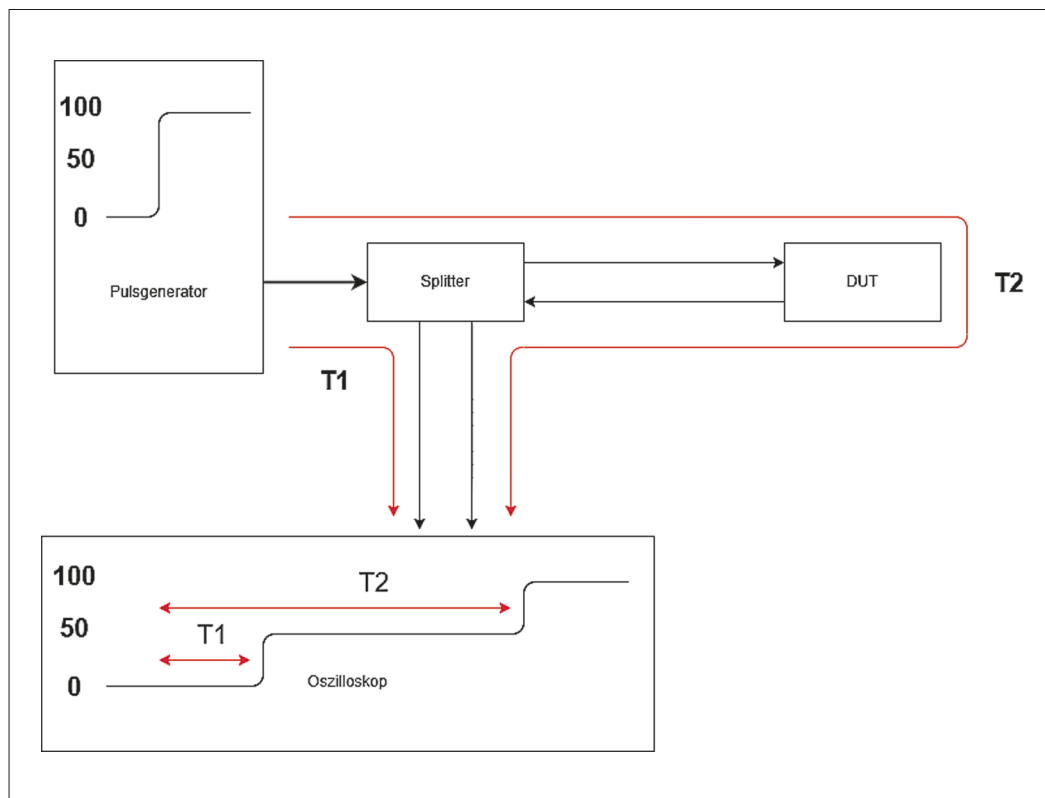


TDR-Messungen verstehen und meistern

Warum ein Netzwerkanalysator mit TDR-Option oft das optimale Werkzeug ist, um Fehler in längeren Signalübertragungsleitungen zu finden, erfahren Sie hier.



Das Übermitteln von Informationen ist eines der komplexesten Themen in der Elektronik. Das gilt für über Leitungen und per Funk übertragene Signale gleichermaßen. Scheinbar kleine Mängel führen hier wie da schnell zu großen Problemen. Effizientes Debugging ist bei längeren Pfaden mit mehreren Steckverbindungen besonders wichtig. Hierbei ist ein Netzwerkanalysator mit TDR-Option meist das optimale Werkzeug, das es nicht nur erlaubt, die S-Parameter zu ermitteln, sondern das auch in der Lage ist, die Position der Fehlstelle zu finden. Der Artikel bringt zunächst die Beschreibung der klassischen Methode und beleuchtet dann einige Anwendungsbeispiele eines auf einem VNA basierenden TDR-Systems.

Autor:
Patrik Gold
Technical Support &
Application Manager

Siglent Technologies
Germany GmbH
www.siglenteu.com

Zeitbereichsreflektometrie

Die Time Domain Reflectometry (Zeitbereichsreflektometrie),

kann auf verschiedenen Technologien basieren. Die klassische Variante funktioniert mit einer Pulsquelle und einem Oszilloskop. Alternativ können mithilfe einer inversen schnellen Fourier-Transformation aus dem Resultat einer Reflexionsmessung eines vektoriierten Netzwerkanalysators die zeitbasierten Reflexionscharakteristika gewonnen werden.

