

Gesicherte Stromversorgung von Industrieanlagen

Teil 2: Konfiguration und Dimensionierung

O. Schröder, Fredersdorf

Im ersten Teil wurden die unterschiedlichen Anforderungen bei Industrie- und Standard-USV vorgestellt. Die Auswirkungen auf Planung und Konstruktion einer Industrie-USV werden im Folgenden erläutert. Dabei spielen aktuelle Erfahrungen mit kaufmännischen und technischen Entscheidungsprozessen eine zentrale Rolle.

Die Mehrzahl der in Teil 1 genannten Anforderungen an Aufbau und Konstruktion einer Industrie-USV (Bild 5) erklären sich von selbst. Auf einige spezielle Forderungen an die elektrische Ausführung wird im Folgenden etwas genauer eingegangen.

3.1 WR-Auslegung für jeden Last-Crest-Faktor

Der Crest-Faktor einer Last ist gekennzeichnet durch das Verhältnis von Spitzenstrom zu Effektivwert des eingezogenen Laststromes. Im Normalfall wäre dies als Dachwert der Sinuswelle $\sqrt{2} = 1,41$ für den Effektivwert „1“.

Bei den erwähnten SMPS-Lasten kann es zu Crest-Faktoren bis „5“ kommen. Die Spitzenströme entstehen durch schlagartigen Strom-einzug in Kondensatoren am Netzeingang der Schaltnetzteile. Diese dienen u. a. dazu, eine Stabilisierung bei kleinen „Netzschwächen“ zu erreichen. Der speisende Wechselrichter (WR) sollte in der Lage sein, diese Spitzenströme ohne Leistungsreduzierung zu liefern. Das kann durch einen Regelungseingriff in die Form der WR-Ausgangsspannung erreicht werden. Durch eine leichte Abflachung im steilsten Anstieg der Sinusspannung wird der Strom-einzug sozusagen gebremst. Bei gleichen Effektivwerten verliert so der Scheitelwert an Höhe. Wechselrichter, die mit einer solchen Regelung ausgestattet sind, haben keine Probleme mit diesen SMPS-Lasten. Der Nachteil dieser Regelung besteht in der Erhöhung des Klirrfaktors der WR-Ausgangsspannung. Die maximalen Werte des Klirrfaktors bei voller SMPS-Last liegen jedoch bei ca. 5 % und

sind damit völlig unkritisch für alle angeschlossenen Verbraucher. Klirrfaktoren des Sinus bei normaler Netzspannung liegen zwischen ein bis zwei Prozent.

3.2 WR-Auslegung für induktive und kapazitive Lasten

Viele Wechselrichter (WR) von kleinen Standard-USV (bis 5 kVA) liefern 100 % der Nennlast bei einem $\cos \varphi$ von 0,7.

