

1 Einleitung

Als ich den ersten Reparaturbericht von Ralf Ohmberger über die Restauration seines Fluke 5200A AC-Kalibrators las, war ich –zugegeben- schlicht überwältigt. Mit vollem Respekt für diese elektrische Aufarbeitsleistung saugte ich fasziniert jede einzelne Zeile ein und „inhalier- te“ die Bilder zu diesem Gerät. Mich selber hat schon immer ein eigener Kalibrator gereizt; insbesondere weil ich als Funkamateurliebling im Rahmen einer großen Amaterufunkmesse jedes Jahr meinen Funkmessplatz zu Kontrollzwecken den Messebesuchern zur Verfügung stelle, habe ich schon ein begründetes Interesse, dass die Messwerte, die ich in diesem Rahmen er- mitteile, auch Bestand haben!

Als mindestens ebenso frischer wie stolzer Besitzer eines R&S UPA Audioanalyzers war die Notwendigkeit eines AC-Kalibrators für mich nun unbestritten und als im „Schrottverkauf“ eines bekannten Aachener Elektronikhändlers ein Fluke 5200A auftauchte, zögerte ich nicht lange und "klickte" mich mit ein paar naiven Mausclicks voll ins Kalibratorvergnügen.

„Ab Stapel“ konnte natürlich vieles heißen, doch sowohl der Artikel von Ralf als auch der günstige Preis machten Zuversicht: mit ein wenig zitternden Fingern öffnete ich das 27kg schwere Paket, das –wenn auch etwas provisorisch anmutend- sicher und ordnungsgemäß gepackt war.

Zum Vorschein kam ein ziemlich schmutziger, schwergewichtiger Klotz, der bei mir Be- geisterung und bei meiner Frau doch eher Kopfschütteln auslöste. Auf dem Labortisch ange- kommen, folgte der Moment des Einschaltens: der eingebaute Lüfter startete durch, saugte mir durch die hinter dem Gerät produzierte Windhose fast mein Netzteil vom Labortisch, ein paar LED blitzen glücklich auf, die Overload-LED schaute mich grimmig an und am Ausgang tat sich –natürlich-.....nichts!

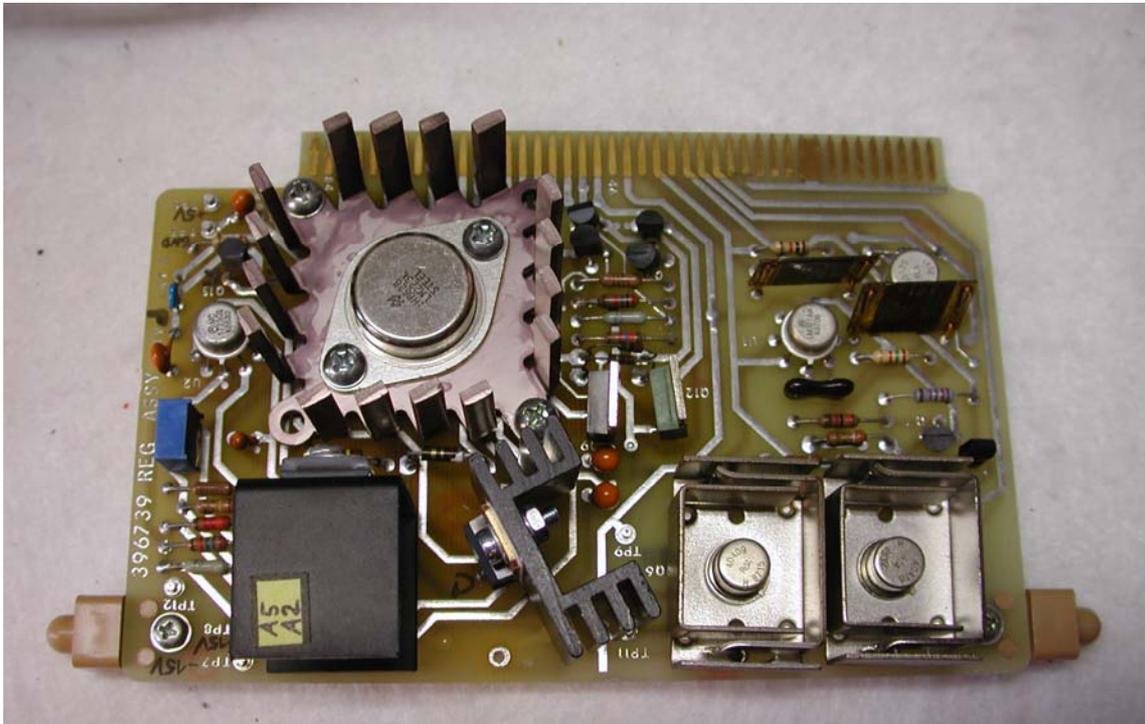
Meine Begeisterung dämpfte sich, dafür nahm die Schwinggeschwindigkeit des Kopfschüt- telns bei meiner Frau leicht zu. „Wenigstens blieb der FI-Schalter drin“, gelang es mir, zu überzeugen. Nach diesem klassischen Flachstart ludt ich etwas verbittert von www.fluke.com das Manual für den 5200A herunter (@Fluke: Danke Jungs, dass Ihr so alte Schinken noch zum Download bereit haltet!!!) und begab mich an die Lektüre.

2 Erster Fehler

Das erste, was ich immer mache, wenn ich ein Gerät reparieren will, ist es, das Netzteil zu kontrollieren. Wenn hier schon die Betriebsspannungen nicht stimmen, kann man sich in den Weiten der elektronischen Bauelemente dumm und dusselig suchen. Also flugs Leiterplatte A5 gesucht, gefunden, über den mechanischen Aufbau und die ganzen lustigen Elkos gestaunt und gemessen. Volltreffer!

In dem 5200A werden unter anderem +5V, +15V und -15V erzeugt. Nach einem kurzen Ver- steckdich-Spiel der Messpunkte überzeugte mich das Netzteil mit einem leisen Husten, dass es eindeutig krank sei. Die -15V für die „ausgleichende Gerechtigkeit“ zu den +15V waren in Wirklichkeit gemessene +3V und damit das Gerät natürlich nicht betriebsbereit. Nach dem

Studium des Schaltplans waren zwei defekte Transistoren schnell gefunden. Ich musste sie auswechseln; darunter so ein komischer RCA40410, den man wohl noch zu Schwachsinnpreisen aus den USA beziehen kann. Nach weiterer Schaltplanlektüre und der Überzeugung, dass die Kollektorspannung in dieser Schaltung niemals höher als 40V ansteigen kann, entschied ich mich als Ersatztypen beherrscht für einen BD242 mit angeschraubtem Kühlkörper und als Treiber für einen BC557B.



Leiterplatte A5A2 (Netzteil). Gut zu erkennen der nun etwas schräg stehende BD242 mit Kühlkörper, da ich die urigen RCA40410 (die beiden Metallkästchen unten rechts; Kühlblech und Transistorelement sind eine Einheit und untrennbar miteinander verschweißt!) leider nicht in der Bastelkiste hatte.

Damit war das erste geritzt, der Fluke 5200A startete erneut durch, und produzierte – vermutlich zum ersten mal seit langer Zeit- sowohl einen sauberen Take-off als auch wieder sinnvolle Ausgangsspannungen!

3 Zweiter Fehler

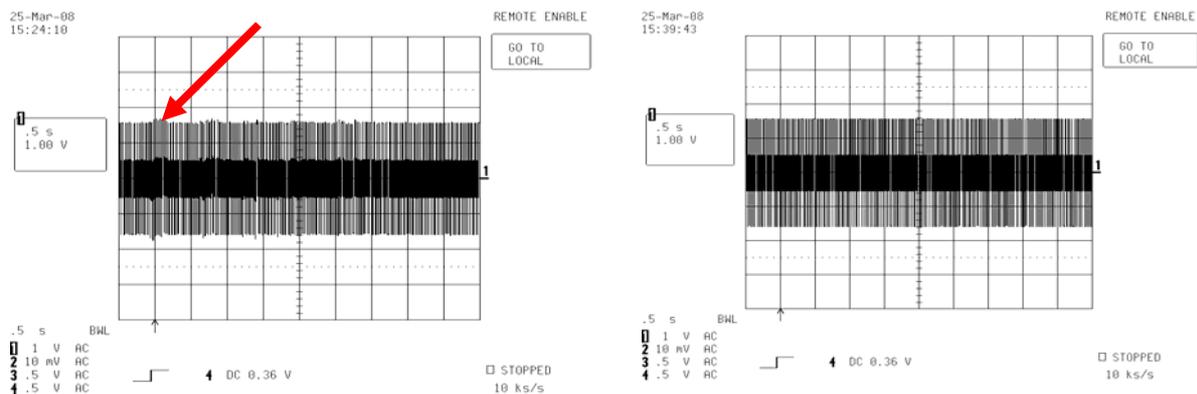
Aber trotzdem: Mir fiel bei meinen Tests schnell auf, dass der 100V-Bereich offensichtlich defekt war. Ein trotziges Leuchten der Overload-Lampe sowie völlig unsinnige Ausgangsspannungen zeugten von mindestens einem weiteren, dicken Fehler. Trotzdem schreckte mich das nicht ab, den Fluke 5200A erst einmal etwas näher kennenzulernen. Man kann sagen, es ist eine Art Marotte von mir, dass ich normalerweise an einem Gerät, dass ich wieder reparieren will, kilometerweit über's Ziel hinausschieße und nicht nur den Fehler repariere, sondern auch gleich alle Baugruppen einzeln analysiere, die Schaltpläne anschau, mir das Konzept ansehe- so lange eben, bis ich das Gerät vollständig verstanden habe. Das kann mit meinem

Wissen und Fähigkeiten bei einem 12V-Blinklicht nur wenige Sekunden, bei einem AC-Kalibrator aber auch durchaus mehrere Lichtjahre dauern ;-)

Ich begann also von Grund auf mit der DC-Referenz A12 und kontrollierte die dort erzeugte DC-Führungsspannung. Tadellose Technik und ein wirklich pfiffiges Konzept, das es hier zu beschreiben aber den Bericht sprengen würde. Wer sich das mal antun will, wird wirklich von toller Ingenieursleistung belohnt!

Während ich da also so fröhlich herum-messte (maß??), merkte ich aber auch in den "heilen" Messbereichen sporadisch ein Schwanken der Ausgangsspannung! Also flugs die Leiterplatte A8 vorgenommen; hier werden der DC-Führungswert aus der Referenz mit dem aktuellen AC-SENSE verglichen und daraus eine Steuerspannung für den Oszillator ermittelt (Fachleute sagen auch „ALC“ dazu).

