

# Veröffentlichung in 'de' - Der Elektro- und Gebäudetechniker, Ausgabe 23-24/2006

## Zentrales ZSV-Netz im Batteriebetrieb

Praxiserfahrungen in einem Krankenhaus

Dragan Sofic

Der Autor berichtet in diesem Beitrag über seine Erfahrungen bei der Berechnung, Projektierung und Ausführung eines Netzes, welches für eine zusätzliche Sicherheitsstromversorgung (ZSV) notwendig ist.

Der Planer benötigt für die Projektierung und Komponentenauswahl eines zusätzlichen Sicherheitsstromversorgungs-Netzes sowie zur Überprüfung der Einhaltung der erforderlichen Abschaltbedingungen und der Selektivität bestimmte Daten. Sie sind das Ergebnis von Kurzschlussstromberechnungen für folgende Strompfade:

- 1) Mittelspannung-Übergabepunkt: Transformatorstation-NSHV-AV → Kupplung-NSHV-SV → EUE der ZSV medizinisches IT-System;
- 2) Notstromaggregat → NSHV-SV → EUE der ZSV des medizinischen IT-Systems und
- 3) Wechselrichter der ZSV (mit Speisung aus der Batterie) → medizinisches IT-System.

Für die richtige Projektierung und Auswahl der Komponenten eines ZSV-Netzes sowie die Einhaltung der erforderlichen Abschaltbedingungen und der Selektivität ist insbesondere die dritte Berechnung von Bedeutung. Diese Betriebsart – d.h. der Batteriebetrieb der ZSV, welcher bei Ausfall des Netzes auftritt – gilt als kritisch, insbesondere bei Kurzschlüssen.

### Batteriebetrieb der ZSV

Zur Veranschaulichung der im Folgenden geschilderten Zusammenhänge zeigen die Bilder 1 und 2 den aufgeteilten Übersichtsplan einer zentralen ZSV im Batteriebetrieb. Es handelt sich hier um das praxisnahe Beispiel eines Krankenhauses mit einer zusätzlichen Sicherheitsstromversorgung (ZSV) in zentraler, statischer Ausführung zur Versor-

