Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 89 (1998)

Heft: 1

Artikel: Es geht auch sparsamer und umweltfreundlicher : Fortschritte in der USV-Technologie

Autor: Dinkel, Ivo

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-902036

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

USV-Anlagen können nicht nur unbefriedigende Wirkungsgrade ausweisen, sondern auch die Spannungsqualität der Stromversorgung negativ beeinflussen, was zu Fehlfunktionen empfindlicher Geräte, zur Explosion von Kompensationskondensatoren oder zur Überhitzung von Transformatoren führen kann. In diesem Beitrag wird eine neue USV-Technologie beschrieben, welche im Vergleich zu den herkömmlichen USV-Anlagen die Energieverluste bis zu einem Faktor 3 und die Netzrückwirkungen sogar bis zu einem Faktor 10 reduzieren sollen. Delta-Wandler-Systeme besitzen zwei an eine gemeinsame Batterie angeschlossene Wechselrichter, von denen der erste (Delta-Wechselrichter) Spannungsdifferenzen des Netzes so präzise ausgleicht, dass der Eingangsstrom sinusförmig und phasengleich zur angelegten Netzspannung ist; darüber hinaus regelt er das Laden der Batterie. Der zweite Wechselrichter sorgt dafür, dass die Lastspannung bei Netz-, bei Batteriebetrieb oder im Umschaltzustand stabil bleibt.

Es geht auch sparsamer und umweltfreundlicher

Fortschritte in der USV-Technologie

■ Ivo Dinkel

Für Einrichtungen und Stromverbraucher, die bisher nicht über einen Schutz in Form von unterbrechungsfreier Stromversorgung (USV) verfügten, sind herkömmliche Doppelwandler-USV-Anlagen (siehe weiter unten) zunehmend problematisch. Der Grund sind Netzrückwirkungen, die von solchen herkömmlichen USV-Anlagen ausgehen und in die Netzzuleitung rückgeführt werden. Diese Netzrückwirkungen beeinträchtigen die Spannungsqualität der allgemeinen Stromversorgung, was wiederum zu Fehlfunktionen empfindlicher Geräte, zur Explosion von Kondensatorblöcken, die zur Steuerung des Leistungsfaktors dienen, oder zur Überhitzung von Transformatoren führen kann. Zudem verbrauchen herkömmliche Doppelwandler-USV-Anlagen aufgrund der hohen Eigenverluste viel Energie. Da USV-Anlagen in der Regel 365 Tage im Jahr rund um die Uhr in Betrieb sind, ist eine solche Energieverschwendung nicht nur aus ökonomischen, sondern auch aus ökologischen Gründen problematisch.

Die bisherigen Doppelwandler-USV-Anlagen nutzen das Versorgungsnetz und die Installationen vor Ort wegen des niedrigen Eingangsleistungsfaktors der USV-Anlage nicht effizient. Die Folge: Es werden nicht nur vor Ort, sondern auch auf Verteilerebene und somit auch im Bereich der Übertragungsanlagen überdimensionierte Kabel eingebaut. Selbst Notstromaggregate in Form von Dieselgeneratoren werden erheblich überdimensioniert.

Adresse des Autors
Ivo Dinkel, Gutor Electronic AG
5430 Wettingen

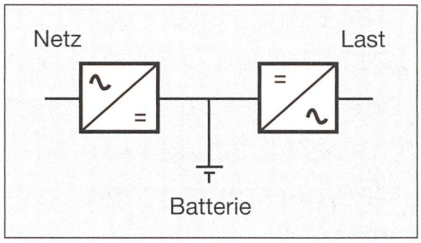

Bild 1 Doppelwandler-USV
30% Netzrückwirkung, schlechter Netzeingangs-cos-ϕ, Energieverluste 8–12%

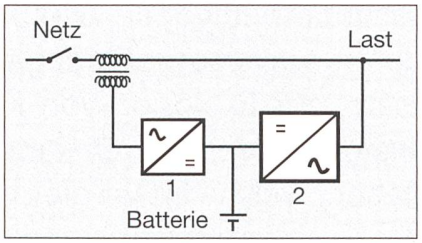

Bild 2 2. Generation Delta-Wandler-USV
Keine Netzrückwirkung, Netzeingangs-cos-ϕ geregelt, Energieverluste ≤3%