Der Fehler war tatsächlich ein Wackelkontakt in der AC-Sense-Leitung! Und zwar wird das Sense-Signal aus der Attenuator-Baugruppe A6 gewonnen und auf der AC-DC-Wandlerplatte A8 ausgewertet. Hat man am Verbindungskabel gewackelt, sah man das hier (links, siehe Pfeil):

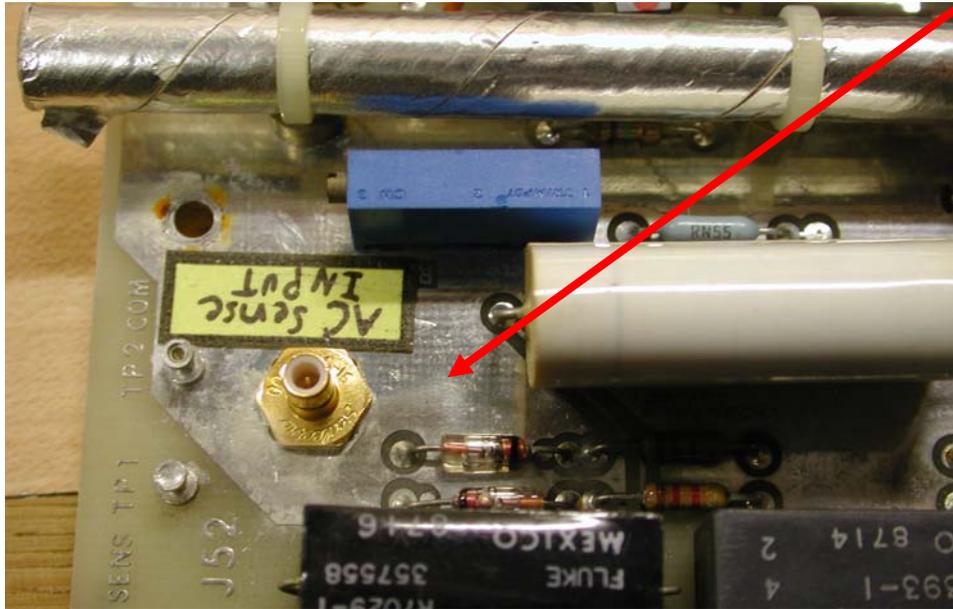


Vorher

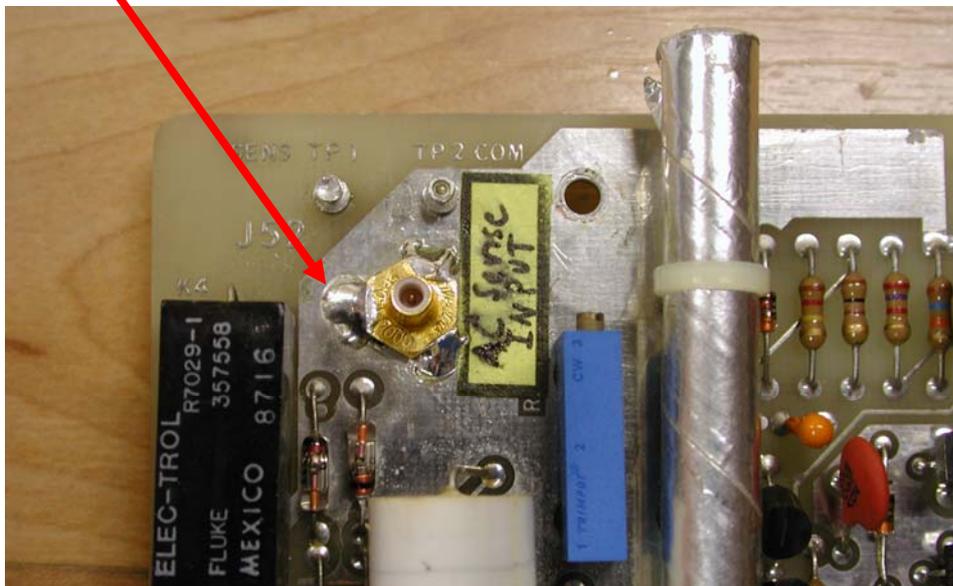
nachher

Man beachte die kleinen Hüllkurvenänderungen (Pfeil), verursacht durch einfaches Kabelwackeln an Steckerverbindung J52. Was hier im Oszillogramm so unscheinbar aussieht, ist für einen Kalibrator eine Katastrophe! Nachdem ich die Buchse ausgelötet, gereinigt und zusätzlich fest mit Masse verlötet hatte, war „Ruhe“ (siehe rechts). Vorher waren im 10V-Messbereich Amplitudensprünge um bis zu 300mVeff nachweisbar gewesen! Und das nur durch diesen einen beknackten Wackelkontakt!

Hier sieht man die Buchse auf der Leiterplatte A8. Man beachte das weiße Zeug rundherum, das ich mit Reinigungsbenzin vor dem Neu-Einbau entfernt habe.



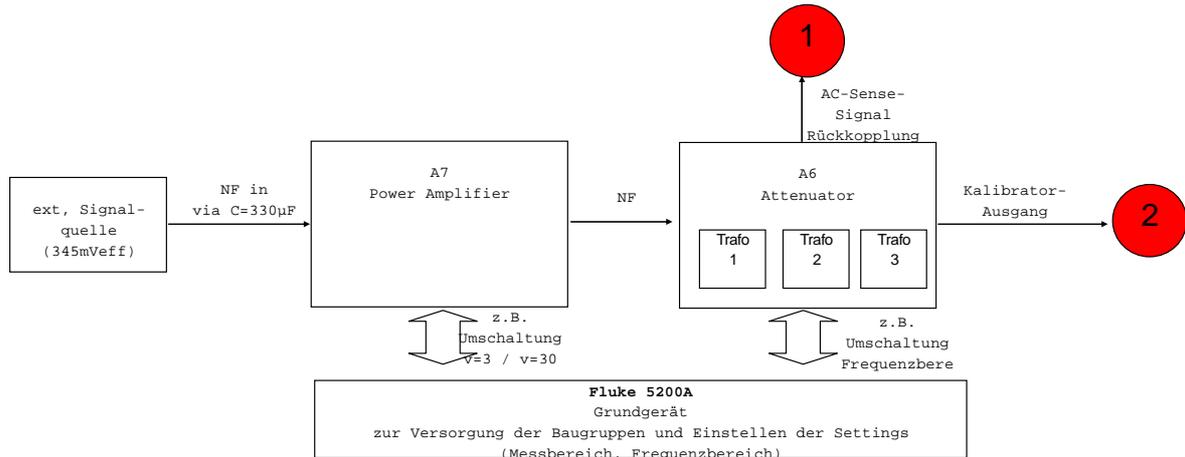
Und hier nach der Reinigung. Zur Sicherheit habe ich die Buchse (SMC-Norm) von oben mit Masse verlötet.



Nach dieser Behandlung blieb die Ausgangsspannung wieder stabil. Wenn man mal von den Wackelkontakten der Dekadenschalter absieht; aber dazu komme ich später...

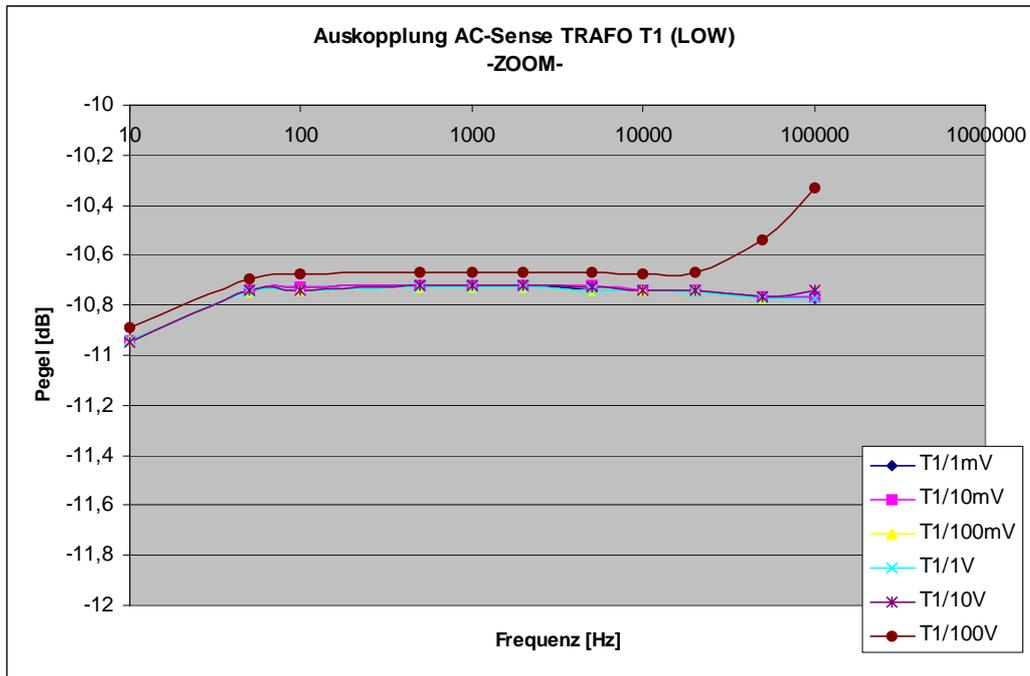
4 Dritter Fehler

Nun wollte ich aber endlich ergründen, weshalb der 100V-Bereich nicht funktioniert. Wer sich schon einmal in geschlossenen Regelschleifen wahnsinnig gemessen hat, der wird verstehen, weshalb ich nun die Baugruppe "A7 Power Amplifier" und "A6 Attenuator" vom Rest des Fluke 5200A-Innenlebens abnabelte und über A7/R3 via externen 330µF mit festen Spannungen aus einem externen Tongenerator speiste. Dann kam das stundenlange Aufnehmen von Messreihen, aus denen ich auf korrekte Gerätefunktionen schließen wollte. Alleine die nun folgenden Frequenzgänge kosteten mich tatsächlich 936 manuell eingetippte Messwerte (und für sowas opfert man nun also seinen Resturlaub... ;-).

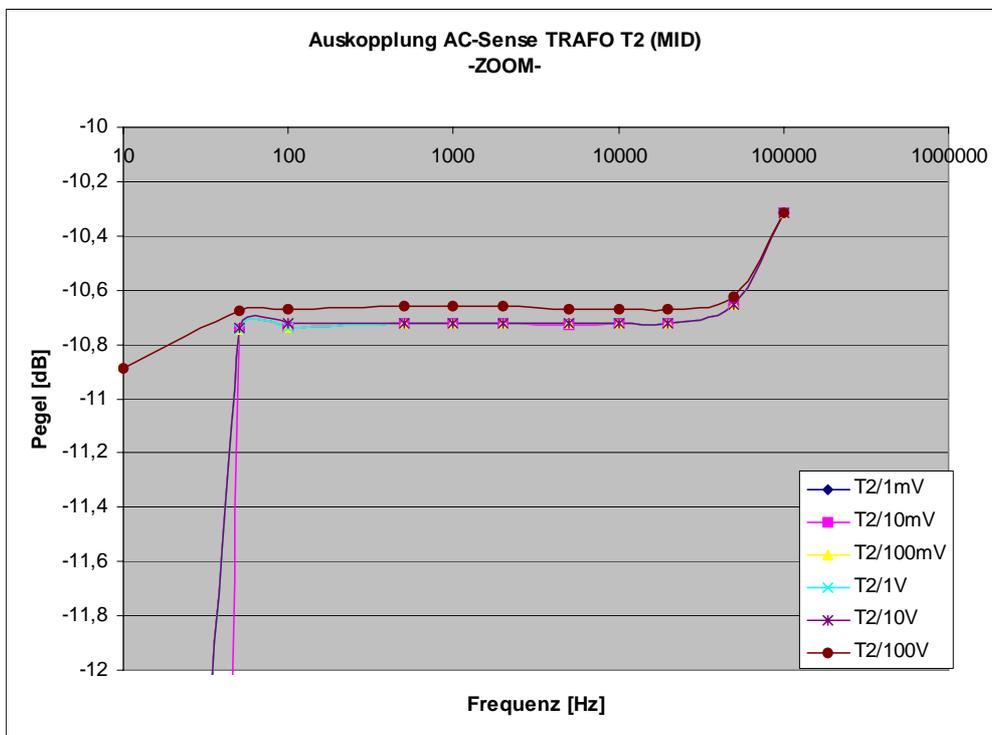


Zuerst interessierte mich, ob die AC-Sensing-Trafos auch korrekt umgeschaltet wurden bzw. arbeiteten. Wie Ralf schon in seinem Bericht schrieb, gibt es davon 3 an der Zahl; je nach Frequenzbereich verwendet man verschiedene Trafos, die quasi direkt am "elektrischen Puls" sitzen und die Größe der Ausgangsspannung ständig überwachen. Dazu koppeln sie einen exakt definierten Teil der Ausgangsspannung an die Regelung zurück, wo diese Spannung dann mit dem DC-Führungswert verglichen wird. Gibt es eine Abweichung, wird der Oszillator in der Amplitude nachgeregt und somit der Regelkreis wieder eingerastet. Mit den AC-Sensing-Trafos überprüfe ich im ersten Schritt quasi die "Sensorik" dieser Regelung.

