

## Fehlerhafte 24V-DC-Stromkreise freischalten

Autor: Michael Raspotnig

Standard-Leitungsschutzschalter (LS-Schalter) sind zweifelsohne eine der wirtschaftlichsten und kostengünstigsten Arten, Strompfade mit fehlerhaften Verbrauchern abzuschalten.

LS-Schalter wurden entwickelt um, wie der Name schon sagt, Leitungen zu schützen. Werden der Amperewert und die Charakteristik des LS-Schalters der verwendeten Leitung und der Verlegeart angepasst, so gilt die Verdrahtung als thermisch sicher, unabhängig davon, ob der LS-Schalter öffnet oder nicht. Um Fehlauflösungen durch Einschaltstromspitzen von Verbrauchern zu vermeiden, lassen LS-Schalter im Millisekundenbereich ein Vielfaches des Nennstromes durch. Genau darin liegt aber ein großes Problem bei 24V-DC-Stromkreisen. Hier will man eine schnelle Abschaltung innerhalb von 10ms (das entspricht in etwa der eingebauten Überbrückungszeit von Steuerungen). Dafür bedarf es Netzgeräte mit hohen Stromreserven und es funktioniert auch nur, wenn die Impedanz der Fehlerschleife entsprechend klein ist, damit der Strom auch wirklich fließen kann. Dass das nicht immer ganz einfach ist, lesen Sie in dieser Application Note.



Schnellere Taktraten, höhere Ausbringungsmengen, gleichbleibende Qualität und die Beherrschung komplexerer Abläufe sind oft die treibenden Faktoren im modernen Anlagen- und Maschinenbau. Dieser Fortschritt erfordert immer komplexere Steuerungen verbunden mit einer stetig steigenden Anzahl an Sensoren und Aktoren, die alle mit elektrischer Energie versorgt werden müssen. Zur Versorgung dieser Steuer- und Laststromkreise hat sich eine Spannung von 24Vdc durchgesetzt, die üblicherweise von einem zentralen Netzgerät erzeugt und in einer „Parallelstruktur“ zu den einzelnen Verbraucherzweigen verteilt wird.

Ein vielfacher Wunsch ist die einzelne Absicherung und Überwachung aller Verbraucherzweige, sodass kleinere Leitungsquerschnitte nicht überlastet werden und eine schnelle Fehlerdiagnose und Fehlerbehebung möglich ist. Außerdem soll es untereinander zu möglichst wenig unerwünschten Wechselwirkungen kommen. Wird z.B. ein Sensorkabel in einer Schaltschranktür eingequetscht, sollte nicht die komplette Steuerung abstürzen, sondern nur der fehlerhafte Pfad selektiv getrennt werden. Normen fordern eine solche Trennung nicht, in der Praxis findet man sie aber immer häufiger.

### Schnellauslösestrom von Leitungsschutzschaltern

Charakteristik

Auslösestrom  
(Vielfache des Nennstroms)

Charakteristik	Auslösestrom (Vielfache des Nennstroms)	
	bei AC	bei DC
<b>A</b>	2...3	2...4,5
<b>B</b>	3...5	3...7,5
<b>C</b>	5...10	5...15
<b>D</b>	10...20	10...30

