

1 Einleitung

Jetzt bitte nur kein Neid, wenn ich über die Reparatur meines neuesten Gerätes schreibe: einen waschechten Rohde&Schwarz SME03; ein HF-Synthesizer der derzeit vorletzten Generation mit einem Frequenzbereich von 5kHz..3GHz.

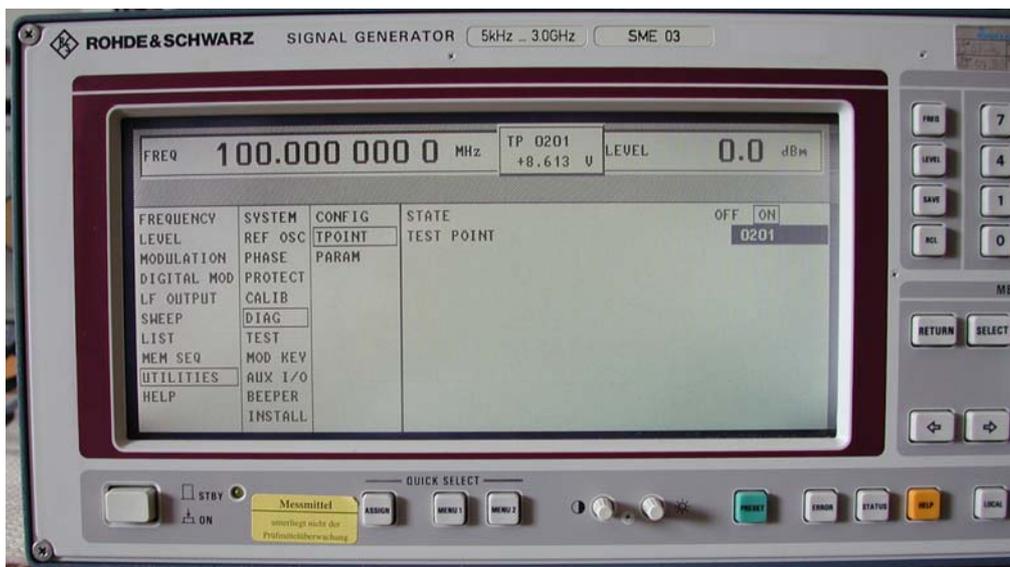


Abbildung 1: Rohde&Schwarz SME03

Selbstverständlich ist dieses dicke Schätzchen ordentlich defekt, denn sonst kann sich ein normalsterblicher Privatmann wie ich solch eine EMV-Schleuder sicher nicht leisten. Aber selbst in defektem Zustand ist noch eine dicke Portion Glück notwendig, um letztendlich seine Grabbelpatscher behutsam auf's Gehäuse legen und einen Erleichterungsseufzer "MEINS!" ausstoßen zu können.

Mir jedenfalls war das Glück diesmal ordentlich hold, und so kam ich in den Dunstkreis dieses feinen Geräthens, das ich als Funkamateurliebhaber und Messplatzfetischist natürlich mit einem besonders warmen "Hallo!" begrüßen durfte. Der SME seinerseits erwiderte diesen Gruß mit einer spontanen Fehlermeldung 330, 172 und 110.

Und es kommt noch schlimmer: das Service-Manual liegt Geräten dieses Großwildkalibers NICHT mehr automatisch bei! Klar- wer repariert denn solche HF-Fernseher noch selber, aber, liebe R&S-Projektleiter, es gibt sie tatsächlich noch: Elektronikbastler, die leidenschaftlich gern in solchen Dosen mit einem LötKolben herumrühren, sich von der tollen Technik faszinieren lassen und hin und wieder auch einmal was repariert kriegen! Also für Leute wie mich solltet ihr doch bitte in Zukunft solche Manuals wieder standardmäßig beilegen, denn ohne die wird es so richtig fies schwer, wenn nicht sogar unmöglich und ich muss dauernd eure Kumpels vom R&S-Service nerven, damit die mir irgendwelche Schaltbilder schicken! Also dann doch lieber gleich mit dazu, ok? Danke!!!

Der SME ist im Prinzip ein kleiner Computer mit protzigem LCD-Bildschirm, der "nebenbei" auch noch HF macht. Die Eichleitung ist zwar leider noch immer als mechanisches Modell ausgeführt, aber dafür kann man diese Gerätegeneration sowas von saugeil kalibrieren, dass man den R&S-Entwicklern einfach nur verzückt und laut sabbernd die Füße küssen möchte! Man gleicht einen SME nicht mehr mit Schraubendreher und Abgleichbesteck ab, sondern elegant mit dem Drehknopf im entsprechenden Service-Menü! Und zu allem Überfluss kann man hier sogar richtige Kalibrierkurven generieren; z.B. kann man sich stundenlang mit einer Präzisions-Frequenzgangskorrektur für den Ausgangspegel mit einer Auflösung von 1/100tel dB beschäftigen- also genau das Richtige für mich und meinen Genauigkeitsfimmel! :-)

Aber beginnen wir damit, unseren neuen HF-Liebling etwas näher kennen zu lernen. Diese Beziehung läuft schon von Beginn an anders ab als gewöhnlich, denn das fehlende Service-Manual lädt zum heftigen Improvisieren ein! Beheben wir also zuerst das Offensichtliche: Fehlermeldung 330 erzählt etwas von einer defekten Batterie auf einer Speichererweiterungskarte. Glücklicherweise kennt der SME seine Fehlercodes auch ohne Handbuch selbst und gibt sie im ERROR-Menü als entsprechende Hinweise in Klartext aus.

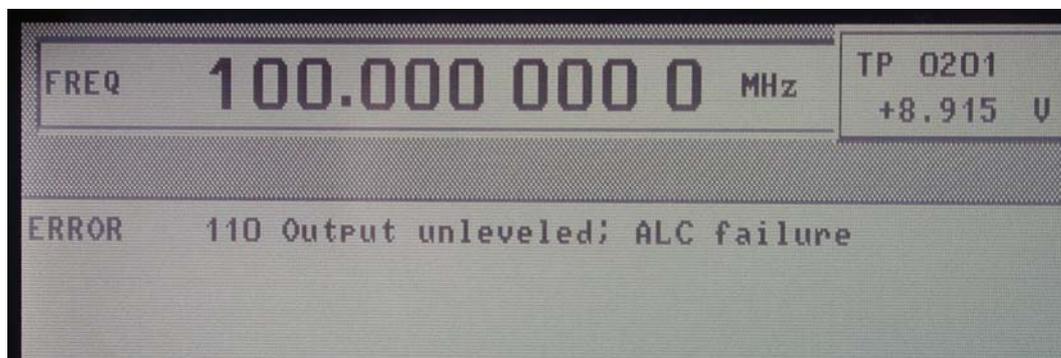


Abbildung 2: einer von drei Fehlern...

2 Erster Fehler

Endlich ein Grund, die Kiste auseinanderzunehmen! Die neuen R&S-Gehäuse kann man ganz hervorragend "knacken", und auch die mechanische Verriegelung gegen ein unbeabsichtigtes Herausrutschen der einzelnen Baugruppen ist wieder hervorragend gelöst (ich kenne dieses Konzept bereits aus meinem CMT). Schnell fällt mir die bewusste Erweiterungskarte auf (von der ich hoffentlich auch noch einmal herauskriege, WAS genau sie erweitert??). Sie ist fix herausgezogen und die Messung mit dem Multimeter bestätigt, dass da "null Saft" auf der Batterie ist. Als routinierter Messgerätefan hat man natürlich immer entsprechenden Ersatz in der Bastelkiste, so dass die Reparatur auch prompt erfolgen kann. Das Einspeisen einer externen Hilfsspannung in die Batteriekontakte -zur Aufrechterhaltung des RAM-Inhalts während des Batteriewechsels- entfällt hier, denn mit exakt 0,0V sind die Daten (wenn da jemals welche drin waren) eh schon lange verloren. Also raus das Ding, neue Lithiumbatterie rein; mit einer Kabelstrapse fachgerecht festgezurt und die Batteriespannung kontrolliert. Etwas mehr als 3,6V, das geht in Ordnung.



Abbildung 3: Lithium-Batterie leer

Die SME-Begrüßung beim nächsten Einschalten wird nun schon etwas herzlicher, denn die Batteriewarmmeldung gehört ab sofort der Vergangenheit an. Auch der Selbsttest bestätigt: Batteriewechsel erfolgreich. Prima, das ging doch leicht!

Aber schon die nächste Meldung bereitet mehr Sorge: ein 100MHz VCXO sei nicht gelockt und die ALC für die Pegelregelung sei "unleveled". Ohje, nun komme ich ohne Manual nicht mehr weiter. Der R&S-Service muss nun helfen, sonst findet mein SME-Vergnügen ein abruptes Ende, noch ehe es richtig begonnen hat.

2.1 erster Kontakt zum R&S-Service

Das Computerzeitalter ist schon echt praktisch. Mit ein paar Mausklicks kann man dem Rohde&Schwarz-Service eine zaghafte email schreiben und vorsichtig auf Hilfe hoffen. Und prompt meldet sich tags drauf auch ein Mitarbeiter, der mir als "Begrüßungsge-schenk" erst einmal einen kostenlosen Download des Betriebshandbuches als PDF-File sowie ein aktuelles Firmware-Updatefile schenkt. Na, wenn das nicht toff ist!

Leider wird es mit dem Service-Handbuch nicht ganz so leicht: aufgrund der verschiedenen SW-Versionen und Leiterplattenstände, die in der SME-Baureihe entwickelt wurden, müsse das Manual auf Kundenwunsch hin individuell zusammengestellt werden. Ohje, das riecht förmlich nach Bergen von Euronen- und so war es dann leider auch. Wenn Sie nun den Preis wissen wollen, dann fragen Sie den R&S-Service doch bitte selber; ich sage nur so viel: das entstehende Vakuum hätte meine Bastelkasse ruckartig implodieren lassen.

Trotzdem zeigte der Service erneut Her(t)z und schickte mir auf meine wohlformulierte Bitte hin das Blockschaltbild zum SME, aus dem man mit etwas detektivischer Kleinarbeit immerhin eine Menge für die Fehlersuche ableiten kann! An dieser Stelle sei noch einmal vielen Dank an den R&S-Service gerichtet, ohne dieses Schaltbild wäre die Reparatur wohl heftigst in die Hose gegangen.