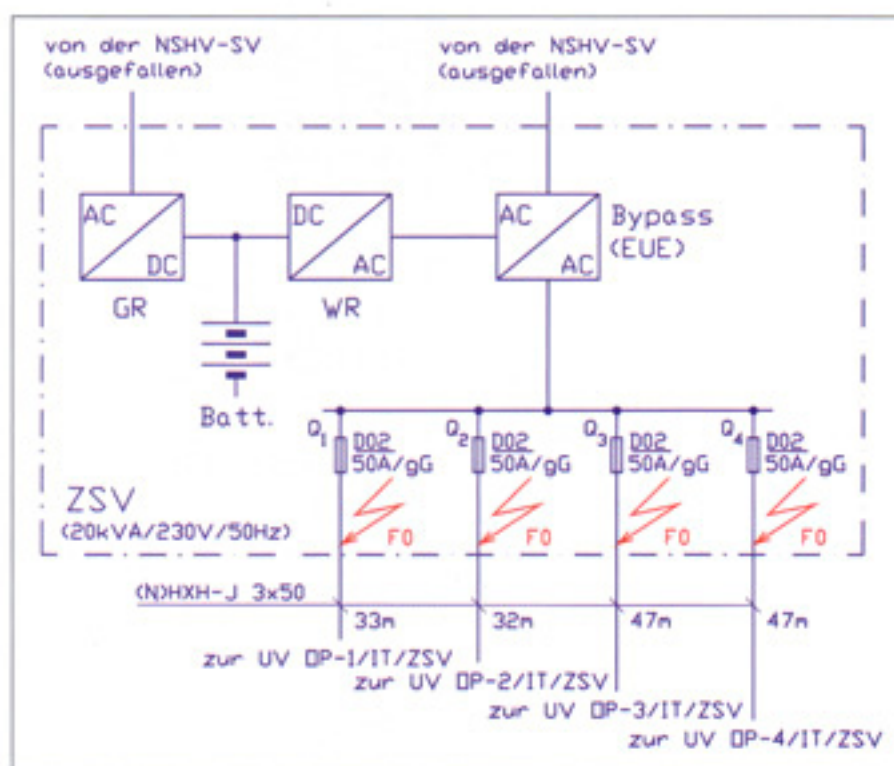


Bild 1: Zentrale ZSV im Batteriebetrieb – Schema ZSV und Abgänge zu den Unterverteilungen der IT-Systeme von vier OP-Bereichen (OP1 ist im Bild 2 dargestellt)

gung von vier Operationsbereichen (OP). Bild 2 stellt die Fortsetzung der Zeichnung für die OP-1/IT/ZSV dar (siehe Bild 1, links unten). Für die Unterverteilungen OP-2/IT/ZSV bis OP-1/IT/ZSV ergeben sich fast identische Darstellungen wie im Bild 2. Sie unterscheiden sich lediglich in den Leitungslängen der Zu- und Ableitungen und sind daher hier nicht abgebildet.

Betrachten wir zuerst die übliche Einspeisung der ZSV aus der NSHV-SV. Sie erfolgt entweder aus der Transformatorstation über die Kupplung AV-SV (der erste o.g. Strompfad) oder aus dem Notstromaggregat bei einer Störung der allgemeinen Stromversorgung (zweiter Strompfad). Kurzschlüsse, die hinter der ZSV auftreten, lassen sich selektiv leichter abschalten, weil dann eine große Kurzschlussleistung bzw. ein großer Kurzschlussstrom aus der Einspeisung zur Verfügung steht.

Den dritten Strompfad (Batteriebetrieb der ZSV) müssen wir näher betrachten. Entstehende Kurzschlüsse während des Batteriebetriebs der ZSV können zu deren Totalausfall mit all seinen fatalen Folgen führen.

### Geforderte Berechnungen

Um dies zu vermeiden, muss die Berechnung, Bemessung und Auswahl

- der ZSV,
- des IT-Trenntransformators,
- des Leitungsnetzes,
- der dazugehörigen Überstromschutzeinrichtungen (also des medizinischen IT-Systems bzw. des kompletten ZSV-Netzes) sowie
- die Überprüfung der Abschaltbedingungen und der Selektivität, mit besonderer Sorgfalt erfolgen.

Eine zentrale ZSV speist im Regelfall mehrere medizinische IT-Systeme ein, d.h. sie verfügt über mehrere Abgangsstromkreise. Im hier verwendeten Beispielsprojekt sind es insgesamt vier Operationsbereiche (OP-1... OP-4).

Nach DIN VDE 0100 Teil 710 Punkt 514.6 ist der rechnerische Nachweis der selektiven Abschaltung sowie der Erhaltung der Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag und zu hohe Erwärmung zu erbringen. Unter dem gleichen Punkt in der Anmerkung 4 steht auch Folgendes: »Bei elektronischen Stromquellen (Wechselrichtern) ist der rechnerische

Dipl.-Ing. Dragan Sofic, Planung und Netzberechnung, EAB Rhein-Main GmbH, Neu-Isenburg

Nachweis besonders wichtig, da ein zusätzlicher messtechnischer Nachweis im Rahmen einer Erst- oder Wiederholungsprüfung nicht möglich ist. Die Anmerkung 4 bezieht sich auf den Batteriebetrieb der ZSV.

Im Fehlerfall darf also nur der ZSV-Abgangsstromkreis (bzw. Teil) abgeschaltet werden, welcher vom Fehler betroffen ist. Nach dem Abschalten des Fehlers durch die zuständige Übersstromschutzeinrichtung müssen sich die anderen, »gesunden« ZSV-Abgangsstromkreise ohne Beeinträchtigung weiterbetreiben lassen. Hierzu muss der Planer das Verhalten der ZSV im Kurzschlussfall während des Batteriebetriebs kennen.

