

Die verschiedenen Arten von USV-Systemen

White Paper 1

Version 6

von Neil Rasmussen

> Zusammenfassung

Auf Seiten der Anwender herrscht große Unklarheit über die verschiedenen Arten von USV-Systemen und deren Eigenschaften. In diesem White Paper sind diese verschiedenen Arten, ihre praktischen Anwendungen sowie ihre spezifischen Vor- und Nachteile beschrieben. Diese Informationen ermöglichen eine kompetente Entscheidung zu Gunsten einer bedarfsgerechten USV-Topologie.

Inhalt

hier klicken, um zu dem Abschnitt zu gelangen

Einleitung	2
USV-Arten	2
Zusammenfassung der USV-Topologien	8
Einsatz von USV-Topologien in der Industrie	8
Ergebnisse	10
Ressourcen	11

Einleitung

Die verschiedenen Arten von USVen und ihre Eigenschaften lösen bei den Betreibern von Datacentern oft noch Verwirrung aus. So ist es beispielsweise gängige Meinung, es gäbe nur zwei verschiedene Arten von USV-Systemen: in der Betriebsart „Bereitschaft“ (Standby) und in der Betriebsart „Online“ arbeitende Systeme. Doch diese geläufigen Klassifizierungen reichen angesichts der Vielzahl der angebotenen USV-Systeme nicht aus. Wenn die verschiedenen Arten von USV-Topologien eindeutig charakterisiert sind, können viele Missverständnisse in Bezug auf USV-Topologien gelöst werden. Die USV-Topologie bezeichnet die prinzipielle Arbeitsweise einer USV. Die Modelle der verschiedenen Anbieter weisen hinsichtlich ihrer Funktionalität oder Topologie große Ähnlichkeit auf, während in Bezug auf die Leistungsmerkmale große Unterschiede bestehen.

Im Folgenden sollen die unterschiedlichen konzeptionellen Ansätze vorgestellt und kurz beschrieben werden. Diese Informationen werden Ihnen helfen, Systeme eindeutig voneinander unterscheiden und vergleichen zu können.

USV-Arten

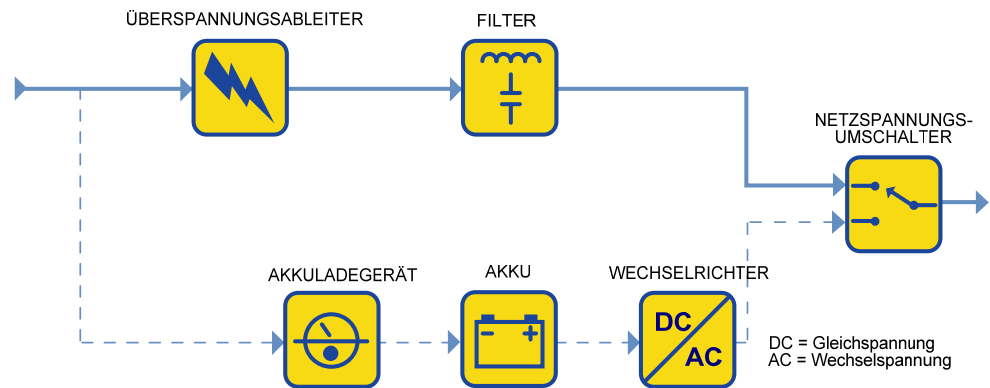
Die verschiedenen Topologien bei der Entwicklung von USV-Systemen unterscheiden sich hinsichtlich der damit verbundenen Leistungsmerkmale. Die gängigsten Topologien im Überblick:

- USV für Bereitschaftsbetrieb (Standby)
- USV für linearen Bereitschaftsbetrieb (Line-interaktiv)
- USV für Bereitschaftsbetrieb mit Ferroresonator
- USV im Online-Betrieb mit Doppelwandlung
- USV im Online-Betrieb mit Delta-Umwandlung