Elektrische Signale in Leitungen breiten sich je nach Dielektrizität des Materials langsamer als das Licht aus. Um die Geschwindigkeit zu ermitteln, teilt man die Lichtgeschwindigkeit durch die Wurzel aus Epsilon r:

$$vp = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

In der Praxis ist es noch einfacher. Im Datenblatt der Leitung findet man den Verkürzungsfaktor (Velocity Factor), oft als Prozentangabe. Da dieser direkt in die TDR-Software eingegeben

werden kann, muss nichts weiter berechnet werden.

Das Aufmacherbild illustriert den Ablauf bei der klassischen TDR. Eine Quelle erzeugt eine sehr steile Flanke. Dieser Impuls wird einem Splitter zugeführt, der das Signal auf die beiden Leitungen verteilt. Nach der rot eingezeichneten Zeit T_1 erreichen die ersten 50% dieses Impulses das Oszilloskop. Der jetzt anliegende Pegel dient als Referenz für die folgenden Reflexionen. Mehr dazu unter „Interpretation der Ergebnisse“. Die weiteren 50% des Signals werden über die zweite Leitung zum Prüfling übertragen. Existiert hier eine Fehlstelle oder ein Fehlabschluss, kommt es zu einer Reflexion. Die reflektierte Energie trifft nach der Laufzeit T_2 am Oszilloskop ein.

Ein VNA kann keine Flanken erzeugen. Die Quelle im VNA gibt einen Sweep über das komplette Frequenzband des VNAs ab und es wird erfasst, wie sich dieses Signal in Amplitude und Phase verändert. So wie die FFT eines Oszilloskops es erlaubt, Signale, die im Zeitbereich erfasst worden sind, in den Frequenzbereich zu konvertieren, so ist es auch möglich, aus frequenzbasierten Signalen das äquivalente Zeitsignal zu generieren. Wird also aus dem frequenzbasierten Messergebnis mithilfe der inversen schnellen Fourier-Transformation ein zeitbasiertes Resultat erstellt, entspricht das dem Signal, das bei der Reflexion oder Transmission eines Pulses entsteht. Dabei wird die Reflexion aus dem S11-Parameter und die Transmission aus dem S21-Parameter gewonnen.

Interpretation der Ergebnisse

Was sagt die Reflexion über den Prüfling aus? In Bild 1 ist dargestellt, wie sich extreme Eigen-

schaften des Prüflings auf die Reflexion auswirken:

Komplette Energie reflektiert

Ist das Ende der Leitung offen, wird die komplette Energie reflektiert. Das zeigt sich dadurch, dass nahezu die vollständige Amplitude auf den vorhandenen Referenzlevel addiert wird. Bei Kurzschluss wird ebenfalls die komplette Energie reflektiert, die Spannung jedoch in der Phase invertiert. Der Effekt gleicht dem, der auch auftritt, wenn an einem Netzwerkanalysator ein Short im Kalibrierprozess angeschlossen wird. Der Referenzpegel wird von einem gegengerichteten Signal überlagert, sodass die Gesamtspannung bei null Volt liegt.

Bei angepasstem Prüfling

tritt keine Reflexion auf. Eine angepasste Last absorbiert alle Energie. Bei sehr langer Leitung kann die Energie auch über die Dämpfung der Leitung praktisch ebenso absorbiert werden wie bei einer angepassten Last. In beiden Fällen wird nichts reflektiert und es wird nur der Referenzpegel angezeigt. Alternativ dazu kann die Leitung so lang sein, dass die Reflexion später als die am Display angezeigte Zeit stattfindet. Hier wäre die Zeiteinstellung anzupassen.

