

Technischer Vergleich von Online- und line-interaktivem USV-Aufbau

Von Jeffrey Samstad
Michael Hoff

**White paper /
technische
Dokumentation
Nr. 79**

APC[®]
Legendary Reliability[®]

Zusammenfassung

USV-Systeme mit einer Leistung von weniger als 5000 VA sind in zwei grundlegenden Ausführungen erhältlich: lineinteraktiv oder als Ausführungen mit Online-Doppelwandlung. In diesem Papier werden die Vor- und Nachteile der einzelnen Topologien erläutert und einige gängige falsche Auffassungen bezüglich der praktischen Anwendungsanforderungen ausgeräumt.

Einführung

Die meisten Faktoren, die bei der Auswahl einer USV eine Rolle spielen, sind offensichtlich und klar: Akkuüberbrückungszeit, Kosten, Größe, Hersteller, Anzahl von Anschlüssen, Verwaltbarkeit usw. Es gibt jedoch auch weniger offensichtliche und schwieriger zu fassende Faktoren. Einer der unklarsten, aber am meisten erörterten Faktoren ist die **Topologie**. Die Topologie (der interne Aufbau) einer USV bestimmt deren Arbeitsweise in verschiedenen Umgebungen.

Die Auswahl der richtigen Topologie kann kompliziert werden, wenn behauptet wird, dass bestimmte Topologien besser und für einsatzkritische Anwendungen unerlässlich sind. Da diese Behauptungen in der Regel von Herstellern stammen, die versuchen, ihre so genannte „überlegene“ Topologie zu verkaufen, ist allein auf Grundlage solcher Behauptungen nur schwierig eine sachlich fundierte Entscheidung zu treffen. Ziel dieser technischen Dokumentations ist es, die Vor- und Nachteile der beiden am meisten verbreiteten Topologien objektiv zu beurteilen: die **lineinteraktive Topologie** und die **Topologie mit Online-Doppelwandlung**.

Am oberen und unteren Ende des Leistungsspektrums sind die relativen Vorzüge dieser beiden Topologien kaum strittig.¹ Bei einer Leistung von über 5000 VA hat sich die lineinteraktive Topologie aufgrund ihrer Größe und der höheren Kosten als unpraktisch erwiesen. Am unteren Ende, bei einer Leistung unter 750 VA, wird die Online-Doppelwandlung kaum in Betracht gezogen, da andere Topologien (einschließlich der lineinteraktiven) bei kleineren Lasten praktischer sind.

In der Debatte über die Topologie mit Online-Doppelwandlung und die lineinteraktive Topologie geht es in der Regel um den Leistungsbereich zwischen 750 VA und 5000 VA. In diesem Bereich sind die funktionalen und wirtschaftlichen Vorteile einer Topologie gegenüber der anderen nicht so deutlich und hängen von den Besonderheiten der Installation ab. Während die lineinteraktive Topologie in diesem Leistungsbereich am häufigsten hergestellt und installiert wird, haben Fortschritte bei Halbleitertechnik und Herstellungsverfahren den Preisvorteil der Online-Doppelwandlung gegenüber der lineinteraktiven Topologie eingeebnet, sodass die Entscheidung zwischen beiden Topologien schwerer fällt als früher. Die Auswahl der besten Topologie in diesem „Überschneidungsbereich“ erfordert die Kenntnis der mit der jeweiligen Topologie verknüpften Nachteile.

¹ Bei *sehr* hoher Leistung – 200.000 VA und mehr – gibt es eine andere Debatte, die sich mit den relativen Vorzügen der **Online-Doppelwandlung** und **Online-Deltawandlung** befasst. Einen Vergleich dieser beiden Online-Topologien finden Sie im APC White Paper Nr. 1, „The Different Types of UPS Systems“.

Analyse der Anwendung

Bevor Sie eine Entscheidung über die USV-Topologie fällen, müssen Sie die Anforderungen der zu schützenden Geräte und die Umgebung kennen, in der die USV installiert wird. Diese Fakten sind Grundlage für eine sachlich fundierte Entscheidung über die USV-Topologie, die sich für den Anwendungszweck am besten eignet.

IT-Geräte und Wechselstrom: Schaltnetzteile

Elektrizität wird von Stromversorgern und Reservegeneratoren im Allgemeinen als Wechselstrom verteilt. Die Wechselspannung alterniert zwischen positiv und negativ – im Idealfall als perfekte Sinuskurve – und passiert zweimal pro Zyklus den Wert 0 Volt. Mit dem bloßen Auge ist dies vielleicht nicht zu sehen, aber eine an die Netzspannung angeschlossene Lampe flimmert tatsächlich 100 oder 120 Mal pro Sekunde (je nach dem, ob die Netzfrequenz 50 oder 60 Hz beträgt), da die Spannung beim Nulldurchgang die Polarität wechselt.

Wie nutzen IT-Geräte die Wechselspannung zur Versorgung der Prozessschaltkreise? Wird sie ebenfalls 100 Mal oder mehr pro Sekunde „ausgeschaltet“, wenn sich die Polarität der Netzspannung ändert? Natürlich liegt hier ein Problem vor, das von den IT-Geräten gelöst werden muss. In praktisch sämtlichen modernen IT-Geräten wird dieses Problem mit einem **Schaltnetzteil** gelöst.² Ein solches Netzteil wandelt die Wechselspannung zunächst mit allen nicht idealen Komponenten (Spannungsspitzen, Verzerrung, Frequenzschwankungen usw.) in geglätteten Gleichstrom um. Dabei wird ein Energiespeicherelement, ein **Kondensator**, geladen, der zwischen den Wechselstromeingang und den Rest des Netzteils geschaltet ist. Dieser Kondensator wird vom Wechselstromeingang zwei Mal pro Wechselstromzyklus in Stößen geladen, wenn die (negative oder positive) Spitze der Sinuskurve erreicht oder beinahe erreicht wird. Er wird so schnell entladen, wie dies für die nachgelagerten IT-Prozessschaltkreise erforderlich ist. Diese normalen Wechselstromimpulse und anormalen Spannungsspitzen werden vom Kondensator während seiner gesamten Lebensdauer ständig absorbiert. Im Unterschied zur flimmernden Lampe arbeiten IT-Geräte also mit einem kontinuierlichen Gleichstrom anstatt mit dem pulsierenden Wechselstrom des Stromnetzes.

