

Die sieben Arten von Stromproblemen

Von Joseph Seymour
Terry Horsley

**Technische
Dokumentation/
White Paper Nr. 18**

APC[®]
Legendary Reliability[®]

Zusammenfassung

Viele der schwer nachvollziehbaren Vorgänge in Verbindung mit Geräteausfällen, Ausfallzeiten sowie Software- und Datenbeschädigungen sind das Ergebnis von Stromversorgungsproblemen. Darüber hinaus gibt es jedoch auch ein allgemeines Problem im Hinblick darauf, diese Probleme auf standardisierte Weise zu beschreiben. Die vorliegende technische Dokumentation liefert eine Beschreibung der häufigsten Störungsarten der Stromversorgung, ihrer möglichen Ursachen, ihrer Auswirkungen auf wichtige Geräte sowie der Maßnahmen zum Schutz dieser Geräte. Dabei werden die IEEE-Standards für die Beschreibung von Stromqualitätsproblemen zugrunde gelegt.

Einführung

Unsere technologische Welt hängt in hohem Maße von der kontinuierlichen Verfügbarkeit von elektrischer Energie ab. In den meisten Ländern erfolgt die Bereitstellung von kommerzieller Energie über landesweite Stromnetze, die eine Vielzahl von Kraftwerken mit den Lasten verbinden. Das Stromnetz muss den landesweiten Grundbedarf für Privathaushalte, Beleuchtung, Heizung, Kühlung, Klimatisierung und Verkehr abdecken sowie die kritische Versorgung von Bereichen wie Behörden, Industrie, Finanzwelt, Medizin und Kommunikation. Es ist im wahrsten Sinne des Wortes die kommerzielle Energie, die das schnelle Tempo der modernen Welt von heute ermöglicht. Unser berufliches und privates Leben ist tief von komplexer Technologie durchdrungen, und seit dem Aufkommen von E-Commerce ist die Art und Weise unserer Interaktion mit der übrigen Welt in einer ständigen Veränderung begriffen.

Intelligente Technologie erfordert eine unterbrechungs- und störungsfreie Stromversorgung. Die Folgen von schwer wiegenden Zwischenfällen mit der Stromversorgung sind gut dokumentiert. In einer kürzlich in den USA durchgeführten Studie wurde festgestellt, dass industrielle und digitale Unternehmen aufgrund von Stromunterbrechungen einen jährlichen Verlust von 45,7 Mrd. USD zu verzeichnen haben.¹ Über alle Unternehmenssektoren hinweg belaufen sich die Verluste aufgrund von Unterbrechungen der Stromversorgung auf schätzungsweise 104 bis 164 Mrd. USD, dazu kommen weitere Verluste von 15 bis 24 Mrd. USD durch alle weiteren Stromqualitätsprobleme. In industriellen Automatisierungsprozessen können ganze Fertigungsstraßen außer Kontrolle geraten, was zu gefährlichen Situationen für Mitarbeiter und zur Verschwendung von teurem Material führen kann. Ausfälle der Datenverarbeitung können in einem großen Finanzunternehmen Kosten von Tausenden von Dollars pro Minute Ausfallzeit verursachen, die unwiederbringlich verloren sind, sowie viele Stunden für die anschließende Wiederherstellungszeit. Programm- und Datenbeschädigungen aufgrund von Stromunterbrechungen können Probleme bei Software-Wiederherstellungsoperationen hervorrufen, deren Behebung Wochen in Anspruch nehmen kann.

Viele Stromprobleme haben ihren Ursprung im kommerziellen Stromnetz, das mit seinen vielen tausend Kilometern Übertragungsleitungen nicht nur Wetterbedingungen wie Wirbelstürmen, Gewittern, Schnee- und Eislasten sowie Überschwemmungen ausgesetzt ist, sondern auch Geräteausfälle, Verkehrsunfälle und große Umschaltungen bewältigen muss. Probleme, die sich auf moderne technische Geräte auswirken, werden häufig auch lokal innerhalb einer Anlage durch eine Vielzahl von Bedingungen erzeugt, wie z. B. Die lokale Konstruktion, große Anlauflasten, fehlerhafte Verteilerkomponenten und sogar das typische elektrische Hintergrundrauschen.

¹ „The Cost of Power Disturbances to Industrial & Digital Economy Companies“, White Paper Copyright 2001, Electric Power Research Institute.

Die Einigung auf gemeinsame Begriffe ist ein erster Schritt auf dem Weg zum Umgang mit Störungen der Stromversorgung

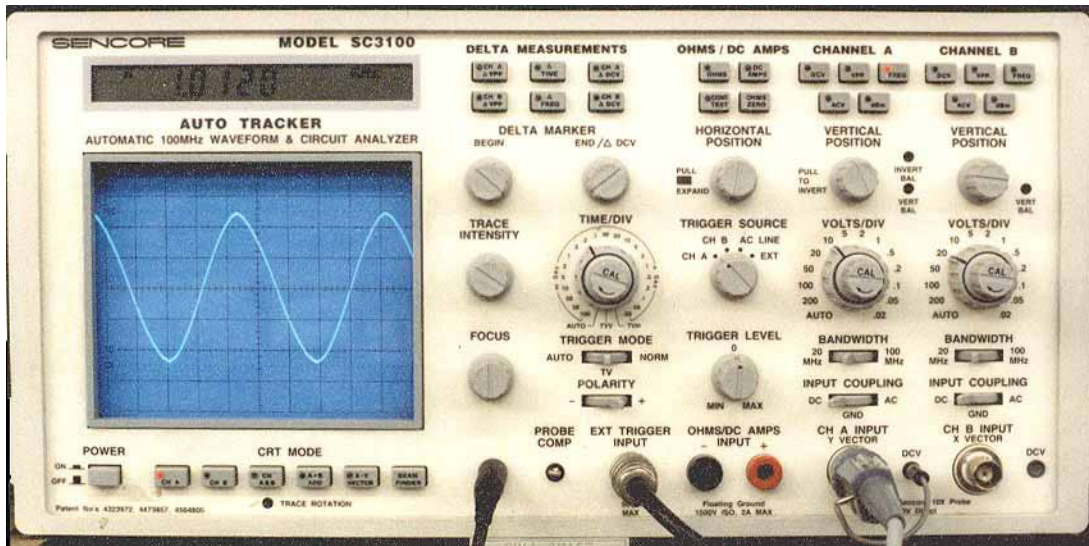
Die weit verbreitete Nutzung der Elektronik, von der Heimelektronik bis hin zur Steuerung massiver und kostspieliger industrieller Prozesse, hat die Aufmerksamkeit gegenüber der Stromqualität erhöht. Die Stromqualität, oder genauer, eine Störung der Stromqualität, ist allgemein definiert als jede Änderung der Leistung (Spannung, Strom oder Frequenz), die sich auf den normalen Betrieb eines elektrischen Geräts störend auswirkt.

Die Untersuchung der Stromqualität sowie der Möglichkeiten ihrer Steuerung ist ein Anliegen von Stromversorgungsunternehmen, großen Industrieunternehmen, Firmen und sogar Privatanwendern. Die Untersuchung hat sich vertieft, da Geräte selbst auf sehr geringe Änderungen der Stromversorgungsspannung, des Stroms und der Frequenz zunehmend empfindlicher reagieren. Leider wird bis heute keine einheitliche Terminologie verwendet, um viele der bestehenden Störungen der Stromversorgung zu beschreiben. Dies führt zu Verwirrung und erschwert es, die gegenwärtigen Probleme mit der Stromqualität auf effiziente Weise zu thematisieren, zu untersuchen und zu ändern. Das IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) hat versucht, dieses Problem durch die Entwicklung eines Standards zu lösen, der auch Definitionen für Störungen der Stromversorgung umfasst. Der Standard (IEEE Standard 1159-1995, „IEEE Recommended Practice for Monitoring Electrical Power Quality“) beschreibt eine Vielzahl von Stromqualitätsproblemen, wobei die am häufigsten auftretenden Probleme im vorliegenden technischen Dokument erläutert werden.

Unsere Sichtweise von Strom

Elektrizität aus der Steckdose ist ein elektromagnetisches Phänomen. Kommerzieller Strom wird als Wechselstrom bereitgestellt, eine geräuschlose, scheinbar unbegrenzte Quelle von Energie, die in Kraftwerken erzeugt, von Transformatoren verstärkt und über viele hundert Kilometer an jeden Standort in der Region geliefert wird. Zu erkennen, was diese Energie in kleinen Zeitspannen bewirkt, kann ein Verständnis dafür vermitteln, wie wichtig einfacher, glatter Wechselstrom für den zuverlässigen Betrieb der komplexen Systeme ist, von denen wir abhängig sind. Mit einem Oszilloskop kann gezeigt werden, wie diese Energie aussieht. Unter idealen Bedingungen erscheint kommerzieller Wechselstrom als glatte, reine Sinuswelle mit 50 oder 60 Schwingungen pro Sekunde (Hertz, Hz), abhängig vom geografischen Standort. **Abbildung 1** zeigt das Oszilloskopbild einer typischen Wechselstromsinuswelle.

Abbildung 1 – Oszilloskopbild einer Wechselstromsinuswelle



Die Sinuswelle in der obigen Abbildung stellt eine Spannung dar, die 60 mal pro Sekunde von einem positiven Wert zu einem negativen Wert wechselt. Wenn diese fließende Wellenform ihre Größe, Form, Symmetrie oder Frequenz ändert, wenn sie Einbuchtungen, Impulse und Resonanzspitzen aufweist, oder wenn sie auf Null fällt (wie kurz auch immer), liegt eine Störung der Stromversorgung vor. Im vorliegenden Dokument werden anhand von einfachen Zeichnungen die Änderungen der oben gezeigten idealen Sinuswellenform dargestellt, die für die sieben Arten von Stromproblemen, die hier erläutert werden sollen, charakteristisch sind.

