

Anlagenbau, Industrie und Gebäude

SCHALTSCHRANKBAU

Methoden - Komponenten - Workflow

Die Lebensdauer von Schmelzsicherungen

Eine Frage der Planung

Jeder Praktiker kann von Fällen berichten, bei denen Schmelzsicherungen bei der Erneuerung einer Anlage nach Jahrzehnten im Betrieb noch offenbar unversehrt und funktionstüchtig entnommen werden konnten. Ebenso gibt es Erfahrungen, dass bei manchen Anlagen der wiederholte 'Ausfall' (genauer: das Abschalten) von Sicherungen zu lästigen und teils auch teuren Betriebsstörungen führte.



Bild: FuseExpert

Der Eindruck einer begrenzten Lebensdauer von Sicherungen oder die Vermutung einer systemimmanenten Alterung dürfte auf der Erfahrung ungeklärter Betriebsstörungen durch 'Sicherungsausfälle' beruhen, die durch Sicherungswechsel häufig einfach (wenigstens vorübergehend) zu beseitigen waren. Im Folgenden soll versucht werden, die Hintergründe scheinbar „spontaner“ Abschaltungen von Schmelzsicherungen zu durchleuchten, indem die

Einflussfaktoren auf ihre betriebliche Lebensdauer erläutert werden.

Definition der Lebensdauer

Die meisten Geräte und Maschinen sowie Gegenstände des täglichen Bedarfs haben erfahrungsgemäß eine begrenzte Lebensdauer. Sie unterliegen vielfältigen Einflüssen, welche die Gebrauchstüchtigkeit mit der Zeit beeinträchtigen: Diese Einflüsse führen zu ir-

reversiblen Veränderungen, wobei generell die Intensität der Beanspruchungen und die Betriebstemperaturen einen wesentlichen Einfluss auf die Änderungsgeschwindigkeit und damit auf die Lebensdauer eines Bauteils oder Produkts haben. Aussagen zur Produktlebensdauer sind daher immer bezogen auf externe Einflussfaktoren und betriebliche Belastungsfaktoren. Die Vielfalt der externen Einfluss- und betrieblichen Belastungsfaktoren lässt bei Schmelzsiche-

- Anzeige -

NEUE VDE-NORM FÜR HLAK IM ZÄHLERSCHRANK:

Hauptleitungsabzweigklemmen von HORA eTec erfüllen Vorgaben und sind kurzfristig lieferbar.

- HLAK-Serie von HORA eTec nach neuer VDE-Norm **DIN VDE 0603-3-1** zertifiziert
- Hochspannungsprüfung mit 3.500 V (höher als gefordert)
- Zusätzlich 1.000 V AC/DC Prüfung
- CTI-Wert dreimal höher als gefordert
- Horizontale/vertikale Montage möglich
- Modulare und platzsparende Bauweise (Modulbreite 17,8 mm)
- Für Aluminium- und/oder Kupferleiter
- Keine Drehmomentverluste dank Verzicht auf Bremsschrauben
- Offener Klemmraum
- Besonders hoher Korrosionsschutz