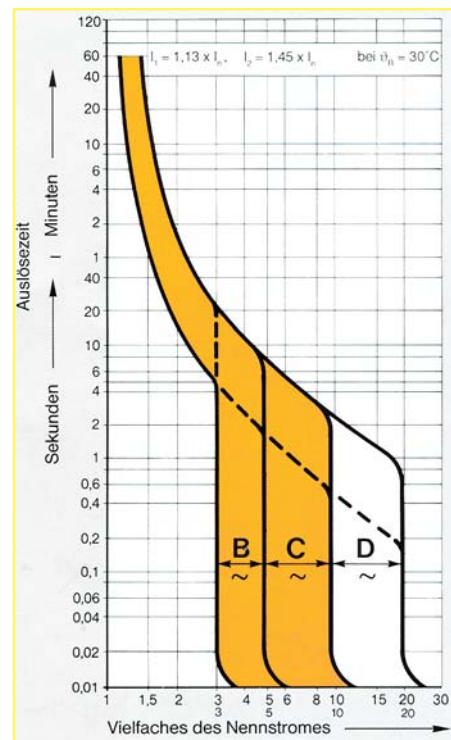
### Der Leitungsschutzschalter

Die einfachste und kostengünstigste Art der Absicherung sind elektromagnetische Leitungsschutzschalter. Diese haben einen magnetischen und thermischen Abschaltmechanismus. Der magnetische Auslösewert wird mittels des Schnellauslösestrom beschrieben. Man kann zwischen vier Empfindlichkeits-Klassen (Charakteristik A bis D) wählen. Nicht übersehen darf man die Tatsache, dass die allgemein bekannten Schnellauslöseströme nur bei Wechselstrom gelten. Bei Gleichstrom muss nach den Angaben der Hersteller die obere Grenze um den Faktor 1,5 korrigiert werden. In der Praxis finden vor allem LS-Schalter mit B- und C-Charakteristik Verwendung. Die A-Charakteristik ist zu flink, die D-Charakteristik ist unnötig träge. Es ist auch unerheblich, ob der LS-Schalter vor dem Auslösen mit Nennstrom belastet wird oder ohne Strom war. Der thermische Auslösemechanismus ist hingegen bei allen vier Klassen gleich. Gemäß der Kennlinien der Leitungsschutzschalterhersteller kann es z.B. beim 1,5-fachen Nennstrom zwischen 20 Sekunden und 30 Minuten dauern bis der Leitungsschutzschalter den Stromkreis öffnet. Diese hohen Auslöseströme der LS-Schalter, die zum schnellen Abschalten nötig sind, stellen besondere Anforderungen an die Netzgeräte in Bezug

auf die Überstromfähigkeit. Die in Netzgeräten eingebaute elektronische Strombegrenzung lässt normalerweise nicht viel mehr Dauerstrom als den Nennstrom zu.

### Spitzenstrom bei Netzgeräten

Bei PULS Geräten waren hohe dynamische Spitzenlastströme und ein kontinuierlicher Stromfluss bei Überlast schon immer wichtige Merkmale, welche bei der letzten Generation von Geräten noch mal durch die BonusPower® Funktion verstärkt wurde. Ein weiterer Vorteil der PULS Geräte sind die reichlich dimensionierten Ausgangskondensatoren. Damit werden kurzzeitig zusätzliche hohe Ströme zur Verfügung gestellt, die helfen Leitungsschutzschalter zum Auslösen zu bringen. Die Ausgangskondensatoren werden dabei zwar teilweise entladen, das sollte im Fehlerfall aber nicht weiter störend sein, da es sich nur um wenige Millisekunden handelt. Mit diesen beiden Maßnahmen vermeidet man oft ein sonst notwendiges Überdimensionieren des Netzgerätes.



Auslösecharakteristik versch. LS-Schalter  
Quelle: ABB-Stotz-Kontakt Katalog SK4.

### Impedanz der Fehlerschleife

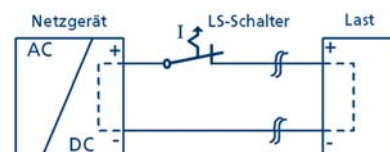
Viel wichtiger und oftmals entscheidend ist die Impedanz der Fehlerschleife. Die beste Stromreserve im Netzteil bringt nichts, wenn das ohmsche Gesetz ein Fließen des Stromes nicht zulässt. Leitungswiderstände haben hierbei den größten Einfluss und werden gerne mal unterschätzt. Der Einfluss des Leitungswiderstandes lässt sich am besten am folgenden typischen Beispiel erklären:

Eine Anzeigetafel mit einer Stromaufnahme von 5,5A ist 30m (entspricht 60m Drahtlänge) vom Schaltkasten entfernt. Der Anlagenbauer verwendet ein 10A Netzgerät, verkabelt die Zuleitung der Anzeigetafel mit 1mm<sup>2</sup> und sichert die Leitung mit einem 6A C-Charakteristik LS-Schalter ab.

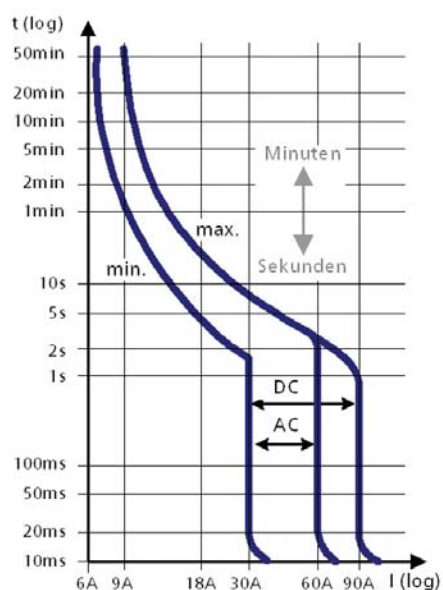
Berechnung der Impedanz der Fehlerschleife:

