

Die Funktion des Reedschalters

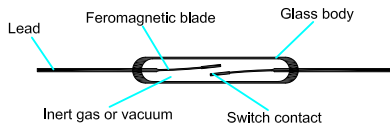


Abb. # 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines 1Form A-Schalters (NO).

Ein Reedschalter besteht aus zwei ferromagnetischen Schaltungen (normalerweise Nickel/Eisenlegierung), die hermetisch dicht verschlossen in ein Glasröhrchen eingeschmolzen werden. Die beiden Schaltungen überlappen, zwischen den beiden Schaltungen ist ein minimaler Abstand. Wird das passende Magnetfeld angelegt schließen sich die beiden Paddel. Der Kontaktbereich der beiden Schaltungen ist mit einem sehr harten Metall beschichtet, meist Rhodium oder Ruthenium. In Frage kommen aber auch Wolfram, Iridium oder ähnlich strukturierte Metalle. Aufgetragen werden diese entweder galvanisch oder durch einen Sputterprozess (bekannt aus der Halbleiterindustrie). Diese hart beschichteten Kontaktflächen sind der Garant für die sehr lange Lebensdauer eines Reedschalters. Vor dem Einschmelzen wird die vorhandene Luft evakuiert. Dies geschieht mit etwas Unterdruck. Während des Einschmelzvorganges füllen wir den Schalter mit Stickstoff oder einer Inertgasmischung mit hohem Stickstoffanteil. Zur Erhöhung der Schaltspannungsgrenze besteht aber auch die Möglichkeit, den Schalter nach dem Evakuieren zu verschließen. Dies ist bei den Hochspannungsschaltern der Fall.

Das durch Permanentmagnet oder Spule erzeugte Magnetfeld ist gegenpolig gerichtet, die Paddel ziehen sich an. Übersteigt die magnetische Kraft die Federwirkung des Schalters, schließen die beiden Kontakte. Beim Öffnen geschieht dasselbe: ist die Magnetkraft geringer als die Federkraft der Schalter öffnet der Reedschalter wieder.

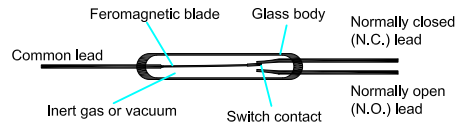


Abb. # 2 Der 1Form C-Schalter (SPDT) hat drei Anschlüsse.

Der beschriebene Ablauf gilt für den 1Form A-Schalter, auch bekannt als NO (Normally Open), Schließer oder SPST (Single-Pole-Single-Throw) Reedschalter.

Man findet aber auch Mehrfachbelegung wie 2Form A (2 Schließer), 3Form A etc.

Ist der Schalter in Ruhestellung geschlossen spricht man von 1Form B-Funktion. Vielleicht besser bekannt als Öffner.

Möchte man Strom- oder Signalpfade wechseln kommt der 1Form C-Schalter in Frage, auch bekannt als Wechsler. Die internationale Bezeichnung ist SPTC (Single-Pole-Double-Throw). In Ruhestellung und ohne anliegendes Magnetfeld wird der sogenannte Ruhekontakt hergestellt. Beaufschlagt man den Wechsler mit einem entsprechend starken Feld, so wechselt der Kontakt vom Ruhe- auf den Arbeitskontakt. Ruhe- und Arbeitskontakte sind unbewegte Kontakte. Alle drei Paddel sind ferromagnetisch leitend; lediglich der Kontaktbereich des Ruhekontakts (Öffners) ist mit einem nichtleitenden Plättchen versehen. Wird ein Magnetfeld angelegt, erhalten beide Kontakte (NO und NC) dieselbe Polarität. Anders gepolt ist der gemeinsame Anschluss. Durch die Unterbrechung des Magnetfeldes zur Ruheseite hin kann sich der Magnetfluss in Richtung Schließeranschluss

orientieren - exakt dies wollen wir. Diese magnetische Kraft, richtig dimensioniert, reicht aus, um die mechanische Rückstellkraft zu überwinden und den Commonanschluss von Ruhe- in Arbeitsstellung zu wechseln.

Abbildung 3 zeigt das generelle Funktionsprinzip eines Reedswitchers bei angelegtem Magnetfeld.

