

## Betriebsverhalten der USV: Ein neuer Algorithmus für besondere Effizienz



### Vorwort

Die Doppelwandlertechnik gilt heute als Standard-USV-Technologie für große Anlagen in der Industrie. Denn im Doppelwandler-Betriebsmodus schützt die USV-Anlage vor mangelhafter Spannungsqualität und ermöglicht eine Regelung der Ausgangsspannung und -frequenz, unabhängig von den Eingangsbedingungen. Nachgewiesenermaßen werden die meisten Stromversorgungsstörungen durch den Doppelwandler-Modus eliminiert, aber ein nicht unwesentlicher Schwachpunkt sind die hohen Eigenverluste bei der permanenten Stromwandlung über zwei Umrichter.

Daher stellt sich die Frage:

Gibt es eine effizientere Lösung, um einen gleichwertigen Stromversorgungsschutz für kritische Anwendungen im Unternehmen zu bieten?

Zum Beispiel eine USV, die in der Lage ist, unter verschiedenen Arten elektrischer Störungen zu unterscheiden und das jeweils effizienteste und effektivste Betriebsverhalten zu wählen, um die aufgetretenen Störungen zu kompensieren. Masterguard hat eine solche Lösung mit einem revolutionären Produkt realisiert: **Trinergy**.

### 1. Einführung

Bei kritischen Stromversorgungssituationen wie beispielsweise in Rechenzentren galt der Einsatz von USV-Systemen mit Doppelwandlertechnik bisher als die beste Lösung, um den Verbrauchern ein Höchstmaß an Schutz vor praktisch allen Arten von Störungen im Stromversorgungsnetz zu garantieren und wird dafür fast ausschließlich eingesetzt.

Dank Digitaler Signalverarbeitung (DSP) und der patentierten Vektorregelungs-Technologie für moderne Leistungselektronik wurde zum Einen der Wirkungsgrad gesteigert und zum Anderen spezifische Lösungen mit einem höheren Wirkungsgrad entwickelt. Ein Beispiel hierfür ist die intelligente Doppelwandlung, die Masterguard im Jahre 1998 auf dem USV-Markt einführte. Bei der intelligenten Doppelwandlung wird die Netzversorgung kontinuierlich analysiert und ermittelt, ob und wann die Verbraucher direkt über die Bypassleitung gespeist werden können. Diese Technologie ist heute in dreiphasigen Anlagen von 10 kVA bis 800 kVA weit verbreitet.

In einigen Fällen ermöglichen es die Netzbedingungen jedoch nicht, dass die Anlage durchweg im High Efficiency-Modus der intelligenten Doppelwandlung mit hohem Wirkungsgrad arbeitet. Dies kann sowohl auf Störungen im Netz als auch auf spezifische Eigenschaften der Verbraucher (insbesondere Netzurückwirkungen und Phasenverschiebungen) zurückzuführen sein. Es kann sogar sein, dass die USV-Anlage kontinuierlich im „Maximum Protection“ Doppelwandlermodus laufen muss.

Deshalb ging auch die Suche nach einer intelligenteren Lösung weiter. Sie sollte zwischen verschiedenen Arten von Störungen unterscheiden und Stromschutz entsprechend dem Ausmaß und der Art der jeweiligen Störung bieten. Bestimmte Störungen (wie beispielsweise Spannungseinbrüche, Spannungsschwankungen, Oberwellen, usw.) können mit Filtern, insbesondere aktiven Filtern, kompensiert werden, womit vermieden werden kann, dass die Energie über die Doppelwandlerleitung fließen muss.

## Betriebsverhalten der USV: Ein neuer Algorithmus für besondere Effizienz

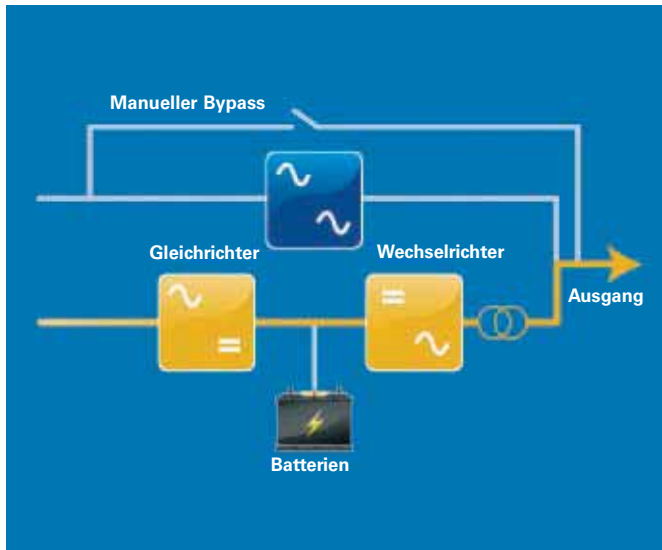


Abbildung 1 - Typisches Blockschaltbild einer USV-Anlage mit Doppelwandlertechnik (VFI) mit Ausgangstransformator.