Kapazitäten und Induktivitäten sind Teil eines jeden HF-

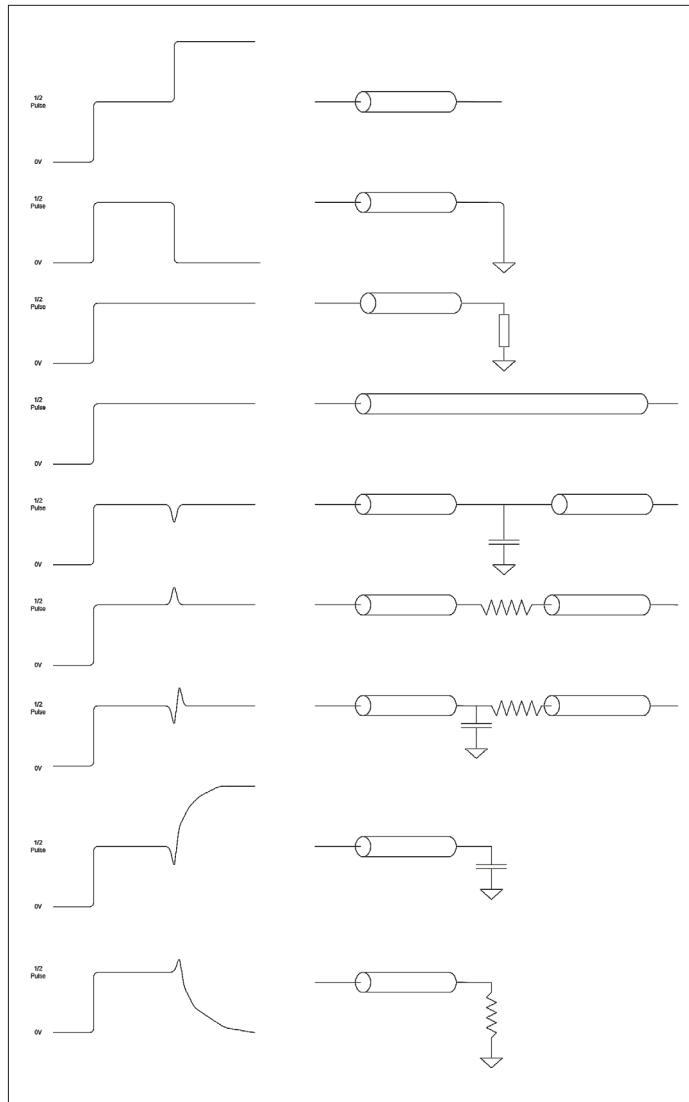


Bild 1: Die unterschiedlichen Reflexionen und ihre Ursachen

Systems. Eine Kapazität, wie eine Induktivität, kann nur eine begrenzte Energie aufnehmen.

Daher wird auch hier reflektiert. Solange der Puls die Kapazität auflädt, wird ein negativer Peak

angezeigt. Wenn die Kapazität geladen ist, kann sie keine Energie mehr aufnehmen. Eine Induktivität verursacht genau das Gegenteil, reflektiert sofort einen Teil der Energie, bis der Puls sie passiert.

Folgen in einem System mehrere Kapazitäten und Induktivitäten, spiegeln sich diese auch in dieser Reihenfolge wider. Das hier gezeigte Beispiel ist sehr typisch für Steckverbindungen. Zuerst erzeugt das Steckergehäuse eine Kapazität und am eigentlichen Kontaktpunkt sieht man dann eine Erhöhung der Impedanz durch den Übergangswiderstand.

Applikationen

Häufig werden TDR-Systeme bei der Fehlersuche eingesetzt, um diese bei komplexen Systemen einfacher zu gestalten. Zum Beispiel in Industrieanlagen müssen Signale zur Steuerung der Fertigungsanlagen häufig über viele Schnittstellen und lange Leitungen, die eventuell noch in Bewegung sind, transportiert werden. Fällt in einem solchen Strang auch nur eine Komponente aus, kann das zu längeren Produktionsstillständen führen, da die Fehlersuche recht aufwendig ist. Dies liegt daran, dass die Komponenten solange Stück für Stück ersetzt werden müssen, bis der Fehler nicht mehr auftritt. Gerade bei nur sporadisch auftretenden Fehlern wie Wackelkontakten kann das sehr zeitaufwendig