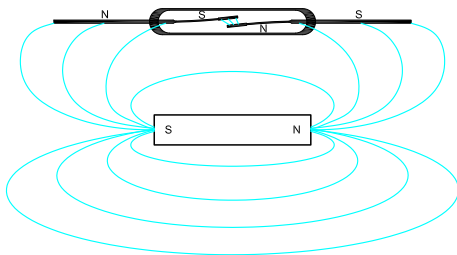


Abb. # 3 Die Funktion eines Reedswitchers unter dem Einfluß eines Permanentmagneten. Die Polarisierung der Paddel erzeugt die notwendige Schließkraft.

Abbildung 4: hier schließt der Reedswitcher durch das Magnetfeld einer Kupferspule.

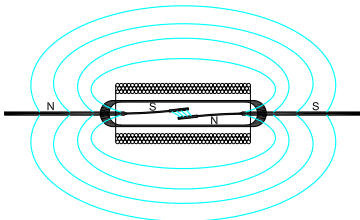


Abb. # 4 Ein Reedswitcher sitzt in einer Magnetspule, das Magnetfeld ist in der Mitte am stärksten. Die Reedpaddel werden polarisiert und erzeugen die Schließkraft.

Bewegt man einen Permanentmagneten wie in der abgebildeten Form gezeichnet in die Nähe eines Reedswitchers, so verteilt sich das Feld über die Paddel entsprechend. Ist das Feld stark genug schließt sich der Schalter. Zur Verhinderung magnetischer Aufladung sind die Paddel unter Schutzgas und sehr hohen Temperaturen geglüht. Wird das Magnetfeld entfernt verschwindet es auch von den Paddeln und öffnet den Schalter. Wären die Paddel magnetisch noch restgeladen hätte dies ernsthafte Konsequenzen auf das Schließ - und Öffnungsverhalten des Schalters; darum ist der Glühprozess extrem wichtig beim Bau von Reedswitchern.

Magnetische und elektrische Parameter für Reedschalterprodukte

Anzugsempfindlichkeit (A_{Wan} , PI) spezifiziert den Schließpunkt des Schalters. Beim Einsatz von Magneten misst man den Einschaltpunkt bevorzugterweise in mm, mT (Millitesla) oder Gauss. Kommt dagegen eine Messspule zur Verwendung, ist die geeignete Einheit Ampere-Windungen AW. Dazu wird der Strom in einer bekannten Spule bis zum Einschaltpunkt erhöht und mit der Windungszahl multipliziert. Dieser Wert ist normalerweise als Maximalwert definiert. Auch bei bester Glühqualität der Paddel bleibt eine Restremanenz zu berücksichtigen. Um zuverlässige Daten zu ermitteln beaufschlagt man die Spule am besten mit einem Sättigungsimpuls, um dann A_{Wan} und A_{Wab} zu bestimmen (siehe auch Abb. # 5).

Beim Auslegen von Relais und auch beim Spezifizieren in einer Kupferspule gehen wir von einer Arbeitstemperatur von 20 °C aus.

Temperatureffekt der Spule

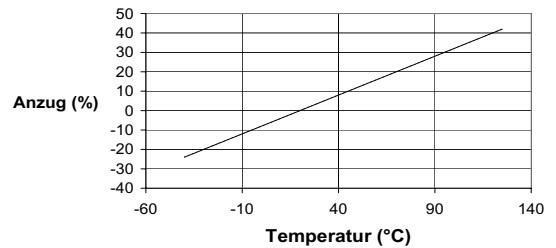


Abb. # 6 Der Anzugs- und Abfallwert erhöht sich um 0,4% / °C.

Der Arbeitspunkt ändert sich aufgrund des positiven Temperaturkoeffizienten des Kupfers von 0,4 % / °C (siehe auch Abb. # 6). Unsere Ingenieure berücksichtigen dies bei der Auslegung der Relais bereits.

