



Gunthard Kraus, DG 8 GB

Der NanoVNA als vektorieller Netzwerk-Analysator für 50 kHz bis 900 / 1500 MHz

Teil 3

Fortsetzung aus UKW-Berichte 2/2020

3. Teil: Kabeltest mit dem NanoVNA-H

3.1. Grundlagen: Die S-Parameter

Vorliegender NanoVNA-H ist ein Gerät zur Ermittlung der S-Parameter (= Reflektion S_{11} bzw. Transmission S_{21}) im Frequenzbereich (= Frequency Domain).

Dabei wird das Signal eines Generators von CH0 aus über ein Kabel an den Eingang eines Messobjektes als „Incident Wave U_{inc1} “ (= Hinlaufende Welle) geschickt und mittels einer Messbrücke das vom Eingang produzierte Echo (= Reflected Wave U_{refl1}) bestimmt. So lässt sich S_{11} als „Input Reflection“ berechnen. (... der Ausgang eines „Twoports“ ist dabei mit dem Systemwiderstand von 50 Ohm abzuschließen).

Zusätzlich besitzt der NanoVNA-H einen

auf dieselbe Frequenz abgestimmten Empfänger, dessen Eingang CH1 man mit dem Ausgang eines „Twoports“ (Beispiel: Verstärker) verbinden kann. Ist der Sender an CH0 angeschlossen, kann man die Verstärkung oder Dämpfung des untersuchten Bausteins messen.

Was aus dem Baustein kommt, definiert man als „Incident Wave U_{inc2} “. Damit berechnet man die gesuchte Verstärkung als Verhältnis von U_{inc2} zu U_{inc1} .

Dieses Verhältnis heißt jetzt aber offiziell „Forward Transmission S_{21} “ und alles läuft in einem 50 Ohm-System.

Natürlich gibt es in den Messobjekten Rückwirkungen, weshalb man das Messobjekt umdreht. Der NanoVNA-Sender schickt jetzt sein Signal auf den Ausgang des Bausteins und prüft das Echo. Der NanoVNA-Empfänger schaut dagegen nach, was zum Eingang zurückkommt. So bestimmt man die „Reverse Transmission S_{12} “ und die „Output Reflection S_{22} “.

Jetzt wird eine Messfrequenz nach der

anderen abgearbeitet und am Ende erhält man die berühmten „S-Parameter-Dateien für einen bestimmten Frequenzbereich“.

3.2. Von der Frequency Domain zur Time Domain

Man muss wissen, dass man die Eigenschaften eines Bausteins sowohl im Frequenzbereich (hier: anhand der S-Parameter-Dateien) wie auch durch die Spannungsverläufe im Zeitbereich vollständig bestimmen und beschreiben kann.

Beide Methoden sind völlig gleichwertig und nur die beiden Seiten derselben Münze. Das Tolle ist, dass man nun mit Mathematik (= Fourier- bzw. Inverser Fourier-Transformation) jederzeit von einem in den anderen Bereich wechseln kann!

Beim NanoVNA-H nutzt man nur einen sehr kleinen Teil dieser Möglichkeiten und kümmert sich nur um die Eingangsreflektion S11.

Hat der NanoVNA vorhin nacheinander die einzeln Messfrequenzen eingestellt und damit den S11-Verlauf ermittelt, beruft man sich nun darauf, dass ein Dirac-Impuls mit unendlich kurzer Pulslänge, aber unendlich hoher Amplitude zur gleichen Zeit ALLE Frequenzen mit gleicher spektraler Leistungsdichte enthält. Legt man ihn (bzw. ein angenähertes Signal) an den Eingang des Bausteins, wird das messbare Echo im Zeitbereich automatisch dem S11-Verlauf im Frequenzbereich entsprechen!

Doch nun kommt der eigentliche Dreh beim NanoVNA als TDR: Er hat S11 im Frequenzbereich gemessen

und als Datei gespeichert. Lässt man jetzt die Inverse Fourier-Transformation im Zeitbereich über diese Datei laufen, so muss das Ergebnis **der zeitliche Verlauf des Echos bei der Ansteuerung mit einem Dirac-Impuls sein!**

Und wenn am Generator-Ausgang CH0 ein am Ende leerlaufendes oder kurzgeschlossenes Kabel hängt, kann man aus der Zeitverzögerung des am Kabelende reflektierten (theoretischen) Dirac-Impulses über die Kabelgeschwindigkeit die Kabellänge berechnen!