Dies ist jedoch noch nicht alles. Die Schaltkreise der Mikroelektronik benötigen eine sehr niedrige Gleichspannung (3,3 V, 5 V, 12 V usw.), die Spannung am Kondensator kann jedoch bis zu 400 V betragen. Das Schaltnetzteil wandelt diese hohe Gleichspannung in sehr genau geregelte niedrige Gleichstromausgangsspannungen um.

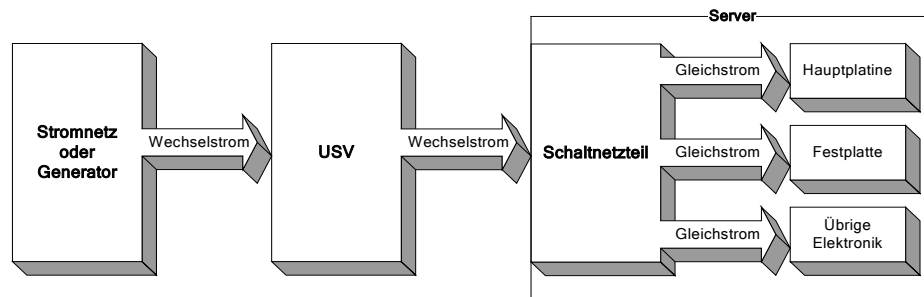
Bei dieser Spannungsreduzierung erfüllt das Schaltnetzteil eine weitere wichtige Funktion: Es sorgt für eine **galvanische Trennung**. Die galvanische Trennung ist eine physische Trennung der Schaltkreise, die zwei Zwecken dient. Der erste Zweck ist Sicherheit: Schutz gegen Stromschläge. Der zweite Zweck

² Die genaue Wirkungsweise von Schaltnetzteilen soll in diesem Zusammenhang nicht erläutert werden.

ist Schutz gegen Beschädigungen oder Fehlfunktionen der Geräte aufgrund von (erdungsbasierter) Gleichtaktspannung oder Störungen. Informationen über Erdung und Gleichtaktspannung finden Sie in den APC White Papers / technischen Dokumentationen Nr. 9 („Common Mode Susceptibility of Computers“) (Wahrnehmung der herkömmlichen Arbeitsweise eines Computers) und Nr. 21 („Neutral Wire Facts and Mythology“). (Verdrahtung von N- Fakten und Mythen).

Abbildung 1 zeigt ein IT-Gerät (in diesem Beispiel einen Server), der durch eine USV geschützt ist. Die internen Komponenten des Servers einschließlich des Schaltnetzteils sind ebenfalls dargestellt.

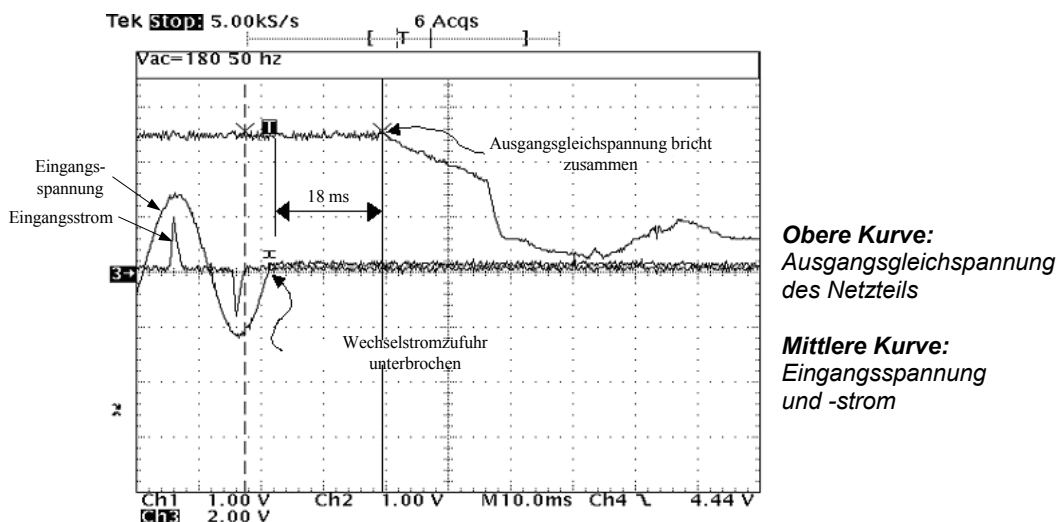
Abbildung 1 – Typische USV-Anwendung: USV und Server



Das Schaltnetzteil „überbrückt“ nicht nur die Intervalle zwischen den Spitzen der Sinuskurve der Wechselstromeingangsspannung, sondern auch andere Anomalien und kurze Unterbrechungen der Wechselstromversorgung. Diese Eigenschaft ist für Hersteller von IT-Geräten von Bedeutung, die natürlich wünschen, dass ihre Geräte auch dann funktionieren, wenn keine USV vorhanden ist. Kein Hersteller von IT-Geräten möchte seinen Ruf in Bezug auf Qualität und Leistung von einem Netzteil abhängig machen, das nicht einmal die geringste Schwankung der Netzspannung aushalten kann. Dies gilt insbesondere für hochwertigere Netzwerk- und Computergeräte, die daher normalerweise auch mit hochwertigeren Netzteilen ausgestattet werden.