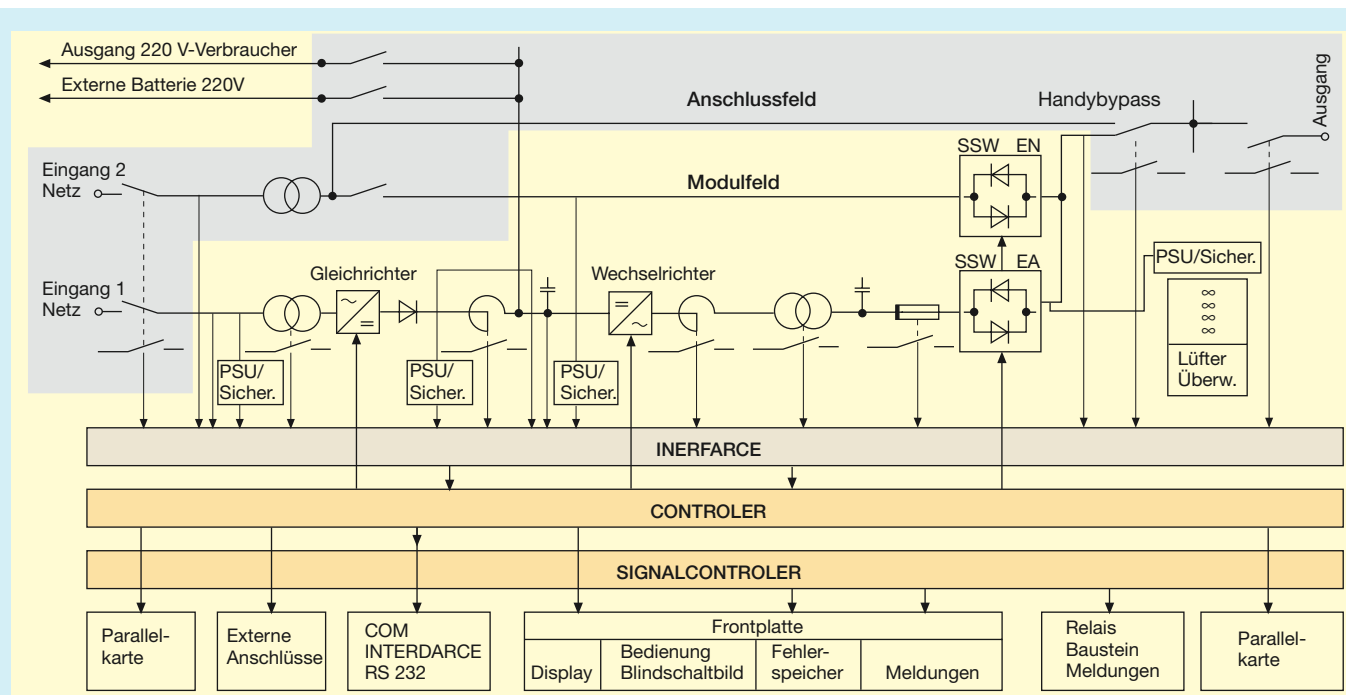
Größere Wechselrichter sind in der Regel auf einen Leistungsfaktor $\cos \varphi$ von 0,8 eingestellt. Dies resultiert aus der Tatsache heraus, dass kleine USV nur für Schaltnetzteile von Computern ausgelegt werden und diese früher einen $\cos \varphi$ von 0,7 generierten. Größere Wechselrichter wurden auf die meist induktiven Lasten in Industrie- und Mischnetzen eingestellt. Hier war in der Regel ein durchschnittlicher Leistungsfaktor $\cos \varphi$ von 0,8_{ind.} zu verzeichnen. **Diese Zeiten sind jedoch längst vorbei!**

Wer heute noch einen Wechselrichter mit 100 % Last bei $\cos \varphi$ 0,8 kauft, stellt fest, dass die meisten Verbraucher bei einem Nennstrom bis 16 A keine Blindleistung mehr erzeugen. Dies ist die Folge neuer EMV-Normen – siehe auch DIN EN61000-3-2 (Klassifikation VDE0838, Teil 2). Der $\cos \varphi$ tendiert hier gegen „1“ und ein solcher WR bringt bereits 20 % zu wenig Leistung. Ein zeitgemäßer Wechselrichter muss folglich auch bei Lasten mit $\cos \varphi = 1$ vollen Nennstrom leisten können!

Hier stellt sich nun die Frage, warum Wechselrichter überhaupt auf 0,8 $\cos \varphi$ eingestellt werden. Die Antwort ist bereits im Prinzipschaltbild der Industrie-USV zu finden (Bild 5). Jeder Wechselrichter erzeugt die Aus-

Autor

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



5 Konzept und Aufbau einer Industrie-USV

gangsspannung über ein Pulsmuster. Zur Glättung der Ausgangsspannung sind im WR-Ausgang neben Anpasstransformator mindestens eine Induktivität und ein Kondensatorenblock angeordnet.