USV für Bereitschaftsbetrieb

USVen für Bereitschaftsbetrieb werden am häufigsten für die Spannungsversorgung von PCs eingesetzt. Das Blockschaltbild in **Abb. 1** veranschaulicht die Funktionsweise: Der Netzspannungsumschalter wird so konfiguriert, dass die gefilterte Netzwechselfspannung als primäre Netzspannungsquelle (durchgezogene Linie) gewählt wird. Beim Ausfall der primären Netzspannungsquelle wird auf den Wechselrichter/den Akku als Backup-Netzspannungsquelle umgeschaltet. In diesem Fall muss der Netzspannungsumschalter die Last mit dem Ausgang der USV verbinden (gestrichelte Linie). Der Wechselrichter wird nur bei einem Ausfall der Netzwechselfspannung gestartet. Aus diesem Grund wird diese Betriebsart als „Bereitschaft“ bezeichnet. In dieser Betriebsart arbeitende USVen zeichnen sich durch hohen Wirkungsgrad, geringe Abmessungen und niedrige Kosten aus. Mit geeigneten Filter- und Überspannungsschutz-Schaltkreisen sind diese Systeme auch in der Lage, Störspannungen auszufiltern und Überspannungen abzuleiten.

Abb. 1
USV für
Bereitschaftsbetrieb



USV für Linearen Bereitschaftsbetrieb (Line-interaktiv)

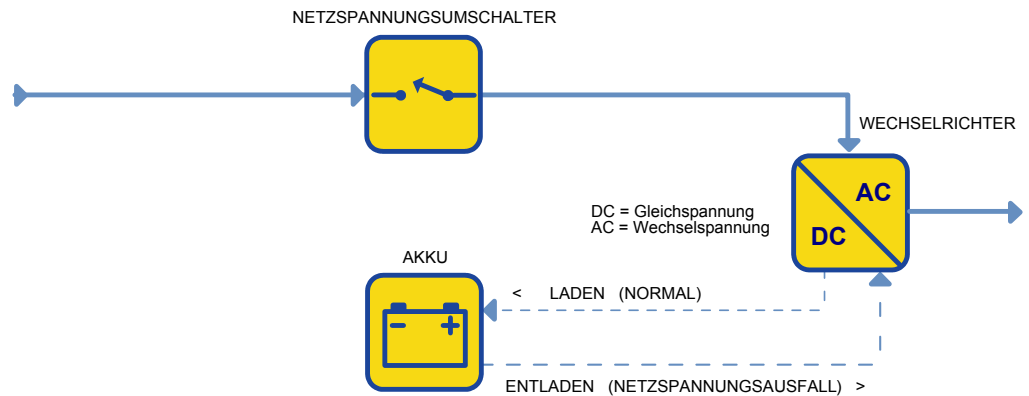
USVen für linearen Bereitschaftsbetrieb (siehe **Abb. 2**) werden hauptsächlich für die Absicherung von Servern in kleinen Unternehmen, für die Bereitstellung von Websites und in Abteilungen von Großunternehmen eingesetzt. Bei dieser Art von USV ist der Wechselrichter stets mit dem Ausgang der USV verbunden. Wenn die Netzwechselfspannung einwandfrei ist, arbeitet der Wechselrichter entgegengesetzt und lädt den Akku.

Beim Ausfall der Netzwechselfspannung wird der Netzspannungsumschalter geöffnet, sodass der Wechselrichter in Normalrichtung arbeitet, d.h. die Akkuspannung in Wechselfspannung umwandelt. Wenn der Wechselrichter stets aktiviert ist und an seinem Ausgang Wechselfspannung liefert, kann die USV im Gegensatz zu einer USV für Bereitschaftsbetrieb Spannungsspitzen durch Umschaltung aus der Wechselfspannung herausfiltern.