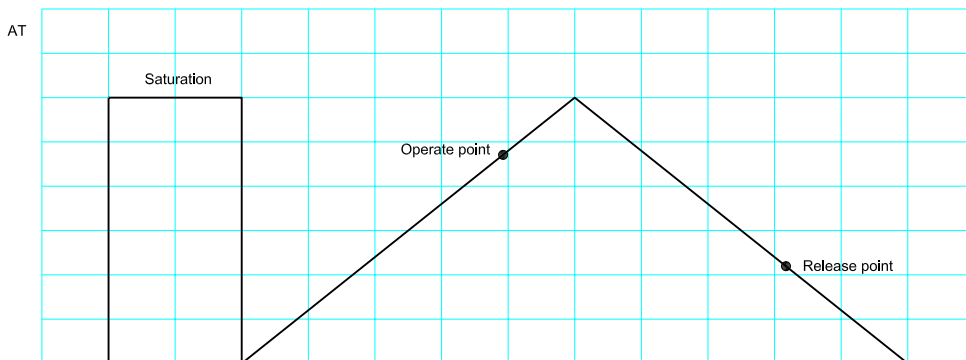


Abb. # 5 Das genaueste Messergebnis für A_{Wan} und A_{Wab} erhält man durch einen Vormagnetisierungsimpuls.

Abschaltempfindlichkeit (AW ab, DO) bestimmt den Ausschaltpunkt des Reedswitchers. Die Merkmale der Beschreibung von AW an treffen hier ebenfalls zu und werden entsprechend berücksichtigt.

Eine **Hysterese** in % besteht immer zwischen Einschalt - und Abschaltpunkt eines Reedswitchers und wird spezifiziert im Verhältnis AW ab/ AW an. Die Hysterese kann von vielen designspezifischen Einflüssen abhängen: Beschichtungsdicke, Padelüberlappung, Padelbeschaffenheit, Paddellänge, Einschmelzzone, Padelabstand. Abbildung 7 zeigt den Verlauf der Hysterese als Beispiel für viele andere Variationen.

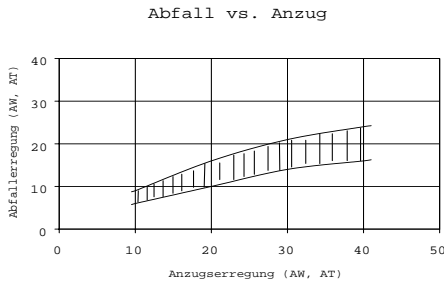


Abb. # 7 zeigt die AWan- und AWab-Verläufe. Die Hysterese steigt mit höherem AW-Wert normalerweise an.

Der **Statische Kontaktwiderstand** ist der Gleichstromwiderstand, erzeugt durch Padel und Kontaktfläche. Den meisten Einfluss hat hier das Nickel/Eisenmaterial mit einem Wert zwischen $8 \cdot 10 \cdot 10^{-8}$ Ohm/m. Verglichen mit dem Kupferwert von $1,7 \cdot 10^{-8}$ Ohm/m ist dies relativ hoch. Typisch für einen Reedswitcher sind ca. 70 mOhm, der Anteil der Kontaktstelle schlägt dabei mit ca. 10 - 25 mOhm zu Buche. Bei Reedrelais benutzt man oft

Nickel/Eisen als Anschlusspins, diese erhöhen den Magnetfluss und somit die Kontaktkraft. Allerdings können dann zum Widerstand nochmals ca. 25 - 50 mOhm dazukommen (siehe auch Abb. # 8).

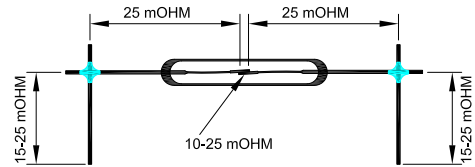


Abb. # 8 Darstellung der verschiedenen Widerstandszonen eines Reedswitchers.

Den wahren Zustand eines Reedswitchers misst man mit dem **Dynamischen Kontaktwiderstand** (DCR). Wie oben beschrieben wird der Widerstand hauptsächlich durch die Padel und Anschlusselemente erzeugt. Beim Messen des DCR bestimmt man den tatsächlichen Zustand des Reedswitchers speziell an der Kontaktstelle.

Zum Messen wird der Kontakt mit einer Frequenz zwischen 50 Hz und 200 Hz geschaltet. Eine Messspannung von 0,5 V und der Strom von ca. 50 mA reichen aus, um potentielle Probleme zu orten. Anzeigen kann man das Messergebnis entweder mit einem Oszilloskop oder per Digitalisierung des Signals. Die Spannung von 0,5 V sollte nicht überschritten werden; zu groß wäre das Risiko, eventuell vorhandene Schmutzfilme auf den Paddeln zu "durchschlagen". Diese können durch unsaubere Schnitte im Herstellungsprozess entstehen. Für kleinste Messsignale wäre dieser Schmutzfilm dann eine Unterbrechung, der lediglich durch die höhere Testspannung durchschlagen wird, nicht aber das Problem als solches visualisiert (Abb. # 9).