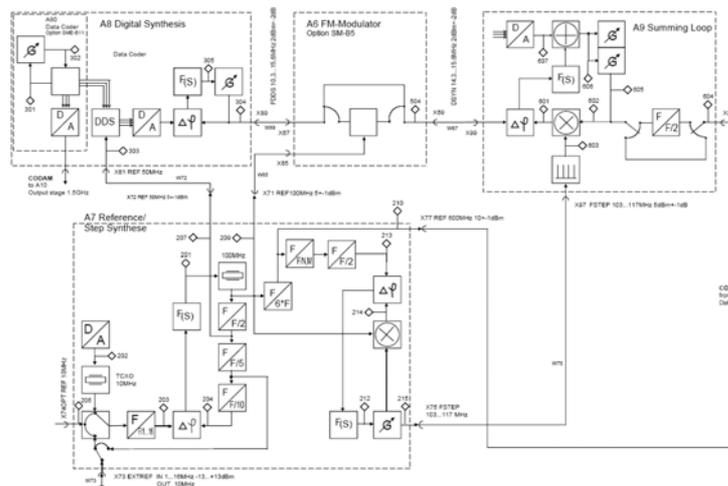


Abbildung 4: Auszug Blockdiagramm SME03

3 Zweiter Fehler

Sehr lobenswert an diesem Bockschaltbild ist es, dass dort die gesamten Schnittstellen zwischen den einzelnen Baugruppen beschriftet und sogar Frequenzen und Pegel (inkl. Toleranz!) angegeben sind. Es zeigte sich, dass sich die Fehlermeldung zum 100MHz-VCXO auf einen wichtigen Kernteil der Referenzfrequenzerzeugung bezieht. Wenn hier nichts läuft, läuft auch der Rest des Gerätes unsynchronisiert und frei herum! Die 100MHz werden mit einer PLL aus einer 10MHz Referenzfrequenz gewonnen. Zusätzlich kann diese Referenz auch extern zugeführt werden, was man in einem fröhlich piepsenden Untermenü umschalten kann.

Überlegen wir also nun erst einmal, was alles den 100MHz-VCXO aus dem Tritt werfen kann (so lautete ja die Fehlermeldung). Zuerst braucht das Ding eine Betriebsspannung. OK, da der Rest des Gerätes läuft und bedienbar ist, vermute ich, dass diese vorhanden ist. Prüfen wird eh schwer ohne Schaltplan, denn ich erkenne keine beschrifteten Messpunkte auf dem Mainboard.

Dann benötigt die PLL die 10MHz aus der Referenzfrequenzerzeugung. Da zeigt mir das Blockschaltbild, wo ich suchen muss. Also, messen wir da gleich mal dran herum.

Die Referenz von 10MHz gelangt über die Buchse X74 in die Baugruppe "A7 Reference/Step Synthese". Also abgezogen das Kabel und gemessen, was die 10MHz-Referenz liefert: NIX! Aha!?!?!?

Jedenfalls nix Sinnvolles; man erhält nur ein verwarztes Signal, das ich noch nicht einmal richtig mit dem Frequenzzähler zählen kann. Dementsprechend reagiert auch die 100MHz-PLL: mit Müll am Eingang kommt auch nur Müll am Ausgang heraus und das merkt der schlaue Rechner im SME. Dementsprechend wackelt die PLL-Steuerspannung (messbar am Testpunkt 201 im internen SME-Testmenü!) zwischen -13V DC und +13V DC herum.

Schaltet man nun den SME auf ext. Referenz um und speist ihm an der Rückwand saubere 10MHz ein, so rastet die PLL sofort, der Sender liefert prompt ein sauberes Ausgangssignal und die PLL-Regelspannung kommt irgendwo bei +8,5V (Zustand: kalt) bis +9,4V (Zustand: warm) zum Stehen. Die Fehlermeldung über einen nicht gelock-ten 100MHz VCXO verschwindet und der SME surrt zufrieden vor sich hin.



Abbildung 5: 10MHz extern eingespeist

Die Gegenprobe (Zurückschalten auf int. Referenz) zaubert wieder den alten Fehler hervor: -13V DC als PLL-Regelspannung, eine ausgerastete 100MHz-PLL und Müll am Senderausgang.

Es erhärtet sich also: mit der internen Referenzfrequenz (R&S-Nr. 1036.7618.02), hier sogar als temperaturgeregelter Nachrüst-Option ausgeführt, scheint irgendetwas nicht zu stimmen. Selbstverständlich fehlen mir auch für diese Baugruppe die Unterlagen. Grmpf.

Aber auch ohne Papier kommt man hier mit einem bisschen Grips weiter: ich speise zuerst die benötigten 10MHz in Buchse X74 manuell durch einen weiteren Messsender ein. Vorher bestimme ich mit einem HF-Voltmeter den HF-Pegel, der die 10MHz-Referenz so üblicherweise verlässt. Dabei stelle ich fest, dass man durch Wackeln am HF-Anschlusskabel W74 wieder spontan Bekanntschaft mit dem -weiter oben beschriebenen- "verwarzten Signal" machen kann! Sollte hier ein Wackelkontakt den ganzen SME03 aus dem Tritt bringen?!? Es scheint jedenfalls so, denn wenn ich das Ausgangssignal der 10MHz-Referenz auf dem Oszilloskop anschau und an der SMC-Steckverbindung der Baugruppe wackele, bricht das Signal kurzzeitig ein; man erreicht sogar einen Zustand, in dem nur noch das "verwarzte" Signal messbar ist.

Ich suchte also eine Stelle "außerhalb" des Wackelkontaktes und las in meinem URV35 mit 10V-Tastkopf etwa +9,5dBm (an 50 Ohm) ab. Das erschien mir plausibel.

Nun wusste ich also den benötigten Pegel und speiste mit dem Messsender ein: 10,000 000MHz, +9,5dBm unmoduliert in A9/X74. Zur gleichzeitigen Kontrolle über den Zustand der 100MHz-VCXO-PLL dienen mir folgende Indikatoren:

1. Das Ausrasten des 100MHz-VCXOs; zu beobachten durch Anzeige im ERROR-Menü des SME03.
2. Die PLL-Regelspannung des 100MHz-VXCOs; durch Anzeige im Test-Menü: TP201
3. Anschluss eines Frequenzzählers an X71. Hier sollten exakt 100,000000 MHz zu messen sein (PLL gelockt)

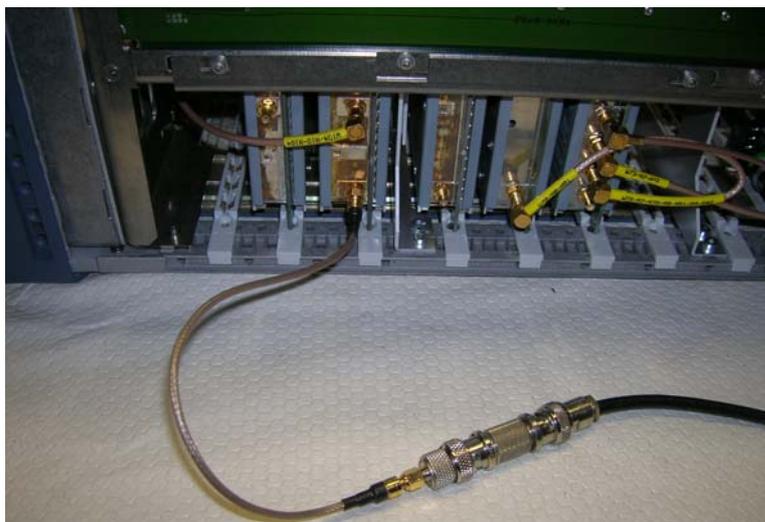


Abbildung 6: Anschluss an X71 (100MHz out)

Hinweis:

Über X71 wird normalerweise der FM-Modulatoreinschub SM-B5 mit 100MHz versorgt. Bei mir fehlt die Option leider; dadurch ist die Buchse aber frei und kann mir als Messpunkt für den Frequenzzähler dienen.

Mit angeschlossenem Messsender (10,000000MHz, +9,5dBm) beobachte ich Folgendes:

1. Die 100MHz-PLL rastet korrekt, wenn 10,000000MHz eingespeist wird. In diesem Zustand verschwinden sämtliche Fehlermeldungen und der SME03 arbeitet korrekt!
2. Die PLL lockt bereits ab einem HF-Pegel von -17dBm!
3. Wenn man die Frequenz des Messsenders variiert, so bemerkt man ein Nachregeln der 100MHz-PLL (lässt auf korrekte Funktion schließen). Sie rastet aus bei:

a) nach unten: 9,999726 MHz (Regelspannung = ca. -12,60 V DC)

b) nach oben: 10,000131 MHz (Regelspannung = ca. +12,96 V DC)

Aha! Der Fangbereich der PLL ist also sau-eng! Hammer, hier scheint man extrem hohe Anforderungen an die Referenzfrequenz zu stellen; das macht bei einem 3GHz-Sender mit bis zu 0,1Hz Frequenzauflösung allerdings auch Sinn! Die 10MHz-Referenz muss also stets in den Grenzen von +131/-274Hz absolut in der Frequenz stimmen, sonst rastet der 100MHz-VCXO nicht mehr ein!!!

Und genau dieses Verhalten beobachte ich. Wenn ich die interne SME03-Referenz aus einem Kaltstart heraus in Betrieb nehme, so beginnt sie, außerhalb des PLL-Fangbereiches zu arbeiten! Die PLL-Regelspannung versucht zwar ihr Bestes, indem sie gegen den Endanschlag fährt; das reicht aber noch nicht zum Rasten aus. Diesen Zustand signalisiert die PLL an den Mikroprozessor und der gibt die Fehlermeldung "172 Ref Freq VCXO unlocked 100MHz" aus. Alte Sau, jetzt hab' ich Dich!!!

Ich bemühte mich also um ein wenig Klarheit bezüglich des Einlaufverhaltens der 10MHz-Referenz. Dazu zog ich dem SME03 den "Stecker raus", wartete einen Tag und schaltete ihn dann erst wieder ein. Mit Stoppuhr und (warmgelaufenem!) Frequenzzähler nahm ich den Einschwingvorgang auf:

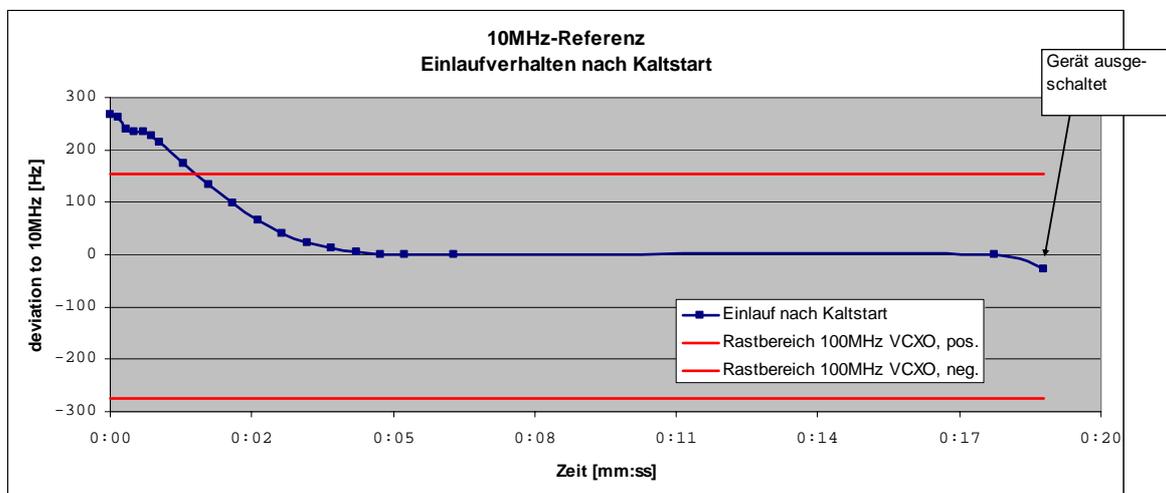


Abbildung 7: Einlaufverhalten int. 10MHz-Referenz

HUCH?