Wie bereits erwähnt, wird im Bereich der Elektroindustrie und der Unternehmen in der Branche keine einheitliche Terminologie zur Beschreibung der verschiedenen Störungen der Stromversorgung verwendet. So wird beispielsweise in einem Teil der Branche die Bedeutung des Begriffs „Spannungsstoß“ als kurzer Spannungsanstieg betrachtet, wie er in der Regel beim Abschalten einer großen Last entsteht. Andererseits kann die Bedeutung des Begriffs „Spannungsstoß“ auch als Stoßspannung mit einer Dauer im Mikrosekundenbereich bis hin zu wenigen Millisekunden mit sehr hohen Spitzenwerten betrachtet werden. Diese Spitzenwerte werden normalerweise mit Blitzschlag oder Umschaltungen assoziiert, durch die Funken oder Lichtbogen zwischen Kontakten erzeugt werden.

Der IEEE Standard 1100-1999 bezieht sich auf das Problem der uneinheitlichen Terminologie und empfiehlt, viele allgemein gebräuchliche Begriffe in Fachberichten und Fachdokumentationen nicht zu verwenden, da sie nicht geeignet sind, das Wesen des jeweiligen Problems genau zu beschreiben. Dabei strebt der IEEE Standard 1159-1995 auch das Ziel an, eine konsistente Terminologie für Beschreibungen der Stromqualität zur Verwendung durch die Branche bereitzustellen. Hier einige dieser nicht eindeutigen Begriffe:

Totalausfall	Spannungseinbruch	Kurzer Spannungsstoß	Leistungsanstieg
Saubere Energie	Stromstoß	Ausfall	Blink
Schmutziger Strom	Frequenzverschiebung	Spannungsimpuls	Spannungsspitze
Stromanstieg	Rohenergie	Rohstrom	Wink

Die Fähigkeit, auf effiziente Weise über Strom sprechen zu können, beispielsweise den Unterschied zwischen einer Unterbrechung und einem schwingungsartigen Spannungsstoß zu kennen, könnte bei Entscheidungen zum Kauf von Geräten zum Schutz der Stromversorgung einen sehr großen Unterschied machen. Ein Kommunikationsfehler kann kostspielige Folgen haben, wenn das für bestimmte Anforderungen falsche Gerät gekauft wird. Dazu gehören die Ausfallzeit, verlorene Arbeitszeit oder sogar Geräteschäden.

Die von der IEEE definierten Störungen der Stromqualität, die im vorliegenden Dokument erläutert werden, wurden nach der Wellenform in sieben Kategorien eingeteilt:

1. Spannungstöße
2. Unterbrechungen
3. Spannungseinbruch/Unterspannung
4. Spannungsspitze/Überspannung
5. Verzerrung der Wellenform
6. Spannungsschwankungen
7. Frequenzschwankungen

Diese Kategorien werden im vorliegenden Dokument eingehalten, wobei die jeweiligen Abbildungen dazu beitragen sollen, die Unterschiede zwischen den Stromqualitätsstörungen zu verdeutlichen.

1. Spannungstöße

Spannungstöße besitzen von allen Stromstörungen das größte Schadenspotenzial und werden in zwei Unterkategorien eingeteilt:

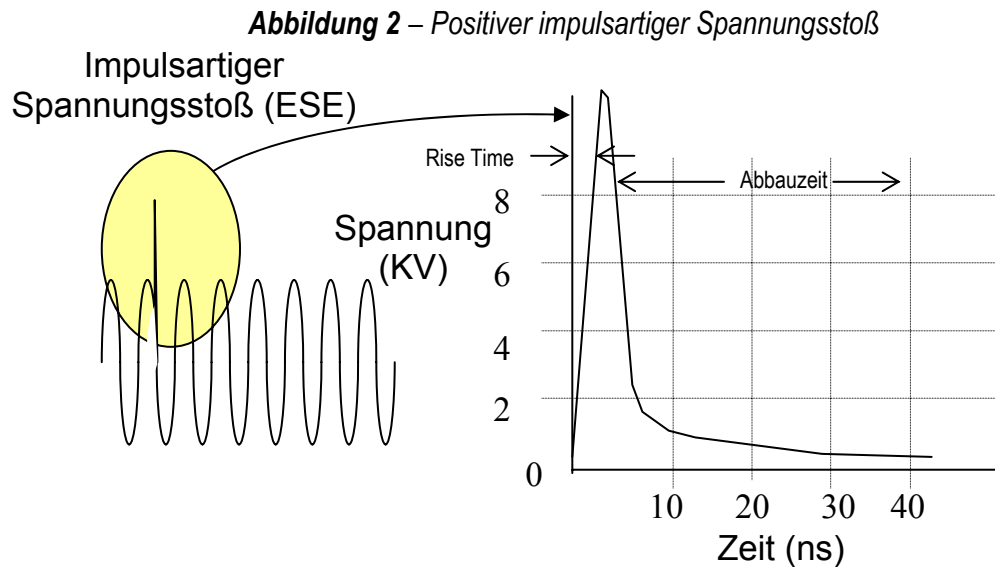
1. Impulsartige Spannungstöße
2. Schwingungsartige Spannungstöße

Impulsartige Spannungstöße

Impulsartige Spannungstöße sind plötzlich auftretende Ereignisse, die eine Erhöhung der Spannung und/oder des Stroms in positiver oder negativer Richtung bewirken. Diese Ereignisse können nach der Geschwindigkeit, in der sie auftreten (schnell, mittel, langsam), noch weiter unterteilt werden. Impulsartige Spannungstöße können sehr schnelle Ereignisse (mit einer Anstiegszeit von 5 Nanosekunden [ns] vom stabilen Zustand bis zur Impulsspitze) von sehr kurzer Dauer sein (weniger als 50 ns).

Hinweis: [1000 ns = 1 μ s] [1000 μ s = 1 ms] [1000 ms = 1 Sekunde]

Abbildung 2 zeigt ein Beispiel für einen positiven impulsartigen Spannungsstoß, der durch elektrostatische Entladung (ESE) hervorgerufen wurde

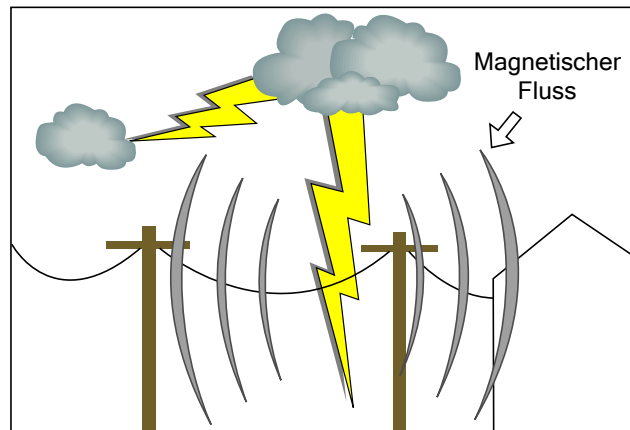


Ein impulsartiger Spannungsstoß ist das Ereignis, auf das sich die meisten Leute beziehen, wenn sie sagen, ein Spannungsstoß oder eine Spannungsspitze sei aufgetreten. Zur Beschreibung von impulsartigen Spannungsstößen werden viele verschiedene Begriffe verwendet, wie z. B. kurzer Spannungsstoß, Spannungsimpuls, Leistungsanstieg und Spannungsspitze.

Zu den Ursachen von impulsartigen Spannungsstößen gehören Blitzschlag, unzureichende Erdung, das Schalten von Induktionslasten, Fehlerbehebung durch Versorgungsgeräte und ESE (elektrostatische Entladung). Die Folgen können der Verlust (oder der Beschädigung) von Daten bis hin zu Geräteschäden sein. Von allen Ursachen kann Blitzschlag wahrscheinlich den größten Schaden verursachen.

Das Problem durch Blitzschlag ist für Personen, die einmal einen elektrischen Sturm erlebt haben, leicht erkennbar. Die Energiemenge, die erforderlich ist, um den Nachthimmel zu erhellen, kann mit Sicherheit auch empfindliche Geräte zerstören. Außerdem ist nicht einmal ein direkter Blitzschlag erforderlich, um Schaden zu verursachen. Die durch Blitzschlag erzeugten elektromagnetischen Felder (**Abbildung 3**) besitzen ein sehr großes Schadenspotenzial durch die Induktion von Strom in Leitungen, die in der Nähe verlaufen.

Abbildung 3 – Durch Blitzschlag erzeugtes magnetisches Feld



Zu den zwei wirksamsten Schutzmethoden gegen impulsartige Spannungstöße gehören die Eliminierung potenzieller ESE und der Einsatz von Überspannungsschutzgeräten (Transient Voltage Surge Suppressors: TVSS oder Surge Protective Devices: SPD).

