

Spannungsversorgung von Geräten mit einem Netzteil in Umgebungen mit doppelt geführten Stromkreisen

Victor Avelar

**White paper /
technische
Dokumentation
Nr. 62**

APC[®]
Legendary Reliability[®]

Zusammenfassung

Heutzutage werden im IT-Bereich aus Sicherheitsgründen Systeme und Geräte eingesetzt, die über zwei separate Wechselstromnetzanschlüsse und Netzteile verfügen. Diese Geräte werden an zwei separate Stromkreise des Wechselstromnetzes angeschlossen. In diesen Umgebungen müssen jedoch auch Geräte eingesetzt werden, die nur über einen einzigen Wechselstromnetzanschluss und nur ein einziges Netzteil verfügen. Diese Geräte können jedoch auf unterschiedliche Weise in redundante Umgebungen mit zwei separaten Stromkreisen des Wechselstromnetzes eingebunden werden. In diesem Dokument sind die Unterschiede zwischen den einzelnen Möglichkeiten beschrieben. Ferner wird Hilfestellung dabei geboten, die für den jeweiligen Anwendungsfall optimal geeignete Lösung zu wählen.

Einleitung

Die meisten Datacenter, bei denen permanente Verfügbarkeit unerlässlich ist, versorgen kritische Lasten über zwei separate Wechselstromnetzanschlüsse. Enterprise-IT-Geräte enthalten überwiegend mehrere Netzteile und Wechselstromnetzanschlüsse bis hin zu der internen Stromschiene. Auf diese Weise können die Geräte bei einem Ausfall eines Stromkreises weiterarbeiten. Der Einsatz von Geräten mit einem einzigen Netzteil in einem Datacenter, bei dem permanente Verfügbarkeit unerlässlich ist, ist mit Risiken behaftet. Geräte mit einem einzigen Netzteil werden häufig mit einem Netzspannungsumschalter betrieben, um die Vorteile doppelt geführter Stromkreise nutzen zu können. Wenn dieses Prinzip nicht richtig verstanden wird, kann der Einsatz von Netzspannungsumschaltern zu Ausfallzeiten führen, die ansonsten vermieden werden könnten.

Geräte mit einfachem Netzteil können auf drei unterschiedliche Arten in Umgebungen mit doppelt geführten Stromkreisen betrieben werden. Hierbei handelt es sich um folgende Möglichkeiten:

- Spannungsversorgung über einen einzigen Stromkreis – **Abb. 1a**
- Unmittelbar am Gerät wird ein Netzspannungsumschalter installiert, mit dem der primäre Stromkreis des Wechselstromnetzes gewählt wird. Beim Ausfall dieses Stromkreises schaltet der Netzspannungsumschalter automatisch auf den sekundären Stromkreis um – **Abb. 1b**
- Verwendung eines zentralen Netzspannungsumschalters, der eingangsseitig mit den beiden Stromkreisen verbunden ist. Ausgangsseitig ist der Netzspannungsumschalter mit einer Vielzahl von Geräten mit nur jeweils einem Netzteil verbunden (**Abb. 1c**).

Abb. 1a – Spannungsversorgung über einen einzigen Stromkreis

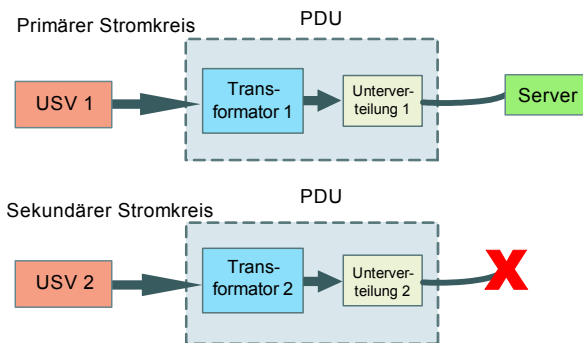


Abb. 1b – Netzspannungsumschalter

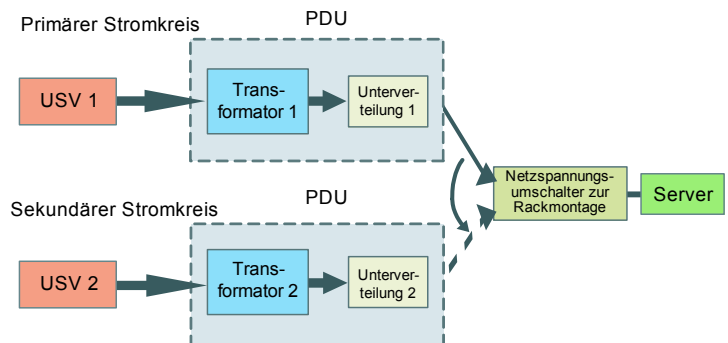
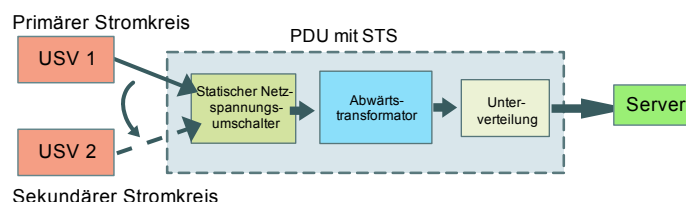


Abb. 1c – Zentraler Netzspannungsumschalter



Funktionen eines Netzspannungsumschalters

Netzspannungsumschalter werden in großer Stückzahl in Datacentern eingesetzt. Sie übernehmen die folgende Funktionen:

1. Umschalten einer USV (Unterbrechungsfreie Stromversorgung) und anderen Lasten vom Wechselstromnetz auf den Ausgang eines Notstromaggregats während eines Netzspannungsausfalls
2. Umschalten einer ausgefallenen USV auf das Wechselstromnetz oder eine andere USV (je nach Ausführung)
3. Umschalten kritischer Lasten in IT-Umgebungen vom Ausgang einer USV auf den Ausgang einer anderen USV in Systemen mit zwei separaten Wechselstromnetzanschlüssen

Im vorliegenden Dokument ist ausschließlich die dritte Funktion beschrieben. Wenn alle Geräte in einer IT-Umgebung über zwei separate Wechselstromnetzanschlüsse verfügen würden, gäbe es für diese Anwendung keinen Bedarf. Die meisten hochwertigen, in Netzwerken eingesetzten Geräte, Storage Systems und Server verfügen über zwei Netzteile und zwei separate Wechselstromnetzanschlüsse. Allerdings handelt es sich bei ca. 10 bis 20 % aller Geräte von IT-Systemen in einsatzkritischen Einrichtungen immer noch um Geräte, die nur über einen einzigen Wechselstromnetzanschluss verfügen. Wenn derartige Geräte an einem von zwei vorhandenen Stromkreisen des Wechselstromnetzes betrieben werden, ist die Aufrechterhaltung der Funktionsfähigkeit des IT-Systems nicht mehr gewährleistet. Gemäß dem APC-White paper Nr. 48 mit dem Titel „Verfügbarkeitsvergleich von verschiedenen stromredundanten Rackkonfigurationen“ ist die Ausfallsicherheit eines Datacenters, das ausschließlich mit Geräten bestückt ist, die über zwei separate Wechselstromnetzanschlüsse oder zwei separate Stromkreise verfügen, etwa um den Faktor 10.000 höher als bei Verwendung von Geräten, die nur über einen einzigen Wechselstromnetzanschluss verfügen. Dieses Problem kann zumindest teilweise durch den Einsatz von Netzspannungsumschaltern gelöst werden, da die beiden Stromkreise des Wechselstromnetzes näher an die Last herangebracht werden.

Arten von Netzspannungsumschaltern

Für die Auswahl des besten Stromkreises stehen zwei Arten von Netzspannungsumschaltern zur Verfügung: statische und elektromechanische. Beide Arten basieren auf dem Prinzip der Umschaltung zwischen einer primären und einer sekundären Netzspannungsquelle. Obwohl die beiden Arten von Netzspannungsumschaltern das gleiche Ergebnis erzielen, erreichen sie dies jedoch auf unterschiedliche Weise. Jeder Typ von Netzspannungsumschalter weist seine spezifischen Eigenschaften auf und eignet sich deshalb für unterschiedliche Anwendungen. Nachstehend ist die Funktionsweise dieser Netzspannungsumschalter kurz beschrieben. Eine detailliertere Beschreibung finden Sie in **Anhang A**.

