

Absicherung industrieller DC-Versorgungsanlagen

E. Schoop, Köln

Gesicherte Gleichstrom-Versorgungsanlagen finden beispielsweise in der Industrie, Kraftwerkstechnik und Telekommunikation Anwendung. Dabei ist es die Aufgabe dieser Anlage, Verbraucher, wie Sicherheitseinrichtungen auch dann zu versorgen, wenn ein Fehler in der Produktionsanlage eintritt. Anhand eines Beispiels wird unter Verwendung der nötigen Vorschriften gezeigt, wie eine Gleichstrom-Versorgungsanlage abgesichert wird.

1 Versorgung der Sicherheitseinrichtung

Zur Anlagensicherheit werden in der Industrie häufig teure und aufwendige Sicherheitseinrichtungen, wie Sicherheits-Steuerungen (S-SPS), Notaggregate, Notbeleuchtungen, Back Up-Systeme, Alarmierungs- und Visualisierungseinrichtungen installiert. Nicht selten unterliegen diese einer individuellen TÜV oder Sachverständigen Abnahme. Mit der EN 60204 (DIN VDE 0113) „Elektrische Ausrüstung von Maschinen“ findet man entsprechendes Vorschriftenwerk.

Die elektrische Versorgung dieser Sicherheitseinrichtungen erfolgt z. B. durch USV-Anlagen, Notstromeinrichtungen und gesicherte Gleichstrom-Versorgungs-Anlagen. Von diesen Anlagen wird erwartet, dass sie uneingeschränkt funktionieren. Um so größer ist die Verwunderung, wenn beispielsweise ein „einfacher“ Kurzschluss das Sicherheitssystem und damit unter Umständen die gesamte Anlage abschaltet.

2 Beispiel einer gesicherten DC-Versorgungs-Anlage

Oft werden optimal konzipierte und mit entsprechenden Reserven ausgelegte Industrieanlagen im Laufe des Betriebes Stück für Stück nachgerüstet. Dabei kommt es vor, dass nach einer langen Betriebszeit außer Acht gelassen wird, für welche Bestimmung die Anlage eigentlich konzipiert wurde.

Das nachhaltige Betrachten aller Regelwerke zum Betrieb einer Anlage ist umso wichtiger, da gerade heute Betreiber durch Outsourcing-Maßnahmen nicht zwangsläufig Entwickler oder Einrichter dieser Anlage sind.

Am Beispiel einer 24 V-gesicherten Gleichstromversorgung sollen nachfolgend Theorie und Praxis beleuchtet werden. Im Beispiel werden zwei Gleichrichter vom Typ AEG AC2000 verwendet. Ein besonderes Augen-

merk wird auf Redundanz-Konzepte für gesicherte Versorgungssysteme gelegt.

2.1 Redundanzkonzept

Eine „sichere Stromversorgungs-Anlage“ versorgt bei Eintreten eines Fehlers weiterhin, eventuell jedoch eingeschränkt, die angeschlossenen Verbraucher. Das Eintreten eines zweiten Fehlers führt zum Ausfall der Versorgung.

Eine „gesicherte Stromversorgungs-Anlage“ versorgt bei Eintreten eines Fehlers uneingeschränkt die entsprechenden Geräte. Erst das Auftreten eines zweiten Fehlers schränkt die Versorgungssicherheit ein, wobei die Geräte oder Anlagenteile nach wie vor versorgt werden, unter Umständen jedoch mit eingeschränkter Verfügbarkeit.

Würde am Beispiel einer USV-Anlage die Gleichrichterversorgung ausfallen (1. Fehler), so werden die Verbraucher durch die Batterie und Wechselrichter weiter versorgt. Erst nach Erschöpfung der Batterie (2. Fehler) wird auf eine EUE (Elektronische-Umschalt-Einheit) umgeschaltet. In sofern stellt das hier aufgezeigte Prozedere das Verhalten einer gesicherten Stromversorgung dar.

2.2 Angenommener Aufbau

In einem Schaltschrank wird die Schiene einer Versorgung A (Bild 1) kurzschlussicher aufgebaut und die nötigen Sicherungsabgänge F1 der Hauptverteilung realisiert. In jedem Schrank sind $n+1$ Netzgeräte installiert (Geräteredundanz).