NEUE
VDE-NORM

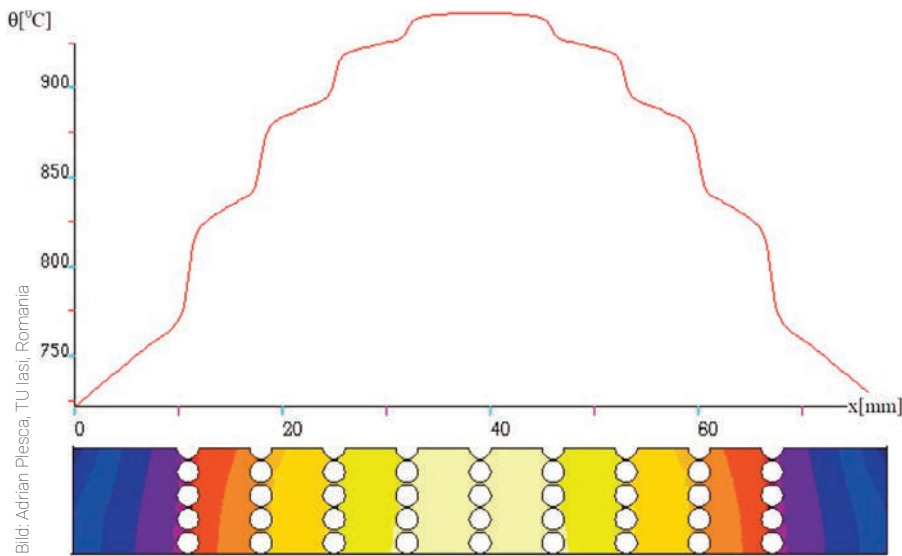


Bild 2 | Temperaturprofil eines Schmelzleiters (Teilbereichssicherung ohne Lot) Quelle: Prof. Adrian Plesca, TU Iasi, Romania

rungen eine generelle Angabe verlässlicher Lebensdauerwerte nicht zu. Der damit verbundene experimentelle Aufwand ist allenfalls für besonders kritische Anwendungsfälle zu rechtfertigen.

Lebensdauer von Schmelzsicherungen (speziell NH-Sicherungen)

Solange die o. a. Faktoren sich im Rahmen der Normbedingungen halten, „wird ohne weitere Einschränkung angenommen, dass die der vorliegenden Norm entsprechenden Sicherungen zufriedenstellend arbeiten“ (Zitat: VDE 0636-1). Die Sicherungsnorm VDE 0636-1 definiert den Bemessungsstrom I_r als den „Wert des Stromes, mit dem der Sicherungseinsatz unter den vorgeschriebenen Bedingungen ohne nachteilige Veränderungen dauernd belastet werden kann.“ Diese Aussage basiert auf jahrzehntelanger Erfahrung mit genormten Sicherungen und auf der Robustheit der Sicherungskonstruktion und der verwendeten Werkstoffe. Die allgemein verwendeten Schmelzleiterwerkstoffe Kupfer und Silber sind äußerst beständig gegen Oxidation und die Gehäusekeramik sowie der als Lichtbogenlöschmittel verwendete Quarzsand sind weitgehend immun

gegen Alterung und versprechen eine praktisch unbegrenzte Lebensdauer unter den in der Norm definierten Bedingungen. Es gilt daher, die äußeren Einflussfaktoren und Belastungsgrenzen zu finden, welche die Sicherungen über die Normbedingungen hinaus oder abweichend zu diesen übermäßig beanspruchen und zu vorzeitigen Abschaltungen oder anderweitigem Fehlverhalten führen können. Bei genauer Kenntnis der Einsatzbedingungen und der betrieblichen Beanspruchungen kann für jede Anwendung eine Sicherung mit zufriedenstellender Lebensdauer ausgewählt werden.

Lebensdauer verkürzende Einflussfaktoren und betriebliche Belastungen

» Externe Einflussfaktoren

- Umgebungstemperatur, Wärmeeintrag und Kühlbedingungen: Die Funktion von Sicherungen basiert auf dem Schmelzen von Metallen, sei es des Schmelzleiterbandes aus Kupfer oder Silber oder eines Reaktionsmittels auf Zinnbasis (Weichlot). Zur bestimmungsgemäßen Funktion, dem zuverlässigen Unterbrechen von Überströmen, müssen örtlich