Statische Netzspannungsumschalter (STS)

Anwendungen

Heutzutage stehen statische Netzspannungsumschalter mit Ausgangsleistungen von 5 kVA bis 35 MVA zur Verfügung. STS werden in den unterschiedlichsten Anwendungen wie z.B. in Stromversorgungsunternehmen, Fertigungsanlagen von Kraftfahrzeugherstellern, in Halbleiterfabriken, Erdölraffinerien und Datacentern eingesetzt. Die meisten dieser Netzspannungsumschalter liefern Leistungen im Bereich von 100 bis 300 kVA und belegen typischerweise die Standfläche von zwei nebeneinander installierten Racks mit IT-Hardware. Beim Einsatz in Raffinerien, in denen das werksinterne Wechselstromnetz nicht so zuverlässig wie das in den meisten einsatzkritischen Datacentern ist, werden die Vorteile statischer Netzspannungsumschalter ohne Einschränkung geschätzt. Die Wechselstromnetze einsatzkritischer Datacenter sind weitaus robuster. In diesen Fällen wird der Vorteil des Einsatzes von STS durch die Verringerung der Zuverlässigkeit des Wechselstromnetzes zunichte gemacht. Ein Beispiel für einen STS mit einer Ausgangsleistung von 200 kVA ist in **Abb. 2** zu sehen. Statische Netzspannungsumschalter dieser Leistung eignen sich am besten für große 3-Phasen-Lasten wie z.B. CNC-Maschinen und andere kritische Bestandteile von Fertigungsanlagen. Obwohl heute große, mit 3 Phasen versorgte IT-Geräte wie Storage Systeme zur Verfügung stehen, sind diese im Allgemeinen mit mehreren Netzteilen ausgerüstet. Bei Geräten mit zwei separaten Wechselstromnetzanschlüssen werden Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit dadurch verbessert, dass die beiden Stromkreise so nah wie möglich zur Last gebracht werden.

Statische Netzspannungsumschalter mit Ausgangsleistungen im Bereich von 5 bis 10 kVA sind im Allgemeinen für die Installation in einem standardmäßigen 19-Zoll-Rack mit einer Breite von 483 mm gemäß **Abb. 3** vorgesehen. Statische Netzspannungsumschalter dieses Typs werden normalerweise in IT-Umgebungen wie Schaltschränken und Computerräumen installiert. Bei Verwendung kleinerer Netzspannungsumschalter wird ein Ausfall eines größeren Teils eines Datenzentrums aufgrund eines defekten STS vermieden. Der Ausfall beschränkt sich auf die Geräte mit einfachem Wechselstromnetzanschluss in einem Rack. Im Gegensatz zu STS höherer Ausgangsleistung sind in 19-Zoll-Racks installierte Netzspannungsumschalter skalierbarer und können schnell umpositioniert werden. Die relativ kurze Lieferzeit für einen kleineren Netzspannungsumschalter ermöglicht es, einen Netzspannungsumschalter erst im Bedarfsfall zu beschaffen. Ferner können diese Netzspannungsumschalter auf einfachste Weise installiert und innerhalb einer IT-Umgebung je nach Bedarf schnell umkonfiguriert werden.

Abb. 2 – STS mit einer Ausgangsleistung von 200 kVA



Abb. 3 – STS in 19-Zoll-Rack



Quelle: www.cyberex.com



Quelle: www.spdtech.com

Arbeitsweise

Wie aus der Bezeichnung ersichtlich, enthalten statische Netzspannungsumschalter keine beweglichen Teile. Diese Netzspannungsumschalter arbeiten ausschließlich als Halbleiterumschalter. Ein einphasiger statischer Netzspannungsumschalter besteht im Wesentlichen aus zwei Paaren von Thyristoren (Silikon-gesteuerten Gleichrichtern), die von einer Sensorschaltung gesteuert werden. Wenn diese Schaltung erkennt, dass die Netzwechselfspannung im primären Stromkreis außerhalb der Toleranz liegt, wird die Verbindung mit diesem Stromkreis unterbrochen und eine Verbindung mit dem sekundären Stromkreis hergestellt. Die Umschaltzeit beträgt normalerweise ca. 4 ms, kann aber je nach Status der beiden Stromkreise etwas länger dauern.

Ausfallarten

Im Allgemeinen steigt die Anzahl der Ausfallarten mit zunehmender Komplexität eines Systems an.

Im Vergleich mit elektromagnetischen Netzspannungsumschaltern sind statische Netzspannungsumschalter erheblich komplexer. Dies liegt unter anderem daran, dass die Geschwindigkeit, mit der Entscheidungen getroffen werden müssen, sehr hoch ist.

** Beispielsweise muss die Steuerschaltung mehrere Variablen beider Stromkreise wie Phasenwinkel, Schaltzustände der Thyristoren und der Trennschalter sowie die Spannungen und die Ströme überwachen.

- Ausfall der Steuerschaltung eines statischen Netzspannungsumschalters

Die Steuerschaltung eines statischen Netzspannungsumschalters ist aufgrund ihrer Komplexität seine kritischste Komponente. Wenn die Steuerschaltung keine Signale für die Steuerung der Thyristoren generiert, bleiben diese nicht durchgeschaltet, sodass keine Verbindung zwischen der Last und dem Wechselstromnetz besteht. Aus diesem Grund enthalten fast alle statischen Netzspannungsumschalter redundante Steuerschaltungen und Netzteile. Die Thyristorschalter werden einzeln angesteuert, sodass die Steuerschaltung vier allgemein mögliche Fehlerarten aufweist.

- 1) Die Steuerschaltung generiert ein Steuersignal, um den primären Thyristorschalter zu schließen, obwohl dieser geöffnet sein soll. Hierdurch bricht die Netzwechselfspannung an der Last zusammen, wenn der primäre Stromkreis nicht in der Lage ist, den erforderlichen Strom zu liefern.
- 2) Die Steuerschaltung generiert ein Steuersignal, um den primären Thyristorschalter zu öffnen, obwohl dieser geschlossen sein sollte. Hierdurch bricht die Netzwechselfspannung an der Last zusammen, wenn der sekundäre Thyristorschalter geöffnet ist oder der sekundäre Stromkreis nicht in der Lage ist, den erforderlichen Strom zu liefern.
- 3) Die Steuerschaltung generiert ein Steuersignal, um den sekundären Thyristorschalter zu schließen, obwohl dieser geöffnet sein soll. Hierdurch bricht die Netzwechselfspannung an der Last zusammen, wenn der sekundäre Stromkreis nicht in der Lage ist, den erforderlichen Strom zu liefern.
- 4) Die Steuerschaltung generiert ein Steuersignal, um den sekundären Thyristorschalter zu öffnen, obwohl dieser geschlossen sein sollte. Hierdurch bricht die Netzwechselfspannung an der Last zusammen, wenn der primäre Thyristorschalter geöffnet ist oder der primäre Stromkreis nicht in der Lage ist, den erforderlichen Strom zu liefern.

- Thyristorausfall

Thyristoren sind im Allgemeinen sehr zuverlässig. In 98 % der Fälle handelt es sich beim Ausfall eines Thyristors um einen Kurzschluss, wodurch an der Last keine Netzwechselfspannung anliegt, wenn die diesem Netzspannungsumschalter zugeführte Netzwechselfspannung ausfällt. Das Erkennen eines kurzgeschlossenen Thyristors ist problematisch, da der Unterschied zwischen dem Spannungsabfall an einem kurzgeschlossenen und einem durchgeschalteten Thyristor typischerweise weniger als 0,5 V beträgt. Hierdurch wird die Komplexität der Steuerschaltung erhöht.

- Ausfall des ausgangsseitigen Trennschalters

Wenn der ausgangsseitige Trennschalter geöffnet wird, obwohl er geschlossen sein sollte, findet ein Lastabwurf statt. Manchmal werden zwei ausgangsseitige Trennschalter verwendet, um zu vermeiden, dass nur eine einzige potenzielle Fehlerstelle vorhanden ist. Dies führt jedoch zu einer komplizierteren Synchronisation der Trennschalter.

- Ausfall durch menschliches Versagen

In den meisten einsatzkritischen Umgebungen ist menschliches Versagen eine der häufigsten Ausfallarten. Unter Berücksichtigung der Komplexität eines statischen Netzspannungsumschalters und seiner Wechselwirkung mit verschiedenen Netzspannungsquellen ist menschliches Versagen eine relativ häufige Ausfallursache. Hierzu einige typische Beispiele:

- Eine ungeeignete Konfiguration eines statischen Netzspannungsumschalters kann negative, für den Einsatzort spezifische Wechselwirkungen zur Folge haben.
- Fehlbedienung der Überbrückungstrennschalter des STS Wenn der Trennschalter zum Anschalten des primären Stromkreises geschlossen wird, dieser aber keine Netzwechselspannung liefert, kommt es zum Lastabwurf.
- Falsche Wartung.

Schließlich muss angemerkt werden, dass größere Netzspannungsumschalter, und zwar unabhängig von ihrer Ausfallart, die Trennung einer größeren Anzahl von Lasten vom Wechselstromnetz als kleinere Netzspannungsumschalter bewirken.