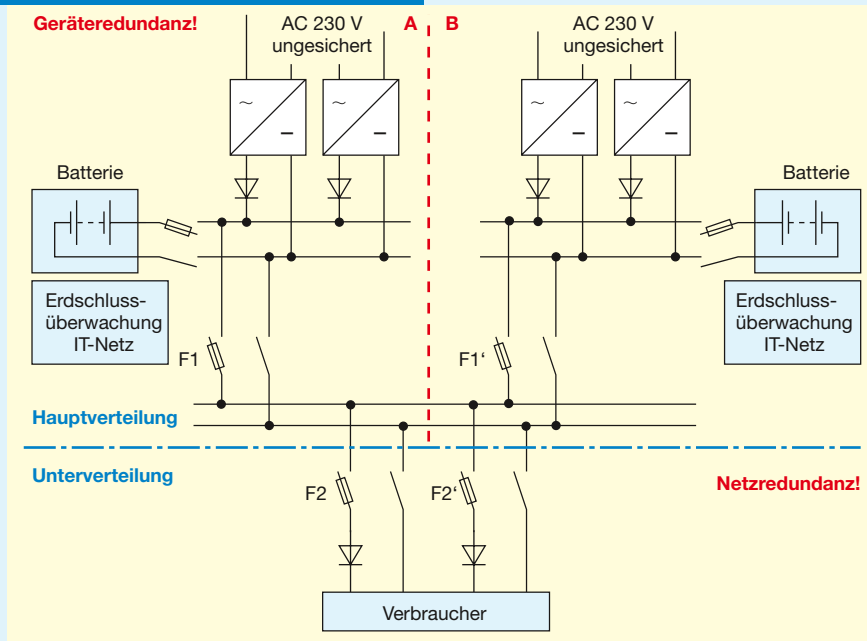
In einem weiteren Schrank wird analog hierzu die Versorgungsschiene B aufgebaut. Hierdurch erhält man auf der Versorgerseite (DC) Netzredundanz. Über Dioden entkoppelt können so DC-Verbraucher redundant und rückwirkungsfrei versorgt werden.

Erfolgt die Versorgung der Netzgeräte/Schienen durch unterschiedliche Einspeise-Netze, so erhält man auch auf der Einspeise-seite Netzredundanz.

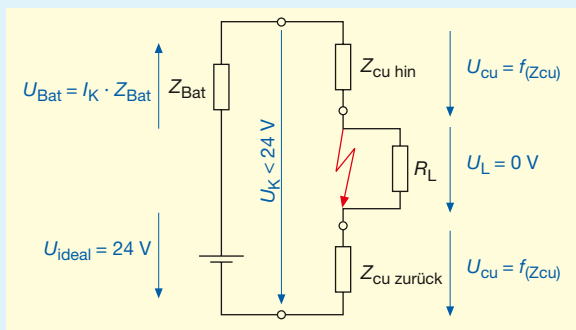
Beide Schienen A und B werden so ausgelegt, dass zum Beispiel zu Revisionszwecken eine Schiene vollständig abgeschaltet werden kann. Dies bedeutet, dass eine einzelne Schiene jeweils nur mit 50 % belastet werden darf. Im Falle der Revision oder

Autor

Dipl.-Ing. Edgar Schoop ist Mitarbeiter der INEOS Köln GmbH.



1 Beispiel einer gesicherten Gleichstromversorgungs-Anlage mit Netzgeräten vom Typ AEG AC 2000 (Nennstrom jeweils 65 A)



2 Idealisiertes Ersatzschaltbild der Beispielanlage im Kurzschlussfall
In Gleichstromsystemen mit statischem Verhalten ist $Z = R$.

Tafel 1 Auszug: Zulässige Strombelastbarkeit I_z von Leitungen und Kabel bei einer Umgebungstemperatur von 30 °C nach VDE 0298 T2 u. T4, sowie Zuordnung der Überlastschutteinrichtung nach VDE 0100 Teil 430 [1]

A Leiterquerschnitt in mm², **B2** Verlegungsart in Rohr oder Kanälen auf der Wand oder Fußboden, **C** Verlegungsart direkt auf der Wand oder Fußboden oder in der Wand/unter Putz
 I_z Strombelastbarkeit in A, I_N Sicherungsnennstrom in A

	A in mm ²	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	100
B2	I_z	15,5	21	28	37	50	68	89	110	134	171	207	239
in A	I_N	10	16	20	25	35	50	80	100	100	125	160	200
C	I_z	19,5	26	35	46	63	85	112	138	167	213	258	299
in A	I_N	16	20	25	35	50	63	100	125	125	160	200	250

eines Netzausfalles kann die zweite Schiene die Verbraucherlast der ersten Schiene vollständig und unterbrechungsfrei übernehmen. Somit ist das Redundanzkonzept durchgängig. Ist beispielsweise Schiene B in Revision und in Schiene A tritt ein beliebiger Fehler auf, so ist die Versorgung der angeschlossenen Verbraucher nach wie vor gewährleistet (n+1 Redundanz). Erst mit Eintreten eines zweiten Fehlers auf Schiene A, zum Beispiel bei Ausfall des Versorgungsnetzes, wird die Verfügbarkeit und damit die Versorgungssicherheit eingeschränkt. Die Batterie versorgt in diesem Fall bei entsprechender Auslegung die Verbraucher bis zum sicheren Herunterfahren der Anlage. Die typische Überbrückungszeit

in der Industrie- und Kraftwerkstechnik beträgt 30 Minuten.