die hohen Schmelztemperaturen dieser Metalle erreicht werden. Andererseits sind hohe Temperaturen, wenn sie häufig und über lange Zeit auftreten, ein wesentlicher Treiber chemischer und physikalischer Materialveränderungen, die zu bleibenden Veränderungen der Sicherungseigenschaften (Alterung) führen. Neben der Umgebungstemperatur (Lufttemperatur außerhalb des Gehäuses) haben ggf. noch Sonneneinstrahlung und benachbarte Wärmequellen innerhalb des Gehäuses Einfluss auf die Temperatur der die Sicherung kühlenden Luft. Der Wärmeeintrag aus der Umgebung allein führt in der Regel jedoch nicht zu bleibenden Veränderungen der Sicherungen. Da die stromabhängige betriebliche Erwärmung sich auf die Umgebungstemperatur addiert, muss die Strombelastbarkeit der Sicherung bei erhöhter Umgebungstemperatur nach Angabe des Herstellers reduziert werden. Die zulässige Belastbarkeit hängt wesentlich von der Schmelztemperatur des Schmelzleitermetalls ab. Ausreichende Querschnitte der angeschlossenen Leiter, gute Belüftung und ggf. forcierte Kühlung halten die Erwärmung auch bei sehr hoher Belastung meistens auf einem für die Sicherungslebensdauer unschädlichen Niveau.

- Korrosive Atmosphäre und Verschmutzung: Der Rostschutz von NH-Sicherungen hat sich für den Einsatz unter Normbedingungen bei höchstens 90% relativer Feuchte und mäßiger Kondensatbildung durch Temperaturschwankungen als ausreichend erwiesen. Für den Einsatz in Kabelverteilerschränken werden NH-Sicherungsleisten für Verschmutzungsgrad 3 nach IEC 60664-1 ausgelegt und entsprechend schärfer nach ISO 6988 mit SFW 2,0 S geprüft. Extrem salzhaltige Luft in Meeresnähe oder besonders korrosive Atmosphäre in Tierhaltung und chemischen Betrieben erfordern ggf. spezielle Oberflächenbehandlungen der Metallteile und Maßnahmen gegen Betauung, um eine angemessene betriebliche Lebensdauer zu erzielen.

- Stoßbeanspruchung, Erschütterungen, Vibration: Das robuste äußere Erscheinungsbild täuscht leicht darüber hinweg, dass Sicherungen Präzisionsbauteile sind, die äußerst filigrane Schmelzleiterstrukturen enthalten. Heftige Erschütterungen, Stöße und Vibrationen können zum Bruch von Engstellen oder Abrasion von Schmelzleitermaterial und damit zu bleibenden Veränderungen führen, welche die Lebensdauer verkürzen. Sorgfältige Behandlung beim Transport kann Beeinträchtigungen vor der Inbetriebnahme weitgehend vermeiden. Für den Einsatz in Fahrzeugen und auf Arbeitsmaschinen mit betriebsbedingten Erschütterungen und Vibrationen gelten z. T. eigene Normen. Sofern keine anwendbaren Normen vorhanden sind, ist die Eignung der Sicherungen für solche Anwendungen mit dem Hersteller abzustimmen.