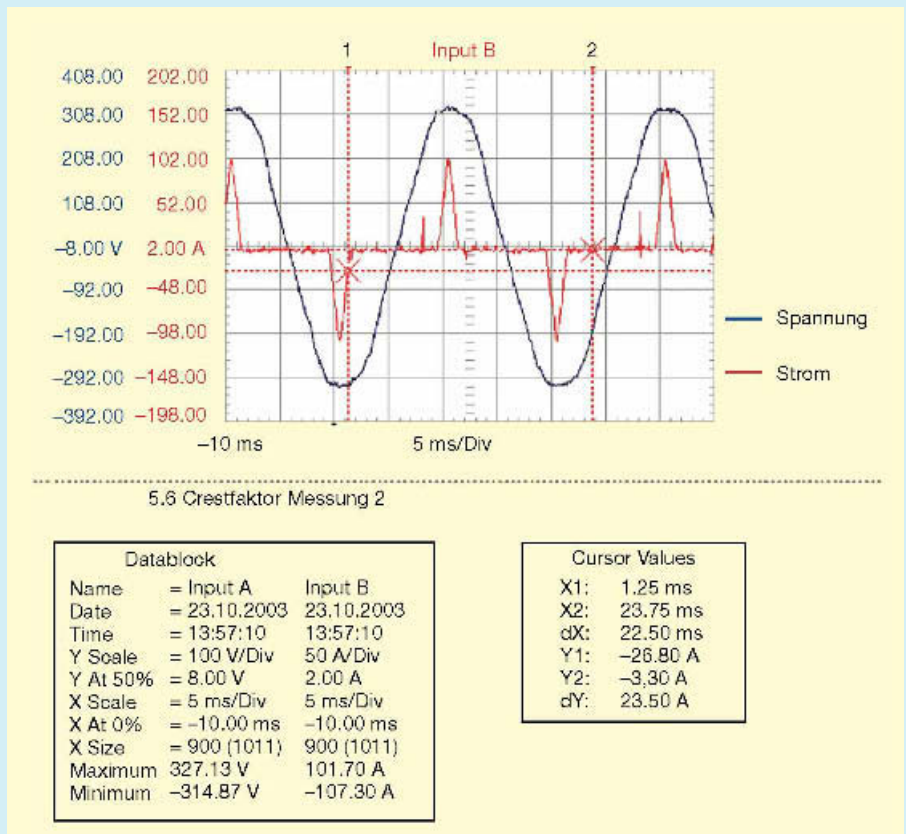
Mit der WR-Einstellung von 100 % Nennleistung bei einer Last mit $\cos \varphi$ 0,8 fließt aus dem Wechselrichter nur der Wirkanteil der Last von 80 %. Die Anforderung der Last an induktivem Blindanteil wird direkt aus der Kondensatorenbank des Ausgangsfilters geliefert. Damit kann der Wechselrichter natürlich geringer dimensioniert werden.

Das spart zwar Kosten, hilft jedoch wenig bei der Versorgung der neuen Verbraucher mit einem Leistungsfaktor von $\cos \varphi = 1$.

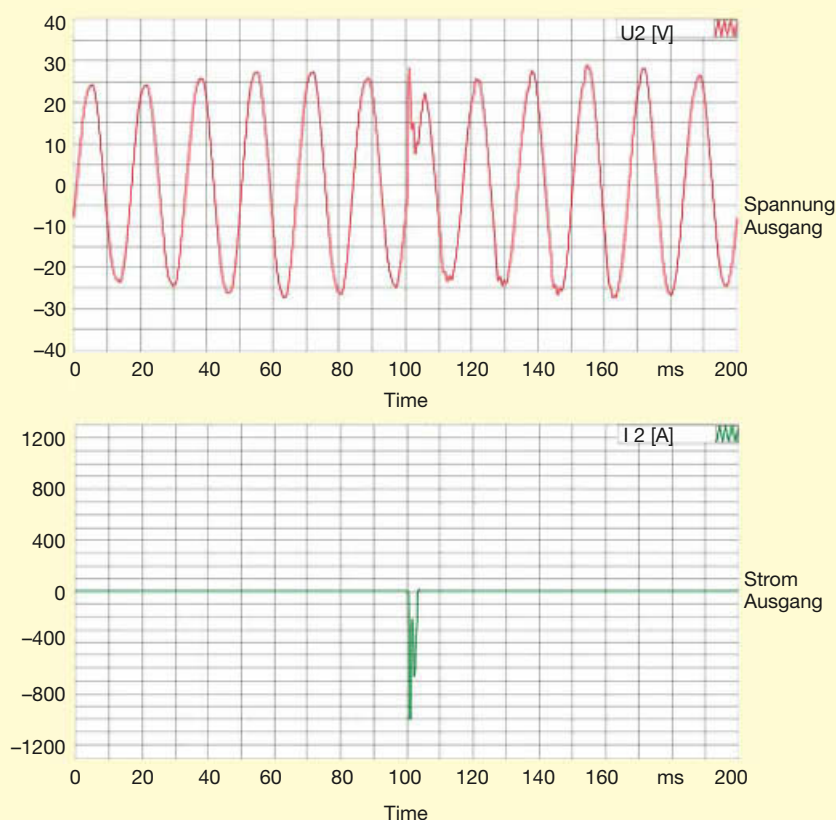
Sehr deutlich wird dies auch anhand der Aufzeichnung des Netzersatzfalls SMPS (Bild 6). Trotz starker Spitzenströme liegen Strom- und Spannungskurve übereinander. Das bedeutet, es fällt keine Blindleistung an, sondern nur oberwellenreicher Strom!

