

REPARATURBERICHT

Restauration eines russischen Röhrenprüfgerätes

von dem wir alle glauben, dass es von der Firma

Kalibr

gebaut wurde. Wenigstens sind wir uns sicher,

dass das Modell „**L3-3**“ heißt.

Gewidmet dem Bäcker mit dem leckeren Pudding-Obstkuchen im Nachbarort, ohne den ich dieses Projekt nie durchgestanden hätte.

WARNUNG:

Wer hier keinen gewissen Grundhumor mitbringt, der liest zum Üben lieber erstmal ein Buch von Hape Kerkeling vorneweg oder eine Dissertation über die Abscheidung von textuiertem CeO_2 aus der Gasphase. (Sowas gibt es übrigens wirklich.)

Ich würde Ihnen allerdings lieber diesen Bericht empfehlen. Er macht definitiv hungrig auf L3's -und Kaffee mit Obstkuchen!

Eine nicht ganz so bitter ernst zu nehmende Arbeit von Marc Michalzik, August 2012.

INHALTSVERZEICHNIS*

1 Einleitung	5
1.1 Aktuelle Röhrenprüfgeräte	7
1.2 Unsere Ausgangsbasis	8
2 Eingangüberlegungen zum L3-3	9
3 Der Kalibr. L3-3	11
4 Beschaffung	11
5 neue Skala	11
6 Inbetriebnahme	14
6.1 Röhren	15
6.2 Kondensatoren.....	16
6.3 Drehschalter	17
7 Kondensatoren die 2te	21
8 Neue Röhren.... Teil 1	26
9 Zwischenreparatur	27
10 Neue Röhren.... Teil2	29
11 Genauigkeit der Ausgangsspannungen	29
12 Schaltplan	30
13 Tongenerator und selektives Voltmeter	32
14 Selektives Voltmeter	33
14.1 Tongenerator (1,4kHz Mess-Oszillator)	34
14.2 Zwischenbetrachtung	35
14.3 Weiter im Text	36
14.4 Audio-Leiterplatte ausbauen	36
14.5 Kondensatoren-Tausch.....	37
14.6 Neuer Anlauf.....	39
15 Stabilität nach Restauration	40
16 Durchlasskurve (selektives Voltmeter)	41
17 Zwischenstand	43
18 Messgeräte-Kalibrierung	44
19 „Banana-Deck“: die Idee	48
20 Buchsentausch	49
21 Banana-Deck: der Einbau	51
22 Anschlüsse	54
22.1 Anode	55
22.2 Gitter2.....	60
22.3 Heizung H1	61
22.4 Heizung H2	61
22.5 Kathode	61
22.6 Gitter1.....	62
22.7 ...fast fertig!	64
22.8 BNC-Buchsen.....	65
23 folgenschwerer Kaffeebesuch	67
23.1 Restbrumm	67
23.2 Schaltplan: die Erlösung!	67
24 Aktion "Saubermann"	68
24.1 Originalzustand	69
24.2 mit 220µF-Kondensatoren in Anodenspannung	69

24.3 mit 56 μ F an Gitter1-Spannungserzeugung	70
24.4 mit 220 μ F an der Gitter1-Leitung	70
24.5 wir geben alles.....	72
25 Rechnerischer Ansatz	73
26 Untersuchung Anodenwiderstand R57	76
27 Messfehler durch Klirrfaktor?	77
27.1 Messung von U _a	78
27.2 Messung von U _g	79
27.3 Zwischenstand.....	79
27.4 Vergleich	80
27.4.1 breitbandige Messung UPA4	80
27.4.2 selektive Messung UPA4 bei f=1,388kHz	80
27.4.3 Was sagt uns das?.....	80
28 Selbstkontrolle UPA4.....	80
29 Belastung des 1,4kHz Prüfoszillators	82
30 Selektives Voltmeter.....	82
30.1 Sind die Dioden Schuld?	85
31 Diodentausch.....	87
31.1 Ausbau.....	87
31.2 Test	87
31.3 EINBAU	90
32 Zeit für Großes	91
32.1 Ende gut, alles gut	94
32.2 Nebenwirkungen	94
33 NF-Ausgangsteiler	95
33.1 Amplitudenabfall.....	96
33.2 Teilerfaktor.....	97
34 Lampenwechsel.....	98
35 Kondensatoren einbauen	99
35.1 Anodenspannung.....	99
35.2 Gitterspannung Elko C8	99
35.3 Gitterspannung Elko C41	100
36 Gitter2 Angstwiderstand	100
37 Shunt PCB.....	102
38 μA-Meter	103
38.1 Inbetriebnahme "Isolation".....	103
38.2 Inbetriebnahme "Gitterstrom"	105
38.3 Fazit.....	107
39 Abschlusskapitel (1. Versuch)	108
40 was man sonst noch machen könnte.....	108
41 Thomas lässt die Bombe platzen	109
42 Abschlussmessung "Steilheit"	112
42.1 Wir messen.....	112
42.2 ...und wir lernen daraus.....	114
42.3 Fazit.....	114
43 Kalibrierung (Abschlusskapitel, 2. Versuch).....	115
44 Auswechseln der Pico7-Fassung	116
45 Vergleich mit Hickok TV-2	118
46 Nachtrag: Poti-Änderung für Anodenspannung.....	119
47 Ausklang (Versuch Nr. 3)	121
47.1 Übersicht der Arbeiten am L3	122

