

Eco-Modus: Nutzen und Risiken von Energiesparmodi bei USV-Anlagen

White Paper 157

Version 4

von Neil Rasmussen

Zusammenfassung

Viele neuere USV-Systeme bieten einen als "Eco-Modus" oder einer anderen Bezeichnung benannten Energiesparmodus. Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass nur wenige Datacenter diesen Modus aufgrund der bekannten oder vermuteten Nebeneffekte auch wirklich nutzen. Leider gehen die Kompromisse zwischen Kosten und Nutzen aus den Vertriebsunterlagen für diese Betriebsmodi nur unzureichend hervor.

Das vorliegende Paper zeigt, dass sich der Energieverbrauch eines Datacenters durch den Eco-Modus um ca. 2% verringern lässt und erläutert die verschiedenen Einschränkungen und Überlegungen, die sich aus dem Eco-Modus ergeben. Auch Situationen, in denen diese Betriebsarten empfohlen werden und solche, für die davon abgeraten wird, werden beschrieben.

Einführung

Ist der X-Faktor wichtig?

Technische Bezeichnungen


- Bypass

Vertriebsbezeichnungen

- EConversion™ – Advanced Eco Mode
- ESS – Energiesparsystem
- SEM – Super Eco-Modus
- VFD – spannungs- und frequenzabhängig
- Modus für maximale Energieeinsparung

Durch die steigenden Finanz- und Umweltkosten des Energieverbrauchs in Datacentern und Industrieanlagen wurden Maßnahmen zur Verbesserung der Effizienz von Stromversorgungs- und Kühlsystemen in Datacentern initiiert.

Effizienzverbesserungen – d.h. Verringerungen des PUE-Werts (Power Usage Effectiveness) von Datacentern – lassen sich in Datacentern auf unterschiedlichen Ebenen realisieren:

- Gesamt-Systemarchitektur
- Skalierbare Systemauslegung gewährleistet immer die richtige Größe
- Höhere Effizienz der einzelnen Geräte
- Betriebliche Entscheidungen  Der Eco-Modus ist hier eine Entscheidung zwischen Nutzen und Risiko

Das vorliegende Paper behandelt eine spezielle Technik zur Verbesserung der betrieblichen Effizienz einer Doppelwandler-USV durch Betrieb im Eco-Modus. Der Eco-Modus ist ein Verfahren, die USV mit reduziertem Versorgungsschutz zu betreiben, um eine bessere elektrische Effizienz (einen höheren Wirkungsgrad) zu erreichen und Energie einzusparen, und wird unter verschiedenen Bezeichnungen von Anbietern vermarktet (siehe Kasten links).

In diesem Dokument geht es um folgende Themen:

- Was ist ein Eco-Modus, und wie funktioniert er?
- Welche Effizienzgewinne sind möglich, welche werden erwartet?
- Verlust von Schutz und Zuverlässigkeit im Eco-Modus
- Betriebliche Aspekte

Der Eco-Modus spart Energie, die eingesparten Mengen sind jedoch überraschend gering. Darüber hinaus geht die Energieeinsparung auf Kosten des elektrischen Schutzes und der Zuverlässigkeit. Dieser Nachteil variiert je nach elektrischer Systemarchitektur z.B. in Datacentern und bei der spezifischen Auslegung durch den USV-Hersteller für die Realisierung der Funktion Eco-Modus. Einige Betreiber von Datacentern und Anlagenbetreiber gehen das Risiko potenzieller Probleme ein und entscheiden sich für die Energieeinsparungen, andere meiden dieses Risiko.

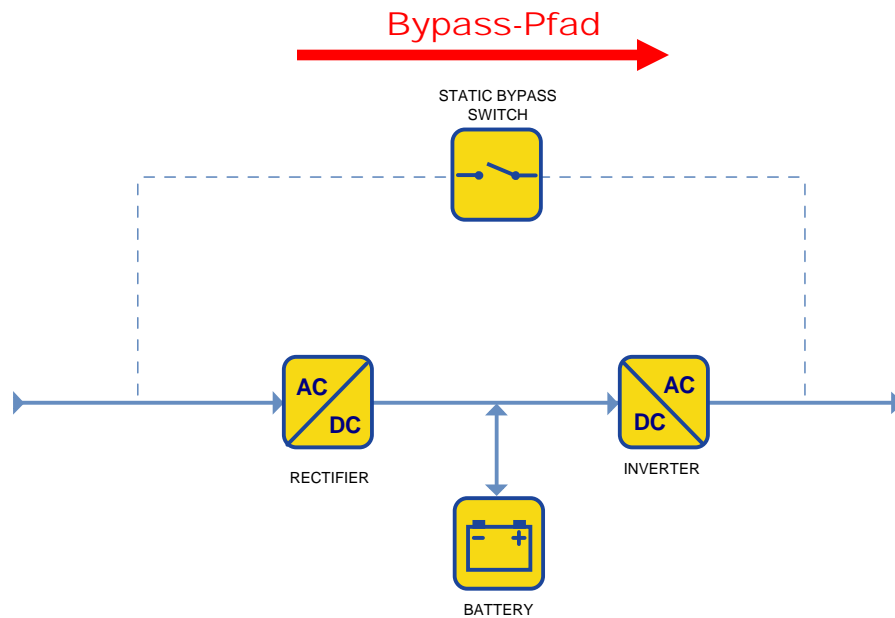
Beschreibung von Eco-Modi

Der Eco-Modus ist dem Grund-Betriebsmodus einer Offline-USV, der als "Standby" oder "Line Interactive" bezeichnet wird, sehr ähnlich.¹ In diesen üblicherweise kleineren einphasigen USV-Anlagen sind die Wechselrichter/Gleichrichter-Schaltkreise "Offline" oder befinden sich nicht im normalen Leistungspfad. Daher ist die Last im Normalbetrieb im Wesentlichen dem rohen Netzstrom des Versorgers ausgesetzt. Diese Betriebsart ist ähnlich dem, was bei einer Doppelwandler-USV online passiert, die im herkömmlichen Eco-Modus arbeitet.

Alle großen Doppelwandler-USVs verfügen online über einen "statischen Bypass"-Pfad, der zahlreiche Funktionen erfüllt einschließlich der Redundanz für den USV-Wechselrichter. Dies ist schematisch in **Abbildung 1** dargestellt.

¹ Siehe White Paper 1, [Die verschiedenen Arten von USV-Systemen](#)

Abbildung 1
Vereinfachtes Schaltbild des Leistungsflusses einer Doppelwandler-USV online



Es gibt zwei Hauptpfade zur Versorgung der Last: den Online-Pfad (Doppelwandler) und den Bypass-Pfad. Beachten Sie, dass die Last bei aktivem Bypass an die rohe ² und nicht aufbereitete Netzversorgung angeschlossen ist. Die folgende Tabelle zeigt die Nutzung der jeweiligen Pfade im Online- und im Eco-Modus:

Tabelle 1
Von einer USV benutzter Leistungspfad - Differenzen bei Eco-Modus

	Online Modus	Eco-Modus	Kommentar
Normalbetrieb	Gleichrichter/ Wechselrichter	Bypass	Eco-Modus versorgt Last mit "Roh-Stromversorgung"
Bei Stromunterbrechung	Wechselrichter	Wechselrichter	Online-Modus erfordert keine Änderung des Pfads bei Stromunterbrechungen
Bei Vorliegen eines Fehlers	Bypass	Bypass	Extrem seltenes Ereignis

² Im vorliegenden Kontext bedeutet der Begriff "Roh-Stromversorgung" eine Stromversorgung mit derselben Spannung, Wellenform, Frequenz, demselben Erdungssystem und derselben Impedanz wie das Netz. Beachten Sie, dass das Stromversorgungsnetz mit einem parallelen Schutz wie z.B. Überspannungsableiter ausgestattet sein kann. In einigen Fällen befindet sich ein Transformator im Bypass-Pfad, wodurch sich das Erdungssystem und die Impedanz ändern, jedoch nicht die Wellenform oder die Frequenz. Eine USV kann auch mit Ausgangskondensatoren zwischen den Phasen bzw. zwischen Phase und Erde bestückt sein; solche Kondensatoren filtern hochfrequentes Rauschen, korrigieren jedoch nicht Frequenz, Spannung oder Wellenform; sie können Spannungsverzerrungen sogar verschlimmern, indem sie Resonanzen wie die in **Abbildung 2** unten gezeigten hinzufügen.

