

# Kleiner, zuverlässiger, kostengünstiger!

## Elektromechanische Relais für Automobilapplikationen sind Maßanfertigung

Wer als Systementwickler elektromechanische Relais für seine Applikation benötigt, sollte sich frühzeitig mit den in Frage kommenden Komponentenherstellern in Verbindung setzen, damit die Rahmenbedingungen für die gewünschten Bauteile eindeutig festgelegt werden können. Schließlich geht es für beide Seiten darum, ein qualitativ hochwertiges und zuverlässiges Produkt zu definieren, das zudem möglichst kostengünstig realisiert werden kann.

Von Günther Rott



Das auf den ersten Blick eher unspektakuläre elektromechanische Relais ist vielfach im Kfz vertreten, da es die Forderung nach aktuellen Qualitätsansprüchen und optimaler Funktionalität erfüllt. Die genaue Kenntnis der Applikation sowie eine praxisorientierte Bauteilqualifikation sind deshalb das Maß aller Dinge.

Der klassische Entwickler mit bisherigem Fokus „Technik“ mutiert zum verlängerten Arm der Einkaufsabteilung. Etwas entschärft heißt dies, dass am Anfang der Entwicklung die Preisvorgabe des Serienproduktes steht. Mit dem zur Verfügung stehenden finanziellen Rahmen versucht der Entwickler, einen Kompromiss zwischen gewünschtem Funktionsumfang, Qualität und Preis zu finden, wobei die Kompo-

nente „Preis“ kontinuierlich an Macht gewinnt. Betrachtet man zusätzlich die Modellvielfalt, mit der sich OEMs (Original Equipment Manufacturer) einen Marktvorteil erhoffen, wird deutlich, dass unendlicher Druck auf den Entwicklungsabteilungen lastet.

### Qualifikationsunterstützung als Differenzierungskriterium

Um sich als Komponentenhersteller (Tier-2) vom Markt und damit vom Wettbewerb abzuheben, ist der Dienstleistungsbereich die effektivste Möglichkeit. Beispielsweise kann der Qualifizierungsprozess, der beispielhaft in Bild 1 dargestellt ist, aktiv mitgestaltet werden. Außerdem spart sich der Zulieferer (Tier-1) Man-Power, Test-Res-

sourcen und letztlich Entwicklungskosten, wenn er bestimmte Qualifizierungsuntersuchungen wiederum an seine Zulieferer auslagert.

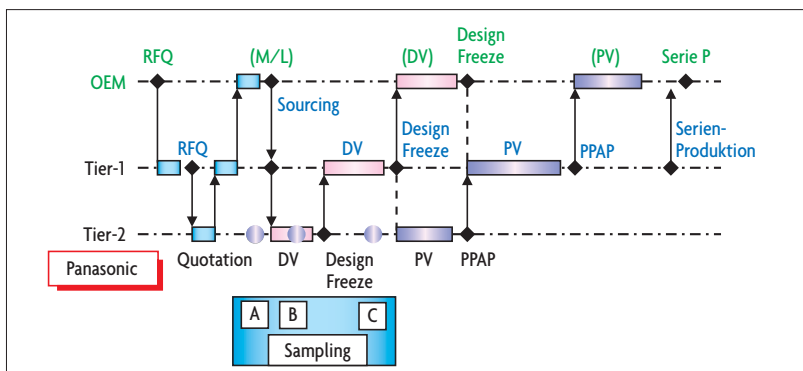
Plastischer erklären lässt sich dies beispielsweise an einer klassischen Anwendung wie der Scheibenwischersteuerung, in die bei aktuellen Entwicklungen weitere Features wie ein Regensensor integriert werden, um das Fahren sicherer und bequemer zu gestalten.

### Anwendungsanforderungen steigen permanent

Größere Scheibenwischer, optimal ausgenutzte Wischflächen, ausgetüfelte Scheibenwischerführung sowie höhere Wischfrequenzen erfordern vom steuernden Kfz-Relais mehr Einsatz – genauso wie vom verwendeten Motor. Die Motorenhersteller reagieren auf diese Anforderungen mit leistungsstärkeren Varianten bei gleichzeitig veränderten Motorgeometrien.