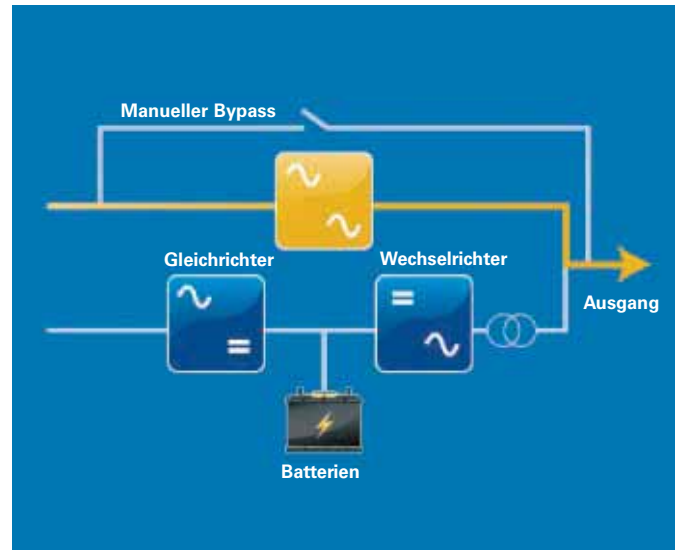


Abbildung 2 – Blockschaltbild für eine Anlage mit vorrangigem Betrieb über die Bypassleitung. Der Wechselrichter wird kontinuierlich mit der Bypassleitung synchronisiert und ist jederzeit bereit, die Stromversorgung der Verbraucher zu übernehmen.

In einigen Fällen ermöglichen es die Netzbedingungen jedoch nicht, dass die Anlage durchweg im High Efficiency-Modus der intelligenten Doppelwandlung mit hohem Wirkungsgrad arbeitet. Dies kann sowohl auf Störungen im Netz als auch auf spezifische Eigenschaften der Verbraucher (insbesondere Netzrückwirkungen und Phasenverschiebungen) zurückzuführen sein. Es kann sogar sein, dass die USV-Anlage kontinuierlich im „Maximum Protection“ Doppelwandlermodus laufen muss.

Deshalb ging auch die Suche nach einer intelligenteren Lösung weiter. Sie sollte zwischen verschiedenen Arten von Störungen unterscheiden und Stromschutz entsprechend dem Ausmaß und der Art der jeweiligen Störung bieten. Bestimmte Störungen (wie beispielsweise Spannungseinbrüche, Spannungsschwankungen, Oberwellen, usw.) können mit Filtern, insbesondere aktiven Filtern, kompensiert werden, womit vermieden werden kann, dass die Energie über die Doppelwandlerleitung fließen muss.

## 2. Was wäre, wenn standard-USV-Anlagen bereits mit einem aktiven Filter ausgestattet wären?

Sie sind es bereits. Wenn sich die USV bei der intelligenten Doppelwandlung in der Betriebsart „Digital Interactive“ befindet, ist der Wechselrichter inaktiv, aber jederzeit bereit, die Verbraucher sofort mit Strom zu versorgen. Der Wechselrichter könnte trotzdem Störungen herausfiltern, sowohl vom Netz zur Last, als auch von der Last zurück ins Netz. Bei einem Netzausfall oder wenn eine Kompensation über den Wechselrichter nicht ausreicht, schaltet die USV sofort und unterbrechungsfrei in den Doppelwandlerbetrieb um. Die Möglichkeiten der intelligenten Doppelwandlung gingen einher mit der Einführung von transformatorlosen USV-Systemen (siehe Abb. 3).

