

Testvorschläge für Relais der Frequenzdomäne und der Zeitdomäne

Um HF-Bauteile wie Reedrelais über 100 MHz fachmännisch testen zu können, sind zwei Voraussetzungen grundwichtig: ein Netzwerk-analysator sowie gute Prüfaufnahmen für das Kalibrieren und Testen der Komponenten. Dasselbe trifft auf Messungen der Zeitdomäne zu. Beim Test der Anstiegszeit in der Zeitdomäne kann es leicht zu Überschwingungen kommen, und das wirkliche Ergebnis wird verfälscht. Sind die Überschwinger vom Bauteil selbst verursacht, so hat dies negative Einflüsse auf die Performance; sie müssen eliminiert werden.

Ein gutes Adapterdesign startet bei der Material-auswahl: HF- taugliches Platinenmaterial und SMA- Verbinder sind die Grundlage. Für die Platine kommen mehrere bekannte Materialien in Frage: FR 4, G-Tech und diverse Materialien von Rogers. Auch wenn der Adapter bei der Kalibrierung die Fehler zum Teil neutralisiert, kommt FR 4 nur bis ca. 6 GHz in Frage. Darüber hinaus empfiehlt es sich, HF- Leiterplattenmaterial wie RO 3203 oder RO 4350 einzusetzen. Rogers hat weitere Platinenmaterialien verfügbar, es muss aber auf den Ausdehnungsfaktor TCE geachtet werden - er muss mit eventuell weiteren Bauteilen harmonisieren. Die meisten Materialien sind keramikgefüllt.

Abb. # 15, 16, 17 und 18 erläutern die Funktion der Kalibrierungsboards, ausgelegt für Kurzschluss gegen Masse (shorted to ground), offener Signalkreis (open circuit), geschlossener Signalkreis (through line transmission), eine 50-Ohm-Anbindung (50-Ohm-impedance termination) sowie das Layout des Prüflings. Es sollten so viele Massepunkte als möglich angebracht und scharfe Kanten vermieden werden.

Abb. # 14 zeigt einen Kalibrierungsaufbau

Die Daten aller Kalibrierungsmodule wurden aufgenommen und im Analyser hinterlegt. Die Daten des "RUT-Relais unter Test" wurden um die Abweichungen der Testadapter korrigiert.

Beide lagen sehr eng zusammen. Auf folgende Ergebnisse konnte zurückgegriffen werden: Isolation, Einfügedämpfung und Stehwellen-verhältnis VSWR. Die angefügte Smith Chart zeigt die zu erwartende Impedanz über den gesamten Frequenzverlauf.

Design der Testadapter

Der erste Schritt ist das Definieren der geometrischen Abmessungen des Testadapters. Nachfolgend sind vier Anordnungen und ihre entsprechenden Gleichungen zum Berechnen der Impedanz aufgeführt.

Die Gleichungen sind Annäherungen, bei denen Außen-einflüsse zur Vereinfachung vernachlässigt wurden. Um die Ergebnisse zu verbessern, ist eventuell eine Feinabstimmung notwendig.

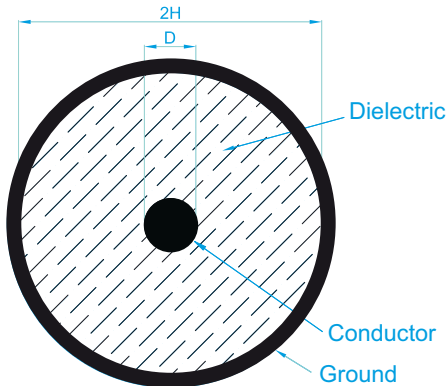


Abb. # 10 Schematische Darstellung einer Koaxialleitung.

$Z_0 = 60 / \sqrt{\epsilon_r} \ln ((2h)/d)$
Gleichung # 29 für Koaxialkabel

Wobei h und d in obiger Zeichnung definiert sind und er die Dielektizitätszahl des Materials zwischen den Leitern angibt.

