

# Zerstörerische Phänomene

## Technische Lösungen zur Reduzierung von Lichtbögen

Er gilt als Schreckgespenst in der Relais-technik, knabbert an Lebensdauer sowie Schalt-Performance und kostet so manchen Entwickler einiges an Kopfzerbrechen: der Ein- und Ausschaltlichtbogen. Weder Knoblauch noch Weihwasser vertreiben ihn, stattdessen gelten physikalisches Hintergrundwissen und intelligente Schaltungstechnik als geeignete Antwort auf den unerwünschten Hitzeblitz, der bereits ab 8 V Gleichspannung die Schaltkontakte angreift. Aber bevor Entwickler in den Feldversuch ziehen, gilt es, sich ein wenig mit der Entstehungsgeschichte des Lichtbogens zu beschäftigen.

Von Markus Bichler

Die folgenden Ausführungen zeichnen ein grobes physikalisches Bild, wie der Lichtbogen entsteht und was ihn begünstigt oder vermindert. Abschließend folgen einige Tipps & Tricks sowie technische Lösungen zur Reduzierung von Lichtbögen.

### ■ Entstehung eines Lichtbogens

In der herkömmlichen Kontakttechnik gibt es kaum einen spannenderen Effekt als den Lichtbogen. Im Ruhezustand ist der Kontakt geöffnet, wobei der Abstand der beiden Kontaktflächen bei Leistungsrelais etwa einen halben Millimeter beträgt.

Ein Lichtbogen (Bild 1) kann sowohl beim Ein- als auch beim Ausschalten entstehen. Um die jeweilig anspruchsvollsten Lasten zu beschreiben, soll die Last im Einschaltmoment kapazitiv und im Ausschaltmoment induktiv sein. Warum diese Lasten jeweils besonders kontaktschädigend sind, klären die beiden nächsten Abschnitte.

**! Bild 1.** Verlauf eines Lichtbogens zwischen zwei Relaiskontakten.

### ■ Der Einschaltlichtbogen

Im Einschaltvorgang bereiten kapazitive Lasten wie Kondensatoren oder Glühlampen die größten Probleme. Grund ist ihr Kurzschlussverhalten durch Ladevorgänge oder das Kaltleiterverhalten (PTC). Der Federkontakt setzt sich nach Anlegen der Spulenspannung in Bewegung, binnen Bruchteilen einer Millisekunde legt er den Weg zum Festkontakt zurück. Sofort beginnt ein hoher Einschaltstrom zu fließen. Doch der entstehende Impuls durch den Aufprall ist so stark, dass der Federkontakt wieder ein Stück zurückschnellt. Der hohe Strom in Verbindung mit einer Spannung von mehr als 8 V (Ionisationsspannung des Metalls) reicht aus, um einen kleinen Lichtbogen entstehen zu lassen.

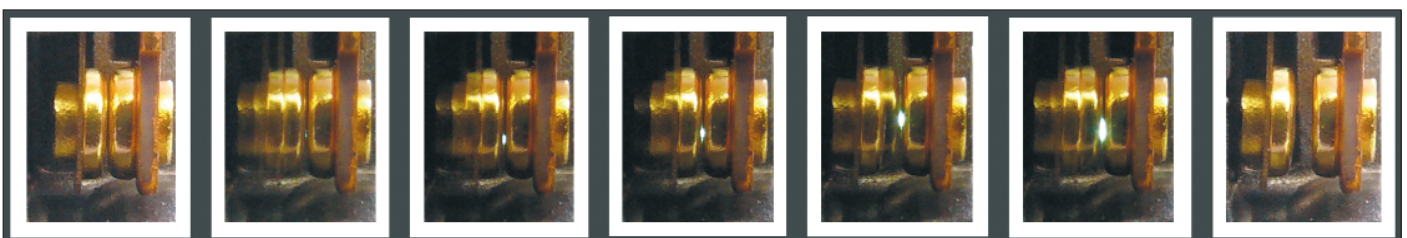
Der Kontakt schließt wieder, doch erst mehrere solcher Prellvorgänge später ist der stationäre Zustand erreicht. Die Kontaktpillen und Zuführungen sind durch die Lichtbogenenergie immer noch stark erhitzt.