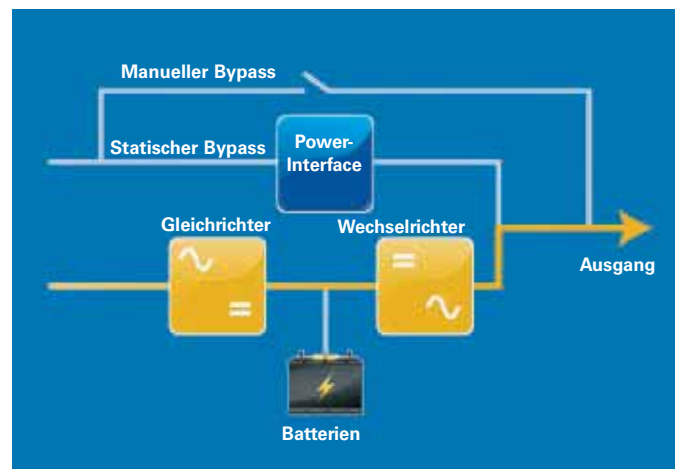
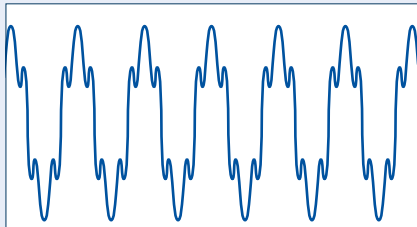


Abbildung 3 – Neues transformatorloses USV-System mit Trinergy-Technologie mit Doppelwandlerbetrieb.

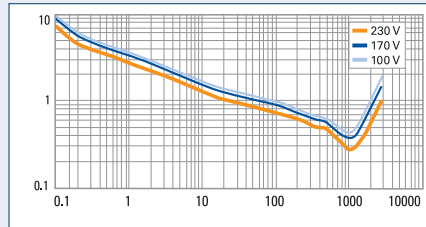
## Betriebsverhalten der USV: Ein neuer Algorithmus für besondere Effizienz

### 2.1 Typische elektrische Störungen

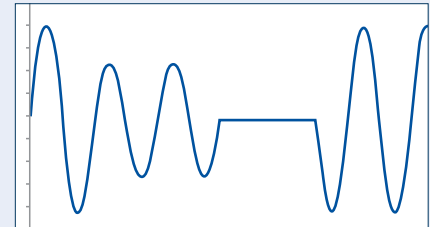
Hinsichtlich der Stromversorgungsqualität kann man folgende Arten von Störungen unterscheiden:



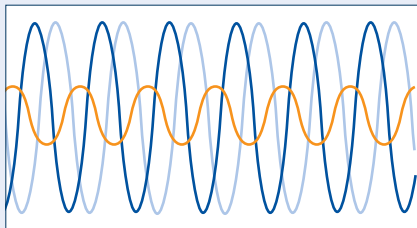
Harmonische Oberwellen und zwischenharmonische Oberwellen



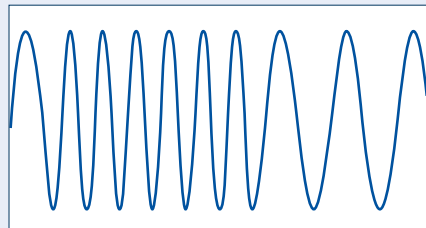
Spannungsschwankungen und Flicker



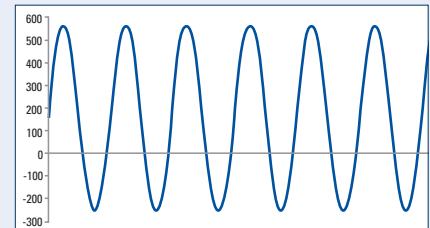
Kurze Spannungseinbrüche (Durchhänger) und Unterbrechungen



Spannungsunsymmetrie



Netzfrequenzschwankungen



Gleichstromanteile, Einbrüche (Kommutierungsimpulse) und elektrisches Rauschen

Andere Störungen schließen induzierte niederfrequente Spannungsanteile und oszillierende Transienten ein.

### 2.2 Verfügbare Lösungen

Es gibt bereits auf dem Markt Lösungen für den Stromschutz und zur Verbesserung der Stromversorgungsqualität für die Verbraucher:

- USV
- Überspannungsableiter (Transient Voltage Source Suppressor TVSS)
- Statische Transferschalter (STS)
- In Reihe geschaltete aktive Filter
- Parallel geschaltete aktive Filter
- Hybride aktive Filter (in Reihe und parallel geschaltet)

USV-Anlagen mit Doppelwandlertechnik sind dabei die einzigen Systeme, die in der Lage sind, die vorher genannten elektrischen Störungen (siehe 2.1) zu kompensieren. Eine USV-Anlage versorgt die Verbraucher mit einer hochwertigen Spannung sowohl bei starken Spannungsschwankungen als auch bei kompletten Stromausfällen. Letzteres ist mit lokalen Energiespeichergeräten wie beispielsweise Batterien oder Schwungrädern möglich. Nachteil ist jedoch, dass sie bei der kontinuierlichen Umwandlung des Wechselstroms am Eingang in Gleichstrom und des Gleichstroms in Wechselstrom am Ausgang einen entsprechenden Eigenverbrauch an elektrischer Energie haben.