Elektromechanische oder automatische Netzspannungsumschalter (ATS)

Anwendungen

Die meisten elektromechanischen Netzspannungsumschalter, die auch als automatische Netzspannungsumschalter (ATS, Automatic Transfer Switch) bezeichnet und in dieser Anwendung eingesetzt werden, können wegen der verwendeten Relais keine größeren Leistungen als 10 kVA schalten. Aus diesem Grund haben diese automatischen Netzspannungsumschalter, die für Einbau in ein 19-Zoll-Rack vorgesehen sind, die Höhe einer Höheneinheit, wie in **Abb. 4** gezeigt. Wie bei STS für Einbau in 19-Zoll-Racks wirken sich auch Ausfälle von ATS mit gleichem Gehäuse nur auf ein einzelnes Rack und nicht auf Dutzende oder sogar Hunderte von Racks aus. ATS für Einbau in 19-Zoll-Racks sind skalierbarer und können schnell umpositioniert werden. Die Installation von ATS in 19-Zoll-Racks ist jedoch auf Grund der geringeren Größe und des niedrigeren Gewichts einfacher als die Installation von STS mit gleichem Gehäuse.

Abb. 4 – ATS für den Einbau in 19-Zoll-Racks



Arbeitsweise

Elektromechanische Netzspannungsumschalter weisen kombinierte elektrische und mechanische Eigenschaften auf. Wie STS enthalten auch diese Netzspannungsumschalter eine Steuerschaltung zur Überwachung der beiden Stromkreise des Wechselstromnetzes. Für die eigentliche Umschaltung zwischen den beiden Stromkreisen wird ein Relais verwendet. Bei einem Relais handelt es sich um einen mechanischen Schalter, dessen Betätigungselement durch magnetische Kraft von einer Seite zur anderen bewegt wird. Wenn die Steuerschaltung erkennt, dass die Netzwechselspannung im primären Stromkreis außerhalb der Toleranz liegt, fällt die Energie für das Relais ab, und das Betätigungselement des Schalters wird so bewegt, dass Kontakt mit dem sekundären Stromkreis hergestellt wird. Die gesamte Umschaltzeit liegt zwischen 8 und 16 ms.

Ausfallarten

Elektromechanische Netzspannungsumschalter sind erheblich kleiner und weniger komplex als statische Netzspannungsumschalter. Dies ist in erster Linie darauf zurückzuführen, dass elektromechanische Netzspannungsumschalter einfacher gesteuert werden können und keine Synchronisation zwischen Stromkreisen erfordern. Aufgrund der physischen Bewegung des Betätigungselements in einem Relais fallen elektromechanische Netzspannungsumschalter hauptsächlich aufgrund von Relaisdefekten aus.

- Zusammenschmoren von Relaiskontakten

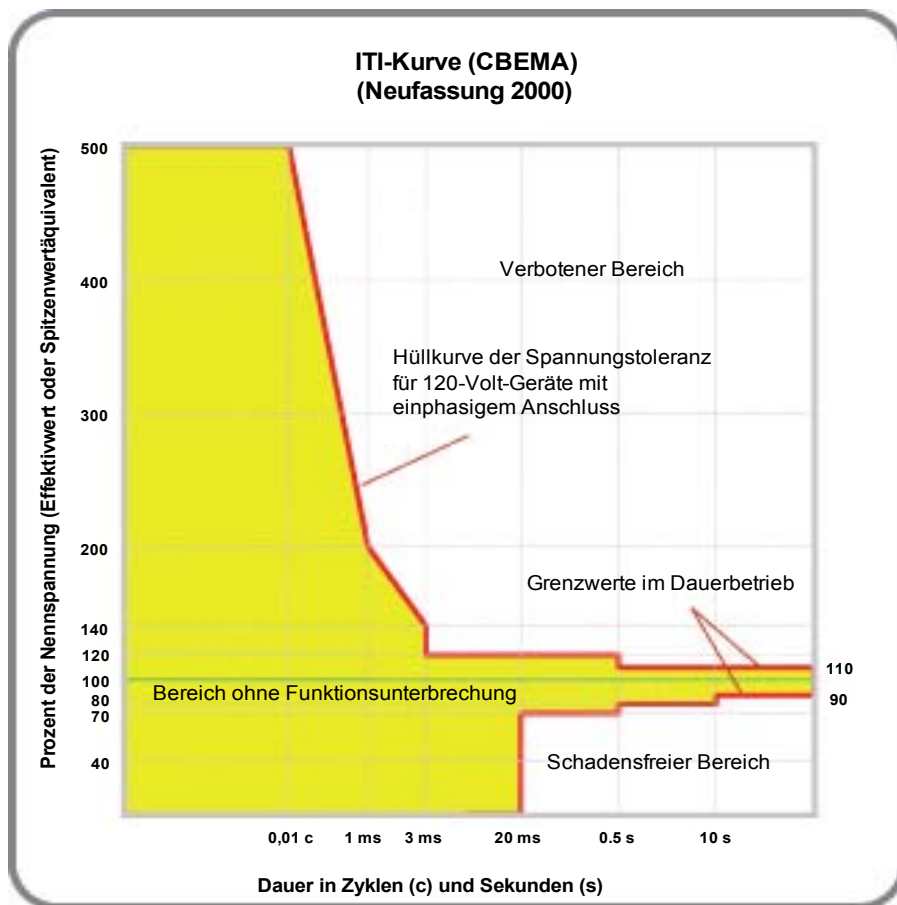
Eine mögliche Ausfallart ist das Verschmoren von Relaiskontakten. Dies geschieht insbesondere beim Umschalten zwischen Hochspannungsquellen, wobei ein Lichtbogen entsteht, durch dessen hohe Temperatur die Kontaktoberflächen miteinander verschweißt werden. Dies kann in einem 3-Phasen-Netzspannungsumschalter sogar bei mehreren Relais der Fall sein.

- Ausfall der Steuerschaltung
Unter Umständen trifft die Steuerschaltung eine falsche Entscheidung in Bezug auf die Auswahl des Stromkreises, mit dem eine Verbindung hergestellt werden soll. Dies kommt jedoch seltener bei Netzspannungsumschaltern mit niedrigeren Ausgangsleistungen vor. Wenn die Netzwechselfspannung im primären Stromkreis außerhalb der Toleranz liegt, kann die Steuerschaltung auf den sekundären Stromkreis umschalten, obwohl dieser gar keine Netzwechselfspannung liefert.
- Netzspannungsausfall der Steuereinheit
Die Steuerschaltung kann auch ausfallen, weil das zugehörige Netzteil ausgefallen ist. Wenn die vom Netzteil gelieferten Betriebsspannungen nicht mehr den Nominalwerten entsprechen, kann die Steuerschaltung fehlerhaft oder überhaupt nicht mehr arbeiten.
- Ausfall eines Trennschalters
Eine wichtige Ausfallart ist der Ausfall eines Trennschalters, durch den der Ausgang des Netzspannungsumschalters geschützt wird. Als Trennschalter werden häufig unzuverlässige, in großen Stückzahlen hergestellte Bauelemente verwendet, die dementsprechend oft ausfallen.

Netzteile für IT-Geräte

Es muss angemerkt werden, dass die beiden vorstehend beschriebenen Arten von Netzspannungsumschaltern Umschaltzeiten aufweisen, während denen keine Netzwechselfspannung an der Last anliegt. Wie kann der Betrieb von IT-Geräten während eines Netzspannungsausfalls weiterhin aufrechterhalten werden? Im White paper Nr. 79 mit dem Titel „Technische Gegenüberstellung von On-Line- gegenüber Line-interaktiven USV Arten“ ist dieses Thema detailliert behandelt. Sie finden die wichtigsten Informationen außerdem in **Anhang B** des vorliegenden Dokuments. Die Schaltnetzteile von IT-Geräten wandeln die sinusförmige Netzwechselfspannung in Gleichspannung um. Die internationale Norm IEC 61000-4-11 definiert die Grenzwerte von Betrag und Dauer von Netzspannungsausfällen, die bei der Versorgung von Schaltnetzteilen mit Netzwechselfspannung zulässig sind. Das ITI (Information Technology Industry Council), das früher unter der Bezeichnung CBEMA (Computer & Business Equipment Manufacturers Association) bekannt war, hat einen Anwendungsbericht herausgegeben, der die Eingangsspannungsform der Netzwechselfspannung beschreibt, die typischerweise (ohne Unterbrechung) von den meisten IT-Geräten toleriert werden kann. **Abb. 5** zeigt die ITIC-Kurve und verdeutlicht, dass IT-Geräte auch bei einer Netzwechselfspannung von 0 V für mehr als 20 ms einwandfrei funktionieren. Diese Kurve und dieser Anwendungsbericht stehen auf der folgenden Website zur Verfügung: www.itic.org/technical/iticurv.pdf

Abb. 5 – ITIC-Kurve



Auswahl geeigneter Netzspannungsumschalter

Große statische Netzspannungsumschalter können erheblich größere Ausgangsleistungen als Netzspannungsumschalter in 19-Zoll-Schränken liefern. Obwohl die meisten IT-Geräte in einem Datacenter nur eine Leistung von weniger als 6 kW aufnehmen, gibt es Standgeräte wie beispielsweise Storage Systeme, die erheblich höhere Leistungen aufnehmen. In diesen Fällen müssen größere statische Netzspannungsumschalter verwendet werden, um die Redundanz der Spannungsversorgung dieser Geräte sicherzustellen. Kritische IT-Geräte dieser Größe enthalten im Allgemeinen mehrere Netzteile und Wechselstromnetzanschlüsse, sodass ein statischer Netzspannungsumschalter nicht benötigt wird. **Tabelle 1** enthält eine Aufstellung der Leistungen für jeden Typ eines Netzspannungsumschalters. Anhand dieser Tabelle kann der geeignete Netzspannungsumschalter ausgewählt werden. Ferner wird eine Option angeboten, keinen Netzspannungsumschalter einzusetzen. In den nachstehenden Unterabschnitten ist jede Auswahlmöglichkeit detailliert beschrieben.