48 Danksagungen..... 123

*** Dieses Inhaltsverzeichnis ist alleine Jac gewidmet. Ihr werdet ihn in Kapitel 6 näher kennen lernen. Außer ihm hatte eigentlich niemand ein Inhaltsverzeichnis vermisst, aber ich tue ihm sehr gerne diesen Gefallen :-)**

1 Einleitung

"Wer tut sich heutzutage eigentlich noch sowas an?", höre ich einige vielleicht schon fragen. "Ein Röhrenprüfgerät? Dazu noch ein russisches? Wozu soll das denn gut sein?"

Nunja, ich gebe zu: für die meisten netten Geräte von heute braucht man Röhrenprüfgeräte sicherlich nicht. Da braucht man eher PC-Kenntnisse, Programmieradapter und eine performante DSL-Leitung, damit man die zahlreichen (buggy) SW-Updates schneller downloaden kann, als sie vom Hersteller verbreitet werden. Aber in einigen Bereichen unseres täglichen Lebens sieht man sie doch noch hin und wieder gemütlich vor sich hin glimmen: insbesondere in der Musikelektronik werden die glühenden Freunde noch immer munter eingesetzt und auch die Kumpels von der Radio-Nostalgiefront stehen total auf die freie Elektronenemission ihrer Glastransistoren. Ich kann mich für beides begeistern, nicht zuletzt deshalb, weil ich als Hammondorgelspieler sowieso auf den ganzen alten Kram stehe.

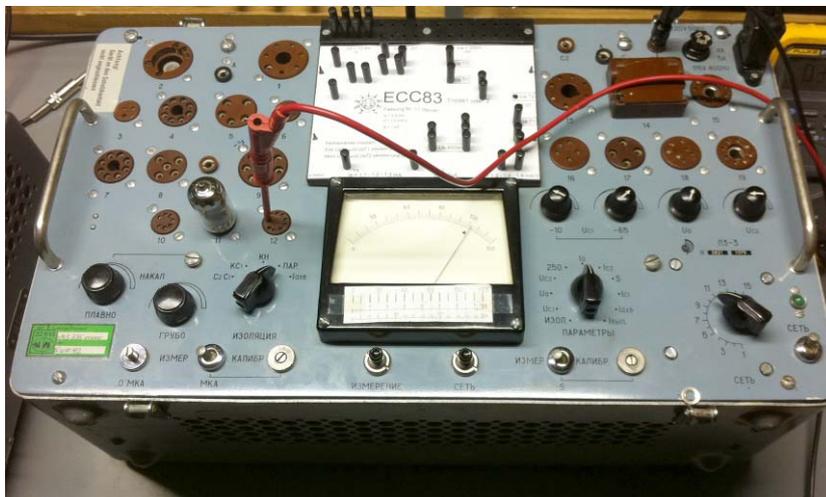


Abbildung 1: Kalibr. L3-3 vor der Restauration

Ein Röhrenprüfgerät ist sowas wie eine Verschmelzung meiner beiden Leidenschaften "Musik" und "Messtechnik". In meinen Hammondorgeln stecken noch echte Röhren drin, und daher ist mir die Möglichkeit der Überprüfung dieser Bauteile wichtig. Und "Überprüfung" heißt dann eben auch ganz schnell "messen"- und damit komme ich zu meinem zweiten Steckenpferd, nämlich der Messtechnik. Ein tolles Projekt also, so ein Röhrenmessgerät.