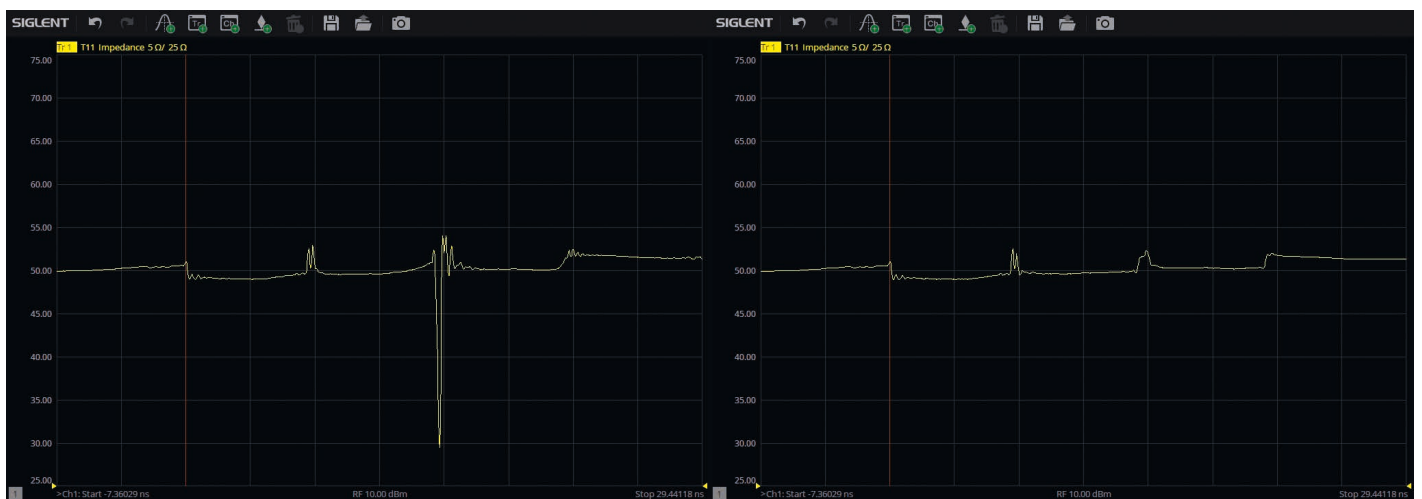


Bild 2: Anwendungsbeispiel: In einem Kabelstrang mit mehreren Schnittstellen kam es sporadisch zu Ausfällen (s. Text)

werden. Kritisch wird das häufig bei bewegten Leitungen und bei Kontaktstellen, die noch gut genug sind, dass nur ein Teil der Signale nicht vollständig übertragen wird. Schließt man an einem solchen Strang einen Spektrumanalysator mit TDR-Funktion an, lässt sich die Fehlerstelle meist innerhalb weniger Sekunden identifizieren.

Sporadische Ausfälle

Etwa im System nach Bild 2 kam es sporadisch zu Ausfällen. Während der TDR-Prüfung der Leitung stellte sich heraus, dass die dritte Schnittstelle problematisch ist. Somit wurde nur die Einbaubuchse ausgetauscht, die den Strang in das Gehäuse des Systems führt. Die übliche

Herangehensweise der Service-Mitarbeiter wäre es gewesen, erst die Leitungen nach und nach auszutauschen. Die Einbaubuchse wäre ohne diese Messung nicht als Fehlerquelle in Betracht gezogen worden. Da die Übertragung nur sporadisch ausgefallen ist, hätte sich die Fehlersuche leicht über mehrere Tage hinziehen können.

End-of-Line-Prüfungen von Kabelbäume

Diese Art der Messung wird auch für End-of-Line-Prüfungen von Kabelbäumen eingesetzt. Auch wenn nach der Montage nur selten Fehler auftreten, ist es häufig günstiger, jede Leitung, die Daten übertragen soll, vorab mithilfe eines TDR-Ana-

lysatoren zu überprüfen. Einen Kabelbaum beispielsweise aus einem Auto oder Flugzeug auszubauen, wäre mit einem sehr viel höheren Kosten- und Zeitaufwand verbunden.

Ein weiteres Einsatzgebiet

für TDR-Messungen ist die Materialanalyse. So kann in Mischanlagen die Zeit, die erforderlich ist, um das richtige Mischverhältnis zu erreichen, auf das mögliche Minimum reduziert werden, indem eine TDR-Messung an einer im Mischbehälter verlegten Leitung durchgeführt wird.

Dies ist möglich, da verschiedene Stoffe unterschiedliche Dielektrizitätskonstanten haben. Somit lässt eine stabile oder

fluktuierende Impedanz in der Prüflinleitung darauf schließen, wie gut die Materialien bereits vermengt sind.

Fazit

Die TDR-Option macht einen Netzwerkanalysator zu einem noch wertvolleren Werkzeug, das es dem Anwender erlaubt, viele Schritte seiner Arbeit effizienter zu gestalten.

Sei es bei der Fehlersuche oder für die dauerhafte Integration in Testsysteme, die Längenmessung von Leitungen, die Identifizierung von Problemstellungen oder die Überprüfung der Impedanz – TDR-Messungen stellen häufig eine einfache Lösung für komplexe Probleme dar. ◀