Eine USV für linearen Bereitschaftsbetrieb enthält normalerweise einen Transformator mit umschaltbaren Wicklungen. Dies ermöglicht bei schwankender Netzwechselfspannung eine gewisse Konstanzhaltung der Ausgangswechselfspannung durch Umschalten zwischen den Wicklungen. Diese Spannungskonstanzhaltung bietet vor allem dann Vorteile, wenn die Netzwechselfspannung zu niedrig ist, da die USV andernfalls auf den Akku und dann auf die Last schalten würde. Durch diese stärkere Belastung des Akkus könnte dieser vorzeitig ausfallen. Der Wechselrichter kann so konzipiert werden, dass bei einem Ausfall immer noch Netzwechselfspannung auf seinen Ausgang durchgeschaltet wird, wodurch zwei Stromkreise zur Verfügung gestellt werden und eine gewisse Redundanz gewährleistet ist. Aufgrund des hohen Wirkungsgrades, der geringen Abmessungen, der niedrigen Kosten und der hohen Zuverlässigkeit in Verbindung mit der Möglichkeit, Über- und Unterspannungen zu kompensieren, ist diese USV-Art bei Ausgangsleistungen im Bereich von 0,5 bis 5 kVA vorherrschend.

Abb. 2

USV für linearen
Bereitschaftsbetrieb



USV für Bereitschaftsbetrieb mit Ferroresonator

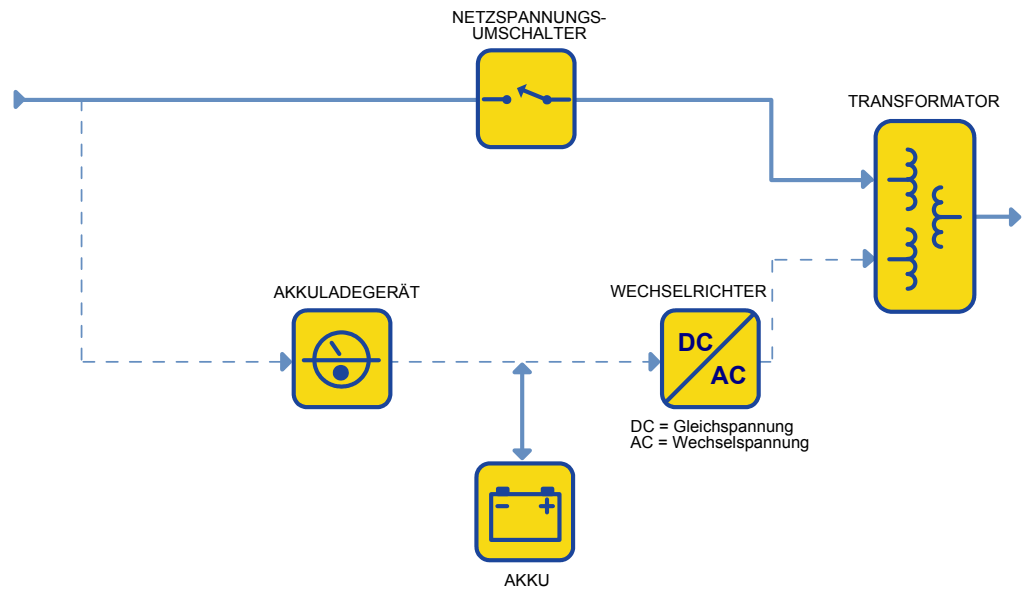
Früher wurden bei geforderten Ausgangsleistungen im Bereich von 3 bis 15 kVA bevorzugt USVen für Bereitschaftsbetrieb mit Ferroresonator eingesetzt. Diese USVen enthalten einen speziellen, nachlaufgeregelten Transformator mit drei Primärwicklungen. Bei diesen USVen ist der primäre Stromkreis das Wechselstromnetz. Die Umschaltung erfolgt über einen Netzspannungsumschalter und den Transformator auf den Ausgang. Bei einem Netzspannungsausfall wird der Netzspannungsumschalter geöffnet; der Wechselrichter versorgt nun die Last mit Wechselspannung.