Anmerkung: In diesem Beitrag wird gezielt nicht auf die ein- oder zweipolige Abschaltung eingegangen, da diese von der Netzform (IT-Netz oder TN-Netz) abhängt. Diese muss gesondert betrachtet werden!

Unter Beachtung des zuvor erläuterten Redundanzkonzeptes für gesicherte Stromversorgungs-Anlagen ergibt sich für die im Bild 1 gezeigte DC-Versorgungs-Anlage mit zwei Netzgeräten AEG AC2000 (65 A) ein Nennstrom von 65 A. Würden beispielsweise in jedem Schrank drei Netzgeräte gleichen Typs eingesetzt, so ergäbe sich unter dem Gesichtspunkt der n+1 Geräteredundanz eine Nennbelastbarkeit von 130 A usw.

2.3 Die Batterie in der gesicherten Versorgung

Eine Batterie kann zum einen als Stützbatterie mit einer geforderten Überbrückungszeit ausgelegt werden. Des Weiteren dient die Batterie als Energiespeicher zum Auslösen der Verbrauchersicherungen im Kurzschlussfall. Aus Datenblättern zu Netzgeräten wird ersichtlich, dass die Überlastfähigkeit üblicherweise mit 10 % angegeben wird. Im Beispiel nach Bild 1 mit einem Nennstrom von 65 A je Schiene wäre ein Netzgerät also in der Lage, über eine gewisse Zeit einen Strom von z. B. 71,5 A zu liefern. Bei zwei eingesetzten Geräten würde der Strom dann 143 A betragen. Die Geräte arbeiten üblicher Weise nach der IU-Kennlinie, was zur Folge hat, dass bei Überschreiten des Nennstromes die Ausgangsspannung der Geräte herunter geregelt wird. Im Kurzschluss-Fall würde die Versorgungsspannung weit unter die geforderten 24 V fallen. Mit einem Strom von 143 A kann es dann je nach Sicherungstyp bis zu mehreren Stunden dauern, bis eine Verbraucher/Leitungssicherung auslöst. Welcher Auslösestrom tatsächlich vom Netzgerät geliefert werden kann, hängt von den Reaktanzen und dem eventuell verwendeten „Eisen“ im Netzgerät ab. Hierüber wird man jedoch kaum eine gesicherte Aussage vom Hersteller finden.

2.4 Das System im Fehlerfall

Durch Variation verschiedener Parameter lässt sich berechnen, ob eine Batterie notwendig ist und wieviel Zellen diese Batterie besitzen muss. Für den im Bild 1 gezeigten Anwendungsfall wurden 2 Batterien 12 V 30PzS 150 LA gewählt. Für weitere Berechnungen ist der Innenwiderstand der Batterie wichtig, hier $Z_{Bat} = 6,46 \text{ m}\Omega$ je Batterieblock. Interessant ist auch die Angabe des Kurzschluss-Stroms nach IEC 896-1 von immerhin 1884 A.

Für die weiteren Berechnungen werden hier vorab verschiedene Annahmen getroffen. Anhand der errechneten Ergebnisse könnte es jedoch erforderlich werden, die getroffenen Annahmen zu korrigieren.

Annahmen:

- Der Leitungsquerschnitt zwischen Hauptverteilung (Sicherung F1) und Unterverteilung (Sicherung F2) beträgt 25 mm².
- Die einfache Leitungslänge ist $\leq 30 \text{ m}$ (ein in großen Industrieanlagen durchaus realistischer Wert)

Idealisierung:

- Übergangswiderstände an Klemmverbindungen und Sicherungen werden im Weiteren vernachlässigt.
- Die Netzgeräte werden in der Kurzschlussstrombetrachtung nicht berücksichtigt, da deren Verhalten im Kurzschluss-Fall, wie zuvor erwähnt, vom Anwender nicht sicher beurteilt werden kann.

Nach VDE 0298 T2 und T4 kann eine Leitung mit dem Querschnitt $A = 25 \text{ mm}^2$ je nach Verlegungsart (z. B. B2 oder C) bei einem Nenn-

strom von 65 A mit $I_N = 100$ A in Verlegungsart C abgesichert werden (Tafel 1).

