

# Strom- oder energiebegrenzend?

Schutzgeräte, Schutzeinrichtungen für elektrische Einrichtungen sind nicht nur im Aufbau recht komplizierte Geräte. Für die richtige Anwendung gilt es die verschiedensten Randbedingungen zu beachten, wobei diese zum Teil gar nicht bekannt sind. Mit dem folgenden Bericht soll einzig ein Aspekt, nämlich der der strombegrenzenden Wirkung aus der Sicht der Anwendung in elektronischen Schaltkreisen, beleuchtet werden.

**Klaus Padberg**

Eine Sicherung soll sichern? Wie das ein Karabinerhaken den Bergsteiger in der Steilwand tut? Sicher nicht. Aber vielleicht soll sie eine Leitung, ein Gerät oder auch etwas ganz anderes schützen. So müsste sie eigentlich sinnvolles Schütz, von schützen, heissen, doch der Begriff ist ja schon definitiv von einer anderen Gruppe von Geräten belegt.

## Sicherung: ein komplexer Begriff

Aber immerhin, in unserer modernen Technik wird die gemeine Sicherung, auch Schmelzsicherung genannt, der Gruppe der Schutzgeräte zugeordnet. Dort fristet sie aller Technologie zum Trotz, d. h. neben allen modernen und intelligenten Schutzgeräten, ein nicht wegzudenkendes Dasein. Unter dem Begriff der Schutzgeräte bzw. -einrichtungen finden sich also von der Schmelzsicherung über den verbreiteten Leitungsschutzschalter, den Leistungsschalter, den Fehlerstromschalter bis hin zu Netzanalysegeräten und dem Wärmepaket oder Motorschutzschalter mehr oder weniger komplexe Geräte, die eigentlich nur eine zentrale Aufgabe haben:

- den Schutz vorgeordneter oder nachgeordneter Einrichtungen und Installationen.

Eine Schutzeinrichtung richtig zu dimensionieren, ist gar nicht so einfach. Selektivität, Auslösekennlinien usw. seien hier als Schlagworte genannt.

## Was macht eine Sicherung?

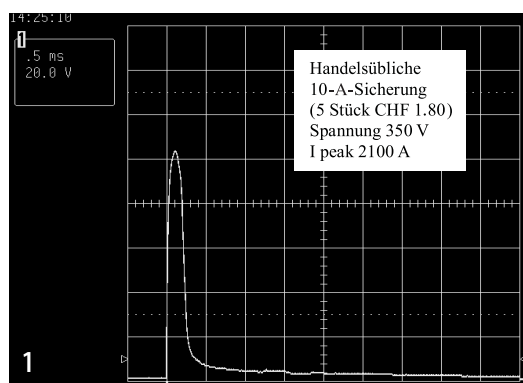
Was macht eigentlich eine Sicherung? Nun, in verschiedenen, allzu bekannten Fachbüchern, aber auch von anerkannten Experten wird verkündet, eine Sicherung begrenze den Strom. Aus höchst oberflächlicher Sicht mag das ja noch in der allgemeinen Elektrotechnik durchgehen. Aus der Sicht der Elektronik und der schnellen Vorgänge aber ist diese Behauptung als falsch, gar gefährlich einzuordnen.

Ist es nicht so, dass im Falle eines plötzlich auftretenden Kurzschlusses

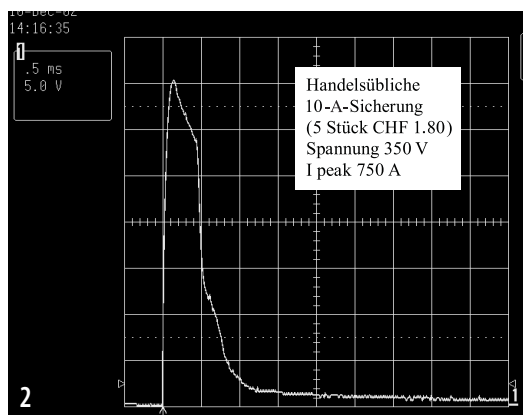
im betroffenen Stromkreis erst einmal der Strom fliesst, und zwar exakt der, der durch den Widerstand des Stromkreises und die Quellenspannung gegeben ist? Darin spielt der Eigenwiderstand der Sicherung – hoffentlich – nur eine untergeordnete Rolle.