Während elektrostatische Entladung (ESE) über den Finger einer Person erfolgen kann und dabei höchstens einen kurzen Überraschungsmoment bewirkt, reicht sie andererseits völlig aus, um die gesamte Platine eines Computers außer Betrieb zu setzen und vollkommen funktionsunfähig zu machen. In Rechenzentren sowie in Fertigungseinrichtungen für gedruckte Leiterplatten oder in ähnlichen Umgebungen, in denen Personen mit gedruckten Leiterplatten umgehen, ist es wichtig, das Potenzial für elektrostatische Entladung zu reduzieren. Beispielsweise gehört zu jeder ordnungsgemäßen Rechencenter-Umgebung die Klimatisierung der Raumluft. Die Klimatisierung der Luft bedeutet nicht nur die Kühlung der Luft, um die Wärmeabfuhr der Rechencenter-Geräte zu unterstützen, sondern auch die Regulierung ihres Feuchtigkeitsgehalts. Indem die Luftfeuchtigkeit auf einem Wert zwischen 40 bis 55 % gehalten wird, wird die Wahrscheinlichkeit einer elektrostatischen Entladung vermindert. Wahrscheinlich haben Sie bereits selbst die Erfahrung gemacht, wie stark die Luftfeuchtigkeit die Möglichkeit der elektrostatischen Entladung beeinflusst, beispielsweise im Winter bei sehr trockener Luft, wenn der reibende Kontakt Ihrer Socken auf dem Teppichboden einen großen Lichtbogen erzeugte, der unerwartet von Ihrem Finger auf den Türgriff übersprang, nach dem Sie greifen wollten, oder erwartungsgemäß, wenn Sie sich dem Ohr einer anderen Person näherten. Zur Ausstattung von Umgebungen für gedruckte Leiterplatten sowie von kleinen Computerreparaturgeschäften gehören Vorrichtungen zur Erdung von Personen. Diese Vorrichtungen umfassen antistatische Arm- bzw. Fußbänder, antistatische Matten und Arbeitsflächen sowie antistatische Schuhe. Die meisten dieser Vorrichtungen sind mit einem Draht verbunden, der auf den Fußboden reicht und Personen vor Stromschlag schützt sowie mögliche elektrostatische Entladungen in den Boden ableitet.

Überspannungsschutzgeräte (SPDs) werden schon seit vielen Jahren verwendet. Diese Geräte finden nach wie vor Verwendung in Versorgungsanlagen, in Geräten von großen Anlagen und Datacentern sowie im Small Business und Home Office-Bereich, wobei sich ihre Leistungsfähigkeit mit den Fortschritten der MOV-Technologie ständig verbessert. MOVs (Metalloxidvaristoren) ermöglichen die konsistente Unterdrückung von impulsartigen Spannungsschüben, Spannungsspitzen sowie anderen Hochspannungsbedingungen und können mit Thermoauslösegeräten, wie Leistungsschalter, Thermistoren, und mit anderen Komponenten, wie Gasröhren und Thyristoren, kombiniert werden. In einigen Fällen sind Überspannungsschutzschaltungen in die elektrischen Geräte selbst eingebaut, wie z. B. bei Computer-Netzteilen mit integrierten Schutzfunktionen. Häufiger werden sie jedoch in eigenständigen Störschutzgeräten verwendet oder mit USV-Systemen eingebaut, damit Überspannungsschutz und Akku-Notstromversorgung gewährleistet sind, falls eine Unterbrechung auftreten sollte (oder das Leistungsniveau sich außerhalb der Grenzen normaler oder sicherer Bedingungen für die Stromversorgung bewegt).

Die Kaskadierung von Überspannungsschutz- und USV-Geräten ist für elektronische Geräte die wirksamste Schutzmethode gegen Stromstörungen. Dabei wird ein Überspannungsschutzgerät am Einspeisepunkt angebracht und so ausgelegt, dass der größte Teil der Energie jeder eingehenden Überspannung abgeleitet wird. Nachgeschaltete Geräte am Stromunterverteiler und an den empfindlichen Geräten selbst halten die Spannung auf einem Niveau, auf dem es zu keinen Schäden oder Störungen der Geräte kommt. Besondere Aufmerksamkeit muss darauf gerichtet werden, die Größe der Nennspannung und der Nennverlustleistung beider Geräte zu ermitteln und die Geräte für einen effizienten Betrieb zu koordinieren. Ebenfalls beachtet werden muss, wie wirksam das Überspannungsgerät ist, wenn der MOV den Ausfallpunkt erreicht. Obwohl ein MOV im Hinblick auf seine Schutzfunktion in Abhängigkeit von der Zeit konsistent ist, verschlechtert sich seine Leistung mit zunehmender Gebrauchsdauer, oder er kann ausfallen, wenn sein Punkt des wirksamen Schutzes überschritten wird. Wenn der MOV den Punkt erreicht, an dem er nicht mehr wirksam ist, sollte das Überspannungsschutzgerät unbedingt über die Fähigkeit verfügen, den Stromkreis zu unterbrechen und zu verhindern, dass schädliche Stromanomalien das zu schützende Gerät erreichen. Weitere Informationen zu diesem Thema finden Sie in White Paper Nr. 85, „Schutz von Datenleitungen vor Spannungsspitzen“.

Schwingungsartige Spannungsstöße

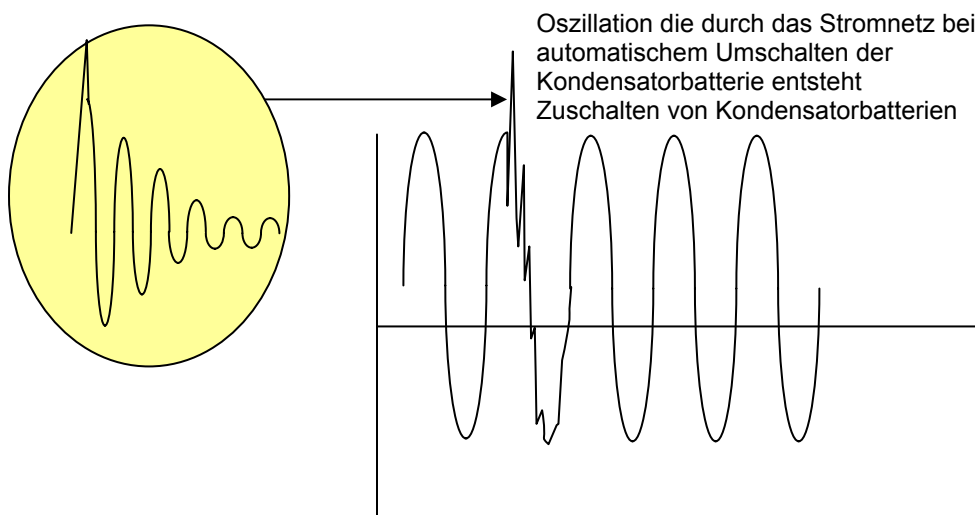
Ein schwingungsartiger Spannungsstoß ist eine plötzliche Änderung der stabilen Zustandsbedingung einer Signalspannung, eines Signalstroms oder von beidem zusammen, im positiven als auch im negativen Signalbereich, unter Oszillation bei natürlicher Systemfrequenz. Einfach ausgedrückt, bewirkt die Stoßspannung das Ansteigen und Absinken des Stromsignals in sehr schnellem Wechsel. Schwingungsartige Spannungsstöße klingen normalerweise innerhalb eines Zyklus auf Null ab (abklingende Oszillation).

Diese Spannungsstöße treten auf, wenn eine induktive oder kapazitive Last, wie z. B. ein Elektromotor oder eine Kondensatorbatterie, abgeschaltet wird. Dabei entsteht ein schwingungsartiger Spannungsstoß, weil die Last sich der Änderung widersetzt. Dies ist vergleichbar mit dem, was geschieht, wenn ein Wasserhahn bei rasch fließendem Wasser plötzlich zuge dreht wird und in den Leitungen ein hämmerndes Geräusch zu vernehmen ist. Das fließende Wasser widersetzt sich der Änderung, und das Flüssigkeitsäquivalent eines schwingungsartigen Spannungsstoßes tritt auf.

Beispielsweise arbeitet ein sich drehender Elektromotor nach dem Abschalten, wenn er langsamer wird, kurzzeitig als Generator und erzeugt dabei Strom, der durch die Stromverteilung geleitet wird. Eine langes Stromverteilungssystem kann beim Ein- oder Abschalten wie ein Oszillator wirken, weil alle Stromkreise ein bestimmtes Maß an Eigeninduktivität und verteilter Kapazität aufweisen, das in abklingender Form kurz Energie zuführt.

Schwingungsartige Spannungsstöße, die in einem Strom durchflossenen Stromkreis auftreten, in der Regel aufgrund von Schaltungen im Stromnetz (insbesondere wenn Kondensatorbatterien automatisch zugeschaltet werden), können bei elektronischen Geräten erhebliche Probleme hervorrufen. **Abbildung 4** zeigt ein Beispiel für einen schwingungsartigen Spannungsstoß niedriger Frequenz, der durch das Zuschalten von Kondensatorbatterien verursacht wurde.

Abbildung 4 – Schwingungsartiger Spannungsstoß

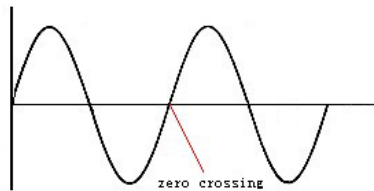


Das bekannteste Problem in Verbindung mit Kondensatorschaltungen und dem dabei auftretenden schwingungsartigen Spannungsstoß ist das Auslösen von drehzahlvariablen Antrieben (ASD= Adjustable Speed Drives). Der relativ langsame Spannungsstoß verursacht ein Ansteigen der Spannung des Gleichspannungsglieds (die Spannung zur Steuerung der Aktivierung des ASD), die bewirkt, dass der Antrieb im Offline-Betrieb durch Überspannung ausgelöst wird.

Eine häufige Lösung für die Kondensatorauslösung ist die Installation von Strombegrenzungsdrosseln oder Leitungsdrosseln zur Begrenzung des schwingungsartigen Spannungsstoßes auf ein zu bewältigendes Niveau. Diese Drosseln können vor dem Antrieb oder auf dem Gleichspannungsglied installiert werden. Sie sind bei den meisten drehzahlvariablen Antrieben als Standardfunktion oder Option verfügbar. (Hinweis: ASD-Geräte werden im Abschnitt „Unterbrechungen“ weiter unten in diesem Dokument erläutert.)

