

# NanoVNA

## was beachten, welche gibt es

Ewas Messtechnik und die verschiedenen NanoVNAs vorgestellt



NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

## Inhalt / Ablauf

- Etwas allgemeines zum Nachdenken (was muss man berücksichtigen)
- Was ist ein vektorieller Netzwerkanalyser (VNA)
- Parameter, die mit einem VNA (vektoriellen Netzwerkanalyser) gemessen werden
- Eine kleine Messtechnik Herausforderung
- Welche NAnaVNA sind auf dem Markt
- Firmware, Software

NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

## Etwas allgemeines zum Nachdenken

- Eigenschaften eines 10cm Kupferdrahtes mit  $1,5\text{mm}^2$  Querschnitt
  - Vernachlässigen wir mal:
    - Chemisch
    - Mechanisch/Elastisch
    - Thermisch
    - Masse
    - ...
  - Konzentrieren wir uns auf Elektrisch

NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

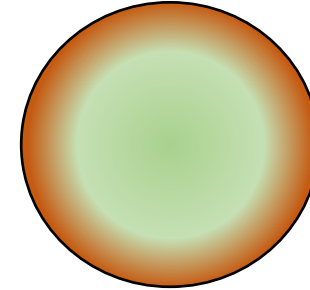
## Etwas allgemeines zum Nachdenken: DC

- Fangen wir mit DC an: Widerstand: 11,2 mOhm/m
- Kann man also vernachlässigen?
  - Zugelassen bis 16A Spitzenstrom:  $P = I^2 R \rightarrow$  knapp 3W/m
  - Für die Verdrahtung in Schaltkasten vernachlässigbar
- Oder Dauerstrom 10A :  $\rightarrow \sim 1,1\text{W/m}$ 
  - Die 10A Mikrowelle mit 10m Anschlussleitung  $\rightarrow$  22W Verlust im Kabel  $\rightarrow \sim 1\%$  Verlust
  - Aber bei Laden des PHEV Autos könnte man damit hell die Garage beleuchten
- Betrieb des 100W Transceivers an einer Autobatterie mit 2m Kabel:
  - 20A beim Senden:  $2 \times 2 \times 20\text{A} \times 11,2\text{mOhm} = \sim 0,9\text{V}$  also bei 12V noch 11,1V am Gerät.
- Was ist mit Lautsprecherkabel?: 10m  $\rightarrow$  0,224 Ohm auf 4 Ohm
  - $\rightarrow$  5,6% Verlust sollte der Lautstärkeregler schaffen
  - Da war noch was: Skin Effekt bei Wechselstrom

NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

# Etwas allgemeines zum Nachdenken: Skin Effekt

- Skin Effekt (rund 1,5mm<sup>2</sup> Kupfer):
  - 50Hz 11,2 mOhm/m
    - Also eindeutig vernachlässigbar
  - 20kHz 12,3 mOhm/m
    - Die 1% Widerstandserhöhung zu verhindern ist etwas für Enthusiasten
  - 7MHz 160 mOhm/m
    - Bei einer magnetic loop mit 1m Durchmesser und Abstrahlungs-R von 7mOhm sind 500mOhm wesentlich zu hoch: Die Leistung geht in die Drahtheizung.
    - Selbst 10cm Anschlussdraht zum C mit 16mOhm reduziert auf 50% Wirkungsgrad
  - 28MHz 317 mOhm/m
    - Da gibt es einen wesentlichen anderen Anteil: Induktivität 1nH/mm



NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

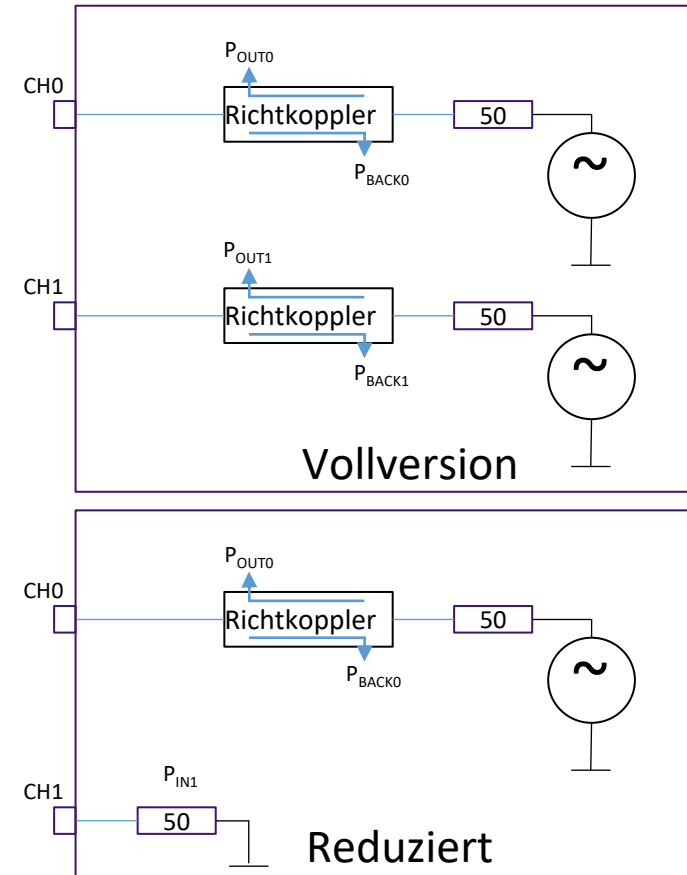
## Etwas allgemeines zum Nachdenken: L und C

- Wer also in den Antennenumschalter 10 cm Draht mit 10nH verwendet:
  - $X_L = 2 \pi f L \rightarrow 176 \text{ Ohm/m Impedanz}$
- Wer also in den Antennenumschalter 10 cm Draht verwendet:
  - Knapp 18 Ohm im 10m Band ändert doch schon die Anpassung
- So ein Draht hat auch eine Kapazität (gegen Umgebung)
  - Draus ergibt sich auch, dass es ein Dipol für 20 cm Wellenlänge ist
- -> Grobregel: alles bis 1/10 der Wellenlänge kann als diskretes Bauelement betrachtet werden, danach müssen die Welleneigenschaften berücksichtigt werden

NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

# Was ist ein vektorieller Netzwerkanalyser (VNA)?

- Was ist ein vektorieller Netzwerkanalyser (VNA)?
  - Ein SWR-Meter:
    - Ein Generator erzeugt ein Signal, welches an CH0 angelegt wird
    - Ein Richtkoppler ermittelt die ausgehende und die reflektierte Leistung
  - Plus: Messung der Phase der Signale
  - Plus: 2. Eingang für Durchgangs-Messung
- Vollversion: Jeder Kanal kann senden/empfangen: bidirektional
- Reduziert: Nur ein Kanal für Reflektion und einer zum Empfangen

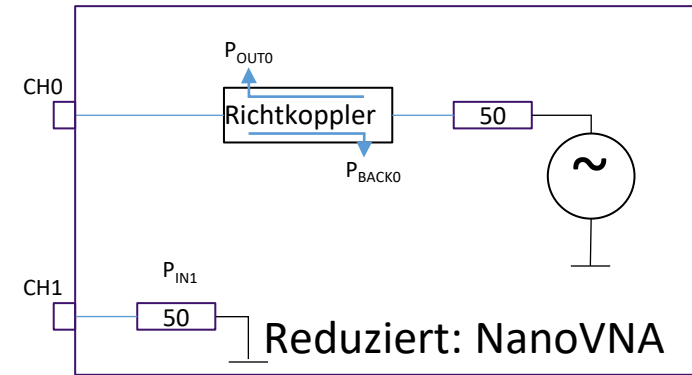


NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

## Parameter, die mit einem VNA gemessen werden (1/4)

- S-Parameter:

- $S_{xy}$  : x Kanal der gemessen wird, y Sender
- $S_{11}$ : Reflektion CH0 :  $P_{\text{BACK0}} / P_{\text{OUT0}}$ 
  - Relativer Pegel in dB
  - Phase in Grad °
  - Beispiele
    - 50Ohm Abschluss:  $S_{11}$  -70dB, 0° (Rauschlevel)
    - Offener Ausgang:  $S_{11}$  0dB, 0°
    - Kurzgeschlossener Ausgang:  $S_{11}$  0dB, 180°
- $S_{21}$ : Durchgang CH1 :  $P_{\text{IN1}} / P_{\text{OUT0}}$ 
  - Relativer Pegel in dB
  - Phase in Grad °
  - Beispiel: Verlustfreie Verbindung: 0 dB, Phase (Leitungslänge, Frequenz)



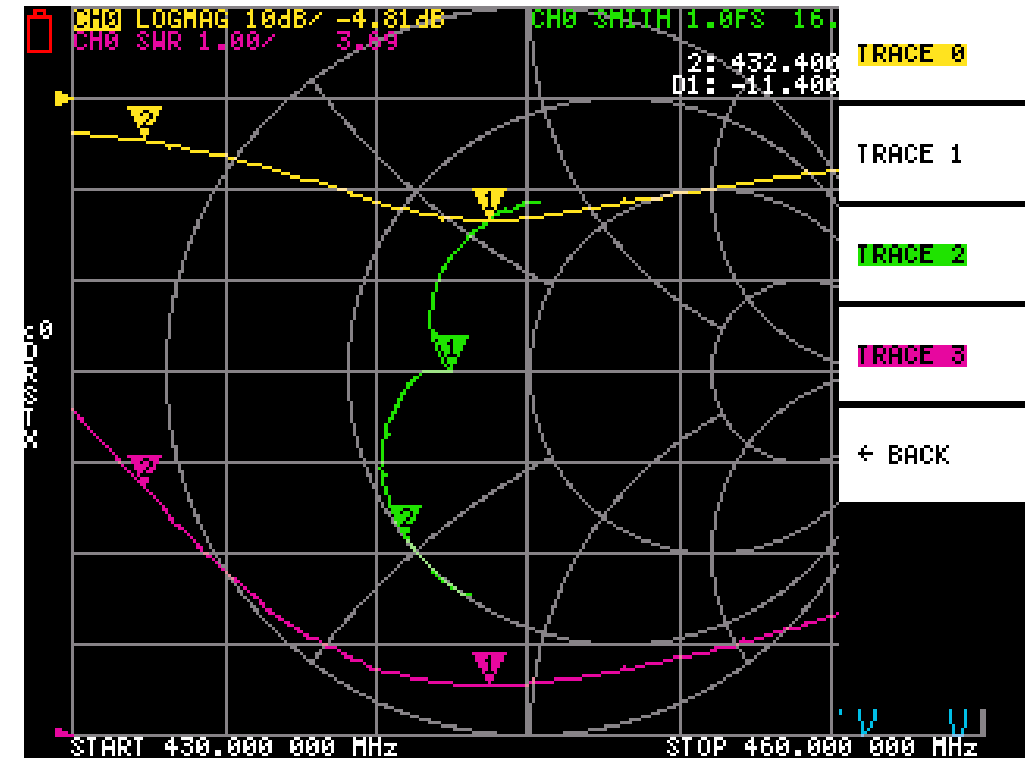


NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

## Parameter, die mit einem VNA gemessen werden (2/4)

- Weitere Parameter S-Parametern gerechnet:

- SWR aus S11
- Aus der reflektierten Leistung -> Impedanz
  - Komplexer Widerstand
    - Imaginär (Phase 180°) Kapazität oder Induktivität
    - Real (Phase 0°) Widerstand
- Verschiedene Darstellungen:
  - Smith Chart : Real/Imaginärteil wandert mit Frequenz
    - Impedanz wird angezeigt (für gewählte Frequenz des Markers)
  - x/y, d, h, S11/SWR oder Phase über Frequenz dargestellt



NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

## Parameter, die mit einem VNA gemessen werden (3/4)

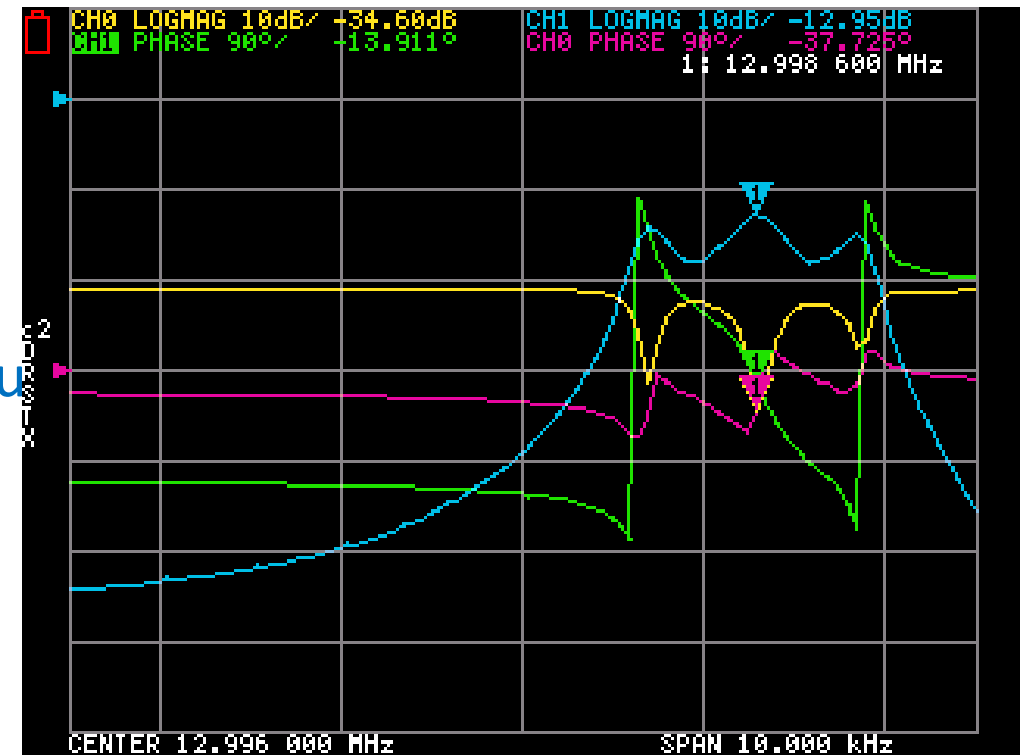
- Weitere Parameter S-Parametern gerechnet:

- Dämpfung (z.B. Filter, Leitung) : S21

- Leitungsdämpfung
    - Dämpfung/Durchlass von Mantelwellensperren
    - Filter (z.B. Quarzfilter im Bild ohne Anpassung)
    - Phase und Betrag der Durchlasskurven
    - Usw.

- S11: Transformation aus Frequenz/Reflektion zu Impedanz:

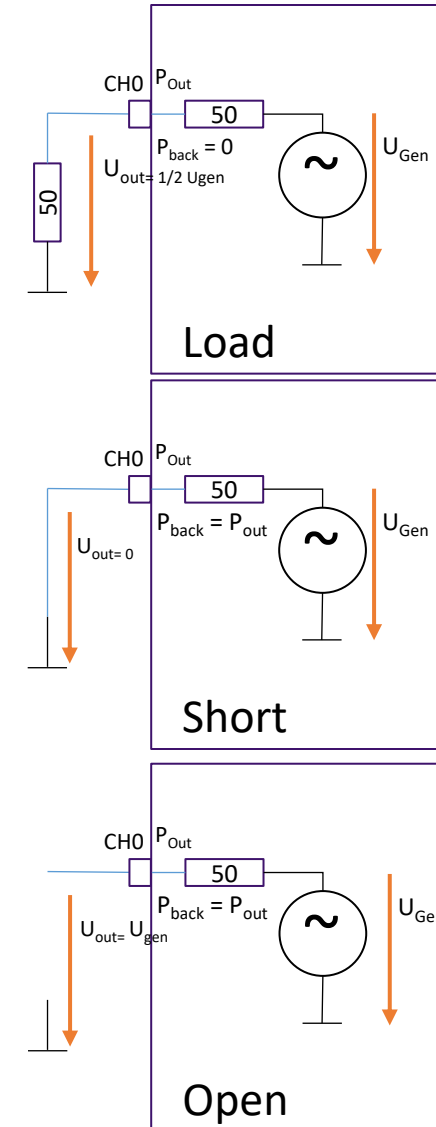
- D.h. der Impedanzverlauf einer Leitung kann dargestellt werden (TDR über Frequenz)



NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

## Parameter, die mit einem VNA gemessen werden (4/4)

- Referenzmessungen für Kalibration:
  - Bei 50 Ohm Last, ist Leitungsanpassung:
    - Die 50Ohm Anpassung wird ausgemessen.  $S_{11} \ll -xx \text{ dB}$
  - Kurzschluss:
    - Das Signal wird reflektiert.  $S_{11} = 0\text{dB}$ , da  $P_{\text{out}} = P_{\text{back}}$ , Leitungslänge bis Kurzschluss kompensiert
  - Offener Ausgang
    - Entspricht: Das Signal wird mit Phase  $0^\circ$  reflektiert, d.h. Generator Spannung am Ausgang.  $S_{11} = 0\text{dB}$ , da  $P_{\text{out}} = P_{\text{back}}$
  - Through
    - Die Dämpfung (Messleitung(en) verbunden) wird ermittelt
  - -> Die Kalibration kann nicht nur Variationen der Hardware ausgleichen, sondern auch Messleitungen (50Ohm) kompensieren

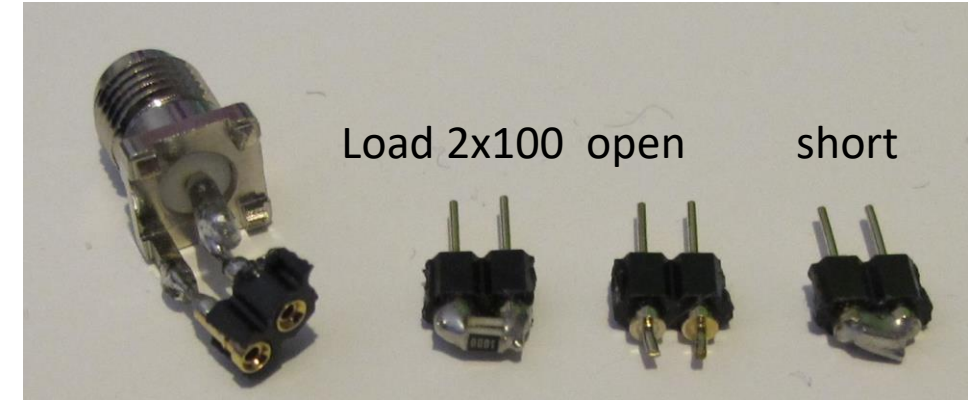


NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

## Eine kleine Messtechnik Herausforderung (1/2)

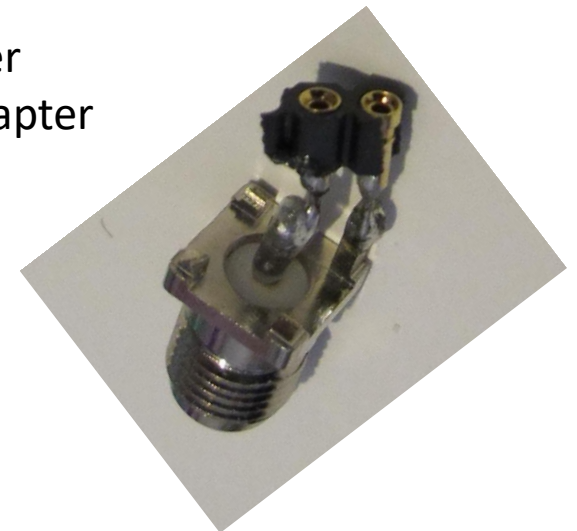
- Eine Messaufgabe:

- Die 10nF der 10cm Leitung messen :
  - Definition: gerade Leitung 10 cm Länge
- Messadapter:
  - 2 Buchsen auf einer SMA Buschse
- Kalibrierung:
  - Stecker mit Open Load Short
- Messung S11 Smith Diagramm
  - Frequenzbereich vor Kalibrierung wählen
- Wie kann ich die Leitung messen?
  - Die 17 Ohm induktive Impedanz (bei 28MHz) solle der NanoVNA gut messen können



10cm Leitung L ?

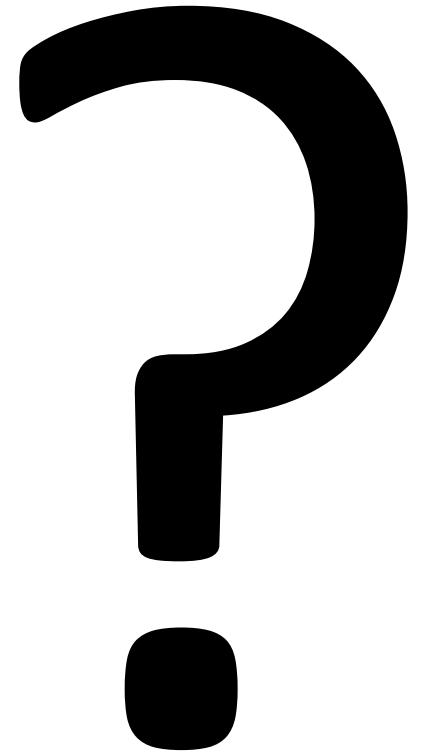
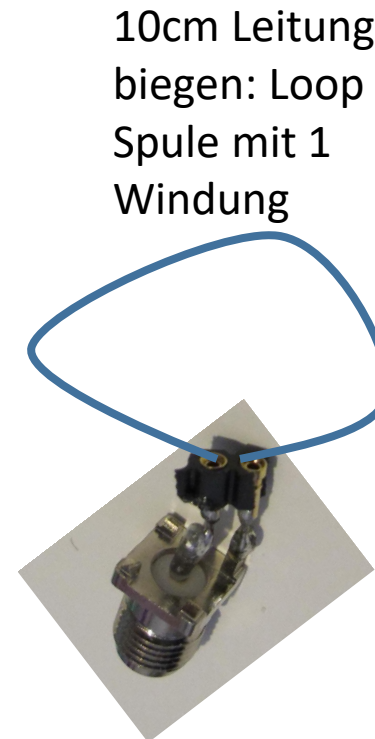
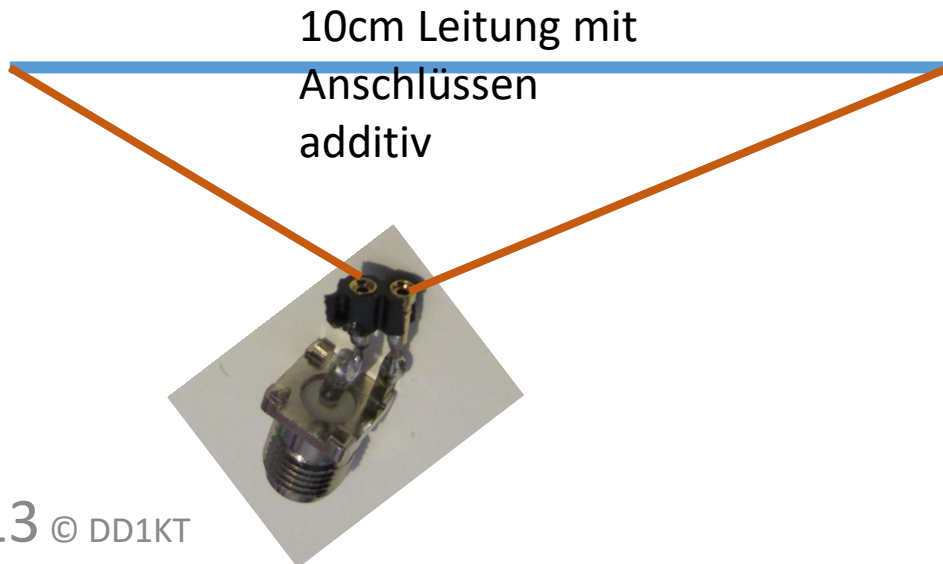
Einfacher  
Messadapter



NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

## Eine kleine Messtechnik Herausforderung (2/2)

- Eine schwierige Messaufgabe:
  - Die 10nF der 10cm Leitung messen :
  - Es gibt keine Einfache Lösung
  - An ehesten: Eine größere Schleife messen und dann die 10cm Leitung einfügen und Unterschied errechnen.



# NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

## Historie der NanoVNAs

- Wie hat sich der NanoVNA entwickelt
  - Die ersten Varianten
    - Eine erste Version von edy55 als Entwicklungsversion
    - Diese wurde Produktionsreif weiterentwickelt und in China produziert (Hugen)
    - Display 2,8“ bis 300MHz, Harmonische nutzen und Designverbesserung: bis 1,5GHz
    - Die Benennung in NanaVNA-H von Hugen um die Marke zu definieren
    - NanoVNA H4 später mit 4“ Display, Software wurde kontinuierlich verbessert
  - Parallelversion auf vergleichbarer Hardware:
    - NanoVNA-F mit 4,3“ mit größerem Akku
  - Umstieg auf neue Hardware bis 3GHz
    - SAA2 , NanoVNA V2, V2 plus, V2 plus4 oder auch SAA2 in mehreren Varianten
    - NanoVNA F V2

# NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

## NanoVNA H (2,8“)

- Grundversion aber schon mit Gehäuse
- Software hat schon einen Programmiermodus
  - Früher war Hardware-Brücke erforderlich
- Infos:
  - <https://groups.io/g/nanovna-users/wiki#NanoVNA-H4>
- Beispiel-Bild: [https://www.amazon.de/Flatahero-NanoVNA-H-Netzwerk-Tragbares-Analysator/dp/B08Y8LJ5N4/ref=sr\\_1\\_12?\\_\\_mk\\_de\\_DE=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&dchild=1&keywords=nanovna-h&qid=1618681727&sr=8-12](https://www.amazon.de/Flatahero-NanoVNA-H-Netzwerk-Tragbares-Analysator/dp/B08Y8LJ5N4/ref=sr_1_12?__mk_de_DE=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&dchild=1&keywords=nanovna-h&qid=1618681727&sr=8-12)

# NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

## NanoVNA H4

- Die große Version bis 1,5GHz
- Eigene Software (bei Update)
- Infos:
  - <https://groups.io/g/nanovna-users/wiki#NanoVNA-H4>
- Beispiel-Bild: [https://www.amazon.de/NanoVNA-H4-Vektor-Netzwerkanalysator-4-Zoll-LCD-Touchscreen-1950-mAh-Batterie-Antennenanalysator-HF-UKW-UHF-Stehwellenmessger%C3%A4t-10k-1-5GHz/dp/B08NF1K76M/ref=sr\\_1\\_2\\_sspa?\\_\\_mk\\_de\\_DE=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&dchild=1&keywords=nanovna-h4&qid=1618681839&sr=8-2-sponsored&psc=1&spLa=ZW5jcnlwdGVkUXVhbGlmaWVyPUExSVdZSEZUNFRXRUdVJmVuY3J5cHRIZElkPUEwMjA4Njg1MVg4QkdPTzVVV0daQyZlbmNyeXB0ZWRBZEIkPUEwMDAxNTg5MkZXWkUzRVgyQUY1NyZ3aWRnZXROYW1IPXNwX2F0ZiZhY3Rpb249Y2xpY2tSZWRpcmVjdCZkb05vdExvZ0NsaWNrPXRYdWU=](https://www.amazon.de/NanoVNA-H4-Vektor-Netzwerkanalysator-4-Zoll-LCD-Touchscreen-1950-mAh-Batterie-Antennenanalysator-HF-UKW-UHF-Stehwellenmessger%C3%A4t-10k-1-5GHz/dp/B08NF1K76M/ref=sr_1_2_sspa?__mk_de_DE=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&dchild=1&keywords=nanovna-h4&qid=1618681839&sr=8-2-sponsored&psc=1&spLa=ZW5jcnlwdGVkUXVhbGlmaWVyPUExSVdZSEZUNFRXRUdVJmVuY3J5cHRIZElkPUEwMjA4Njg1MVg4QkdPTzVVV0daQyZlbmNyeXB0ZWRBZEIkPUEwMDAxNTg5MkZXWkUzRVgyQUY1NyZ3aWRnZXROYW1IPXNwX2F0ZiZhY3Rpb249Y2xpY2tSZWRpcmVjdCZkb05vdExvZ0NsaWNrPXRYdWU=)



NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

## NanoVNA F V2

- Die F- Linie wurde getrennt von der anderen Linie entwickelt
  - Software etwas ausführlicher, nicht so sehr für Experten
  - Größeres Display auch für einfacher lesbare Diagramme genutzt
  - Höher nutzbarer dynamischer Bereich
- Beispiel-Bild: [https://www.amazon.de/Netzwerkanalysator-Nanovna-F-Analyzer-Touching-Shortwave-3G-4-3/dp/B08R661ZJZ/ref=sr\\_1\\_3?\\_\\_mk\\_de\\_DE=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&dchild=1&keywords=nanovna+fv2&qid=1618681907&sr=8-3](https://www.amazon.de/Netzwerkanalysator-Nanovna-F-Analyzer-Touching-Shortwave-3G-4-3/dp/B08R661ZJZ/ref=sr_1_3?__mk_de_DE=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&dchild=1&keywords=nanovna+fv2&qid=1618681907&sr=8-3)

# NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

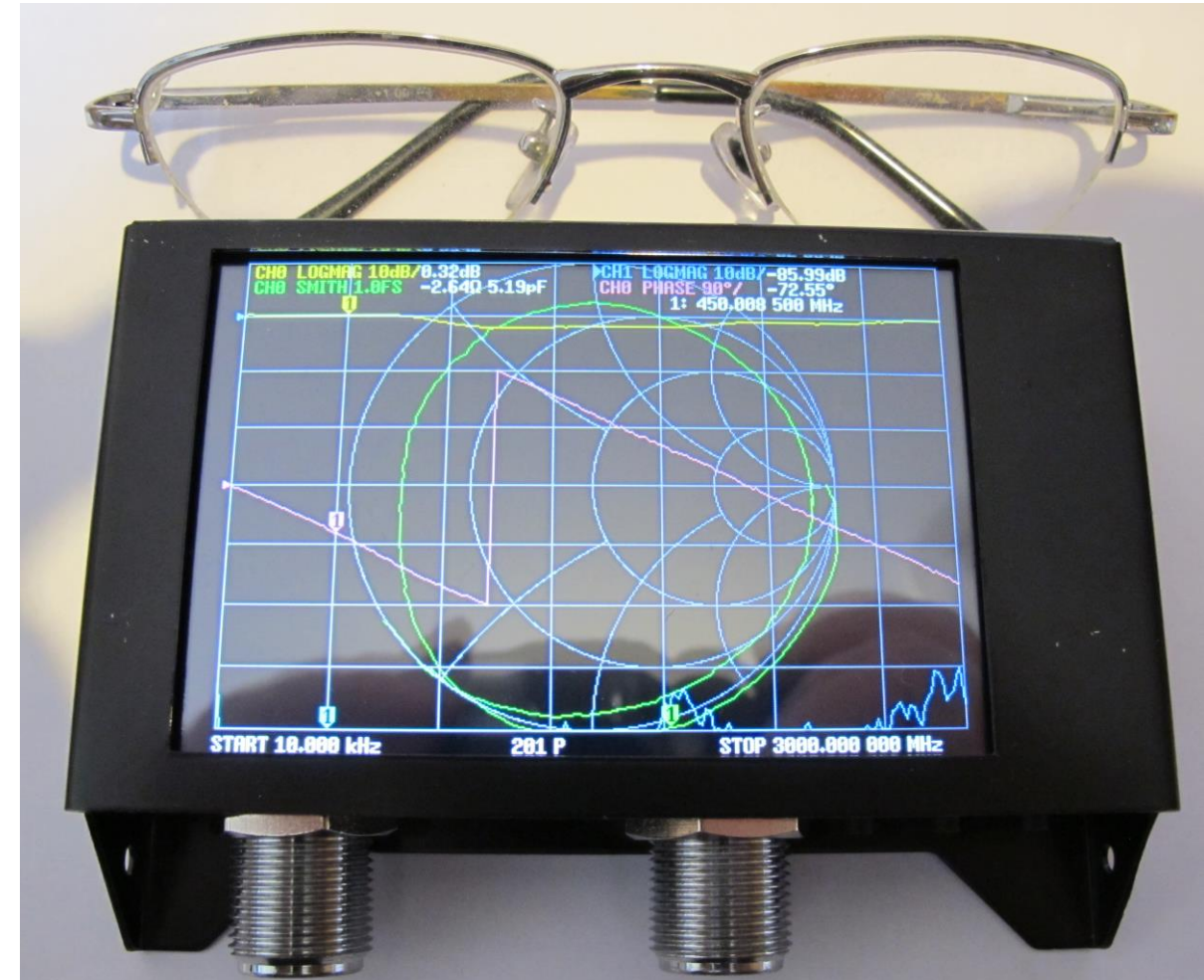
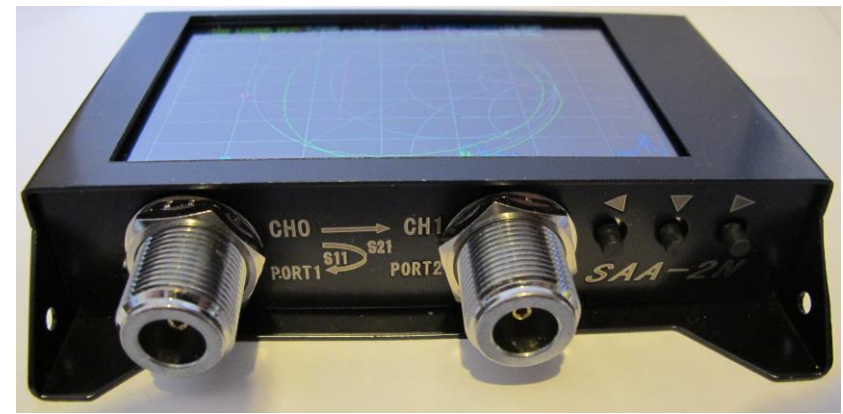
## NanoVNA V2

- 2.8“ Version vom V2
  - Bis 3GHz
  - Erweiterter Dynamikbereich  
zusätzlich zu erweitertem  
Frequenzbereich
- Beispiel-Bild: :  
<https://nanorfe.com/nanovna-versions.html>

# NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

## NanoVNA: SAA 2N

- 4" Version vom SAA2 bis 3GHz
  - N-Buchsen, Kabel und Kalibrierung
  - ist nicht offiziell Thema in der SAA Entwicklungsgruppe
  - Software soll mit "V2.74" von blackmagic kompatibel sein  
-> ggf. muss nach Update Bildschirm neu kalibriert werden.
  - N-Buchsen(Kabel) stabiler, aber auch für Kalibrierung begrenzt praktisch
  - Empfehlung: Adapter auf handlichere Kabel nutzen und ggf. „selfmade“ oder SMA/BNC Kalibrierung verwenden



NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

## SAA Group neueste VNAs

- Es hat sich eine V2 Vertriebsgruppe gebildet die behauptet:
  - Only HCXQS and NanoRFE support the original developers of the S-A-A-2
- Die Vertreiben noch 2 „offizielle“ Versionen (<https://nanorfe.com/nanovna-versions.html>)
  - Alle ältere Versionen sollen auch als Clones sehr verbreitet sein

NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

## SAA2 andere Hardware von der Gruppe unterstützt

- (<https://nanorfe.com/nanovna-versions.html>)

NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

## Software /Firmware für NanoVNAs

- In der ersten Entwicklungszeit war die Firmware elementar:
  - Neue Firmware Ideen haben immer mehr Funktion aus der existierenden Hardware herausgeholt
    - Inzwischen ist der normale Funktionsumfang ausgereift, es gibt Detailverbesserungen
  - PC-Software
    - Zu der verschiedenen Geräten gibt es auch PC Software für:
      - Screenshots
      - Betrieb des VNAs über dem PC mit mehr Messpunkten (Zeitfaktor) und Grafiken auf PC Schirm
    - Beste Quelle für die Bezugsquellen der Programme: Groups.io Forum
  - Firmware updaten:
    - Neuere Geräte können schon mit den PC –Programmen neue Firmware bekommen
    - Bei älteren muss man ggf. noch eine spezielle Flash-Software des Prozessorherstellers incl. speziellem USB Treiber installieren
    - Es gibt für die kleinen Versionen z.T. auch Firmware mit vergrößerter Schrift

# NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

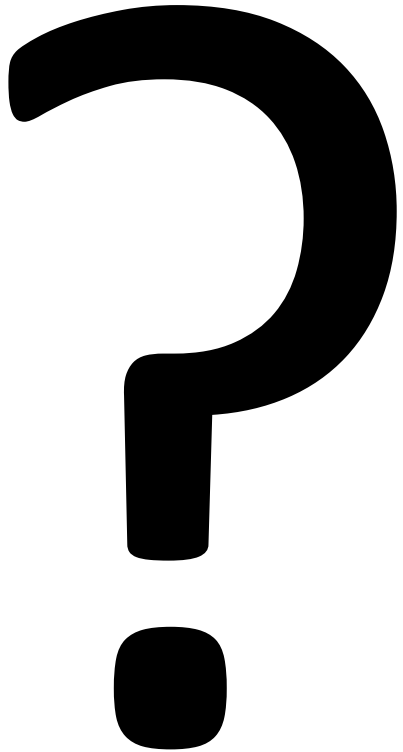
## Zusammenfassung

- Es gibt inzwischen eine Vielfalt an kleinen Netzwerkanalysatoren
  - Die Preise fangen meist bei ca. 60€ an für vollständige Geräte (mit Akku)
  - Die Kalibrierelemente und 2 Kabel werden meist mitgeliefert
  - Die Preise gehen bis knapp 200€ hoch
- Clones
  - Jeder, der nicht über den offiziellen Weg aus China bestellt, ist in Gefahr einen Clone zu bekommen, bei dem die Performance eingeschränkt sein kann, aber nicht muss
- Die Frage ist, ob man die max. Performance braucht
  - Gebrauchte keine VNAs können günstig sein, weil der Besitzer upgedatet hat
  - Die v2 Versionen sollen beim Scannen z.T. zu schnell für Quarzfilter sein.



# NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

## Fragen





NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

Reserve:

genaueres zu Aufbau/Messen/Historisches

NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

## Wie misst ein einfacher NanoVNA : Messbrücke

- Eine einfache Implementierung eines „Richtkopplers“ ist mit Widerständen möglich:

- Vereinfachte Betrachtung S11:

- Ohne die 82 Ohm und mit einem 0 Ohm Generator:

- 50 Ohm Ausgang und parallel Spannungsteiler für Referenz

- Fall1: 50 Ohm am TX (CH0) Ausgang: S11 differentiell 0V, keine Reflektion

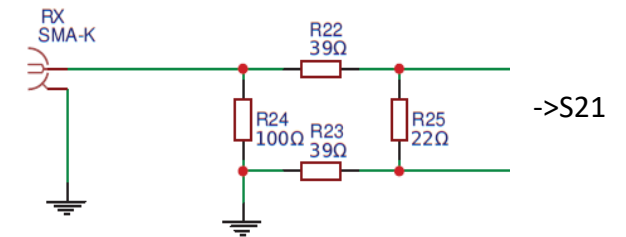
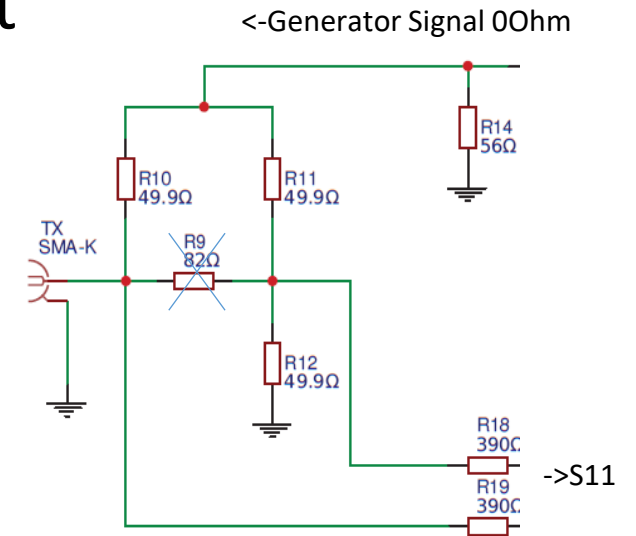
- Fall 2 : Ausgang ist offen:

- Voller Generator Pegel an dem TX (CH0) Ausgang, ½ Pegel am R18 und somit auch ½ Pegel differentiell für S11.
- Reflektion des Signals am Ausgang, der gedachte 50 Ohm Pegel kommt positiv zurück und addiert sich am Ausgang zum doppelten Pegel.

- Fall 3 Kurzschluß:

- 0V am Ausgang, ½ Pegel negativ differentiell an S11: -1 Reflektion

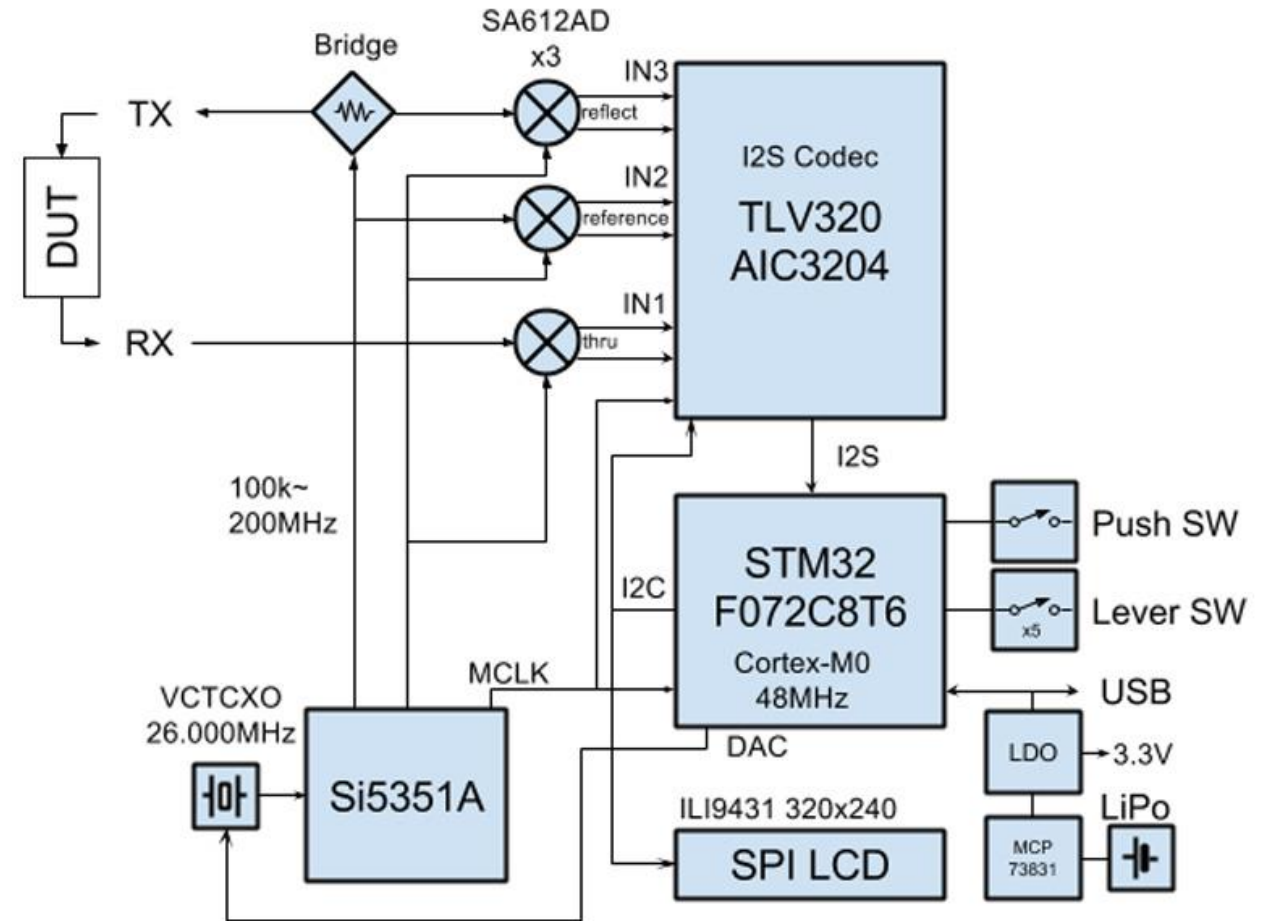
- S21 ist eine 50 Ohm Eingangsbeschaltung:  $100 \parallel (2 \times 39 + 22) = 100 \parallel 100$  mit differentielltem Ausgang (mit Gleichtakt Anteil)



NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

## Wie misst ein einfacher NanoVNA : Weiterverarbeitung

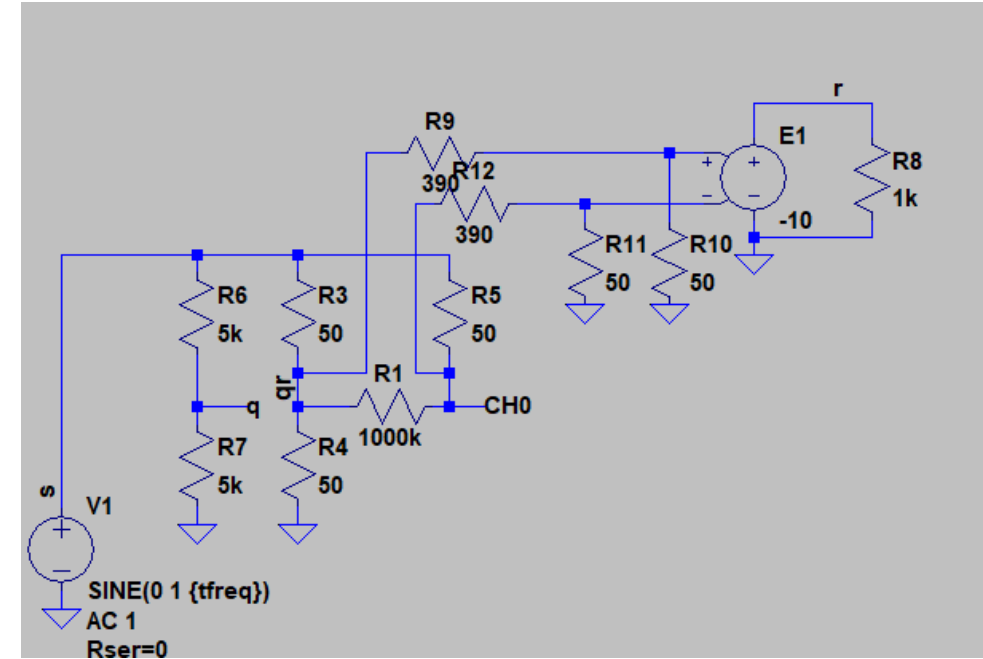
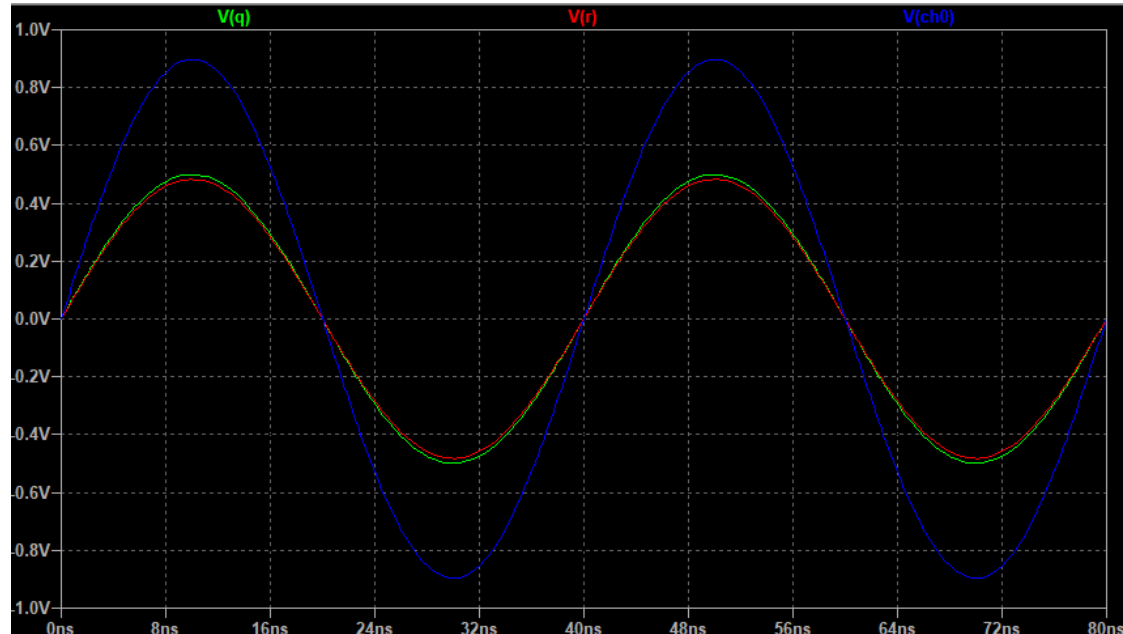
- Die Signale der Brücke werden auf niedrige Frequenzen gemischt:
- Die Frequenzen werden über den Si5351A erzeugt. Für >300MHz werden harmonische des Rechtecks verwendet
- Ein ADC digitalisiert die 3 Signale:
  - Reflektion (S11), zurückkommendes Signal
  - Referenz, Ausgangssignal an Brücke
  - S21 Eingangssignal
- Der Prozessor ist von ST Microelectronics



NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

## Wie misst ein einfacher NanoVNA : Messbrücke (1/7)

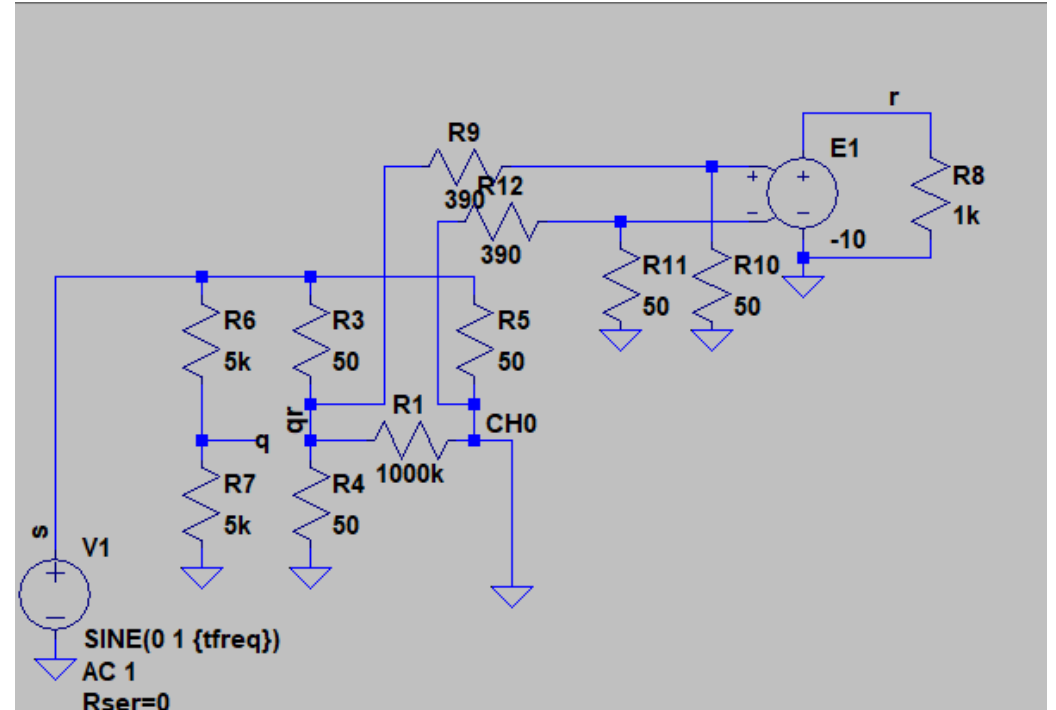
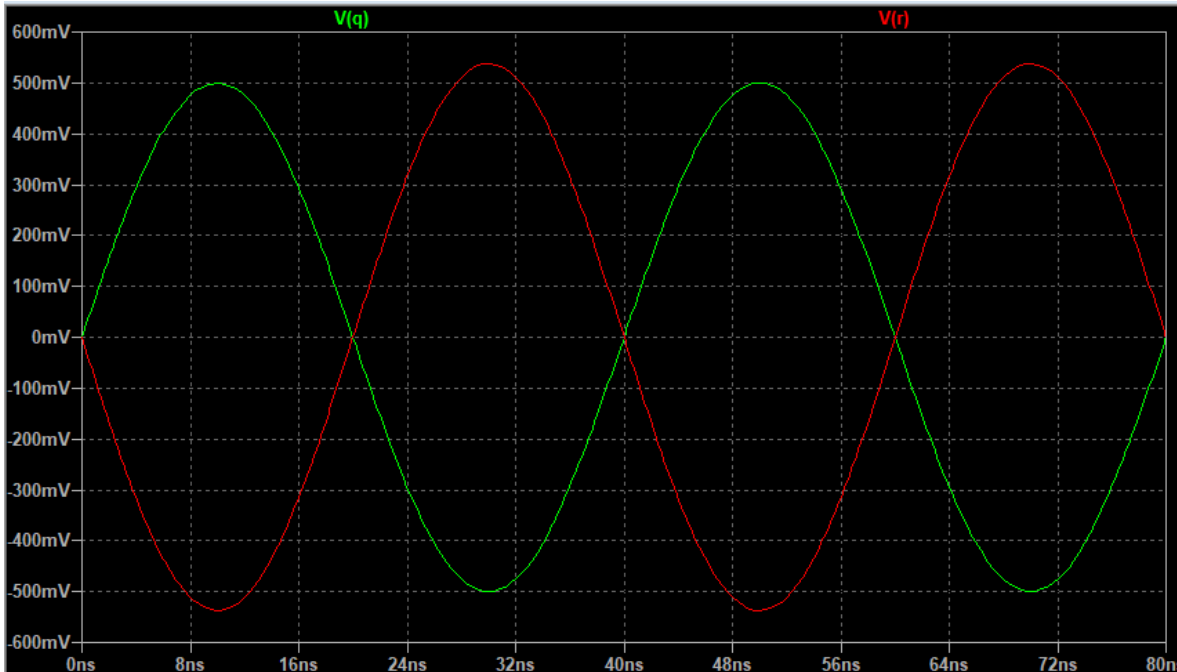
- Beispielmessungen:
  - Open (Ch0 offen)
    - CH0 Spannung doppelt zu hoch wie Referenz
    - Reflektiertes Signal Phasengleich verschoben
    - (bei 100% Kalibrierung wären beide Amplituden gleich)



NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

## Wie misst ein einfacher NanoVNA : Messbrücke (2/7)

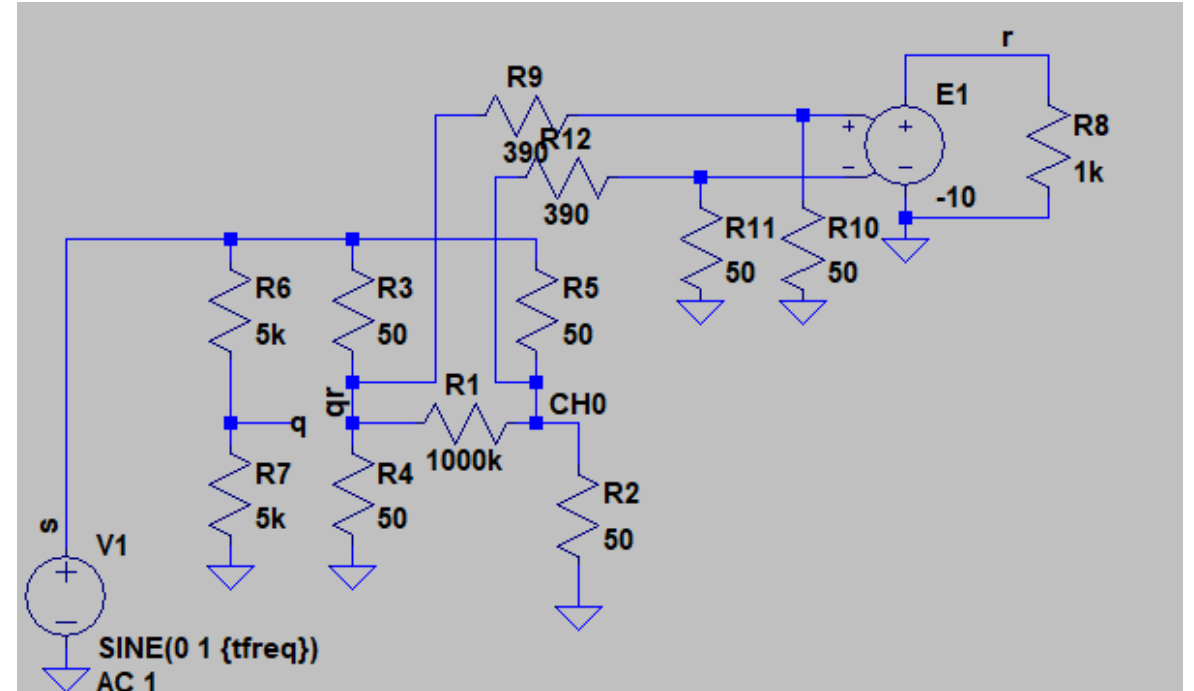
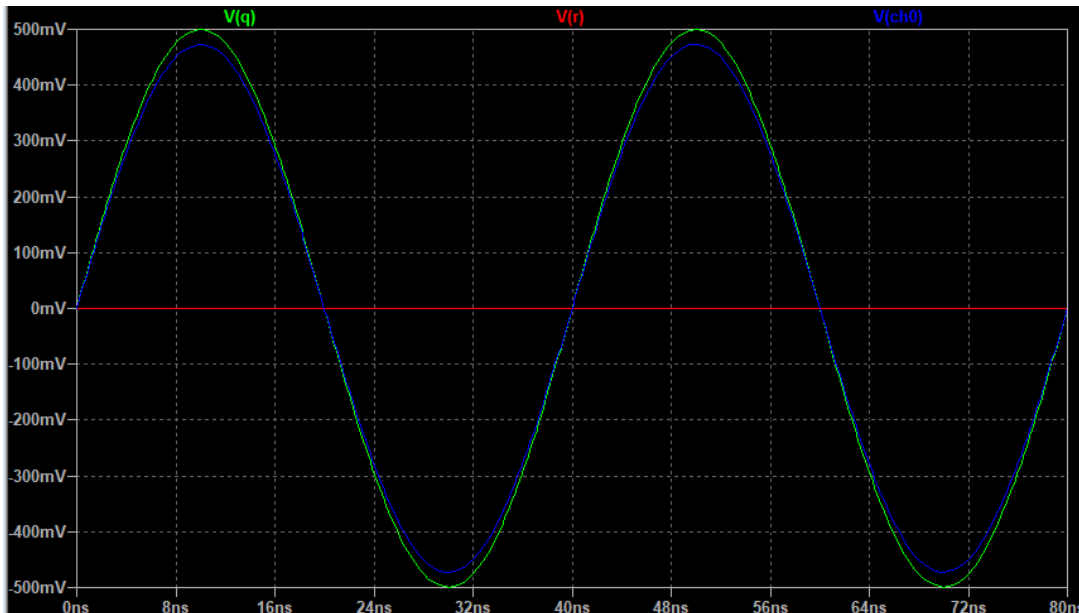
- Beispielmessungen:
  - Short (Ch0 kurzgeschlossen)
    - CH0 Spannung 0V
    - Reflektiertes Signal 180° verschoben
    - (bei 100% Kalibrierung wären beide Amplituden gleich)



NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

## Wie misst ein einfacher NanoVNA : Messbrücke (3/7)

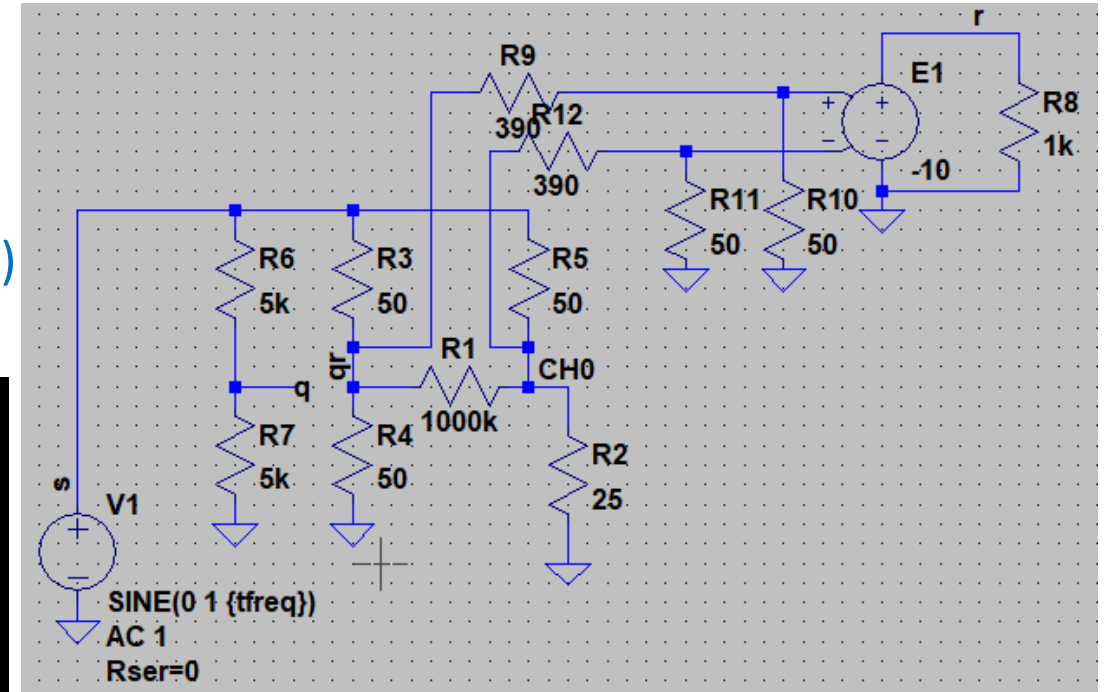
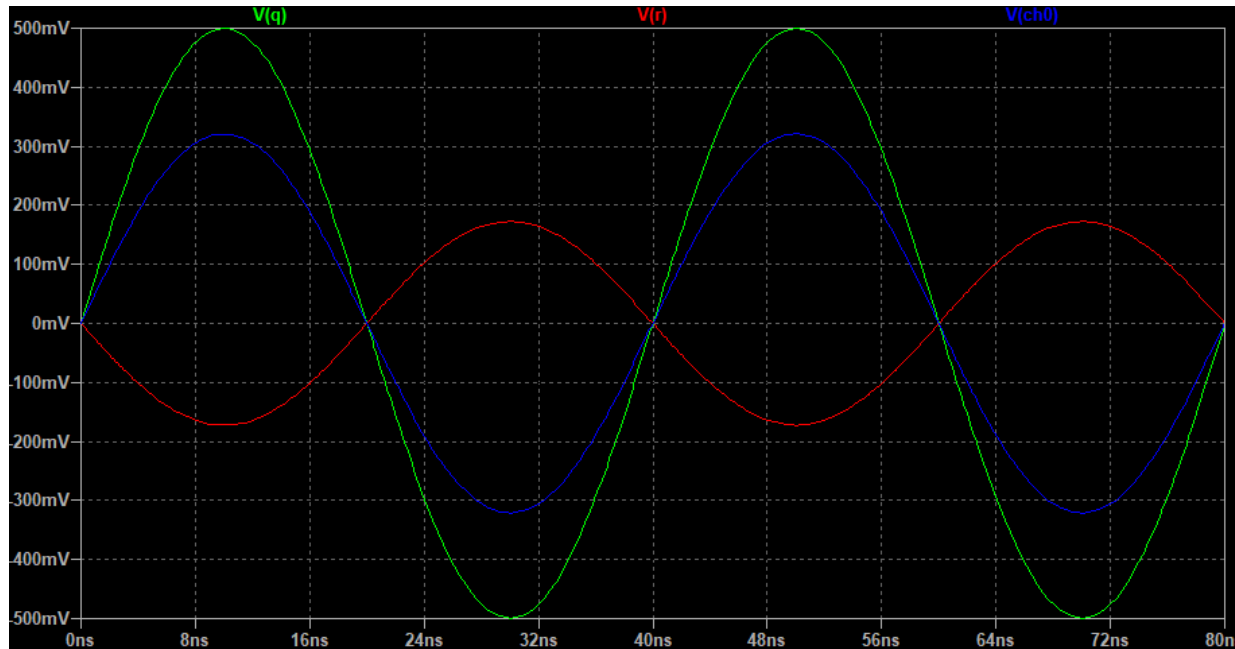
- Beispielmessungen:
  - 50 Ohm Abschluss
  - CH0 Spannung gleich Referenz
  - Reflektiertes Signal Null
  - (Leichter Amplitudenunterschied durch Last)



NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

## Wie misst ein einfacher NanoVNA : Messbrücke (4/7)

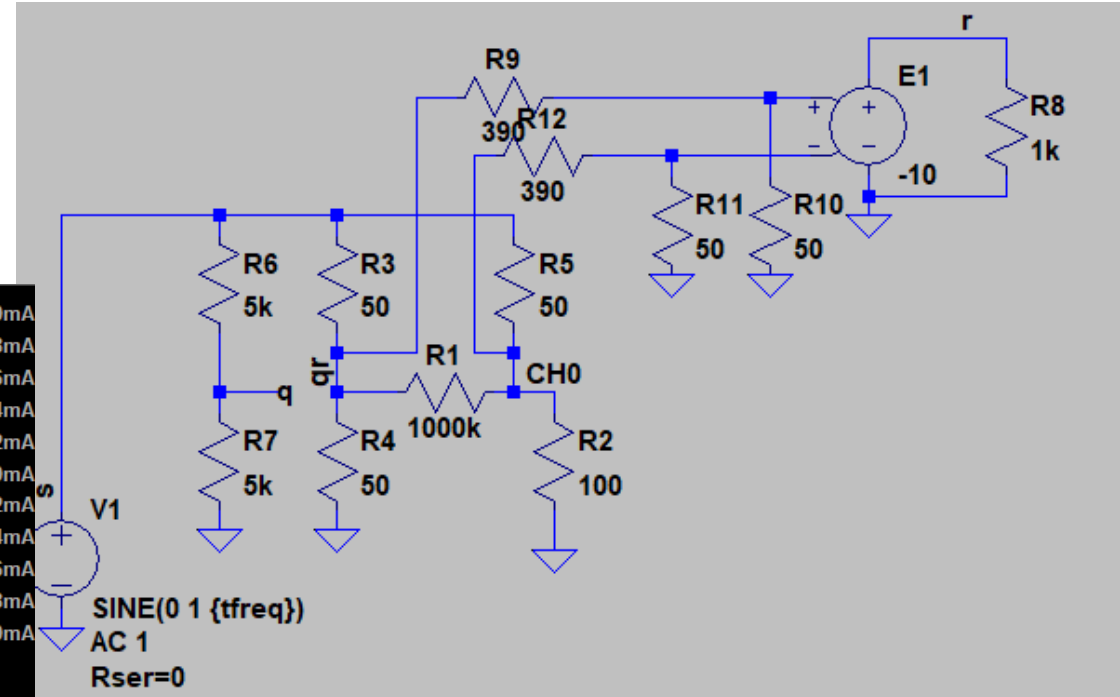
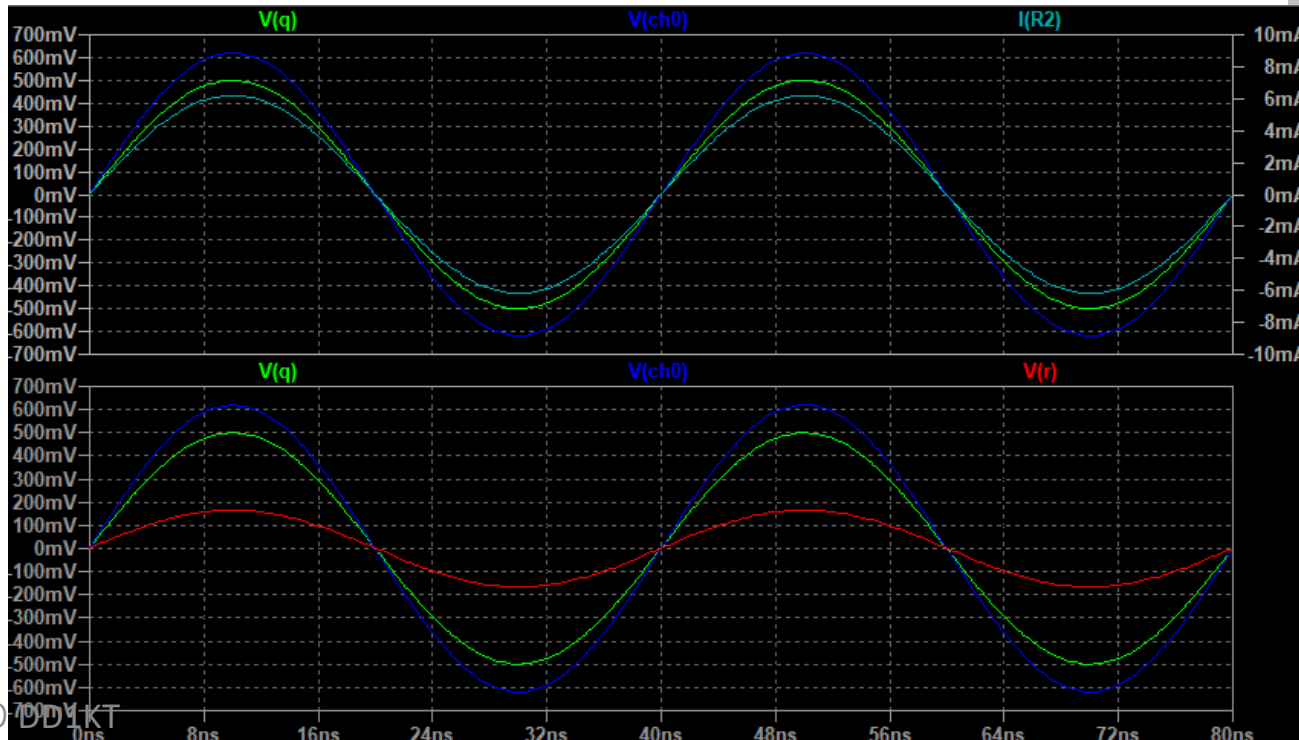
- Beispielmessungen:
  - 25 Ohm Abschluss
  - Strom und Spannung bei R2 in Phase
  - Ch0 Spannung kleiner als Referenz (50//25 zu 50//50)
  - Reflektion -1 (180°), Da  $R < 50$



NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

## Wie misst ein einfacher NanoVNA : Messbrücke (5/7)

- Beispielmessungen:
  - 100Ohm Widerstand:
    - Strom und Spannung durch R2 sind in Phase
    - Ch0 Spannung höher als Referenz (50//100 zu 50//50)
    - Reflektion in Phase ( $0^\circ$ ), Da  $R > 50$

