

Kabelnetzfehler sicher lokalisieren

Mit dem Zeitbereichsreflektometer praktisch und zuverlässig

Die Ausbreitung einer Welle vollzieht sich nur solange ungestört, bis im Transportmedium eine Inhomogenität auftritt. An dieser Änderung der Leitungsbedingungen tritt regelmäßig eine Erscheinung auf, die durch die Reflexion eines Teils oder der gesamten Wellenenergie gekennzeichnet ist. Der unreflektierte Rest breitet sich entsprechend geschwächt in der ursprünglichen Richtung weiter aus.

Das ist im Alltag beim Rufen vor einem entfernten Objekt (z. B. Berg oder Hauswand) zu beobachten. Ein Teil des erzeugten Schalls kehrt als Echo in Richtung der Quelle, also zum Rufenden zurück.

Oder das Radar: Hier wird aus der Zeitspanne zwischen dem Beginn der Aussendung eines elektromagnetischen Impulses und dem Zeitpunkt des Eintreffens seines Echos an der Sendeantenne der Abstand eines reflektierenden Objekts messtechnisch ermittelt. Oft sind in der Nachrichtentechnik derartige Reflexionen unerwünscht, beim TDR (Time Domain Reflectometer – Zeitbereichsreflektometer) bilden sie die physikalische Grundlage für ihre Funktion.

Echos im Kabel

In Kabelnetzen werden Koaxialkabel bestehend aus Seele, Dielektrikum und Schirmung verwendet. Schickt man nun in einen Kabelabschnitt mit einem angepassten Impuls-generator (Ausgangsimpedanz des Impuls-generators = Wellenwiderstand des Kabels, in der Regel 75 Ω) einen kurzen Impuls in das Kabel hinein und horcht auf ein Echo, so wird man drei unterschiedliche Phänomene verzeichnen (Bild 1).

1. Ein Extremfall der Fehlanpassung ist das Fehlen eines Abschlusswiderstandes (offenes Kabel, $Z = \infty$). Hier tritt ein eindeutiger Echoimpuls gleicher Polarität auf.
2. Unter der Voraussetzung, dass das Kabel impedanzmäßig korrekt abgeschlossen ist, ist kein rücklaufender Impuls zu beobachten. Der Grund: Der vorlaufende Impuls wird vollständig von der Abschlussimpedanz absorbiert. Dieses Verhalten weist auch eine sehr lange Leitung auf, denn an ihrem Ende ist der Sendepuls durch die Leitungsdämpfung so geschwächt, dass er nicht mehr existent ist. Damit ist am Leitungseingang unabhängig vom Grad der Fehlanpassung am Leitungsende kein Echo feststellbar.

3. Der zweite Extremfall der endseitigen Fehlanpassung ist der Kurzschluss, $Z = 0$. An ihm wird der einlaufende Impuls mit umgekehrter Polarität in Richtung Kabelanfang reflektiert.

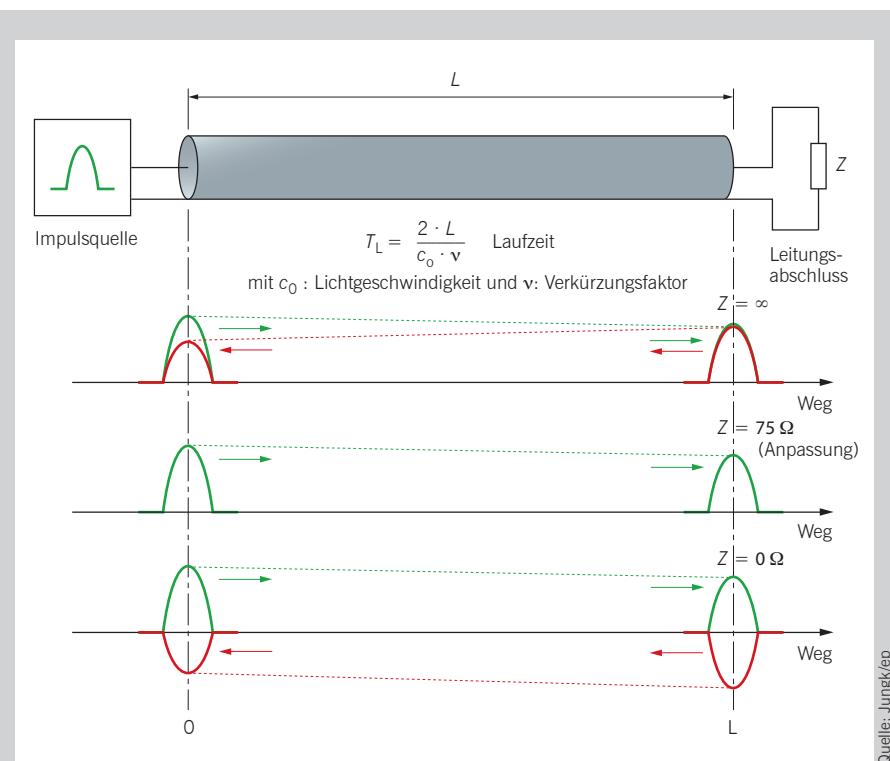
Die Zeit, die zwischen Aussendung des Prüfimpulses und Eintreffen des Echos vergeht, lässt sich über die Ausbreitungsgeschwindigkeit im Kabel in den Abstand der Impedanzänderung zum Kabelanfang umrechnen. Die Amplitude des Echos ist ein Hinweis auf die Höhe der Ausbreitungsdämpfung im Kabel.