An der Katodenseite hat sich eine ausgeprägte Spitze gebildet (Bild 2), während im Anodenkontakt ein großes Loch klafft. Physikalische Feinwanderung ist hierfür der Grund. Die entstehenden Probleme sind offensichtlich. Durch die Spitze kann sich der Kontaktabstand – und damit die Spannungsfestigkeit – des Relais verringern und die Kontakte verschweißen oder verhaken. Dieser Umstand wird vom Anwender häufig dadurch beschrieben, dass ein defektes Relais nach einem leichten Schlag auf sein Gehäuse wieder einwandfrei funktioniert. Denn durch die Erschütterung lösen sich die verhakten oder verschweißten Kontakte oftmals wieder.

### ■ Der Ausschaltlichtbogen

Um einen schönen Ausschaltlichtbogen zu erhalten, wählt man statt einer kapazitiven besser eine induktive Last – zum Beispiel eine Spule. Während bei einer ohmschen Last der Lichtbogen durch die Kontaktöffnung (Stichwort: Isolation) recht schnell abreißt, brennt er bei induktiver Last durch die hohe Abschalt-Gegeninduktionsspannung wesentlich länger nach.

Nun wird die Spule des Relais abgeschaltet, die Kontaktkraft zwischen den noch geschlossenen Kontakten sinkt. Als Resultat steigt der Engwiderstand zwischen den Kontaktpillen, und die Kontaktstelle erhitzt sich nach der Formel  $P = I^2 \times R$ , zudem beginnt die Induktionsspannung der Lastspule, dem sinkenden Strom entgegenzuwirken. Durch die Oberflächenspannung des geschmolzenen Kontaktmaterials bildet sich eine leitende Brücke zwischen den nunmehr wenige hundertstel Mikrometer geöffneten Kontakten. Die



Hitze steigt weiter an, und die Schmelze beginnt zu sieden. Plötzlich spritzen heiße Metalltropfen explosionsartig zur Seite. Es entsteht eine Metaldampf Wolke, und durch den geringen Abstand der Kontakte von 0,5 bis 5  $\mu\text{m}$  liegt ein starkes elektrisches Feld zwischen den Kontakten an. Daher kann bereits bei kleinen Schaltspannungen von etwa 8 V ein instabiler Lichtbogen entstehen. Über ihn und die Metaldampf Wolke findet zudem ein schwacher Materialtransport von der Anode zur Katode statt (Feinwanderung).

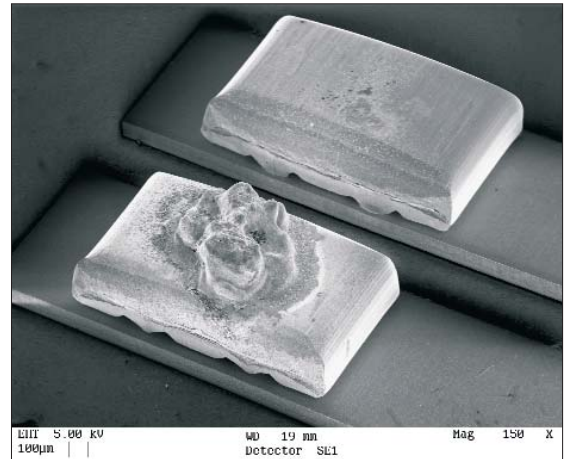
Die Kontaktöffnung erreicht nun einen kritischen Abstand zwischen 10 und 1000  $\mu\text{m}$ . Der instabile Lichtbogen reißt aufgrund der hohen Selbstinduktionsspannung der Spule immer noch nicht ab. Er hat sich zwischenzeitlich sogar zu einem stabilen Vertreter seiner Art gewandelt, Materialtransport findet nun von der Katode zur Anode statt (Grobwanderung). Die Kontaktöffnung vergrößert sich weiter, und die

Induktionsspannung sinkt, bis der Lichtbogen schließlich abreißt.