Wenn man im Internet ein wenig herumstöbert, dann dominieren uns die ganzen zu Höchstpreisen gehandelten Funke's, die hochgelobten Hickoks mit ihren Patentschaltungen (die aber kaum einer richtig versteht ;-), selten mal ein paar AVO's, aber hin und wieder auch Sencores und Heathkits. Der Markt ist einfach riesig und man verliert schnell die Übersicht. Vor ein paar Jahren habe ich mich zur Anschaffung eines Hickok TV-2 entschieden und ihn restauriert (siehe Reparaturbericht). Dieses Teil habe ich übrigens noch heute und ich konnte damit schon ein paar „maue Kameraden“ aus meinen Orgeln herausfischen.

Nun habe ich gerade einige Kommentare zum TV-2 gelesen, die dieses Gerät ganz schön "runtermachen". Das ist aus meiner Sicht nicht fair. Ich denke, ich muss auch mal auf alle anderen Geräte etwas provokativ mit Dreck zurückwerfen: grundsätzlich unterliegen ALLE Röhrenprüfer dieser Generation über die Einschränkungen und Unzulänglichkeiten ihrer Zeit!

Man hat es damals halt so gut gemacht, wie man es eben -auch wirtschaftlich!- konnte. Und ein "damals-gut" kann heute durchaus ein erschrockenes "Ohje!" erzeugen.



Abbildung 2: (m)ein Hickok TV-2 ;-)

Schaut doch mal in Euer Gerät rein und beantwortet dann folgende Fragen:

- Aufbau des Geräts nach aktuell gültigen Sicherheitsvorschriften?
- alle Spannungen elektronisch geregelt mit einer aktuell üblichen Regel-Performance (Restwelligkeit, Ausregelung von Sprüngen, usw.)?
- für alle Spannungen eine Anzeige vorhanden mit Ungenauigkeit von <1%?
- gesamte Messungenauigkeit überall kleiner 1%?
- Nachbildung vernünftiger Schaltkreise, so dass die Röhre auch unter Realbedingungen gemessen werden können?
- Fehlbedienungsicher?
- definierte Prüfmöglichkeit für Klirrfaktor, mech. Mikrofonie?
- Signal-Ansteuerspannung klein genug, um auch hoch verstärkende Röhren (z.B. ECC83) nicht gleich zu überfahren?
- empfindliche(!) Prüfmöglichkeit für Leckstrom? Unter Praxisbedingungen?
- alle Röhrenfassungen an Bord (Vorkriegs-, aber auch Nachkriegsfassungen)?
- Möglichkeit zur Messung und Analyse von Kennlinien, inkl. mindestens eines variablen Parameters?
- Speichermöglichkeit der Kennlinie vorhanden (als Referenz zum Matchen von Röhren)?
- usw...

Ich könnte die Liste noch fast endlos fortsetzen. Aber fest steht: keines der mir bekannten Prüfgeräte erfüllt wirklich ALLE diese Anforderungen gleichermaßen gut. Meistens fallen die ganzen alten Grotten (man möge mir diesen Kraftausdruck verzeihen) schon bei der ersten elektrischen Sicherheitsprüfung durch (wen wundert das bei über 50 Jahre alter Technik). Und alleine damit könnte für mich ein Gerät nie ein Prädikat "uneingeschränkt gut" erlangen, wie einige Forenbeiträge im Internet darüber beseelt urteilen.

1.1 Aktuelle Röhrenprüfgeräte

Glücklicherweise entwickeln auch heute noch pfiffige Enthusiasten Röhrenprüfer, die dem heutigen Stand entsprechen!

Beispielsweise den Amplitrex AT-1000. Eine standalone-Lösung mit Display und eingebautem Kleincomputer zur Messung aller wichtigen Röhrenparameter. Oder natürlich das Roetest von Helmut Weigl- ebenfalls mit moderner Technik und PC-Anschluss.