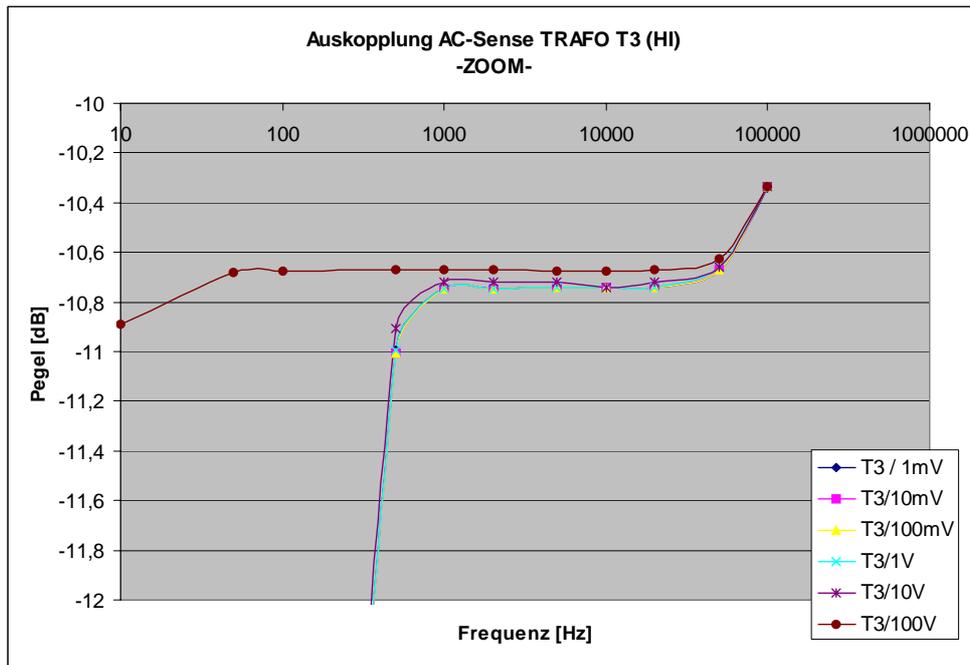
Ich habe die Frequenzgänge (inkl. der Verstärkerbaugruppe A7) aufgenommen und untersucht. Und siehe da, es kamen auch sinnvolle Ergebnisse heraus:



Trafo Nr. 1; wird verwendet im Bereich von 10Hz..999Hz. Wie man sieht, würde er vermutlich auch für höhere Frequenzen taugen.



Trafo Nr.2 wird für Frequenzen von 1kHz..99,999kHz verwendet. Dafür scheint er sich auch in der Tat gut zu eignen.



Und zuletzt Trafo Nr. 3: er soll den Bereich von 100kHz bis 1MHz abdecken. Da mein Audioanalyzer aber nur bis 100kHz funktioniert, habe ich diese Messungen nicht mehr durchgeführt.

Es bleibt anzunehmen, dass im 100V-Bereich kein Trafo mehr, sondern ein einfacher Spannungsteiler als Sensor verwendet wird, der in allen Frequenzbereichen benutzt wird. Das kann man auch gut in den Diagrammen erkennen (identischer Frequenzgang für alle drei Messungen T1/100V=T2/100V=T3/100V).

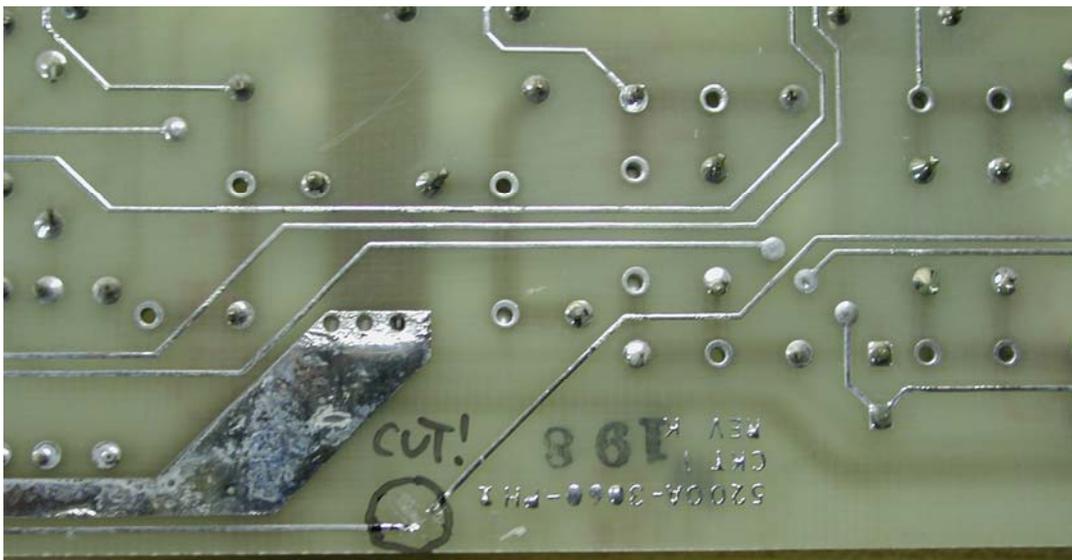
Und was lernen wir nun daraus? Sehr viel! Zum einen erkennen wir, dass -je nach eingestellten Frequenzbereichs-Wahlknopfes auch die Trafos mit korrekt umgeschaltet werden. Ein defektes Umschaltrelais in Baugruppe A6 hätte man an nicht zum Messbereich passenden Frequenzgängen gesehen und ist daher unwahrscheinlich als Fehlerquelle für meinen 100V-Defekt. Und noch besser: mit ziemlich konstanten ~10dB Auskoppeldämpfung scheinen alle AC-Sense-Trafos noch heile zu sein; viel wert bei einem Gerät aus dem Schrottverkauf!

Weiterhin drängt sich mir hier der Verdacht auf, dass der Power Amplifier A7 zu hohen Frequenzen hin "überkompensiert" sein könnte- schließlich weisen fast alle Frequenzgänge durchgängig einen starken Pegelzuwachs zu Frequenzen gegen 100kHz auf! Ob das aber auch an meiner verwendeten Messtechnik liegt, kann ich derzeit noch nicht sagen. Ist mir im Moment aber auch noch nicht so wichtig: das Attenuator-Board A6 und der Amplifier A7 scheinen -losgelöst vom Regelkreis- alle einzeln für sich zu funktionieren. Warum aber nicht zusammen im geschlossenen Regelkreis??!?!?

Um das zu ergründen, nehme ich nun eine weitere Baugruppe in meinen Testaufbau: nämlich den Oszillator und seine Steuereinheit! Dem gebe ich allerdings nicht die ALC-Steuerspannung aus der AC-DC-Baugruppe A8 zu "fressen", sondern speise dort mit einem Netzteil eine künstliche ALC-Spannung manuell ein. Es handelt sich dabei um eine Gleichspannung zwischen $\sim -1\text{VDC}$ und -11VDC , je nach Stellung der Dekadenschalter (0100000 bis 1100000). Die Kunst ist es, durch Einspeisen manuell eingestellter Speisesignale die Reaktion des Gesamtsystems so genau wie möglich zu beobachten. Wenn ich nun die künstliche ALC-Speisespannung so einstelle, dass am Oszillatorkausgang exakt dieselbe Amplitude und Frequenz erzeugt wird, wie vorher mit meinem externen Signalgenerator, dann dürfte es zu meinem vorherigen Test keine Unterschiede ergeben und sich die ganzen Messreihen exakt wiederholen lassen. Aber dazu tippe ich natürlich nicht wieder alle 936 Messwerte ein, sondern probiere ein paar -mehr oder weniger- intelligent ausgewählte Stichpunkte.

Wenn dann alle Schnittstellen der Regelschleife, die Ein- und Ausgangssignale der Baugruppen überprüft sind und zueinander passen, muss auch die geschlossene Regelschleife funktionieren. Wenn nicht, dann haben die Fluke-Ingenieure bei ihrer Konzeptfindung irgendwo Mist gebaut. Haben sie aber nicht, denn Ralfs Kalibrator läuft hervorragend, wie er mir versichert, daher muss meine Amplitudenregelung auch irgendwie zum Laufen zu kriegen sein!

Um den Test durchzuführen, kratze ich die Leiterbahn, die normalerweise die ALC-Regelspannung von Baugruppe A8 auf den Oszillator schickt, durch.....

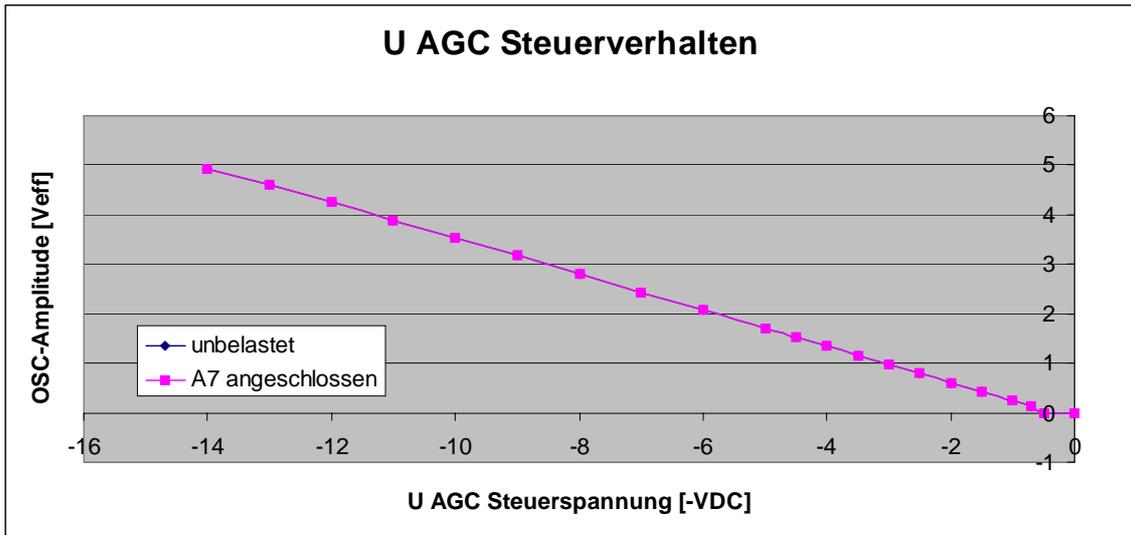


...und speise stattdessen über einen $4\text{k}\Omega$ Angstwiderstand in A9/TP7 meine künstlich generierte ALC-Spannung direkt ein.