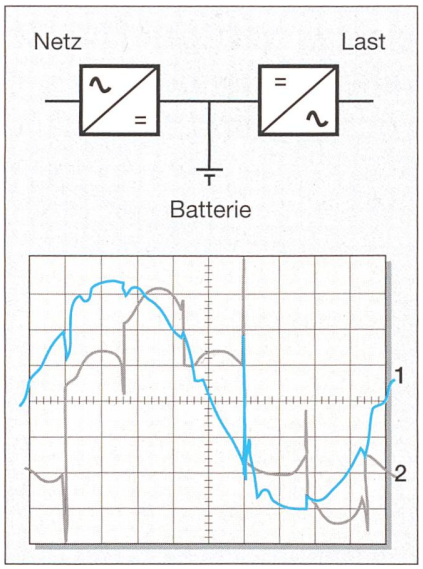

Bild 3 Doppelwandler-USV
1 Netzeingangsspannung
2 Netzeingangsstrom

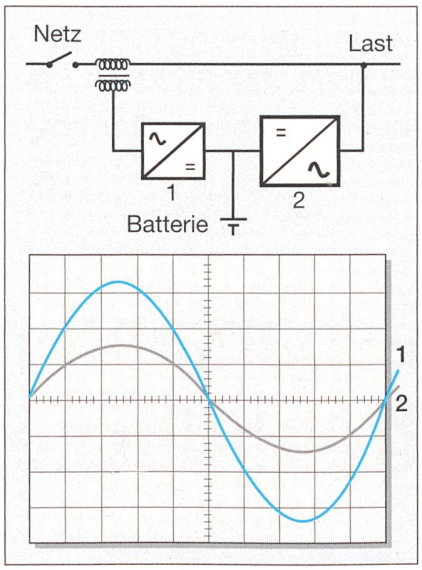

Bild 4 2. Generation Delta-Wandler-USV
1 Netzeingangsspannung
2 Netzeingangsstrom

Die Einführung einer neuen USV-Technologie, wie sie beispielsweise in den neuen dreiphasigen DP 300 E-USV von Silcon zum Einsatz kommt, hat diese Situation grundlegend verändert. Verglichen mit den herkömmlichen Doppelwandler-USV-Anlagen, bieten die neuen USV-Anlagen:

- eine Verringerung der Energieverluste von derzeit 10% auf 3%,
- eine Verringerung der Netzrückwirkungen von derzeit 30% auf unter 3%,
- eine Erhöhung des Nutzungsgrades der Installation von derzeit 80% auf bis zu 99%.

Zwei Grundprinzipien

In Bild 1 und 2 sind die beiden Prinzipien, die Doppelwandler-USV und die Delta-Wandler-USV (2. Datapower-Generation), schematisch dargestellt.

Beim Doppelwandlerprinzip ist eigentlich alles recht einfach: Der Gleichrichter lädt die Batterie auf und versorgt den Wechselrichter mit Gleichstrom; der Wechselrichter versorgt die Lasteinheit kontinuierlich mit geregeltem Wechselstrom. Bei Netzausfall übernimmt die Batterie die Energiezufuhr, bis die Netzstromversorgung wiederhergestellt ist. Dann lädt der Gleichrichter die Batterie erneut auf und versorgt gleichzeitig den Wechselrichter mit Gleichstrom. Alle Wechsel von Netz- auf Batteriebetrieb und umgekehrt erfolgen ausgangsseitig ohne Unterbrechung, so dass die Last kontinuierlich mit geregeltem Wechselstrom von hoher Qualität versorgt wird.

Derartige qualitative Vorzüge bieten alle Online-USV-Systeme – und damit auch die neuen Delta-Wandler-USV-Anlagen (Bild 2). Alle Ausführungen sind üblicherweise mit einem elektronischen Bypass-Schalter versehen, auf den hier nicht näher eingegangen wird.

Prinzip der Delta-Wandler

Aus Bild 2 geht hervor, dass das Delta-Wandler-System zwei an eine gemeinsame Batterie angeschlossene Wechselrichter besitzt. Der erste Wechselrichter ist typisch auf 20% des Ausgangsstroms der USV ausgelegt und über einen Trafo in Serie zum Versorgungsnetz geschaltet. Der 2. Wechselrichter ist eine auf 100% des Ausgangsstroms ausgelegte Einheit. Beide Wechselrichter haben 4-Quadranten-Eigenschaften. Der zweite Wechselrichter sorgt dafür, dass die Spannung zur Last stabil bleibt und stets präzise reguliert wird, ob bei Netz- oder Batteriebetrieb – oder beim Wechsel von einer Betriebsart auf die andere.