3.3. Messung von Kabellängen

Mit Hilfe des NanoVNAs und der NanoVNA-Saver-Software sollen nun Kabellängen gemessen werden.

3.3.1. Vorüberlegungen

Hier gibt es - außer dem Problem der richtigen Bedienung der Software (NanoVNA-Saver) - gleich mehrere Fragen, die vorab geklärt werden müssen:

- a. Wie hängen prinzipiell die maximal angezeigte Kabellängen mit dem Sweepbereich zusammen?
- b. Wie muss ich den Sweepbereich einstellen, um sehr kurze Kabellängen bzw. sehr große Kabellängen zu bestimmen?
- c. Wo finde ich schnell den maximalen Frequenzschritt beim Sweepen? Man benötigt diesen für die Inverse Fast Fourier Transformation (IFFT).
- d. Wie hängt dieser Frequenzschritt mit der angezeigten maximalen Kabellängen zusammen?

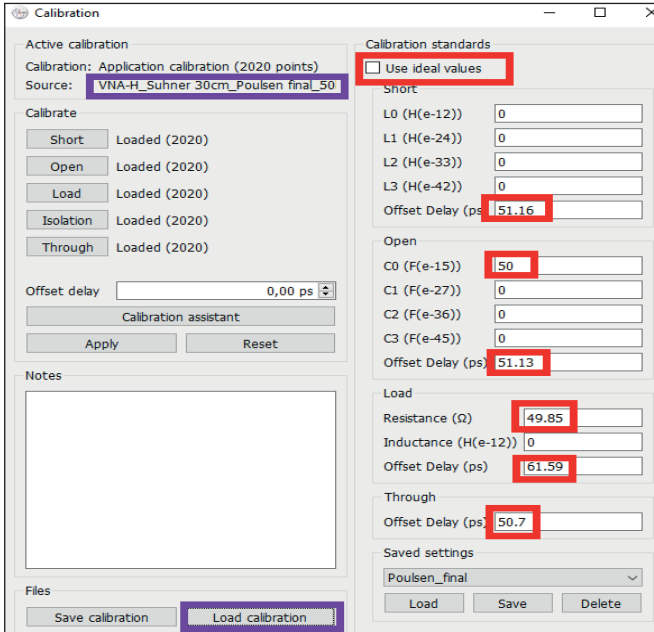


Bild 27:
Auf diese aufwendige Kalibrierung mit 20 Segmenten zwischen 50 kHz und 1300 MHz mit „averaging“ sollte man nicht verzichten!

ge zusammen?

d. Woher bekomme ich die Kabeldaten (= Material und zugehörige Kabelgeschwindigkeit)?

Antworten:

Der NanoVNA misst bekanntlich immer nur an 101 Punkten im eingestellten Sweepbereich und erzeugt deshalb 100 Frequenzschritte (Steps).

Wenn man z.B. einen Span von 1 MHz bis 101 MHz wählt, besitzt jeder Frequenzschritt (= Step) eine Breite von $(101 \text{ MHz} - 1 \text{ MHz}) / 100 = 1 \text{ MHz}$.

Beim Zeitbereich entspricht das einem Time-Step von $1 / 1 \text{ MHz} = 1 \mu\text{s} = 1000 \text{ ns}$, in dem gemessen werden kann. Da man aber das Echo des Kabelendes sehen möchte, muss man an seinen nötigen Rücklauf zurück zum Generator denken

und man hat dann nur einen maximalen Timestep von $1000 \text{ ns} / 2 = 500 \text{ ns}$ für die Entfernungsmessung zur Verfügung.

Beim NanoVNA-Saver-Programm wurde dieser Wert nochmals auf die Hälfte reduziert (...wohl aus Anti-Aliasing-Gründen) und so wird mit einem maximalen Zeitmessbereich von $500 \text{ ns} / 2 = 250 \text{ ns}$ gearbeitet.

Untersucht man nun ein leerlaufendes Teflonkabel mit einer Kabelgeschwindigkeit von 70 % der Lichtgeschwindigkeit, erhält man mit der bekannten Formel

$$\text{Geschwindigkeit} = \text{Weg} / \text{Zeit} \text{ bzw. } \text{Weg} = \text{Geschwindigkeit} \cdot \text{Zeit}$$

eine darstellbare Länge von

$$0,7 \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ m/s}) \cdot 250 \cdot 10^{-9} \text{ sec} = 52,5 \text{ m.}$$

Nun soll versucht werden, das ganz praktisch nachzuprüfen!