In einer USV für Bereitschaftsbetrieb mit Ferroresonator arbeitet der Wechselrichter in Bereitschaft und wird nur aktiviert, wenn die Netzwechselfspannung ausfällt oder zu niedrig ist und der Netzspannungsumschalter geöffnet wird. Der Transformator enthält einen speziellen Eisenkern (Ferroresonator), der Möglichkeiten für eine gewisse Spannungsregelung und Formung der Ausgangswechselfspannung bietet. Der Ferroresonator filtert auch Störsignale aus der Wechselfspannung heraus und steht hierin den heute verfügbaren Entstörfiltern in nichts nach. Der Ferroresonator erzeugt allerdings Oberwellen und Spannungsspitzen, wodurch die Ausgangswechselfspannung eine schlechtere Qualität (höhere nichtlineare Verzerrungen) als die Netzwechselfspannung haben kann. Obwohl es sich bei diesen USVen um Geräte für Bereitschaftsbetrieb handelt, werden sie sehr heiß, da der Wirkungsgrad des Ferroresonators relativ gering ist. Diese Transformatoren sind im Vergleich mit gewöhnlichen Trenntransformatoren ziemlich groß. Aus diesem Grund sind USVen für Bereitschaftsbetrieb mit Ferroresonator im Allgemeinen relativ groß und schwer.

USVen für Bereitschaftsbetrieb mit Ferroresonator werden häufig als Online-USV bezeichnet, obwohl sie einen Netzspannungsumschalter enthalten, der Wechselrichter in Bereitschaft arbeitet und sie beim Ausfall der Netzwechselfspannung an ihrem Ausgang Wechselfspannung zur Verfügung stellen können. **Abb. 3** zeigt die Topologie einer USV für Bereitschaftsbetrieb mit Ferroresonator

Abb. 3

USV für Bereitschaftsbetrieb
mit Ferroresonator



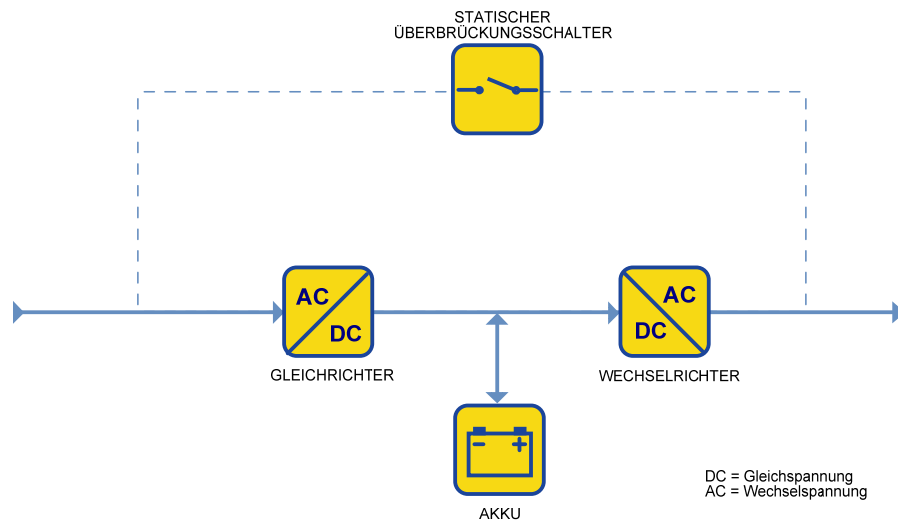
Die Stärken von USVen dieser Art sind hohe Zuverlässigkeit und hervorragende Filterung von Störsignalen. Diese USV-Art weist jedoch einen sehr niedrigen Wirkungsgrad auf und ist relativ instabil, wenn er in Verbindung mit bestimmten Stromgeneratoren verwendet wird, sodass diese USVen heutzutage etwas aus der Mode gekommen sind.

Der hauptsächliche Grund dafür, dass USVen für Bereitschaftsbetrieb mit Ferroresonator nur selten eingesetzt werden, ist, dass sie prinzipiell instabil arbeiten, wenn sie eine aus Computersystemen bestehende Last zu versorgen haben. Alle großen Server und Router verwenden heutzutage Netzteile mit Kosinus-Phi-Leistungsfaktor-Korrektur, die dem Wechselstromnetz weitgehend sinusförmige Ströme entnehmen, wie das beispielsweise auch bei Glühlampen der Fall ist. Diese Leistungsfaktor-Korrektur wird mit Kondensatoren erreicht, die eine Phasenverschiebung von Strom gegen Spannung bewirken, wobei die Spannung dem Strom nacheilt. USVen mit Ferroresonatoren enthalten Transformatoren mit schwerem Eisenkern, wobei diese Transformatoren wie Induktivitäten wirken, sodass nun der Strom der Spannung nacheilt. Die Kombination dieser beiden Schaltungskomponenten bildet einen Leistungsschwingkreis. Gerät ein solcher Leistungsschwingkreis in Resonanz, können sehr hohe Ströme fließen, die die angeschlossene Last gefährden.