Bei einer Störung des speisenden Netzes versorgt der Wechselrichter die ZSV-Abgangsstromkreise mit elektrischer Energie aus der Batterie. Entstehen Kurzschlüsse im Batteriebetrieb der ZSV, liefert die ZSV wesentlich kleinere Kurzschlussströme. Die Batterie kann zwar in der Lage auch größere Kurzschlussströme erzeugen, diese werden jedoch zum Schutz des Wechselrichters begrenzt. Der Wechselrichter ist so aufgebaut, dass er nur kurze Zeit (manchmal nicht viel länger als 500ms) mit dem Kurzschlussstrom beansprucht werden darf. Wird der Kurzschluss in diesem Zeitraum durch die zuständige Übersstromschutzeinrichtung aufgrund falscher Berechnung und Auslegung nicht gelöscht, spricht die Schutzeinrichtung des Wechselrichters an. Sie bewirkt dann die Abschaltung der kompletten ZSV.

### Notwendige Daten einer ZSV

Nur die vollständigen Daten bzw. die entsprechende Ausgangs-U/I-Kennlinie einer ZSV ist zur richtigen Modellierung und Feststellung der Impedanz der ZSV für die Kurzschlussstromberechnungen im Batteriebetrieb maßgebend.

In vielen Herstellerkatalogen finden sich pauschale Angaben über das Verhalten der ZSV im Kurzschlussfall, z. B. in der Form  $I_k = 5 \cdot I_n$  für einen Zeitraum von 500ms. Sie sollen dem Planer