Lösungen auf der Grundlage von aktiven Filtern werden gewöhnlich verwendet, um alle Arten von Störungen (mit Ausnahme von Spannungsunterbrechungen und Frequenzschwankungen) innerhalb bestimmter Grenzwerte und sehr effizient zu kompensieren.

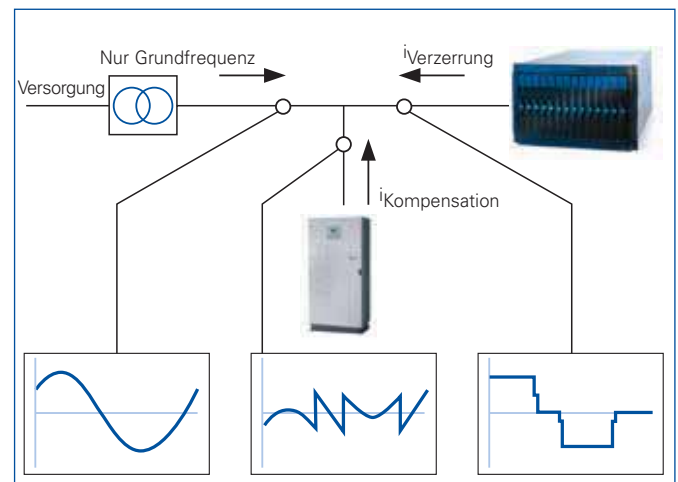


Abbildung 4 – Parallel geschalteter aktiver Filter zur Kompensation der Oberwellen, des Leistungsfaktors (PF) und von Transienten.

## Betriebsverhalten der USV:

Ein neuer Algorithmus für besondere Effizienz

### 2.3 Intelligente Doppelwandlung für einen hohen Wirkungsgrad

Während der meisten Zeit ist der Stromschutz durch eine USV-Anlage mit Doppelwandlertechnik angesichts geringer Störungen im Versorgungsnetz nicht nötig. Die ideale Lösung wäre daher ein System, das nur dann im Doppelwandlermodus arbeitet, wenn es notwendig ist. Und damit nur dann, wenn die Schwankungen der Eingangsspannung außerhalb des Toleranzbereichs liegen.

Bei USV-Anlagen mit intelligenter Doppelwandlung wird

1. der Wechselrichter kontinuierlich mit der Bypassleitung synchronisiert, um bei Bedarf eine schnelle und zuverlässige Umschaltung vom Betriebsmodus über die elektronische Bypassleitung auf den Doppelwandlerbetrieb oder auf Batterie/Wechselrichterbetrieb zu ermöglichen.
2. der Eingang ununterbrochen überwacht und auf eventuelle Schwankungen überprüft, falls diese von den Normalbedingungen abweichen.

Dabei kommt der Doppelwandlerbetrieb nur zum Einsatz, wenn unbedingt notwendig, und bei der Versorgung der Verbraucher über die Bypassleitung werden die Energieverluste durch die USV minimiert.

- Der typische Wirkungsgrad einer modernen USV-Anlage mit Transformator im Doppelwandlerbetrieb liegt bei 93%.
- Der typische Wirkungsgrad einer USV-Anlage mit Transformator im „Digital Interactive“-Betrieb liegt bei 97%.

Durch einen spezifischen Algorithmus in der USV-Regelung werden Häufigkeit und Dauer von Netzstörungen permanent überwacht. Dadurch kann ein zu frühes Zurückschalten und ein häufiger Wechsel der Betriebsmodi bei schlechter Netzqualität vermieden werden. Eine detaillierte Erläuterung über die Auswirkungen hinsichtlich der Effizienz dieser Lösung finden Sie in „New Control Techniques for UPS Dynamic Efficiency Optimization“ (Zanej, 2009)<sup>2</sup>.

Dies ist die Standardlösung, die bei allen dreiphasigen Hochleistungs-USV-Anlagen von Masterguard (ab 10 kVA) zum Einsatz kommt, um eine höhere Effizienz zu erreichen.