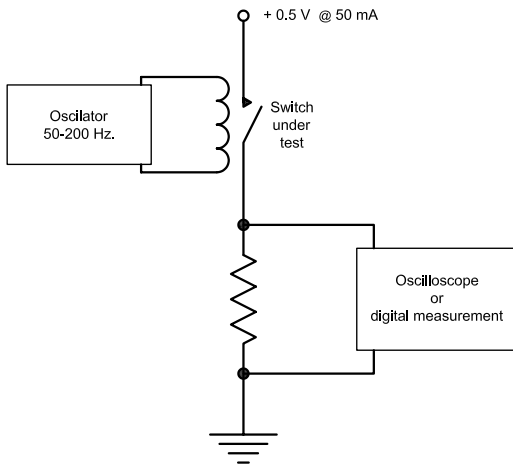


Abb. # 9 Schematisch dargestellter Messaufbau zum Bestimmen des Dynamischen Kontaktwiderstandes DCR.

Wird ein Schalter mit der oben beschriebenen Frequenz getaktet, dann erfolgt für ca. 0,5ms ein periodisches Öffnen und Schließen des Schalters. Für ungefähr 100 µsec wird der Schalter prellen, danach erfolgt das sogenannte "dynamische Rauschen" für ca. 0,5 ms. Während des "Rauschens" ist der Schalter noch nicht geschlossen, sondern "schwingt" ohne zu Öffnen. Der Kontaktwiderstand schwankt noch in großen Grenzen und verbessert sich kontinuierlich während dieser ersten 0,5 ms (siehe Abb. # 10).

Sobald das Kontaktrauschen abgeklungen ist, folgt die letzte Einschwingphase. Der Kontakt ist zwar geschlossen, noch immer dauert es aber ca 1 ms bis zur endgültigen geschlossenen Position mit festem Kontaktwiderstand. Wir sprechen dann vom statischen Kontaktwiderstand.

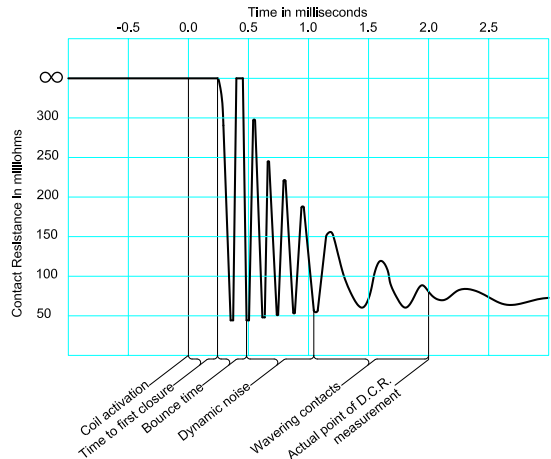


Abb. # 10 Ein typischer Einschwingverlauf mit erstem Schließen, Prellen, dynamisches Rauschen.

Dieses elektrische Einschwingdiagramm erlaubt enorme Rückschlüsse auf die Qualität eines Reed Schalters. Generell kann man festlegen: 1,5 ms nach dem Anlegen einer Spulenspannung hat der Kontakt seine Arbeitsposition erreicht. Zeigt sich eine erhöhte Prellzeit von mehr als 250 µsec, so ist mit erhöhtem Ausfallrisiko, speziell bei lastfreiem Schalten, zu rechnen.

Abb. # 11 erläutert den Verlauf.

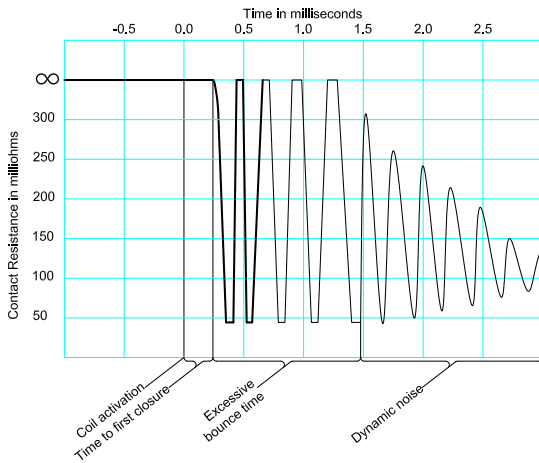


Abb. # 11 Das Einschwingdiagramm zeigt überlanges Prellen.