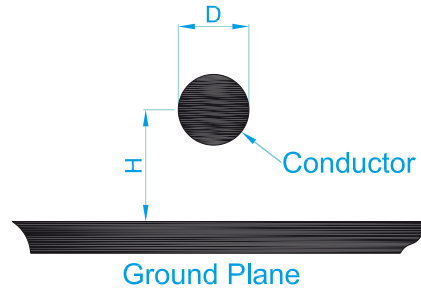


Abb. #11 Drahtleiter über Masseebene.

$Z_0 = 60 / \sqrt{\epsilon_r} \ln ((4hk_p)/d)$ **Gleichung # 30**

für Drahtleiter über Masseebene

k_p ist ein Annäherungsfaktor für einen runden Leiter über einer Masseebene. Wenn das Verhältnis h/d groß ist, ist k_p fast 1. Bei kleinen Abständen gilt annäherungsweise

$k_p = 1/2 + \sqrt{(4h^2 - d^2)}/4h$ **Gleichung # 31**

k_p verringert sich zu $1/2$, wenn der runde Leiter die Masseebene berührt, bei $d=2h$. Dieser Annäherungseffekt wird von den selben Erscheinungen verursacht wie auch der Skineneffekt. Gegenseitige Abstossung drängt Ströme an die Oberfläche von Leitern, die Strom in die entgegengesetzte Richtung leiten. Die Stromdichte in Rundleitern ist am höchsten auf der Seite, die am nächsten zur Masseebene oder dem Rückleiter liegt. Im Falle des Reedrelais ist der Skin- und Annäherungseffekt nicht zu unterscheiden von den Effekten bei Koaxialleitungen. Die gesamte Oberfläche des runden Innenleiters liegt symmetrisch eingebettet im Schild. Der Annäherungseffekt wird normalerweise bei dünnen rechteckigen Leitern berücksichtigt. Der Skineneffekt erhöht die Stromdichte in den Außenbezirken von Leitern.

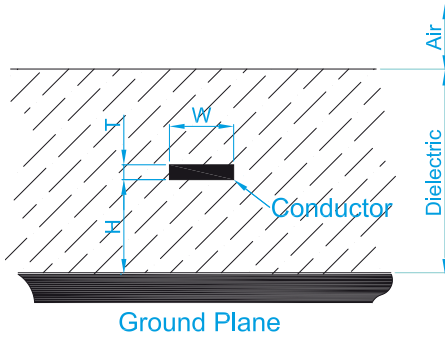


Abb. # 12 Anordnung einer eingebetteten Leiterbahn.

$$Z_o = 60 / (\sqrt{\epsilon_r}) \ln ((5.98h) / (0.8w + t))$$

Gleichung # 32

eingebettete Leiterbahn über Masseebene

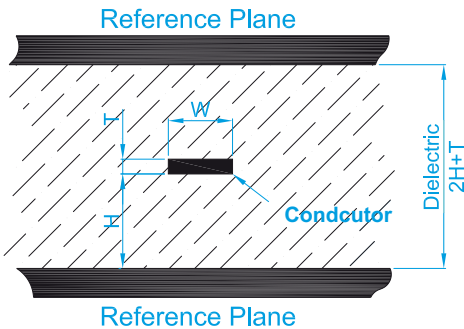


Abb. # 13 Leiterbahn Anordnung.

$$Z_o = 60 / (\sqrt{\epsilon_r}) \ln (3.8(h + 0.5t) / (0.8w + t))$$

Gleichung # 33

Leiterbahn zwischen Masseebenen Testaufbau und Testaufnahmen

Testaufbau und Testaufnahmen

Der Schlüssel zum erfolgreichen Testen liegt im Testaufbau selbst und den verwendeten Testaufnahmen.