Spätestens mit dem Roetest, das ich immerhin vom Sehen her kenne (in der Version 3 hat es Thomas nachgebaut, meine ich) haben wir einen Kandidaten, der sicherlich ernsthaft in die Nähe von "wirklich gut!" kommt. Auch wenn ich persönlich hier noch Messmöglichkeiten für „richtigen“ Klirrfaktor und Mikrofonie vermisste, trotzdem: ein Riesenschritt!

Leider ist zumindest das Roetest derzeit nur als Bausatz erhältlich (vermutlich auch schon wegen unserer manchmal schwer sympathisch zu findenden EU-Gesetze, die jemandem das Inverkehrbringen fertiger Geräte nicht gerade leicht machen), somit muss man wirklich schon sehr leidensfähig sein, wenn man ein wirklich "gutes Gerät" haben will.

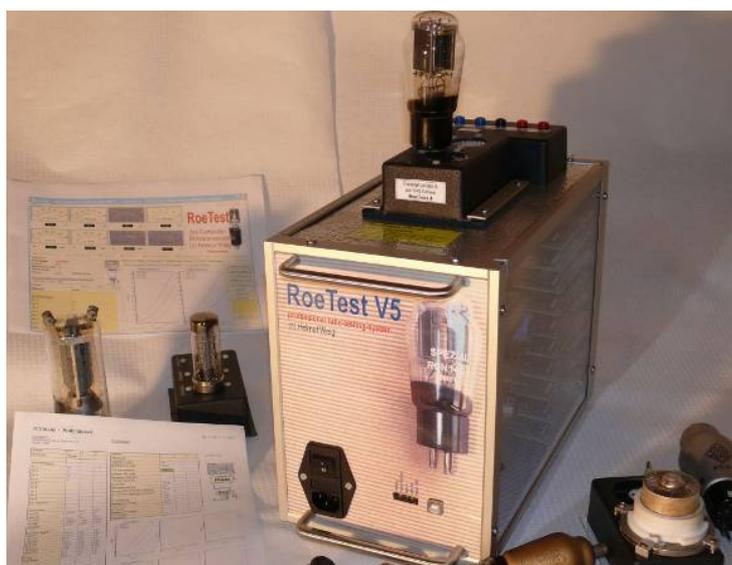


Abbildung 3: Roetest V5 (Quelle: www.roehrentest.de)

Helmut entwickelt das Roetest noch immer weiter. Als ich ihm diesen Bericht kurz vor der Veröffentlichung als Vorab-Version zum Review schickte, machte er mich darauf aufmerksam, dass es inzwischen sogar die nochmals im Aufbau verbesserte Version 6 gebe. Für uns Röhrenfreunde lohnt sich also auf jeden Fall, hin und wieder seine Seite www.roehrentest.de zu besuchen und sich mal anzuhören, was Helmut so gerade wieder treibt :-)

Eins noch grundsätzlich zu Messsystemen, bei denen der PC so schön praktisch als Steuerrechner eingesetzt wird: hier besteht leider die Gefahr, dass irgendwann in ferner Zukunft einmal ein PC über keine USB-Schnittstelle mehr verfügen wird oder das Steuerprogramm auf dem neuesten Windows Version xyz2068 nicht mehr läuft. Zu lange und pessimistisch gedacht? Nunja- glaubt ihr, es hätte jemand um 1920 gedacht, dass es fast hundert Jahre spä-

ter noch immer Leute geben würde, die Reparaturberichte über uralte Röhrenprüfgeräte lesen würden? ;-) Na? Erwischt! ;-) hi hi hi



Abbildung 4: Roetest V6 (Quelle: www.roehrentest.de)

Fairerweise müssen wir jedoch auch sagen, dass ich persönlich mir noch nicht ganz sicher bin, ob ich in hundert Jahren wirklich noch Röhren messen will. Und auch die unbestreitbaren Vorteile, einen PC als Anzeige für ein Röhrenprüfgerät zu benutzen, stößt ganz andere Dimensionen der Messtechnik auf als die Dokumentation einer Röhre mittels Drehspulmesswerk.