Gesamtbetriebskosten

Die Gesamtbetriebskosten (TCO, Total Cost of Ownership) enthalten die Kapitalkosten für die Beschaffung und die Installation von Netzspannungsumschaltern sowie die zugehörigen Betriebskosten. Dieses Thema wird ausführlicher im APC-White paper Nr. 37 mit dem Titel „Überdimensionierte Datacenter und Serverraum-Installationen: Kostenvermeidung“ beschrieben.

Kapitalkosten

Statische Netzspannungsumschalter mit zu hoher Ausgangsleistung kosten nicht nur mehr für jedes tatsächlich von der Last aufgenommene Kilovoltampere, sondern binden Unternehmenskapital. Große statische Netzspannungsumschalter mit Ausgangsleistungen von mehr als 10 kVA werden normalerweise fest im Gebäude installiert. Kleinere ATS und statische Netzspannungsumschalter werden ganz einfach mit dem Wechselstromnetz verbunden (d. h. das Netzkabel wird in eine Steckdose gesteckt), sodass keinerlei Installationsaufwand anfällt.

Betriebskosten

Die Betriebskosten umfassen Stromkosten, Wartungskosten und Steuern. Statische Netzspannungsumschalter weisen einen geringeren Wirkungsgrad als elektromechanische Netzspannungsumschalter auf, was auf die größere Anzahl von Bauelementen zurückzuführen ist. Der Wirkungsgrad eines statischen Netzspannungsumschalters hoher Ausgangsleistung ist von Bedeutung, wenn die Last nur eine relativ niedrige Leistung aufnimmt. Die Wartungskosten hängen von den Empfehlungen des Herstellers ab. Im Allgemeinen sind die Wartungskosten für statische Netzspannungsumschalter wegen ihrer größeren Komplexität und Anzahl von Bauelementen höher als für ATS. Steuerliche Gegebenheiten werden bei der Auswahl von Netzspannungsumschaltern normalerweise nicht berücksichtigt. Jedoch sind auch hier erhebliche Einsparungen möglich, die unter anderem von der Größe des Datacenters abhängen. Das APC-White paper Nr. 115 mit dem Titel „Buchungs- und Steuervorteile von modularer beweglicher Datacenter-Infrastruktur“ enthält eine Beschreibung von Verfahren zur Klassifizierung modularer, beweglicher elektrischer Geräte zum Zwecke der steuerlichen Abschreibung. Netzspannungsumschalter, die lediglich mit dem Wechselstromnetz verbunden werden müssen und leicht transportabel sind, fallen somit auch in diese Kategorie und können normalerweise in relativ kurzer Zeit abgeschrieben werden.

Verwaltbarkeit

Die Verwaltbarkeit der elektrischen Infrastruktur ist für die Integrität von Datenverarbeitungsfunktionen und Telekommunikationsnetzen von großer Bedeutung. Häufig treten kritische Ausfallarten nur in Erscheinung, wenn ein Netzspannungsumschalter auf den sekundären Stromkreis umschalten muss. Dies gilt insbesondere für statische Netzspannungsumschalter, da diese erheblich mehr Ausfallarten als elektromechanische Netzspannungsumschalter haben. Die Fernwartung von Netzspannungsumschaltern ermöglicht es dem hierfür verantwortlichen Personal, den Status der Netzspannungsumschalter zu überwachen, Ereignisse zu protokollieren, Einstellungen vorzunehmen, die Firmware zu aktualisieren und sich per E-Mail und unter Verwendung des Protokolls SNMP über aufgetretene Alarme informieren zu lassen. Die Fernwartung von Netzspannungsumschaltern sollte auf Basis der einschlägigen Normen und unter Verwendung der Protokolle HTTP (Web), SNMP und Telnet möglich sein.

Umschaltzeit

Ein Netzspannungsumschalter in einer IT- oder Telekommunikationsumgebung muss innerhalb von maximal 20 ms umschalten.

Einfache Installation

Unter Berücksichtigung des Umstands, dass die Hardware in IT-Umgebungen häufig, d.h. in Zeitintervallen von 1 ½ bis 2 Jahren, durch neuere Hardware ersetzt wird, sollte es möglich sein, Netzspannungsumschalter innerhalb kürzester Zeit neu zu konfigurieren. Wenn beispielsweise Geräte mit einfachem Wechselstromnetzanschluss umpositioniert werden, muss es möglich sein, den zugehörigen Netzspannungsumschalter auf einfachste Weise neu zu konfigurieren.

Zuverlässigkeit

Je komplexer ein System ist, umso größer ist normalerweise die Wahrscheinlichkeit dafür, dass Fehler auftreten. Bei diesen Fehlern muss es sich nicht unbedingt um Ausfälle von Komponenten oder Bedienelementen handeln; menschliches Versagen ist ebenfalls möglich. Statische Netzspannungsumschalter sind prinzipiell komplexer als elektromechanische, sodass ihr Betrieb und ihre Instandsetzung mehr Wissen und Erfahrung voraussetzt. Die Lebensdauer elektromechanischer Netzspannungsumschalter ist durch die Anzahl der Relaischaltspiele begrenzt. Die in Netzspannungsumschaltern eingesetzten Relais weisen typischerweise eine Lebensdauer von bis zu 100.000 Schaltungen auf. Im Durchschnitt muss jeder Netzspannungsumschalter in einem Datacenter viermal pro Jahr einen Umschaltvorgang durchführen. Deshalb bieten Relais eine verhältnismäßig lange Lebensdauer im Vergleich mit der Lebensdauer von Datacentern.

Qualität der Instandsetzung

Beim Ausfall von Systemen sollte stets das gesamte Modul durch ein fabrikneues oder aufbereitetes Modul ersetzt werden. Statische und elektromechanische Netzspannungsumschalter in 19-Zoll-Racks können komplett ausgetauscht werden. Dies ist bei großen STS nicht möglich, die am Einsatzort instand gesetzt werden müssen, an dem jedoch keine standardmäßige Reparaturumgebung vorhanden ist. Die meisten statischen Netzspannungsumschalter enthalten Überbrückungstrennschalter, sodass die Wartung oder Instandsetzung bei angeschlossener Last möglich ist. Je nach Konfiguration können auch kleinere elektromechanische Netzspannungsumschalter instand gesetzt werden, ohne eine kritische Last abtrennen zu müssen.

Synchronisation der Stromkreise

Beim Umschalten zwischen zwei Stromkreisen besteht die Möglichkeit einer Beschädigung von Geräten, die mit dem Ausgang eines Netzspannungsumschalters verbunden sind, wenn die beiden Stromkreise nicht miteinander synchronisiert sind. In dieser Situation können auch Trennschalter ausgelöst werden. Die Wahrscheinlichkeit hierfür steigt mit zunehmender Umschaltgeschwindigkeit und Größe des Netzspannungsumschalters. Große statische Netzspannungsumschalter sind hierfür erheblich anfälliger als kleinere. Das Umschalten zwischen nicht miteinander synchronisierten Stromkreisen mit elektromechanischen Netz-

spannungsumschaltern ist für die Lasten unproblematisch. Jedoch kann es vorkommen, dass die Kontakte eines Relais miteinander verschweißen. Aus diesem Grund enthalten einige Netzspannungsumschalter dieses Typs ein zusätzliches Relais, um die Ausbildung von Lichtbögen zwischen den Kontakten zu vermeiden.

Skalierbarkeit

Die Geräte in Datacentern werden normalerweise ungefähr alle zwei Jahre ausgewechselt. Datacenter haben jedoch eine Lebensdauer von mehr als 10 Jahren. Während der Phase des Auswechselns von Geräten treten Probleme mit Unterschieden von Leistungsaufnahme, Redundanz, Netzspannungen und Netzsteckern auf. Gute Skalierbarkeit ermöglicht die optimale Anpassung der Ausgangsleistung an den Leistungsbedarf der Last, vereinfacht die Planung und verringert den Investitionsbedarf. Je größer ein Netzspannungsumschalter ist, umso schwieriger wird es, diesen an Änderungen anzupassen und Stillstandszeiten zu vermeiden. Der Einsatz kleinerer Netzspannungsumschalter ermöglicht schnellere Reaktionen auf veränderte Anforderungen des Unternehmens ohne die Notwendigkeit, kritische Systeme herunterzufahren.