3.3 WR-Auslegung für Kurzschlussstrom zur Sicherungsauslösung

Enorm wichtig in der Industrieanwendung ist die Beherrschung der verschiedenen Fehlerfälle. Bei einer hochverfügbaren (redundanten) USV müssen folgende Fehlerfälle sicher beherrscht werden:



6 Aufzeichnung des Spitzenstromes eines SMPS (Switch Mode Power Supply)



⑦ Auslösevorgang eines 16 A-C-Automaten mit einphasigem 30 kVA-Wechselrichter

- Netzausfall
- Netzausfall + Ausfall einer Anlage
- Netzausfall + Ausfall einer Anlage + Kurzschluss in einem Verbraucherabzweig.

Der dritte Fehlerfall wird hier näher betrachtet. Handelsübliche Wechselrichter haben in der Regel folgende Überlastmerkmale:

- 125 % Nennleistung für 10 min
- 150 % Nennleistung für 1 min
- 200 bis 300 % Kurzschlussstrom für ca. 100 ms.

Wie bereits erwähnt, bleiben Netzausfälle im Bereich von ca. 10 bis 15 ms in der Regel ohne Folgen für die angeschlossenen Verbraucher. Daraus folgt, dass eine Sicherung im Kurzschlussfall innerhalb von ca. 10 ms ausgelöst sein muss bzw. die Ausgangsspannung innerhalb von 10 ms wieder in den für die Verbraucher akzeptablen Grenzen liegen muss. Der speisende Wechselrichter ist folglich in der Planungsphase hinsichtlich der Kurzschlussleistung den Netzverhältnissen anzupassen. Bei Standard-USV-Anlagen ist dies nur durch die Wahl der entsprechend größeren USV-Typenleistung möglich.

Die Modultechnik im Bereich der Industrieanlagen macht es möglich, ein Wechselrichtermodul mit einer höheren Stromtragfähigkeit mit den entsprechend kleineren Bauteilen wie Ausgangstransformator oder Gleichrichter zu

kombinieren, um so ein angepasstes USV-System zu konstruieren.

Besonderes Augenmerk muss auf die Einhaltung der Selektivität der eingesetzten Sicherungen gelegt werden. Insbesondere auf die Auswahl der entsprechenden Kennlinienart sollte geachtet werden. So sind Automaten nur mit vorgeschalteten Sicherungen selektiv zu gestalten. Untereinander kann kaum Selektivität erreicht werden.

Eine Ausnahme bilden Hauptsicherungsautomaten der Fabrikation ABB STOTZ der Typenreihe S700 zu den entsprechenden Automaten aus den Baureihen S260 und folgende. Bei längeren Kabeln ist in Bezug auf die Auslösekennlinien der eingesetzten Sicherungen zu berücksichtigen, wie sich die Dämpfungen der Impedanzen auf den Kurzschlussstrom des Wechselrichters auswirken. Die Auslösezeit muss dabei immer unter 10 ms in den entsprechenden Diagrammen angesetzt werden. Längere Kurzschlusszeiten von Wechselrichtern – wie in vielen Ausschreibungen gefordert – sind damit völlig ohne Bedeutung. Wenn der Wechselrichter nicht innerhalb von 10 ms den Vorgang beendet, kommt dies einem Netzausfall gleich.