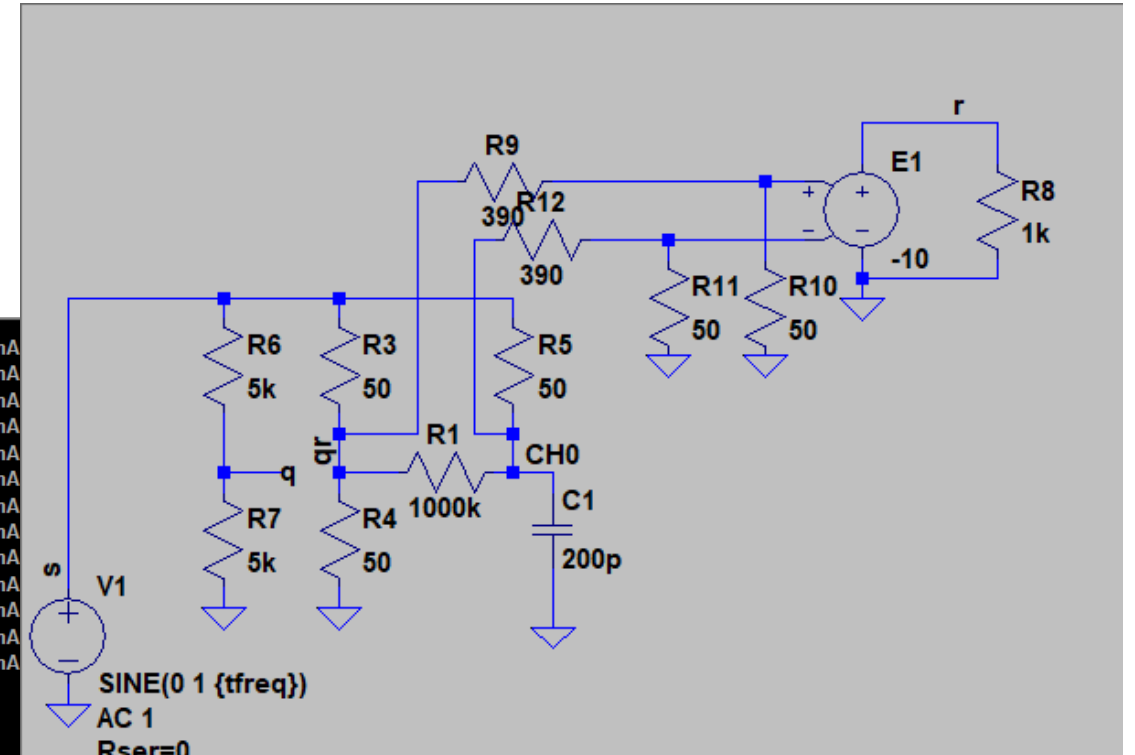
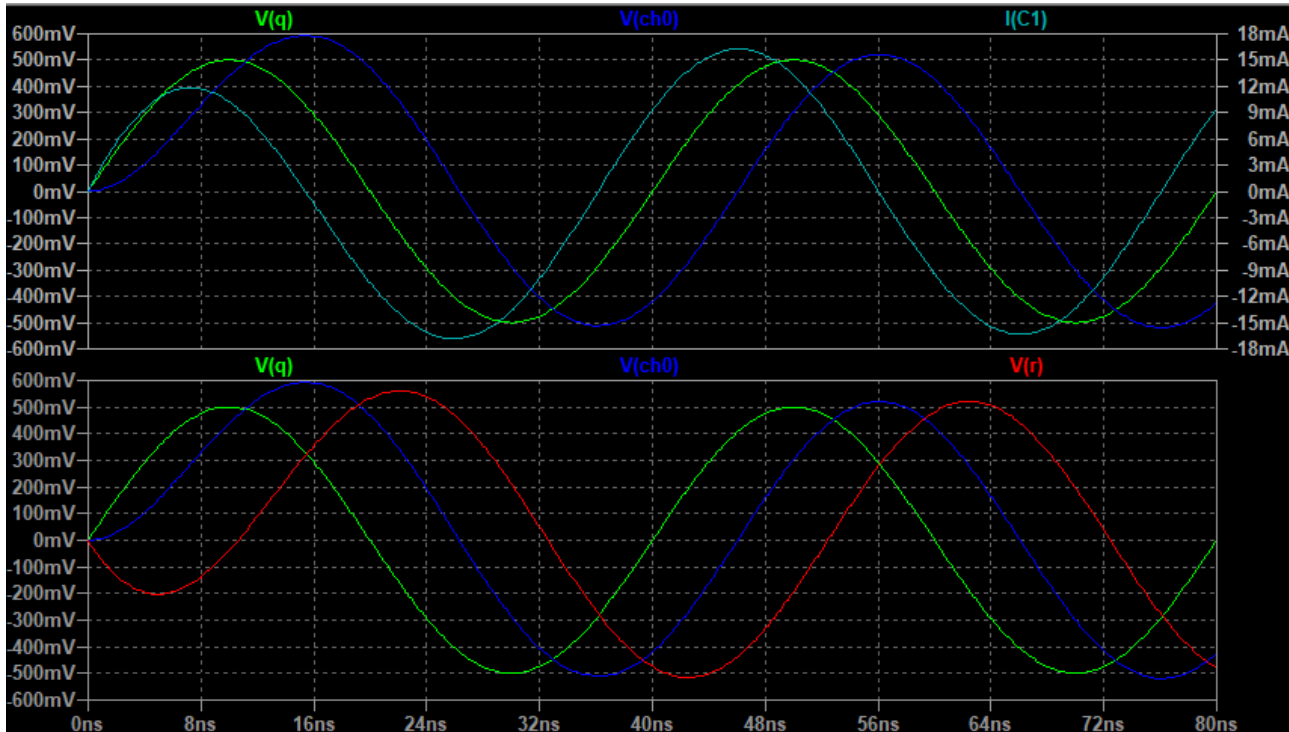




NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

## Wie misst ein einfacher NanoVNA : Messbrücke (6/7)

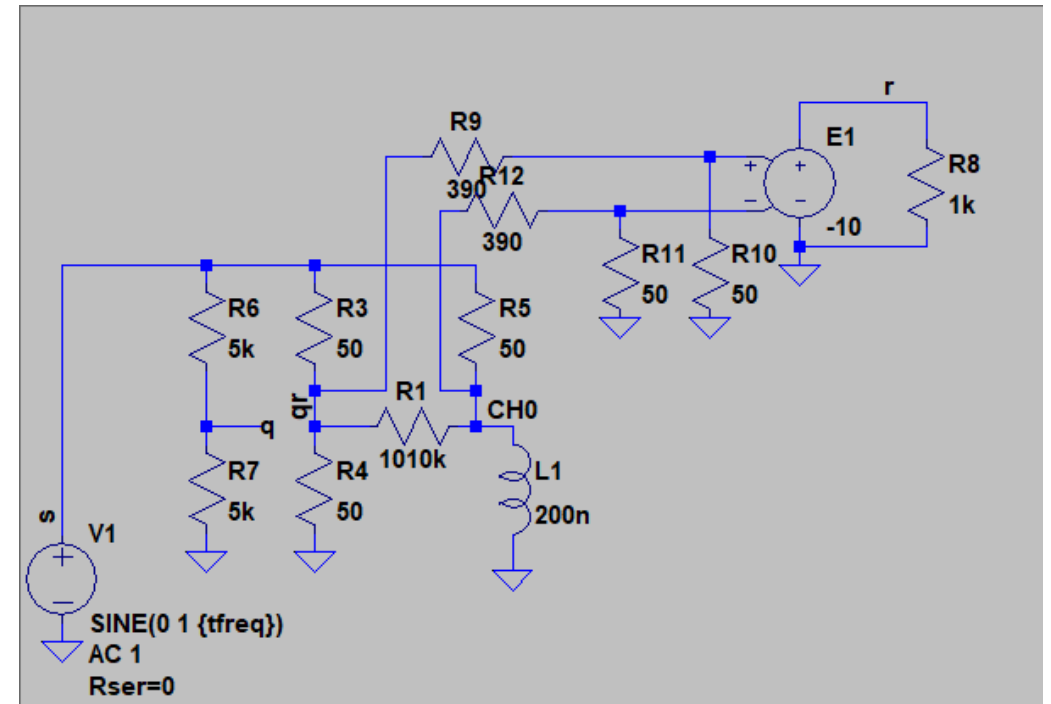
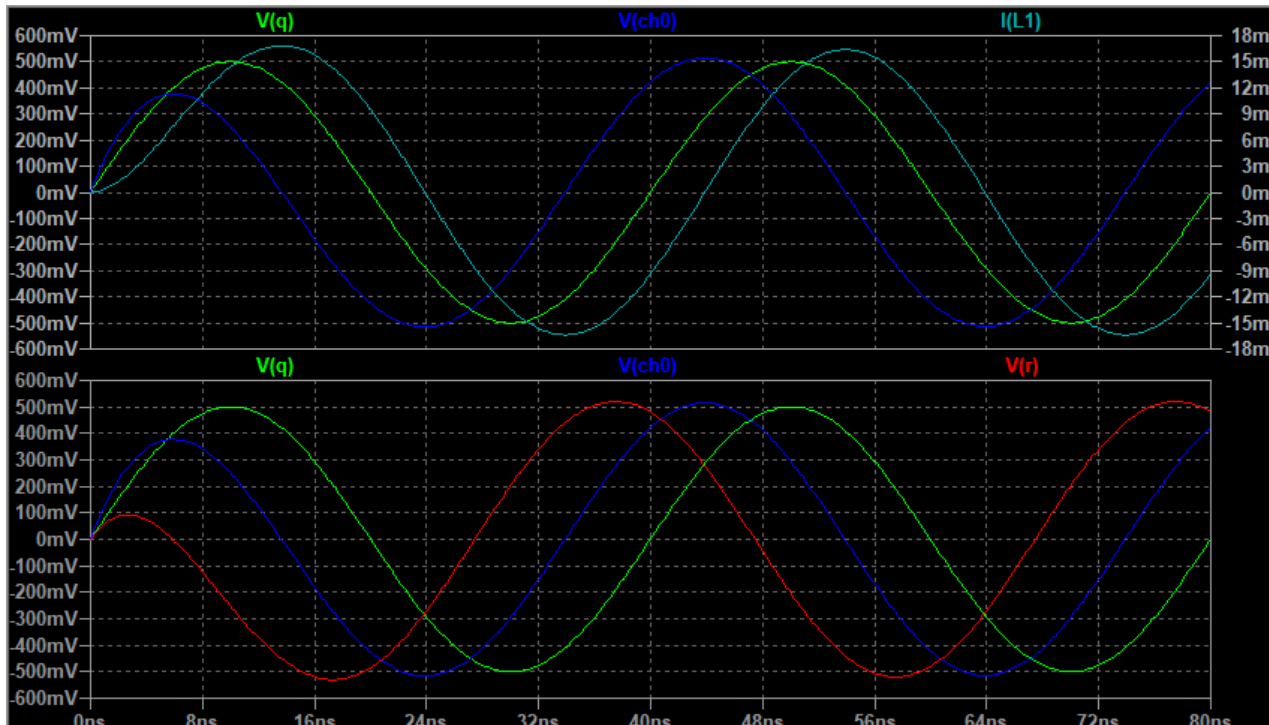
- Beispielmessungen:
  - 200p Kapazität bei 25MHz:
    - Strom ist  $-90^\circ$  gegen Spannung verschoben
    - Ch0 Phase ist nach Referenz



NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

## Wie misst ein einfacher NanoVNA : Messbrücke (7/7)

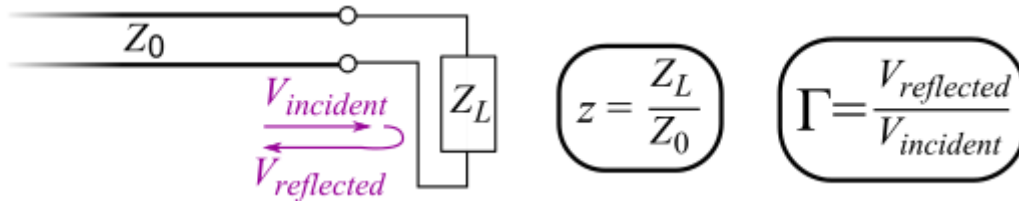
- Beispielmessungen:
  - 200n Induktivität bei 25MHz:
    - Strom ist 90° gegen Spannung verschoben
    - Ch0 Phase ist vor Referenz



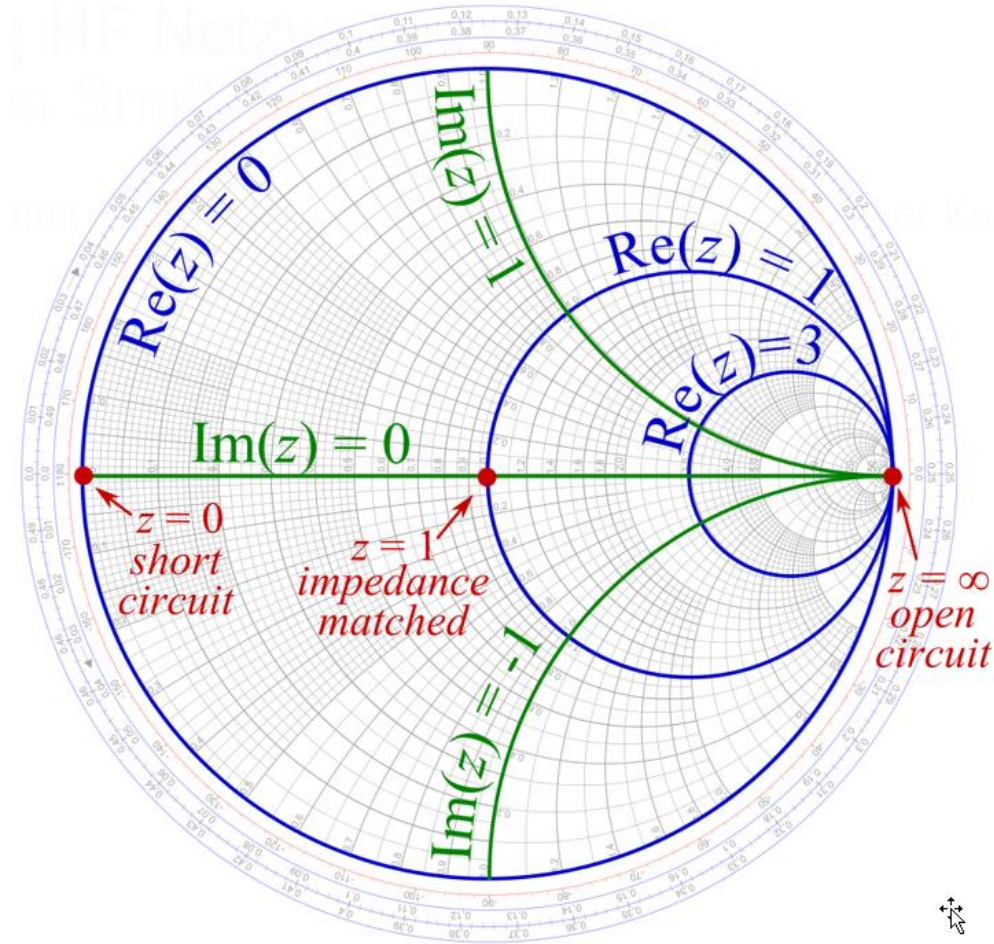
# NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