1.2 Unsere Ausgangsbasis

So, nachdem ich also nun die gesamte Röhrenprüfgerätemafia erst einmal pauschal in den Dreck gezogen und gegen mich aufgehetzt habe, haben wir eine gute, aufgeklärte und vor allem ehrliche Ausgangsbasis. Wer von dort unten kommt, kann ab sofort eigentlich nur noch nach oben schauen und positiv überrascht werden. Genau das will ich nun mit euch tun.

Die versprochene Überraschung holen wir uns heute von einem Gerät, das gerade als "Geheimtipp" immer öfter in der RPG-Szene in Erscheinung tritt: dem russischen Röhrenprüfer L3-3 (bzw. seinem Vorgänger L1-3)!

2 Eingangüberlegungen zum L3-3

Auch wenn selbst der L3-3 nicht in der Lage ist, alle meine Punkte auf der Wunschliste zu erfüllen, so prahlt er doch mit einem Feature, das mir sehr, sehr wichtig ist und fast als Alleinstellungsmerkmal bei Röhrenprüfgeräten gilt: er arbeitet mit stabilisierten, gefilterten Gleichspannungen!

Im Gegensatz zu vielen anderen Röhrenprüfgeräten, die ungefilterte Gleichspannung benutzen, also quasi eine gleichgerichtete Wechselspannung ohne Siebelko an die Röhren-Anode anlegen! Hickok ist einer der Vertreter für Geräte dieser Bauart. Leider hat dies in der Regel große Nachteile für all diejenigen, die ihre zu prüfenden Röhren nicht nach dem mitgelieferten Rollchart (Tabelle) des PRGs, sondern nach den Datenblättern der Röhrenhersteller vergleichen möchten. Die mit der Hickok-Methode gewonnenen Messwerte über "Steilheit" und "Anodenstrom" einer Röhre passen nur zum Röhrenprüfer-spezifischen Rollchart und leider nicht zum Röhren-Datenblatt. Warum?

Wenn ein RPG eine gepulste Anodenspannung zur Messung benutzt, dann jagt es die zur prüfende Röhre also 100mal pro Sekunde (= 50Hz gleichgerichtet) durch alle möglichen Betriebszustände zwischen 0V und -sagen wir mal- 250V Anodenspannungs-Scheitelwert. Das ist aber schlecht, denn die Messung im Datenblatt geht von einem ganz bestimmten, definierten und vor allem KONSTANTEN Arbeitspunkt aus und nicht von einem Zustand, bei dem die Anspannung 100mal pro Sekunde hin- und herschwankt!

Eine saubere, gleichgerichtete Anodenspannung ist ein Muss, wenn man die vom RPG erhaltenen Messwerte mit dem Röhrendatenblatt vergleichen will.

Ich wollte es auch erst nicht glauben und habe wirklich lange mit meinem TV-2 (der natürlich auch die Hickok-Patentschaltung benutzt) eine Alternative gesucht (z.B. einen konstanten Umrechnungsfaktor zwischen angezeigtem und "wahrem" Messwert).

Eine vorher akribisch auf mA/V kalibrierte und verifizierte Skala führt zwar zu in sich selber reproduzierbaren Steilheits-Messwerten der Röhre- das ist aber leider auch schon alles. Es ist mir auch mit mathematisch berechneten Umrechnungsfaktoren und dem Einsatz von echten Effektivwertmessern nicht gelungen, die TV-2-Messwerte mit den Datenblättern der Röhrenhersteller seriös in Bezug zu bringen. Das spezielle Hickok-Messverfahren mit der gepulsten Anodenspannung ist einfach zu "weit weg" von den Messverfahren, das die Röhrenhersteller für ihre Datenblätter benutzen. Ein simpler Umrechnungsfaktor reicht hier leider nicht. Schade (siehe hierzu unbedingt Kapitel 45!)

Nun gut, nicht jeder will vielleicht Röhren nach Datenblatt messen. Oft reicht es ja schon aus, eine "so-viel-Prozent-ist-noch-gut"-Aussage zu kriegen, und das kriegt man mit den Hickoks ja auch zweifellos hin. Und wer das erst einmal begriffen hat, der versteht auch, warum die von so vielen kritisierte "% Quality"-Anzeige im TV-2 durchaus Sinn macht! Ich behaupte sogar, dass dies für viele Hickoks DIE einzig sinnvolle Einheit ist! Denn was nützt mir eine Angabe in mA/V (bzw. μmhos), wenn die so abgelesenen Messwerte in Wirklichkeit nur wenig Aussagekraft haben, weil das benutzte Messverfahren konstruktionsbedingt "falsche" Werte liefert?