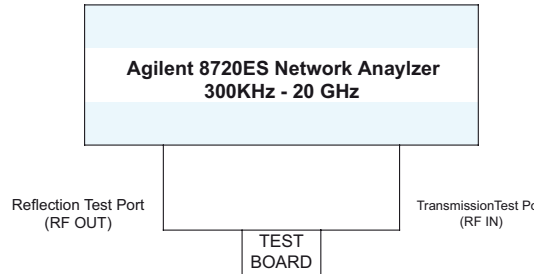


Abb. # 14 Testaufbau

Kalibrierung ist kritisch für genaue Messungen

Um Messfehler bei der Charakterisierung von Relais zu vermeiden, werden Kalibrierungsadapter benötigt. Für die Verbindung zum Netzwerk Analyzer wurden SMA-Verbindungen verwendet. Folgende Abbildungen zeigen den Aufbau der Adapter, welche zum Testen der Relais (RUT-Relay unter Test) benutzt wurden.

- Kalibrierungsadapter mit einer offenen 50 Ohm-Leitung
- Kalibrierungsadapter mit einer kurzgeschlossenen 50 Ohm-Leitung
- Kalibrierungsadapter mit 50 Ohm Abschlusswiderstand
- Kalibrierungsadapter mit 50 Ohm Durchverbindung
- Testadapter mit RUT

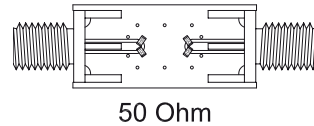


Abb. # 15 Kalibrierungsadapter mit 50 Ohm Abschlußwiderstand.

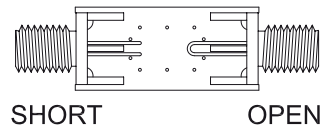


Abb. # 16 Kalibrierungsadapter mit offener / kurzgeschlossener Leitung.

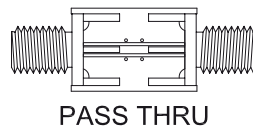


Abb. #17 Kalibrierungsadapter mit Durchverbindung.

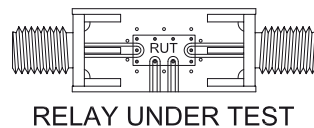


Abb. # 18 Kalibrierungsadapter mit Relais.

Einfügungsdämpfung

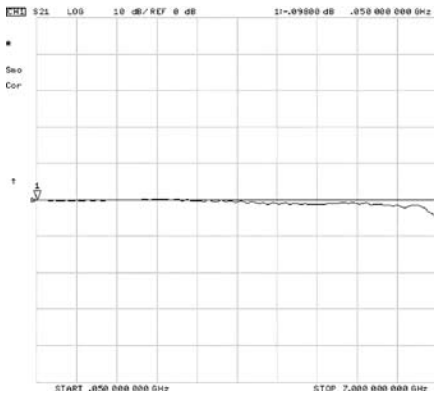


Abb. # 19 Einfügungsdämpfung gemessen bis 7 GHz an einem Reedrelais wie in **Abb. # 9** abgebildet.
 Horizontale Skalierung: bis 7 GHz.
 Vertikale Skalierung: 10 dB / Div, Referenz 0 - Linie

Einfügungsdämpfung mit Kupferbrücke

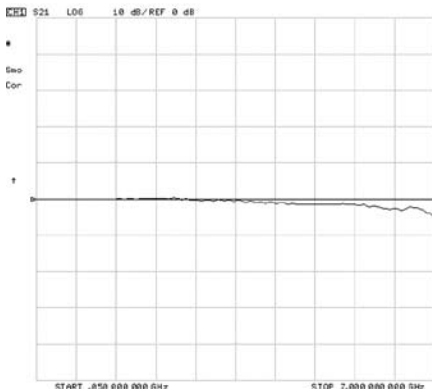
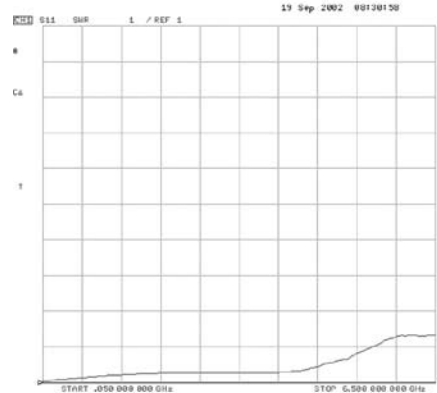


