6 kV Surge-Festigkeit – zu erreichen.

Prüfschärfegrad	Prüf-Leerlaufspannung kV	
	Stromversorgungsanschlüsse, Erdungsanschlüsse (PE)	Signal- und Steueranschlüsse
1	0,5	0,25
2	1	0,5
3	2	1
4	4	2
X	Besondere Festlegung	Besondere Festlegung

Prüfschärfegrade für wiederkehrende schnelle Transienten (IEC 61000-4-4)

(1) Siemens AG: Blitzatlas 2017, https://www.elektroniknet.de/elektronik/power/die-3-blitzreichsten-regionen-deutschlands-156217.html