Von der Laufzeit zur Länge

Bei der Ermittlung der Gesamtlauzeit vom Absenden des Prüfimpulses bis zum Eintreffen seiner Reflexion jeweils am Kabelanfang spielt

der Verkürzungsfaktor v eine wichtige Rolle. Man muss wissen, dass die Ausbreitungsgeschwindigkeit v einer elektromagnetischen Welle in Materie stets geringer ist, als im Vakuum ($c_0 \approx 300 \cdot 10^6$ m/s). Das ist natürlich auch im Koaxialkabel der Fall. $v = v/c_0$ ist nun der Quotient aus der echten Durchlaufgeschwindigkeit des Impulses und der Lichtgeschwindigkeit und wird als Verkürzungsfaktor v (oft auch als PV: **P**ropagation **V**elocity = Ausbreitungsgeschwindigkeit) bezeichnet. Als material- und geometrieabhängige Größe wird sie in der Regel vom Kabelhersteller im Datenblatt angegeben. Man kann sie aber auch messtechnisch ermitteln. Dazu muss man nur die Zeit messen, die der Prüfimpuls zum Durchlaufen einer Kabelstrecke bekannter Länge benötigt und ins Verhältnis zu der Laufzeit im Vakuum setzen. Bei handelsüblichen Koaxialkabeln in allen Ebenen des Verteilnetzes liegt der Verkürzungsfaktor bei 0,7 ... 0,9.

Zusammenfassend: Die Zeit, die vom Aussenden des Prüfimpulses bis zur Ankunft des Echos am Impulsreflektometer vergeht, ist durch die Länge des Kabels und die echte, unter Berücksichtigung des Verkürzungsfaktors bekannte Laufgeschwindigkeit des Prüfimpulses gegeben. Dabei ist die Länge des Kabels zweimal zu berücksichtigen: Einmal für den Hinlauf des Impulses bis zum Kabelende und einmal für den Rücklauf des Echos



1 Kabelabschluss – an Kabel- oder Bauteilefehlern, welche mit einer Impedanzveränderung verbunden sind, wird ein Prüfimpuls mehr oder weniger stark reflektiert



2 Zeitbereichsreflektometer Tempo CS90 – hohe Messgenauigkeit, verbunden mit einem scharfen und tageslichttauglichen Display

3 Kabelliste – fehlt das durchzumessende Kabel, kann man es selbst einfügen

bis zum Kabelanfang. Ist die Gesamtlauzeit T_L ermittelt, kann man daraus die Kabellänge l berechnen:

Kabellänge:

$$l = \frac{T_L}{2} \cdot v \cdot c_0$$

T_L Zeit zwischen abgehendem Prüfimpuls und eingehendem Echo

c_0 Lichtgeschwindigkeit $\left(300 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$

v Verkürzungsfaktor

Impulsdauer

Die Impulsdauer ist in Abhängigkeit von der Kabellänge l oder dem Ereignisabstand (Fehlerentfernung) zu wählen: Kurze (und deshalb energiearme) Impulse erlauben nur kurze Reichweiten, dafür aber mit hoher örtlicher Auflösung. Für lange Kabel sind breite Impulse erforderlich, wobei die örtliche Auflösung abnimmt.

