

## **Telefonprotokoll/ Gesprächsnotizen Prof. Rohde - Michalzik**

### **Vorbemerkung**

Manchmal, wenn ich kurz davor bin, wieder zu viele Dummheiten in Reparaturberichten oder Zeitungsartikeln öffentlich zu verbreiten, ruft mich vorher eine Telefonnummer aus New Jersey an und verhindert dies in letzter Sekunde durch eine korrektive Intensiv-VIP-Vorlesung per Telefon. Der Besitzer dieser Telefonnummer ist kein Geringerer als Prof. Dr. Ulrich L. Rohde himself und hier darf ich Euch mit seiner erteilten Erlaubnis eine Zusammenfassung meiner Gesprächsprotokolle zum Nachlesen anbieten.

Ich muss zugeben, dass ich nicht alles von dem, was ich dann in dieser "Druckbetankung" höre, auch wirklich 100%ig verstehen kann. Aber das sollte auch nicht verwundern, denn von jemandem lernen zu dürfen, der in seiner Kundheit sogar schon einmal mit Werner Heisenberg auf dem Starnberger See segeln war und der Mitinhaber einer der renommiertesten Messgerätefirmen der Welt ist (Rohde & Schwarz natürlich ;-), empfinde ich als ein ganz kostbares Privileg.

Natürlich gibt es für diese Telefonate kein Skript und man wird daher bemerken, dass sich manche Sachen stückweise wiederholen, da auch Prof. Rohde natürlich bestimmte Lieblingsthemen hat. Aber warum auch nicht- durch Wiederholung lernt man und inzwischen weiß ich manche Dinge inzwischen sogar auswendig im Schlaf :-)

Generell gebe ich mir immer maximale Mühe, das von Prof. Rohde vermittelte Wissen während dieser Telefonate zu notieren und auch bestmöglich nachzuarbeiten. Mir ist es wichtig, dass auch der "Lehrer" das Gefühl bekommt, dass die investierte Zeit für Wissensvermittlung in seinen "Schüler" nicht vergebens ist, sondern dort sowohl auf Wertschätzung als auch fruchtbaren Boden fällt. Umso mehr freue ich mich, dieses Wissen hier mit Euch teilen zu dürfen.

Grundlage unserer technischen Gespräche ist oft das Buch "Microwave and Wireless Synthesizers - Theory and Design" in der zweiten Ausgabe. Darauf beziehen sich auch die hier gemachten Bild/Textreferenzen. Ich kann das Buch nur empfehlen; allerdings ist es nicht so leicht wie meine Reparaturberichte zu lesen, sondern hat einen rein wissenschaftlichen Anspruch und ist nur in englischer Sprache verfügbar.

**Marc Michalzik im Januar 2023**

## Mitschrieb-Protokoll Telko Prof. Rohde/ Michalzik #1+#2

(teilweise stichwortartig)

eigene Ergänzungen in blau

### R&S SMDU

Wenn Oszillator ideal ist (Güte->unendlich), dann geht sein Rauschen -> 0.

Der freischwingende Oszillator im SMDU basiert auf FET 2N4416 und Helix-Kreis sehr hoher Güte (mehrere 100). Daher qualitativ sehr sauberes Signal; d.h. nahezu "ideale Rauschkurve". Lediglich einige Zacken durch Mikrofonie und Regelung. Der reine Oszillator (ohne nachgeschaltete Regelung) wäre in der Rauschperformance sicher noch besser. Der 2N4416 ist zudem durch die Restbeschaltung belastet -> Güte sinkt, Rauschen steigt.

Beim Design des SMDU war damals der trägerferne Bereich 10..100kHz entscheidend (Vermeidung von Nachbarkanalstörungen). Merke: damals hatte man 25kHz FM-Kanalraster.