Beachten Sie, dass die USV im Online-Betrieb den Bypass-Pfad nur im Fehlerfall nutzt. Während der Lebensdauer einer USV ist dies ein seltener Vorgang, der evtl. niemals vorkommt. **Daher unterliegt die kritische Last im Online-Modus keinen Störungen, auch nicht bei einem Netzversorgungsproblem.** Im Eco-Modus bewirkt jede Störung der Netzversorgung, dass die USV die Leistungspfade zwischen Bypass und Wechselrichter schaltet.

Im Online-Modus regeneriert die USV ständig die Ausgangsspannung. Im Eco-Modus wird die Last normalerweise über den Bypass-Pfad versorgt, wodurch "Roh-Versorgungsspannung" die Last versorgt, und der USV-Wechselrichter wird nur aktiv, wenn die Versorgungsspannung ausfällt. Im Eco-Modus arbeitet der USV-Wechselrichter im "Standby"-Modus. Im Prinzip ist dies eine einfache Änderung in der USV-Steuerungssoftware. Die Wirklichkeit ist jedoch wesentlich komplexer und wird in den folgenden Abschnitten erläutert.

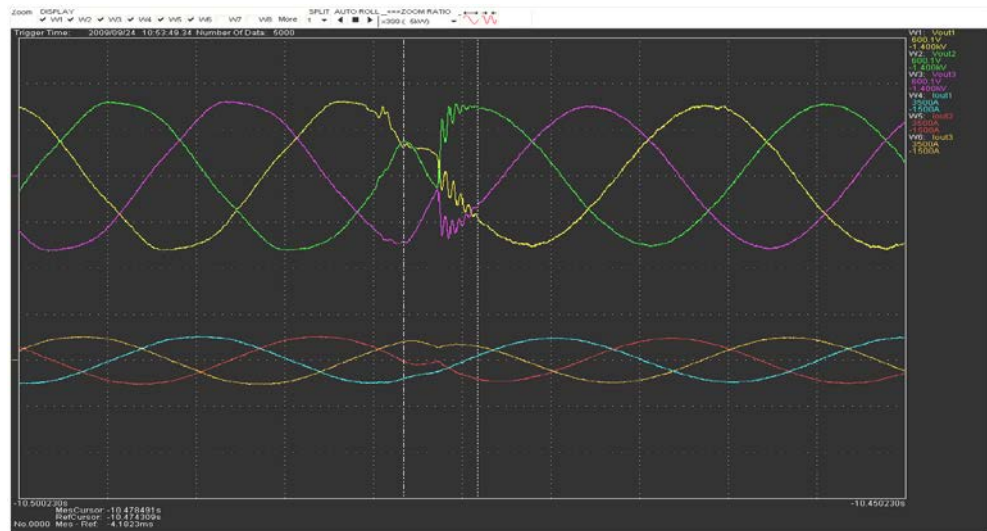
Der Nutzen des Eco-Modus ist, dass die Effizienz des Bypass-Pfades typischerweise zwischen 98,0% und 99% liegt, verglichen mit der Grundeffizienz der USV von 94% bis 97%. Das bedeutet, dass die Effizienz der USV bei Verwendung des Eco-Modus um 2-5% steigt.

Die Kehrseite des Eco-Modus ist, dass die IT-Last nun von der "Roh-Versorgungsspannung" ohne die normalerweise übliche Aufbereitung durch die Online-USV mit Doppelwandler versorgt wird. Die USV muss die Netz-Stromversorgung ständig überwachen und rasch auf den USV-Wechselrichter umschalten, wenn ein Problem erkannt wird, bevor das Problem sich auf die kritische Last auswirken kann. Das klingt vielleicht einfach, ist aber in der Praxis durchaus kompliziert und bringt nicht nur eine Reihe von Risiken mit sich, sondern auch einige potenziell unerwünschte Nebeneffekte, worauf später noch eingegangen wird. Ein Beispiel einer Ausgangsspannungs-Wellenform einer realen USV mit Eco-Modus bei der Reaktion auf einen Stromausfall zeigt **Abbildung 2**.

Abbildung 2

Ausgangsspannungs-Wellenform einer 275 kVA USV in Standard Eco-Modus bei der Reaktion auf einen Stromausfall.

Die Wellenform oben ist die Ausgangsspannung, unten ist der Ausgangsstrom dargestellt



Beachten Sie, dass dieser Anbieter mit einer Erfassungs- und Umschaltzeit von 1,2 ms nach einem Stromausfall wirbt - eine Leistung, die in diesem Beispiel eindeutig nicht erreicht wird.

Unbedingt zu beachten ist, dass verschiedene Anbieter den Eco-Modus auf unterschiedliche Weise implementieren. Es gibt z.B. verschiedene Möglichkeiten für das System, den Standby-Wechselrichter zu betreiben. Es gibt auch verschiedene Möglichkeiten, wie der Modus freigeschaltet wird und wo unter verschiedenen

Bedingungen die Rückkehr zum normalen USV-Modus erfolgt. Einige Anbieter behaupten, spezielle und patentierte Verfahren zum Steuern des Transferschalters zu nutzen. Sie verfolgen jedoch alle dasselbe Grundkonzept, die kritische Last mit der nicht aufbereiteten Stromversorgung zu versorgen und sie Umschaltereignissen auszusetzen und dafür im Gegenzug eine Effizienzsteigerung von einigen Prozent zu erzielen. Je nachdem, wie der Anbieter den Eco-Modus implementiert, kann jedoch der Grad, zu dem die Last mit der nicht aufbereiteten Stromversorgung versorgt wird, erheblich verringert werden.

Fortgeschrittener Eco-Modus

Im Standard- oder "klassischen" Eco-Modus ist der USV-Wechselrichter wie oben beschrieben im Wesentlichen ausgeschaltet. Liegt ein Stromausfall seitens des Stromnetzes vor, während der Wechselrichter auf Standby steht, hat dies negative Auswirkungen sowohl auf die USV-Ausgangsspannung und die Strom-Sinusform, siehe **Abbildung 2**. Bis die USV den Fehler erfasst, den Wechselrichter einschaltet und aus den Batterien eine saubere Stromversorgung für die Last bereit stellt, vergeht Zeit. Der Fehler am Eingang kann größtenteils durch diese Umschaltzeit kurz den USV-Ausgang erreichen. Im Standard-Eco-Modus konnten jedoch dieser und andere negativen Effekte in hohem Maße verringert werden. Fortschritte in Firmware-Steuerungsabläufen und bei der elektrischen Auslegung hat zur Schaffung dessen geführt, was als "Fortgeschrittener Eco-Modus" bekannt ist. Diese Form des Eco-Modus ist heute in verschiedenen Ausprägungen von einigen USV-Herstellern erhältlich.

