



Custom  
Engineered  
Solutions for  
Tomorrow

# Reed Technologie



[standexmeder.com](http://standexmeder.com)



## Grundlagen der Reedtechnik

Allgemeine Beschreibung des Reedschalters . . . . .	7
Die Funktion des Reedschalters . . . . .	8
Magnetische und elektrische Parameter für Reed-Bauelemente . . . . .	10
Wie arbeiten Reedschalter und Magnete zusammen . . . . .	18
Reedsensoren im Vergleich zu Halleffektsensoren . . . . .	25
Reedschalter im Vergleich zu mechanischen Mikroschaltern . . . . .	28

## Magnete

Magnete und deren Eigenschaften . . . . .	29
Handhabungshinweise für Magnete . . . . .	34
Magnetisierung . . . . .	35

## Vorsichtsmaßnahmen

Mechanische und elektrische Schutzmaßnahmen für Reedschalter in Relais- und Sensorapplikationen . . . . .	37
Kontaktschutz – Elektrische Schutzbeschaltung . . . . .	41
Kontaktschutz – Schutzbeschaltungen der Reedschalter . . . . .	43

## Ampere-Turns (AT) versus Millitesla (mT)

Vergleich zwischen Amperewindungen (AW, AT) und Millitesla (mT) . . . . .	45
---	----

## Anwendungsbeispiele

Applikationen für Reedschalter und Reedsensoren . . . . .	51
Anwendungen für Automotive und Transport . . . . .	53
Marine und Bootsanwendungen . . . . .	56
Intelligente Anwendungen für Zuhause . . . . .	57
Schutz und Sicherheit . . . . .	60
Medizin . . . . .	61
Test- und Messtechnik . . . . .	62
Telekommunikation . . . . .	63
Weitere Applikationen . . . . .	64

## Reedrelais

Der Reedschalter als Schaltelement in einem Reedrelais . . . . .	65
Applikationen für Reedrelais . . . . .	66
Magnetische Interaktion in Reedrelaisanwendungen . . . . .	67
Reedrelais im Vergleich zu Solid-State und mechanischen Relais . . . . .	73
7 GHz HF-Reedrelais – Applikationen . . . . .	74
Applikationshinweis für Messungen im Frequenz- und Zeitbereich an HF-Relais . . . . .	76

## Lebensdauer

Anforderungen an die Lebensdauer . . . . .	85
--	----

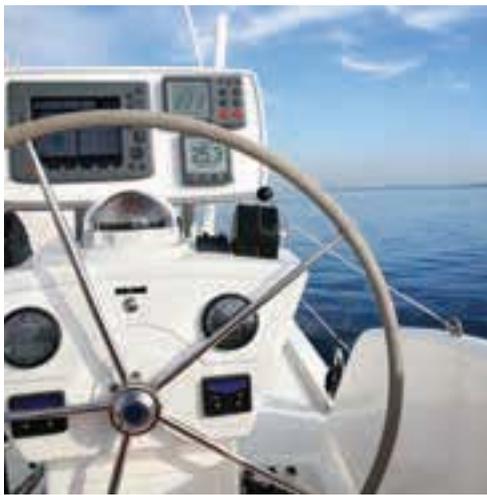
Schaltabstand . . . . .	86
-------------------------	----

Glossar . . . . .	90
-------------------	----



PRODUKTE UND LÖSUNGEN –  
SO UNTERSCHIEDLICH  
WIE DIE MÄRKTE,  
DIE WIR BEDIENEN.





## DAS UNTERNEHMEN

Standex-Meder Electronics ist weltweiter Marktführer in Design, Entwicklung und Produktion von Standardversionen und Sonderanfertigungen elektromagnetischer Bauteile und Innovationen auf der Basis von Reed Schaltern.

Unser Produktangebot magnetisch betätigter Bauelemente umfasst Planar Transformatoren, Rogowski-Spulen, Stromwandler, Nieder- und Hochfrequenztransformatoren sowie induktive Bauelemente. Unsere auf Reed-Technologie basierenden Produktlösungen beinhalten Reed Schalter der Marken Meder, Standex und OKI, sowie den kompletten Produktbereich Reed Relais. Ferner ein umfassendes Spektrum von Level-, Näherungs-, Strömungs-, Klimaanlagekondensat-, hydraulischen Differenzdruck-, kapazitiven, leitfähigen und induktiven Sensoren