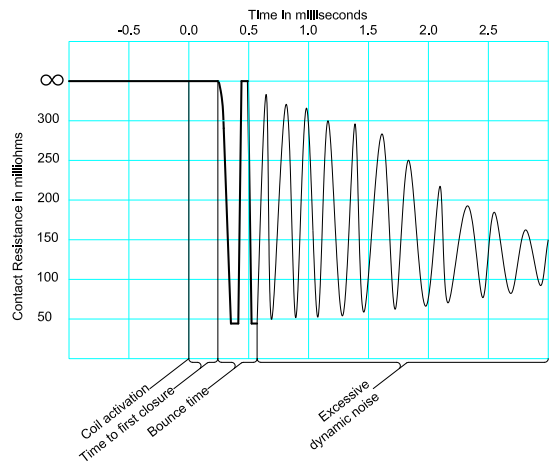


Abb. # 12 Das Kontaktrauschen ist zu hoch und zu lang.

Erhöht sich das Kontaktrauschen oder der Einschwingprozess über den spezifizierten Zeitraum von 1,5 ms hinaus, so lassen sich folgende Rückschlüsse ziehen: Einschmelzzonen fehlerhaft mit dem Langzeitrisiko gerissener oder gar gebrochener Reedampullen. Zeigt die Einschwingkurve speziell nach dem Verarbeiten erhöhte Amplitudenwerte, dann könnte dies auf Verarbeitungstress innerhalb eines Schalters oder Gehäuses hinweisen. In diesem Falle steigt das Risiko von kontaminierten Kontakten durch einströmende Luft. Abb. # 12 und 13 zeigen anschaulich diese Effekte.

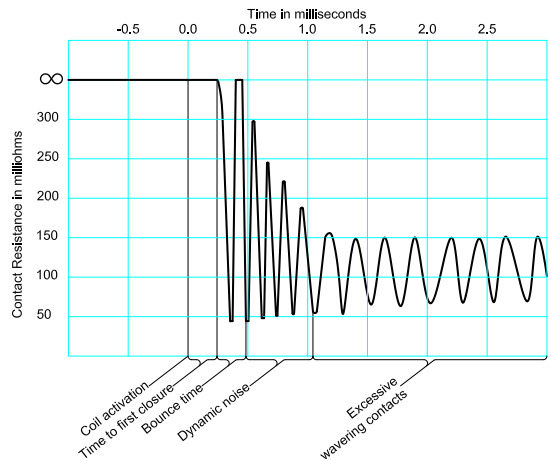


Abb. # 13 Das Verhalten zeigt Hinweise auf Haarrisse oder gerissene Reedschaltergläser.

Verändert sich der Kontaktwiderstand bei aufeinanderfolgenden Schaltungen auch nur in geringem Umfang, so ist mit folgenden Fehlern zu rechnen: interne Verschmutzung, undichte Einschmelzstellen, Partikel, schlechte Kontaktbeschichtung. All dies verkürzt die Lebenserwartung eines Reedswitchers.

Variiert man die Spulenbeaufschlagung durch unterschiedliche Rhythmen (siehe Abb. # 14), so lassen sich auch die heiklen Punkte speziell im Bezug auf fehlerrelevante Resonanzpunkte messtechnisch aufzeigen. Klare Anzeichen sind erhöhte Einschwingamplituden, eine Verlängerung des Kontaktschwingens oder des Kontaktrauschens.