Kombination von Geräten mit einfachem und mehrfachem Wechselstromnetzanschluss

Die meisten Datacenter organisieren IT-Geräte nach Geschäftsprozess oder Abteilung, aber so gut wie niemals ausschließlich nach einfachem oder mehrfachem Wechselstromnetzanschluss. Aus diesem Grunde enthalten die meisten Racks in Datacentern Kombinationen aus Geräten mit einfachem oder mehrfachem Wechselstromnetzanschluss. In den meisten Fällen erfordern die Geräte mit zwei separaten Wechselstromnetzanschlüssen die Verwendung separater Netzkabel und Steckdosenleisten. Geräte mit einfachem Wechselstromnetzanschluss benötigen lediglich ein einziges Netzkabel und eine einzige Steckdosenleiste. Bei großen, auf dem Boden installierten statischen Netzspannungsumschaltern wird dies problematisch, da das gleiche Rack nun mit drei verschiedenen Netzkabeln und Steckdosenleisten ausgerüstet werden muss, wodurch zusätzlicher Platzbedarf entsteht. Alternativ können kleine Netzspannungsumschalter in Racks direkt über die beiden Netzkabel und Steckdosenleisten mit Netzwechselspannung versorgt werden, während Geräte mit einfachem Wechselstromnetzanschluss direkt mit den Ausgängen des Netzspannungsumschalters verbunden werden.

Tabelle 1 – Eigenschaften der drei Typen von Netzspannungsumschaltern

Eigenschaften	Kein Netzspannungsumschalter	Großer STS 20 kVA bis 35 MVA	STS für Einbau in ein 19-Zoll-Rack 5 bis 10 kVA	ATS für Einbau in ein 19-Zoll-Rack 5 bis 10 kVA	Kommentar
Gesamtbetriebskosten	USD 0 / kW	USD 200 bis USD 300 / kW	USD 550 bis USD 700 / kW	USD 100 bis USD 150 / kW	Die Kosten zur Beschaffung eines STS für den Einbau in ein 19-Zoll-Rack sind etwa sechsmal höher als die für einen ATS zum Einbau in ein 19-Zoll-Rack
Verwaltbarkeit	Eine auf Standards basierende Verwaltung dieser Geräte ist nicht erforderlich	Diese Geräte arbeiten normalerweise nicht unter Verwendung standardmäßiger Protokolle	Diese Geräte arbeiten normalerweise nicht unter Verwendung standardmäßiger Protokolle	Diese Geräte arbeiten normalerweise unter Verwendung standardmäßiger Protokolle	Die meisten Netzspannungsumschalter arbeiten mit Trockenkontaktrelais, bieten aber unter Umständen die Möglichkeit zur Verwaltung unter Verwendung standardmäßiger Protokolle
Umschaltzeit	Keine Umschaltzeit	4 ms	4 ms	8 bis 16 ms	IT-Geräte erfordern Umschaltzeiten von weniger als 20 ms
Einfache Installation	Keine Installation erforderlich	Feste Verkabelung erforderlich	Einbau in 19-Zoll-Rack möglich, keine Verkabelung erforderlich	Einbau in 19-Zoll-Rack möglich, keine Verkabelung erforderlich	Große statische Netzspannungsumschalter müssen von technischem Fachpersonal installiert werden
Zuverlässigkeit	Die Vorteile der Zuverlässigkeit von zwei getrennten Stromkreisen gehen verloren	Mittlere Zeit zwischen Ausfällen = 400.000 bis 1.000.000 h	Mittlere Zeit zwischen Ausfällen = 400.000 bis 1.000.000 h	Mittlere Zeit zwischen Ausfällen = 700.000 bis 1.500.000 h	Statische Netzspannungsumschalter enthalten mehr Bauelemente als ATS und sind komplexer als diese, enthalten aber keine beweglichen Teile. Die Werte für die mittlere Zeit zwischen Ausfällen basieren auf brancheninternen Schätzungen
Ausfallart	Unzutreffend	Unterbrechung oder Kurzschluss zwischen Leitungen	Unterbrechung oder Kurzschluss zwischen Leitungen	Kein Umschalten von einem Stromkreis zum anderen	Bei Unterbrechungen wird die Last nicht mit Netzwechselspannung versorgt. Durch Kurzschlüsse zwischen Leitungen können vorgeschaltete Trennschalter ausgelöst werden
Einfache Instandsetzung	Eine gleichzeitige Wartung elektrischer Komponenten ist nicht möglich	Erfordert eine Instandsetzung vor Ort	Ersetzen durch im Werk instandgesetzte Einheit	Ersetzen durch im Werk instandgesetzte Einheit	Netzspannungsumschalter in 19-Zoll-Racks werden nach einem Ausfall normalerweise durch eine neue oder aufbereitete Einheit ersetzt

Eigenschaften	Kein Netzspannungsumschalter	Großer STS 20 kVA bis 35 MVA	STS für Einbau in ein 19-Zoll-Rack 5 bis 10 kVA	ATS für Einbau in ein 19-Zoll-Rack 5 bis 10 kVA	Kommentar
Netzspannungsquellen-Synchronisation	Keine Synchronisation zwischen den Stromkreisen erforderlich	Für sicheres Umschalten erforderlich	Ein Umschalten ohne Synchronisation ist nicht besonders kritisch	Keine Synchronisation zwischen den Stromkreisen erforderlich	Mit negativen Auswirkungen eines Umschaltens ohne Synchronisation zwischen den Stromkreisen in Bezug auf den Phasenwinkel muss auch bei Verwendung eines STS für Einbau in ein 19-Zoll-Rack gerechnet werden; hiervon ist jedoch nur ein kleiner Teil des Datenzentrums betroffen
Skalierbarkeit	Unzutreffend	Nicht skalierbar	Skalierbar	Skalierbar	Netzspannungsumschalter für den Einbau in ein 19-Zoll-Rack können flexibel eingesetzt und auf einfache Weise an Änderungen der Architektur eines Datacenters angepasst werden
Kombination von Geräten mit doppeltem und einfachem Wechselstromnetzanschluss	Hier sind pro Rack nur zwei Wechselstromnetzanschlüsse erforderlich - bei Lasten mit einem einzigen Wechselstromnetzanschluss ergeben sich keine Vorteile	Pro Rack sind drei Wechselstromnetzanschlüsse erforderlich	Pro Rack sind nur zwei Wechselstromnetzanschlüsse erforderlich	Pro Rack sind nur zwei Wechselstromnetzanschlüsse erforderlich	Große statische Netzspannungsumschalter erfordern eine aufwändige Verkabelung im Rack und belegen dadurch wertvolle Standfläche

Anmerkung: Bestwerte sind mit blauer Schraffur markiert.

Ergebnisse

Daten werden für Unternehmen immer wichtiger, weshalb es eine Selbstverständlichkeit ist, dass die meisten einsatzkritischen Systemkomponenten mit doppeltem Wechselstromnetzanschluss ausgerüstet sind. Problematisch ist jedoch immer noch eine Entscheidung darüber, ob und wie die restlichen Geräte mit einfachem Wechselstromnetzanschluss in einem 19-Zoll-Rack am besten von mehreren Stromkreisen mit Netzwechselfspannungen versorgt werden sollen. Die Verfügbarkeit der Netzwechselfspannung für Geräte mit einfachem Wechselstromnetzanschluss und einer Leistungsaufnahme von weniger als 10 kVA kann dadurch optimiert werden, dass mehrere Stromkreise so nah wie möglich an das betreffende Rack herangebracht werden. Dies ist durch den Einsatz eines statischen Netzspannungsumschalters in einem 19-Zoll-Rack oder eines ATS in einem 19-Zoll-Rack möglich. Basierend auf den in diesem Dokument genannten Kriterien besteht die beste Lösung darin, einen ATS in einem 19-Zoll-Rack einzusetzen.

Über den Autor:

Victor Avelar ist Verfügbarkeitsingenieur bei APC. Seine Aufgabe ist die Verfügbarkeitsberatung und -analyse für die elektrotechnischen Architekturen und das Datencenterdesign der Kunden. Seinen Bachelor-Abschluss in Maschinenbau machte er im Jahr 1995 am Rensselaer Polytechnic Institute. Er ist Mitglied von ASHRAE und der American Society for Quality.