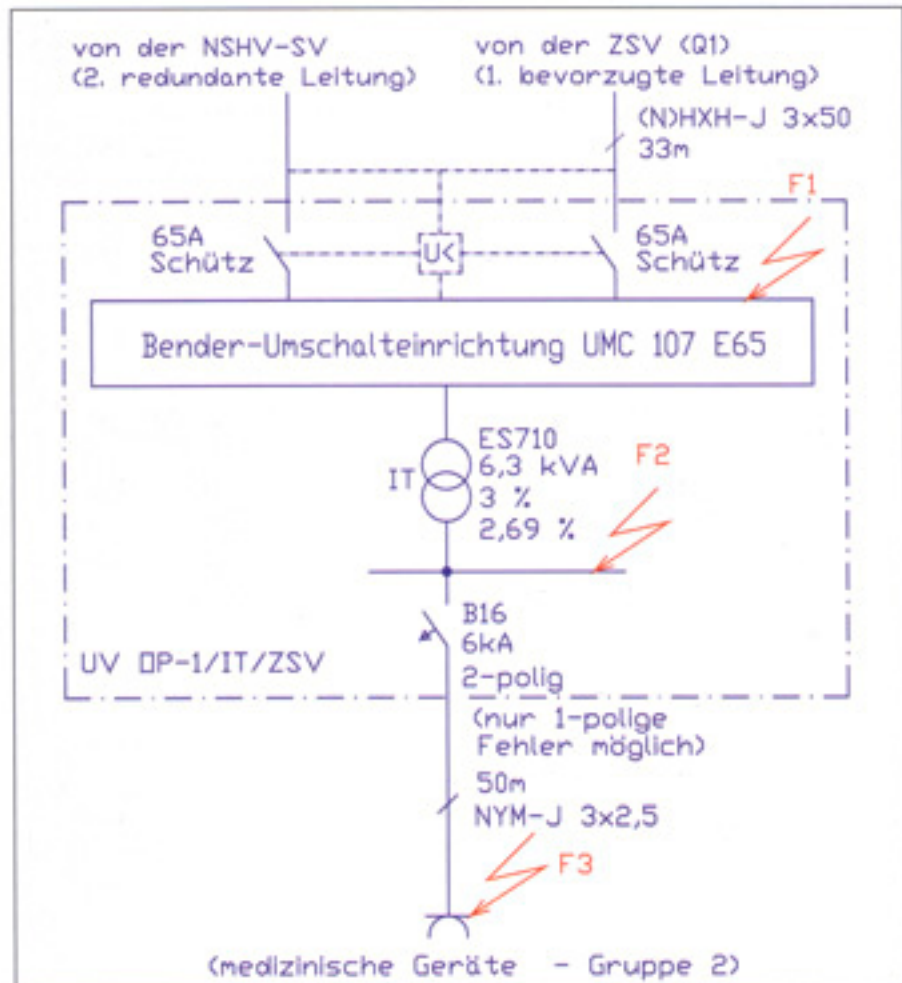


Bild 2: Zu- und Abgänge zum IT-System im OP 1 (1. bevorzugte Leitung siehe Bild 1)

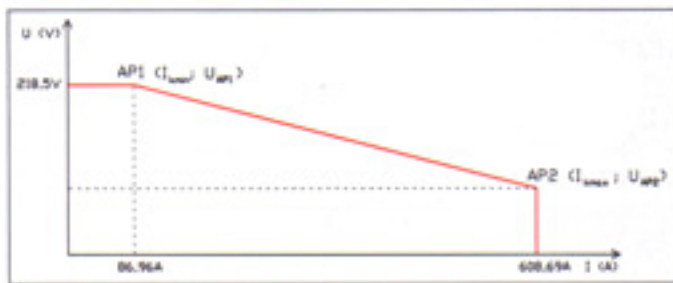
und Errichter Hilfestellung für die Planung und die Errichtung geben, stellen aber leider nicht die tatsächlichen physikalischen Vorgänge dar, welche bei einem Kurzschluss an beliebiger Stelle des ZSV-Netzes in der ZSV im Batteriebetrieb ablaufen. Diese Angaben beruhen i. d. R. auf den Kurzschlussversuchen an der Fehlerstelle F0 also de facto an den Ausgangsklemmen der ZSV und berücksichtigen nicht die Impedanzen der angeschlossenen bzw. nachgeschalteten Betriebsmittel des medizinischen IT-Systems.

Wenn diese pauschalen Angaben außerdem die empfohlene Sicherung des ZSV-Abgangsstromkreises einschließen, besteht die Gefahr einer fehlerhaften Planung und Errichtung. Manche ZSV-Hersteller empfehlen nämlich den

Bemessungsstrom des ZSV-Abgangsstromkreises bezüglich der Schmelzzeit-Stromkennlinie (untere Grenzkurve des Zeit-Strom-Bereichs nach DIN VDE 0636 bzw. Toleranzband der Schmelzsicherung) oder bezüglich der Angaben eines bestimmten Sicherungsherstellers (Bild 3).

### Kurzschlussverhalten der ZSV

Für die Ermittlung der Ausschaltzeit einer Schmelzsicherung bei der Schutzmaßnahme durch automatische Abschaltung der Stromversorgung und für die Ermittlung der maximal zulässigen Stromkreislänge soll aus Sicherheitsgründen die Ausschaltzeit-Stromkennlinie (die obere Grenzkurve des nach der DIN VDE 0636 definierten Zeit-Strom-



**Bild 3: ZSV im Batteriebetrieb – U/I-Kennlinie (ZSV 20kVA/230 V/50Hz); der Hersteller gibt die Wertepaare AP1 und AP2 an, mit: AP1 ( $I_{kmin}$ ,  $U_{AP1}$ ) – minimaler Kurzschlussstrom und zugehörige Spannung; AP2 ( $I_{kmax}$ ,  $U_{AP2}$ ) – maximaler Kurzschlussstrom und zugehörige Spannung**

Bereiches bzw. Toleranzbandes der Schmelzsicherung) verwendet werden. Außerdem gibt es keine Garantie, dass nach z.B. zwei Jahren noch der gleiche Sicherungseinsatz desselben Sicherungsherstellers vorhanden ist.