Ich beobachte ein Phänomen, das ich mir bislang nicht erklären kann. Misst man die Ausgangsfrequenz der 10MHz-Referenz, so beträgt sie

- a) im Standby: 9,999 968 MHz
- b) im Operate: 9,999 9995 MHz. (Spannung an TP201: ca. 8,6V DC)

Wieder zurück in den Standby: 9, 999 968MHz. Das kann man beliebig oft reproduzieren: sobald man das Gerät einschaltet, erhöht sich die Referenzfrequenz um 27Hz. Warum?!?!? Erst später mit vorliegendem Schaltplan werde ich herausfinden, daß während des Betriebs des Gerätes die Abstimmspannung von einem DA-Wandler erzeugt wird, der eben erst dann bestromt wird, wenn das Gerät eingeschaltet wird. Geht der SME03 wieder zurück in den Standby, sinkt die Abstimmspannung wieder auf 0V und der Quarzoszillator geht in seine "Ruhe-lage". Mit hoher Wahrscheinlichkeit ist dieses Verhalten also normal.

Weiter zum Diagramm:

Wir sehen, dass die Referenz einen negativen Temperaturkoeffizienten hat; d.h. dass die Ausgangsfrequenz mit zunehmender Temperatur (= aufheizen!) sinkt. In Rekordzeit von etwa 5 Minuten erreicht er seine Sollfrequenz, die er dann auch vorbildlich aufrecht erhält. Nur ca. 2 Minuten nach Erstkontaktierung mit dem 230V-Netz tritt die 10MHz-Referenz in den Fangbereich der 100MHz-VCXO-PLL ein. Danach verschwindet auch die Fehlermeldung 172. (Der PLL-Fangbereich ist hier in ROT eingezeichnet).

Wir erkennen aber auch gleichzeitig: wenn man den Fangbereich insgesamt etwas nach oben schieben würde (= ca. 150Hz zu höheren Frequenzen hin), dann würde man erreichen, dass die PLL schon sofort nach dem Einschalten im Kaltzustand rasten würde und die un hübsche Fehlermeldung ausbliebe. Da ich aber momentan nicht weiß, wie ich den Fangbereich des 100MHz-VCXOs justiere, lasse ich die Finger davon und begnüge mich damit, dass ich das Verhalten hinreichend verlässlich durchdrungen habe und alle meine Beobachtungen gründlich erklären kann. Wichtig ist, dass hier nix kaputt ist, sondern wir es hier vermutlich mit einem alterungsbedingten Effekt zu tun haben: man würde ihn schlicht und einfach "wegkalibrieren" können. Damit begnüge ich mich erst einmal.

Es ist doch schon erstaunlich, was man aus einem bloßen Blockschaltbild schon alles an Informationen ableiten kann. Trotzdem bleiben folgende Fragen, die ich hoffentlich irgendwann einmal später werde klären können:

1. Ist der Driftbereich der 10MHz-Referenz so ok? (=>Kaltstart-Anfangsfrequenz)
2. Ist der Fangbereich des 100MHz VCXOs so ok? Ist es gewollt, dass der Fangbereich so unsymmetrisch zur Sollfrequenz liegt (+131Hz, aber -274Hz)?
3. Wie kalibriert man diese Baugruppe?
4. Ist der Ausgangspegel von +9,5dBm an 50Ohm so korrekt?

Zu 4) kann ich schon vorgreifen: ja! Der Sollpegel liegt bei +7,5dBm +/- 1,5dB!

HINWEIS:

die Untersuchungen mit Frequenzzähler und HF-Generator unternimmt man am besten, wenn alle Geräte an einer gemeinsamen Referenzfrequenz angebunden sind. Sonst können sich Frequenzablagen ergeben, und man sieht u.U. nicht, ob ein gemessener Frequenzunterschied durch unterschiedliche Zeitbasen der Messgeräte oder durch eine ausgerastete PLL des SME03 resultieren.

3.1 Kalibrierung 10MHz-Referenz

Weil die SME03-Referenz nach Aussage meines Rubidiumnormals doch glatte 5 Hz neben der Frequenz liegt, musste ich das natürlich sofort nach-justieren. Dazu kann man im UTILITIES-Menü unter CALIB die Systemreferenz nachgleichen. Einfach den Eintrag selektieren, vom Menükopf her verstellen und dabei die Ausgangsfrequenz der Referenz messen. Bei mir war das Verstimmen des Kalibrierwertes von 1116 auf 1448 (dezimal) notwendig. Damit das anschließende Abspeichern aber auch erfolgreich ist, muss man vorher das Ebene2-Passwort eingegeben haben. Das hört sich jetzt fast an wie "Raumschiff Enterprise", ist aber wirklich so: ohne Zugangscodes läuft hier nichts!

Jubel: über hier nicht öffentlich genannte Wege erlangte ich Kenntnis davon! Bitte fragt mich jetzt aber nicht danach, ich weiß nicht, wie sensibel die R&S-Jungs auf die Herausgabe dieser Informationen reagieren würden, daher müsst ihr bitte selber beim R&S-Service anrufen und nachfragen oder im Service-Manual nachgucken (kleine Hilfe: in der Option „OCXO“ des Service-Manuals steht's drin). Fair genug für alle?

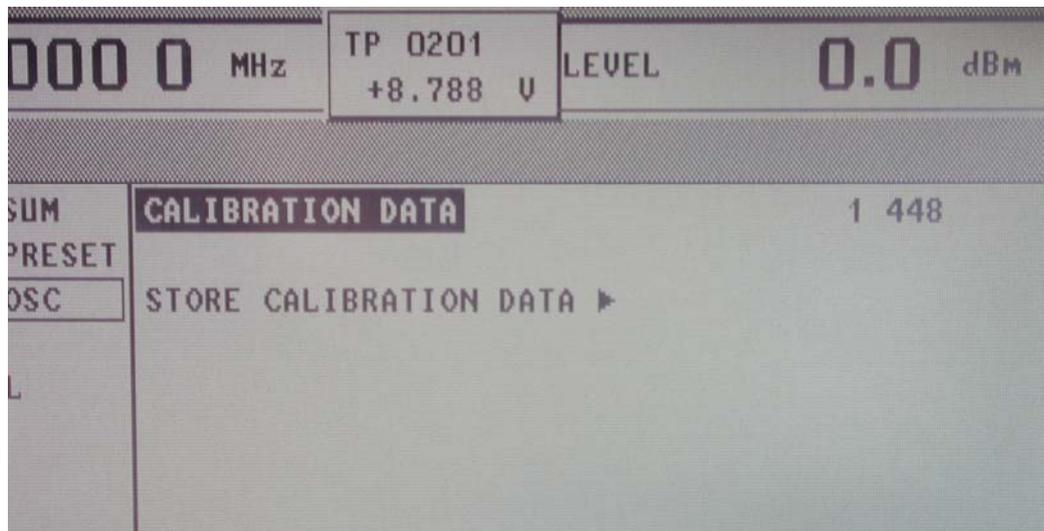


Abbildung 8: Kalibrierwert der 10MHz-Referenz

Nach Eingabe des Level2-Passworts jedenfalls kann man den geänderten Kalibrierwert der 10MHz-Referenz auch persistent im Flash speichern. Mein Eindruck ist, dass die Referenz läuft wie ein Uhrwerk. Solange man sie nicht vom Netz trennt, sondern auf Standby mit durchlaufen lässt, steht die Ausgangsfrequenz wie eine eins. Ich habe bislang nur wenige Referenzoszillatoren gesehen, die so stabil laufen. Die alten SMPU-Referenzen zum Beispiel, die meines Takeda-Riken Mikrowellenzählers TR5212 (für den ich übrigens noch immer das kaputt geblasene 18GHz HF-Frontend suche; hat das jemand???) oder die alten HP5245L-Zähler sind mit dieser Performance vergleichbar. Nicht schlecht, also.

NEBENBEI BEMERKT

Während meiner Versuche bemerke ich, dass sich der Fehler "110 ALC failure, output unlevelled" immer seltener zeigt. Formiert sich hier durch den Betrieb wieder ein Elko gesund (der SME03 hat vor seiner Verschrottung vermutlich sehr lange unbenutzt herumgestanden) oder war das nur ein Folgefehler der wackelkontaktigen 10MHz-Referenz? Noch eine Frage auf meiner Liste, die ich derzeit nicht beantworten kann.

3.2 Zwischenstand

Ich habe mir nun ein paar Tage Zeit gelassen, die auftretenden Effekte und Verhaltensweisen des SME03 in Ruhe zu verfolgen und mir daher mehr Sicherheit über die Richtigkeit meiner Schlussfolgerungen zu erarbeiten. Nach etwas mehr als einer Woche ist für mich nun klar, dass der "100MHz-VCXO-rastet-nicht"-Fehler mit dem Kaltstart-Einschwingen der 10MHz-Referenz unmittelbar zusammenhängt. Ist die Referenz erst einmal eingelaufen, hält sich die Abstimmspannung konstant bei um die 8..9V. Ein Ausrasten habe ich in warmem Betrieb nie beobachtet. Und auch die Kontaktschwierigkeiten der 10MHz-Referenz sind behoben: offensichtlich haben sich durch das viele Herumwackeln einige Oxidschichten gelöst und geben wieder guten Kontakt, Na also, ein weiterer Fehler behoben!



Abbildung 9: SME03 im Testlauf

4 Dritter Fehler

Wir wenden uns nun dem dritten Fehler zu: hier reden wir nicht nur über mangelnde Kalibrierung, sondern über einen echten "Fehler in HW". Lange tat sich nichts und ich dachte eigentlich schon, dass spontane Selbstheilung eines Elkos inzwischen ihr übriges getan hätte, aber er trat prompt genau dann wieder auf, als wir ausgerechnet auf der Terasse draußen Gäste beim Grillen hatten. Verflixt! Glücklicherweise offerierte der Besuch oberflächliches Verständnis (jedenfalls bekräftigte er das), so dass ich mir ein paar Minuten stehlen und wenigstens die wichtigsten internen Messpunkte abfragen und aufschreiben konnte.