Im fortgeschrittenen Eco-Modus ist der Primär-Leistungspfad bei Normalbetrieb derselbe wie im Standard- oder herkömmlichen Modus: über den Bypass-Pfad. Im fortgeschrittenen Modus bleibt der Wechselrichter jedoch "Ein" und arbeitet parallel zum Eingang, ohne dass wirklich Laststrom hierüber fließt. Da der Wechselrichter bereits "Ein" ist, kann er die Stromversorgung des Ausgangs, wenn ein Netzfehler vorliegt, fließender übernehmen. **Abbildung 3** zeigt einen Beispielvergleich der Ausgangsspannungs-Sinusformen zwischen Standard- und fortgeschrittenen Eco-Modus. Man erkennt klar die verringerte Unterbrechung, der angeschlossene Lasten im Falle eines Stromausfalls ausgesetzt wären.

Abbildung 3a
Ausgangsspannungs-Sinusform einer Dreiphasen-USV im **Standard-Eco-Modus** zum Zeitpunkt eines Stromausfalls.

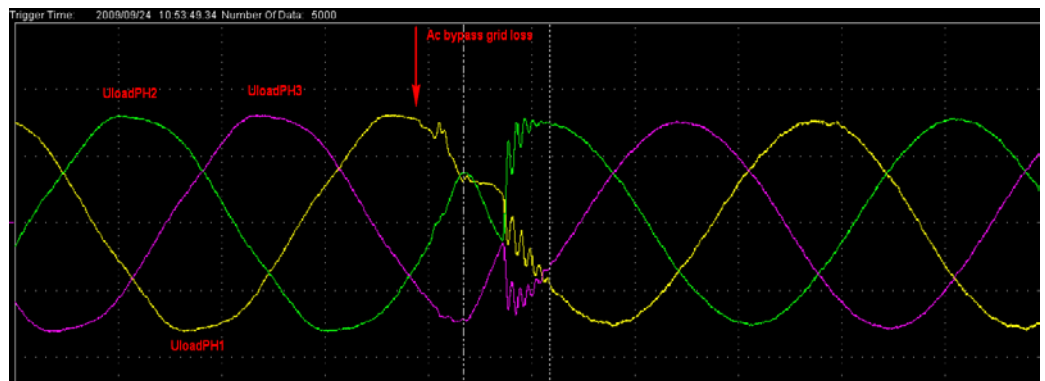
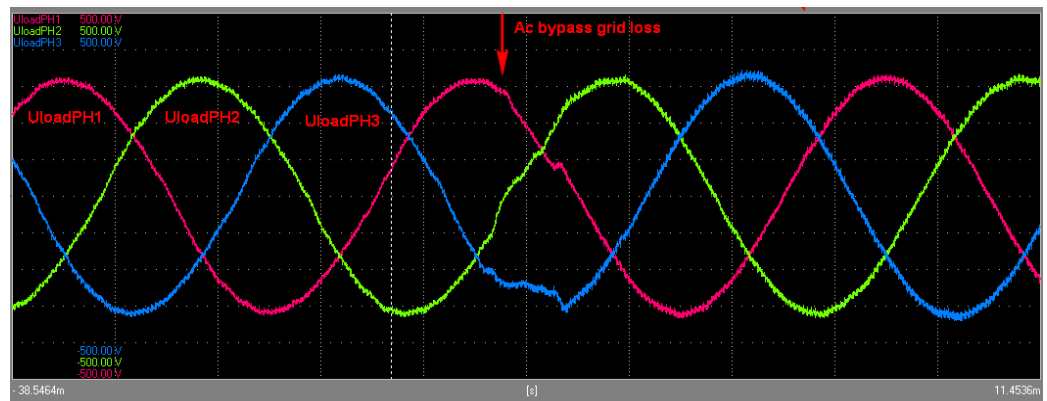


Abbildung 3b

Ausgangsspannungs-Sinusform einer Dreiphasen-USV im **Fortgeschrittenen Eco-Modus** beim selben Stromausfall wie Abb. 3a.



Der fortgeschrittene Eco-Modus kann andere Vorteile gegenüber dem Standard-Eco-Modus bieten. Eine bekannte Eigenschaft von Doppelwandler-USVs im Online-Modus ist ihre Fähigkeit, die Netzversorgung vor durch die Last erzeugte Oberwellenströme zu schützen. Dadurch wird die Oberwellen-Rück einspeisung in die Netzversorgung bzw. eine andere Stromquelle wie z.B. einen Notstromgenerator verringert. Im Fall von Generatoren verringern geringere Oberwellenströme die Verzerrung der Spannungs-Wellenform, wodurch der Generator evtl. zuverlässig in einem höheren Leistungsbereich arbeiten kann. Diese "Filter"-Funktion einer Doppelwandler-USV ist im Standard-Eco-Modus nicht vorhanden, da der Laststrom (einschließlich aller Oberwellen) direkt an den Eingang zurückgegeben wird. Im fortgeschrittenen Eco-Modus ist der Wechselrichter eingeschaltet und an den Ausgang angeschlossen und kann so gesteuert werden, dass er die Oberwellenströme der Lasten absorbiert, obwohl er die Last nicht versorgt. Im Prinzip könnte diese Oberwellen-Filterfunktion Oberwellen auf beinahe dasselbe Niveau und dieselbe Qualität herausfiltern wie der Filter in einer Doppelwandler-USV, die nicht im Eco-Modus betrieben wird. Verschiedene Anbieter von USV-Systemen mit Eco-Modus realisieren diese Eigenschaft auf unterschiedliche Weise und mit unterschiedlichen Leistungsgraden.

Der fortgeschrittene Eco-Modus bietet zwar Vorteile gegenüber dem Standard-Eco-Modus, erfordert jedoch einen Kompromiss. Da der Wechselrichter-Schaltkreis im fortgeschrittenen Modus "Ein" ist, ist die Gesamteffizienz der USV geringer als beim Betrieb im Standard Eco-Modus. Der Unterschied ist jedoch klein und wurde bereits im typischen Bereich von 0,5% - 1,0% beobachtet. **Die Effizienz des fortgeschrittenen Eco-Modus liegt zwar unter der des Standard-Eco-Modus, ist aber immer noch besser als der herkömmliche Online-Modus.**

Die meisten USV-Systeme mit Eco-Modus erfordern dessen Einsatz nicht. Dieser Modus kann entweder vom Kunden oder in einigen Fällen von einem zertifizierten Techniker freigeschaltet und konfiguriert werden. In den Fällen, in denen die USV einen fortgeschrittenen Eco-Modus bietet, ist es wahrscheinlich, dass der Nutzer zwischen drei Modi wählen kann: Online-Modus, Standard Eco-Modus und fortgeschrittenem Eco-Modus. Damit hat der Kunde größere Flexibilität bei der Auswahl eines Betriebsmodi, das zum jeweiligen Risikoprofil und zu den Effizienzzielen passt. **Abbildung 4** zeigt ein Beispiel einer von Schneider Electric angebotenen USV, die sowohl einen Standard- als auch einen fortgeschrittenen Eco-Betriebsmodus bietet.