Eine andere, zunehmend häufiger verwendete Lösung für das Problem der schwingungsartigen Spannungsstöße in Verbindung mit Kondensatorschaltungen ist die Nulldurchgangsschaltung. Wenn der Bogen einer Sinuswelle absteigt und den Nullpunkt erreicht (vor dem Eintreten in den negativen Bereich), wird dies als Nulldurchgang bezeichnet (siehe **Abbildung 5**). Die Amplitude eines durch Kondensatorschaltung verursachten Spannungsstoßes ist um so größer, je weiter entfernt vom Zeitpunkt des Nulldurchgangs der Sinuswelle die Schaltung statt findet. Eine Nulldurchgangsschaltung löst dieses Problem durch Überwachung der Sinuswelle, um sicherzustellen, dass die Kondensatorschaltung so nahe wie möglich zum Zeitpunkt des Nulldurchgangs der Sinuswelle statt findet.

Abbildung 5 – Nulldurchgang



Natürlich sind auch USV- und Überspannungsschutzsysteme sehr wirksam, um den Schaden durch schwingungsartige Spannungsspitzen zu reduzieren, insbesondere bei weit verbreiteten Datenverarbeitungsgeräten, wie z. B. Computer in einem Netzwerk. Überspannungsschutz- und USV-Geräte können jedoch in manchen Fällen nicht verhindern, dass schwingungsartige Spannungsstöße zwischen Systemen auftreten, die durch eine Nulldurchgangsschaltung und/oder eine Drosselvorrichtung in Spezialgeräten, wie z. B. Fertigungsmaschinen und ihren Steuersystemen, verhindert werden kann.

2. Unterbrechungen

Eine Unterbrechung (**Abbildung 6**) wird als vollständiger Verlust der Versorgungsspannung oder des Laststroms definiert. Abhängig von der Dauer wird eine Unterbrechung als plötzlich, kurz, temporär oder anhaltend kategorisiert. Die Unterbrechungsarten haben folgende Dauer:

Plötzlich	0,5 bis 30 Zyklen
Kurz	30 Zyklen bis 2 Sekunden
Temporär	2 Sekunden bis 2 Minuten
Anhaltend	Mehr als 2 Minuten

Abbildung 6 – Kurze Unterbrechung



Es gibt verschiedene Ursachen für Unterbrechungen. In der Regel sind sie jedoch die Folge von Schäden am Stromversorgungsnetz, z. B. durch Blitzschlag, Tiere, Bäume, Fahrzeugunfälle, ungünstige Wetterverhältnisse (Sturmschäden, Schnee- und Eislasten auf Leitungen usw.), Geräteausfälle oder Auslösen des Sicherungsstromkreisunterbrechers. Die Versorgungsinfrastruktur ist zwar auf die automatische Kompensation vieler dieser Probleme ausgelegt, sie ist jedoch nicht vollkommen unanfällig gegen Störungen.

Eines der häufigeren Beispiele für die Ursache von Unterbrechungen in kommerziellen Stromsystemen sind Schutzkomponenten der Versorgungseinrichtungen, wie z. B. Leistungsschalter mit automatischer Wiedereinschaltung. Diese Schalter bestimmen die Zeitdauer der meisten Unterbrechungen in Abhängigkeit von der Art des Fehlers. Leistungsschalter mit automatischer Wiedereinschaltung werden von Versorgungsunternehmen eingesetzt, um den Stromanstieg durch einen Kurzschluss in der Versorgungsinfrastruktur zu erkennen und in diesem Fall die Stromversorgung abzuschalten. Leistungsschalter mit automatischer Wiedereinschaltung stellen nach einer festgelegten Zeitspanne die Stromversorgung wieder her und versuchen, das Material, das den Kurzschluss verursacht hat, abzubrennen. (Häufig handelt es sich dabei um einen Baumast oder ein kleines Tier zwischen Leitung und Erde.)

Wenn Sie schon einmal erlebt haben, dass im gesamten Haus die Beleuchtung und die Elektronik ausgehen, um wenige Minuten später wieder einwandfrei zu funktionieren, während Sie noch dabei sind, Kerzen aufzustellen, war die Ursache dafür wahrscheinlich eine Unterbrechung der Stromversorgung. Selbst wenn in einem Haus eine ganze Nacht lang kein Strom verfügbar ist, bedeutet dies in der Regel kaum mehr als eine Unannehmlichkeit. Für Unternehmen jedoch kann dies erhebliche Kosten verursachen.

Für den Privatanwender bis hin zum Unternehmensnutzer kann eine Unterbrechung der Stromversorgung, gleichgültig ob sie plötzlich, kurz, temporär oder anhaltend ist, Störungen, Schäden und Ausfallzeiten verursachen. Auf Heim- oder Small Business-Computern können wertvolle Daten verloren gehen, wenn ein Stromausfall an den Geräten den Verlust von Daten verursacht. Der Verlust, der für Industriekunden durch eine Unterbrechung der Stromversorgung entsteht, ist wahrscheinlich noch schwerwiegender. Viele Industrieabläufe hängen davon ab, dass bestimmte mechanische Komponenten in kontinuierlicher Bewegung sind. Wenn diese Komponenten durch eine Unterbrechung der Stromversorgung plötzlich außer Betrieb gesetzt werden, kann dies nicht nur zu Geräteschäden und Produktzerstörung verursachen, sondern darüber hinaus fallen auch noch Kosten für Ausfallzeit, Reinigung und Wiedereinbetriebnahme an. Wenn beispielsweise bei einem Industriekunden, der Garne herstellt, eine kurze Unterbrechung der Stromversorgung auftritt, kann dadurch der Extrusionsprozess außer Kontrolle geraten und ein hohes Maß an Ausschuss und Ausfallzeit anfallen. Die Extrusion von Garnen muss mit einer bestimmten Geschwindigkeit und Konstanz erfolgen, um sicherzustellen, dass das Endprodukt die erwartete Qualität aufweist. Das nicht den Spezifikationen entsprechende Garn muss mühsam aus der Garnmaschine entfernt werden, und die Fäden müssen neu gespannt werden. Wie sich unschwer vorstellen lässt, ist dies mit sehr viel Aufwand verbunden und verursacht extrem hohe Ausfallzeiten. Außerdem fällt durch unbrauchbar gewordenen Garn eine bestimmte Menge an Ausschuss an.

Es gibt verschiedene Lösungen zur Vermeidung von Unterbrechungen der Stromversorgung, die sich im Hinblick auf Wirksamkeit und Kosten unterscheiden. Der erste Schritt sollte darin bestehen, die Wahrscheinlichkeit potenzieller Probleme auszuschalten oder zu reduzieren. Ein gutes Design und die Instandhaltung der Versorgungssysteme gehören zu den Grundvoraussetzungen. Dies gilt auch für das Systemdesign von Industriekunden, das häufig so komplex und anfällig ist wie das Versorgungssystem.

Nachdem das Potenzial für Probleme reduziert wurde, sind zusätzliche Geräte oder Designmethoden erforderlich, damit die Anlage oder der Prozess des Kunden unvermeidbare Stromunterbrechungen überbrücken kann (also der konstante Betrieb bei Störungen der Stromqualität aufrecht erhalten wird) oder nach (und während) unvermeidbaren Unterbrechungen der Betrieb wieder aufgenommen werden kann. Die dazu am häufigsten verwendeten Geräte sind die unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) und der Motorgenerator. Außerdem werden Methoden des Systemdesigns angewendet, die redundante Systeme und Energiespeicherung nutzen. Ein Stromausfall kann durch diese Versorgungsalternativen kompensiert werden. Jeder Laptop-Besitzer kennt dies aus eigener Erfahrung. Wenn der Laptop angeschlossen ist, wird er über die Netzsteckdose mit Strom versorgt, wobei ein geringer Strom in die integrierte Laptop-Batterie fließt, um sie aufzuladen. Wenn der Laptop vom Netz genommen wird, übernimmt sofort die Batterie die Stromversorgung des Laptops. Neue Fortschritte im Bereich der Schaltungstechnologie ermöglichen es, dass Standby-Energiespeichersysteme in weniger als einem halben Zyklus genutzt werden können.

Die Bezeichnung „anhaltende Stromunterbrechung“ beschreibt eine Situation in einem kommerziellen Versorgungssystem, in der die automatischen Schutzgeräte wegen der Art der Störung die Stromversorgung nicht wiederherstellen können und ein manueller Eingriff erforderlich ist. Diese begriffliche Festlegung beschreibt die Situation genauer als der üblicherweise verwendete Begriff „Stromausfall“. Der Begriff „Ausfall“ bezieht sich genau genommen auf den Zustand einer Systemkomponente, die nicht mehr erwartungsgemäß funktioniert (IEEE Std 100-1992).

Sehr wahrscheinlich sind Sie auf der sicheren Seite, von einer anhaltenden Unterbrechung der Stromversorgung zu sprechen, wenn ein Stromausfall bereits länger als zwei Minuten dauert und kurz darauf die Fahrzeuge des Versorgungsunternehmens vorfahren, um Reparaturen an Außenleitungen durchzuführen.

3. Spannungseinbruch/Unterspannung

Spannungseinbruch

Ein Spannungseinbruch (**Abbildung 7**) ist eine Reduzierung der Netzwechselfrequenz bei gegebener Frequenz für die Dauer einer Halbschwingung bis zu 1 Minute. Spannungseinbrüche werden in der Regel durch Systemfehler verursacht, sie treten jedoch auch häufig auf, wenn Lasten mit hohen Anlaufströmen zugeschaltet werden.

Abbildung 7 – Spannungseinbruch



Zu den gängigen Ursachen von Spannungseinbrüchen gehören das Anlaufen großer Lasten (wie z. B. Die Inbetriebnahme einer großen Klimaanlage) und die Remote-Fehlerbehebung durch Versorgungsgeräte. Auch durch das Starten großer Elektromotoren in einer Industrieanlage kann ein erheblicher Spannungsabfall (Spannungseinbruch) auftreten. Beim Startvorgang kann ein Elektromotor das Sechsfache oder mehr seiner Stromaufnahme im Normalbetrieb verbrauchen. Die Erzeugung einer solch großen und plötzlichen elektrischen Last bewirkt mit großer Wahrscheinlichkeit einen erheblichen Spannungsabfall in dem restlichen Stromkreis, in dem sie liegt. Veranschaulichen lässt sich dies anhand des Beispiels, dass eine Person in einem Haus alle Wasserhähne aufdreht, während eine andere Person duscht. Das Wasser wird wahrscheinlich kalt und der Wasserdruck fällt. Um dieses Problem zu lösen, könnte ein zweiter Warmwasserbereiter nur für die Dusche installiert werden. Analog gilt dies auch für Stromkreise mit großen Anlauflasten, die beim Einschalten eine große Leistungsaufnahme aufweisen.