## MARKTÜBERSICHT

Wir bieten technische Produktlösungen für ein breites Spektrum von Produktenwendungen in einer Vielzahl von Märkten:

- Allgemeine Industrie
- Alternative Energien
- Automatisierung
- Automotive/Verkehr
- Beleuchtungstechnik
- Energieversorgung
- Haushaltsgeräte
- Hobby und Freizeit
- Hydraulik und pneumatische Antriebe
- Intelligente Netzsysteme
- Kommunikations-technik
- Lebensmitteltechnik
- Luft- und Raumfahrt
- Lüftungs- und Klimatechnik
- Medizin
- Mess- und Regeltechnik
- Messgeräte
- Nutzfahrzeuge
- Offroad
- Rüstungsindustrie
- Sicherheitstechnik
- Strömungstechnik
- Test- und Messtechnik





## KUNDENORIENTIERTE INNOVATIONEN. TECHNISCHE FÄHIGKEITEN AUF WELTWEIT ERSTKLASSIGEM TOPNIVEAU.

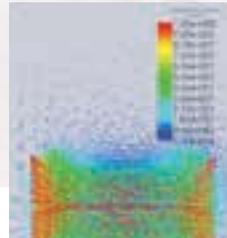
### ENGAGEMENT & KERNKOMPETENZ

Standex-Meder Electronics hat sich der absoluten Kundenzufriedenheit und der kundengesteuerten Innovation verpflichtet und bietet im Rahmen einer globalen Organisation weltweite Vertriebsunterstützung, Entwicklungskapazitäten und technische Ressourcen.

Neben dem Hauptsitz in Cincinnati, Ohio, USA verfügt Standex-Meder Electronics über acht Produktionsstätten in sechs Ländern (USA, Deutschland, China, Mexiko, Großbritannien und Kanada).

### PRODUKTION

- Automatische Reed Schalterprüfung und -sortierung
- Spulenkörper- und Ringkernbewicklung
- Umspritzen und Einhausen von Spulen
- Transfermoulding
- Hot Melt Niederdruckspritzguss Verfahren
- Automatische SMD-Bestückung mit optischer Inspektion
- Plasmaoberflächenbehandlung
- Kunststoffspritzguss und Einlegespritzguss
- Zwei Komponenten Verguss
- Folgeverbund Stanzen
- Reflow-, Selektiv- und Wellenlöttechnologie
- Reed Schalterproduktion
- Automatische Sensormontage
- Entwicklung und Produktion von Transformatoren
- Edelstahlbearbeitung und präzises Laserschweißen





## ENTWICKLUNG

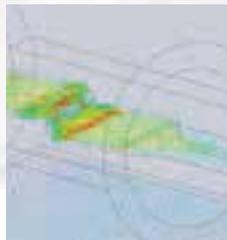
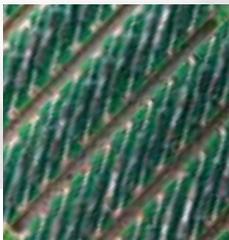
- Entwicklung elektronischer und magnetischer Sensoren
- Schaltungsentwicklung und Leiterplattendesign
- Patentierte Leitwert-Sensoren
- Patentierte induktive Sensoren
- 3-D CAD Darstellungen
- 3-D Scanning von Schaltpunkten
- EMS Software für magn. Simulationen
- PCB Prototypenherstellung
- Schnelle Prototypenanfertigung mit 3-D Drucker

## TEST- & MESSTECHNIK

- Automatische Bestückungs- und Prüfsysteme
- Umwelt- und Beständigkeitstests
- Lebensdauertest
- Fluxmeter
- Nanovoltmeter
- Picoamperemeter
- Abreißkraft-Prüfstand
- Gauss- / Teslameter
- Hochspannungs- und Isolationsprüfgeräte

## QUALITÄTS- / LABORMERKMALE

- Zertifizierung nach AS9100, ITAR, DIN EN ISO9001, ISO/TS16949
- Voll ausgestattete und zertifizierte Testlabore
- Burn-In und Lebensdauertest
- Eigene mechanische Bearbeitung (Werkzeugbau)
- Corona Entladungs Testgerät
- Mikroskopische Untersuchung/DPA
- Dichtigkeitsprüfung
- Schichtdicken Messgerät
- Salzsprühnebel und Lötbarkeitstest
- Auszugskraftmessung
- Temperaturwechsel- und Klimatest
- Mechanische Schock- und Vibrationstests



# Notizen

# Allgemeine Beschreibung des Reedschalters

Der Reedschalter hat seinen Ursprung in den USA und wurde dort von Bell Labs Ende 1930 entwickelt. Ab 1940 gab es bereits erste Industrieanwendungen für Reedsensoren und Reedrelais – hauptsächlich in einfachen, magnetisch ausgelösten Schaltfunktionen und ersten Modellen von Testgeräten. Ende der 40er Jahre war es die Firma Western Electric, die Reedschalter in Telefonsysteme einführte. Selbst heutige Designs nutzen die Vorteile der Reedschalter in derartigen Anwendungen immer noch.