R Netzgerät (interner R)	=	30mΩ
R Anschlussstellen etc	=	20mΩ
R Leitungsschutzschalter	=	20mΩ
R Kurzschluss (im Gerät)	=	45mΩ
R Leitung 60m 1mm <sup>2</sup> (18mΩ/m)	=	1080mΩ
<b>R Gesamt</b>	=	<b>1195mΩ</b>

Im Fehlerfall kann folgender Strom fließen:  $I = U/R = 24V/1,195\Omega = 20A$



Die 20A entsprechen dem 3,3-fachen des Nennstroms eines 6A-LS-Schalters. Aus den Auslösekennlinien kann man ablesen, dass es zwischen 4 und 20 Sekunden dauern kann bis der 6A-LS-Schalter auslöst. Vorausgesetzt das Netzgerät liefert diesen Strom von 20A. Ein Netzgerät, welches mehr Strom als die 20A liefern würde (z.B. den 6-fachen Nennstrom), bringt in dieser Situation wenig. Wie man hier sieht, ist es bereits bei mittleren Kabellängen schon fast unmöglich eine schnelle Auslösung (innerhalb 10ms) zu erreichen. Die einzigen zwei Abhilfemöglichkeiten wären elektronische Schutzschalter (sind wesentlich genauer) oder die Erhöhung des Drahtquerschnittes, was aber mit deutlich höheren Kosten und Aufwand verbunden ist.



Auslösecharakteristik  
6A LS-Schalter C-Charakteristik

**Fall A:**

**Lange Leitungen**

**Leitungswiderstände begrenzen Stromfluss**

Hier tut vor allem der Leitungswiderstand weh. Die Spannung von nur 24V hat im Vergleich zu den sonst üblichen 230Vac deutlich weniger „Kraft“ den Strom durch die Leitung zu „drücken“. Wenn man davon ausgeht, dass das Netzgerät den erforderlichen Strom liefern kann, lässt sich über den Leitungswiderstand und das ohmsche Gesetz die maximale Leitungslänge in Abhängigkeit vom Leitungsquerschnitt ermitteln.

Als erforderlicher Strom wird bei der C-Charakteristik der 15-fache und bei der B-Charakteristik der 7,5-fache Nennstrom angenommen. Dies entspricht einem worst-case LS-Schalter. Wird diese Leitungslänge nicht überschritten und steht der erforderliche Strom zur Verfügung, kann eine Schnellabschaltung sichergestellt werden.

LS-Schalter	erforderlicher Strom	maximale Leitungslängen *)				
		0,75mm <sup>2</sup>	1mm <sup>2</sup>	1,5mm <sup>2</sup>	2,5mm <sup>2</sup>	4mm <sup>2</sup>
C-2A	30A	33,0m	44,0m	66,0m	110m	176m
C-3A	45A	22,0m	29,3m	44,0m	73,3m	117m
C-4A	60A	16,5m	22,0m	33,0m	55,0m	88,0m
C-6A	90A	11,0m	14,7m	22,0m	36,7m	58,7m
C-8A	120A	8,3m	11,0m	16,5m	27,5m	44,0m
C-10A	150A	6,6m	8,8m	13,2m	22,0m	35,2m
C-13A	195A	5,1m	6,8m	10,2m	16,9m	27,1m
C-16A	240A	4,1m	5,5m	8,3m	13,8m	22,0m
B-6A	45A	22,0m	29,3m	44,0m	73,3m	117m
B-10A	75A	13,2m	17,6m	26,4m	44,0m	70,4m
B-13A	98A	10,2m	13,5m	20,3m	33,8m	54,2m
B-16A	120A	8,3m	11,0m	16,5m	27,5m	44,0m
B-20A	150A	6,6m	8,8m	13,2m	22,0m	35,2m

\*) Die Leitungslänge entspricht der Drahtlänge, Hin- und Rückleitung beachten!

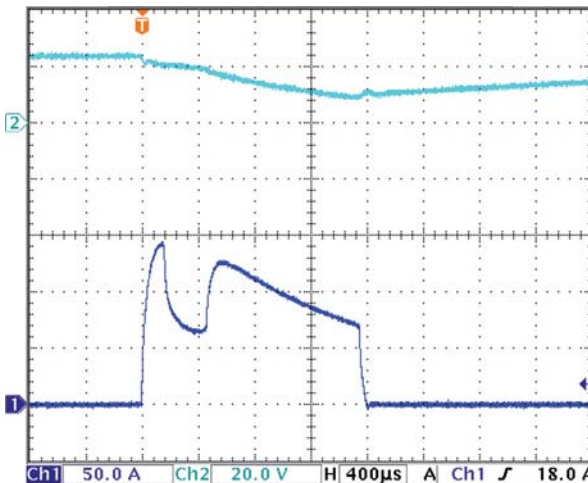
**Fall B:**  
**Kurze und mittellange Leitungen,**  
**Große Ausgangselkos im Netzgerät helfen**

Tritt zum Beispiel der Kurzschluss oder Fehler innerhalb des Schaltschranks auf, dann ist die Leitung entsprechend kurz und die Impedanz des Fehlerkreises gering.