Bild 2 zeigt das idealisierte Ersatzschaltbild für die bisher angenommene Verschaltung der gesicherten 24 V-Gleichstromversorgungs-Anlage im Kurzschlussfall. Anhand dessen der Schleifenwiderstand nach $Z_{ges} = Z_{Cu} + 2 \cdot Z_{Bat}$ berechnet werden kann mit dem Leitungswiderstand $Z_{Cu} = 42,86 \text{ m}\Omega$ entsprechend Gleichung 1.

$$Z_{Cu} = 2 \cdot \frac{l}{\chi \cdot A} \quad (1)$$

$$\chi_{Cu} = 56 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2.$$

Der Schleifenwiderstand beträgt demnach $Z_{ges} = 0,05577 \Omega$ und der nach Gleichung 2 berechnete Kurzschluss-Strom $I_K = 430$ A.

$$I_K = \frac{U_{ideal}}{Z_{ges}} \quad (2)$$

Trägt man nun in die Auslösekennlinie, beispielsweise für NEOZED-Sicherungseinsätze (Bild 3), den KS-Strom senkrecht ein, so lässt sich in der Waagerechten die Auslösezeit auf der zugehörigen Auslösekennlinie ermitteln. Bei dem zuvor nach VDE 0298 T2 und T4 „Strombelastbarkeit von Kabel und Leitungen“ ermittelten Überstromschutzorgan von 100 A, ergibt sich dann eine Auslösezeit von 6 s (Bild 3 für Koordinate a)).

Die VDE 0100 Teil 430 schreibt jedoch eine Auslösezeit < 5 s vor. Diese werden sicher durch den Einsatz einer 63 A-Sicherung (Auslösezeit ca. 0,7 s) erreicht.

Demnach würde der Kurzschluss in diesem Fall 0,7 s bis zum Auslösen der Sicherung F1 auf der Schiene der Hauptverteilung anstehen. Abhängig vom Leitungswiderstand Z_{Cu} und Kurzschlussstrom I_K ergibt sich in diesem Beispiel nach Gleichung 3

$$U_K = I_K \cdot Z_{Cu} \quad (3)$$

eine Spannung von 18,4 V auf der Schiene der Hauptverteilung. Dies entspricht einem Spannungseinbruch von ca. 23 % für die Zeit bis zum Auslösen der Sicherung von 0,7 s. Dieser Spannungseinbruch kann zum Ausfall der Sicherheitseinrichtungen oder der Sicherheitssteuerung und damit zum Ausfall der Produktionsanlage führen. Auf diese Weise ist es möglich, dass ein beliebiger Kurzschluss in der Unterverteilung oder einem Verbraucher den Ausfall weiterer Geräte bedeuten, die an dieser Hauptverteilung angeschlossen sind.

Entsprechend der eingangs erwähnten Norm EN 60204 „Elektrische Ausrüstung von Maschinen“ und dem darin entalteten Unterpunkt EN 60204-1 „Elektrische Versorgung“ muss die elektrische Ausrüstung so ausgelegt sein, „dass sie unter den Bedingungen der Versorgung fehlerfrei wie unter anderem unter 4.3.3 festgelegt, arbeitet.“ Da es sich für die in diesem Beispiel betrachtete gesicherte Stromversorgung lediglich um die Bewältigung des ersten Fehlers handelt, muss von dem Fall der fehlerfreien Versorgung der Verbrau-

cher durch Umrichter (EN60204-1, 4.3.3) ausgegangen werden. Dies bedeutet, dass die Abweichung von der Nennspannung (+/- 10 %) maximal für den Zeitraum von 20 ms anliegen darf. Entsprechend Diagramm für eine Auslösezeit von 20 ms und einem KS-Strom von 430 A ergibt sich ein Sicherungsorgan mit 25 A (Bild 3 für Koordinate b)). Mit diesem Sicherungsorgan wird ein Kurzschluss in der Unterverteilung oder im Verbraucher durch die gesicherte Stromversorgung in weniger als 20 ms sicher beherrscht. Bei richtiger Dimensionierung der Anlage kann davon ausgegangen werden, dass ein Einzelfehler nicht zu Folgefehlern führt.