Während dieser Zeit gab es ein Kommen und Gehen von Herstellern. Die meisten haben es geschafft, mit modernen Produktionsmaschinen eine sehr hohe Zuverlässigkeit zu erreichen. Einige wenige machen weiter wie früher, was dem Ansehen des Reedschalters sicherlich nicht positiv zuträgt.

Der weltweite Bedarf an Reedschaltern pro Jahr wächst stetig: Einsatzgebiet ist das gesamte Spektrum der Elektrotechnik und Elektronik wie Automobilmarkt, Alarmanlagen, Test- und Messgerätemarkt, Hausgeräte, Medizintechnik, Industrieanwendungen.

Beim Reedschalter handelt es sich um ein kleines, aber feines Bauteil. Aufgrund der verwendeten Materialien und hermetisch geschlossenen Bauweise, lassen sich Schaltfunktionen in fast allen denkbaren Umweltbedingungen realisieren. Trotzdem sind einige Punkte zu beachten, die auf die Langzeitstabilität eine gravierende Wirkung haben können. So ist die Glas-Metall-Einschmelzzone aufgrund der unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten für die Dichtheit verantwortlich. Ansonsten besteht die Gefahr von Haarrissen mit all den bekannten Konsequenzen. Beim Auftragen des Kontaktmaterials gilt dasselbe: Rhodium oder Rhutenium wird entweder gesputtert oder galvanisch abgeschieden. Ganz egal wie, aber dieser Prozess ist extrem von den äußeren Umweltbedingungen abhängig und sollte am besten in einem Reinraum stattfinden. Genau wie in der Halbleiterindustrie sind fremde Partikel, auch bereits in kleinster Ausprägung, die Quelle für Zuverlässigkeitsprobleme. Um den Qualitätsanspruch unserer Kunden gerecht zu werden, entschloss man sich die Fertigung der Reedschalter

selbst in die Hand zu nehmen. Reedschalter werden seit 1968 in England und seit 2001 in Deutschland gefertigt.

Im Laufe der Zeit konnten die Abmessungen von 50 mm Länge auf 3,7 mm geschrumpft werden. Dadurch wurden eine Vielzahl neuer Anwendungen entwickelt, die technisch realisiert, besonders im Bereich der Hochfrequenztechnik und Impulsschaltungsanwendungen.

Hier eine Aufstellung über die wichtigsten Merkmale:

1. Fähigkeit zum Schalten bis 10.000 Volt
2. Schaltströme bis 5 A möglich
3. Minimalspannungen von 10 Nanovolt können ohne Verluste geschaltet oder transportiert werden
4. Ströme von 1 Femtoampere können ohne Verluste geschaltet oder transportiert werden
5. Fähigkeit, Signale bis 7 GHz ohne nennenswerte Verluste zu schalten
6. Isolationsspannung über den geöffneten Kontakt bis  $10^{15}$  Ohm
7. Kontaktwiderstand im geschlossenen Zustand typ. 50 mOhm
8. Verharrt im geöffneten Zustand ohne jegliche externe Leistung
9. Bistabile Schaltfunktion möglich
10. Schließzeit ca. 100 bis 300  $\mu$ sec
11. Fähigkeit, auch in extremen Temperaturschwankungen zwischen  $-55^{\circ}\text{C}$  und  $+200^{\circ}\text{C}$  zu schalten
12. Elemente wie Wasser, Vakuum, Öl, Fett und sonstige aggressive Umwelteinflüsse beeindrucken das Bauteil aus Glas nur in ganz seltenen Fällen
13. Schockresistenz bis 200 g
14. Einsetzbar bei Vibrationen von 50 Hz bis 2.000 Hz bei 30 g
15. Lange Lebensdauer – bei Schaltspannungen unter 5 V (Lichtbogen-Grenze) sind Schaltspiele weit über  $10^9$  hinaus erreichbar
16. Kein Stromverbrauch, daher ideal für transportable und batteriebetriebene Geräte
17. Kein Schaltgeräusch

## Die Funktion des Reedschalters

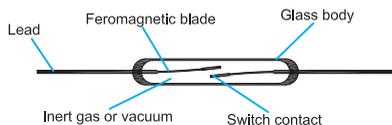


Abb. # 1 Zeigt den prinzipiellen Aufbau eines 1Form A-Schalters (NO).