Das Hinzufügen eines dedizierten Stromkreises für große Anlauflasten mag zwar die wirksamste Lösung sein, sie ist jedoch aus praktischen oder wirtschaftlichen Gründen nicht immer möglich, insbesondere nicht bei einer Anlage mit einer Vielzahl von großen Anlauflasten. Zu den weiteren Lösungen für große Anlauflasten gehören alternative Leistungsquellen für den Startvorgang, die beim Starten eines Elektromotors nicht die übrige elektrische Infrastruktur laden, wie z. B. Anlasser mit reduzierter Spannung, entweder mit Spartransformatoren oder Stern-Dreieck-Konfigurationen. Ein Sanftanlasser mit Solid-State-Technologie ist ebenfalls verfügbar und eine wirksame Lösung zur Reduzierung des Spannungseinbruchs beim Starten des Motors. Seit kurzem werden drehzahlvariable Antriebe (ASDs) zur Anpassung der Motordrehzahl an die jeweilige Lastsituation verwendet (neben anderen Aufgaben), um Industrieprozesse auf effizientere und wirtschaftlichere Weise zu steuern. Ein zusätzlicher Nutzen dabei ist, dass dadurch auch das Problem des Startens großer Motoren gelöst wird.

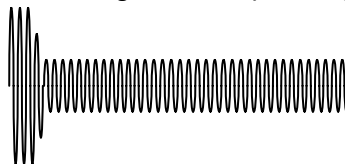
Wie bereits im Abschnitt „Unterbrechungen“ erwähnt, können durch den Versuch der Versorgungsinfrastruktur, eine Remote-Fehlerbehebung durchzuführen, für den Endbenutzer Probleme entstehen. Wenn diese Probleme offenkundiger werden, manifestieren sie sich als Unterbrechung der Stromversorgung. Sie können sich jedoch auch als Spannungseinbruch manifestieren, wenn es sich um Probleme handelt, die schneller behoben werden können oder die nur kurz auftreten. Einige der Methoden, die zur Lösung von Stromunterbrechungen verwendet wurden, können auch für Spannungseinbrüche verwendet werden: USV-Geräte, Motorgeneratoren und Methoden des Systemdesigns. Manchmal zeigen sich jedoch die durch Spannungseinbrüche verursachten Schäden nicht sofort, sondern treten erst allmählich zu Tage (Geräteschäden, Datenverluste, Fehler in Industrieprozessen).

Obwohl diese Technologie noch in den Kinderschuhen steckt, bieten einige Versorgungsunternehmen die Spannungseinbruchsanalyse als zusätzlichen Service für Kunden an. Mithilfe einer Spannungseinbruchsanalyse kann ermittelt werden, welche Höhe des Spannungseinbruchs von Geräten kompensiert werden kann oder nicht. Bei der Durchführung der Untersuchungen und der Ermittlung dieser Schwachstellen werden Informationen gesammelt, analysiert und an die Gerätehersteller übermittelt, damit sie die Überbrückungsfähigkeit ihrer Geräte verbessern können.

Unterspannung

Unterspannungen (**Abbildung 8**) sind die Folge langfristiger Probleme, die Einbruchsspannungen erzeugen. Der Begriff „Spannungsabfall“, der am häufigsten zur Beschreibung dieses Problems verwendet wurde, wurde durch den Begriff „Unterspannung“ abgelöst. Die Bezeichnung „Spannungsabfall“ ist nicht eindeutig, da sie sich auch auf die Lieferstrategie von kommerzieller Energie in Bedarfsspitzenzeiten beziehen kann. Unterspannungen können die Überhitzung von Elektromotoren verursachen und zum Ausfall von nicht linearen Lasten, wie z. B. Computer-Netzteilen, führen. Die Lösungen für Spannungseinbrüche gelten auch für Unterspannungen. Durch eine USV, die in der Lage ist Spannung zuerst durch einen Wechselrichter zu regulieren bevor Batteriestrom verwendet wird, kann der häufige Wechsel von USV-Batterien vermieden werden. Wichtiger ist jedoch, dass das konstante Vorliegen einer Unterspannung möglicherweise ein Hinweis auf einen schweren Gerätefehler, ein Konfigurationsproblem oder ein Problem mit der Netzstromversorgung sein kann.

Abbildung 8 - Unterspannung

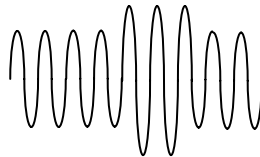


4. Spannungsanstieg/Überspannung

Spannungsanstieg

Ein Spannungsanstieg (**Abbildung 9**) ist das Gegenteil eines Spannungseinbruchs und bezeichnet eine Erhöhung der Netzwechselspannung für die Dauer einer Halbschwingung bis zu 1 Minute. Die häufigsten Ursachen für einen Spannungsanstieg sind hochohmige Nullpotenzialanschlüsse, plötzliche (insbesondere große) Lastreduzierungen sowie Einphasenfehler in einem Dreiphasensystem.

Abbildung 9 – Spannungsanstieg



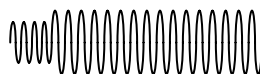
Datenfehler, Flackern der Beleuchtung, eine Verschlechterung der elektrischen Kontakte, Halbleiterschäden in elektronischen Geräten und eine Verschlechterung der Isolierung können die Folgen sein. Gängige Lösungen sind Leitungsregler, USV-Systeme und Ferroresonanz-Prüftransformatoren.

Wie Spannungseinbrüche werden auch Spannungsanstiege möglicherweise erst erkannt, wenn ihre Auswirkungen offenkundig sind. Mithilfe von USV- und/oder Aufbereitungssystemen, die außerdem eingehende Stromereignisse überwachen und protokollieren, kann ermittelt werden, wann und wie häufig diese Ereignisse auftreten.

Überspannung

Überspannungen (**Abbildung 10**) können die Folge langfristiger Probleme sein, die Spannungsanstiege erzeugen. Eine Überspannung kann als ausgedehnter Spannungsanstieg betrachtet werden. Überspannungen treten häufig auch in Bereichen auf, in denen die Stufen des Versorgungstransformators nicht korrekt eingestellt sind und Lasten reduziert wurden. Dies ist häufig der Fall in Saisongebieten, wo die Gemeinden außerhalb der Saison weniger Strom verbrauchen, jedoch die für den hohen Bedarf während der Saison festgelegte Stromabnahmemenge weiterhin geliefert wird, obwohl der Energiebedarf weit geringer ist. Dies ist als würde man den Daumen auf das Ende eines Gartenschlauchs pressen. Der Druck erhöht sich, weil die Öffnung, aus der das Wasser fließt, verringert wird und die aus dem Schlauch austretende Wassermenge gleich geblieben ist. Überspannungsbedingungen können hohe Stromaufnahmen verursachen, das nicht erforderliche Auslösen nachgeschalteter Stromunterbrechern bzw. Sicherungsautomaten veranlassen und außerdem zur Überhitzung und Überbelastung von Geräten führen.

Abbildung 10 - Überspannung



Da eine Überspannung im Wesentlichen lediglich ein konstant vorliegender Spannungsanstieg ist, können die für Spannungsanstiege geeigneten USV- oder Aufbereitungssysteme auch für Überspannungen verwendet werden. Wenn jedoch der eingehende Strom einer ständigen Überspannungsbedingung unterliegt, ist möglicherweise auch eine Korrektur der Netzstromversorgung der Anlage erforderlich. Die Symptome für Spannungsanstiege gelten auch für Überspannungen. Da Überspannungen von größerer Konstanz sein können, ist möglicherweise überschüssige Wärme ein äußerer Hinweis auf eine Überspannung. Geräte, die unter normalen Umgebungs- und Betriebsbedingungen verwendet werden und dabei ein bestimmtes Maß an Wärme erzeugen, können aufgrund der Belastung durch eine Überspannung plötzlich eine größere Wärmemenge erzeugen. Dies kann in einer dicht gepackten Datencenter-Umgebung nachteilige Folgen haben. Wärme und ihr Einfluss auf moderne Datencenter mit vielen dicht gepackten Blade-Server-Umgebungen ist ein Thema von großer Wichtigkeit im IT-Bereich.

5. Verzerrung der Wellenform

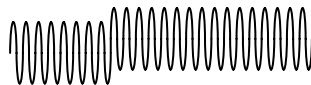
Es gibt fünf Haupttypen der Wellenformverzerrung:

1. Gleichstrom-Versatz
2. Oberschwingungen
3. Zwischenschwingungen
4. Kurze Spannungseinbrüche
5. Rauschen

Gleichstrom-Versatz

Gleichstrom kann in ein Wechselstrom-Verteilungssystem induziert werden, häufig durch den Ausfall von Gleichrichtern innerhalb der vielen Technologien zur Umwandlung von Wechselstrom in Gleichstrom, die in modernen Geräten stark verbreitet sind. Der Gleichstrom kann das Wechselstromsystem durchqueren und Geräten, die bereits auf Nennleistungsniveau arbeiten, unerwünschten Strom hinzufügen. Durch zirkulierende Gleichströme kann es zur Überhitzung und Sättigung von Transformatoren kommen. Wenn ein Transformator gesättigt ist, erwärmt er sich nicht nur, sondern er kann auch die Last nicht mit der vollen Leistung versorgen, wobei die daraus resultierende Wellenformverzerrung zu weiterer Instabilität in den elektronischen Lasten führen kann. **Abbildung 11** zeigt ein Beispiel für einen Gleichstrom-Versatz.