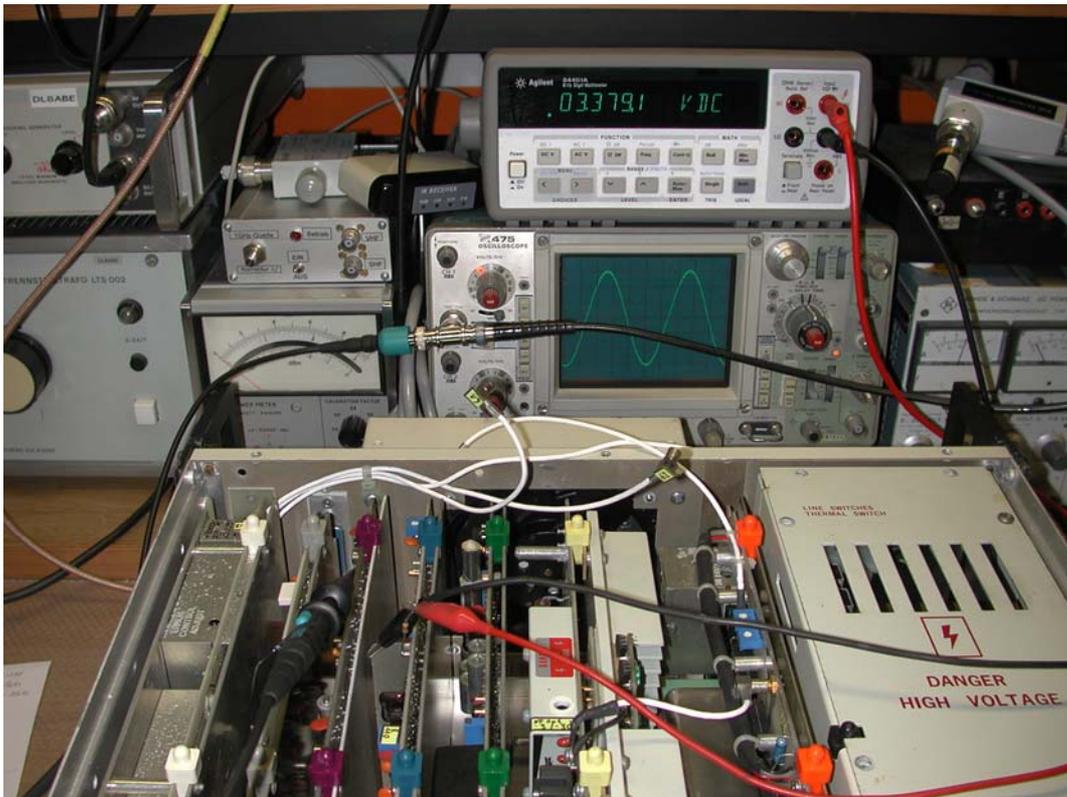


Das sieht dann insgesamt so aus:





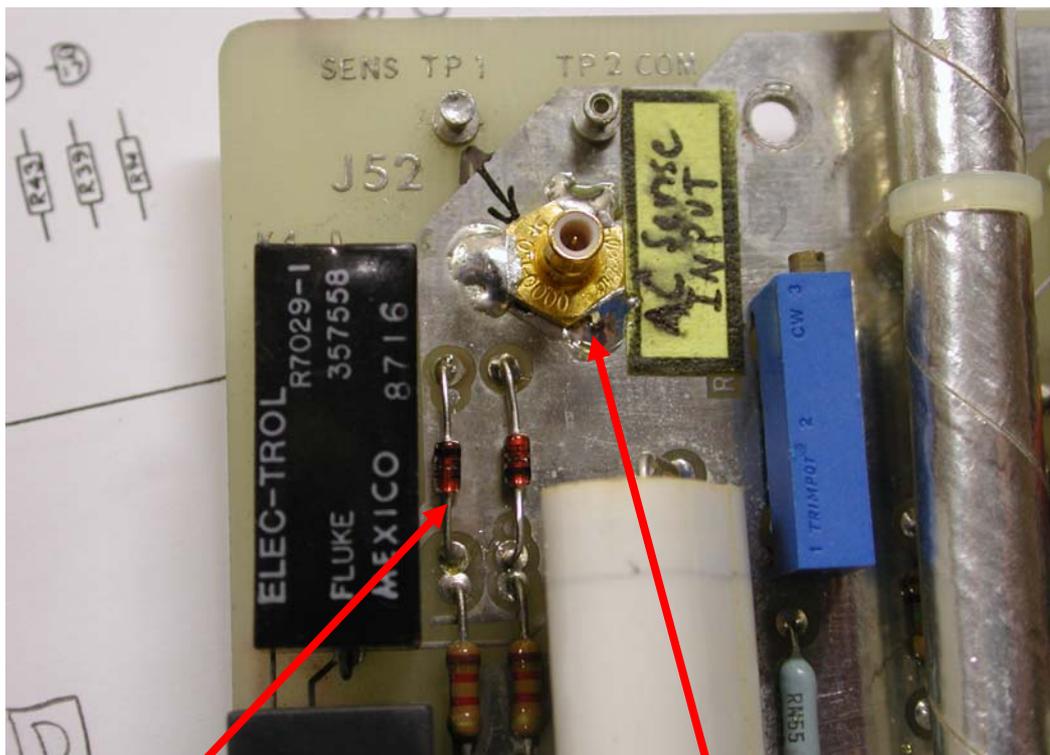
Im obigen Bild seht ihr, wie die künstlich eingespeiste ALC-Spannung die Amplitude der Oszillatorbaugruppe verändert. Ich habe zwei Messreihen durchgeführt: einmal mit offenem Ausgang (also unbelastet) und im zweiten Schritt mit angeschlossenem A7 Power Amplifier. Wie wir schön erkennen können, belastet die angeschlossene Verstärkerbaugruppe den Oszillator nicht. Das ist gut.



Messaufbau auf dem Bastelplatz

Nachdem das unauffällig war, steckte ich –pfffig, wie ich nunmal bin- auch die Sense-Leitung J52 (die mit dem Wackelkontakt) wieder zusammen und wollte messen, welche ALC-Spannung die Regelung denn „vorschlagen“ würde. Nanu- sobald ich die AC-Sense-Leitung anschlieÙe, rutscht das Oszillogramm einen Millimeter nach unten...hmm..??? Und noch schlimmer: wenn ich den 100V-Bereich anwähle, gibt’s einen dicken Offset von ca. -4V DC auf der Sense-Leitung! Ein Blick in den Schaltplan verrät: der gehört da aber nicht hin!

Nun war es nur noch eine Frage von Minuten, die Ursache zu finden. Eine der beiden Dioden, die als Überspannungsschutz der Sense-Leitung fungieren sollten, war defekt, so dass sie eine negative Spannung auf die gesamte AC-Sense-Leitung legte. Und wie es der Zufall so will, lag dieser Fehler nur wenige Millimeter vom letzten Fehler (Wackelkontakt) entfernt:



Diode defekt

Wackelkontakt

Nebenbei kann ich den Fluke-Jungs nun auch noch was am Zeug flicken; in ihrem Manual sind die Dioden CR22 und CR23 nicht richtig in der Partslist angegeben; naja ich „schätzte“ dann also großzügig und entschied mich für eine besonders hochwertig aussehende 1N4148, die aus dem Nachlass eines guten Freundes stammt (also bestimmt nicht älter ist als vielleicht gesunde 30 Jahre;-). Also raus mit dem alten Diodenkram und rein mit den „neuen“, haha! Zur Sicherheit habe ich gleich beide Dioden ausgewechselt.

Der Erfolg ließ nun nicht mehr lange auf sich warten: der Kalibrator funktioniert nun auch im 100V-Bereich! Juchuu!

Hinweis: Ralf empfiehlt mir hier den Einsatz von speziellen Low-Leakage-Dioden, die sich durch einen sehr geringen Stromfluss im Sperrbetrieb auszeichnen. Motto: je weniger Belastung für die Regelspannung, desto besser. Leider habe ich sowas nicht in der Bastelkiste. Ich gelobe aber feierlich, welche zu besorgen und nachzurüsten. ;-)

5 Zwischenergebnis

Naja, inzwischen habe ich auch einige Tage Freizeit in mein Fluke-Projekt versenkt, aber dafür belohnt jedes Mal das Glücksgefühl, wieder einmal einen Fehler gefunden zu haben ☺

Es ist Zeit für eine kurze Bilanz. Bis jetzt gefundene Fehler:

- a) Ein Transistor in der -15V Endstufe (Netzteil) defekt
- b) Der zugehörige Treibertransistor (Netzteil) defekt
- c) Ein Wackelkontakt in der Sense-Leitung
- d) Eine Diode in der Überspannungsschutzschaltung des AC-DC-Wandlers defekt

Meine „Beute“:

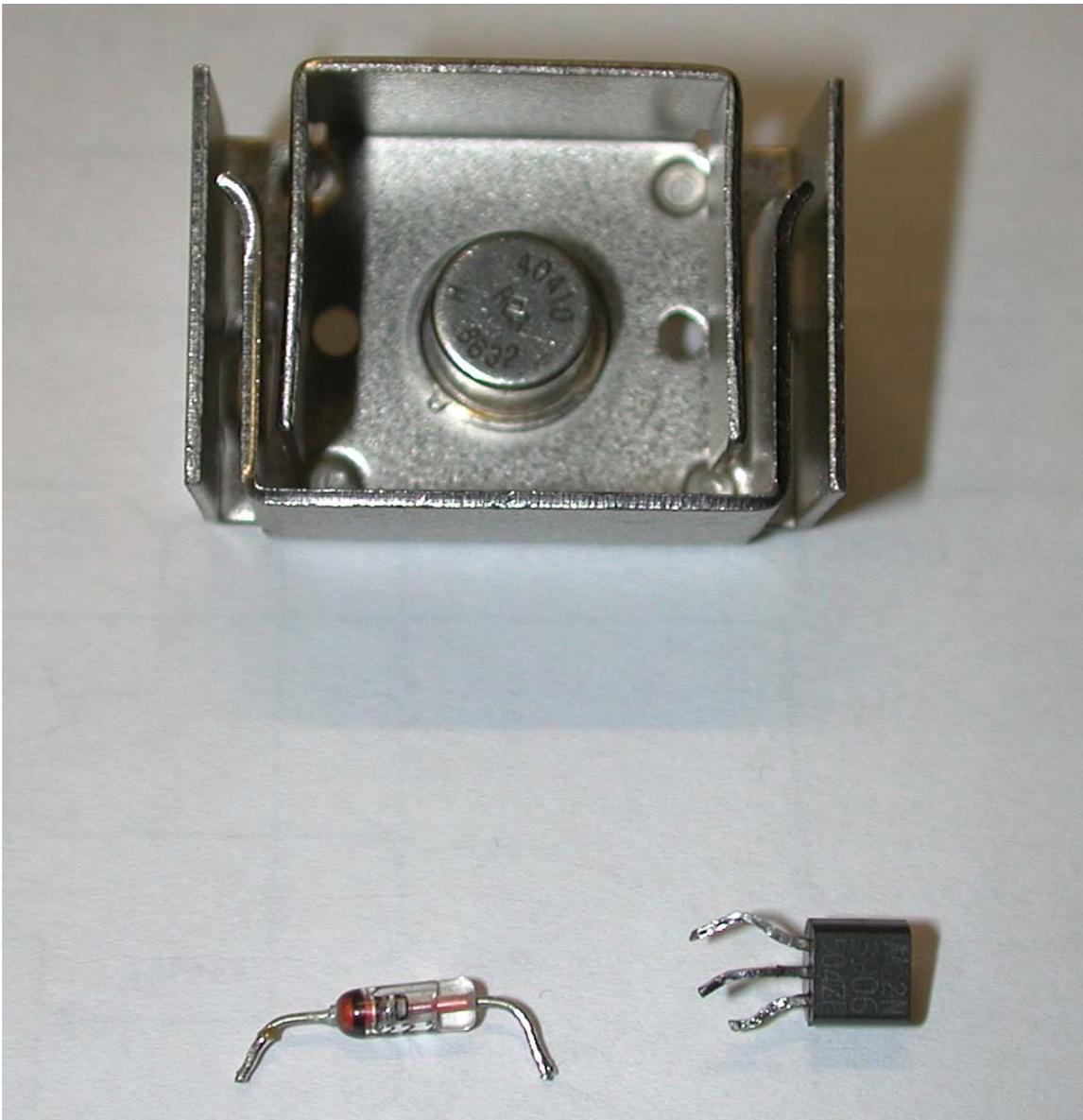


Bild: defekte Bauteile aus meinem Fluke 5200A

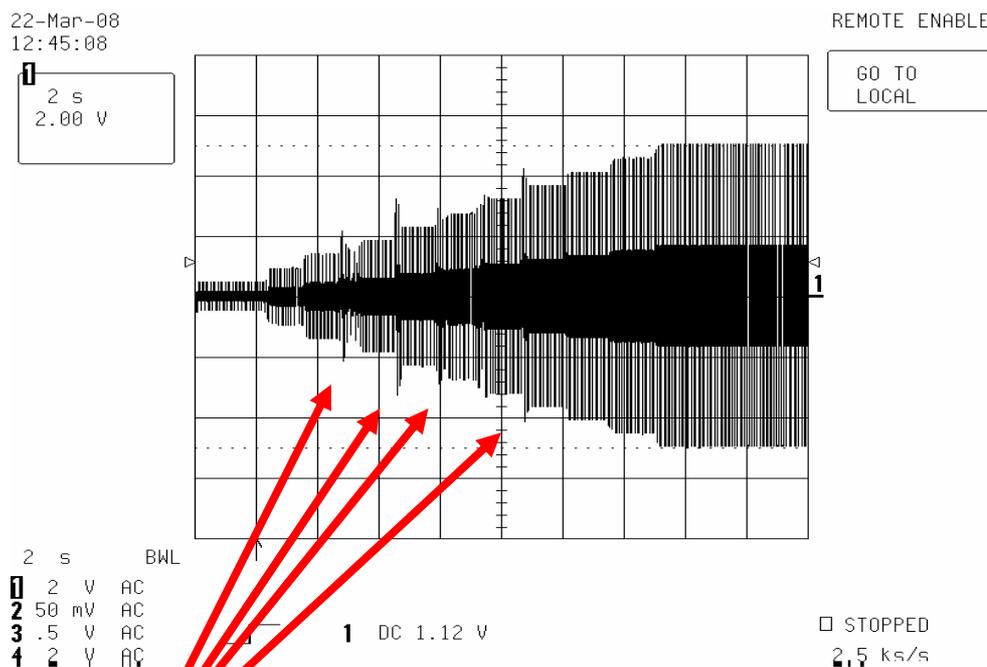
Was mich nun noch an der ganzen Geschichte stört, sind Wackelkontakte in den Dekadenschaltern. Und dazu kommen wir jetzt.

6 Vierter Fehler

Mit Wackelkontakten fängt man sich so den kompletten Zoo lustiger Schweinerei-Effekte in der Ausgangsspannung ein, die man bei einem Kalibrator nun wirklich nicht gebrauchen kann. Äußern tun sich die Symptome derart, man an dem „Dekadenklavier“ etwas einstellt und am Ausgang feststellt, dass die produzierte Spannung so gar nicht zur Anzeige passt. Wenn man dann an den Dekadenschaltern leicht wackelt, macht es „schwupps!“ und die Spannung stimmt. „Aha!“, sagt sich da der findige Ingenieur: „Wackelkontakt!“

Und Recht hat er!

Also schloss ich mein Speicheroszilloskop an (so ganz im konträren Gegensatz zu Ralfs gemütlichem Röhrenoszilloskop! ;-)) und nahm die Ausgangsspannung auf, während ich den vordersten Dekadenschalter langsam hochschaltete.

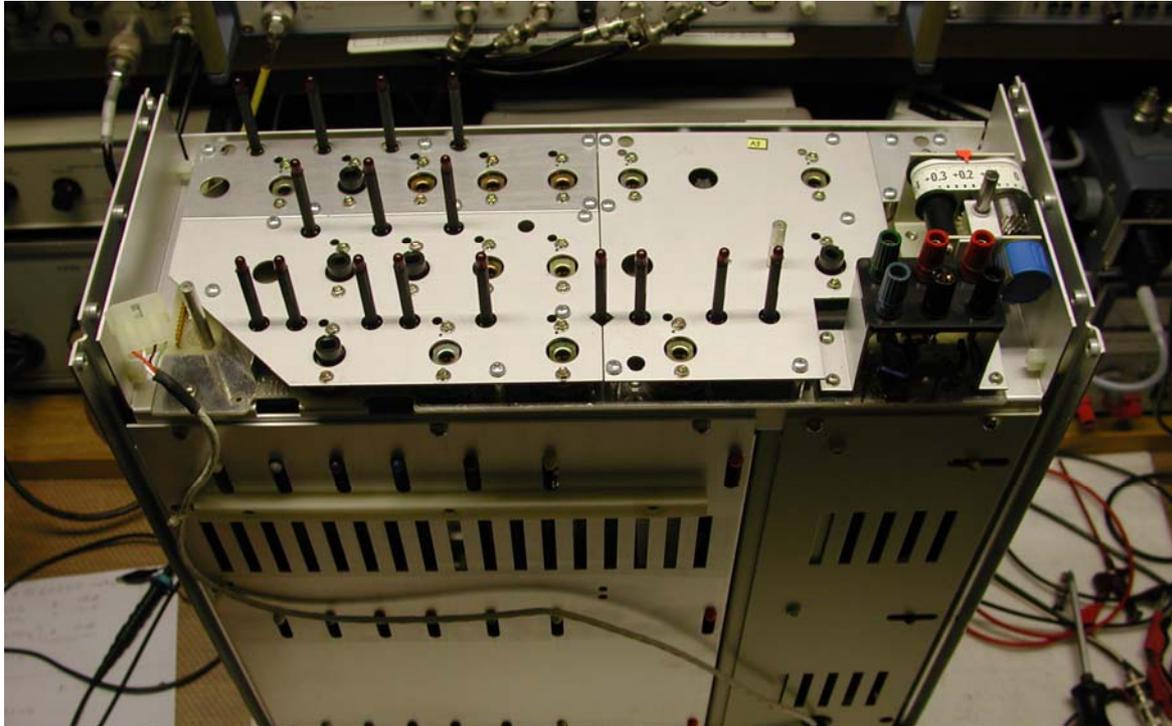


Guckst du hier!

Nicht jedes Stufenbild sah so gut aus wie dieses hier! Bei einigen wurden die Amplitudenzustände gar nicht (oder stattdessen andere!) erreicht. Selbst in diesem „Gut-Fall“ sind noch heftige Umschaltpeaks zu sehen, bei denen ich an den Dekadenschaltern wackeln musste, um guten elektrischen Kontakt herzustellen. Also auf zur Baugruppe A3!

Übrigens ist das hier jetzt eine Arbeit für jemanden, der Vater und Mutter erschlagen hat!!!!

Für das Auseinandernehmen musste ich tatsächlich etwas machen, was ich sonst eigentlich nie tue: ich las die „disassembly instruction“! Zuerst muss man also den Verstellknopf für das Skalenband („Vernier“) mit einem irre kleinen Inbus abschrauben, dann kann man ein paar seitliche Schrauben in den Griffen lösen und die komplette Frontplatte nach vorne hin abziehen. Das Gerät sieht dann so aus:

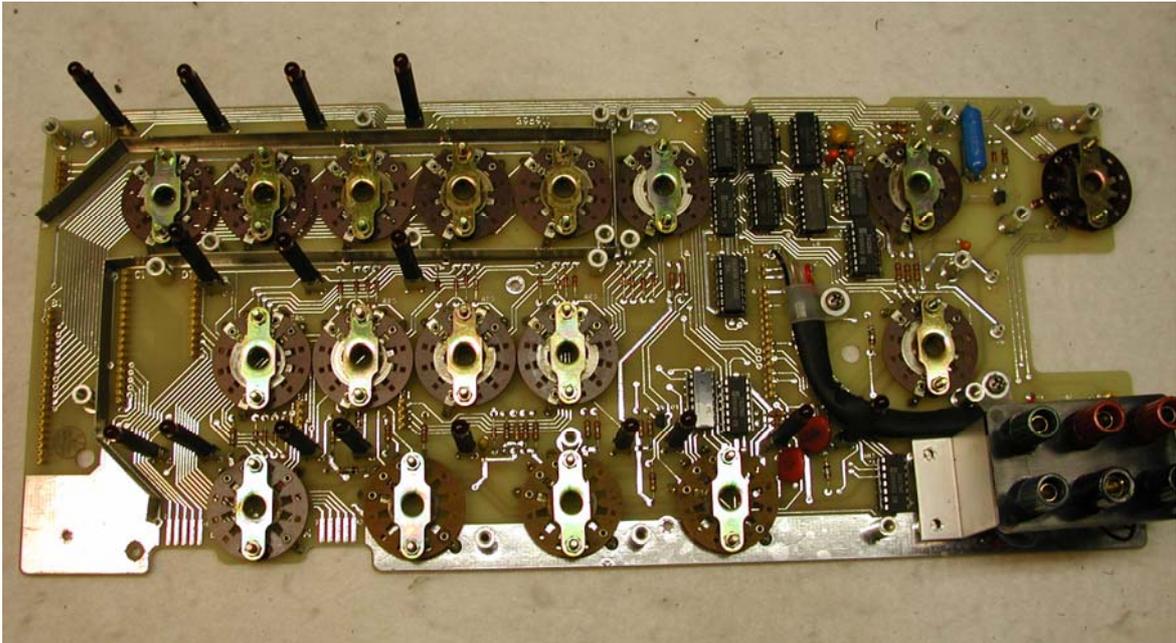


Danach muss man die ganzen Bleche abschrauben; dazu sind ein ganzes Arsch voll ;-) Kreuzschlitzschrauben als auch 6Kant-Muttern zu lösen. Guckst Du Ergebnis:



Danach gilt es nur noch, die Lächerlichkeit von Netzteil auszubauen, damit man an die von hinten liegenden Schrauben für die Skalenband-Einheit kommt, die kurz ablupft und „schon“ kann man durch geschicktes Hebeln mit einem Holzkeil die gesteckte Leiterplatte A3 abziehen. Ein Klacks, wenn man genügend Zeit hat....