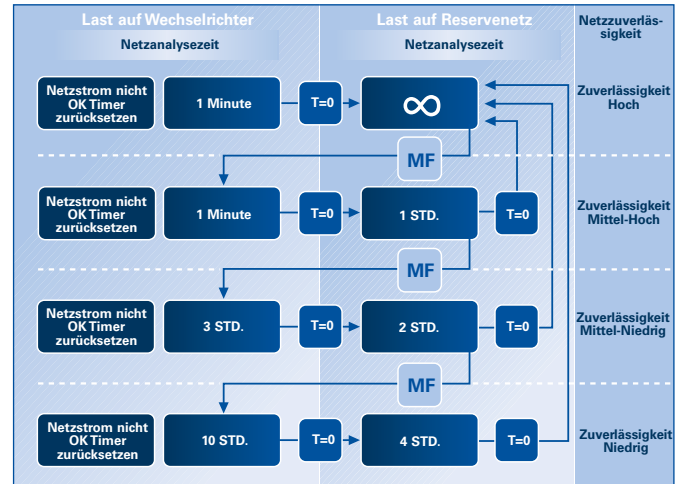


Abbildung 5 – Der Algorithmus für die Steuerung des USV-Status entsprechend der Stromversorgungsqualität. Dieser Algorithmus ist von grundlegender Bedeutung, um bei einer Verschlechterung der Netzqualität ein zu häufiges Umschalten zwischen Doppelwandlermodus und dem Modus „Digital-Interactive“ zu vermeiden.

Bei der intelligenten Doppelwandlung gibt es zur Verlustminimierung nur das Umschalten zwischen reiner Netzversorgung und vollständigem Doppelwandlerbetrieb. Wenn als Weiterentwicklung die USV nun spezifisch auf die Störungsart reagiert, kann eine weitere Verbesserung der Versorgungsqualität und eine Verbesserung der Effizienz erreicht werden.

### 2.4 Nutzung des Wechselrichters als aktiver Filter

Denkbar wäre die Verwendung sowohl eines parallel geschalteten als auch eines in Reihe geschalteten aktiven Filters, zur Optimierung beim „Digital Interactive“ Betrieb. Auf diese Weise wäre die Kompensation der meisten in Abschnitt 2.1 genannten Störungsarten (mit Ausnahme von Spannungsunterbrechungen und Frequenzschwankungen) innerhalb bestimmter Grenzwerte bei einem fast unverändert hohen Wirkungsgrad möglich. Denn ein aktiver Filter „verbraucht“ zum Ausgleich von Störungen weniger Strom als der Doppelwandlerbetrieb.

Da der durch die patentierte Vektorregelungs-Technologie von Masterguard gesteuerte IGBT-Wechselrichter als aktiver Filter genutzt werden kann, braucht kein zusätzliches, Platz raubendes Bauteil integriert werden. Dies ist möglich, denn der Wechselrichter ist während des „Digital Interactive“-Betriebs passiv und kann daher sowohl in Reihe als auch parallel geschaltet verwendet werden.

## Betriebsverhalten der USV:

### Ein neuer Algorithmus für besondere Effizienz

**Wechselrichter als parallel geschalteter aktiver Filter:** Der Wechselrichter dient in diesem Fall als stromgeführter Generator, um reaktive Lasten und Oberwellen auszugleichen.

**Wechselrichter als in Reihe geschalteter aktiver Filter:** Der Wechselrichter erzeugt einen Strom, der durch die Wechselwirkung mit der Versorgungsspannung über die Bypassleitung wie eine kleine Leitungsimpedanz wirkt und so zu einer aktiven Spannungscompensation führt.

Proportional zum für die Kompensation von Störungen generierten Strom ist der Verlust zwar größer als beim „Digital Interactive“ Betrieb, aber in jedem Fall geringer als beim Doppelwandlerbetrieb.

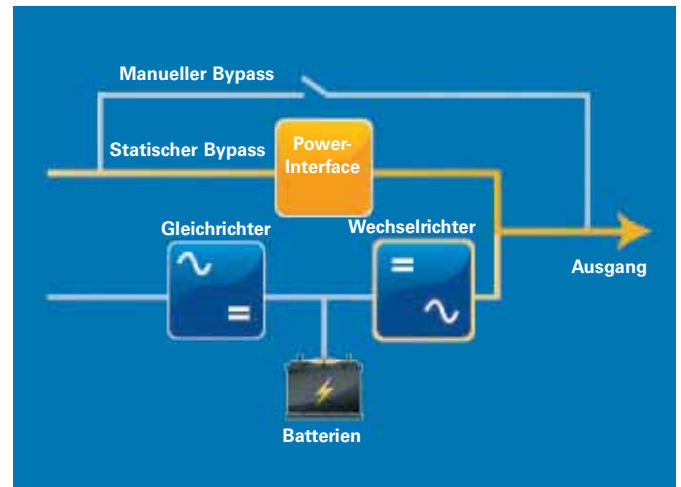


Abbildung 6 – Die Trinergy-Technologie. Das USV-System ist darauf ausgelegt, Störungen im Stromnetz automatisch mithilfe des IGBT-Wechselrichters als aktives Filter zu kompensieren, da er sowohl parallel als auch in Reihe geschaltet werden kann, während die Verbraucher über die statische Bypassleitung versorgt werden.