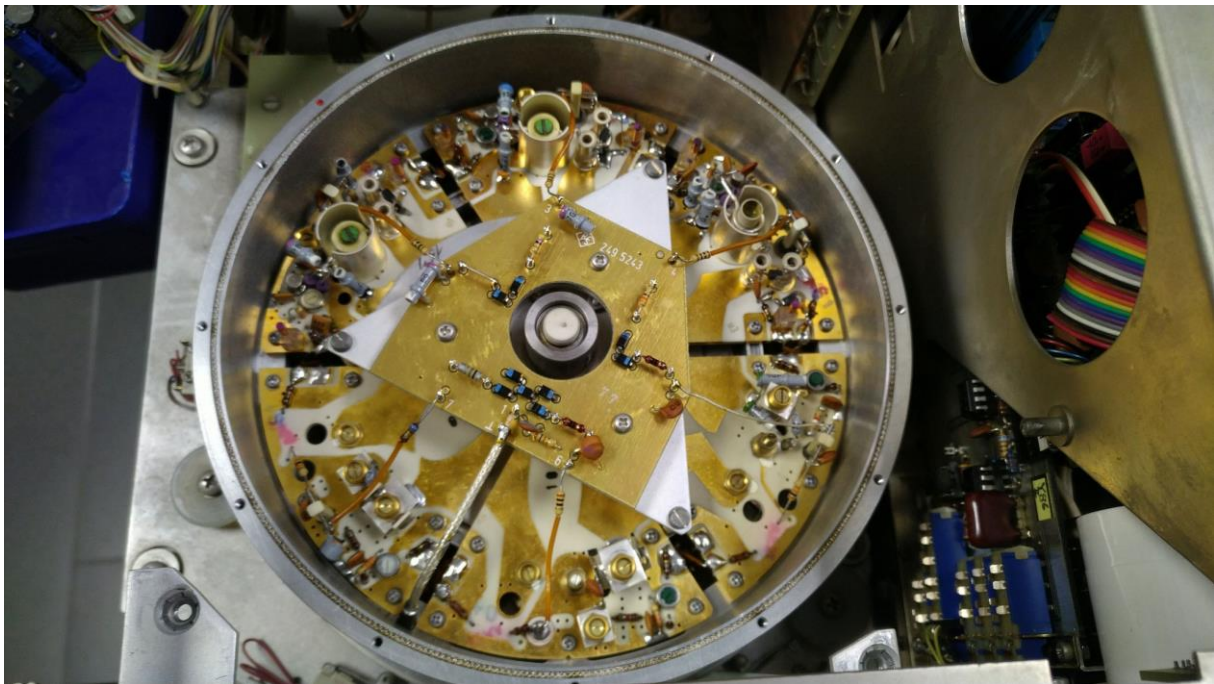


Foto: M.Michalzik, SMDU-Restauration im Frühjahr 2020

Reparaturbericht zum SMDU [hier](#) (99Seiten, 12MB); ich sehe gerade, auf S.18 hatte ich Sie sogar erwähnt. Mit dem heutigen Wissen würde ich aber Vieles anders schreiben. Eins hatte ich aber schon damals korrekt bemerkt:

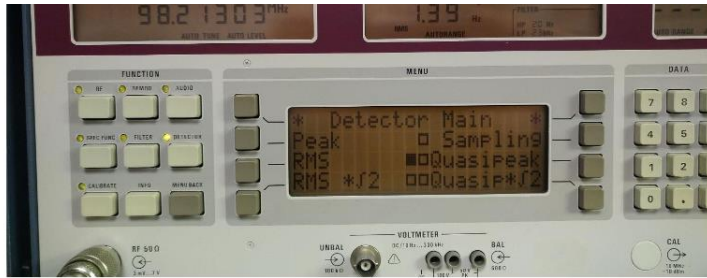


Abbildung 30: mit abgezogener Abstimmspannung ist das SMDU-Signal viel sauberer!

Boah!

Nicht ganz so gut wie der SME03, aber immerhin jetzt fast 30dB besser als vorher!!

Bedeutet: das hohe Rauschen entsteht hier nicht durch die internen Oszillatoren, sondern wird erst von außen durch die Kapazitätsdioden aufmoduliert!

Damit habe ich eine ganz wichtige Erkenntnis gewonnen. Jetzt, wo ich weiß, dass die Störmodulation über die Leitung K101 kommt, kann ich das Signal zurückverfolgen und sein Entstehen analysieren.

Auszug aus meinem Reparaturbericht zum SMDU, S23. Diese Erkenntnis (Pfeil) ist völlig im Einklang mit dem, was Sie sagen, Prof. Rohde!

## Rauschen

Problem: Störbeeinflussung durch nachfolgende Schaltungsteile; abhängig von Systemarchitektur. z.B. durch Amplitudenregelschaltungen (ALC) auf dem Weg zum Signalausgang.

Zwei grundsätzliche Problemstellen, wo Rauschen eingebracht werden kann:

1. Regelspannung für den VCO
2. Versorgungsspannung für den VCO

Weiteres Problem: Sperrschichtkapazitäten des VCO-Transistors werden durch Netzspannung moduliert

Es muss unterschieden werden zwischen

- Mischrauschen (z.B. Miller-Effekt)
- Modulationsrauschen (z.B. durch eine ALC)

Bei einem idealen OSC ist das AM-Rauschen ca. 40dB kleiner als das FM-Rauschen!