USV mit Doppelwandlung

Diese USV-Art wird in erster Linie für die Versorgung von Lasten mit einer Leistungsaufnahme von mehr als 10 kVA verwendet. Das Blockschaltbild einer USV mit Doppelwandlung gemäß **Abb. 4** unterscheidet sich nur dadurch vom Blockschaltbild einer USV für Bereitschaftsbetrieb, dass der primäre Stromkreis der Ausgang des Wechselrichters und nicht das Wechselstromnetz selbst ist.

Abb. 4
USV mit Doppelwandlung



Bei einer USV mit Doppelwandlung bewirkt ein Netzspannungsausfall keine Aktivierung des Netzspannungsumschalters, da der Wechselrichter über das Wechselstromnetz den Akku-Backup lädt, so-dass die Ausgangswchselfspannung vom Wechselrichter geliefert wird. Eine Online-USV benötigt al-so keine Umschaltzeit, um die Last nach einem Ausfall der Netzwechselfspannung zu übernehmen.

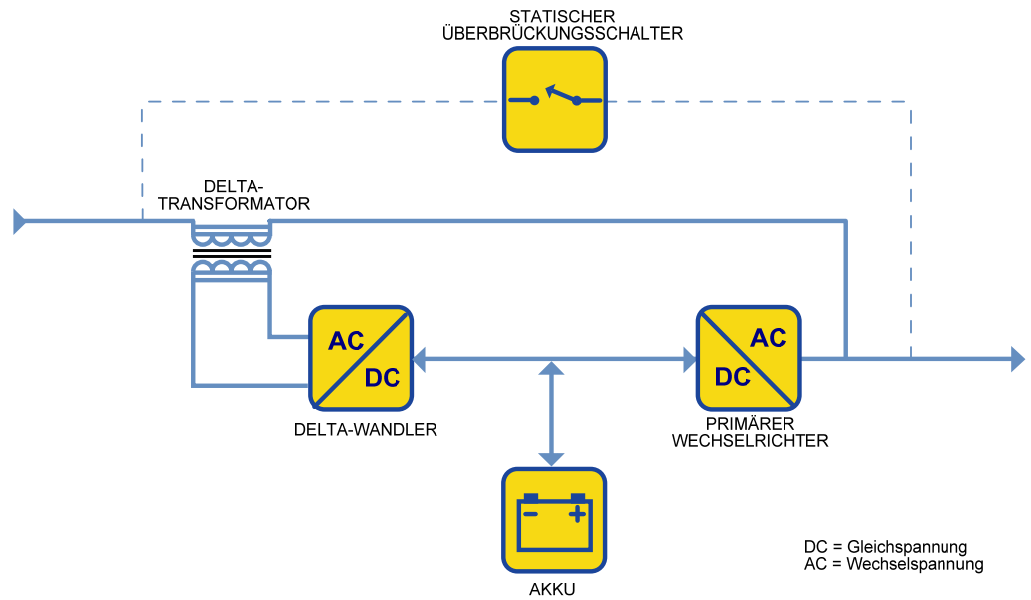
Sowohl die Akkuladeeinheit, als auch der Wechselrichter müssen in diesem Fall die gesamte Ausgangsleistung zur Verfügung stellen, wodurch sich eine Reduzierung des Wirkungsgrades auf Grund der damit verbundenen hohen Verlustleistung ergibt.