Um diese Überbrückungsfähigkeit zu demonstrieren, wurde ein typisches Computernetzteil stark belastet. Anschließend wurde die Wechselstromeingangsspannung entfernt. Die Ausgangsspannung des Netzteils wurde überwacht, um festzustellen, für wie lange nach dem Wegfall der Wechselspannung eine akzeptable Ausgangsspannung bereitgestellt wurde. Die Ergebnisse sind in Abbildung 2 dargestellt. Die dargestellten Wellen sind die Eingangsspannung des Netzteils, der Eingangsstrom und die Gleichstromausgangsspannung.

Abbildung 2 – Spannungsverlauf des Netzteils



Nach dem Wegfall der Wechselspannung bricht die Ausgangsspannung eines stark belasteten Computernetzteils zusammen, jedoch erst mit einer beträchtlichen Verzögerung.

Vor dem Wegfall der Eingangsspannung weist diese die Sinuskurve auf, die in Abbildung 2 links dargestellt ist. Der Eingangsstrom – die mit Spitzen versehene Kurve unter der glatten Spannungskurve – besteht aus einem kurzen Impuls mit einer positiven Spitze und einem weiteren kurzen Impuls mit einer negativen Spitze. Der Kondensator des Schaltnetzteils wird nur während dieser Stromimpulse geladen. In der übrigen Zeit wird dem Kondensator zur Versorgung der Prozessschaltkreise Strom entzogen.³ Die Gleichspannung am Ausgang des Schaltnetzteils ist die obere Kurve in Abbildung 2. Sie sehen, dass die Ausgangsspannung noch 18 Millisekunden nach dem Wegfall der Eingangswchselspannung präzise geregelt bleibt. APC hat eine Reihe von Netzteilen verschiedener Hersteller von Computern und anderen IT-Geräten getestet und vergleichbare Ergebnisse gefunden. Wenn die Netzteile nur geringfügig belastet werden, ist die Überbrückungszeit wesentlich länger, da der Kondensator langsamer entladen wird.

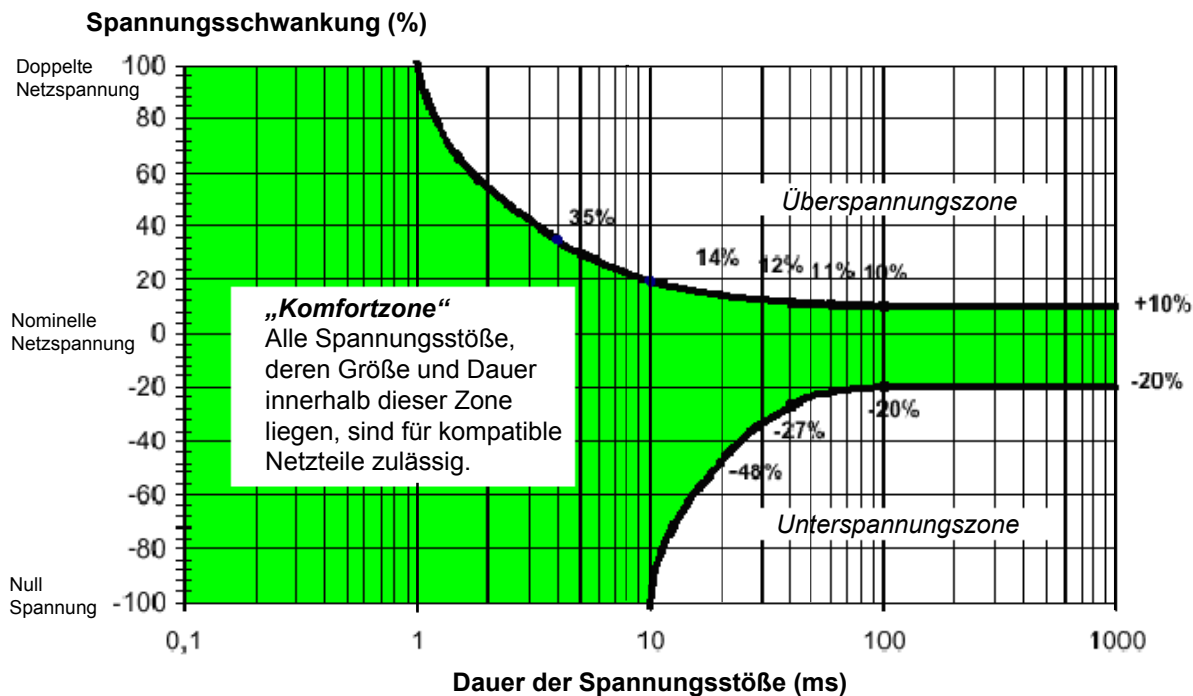
³ Einige Schaltnetzteile führen eine Leistungsfaktorkorrektur (Ausführungen hierzu weiter unten) durch und nehmen den Eingangsstrom als Sinuskurve auf. Sie verfügen ebenfalls über einen Hochspannungskondensator, der die gleiche Überbrückungsfunktion erfüllt.

Internationale Normen für die Kompatibilität von USVs mit Schaltnetzteilasten

Wir haben gesehen, dass ein Schaltnetzteil kurze Störungen der Stromversorgung überbrücken können muss, damit die sinusförmige Eingangswchselspannung genutzt werden kann. Aber was heißt „kurz“?

Abbildung 3 zeigt die Spezifikationen der internationalen Norm IEC 62040-3. Sie definiert Grenzwerte für die Größe und Dauer der Störungen der USV-Ausgangsspannung, die für die Last eines Schaltnetzteils akzeptabel sind. Wie die Form der farblich abgesetzten „Komfortzone“ zeigt, gilt Folgendes: Je kleiner das Ausmaß der Spannungsschwankung, desto länger darf Sie in der USV-Ausgangsspannung vorhanden sein. Nach dieser Norm sind also *ständige* Schwankungen der Nennspannung in einem sehr breiten Bereich von +10 % bis -20 % zulässig. Die Ausgangsspannung der USV kann somit innerhalb dieses Bereichs über eine unbegrenzte Dauer variieren, ohne dass die Funktion des Schaltnetzteils dadurch beeinträchtigt wird, denn ähnliche Normen für Schaltnetzteile verlangen die Überbrückung von Abweichungen der Eingangsspannung über einen noch weiteren Bereich als demjenigen für die USV-Ausgangsspannung.⁴

Abbildung 3 – IEC-Norm 62040-3: Größe und Dauer zulässiger Wechselspannungsabweichungen für Lasten von Schaltnetzteilen



Spannungsstörungen („Spannungsstöße“), deren Größe und Dauer innerhalb der grünen „Komfortzone“ liegen, dürfen in der USV-Ausgangsspannung vorhanden sein, die mit dem Schaltnetzteil verbunden wird. Andere Abweichungen sind nicht zulässig.