Oberhalb 6GHz kann derzeit kein "guter" OSC mehr gebaut werden; das hat technische Gründe (im wesentlichen keine große Spulengüte mehr erreichbar durch mechanische Limitierungen in der Miniaturisierung). Daher sehen aktuelle Konzepte immer nur Frequenzvervielfachungen vor => OSC-Rauschen vervielfacht sich damit aber ebenfalls!

AM-Rauschen hat man oft deswegen, weil die HF die Sperrschichtkapazitäten im OSC-Transistor durchsteuert (ähnlich einer Varaktor-Diode).

### R&S M3TR

RX: 1,5..500MHz

TX: 1,5..80MHz / 20..500MHz

### AEG Telefunken Manpack

Technisches Design in einer eingeschneiten Alpenhütte ;-)

### Anritsu

Neuer Signalgenerator von Anritsu: Performance vergleichbar mit R&S SMA100B

### Dissertation Anica Apter

Empfohlene Lektüre zum R&S SLSV

### R&S SKTU

Die emittierte Rauschleistung ist bestimmt über den Kollektorstrom. Das Instrument zeigt diesen auch an. Problem dieses Gerätes: das Netzteil liefert oft verbrummte Betriebsspannung => Einfluss insbesondere auf den KW-Bereich. Sollte vor dem Einsatz überarbeitet werden!



Foto: Michalzik; Restauration meines R&S SKTU im Jahr 2015. Es wurden umfangreiche Arbeiten vorgenommen; ebenfalls im Netzteil!

Prof. Rohde bevorzugt zur Messung der Rauschbandbreite eher die Methode nach  $\sqrt{4k * T_0 * R}$ .

### Diskussion der Fotos; inkl. FSWP-Fotos (Rauschdiagramme)

**Bild1:** R&S SLSV; Röhren-Signalgenerator mit guter Rauschperformance. Nachteil: Frequenzstabilität

**Bild2:** privater Messturm. HP5061A Cäsium-Normal, darunter SMA100B, dann SMDU mit Z-1l. Rechts daneben (unbekannt), dann SMU200, CMTA54/84(?), Test Receiver ESVS(?)

**Bild3:** PN SMDU bei 100MHz. Saubere Rauschkurve, AM-Rauschen liegt immer sauber unterhalb PN-Kurve. Einige Zacken durch Mikrofone, Regelung.

**Bild4:** SMA100B bei 100MHz. PN zwar sehr gering, allerdings deutlich höheres AM-Rauschen => nicht gut. Siehe Bemerkung oben: rein physikalisch ist AM-Rauschen 40dB geringer als FM-Rauschen => negativer Einfluss der Architektur des SMA100B!

**Bild5:** der Vorgänger SMA100A (100MHz): ältere Technik, aber AM-Rauschen im trägernahen Bereich immerhin deutlich unter PN-Kurve (gut).

**Bild6:** SMBV100 (100MHz): recht gutes Ergebnis. Dabei bedenken: SMBV ist ein Vektor-Generator, der nicht auf Rauscharm getrimmt wurde, sondern auf die Möglichkeit, auch schnelle Frequenz/Amplitudensprünge zu machen. Das ist notwendig, denn dadurch kann er jede beliebige Modulationsart erzeugen, die mathematisch beschrieben werden kann.

**Bild7:** dito; 1296MHz. AM-Rauschen wie zuvor, allerdings PN deutlich größer.

**Bild8:** Vergleich dazu SMA100B (1296MHz): besser dimensioniert als SMBV bei 1296MHz

**Bild9:** SMA100B, 8GHz: bei hohen Frequenzen (weitab vom Träger) dominiert das PN. Insgesamt nicht schlecht für eine so hohe Signalfrequenz.

## Mitschrieb-Protokoll Telko Prof. Rohde/ Michalzik #3

(stichwortartig)

Anmerkungen Michalzik in blau

### Microwave and Wireless Synthesizers

Arbeitsanteil von Jerry C. Whitaker waren primär redaktionelle Arbeiten

#### SMDU und HP8640B

- SMDU war direktes Konkurrenzprodukt zum HP8640
- Rauschperformance zwischen beiden ähnlich; SMDU allerdings universeller
- Motivation der Rauschperformance: Nachbarkanalleistungs-Messungen im 25kHz-Raster
- daher dahingehend auch optimiert

#### SMDU Oszillator (Helix-Resonator)

- benutzer Transistor: 2N4416 (FET) mit starker DC-Gegenkopplung
- beim Helix-Resonator gilt nicht die Thompsonsche Schwingungsformel!
- es gilt *tanhyp*-Funktion (hyperbolicus-Anteil repräsentieren die Verluste)
- bei schlechter Güte näher sich die tanhyp-Funktion der normalen LC-Formel an

