

Gesicherte Stromversorgung von Industrieanlagen

Einsatzgebiete und Unterschiede zu herkömmlichen USV-Systemen

O. Schröder, Fredersdorf

Für den störungsfreien Betrieb von Schaltanlagen und Industriesteuerungen sind viele verschiedene Komponenten über Bus-Systeme vernetzt. Es werden Informationen ausgetauscht und zentral verwaltet. Für die häufig extremen Anforderungen in der Industrie wurden spezielle Computer- und Bussysteme entwickelt. Die einwandfreie Funktion steht jedoch in direkter Abhängigkeit zur sicheren und unterbrechungsfreien Versorgung mit Betriebsspannung.

1 Qualität der Netzspannung

Die größten Gefahren für ein „Abstürzen“ von Computersystemen in Rechenzentren bzw. von Steuerungen und Leitsystemen in Industrieanlagen liegen in einer unzureichenden Spannungsversorgung. Dabei werden kurze Unterbrechungen der Netzspannung im Bereich 10 bis 15 ms durch Kapazitäten im Netzeingang der Schaltnetzteile (SMPS = Switch Mode Power Supply) der Computer ausgeglichen und führen meist nicht zu Datenverlusten.

Die Zeit zwischen zwei Ereignissen (MTBF = Mean Time Between Failure) liegt im mittlereuropäischen Netz bei 60 h, wenn die Ereignisse unter 15 ms vernachlässigt werden, bei ca. 100 h (Bild 1).

Durchschnittlich alle 60 bis 100 h laufen also empfindliche Verbraucher am Netz Gefahr, die Funktion zu verlieren. Noch brisanter wird diese Situation in Industrienetzen, die durch die verschiedenen Verbraucher (Antriebe, Stromrichter etc.) zusätzlich stark durch Störungen strapaziert sind.

Neben den klassischen Netzausfällen im Kurz- und Langzeitbereich stellen vor allem Spannungsschwankungen, Spannungsspitzen und der Netzspannung überlagerte Frequenzen (Spikes und Rauschen) eine Gefahr für den sicheren Betrieb von empfindlichen Verbrauchern dar (Bild 2).

Für ein professionelles Arbeiten mit Computersystemen im Bereich der IT-Anwendungen und erst recht für eine sichere Betriebsführung im Bereich von Industrieanlagen ist diese Gefährdung nicht akzeptabel.

Die einzige erfolgversprechende Maßnahme gegen diese Gefahren aus dem Netz ist nach wie vor der Einsatz von Unterbrechungsfreien Stromversorgungen (USV).

Mit dieser Maßnahme wird die MTBF des spei-

senden Systems aus Netz und Unterbrechungsfreier Stromversorgung (Gleichrichter, Batterie und Wechselrichter) wesentlich verbessert (Bild 3).

Herstellerangaben für die MTBF von Industrie-USV liegen bei ca. 200 000 h (23 Jahre), wobei ein geplanter Austausch von Verschleißteilen zu berücksichtigen ist. So erfolgt ein Lüftertausch nach etwa sieben bis zehn Jahren. Kondensatoren werden nach ca. 15 Jahren ausgetauscht.

2 Unterschiede zwischen Computer- und Industrie-USV

Die allgemeinen Anforderungen zur Ausführung und Prüfung von USV sind in der harmonisierten Europäischen Norm DIN EN 50091 Teil 1 festgelegt (Klassifikation DIN VDE 0558 Teil 510). Korrespondierende Normen sind IEC 146-4 (Prüfung) und IEC 62040-3 (Klassifikation). Die Normen gehen aber kaum auf die unterschiedlichen Anforderungen an die Anlagen bezüglich Umwelt, Standort, Versorgungsaufgabe etc. ein.

Bei der großen Auswahl an USV-Anlagen am Markt ist das mitunter ein Problem. Der

gesamte Markt für USV-Systeme (5 kVA und größer) betrug im Jahre 2002 weltweit ca. 2,75 Mrd. US-Dollar und europaweit ca. 540 Mio. US-Dollar (Bild 4).

Welche Versorgungsanforderungen mit welcher Anlage am besten zu erfüllen ist, richtet sich nach den konkreten Rahmenbedingungen. Unstrittig ist beispielsweise, dass eine Anlage zur Versorgung eines IT-Netzwerkes oder Rechenzentrums andere Verbraucherstrukturen versorgen muss und anderen Umweltbedingungen ausgesetzt ist als eine Anlage zur Versorgung einer Raffinerie, eines Kraftwerkes oder eines Gasspeichers.