## Grundlagen Smith Diagramm

- Smith Diagramm: Anzeige von Realteil und Imaginärteil in einer Kurve über Frequenz



- $z=1$  : Bei 50 Ohm Impedanzen : 50 Ohm
- Darstellung der Messung von CH0 : S11 Smith
  - Die Marker Werte werden als R+C/L angezeigt
  - Mit bewegen des Markers ändert sich die Frequenz
- Siehe Wikipedia.de „Smith-Diagramm“



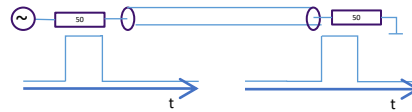
NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

## Wichtige Grundlagen: Eigenschaften einer Leitung 1/2

- Eine Leitung, bei Messungen mit einem VNA meist Koaxialleitungen, hat folgende Eigenschaften:

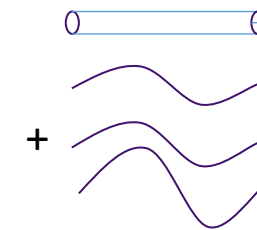
$$Z_0 = \sqrt{\frac{L'}{C'}}$$

- Impedanz  $Z$ , die sich aus Wurzel( $L/C$ ) ergibt.  $L$  und  $C$  für gleiche Länge
- Dabei werden  $L$  und  $C$  meist als Belag, d.h.  $L'$  ( $L / m$ ) und  $C'$  ( $C / m$ ) angenommen
- Auf Leitungen haben Signale Laufzeiten, d.h. eine Änderung des Signals an einem Ende wird erst verzögert am anderen Ende sichtbar.



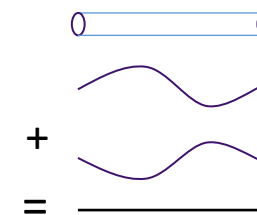
- Wenn die Impedanz der Leitung sich ändert, gibt es Reflektionen:

- Offenes Ende, d.h. Widerstand  $\sim$  unendlich, reflektiert mit Faktor 1, d.h. Signal kommt mit gleichem Pegel zurück



Leitungslänge = Wellenlänge

- Kurz-Geschlossenes Ende, Signal reflektiert mit Faktor -1, d.h. Signal kommt invertiert zurück.



NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

## Wichtige Grundlagen: Eigenschaften einer Leitung 2/2

### • Weitere Leitungseigenschaften:

- Eine Leitung transformiert den Abschluss Widerstand in Abhängigkeit der Leitungslänge zu Wellenlänge
- Ab etwa Leitungslänge  $> 1/10$  Wellenlänge ist das praktisch zu berücksichtigen
- Eine Leitungslänge =  $\frac{1}{4}$  Wellenlänge ( $\lambda$ ) invertiert den Abschluss:
  - Am Eingang einer  $\frac{1}{4}$   $\lambda$  Leitung zeigt sich ein Kurzschluss, wenn die Leitung offen ist.  
-> Für die Frequenz macht die Leitung eine starke Dämpfung
  - Eine am Ende Kurzgeschlossene  $\frac{1}{4}$   $\lambda$  Leitung ist ein hochohmiger Resonator für die Frequenz
- Eine Leitungslänge =  $\frac{1}{2}$  Wellenlänge ( $\lambda$ ) zweigt den Abschluss Widerstand auch am Eingang
- Nur bei einem Abschluss Widerstand mit Leitungsimpedanz  $Z$  ist die Leitungslänge ohne Einfluß
  - Nur der Pegel am Ende der Leitung wird durch die Leitungsämpfung reduziert

### • Wichtig zu Merken: Die Wellenlänge in der Leitung ist kürzer d.h. z.B. bei

- PE fest Kabel Verkürzungsfaktor 0,66 Kapazität 101pF/m z.B.: RG58, RG213, RG174
- PE Schaum Verkürzungsfaktor 0,83 75pF/m : z.B. Aircell
- Teflon (PTFE) fest Verkürzungsfaktor 0,7 95pF/m : z.B. RG178, RG316

# NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

## Kalibrieren eines VNA: warum

- 1. Kalibration direkt am VNA SMA Anschluss:
  - Toleranzen der Bauelemente können über Temperatur und Alterung variieren, auch Frequenzabhängig
    - Wir reden von >60dB, d.h. z.B. für Widerstände  $<1/1000$  entspricht  $<0.1\%$  des Wertes
    - Mit der Kalibration können diese Toleranzen mit der Genauigkeit der Kalibrierelemente behoben werden
  - Viele Bauelemente im VNA sind Frequenzabhängig
    - Wenn wir also für alle Frequenzen eine Grund-Kalibrierung ablegen wollten, würde ein sehr großer Speicher benötigt
    - Im NanoVNA ist auf Speicher 0 eine Kalibrierung abgelegt, die auch verwendet wird, wenn neue Frequenzen gewählt werden. Für eine SWR-Messung mit Port direkt am VNA ist die ausreichend
- 2. Kalibration an einer Messleitung
  - Wenn ein Bauteil vermessen werden soll, kann man nicht immer das Bauteil direkt am VNA anschrauben, sondern verbindet es mit einem Koaxialkabel
    - Ein Kabel hat Transformationseigenschaften wie Laufzeit und Dämpfung.
    - Wenn man die Kalibration mit dem Kabel am Ende des Kabels macht, werden die Eigenschaften des Kabels berücksichtigt
  - -> Es ist immer wichtig ab welchem Punkt die Messung beginnt: Ebene der Kalibration



NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

## Kalibrieren eines VNA: wie, wann

- 1. Ablauf der Kalibration (wenn es ganz genau sein soll, nachdem das Gerät Betriebstemperatur hat):
  - Für S11 Reflektion
    - Frequenzen für Sweep am Gerät auswählen
    - Kalibrieren am Gerät aufrufen, „Reset“ der alte Kalibrierung
    - Open verbinden und open-Kalibrierung anfragen, das Gleiche für Short und Load
  - Ergänzend für Durchgangsmessung
    - (Möglichst) beide Kanäle mit 50 Abschließen und Isolation aufrufen
    - Die Ports über die Messkabel miteinander verbinden (da, wo der Prüfling wäre) und Through aufrufen
  - Wichtig: Die Kalibration wird erst übernommen, wenn auch „Done“ gedrückt wurde.
  - Die Kalibration kann danach zusammen mit der Frequenzwahl in einem Speicher abgelegt werden
  - Wichtig: Wenn man einen neuen Frequenzbereich auswählt, muss man neu kalibrieren

NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

## Leitungseigenschaften ermitteln mit VNA

- Wie kann ich die Eigenschaften einer Leitung ermitteln:
  - Physikalische Länge der Leitung bestimmen
  - Offene Leitung an S11 Port (CH0) anschließen und Kapazität bei niedriger Frequenz ermitteln
  - Frequenz ablesen, an der die offene Leitung als Kurzschluss angezeigt wird
  - Leitung kurzschließen, an S11 Port (CH0) anschließen und Induktivität bei niedriger Frequenz ermitteln
  - Frequenz ablesen, an der die kurzgeschlossene Leitung als offen angezeigt wird (sollte gleiche Frequenz sein)
  - S11 über Frequenz auftragen: Fällt über Frequenz mit Dämpfung für doppelte Leitungslänge
- Mit den Werten ein wenig Rechnen:
  - $Z = \sqrt{L/C}$  von den Werten bei niedriger Frequenz
  - Bei der ermittelten Frequenz ist  $\frac{1}{4}$  Wellenlänge auf der Leitung:  $\frac{1}{4}$  Wellenlänge mit Leitung vergleichen  $\rightarrow$  Verkürzungsfaktor



NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

## Variationen des NanoVNA, Firmware, Software (1/3)

- Technische Daten des NanoVNA
  - Measurement frequency: 50KHz ~ 300MHz (50KHz – 900MHz (1.500GHz), extended firmware)
  - RF output: -13dbm (maximum -9dbm)
  - Measurement range: 70dB (50kHz-300MHz), 60dB (300M-600MHz), 50dB (600M-900MHz)
  - Port SWR: < 1.1
  - Display: 2.8 inch TFT (320 x240)
  - USB interface: USB type-C communication mode: CDC (serial)
  - Power: USB 5V 120mA
  - Number of scanning points: 101 (fixed) Display
  - Tracking: 4 Traces. Marking: 4, Setting Save: 5
  - Frequency error: < 0.5ppm

NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

## Variationen des NanoVNA, Firmware, Software (2/3)

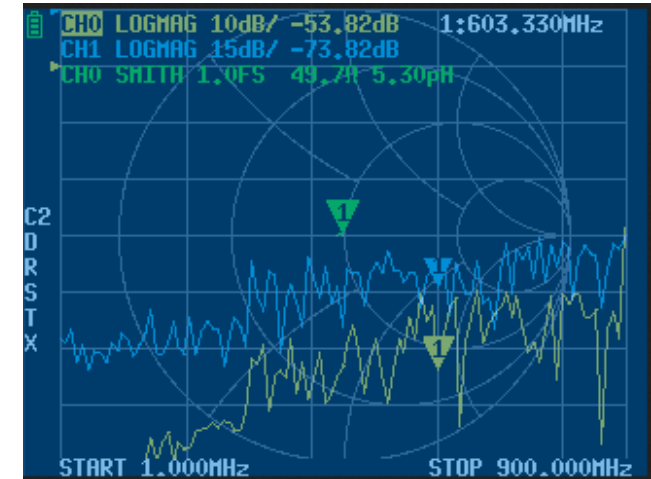
- Ein wenig Historie
  - Der NanoVNA wurde von einem japanischen Funkamateurl entwickelt (edy555)
  - Ein chinesischer Kollege hat die Stromversorgung mit Akku und ein paar andere Änderungen eingeführt (Hugen)
  - Nach einer Beschwerde heißt jetzt seine Version NanoVNA-H
  - Der wurde weiterentwickelt und hat neuerdings auch ein Plastikgehäuse
- Weiterentwicklung
  - Hugen hat schon einige Verbesserungen mitgeteilt bekommen/gefunden um besser bis 1,5GHz messen zu können. Dieses wird in neueren Versionen eingebaut
  - Eine neue Hardware (>1.5GHz) ist in Entwicklung aber wann erhältlich ?
- Firmware
  - Edy555 schreibt auch für NanoVNA : Bildschirm muss neu kalibriert werden
  - Hugen schreibt –H Firmware inzwischen auch mit TDR Funktion
  - QRP (?) Schreibt –Q Firmware
  - Alle nutzen gemeinsame Sourcen auf Github

NanoVNA: Was beachten, welche gibt es

## Variationen des NanoVNA, Firmware, Software (3/3)

- Display Größe

- Hugen und edy55 benutzen den 2.8Zoll Schirm
- Parallel wurde der NanoVNA-F entwickelt mit größerem Bildschirm, ist aber auch anderer Prozessor, andere Displayansteuerung → Firmware nicht so weit wie NanoVNA-H
- Hugen hat eine AA Firmware Version mit größerer Schrift im Programm



- Software

- NanoVNA-Saver : Verwendet nur die Messungen, verwaltet eigene Kalibration, kann mehrfach Messen (Mittelwert) und mehr als 101 Frequenzpunkte verwenden
- NanoVNASharp NOD v3 : (Hugen) kann Bildschirm-Kopien (neue Firmware) und Messwerte auf dem PC darstellen: Bedienung des NanoVNA über den PC

