



Exakte Wellenwiderstandsmessung mit dem Spektrumsanalysator

Eine einfache Anordnung zur Messung des Z-Wertes von HF-Kabeln kann mit einem Spektrumsanalysator mit Mitlaufsender realisiert werden.

Man benützt die Tatsache, dass die Kabelimpedanz eines kurzgeschlossenen, oder eines leerlaufenden Kabels periodisch mit der Frequenz niederohmig (Serien-schwingkreis in Resonanz), oder hochohmig (Parallelschwingkreis in Resonanz) wird. Die Differenzfrequenzen der Maxima oder Minima liefern zusammen mit der bei niedriger Frequenz (NF-Bereich z.B. 1kHz, so dass der Einfluss der Längsinduktivitäten noch verschwindend klein bleibt) gemessenen Kabelkapazität des ganzen Kabelstücks ein eindeutiges Kriterium für den Z-Wert. Die Kabellänge muss nicht bekannt sein.

Der Wellenwiderstand beträgt bekanntlich

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}}$$

L_0 und C_0 sind die längenbezogene Kabelinduktivität b.z.w. Kabelkapazität pro Meter.

Mit der elektrischen Ausbreitungsgeschwindigkeit $v_{el} = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}}$ ergibt sich

$$\text{für } Z_0 = \frac{1}{\sqrt{C_0^2 v_{el}^2}} = \frac{1}{C_0 v_{el}} = \frac{d}{C v_{el}} \quad (1)$$

d = Kabellänge, C =Gesamtkapazität

Spannungsminima erscheinen am Kabeleingang, wenn die abgehenden und die reflektierten Signale um 180° verschoben erscheinen, d.h., wenn die doppelte Kabellänge $2d$ ein ungerades Vielfaches der halben Wellenlänge (also $\lambda/2$) beträgt.

Dann gilt für das n -te Minimum, das bei der Frequenz f_n erscheint

$$2d = (2n - 1) \frac{\lambda_n}{2} = (2n - 1) \frac{v_{el}}{2 f_n}$$

$$(n - \frac{1}{2})v_{el}$$

Aufgelöst nach f_n ergibt sich $f_n = \frac{(n - \frac{1}{2})v_{el}}{2d}$

Das nach f_n nächstfolgende Minimum erscheint bei

$$f_{n+1} = \frac{(n+1 - \frac{1}{2})v_{el}}{2d}$$

Die Frequenzdifferenz Δf beträgt $\Delta f = \frac{(n + 1 - 1/2 - n + 1/2)v_{el}}{2d} = \frac{v_{el}}{2d}$

$d = \frac{v_{el}}{2 \Delta f}$ (2)

(2) eingesetzt in Formel (1)

für $Z_o = \frac{1}{\sqrt{C o^2 v_{el}^2}} = \frac{1}{C o v_{el}} = \frac{v_{el}}{C v_{el} 2 \Delta f} = \frac{1}{2 \Delta f C}$

Als zugeschnittene Grössengleichung erhält man schliesslich

500000

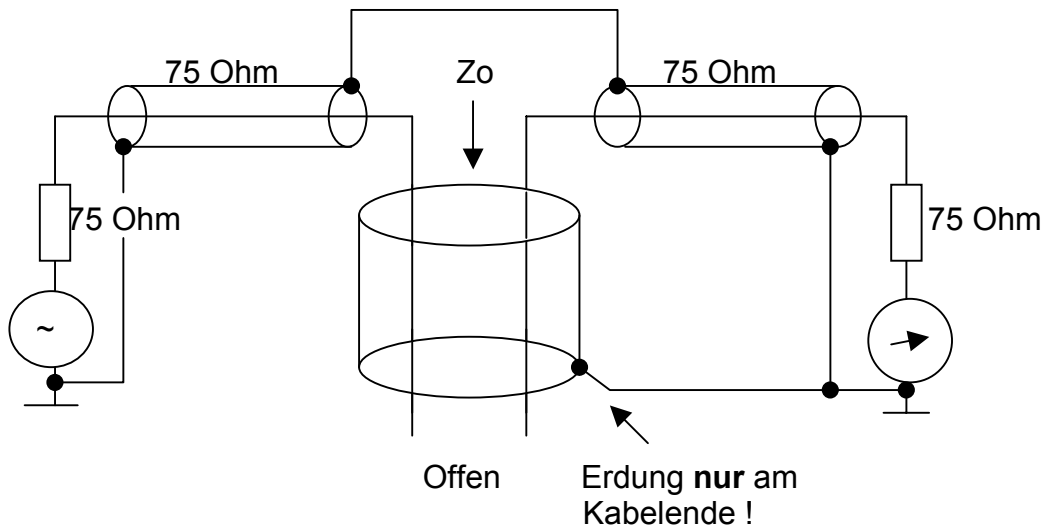
Zo (Ohm) = $\frac{\quad}{\Delta f \text{ (MHz)} \times C \text{ (pf)}}$

Beispiel:

Kabelkapazität gemessen bei 1kHz ergibt 278 pF.