Aber ich hatte Glück: der Fehler scheint sich nun entschlossen zu haben, permanent aufzutreten und stellte sich mit der Fehlermeldung "110 ALC failure, output unlevelled" bei mir erneut vor. Nun sollte es ihm aber an den Kragen gehen. Ich "spitzte" meinen Spektrum-Analyzer an und kontrollierte das Ausgangsspektrum bei 100MHz: Während ich es sonst gewöhnt war, exakt 0,0dBm mit einem Oberwellenabstand von mehr 40dB..50dB (mit einem SME03 kann man schon fast auf "Sendung" gehen!) zu genießen, las ich nur erstaunte -20dBm mit einem nicht nennenswerten Oberwellenabstand ab. Das Signal war also "verwarzt", wie ich es immer in so schön blumiger Metaphersprache sage.

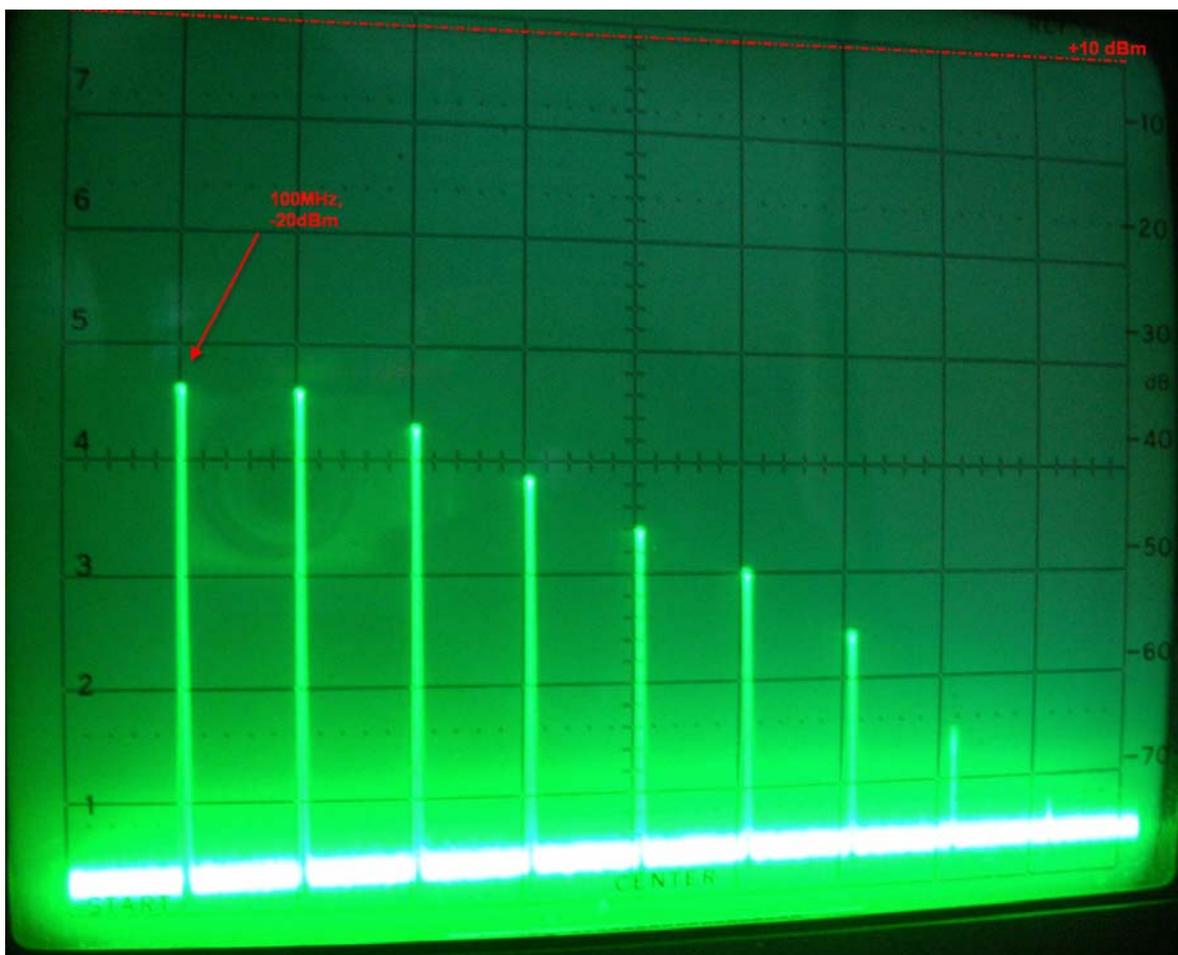


Abbildung 10: Ausgangsspektrum von A10 (defekt) mit $f=100\text{MHz}$; mehr als 20dB zu wenig Pegel

Nun wollte ich wissen, ob die Ausgangsstufe daran Schuld ist oder bereits die Signalerzeugung Müll macht. Also trennte ich den Signalweg bei W91 auf: das ist der Punkt, wo die Ausgangsstufe A10 ein Eingangssignal von "A9 Summing Loop" 93,75MHz..1500MHz @+6..+11dBm erhalten sollte. Ein erster Test mit einem HF-Millivoltmeter und 50Ohm-Abschlusswiderstand ergibt: die Signalerzeugung auf A9 liefert über den gesamten Frequenzbereich ein sauberes Signal mit ca. +7,5...+9,5dBm Pegel. Also voll im Soll!



Abbildung 11: SME03 Innenansicht

Auch wenn ich mir damit eigentlich nicht viel Neues erhoffte, speiste ich -während der SME03 auf 100MHz abgestimmt war- in A10/X221 ein 100MHz-Signal aus einem externen Messender ein. Den benötigten HF-Pegel wusste ich ja: +9,5dBm. Wie nicht anders zu erwarten, konnte ich am Ausgang des SME03 dasselbe miese Ausgangssignal messen wie bereits zuvor mit der internen Signalerzeugung. Baugruppe A9 (und vorgeschaltete) werden damit als Fehlerquelle sehr unwahrscheinlich (sehr vorsichtig und vorausschauend gesprochen, was?).

Interessant:

Die Ausgangsstufe A10 erzeugt (bei einer Eingangsfrequenz von 93,75MHz..1500MHz) Ausgangsfrequenzen von 5kHz..1500MHz. Der Frequenzbereich von 1500..3000MHz wird dabei durch Frequenzverdopplung in der nachgeschalteten Baugruppe "A11 Output Unit 3GHz" realisiert. Dazu speist A10 einen Frequenzbereich von 750MHz..1500MHz in A11 ein; heraus kommt wunschgemäß 1,5GHz..3GHz.

Der "untere" Frequenzbereich kleiner als 93,75MHz wird durch interne Mischung mit einem 600MHz-Signal abgebildet, das auch von dem besagten 100MHz-VCXO abgeleitet wird. So ähnlich macht R&S das auch mit ihren ganzen anderen Messendern, z.B. SMG und SMS. Das Konzept funktioniert nach meiner Erfahrung ganz ausgezeichnet.

Aber zurück zu Fehler 110:

Scharfsinnig, wie ich nun einmal bin, beobachte ich, dass mein ALC-Level-Problem in sämtlichen Frequenzbereichen (also

a) $5\text{kHz} < f < 93,75\text{MHz}$ => Mischung mit 600MHz

und

b) $93,75\text{kHz} < f < 1500\text{MHz}$ => "normaler" Frequenzbereich

sowie

c) $1500\text{MHz} < f < 3000\text{MHz}$ => Verdopplung)

gleichermaßen auftritt. Der Fehler muss also in einem Signalzweig liegen, der in allen drei Frequenzbereichen durchlaufen wird! Na, das ist doch schon einmal eine Erkenntnis.

Ich habe mir einmal die Mühe gemacht, alle Messpunkte aufzunehmen, während der Fehler auftrat. Ich greife der Geschichte schon einmal vor und schreibe in der Baugruppe A10 auch noch gleich einmal die Bedeutung der Messpunkte sowie deren Soll-Spannungswerte (aus R&S Servicemanual, haha!) dazu:

Messpunkt	Bedeutung	SOLL	IST (defekt) SME03	IST (heile) SME03	IST (Referenz) (SME03)	IST Referenz (SMT)
TP700	Referenz 10kOhm nach Masse	0..10mV	0,001	0,001	0,0006	0,001
TP701	HF-Gleichrichter am Ausgang von A10 (IST)	0..6V	0,025	1,054	1,053	1,053
TP702	HF-Gleichrichter vor Mischer (<93,75MHz) (IST)	0..6V	0,0007	0,0009	-0,0065	-0,01
TP703	HF hinter Tiefpassfilterbank	200mV..2V	0,067	-0	0,0042	0
TP704	AM-Modulator Führungswert (SOLL)	-6V..0V	-2,2	-2,21	-2,206	-2,21
TP705	Ausgangsspannung Regelverstärker	-1V..10V	14,04	1,844	1,502	5,245
TP706	Amplituden-Steuerspannung AM-Modulator	-1V..10V	13,8	1,816	1,484	5,202
TP707	HF-Frequenzgangskorrektur DA-Wandler	2V..13V	1,4	1,396	1,418	1,339

Tabelle 1: Messpunkte in Baugruppe A10; alle Angaben in "V DC"

Zu dieser Tabelle muss ich ein paar Erklärungen machen.

Das Glück ist mit den Tüchtigen, zumindest behauptet das ein altes Sprichwort. Recht so, denn nach einer gewissen Durst-Phase hatte ich mal wieder Glück. Meine Bemühungen führten mich zufällig zu einer Stelle, wo ein weiterer SME03 eingesetzt wird. Neidvoll blicke ich auf den kalibrierten und mit Vollausrüstung protzenden R&S-Gaumenschmaus. Aber nach dem Herunterschlucken sämtlicher zucker-zersetzenden Körpersäfte (=Sabber) erwarb ich mir die Erlaubnis, einmal im Menü alle Messpunkte abfragen und mir die Werte aufschreiben zu dürfen. Man stelle sich vor: ein erstklassig laufender und kalibrierter SME als Referenz für meine eigenen Messwerte! Eines Freitags abends nutzte ich die Chance und hockte mit spitzen Bleistift vor den HF-Fernseher, der bereits knappe zehntausend Betriebsstunden und 47000 Schaltspiele der Eichleitung hinter sich hatte (ich liiiiiebe diese neuen R&S-Info-Menüs!). Die aufgenommenen Werte übertrug ich in ein Excel-Sheet und verglich sie mit meinem eigenen SME03; und zwar einmal in einer Situation in der alles "heile" schien; und ein weiteres mal, als der ALC-Fehler auch gerade auftrat.