Abbildung 11 – Gleichstrom-Versatz



Die Lösung der durch Gleichstrom-Versatz verursachten Probleme besteht im Austausch des fehlerhaften Geräts als Problemursache. Hochmodulare, benutzeraustauschbare Geräte können in hohem Maße dazu beitragen, dass Gleichstrom-Versatz-Probleme, die durch fehlerhafte Geräte verursacht werden, problemlos behoben werden können, und zwar zu geringeren Kosten als für die Reparatur durch Fachpersonal anfallen würden.

Oberschwingungen

Die harmonische Verzerrung (**Abbildung 12**) ist eine Form der Verzerrung der sinusförmigen Grundwelle bei Frequenzen, die ein Vielfaches der Grundfrequenz darstellen (z. B. ist die Frequenz von 180 Hz die dritte Harmonische einer Grundfrequenz von 60Hz: $3 \times 60 = 180$).

Zu den Symptomen der Probleme durch Oberschwingungen gehören überhitzte Transformatoren, Nullleiter und andere Stromverteilungsgeräte sowie das Auslösen von Sicherungsautomaten und der Verlust der Synchronisierung bei der Terminierung von Stromkreisen, die von einem sauberen Auslösen der Sinuswelle am Nulldurchgang abhängig sind.

Die harmonische Verzerrung war in der Vergangenheit aufgrund der Art der Schaltnetzteile (SMPS) ein großes Problem im Hinblick auf IT-Geräte. Anstatt während jeder vollen Halbschwingung Strom aufzunehmen, ziehen diese nicht-linearen Lasten und viele andere kapazitiven Komponenten an jedem positiven und negativen Scheitelpunkt der Spannungswelle eine kleine Menge Strom ab. Da der Rückstrom nur von kurzer Dauer ist, (ca. 1/3 einer Schwingung) geht er am Nullleiter eine Kombination mit allen weiteren, vom Schaltnetzteil aus kommenden Rückführungen ein und nutzt dabei jede der drei Phasen in dem typischen Verteilungssystem. Anstatt sich zu subtrahieren, addieren sich die gepulsten Nullströme und erzeugen dabei sehr hohe Nullströme bei einem theoretischen Maximum, das das 1,73-fache des maximalen Phasenstroms beträgt. Ein überlasteter Nullleiter kann an den Strängen der Stromverteilung extrem große Spannungen erzeugen, die die angeschlossenen Geräte schwer beschädigen können. Gleichzeitig wird die Last dieser Mehrfachschaltnetzteile am Scheitelpunkt jeder Spannungshalbschwingung aufgenommen, was häufig zu Transformatorsättigung und nachfolgender Überhitzung geführt hat. Weitere Lasten, die zu diesem Problem beitragen, sind Motorantriebe mit variabler Drehzahl, Vorschaltgeräte und herkömmliche große USV-Systeme. Zur den Methoden zur Lösung dieses Problems gehört die Überdimensionierung von Nullleitern sowie die Installation von K-Rated-Transformatoren und Oberschwingungsfiltren.

Aufgrund des bemerkenswerten Wachstums der IT-Branche in den vergangenen zehn Jahren wurde die Bemessung von Stromversorgungssystemen für IT-Geräte zunehmend an internationale Standards angeglichen. Eine wichtige Änderung kompensiert die elektrischen Belastungen der Infrastruktur, die in der jüngeren Vergangenheit durch große Cluster von Stromversorgungssystemen für IT-Geräte verursacht wurden und die zur Entstehung von extrem großen Oberschwingungsströmen in einer Anlage beigetragen haben. Viele neue Stromversorgungen für IT-Geräte sind heute als Komponenten mit Leistungsfaktorkorrektur ausgelegt, die als lineare, überschwingungsfreie Lasten arbeiten. Diese Netzteile erzeugen nicht den überschüssigen Strom von Oberschwingungen.

Abbildung 12 – Beispiel für die Verzerrung der Wellenform durch Oberschwingungen

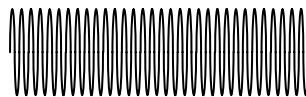


Zwischenschwingungen

Zwischenschwingungen (**Abbildung 13**) sind eine Art der Wellenformverzerrung, wie sie normalerweise entsteht, wenn ein Signal durch elektrische Geräte, wie z. B. statische Frequenzwandler, Induktionsmotoren und Lichtbogengeräte, auf die Versorgungsspannung übertragen wird. Steuerumrichter (die große Linearmotoren in Walzwerken, Zementwerken und Abbaumaschinen steuern) erzeugen einige der signifikantesten Probleme durch Zwischenschwingungen im Hinblick auf den Versorgungsstrom. Diese Geräte wandeln die Versorgungsspannung in eine Wechselspannung um, die niedriger oder höher als die Versorgungsfrequenz ist.

Die offenkundigste Auswirkung von Zwischenschwingungen ist das visuelle Flackern von Displays und Glühlampenlicht, außerdem können sie Wärme- und Übertragungsprobleme verursachen.

Abbildung 13 – Verzerrung der Wellenform durch Zwischenschwingungen



Die Lösungen für Zwischenschwingungen umfassen Filter, USV-Systeme und Leitungsregler.

Kurze Spannungseinbrüche

Kurze Spannungseinbrüche (**Abbildung 14**) sind periodische Spannungsstörungen, die durch elektronische Geräte, wie z. B. Antriebe mit variabler Drehzahl, Beleuchtungsdimmer und Lichtbogenschweißgeräte, verursacht werden können. Dieses Problem könnte als Impulsspannungsproblem beschrieben werden, da jedoch die kurzen Spannungseinbrüche während jeder Halbschwingung periodisch auftreten, wird dieses Phänomen als Problem der Wellenformverzerrung betrachtet. Die Folgen der kurzen Spannungseinbrüche sind Systemstopps, Datenverluste und Datenübertragungsprobleme.

Abbildung 14 – Kurze Spannungseinbrüche

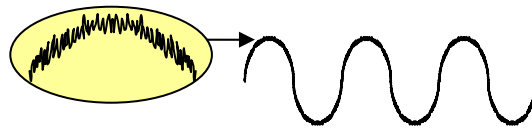


Eine Lösung im Hinblick auf kurze Spannungseinbrüche besteht darin, die Last aus der Umgebung des Geräts zu entfernen, das das Problem verursacht (falls möglich). USV-Systeme und Filtergeräte sind ebenfalls wirksame Lösungen, wenn kein Standortwechsel der Geräte möglich ist.

Rauschen

Rauschen (**Abbildung 15**) ist die Überlagerung der Spannungs- oder Stromwellenform des Stromsystems durch unerwünschte Spannung oder Strom. Rauschen kann durch elektronische Geräte, Steuerstromkreise, Lichtbogenschweißgeräte, Schaltnetzteile, drahtlose Sendegeräte usw. verursacht werden. Schlecht geerdete Standorte machen das System anfälliger für Rauschen. Rauschen kann bei technischen Geräten Probleme verursachen, wie z. B. Datenfehler, Fehlfunktionen, langfristiger Ausfall von Komponenten, Festplattenfehler und verzerrte Videobilder.

Abbildung 15 – Rauschen

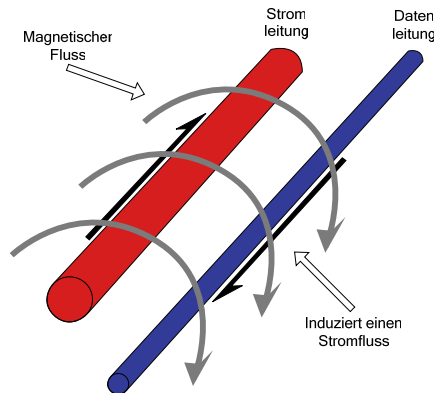


Es gibt viele unterschiedliche Methoden zum Entfernen von Rauschen, wobei es manchmal notwendig ist, mehrere Methoden zu kombinieren, um das erwünschte Ergebnis zu erhalten. Zu den Methoden gehören:

- Trennung der Last durch eine USV
- Installation eines geerdeten, geschirmten Trenntransformators
- Entfernen der Last aus dem Bereich der Störquelle
- Installation von Rauschfiltern
- Kabelschirmung

Datenverluste zählen zu den häufigsten Folgen von Rauschen. EMI (Elektromagnetische Interferenz) und RFI (Radiofrequenzinterferenz) können in Daten führenden Systemen eine Induktivität (induzierter Strom und induzierte Spannung) erzeugen (siehe **Abbildung 16**). Da die Daten in digitaler Form (Darstellung von Eins und Null durch Vorliegen bzw. Nichtvorliegen einer Spannung) übertragen werden, kann überschüssige Spannung oberhalb des Betriebsniveaus der Daten bewirken, dass nicht dazugehörige Daten auftreten oder Daten verschwinden. Ein klassisches Beispiel dafür, wie durch eine Induktivität verursachtes Rauschen entstehen kann, sind Netzkabel, die in einer abgehängten Decke in unmittelbarer Nähe von Neonlampen verlaufen. Neonlampen erzeugen ein erhebliches Maß an elektromagnetischer Interferenz (EMI), das in der unmittelbaren Nähe von Netzkabeln fehlerhafte Daten verursachen kann. Dies kann auch häufig der Fall sein, wenn Netzkabel in unmittelbarer Nähe von Leitungen mit hoher Kapazität verlaufen. Gebündelte Stromleitungen werden in Datacentern mit Doppelboden häufig zusammen mit Netzkabeln verlegt. Dadurch erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, dass Rauschen auftritt.

Abbildung 16 – Induktivität



Zu den Lösungen für dieses besondere Problem gehört das Entfernen der Daten führenden Geräte und/oder der Kabel aus der Umgebung der EMI/RFI-Quelle oder das Vorsehen zusätzlicher Abschirmungen für die Datengeräte und/oder ihre Kabel, um die Auswirkungen von EMI/RFI zu reduzieren oder zu eliminieren.