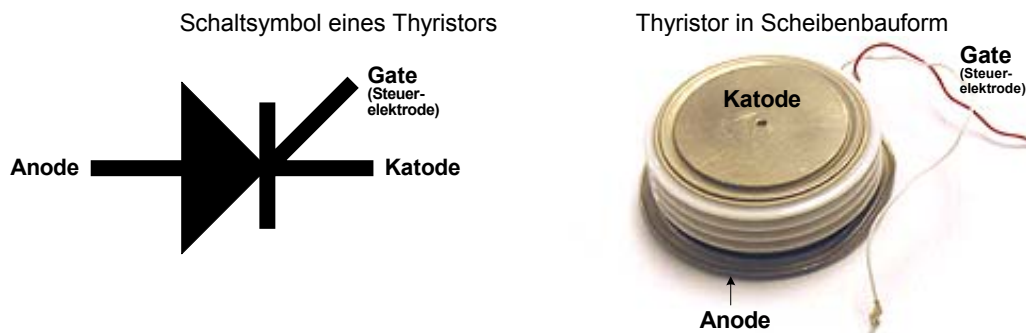
Anhang A

Statischer Netzspannungsumschalter: Arbeitsweise

Statische Netzspannungsumschalter, die auch als SSR (Solid State Relay, Halbleiterrelais) bezeichnet werden, sind elektronische Einheiten, die zwischen zwei Netzspannungsquellen umschalten. Diese Netzspannungsumschalter werden auf Grund der Eigenschaften der elektronischen Schaltelemente auch als „statisch“ bezeichnet. Bei den Schaltelementen handelt es sich üblicherweise um Thyristoren – gesteuerte Gleichrichter. Um verstehen zu können, wie ein Thyristor funktioniert, muss man wissen, aus welchem Material dieser besteht.

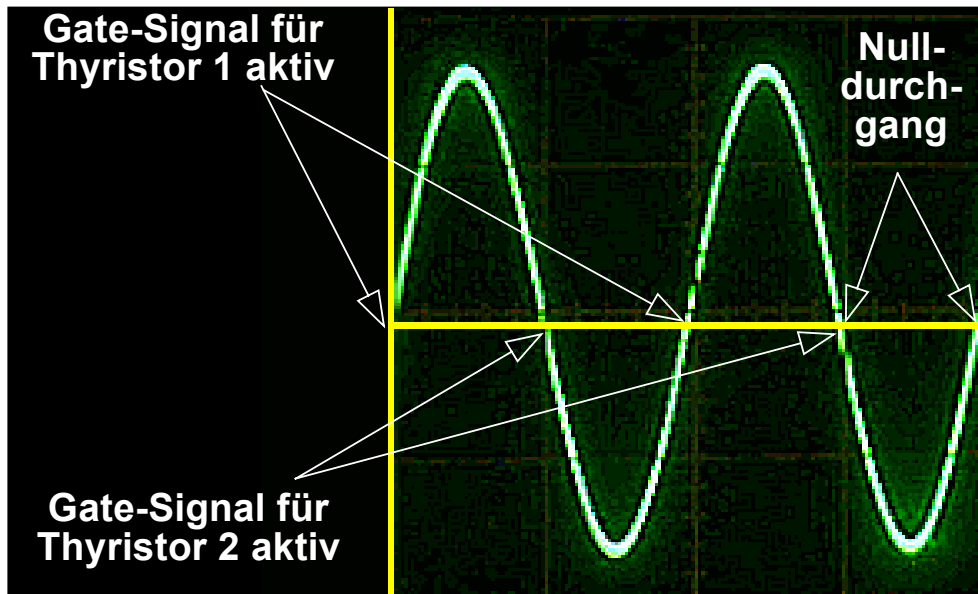
Thyristoren bestehen aus Silizium, einem Halbleitermaterial, das in erster Linie aus Sand und Quarz hergestellt wird. Halbleitermaterialien liegen mit ihrer Leitfähigkeit etwa in der Mitte zwischen elektrischen Isolatoren und elektrischen Leitern, daher auch die Bezeichnung. Isolatoren behindern elektrischen Strom, während elektrische Leiter elektrischen Strom mehr oder weniger ungehindert fließen lassen. In seinem natürlichen Zustand kann Halbleitermaterial sowohl als elektrischer Isolator als auch als elektrischer Leiter fungieren. Die elektrische Leitfähigkeit hängt in hohem Maße von der Materialtemperatur ab. Um die elektrische Leitfähigkeit besser festlegen zu können, werden Halbleiter wie Silizium dotiert. d. h. gezielt verunreinigt. Durch Anlegen einer kleinen Spannung an der Steuerelektrode eines Thyristors wird der dotierte Bereich elektrisch leitend. Das Schaltsymbol eines Thyristors und ein realer Thyristor sind in **Abb. A1** gezeigt.

Abb. A1 – Thyristor



Ein Thyristor funktioniert wie ein gesteuertes Ventil, das elektrischen Strom ausschließlich in einer Richtung fließen lässt. Dieses Prinzip ähnelt dem einer Herzklappe, die dafür sorgt, dass Blut nur in einer Richtung fließt. Um einen Thyristor durchzuschalten oder zu „schließen“, muss an der Steuerelektrode eine kleine Spannung angelegt werden, sodass der Strom im Arbeitskreis von der Anode zur Katode fließen kann. Ein Thyristor wird beim Nulldurchgang einer Wechselspannung automatisch abgeschaltet bzw. „geöffnet“ (siehe **Abb. A2**). Nun leitet der Thyristor nicht mehr, sondern stellt einen elektrischen Isolator dar, bis ihm erneut ein Steuersignal zugeführt wird. Durch einen Thyristor kann niemals Strom in umgekehrter Richtung, d.h. von der Katode zur Anode, fließen. Wie können nun die positiven und negativen Halbwellen einer sinusförmigen Wechselspannung verarbeitet werden?

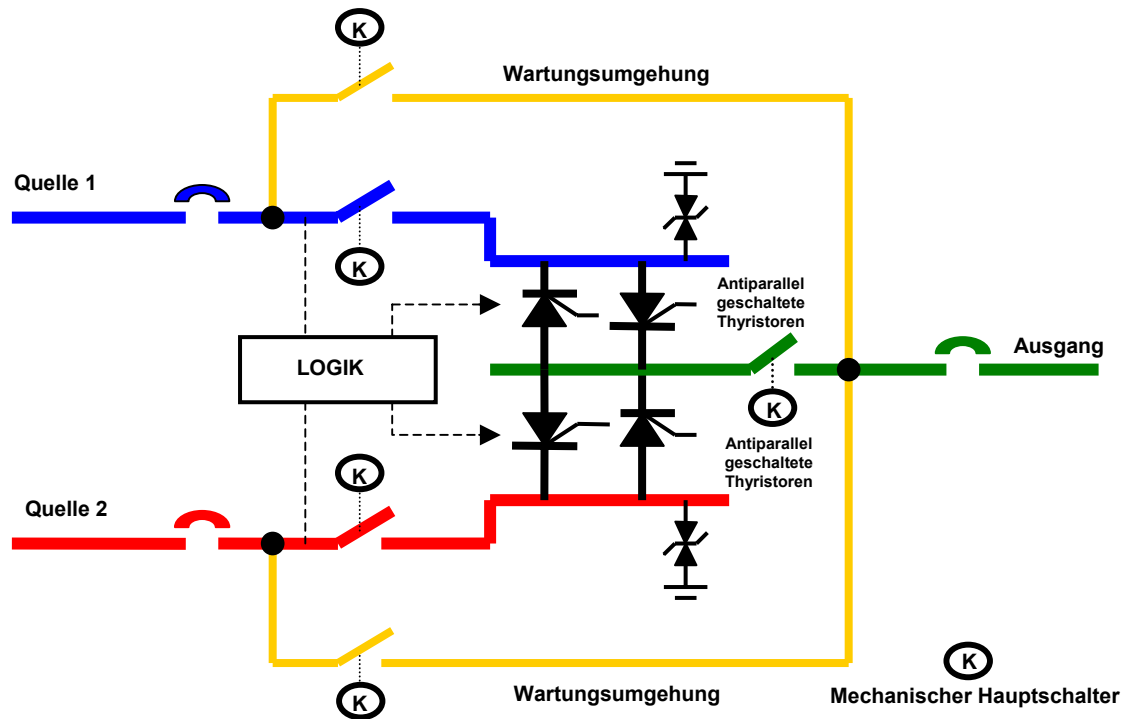
Abb. A2 – Sinusförmige Wechselspannung



Die einzige Möglichkeit, eine sinusförmige Wechselspannung bidirektional zu leiten, besteht darin, zwei Thyristoren, wie in **Abb. A3** gezeigt, antiparallel (Rücken an Rücken) zusammenzuschalten und im Gegentakt anzusteuern. Nun kann der Steuerelektrode des Thyristors 2 ein Steuersignal zugeführt werden, sodass dieser die negative Halbwelle der sinusförmigen Wechselspannung durchlässt (siehe **Abb. A2**). Um die beiden Halbwellen der sinusförmigen Wechselspannung gemäß **Abb. A2** durchzuschalten, muss der Thyristor 1 beim ersten und beim dritten Nulldurchgang durchgeschaltet werden, während der Thyristor 2 beim zweiten und beim vierten Nulldurchgang durchgeschaltet wird. Ein statischer Netzspannungsumschalter muss dieses Steuersignal innerhalb kürzester Zeit und mit hoher Zuverlässigkeit generieren, solange der primäre Stromkreis Netzwechselspannung liefert. Wenn ein Stromversorgungsunternehmen Wechselspannung mit einer Frequenz von 50 Hz (also 50 Wechselspannungszyklen pro Sekunde) liefert, muss die Steuerschaltung pro Sekunde 100 Steuersignale für die Thyristoren generieren. Obiges gilt für einen einphasigen Netzspannungsumschalter. Bei statischen Netzspannungsumschaltern handelt es sich nahezu ausschließlich um 3-Phasen-Schalter. Dies bedeutet, dass die Steuerschaltung für jede Phase pro Sekunde 100, also insgesamt 300, Steuersignale generieren muss.