Auf den Kontakten bleibt ein Bild der Verwüstung zurück. Geschmolzenes Kontaktmaterial liegt verspritzt auf den Kontaktstücken, Materialverlust infolge von Verdampfung zehrt an den Kontaktpillen. Durch die Materialwanderung ragt eine Spitze aus der Katode, während sich in der Anode ein tiefer Krater aufbaut.

### ■ Konstruktive Abhilfen

Um die beschriebenen Kontaktschädigungen zu vermeiden, bedienen sich Relaisentwickler verschiedener Tricks und Kniffe. Die Kontakte müssen beim Abschalten schnell und weit öffnen, um die Brenndauer des Lichtbogens möglichst kurz zu halten. Dafür sorgt einerseits eine entsprechend hohe Rückstellkraft der Federkontakte, was andererseits aber ein stärkeres Magnetsystem mit höherer Verlustleistung bedingt.



Auch der Materialeinsatz spielt eine wichtige Rolle. Große Kontakte, welche über eine gute Vernietung mit breiten und dicken Zuführungen verbunden sind, verfügen nicht nur über gute Stromtragfähigkeiten, sondern leiten auch die entstehende Wärme besser vom Kontakt weg. Somit wird die Metallaufschmelzung erschwert. Nachteil ist der höhere Preis für die

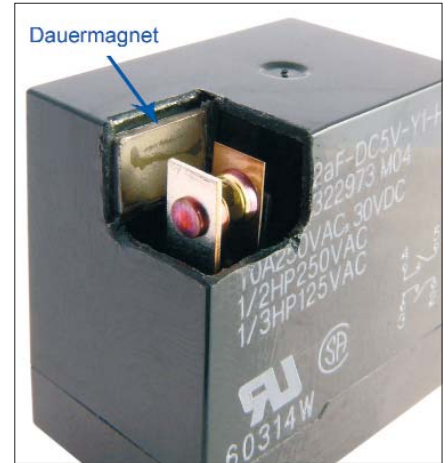
**Bild 2. SEM-Aufnahme eines stark beanspruchten Kontaktstücks.**

Kontakte. In Zeiten stark steigender Rohstoffpreise, vor allem für Kupfer, zählt hier jedes verbaute Gramm. Besonders Low-Cost-Anbieter setzen am Materialeinsatz gerne die Kostenschraube an.

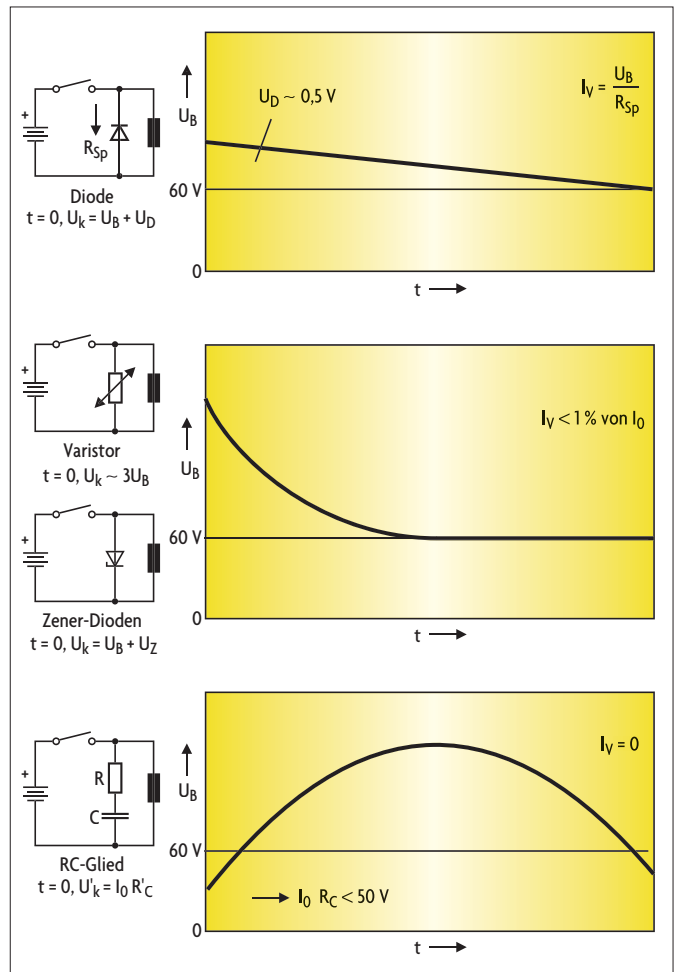
Eine weitere Möglichkeit ist die richtige Auswahl des Kontaktmaterials. Gegenüber reinen Silberkontakten bieten zum