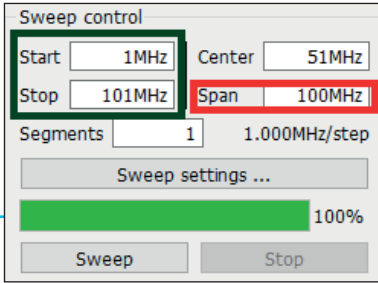


Bild 28: Erst dann darf man einen Sweep von 1 MHz bis 101 MHz mit nur einem Segment (= 1 Span mit 100 MHz) programmieren

3.3.2. Praktisches Projekt

Schritt 1:

NanoVNA über USB-C an den PC anschließen. Messobjekt ist ein ca. 30 cm langes zusätzliches Teflonkabel. Die Software „NanoVNA-Saver“ starten und den NanoVNA einschalten. Im Menü die COM-Verbindung zum NanoVNA herstellen.

Schritt 2:

„Calibrate“ öffnen und zuerst den gültigen „Calibration Standard“ laden. Bei mir heißt er „Poulsen_final“...

Erst dann öffnet man ein geeignetes „Calibration File“ aus dem Vorrat.

Bei mir reicht es bis 1300 MHz und heißt: VNA_H_Suhner 30cm_ Poulsen final_50k - 1300M_20Seg_avg=3. Erinnern Sie sich?

An meinem NanoVNA-H bleibt ein 30 cm SUHNER-Kabel an CH0 fest angeschraubt. Dessen SMA-Stecker bildet am offenen Ende die Referenzebene. Kalibriert wird von 50 kHz bis 1300 MHz mit 20 Segmenten, zusätzlich wird ein Mittelwert aus 3 Messungen gebildet und bei jedem Messpunkt gespeichert (**Bild 27**).

Schritt 3:

Nun wird die Startfrequenz von 1 MHz und die Stoppfrequenz von 101 MHz programmiert. Gearbeitet wird mit 1 Segment, also mit 101 Messpunkten.

Im roten Rahmen von **Bild 28** sieht man nun den „Span“ von 100 MHz, darunter den Step mit 1 MHz. Ein Klick auf „Sweep“ startet die Messung.

Schritt 4:

Jetzt wird es spannend! Ein Klick auf „Time Domain Reflectometry“ (am linken Bildrand in halber Bildhöhe) löst die nötige Inverse Fast-Fourier Transformation (= IFFT) aus. Folgendes Ergebnis zeigt **Bild 29** (= gelbe Kurve): Das Teflon-Kabel und seine Kabelge-

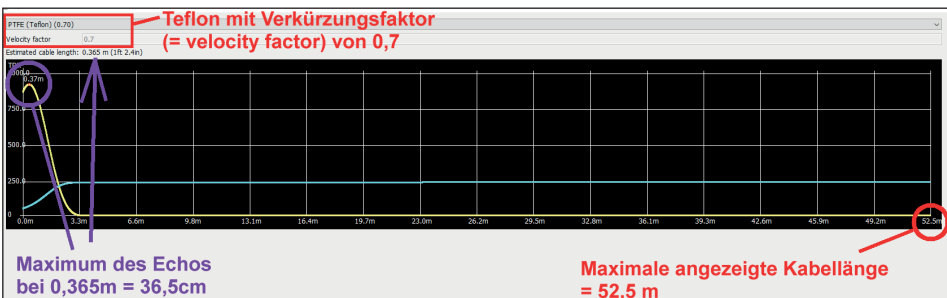


Bild 29: Dieses Ergebnis erhält man in der Time Domain (...siehe Text)

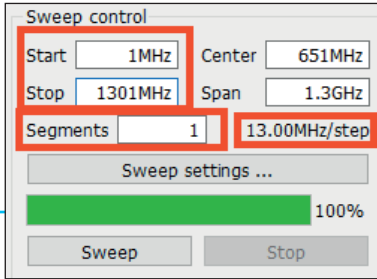


Bild 30: Zur Messung von kleinen Kabellängen braucht man einen sehr großen Span (hier: von ca. 1300 MHz)

schwindigkeit holt man sich aus dem Menü hinter dem zugehörigen Button. Die maximal darstellbare Entfernung (= Kabellänge) beträgt 52,5 m (siehe oben).