Abb. A3 zeigt nur eine Phase eines statischen Netzspannungsumschalters. Dies bedeutet, dass die Primär- und die Sekundärseite eines statischen Netzspannungsumschalters mit 3 Phasen aus 3 Paaren von im Gegentakt angesteuerten Thyristoren (6 Thyristoren auf jeder Seite oder insgesamt 12 Thyristoren) besteht. Anmerkung: Netzspannungsumschalter hoher Ausgangsleistung bestehen aus einer Vielzahl von Thyristorpaaren, wie vorstehend beschrieben. Diese Netzspannungsumschalter können Hunderte von Thyristoren enthalten.

Abb. A3 – Einphasiger statischer Netzspannungsumschalter

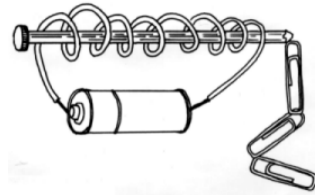


Wie schaltet nun ein statischer Netzspannungsumschalter von einem Stromkreis auf einen anderen um? Das hängt vom Verhalten der Thyristoren ab. Wenn ein Thyristor von einem Steuersignal durchgeschaltet wird, ist er bis kurz vor dem Nulldurchgang der sinusförmigen Netzwechselfspannung leitend. Nun kann die Steuerschaltung im Netzspannungsumschalter entweder den gleichen Thyristor oder den Thyristor der anderen Seite durchschalten, wenn die Netzwechselfspannung im primären Stromkreis die Anforderungen nicht erfüllt. Diese Entscheidung muss innerhalb weniger Mikrosekunden erfolgen, um sicherzustellen, dass die Netzwechselfspannung an der Last nicht zusammenbricht. Im Gegensatz zu Netzspannungsumschaltern in 19-Zoll-Racks werden an statische Netzspannungsumschalter mit größeren Ausgangsleistungen höhere Anforderungen in Bezug auf diese Entscheidungen gestellt. Große Netzspannungsumschalter können eine Vielzahl von Lasten mit Netzwechselfspannung versorgen und reagieren empfindlicher auf Kurzschlüsse in Richtung der Lasten. Das Umschalten zwischen Stromkreisen während eines Kurzschlusses in Richtung der Lasten kann zu gravierenden Defekten führen, da sich die Störung auf einen ansonsten einwandfreien Stromkreis auswirkt. Zusätzlich zu diesen Entscheidungen muss ein großer Netzspannungsumschalter zuerst erkennen, ob ein Kurzschluss vorhanden ist. Falls ja, darf der Netzspannungsumschalter keinen Umschaltvorgang durchführen.

Elektromechanische oder automatische Netzspannungsumschalter (ATS): Arbeitsweise

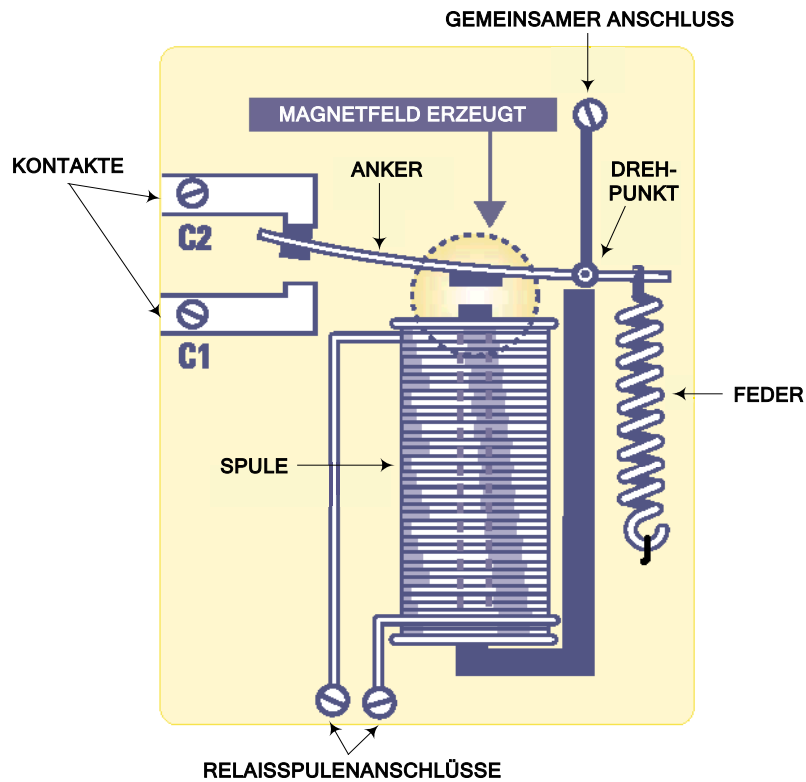
Im Gegensatz zu statischen Netzspannungsumschaltern mit Thyristoren als Schaltelementen werden in elektromechanischen Netzspannungsumschaltern Relais zum Umschalten zwischen einem primären und einen sekundären Stromkreis verwendet. Bei Relais handelt es sich um Schaltkontakte, die von einem Elektromagneten betätigt werden. Ein äußerst einfacher Elektromagnet besteht beispielsweise aus einem Nagel, der von einem Draht umwickelt ist, und dessen Enden mit einer Batterie verbunden werden können (siehe **Abb. A4**). Wenn die Batterie nun mit dem Draht verbunden wird, fließt Strom durch die Spule, wodurch sich ein Magnetfeld aufbaut. Hierdurch wird der Nagel magnetisiert, sodass dieser andere metallische Objekte wie z. B. Büroklammern anzieht. Nach dem gleichen physikalischen Prinzip zieht ein Kran mit einem großen Elektromagneten Metallschrott an, um diesen anzuheben und von einem Punkt zu einem anderen zu transportieren. Der eigentliche Unterschied zwischen einem solchen Kran und dem Elektromagneten im obigen Beispiel ist die Leistungsaufnahme.

Abb. A4 – Ein einfacher Elektromagnet



Wie kann ein Elektromagnet bewirken, dass ein Relais zwischen zwei Stromkreisen umschaltet? **Abb. A5** gibt hierauf einige intuitive Antworten. Ein Relais ist in zwei Stromkreise eingebunden: in den Erregerkreis (Steuerkreis) und den Kontaktkreis (Arbeitskreis). Der Elektromagnet befindet sich auf der Seite des Erregerstromkreises, während sich die Relaiskontakte (C1 und C2) auf der Seite des Kontaktstromkreises befinden. Da der Elektromagnet bei Stromfluss durch die Spule metallische Gegenstände anzieht, ist er in unmittelbarer Nähe des Ankers platziert. Ein Relaisanker ist ein Stück ferromagnetisches Metallblech, das zwischen elektrischen Kontakten hin- und herkippt. Bei Stromfluss durch die Spule des Elektromagneten wird der Anker gegen den Kontakt C1 gedrückt, wodurch der Kontaktstromkreis geschlossen wird. Wenn kein Strom durch die Spule des Elektromagneten fließt, muss der Anker gegen den Kontakt C2 gedrückt werden. Dies geschieht mit einer Feder auf der anderen Seite des Ankers. Hierdurch wird sichergestellt, dass der Anker entweder gegen den Kontakt C1 oder den Kontakt C2 drückt.

Abb. 5A – Aufbau eines mechanischen Relais



Wie ein statischer Netzspannungsumschalter ist auch für einen ATS eine Steuerschaltung notwendig, um die Netzwechselfspannung im primären und im sekundären Stromkreis zu überwachen. Die Steuerschaltungen sind jedoch erheblich einfacher, da sie nicht mehrere hundert Male pro Sekunde Steuersignale für Thyristoren generieren müssen. Statt dessen überwacht die Steuerschaltung einfach die Netzwechselfspannungen im primären und im sekundären Stromkreis und entscheidet, wann das Relais erregt oder nicht erregt werden soll.

Anhang B

IT-Geräte und Netzwechselfspannung: Wie funktioniert ein Schaltnetzteil?