Ein Reedschalter besteht aus zwei ferromagnetischen Schaltungen (normalerweise Nickel/Eisenlegierung), die hermetisch dicht verschlossen in ein Glasröhrchen eingeschmolzen werden. Die beiden Schaltungen überlappen. Wirkt ein entsprechendes Magnetfeld auf den Schalter, bewegen sich die beiden Paddel aufeinander zu – der Schalter schließt. 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 mittels 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 vor dem Verschließen zu evakuieren. Durch das erzeugte Vakuum sind diese Schalter für den Einsatz in Hochspannungsanwendungen bestens geeignet und können bis zu 10kV schalten.

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

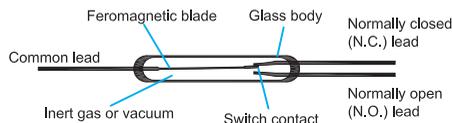


Abb. # 2 Der 1Form C-Schalter (SPDT) hat drei Anschlüsse.

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 SPDT (Single-Pole-Double-Throw). In Ruhestellung und ohne anliegendes Magnetfeld wird der so genannte 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 nicht leitenden Plättchen versehen. Wird ein Magnetfeld in der Form angelegt, dass die beiden Anschlüsse NO und NC eine Polarität erfahren und der Common-Anschluss die andere Polarität erfährt, so bewegt sich das Paddel in Richtung Schließeranschluss.

# Magnetische und elektrische Parameter für Reed-Bauelemente

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 zum Einsatz, 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 mit einem Sättigungsimpuls, um dann  $A_{Wan}$  und  $A_{Wab}$  zu bestimmen (siehe auch Abb. # 5).

Beim Konstruieren von Relais und der magnetischen Dimensionierung gehen wir von einer Arbeitstemperatur von 20 °C aus.

Temperatureffekt der Spule

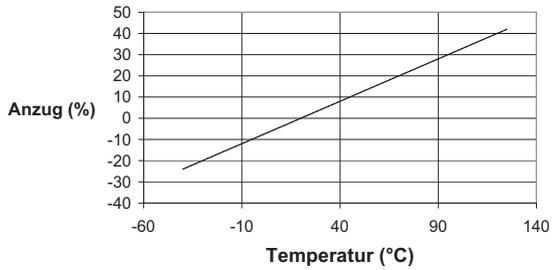


Abb. # 6 Der Anzugs- und Abfallwert erhöht sich um 0,4% / °C.

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.

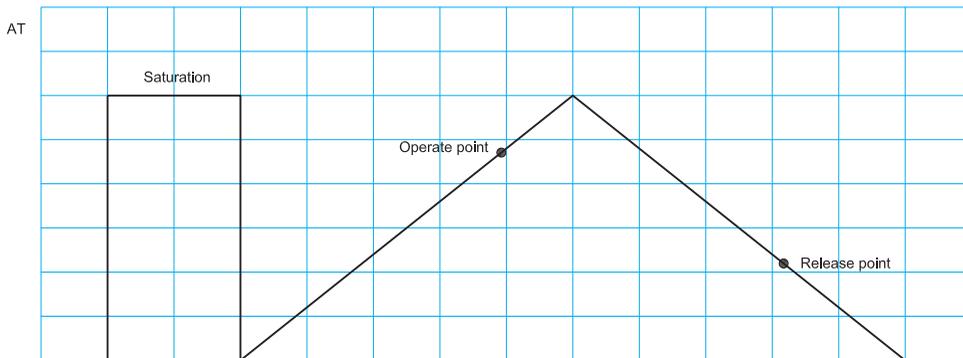


Abb. # 5 Das genaueste Messergebnis für  $A_{Wan}$  und  $A_{Wab}$  erhält man durch einen Vormagnetisierungsimpuls.