### 3. Beschreibung der Trinergy-Regelung

Trinergy ist die revolutionäre neue Lösung, die die drei existierenden Standardtechnologien in einem transformatorlosen USV-System vereint:

- **Doppelwandlerbetrieb für optimale Leistungsregelung** (vergleichbar mit IEC 62040-3 VFI): Stets optimale und lückenlose Stromversorgung, allerdings bei einem entsprechenden Energieeigenverbrauch. Der Wirkungsgrad bei Vollast für aktuelle, transformatorlose USV-Technik liegt bei über 95%.
- **„Digital Interactive“ Betrieb für maximale Energieeinsparung** (vergleichbar mit IEC 62040-3 VFD): Die Versorgung erfolgt in Netzqualität über die Bypassleitung. Abhängig von der Versorgungsqualität kann jederzeit auf einen anderen Betriebsmodus umgeschaltet werden. In diesem Betriebsmodus beträgt der Wirkungsgrad der Trinergy 99%.

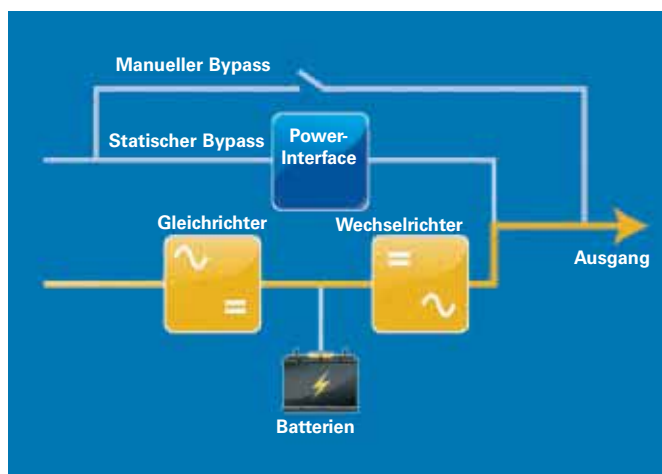


Abbildung 7 – Neues transformatorloses USV-System mit Trinergy-Technologie mit Doppelwandlerbetrieb.

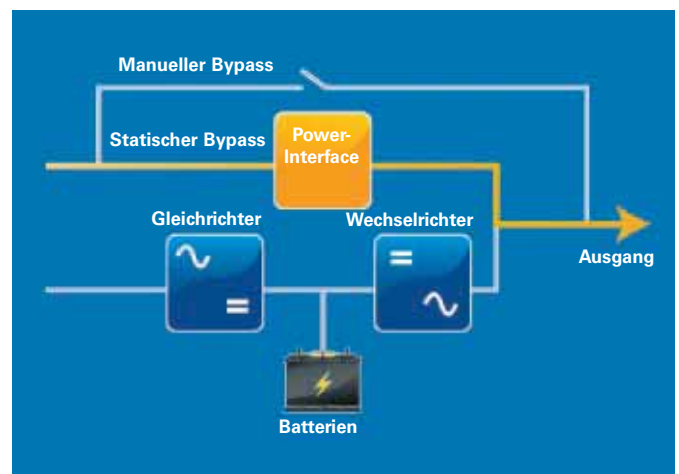


Abbildung 8 – Neues transformatorloses USV-System mit Trinergy-Technologie im Modus „Digital-Interactive“.

## Betriebsverhalten der USV:

### Ein neuer Algorithmus für besondere Effizienz

- **Aktiver Filter-Betrieb für hohe Effizienz und sichere Versorgung** (vergleichbar zu IEC 62040-3 VI): Wie bei einem aktiven Filter werden die größten Störungen wie Ausgangsstromverzerrungen (THDi), der Lastleistungsfaktor (PF) und größere Spannungseinbrüche und -spitzen kompensiert. Entsprechend der Nutzung des Wechselrichters als aktives Filter wird in dieser Betriebsart unter normalen Bedingungen ein Wirkungsgrad von 96 bis 98% erreicht, je nach Art der Last (linear, nicht-linear etc.) und den Bedingungen der Netzversorgung.