⁴ Die entsprechenden Normen für Schaltnetzteile, die den Bereich zulässiger Abweichungen definieren, sind die „ITI / CBEMA-Kurve“ sowie IEC 61000-4-11.

Nach Abbildung 3 gelten für eine USV mit einer Ausgangsnennspannung von 230 V Wechselstrom folgende Kompatibilitätsanforderungen:

- Für eine Dauer von maximal einer Millisekunde darf die Ausgangsspannung der USV bis zu 380 V betragen.
- Für eine Dauer von maximal 10 Millisekunden darf die Ausgangsspannung der USV 0 V betragen!
- Für eine Dauer von maximal 100 Millisekunden dürfen die Schwingungen (nach oben oder unten) nur eine kleinere Amplitude haben. Die zulässige Dauer hängt dabei von der Größe der Abweichung ab.
- Für eine Dauer von mehr als 100 Millisekunden (dies schließt den Dauerbetrieb ein) muss die Ausgangsspannung der USV zwischen 196 V und 232 V betragen.

In den meisten Weltregionen bis auf einige Schwellenländer ist die Stromversorgung relativ stabil. An einem typischen Tag weicht die Spannung um höchstens 5 % nach oben oder unten von der Nennspannung ab und liegt damit also klar innerhalb der in Abbildung 3 dargestellten zulässigen Spannungsschwankungen. Da ein Schaltnetzteil einer solchen Wechselstromquelle Strom entnehmen kann, besitzt es die nötige Robustheit für den zuverlässigen Anschluss an eine typische Netzspannung.

Mythos und Realität

MYTHOS: Einsatzkritische Geräte benötigen eine Umschaltzeit von Null, damit z. B. Blockierungen und / oder Verluste von Paketen in Netzwerkschwitches vermieden werden.

REALITÄT: Schaltnetzteile gibt es in praktisch allen einsatzkritischen Geräten. Nach internationalen Normen müssen sie eine Überbrückungszeit von mindestens 10 ms haben (siehe Abbildung 3). Elektronische Geräte ohne eine solche Überbrückungszeit sind entweder minderwertig oder äußerst selten, d. h. für ganz spezielle Anwendungen vorgesehen (nicht für Computer oder IT-Ausrüstung).

Zusammenfassend lassen sich folgende Vorteile von Schaltnetzteilen feststellen:

- Sie lassen ohne Leistungseinbußen starke Schwankungen der Eingangsspannung und der Frequenz der Spannung zu.
- Ihre Wechselstromeingänge und Gleichstromausgänge sind galvanisch getrennt, sodass keine nachgelagerte Gleichtaktrennung (Nullpunktrennung) erforderlich ist.
- Sie lassen Störungen der Eingangsspannung in merklichem Umfang zu, ohne dass ihre Lebensdauer oder Zuverlässigkeit darunter leiden.
- Sie haben eine integrierte „Überbrückungszeit“, die kurze Stromunterbrechungen toleriert.

Die USV-Optionen

Im APC White paper Nr. 1, „Die unterschiedlichen Arten von USV Systemen“, werden die folgenden fünf heute gebräuchlichen USV-Haupttopologien und deren Leistungscharakteristik erläutert.

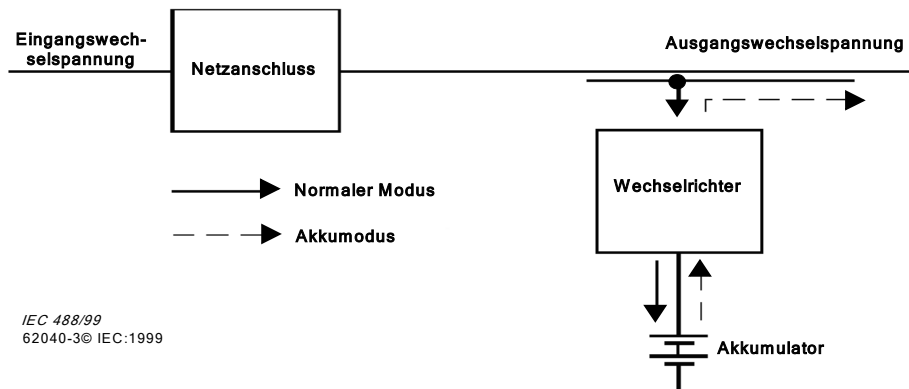
- Standby
- Lineinteraktiv
- Standby-ferro
- Online-Doppelwandlung
- Online-Deltawandlung

Im Leistungsbereich von 750 VA bis 5000 VA sind nahezu alle für den Einsatz in modernen IT-Anwendungen verkauften USVs entweder leitungsinteraktiv oder arbeiten mit Online-Doppelwandlung. Andere Topologien sind in diesem Bereich nicht gebräuchlich. Eine Erörterung der Gründe dafür würde den Rahmen dieses White paper sprengen.

Lineinteraktive USV

Eine **lineinteraktive** USV prüft und reguliert die Wechselspannung des Netzes in der Regel mit Hilfe nur eines Netzspannungswandlers. Abbildung 4 zeigt die Standardbeschreibung dieser Topologie in der IEC-Norm 62040-3.