Der erste Wechselrichter (Delta-Wechselrichter) gleicht jegliche Differenzen zwischen der Ausgangsspannung der USV und der Netzspannung aus. Der Delta-Wechselrichter regelt auch den Eingangsleistungsfaktor, und zwar so, dass der vom Netz aufgenommene Strom sinusförmig und phasengleich mit der Netzspannung ist. Darüber hinaus regelt der Delta-Wechselrichter das Laden der Batterie. Ein statischer Schalter in Serie zu einem Schütz verhindert eine Rückspeisung ins Netz.

Greifen wir noch einmal die Unterschiede in den Leistungsmerkmalen der zwei verschiedenen USV-Typen auf. In Bild 3 ist deutlich erkennbar, wie der erheblich verzerrte Eingangsstrom einer Doppelwandler-USV die Netzspannung stark verzerrt. Hier sei besonders auf die Einbrüche hingewiesen, die von unvermeidlichen Kommutationsvorgängen im thyristorgesteuerten Gleichrichter herrühren. Diese Einbrüche können Fehlfunktionen anderer, an dasselbe Netz angeschlossener Geräte und zudem extrem hohe Stromspitzen in Ausgleichskondensatoren verursachen. Die Gefahr einer Zerstörung solcher Kondensatoren ist dabei sehr gross.

Bild 4 zeigt eine praktisch ideale USV. Bei der Ausführung mit dem Delta-Wandler ist keine Strom- oder Spannungsverzerrung zu erkennen. Spannung und Strom arbeiten phasengleich (Leistungsfaktor von 1). So weit, so gut, aber wie sieht es mit Verlustwerten aus? Immerhin haben wir jetzt zwei Umrichter. Nun, das neue System ist sehr viel cleverer, als man zunächst annehmen könnte. Betrachten wir einmal Stromfluss, -stärke und -richtung bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen.

Bild 5 zeigt die USV bei Normalbetriebsbedingung. Es besteht kein Unterschied zwischen Netzspannung und Ausgangsspannung; die Batterien sind voll aufgeladen, die Last beträgt 100%. Der Delta-Wechselrichter (1) unterstützt nur den Netzstrom, der in diesem Fall gleich dem Laststrom ist (wobei eine lineare Widerstandsbelastung angenommen wird). Da die über dem Trafo anliegende