Also, ihr lieben Leute, die ihr so gerne meinen schönen TV-2 wegen der fehlenden μ hos-Skala kritisiert: ich würde eher den umgekehrten Weg gehen und alle anderen Geräte an den Pranger stellen, die euch wahre Messwerte vorgaukeln, die sich dann aber doch nur alle als "Fahrkarten" entpuppen! Denn ein Auto, mit dem der Tacho mit km/h beschriftet ist, er in Wirklichkeit aber "irgendwas" anzeigt, kauft ihr doch auch nicht, oder? Dann lieber ein Auto, wo im Tacho "% der Endgeschwindigkeit" steht. Ich weiß dann damit zwar immernoch nicht, wie schnell die Karre maximal läuft*, aber wenigstens sehe ich dann, wie weit ich dann von diesem Punkt noch weg bin. Das ist immernoch besser als ein falscher Messwert, mit dem man dann in der nächsten Baustelle wegen überhöhter Geschwindigkeit dann doch geblitzt wird :-)

So. Und nun nie wieder ein schlechtes Wort über den TV-2! (außer, es kommt von mir ;-)

Wir merken uns: die einzige Art, wie man die Hickok-Tester, die mit dieser Patentschaltung ausgerüstet sind, sinnvoll benutzen kann: vergleichen mit den Werten, die auf dem mitgelieferten Rollchart des Testers abgedruckt sind. Aber auch dann muss man aufpassen, was die Werte genau meinen: den Original(Neu)Wert der Röhre oder den Wegwerf-Wert (=Limit)! Manchmal weiß man aber auch das nicht, denn Hickok hat das hin und wieder auch einmal zwischen den Geräten geändert, daher lohnt bei Hickoks immer ein genauer Blick darauf, was man gerade vor sich hat.

Ich habe mit meinem TV-2 in der Praxis übrigens schon etliche defekte Röhren sauber identifizieren können. Und auch das Leckstrom-Messgerät ist sehr gut benutzbar und findet locker Elektrodenwiderstände von dreißig, vierzig MOhm und mehr. Das befriedigt den Hammondorgler, der seine Instrumente damit wieder zum Laufen kriegt. Nicht aber den Messgeräte-Fetischisten.

* kleiner Trick, wie Sie bei einem Auto mit nicht beschriftetem Tacho doch noch eine Kalibrierung der Endgeschwindigkeit hinkriegen: fahren Sie auf die A7 Richtung Süden. Wechseln Sie dann in Kirchheim auf die A5. Sobald Sie das zweite mal geblitzt wurden, sind Sie kurz vor Frankfurt. Jetzt aufpassen, denn nun geben Sie alles, was die Karre hergibt. Wenn Sie Frankfurt auf der gaaanz linken Fahrspur mit etwa 250km/h passieren, wird es nur wenige Millisekunden dauern, bis hinter Ihnen ein Porsche im Rückspiegel erscheint und sich wild gestikulierend über Verkehrshindernisse und Fahrzeuge mit abgeregelten Motorsteuergeräten im allgemeinen ärgert. Sie machen kurz Platz, warten ab, bis der Porsche vom zweiten in den dritten Gang hochgeschaltet hat, und an Ihnen vorbeizieht. In dem Moment fragen Sie kurz durch's geöffnete Fenster nach einem aktuellen Messwert. Falls die Frage ordnungsgemäß beantwortet wird (wegen der Rotverschiebung kurz vor Lichtgeschwindigkeit müssen Sie mit einer tiefen Stimme rechnen!), dann müssen Sie sich mit der pflichtbewussten Folge-Frage nach der zuletzt erfolgten Kalibrierung des Porsche-Tachos sputen, denn Porsche-Fahrer in Frankfurt haben meist nur wenig Zeit, weil sie in der Regel von BMWs gejagt werden, die eine Werkstatt mit einem Diagnosetester kennen, der ihnen diese lästige und völlig realitätsferne 250er-km/h Sperre wegprogrammiert hat.