Und so können wir in unserer Reparatur zielgerichtet einen weiteren Schritt machen. Nach Analyse der Schaltung (jaja, ich erzähle euch gleich die Geschichte mit dem Servicemanual!) verstehe ich nun Folgendes:

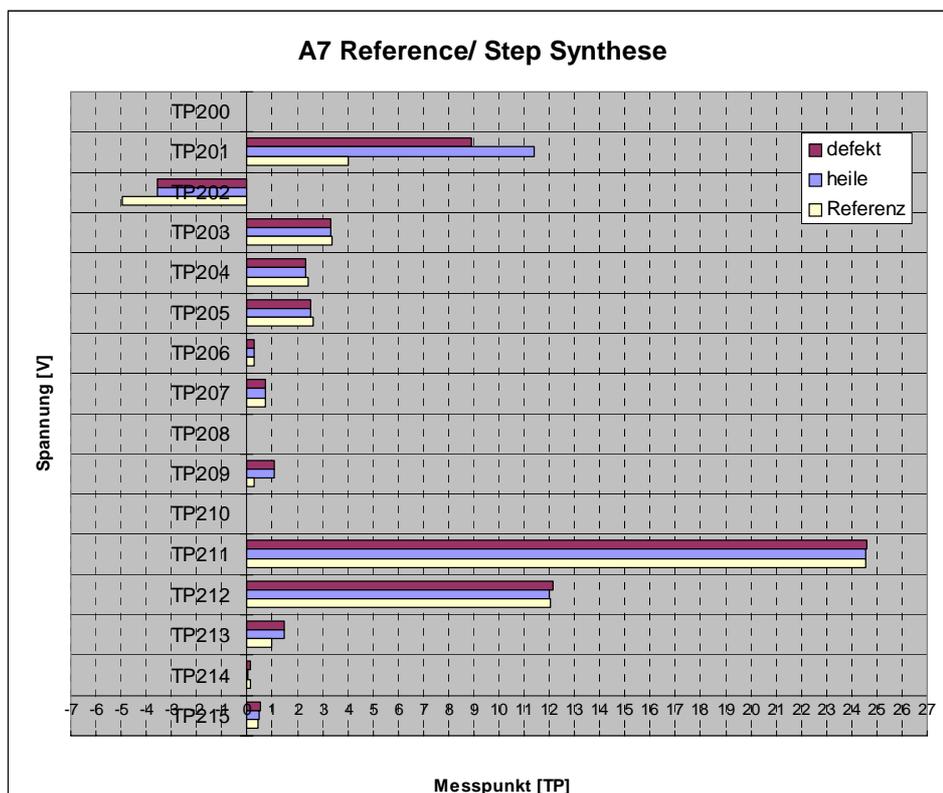
Im Gut-Fall ist alles toll, die Welt bunt, die Vögel singen und die Messwerte des SME03 sind alle im grünen Bereich. Aber sobald der Fehler auftritt, sinkt die HF-Spannung hinter dem HF-Detektor am Ausgang von A10 aus irgendeinem Grund ab (TP701). Das merkt aber der schlaue SME, will dem entgegenwirken und reißt die ALC-Regelspannung am Regelverstärker hoch (TP705). Das kriegt auch der Modulator (=Stellglied der ALC) zu spüren und wird mit hoher Spannung an TP706 so niederohmig gemacht, wie nur irgend geht (Trotzdem reicht es aber nicht.....).

FAZIT: die Regelschleife tut genau das, was sie soll: nämlich einem HF-Pegelverlust entgegenwirken! Sorry, aber diese Bauteile sind nun raus aus dem Kreis der Verdächtigen; es gibt nur noch wenig Verstecke für unseren Fehler!

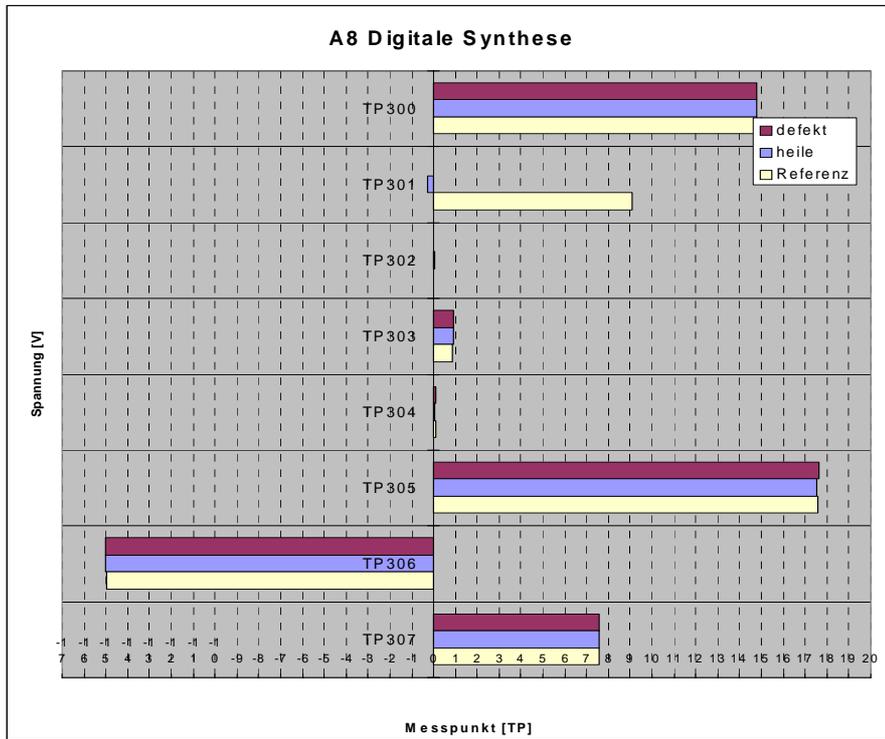
4.1 Testpunktevergleich

Das Vergleichspotenzial (SME03 als Referenz) habe ich selbstverständlich nicht ungenutzt brach legen lassen, sondern ebenfalls ganz nett pro Baugruppe ausgewertet. Zeigen wir's mal, die Folien sind alle schön bunt, mit viel Balken, wenig Text- also sogar richtig Management-geeignet! Wenn Sie für Ihr Berufsleben also mal eben schnell eine Folie für ihren Chef brauchen, kopieren Sie sich doch einfach die Messpunkte für Baugruppe A9 heraus, das sieht toll aus, beeindruckt durch Konstanz und Gleichförmigkeit und wahrscheinlich wird's daher auch gar keiner merken ;-)

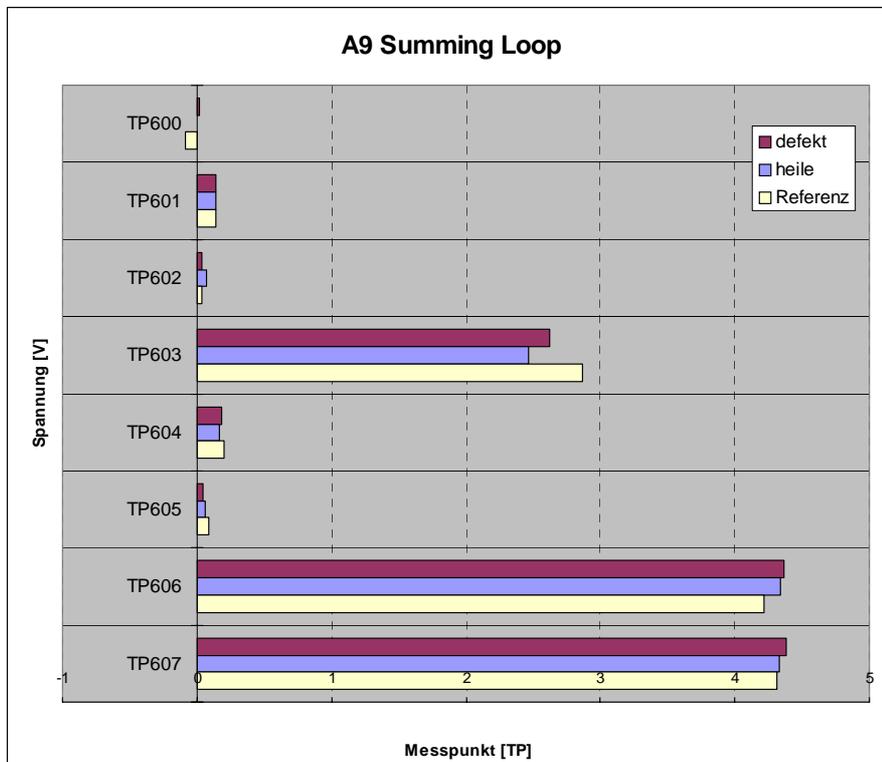
4.1.1 A7 Referenz/ Step-Synthese



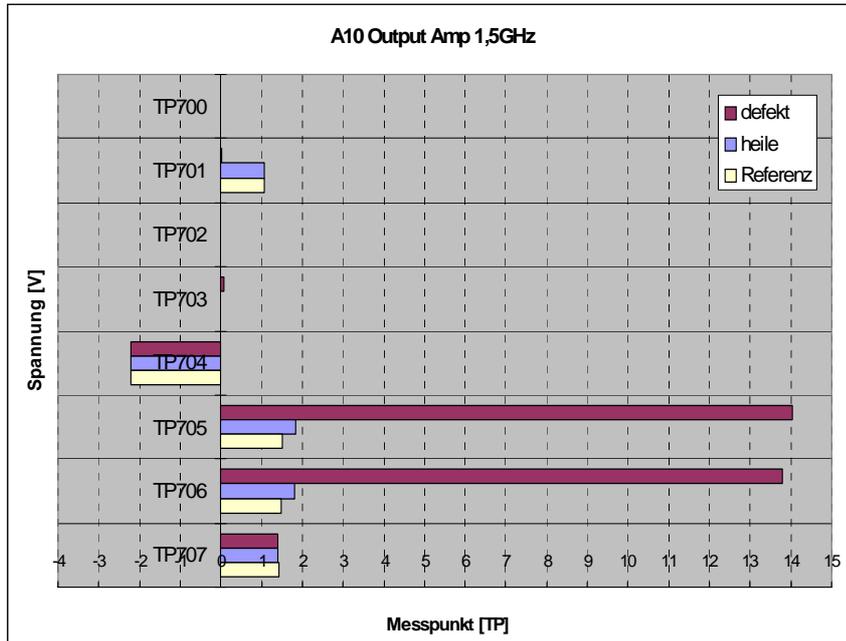
4.1.2 Digitale Synthese A8



4.1.3 A9 Summing Loop

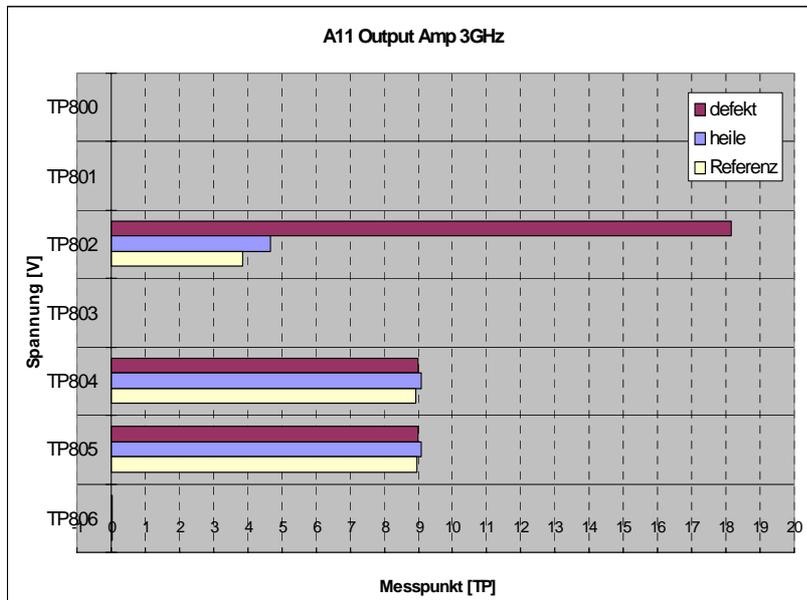


4.1.4 A10 Output Amp 1,5GHz



Guckst du hier: man erkennt deutlich, wie der Regelverstärker die Regelspannung zum AM-Modulator aufgerissen hat (TP706), aber trotzdem keine HF erzeugt (TP701)!