Grundsätzlich kann eine Unterscheidung zwischen einer Industrie-USV und einer Standard-USV durch Betrachtung und Vergleich der folgenden Kriterien vorgenommen werden (Tafel 1):

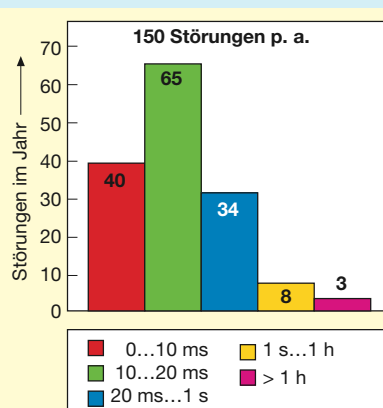
- Planung/Design
- Dokumentation
- Aufbau/Service.

Auch die Hersteller von USV-Anlagen unterliegen derzeit einem ungeheuren Preisdruck. Damit sind eine strenge Standardisierung und Anpassung an den Verwendungszweck ein Muss für alle Hersteller.

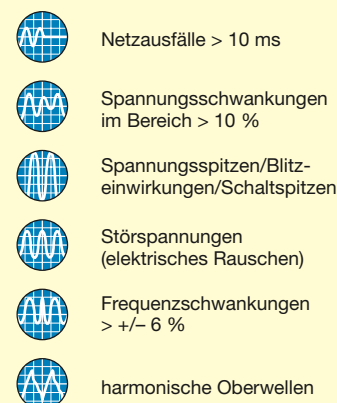
2.1 Unterschiedliche Lebensdauer

Standard-USV werden vorrangig für Computer-Anwendungen konstruiert und gebaut. Durch die rasant wachsenden Anforderungen auf dem Kommunikationssektor werden Computersysteme spätestens nach fünf bis zehn Betriebsjahren ausgetauscht. Die Stromversorgung wird dann meist mit ausgetauscht. Somit ist klar, dass Standard-USV nicht länger als fünf bis zehn Jahre Betrieb gewährleisten müssen.

Im IT-Sektor ist der überwiegende Anteil der Verbraucher prinzipiell gleich – Schaltnetzteile, die bereits erwähnten SMPS-Lasten mit AC 230 V oder 400 V als Betriebsspannung. Auf diese Tatsache gründet sich auch die Konstruktion und der Service dieser USV-Anlagenart. Die Folge sind äußerst preiswerte und



1 Dauer/Häufigkeit von Netzstörungen



2 Störungen in der Energieversorgung

Autor

Dipl.-Ing. (FH) Ovid Schröder ist Geschäftsführer der PEES Ingenieurbüro für Elektroenergieanlagen GmbH, Fredersdorf.

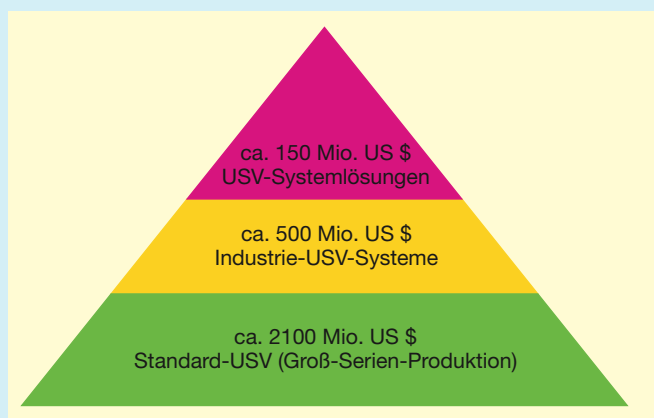
Verfügbarkeit = Wahrscheinlichkeit des Erfolgs = $R(t) = e$

λ = Fehlerrate = erwartete Fehler je Stunde $= \frac{1}{MTBF}$

$MTBF = \int_0^{\infty} R(t) dt = \frac{1}{\lambda}$

③ Allgemeine Zusammenhänge in der Verfügbarkeit

④ Der weltweite USV-Markt ►



diesem Zweck angepasste Systeme in einfacher oder redundanter Ausführung.

Im Gegensatz dazu wird ein Kraftwerk oder eine Industrieanlage hinsichtlich Konstruktion und Funktion der Gesamtanlage auf eine Lebensdauer von deutlich mehr als 20 Jahren geplant. Damit sollte natürlich die eingesetzte USV bezüglich des Designs und der garantierten Ersatzteilerbereitstellung mindestens auch dieser Lebensdauer angepasst sein.

2.2 Maßanzug statt Stangenware

Die Verbraucherstrukturen in Industrienetzen sind sehr unterschiedlich und in allen Spannungsebenen von AC bis DC ver-

treten. Diese angepassten Systeme verlangen damit natürlich auch ein angepasstes Engineering und eine entsprechende Dokumentation.