Abbildung 4

Beispiel einer USV, die im Doppelwandler-, Eco- und fortgeschrittenen Eco-Modus betrieben werden kann

(Galaxy VM mit ECO-version™ Modus von Schneider Electric)

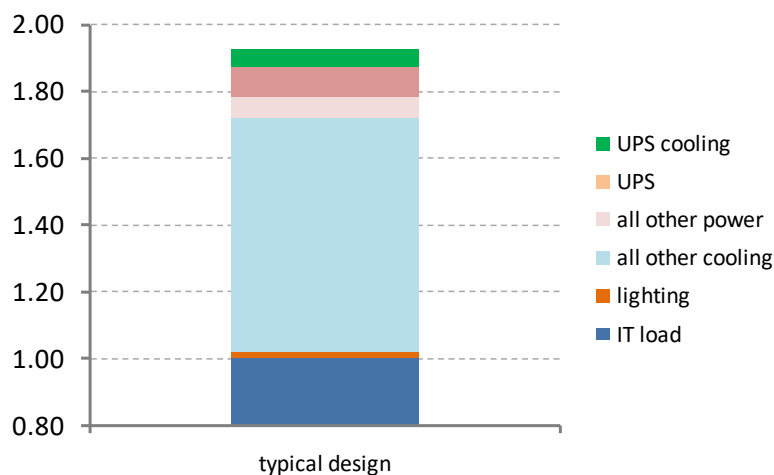


Effizienzverbesserungen

Abbildung 5

PUE-Wert eines typischen Datacenters - Beitrag des USV-Energieverbrauchs und des Verbrauchs anderer Systeme zum PUE-Gesamtwert

Das USV-System ist einer von zahlreichen Faktoren in der Gesamt-Ineffizienz (elektrische "Verluste") eines Krankenhauses, einer Fabrik oder eines Datacenters. Der typische Anteil einer USV zum PUE-Wert eines Datacenters ist beispielhaft in **Abbildung 5** dargestellt.



Beachten Sie, dass die senkrechte Achse des Graphen bei 0,8 beginnt und nicht bei Null, um Details darzustellen. Die IT-Last trägt stets genau 1,0 zum PUE-Wert bei.

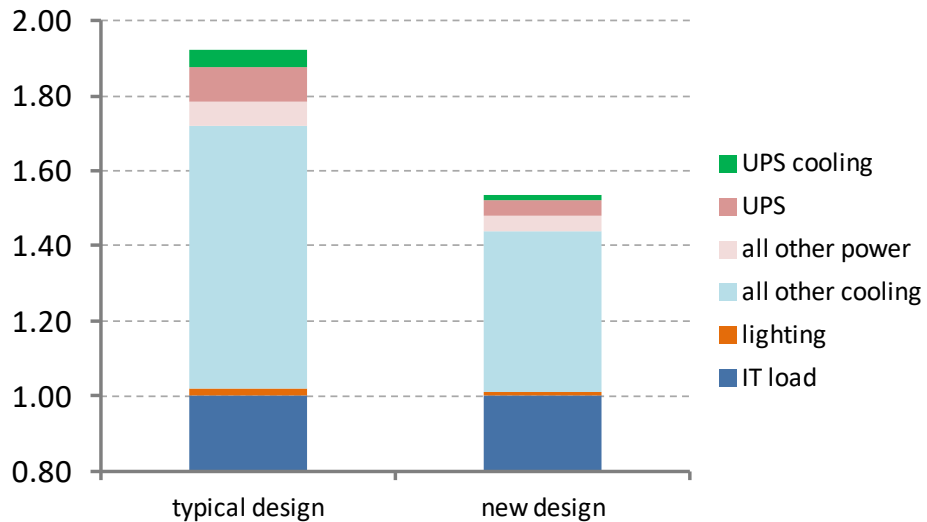
Im obigen Beispiel teilt sich der Anteil der USV am PUE-Wert in zwei Teile auf: die von der USV selbst verbrauchte Energie mit ca. 9% und die zur Wärmeabführung von der USV benötigte Energie mit ca. 5%. Der Anteil der elektrischen USV-Verluste am PUE-Wert ist gleich der USV-Verluste in Prozent der IT-Last. Der Anteil der USV-Kühllast am PUE-Wert ist gleich den USV-Verlusten geteilt durch den Grenz-Leistungskoeffizient³ (engl.: COP) des Kühlsystems. Um darzustellen, wie diese USV-Verluste zu einem typischen PUE-Wert beitragen, sind diese Verluste in den beiden obersten Abschnitten des Balkens in **Abb. 5** dargestellt.

³ Der Grenz-Leistungskoeffizient ist die inkrementale Kühlleistung in Watt pro inkrementalem Watt Leistung, die das Kühlsystem verbraucht. Die typischen Werte reichen von 2 bis 6 und sind typischerweise viel besser (höher) als der Leistungskoeffizient des gesamten Kühlsystems reduziert um vorhandene feste Lasten wie Lüfter und Pumpen.

Die Abbildung oben zeigt die installierte Basis von Datacentern mit einem typischen PUE-Wert von 1,93. Die installierte Basis besteht jedoch aus älterer Hardware, die sich nicht auf dem aktuellen Stand der Technik in Datacentern befindet. Mit Hardware auf dem neuesten Stand der Technik in einem dichter ausgelegten Datacenter erhalten wir einen besseren PUE-Wert gemäß **Abbildung 6**.

Abbildung 6

Typischer PUE-Wert von Datacentern mit Darstellung der Verbesserung des PUE-Wertes von aktueller Hardware im Vergleich zur installierten Basis



Beachten Sie, dass ein neues Datacenter mit einem PUE-Wert von 1,54 erheblich besser abschneidet als die installierte Basis mit einem Wert von 1,93. Die Energiekosten für eine gegebene IT-Last sind tatsächlich direkt proportional dem PUE-Wert, so dass wir sagen können, dass **ein Datacenter auf dem aktuellen Stand typischerweise einen um 20% geringeren Energieverbrauch bei derselben IT-Last im Vergleich mit der typischen installierten Basis aufweist**. Nun können wir in der Graphik einen dritten Eintrag anfügen und damit die Verbesserung des PUE-Wertes beim Einsatz des Eco-Modus zeigen, siehe **Abbildung 7**.

Ist der Eco-Modus aktiv, verringern sich die USV-Verluste von 4% auf 1,5% (dies entspricht einer Effizienzverbesserung von 96% auf 98,5%), der PUE-Wert fällt jedoch nur von 1,54 auf 1,50. Somit ergibt sich Energieeinsparungen von insgesamt 2,3%.⁴ In dieser Untersuchung wird davon ausgegangen, dass das Datacenter mit 50% Last und modernen USV-Systemen betrieben wird. Als Ergebnis lässt sich folgende Regel festhalten:

Die Energieeinsparung durch den Eco-Modus der USV (Standard) beträgt ca. 2,3%, was einer Energieeinsparung von ca. 9.000 € pro Jahr in einem Datacenter mit einer Nennleistung von 1 MW bei 50% Last und einem Strompreis von 0,09 €/kWh entspricht.