4.1.5 A11 Output Amp 3GHz



TP802 ist im „defekt“-Fall als Folge des aufgerissenen Amplituden-Führungswerts so hoch! (=erklärbare Folgeerscheinung, daher kein Fehler)

Aber nun die Geschichte mit dem Service-Manual:

4.2 SMT Service-Manual

Inzwischen habe ich viele Indizien für eine defekte A10-Baugruppe gesammelt. Aber nun kann ich Beweise führen, bis ich schwarz werde, davon allein repariert sich die Ausgangsstufe auch nicht. Ich brauche unbedingt den Schaltplan und hier mache ich leider kaum Fortschritte. Das Servicemanual gibt's nur als Komplettwerk zu kaufen, wie man mir von R&S noch einmal bestätigt. Und auf diversen Internet-Manualsammlungen und kursierenden Schaltplan-DVDs finde ich keine Spur von einem SME03. Ich kontaktiere erneut meine Ebene2-Passwort-Quelle und erfahre, dass man mit etwas Überredungsgeschick vielleicht zu einem SMT03-Servicemanual gelangen könnte. Das ist immerhin mehr als nichts und mir gelingt es sogar, an eine Übersicht aller Messpunkte eines lauffähigen SMT zu kommen und mit denen eines SME03 verglichen. Ergebnis: die Frequenzerzeugung scheint sich grundsätzlich zu unterscheiden; jedoch stimmen die Testpunkte der 7er- und 8er-Reihe auffällig überein! Das könnte darauf deuten, dass R&S für diese beiden Messender zwar eine unterschiedliche Frequenzaufbereitung, jedoch dahinter einheitliche Ausgangsstufen für SME und SMT verwendet hat! Zumindest für meinen A10-Baugruppenfehler wäre das die Lösung!

Und dann grinste ich wenig später tatsächlich in drei dicke Bände SMT-Servicemanual! "Aber keine Eselsohren reinmachen", musste ich hoch und heilig versprechen, denn der Besitzer erwartet die Manuals sowohl in Kürze als auch in ordnungsgemäßem Zustand wieder zurück! Es blieb mir nichts anderes übrig als mich wahrhaft zu beeilen; immerhin war das bislang die intensivste Fährte, die ich in den letzten Tagen erschnüffelt hatte.

Nach etwas Blättern fand ich dann auch meine Ausgangsstufe A10 mit der R&S-Nummer 1038.7909. Es ist tatsächlich so: sie wird sowohl für den SMT als auch den SME eingesetzt. Der SMT-Schaltplan würde mir also helfen! Gehen wir jetzt nun etwas ins Detail von A10, denn eins habe ich bei meinen Reparaturorgien stets gelernt: wenn man die Schaltung nicht richtig verstanden hat, "repariert" man meistens noch was kaputt anstatt den wirklichen Fehler zu beheben. Nur, wenn man das Ganze (mein ehemaliger Chef pflegte immer zu sagen:) auch wirklich "richtig durchdrungen hat", erarbeitet man sich erst eine reelle Chance, bei solch komplexen Geräten wie dem SMT oder SME letztendlich erfolgreich zu sein.

Also begab ich mich an dieses Wahnsinns-Projekt und scannte sämtliche Seiten der drei Ordner ein. Ich passte höllisch auf, keine Eselsohren zu erzeugen, denn das hatte ich ja versprochen. Es ging aber alles gut, und nach dem PDF-Wandeln hatte ich am Ende tatsächlich einen Satz Serviceunterlagen für einen SMT vorliegen. Zwar nicht ganz passend für meinen SME, aber immerhin ganz dicht dran!

4.3 Konzept von A10

Die Ausgangsstufe A10 wird mit einer Frequenz von 93,75MHz..1500MHz und einem Pegel von ca. +6..+9dBm (ungeregelt) angesteuert. Die Aufgabe von A10 ist es, den Ausgangspegel auf möglichst konstante +13dBm hin auszuregeln, eine Amplitudenmodulation zu ermöglichen und den "Low-Frequenzbereich" (so nenne ich ihn jetzt ab sofort) durch Mischung mit einem 600MHz-Signal zu erzeugen (5kHz..93,75MHz). Wenn das alles gelingt, so steht am Ausgang von A10 (X108) ein sauberes, oberwellenarmes, üblicherweise +13dBm starkes, amplitudenmodulierbares Signal im Frequenzbereich von 5kHz..1500MHz an, das zu allem Überfluss auch noch kontrolliert in seinem HF-Pegel variiert werden kann (AM-Modulator zugleich als elektronische Eichleitung verwendet).

Bitte nicht traurig sein, aber ich verzichte hier auf eine komplette Beschreibung der Baugruppe im Detail- es würde selbst diesen Bericht einfach sprengen. Anhand der Messpunkte im Gerät kann ich aber schon jetzt sagen, dass irgendwo zwischen Filterkette und Ausgangstransistor mein HF-Pegel auf der Strecke bleibt. Weil R&S -bis auf den Endstufen-transistor- hier fast überall diese schnuckeligen, kleinen MMICs einsetzt (=integrierte Breitbandverstärker), sollte man hier mit dem HF-Tastkopf schnell Erfolge erzielen, sobald man diese Mistviecher erst einmal im Layout gefunden hat!

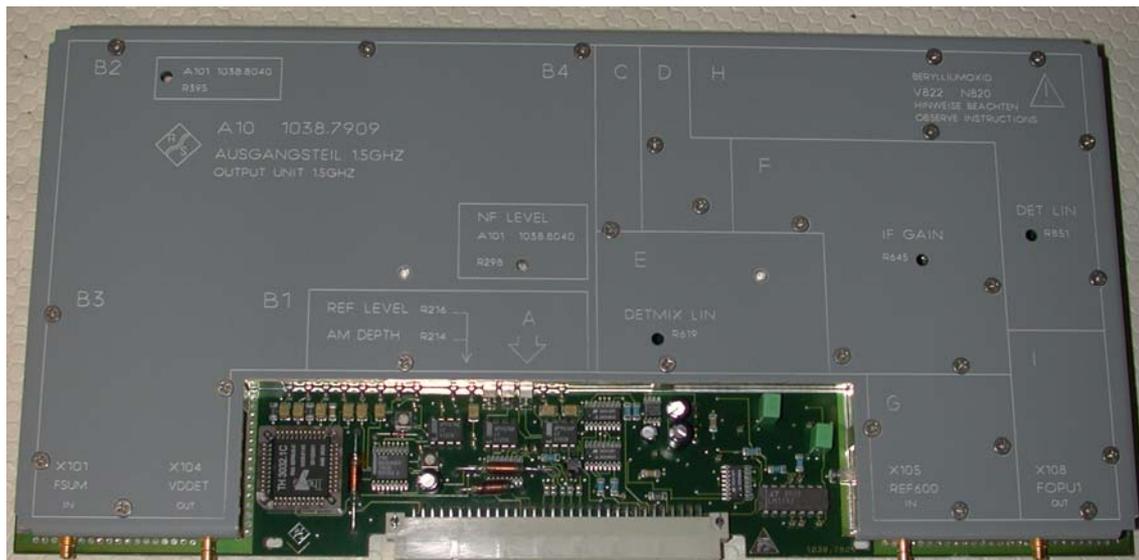


Abbildung 12: Baugruppe A10

Da ist sie, die Baugruppe A10! Zugeschraubt wie eine Boeing747 und ebenso hässlich lackiert. Hoffentlich wird sie auch einmal genauso alt... ;-)

4.3.1 Messung im HF-Signalpfad

Ich habe mich dazu entschlossen, die HF auf ihrem Signalpfad zu verfolgen. Irgendwo wird im Fehlerfall ein deutlicher Abfall zu messen sein.

Messaufbau:

Speise 100MHz, +7dBm in den Eingang von A10 (X101).

Folge dann mit dem HF-Tastkopf dem Signalpfad und prüfe, wo die HF hängen bleibt.

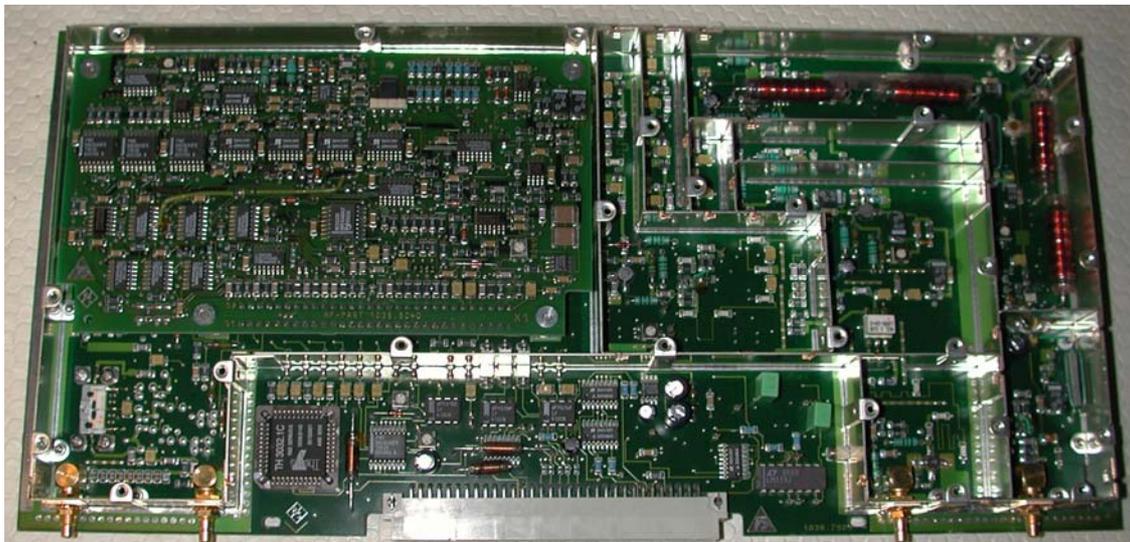


Abbildung 13: Baugruppe A10 geöffnet - krasser Anblick, was?