Abb. # 20 Einfügungsdämpfung gemessen bis 7 GHz an einem Reedrelais wie in **Abb. # 9** abgebildet.
 Hier wurde der interne Reedschalter durch einen Kupferdraht ersetzt.
 Horizontale Skalierung: bis 7 GHz.
 Vertikale Skalierung: 10 dB / Div, Referenz 0 - Linie

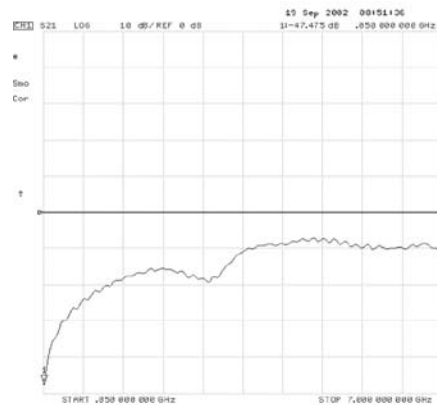
VSWR

Abb. # 21 VSWR - Voltage Standing Wave Ratio - Stehwellenverhältnis gemessen bis 6.5 GHz an einem Reedrelais wie in **Abb. # 9** abgebildet. Horizontale Skalierung: 6,5 GHz. Vertikale Skalierung: 1,0/ Div bezogen auf die Grundlinie.



Isolation

Abb. # 22 Isolation gemessen bis 7 GHz an einem Reedrelais wie in **Abb. # 9** abgebildet. Horizontale Skalierung: bis 7 GHz. Vertikale Skalierung: 10 dB / Div, Referenz 0 - Linie.



Rückflussdämpfung



Abb. # 23 Rückflussdämpfung gemessen bis 6,5 GHz an einem Reedrelais wie in **Abb. # 9** abgebildet. Horizontale Skalierung: 6,5 GHz. Vertikale Skalierung: 1,0/ Div bezogen auf die Grundlinie.

- 1 - Kurzschluss vor Relais
- 2 - Kontakt offen
- 3 - Kontakt geschlossen
- 4 - Geschlossener Kontakt - kurzgeschlossen nach Relais
- 5 - Geschlossener Kontakt - 50 Ohm

Smith-Diagramm

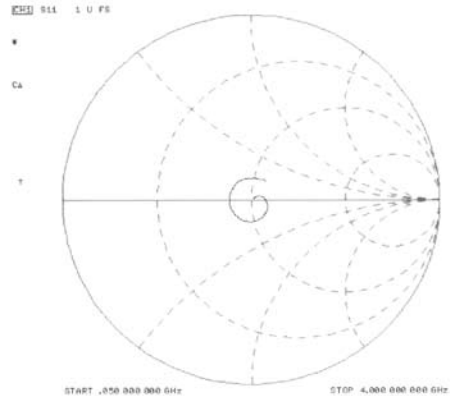


Abb. # 25 zeigt ein Smith-Leitungsdiagramm (Smith Chart) ausgedruckt für Frequenzen bis 4 GHz. Der zweite gestrichelte Kreis, von der rechten Seite aus gesehen, repräsentiert den Impedanzpunkt mit 50 Ohm.

Wellenwiderstand

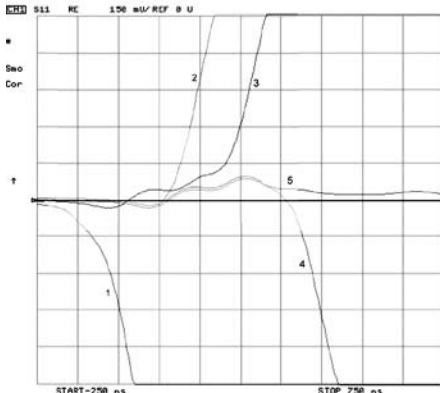


Abb. # 24. Darstellung des Wellenwiderstandes beim Aufbau eines Reedrelais **Abb. # 9**. Kurven 1 bis 3 zeigen die bildliche Darstellung der Kalibrierungspunkte. Horizontale Skalierung 750 psec über die ganze Skala. Die Vertikal-skalierung den Reflektionsfaktor bezieht sich auf die Nulllinie und beträgt 150 milliUnit/ Div.