Viele Tage später:



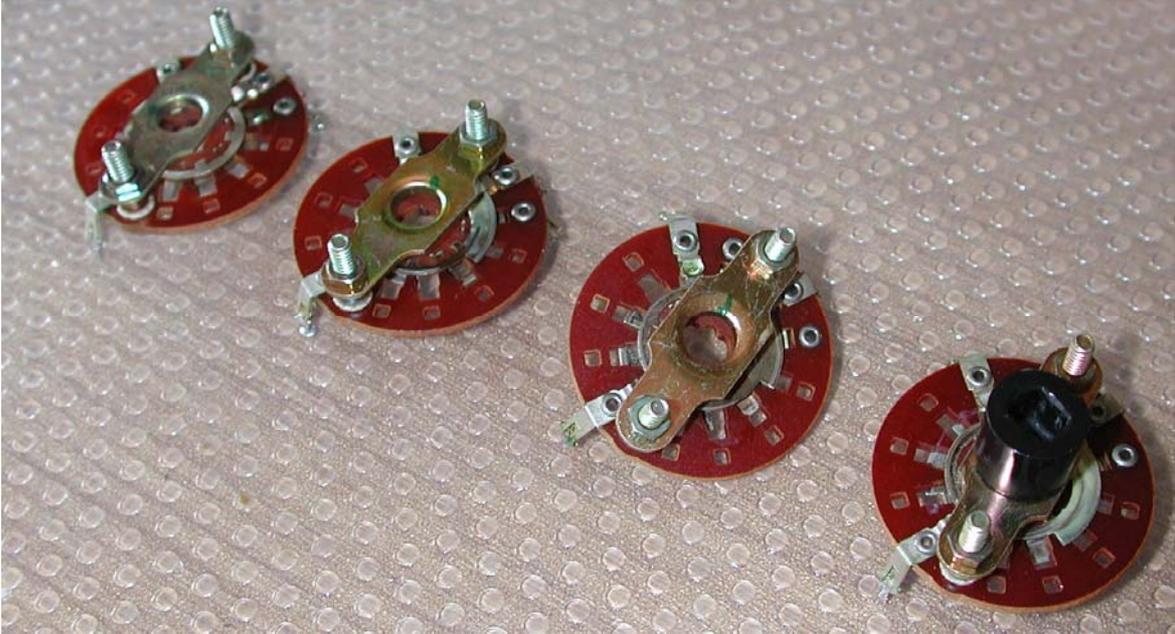
Die Sau ist raus und man erkennt sofort die Reihe der Übeltäter: nicht gekapselte Stufenschalter; vermutlich aus dem Trägermaterial Pertinax; so wie ich es z.B. aus alten Röhrenprüfgeräten oder Dampf radios her kenne. Hier muss man bei der Reinigung sehr aufpassen: nicht jedes Kontaktspray verdunstet so rückstandlos, dass der Pertinax-Träger nach der Behandlung auch noch schön hochhohmig bleibt! In Ermangelung eines Ultraschallbades verwende ich hier gerne „Kontakt 60“ des Herstellers „Kontakt Chemie“. Damit habe ich bislang noch keine Probleme gehabt. WD-40 funktioniert wohl auch; wird oft von Second-Hand-Messgeräthändlern empfohlen. Es stinkt aber so fies nach Klebstoff, daher ziehe ich das Kontakt60 vor. Es löst gut Oxidschichten, greift die Oberfläche aber wiederum auch nicht so stark an, dass man sich nicht gleich bis durch die Bodenplatte in den Keller durchätzt!

Zur Reinigung ist das Auslöten der Stufenschalter Pflicht. Das ist gar nicht so einfach; man braucht hier eine gute Flutsche und viel Geduld, damit man von den dünnen Beinchen nichts abreißt (habe ich trotzdem in einem Fall geschafft).

Ausgebaut sehen die Teile so aus:

Von oben:

(in den Schalter ganz rechts habe ich eine von den vielen Plastik-Adapterhülsen eingesteckt, in die die ganzen Dekadenschalter dann hineinfassen)



Und von unten:



Nach der Reinigung mit Kontakt60 fette ich die Kontakte übrigens mit Kontaktfett ein, damit die Oberflächen etwas besser gegen Korrosion geschützt sind. Ich kenne diesen Trick von meinem Hammond-Orgelhobby; da fettet man die Sammelschienen für die ganzen Tastenkontakte auch immer ein. Was also für ein Musikinstrument der 50er Jahre gut ist, kann mir für diesen Kalibrator „Frischling“ der 70er Jahre nur recht sein- also zart aufpinseln die Creme und dann am Ende noch zur Kontrolle brav den Kontaktwiderstand gemessen (SOLL: wenige Milli-Ohm!).



Bild: Nach dem Reinigen vorsichtig etwas Kontaktfett auf die Schleiferflächen auftragen

Ein kleines Beispiel, wie verdreckt manche Umschalter sind:



vorher



nachher

Ich gebe zu, bei derartigen Verkrustungen habe ich zärtlich den Glashaarradierer angesetzt. Hier sollte man aber aufpassen, dass man mit solch rüden Methoden nicht eine ggfs. vorhandene Oberflächenbeschichtung mit abrubbelt. Also Vorsicht!

Mit diesen Methoden konnte ich den Kontaktwiderstand von manchmal ca. 50 Ohm bis auf knapp 10 Milli-Ohm herunterdrücken.

Wichtig:

Beim Zusammenbau erst die ganzen Lötungen auf der Platine schön frei saugen, dann die ganzen Dekadenschalter hinein (noch NICHT anlöten!!!), die Metallblende anschrauben, alle Dekadenschalter anschrauben und erst DANN anlöten. Nur so ist gewährleistet, dass die Lötungen nachher nicht alle unter mechanischer Spannung stehen und ggfs. abreißen können, wenn man die Schrauben dreht.

Übrigens: wenn man schon einmal die Frontplatte abgebaut hat, kann man auch gleich die Rast-Mechanismen etwas fetten. Das ist ja rein mechanisch, also tut es hier eine gute Prise Stauer-Fett zwischen Federbleche und Stahlkugeln. Dann lassen sich die ganzen Dekadenschalter wieder knackig und exakt einstellen. Der Netzschalter sowie der Standby/Operate-Schalter bekamen ebenfalls gute Schmierung und ein Tröpfchen Öl ab, denn der machte schon von Anfang an hässliche Quietschgeräusche.



Bild: demontierte Frontplatte von hinten

7 Virtuelles Ende

Eigentlich wäre diese Geschichte nun mit einem deftigen Happy-End abgeschlossen. Es hätte doch auch alles so schön sein können. Aber das Leben hält -besonders für die, die es machmal "zu genau" wissen wollen-, besondere Überraschungen bereit. Und genau eine solche bekam ich bei meinem "burn-in-Test" auch prompt geschenkt.

Wie es sich gehört nach einer langen und gewissenhaften Reparatur, machte ich also einen Dauerlaufstest. Dazu stellte ich den Fluke5200A auf seinen ihm zugedachten Platz auf dem Bastelplatz und schaltete ihn ein. Mit einem Kontroll-Multimeter am Ausgang (ein Fluke 87-IV, wen es interessiert...) überprüfte ich in unregelmäßigen Abständen von einigen Stunden, ob die Ausgangsspannung noch erwartungsgemäß erzeugt wurde.

Über einige Zeit ging das auch zufriedenstellend, aber kurz vor dem Abend des ersten Tags sah ich schon von Weitem, wie mich diese hässliche Overload-LED schon wieder von Weitem angrinste. Ein spontaner Griff zum Einschaltknopf des Multimeters verifizierte meine Vorahnung: die Ausgangsspannung war schon wieder NULL, das verzweifelte Wackeln und Herumkurbeln an sämtlichen Bedienelementen des 5200A änderte daran auch nichts.

Also kommen wir zum...

8 Fünfter Fehler

Dieser Abschnitt ist die reinste Irrfahrt durch die einzelnen 5200A-Baugruppen und zwi-schendrin wurde ich fast wahnsinnig! Gleichspannungsgekoppelte Verstärkerstufen, diskret aufgebaute Operationsverstärker mit Transistoren, die kein Ar... kennt (sorry für den Aus-druck) und Arbeitspunkte, die sich durch die ganze Regelei schneller verstellen, als man Messstrippen anlöten kann! Aber beginnen wir ganz am Anfang:

8.1 Proband Nr.1: Netzteil (A5)

Wie wir ja inzwischen gelernt haben, starte ich bei solchen Fehlerbildern immer ganz vor-ne mit dem Netzteil. Also aufgeschraubt die Dose und festgestellt, dass die +5V, +15V und -15V alle korrekt anliegen. Gut, wäre auch deprimierend für mich gewesen, wenn mein frisch repariertes Netzteil schon gleich wieder den Geist aufgegeben hätte.

8.2 Proband Nr.2: Power Amplifier (A7)

Dann prüfte ich die +/-190V Betriebsspannung in der A7 Power Amplifier Baugruppe. Und siehe da: die +190V sind in Wirklichkeit nur wenige Volt, dadurch gerät die Overlo-ad-Detection außer Balance und schaltet damit -pflichtbewusst- die Overload-LED ein.

Die +190V werden durch +240V, die vom Netzteil A5 gespeist werden, über einen Längs-transistor geregelt. Eine kurze Messung zeigt, dass die eingehenden +240V in echt +232V sind (ok, das lassen wir durchgehen) und vor dem Kollektor des Längstransistors auch brav anstehen. Dahinter sieht man von den +240V aber nicht mehr viel; bei einem fließen- den Strom von ca. 70mA (Messung über R52) scheint die Spannung entweder nicht richtig über die Längstransistoren nachgeregelt zu werden oder dahinter einfach aus mir noch nicht bekannten Gründen zusammenzubrechen. Die Längstransistoren scheinen ok zu sein (jedenfalls suggerieren mir das sowohl die durchaus nachvollziehbaren Schwellspannun- gen der Diodenstrecken) als auch die Gegenprobe mit einem ängstlichen BU208. Für freundliche Stimmung sorgt stets das Fluke-Servicesystem, bei dem fast alle Transistoren in Steckfassungen gehalten werden; für Reparaturzwecke also innerhalb weniger Sekunden herausziehbar sind und so einzeln überprüft werden können!

Halten wir also bis hierhin fest:
Am Kollektor von Q26 liegen +232V an
Am Emitter von Q26 liegen +3V an
Die Emitter-Kollektorspannung beträgt ca. 0,+55V

Es scheint also so, als ob der gute Q26 mal gerade so *nicht* durchgesteuert wird; denn wenn die fließenden 70mA Strom (gemessen durch R52) die +232V zu stark belasten würden, dann müsste die Spannung bei leitendem Transistor(!) genauso vorne wie hinten zusammenbrechen. Ergo: Q26 sperrt und es gilt herauszufinden, warum.

Den nächsten Hinweis liefern mir die Messpunkte TP5 und TP4. Die Spannung zwischen ihnen beiden wird über einen 100Ohm-Widerstand in Reihe zur Brückendstufe gemessen. Und hier sind wieder 0,7V => 70mA zu errechnen. Aha! Die 70mA scheinen also irgendwie durch die Endstufe abzufließen!