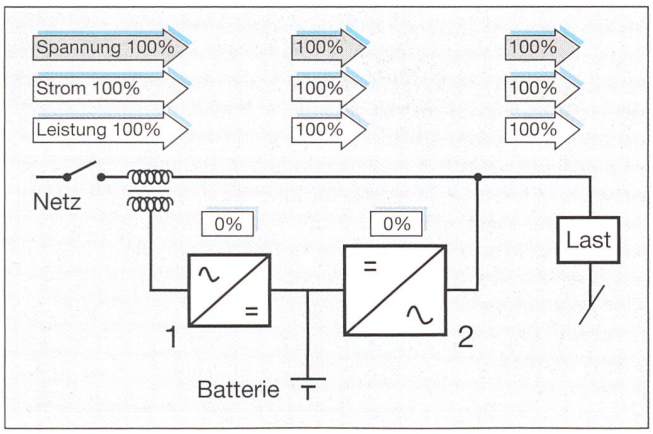

Bild 5 Energiefluss bei Netznennspannung

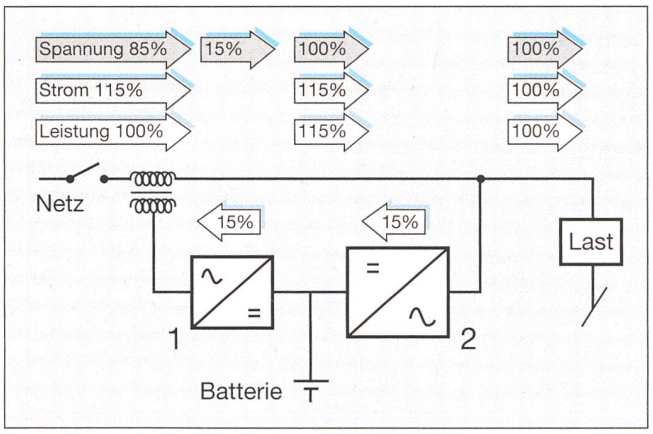

Bild 6 Energiefluss bei 15% Netzunterspannung

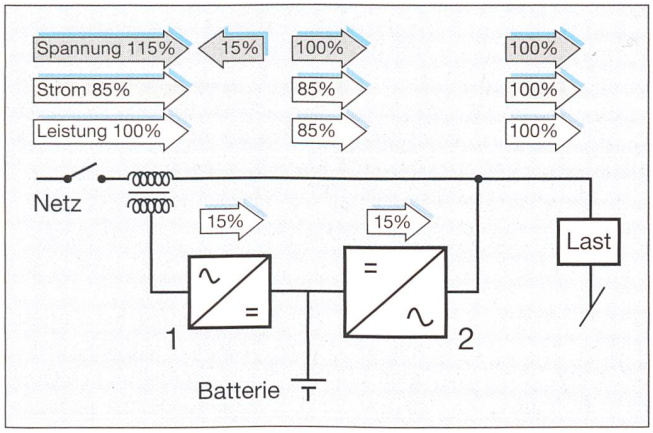

Bild 7 Energiefluss bei 15% Netzüberspannung

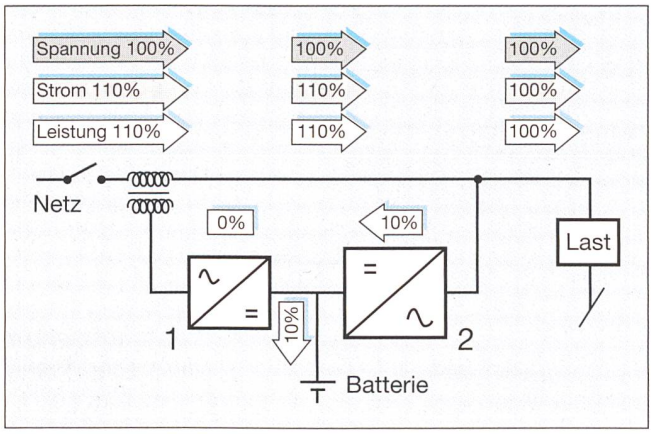

Bild 8 Energiefluss bei Netznennspannung und Batterieladung

«Delta-Spannung» Null ist, folgt daraus, dass die Netzleistung vom oder zum Delta-Wechselrichter ebenfalls Null ist.

Auch der Hauptwechselrichter (2) läuft im Leerlauf, da die geregelte Ausgangsspannung genau der Netzspannung entspricht. Im Idealfall also geht der gesamte Strom direkt auf die Last; es wird nichts umgewandelt, also gibt es auch keine Verluste. Natürlich ergeben sich in der Praxis aus dem sich im Leerlauf befindenden Stromkreis und aus magnetischen Bauteilen und Ventilatoren leichte Verluste.

Falls die Last nicht ohmisch ist, sondern auch einen Teil Blind- oder Oberwellenstrom aufweist, werden diese vom Hauptwechselrichter verarbeitet, da sie nicht vom Netz bezogen werden können (was durch die Arbeitsweise des Delta-Wechselrichters verhindert wird). Solche Blind- oder Oberwellenströme erhöhen die Verluste insgesamt ein wenig, aber die Effizienz bleibt dennoch aussergewöhnlich hoch.

In Bild 6 wird es richtig interessant. Hier liegt nämlich eine Unterspannung am Netz vor – in diesem Fall um 15%. Da die Ausgangsspannung stabil und innerhalb eines Bereiches von ±1% geregelt bleiben muss, ist klar, dass der Delta-Wechselrichter über seinen Trafo zusätzlich 15% zur Netzspannung hinzufügen muss. Doch woher nehmen? Ganz einfach! Vom Netz über den Ausgang des Hauptwechselrichters. Dann Rückführung durch eben diesen Wechselrichter, durch die DC-Verbindung und zuletzt vorwärts durch den Delta-Wechselrichter zum Trafo.