Eine kostengünstige Serienproduktion ist schwer möglich, und fast jede Anlage ist ein Unikat. Ein hoher Grad an Standardisierung der einzelnen Baugruppen (Module) ist jedoch auch hier Grundvoraussetzung für guten Service und die Sicherung der Wiederholbarkeit und Prüfung. Die standardisierten Baugruppen (Module) werden zu spezifischen Konfigurationen zusammengestellt und verschaltet. Das Ergebnis sind den vielfältigen Aufgaben in Design und Dokumentation angepasste System-

USV-Anlagen. Diese sind gegenüber den Standard-USV deutlich preisintensivere Systeme. Wenn man für eine Standard-USV-Anlage mittlerer Leistung und Autonomie je nach Ausführung mit einem Preis von ca. 0,4 bis 1,0 Euro je Watt rechnen kann, liegt dieser Preis bei ähnlicher Ausführung einer einfachen Industrie-USV bei 1,2 bis 2,0 Euro je Watt. Bei komplexen Systemen wird dieser Wert noch überschritten.

2.3 Preisdiktat gefährdet Menschen und Technik

Dieser gravierende Preisunterschied veranlasst viele Endkunden und Generalunterneh-

mer für Ihre Versorgungsaufgaben Standard-USV einzusetzen. So werden nicht die Anlagen den Bedürfnissen der Versorgungsaufgabe angepasst, sondern die Bedürfnisse und Versorgungsaufgabe den Möglichkeiten der USV-Anlage untergeordnet.

In der Industrie ist es aber in den wenigsten Fällen möglich, diese Aufgaben durch eine Standard-USV zu erfüllen, in einigen Fällen ist es sogar gefährlich für die Betriebssicherheit. Folgendes Beispiel soll etwas Licht in die manchmal unvernünftige und nur auf Preisoptimierung abzielende Einkaufspolitik bringen. Der Markt für kleinere Kraftwerke, meist Müllverbrennungsanlagen, Biomasse-Kraftwerke bzw. Heizwerke mit Kraft-Wärmekopplung ist derzeit aufstrebend.

Oftmals ist zu beobachten, dass für diese Kraftwerke Standard-USV-Anlagen aus ausschließlich preislichen Gründen eingesetzt werden. Dies bedeutet, dass wichtige Antriebe, wie z. B. Druckerhöhungspumpen für den Kessel, Notölschmierpumpen oder Hilfsantriebe für den Turbosatz direkt an den Wechselrichter angeschlossen werden. Oftmals erfolgt der Anschluss auch nur an eine einfache USV bzw. einen Wechselrichter ohne Redundanz. Dies spart auf den ersten Blick immense Kosten. Bei genauem Hinsehen wird jedoch offensichtlich, dass sich der Kunde eher in Gefahr begibt, wichtige Ausrüstungen im mehrfachen Fehlerfall zu gefährden, und dann hohe Folgekosten in Kauf nehmen muss. Wenn beispielsweise im Prozess des Abfahrens des Turboblöckes der Wechselrichter einen Defekt hat und das Bypassnetz nicht vorhanden ist, kann es zu Beschädigungen am Turbosatz und zu langen Produktionsausfällen kommen.

Deshalb müssen alle wichtigen Antriebe, die für das sichere Abfahren (z. B. eines Turboblöckes) verantwortlich sind, direkt von der Batterieanlage des USV-Systems versorgt werden. Diese Batterieanlagen sollten wie die USV als redundantes System ausgeführt sein und als wartungsarme Batterieanlage (Batterie mit flüssigem Elektrolyt und glasklarem Gehäuse) ausgelegt sein. Nur so lässt sich eine möglichst große Sicherheit erreichen. Die Praxis hat bewiesen, dass Fehler einer wartungsarmen Batterie mit ziemlicher Sicherheit auszuschließen sind – vor allem dann, wenn es sich um ein redundantes System handelt.

2.3.1 Investitions- statt Folgekosten

Der Kostenvergleich inklusive Folgekosten zeigt eindeutig, wie man an der falschen Stelle sparen kann.