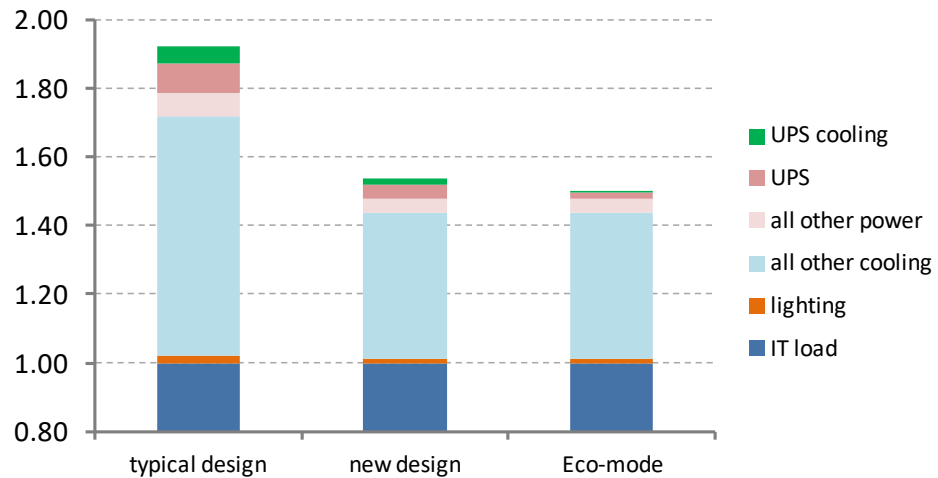
Die Energieeinsparungen alleine durch die USV belaufen sich auf 2,54%, was für sämtliche Anwendungen einschl. Krankenhäuser und Fabriken gilt.

⁴ Aus den auf der Grundlage der Verluste in den Balkendiagrammen abgeleiteten PUE-Werten von 1,536 und 1,500 wurden Energieeinsparungen von insgesamt 2,3% errechnet. Ein Beispiel einer unkorrekten Untersuchung, die im Artikel "Raising UPS Efficiency with Eco-mode" ("Erhöhung der USV-Effizienz durch Eco-Modus") auf UPSonNet.com zitiert wurde: "Der Nutzen des Eco-Mode ist durchaus eine Versuchung. Durchschnittlich erzielt man eine Energieeinsparung von etwa 3,5% allein über die Effizienz der USV. Bei Berücksichtigung des Kühlbedarfs können nahezu 9% der Ausgangsleistung eingespart werden." Letztendlich ergibt eine Energieeinsparung von 3,5% durch die Effizienz der USV lediglich eine Gesamt-Energieeinsparung von ca. 3,2%.

Die tatsächliche Energieeinsparung hängt von den eingesetzten Geräten und der gewählten Architektur ab sowie von der Last des jeweiligen Datacenters und dem örtlichen Strompreis; das oben genannte Beispiel ist jedoch eine vernünftige Abschätzung der Einsparungen, die sich in einer typischen Situation ergeben.

Abbildung 7

Typischer PUE-Wert von Datacentern mit Darstellung der Verbesserung des PUE-Wertes von aktueller Hardware im Vergleich zur installierten Basis



Beachten Sie, dass die geschätzten 2,3% an Energieeinsparungen für ein System gelten, das 100% der Zeit im Standard-Eco-Modus läuft. Ist das System nur einen Teil der Zeit im Eco-Modus in Betrieb, verringern sich die Einsparungen proportional. Verwendet das System den fortgeschrittenen Eco-Modus, weist die USV zusätzliche Verluste auf, je nachdem, wie der fortgeschrittene Eco-Modus implementiert ist und ob Last-Oberwellen vorhanden sind. Die Einsparungen im fortgeschrittenen Eco-Modus sind wahrscheinlich ca. 0,5% geringer im Vergleich mit dem Standard-Eco-Modus bzw. betragen ca. 1,8%.

Es ist interessant zu beobachten, dass im Allgemeinen **die prozentualen Energieeinsparungen insgesamt bei einem Datacenter etwas geringer ausfallen als die prozentuale Steigerung der USV-Effizienz**. In vielen Diskussionen zum Thema Eco-Modus entsteht der Eindruck, dass die gesamten Energieeinsparungen deutlich über der Verbesserung der USV-Effizienz liegt; diesen Untersuchungen liegen jedoch unrichtige Annahmen über die Art und Weise, wie USV-Verluste zum PUE-Wert beitragen, zugrunde und wie sich USV-Verluste auf den Energieverbrauch der Klimaanlage auswirken.

2,3% sind zwar keine drastische Effizienzverbesserung, stellen aber durchaus einen Wert dar. Leider hat der Betrieb im Eco-Modus auch Konsequenzen, die vollständig verstanden werden müssen, bevor eine Entscheidung für diesen Modus und die damit einhergehende Effizienzverbesserung getroffen wird. Hierbei geht es um folgende Themen:

- Verringerung des elektrischen Schutzes
- Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit
- Betriebliche Aspekte

Angesichts dieser Faktoren entscheiden sich Betreiber häufig gegen den Eco-Modus, weshalb sie in den nachfolgenden Abschnitten beleuchtet werden sollen.

Schutzverlust

Eine wesentliche Funktion eines USV-Systems war schon immer, eine "saubere" elektrische Energieversorgung ohne Spannungs- und Frequenzschwankungen oder transiente Vorgänge, wie sie in der Roh-Netzversorgung vorkommen, wiederherzustellen. Das zentrale Konzept ist hier, dass derartige Schwankungen den Betrieb empfindlicher kritischer Lasten stören würden.

Die Eigenschaften der meisten Stromversorgungen einschließlich der von IT-Geräten haben sich jedoch enorm verbessert, so dass praktisch sämtliche heute erhältlichen Ausrüstungen gegenüber Netzfrequenzschwankungen immun und dafür ausgelegt sind, beliebige Netzspannungsschwankungen innerhalb eines spezifizierten Betriebsbereichs handhaben zu können. Tatsache ist, dass Stromversorgungen heute erhältlicher IT-Ausrüstungen für einen zuverlässigen Betrieb weniger Aufbereitung erfordern als dies in den Jahrzehnten davor der Fall war.

Moderne PCs und Server arbeiten zuverlässig, wenn gewährleistet werden kann, dass die Versorgungsspannung nicht länger als ca. 8 ms mehr als 20% abfällt, und dass schädigende Stoßspannungen herausgefiltert werden. Im Prinzip kann dies durch eine Standby-USV in Tischausführung erreicht werden, was im Wesentlichen einer USV entspricht, die permanent im Eco-Modus läuft. Da liegt es natürlich nahe, ein gesamtes Datacenter auf diese Weise im Standby- bzw. Eco-Modus zu betreiben. Die Last in einem Datacenter oder einem Krankenhaus oder einer Industrieanlage ist allerdings nicht mit einem großen PC zu vergleichen. Die USV-Last in einem Datacenter ist ein komplexes System von Schaltkreisen mit zahlreichen unterschiedlich gearteten IT-Systemen und Transformatoren und umfasst möglicherweise auch noch andere komplexe Geräte wie z.B. elektronische PDUs, Lüfter und Pumpen. **Ein PC oder Server lässt sich hinsichtlich seiner Reaktion auf Versorgungsschwankungen gut charakterisieren, viel schwieriger ist es jedoch, die Leistungsfähigkeit eines kompletten Datacenters oder anderer Industrieanwendungen zu gewährleisten.**

Der Eco-Modus braucht Zeit, um auf Probleme in der Stromversorgung zu reagieren

Der Eco-Modus kann die Zukunft nicht vorhersagen. Er muss auf ein bereits vorhandenes Problem reagieren und auf den Wechselrichter umschalten. Das bedeutet, dass ein Fehler in der Stromversorgung durch die USV bis zur kritischen Last gelangen kann, bis die folgenden 4 Dinge passieren:

1. Der Fehler in der Stromversorgung wird erfasst
2. Die USV legt fest, ob sie reagiert und wie
3. Der USV-Wechselrichter wird zugeschaltet
(zu beachten: im fortgeschrittenen Eco-Modus ist er bereits zugeschaltet)
4. Der elektronische Bypassschalter wird betätigt (geöffnet)

In der Praxis können diese Vorgänge zwischen 1 und 16 ms dauern; während dieser Zeit wirkt sich das Stromversorgungsproblem auf die kritische Last aus. Betrachten wir einige der folgenden Situationen:

- Ein Ausfall der Stromversorgung für 1-16 ms geht vielleicht an einem typischen 2U-Server spurlos vorüber, ein Ausfall der Stromversorgung eines Leistungstransformators für 8 ms kann jedoch dazu führen, dass dieser Transformator bei Wiederherstellen der Spannung in die Sättigung kommt und die Sicherung auslöst.
- Selbst ein Ausfall der Stromversorgung von wenigen Millisekunden Dauer bei einer Schaltung, die eine PDU mit elektronischem Schaltkreis speist, ändert

den Zustand dieser Sicherung. Dies kann zu einer ungewollten Zustandsänderung der gesamten Stromversorgung mit Überlasten und Lastabfall führen.