Bild 7 zeigt die Leistungsfähigkeit eines vergrößerten Wechselrichters mit 30 kVA Nennleistung. Folgende Leistungsmerkmale kennzeichnen diese Anlage:

- Nennstrom 30 kVA einphasig: 131 A
- Nenn-Kurzschlussstrom 30 kVA einphasig bei 200% I_n : 262 A
- benötigter Kurzschlussstrom bei Auslösung Automat C16 unter 10 ms: ca. 200 bis 280 A
- Stosskurzschlussstrom gemessen bei Auslösen Automat C16: 1000 A
- Kurzschlussstrom effektiv, gemessen bei Auslösen Automat C16: ca. 480 A
- Auslösezeit des Automaten C16: ca. 5 ms.

4 Netzgestaltung für hochverfügbare Industrie-USV-Anlagen

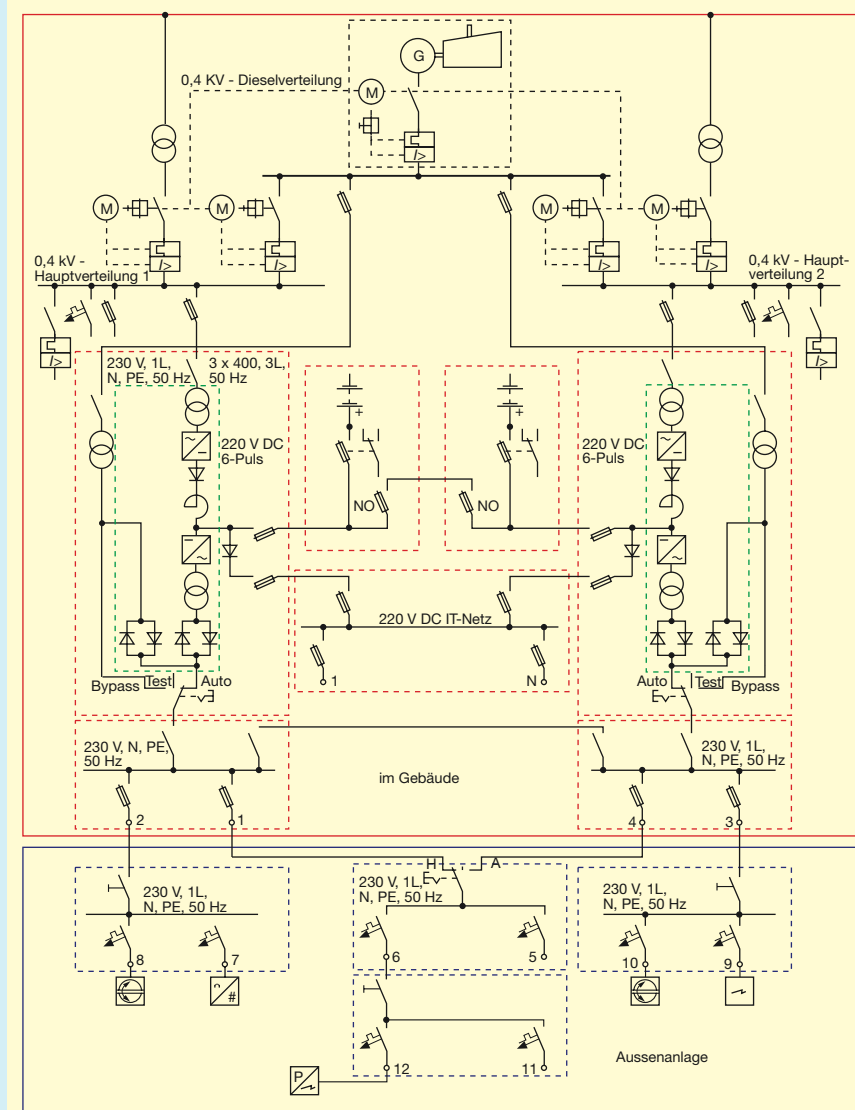
Bild 8 zeigt eine Netzkonfiguration mit Dieselgenerator und redundanten Industrie-USV-System. Für den Aufbau von Redundanzen sind hier folgende Aspekte wichtig:

- Verriegelung des Dieselgenerators mit den Einspeisungen
- Entkopplung der GR-Ausgänge und DC-Auspeisung
- Verriegelung der Einspeiseschalter bzw. der Querkupplung der Wechselrichterausgangsverteilung mit der Bussteuerung der redundanten Wechselrichter.