» Betriebliche Belastungsfaktoren

- Überströme: Sicherungen können Betriebsströme bis zu ihrem Bemessungsstrom I_r dauernd führen. Darüber hinausgehende Ströme, Fehlerströme und je nach Betriebsklasse auch Überlastströme ab dem großen Prüfstrom I_f , unterbrechen sie entsprechend ihren Zeit/Strom-Kennlinien. Diese Kennlinien stellen jedoch keine scharfen Grenzen zwischen Unversehrtheit und Stromunterbrechung dar. Erstens handelt es sich um Mittelwerte mit statistischen Abweichungen und zweitens können auch Strombelastungen, die nicht unmittelbar zur Abschaltung führen, bleibende Veränderungen hinterlassen, die sich auf die weitere Lebensdauer auswirken. Betriebsströme I_b zwischen dem Bemessungsstrom der Sicherung I_r und dem großen Prüfstrom I_f ($I_f > I_b > I_r$) erzeugen zwar sehr hohe Schmelzleitertemperaturen, werden aber nicht zuverlässig unterbrochen. Treten sie häufiger auf, muss mit bleibenden Veränderungen der Schmelzleiter im Bereich des Lotauftrags gerechnet werden. Nähert sich die Schmelzleitertemperatur dem Schmelzpunkt des Lotauftrags, verändert sich die Schmelzleiterstruktur durch Interdiffusion irreversibel. Es bilden sich intermetallische Phasen mit erhöhtem elektrischem Widerstand, welche kürzere Schmelzzeiten zur Folge haben und damit zu ungewollten Abschaltungen führen können. Dabei muss man berücksichtigen, dass das Lot an der wärmsten Stelle des Schmelzleiters positioniert ist, die eine wesentlich höhere Temperatur aufweist als äußerlich der Messung zugängliche Stellen (Bild 2). Bei genormten Erwärmungsprüfungen werden üblicherweise die Leiteranschlusstemperaturen gemessen, die je nach Bauform der Sicherungsunterteile mehr oder weniger repräsentativ für die Schmelzleitertemperatur sind. Der Anwendungsleitfaden VDE 0636-5 schlägt zur Beurteilung der Erwärmung von NH-Sicherungen in Gehäusen mit beschränkter Wärmeabfuhr die Messung der Sicherungsmessertemperatur vor, die 130°C nicht überschreiten soll und bei Dauerbetrieb möglichst deutlich darunter liegen sollte.



**Lokales Knowhow
und globale Erfahrung
für Ihr Projekt.**

**Smarte Lösungen für
die Energieverteilung.**
Kontaktieren Sie uns,
wir beraten Sie gerne!



Reliable innovation. Personal solutions.

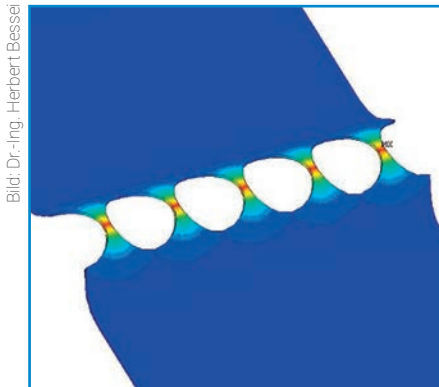


Bild: Dr.-Ing. Herbert Bessei

Bild 3 | aR-Schmelzleiter

- **Periodische Last:** Periodische Last mit abwechselnden Erwärmungs- und Abkühlperioden, welche den Bemessungsstrom der Sicherung nicht überschreitet, hat keinen besonderen Einfluss auf die Sicherungslebensdauer. Entscheidend ist nur die Dauer hoher Schmelzleitertemperaturen.
- **Anlaufströme und Einschaltspitzen:** Beim direkten Einschalten von Motoren treten Anlaufströme in der Höhe des 5- bis 6-Fachen des Motorvollaststroms für die Dauer von mehreren Sekunden auf. Bei nicht ausreichender Bemessung der zugeordneten Sicherungen kann es zu irreversiblen Anschmelzungen des Lots bei Ganzbereichssicherungen oder auch der Engstellen bei Teilbereichssicherungen kommen mit erhöhter Wahrscheinlichkeit einer Lebensdauerverkürzung. Wiederholte Anschmelzungen und die Unterbrechung einzelner Stege führen zum vorzeitigen Abschalten. Im schlimmsten Falle

kommt es zum Schaltversagen, wenn eine derart vorgeschädigte Teilbereichssicherung von Strömen unterhalb ihres Ausschaltbereichs unterbrochen wird. Beim Einschalten von Transformatoren und Kondensatoren auftretende kurzzeitige Stromspitzen (Inrushs) erreichen bei wesentlich kürzerer Dauer noch größere Vielfache des Bemessungsstroms. Ausschlaggebend für mögliche Vorschädigung der Sicherungen sind jedoch weniger die absoluten Stromspitzenwerte als das Joule-Integral I^2t . Dieses sollte deutlich kleiner sein als das Schmelzintegral I^2t der Sicherung.