3 Fazit

Der vom Batteriehersteller nach IEC 896-1 angegebene Kurzschlussstrom ist in der Praxis wenig aussagekräftig. Zur Ermittlung des Kurzschlussstroms muss für jeden Kurzschlussfall unter Berücksichtigung der ausgewählten Batterie der Schleifenwiderstand bestimmt werden. Dabei begünstigen

- kurze Leitungswege,
- hohe Leitungsquerschnitte,

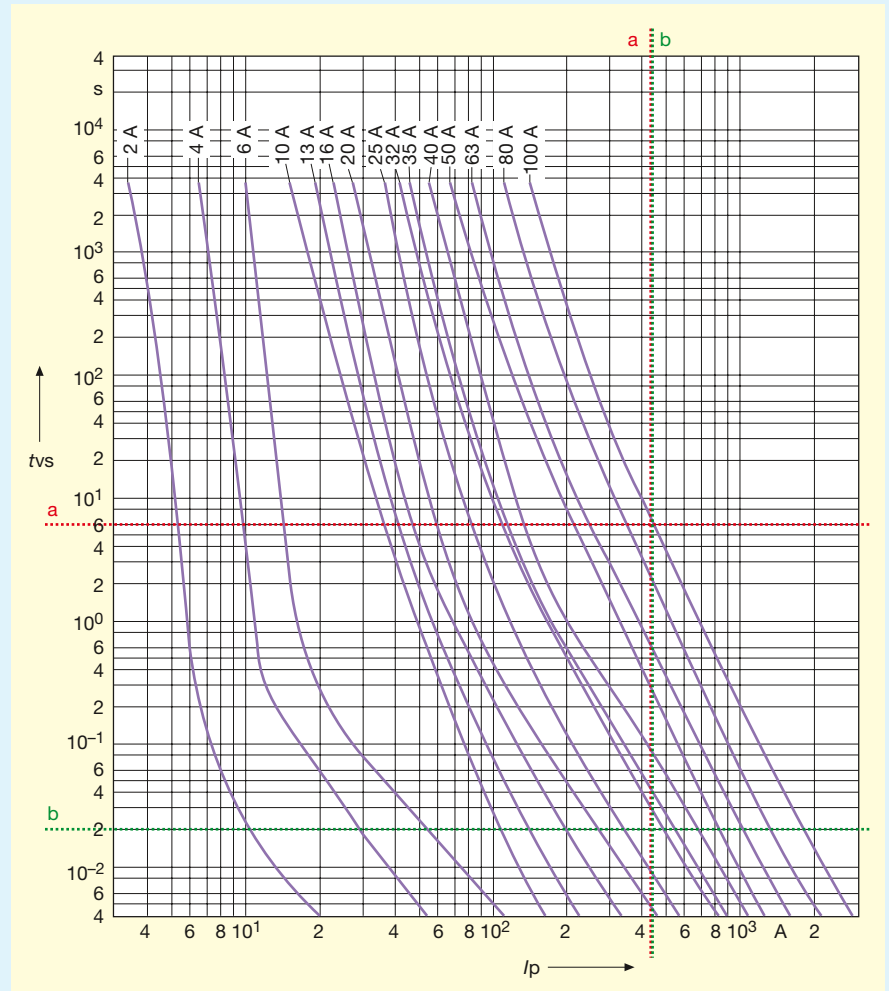
- die Vermeidung von Übergangswiderständen durch Klemmstellen und Sicherungen,
- und die Auswahl von Batterien mit geringem Innenwiderstand

das Verhalten der gesicherten Stromversorgung im Kurzschluss-Fall. Können beispielsweise die Leitungswege in der Praxis kürzer gehalten werden als in diesem Beispiel, so besteht die Möglichkeit einer höheren Absicherung. Die Ermittlung des Kurzschlussstroms muss für jedes selektive Sicherungsorgan erneut durchgeführt werden. Die Betrachtung findet theoretisch bei allen Stromversorgungsanlagen unter Betrachtung der geltenden Vorschrift Anwendung.

Die DIN EN60204-1 (VDE 0113 T1) „Elektrische Ausrüstung von Maschinen“ muss zum sicheren Betreiben von Anlagen herangezogen werden. Dabei findet diese ebenfalls Anwendung bei der zugehörigen elektrischen Ausrüstung von Maschinen, wie beispielsweise Sicherheits-Steuerungen und deren Stromkreise und die Gesamtheit der zur elektrischen Ausrüstung von Maschinen gehörenden Stromversorgung.

Literatur

- [1] Boy, H.-G.; Dunkhase, U.: Meisterprüfung/Elektro-Installationstechnik 6. Auflage, Vogel Buchverlag Würzburg.



3 Auslösekennlinie von NEOZED-Sicherungsorganen

Quelle: Siemens

Koordinate a) Auswahl des Sicherungsorgans nach VDE 0100 Teil 430
Koordinate b) Auswahl des Sicherungsorgans nach EN 60204-1, 4.3.3