Abbildung 4 – Lineinteraktive USV-Topologie nach IEC 62040-3
Blockdiagramm mit Netzanschluss und einem Hauptwandlungsblock



Wenn die Eingangswchselspannung anliegt, wird sie im „Netzanschlussblock“ in Abbildung 4 gefiltert, Spannungsspitzen werden unterdrückt, und die Spannung wird so geregelt, dass sie den weiter oben dargelegten Spezifikationen entspricht. Hierzu werden normalerweise passive Filterkomponenten und ein stufengeregelter Trafo eingesetzt. Der Eingangsstromrichter (der Block „Wechselrichter“) leitet einen Teil der Eingangswchselspannung um, damit die Akkus voll geladen bleiben, wenn die Netzspannung

anliegt. Dafür werden in der Regel weniger als 10 % der USV-Leistung benötigt, sodass die Komponenten in diesem Betriebsmodus kühl bleiben. Beispielsweise verbraucht der Wechselrichter in einer lineinteraktiven USV mit einer Leistung von 3000 Watt maximal nur 300 Watt (ein Zehntel seiner Kapazität), wenn die Akkus geladen werden. Viele für den Vollastbetrieb ausgelegte Komponenten haben eine Betriebstemperatur, die nur leicht über der Umgebungstemperatur liegt, wenn die Netzspannung anliegt. Dies ist der normale Betriebsmodus. Wenn die Netzspannung außerhalb des Eingangsbereichs des Netzanschlusses liegt, erzeugt der Wechselrichter die Ausgangsspannung mit Energie aus dem Akku. Der Eingangsspannungsbereich des Netzanschlusses ist ein fester Bereich zwischen -30 % bis +15 % der Nennspannung. Eine lineinteraktive USV mit einer nominellen Ausgangsspannung von 230 V hält die Ausgangsspannung zwischen 208 V und 243 V, während die Eingangsspannung zwischen 161 V und 264 V schwanken kann.

Ein kleines aber wichtiges Detail beim Betrieb einer lineinteraktiven USV ist die Tatsache, dass zwar die Spannung, mit der die Last versorgt wird, gefiltert und geprüft wird, dass jedoch die Wellenform des von der Last verbrauchten Stroms nicht geändert wird. Wenn die Last daher über ein Schaltnetzteil mit Leistungsfaktorkorrektur verfügt,⁵ wird die Leistungsfaktorkorrektur durch die lineinteraktive USV nicht gestört. Wenn das Schaltnetzteil der Last *ohne* Leistungsfaktorkorrektur arbeitet und den Strom in Spitzen entnimmt (wie Abbildung 2 zeigt), wird diese Wellenform von der lineinteraktiven USV ebenfalls nicht geändert oder „korrigiert“.

Theoretisch tragen die geringe Anzahl von Komponenten und die niedrigen Betriebstemperaturen des Hauptspannungswandlers (Block „Wechselrichter“ in Abbildung 4) zur langen Lebensdauer und hohen Zuverlässigkeit bei. In der Praxis wird die Zuverlässigkeit jedoch durch andere Faktoren bestimmt. Dies wird weiter unten im Abschnitt **Zuverlässigkeitsaspekte** beschrieben.

Wegen ihrer niedrigen Kosten und ihrer Langlebigkeit wird die lineinteraktive USV in IT-Anlagen weltweit millionenfach erfolgreich verwendet.

Zu berücksichtigende Aspekte (leitungsinteraktiv):

In Entwicklungsländern oder anderen Regionen mit schwieriger Infrastruktur, in denen die Netzspannung instabil ist, stark schwankt oder ein hohes Maß an Störungen aufweist, zapft eine lineinteraktive USV den Akku einmal oder zweimal pro Tag oder sogar noch häufiger an. Dies liegt daran, dass lineinteraktive USVs große Spannungsschwankungen und starke Störungen nur dann von der Last fernhalten können, wenn die Netzspannung getrennt wird und ein Übergang zur Stromversorgung durch den Akku erfolgt. Auch wenn die lineinteraktive USV eine Ausgangsspannung bereitstellt, die innerhalb der IEC-Grenzen (Abbildung 3) liegt, solange die Akkuleistung verfügbar ist, wird die Kapazität des Akkus durch häufigen Gebrauch eingeschränkt, sodass dessen Laufzeit bei einem längeren Stromausfall kürzer ist. Selbst wenn die Akkus nicht vollständig entladen werden, müssen sie eventuell häufiger ausgetauscht werden, da sie häufiger gebraucht wurden.

⁵ Ein Gerät mit Leistungsfaktorkorrektur nimmt den Strom einer Eingangswechselspannung als glatte Sinuskurve und nicht in Impulsform auf. Eine Ausgangsspannung ohne Leistungsfaktorkorrektur ist in Abbildung 2 dargestellt.

Vorteile der lineinteraktiven Topologie:

- Geringerer Stromverbrauch (geringere Betriebskosten) – wirtschaftlicher, da bei akzeptabler Netzeingangsspannung weniger Umwandlung erforderlich ist.
- Theoretisch höhere Zuverlässigkeit – geringere Anzahl von Komponenten und niedrigere Betriebstemperatur. (Siehe Abschnitt **Zuverlässigkeitsaspekte** weiter unten.)
- Geringere Wärmebelastung der Anlage – USV erzeugt weniger Wärme.

Zu beachtende Dinge:

Die lineinteraktive USV eignet sich eventuell nicht für Anlagen, wenn

- die Netzspannung instabil ist oder starke Störungen aufweist, da die Akkuleistung zu häufig in Anspruch genommen wird, um die Ausgangsspannung der USV innerhalb der Spezifikationen zu halten.
- eine Leistungsfaktorkorrektur benötigt wird und die Last diese Funktion nicht übernimmt.

Mythos und Realität

MYTHOS: Lineinteraktive USVs regeln die Spannung nicht. Störungen und Spannungsspitzen erreichen die Netzteile, die dadurch verschleifen.