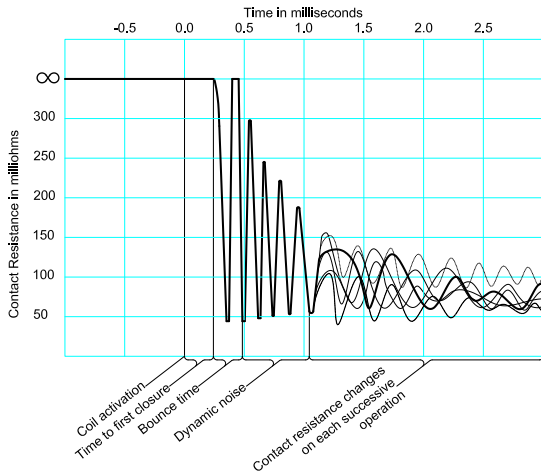


Abb. # 14 Ein Ablauf des dynamischen Kontaktwiderstandes mit den jeweiligen Veränderungen bei aufeinanderfolgenden Schaltungen mit unterschiedlichen Schaltrhythmen.

Die messtechnische Beurteilung des dynamischen Kontaktwiderstandes ist ein Muss für lange Lebensdauer, fehlerfreies Schalten und stabilen Kontaktwiderstand in Ihrer Applikation.

Schaltspannung in Volt spezifiziert die maximal zulässige Spannung, die der Kontakt zu Schalten in der Lage ist. Schaltspannungen über der

Funkengrenze können Materialwanderungen auf der Kontaktoberfläche verursachen. Dies geschieht normalerweise ab 5 Volt. Eben diese Überschläge sind die Ursache für die Verkürzung der Lebenszeit eines Reedswitchers. Trotzdem sind gute Reedswitcher in der Lage, Spannungen zwischen 5 und 12 Volt viele 10 Millionen Mal zu schalten; natürlich spielt dort auch der Schaltstrom eine entscheidende Rolle.

Schalter mit Druckatmosphäre im Glasrohr können Spannungen bis maximal 500 Volt schalten, da beim Öffnen der entstehende Funken nicht gelöscht wird. Darüber hinausgehende Schaltanforderungen werden durch Vakuumschalter gelöst; hier sind Spannungen bis 10 000 Volt realisierbar.

Unter einer Schaltspannung von 5 Volt entsteht keine Funkenbildung und somit keine Materialwanderung, hier sind Lebensdauererwartungen auch über 10⁹ Schaltspiele keine übertriebene Spezifizierung.

Wird ein Reedrelais fachmännisch entwickelt sind auch nach unten kaum Grenzen gesetzt, Spannung im Bereich von 10 Nanovolt können ebenfalls geschaltet werden. All dies macht den Reedswitcher als Schaltelement so wertvoll.

Schaltstrom beschreibt den maximal zulässigen Strom in Ampere (DC oder Peak) im Moment des Schließens des Reedswitchers. Je höher der Strom, um so größer der Funke beim Schließen und Öffnen. Dies bestimmt die Lebensdauer des Schalters.

Transportstrom wird ebenfalls in Ampere gemessen (DC oder Peak) und spezifiziert den maximal zulässigen Strom über bereits geschlossene Kontakte. Da die Kontakte bereits geschlossen sind ist ein signifikant höherer Strom als beim Schalten zulässig, denn ein Funke entsteht nur beim Schließen und Öffnen. Überraschenderweise kann ein geschlossener Reedswitcher sehr hohe Ströme transportieren; wichtig ist dabei jedoch eine geringe Impulslänge, um Überhitzung zu vermeiden. Im Gegenzug lassen sich aber auch, und das ist der riesige Vorteil von Reedrelais gegenüber mechanischen Relais, minimalste Ströme im Bereich

von Femtoampere (10^{-15} A) transportieren und/ oder schalten.

Streukapazität, gemessen in Mikrofarad oder Pikofarad, ist in einem gewissen Umfang immer präsent; sowohl beim Schalten von Strom als auch von Spannung. Und dabei sind die ersten 50 Nanosekunden von entscheidender Bedeutung. Hier entsteht der eventuell zerstörende Funke. Bei genügend hoher Streukapazität, verbunden mit einem entsprechend hohen Spannungs- und/oder Stromlevel, kann der entstehende Funke den Kontakt langfristig zerstören und die Lebensdauer damit stark reduzieren. Wir empfehlen bei relativ hohen Schaltsignalen, den Strom in den ersten 50 Nanosekunden zu begrenzen. Bei 50 Volt und 50 Pikofarad kann ein bleibender Eindruck beim Reedschalter entstehen - dies gilt es zu bestimmen und ihn entsprechend zu schützen.