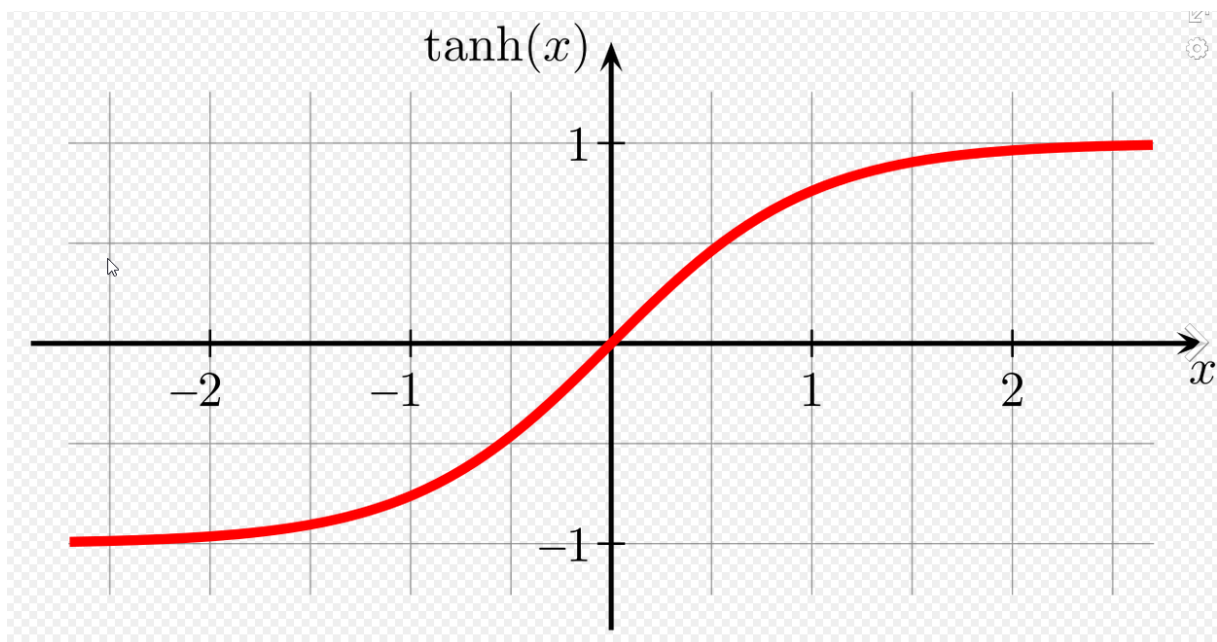


Abbildung 1: tanhyp-Funktion (Quelle: wikipedia.org)

- die Anforderung "SMDU muss FM-modulierbar sein" zwingt zum Einsatz von Kapazitätsdioden
- diese verschlechtern jedoch die Betriebsgüte auf  $Q \approx 70$
- zusätzlich bringen sie Rauschen in den Oszillatorkreis
- Rauschwiderstand einer Diode:  $\sqrt{4kT_0 \cdot R \cdot \Delta f}$
- Abstimm-diode hat geringen Leckstrom
- der Vorwiderstand der Abstimm-diode (meist Größenordnung von 100kOhm) rauscht dann!
- Leeson-Formel: => siehe dazu auch Beitrag von Jörn Bartels, [www.bartelsos.de](http://www.bartelsos.de) DK7JB
- SMDU besitzt quasi kaum AM-Rauschen (Grund: Designarchitektur)
- Foto eines Oszillator-Segments des SMDU, siehe Buch figure A-21 (S. 594)



thematische Ergänzung Michalzik: Foto aus meinem eigenen SMDU:



Abbildung 2: Oszillatorsegment aus R&S SMDU (Foto: Michalzik)

### Designarchitektur moderner Synthesizer

- Grundlage: Buch, figure 5-87b (S.538)
- Kombination aus DDS und nachfolgender Teilung
- beim DDS: hohe Präzision beim Nulldurchgang erforderlich, das geht nur mit hohem Strom
- je steilere Schaltflanken, desto besser

### Endstufen

- aktuelle Situation: Industrie legt Augenmerk fast ausschließlich auf gute Empfänger-Performance (z.B. IMD, BDR, etc.), verliert dabei aber den Sender aus den Augen
- Sender-Endstufen liefern im Zweitontest oft nur magere 30...34dB
- hier sollte in Zukunft mehr nachgebessert werden
- positives Beispiel: alte Collins-Endstufen! (IMD typ. 46dB!)