Übrigens: So eine Sicherung, Leitungsschutzschalter, Sicherungsautomat weist in der 13-A-Ausführung einen Widerstand von 10 bis 15 mΩ auf. Im Bereich grösserer Sicherungen von z. B. 63 A geht dieser Widerstand bis auf weniger als 2 mΩ hinunter. So ist bei Nennlast mit 2 bis W Verlustleistung je Pol zu rechnen, eine nicht zu unterschätzende Grösse bei vollem, engem Schaltschrankausbau.

Warum auch wird denn das Bemessungsausschaltvermögen angegeben, wenn doch die Sicherung selber strombegrenzend sein soll? Wohl erst



**Bild 1** Hier wird der Stromverlauf gezeigt ohne Sicherungsausfall. Bis etwa 500 µs fliesst ein Spitzenstrom bis zu 2100 A. Der Strom ist praktisch nur durch den Schaltkreiswiderstand begrenzt. Die Energie reicht nicht aus, um die Sicherung auszulösen. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass mit der Zeit die Sicherung «ermüdet» und dann auch bei Nennstrom auslöst.



**Bild 2** Hier wird der Stromverlauf gezeigt mit Sicherungsausfall. Bis etwa 400 ms fliesst ein Spitzenstrom von max. 750 A. Der Strom ist praktisch nur durch den Schaltkreiswiderstand begrenzt. Nach etwa 400 ms beginnt die Sicherung zu unterbrechen. Nach etwa 1 ms ist der Stromkreis unterbrochen, deutlich ist die strombegrenzende Wirkung durch den Lichtbogen zu erkennen.

wenn der Schmelzleiter, d.h. die Sicherungsstrecke zu schmelzen beginnt, es also zu einem Lichtbogen und damit zu einer dramatischen Erhöhung des Sicherungswiderstandes bzw. des Spannungsabfalls über der Sicherung kommt, darf man doch wohl von einer strombegrenzenden Wirkung reden (Bild 1 und Bild 2).

Im Übrigen ist es so, dass wegen des Lichtbogens die Auslösezeit durchaus auch abhängig ist von der Spannung. Die minimale Auslösezeit beträgt immerhin einige Millisekunden (ms). Ähnliches gilt auch für thermomagnetische Schutzelemente. Selbst bei zulässigen höchsten Strömen hat ein solches Schutzelement eine minimale Ansprechzeit (Auslösezeit).

### Nur bedingt strombegrenzend

Man darf korrekterweise von einer strombegrenzenden Wirkung nur dann reden, wenn eine Sicherung zusammen mit Serieinduktivitäten oder unter gewissen Randbedingungen allenfalls zusammen mit Wechselspannungen gesehen wird, d.h. in einem Schaltkreis.

- Eine Serieinduktivität begrenzt die Stromanstiegsgeschwindigkeit, so kann die Schutzeinrichtung noch vor Erreichen des max. Stromwertes reagieren.
- Bei Kurzschluss im Wechselstrom-0-Durchgang wird der Strom mit dem Spannungsanstieg relativ langsam ansteigen. Auch hier kann u.U. das Schutzelement vor Erreichen der Maximalwerte reagieren, d.h. abschalten.

Die oft erfahrenen Konsequenzen aus dieser Tatsache sind trotz vorgeschalteter Sicherung defekte Halbleiter usw. Es ist richtiger festzustellen, dass eine Sicherung in jedem Falle aber die Energie begrenzt.