Das ist ein echter Doppelwandlervorgang mit den entsprechenden Verlusten. Der ganz grosse Unterschied zum herkömmlichen Doppelwandler aber liegt darin, dass nur der Delta-Bereich zwischen Ein- und Ausgang umgewandelt wird.

Wenn wir also beispielsweise annehmen, dass die Gesamtverluste in einer herkömmlichen Doppelwandler-USV bei 10% liegen und dass unsere beiden Wechselrichter zusammen den gleichen Wirkungsgrad haben, dann folgt, dass die Gesamtverluste (die fehlenden 15% vom Netz) nur 0,15×10% = 1,5% ausmachen, weil nur 15% der Gesamtleistung umgewandelt werden.

Grundeigenschaften	Doppel-wandler-USV	Delta-wandler-USV
Echte Online-Funktion	Ja	Ja
Echte Zwei-Wege-Filterfunktion	Ja	Ja
Eingangsseitige Oberwellen	Ja >30%	Nein
Eingangsleistungsfaktor = 1	Nein	Ja
Energieverluste, kleine Systeme <10 kVA	>10–15%	<5%
Energieverluste, grosse Systeme >10 kVA <100 kVA	>8–12%	<4%
Energieverluste, sehr grosse Systeme >100 kVA	>6,5–10%	<3%
SMPS-Belastung nach EN 500091 ohne Leistungsreduktion	Ja	Ja

Tabelle I Vergleichende Übersicht

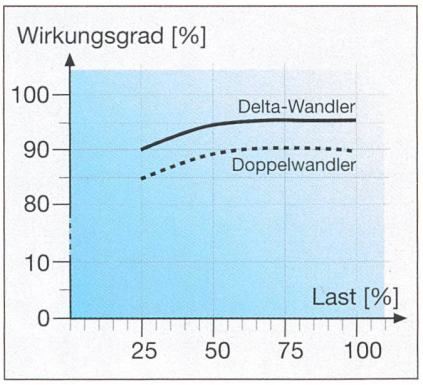

Bild 9 Wirkungsgradvergleich in Abhängigkeit der Last

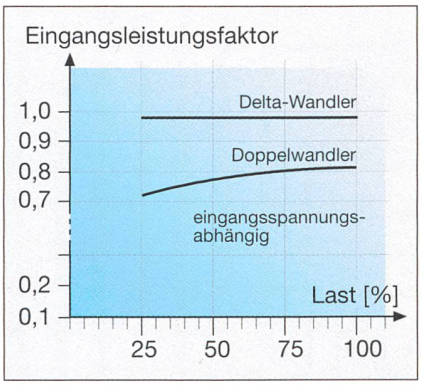

Bild 10 Eingangsleistungsfaktor in Abhängigkeit der Last

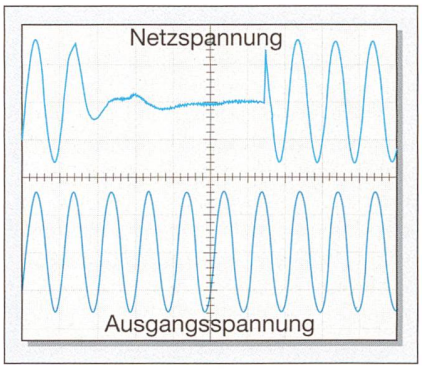

Bild 11 Verhalten der Ausgangsspannung (Delta-Wandler) bei kurzzeitigem Netzausfall

In Bild 7 ist der Fall einer Überspannung im Netz dargestellt. Hier muss der Delta-Wechselrichter 15% der Netzspannung abbauen, um einen Ausgleich zu schaffen. Es fliessen also 15% der Leistung über den Delta-Wechselrichter, durch die DC-Verbindung und schliesslich über den Hauptwechselrichter zur Last. Wiederum ein Doppelwandlervorgang, für den bezüglich der Verluste die gleichen Überlegungen wie für den in Bild 6 dargestellten Fall gelten.