Ergänzung Michalzik:

Kann ich aus meinen eigenen Messungen für die CD-DL absolut bestätigen! Bislang hat es bei mir noch kein einziger Sender auf  $\text{IMD} \geq 40\text{dB}$  gebracht!

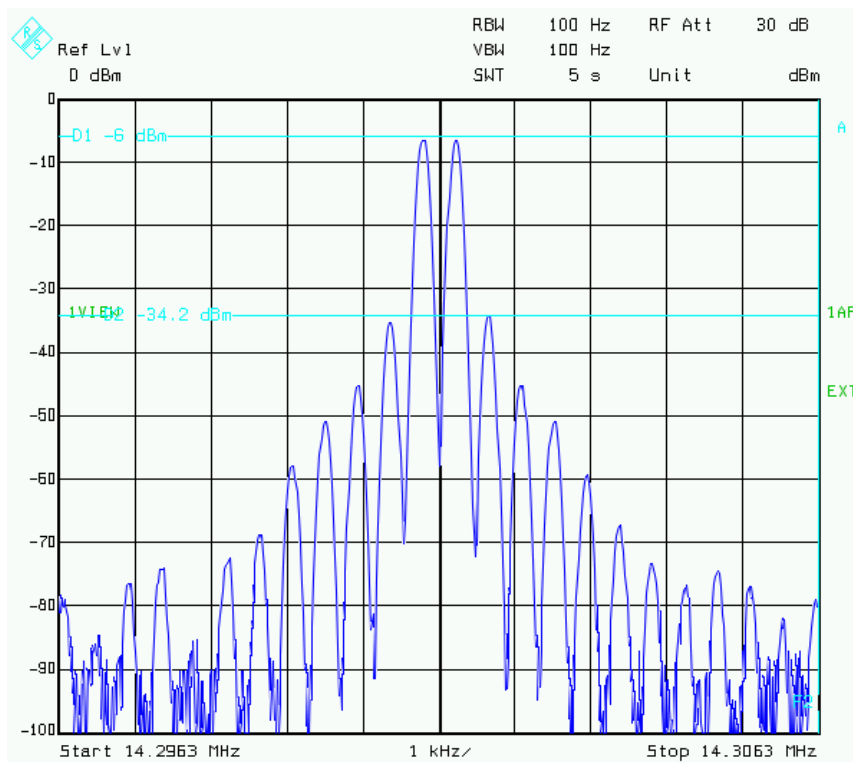


Abbildung 3: Beispiel 2Ton-Intermodulation am Sender, Kenwood TS-890; hier IMD=ca. 34dB

### Quarzoszillator Dissertation

- Hersteller sagen:  $P_{\max}=50\mu\text{W}$  für einen Schwingquarz, wenn er performant laufen soll
- erfolgreiche Schaltung entwickelt mit  $P=5\mu\text{W}$  (!)

### Phasenrauschen Normierungsproblem

- Phasenrauschen wurde in der Vergangenheit immer auf 1Hz bezogen (Leistungsdichte)
- Problem: bei sehr trägernahen Messungen ( $\Delta f < 1\text{Hz}$ ) ergibt sich dadurch eine Leistung größer als der Träger selbst => math. Korrektur notwendig!

### zukünftige Technologien

- aktuelle Betriebsgrenze für Transistortechnik ca. 150GHz
- Grund: Strukturgröße ist begrenzt; Miniaturisierung hat physikalische Grenzen
- Lösung: möglicherweise Photonik; d.h. Erzeugung von Signalen mittels Überlagerung zweier Laser
- aktuell ebenfalls ein Problem: Eigenresonanzen in HF-Steckverbindern (z.B. bei  $f=86\text{GHz}$ )
- die nächste Generation von DDS-Generatoren wird vermutlich in Richtung "Vektor-Generatoren" gehen
- damit beide Vorteile kombinierbar: geringes Phasenrauschen UND flexible Modulation
- 

### Röhren-Oszillatordesigns

- alte Collins-Empfänger sehr hochwertig
- mit Röhrentechnik teilweise -146dBc @1kHz Phasenrauschen!
- hohes S/N durch hohe Betriebsspannungen
- daher konzeptioneller Vorteil von Röhrenschaltungen gegenüber Transistortechnik



### **nächste Projekte Michalzik**

- aktuell Kapazitäts- und Induktivitätsmessgeräte der LARU/KARU bzw. KRT/LRT-Serie
- hohe Spulengüte wird erreicht, wenn Magnetfeld möglichst im Kern konzentriert werden kann
- das gilt, wenn Spule mindestens 3..4x so lang ist wie der Drahtdurchmesser