Problem: für diese Messung muss die Baugruppe aus dem Gerät genommen werden, denn in eingebautem Zustand kommt man mit der Messspitze nicht dran. Glücklicherweise habe ich mir aus meinen CMT-Reparaturzeiten damals ein Verlängerungskabel angefertigt (immerhin $2 \times 31 = 62$ Drähte), das ich nun zwischen Baugruppe und Grundgerät zwischenstecke. Es ist gerade so lang, dass man die Baugruppe A10 nun im bestromten Zustand neben den SME auf den Labortisch legen und im Betrieb messen kann. Ohne dieses Hilfsmittel wäre das eine ganz schöne Plackerei mit dem Anlöten von Kabeln, Rein- und Rausfummeln der Baugruppe usw.. Ich vermute, dass das -im Servicemanual angepriesene- Service-Kit wohl auch so einen Baugruppen-Zwischensteckadapter enthalten wird. Gesehen habe ich das auch noch nie; ich bin mir aber sicher, dass man sich hier mit einem Selbstbau-Adapter auch helfen kann.

Najaaaaa, er ist nicht ganz so hübsch.....aber funktionieren tut er trotzdem!



Abbildung 14: selbstgebasteltes Service-Kabel

Oder doch nicht???

Mein erstes Erlebnis mit diesem Adapterkabel war folgende Meldung:

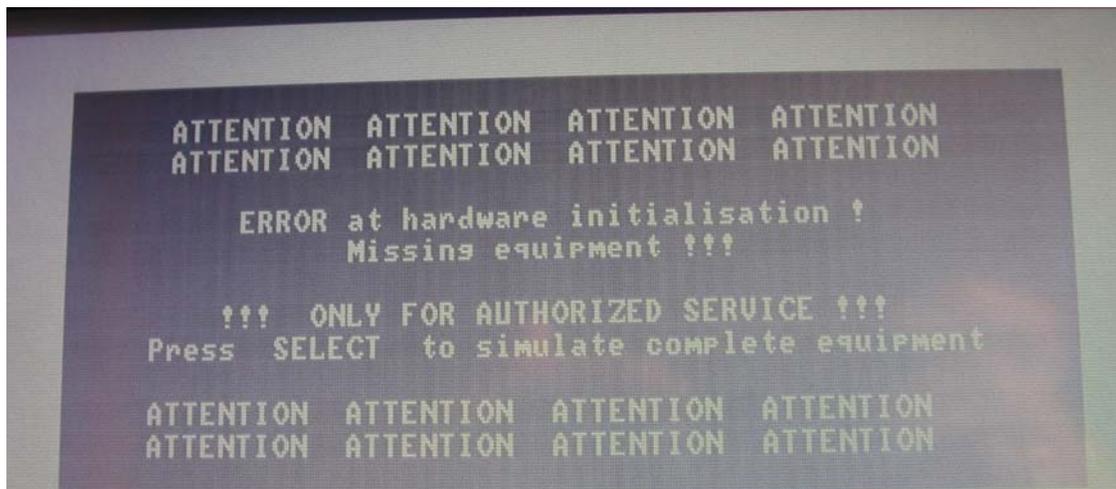


Abbildung 15: Sterben auf Raten...???

Panik! Was soll denn das nun wieder? Sind die Datenleitungen in einem SME so schnell, dass jeder Zentimeter zusätzlich zwischengeschaltetes Kabel hier schon Probleme im Timing verursacht? Ich entfernte den Adapter, steckte Baugruppe A10 wieder direkt ein und erhielt dasselbe Bild. Hiiiiilfe, das war doch vorher nicht!

Nun Ruhe bewahren: durch mein auf-die-Seite-drehen des SME03 war eine dieser lustigen Nachrüst-Baugruppen aus der Fassung gerutscht. Nach einem Wider-Einstecken verschwand auch das "Fehlermeldungs-Werbebanner". Puuh!

Also wieder rangefummelt das Adapterkabel, die HF-Verbindungen wieder hergestellt und eingeschaltet. Alles funktioniert bestens; nur der Fehler zeigt sich nicht. Grrrr.

4.4 Messungen der Filterbank

Weil sich die Gelegenheit gerade bot, überprüfte ich gleich die Filterbank. Dazu spannte ich die Baugruppe A10 zwischen Trackinggenerator und Spektrumanalyzer, "blies" mit 0dBm an und wobbelte von 100kHz..1,0GHz. Die Frequenzeinstellung am SME diente nur dazu, ein bestimmtes Filter ein- und auszuschalten. Sehr schön kann man erkennen, wie beim Durchdrehen der Senderfrequenz die Filter nach und nach zugeschaltet werden und der Durchlassbereich immer breiter wird. Toll, eine wahre Augenweide!

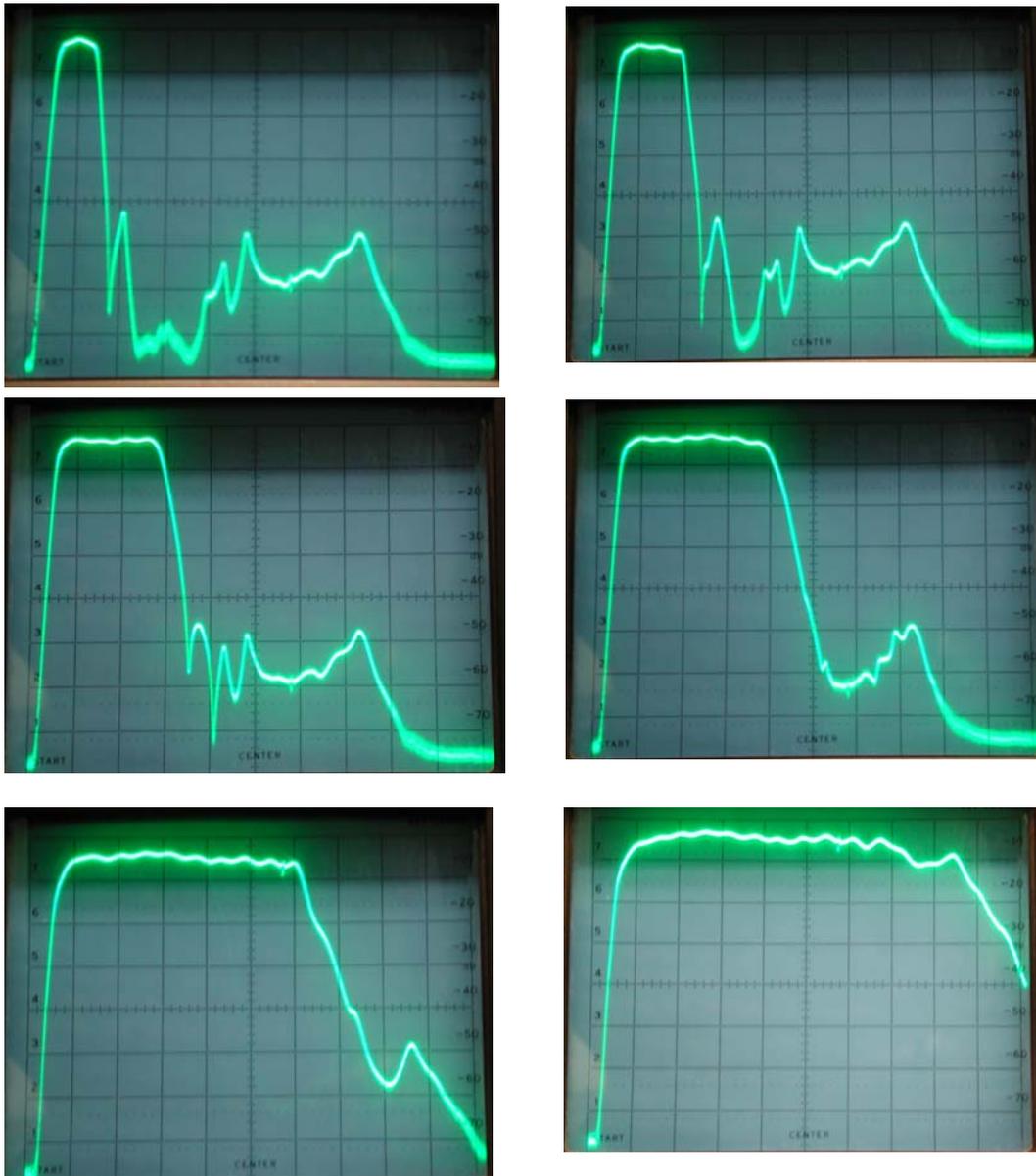


Abbildung 16: einige Filterkurven steigenden Generatorfrequenzen

Parameter: Y: 10dB/div; X: 100MHz/div

Ab 1,5GHz wiederholt sich der ganze Spaß- dann wird ja die 3GHz-Verdoppler-Baugruppe dahinter eingeschleift und die Baugruppe A10 beginnt erneut mit einer Betriebsfrequenz von 750,000 000 1MHz.

4.5 Durchbruch

Eines Abends, als ich mal wieder an dem SME herumgespielt hatte und gerade die Arbeitspunkte der ganzen MMICs und Transistoren überprüfte, trat der Fehler wieder auf und grinste mich wieder mit einem total verwarzten Spektrum an.



Abbildung 17: A10 extern verkabelt

Jetzt oder nie: Messgeräte scharf gemacht und alle Messpunkte in der Signalkette durchgeprüft. Und fündig geworden: der allerletzte Transistor in der Kette hatte sonst immer eine Kollektorspannung von ca. 17Volt. Laut Manual ist das auch gut so. Aber nun konnte ich an derselben Stelle 24Volt DC ablesen! Nicht gut!

In meinen alten CB-Funkerzeiten hätte ich sofort auf den Endstufentransistor getippt, ihn ausgebaut, dabei bestimmt zwei Leiterbahnen mit hochgerissen, einen neuen eingelötet und festgestellt, dass sich nix verbessert hat, aber nun die abgerissenen Leiterbahnen geflickt werden müssen. Dann hätte ich entnervt aufgegeben und den SME in die Ecke gestellt. Inzwischen bin ich hier mental eindeutig weiter und prüfe erst einmal die speisende Konstantstromquelle. Dabei stelle ich fest, dass der Treibertransistor für die Stromquelle von rückwärts komplett mit Spannung "dichtgefahren ist". Ich befreie die Rückseite der A10-Leiterplatte vom Abschirmblech, messe an Diode V830 und...nanu!?! Fehler da...Fehler weg...wieder da...wieder weg??!