Neben den allgemein bekannten Auslösekennlinien von LS-Schaltern (siehe Diagramm auf Seite 2) gibt es Durchlasskennlinien, die den Zeitbereich kürzer 10ms abdecken. Hierfür sind zwar höhere Ströme erforderlich, diese können aber mit Hilfe der Ausgangskondensatoren im Netzgerät zustande kommen. Je größer diese Kondensatoren sind, desto höher ist der Fehlerstrom und desto schneller erfolgt die Abschaltung.

Aus verschiedensten Messreihen kann man erkennen, dass LS-Schalter zwischen 600µs und 2ms abschalten, wenn der Strom ausreichend hoch ist. Dies scheint durch die mechanische Trägheit der LS-Schalter begründet zu sein.

Das folgende Oszillogramm zeigt ein solches typisches Verhalten.

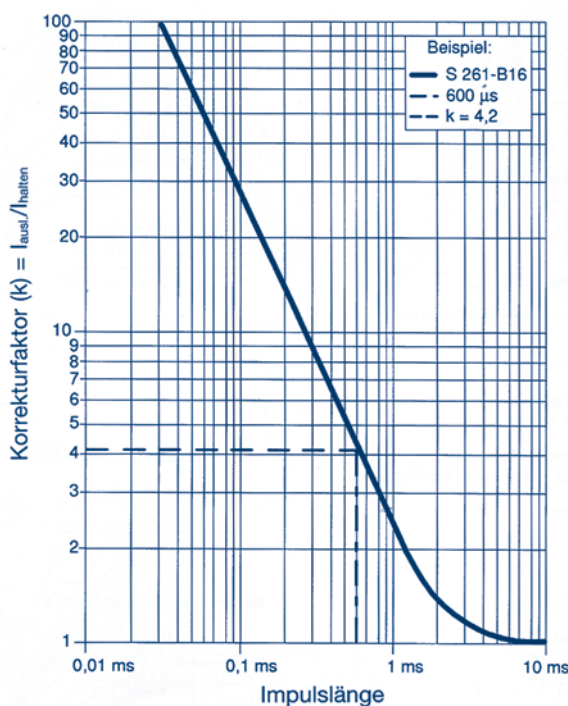


sein sollte. Ein Netzgerät mit einem vielfachen Nennstrom (wenn auch nur kurzzeitig) ist oftmals nicht notwendig.

Diese Kurven wurden mit einem QS10.241 (10A) Netzgerät und einem C-4A LS-Schalter aufgenommen. Die obere Kurve ist die Ausgangsspannung mit 20V/DIV. Die untere Kurve ist der Fehlerstrom mit 50A/DIV. Es fließt ein

kurzer Peakstrom von etwa 145A, der dann nach 1,5ms unterbrochen wird. Im Spannungsverlauf kann man erkennen, wie der Ausgangskondensator hierbei entladen wird. Die 24V Spannung steht dann wieder etwa 3ms nach dem Abschalten zur Verfügung. Man kann hier gut erkennen, dass der Ausgangskondensator den Hauptbeitrag an Strom leistet. Dieser zusätzliche Strom erklärt warum in der Praxis LS-Schalter oft doch auslösen, auch wenn nach Betrachtung gemäß Fall A dies nicht möglich

Wir empfehlen zusätzlich zu theoretischen Überlegungen praktische Tests durchzuführen. Einen guten Anhaltspunkt geben auch die Testergebnisse, die sich in den Datenblättern der PULS Netzgeräte befinden. Man sollte sich auch auf keinen Fall durch werbliche Aussagen einiger Hersteller verwirren lassen, die dieses Thema für sich neu entdeckt haben. Mit ein wenig technischem Sachverstand kann man selbst entscheiden, ob der Einsatz eines LS-Schalters den gewünschten Erfolg bringt oder ob doch eine elektronische Lösung erforderlich ist.



$I_{aust.} = K \times I_{halten} \quad (I_{halten} = 3 \times I_n)$   
 $I_{aust.} = 4,2 \times 3 \times 16$   
 $I_{aust.} = 172,8 \text{ A}$   
 B-Charakteristik =  $3 \times I_n$   
 C-Charakteristik =  $5 \times I_n$   
 Auszug aus dem ABB-Stotz-Kontakt Katalog SK4.