Testergebnisse

Die Resultate in den Abb. # 19 bis 25 wurden mit den vorangehend beschriebenen Testadaptern und Testabläufen durchgeführt. Die benutzten Aufnahmen waren aus FR-4 Platinenmaterial. Eine weitere Variante wäre die Verwendung von Rogers-Material. Hier könnte bei Bedarf eine Verbesserung der Parameter erzielt werden.

Einfügungsdämpfung (Insertion Loss)

Wie bereits vorab erklärt spezifiziert die Einfügungsdämpfung den Verlust des Signals in einem Relais, gemessen zwischen Ausgang und Eingang des Bauteils. Die Einfügungsdämpfung ist die wichtigste Eigenschaft unseres Reedrelais, der Wert sollte so gering als möglich sein.

Abb. # 19 zeigt einen exzellenten Verlauf der Kurve bis 7 GHz. Die Kurve ist bis zu 7 GHz sehr flach und steigt dann leicht an. Es kann von einem guten Signal-Schaltverhalten bis zu dieser Frequenz bei unserem Keramikrelais der Serie CRF ausgegangen werden, sowohl für analoge oder digitale Signale. Werden Halbleiter als Schaltelemente verwendet, so kommen nicht selten Intermodulationsverzerrung zum Tragen. Mit einem passiven Bauelement, wie es das Reedrelais darstellt, existieren die Intermodulationsverzerrung nicht; das Ergebnis zeigt die flach verlaufende Kurve bis 7 GHz. Damit wird dem Entwickler ermöglicht, unterschiedlichste Frequenzen zu schalten, ohne individuelle Schaltglieder für bestimmte Frequenzbereiche benutzen zu müssen.

Bei diesen hohen Frequenzen über 1 GHz erwartet man einen negativen Einfluss der Eisen - Nickel - Paddel des Reedrelais, hier als Mittelleiter fungierend. Der Skin - Effekt wird als Hauptgrund dargestellt, da die ferromagnetischen Eisen - Nickel - Paddel einen hohen Permeabilitätsfaktor μ haben. Wie jedoch mit Versuch in **Abb. # 20** dargestellt ist dies absolut nicht der Fall. Der Reedrelais wurde (siehe Abb. # 9) durch einen Kupferleiter ersetzt. Vergleicht man **Abb. # 19** und **Abb. # 20**, so sieht man nur sehr geringe bis gar keine Unter-

schiede. Bei hohen Schaltlasten wäre der Skin - Effekt sicherlich ein Thema, beim Schalten von Signallasten ist der Einfluss der Eisen - Nickel - Paddel jedoch vernachlässigbar.

VSWR-Stehwellenverhältnis (Voltage-Standing-Wave-Ratio)

VSWR beschreibt den Effekt stehender Wellen auf einer HF-Übertragungsstrecke. Sind stehende Wellen vorhanden, so wird Teilleistung zwischen Quelle und Linie hin und zurückreflektiert. Diese Vor- und Zurückreflektion erzeugt die sogenannte stehende Welle. Diese stehenden Wellen interferieren und stören somit das Originalsignal eines Relais. **Abb. # 21** repräsentiert den VSWR-Wert. Bei der Übertragung von HF-Analogsignalen spielt dieser Wert eine wichtige Rolle, ansonsten ist die Einfügungsdämpfung der dominierende charakteristische Wert.