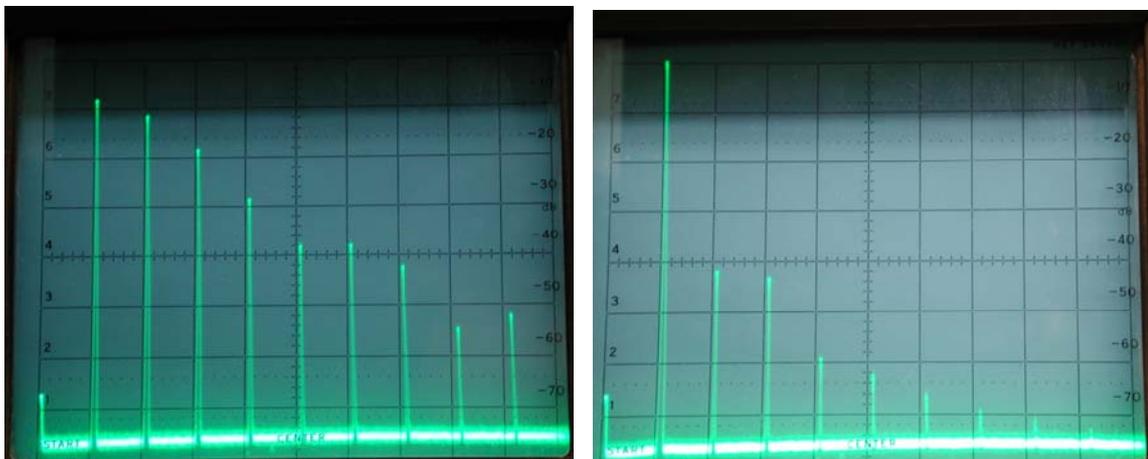


Abbildung 18: Ausgangsspektrum von A10 (links: Fehler tritt auf; rechts: Fehler tritt NICHT auf)

Durch gezieltes Herumgrabbeln an der Diode V830 kann man den Fehler quasi "ein-" und "ausschalten". Die genaue Funktion der Diode verstehe ich auch nicht; sie ist jedoch ein Bauteil aus der Konstantstromquelle, die den Endstufentransistor versorgt und darf nicht durch Dran-Herumreiben die Milch sauer werden lassen. Ich beschlieÙe, dass der Fehler damit gefunden ist und lese im Internet, dass die MiniMELF-Glasdioden in SMD-Bauform von jeher als mechanisch kritisch einzustufen seien. Sehr gerne gäÙe es da mal einen Bruch, oder zumindest einen Riss, der mit bloÙem Auge nicht zu erkennen ist, aber trotzdem die Diode ausfallen lässt. Genau sowas scheine ich hier auch vor mir zu haben.

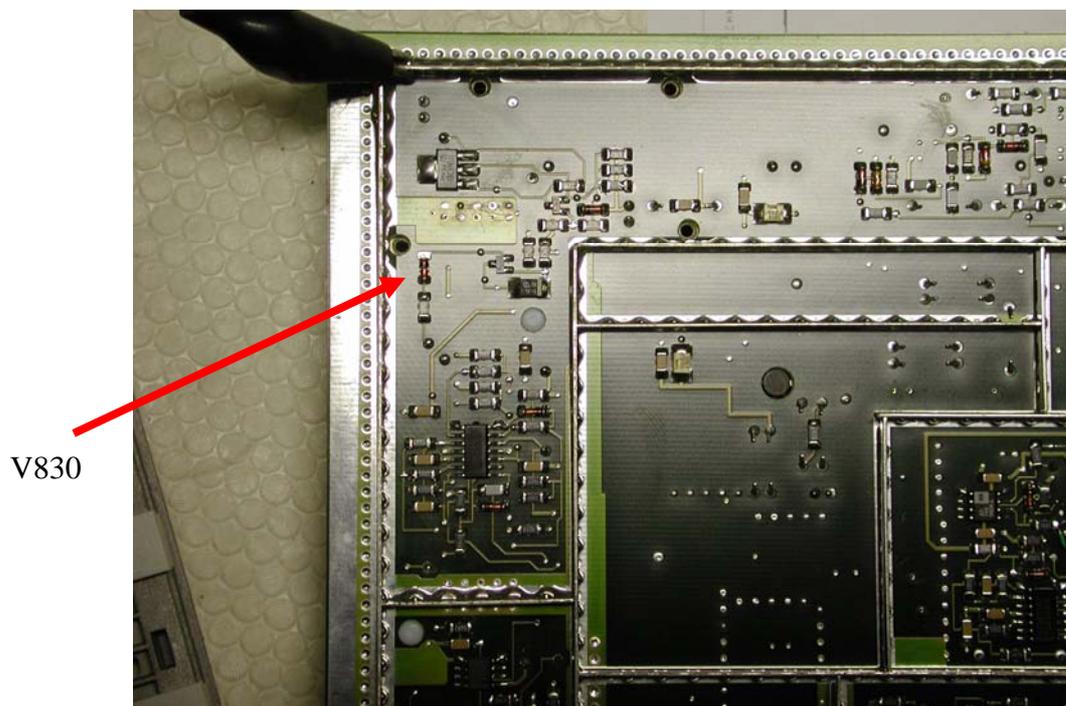


Abbildung 19: Unterseite von A10

Hier noch einmal in der Vergrößerung:

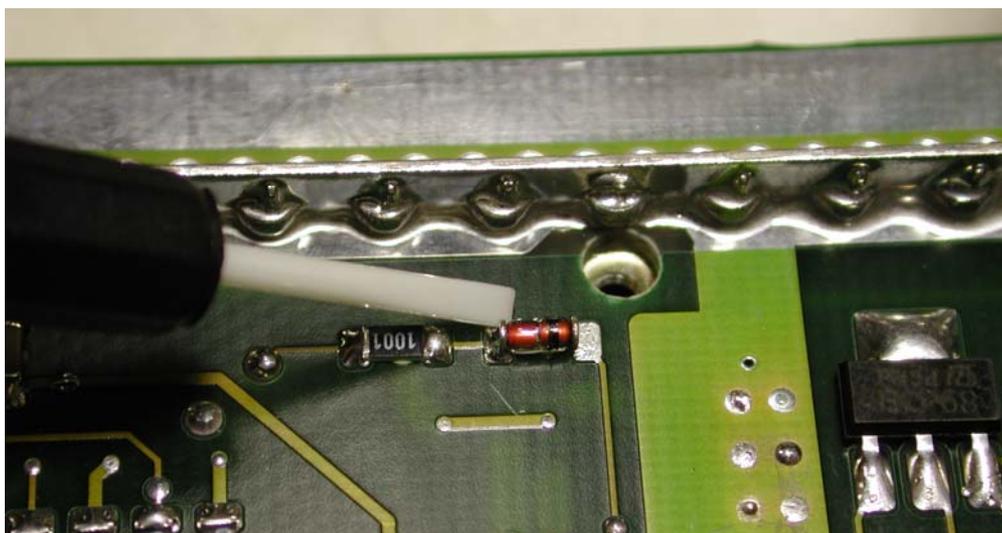


Abbildung 20: Diode V830 mit Neigung zum Wackeln...

Nun ist Reichelt ja ein super sortierter Laden, bei dem ich sehr gerne bestelle. Die V830 hört auf den Namen "BAS32" und kostet exakt 0,0062 EUR. Also 6,2cent. Ein echter Lacher für einen Messsender, dessen Anschaffungspreis einmal in der Größenordnung eines VW Passats in Komplettausstattung gelegen haben muss. Und trotzdem kann ich mir auch diese finanzielle Investition sparen: die Diode ist nämlich gar nicht defekt. Hä?!?

Jetzt kommt der Knaller: die Diode ist nicht defekt, sondern nur an einer Seite nicht richtig angelötet. Will sagen: schlechte Lötstelle!

Bei genauem Hinsehen erkennt man sogar im obigen Bild, dass das Lötpad unter der rechten Seite der Diode (Kathode) doch recht "mager" aussieht. Vergleicht man es mit der Anode, so ist dort erheblich mehr Lötzinn auf dem Pad zu sehen. Ich wärme also meinen SMD-LötKolben an, gönnte mir ein paar Millimeter meines guten Silber-Lötzinns und erzeugte nun auch auf der rechten Kathode von V830 einen ansehnlichen Lötkeks. Blitzartig sind damit sämtliche Klopfempfindlichkeiten der Baugruppe verschwunden und das Spektrum protzt wieder mit den gewohnten 40dB Oberwellenabstand (@100MHz, 13dBm).

So einfach? So einfach!

5 FAZIT

Dieses Projekt war mal wieder mächtig spannend, herausfordernd und endete völlig anders als erwartet. Die Suche nach den insgesamt drei Fehlern hat eine langwierige Schnitzeljad nach dem Servicemanual vorausgesetzt und ich habe doch einiges an Zeit gebraucht, die Schaltung der Ausgangsstufe auch wirklich zu verstehen. Auch wenn der R&S-Service keine Manuals verschenken kann, so spürt man dennoch, dass man sich auch bei Privatpersonen wie mir ernsthaft Mühe gibt. Das Bestreben, auch uns Funkamateure bestmöglich zu unterstützen, ist definitiv spürbar.. An dieser Stelle noch einmal Danke dafür!

Nach dem Schaltplanstudium war es möglich, den (Haupt-)Fehler systematisch einzukreisen und letztendlich auch zu finden. Weshalb eine kalte Lötstelle für den Ausfall der Baugruppe A10 verantwortlich zu machen ist, will ich nicht mutmaßen. In meiner ganzen "R&S-Reparaturkarriere" ist dies für mich der allererste Fall einer schlechten Lötverbindung; von einer "schlechten Produktion" kann also nicht die Rede sein. Üblicherweise sind die Leiterplatten von R&S stets vorbildlich in Design und Lötung! Vielleicht hat ja irgendjemand unautorisiert an meinem SME03 herumgefummelt und die Diode gewechselt, dabei das Anlöten der Kathode vergessen; das ist heute für mich nicht mehr nachvollziehbar. Auf jeden Fall bin ich nach wie vor von R&S-Qualität überzeugt; nur dass mich hier niemand falsch versteht!

Die beiden anderen Fehler waren leichter Natur: eine leere Lithiumbatterie sowie ein durch Alterung nicht ganz auf das Einlaufverhalten des Referenzoszillators abgestimmter Fangbereich eines 100MHz-VXCOs, den man -mit den passenden Unterlagen- sicher auch irgendwie nachgleichen könnte. Der Respekt vor diesem Präzisionsinstrument hält mich jedoch wirkungsvoll davor ab, einfach "irgendwo" dran herumzugrabbeln oder irgendwelche Trimmer zu verstellen, die ich nicht verstehe. Also bleibt alles so wie es ist und die einzige Einschränkung, die ich damit habe, ist die, dass ich a) entweder den SME03 immer an einer Steckdose im Standby angeschlossen lassen muss oder b) nach dem Kaltstart max. 2 Minuten warten muss, bis der 10MHz-Referenzoszillator in den Fangbereich der 100MHz-PLL eingetreten ist. Vorher ist übrigens die Endfrequenz der Referenz eh nicht

erreicht, also reduziert sich der Nachteil allein auf das 2-minütige Erscheinen einer Fehlermeldung unmittelbar nach einem Kaltstart. Damit kann ich leben.

Wer das Gerät (oder auch mich, hehe!) einmal live sehen will, der besucht mich am besten auf der nächsten Amateurfunkmesse "Interradio" auf dem Messegelände am 01.11.2009 in Hannover! Munter bleiben!

Allgemein gute Abstrahlung wünscht
Marc Michalzik, DL8ABE