- Ein Ausfall der Stromversorgung von weniger als 16 ms kann Schutzeinrichtungen an Pumpen und Lüftern auslösen und somit eine unerwartete und ungewollte Zustandsänderung des Systems verursachen.
- Es gibt auch IT-Systeme wie z.B. Switches und andere Hilfssysteme, die im Handling von Spannungseinbrüchen im Bereich von 1-16 ms nicht so robust sind wie Server.
- Die Static-Switches in USV-Systemen im Standard-Eco-Modus können nur dann umschalten, wenn die Netzspannung geringer ist als die Wechselrichter-Spannung oder im Nulldurchgang der Netzspannung. Es gibt Bedingungen wie z.B. Lasten mit einem Blindleistungsfaktor, wo der elektronische Bypassschalter bis zu 8 ms⁵ lang nicht abschalten kann, weshalb eine Lücke in der Stromversorgung von weniger als 8 ms nicht gewährleistet werden kann. Im fortgeschrittenen Eco-Modus ist es möglich, den USV-Wechselrichter so zu steuern, dass er den Blindstrom der Last absorbiert, wodurch sich dieses Problem beseitigen lässt und kürzere Lücken in der Stromversorgung möglich werden. Diesen Betriebsmodus bietet die in **Abbildung 4** dargestellte USV, er ist jedoch nicht in allen existierenden Formen eines fortgeschrittenen Eco-Modus vorhanden. Werden Lücken von weniger als 8 ms gefordert, muss der Eco-Modus der jeweiligen USV detailliert untersucht werden.
- Ein typischer elektronischer Bypassschalter kann nicht abschalten, wenn Leistung zur Last fließt, daher kann eine USV im Eco-Modus die Last nicht vor einer niederfrequenten Überspannung aus dem Netz schützen, selbst wenn die USV diese Überspannung sofort erkennt.

Oberwellen und Eco-Modus

Oberwellen sind ein separates Thema. In einer herkömmlichen USV - und größtenteils auch in USV mit fortgeschrittenem Eco-Modus - ist die Last von der Summe der Oberschwingungen der Netzspannung isoliert und umgekehrt ist das Versorgungsnetz von der Summe der Oberschwingungen des Laststroms isoliert. Im Standard-Eco-Modus stehen diese beiden Funktionen nicht zur Verfügung. Es stimmt zwar, dass IT-Lasten heute bei Nennlast eine geringe Summe der Strom-Oberschwingungen aufweisen, aber im Energiesparmodus treten erhebliche Summen der Oberschwingungen auf, was sich auf das gesamte Stromversorgungssystem auswirken kann, wenn man diese nicht beachtet. Datacenter, Krankenhäuser und Industrieanlagen sind auch dafür bekannt, dass dort große Motorantriebe für Kühler, Lüfter und Pumpen in Betrieb sind, die Oberwellenspannungen in der Netzversorgung verursachen, welche nicht bis zur kritischen Last gelangen sollten. In den meisten Datacentern sind Oberwellen kein Thema, wird jedoch der Eco-Modus eingesetzt, kann eine Untersuchung bzw. Eindämmung notwendig sein.

⁵ Bei Lasten mit Blindleistung gibt es Phasen in der WS-Sinusform, in denen der Laststrom negativ ist, die Lastspannung jedoch positiv. Bei einem Fehler in der Eingangsnetzversorgung mit einem Phasenausfall geringer Impedanz in einer solchen Phase bleiben die Thyristoren im elektronischen Bypassschalter leitend (selbst bei Ansteuerung Aus) und halten den Ausgang auf der (fehlerhaften) Eingangsspannung. Der USV-Wechselrichter erkennt dies als Fehler und der gesamte USV-Ausgangsstrom speist in die Netzversorgung zurück anstatt die Last zu versorgen. Dieser Zustand hält an bis zum nächsten Nulldurchgang der Wechselspannung, der nach 8,3 ms (bei 60 Hz) oder 10 ms (bei 50 Hz) erfolgen kann; dann öffnet der elektronische Bypassschalter und der Wechselrichter versorgt die Last.

Die Verwendung des Eco-Modus erfordert zusätzliche Sorgfalt und Analysen

Sämtliche in diesem Kapitel behandelten Probleme können technisch gelöst werden. Es ist jedoch sehr schwierig, dafür zu sorgen, dass sie in einer spezifischen Installation keine Bedeutung haben, es sei denn, sämtliche Aspekte der elektrischen Auslegung sind sehr gut beschrieben und untersucht. Der verringerte Schutz der Stromversorgung im Eco-Modus kann zwar akzeptabel sein, darf andererseits aber nicht ignoriert werden. Bei den meisten Anwendungen handelt es sich um eine komplexe Anordnung von Systemen, deren Wechselwirkungen nicht gut beschrieben sind; es ist unmöglich, einen zuverlässigen Systembetrieb mit der verringerten Schutzfunktion des Eco-Modus zu gewährleisten. Hoch standardisierte und gut geplante Elektro-Architekturen, in denen alle Themen untersucht und geprüft werden können, sind daher am besten für den Einsatz des Eco-Modus geeignet.

Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit

Im vorangehenden Kapitel wurde die Verringerung des Schutzes infolge des Eco-Modus betrachtet. In diesem Kapitel geht es um Themen, die die Zuverlässigkeit der Systeme betreffen.

Temperatursturz und Oszillieren

Ein im Eco-Modus laufendes System muss als Reaktion auf erkannte Vorkommnisse in der Stromversorgung den Wechselrichter einschalten und umschalten. Die Häufigkeit, mit der Umschaltungen vorkommen, hängt von einer Reihe von Faktoren ab, darunter die Empfindlichkeitseinstellungen an der USV, die Qualität des Netzstroms und Leistungsstörungen, die innerhalb eines Werks von anderen Verbrauchern hervorgerufen werden. Ob dies nun einmal pro Monat oder einmal pro Stunde vorkommt, in jedem Fall erzeugt der Sprung in der am USV-Wechselrichter anliegenden Stromversorgung einen Sprung im Laststrom zum Wechselrichter, der einen thermischen Vorgang und einen Temperaturanstieg im System verursacht. Es ist bekannt, dass Temperatursprünge einer der Hauptgründe für Fehler in Stromversorgungssystemen sind.

Um das Ganze noch schwieriger zu machen, liegt die vorübergehende Änderung der Temperatur genau dann an, wenn die USV am meisten gebraucht wird - und es gibt keine Alternative. Somit ist das Ausfallrisiko genau an dem Zeitpunkt konzentriert, an dem das System am meisten gebraucht wird.