Einige ausgewählte Aspekte der Netzgestaltung werden nachfolgend erörtert.

4.1 Dieselgenerator und USV-Anlage

Für die längere Autonomie (> 60 min) einer Anlage sollte der Einsatz eines Dieselgenerators als Alternative zur großen Batterieanlage geprüft werden. Bei der Planung des Systems



8 Anlagengestaltung zur Erhöhung der Verfügbarkeit

USV-Dieselgenerator muss jedoch auf das Leistungsverhältnis Ladegleichrichters/Dieselgenerator geachtet werden.

Funktionierende Systeme erhält man beim Einsatz von gepulsten Gleichrichtern als Sechs-Puls-Brücke mit einem Verhältnis von 3:1 und als Zwölf-Puls-Brücke mit 2:1. Der Dieselgenerator muss also hinsichtlich Oberwellenbelastung und Blindleistung größer ausgelegt sein als der Gleichrichter.

Durch den Einsatz von Delta-Umrichtern oder getakteten Gleichrichtern bringen Standard-USV-Anlagen sinusförmige Netzeingangsströme sowie einen $\cos \varphi = 1$ und haben so einen klaren Vorteil. Der Dieselgenerator muss hier lediglich um den Wert des möglichen Ladestromes der Batterie und die Verlustleistung der Anlagen erhöht werden. So ist ein Leistungsverhältnis von 1:1,3 ausreichend.

Vielfach wird in Ausschreibungen verlangt, dass die Batterie-Ladung unterdrückt werden

muss. So soll der Dieselgenerator weniger Belastungen ausgesetzt sein und kleiner dimensioniert werden können. Auch schwankenden Frequenzen werden zur Begründung herangezogen.

Diese Forderungen sind völlig unbegründet, da heutige Verbraucher meist Frequenzschwankungen von $\pm 6\%$ problemlos überstehen. Für die Verfügbarkeit der Batterie ist es zudem auch sinnvoll, wenn nach Netzausfall und Einschalten des Dieselgenerators die Batterie sofort wieder geladen wird. Eine Ladestrombegrenzung auf 10 % des Nennkapazitätswertes ist hier angebracht.

4.2 Auslegung des Wechselrichters

Die Frage, ob ein Wechselrichter ein- oder dreiphasig auszulegen ist, wird oftmals allzu schnell mit dreiphasig beantwortet. Bei näherer Betrachtung der Versorgungsaufgaben ist jedoch in 80 % der Fälle auch ein einphasiger Wechselrichter einsetzbar.

Die Vorteile des einphasigen Wechselrichters liegen – bei gleicher Leistung – in der dreifach höheren Kurzschlussleistung. Die Gestaltung eines selektiven Netzes wird dadurch wesentlich vereinfacht. Als Nachteil zu verkraften sind allerdings größere Kabelquerschnitte – bedingt durch höhere Verbraucherströme.

4.3 Netzform am Wechselrichter-Ausgang

Die sicherste Netzform ist das IT-Netz, da der erste Fehler gegen Erde nicht zur Auslösung sondern nur zur Anzeige führt. Diese Netzform ist zudem eventuellen Störtransienten aus dem Nullsystem nicht ausgesetzt. Diese können im stark belasteten Industrienetz sehr unangenehme Folgen haben. Ein AC-Netz als IT-Netz kann allerdings nur als einphasiges Netz empfohlen werden, da im dreiphasigen Netz bei einem Doppelerdschluss mit äußerst gefährlichen Spannungserhöhungen zu rechnen ist. Aus folgenden Gründen ist diese Netzform jedoch mit erhöhten Kosten verbunden:

- zweipolige Absicherung
- aufwendige Erdschlussüberwachung
- Trenntransformatoren in den Bypasseingängen für die Potentialtrennung zum vorgelagerten Netz.