Die o.g. Angaben über die Größe des Kurzschlussstroms suggerieren einen konstanten Wert der Impedanz der ZSV (Wechselrichter) im Kurzschlussfall. Mit dieser Annahme errechnen sich aber nach DIN VDE 0102 mit allen auf dem Markt befindlichen Kurzschlussstromberechnungsprogrammen nicht die tatsächlichen Werte des Kurzschlussstroms. Die ZSV regelt nämlich im Kurzschlussfall ihre Impedanz bzw. die treibende Spannung nach, damit sie einen möglichst großen Kurzschlussstrom liefert.

Diese Regelung hängt ab von der tatsächlichen Kurzschlussbeanspruchung des Wechselrichters bzw. von der Qualität der eingesetzten Halbleitertechnik (IGBT-Transistortechnik), vom Aufladungszustand der Batterien und von der Impedanz des an die ZSV angeschlossenen Netzes (medizinisches IT-System). Die Impedanz der ZSV weist keinen konstanten Wert auf, sondern sie schwankt – dargestellt durch die Ausgangs-U/I-Kennlinie der ZSV.

Bei Kurzschlüssen an der Fehlerstelle F0 – also hinter der Abgangsüberstromschutzvorrichtung (Schmelzsicherung) – befindet sich in der Kurzschlusschleife nur die ZSV selbst (Batterie, Wechselrichter, interne Verbindungen etc.), wenn man die geringe Impedanz der

Fall die Grundlage für die endgültige Ermittlung der ZSV-Abgangsüberstromschutzvorrichtung (Schmelzsicherung) sein.

### Abschaltbedingungen und Selektivität

Die Einhaltung der Abschaltbedingungen und der Selektivität durch diese Sicherung an dieser Fehlerstelle F0 stellt bei weitem nicht die Einhaltung der Abschaltbedingungen und der Selektivität durch diese Sicherung bei Kurzschlüssen im angeschlossenen IT-System einschließlich der Fehlerstelle F2 sicher. Allerdings müssen auch diese durch die Sicherung abgeschaltet werden.

Bei Kurzschlüssen an der Fehlerstelle F1, also am Ende des Kabels und vor dem IT-Trenntransformator, befindet sich in der Kurzschlusschleife neben der Impedanz der ZSV noch die Impedanz des Kabels zwischen der ZSV und dem IT-Trenntransformator. Die ZSV-Abgangsicherung muss auch Kurzschlüsse an dieser Fehlerstelle selektiv abschalten. Hierbei wird der Kurzschlussstrom durch die Impedanz des Kabels etwas gedämpft. Die Einhaltung der Abschaltbedingungen und der Selektivität ist somit schwieriger, als an der Fehlerstelle F0. Bei einem Kurzschluss an dieser Fehlerstelle verfügt die ZSV über einen anderen geregelten Wert ihrer Impedanz. Er ist kleiner als der Wert bei einem Kurzschluss an der Fehlerstelle F0. Die Regelung bzw. Verkleinerung der ZSV-Impedanz

Abgangsicherung vernachlässigt, so dass eine Aussage alleine über die Höhe des Kurzschlussstroms, bei einem Kurzschluss an dieser Stelle, nicht zur Feststellung der Impedanz der ZSV herangezogen werden soll. Dieser Kurzschlussstrom darf somit auf keinen

danz soll eine verhältnismäßig kleine Impedanz der gesamten Kurzschlusschleife bewirken und damit einen verhältnismäßig großen Kurzschlussstrom hervorrufen.

Bei einem Kurzschluss an der Fehlerstelle F2 (zweiter Fehler, der als Körper- bzw. Erdschluss auftritt und abgeschaltet werden muss) – also hinter dem IT-Trenntransformator – befindet sich in der Kurzschlusschleife neben der Impedanz der ZSV und des Kabels zwischen der ZSV und dem IT-Trenntransformator noch die Impedanz des IT-Trenntransformators.

### ZSV-Regelung berücksichtigen

Die ZSV-Abgangsicherung muss, wie schon erwähnt, Kurzschlüsse auch an dieser Fehlerstelle selektiv abschalten. Der Kurzschlussstrom wird hier durch die Impedanz des Kabels und die große Impedanz des IT-Trenntransformators noch mehr gedämpft. Die Einhaltung der Abschaltbedingungen und der Selektivität gestalten sich schwieriger, als an den Fehlerstellen F0 und F1.