Für ein kleines USV-System mit ca. 10 kVA und einen Turbosatz von ca. 2 MW stehen folgende Kosten gegenüber:

- Standard-USV AC, einfach mit ca. 30 min wartungsfreier Batterie: ca. 10 000 Euro
- Industrie-USV DC/AC, redundant mit 30 min wartungsarmer Batterie: ca. 38 000 Euro
- Turbosatz 2 MW: ca. 1,3 Mio Euro

Für ein mittleres USV-System mit ca. 60 kVA

Tafel 1 Unterscheidung Industrie-USV – Kommerzielle USV

	Planung/Design	Dokumentation	Aufbau/Service
Projekt- und System-USV	– angepasste Lösung – flexible Spezifikation – umfangreiche Tests – schwere Umweltbedingungen – angepasster Preis	– Nach Kundenanforderung – anlagenspezifisch	– übersichtlicher Aufbau in angepassten Schranksystemen – Lebensdauer > 20 Jahre – garantierte Ersatzteile > 20 Jahre
Industrie-USV	– Standardlösung – feste Spezifikation – begrenzte Tests – begrenzte Optionen – preiswert	– Standard mit Anpassungen	– gute Zugänglichkeit zu den Baugruppen – Standardschränke – Lebensdauer > 15 Jahre – Ersatzteile > 10 Jahre
Kommerzielle USV-Anlagen (Computer-USV)	– Massenproduktion – kein Engineering – automatisierte Tests – nicht für Industrieumgebung geeignet – kaum Optionen – sehr preiswert	– Standard – keine Anpassungen	– kompakte Bauweise, erschwerte Zugänglichkeit zu den Baugruppen – Lebensdauer: 5 bis 10 Jahre – Ersatzteilverfügbarkeit: 5 bis 10 Jahre

für einen Turbosatz von ca. 20 MW zeigt sich folgende Kostenstruktur:

- Standard-USV AC einfach mit ca. 30 min wartungsfreier Batterie 10-jährig: ca. 25 000 Euro
- Industrie-USV DC/AC redundant mit 30 min wartungsarmer Batterie: ca. 150 000 Euro
- Turbosatz 20 MW: ca. 4,5 Mio. Euro

An diesem Beispiel ist ersichtlich, dass für eine sichere Versorgung wichtigster und wertintensiver Komponenten eigentlich ein relativ geringer Preis für eine dem Zweck angepasste Sicherheit zu entrichten ist. Durch unüberlegte und falsch verstandene Sparsamkeit kann dagegen ein riesiger Schaden entstehen.

2.4 Technische Unterschiede

Um die konkreten und leicht zu erkennenden Unterschiede zwischen Industrie-USV und Computer-USV zu beschreiben, stellt sich zuerst die Frage nach dem DC-Zwischenkreis. Computer-USV-Systeme besitzen meist 380 V- oder 400 V-DC-Zwischenkreise. Das bedeutet, dass die Netzspannung über eine Anpass-Induktivität direkt über die meist gepulste Gleichrichterbrücke dem DC-Zwischenkreis zugeführt wird. Die Anlage kommt damit ohne Eingangstrenntransformator aus. Der Gesamtwirkungsgrad verbessert sich.

Die Folge ist ein TN-Netz auf dem DC-Zwischenkreis. Der erste Fehler eines DC-Außenleiters gegen Erde führt zum Kurzschluss und damit zur Abschaltung der Batterie. Das USV-System wird auf Bypass schalten und der Verbraucher nur noch über das unsichere Netz versorgt.

Bei Computer-USV werden meist fünf- oder zehnjährige wartungsfreie Bleibatterien verwendet, die im USV-Gehäuse oder in abgeschlossenen Batterieschränken eingebaut sind. Diese preisgünstige Lösung ist hier akzeptabel, da eine Wartung nur von geschultem Servicepersonal durchgeführt werden kann. Bei Industrie-USV werden wegen der höheren Zuverlässigkeit oft wartungsarme Batterien auf Gestell im Batterieraum verwendet. Die damit gegebene bessere Zugänglichkeit wird

genutzt für Servicearbeiten, wie beispielsweise das Wassernachfüllen vom Betreiber selbst. Ein Erdschluss im Zwischenkreis der USV ist hier wesentlich wahrscheinlicher und hätte die beschriebenen negativen Folgen. Deshalb ist ein wesentliches Kennzeichen von Industrie-USV das IT-Netz auf dem Gleichspannung-Zwischenkreis.

Ein Fehler führt nur zur Meldung, nicht zum Abschalten!

Als Potentialtrennung zum speisenden Netz muss deshalb ein Trenntrafo im Gleichrichter-Netzeingang vorgesehen werden. Natürlich wird bei einer Industrie-Anlage die Gleichspannung auch für weitere Zwecke als nur zur Versorgung des Wechselrichters verwendet und oftmals über zusätzliche Schalter ausgespeist. Deshalb ist neben dem IT-Netz die Verwendung von DC 220 V oder in Ausnahmefällen von DC 110 V als gängige DC-Versorgungsspannung ein Kennzeichen der Industrie-USV.