Beispiel Legierungen oder Verbundwerkstoffe aus Silber und Nickel eine höhere Abbrandfestigkeit. Auch Silberkadmium fand früher dank seiner guten Warm- und Schweißfestigkeit oft Verwendung, ist aber aufgrund der Giftigkeit von Kadmium mittlerweile weitgehend vom Markt verschwunden. Als Ersatz kommt in modernen Relais Silberzinnoxid zum Einsatz.

Reichen diese Maßnahmen nicht aus, kann der Einsatz eines sog. Blasmagneten weiterhelfen. Dieser Dauermagnet lenkt den



**Bild 3.** Geöffnetes JC-Relais von Panasonic Electric Works. Hinter dem Kontakt sitzt der Blasmagnet.



**Bild 4.** Schutzbeschaltungen. (Quelle: „Elektrische Kontakte und ihre Werkstoffe“, Springer Verlag)

aus elektrisch geladenen Teilchen bestehenden Lichtbogen ab und begünstigt so seine Löschung. Der Magnet muss so angebracht sein, dass die Magnetfeldlinien im Winkel von  $90^\circ$  gegenüber der Stromflussrichtung liegen. Ein Beispiel für diese Lösung ist das JC-Relais von Panasonic Electric Works. In **Bild 3** ist deutlich sein Bariumferrit-Magnet zwischen den beiden Schließkontakten zu sehen.

### ▣ Schaltungstechnische Abhilfen

Neben den konstruktiven Maßnahmen hält das Elektronik-Einmaleins zahlreiche Schaltungstricks bereit, um Lichtbögen zu vermindern oder gar nicht erst entstehen zu lassen.

Oft realisiert und aus der modernen Schaltungstechnik kaum mehr wegzudenken ist die Freilaufdiode, welche antiparallel zur induktiven Last liegt. Im Normalbetrieb leitet die Diode nicht. Erst die Induktionsspannung mit

umgekehrtem Richtungssinn liegt in Flussrichtung der Diode und sorgt für einen Stromfluss, bis die magnetische Energie der Induktivität entladen ist. Die Spannung am Kontakt erhöht sich dabei lediglich um die Durchbruchspannung der Diode, womit das Problem der Spannungsüberhöhung beim Abschalten der Induktivität gelöst ist. Allerdings steigt bei dieser Methode die Abfallzeit, falls die Induktivität zum Beispiel die Spule eines zu schaltenden Schützes ist.

Alternativ zu einer herkömmlichen Diode können auch Zener-Dioden oder Varistoren eingesetzt werden. Der Einfluss auf die Abfallzeit ist hier geringer, aber die Kontaktspannung erhöht sich beim Varistor auf etwa das Dreifache der Betriebsspannung und bei der Zener-Diode um deren Durchbruchspannung.

Häufig kommt auch ein RC-Glied als Schutzbeschaltung zum Einsatz. Bei richtiger Dimensionierung des Kondensators liegt nur eine sehr klei-

ne Kontaktspannung an, welche durch den Widerstand bestimmt wird. Er vermindert die Einschaltbelastung des Kondensators.

**Bild 4** zeigt eine Zusammenfassung der beschriebenen Schutzmöglichkeiten. go



**Dipl.-Ing. (FH)  
Markus Bichler**

hat an der Fachhochschule Rosenheim Elektro- und Informationstechnik studiert. Seit Juli 2006 arbeitet er als Applikationsingenieur in der Abteilung Komponenten bei der Panasonic Electric Works Deutschland GmbH.

[ma.bichler@eu.pewg.panasonic.com](mailto:ma.bichler@eu.pewg.panasonic.com)