6. Spannungsschwankungen

Da sich Spannungsschwankungen von den übrigen Anomalien der Wellenform grundlegend unterscheiden, werden sie in einer eigenen Kategorie erfasst. Eine Spannungsschwankung (**Abbildung 17**) ist eine systematische Variation der Spannungswellenform oder eine Reihe von zufälligen kleinen Spannungsänderungen, nämlich 95 bis 105 % des Nennwerts bei einer niedrigen Frequenz, in der Regel unter 25 Hz.

Abbildung 17 – Spannungsschwankungen



Jede Last, die signifikante Stromschwankungen aufweist, kann Spannungsschwankungen verursachen. Lichtbogenöfen sind die häufigste Ursache für Spannungsschwankungen im Übertragungs- und Verteilungssystem. Ein Symptom dieses Problems ist das Flackern von Glühlampen. Methoden zur Lösung dieses Problems sind das Entfernen der Störlast, ein Standortwechsel der empfindlichen Geräte oder die Installation von Leitungsreglern oder USV-Systemen.

7. Frequenzschwankungen

Frequenzschwankungen (**Abbildung 18**) sind extrem selten in stabilen Stromversorgungssystemen, insbesondere in über ein Stromnetz verbundenen Systemen. An Standorten mit dedizierten Bereitschaftsgeneratoren oder unzureichender Infrastruktur treten Frequenzschwankungen häufiger auf, insbesondere bei starker Belastung des Generators. IT-Geräte sind frequenztolerant und werden normalerweise durch leichte Verschiebungen der lokalen Generatorfrequenz nicht beeinträchtigt. Beeinträchtigt wird jedoch jedes Motorgerät oder empfindliche Gerät, das von der ständigen zyklischen Versorgung mit Strom in Abhängigkeit von der Zeit abhängt. Frequenzschwankungen können einen Motor veranlassen, mit höherer oder niedrigerer Drehzahl zu laufen, um sich an die Frequenz des Eingangstroms anzupassen. Dies verursacht einen ineffizienten Motorbetrieb und/oder die Erzeugung von zusätzlicher Wärme sowie die Beschädigung des Motors durch erhöhte Motorgeschwindigkeit und/oder zusätzliche Stromaufnahmen.

Abbildung 18 – Frequenzschwankungen



Zur Behebung dieses Problems sollten alle erzeugten Stromquellen und anderen Stromquellen, die die Frequenzschwankung verursachen, bewertet und anschließend repariert, korrigiert oder ersetzt werden.

Spannungsungleichgewicht

Ein Spannungsungleichgewicht ist kein Typ der Wellenformverzerrung. Da es jedoch wichtig ist, bei der Bewertung von Stromqualitätsproblemen auf Spannungsungleichgewichte zu achten, soll dieser Punkt im vorliegenden Dokument erläutert werden.

Einfach ausgedrückt liegt ein Spannungsungleichgewicht (wie bereits der Name sagt) vor, wenn Versorgungsspannungen nicht gleich sind. Diese Probleme können zwar auch durch externe Netzstromversorgung verursacht werden, die Quelle für Spannungsungleichgewichte hat jedoch meist interne Gründe und wird durch Anlagenlasten verursacht. Genauer gesagt, tritt dieses Phänomen in dreiphasigen Stromverteilungssystemen auf, wenn einer der Stränge einphasige Geräte mit Strom versorgt, während das System auch dreiphasigen Lasten Strom zuführt.

In der Regel manifestieren sich diese Ungleichgewichte in Form von Erwärmung, insbesondere bei Halbleitermotoren. Größere Ungleichgewichte können eine starke Erwärmung von Komponenten des Motors und den intermittierenden Ausfall von Motorsteuereinheiten verursachen.

Eine schnelle Möglichkeit zur Bewertung des Spannungsungleichgewichts besteht darin, die Differenz zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Spannungswert der drei Versorgungsspannungen zu ermitteln. Diese Zahl sollte maximal 4 % der niedrigsten Versorgungsspannung betragen. Diese schnelle Möglichkeit für eine einfache Bewertung des Spannungsungleichgewichts wird nachfolgend durch ein Beispiel veranschaulicht.

Beispiel:

Erste Versorgungsspannung:	220 V
Zweite Versorgungsspannung:	225 V
Dritte Versorgungsspannung:	230 V
Niedrigste Spannung:	220 V

$$4 \% \text{ von } 220 \text{ V} = \mathbf{8,8 \text{ V}}$$

Differenz zwischen der höchsten und der niedrigsten Spannung: **10 V**

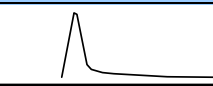
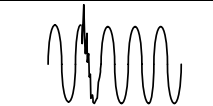
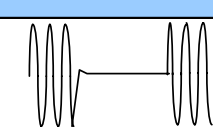
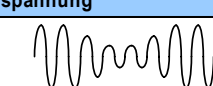
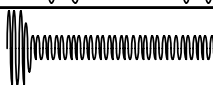
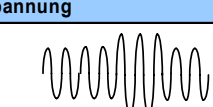
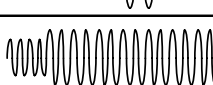
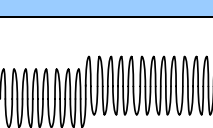
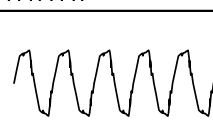
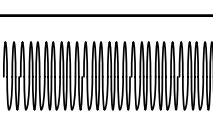
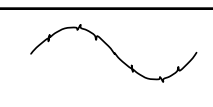
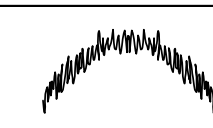
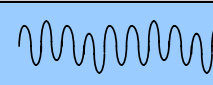
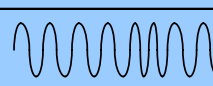
10 V > 8,8 V – das Ungleichgewicht ist zu groß!

Die Behebung von Spannungsungleichgewichten erfordert die Neukonfiguration von Lasten oder Änderungen der eingehenden Versorgungsspannungen (falls das Ungleichgewicht nicht durch interne Lasten verursacht wird).

Lösungen für Stromstörungen

Tabelle 1 fasst die in diesem Dokument erläuterten Stromstörungen zusammen und führt mögliche Lösungen zur Begrenzung der Auswirkungen an, die diese Probleme auf Unternehmensabläufe haben können.

Tabelle 1 – Zusammenfassung der Störungen mit Lösungshinweisen

Störungskategorie	Wellenform	Auswirkung	Mögliche Ursachen	Mögliche Lösungen
1. Spannungsstöße				
Impulsartig		Datenverluste, mögliche Schäden, Systemstopps	Blitzschlag, ESE, Schaltimpulse, Fehlerbehebung durch Versorgungsgeräte	TVSS, Luftfeuchtigkeit zwischen 35 und 50 % halten
Schwingungsartig		Datenverluste, mögliche Schäden	Abschalten induktiv er/kapazitiver Lasten	TVSS, USV, Reaktanzspulen/Drosseln, Nulldurchgangsschalter
2. Unterbrechungen				
		Datenverluste, mögliche Schäden, Ausfall	Schaltvorgänge, Versorgungsfehler, Auslösen des Leistungsschalter, Komponentenausfall	USV
3. Spannungseinbruch/Unterspannung				
Spannungseinbruch		Systemstopps, Datenverluste, Ausfall	Anlaufasten, Fehler	Leistungsregler, USV
Unterspannung		Systemstopps, Datenverluste, Ausfall	Versorgungsfehler, Laständerungen	Leistungsregler, USV
4. Spannungsanstieg/Überspannung				
Spannungsanstieg		Auslösen des Überlastungsschutzes, Geräteschäden/verminderte Lebensdauer	Laständerungen, Versorgungsfehler	Leistungsregler, USV, Ferroresonanz-Prüftransformatoren
Überspannung		Geräteschäden/verminderte Lebensdauer	Laständerungen, Versorgungsfehler	Leistungsregler, USV, Ferroresonanz-Prüftransformatoren
5. Verzerrung der Wellenform				
Gleichstrom-Versatz		Erwärmung von Transformatoren, Erdschlussstrom, Auslösen des Überlastungsschutzes	Fehlerhafte Gleichrichter, Stromversorgungsgeräte	Fehlerbehebung und Austausch der defekten Komponenten
Oberschwingungen		Erwärmung von Transformatoren, Systemstopps	Elektronische Lasten (nicht-lineare Lasten)	Neukonfiguration der Verteilung, Installation von K-Faktor-Transformatoren, Einsatz von Stromversorgungen mit Leistungsfaktorkorrektur
Zwischenharmonische		Flackern der Beleuchtung, Erwärmung, Übertragungsstörungen	Steuersignale, fehlerhafte Geräte, Steuerumrichter, Frequenzwandler, Induktionsmotoren, Lichtbogengeräte	Leistungsregler, Filter, USV
Kurze Spannungseinbrüche		Systemstopps, Datenverluste	Antriebe mit variabler Drehzahl, Beleuchtungsdimmer	Neukonfiguration der Verteilung, Standortwechsel empfindlicher Lasten, Installation von Filtern, USV
Rauschen		Systemstopps, Datenverluste	Sendegeräte (Funk), fehlerhafte Geräte, unzureichende Erdung, Nähe von EM/RFI-Quellen	Sendegeräte entfernen, Erdung neu vornehmen, Standort entfernt von EM/RFI-Quelle wählen, Abschirmung verstärken, Filter, Trenntransformator
6. Spannungsschwankungen		Systemstopps, Flackern der Beleuchtung	Diskontinuierlicher Betrieb von Lastgeräten	Neukonfiguration der Verteilung, Standortwechsel empfindlicher Lasten, Leistungsregler, USV
7. Variationen der Leistungsfrequenz		Synchronerätefehler, keine Auswirkung auf IT-Geräte	Unzureichende Regelung der Bereitschaftsgeneratoren	Generatorregler aktualisieren

Ergebnisse

Die weit verbreitete Verwendung von elektronischen Geräten hat die Aufmerksamkeit im Hinblick auf die Stromqualität und ihren Einfluss auf unternehmenswichtige elektrische Geräte erhöht. Unsere Welt funktioniert in zunehmendem Maße auf der Grundlage von kleinen Mikroprozessoren, die selbst auf geringe Stromschwankungen empfindlich reagieren. Diese Mikroprozessoren steuern superschnelle automatische Roboter montagen und Verpackungsstraßen, die keine Ausfallzeiten erlauben. Kostengünstige Lösungen zur Begrenzung oder Eliminierung der Auswirkungen von Stromqualitätsstörungen sind verfügbar. Um in der Branche die Kommunikation und das Wissen über Stromstörungen sowie der Maßnahmen zu ihrer Vermeidung zu unterstützen, sind einheitliche Begriffe und Definitionen zur Beschreibung der verschiedenen Phänomene erforderlich. Im vorliegenden Dokument wurde der Versuch unternommen, Störungen der Stromqualität zu definieren und darzustellen. Grundlage dafür war IEEE Standard 1159-1995, "IEEE Recommended Practice for Monitoring Electrical Power Quality".