Das Maximum des Echos erscheint bei 36,5 cm Kabellänge. Die wirkliche gemessene mechanische Länge (von Mitte zu Mitte beider SMA-Stecker beim Messobjekt) ist dagegen ca. 35 cm.

Gar nicht so übel, (...wenn man bedenkt, dass man auch noch den SMA-f/-f-Adapter mit 10 mm Länge zwischen beiden Kabeln abziehen muss...)

Wichtig: Die verwendete IFFT-Software unterscheidet NICHT zwischen Leerlauf oder Kurzschluss am Kabelende - es gibt nur ein positives Echo mit einem Maximum. Ebenso fehlt (noch?) eine Programmierung zur Ermittlung von Impedanzsprüngen, komplexen Zusatzlasten und ähnlichen Feinheiten. Diese ist jedoch sehr aufwendig und deshalb muss es vorerst so reichen...

(Hinweis: diese Option ist aber bereits als „Low Pass Step Response“ in der mitgelieferten NanoVNA-H Firmware, aber nur für den Standalone - Betrieb, enthalten!)

3.3.3. Reduzieren des Messbereichs

Für kurze Kabel muss der Messbereich verändert werden. Das ist nun nicht mehr schwierig:

Je größer der Frequenzschritt (Step) beim Sweep in der Frequency Domain ist, desto kleiner wird sein Kehrwert als Timestep und damit die dargestellte maximale Kabellänge. Beim NanoVNA kann man vernünftig bis 1300 MHz sweepen und arbeitet dann mit 101 Punkten (= 1 Segment).

Vorsicht: Bitte die Zahl der eingestellten Segmente in diesem Fall immer möglichst klein (= also zu 1) wählen. Nur dann erhält man den größten Step und als Geschenk seinen kleinsten Kehrwert - also die kürzeste zugehörige maximale Kabellänge.

Also wird hier mal (siehe **Bild 30**) mit 1 MHz bis 1301 MHz und einem einzigen Segment. Dann startet man die IFFT.

Das Ergebnis in **Bild 31** zeigt:

Der Messbereich ist auf 4 m gesunken.

Die Messgenauigkeit hat sich verbessert und man ist mit 35,5 cm nun fast bei der echten Kabellänge von 35 cm angelangt.

Hinweis: Wenn man auf die gelbe Kurve klickt, wird ein Cursor eingeblendet. Damit kann man mit der Maus jeden Kurvenpunkt „anfahen“.

3.3.4. Untersuchung sehr langer Kabel

Nach den obigen Formeln braucht

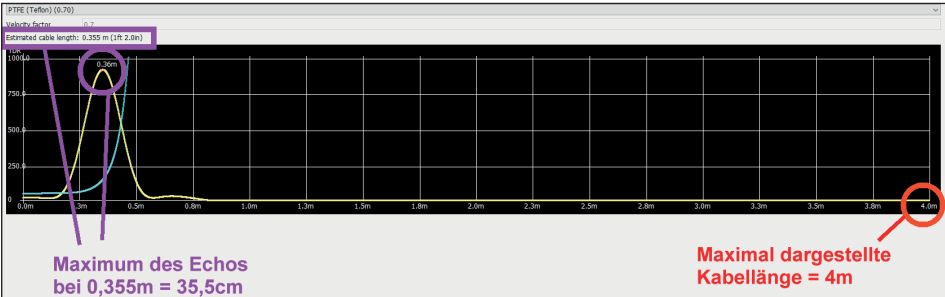


Bild 31: Nur damit sinkt der Messbereich auf 4 m und man kann die gewünschte Kabellänge ablesen

man dazu einen möglichst großen Time-Step wozu ein kleiner Step im Frequenzbereich gehört. Diesen kann man auf zwei unterschiedliche Arten erzeugen:

Man wählt einen kleinen Sweep-Bereich (Span) mit nur einem Segment - ODER - Man erhöht einfach die Zahl der zur Berechnung verwendeten Segmente beim gerade eingestellten Sweep. Das sollte man jedoch möglichst nicht machen, denn dadurch steigt die Rechenzeit proportional an.

Beide Methoden liefern am Ende dasselbe Ergebnis.

Beispiele: Man swept nur von 1 MHz bis

2 MHz mit 1 Segment und erhält damit 100 Frequency Steps mit je 10 kHz.

In **Bild 32** sieht man: Der Messbereich steigt auf 5246 Meter an, aber das Messergebnis liegt sehr nahe am Nullpunkt und wird - wie bei jedem wirklichen Messgerät! - dadurch leider sehr ungenau. Also sollte man als Anwender schon ein vernünftigeres Verhältnis wählen ...