Bei einem Kurzschluss an dieser Fehlerstelle hat die Impedanz der ZSV wieder einen kleineren Wert, als bei einem Kurzschluss an der Fehlerstelle F1.

Nach DIN VDE 0100 Teil 710 Punkt 512.1.6.2 ist »...die Transformator-Zuleitung ab der Umschaltvorrichtung und die Transformator-Ableitung bis zu dem nachfolgenden Verteilerabschnitt kurzschluss- und erdschlusssicher zu verlegen.« Diese Forderung dient der Minimierung der Gefahr möglicher Kurzschlüsse. Die Praxis zeigt jedoch, dass Fehler jederzeit auftreten können, so dass man auch hierbei mit Fehlern rechnen muss. Bei einem Kurzschluss (zweiter Fehler) an der Fehlerschleife F3 kommt zur Kurzschlusschleife neben der Impedanz der ZSV und des Kabels zwischen der ZSV und dem IT-Trenntransformator sowie der Impedanz des IT-Trenntransformators noch die Impedanz der Leitung des Endstromkreises hinzu.

Bei einem Kurzschluss an dieser Fehlerstelle weist die ZSV wieder einen

anderen Impedanzwert auf (Regelung), der kleiner ist als der Wert bei einem Kurzschluss an der Fehlerstelle F2. Natürlich geht diese Regelung nicht bis ins Unendliche, sondern hängt von den genannten Faktoren ab.

## Einflüsse der Impedanzen auf das Fehlerverhalten

Also Kurzschlüsse an den Fehlerstellen F0, F1, F2 und F3 müssen durch die zuständigen Schutzorgane selektiv abgeschaltet werden, wobei die erforderlichen Abschaltbedingungen einzuhalten sind. Die DIN VDE 0100 Teil 710 – 514.6 erfordert hierzu den einen rechnerischen Nachweis.

IT-Trenntransformatoren weisen große Innenimpedanzen auf, welche die Kurzschlussströme massiv dämpfen. Dies lässt die Kurzschlüsse an der Fehlerstelle F2 sehr kritisch werden und erfordert sorgfältige Berechnungen. Die zuständige Überstromschutzeinrichtung (ZSV-Abgangs-Schmelzsicherung) muss einen Kurzschluss an dieser Fehlerstelle F2 rechtzeitig (max. 500 ms) abschalten, bevor die verbleibenden »gesunden« ZSV-Abgangstromkreise durch den vom Kurzschluss verursachten Spannungseinbruch beeinträchtigt werden und die Schutzeinrichtung des Wechselrichters die komplette ZSV abschaltet. Diese beiden Fälle dürfen unter keinen Umständen eintreten.

Kurzschlüsse an der Fehlerstelle F3 – also in Endstromkreisen am Ende derer Leitungen – sind auch kritisch, weil die Impedanzen dieser Leitungen bedingt durch den kleinen Leiterquerschnitt und manchmal große Leitungslängen sehr groß sein können. Die Abschaltung erfolgt durch Leitungsschutzschalter. Auch diese Kurzschlüsse muss man sehr sorgfältig berechnen, damit sie selektiv abgeschaltet werden und nicht zu einem Totalausfall des medizinischen IT-Systems führen.

Die Planer und Errichter müssen sich zuerst mit der Wirkungsweise einer ZSV bei Kurzschlüssen während des Batteriebetriebs vertraut machen, da ja die

Impedanz der ZSV keine konstante Größe im Sinne der DIN VDE 0102 ist.