Ich könnte mir das nun wie folgt erklären:

wenn ein Endstufentransistor defekt wäre und einen Kurzschluss verursacht, dann fließt durch die Endstufe ein unzulässig hoher Ruhestrom. Das belastet die Spannungsversorgung (z.B. +190V) und lässt durch R52 zunehmend Strom fließen. Das merkt aber Q27 und wird dadurch aufgesteuert. Das Aufsteuern wiederum gräbt den Längstransistoren im +190V-Versorgungsteil zunehmend das Wasser ab (lässt sie also sperren), um größere Schäden durch Überstrom zu verhindern. Was wir hier sehen, könnte also durchaus das gewünschte Verhalten einer gut funktionierenden Strombegrenzung sein!

Und so war es auch: die Baugruppe A7 erwies sich letzten Endes als völlig heile, denn ich stellte während meiner Untersuchungen fest, dass die Oszillatorbaugruppe defekt war. Anstatt eines Sinus, speiste sie etwa -5,5V DC in den Power Amplifier ein; das führte natürlich dazu, dass er durch diese Eingangsspannung in die Begrenzung getrieben wurde und –wie erwartet– die Overload-Schaltung pflichtgemäß einsetzte.

8.3 Proband Nr.3: Oszillator (A10)

Und weiter geht's mit der spannenden Suche, die inzwischen schon einige Tage verschlungen hatte. Inzwischen hatte ich kapiert, dass der Power Amplifier also nur seine verdammte Pflicht tat, bei einer angebotenen Gleichspannung in die Begrenzung zu fahren. Daher fragte ich mich, weshalb er ein solch fades Menü am Eingang angeboten bekommt und nahm die Oszillatorbaugruppe etwas Näher unter die Lupe. Und die bricht mir fast das Genick, denn diskret aufgebaute, gleichspannungsgekoppelte Operationsverstärker gehören für mich seit diesen Tagen zu dem Ekligsten, was ich je kennenlernen durfte. Vergleichbar mit einer prall gefüllten Güllegrube, aus der man verzeifelt versucht, Nachbars Katze zu retten. Es gehört echt Überwindung dazu!

Die Betriebsspannungen kommen alle sauber auf der Baugruppe an und selbst unter einem 2700Ohm Belastungswiderstand (so verlangt es das Manual) brechen sie nicht ein. Der Reparaturleitfaden empfiehlt, nun nacheinander alle drei Operationsverstärkerschaltungen (A10A1, A10A2 und A10A3) zu prüfen. Dazu hebt man die Rückkopplung durch R1 auf (hochlöten) und kurbelt durch Variieren der Offset-Spannung mit R2 deren Arbeitspunkte durch. Da die drei OpAmps nahezu identisch aufgebaut sind, kann man die Messergebnisse gut vergleichen.

Rein didaktisch wird es mal wieder Zeit für ein Bild.

Zur Auflockerung ein nettes Motiv aus der Toscana in Italien aus meinem Urlaub in 2007. Hat mit diesem Projekt zwar nix zu tun, hebt aber die Stimmung! ☺

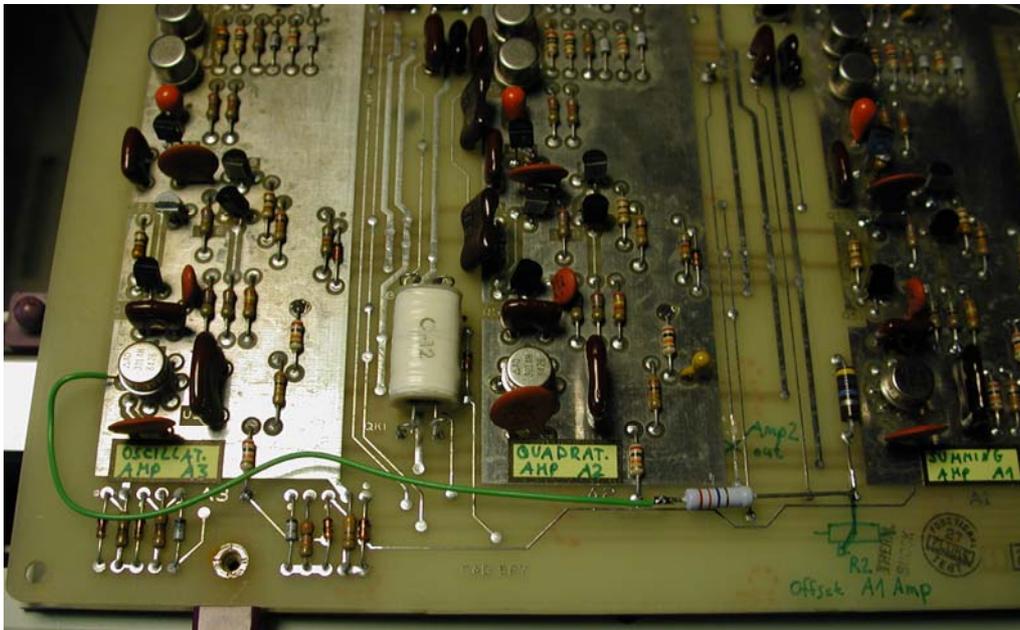


Der Typ da übrigens bin ich, zu diesem Zeitpunkt wusste ich allerdings noch nichts von meinen Fluke 5200A-Freuden, sonst hätte ich mich dort an den nächstbesten Olivenbaum gekettet und wäre in Italien geblieben ;-)

Also weiter im Text. Ich las den Reparaturfaden für die Baugruppe A10, stellte aber schon bald fest, dass der mir nicht wirklich weiter hilft. Also trennte ich die Verkoppelung der drei OpAMps auf, indem ich einfach die Leiterbahnen durchkratzte und speiste über einen 22Mohm-Vorwiderstand mutwillig dieselbe Offsetspannung von R2 auch in die anderen OpAmps ein. Wenn sie identisch beschaltet sind, müssten sie sich ja auch identisch verhalten!

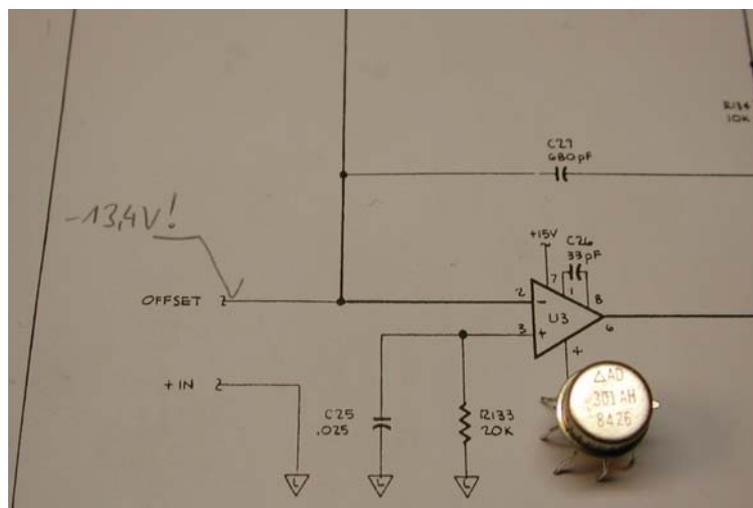
Den Rückkopplungswiderstand (R4) von 1kOhm, der nur in A10A1 verwendet wird, ergänzte ich bei A10A2 und A10A3, damit für alle drei OpAmps gleiche Testbedingungen herrschten.

In diesem Bild sieht man gut, wie ich über einen zusätzlich eingefügten 22Mohm-Vorwiderstand dem OpAmp A3 eine –durch R2 regelbare- Offset-Spannung aufdrücke (grünes Kabel).



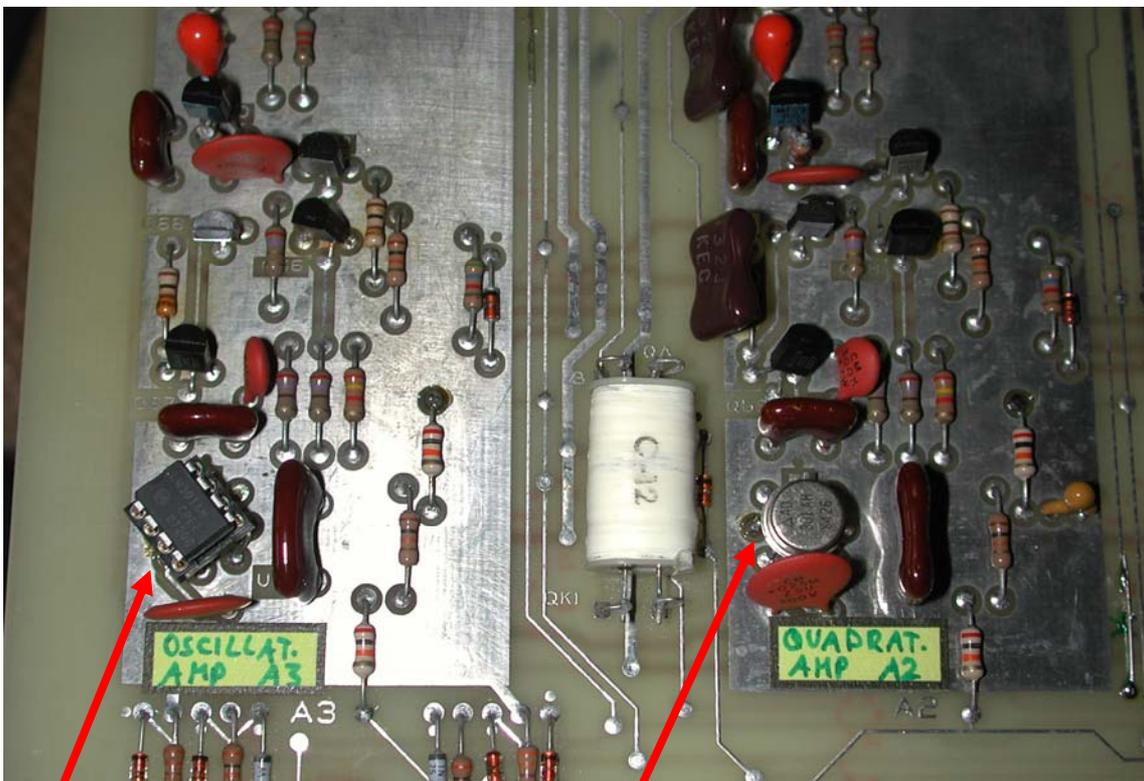
Am Ausgang der Schaltung (TP7) staunte ich über das Ergebnis: während die beiden vorherigen OpAmps (A10A1 und A10A2) ein Schmitt-Trigger-Verhalten zeigten (also beim Verstellen von R2 sprunghaft einen Wechsel der Ausgangsspannung von -14V auf +14V), änderte sich hier jedoch NICHTS! Schon merkwürdig.