Folglich wird der Span größer gewählt (mit 1 Segment) und von 1 MHz bis 20 MHz gesweept:

Bild 33 sagt einen Messbereich von 276 m voraus und bietet nun eine Kabellänge von 0,37 m an. Schon besser..

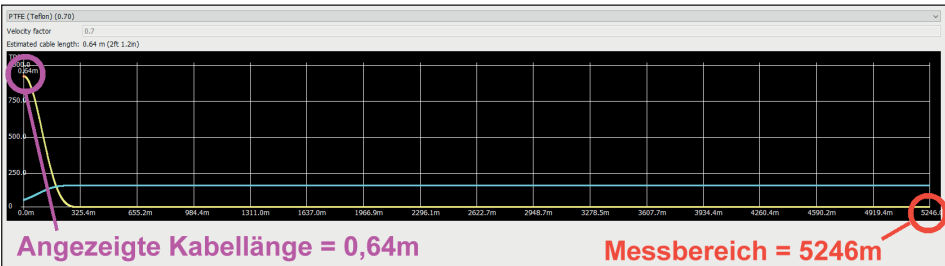


Bild 32: Logischerweise ist dann für eine große Kabellänge (hier: 5246 m) ein kleiner Span (von 1 bis 2 MHz) im Frequenzbereich erforderlich

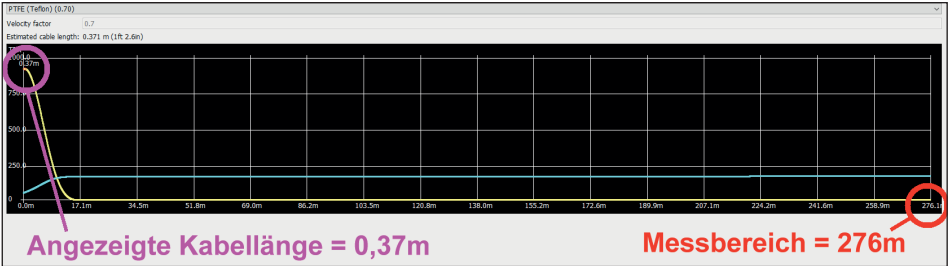


Bild 33: Die kleine Kabellänge wird damit nicht mehr exakt angezeigt, folglich ist ein Kompromiss nötig; (Sweep von 1 bis 20 MHz ergibt 276 m) - so geht es wieder -

X. Literatur:

[1] Gunthard Kraus: NanoVNA-Getting Started Manuell (Kapitel C) (www.gunthard-kraus.de)

[2] Gunthard Kraus: Neues aus der 4NEC2-

Ecke. Heute: Ganzwellen-Loop für 70 cm“ UKW-Berichte, 1/2020, S. 17

[3] NanoVNA-User group unter: <https://groups.io/g/novavna-users>

ANZEIGE

<p>Hochwertige Messadapter von</p> <p>Telegärtner KARL GÄRTNER GMBH</p>	<p>N-Buchse auf SMA-Stecker (N-f/SMA-m) <i>Edelstahl-Vers. 18 GHz</i></p> <p>€ 52,69 Art.Nr.: 11470-2</p>	<p>N-Buchse auf SMA-Buchse (N-f/SMA-f) <i>Edelstahl-Vers. 18 GHz</i></p> <p>€ 53,75 Art.Nr.: 11471-2</p>	
	<p>N-Stecker auf SMA-Buchse (N-m/SMA-f) <i>Edelstahl-Vers. 18 GHz</i></p> <p>€ 53,10 Art.Nr.: 11472-2</p>	<p>N-Stecker auf SMA-Stecker (N-m/SMA-m) <i>Edelstahl-Vers. 18 GHz</i></p> <p>€ 52,37 Art.Nr.: 11473-2</p>	<p>TNC-Buchse auf SMA-Buchse (TNC-f/SMA-f) <i>Edelstahl-Vers. 18 GHz</i></p> <p>€ 39,22 Art.Nr.: 11718</p>

<p>UKW-Berichte Telecommunications</p>	<p>Fachversand für Funkzubehör In der Büg 11, 91330 Eggolsheim Tel. 09191 9795410 info@ukwberichte.com online bestellen unter: www.stecker-shop.net</p>
---	---