Spannungsüberlagerungen sind ebenfalls zu berücksichtigen, auch diese haben einen entscheidenden Einfluss auf die Lebensdauer eines Reed Schalters. In Verbindung mit Streukapazitäten, entsprechenden Umwelteinflüssen und sonstigen Strömen haben diese unter Umständen einen verheerenden Effekt, besonders was die Lebensdauer betrifft. Auch hier lohnt es sich, die Höhe dieser Überlagerungen zu bestimmen und den Lastpfad in den ersten 50 Nanosekunden genauestens beim Auslegen der Schaltung zu analysieren. Sind Netzleitungen in der Nähe der Schaltung ist ebenfalls Vorsicht geboten; eingekoppelt in den Schaltkreis können diese einen nicht kalkulierten Einfluss auf die Lebensdauer nehmen. Dies ist normalerweise das Fehlerbild bei derartigen externen und unkontrollierten Einflüssen. Abhilfe lässt sich schaffen wenn die Bedingungen bekannt sind.

Schaltleistung in Watt ist das Produkt aus Strom mal Spannung im Moment des Schließens des Schalters. Bei diesem Parameter ist Vorsicht geboten, denn manchmal ist hier Unsicherheit zu spüren. Nehmen wir einen Schalter mit den

Parametern Schaltspannung 200 Volt, 0.5 Ampere und 10 Watt. Hier darf die Leistung von 10 Watt auf keinen Fall überschritten werden. Bei einer Schaltspannung von 200 Volt darf der Schaltstrom 50 Milliampere nicht überschreiten. Werden 0,5 Ampere geschaltet muss die Schaltspannung auf 20 Volt begrenzt sein.

Isolationsspannung bestimmt den Punkt kurz vor dem spannungsmäßigen Durchschlag eines Reed Schalters und ist immer höher als die Schaltspannung. Die Funkenlöschung ist im Öffnungsfall kein Problem und muss nicht spezifiziert werden. Bei größeren evakuierten Reed Schaltern bis 50 mm sind Isolationsspannungen bis 15 000 Volt nichts ungewöhnliches. Kleinere Modelle um die 20 mm widerstehen immer noch 4 000 Volt, während 15 mm - Schalter (mit leichtem Gasdruck) mit Isolationsspannungen von 250 bis 600 Volt aufwarten können.

Isolationswiderstand ist die Begriffsbestimmung für den Widerstand über den geöffneten Schalter. Vermutlich ist es gerade diese Eigenschaft, die den Reedschalter so einmalig macht und von all den anderen Schaltelementen so stark abhebt. Ein typischer Wert für Reedschalter sind 1×10^{14} Ohm über den geöffneten Schalter. Diese Isolation erlaubt den Einsatz selbst bei kleinsten Leckströmen im Bereich von Pikoampere und Femptoampere ohne markante Verfälschung der Messergebnisse. Werden zum Beispiel in einem Halbleitertester mehrere Eingänge zusammengelegt, so können dadurch entstehende Leckströme einen bedeutenden Einfluss auf das Messergebnis haben.

Dielektrische Absorption hat einen entscheidenden Einfluss auf die Transportfähigkeit von Strömen kleiner 1 Nanoampere. Meist handelt es sich um Verzögerungseffekte - je nachdem wie klein der Strom ist auch in der Größenordnung von Sekunden. Unsere Entwickler haben Reedrelais mit geringster dielektrischer Absorption entwickelt. Rufen Sie uns an.

Schließzeit spezifiziert die zum Schließen benötigte Zeit nach dem Prellen. Abgesehen von quecksilberbenetzten Schaltern beobachtet man bei normalen Schaltern einen harmonischen Schwingungseffekt, der durch die schalterspezifischen Dämpfungseffekte bestimmt wird. Ein bis zwei Preller im Zeitfenster von 50 μ sec bis 100 μ sec sind normal. Die meisten Reedschalter haben ein Schließzeit von 100 μ sec bis 500 μ sec, die Prellzeit bereits mit eingerechnet. Siehe Abbildung # 15.