4.4 Verriegelungen und Schaltfehlerschutz

Die erste notwendige Verriegelung erfolgt zwischen Dieselgenerator und den Netzeinspeisungen der NS-Hauptverteilung. Dann folgt der Anschluss der Bypass-Einspeisungen. Während das speisende Netz für die Gleichrichter keiner besonderen Auswahl unterliegt, muss bei den Bypässen streng darauf geachtet werden, dass jeder Bypass immer die gleiche Synchronbasis für die Wechselrichter hat, sprich vom gleichen Netz aus eingespeist wird.

Der nächste Punkt näherer Betrachtung ist die 220V-Schiene. Hier sollten zur Vermeidung von Querströmen, wie in den Gleichrichterausgängen, Entkoppeldioden vorgesehen werden. Eine sehr wichtige Verriegelung betrifft Einspeiseschalter und Querkupplung der Wechselrichterausgang-Verteilung. Je nach Schalterstellung müssen die Wechselrichter im Fehlerfall anders reagieren:

A) Beide Einspeiseschalter und Kupplung geschlossen – Redundantbetrieb:

- ein WR hat einen Fehler
- der fehlerhafte WR schaltet sich aus
- der intakte WR übernimmt die Versorgung
- der zweite WR hat auch einen Fehler
- beide WR schalten den Bypass ein.

B) Einspeiseschalter oder Kupplung offen, beide Anlagen im Monoblockbetrieb:

- ein WR hat einen Fehler
- der fehlerhafte WR schaltet auf Bypass
- der WR speist weiter
- der zweite WR hat auch einen Fehler
- auch dieser WR schaltet auf Bypass.

Möglich ist etwa, dass nach einer Schalthandlung die Kupplung offen geblieben ist. Die

Folge ohne Verriegelung und WR-Defekt ist die Schwarzschtaltung der betroffenen Anlagenhälfte!

Bezüglich der Synchronisation der Wechselrichterausgänge ist außerdem eine Bus-Kommunikation erforderlich. Der zuerst auf sein Bypassnetz synchronisierte Wechselrichter gibt dabei den Takt an. Ob nun die Querkupplung der Ausgangsverteilung offen oder geschlossen ist, die Schalterstellung der Einspeisungen oder Querkupplung lässt sich immer ändern. Es muss nicht über die Handbypässe der Anlagen geschaltet werden. Denn für diesen Augenblick würde die Anlage am unsicheren Bypassnetz arbeiten – für eine hochverfügbare Anlage undenkbar!

4.5 Funktion der Elektronischen Umschalt-Einrichtung (EUE):

Die oben gezeigte Netzkonfiguration könnte aus Kostengründen auch auf die statischen Schalter in den Wechselrichterausgängen verzichten und nur mit den statischen Schaltern in den Bypässen arbeiten.

Da die Möglichkeit des Rückstromes auf Kondensatorblock und Ausgangstrenntrafo im WR-Ausgang besteht, ist davon abzuraten. Dieser Fall kann z. B. nach einer Revision und Zuschalten des Einspeiseschalters ohne vorherige Wiederinbetriebsetzung der revidierten Anlage eintreten. Die Ladeströme von Trafo und Kondensatorenblock würden einen kurzschlussähnlichen Fall darstellen. Es könnten Sicherungen abschmelzen oder bei unzureichender Bypassspannung eine Spannungsabsenkung auf der sicheren Schiene erfolgen!

5 Fazit

Die Anforderungen an Unterbrechungsfreie Stromversorgungen sind stark abhängig von der Art der Versorgungsaufgabe.

Was im ersten Moment als preiswert und ausreichend erscheint, kann sich für die Versorgungsaufgabe als völlig ungeeignet erweisen. Eine gründliche Planung und sorgfältige Aufstellung der Anforderungen ist bei diesen Anlagen von großer Bedeutung. Die USV ist nur Mittel zum Zweck. Versagt jedoch deren Funktion, sind meist weit wertintensivere Anlagen gefährdet oder es drohen hohe Verluste durch Produktionsausfälle. ■