**Abschaltempfindlichkeit** ( $A_{Wab}$ ,  $DO$ ) bestimmt den Ausschaltzeitpunkt des Reedschalters. Die Merkmale der Beschreibung von  $A_{Wan}$  treffen hier ebenfalls zu und werden entsprechend berücksichtigt.

Eine **Hysterese** in % stellt das Verhältnis zwischen Abfall- und Anzugswert dar und wird angegeben in  $A_{Wan}/A_{Wab}$ .

Die Hysterese kann von vielen designspezifischen Einflüssen abhängen: Beschichtungsdicke, Paddelüberlappung, Paddelbeschaffenheit, Paddellänge, Einschmelzzone, Paddelabstand. Abbildung 7 zeigt den Verlauf der Hysterese als Beispiel für viele andere Variationen.

**Abfall vs. Anzug**

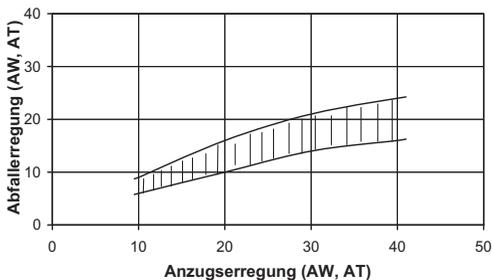


Abb. # 7 zeigt die  $A_{Wan}$ - und  $A_{Wab}$ -Verläufe. Die Hysterese steigt mit höherem  $A_{W}$ -Wert normalerweise an.

Der **Statische Kontaktwiderstand** ist der Gleichstromwiderstand, erzeugt durch Paddel und Kontaktfläche. Den meisten Einfluss hat hier das Nickel/Eisenmaterial mit einem Wert zwischen  $8-10 \times 10^{-8}$  Ohm/m. Verglichen mit dem Kupferwert von  $1,7 \times 10^{-8}$  Ohm/m ist dies relativ hoch. Typisch für einen Reedschalter 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).

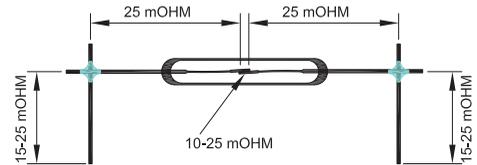


Abb. # 8 Darstellung der verschiedenen Widerstandszonen eines Reedschalters.

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

Zum Messen wird der Kontakt mit einer Frequenz zwischen 50 Hz und 200 Hz geschaltet. Eine Messspannung von 0,5V 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 0,5V sollte nicht überschritten werden; zu groß wäre das Risiko, eventuell vorhandene Oxydschichten auf den Paddeln zu „durchschlagen“. Für kleinste Messsignale wäre diese Schicht dann eine Isolation, die durch die höhere Testspannung durchschlagen wird, nicht aber das Problem als solches visualisiert (Abb. # 9).

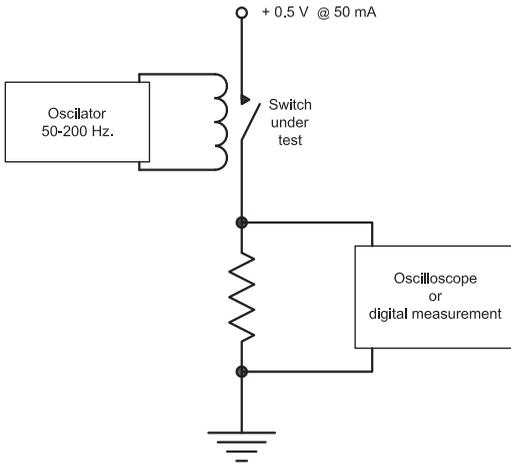


Abb. # 9 Schematisch dargestellter Messaufbau zum Bestimmen des Dynamischen Kontaktwiderstandes DCR.

Wird ein Schalter mit der oben beschriebenen Frequenz getaktet, dann erfolgt für ca. 0,5 ms 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, aber es dauert immer noch ca. 1 ms bis zur endgültigen, geschlossenen Position mit festem Kontaktwiderstand. Wir sprechen dann vom statischen Kontaktwiderstand.