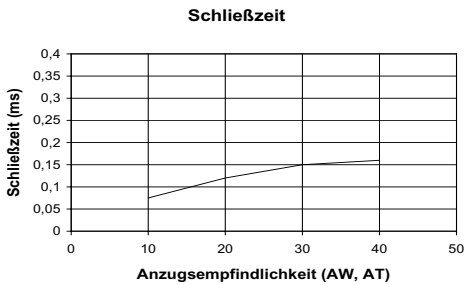


Abb. # 15 Ein typischer Verlauf der Schließzeit bei ansteigender Ansprechempfindlichkeit. Höhere AWan-Werte haben durch den größeren Paddelabstand auch längere Schließzeiten.

Öffnungszeit ist die Zeit, die benötigt wird, um den Schalter zu öffnen, nachdem das magnetische Feld entfernt wurde. Entfernt man die Spannung von einer Relaispule, entsteht ein starker negativer Magnetimpuls; dieser öffnet die Kontaktpaddel in einer extrem kurzen Zeit von nur 20 μ sec bis 50 μ sec. Ist eine Diode zur Funkenlöschung parallel zur Spule geschaltet (Spannungsspitzen können leicht zwischen 100 und 200 Volt erreichen), so erhöht sich die Zeit auf ca. 300 μ sec. Muss der Funken in digitalen Schaltungen unterdrückt werden bietet sich folgende Lösung an: parallel zur Spule wird eine 12V / 24V - Zenerdiode in Serie mit einer normalen Diode geschaltet. Damit wird der negative Impuls auf die Zenerspannung und somit in seiner negativen Wirkung begrenzt; die Energie ist aber immer noch ausreichend hoch um die Öffnungszeit unter 100 μ sec zu bringen. Siehe Abbildung # 16.

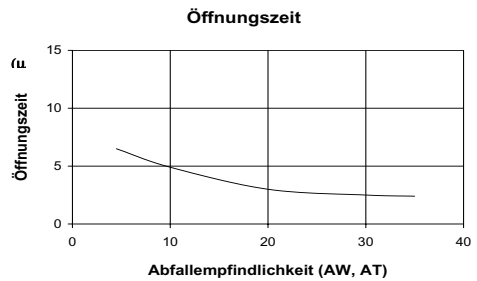


Abb. # 16 Eine Darstellung der Öffnungszeit bei steigender Abfallempfindlichkeit. Durch die höhere Rückstellkraft verkürzt sich die Öffnungszeit.

Resonanzfrequenz spezifiziert den physikalischen Punkt eines Reedschalters, bei dessen Erreichen Langzeitschäden nicht ausgeschlossen werden können. Die typischen Grenzen liegen bei folgenden Werten: Reedschalter 20 mm lang im Bereich von 1500 Hz bis 2000 Hz; Reedschalter 10 mm lang 7000 Hz bis 8000 Hz. Es gilt, unter allen Umständen diese Frequenzbereiche im Umfeld des Reedschalters zu untersuchen und zu vermeiden. Die hauptsächlich betroffenen Parameter sind Schaltspannung und Durchbruchspannung (Abbildung17).

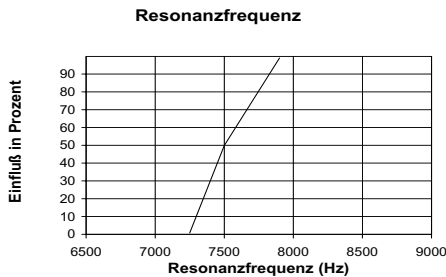


Abb. # 17 Typische Resonanzfrequenzen von 10 mm Reedschaltern.

Kapazität zwischen den geöffneten Paddeln wird in Pikofarad gemessen, die Werte liegen im Bereich von 0,1 pF bis 0,3 pF . Diese sehr geringe Kapazität muss unbedingt beim Design von Halbleitertestern berücksichtigt werden, speziell wenn es sich im Halbleiterumfeld um Kapazitäten von mehreren 100 pF handelt.

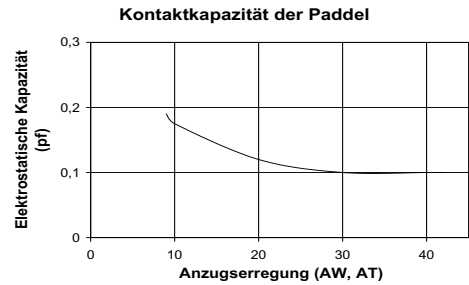


Abb. # 18 Die Anzugsempfindlichkeit wird größer, damit steigen die Paddelabstände. Die Kapazität dagegen fällt.