Dank der schnellen und präzisen Regelung der modernen Trinergy-Elektronik wird situationsgerecht sofort und lückenlos die günstigste der drei Betriebsarten der USV-Anlage aktiviert, um den Wirkungsgrad und die Effektivität zu gewährleisten. Dadurch kann die Trinergy sämtliche USV-Klassifizierungsanforderungen für VFI-SS-111 nach IEC 62040-3 erfüllen. Denn sobald Spannungs- oder Frequenztoleranzen bezüglich der Netzversorgung nicht eingehalten werden, werden Ausgangsspannung und/oder Ausgangsfrequenz über die USV geregelt. Gleiches gilt für die Wellenform unter allen Betriebsbedingungen und für den Ausgangsspannungsbereich nach Klasse 1 für die 3 verschiedenen Lastszenarien. Darüber hinaus werden durch die Trinergy auch die Netzurückwirkungen durch USV und Last beachtet und effizient optimiert (Netzurückwirkungen THDi < 3% und Eingangs-Leistungsfaktor > 0,99).

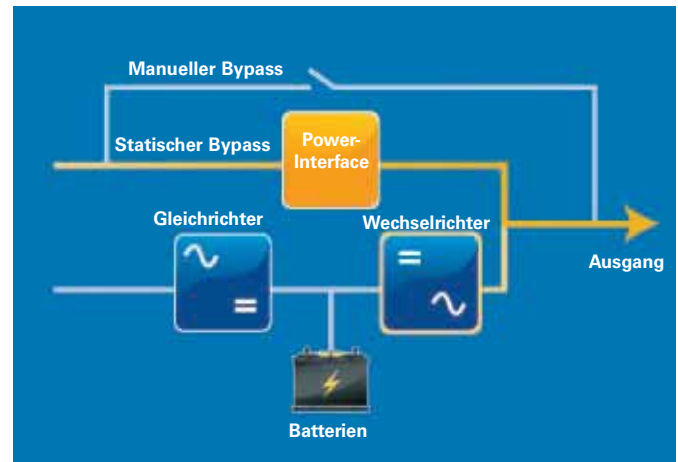


Abbildung 9 - Neues transformatorloses USV-System mit Trinergy-Technologie im aktiven Filter Betriebsmodus, bei dem etliche Störungen des Netzstroms oder der Verbraucher kompensiert werden.

## Zusammenfassung

Die Doppelwandlertechnik ist für USV-Anlagen eine hocheffektive Lösung bei praktisch allen Störungen im Stromversorgungsnetz. Dabei sind die Bauteile der Leistungselektronik permanent in Betrieb und tragen zu den USV-Verlusten bei. Bei der intelligenten Doppelwandlung wird im „Digital Interactive Modus“ die Leistungselektronik der Doppelwandlung abgestellt und auf eine Verbesserung der Versorgungsqualität verzichtet. Die „An-Aus“-Betriebsweise begrenzt die Energiesparmöglichkeiten und erlaubt keine situationsgerechte Optimierung der Spannungsqualität. Die Kombination aller Standardbetriebskonfigurationen in einer einzigen Einheit ermöglicht eine sensible USV-Betriebsweise hinsichtlich Qualitätsanforderungen bei gleichzeitiger Minimierung der USV-Eigenverluste. Möglich wurde dies durch den Einsatz der patentierten

Vektorregelung zur Nutzung des Wechselrichters als aktives Filter, wenn die USV-Anlage die Last über die Bypassleitung versorgt.

Unter üblichen Anlagenbedingungen kann (nach den Aufzeichnungen des Ferndiagnosesystems LIFE.net) ein durchschnittlicher Wirkungsgrad von 97,9% erreicht werden, was sehr nahe am Idealwert von 99% liegt ; Trinergy setzt also nur die Leistungselektronik ein, die für das Erreichen der Lastversorgungsqualität und das Einhalten der Rückwirkungen auf das vorgeschaltete Netz nötig sind. D. h. es werden optimaler Wirkungsgrad und Effektivität gewährleistet und dabei die Performance und der Stromschutz einer USV-Anlage der Klasse 1 (IEC 62040-3) erreicht.

# Trinergy

### Literaturverzeichnis

- (1) IEEE 1159-1995, "IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality", Juni 1995
- (2) Zanei G., Cevenini E., Ferro A. & Rossi C.: "New Control Techniques for UPS Dynamic Efficiency Optimisation", INTELEC Korea 2009
- (3) The Quest for Energy Efficiency Chloride White Paper 2009.