Der Nachteil dieser Konfiguration liegt im geringeren Wirkungsgrad bzw. einer höheren Verlustleistung als bei einer Standard-USV. Dies resultiert aus dem Einsatz eines Trenntrafos im Netzeingang und vor allem aus der geringeren Zwischenkreisspannung. Bei geringerer Spannung und gleicher Leistung steigt der Strom an und geht für die Verlustleistung quadratisch in die Rechnung ein. Die wesentlich höhere Versorgungssicherheit rechtfertigt diesen Nachteil auf jeden Fall.

3 Spezifische Eigenschaften einer Industrie-USV

Weitere charakteristische Merkmale für Industrie-USV-System gewährleisten die notwendige Sicherheit für die angeschlossenen Verbraucher. Hier lassen sich folgende Punkte zusammenfassen.

Konstruktive und mechanische Ausführung:

- anpassbares Schaltschranksystem für die Anreihung an vorhandene Schaltanlagen

- Schranksystem ist unterteilt in Anschlussfeld und separiertem Modulfeld (Gleichrichter – GR, Wechselrichter – WR, Elektronische-Überwachungs-Einrichtung – EUE)
- Service-Handbypassschalter schalten unterbrechungsfrei im separaten Anschlussfeld
- Hauptbaugruppen wie WR, GR, EUE sind in Modultechnik ausgeführt
- alle Module und Wickelgüter (Trafo, Drosseln) sind temperaturüberwacht
- interne Steuerspannungsversorgung arbeitet redundant und wird aus jeder Source gespeist
- das Verdrahtungsmaterial ist halogenfrei und flammenhemmend
- Anlagenbelüftung durch redundante Einschublüfter mit Einzelüberwachung oder Eigenbelüftung (ist jedoch wegen der höheren Bauteiltemperaturen ungünstig)

Elektrische Ausführung:

- Trenntrafo im GR-Netzeingang ist als vollgesteuerte 6- oder 12-Puls-Brücke ausgeführt
- Gleichrichter (GR) ist für die Ladung aller Batteriearten ausgelegt, mindestens zwei IU-Lade-Kennlinien (Stark- und Schwebeladespannung)
- Batteriestrombegrenzung ist frei programmierbar auf die angeschlossene Batterie

- besonders intensive Batterieüberwachung (Batterie-Erdschluss, Batterie-Mittenüberwachung – Symmetrie)
- Batterie-Kapazitätstest erfolgt nach programmierten Batterieentladekurven
- Batterie-Kapazitätstest ist periodisch, automatisch oder manuell einleitbar
- Temperaturführung der Ladespannung/ Temperaturalarm
- Überwachung und Meldung aller AC- und DC-Spannungen und Level
- Anzeige der Messwerte über Klartextdisplay mit Fehlerspeicher und Zeitstempel
- Blindschaltbild mit Funktions-LED und Fehler-Melde-LED
- Wechselrichter (WR) ist für volle Speisung von Lasten mit Leistungsfaktor $0,4_{\text{ind}} - 0,9_{\text{cap}}$ ausgelegt
- WR ist ebenfalls ausgelegt für die Speisung jedes Last-Crest-Faktors
- Auslegung des WR auf den notwendigen Kurzschlussstrom zur Sicherheitsauslösung
- WR-Bussteuerung des Parallelbetriebes bei redundanten Wechselrichtern
- bei redundanten Anlagen erfolgt keine feste Einteilung der Wechselrichter (WR) in Master und Slave – jeder WR kann beides sein
- WR-Busverriegelung bei Speisung auf eine Ausgangsverteilung mit Querkupplung

- Steuerung erfolgt digital über Mikroprozessor, permanente Sicherung der Sollwerte über EPROM
- Separater Bypassnetzeingang, bei Bedarf auch mit Bypassstrenntrafo
- die Elektronische-Überwachungs-Einheit (EUE) ist ausgeführt als statischer Schalter im Bypasseingang und Wechselrichter-Ausgang
- die Elektronische-Überwachungs-Einheit (EUE) ist als statische Schalter ohne Überbrückungsschutz ausgeführt.

Ablauf und Dokumentation:

- Vorabdokumentation vor Produktionsaufnahme zur Bestätigung an den Kunden
- Angepasste Dokumentation nach Kundenspezifikation
- Ausführliche Tests mit Dokumentation aller Betriebszustände
- Erwärmungstest im gewählten Gehäuse, Aufzeichnung aller Hauptbaugruppen
- Burn-In über mindestens 12 h
- Werksabnahme unter Beisein des Kunden, Nachweis aller Forderungen.

Auf Details der genannten Punkte geht ein Folgebeitrag ein.