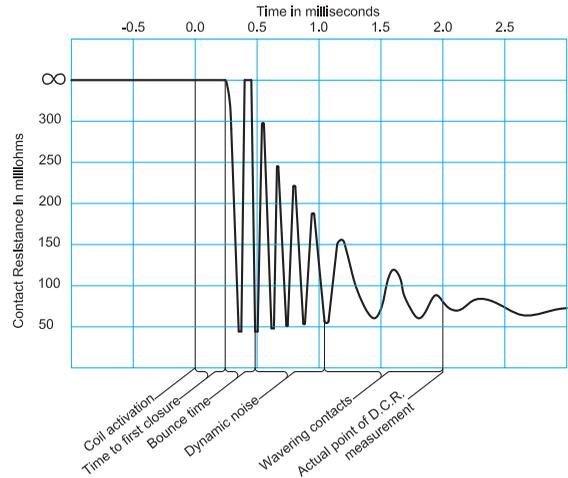


Abb. # 10 Ein typischer Einschwingverlauf mit erstem Schließen, Prellen und dynamischem Rauschen.

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.

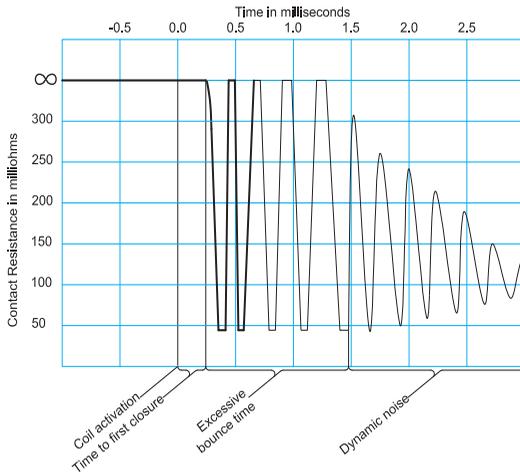


Abb. # 11 Das Einschwingdiagramm zeigt überlanges Prellen.

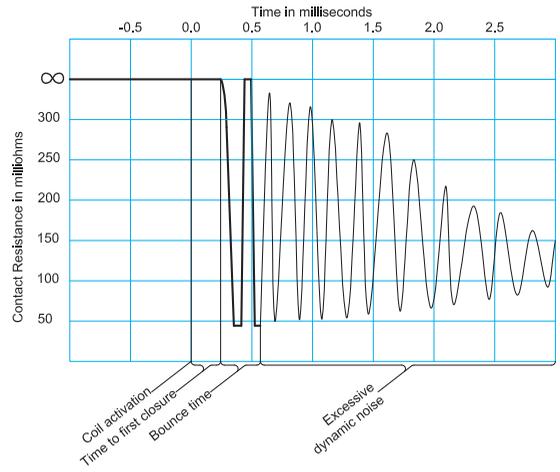


Abb. # 12 Das Kontaktrauschen ist zu hoch und zu lang.

Erhöht sich das Kontaktrauschen oder der Einschwingprozess über den spezifizierten Zeitraum von 1,5 ms hinaus, so lassen sich folgende Rückschlüsse ziehen: Die Einschmelzzonen sind fehlerhaft, mit dem Langzeitrisiko gerissener oder gar gebrochener Reedkapillaren. 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.

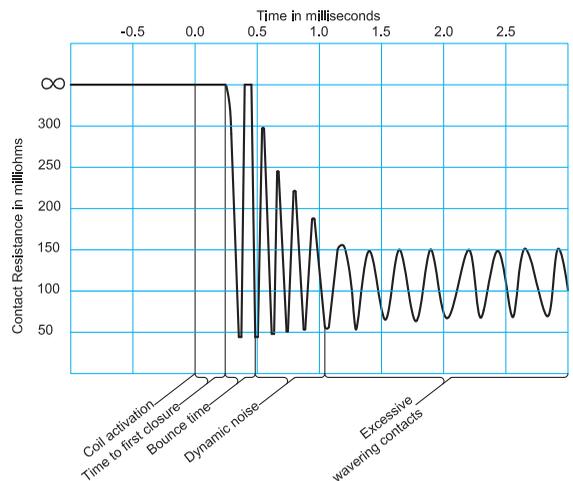


Abb. # 13 Das Verhalten zeigt Hinweise auf Haarrisse oder gerissene Reedschaltergläser.

Verändert sich der Kontaktwiderstand bei aufeinanderfolgenden Schaltungen auch nur in geringem Umfang, so können interne Verschmutzung, mechanische Verspannung oder auch Fehler in der Paddeloberfläche die Ursache sein. Klare Indikatoren für Schädigungen sind, in Bezug auf Kontaktlasten, erhöhte Einschwingamplituden, eine Verlängerung des Kontaktschwingens oder des Kontaktrauschens.