So perfide es klingt, aber der diskret aufgebaute OpAmp benutzt zusätzlich tatsächlich auch noch einen „echten“, also integrierten OP: einen AD301. An dem kontrollierte ich seine Eingänge- und erschrak: etwa -13V auf Pin2 und Pin3, das bedeutet nichts Gutes! Ein Vergleich: seine Kollegen in den rechts daneben liegenden Schaltungen hatten brav Massepotential. Also vermutete ich jetzt stark einen Defekt in genau diesem OP! Also raus mit dem Mistvieh:



Und nun die Kunstfrage: wo kriegt man noch einen AD301 als Ersatztyp her?? Von meinem Haus-und-Hof-Lieferanten leider nicht, also begann ich eine Internet-Recherche. Ich entdeckte, dass es den AD301 auch von anderen Herstellern z.B. als LM301 gibt (das Schaltbild ist laut Datenblatt identisch!). Das ist prima, denn den gibt's bei meinem H&H-Lieferanten zu bestellen. Zu dumm, wieder Warterei, aber auf diese paar Tage kommt es jetzt auch nicht mehr an.

Nachdem auch der Warnstreik der beritteten Beutelpost vorüber war (die Warterei auf das Ersatzteil war zwar nervenzerfetzend, aber trotzdem: viel Glück, Jungs!), traf endlich der bestellte LM301 ein. Leider gibt's den nur im 8poligen DIP-Gehäuse, passt also mechanisch nicht zum TO-5-Gehäuse des AD301. Also lötete ich mir an eine 8polige IC-Fassung ein paar Silberdrähte an und lötete das Ersatz-Bauteil auf diese Weise erfolgreich in die Platine. Ein wenig schief zwar –wegen meines IC-Adapters ging das nicht anders- aber elektrisch einwandfrei. Also meine ganzen Testwiderstände rausfummeln und die durchgekratzten Leiterbahnen wieder überbrücken und dann Strom auf die Kiste!



● LM301 (neu)
DIP-8 Gehäuse

● AD301 (alt)
TO-5-Gehäuse

Wenige Sekunden später zeigt sich, dass Beharrlichkeit zum Ziel führt. Nämlich mit dem sechsten Fehler....

9 Sechster Fehler

Ich traue es mich ja schon bald nicht mehr zu schreiben (hey, liest überhaupt noch jemand mit?), aber der LM301 alleine war es leider nicht. Zwar schwingt der endlich Oszillator mit dem ausgewechselten U3 jetzt endlich wieder, die gemessene Offset-Spannung an den Eingängen ist verschwunden und die Frequenz lässt sich nun auch korrekt verstellen.

Aber die Pegelregelung scheint nicht zu funktionieren; ein Pulsieren der Amplitude lässt auf eine ausgerastete ALC schließen und die rhythmisch blinkende Overload-LED zeigt pflichtgemäß an, dass der Ausgangspegel zyklisch in die Begrenzung gefahren wird. Schönder Mist! Also weitersuchen!

Wenn ich mir das Zucken der Overload-Lampe genauer ansehe, erkenne ich eine Abhängigkeit von der ALC-Regelspannung, die den Generator in der Amplitude auf einen präzisen Wert hin ausregeln soll.

Im Einschaltmoment schwillt diese Regelspannung langsam an, weil die Schaltung offensichtlich der Meinung ist, dass zu wenig NF-Pegel erzeugt wird (warum, lassen wir erst einmal dahingestellt sein). Irgendwann wird diese Regelspannung so groß, dass der Oszillator so viel NF erzeugt, dass der Verstärker A7 in die Begrenzung gefahren wird. Dann greift -pflichtgemäß- die Overload-Protection und die Regelspannung fällt wieder ab. Das wiederum führt dazu, dass sich der Overload-Zustand wieder aufhebt, die ALC-Regelspannung wieder zu steigen beginnt, usw... Ein Teufelskreis!

Und? Was tun wir jetzt?

Wie ein einer Partnerschaft: natürlich erst einmal stabile Verhältnisse schaffen! Also die ALC-Regelspannung lahm legen und stattdessen eine manuell einstellbare Gleichspannung aus einem Netzteil einspeisen. Kommt Euch bekannt vor? Brav, dann habt Ihr gut gelesen- weiter oben haben wir das nämlich schon einmal gemacht (siehe „Dritter Fehler“)!

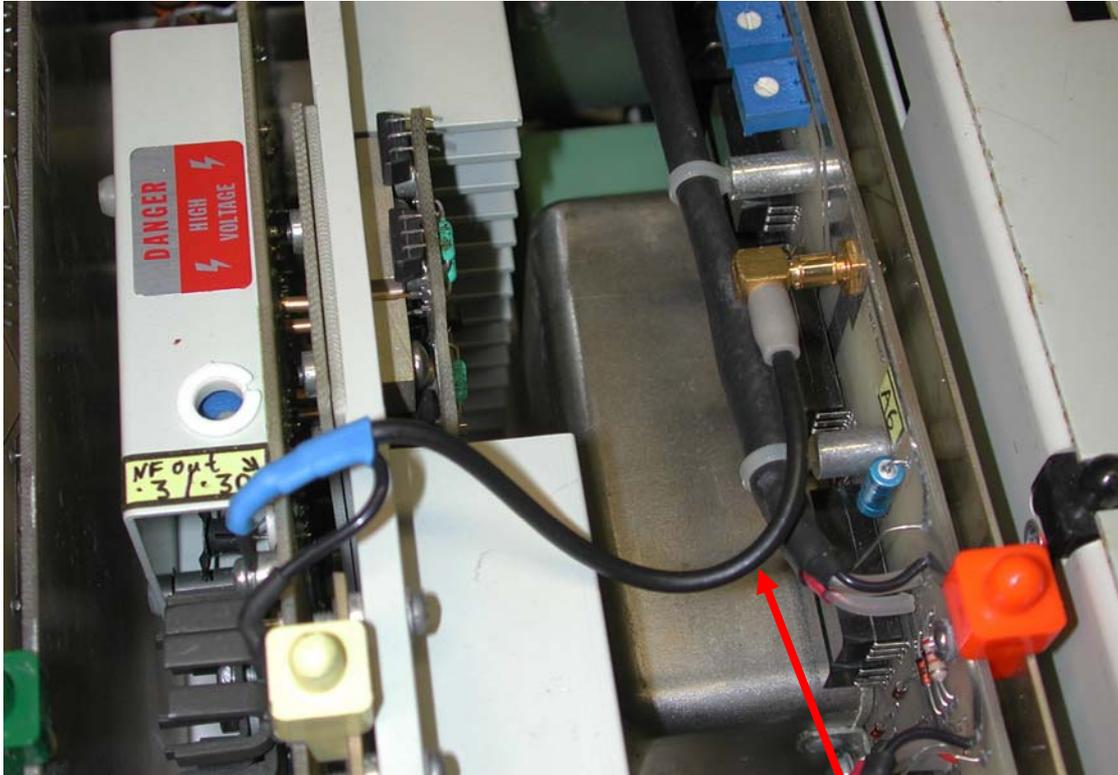
Also flugs die Leiterbahn vor TP7 auf Leiterplatte A9 OSC CONTROL aufgetrennt und über den 4k70Ohm Angstwiderstand wieder eine negative Gleichspannung eingespeist. Und siehe da: der Oszillator lässt sich sauber in der Amplitude steuern, der Power Amp verstärkt sauber das Signal und liefert auf Wunsch richtig "Düse" an seinem Ausgang.

Leider kommt davon aber rein gar nichts an den Anschlussbuchsen auf der Frontplatte des Fluke5200A an- irgendwo muss also dieses Signal also auf dem Weg über A6 (Attenuator) und A3 (Switch PCB) verloren gehen. Solche permanenten Fehler mit nachvollziehbarem Signalweg sind immer die besten, denn sowas lässt sich normalerweise mit relativ wenig Aufwand finden.

Ich stelle also eine "gemütliche" ALC-Steuerspannung ein (z.B. -5V DC), wähle den Messbereich "10V" und verfolge das Signal vom Ausgang des PowerAmps bis hin zum Ausgang (Geräte-Anschlussbuchsen). Und –Rumms!- finde ich den Fehler!

Das Ausgangssignal des Power Amplifiers wird über eine kleine Teflonleitung und eine SMB-Steckverbindung in die Baugruppe „Attenuator“ eingespeist. Und genau hier klemmt es: die Steckverbindung hat einen Wackelkontakt! Also entweder sind die Fluke-Mechaniken wahre Mimosen, oder ich habe durch meinen häufigen Ein- und Ausbau den SMB-Steckerchen etwas zu viel zugemutet. Ersteres glaube ich nicht, also habe ich vermut-

lich zu viel dran herumgegrabbelt. Fakt ist, dass man sich bei 30 Jahre alten Geräten nie auf Steckverbindungen einfach so verlassen kann- ganz gleich, wie professionell sie denn ursprünglich einmal ausgeführt waren. Ich kann also jedem von Euch nur wärmstens empfehlen, die Kontakte immer mit Multimeter oder Oszilloskop zu überprüfen: nicht alles ist auch gut, was nur gut aussieht.



SMB-Steckverbindung zwischen A7 und A6 erneuert!

10 FAZIT

Mit dem anschließenden Zusammenbau war es dann erledigt: der Fluke 5200A war **ENDLICH ENDLICH FERTIG!**

Fertig?

Naja, nun nicht ganz!

Den eingebaute Windhosen-Turbine (=Gehäuselüfter) werde ich irgendwann noch einmal herauswerfen und gegen ein zeitgemäßes Modell ersetzen.

Aber noch was fehlt:

Eigentlich folgt jetzt –für einen Kalibrator- der wichtigste Teil: die korrekte Kalibrierung! Ich werde leider warten müssen, bis mir für diese Zwecke ein passender Transfer-Standard (z.B. Fluke 540B) über den Weg läuft. Aber auch so macht der 5200A schon Freude: für die Kalibrierung eines billigen Handmultimeters taugt er auch mit seiner ursprünglichen (sicher viele Jahre zurückliegenden) Kalibrierung allemal.

Wenn man sich solch einem Projekt hingibt, fragte ich mich zwischendurch immer, wofür ich mir die ganze Arbeit denn eigentlich mache; aber solche zweifelnden und damit bösen Gedanken muss man sofort verdrängen! Mit unserem Hobby tun wir niemandem weh (naja- die Haushaltskasse mal außen vor gelassen) und schonen sogar die Umwelt, indem wir alten Schrott aufarbeiten und nicht wegwerfen. Eigentlich löblich, löblich! ☺

Trotz aller Spannung beim Reparieren sollte man sich auf dem Weg zum Kühlschrank (um Bier zu holen, natürlich) übrigens stets davon überzeugen, dass die Ehefrau noch immer im selben Haus wohnt und die Kinder inzwischen nicht eingeschult wurden, konfirmiert sind oder gar geheiratet haben und letzte Woche ausgezogen sind. Insbesondere das Putzen der ganzen Dekadenschalter ist eine Arbeit, bei der man plötzlich feststellt, dass draußen schon bald die Krokusse blühen und man vor lauter „eintöniger Spannung“ jegliches Zeitgefühl verloren hat! Am Besten hebt man sich solche Arbeiten für gemütliche Winterabende auf.

Man gut, dass gerade Ende April ist ;-)

Mir hat es Spaß gemacht, diesen Artikel schreiben zu dürfen. Einen großen Dank will ich auch an Ralf richten, mit dem ich während der gesamten Reparatur immer in email-Kontakt stand und der mir viele Tipps gab. Außerdem ist es ein beruhigendes Gefühl, zu wissen, dass es noch mehr so "Verrückte" gibt auf der Welt. Vielleicht helfen meine Erfahrungen ja auch jemandem bei der Reparatur „seines“ persönlichen Fluke 5200A-Projekts. Ich wünsche auf jeden Fall viel Erfolg dabei!

Marc Michalzik