USVen dieser Topologie liefern eine nahezu ideale Ausgangswchselfspannung. Durch die starke Belastung der Leistungsbau-elemente wird die Zuverlässigkeit dieser USV-Topologie im Vergleich mit anderen Topolo-gien reduziert. Die wegen des geringen Wirkungsgrades verloren gehende elektrische Leistung trägt eben-falls zu einer erheblichen Erhöhung der Gesamtbetriebskosten bei. Die von der besonders leistungsfähigen Akkuladeeinheit dieser USV-Topologie aufgenommene Leistung steigt häufig nichtlinear an, wodurch sich Probleme mit der Gebäudeverkabelung und mit Stromgeneratoren für Bereitschaftsbetrieb ergeben können.

Online-USV mit Delta-Umwandlung

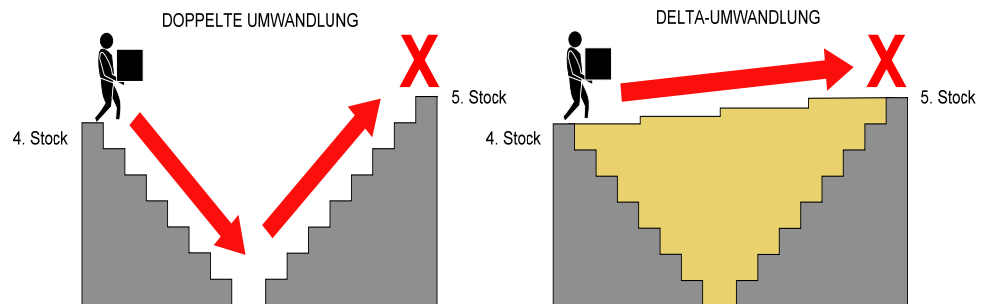
Bei dieser USV-Technologie (siehe **Abb. 5**) handelt es sich um eine neuere, etwa 10 Jahre alte Technologie, die entwickelt wurde, um die Nachteile von Online-USVen mit Doppelwandlung zu vermeiden. USVen mit Doppelwandlung sind in der Lage, Leistungen im Bereich von 5 kVA bis 1,6 MVA zu liefern. Ähnlich wie bei USVen mit Doppelwandlung wird die Last bei einer Online-USV mit Delta-Umwandlung stets vom Wechsel-richter mit Wechselfspannung versorgt. Der zusätzliche Delta-Wandler trägt auch zur Leistungsversorgung am Ausgang des Wechselrichters bei. Bei einem Netzspannungsausfall oder bei Störungen der Netzwechselfspannung verhält sich diese USV exakt so wie eine USV mit Doppelwandlung.

Abb. 5
Online-USV mit
Delta-Umwandlung



Der folgende Vergleich erleichtert das Verständnis des hohen Wirkungsgrades von Online-USVen mit Delta-Umwandlung: Um ein Paket aus dem vierten in den fünften Stock eines Gebäudes zu transportieren (siehe **Abb. 6**) kann man dieses Paket nur zwischen der Differenz (dem Delta) von Anfangs- zu Endpunkt transportieren, um Energie zu sparen. USVen mit Doppelwandlung wandeln die elektrische Energie zweimal um, nämlich einmal von Wechselfspannung in Gleichspannung zum Laden des Akkus, und zum Zweiten von Gleichspannung in die Ausgangswechselfspannung zur Versorgung der Last. Eine Online-USV mit Delta-Wandler hingegen übernimmt nur die Differenz (das Delta) dieser Umwandlung.

Abb. 6
Analogy of double
conversion vs. delta
conversion



Der Delta-Konverter in einer Online-USV mit Delta-Umwandlung übernimmt zwei verschiedene Aufgaben. Die Erste ist die Steuerung der Charakteristik der Eingangswechselfspannung. Diese aktive Eingangssteuerung stellt eine resistive Last dar, wodurch nur geringfügige nichtlineare Verzerrungen an dieser Last auftreten, sodass die Amplitude von Verzerrungen ins Wechselstromnetz minimiert wird. Hierdurch wird sichergestellt, dass in das Wechselstromnetz keine Störsignale eingespeist werden und keine Belastung der Stromgeneratoren stattfindet. Ferner werden hierdurch Überhitzung und Beschädigungen im Stromverteilungsnetz vermieden. Die zweite Aufgabe eines Delta-Konverters besteht darin, den Eingangsstrom zu steuern, um so die sichere und ausreichende Ladung der Akkus sicherzustellen.