Im normalen USV-Betrieb ohne Eco-Modus gibt es keinen Temperatursprung bzw. transiente Vorgänge, wenn die Netzversorgung ausfällt. Ereignet sich am USV-Wechselrichter ein Zufallsausfall, wird dies nahezu sicher dann stattfinden, wenn die Netzversorgung anliegt, somit geht die USV in den Bypass-Modus ohne Lastabfall.

Bauteilverschleiß

Die Lebensdauer vieler elektrischer Bauteile wird von der Betriebstemperatur und der elektrischen Belastung über die Zeit beeinflusst. Wird eine USV im Eco-Modus betrieben, werden die USV-Gleichrichter und Wechselrichter sowie die dazugehörigen Kondensatoren und andere Bauteile im Wesentlichen umgangen und liefern keine nennenswerte Leistung an die Last. Dadurch sinkt die Temperatur dieser Baugruppen, wodurch sich deren Lebensdauer verlängert und die Fehlerrate verringert.

Man muss jedoch erkennen, dass die Fehlerrate einer USV nicht direkt mit dem Funktionsverlust der USV oder mit dem Unterbrechen der kritischen Last zusam-

menhängt. Ausfälle des USV-Wechselrichters oder Gleichrichters werfen typischerweise nicht die Last ab, da sie hauptsächlich dann auftreten, wenn die Stromversorgung vorhanden ist und die USV die Last durch Umschalten auf den Bypass schützt. Daher ist der geringere Bauteilverschleiß zwar ein Nutzen des Eco-Modus, er gleicht aber nicht notwendigerweise die Risiken aus, die durch Temperatursprung und Oszillieren gemäß Beschreibung im vorangegangenen Abschnitt hervorgerufen werden.

Batterie-Lebensdauer

Beim Eco-Modus und der Batterie-Lebensdauer gibt es zwei interessante Tatsachen zu bedenken, und zwar den Batterieverschleiß und die Betriebstemperatur der Batterie.

Die Umschaltvorgänge auf Wechselrichterbetrieb führen typischerweise zu kurzzeitigem Batteriebetrieb, auch wenn die Stromversorgung vorhanden ist und das Batterieladegerät funktioniert. Das bedeutet, dass im Betrieb im Eco-Modus ein Umschalten auf die Batterie wesentlich häufiger erforderlich ist als bei derselben USV im Doppelwandler-Modus. Das kann zwar folgenlos bleiben, wenn solche Ereignisse nur einmal in ein paar Monaten auftreten, kann aber zu unnötigem Batterieverschleiß führen, wenn dies mehrmals pro Tag passiert. Dieser zusätzliche Batterieverschleiß hängt von der Umsetzung des Eco-Modus, der örtlichen Stromversorgungsqualität und den Einstellungen des Eco-Modus ab. Es kann schwierig sein, den Batterieverschleiß vorherzusagen, daher ist er durch Erfahrungen aus der tatsächlichen Welt eines bestimmten Standortes im Laufe der Zeit festzustellen.

Im Prinzip ist der Eco-Modus effizienter, darum erzeugt die USV weniger Wärme. Dies könnte bedeuten, dass Batterien bei niedrigerer Betriebstemperatur laufen und deshalb länger funktionieren. In Wahrheit kann jedoch nicht von diesem Effekt ausgegangen werden und die Batterietemperatur wird stark von der Auslegung der USV-Anlage bestimmt. Werden die Batterien z.B. von den USV-Lüftern ebenfalls gekühlt und diese Lüfter sind im Eco-Modus ausgeschaltet, werden die Batterien im Eco-Modus tatsächlich höheren Betriebstemperaturen ausgesetzt. Befinden sich die Batterien in getrennten Schränken von der USV-Leistungselektronik, kann der Eco-Modus auch ohne Auswirkungen bleiben. Daher können die Auswirkungen des Eco-Modus auf die Batterie-Lebensdauer nicht generell formuliert werden, und seine Folgen für die Batterietemperatur sind im Einzelfall festzustellen.

Fehlerbeseitigung

Eine UPS in ihrer normalen Einstellung erkennt Ausgangsfehler (Überlast) und schaltet auf den Bypass, um den Extra-Fehlerbeseitigungsstrom zu erhalten, der zum raschen Öffnen nachgeschalteter Schutzvorrichtungen (Sicherungen) erforderlich ist. Dies ist ein wertvolles Merkmal, das den Ausfall von IT-Lasten während eines Fehlers verhindern kann. Wenn die USV jedoch im Eco-Modus betrieben wird, kann es sehr schwierig werden, einen Spannungseinbruch am Ausgang von fehlender Eingangsspannung zu unterscheiden. Während eines Spannungseinbruch am Ausgang (z.B. Überlast) kann eine USV im Eco-Modus dies als einen Eingangsspannungsabfall erfassen, was eine Umschaltung auf den Wechselrichter bewirkt; dieser speist daraufhin in die Fehlerursache und die kritische Last unterliegt möglicherweise einem kurzzeitigen Ausfall der Versorgungsspannung. Einige Anbieter wie z.B. Eaton führen komplexe Steuer- und Erfassungsalgorithmen in ihren USV mit Eco-Modus ins Feld, um dieses Problem in den Griff zu bekommen. In jedem Fall handelt es sich hier um einen weiteren Faktor, der beachtet werden muss, da

Auswirkungen auf den Betrieb

die Effizienzsteigerungen im Eco-Modus gegen verschiedene Kosten und Risiken abgewogen werden müssen.

Die Verwendung des Eco-Modus hat Auswirkungen auf den Betrieb, die zu erkennen und einzuplanen wichtig sein kann. Diese Konsequenzen werden in den nachfolgenden Abschnitten behandelt.

Testen

Das Verhalten des Eco-Modus ist standortspezifisch. Einflussgrößen sind die Qualität des Versorgungsnetzes und die Auswirkungen anderer Lasten am Standort auf das Versorgungsnetz. Daher ist es wichtig, Tests durchzuführen, um festzustellen, ob der Eco-Modus zur Sicherheitsanforderung passt und um die geeigneten Eco-Moduseinstellungen festzulegen. Dies beinhaltet Inbetriebnahmeprüfungen sowie ständige Messungen, um zu überprüfen, ob das System wie beabsichtigt betrieben wird.

Die Überprüfung des zuverlässigen Betriebs des Eco-Modus in einem realen Datacenter oder Krankenhaus ist schwierig. Es gibt viele Arten von transienten Störungen und Ereignissen in der Stromversorgung, die in einem Test sehr schwierig zu simulieren sind.

Einstellungen des Eco-Mode

Alle USV-Systeme mit Eco-Modus bieten unterschiedliche Einstellungen, die an die Anlage oder die Nutzerpräferenzen angepasst werden können. Dazu gehören typischerweise die Einstellung der Empfindlichkeit und von Verzögerungen beim Eco-Modus. Ist die Empfindlichkeit beim Eco-Modus zu hoch, kann es bei kleinen Netzstörungen zu Überreaktionen kommen, was den Wechselrichter zu oft aktiviert. Ist die Empfindlichkeit zu gering, kann der Eco-Modus zu viel Zeit benötigen, um auf ein größeres Stromversorgungsproblem zu reagieren. Die USV verfügt auch über eine Funktion, mit der sie den Eco-Modus eine Zeit lang aussetzt, wenn sie ein Stromversorgungsproblem wahrnimmt, und ihn nach einer gewissen Zeit mit stabiler Stromversorgung wieder aktiviert. Auch für diese Funktion können Einstellungen vorhanden sein. Für diese Einstellungen gibt es keine Standards, die für alle USV-Anbieter gelten, sie können unterschiedliche Bezeichnungen tragen oder auf verschiedene Weise funktionieren.