Wegen dieses Zusammenhangs kann die Impulsbreite automatisch an den Messbereich eines TDRs gekoppelt werden. Typische Impulsbreiten sind im CATV-Bereich 1 ... 25 ns. Mit der Impulsbreite verbunden ist eine sogenannte Totzone. Diese gibt den Längenbereich am Anfang des Kabels an, in dem rückkehrende Echos durch den noch abgehenden Sendepuls verformt oder verdeckt werden. Totzonen entsprechen also der Sendepulsbreite.

Totzone:

$$l_{\text{Tot}} = T_{\text{Impuls}} \cdot v \cdot c_0$$

Für einen 25-ns-Prüfimpuls beträgt demnach bei einem Kabel mit Verkürzungsfaktor 0,8 die Totzone 6 m, bei 1 ns langem Impuls nur 0,24 m. Durch ein Vorschaltkabel definierter Länge lässt sich die zeitliche Überschneidung von Sendepuls und Empfangsimpuls vermeiden. Aber auch im Verlauf der Ausbreitung des Sendepulses kann dieser zwei kurz aufeinanderfolgende Ereignisse (Reflexionen) auf

dem Kabel überdecken. Durch entsprechende Schaltungsmaßnahmen im TDR wird die Totzone unterdrückt.

Praxistest

Getestetes Messgerät. Das Unternehmen Tempo Communications hat mit Cable Scout 90 (abgekürzt CS90) ein Zeitbereichsreflektometer für CATV-Techniker konzipiert, welches im alltäglichen Gebrauch durch schnelle Bedienbarkeit bei gleichzeitig präzisen Messergebnissen besticht. Wegen der geringen Abmessungen von 26 cm x 16 cm x 5 cm passt es mit seiner gepolsterten Schutztasche, die auch Platz für das Ladenetzteil und Zubehör bietet, in jeden Werkzeugkoffer (Bild 2). Das Gewicht von 974 g ist im Wortsinn tragbar. Der eingebaute vollgeladene Lithium-Ionen-Akku hält etwa acht Stunden und damit einen ganzen Arbeitstag. In weniger als vier Stunden ist er vollständig geladen. Die Einschalttaste ist etwas versenkt, um eine unbeabsichtigte Betätigung zu vermeiden. Wenn das Gerät ausgeschaltet ist und am Ladegerät hängt, wird auf dem Display der aktuelle Ladestand angezeigt. Nach dem Druck auf die Einschalttaste wird während des einige Sekunden dauernden Bootvorgangs ein Begrüßungsbildschirm mit Gerätenamen, Serien- und Versionsnummer angezeigt. Danach erscheint der Hauptbildschirm, aus dem heraus sich alle Einstellungen und Messungen vornehmen lassen.

Kabelwahl. Vor jeder Messung ist aus einer Liste gängiger Kabel das vorliegende oder zumindest ein ihm nahekommendes Kabel auszuwählen. Wenn das gewünschte Kabel nicht in der Liste vorzufinden ist, lässt sich das selbst hinzufügen: Hersteller und Typbezeichnung, Dämpfung pro 100 m @ 500 MHz in dB und Verkürzungsfaktor eingeben und speichern. Mit dem Kabel Televes SK2000plus mit 14 dB @ 500 MHz und Verkürzungsfaktor $VP = 0,84$ gelang das im Test problemlos (Bild 3).

Testmessung. Nach diesen kurzen vorbereitenden Schritten kann mit der Messung am **spannungsfreien** Kabel begonnen werden. Für erste Versuche wurde eine 100-m-Trommel des in die Auswahlliste eingepflegten und ausgewählten Televes SK2000plus mit dem

Kabelanfang an die F-Buchse in der Geräteoberseite angeschlossen (Bild 4). Dann erfolgten drei Messungen mit offenem, angepasstem und kurzgeschlossenem Kabelende. Die Messergebnisse stimmten erfreulich mit den Gegebenheiten überein (Bild 5).

Einstellmöglichkeiten. Für die Administration des CS90 steht ein umfangreicher Einstellbildschirm zur Verfügung (Bild 6). Hier kann man das Display heller oder dunkler stellen und zwischen Tag- und Nachtbetrieb umschalten, den manuellen oder automatischen Betriebsmodus aktivieren, automatische Ausschaltzeiten (Aus, 1, 2, 5, 10 min) vorgeben, zwischen den Einheiten Feet, Meter oder Nanosekunden wechseln und die Einheiten des Verkürzungsfaktors (0.xxx, xx.x%, m/μs, ft/μs) einstellen.