Eine Online-USV mit Delta-Umwandlung weist die gleichen Ausgangseigenschaften wie eine USV mit Doppelwandlung auf. Die Eingangseigenschaften sind jedoch häufig unterschiedlich. Online-USVen mit

Delta-Umwandlung führen eine dynamische Kosinus-Phi-Leistungsfaktor-Korrektur durch, enthalten aber keine konventionellen Filterbänke, in Verbindung mit herkömmlichen USVen, die den Gesamtwirkungsgrad der USV verschlechtern würden. Der wichtigste Vorteil von Online-USVen mit Delta-Umwandlung ist eine erhebliche Reduzierung von Energieverlusten. Die Regelung der Eingangsspannung macht diese USV-Art mit allen Generatorarten kompatibel und ermöglicht es, auf eine Überdimensionierung von Verkabelung und Generator zu verzichten. Die Technologie von Online-USVen mit Delta-Umwandlung ist heute die einzige USV-Technologie von Bedeutung, für die noch Patentschutz besteht, sodass diese USV-Art nur von relativ wenigen USV-Herstellern geliefert werden kann.

Bei konstanter Netzwechselfrequenz und konstanter Belastung betreibt eine USV mit Delta-Umwandlung die Last mit einem weitaus größeren Wirkungsgrad als USVen mit Doppelwandlung.

Zusammenfassung der USV-Topologien

Die nachstehende Tabelle enthält eine Übersicht über die Eigenschaften der verschiedenen USV-Arten. Einige USV-Eigenschaften wie der Wirkungsgrad hängen von der USV-Art ab. Da wichtige Eigenschaften wie die Zuverlässigkeit in hohem Maße von der Entwicklungs- und Herstellungsqualität abhängen, müssen diese Faktoren zusätzlich zu den durch die Entwicklung festgelegten Eigenschaften berücksichtigt werden.

Table 1

UPS characteristics

	Nutzbarer Leistungsbereich (kVA)	Aufbereitung der Netzwechselfrequenz	Kosten pro VA	Wirkungsgrad	Wechselrichter stets aktiv
USV für Bereitschaftsbetrieb	0-0.5	Niedrig	Niedrig	Sehr hoch	Nein
Linearer Bereitschaftsbetrieb (Line Interaktiv)	0.5-5	Abhängig vom Aufbau	Mittel	Sehr hoch	Abhängig vom Aufbau
USV für Bereitschaftsbetrieb mit Ferroresonator	3-15	Hoch	Hoch	Niedrig bis mittel	Nein
USV mit Doppelwandlung	5-5000	Hoch	Mittel	Niedrig bis mittel	Ja
Online-USV mit Delta-Umwandlung	5-5000	Hoch	Mittel	Hoch	Ja

Einsatz von USV-Topologien in der Industrie

Heute werden im Gegensatz zu früher die unterschiedlichsten USV-Arten angeboten. Die einzelnen USV-Arten weisen Eigenschaften auf, die sie mehr oder weniger für bestimmte Anwendungen prädestinieren. Wie aus der nachstehenden Tabelle ersichtlich, stellt APC die unterschiedlichsten USV-Arten her:

Table 2UPS architecture
characteristics

	Kommerzielle Produkte	Vorteile	Einschränkungen	Die Erkenntnisse von APC
USV für Bereitschaftsbetrieb	APC Back-UPS Tripp-Lite Internet Office	Kostengünstig, hoher Wirkungsgrad, geringe Abmessungen	Bei einem Spannungsabfall wird die elektrische Leistung vom Akku der USV geliefert; dies ist jedoch nur bei Ausgangsleistungen von bis zu ca. 2 kVA zweckmäßig	Bestes Preis-Leistungs-Verhältnis für die Spannungsversorgung von Arbeitsplatz-computern
USV für linearen Bereitschaftsbetrieb (line-Interaktiv)	APC Smart-UPS Powerware 5125	Hohe Zuverlässigkeit, hoher Wirkungsgrad, gute Aufbereitung der Netzwechselspannung	Nur bis zu Ausgangsleistungen von ca. 5 kVA zweckmäßig	Die heute wegen ihrer hohen Zuverlässigkeit und der Möglichkeit zum Einbau in 19-Zoll-Racks am häufigsten eingesetzten USV-Arten. Diese USVen eignen sich optimal für die Spannungsversorgung von verteilten Servern und/oder Lasten in stark verschmutzten Wechselstromnetzen
USV für Bereitschaftsbetrieb mit Ferroresonator	Commercial product availability limited	Hervorragende Aufbereitung der Netzwechselspannung, hohe Zuverlässigkeit	Niedriger Wirkungsgrad, Instabilitäten in Verbindung mit einigen Lasten und Generatoren	Begrenzter Anwendungsbereich auf Grund niedrigen Wirkungsgrades und gewisser Instabilitäten; N+1-Online-USVen weisen eine höhere Zuverlässigkeit auf
USV mit Doppelwandlung	APC Symmetra Liebert NX	Hervorragende Aufbereitung der Netzwechselspannung, Möglichkeit zur einfachen Parallelschaltung	Niedriger Wirkungsgrad, zu hohe Kosten bei Ausgangsleistungen unter 5 kVA	Gute Eignung für USVen in N+1-Topologien
Online-USV mit Delta-Umwandlung	APC Symmetra Megawatt	Hervorragende Aufbereitung der Netzwechselspannung, hoher Wirkungsgrad	Nur bei Ausgangsleistungen von mehr als ca. 5 kVA zweckmäßig	Infolge des hohen Wirkungsgrades ergeben sich bei großen Systemen erhebliche Einsparungen in Bezug auf die Gesamtbetriebskosten (Energiekosten)

Ergebnisse

Die unterschiedlichen USV-Topologien eignen sich für unterschiedliche Anwendungen. Keine einzige USV-Art ist für sämtliche Anwendungen ideal. Die Aufgabe dieses White Papers besteht darin, die Vorteile und Nachteile der unterschiedlichen, heute verfügbaren USV-Topologien aufzuzeigen.

Die signifikanten Unterschiede der heutigen USV-Topologien bieten auf den unterschiedlichen Einsatzgebieten theoretische und praktische Vorteile. Die Entscheidung zugunsten des Einsatzes der einen oder anderen USV für die jeweilige Anwendung sollte unter Berücksichtigung des angewandten Entwicklungskonzepts und der erreichten Fertigungsqualität getroffen werden.

Über den autor

Neil Rasmussen ist einer der Gründer und Chief Technical Officer von American Power Conversion. Bei APC arbeitet Neil Rasmussen mit dem weltgrößten F&E-Budget für die Stromversorgungs-, Kühlungs- und Rack-Infrastruktur kritischer Netzwerke. Die wichtigsten Produktentwicklungszentren befinden sich in Massachusetts, Missouri, Rhode Island, Taiwan, Dänemark und Irland. Zurzeit leitet er die APC-Initiative zur Entwicklung von modular skalierbaren Datacenterlösungen.

Vor der Gründung von APC im Jahre 1981 graduierte Neil Rasmussen am MIT zum Bachelor und Master in Elektrotechnik. Hier veröffentlichte er auch seine Dissertation zur Analyse einer 200-MW-Stromversorgung des Tokamak-Fusionsreaktors. Von 1979 bis 1981 arbeitete er bei den MIT Lincoln Laboratories an der Entwicklung von Schwungrad-Energiespeichersystemen und Solarstromsystemen.



 Alle APC Whitepaper anzeigen
whitepapers.apc.com

 Alle APC TradeOff Tools anzeigen
tools.apc.com



Kontaktieren Sie APC

Feedback und Kommentare zum Inhalt dieses Whitepapers

Data Center Science Center, APC by Schneider Electric
DCSC@Schneider-Electric.com

Wenn Sie Kunde sind und spezielle Fragen zu Ihrem oder einem Rechenzentrumsprojekt haben

Kontakt mit Ihrem APC by Schneider Electric Ansprechpartner aufnehmen