Heruntergebrochen auf wirksame Relais-Lastparameter bedeutet dies eine Ziellebensdauererhöhung bei gleichzeitig höherem Kontaktstrom. Zu beachten ist das Verhalten des Gleichstrommotors im Anlaufmoment. Die Klemmenspannung  $U_{\text{Batterie}}$  steht im Gleichgewicht mit dem Spannungs-

Bild 1. Ein Qualifikationsprozess, der in der Automobilindustrie unter anderem für elektromechanische Komponenten Anwendung findet.



abfall am inneren Widerstand  $R_A$  und der vom rotierenden Anker erzeugten Gegenspannung  $U_q$  (Gl 1):

$$U_{\text{Batterie}} = U_q + I_A \times R_A \quad (1)$$

Durch das Fehlen der Quellenspannung  $U_q$  im Einschaltmoment berechnet sich der Anlaufstrom gemäß Gl 2:

$$I_{\text{Anlauf}} = U_{\text{Batterie}}/R_A \quad (2)$$

Wegen des sehr kleinen Innenwiderstands  $R_A$  ( $m\Omega$ ) ergeben sich bereits im Leerlauf hohe Einschaltströme. Im Leerlauf treten bereits für mehrere ms Ströme  $>50$  A auf. Worst-Case-Betrachtungen, z.B. ein festgefrorener Scheibenwischer im Winter, lassen diesen Strom sogar auf 100 A und mehr ansteigen. Eine integrierte Logik detektiert diesen Stromanstieg und kann so über den Rückkopplungszweig den Strompfad abschalten. Kfz-Relais von Panasonic Electric Works verwenden als Basis-Kontaktmaterial  $AgSnO_2$ , das sich aufgrund seiner günstigen Eigenschaften hervorragend für Motorlasten eignet.

Bei dieser Zinnoxidverbindung setzt der Schmelzpunkt erst bei etwa  $1700^\circ\text{C}$  ein, so dass entsprechend bestückte Schaltkontakte mit geringer Schweißneigung bei hohen Schaltleistungen sowie hoher Abbrandfestigkeit aufwarten (Bild 2). Nachdem Kfz-Relais in erster Linie bei Gleichstromkreisen mit hohen Ein- und Ausschaltbelastungen zum Einsatz kommen, kann man mit dieser Lösung auch die bei Gleichstromkreisen häufig auftretende Materialwanderung so gering wie möglich halten. Eine Fehlfunktion mit der Folge eines Verhakens der Kontaktstücke wird zuverlässig vermieden.

Durch die Optimierung der Magnet- und Federwerkstoffe kann eine sehr hohe Kontaktkraft (= Kraft, die die Kontaktstücke im geschlossenen Zustand aufeinander ausüben) erreicht werden, welche die Stoß- und Vibrationsfestigkeit, die Kontaktsicherheit, den Kontaktwiderstand und daraus resultierend die Lebensdauer gegenüber vergleichbaren Typen erhöht.

Durch einen Kontaktwiderstand  $R_K$  von typ. 1 bis  $2\text{ m}\Omega$  bewegt sich die kurzzeitig wirkende Kontaktverlustleistung gemäß der Beziehung  $P_{\text{Verlust}} = R_K \times I^2$  auch bei höheren Strömen im

akzeptablen Bereich von wenigen Watt.

In Kombination mit einer hochtemperaturfesten Spulenisolation kann das Relais im Streubereich der Kfz-Bordspannung (max. 16 V) problemlos bei  $85^\circ\text{C}$  und auch höheren Temperaturen eingesetzt werden. Die Spule dieser Relais wiederum sollte so dimensioniert werden, dass bereits Ansprechspannungen von  $7,2\text{ V}/85^\circ\text{C}$  ausreichen. So ist die sichere Funktion auch beim Absinken der Kfz-Bordspannung in weiten Grenzen gewährleistet.

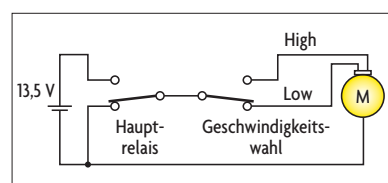
### ■ Induktive Komponente bei Motorlasten

Bei induktiven Lastkreisen erzeugt die gespeicherte Energie im Abschaltmoment eine Selbstinduktionsspannung, die durch die Beziehung gemäß Gl 3 bestimmt ist:

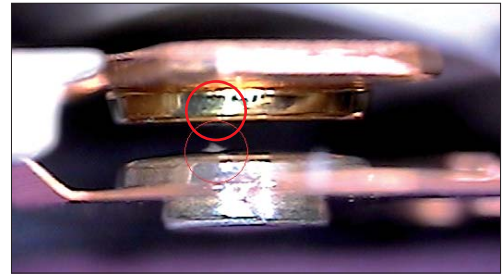
$$U_L = -L \times dI/dt \quad (3)$$

Je größer der Wert für die Induktivität bzw. die Stromänderung pro Zeiteinheit ist, desto größer ist der Wert der induzierten Spannung. Typische Induktivitätswerte für derartige Motoren liegen aktuell bei  $0,4$  bis  $1,5\text{ mH}$ . Der beim Ausschalten entstehende Abschaltlichtbogen stellt somit eine thermische Beanspruchung dar, die letztlich zum Kontaktabbrand führt. Aus Kostengründen kommen allerdings Funkenlöschglieder oder Freilaufdioden nur bedingt zum Einsatz.