Wie können IT-Geräte während kurzzeitiger Ausfälle der Netzwechselfspannung weiterarbeiten? Um diese Frage beantworten zu können, muss erst einmal untersucht werden, wie elektrische Energie erzeugt wird. Elektrische Energie wird von Elektrizitätswerken und Notstromaggregaten normalerweise in der Form von Wechselfspannung erzeugt. Wechselfspannung ist sinusförmig und besteht aus positiven und negativen Halbwellen. Pro Zyklus gibt es zwei Nulldurchgänge. Mit bloßem Auge ist es nicht zu erkennen, dass eine an Netzwechselfspannung betriebene Glühlampe pro Sekunde 100- oder 120-mal (bei einer Netzfrequenz von 50 oder 60 Hz) aufleuchtet und bei jedem Nulldurchgang erlischt. Die Frage ist nun, ob IT-Geräte ebenfalls 100-mal pro Sekunde abgeschaltet werden, während die Netzwechselfspannung ihre Polarität ändert. Hierzu muss gesagt werden, dass dies tatsächlich ein Problem darstellt, das gelöst werden muss. Beim Betrieb der meisten modernen IT-Geräte wird dieses Problem dadurch gelöst, dass sie an einem Schaltnetzteil betrieben werden.¹ Ein Schaltnetzteil wandelt die Netzwechselfspannung mit all ihren Störsignalen (Spannungsspitzen, nichtlineare Verzerrungen, Frequenzschwankungen usw.) in eine konstante Gleichspannung um. Hierdurch wird ein Kondensator (ein Bauelement, das in der Lage ist, elektrische Energie zu speichern) aufgeladen. Dieser Kondensator wird von der Netzwechselfspannung zweimal pro Wechselfspannungszyklus aufgeladen, wenn die Amplitude der Spannung ihren positiven oder negativen Maximalwert erreicht hat. Der Kondensator wird durch den vom IT-Gerät aufgenommenen Strom entladen. Der Kondensator absorbiert während seiner gesamten Lebensdauer diese Wechselfspannungshalbwellen und gleichzeitig die der Netzwechselfspannung überlagerten Spannungsspitzen. Im Gegensatz zu einer flackernden Glühlampe werden die internen Schaltungen von IT-Geräten mit konstanter Gleichspannung und nicht mit pulsierender Wechselfspannung versorgt.

Dies ist jedoch noch nicht das Ende der Geschichte. Schaltungen der Mikroelektronik benötigen sehr niedrige Betriebsspannungen von 3,3 V, 5 V, 12 V usw. Die Spannung am soeben erwähnten Kondensator kann dagegen ohne weiteres 400 V erreichen. Diese hohe Gleichspannung wird von einem Schaltnetzteil in konstante, niedrige Gleichspannungen umgewandelt.

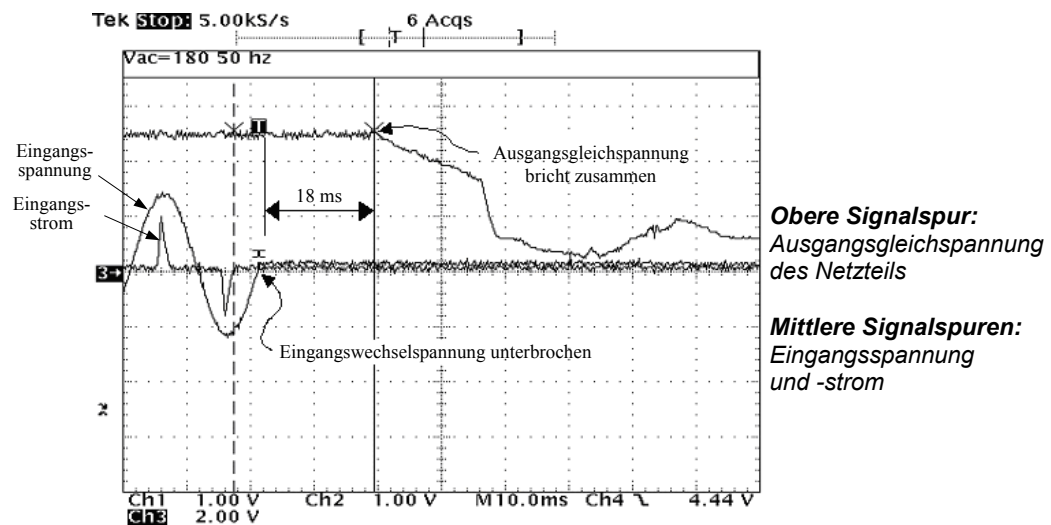
Bei dieser Spannungsreduzierung übernimmt ein Schaltnetzteil auch noch eine andere wichtige Funktion: die galvanische Trennung. Galvanische Trennung bedeutet die vollständige elektrische Isolation der Eingangsseite von der Ausgangsseite. Die beiden Seiten sind zwar durch elektromagnetische Effekte miteinander gekoppelt, es besteht jedoch kein direkter Strompfad in Form eines Leiters. Der wichtigste Effekt dieser Trennung ist der Schutz vor elektrischen Schlägen. Der zweite Effekt ist der Schutz von Geräten vor Beschädigung oder einer Fehlfunktion auf Grund von Gleichtaktspannungen oder Störsignalen. Weitere Informationen über korrekte Erdung und Gleichtaktspannungen finden Sie in den APC-White papers Nr. 9, „Wahrnehmung des Computers im Normalbetrieb“ und Nr. 21, „Nullleiter-Verbindung, Fakten und Mythologie“.

¹ Die Bezeichnung „Schaltnetzteil“ bezieht sich auf die interne Funktionsweise dieser Netzteile, die in diesem Dokument nicht beschrieben wird.

Auf die gleiche Weise, in der ein Schaltnetzteil in der Lage ist, die Zeit zwischen den Scheitelwerten der positiven und negativen Halbwellen der Netzwechselfspannung zu überbrücken, ist dies auch bei anderen Anomalien und kurzzeitigen Einbrüchen der Netzwechselfspannung möglich. Diese Eigenschaft ist für die Hersteller von IT-Geräten wichtig, da diese auch dann einwandfrei funktionieren müssen, wenn keine USV zur Verfügung steht. Hersteller von IT-Geräten sind selbstverständlich bestrebt, ihren guten Ruf nicht wegen eines Netzteils aufs Spiel zu setzen, das nicht in der Lage ist, die geringfügigsten Anomalien der Netzwechselfspannung abzufangen. Dies gilt insbesondere für hochwertige Netzwerkkomponenten und Computer, die deshalb mit Netzteilen hoher Qualität ausgerüstet werden.

Um diese Möglichkeiten zum Ausgleichen von Netzspannungsanomalien zu demonstrieren, wurde ein typisches Computernetzteil stark belastet und dann die Netzwechselfspannung abgetrennt. Nun wurde die Ausgangsgleichspannung des Netzteils gemessen, um zu ermitteln, wie lange die Ausgangsgleichspannung nach einem Ausfall der Netzwechselfspannung auf einem akzeptablen Wert gehalten werden kann. Die Ergebnisse dieses Tests sind in **Abb. B1** dargestellt. Bei den gezeigten Signalen handelt es sich um die Eingangsspannung, den Eingangsstrom und die Ausgangsgleichspannung.

Abb. B1 – Eliminierung von Störungen der Netzwechselfspannung durch ein Netzteil



Nach dem Ausfall der Netzwechselfspannung bricht die Ausgangsgleichspannung eines Computernetzteils zusammen. Dies erfolgt jedoch mit einer gewissen Verzögerung.

Vor dem Abtrennen der Netzwechselfspannung am Eingang eines Schaltnetzteils liegt an diesem eine sinusförmige *Eingangsspannung* gemäß **Abb. B1** an. Der *Eingangsstrom* – die Signalspur mit den Transientensignalen unter der Signalspur mit der konstanten Spannung – besteht aus einem kurzen Impuls, der zu dem Zeitpunkt auftritt, zu dem die Eingangsspannung ihren positiven Scheitelwert erreicht. Ein anderer kurzer Impuls tritt zeitgleich mit dem negativen Scheitelwert auf. Der Kondensator im Schaltnetzteil wird nur während der Dauer dieser Stromimpulse aufgeladen. Während der restlichen Zeit liefert der Kondensator die erforderliche Energie, um die Verarbeitungsschaltungen mit Betriebsspannung zu versorgen. Die Gleichspannung am Ausgang des Schaltnetzteils ist in der oberen Signalspur von **Abb. B1** zu sehen.

Die Ausgangsgleichspannung des Schaltnetzteils bleibt über 18 ms nach dem Abtrennen der Netzwechselspannung weitgehend konstant. APC hat mehrere Netzteile unterschiedlicher Computerhersteller und anderer Hersteller von IT-Geräten getestet. Die Ergebnisse waren einander sehr ähnlich. Wenn die Ausgänge der Netzteile nur geringfügig belastet werden, ist die Überbrückungszeit erheblich länger, da der Kondensator langsamer entladen wird.