### Beispiel

Ein Installationsleiter, 1,5 mm<sup>2</sup> Kupfer, darf max. 100 °C werden. Wenn wir dann noch der Einfachheit halber von einer max. Umgebungstemperatur von 20 °C ausgehen, so darf man für eine vorgeschaltete Sicherung folgende Betrachtung machen:

*Materialeigenschaften:*

Spez. Wärmekapazität von Kupfer

394 Ws kg<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>/20 °C

Spezifischer Widerstand von Kupfer

0,0175 Ωm<sup>-1</sup>mm<sup>2</sup>/20 °C

Spezifischer Wärmekoeffizient

0,0039 K<sup>-1</sup>

Dichte Kupferdraht

8,96 gcm<sup>-3</sup>

So ergibt sich also für den Draht von 1 m Länge eine Masse von  $m = 1,5 \text{ mm}^2 \times 1000 \text{ mm} \times 8,96 \text{ gcm}^{-3} \times 10^{-3} = 13,44 \text{ g}$

Daraus ergibt sich also die Energie, um den Draht von 20 °C auf 100 °C zu erwärmen, wie folgt:

$$Q = c \times m \times \Delta J = 394 \text{ Ws kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 10^{-3} \times 13,44 \text{ g} \times 80 \text{ K} = 424 \text{ Ws.}$$

Da es sich um eine sehr schnelle Erwärmung handelt, darf davon ausgegangen werden, dass die Wärmeverluste durch Abstrahlung oder Ableitung in die umhüllende Isolation zu vernachlässigen ist.

Das heisst also, es muss sichergestellt werden, dass pro m Kupferdraht keine höhere Energiebelastung auftritt. Oder anders ausgedrückt, es muss sichergestellt werden, dass eine vorgeschaltete Sicherung einen max. gleich grossen (Energie-)Durchlasswert aufweist.

Unter dem Durchlasswert (multipliziert mit dem Widerstand) einer Sicherung sei die Schmelzenergie, genauer die Energie, die notwendig ist, bis der Schmelzleiter unterbrochen ist oder eben das Schutzelement den Stromkreis unterbrochen hat, als eine massgebende Grösse verstanden.

Die Energie errechnet sich zu

$$Q = I^2 \times R \times t$$

Lässt man den Wert R weg, ergibt sich der Durchlasswert zu  $I^2 \times t$ . Genau die gleiche Angabe findet sich als Angabe bei Leistungshalbleitern usw. Kommen wir zurück auf unseren Kupferleiter:

Gehen wir für unsere Betrachtung von einer mittleren Temperatur von 20 °C + (100 °C - 20 °C / 2) = 60 °C so ergibt sich ein mittlerer Drahtwiderstand von

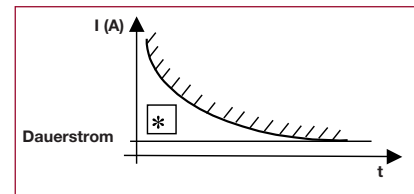
$$R_m = R_{20} (1 + 0,0039 \times 40 \text{ K}) = 13,5 \text{ m}\Omega$$

Damit darf also ein folgender Strom in dem Leiter fließen:

$$W = I^2 \times R; Q = W \times t; Q = I^2 \times R \times t$$

$$I = \sqrt{Q \cdot R^{-1} \cdot t^{-1}}$$

Das heisst, der Strom I während 1 s : 177 A, oder während 100 ms 560 A, oder während 10 ms 1770 A usw. grafisch dargestellt, ergibt qualitativ Bild 3.



**Bild 3** \*Zulässiger Belastungsbereich. Eine vorgeschaltete Sicherung muss innerhalb dieses Bereiches abschalten.

So liess sich für jede Ausgangstemperatur, für jeden Drahtdurchmesser eine eigene Leistungsgrenzkurve (Lastgrenzkurve) darstellen. In der Praxis wird man nur die Kurve für die max. zulässige Betriebstemperatur angeben. So ist man in allen Fällen auf der sicheren Seite.