Die **niedrigste** Frequenz mit Spannungsminimum lag bei 11.160 MHz, die **höchste** Frequenz mit Spannungsminimum lag bei 173.879 MHz. Die Differenz von 162.719 MHz wird für 15 Minima durch 14 Abstände geteilt. Die mittlere Differenzfrequenz beträgt $162.719/14=11.62$ MHz. . Damit wird Z_o im angegebenen Frequenzbereich 10 bis 180MHz

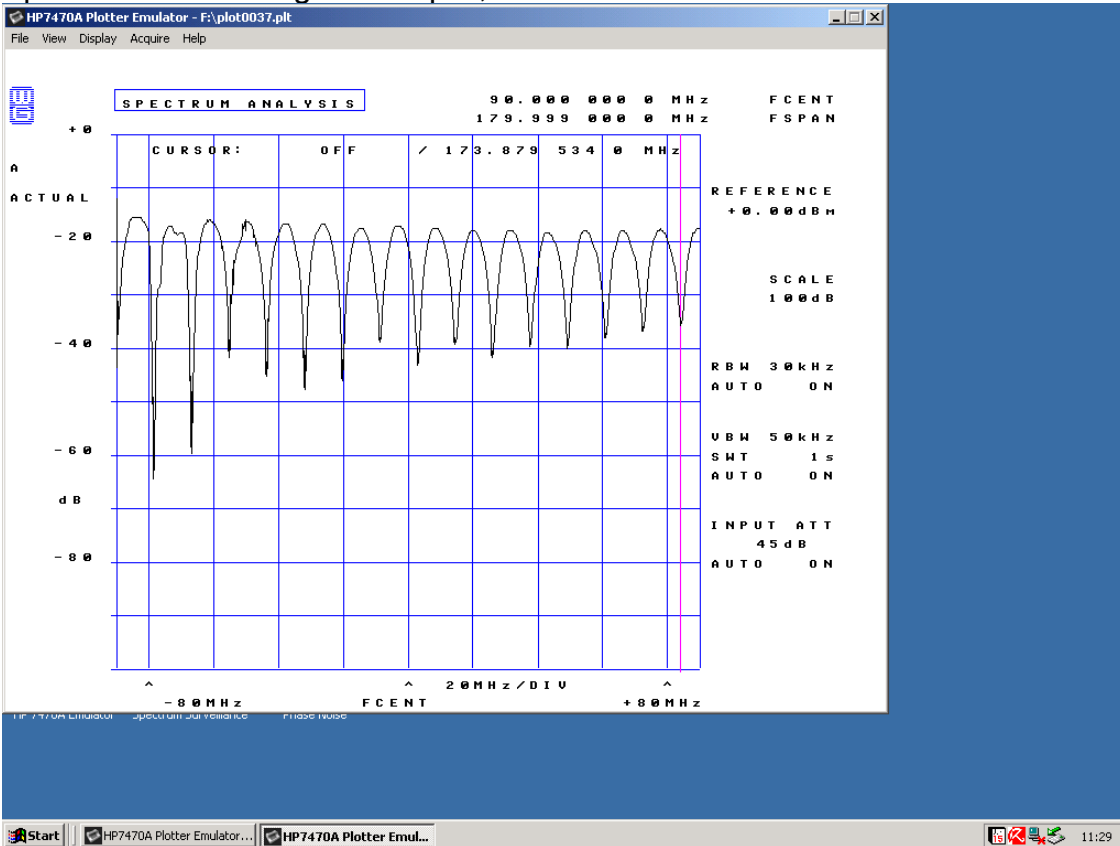
$Z_o = \frac{500000}{11.62 \cdot 278} = 155 \text{ Ohm}$



Das Kabel wird in der Praxis symmetrisch und erdfrei betrieben. Der korrekte Z_o -Wert ergibt sich also **nur**, wenn der Kabelschirm am Kabeleingang von der Messgerätemasse getrennt bleibt. Eine Erdung am Kabelende bleibt weitgehend ohne Auswirkung auf das Messergebnis, wenn das Kabel lange genug ist (ca. 10m).

Verfahren nach R.S.Viles, Marconi Instruments Ltd., 1973

Spektrumsdarstellung für Beispiel, höchstes Minimum bei 173.879 MHz



Spektrumsdarstellung für Beispiel, tiefstes Minimum bei 11.160 MHz