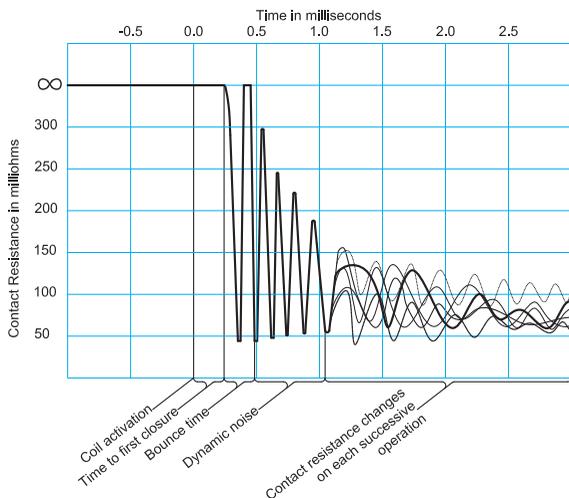


Abb. # 14 Ein Ablauf des dynamischen Kontaktwiderstandes mit den jeweiligen Veränderungen bei aufeinanderfolgenden Schaltungen mit unterschiedlichen Schaltrhythmen.

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 Lichtbogengrenze können Materialwanderungen auf der Kontaktfläche 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 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 Lichtbogenbildung und somit keine Materialwanderung, hier sind Lebensdauererwartungen auch über  $10^9$  Schaltspiele keine übertriebene Spezifizierung.

Wird ein Reedrelais fachmännisch entwickelt, sind auch nach unten kaum Grenzen gesetzt. Spannungen im Bereich von 10 Nanovolt können problemlos 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 Schaltlichtbogen 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 höherer Strom als beim Schaltvorgang zulässig, denn ein Schaltlichtbogen entsteht nur beim Schließen und Öffnen. Bei sehr kurzer Impulslänge kann ein Reedswitcher auch höhere Ströme transportieren, da die Erwärmung hierbei minimal ist. Im Gegenzug lassen sich aber auch, und das ist der riesige Vorteil von Reedrelais gegenüber mechanischen Relais, minimalste Ströme im Bereich von Femtoamperes ( $10^{-15}$ A) transportieren und/oder schalten.

**Streukapazität**, gemessen in Mikrofarad oder Pikofarad, ist in einem gewissen Umfang immer präsent, z. B. durch Leiterbahnen und Kabel. Beim Schalten von Strom und auch von Spannung 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 eine bleibende Schädigung beim Reedschalter entstehen – diese gilt es zu bestimmen und ihn entsprechend zu schützen.

**Spannungsüberlagerungen** sind ebenfalls zu berücksichtigen, denn 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. Einkoppelt 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 Am-

pere geschaltet, muss die Schaltspannung auf 20 Volt begrenzt sein.

**Durchbruchspannung** bestimmt den Punkt kurz vor dem spannungsmäßigen Durchschlag eines Reed Schalters und ist immer höher als die Schaltspannung. 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 dem geöffneten Schalter. Vermutlich ist es gerade diese Eigenschaft, die den Reedschalter so einmalig macht und von all den anderen Schaltelementen stark abhebt. Ein typischer Wert für Reedschalter sind  $1 \times 10^{14}$  Ohm über dem geöffneten Schalter. Diese Isolation erlaubt den Einsatz selbst bei kleinsten Leckströmen im Bereich von Pikoampere und Femtoampere, 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.

**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  $\mu\text{sec}$  bis 100  $\mu\text{sec}$  sind normal. Die meisten Reedschalter haben eine Schließzeit von 100  $\mu\text{sec}$  bis 500  $\mu\text{sec}$ , die Prellzeit bereits mit eingerechnet. Die in der Praxis erreichbaren Schaltzeiten werden erheblich von der verwendeten Erregerspule und Ansteuerschaltung beeinflusst. Siehe Abbildung # 15.

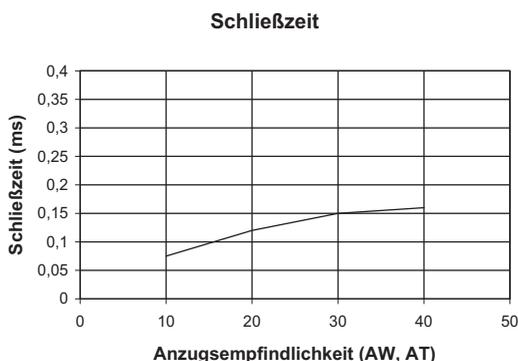


Abb. # 15 Ein typischer Verlauf der Schließzeit bei ansteigender Ansprechempfindlichkeit. Höhere AWan-Werte haben durch den größeren Paddelabstand auch längere Schließzeiten.