Einige Anbieter ermöglichen eine zeitliche Einstellung für das Aktivieren des Eco-Modus. Beispielsweise kann der Eco-Modus so programmiert werden, dass er nachts und an Wochenenden aktiv ist, wenn die IT-Zuverlässigkeit evtl. weniger kritisch ist.

Die Einstellungen für den Eco-Modus können im Laufe der Zeit eine Nachprüfung und Korrektur erfordern, und die aktuellen Einstellungen sowie die Einstellungswerte sollten dokumentiert werden.

Verfahren

Ein Betriebsleiter sollte überlegen, ob er Verfahren zum Einsatz des Eco-Modus festlegt, z.B. die Festlegung eines Verfahrens zum Abschalten des Eco-Modus, wenn häufige transiente Vorgänge beobachtet werden (was z.B. durch Bautätigkeit in der Nähe verursacht sein kann). Eine weitere Möglichkeit ist das Festlegen eines

Verfahrens zur Abschaltung des Eco-Modus, wenn ein Sturm bevorsteht, um die Versorgungssicherheit des Systems zu verbessern.⁶

Forensische Funktionen

In Anwendungen mit hohen Verfügbarkeitsanforderungen wie Datacenter und Krankenhäusern muss häufig die grundlegende Ursache eines Lastabfalls oder eines Fehlers festgestellt werden. Leistungsmessgeräte mit Aufzeichnungs- und forensischen Funktionen wie z.B. PowerLogic™ Messgeräte und Software der ION-Serie können die Leistungsdetails während eines Stromausfalls für spätere Untersuchungen aufzeichnen und werden typischerweise hierfür eingesetzt. Einige Kunden vertrauen auf die Entkopplung durch das USV-System, um weniger auf Leistungsmessgeräte im Datacenter angewiesen zu sein, oder sie verzichten aus Kosten- oder anderen Gründen auf diese Möglichkeit. Bei Einsatz des Eco-Modus erhöht jedoch die Verbindung der kritischen Last mit der nicht aufbereiteten Stromversorgung zusammen mit der gestiegenen Auftretenshäufigkeit der Modusumschaltung in der USV die Notwendigkeit von Leistungsmessgeräten erheblich, wenn man die grundlegenden Ursachen von Problemen mit der Stromversorgung herausfinden möchte.

⁶ Einige Anbieter haben sogar die Automation dieser Funktion über Software-Wetterwarnungen, die an die USV gesendet werden, diskutiert.

Schlussfolgerungen

Der Eco-Modus stellt einen möglichen Weg dar, Energie in Datacentern, Krankenhäusern und anderen Anwendungsfeldern von USV-Systemen zu sparen. Betreiber von Datacentern können Einsparungen in der Größenordnung von 2-3% der Gesamtenergie mit aktiviertem Eco-Modus erwarten. Höhere Einsparwerte sind möglich, wenn das Datacenter mit sehr geringen elektrischen Lasten betrieben wird. Die durch den Eco-Modus erzielbaren Energieeinsparungen werden immer geringer, je mehr die USV-Systeme der neueren Generation eine verbesserte Effizienz aufweisen.

Der Einsatz des Eco-Modus birgt jedoch auch Risiken. Durch den Eco-Modus gibt es im Betrieb eines Datacenters eine Reihe neuer Betriebsarten, außerdem wird der Schutz der Stromversorgung reduziert. Heutige Stromversorgungen und IT-Systeme sind wesentlich unempfindlicher gegenüber Schwankungen in der Stromversorgung als ähnliche Systeme älterer Generationen, was den Schluss nahe legt, dass diese Systeme im Eco-Modus zuverlässig funktionieren sollten. Komplexe Installationen mit einer Mischung aus IT-Systeme, Transformatoren, Umschaltern und anderen möglichen Lasten außerhalb des IT-Bereichs sind weniger vorhersagbar, was ihre Reaktion auf seltene und ungewöhnliche Störungen in der Stromversorgung betrifft; daher ist weniger sicher, ob sie mit dem Eco-Modus kompatibel sind. Diese Überlegungen haben den Einsatz des Eco-Modus in realen Datacentern in der Vergangenheit stark eingeschränkt und werden das wahrscheinlich auch in Zukunft tun.

Das Aufkommen des fortgeschrittenen Eco-Modus hat jedoch diese (bereits geringen) Risiken erheblich reduziert und erreicht dies bei lediglich geringen Nachteilen in der Effizienz im Vergleich zum Standard-Eco-Modus. Der fortgeschrittene Eco-Modus ermöglicht Energieeinsparungen bei besserem Schutz der angeschlossenen Lasten als der Standard-Eco-Modus. Unterschiedliche Anbieter realisieren den fortgeschrittenen Eco-Modus auf verschiedene Art und Weise und es gibt deutliche Unterschiede bei der Reaktion auf Störungen, der Dämpfung von Oberwellen und anderen Kennwerten unter den verschiedenen USV-Produkten.

Der Betrieb des Eco-Modus ist wie die Übergabe des Stabs in einem Staffellauf. Es kommt ganz darauf an, dass alles richtig funktioniert, jeder Wechsel ist ein wenig anders, und ganz selten kommt es zu Problemen. Deshalb sollte der Eco-Modus in Situationen eingesetzt werden, in denen so wenig Übergaben/Umschaltungen wie möglich notwendig sind, z.B. bei hervorragender Qualität der Stromversorgung.

Während die Auslegung von Datacentern, Krankenhäusern und Industrieanlagen immer stärker standardisiert wird, werden die IT-Systeme immer besser und es steht ein immer größerer Erfahrungsschatz zum Einsatz des Eco-Modus zur Verfügung; somit wird sich auch die Vorhersagbarkeit und das Vertrauen in den Eco-Modus weiter verbessern.



Info zum Autor

Neil Rasmussen ist Senior VP of Innovation bei Schneider Electric. Er gibt mit dem weltgrößten F&E-Budget für die Entwicklung der Stromversorgungs-, Kühlungs- und Rack-Infrastruktur für kritische Netzwerke die technologische Ausrichtung des Unternehmens vor.

Neil Rasmussen ist Inhaber von 25 Patenten im Bereich hocheffizienter Stromversorgungs- und Kühlungsinfrastruktur für Datacenter mit hoher Leistungsdichte. Er hat über 50 White Paper zu Stromversorgungs- und Kühlsystemen veröffentlicht, viele davon wurden in mehr als 10 Sprachen übersetzt. In der letzten Zeit stand dabei zunehmend die Optimierung der Energieeffizienz im Vordergrund. Er ist ein international angesehener Experte zum Thema hocheffiziente Datacenter. Neil Rasmussen arbeitet aktuell an Projekten zur Weiterentwicklung von hocheffizienten, skalierbaren Datacenter-Infrastrukturlösungen mit hoher Dichte und ist der Chefentwickler des APC InfraStruxure Systems.



Ressourcen



[Die verschiedenen Arten von USV-Systemen](#)

White Paper 161



[All White Paper](#)

whitepapers.apc.com



[Alle TradeOff Tools™](#)

tools.apc.com



Kontaktieren Sie uns

Rückmeldungen und Anmerkungen zum Inhalt dieses White Paper:

Data Center Science Center

dcsc@schneider-electric.com

Falls Sie Kunde sind und Fragen zu Ihrem spezifischen Datacenter-Projekt haben:

Sprechen Sie Ihren Schneider Electric Vertreter an

www.apc.com/support/contact/index.cfm