REALITÄT: Hochwertige lineinteraktive Geräte verfügen über leistungsstarken integrierten Überspannungs- und Störungsschutz, sodass die Ausgangsspannung innerhalb des zulässigen Bereichs bleibt und die Zuverlässigkeit der Last nicht gefährdet ist.

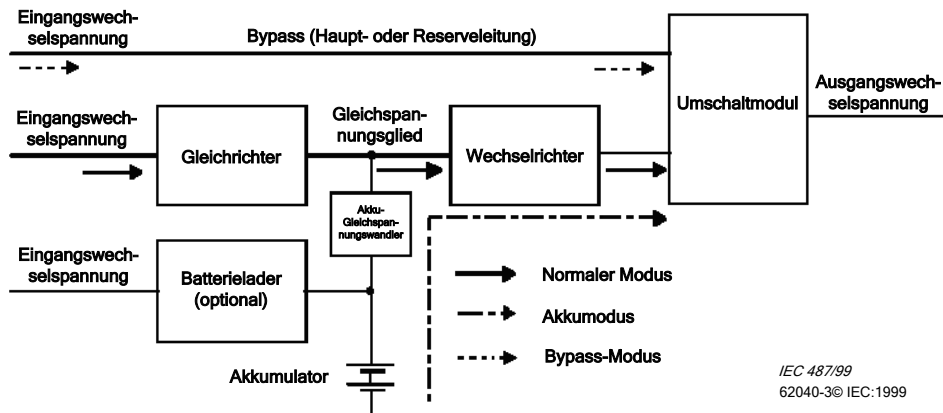
USV mit Online-Doppelwandlung

Wie die Bezeichnung impliziert, wird der Strom bei einer USV mit **Online-Doppelwandlung** zweimal gewandelt. Zunächst wird die Eingangswchselspannung mit allen Spannungsspitzen, Störungen und anderen Abweichungen in eine Gleichspannung gewandelt. Dies entspricht weitgehend der oben beschriebenen Funktion von Schaltnetzteilen in IT-Geräten. Ebenso wie Schaltnetzteile besitzen auch USVs mit Online-Doppelwandlung einen Kondensator, der diese Gleichspannung stabilisiert und die der Netzspannung entnommene Energie speichert. Danach wird die Gleichspannung wieder in eine Wechselspannung gewandelt, die von der USV sehr genau geregelt wird. Diese Ausgangswchselspannung kann sogar eine andere Frequenz aufweisen als die Eingangsspannung. Bei einer lineinteraktiven USV ist dies nicht möglich. Die gesamte der Last bereitgestellte Energie wird auf diese Weise zweifach gewandelt, wenn die Netzspannung anliegt.

Wenn die Eingangswchselspannung bestimmte Werte überschreitet, entnimmt die USV Energie aus dem Akku, damit die Ausgangsspannung der USV konstant bleibt. Bei zahlreichen Geräten mit Online-Doppelwandlung dauert dieser in der USV stattfindende Übergang von der Eingangswchselspannung zum Akku einige Millisekunden. Während eines solchen Übergangs stellt wiederum der Kondensator im „Gleichspannungsglied“ (siehe Abbildung 5) gespeicherte Energie für den Wechselrichter bereit. So bleibt die Ausgangsspannung der USV also auch bei einer kurzen Unterbrechung der Energieversorgung des „Gleichspannungsgliedes“ gleich und ständig bestehen.

Bei modernen Konstruktionen umfasst die Topologie fast immer auch einen zusätzlichen Akkuladeschaltkreis, sodass eine USV mit Online-Doppelwandlung normalerweise über mindestens drei Spannungswandlungsstufen verfügt. Abbildung 5 zeigt diese auf der IEC-Norm 62040-3 beruhende Topologie.

Abbildung 5 – USV-Topologie mit Online-Doppelwandlung aus IEC 62040-3
Blockdiagramm mit vier Wandlerblöcken



Neben der Wechselstrom-Gleichstrom-Wandlung enthält der Gleichrichterabschnitt auch eine Leistungsfaktorkorrektur. Das bedeutet, dass der Strom der Netzleitung als glatte Sinuswelle entnommen wird und nicht in Impulsen (eine Darstellung eines Eingangsstroms ohne Leistungsfaktorkorrektur sehen Sie in Abbildung 2). Da die Wellenform des Eingangsstroms durch die Leistungsfaktorkorrektur „korrigiert“ wird, wird weniger Strom entnommen; zusätzlich werden dabei hochfrequente Oberwellen reduziert. Dies geschieht auch, wenn die von der USV versorgten IT-Geräte den Strom in Impulsform (ohne Leistungsfaktorkorrektur) entnehmen. Weitere Informationen über Leistungsfaktorkorrektur und neutrale Oberwellen finden Sie im APC White paper Nr. 26, „Hazards of Harmonics and Neutral Overloads“ (bisher nur auf Englisch verfügbar).

Beim Betrieb unter Vollast entspricht der Bereich der zulässigen Eingangswch-selspannung bei einer USV mit Online-Doppelwandlung in etwa dem einer lineinteraktiven USV. Im Unterschied zu einer lineinteraktiven USV kann eine USV mit Online-Doppelwandlung mit einer wesentlich niedrigeren Eingangsspannung arbeiten, wenn die USV nicht voll ausgelastet ist. Eine typische 230-V-USV mit Online-Doppelwandlung kann beispielsweise mit sehr geringen Lasten arbeiten, auch wenn die Eingangsspannung lediglich 50 % der Nennspannung (125 V) beträgt. Diese Eigenschaft der Online-Topologie ist zwar sehr interessant, sie ist jedoch fast nur für Demonstrationszwecke sinnvoll, da längere Störungen dieser Größenordnung äußerst selten sind und die Last in der Praxis stets variiert.