- **Impulsbelastung:** Anhaltende periodische Belastung mit hohen Stromimpulsen kurzer Dauer kommt hauptsächlich bei Sicherungen für den Schutz von Halbleiterbauelementen (Betriebsklassen aR und gR) vor. Bei diesen superflinken Sicherungen sind die Schmelzleiter an den Engstellen auf etwa ein Zehntel des Bandquerschnitts reduziert und die Stromdichten entsprechend hoch (Bild 3). Selbst wenn der Effektivwert eines pulsierenden Laststroms keine übermäßige Erwärmung erwarten lässt, können einzelne Impulse infolge sehr hoher Stromdichte die Engstellen kurzzeitig bis in die Nähe des Schmelzpunkts erwärmen. Das Wechselspiel von lokaler Wärmedehnung und Kontraktion beim Abkühlen führt zu bleibenden Veränderungen der Metallstruktur. Dauernde Belastung dieser Intensität führt zur Lebensdauerverkürzung durch Ermüdungsbrüche. Die zulässigen Impulsbe-

lastungen können den Überlastkennlinien der Hersteller entnommen oder durch gezielte Untersuchungen anwendungsspezifisch ermittelt werden.

Zusammenfassung

Sicherungen sind Überstrom-Schutzgeräte, die Fehlerströme und je nach Betriebsklasse auch Überlastströme ab dem großen Prüfstrom entsprechend ihren Zeit/Strom-Kennlinien zuverlässig unterbrechen können. Betriebsströme bis zu ihrem Bemessungsstrom können sie unter definierten Bedingungen dauernd führen. Häufige und länger anhaltende Überlastströme zwischen dem Sicherungsbemessungsstrom und dem großen Prüfstrom wirken sich schädlich auf die Lebensdauer aus und sind deshalb zu vermeiden. Auf keinen Fall sollten Sicherungen abweichend von ihrer Bestimmung zur Lastbegrenzung verwendet werden, da anhaltend hohe thermische Belastungen die Lebensdauer verkürzen und zu Fehlverhalten führen können. Bei fachkundiger Sicherungsauswahl auf der Basis einer sorgfältigen Anlagenplanung bieten Sicherungen einen zuverlässigen Überstromschutz während der gesamten Lebensdauer der zu schützenden Anlage. Dazu ist die Kenntnis Lebensdauer verkürzender (äußerer) Einflussfaktoren ebenso unerlässlich wie die planerische Bestimmung der betrieblichen Belastungsfaktoren. ■

www.fuseXpert.de

Firma | FuseXpert



Bild: Dr.-Ing. Herbert Bessei

Dr.-Ing. Herbert Bessei ist Autor des Sicherungshandbuchs des gemeinnützigen NH/HH-Recyclingvereins, das seit seinem Erscheinen im Jahr 2007 bisher in neun Sprachen übersetzt wurde. Das Handbuch ist kostenlos beim NH/HH-Recyclingverein zu bestellen, für Berufsschulen und Lehrwerkstätten auch in größeren Mengen. Der gemeinnützige Verein zur Förderung des umweltgerechten Recyclings von abgeschalteten NH/HH Sicherungseinsätzen e.V. feiert in diesem Jahr sein 25-jähriges Bestehen. Als freiwillige Initiative der deutschen Sicherungshersteller widmet sich der Verein dem Recycling von ausgedienten Schmelzsicherungen als Beitrag für einen nachhaltigen Wirtschaftskreislauf. Energieversorger, Industrieunternehmen, mittelständische Betriebe und das Elektrohandwerk beteiligen in sich ganz Deutschland über ein vom Verein finanziertes flächendeckendes Sammelsystem. Die Überschüsse verwendet der Verein ausnahmslos in Form von Spenden zur Finanzierung von Forschung, Lehre, Aus- und Weiterbildung. Mitglieder des Vereins sind die deutschen Sicherungshersteller Driescher Wegberg, Efen, Hager, Jean Müller, Mersen, Siba und Siemens.

www.nh-hh-recycling.de