In Bild 8 liegt erneut eine normale Ausgangssituation vor, ausser dass hier die Batterie aufgeladen wird. Wir sehen, dass dem Netz 110% Leistung entnommen werden. Da aber die Last nicht mehr als 100% aufnimmt, werden die restlichen 10% rückwärts durch den Hauptwechselrichter geführt und von der Batterie als Ladestrom aufgenommen. Zwischen den beiden Wechselrichtern läuft praktisch ein interessantes «Job-Sharing» ab. Der Hauptwechselrichter verhält sich zum Netz synchron und regelt bei allen Betriebsarten die Ausgangsspannung (bei Batteriebetrieb wird seine Frequenz wie bei allen anderen Online-USV-Anlagen mittels eines internen Frequenz-Soll-Wertes gesteuert). Der Delta-Wechselrichter steuert den Eingangsleistungsfaktor und das Aufladen der Batterie durch Aufnahme von so viel Leistung aus dem Netz, wie zum Versorgen der Last erforderlich ist. Schliesslich gleicht er noch etwaige Differenzen in der Spannung und in der Kurvenform zwischen Netz- der Ausgangsspannung aus. Beim Batterieladebetrieb lässt der Hauptwechselrichter die überschüssige Netzleistung zur Batterie durch. Die Steuerung des Ladevorgangs erfolgt jedoch durch den Delta-Wechselrichter.

Leistungsmerkmale des neuen Systems

Anhand der hier dargestellten verschiedenen Leistungskurven sollen die Vorteile der neuen Technologie aufgezeigt werden.

Bild 9 zeigt den Gesamtwirkungsgrad als Funktion von Last und Netz innerhalb von ±15%. Man erkennt, dass der Wirkungsgrad aussergewöhnlich hoch ist. Die Kurve ist flach und von der Netzspannung praktisch unabhängig. Dies alles bedeutet geringe Verluste, auch unter nicht optimalen Bedingungen. Bild 10 zeigt den Eingangsleistungsfaktor unter ähnlichen Bedingungen wie in Bild 9. Auffällig ist auch hier der extrem hohe Leistungsfaktor von mehr als 0,99 in einem sehr breiten Arbeitsbereich.

Bild 11 zeigt – nur um etwaigen Zweifeln, ob diese Art USV-Anlage denn auch online arbeite, zu begegnen – die Ausgangsspannung bei einem Netzausfall und anschliessender Rückkehr der Netzspannung. Man erkennt, dass die Ausgangsspannung von derartigen Betriebsartenwechseln unbeeinflusst bleibt.

Vergleich und Schlussfolgerung

Die Tabelle I zeigt einen Vergleich zwischen den zwei USV-Arten. Hier wird deutlich, dass die USV-Ausführung mit Delta-Wandler dem Ideal einer umweltgerechten und kundenfreundlichen USV schon sehr nahekommt, das heisst, sie arbeitet mit minimalen Energieverlusten und ohne Netzstörungen.

Interessant ist übrigens auch die Frage, mit welchem – rein netzseitigen – Aufwand sich bei einer herkömmlichen Doppelwandler-USV die gleichen Qualitäten wie bei der Delta-Wandler-USV erzielen liessen. Nach Meinung des Autors ist die technische Realisierung möglich, aber mit so hohem Kostenaufwand und zusätzlichen Energieverlusten verbunden, dass ein praktischer Einsatz ökonomisch nicht vertretbar ist.

Etre plus économique et ménager mieux l'environnement, c'est possible

Progrès dans la technologie des alimentations sans coupure

Les installations d'alimentation sans coupure n'ont pas seulement des rendements insatisfaisants, elles peuvent aussi affecter de façon négative la qualité de tension de l'approvisionnement en électricité, ce qui peut causer des défauts de fonctionnement dans les appareils sensibles, l'explosion de condensateurs de compensation ou la surchauffe de transformateurs. Cet article décrit une nouvelle technologie des alimentations sans coupure qui, comparée aux installations usuelles, est censée réduire les pertes d'énergie de jusqu'à un facteur 3 et les perturbations électriques dans les réseaux de distribution même de jusqu'à un facteur 10. Les systèmes transformateurs delta possèdent deux onduleurs raccordés à une batterie commune, dont le premier (onduleur delta) compense les différences de tension du réseau de manière si précise que le courant d'entrée est sinusoïdal et en phase avec la tension d'alimentation appliquée; il règle en outre la charge de la batterie. Le deuxième onduleur assure que la tension sous charge en fonctionnement en réseau, sur batterie ou en état de commutation reste stable.