Eine Online-USV ist in der Regel kleiner als eine lineinteraktive USV mit vergleichbarer Leistung. Sie enthält zwar mehr Komponenten (normalerweise drei Mal so viele), die Komponenten sind jedoch kleiner. Dies gilt insbesondere für Geräte mit Leistungen von mehr als 2200 VA und immer bei einem Vergleich mit einer lineinteraktiven USV mit längerer Akkulaufzeit.

Die Online-Topologie enthält im Normalfall einen Bypassschaltkreis, der bei einer längeren Überlast verwendet wird oder bei Auftreten eines Problems in einem der Doppelwandlerkreise. Beim Übergang vom Bypass- zum Wechselrichterbetrieb fällt die Ausgangsspannung ebenso wie bei einer lineinteraktiven USV, die auf den Akku wechselt, häufig für einige Millisekunden. Daher sind viele Online-Geräte zur Überbrückung dieser Störungen der USV-Ausgangsspannung auf das Schaltnetzteil angewiesen. Ebenso wie bei lineinteraktiven Geräten ist dies unproblematisch, solange die Unterbrechung der USV-Ausgangsspannung innerhalb der in Abbildung 3 dargestellten Spezifikationen liegt.

Zu berücksichtigende Aspekte (Online-Doppelwandler)

Die Online-Spannungswandlungsstufen, die ständig in Betrieb sind, um die präzise geregelte Ausgangsspannung zu liefern, für die sie bekannt sind, können Lasten bis zu ihrer vollen Nennleistung bewältigen. Diese höhere Leistung zieht jedoch auch gewisse Kosten nach sich.

Aufgrund der mehrfachen Leistungsstufen hat eine typische USV mit Online-Doppelwandler wesentlich mehr Komponenten als eine typische lineinteraktive USV. Da diese Komponenten ständig die gesamte von den Lastgeräten entnommene Energie verarbeiten, ist ihre Temperatur normalerweise höher als die der Komponenten einer lineinteraktiven USV, wenn die Netzspannung vorhanden ist. Theoretisch verringern sowohl der konstante Betrieb als auch die höheren Temperaturen die Zuverlässigkeit der USV-Komponenten. In der Praxis wird die Zuverlässigkeit jedoch häufig durch andere Faktoren bestimmt.

Dies wird weiter unten im Abschnitt **Zuverlässigkeitsaspekte** beschrieben.

Ein weiterer zu berücksichtigender Faktor ist die zusätzliche Energie, die für den Betrieb einer USV mit Online-Doppelwandler im Laufe der Zeit benötigt wird. Eine USV mit Online-Doppelwandler hat je nach Ausführung einen Wirkungsgrad zwischen 85 und 92 %, eine lineinteraktive USV dagegen einen Wirkungsgrad von 96 bis 98 %. Eine USV mit einer Leistung von 1000 W und einem Wirkungsgrad von 90 % verbraucht unter Volllast ständig 100 W. Das ergibt pro Jahr durchschnittlich zusätzliche Kosten in Höhe von etwa 100 US-Dollar. Es entstehen nicht nur Stromkosten, sondern darüber hinaus müssen 100 W Wärme aus der Umgebung abgeführt werden, wodurch zusätzliche Kosten für Kühlung entstehen, deren Höhe sich nach der Leistung des jeweiligen Kühlsystems richtet. Dies ist auf den ersten Blick zwar nicht sehr viel. Wenn man jedoch die Summe aller Kosten für viele USVs in einem Unternehmen oder den gesamten Energieverbrauch einer einzelnen USV während ihrer Lebensdauer betrachtet, wird dieser zu einem bedeutenden Faktor bei den USV-Betriebskosten. Demgegenüber betragen die Energiekosten pro Lastleistung bei einer ähnlich belasteten lineinteraktiven USV weniger als ein Drittel.

Mythos und Realität

MYTHOS: Online-USVs bieten einen besseren Schutz vor Gleichtaktstörungen.

REALITÄT: Auch wenn es möglich ist, sowohl Online- als auch lineinteraktive Topologien mit galvanischer Isolierung zu konstruieren, dienen in beiden Topologien in der Regel passive Komponenten dazu, die Gleichtaktspannung zu *reduzieren*. In dieser Hinsicht bietet weder die Online- noch die lineinteraktive Topologie einen grundlegenden Vorteil. Schaltnetzteile verfügen bereits über eine galvanische Isolierung, sodass eine externe Isolierung nicht notwendig ist. Weitere Informationen finden Sie in den APC White papers Nr. 9 und Nr. 21.

Vorteile der Online-Doppelwandlung:

- Greift weniger häufig auf den Akku zurück, wenn die Eingangsspannung starke Störungen aufweist oder stark schwankt.
- Leistungsfaktorkorrektur unabhängig vom Lasttyp
- Kompakter und leichter, insbesondere bei Geräten mit höherer Leistung
- Kann Frequenz der Ausgangsspannung regeln und von 50 Hz auf 60 Hz (und umgekehrt) umsetzen.

Man könnte argumentieren, dass die präzise geregelte Ausgangsspannung ein *Vorteil* der Online-Topologie ist. Schaltnetzteile benötigen jedoch keine präzise geregelte Wechselspannung, da die Spannung vom Schaltnetzteil selbst geregelt wird, wie weiter oben in diesem Papier erläutert wurde.

Zu beachtende Dinge:

- USVs mit Online-Doppelwandlung enthalten mehr Komponenten, die ständig höheren Temperaturen ausgesetzt sind und unter ansonsten gleichen Bedingungen daher eine niedrigere Lebensdauer haben als ähnliche Bauteile in lineinteraktiven USVs.
- USVs mit Online-Doppelwandlung verbrauchen mehr Strom als lineinteraktive USVs, da die Eingangsspannung ständig gewandelt und wieder in die Ausgangsspannung gewandelt wird, wenn die Netzspannung vorhanden ist.
- Bei der Online-Doppelwandlung wird mehr Wärme erzeugt, die an die IT-Umgebung abgegeben wird. Diese Wärme muss wirkungsvoll entfernt werden, damit die Lebensdauer anderer Systeme und auch die der Akkus der USV selbst nicht beeinträchtigt wird.