Prüfimpuls. Der Prüfimpuls hat die Gestalt einer Sinushalbwellen. Im Gegensatz zu einem rechteckförmigen Impuls mit seinem breiten Oberwellenspektrum ergibt sich dadurch eine rauschärmere Messkurve. Der kürzeste Messimpuls mit 1 ns Länge ermöglicht auch die Detektion von Ereignissen im Submeterabstand. Mit dem längsten Impuls von 25 ns sind Ereignisabstände bis etwa 3 km erfassbar.

Fazit

Das getestete TDR CableScout 90 von Tempo Communications ist (nachdem einige Grundeinstellungen vorgenommen wurden) unkompliziert zu bedienen. Auf dem hochauflösenden, sonnenlichttauglichen Bildschirm ist dank der gleichzeitigen Ansichten des ganzen Reichweitenbereichs des gewählten Prüfimpulses (Span View) und der Umgebung des Reflexionsereignisses, eine umfassende Übersicht der Kabelverhältnisse gegeben. Eine Totzone braucht nicht berücksichtigt zu werden (Zero Dead Zone). Screenshots für die Dokumentation und Referenzkurven sind mühelos anzufertigen und zu speichern. Mehr ist in der alltäglichen Praxis des Kabeltechnikers nicht erforderlich.

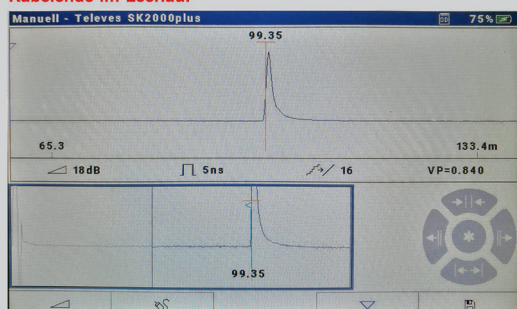
K. Jungk

4 Testmessung – CS90 prüft eine Kabeltrommel auf korrekte Länge und homogenen Impedanzverlauf

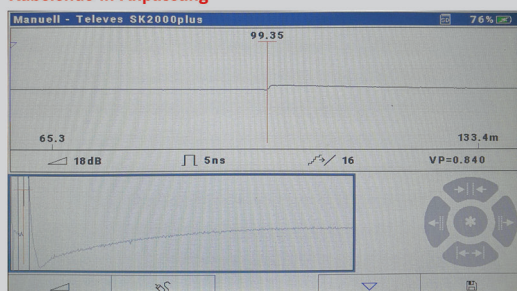


Quelle: Jungk

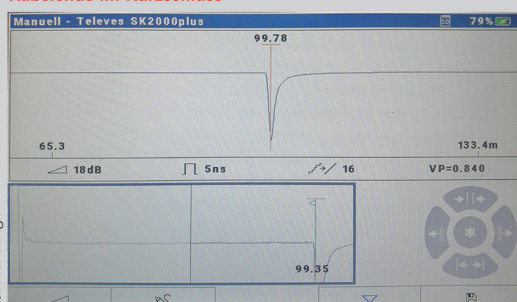
Kabelende im Leerlauf



Kabelende in Anpassung



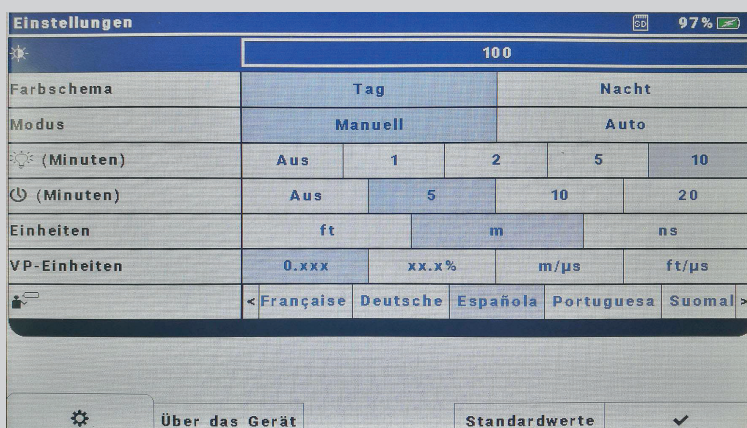
Kabelende im Kurzschluss



Quelle: Jungk

5 Abschlussarten des Kabelendes – Kurzschluss und Leerlauf (Fehlanschlüsse) führen zu den klassischen Reflektionsbildern, die beim Fehlen von Impedanzstoßstellen (Anpassung) ausbleiben

6 Übersichtlicher Einstellbildschirm – Geräteparameter an den Bedarf des Anwenders anpassbar



Quelle: Jungk