Die Reduzierung von Geräteausfallzeiten und Produktionskosten und dadurch die Erhöhung des Gewinns ist das Ziel von Unternehmen jeder Größe. Eine Kommunikation auf der Grundlage umfassender Kenntnisse der elektrischen Umgebung und der Anfälligkeit von Geräten gegenüber Stromqualitätsstörungen kann einen Beitrag dazu leisten, bessere Methoden zur Verwirklichung von Unternehmenszielen und Träumen zu finden.

Über die Autoren

Joseph Seymour ist führender Forderungsanalyst für die APC-Forderungsabteilung in West Kingston, Rhode Island. Er analysiert und untersucht Beschädigungen, die durch katastrophale Spannungstöße verursacht wurden, und entscheidet über Kundenforderungen, die nach der APC-Richtlinie für den Geräteschutz (Equipment Protection Policy) eingereicht wurden.

Terry Horsley ist als unabhängiger Berater im Bereich Stromqualität für APC tätig. Er verfügt über eine mehr als 20-jährige Erfahrung in den Bereichen Engineering-Management, Unterstützung kritischer Infrastrukturen, Schulung, Curriculumentwicklung und Technical Writing sowie in der Durchführung von Site-Surveys in Europa, Südostasien und den USA.

Anhang – Toleranz bei der Stromversorgung

Nachdem die verschiedenen Stromstörungen definiert und beschrieben wurden, soll nun noch auf die Toleranzbreite moderner Geräte hinsichtlich dieser Störungen eingegangen werden. Nicht alle Stromstörungen haben eine Auswirkung auf moderne Geräte. Es gibt einen Akzeptanzbereich für Wechselspannungsschwankungen und -störungen, der von Stromversorgungen für moderne Geräte über kurze Zeitspannen toleriert wird.

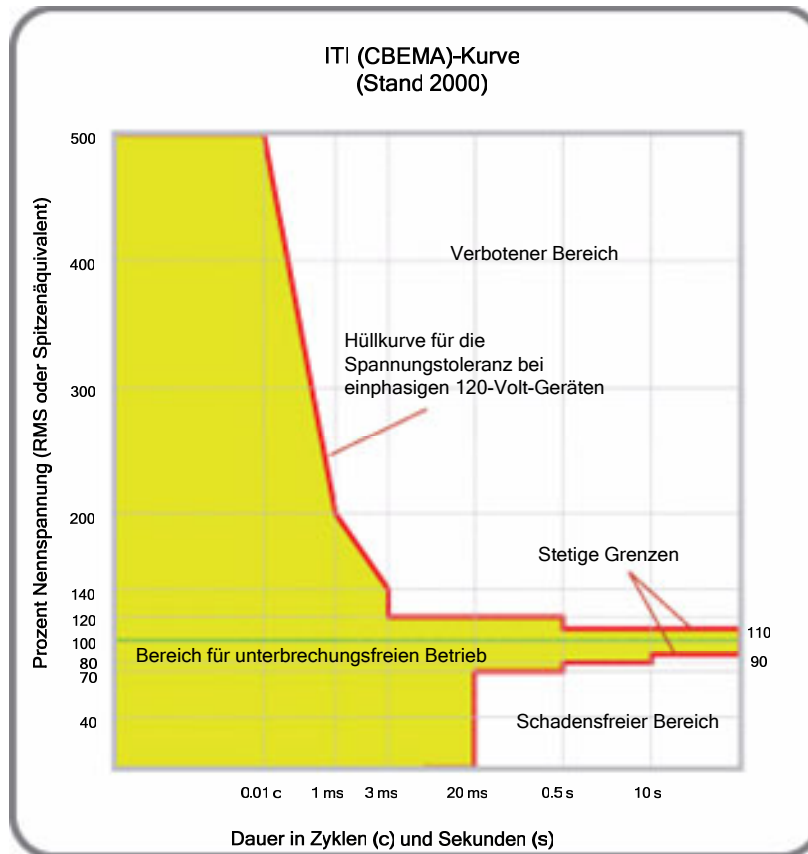
Die meisten technologischen Geräte werden mit Niederspannungsgleichstrom betrieben, der von leichten, toleranten Schaltnetzteilen (SMPS) geliefert wird, die Nennwechselstrom in positive und negative Gleichstromspannung umwandeln. Netzteile sind die wirksamste Barriere zwischen empfindlichen elektronischen Komponenten und der Rohenergie der Netzversorgungsspannung mit ihrem typischen Hintergrundrauschen.

Spezifikationen des internationalen Standards IEC 61000-4-11 definieren Grenzen für die Größe und Dauer von Spannungsstörungen, die für SMPS-Lasten tolerierbar sind. Außerdem zeigt eine Application Note eine Leistungskurve, die in der Branche allgemein als CBEMA-Kurve bezeichnet und ursprünglich von der CBEMA (Computer and Business Manufacturer's Association) entwickelt wurde, die für minimale Toleranz hinsichtlich Stromstörungen in einphasigen Netzteilen von IT-Geräten ausgelegt ist. Von ITIC (Information Technology Industry Council, früher CBEMA) wurde die ursprüngliche Kurve (siehe **Abbildung A1**) jetzt überarbeitet. Die Kurve und die Application Note sind auf der folgenden Website verfügbar:

www.itic.org/technical/iticurv.pdf

Abbildung A1 zeigt eine Zeitskala, die mit einer Unterzyklus-Skala beginnt und zehn Sekunden der Stromversorgung mit Gleichstrom umfasst. Die vertikale Skala gibt die an einphasige IT-Geräte angelegte Nennspannung an. Die gängigsten Nennspannungen in diesem Rahmen sind 120 V Wechselspannung für 60-Hz-Geräte sowie 240 V Wechselspannung für 50-Hz-Geräte. Anhand der Nullspannungslinie lässt sich erkennen, dass die Stromversorgung 20 Millisekunden lang aufrecht erhalten wird, nachdem die Versorgungsspannung auf Null abgefallen ist. Dies bedeutet, dass die Gleichstromversorgung während der Zeitspanne von 1/50 einer Sekunde nach dem Verlust der Wechselspannungsversorgung fortgesetzt wird. Ein weiteres Merkmal dieser Kurve ist, dass bei einem Anstieg der eingehenden Wechselspannung auf 80 % ihres Nennwerts der ausgehende Gleichstrom der Stromversorgung den Schaltkreis für eine Mindestzeitspanne von 10 Sekunden aufrecht erhält. Auf der positiven Seite der 100-Prozent-Linie müssen Stromversorgungen einen Anstieg von 200 % während einer Zeitspanne von mindestens einer Millisekunde tolerieren. Bei einer Periode von 0,01 des Wechselspannungszyklus (d. h. 1,6 Mikrosekunden in einem 60-Hz-System und 2,0 Mikrosekunden in einem 50-Hz-System) toleriert die Stromversorgung einen Anstieg von 500 % ohne Unterbrechung des Schaltkreisbetriebs.

Abbildung A1 – ITIC-Kurve



Quellen

“IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality”, IEEE Std. 1159-1995.

Ron A. Adams, "Power Quality: A Utility Perspective", AEE Technical Conference Paper, Oktober 1996.

Wayne L. Stebbins, "Power Distortion: A User's Perspective On The Selection And Application Of Mitigation Equipment And Techniques", IEEE Textile Industry Technical Conference Paper, Mai 1996.

IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Sensitive Electronic Equipment (IEEE Green Book), IEEE Std. 1100-1992.

„Power Quality for Electrical Contractors“ (Kurs), Electric Power Research Institute / Duke Power Company, November 1996.

„Reduced Voltage Starting of Low Voltage, Three-Phase Squirrel-Cage Induction Motors Technical Review“, Square D Product Data Bulletin, Bulletin No. 8600PD9201, Juni 1992.

Anthony O. Bird, „Protection Zoning: A New Approach,“ Duke Power Company Power Quality Trade Show, September 1994.

„Surge Protection Online User's Guide,“ MCG Electronics, Inc., Internet-Veröffentlichung, Stand 21.06.96.

R. P. O'Leary and R. H. Harner, „Evaluation of Methods for Controlling the Overvoltages Produced by the Energization of a Shunt Capacitor Bank“, International Conference on Large High Voltage Electric Systems, August 1988.

John F. Hibbard, „Understanding and Correcting Harmonic Distortion“, PCIM/Power Quality '92 Conference and Exhibition, September 1992.

„Practical Guide To Quality Power For Sensitive Electronic Equipment“, EC&M / Electrical Group, Mai 1994.