## Herangehensweise beim Planen einer ZSV

Planer und Errichter sollten schon in der Planungsphase vom ZSV-Hersteller die Ausgangs-U/I-Kennlinie der ZSV anfordern. Diese Kennlinie (Bild 3) definiert das Verhalten der ZSV bzw. deren Impedanz im Batteriebetrieb unter normalen Bedingungen, bei Überlast und Kurzschluss. Sie wird von zwei charakteristischen Punkten AP1 und AP2 mit zugehörigen Werten der Spannung und des Stroms gekennzeichnet. Der Hersteller gibt die Werte der Spannung und des Stroms für diese zwei Merkmale und damit die ZSV-Kennlinie an.

Die Kurzschlussstromberechnung lässt sich nicht gemäß DIN VDE 0102 durchführen. Diese Norm enthält keine Angaben zur Impedanz des Wechselrichters von batteriegestützten Stromversorgungen. Deshalb muss der Planer die Kurzschlussstromberechnung der ZSV im Batteriebetrieb anhand der U/I-Kennlinie der ZSV leider von Hand durchführen.

Zur Ermittlung des Kurzschlussstroms im Batteriebetrieb einer statischen ZSV verwendet man die in der Elektrotechnik bekannte Zweipoltheorie (Zweipol, oder auch Eintor = Netzwerk bzw. elektrisches System mit zwei Anschlüssen bzw. Klemmen). Das Ziel der Zweipoltheorie ist es, eine komplexe lineare Schaltung durch eine einfache Schaltung (Ersatzschaltung) zu ersetzen. Dabei muss natürlich die Ersatzschaltung das gleiche Klemmenverhalten aufweisen.

## Drei Lösungsmethoden

Die ZSV im Batteriebetrieb wird als ein aktiver Zweipol (gibt elektrische Energie ab) und die Kurzschlussimpedanzschleife des hinter der ZSV nachgeschalteten medizinischen IT-Systems als ein passiver Zweipol (nimmt elektrische Energie auf) modelliert. Die entsprechende Grundschialtung dieser beiden

Zweipole liefert den gesuchten Kurzschlussstrom im gemeinsamen Arbeitspunkt, wobei der passive Zweipol (die o.g. Kurzschlussimpedanzschleife) in Abhängigkeit der Kurzschlussstelle (F0, F1, F2 oder F3) über eine veränderliche Impedanz-Kennlinie verfügt. Die Lösungsmethoden lauten also:

- 1) Berechnung der Grundschialtung (mit Beträgen der Impedanzen oder mit Impedanzen als komplexe Größen),
- 2) grafische Ermittlung des Arbeitspunktes anhand der U/I-Kennlinien und
- 3) algebraische Berechnungsweise anhand der Gleichungen der U/I-Kennlinien.

Die Methoden 1 und 3 sind grundsätzlich gleich.

Die auf diese Weise ermittelten Werte der Kurzschlussströme an den Fehlerstellen F1, F2, und F3 entsprechen der Realität und bestimmen die Auswahl der Schutzorgane bzw. der ZSV.

Lässt die Topologie des ZSV-Netzes bzw. die Leistung der ZSV keinen selektiven Netzaufbau zu, so muss der Planer die Bemessungsströme der Schutzorgane verringern oder eine leistungsfähigere ZSV wählen.

## Fazit

Viele ZSV-Hersteller liefern nur pauschale und unvollständige Angaben über das Verhalten ihrer ZSV im Batteriebetrieb unter Kurzschlussbedingungen. Sowohl der Planer als auch der Errichter sollte sich beim Aufbau eines ZSV-Netzes auf diese Angaben nicht verlassen, ohne entsprechende Kurzschlussstromberechnung und Überprüfung der Abschaltbedingungen und Selektivitäten durchzuführen. Auch eine Kurzschlussstromberechnung mit dem konstanten Wert der ZSV-Impedanz wäre ein gravierender Fehler.

Planer und Errichter riskieren, dass sie ein fehlerhaftes ZSV-Netz planen bzw. errichten, das unter den oben beschriebenen Umständen bei Kurzschluss zu einer totalen Abschaltung führt. ■



**Elektroanlagenbau  
GmbH Rhein/Main**  
[www.eab-rhein-main.de](http://www.eab-rhein-main.de)