Zuverlässigkeitsaspekte

In beiden Topologien führen bestimmte konstruktive Aspekte theoretisch zu einer Erhöhung oder Senkung der Lebensdauer und Zuverlässigkeit. Bei der lineinteraktiven Topologie tragen die geringe Anzahl der Bauteile und die niedrigen Betriebstemperaturen der Hauptstufe tendenziell zu einer *Erhöhung* der Lebensdauer und Zuverlässigkeit bei. Bei der Online-Doppelwandlung führen ständiger Betrieb und höhere Betriebstemperaturen tendenziell zu einer *Senkung* der Lebensdauer und Zuverlässigkeit.

In der Praxis hängt die Zuverlässigkeit unabhängig von der Topologie grundsätzlich von der Qualität der verwendeten Komponenten sowie davon ab, wie sorgfältig der Hersteller die USV konstruiert und fertigt. Da die Qualität herstellerabhängig ist, kann es hochwertige Konstruktionen mit Online-Doppelwandlung und minderwertige lineinteraktive Konstruktionen und umgekehrt geben.

Mythos und Realität

MYTHOS: Durch eine präzise Spannungsregelung werden Leistung und Zuverlässigkeit der IT-Ausrüstung verbessert.

REALITÄT: Alle Schaltnetzteile wandeln die Eingangswechselspannung (mit ihren Spannungsspitzen und Verzerrungen) in eine gleichmäßige Gleichspannung. Mithilfe dieser Gleichspannung wird anschließend für alle IT-Lasten eine saubere, geregelte Ausgangsgleichspannung erzeugt. Liegen die Eigenschaften der Eingangsspannung im Sollbereich, hat dies KEINE Auswirkungen auf die Qualität der Ausgangsspannung von Schaltnetzteilen oder auf die Leistung der IT-Ausrüstung. Warum sollte dieser Bereich sonst auf dem Gehäuse des Schaltnetzteils angegeben sein?

Vergleichsübersicht

In der folgenden Tabelle sind die wichtigsten Vor- und Nachteile der lineinteraktiven USV-Topologie und der Topologie mit Online-Doppelwandlung zusammengefasst.

Tabelle 1 – Vergleich der lineinteraktiven Topologie und der Topologie mit Online-Doppelwandlung

TOPOLOGIE	Zuverlässigkeit	Anschaffungskosten	Eingang	Ausgang	Größe / Gewicht
Lineinteraktiv	+ Weniger Teile Niedrigere Betriebstemperatur	+ Niedrigere Anschaffungskosten (weniger Teile) Niedrigere Betriebskosten (weniger Stromverbrauch)	- Keine Leistungsfaktorkorrektur Bei extremen Spannungsverzerrungen eventuell häufige Inanspruchnahme des Akkus	+ / - Ausgabefrequenz schwankt in einem konfigurierbaren Bereich	- In der Regel größer / schwerer
Online-Doppelwandlung	- Viele Teile Höhere Betriebstemperatur	- Höhere Anschaffungskosten (mehr Teile) Höhere Betriebskosten (Stromverbrauch und Kühlung)	+ Leistungsfaktorkorrektur Verkraftet extreme Spannungsverzerrungen ohne Rückgriff auf Akku	+ Frequenz der Ausgangsspannung konfigurierbar	+ In der Regel kleiner / leichter, insbesondere bei höherer Leistung

Ergebnisse

Im Leistungsbereich zwischen 750 VA und 5000 VA schützen beide USV-Typen die IT-Ausrüstung in angemessener Weise vor Störungen der Stromversorgung, sodass die Entscheidung für die zu verwendende Topologie hauptsächlich von den Besonderheiten der Anwendung beim Kunden abhängt.

Da Anschaffungskosten, Betriebsausgaben, Wärmeerzeugung und Zuverlässigkeit bei jeder Anwendung im Vordergrund stehen, dürfte im Normalfall die lineinteraktive Topologie gewählt werden. Diese Topologie ist in der Tat zum leistungsfähigen, zuverlässigen Arbeitstier einer typischen IT-Umgebung geworden.

Unter bestimmten Umständen ist jedoch die Online-Doppelwandlung die bessere Wahl. Insbesondere in Regionen, in denen die Netzspannung starke Verzerrungen aufweist und / oder extremen Schwankungen unterliegt, greift eine USV mit Online-Doppelwandlung seltener auf den Akku zurück, um die geforderte Ausgangsspannung aufrechtzuerhalten. Ein geringerer Gebrauch des Akkus schont dessen Kapazität für längere Stromausfälle und verlängert die Lebensdauer des Akkus. Darüber hinaus kann die Senkung der Kosten für den Akkuaustausch den Vorteil der niedrigeren Anschaffungs- und Betriebskosten einer lineinteraktiven USV aufwiegen. Weitere seltener auftretende Situationen, die den Einsatz einer USV mit Online-Doppelwandlung nahelegen, sind jene, in denen Leistungsfaktorkorrektur, geringe Größe oder Frequenzwandlung benötigt werden, beispielsweise bei bestimmten Arten medizinischer Geräte oder Instrumente.

Über die Autoren

Jeffrey Samstad ist Cheffingenieur der Produktlinie Smart-UPS RT bei American Power Conversion. Er hat einen Bachelor-Abschluss in Elektrotechnik und verfügt über 14 Jahre Erfahrung mit der Leitung von USV-Konstruktionsteams sowie mit verschiedenen USV-Architekturen.

Michael Hoff hat einen Master in Elektrotechnik, Energiesysteme der Northeastern University und leitet eine Forschungsgruppe Neue Technologie für American Power Conversion. In seinen 16 Jahren bei APC hat er unterbrechungsfreie Stromversorgungen und USV-Architekturen entwickelt und Produktentwicklungsprojekte, Teams und Gruppen in den USA sowie im Ausland geleitet.