### Energiebegrenzend

Ist also die Sicherung in der Lage, die Energie unterhalb der Leistungsgrenzkurve zu begrenzen, so kann davon ausgegangen werden, dass der Draht geschützt wird. Die gleiche Betrachtung kann für verschiedene andere elektrische Komponenten und Geräte gemacht werden:

- Bei Leistungshalbleitern muss man thermische Überlastungen unter allen Umständen vermeiden (Rissbildung). Insbesondere bei Leistungshalbleitern wird deshalb häufig der i<sup>2</sup>t-Wert angegeben, um eine zuverlässige Vorsicherung auswählen zu können. Die Werte für Halbleiterschütze im Bereich 10 A bis 63 A sollten im Bereich von mehreren hundert bis gegen 10000 A<sup>2</sup>s liegen. Ein kleiner Wert lässt darauf schliessen, dass der Hersteller durch Verwendung eines kleinen Kristallvolumens Geld gespart hat. Allenfalls angegebene Spitzenströme dürfen ebenfalls nicht überschritten – auch nicht im µs-Bereich – werden, um unzulässige lokale Überhitzungen im Kristall (Hot Spots) zu vermeiden. Die Sicherstellung dieser Werte kann nur durch geeignete Widerstände im Schaltkreis, nicht aber durch eine Sicherung erfolgen.

- Für elektromechanische Kontakte liessen sich durchaus auch solche Werte (Verschweissenergie) angeben, wobei noch die Unterscheidung zwischen Kurzschlusswert bei eingeschaltetem Kontakt und Schalten auf Kurzschluss sinnvoll wäre. Nur leider sind für elektromechanische Kontakte solche Werte nur selten erhältlich.

- Bei kompletten Geräten und geeignetem Aufbau z. B. des Trafos am Eingang ist im günstigsten Fall die thermische Zeitkonstante aufgrund der Erwärmungsenergie (wie beim Draht) das Mass für eine geeignete Absicherung, da im Allgemeinen immer ein ausreichender Restwiderstand, auch bei internem Kurzschluss, verbleibt, der den max. Strom begrenzt. Hier ist kann es im Gegenteil schon zum Problem werden, dass eine vorgeschaltete Sicherung überhaupt auslöst.
- Für Überspannungsableiter (VDR) werden häufig zwei Werte angegeben. Einmal der zulässige Surge Puls  $I_{max}$  in A/kA entsprechend der Standardkurve 8/20  $\mu s$  und zum anderen das Vermögen der Energieabsorption in  $Ws (J)$ . Während der Surge-Puls-Strom nur durch entsprechenden Aufbau bzw. entsprechende Schaltungsmassnahme begrenzt werden kann, kann die Energieabsorption im Bereich  $> 1$  ms durchaus mit einer geeigneten Sicherung begrenzt werden. Es wird noch unterschieden zwischen einmaligem und mehrmaligen (repetitiven) Ereignissen.

Um nun die Dinge nicht allzu sehr zu vereinfachen, sei darauf hingewiesen, dass der  $i^2t$ -Wert einer Sicherung nur für sehr kurze Auslösezeiten – z. B. je nach Ausführung  $< 15$  ms – konstant ist. So wird dieser Wert z. B. für die Schmelzzeit (virtuelle Auslösezeit) von 1 ms angegeben. Für höhere Auslösezeiten steigt der Wert stark an. Das rührt daher, dass bei entsprechend kleineren Strömen mehr Energie vom Schmelzdraht an die Umgebung abgegeben werden kann. Will man nun einen nachgeschalteten Halbleiterschalter dennoch schützen, so muss einerseits der max. Kurzschlussstrom durch geeignete Massnahmen begrenzt sein, andererseits der Halbleiter den entsprechenden Strom für Auslösezeit aushalten können. ET09

**Klaus Padberg**  
 Comat AG, Bernstrasse 4  
 3076 Worb, [www.comat.ch](http://www.comat.ch)