**Öffnungszeit** ist die Zeit, die benötigt wird, um den Schalter zu öffnen, nachdem das magnetische Feld nicht mehr auf den Schalter einwirkt. Reduziert man die Spannung der Relaispule unter die Abfall- oder Rückgangsspannung, öffnen die Kontaktpaddel in einer extrem kurzen Zeit von nur 20  $\mu\text{sec}$  bis 50  $\mu\text{sec}$ . Ist eine Diode parallel zur Spule geschaltet (um deren Abschaltspitzen von 100 - 200 V zu unterdrücken), so erhöht sich die Zeit auf ca. 300  $\mu\text{sec}$ . Muss der Impuls in digitalen Schaltungen unterdrückt werden, bietet sich folgende Lösung an: Parallel zur Spule wird eine 12 V / 24 V - Zenerdiode in Serie mit einer normalen Diode geschaltet. Damit wird der Spannungsimpuls auf die Zenerspannung und somit in seiner negativen Wirkung begrenzt. Diese Schaltung ermöglicht außerdem Öffnungszeiten deutlich unter 100  $\mu\text{sec}$ . Siehe Abbildung # 16.

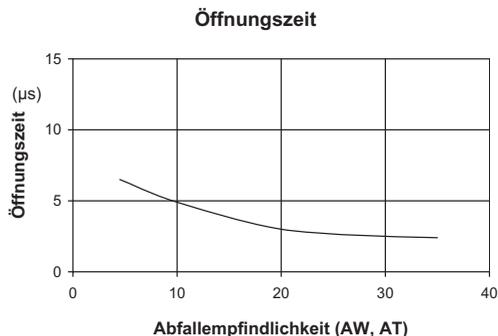


Abb. # 16 Eine Darstellung der Öffnungszeit bei steigender Abfallempfindlichkeit. Durch die höhere Rückstellkraft verkürzt sich die Öffnungszeit.

**Resonanzfrequenz** ist die Frequenz, bei der der Reedschalter durch externe Vibrationen ungewollt schließt. Bei dieser Eigenschwingung kann es zu ungewollten Schaltungen des RS kommen. Außerdem stellen diese Resonanzfrequenzen eine Gefahr für die mechanische Stabilität des Reedswitchers dar. Resonanzfrequenzen können die Einschmelzung derart beschädigen, dass ein Totalausfall des Schalters die Folge ist. (Abbildung # 17).

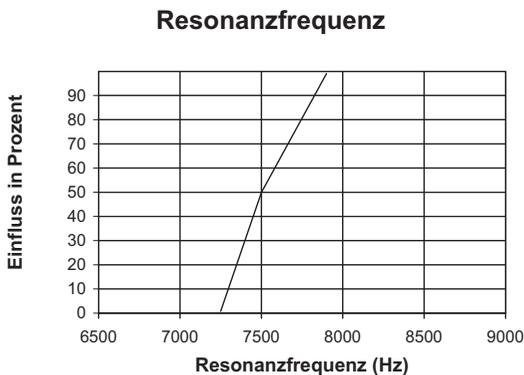


Abb. # 17 Typische Resonanzfrequenzen von 10 mm Reedswitchern.

**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.

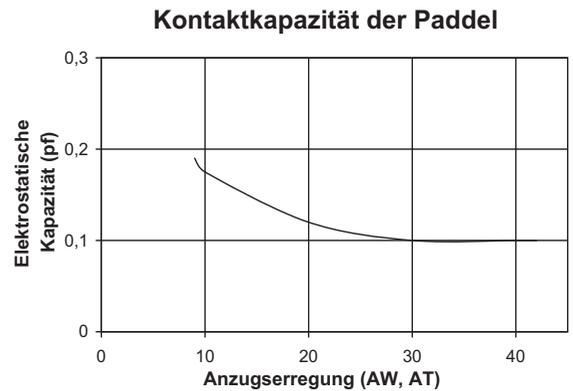


Abb. # 18 Die Anzugsempfindlichkeit wird größer, damit steigen die Paddelabstände. Die Kapazität dagegen fällt.