Sobald der Umschaltkontakt des Hauptrelais wieder in die Ruhelage zurückfällt, wird der vom Netz abgekoppelte und nun als Generator arbeitende Motor elektrisch kurzgeschlossen und damit gebremst (Bild 3). Der Bremsstrom wirkt in diesem Fall nur kurzzeitig auf den Öffnerkontakt – jedoch liegt die Amplitude im Bereich



■ Bild 3. Sobald der Umschaltkontakt des Hauptrelais wieder in die Ruhelage zurückfällt, wird der vom Netz abgekoppelte und nun als Generator arbeitende Motor elektrisch kurzgeschlossen und damit gebremst.



■ Bild 2. Bei  $AgSnO_2$  als Kontaktmaterial setzt der Schmelzpunkt erst bei etwa  $1700^\circ\text{C}$  ein. Beschichtet man damit Schaltkontakte, können diese wegen der geringen Schweißneigung und der hohen Abbrandfestigkeit u.a. bei Gleichstromkreisen mit hohen Ein- und Ausschaltbelastungen zum Einsatz kommen.

des Einschaltstromes. Dieser Strompeak kann im Extremfall bei gleichzeitiger Verwendung eines ungeeigneten Kontaktmaterials zu einer Materialwanderung führen.

Aktuellere Steuerungskonzepte verhindern dies durch eine Bypass-Funktion. Das heißt: Der Strom wird im Abschaltmoment nicht über den Öffnerkontakt geschaltet, sondern ausschließlich geführt. Diese Schaltungsvariante ist etwas aufwendiger als herkömmliche Konzepte, jedoch sind mit ihr höhere Lebensdauerwerte mit bis zu 1 Million elektrischer Schaltspiele erreichbar.

### ■ Lebensdauersimulation – so real wie möglich

So real wie möglich zu testen, ist der Garant für ein aussagekräftiges Ergebnis. Im Idealfall stellt der Kunde reale Lasten zur Verfügung, die dann im Labor nach Schaltungsvorgabe integriert werden. Dabei kommt es auch entscheidend auf die sonstigen Randbedingungen wie Umgebungstemperatur, Leitungsquerschnitte, Ansteuerung usw. an, denn bereits „Kleinigkeiten“ können ein Ergebnis erheblich verfälschen. Aus dieser Erfahrung heraus unterstützt die Applikationsabteilung von Panasonic gerne den Kunden bei der Definition des Lastenheftes (siehe auch Kasten „Applikationsunterstützung als Dienstleistung“).

### ■ Prüflingsauswahl sollte die gesamte Qualitätsbandbreite abdecken

Die Auswahl der Prüflinge sollte den gesamten Toleranzbereich möglicher

### Applikationsunterstützung als Dienstleistung

Der Entwickler steht vor dem Problem, aus der Vielzahl der angebotenen Produkte von diversen Herstellern nicht nur irgendein Relais, sondern genau das richtige für seine Applikation zu finden. Wie die Praxis zeigt, sind viele Applikationsfehler zu vermeiden, wenn bereits im Vorfeld in enger Zusammenarbeit mit dem Relaishersteller der genaue Einsatzfall diskutiert wird. Folgende Fragen helfen, den Einsatzfall einzugrenzen und die optimale Bauteilerauswahl zu treffen.

▶ **Bauform/Art der Montage:**

- Welche Kontaktbestückung ist notwendig (Öffner, Schließer, Umschalter)?
- Welche Montageart ist notwendig (Steck-, Print-, SMD-, PiP-Montage)?

▶ **Lastbedingungen:**

- Welche Last wird geschaltet (R, L, C)?
- Welche Spannungs- und Stromwerte sind kontaktseitig wirksam?
- Welche Ziellebensdauer ist notwendig?

- Welche Schaltfrequenz ( $t_{on}/t_{off}$ ) ist wirksam?
- Ist eine Kontaktschutzbeschaltung vorgesehen?

▶ **Ansteuerbedingungen:**

- Wird die Relaispule mit Freilaufdiode betrieben?
- Sind längere Stillstandszeiten möglich?

▶ **Umgebungsbedingungen**

- Welcher Temperaturbereich ist wirksam?
- Können Schock- und Vibrationsbeanspruchungen auftreten?

▶ **Qualifikation:**

- Nach Auswahl des optimalen Produktes sichert ein Lebensdauerest unter möglichst realen Bedingungen den Einsatzfall ab. Eine technische Analyse (optisch/elektrisch) der Prüflinge liefert die Messdaten. Die Zusammenfassung erfolgt in einem Testreport, der in verständlicher Art und Weise die Ergebnisse dokumentiert.