Isolation

Die Isolation eines Reedrelais definiert die Fähigkeit, das Signal über einen geöffneten Schalter nicht weiter zu transferieren. Es wäre zu schön, wenn an einem geöffneten Reedrelais das anliegende Signal einfach geblockt werden könnte. Bei HF ist dies leider nicht der Fall, der geöffnete Schalter wirkt als Kapazität, und diese wiederum ist ein Leckstrompfad: je höher die Frequenz, um so größer die Wirkung. In **Abb. # 22** kann man dies schön sehen: die Werte nehmen kontinuierlich ab, von -50 dB oder mehr bei relativ niedrigen HF-Signalen über -15 dB bei 3 GHz bis zu -10 dB bei 7 GHz. Entscheidend ist hier die Größe des Kontaktpaltes; diesen zu erhöhen bedeutet eine Vergrößerung des Glases und somit der Außenabmessungen.

Der Effekt wäre dann ein Reedrelais mit hohem AW, gleichbedeutend mit einem Anstieg der Spulenleistung. Abhilfe erreicht man durch das Zusammenschalten mehrerer Relais, auch als T-Schaltung oder Halb-T-Lösung.

Rückflussdämpfung (return loss)

Rückflussdämpfung ist ebenfalls ein HF - Parameter, hat aber nicht die Wichtigkeit wie Einfügungsdämpfung oder Isolation. Mit dieser Messung definiert man die reflektierte Leistung. Wie in Abb. # 23 erkennbar werden hier Werte von 35 dB und höher bei geringeren HF- Frequenzen erreicht, der Wert sinkt auf 10 dB bei hohen Frequenzen. Generell gilt: je höher die Dämpfung um so besser das Relais.

Wellenwiderstand (characteristic impedance)

Um die beste Information über den Wellenwiderstand eines Reedrelais zu erhalten ist es hilfreich, mehrere unterschiedliche Stadien des Signalverhaltens zu messen. Da es sich um eine räumliche Messung handelt kann die aktuelle Impedanz an jedem Punkt des Signalpfades gemessen werden. Folgende Betriebszustände wurden in Abb. # 24 festgehalten:

1. Ein Kurzschluss am Relaiseingang zur Definierung der Eingangsschaltung
2. Geöffnete Reedschalter definieren den Signalpfad bis zur Mitte des Relais
3. Geschlossene Kontakte definieren den Signalpfad bis zum Ende des Relais
4. Geschlossene Kontakte wenn das Relais kurzgeschlossen ist
5. Geschlossene Kontakte bei einer Impedanz von 50 Ohm

Wie in Abb. # 24 zu erkennen ist befindet sich der Wellenwiderstand leicht über 50 Ohm. Da die "Hinlaufspur

-. Trace" etwas hoch ist kann man eine leichte induktive Erhöhung zwischen Eingang und Ausgang erkennen. Kompensieren lässt sich dies mit einem geringen kapazitiven Ausgleich am Eingang und Ausgang des Relais. Dies erhöht die HF - Leistungsfähigkeit der Schaltung.

Smith-Diagramm (Smith Chart)

Das Smith-Diagramm veranschaulicht das Frequenzverhalten, insbesondere die Impedanz von Bauteilen über einen gegebenen Frequenzbereich. Die Impedanz wird in 50 KHz Schritten bis 4 GHz gemessen. Das Diagramm zeigt die graphische Darstellung dieser Messwerte. Wie in Abbildung # 25 zu sehen liegen die Messwerte sehr nahe um den realen 50 Ohm Mittelpunkt.

Der zweite gestrichelte Kreis von rechts repräsentiert die 50 Ohm Impedanz-Marke. Die horizontale Achse im Zentrum des Diagramms zeigt die realen Impedanz-Werte. Messpunkte über diese Achse sind induktiv, unter der Achse kapazitiv. Die Messpunkte für das CRF Relais liegen alle um den realen 50 Ohm-Wert.

Zusammenfassung

Wie aus den Untersuchungen zu erkennen ist handelt es sich bei unserem CRF - Relais um eine exzellentes Relais mit einer Performance bis 7 GHz und höher. Unsere momentanen Bemühungen gehen dahin, das Relais für Schalten und Transportieren von Frequenzen von 10 GHz und höher weiterzuentwickeln. Dies ist ein erreichbares Ziel. Das Überwinden/Erweitern bestehender Grenzen ist ein Muss für unsere Entwickler.