## Anhang

Für die Aktivierung der drei verschiedenen Betriebsmoden von Trinergy erfolgt eine Echtzeit-Analyse von Leistungsparametern, die die Eingangsbedingungen der Netzversorgung und die Qualität der Lastversorgung berücksichtigen. Die in der Tabelle angeführten

Parameter zeigen eine Einstellung dieser Parameter, mit der Trinergy bestimmt, welche der drei Betriebsarten als Reaktion auf die verschiedenen Eingangs- und Ausgangsbedingungen aktiviert wird.

Betriebsart	Sollwerte für überwachte Parameter (vom USV-System kontrollierte Stromversorgungsparameter)					Parameter innerhalb der USV-Spezifikation (auf deren Grundlage das USV-System die Betriebsart bestimmt)					Wirkungsgrad	
	EINGANG		AUSGANG (LAST)			EINGANGSBER.		LASTBEREICH				
	THDi	PF	U(v)	THDv	f(Hz)	U(v)	f(Hz)	THDi	PF	THDv		
<b>Doppelwandlung VFI</b>	<3%	>0,99	400	<2% (<3%)	50	400 +/- 20%	45-65	THDi >10%, C.F. <3	FP induktiv oder kapazitiv	<2% (<3%)	95%	<b>SET1</b>
<b>Interaktiv VI</b>	<5%	>0,99	400 +/- 10%	<3% (<5%)	Wie Eingang	400 +/- 15%	50 +/- 6%	THDi >5%, THDi <10%	0,9 <PF< 0,95	<3% (<5%)	96-98%	<b>SET2</b>
<b>Digital-Interaktiv VFD</b>	<5%	≥0,95	400 +/- 10%	<3% (<5%)	Wie Eingang	400 +/- 10%	50 +/- 6%	THDi <5%	PF ≥ 0,95	<3% (<5%)	99%	<b>SET3</b>

Tabelle A – Steuervariablen der Betriebsarten von Trinergy\*

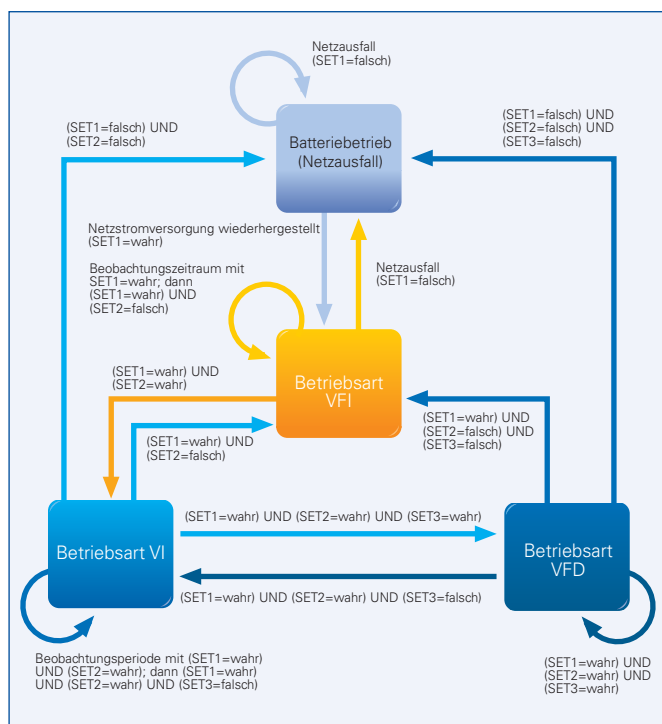


Abbildung B – Ablaufdiagramm zur Festlegung des Trinergy-Betriebmodus

Die kontinuierliche Überwachung von Netzeingang und Lastversorgung ermöglicht stets den besten und effizientesten Stromschutz für die angeschlossenen Verbraucher zu liefern.

Werden die jeweiligen Toleranzbereiche verlassen, aktiviert die USV-Anlage entsprechend dem in Abbildung B dargestellten Algorithmus eine andere Betriebsart.

Die in der Tabelle aufgelisteten Variablen können vom Service-Techniker auf Anfrage an kundenspezifische Anforderungen angepasst werden.

\*Die in der Tabelle angeführten Bedingungen beziehen sich auf Vollast am Ausgang.

Beim dargestellten Ablaufdiagramm startet die USV-Anlage im Doppelwandler-Modus und schaltet erst dann auf die Betriebsart VI (Effizienz und sichere Versorgung) oder VFD (Maximale Energieeinsparung) um, wenn die Überwachung der Netzbedingungen ergibt, dass die Qualität der beobachteten Variablen angemessen und stabil genug ist.