Fertigungsqualität repräsentieren. Vorteilhaft sind also Prüflinge, die nicht in die Kategorie „Champion Samples“ fallen und somit am unteren Ende des zulässigen Toleranzfensters liegen. Vor Testbeginn wird eine Messung aller zerstörungsfrei messbaren relaispezifischen Parameter durchgeführt. Dazu werden die Prüflinge über speziell konstruierte Sockel mit dem vollautomatisch arbeitenden Relaisstestsystem (Hersteller: ART) verbunden.

Während des Lebensdauerversuches erfolgt eine automatische Kontaktüberwachung mittels SPS. Dabei werden, je nach Kundenanforderung, der Kontaktwiderstand und die Schaltzeit kontinuierlich oder zyklisch alle 500 Schaltspiele protokolliert. Um strombegrenzende Übergangswiderstände zu vermeiden, werden sämtliche elektrische Verbindungen grundsätzlich als Lötverbindung ausgeführt. Sofern erforderlich, kann dem gesamten Test ein Temperaturprofil überlagert werden. Je nach Kundenanforderung sind zusätzliche Testsequenzen wie Vibrations- oder Falltests integrierbar.

Erfolgt während der Betriebsphase eine Fehlschaltung – beispielsweise ein Kontaktkleben oder ein verzögertes Schalten –, so wird der Versuch au-

tomatisch gestoppt. Über die integrierten Digitalzähler kann die erreichte Schaltspielzahl abgelesen und mit dem Sollwert verglichen werden. Über eine nochmalige Messung der Relaisparameter besteht nun die Möglichkeit, die „Vorher/Nachher“-Messergebnisse zu vergleichen und zu interpretieren.

Um den Zustand der Kontakte zu dokumentieren, werden die Prüflinge anschließend geöffnet und optisch untersucht. Die Kontaktflächen geben deutlich Aufschluss über den Zustand des Prüflings. Eine Zusammenfassung mit allen Messergebnissen, Fotodokumentation und Kontaktbeurteilung schließt den Lebensdauerest ab. Sofern erforderlich, stehen auch erweiterte Untersuchungsmöglichkeiten wie SEM, X-Ray oder FEM zur Verfügung.

■ **PPAP dokumentiert Serientauglichkeit**

Sobald alle Qualifikationsversuche erfolgreich abgeschlossen sind und das kundenspezifisch modifizierte Produkt als Serienteil gefertigt werden kann, wird die PPAP-Dokumentation erstellt. PPAP bedeutet „Production Part Approval Process“.

In dieser Dokumentation werden letztlich die Serientauglichkeit eines

Produktes anhand von echten Messdaten ermittelt und der gesamte Materialfluss dokumentiert. Die Dokumentation möglicher Fehlerursachen (FMEA = Failure mode Effect Analysis) ist dabei genauso Pflicht wie die PSW (Part Submission Warranty), die letztlich von beiden Vertragspartnern unterschrieben wird.

■ **Neue Verarbeitungsmethoden sorgen für hohe mechanische Stabilität**

Neben den klassischen Lötverfahren wie Doppelwellenlötungen geht der Trend eindeutig in Richtung oberflächenmontierbare Bauelemente. Damit steigen die Bauteilanforderungen in viele Richtungen. Bei Panasonic wird neben der klassischen SMD-Variante derzeit die so genannte „Pin in Paste“-Technik forciert. Es handelt sich hier um oberflächenmontierbare Durchsteckrelais, bei denen einige Modifikationen vorgenommen werden müssen, um die höheren Temperaturanforderungen zu bestehen.

Neben einer Materialumstellung von PBT (Polybutylenterephthalat) auf LCP erfolgt außerdem eine Anpassung der Stand-offs. Damit kann die heiße Luft optimal unter dem Bauteil zirkulieren. Die Verarbeitung der PiP-Version ist im Gegensatz zur echten SMD-Variante zwar etwas schwieriger, dafür fällt aber die Positionierung und Festigkeit des Bauteiles innerhalb der Leiterplatte mechanisch stabiler aus. Denkt man an Langzeitstabilität und auftretende Schock- und Vibrationsbeanspruchungen, ist dieser Aufwand sicherlich gerechtfertigt. go



**Dipl.-Ing. Günther Rott**

arbeitet als Senior Manager „Automotive Technologies“ im Fachbereich Komponenten bei Panasonic Electric Works Deutschland.  
[g.rott@eu.pewg.panasonic.com](mailto:g.rott@eu.pewg.panasonic.com)