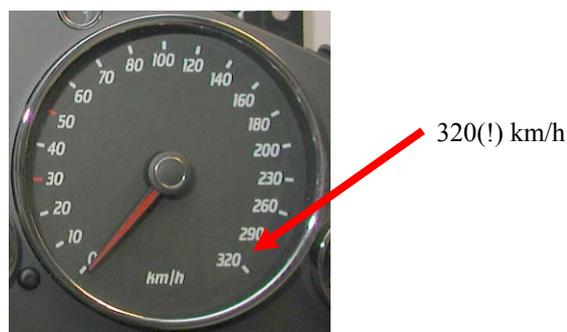


Abbildung 5: geeignetes Messgerät zur Tachokalibrierung auf der A5 bei Frankfurt

3 Der Kalibr. L3-3

Aber nun endlich zurück beim "Russen": ;-)

Der L3-3 arbeitet mit stabilisierten, „echten“ Gleichspannungen. Die neuere Variante des L3-3 hat zwar bereits Diodengleichrichter, die Spannungsstabilisierung aber benutzt nach wie vor Röhren als Längsregler. Der eingebaute Tongenerator erzeugt eine praxisnahe Frequenz von 1,4kHz und das Röhrenvoltmeter misst sogar selektiv bei dieser Frequenz. Damit kann erfolgreich verhindert werden, dass eventuelle 50Hz-Brummeinstreuungen aus einer kaputten Röhrenheizung der Röhre einen besonders guten Verstärkungswert vorgaukeln.

Nicht zuletzt das Analoginstrument der Klasse 1,0 (!) wertet den L3-3 entscheidend auf. Ich will so ein Ding haben, keine Frage!

4 Beschaffung

Nach einiger Internet-Recherche stieß ich in einem Auktionshaus auf ein Angebot. Ich hätte es beinahe angenommen und darauf geboten, als mich mein Freund Thomas aus der Radiobastlerszene am Wochenende auf dem Handy anrief. Er trieb sich gerade auf einem Radiosammler-Flohmarkt herum und hatte seinerseits auch einen guten Bekannten getroffen, der zufällig noch einen L3-3 im Kofferraum hatte (fast zu viel Zufall um wahr zu sein). Die besten Geschäfte werden sowieso immer in Kofferräumen gemacht, also ließ ich mir noch kurz den Zustand des Geräts bestätigen und schlug dann zu. Bereits am Nachmittag konnte ich meinen Kumpel besuchen, bekam lecker Kaffee, Kuchen und meinen L3-3. Ein idealer Tag!

5 neue Skala

Was mich am L3-3 zuerst störte, ist die total bekloppte Anzeige. So schön genau das Drehspulinstrument mit seiner hervorragend eingestellten Zeigerdämpfung auch ist, aber so bescheuert ist auch seine Skala. Eine einzige Beschriftung 0..150 in ungeraden Stufen, aus der man sich so krumme Skalen wie 0..0,75 im Kopf umrechnen soll! Kann schon sein, dass das so intelligente Kerlchen wie die Entwickler des L3-3 routiniert im Kopf konnten- ich kann es jedenfalls nicht und deshalb muss ich da was machen.

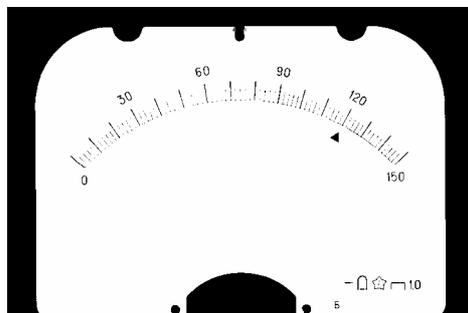


Abbildung 6: originale Skala des L3-3

Nach kurzer Überlegung entschied ich mich: ich werde die Skala umbauen!
Das geht?
Klar!

Ich schraube das Messgerät durch die vier Schrauben aus dem Grundgerät heraus. Die beiden Kabel ab und erst einmal an den Kalibrator (ein Fluke 5100B) gehängt. Und dann großes Erstaunen: der Endanschlag von $150\mu\text{A}$ wird bis auf das μA genau angezeigt! Unglaublich- und das bei einem Gerät mit Baujahr 1979! Beim Herunterschalten in $10\mu\text{A}$ -Schritten zeigt sich, dass diese fabelhafte Genauigkeit sogar über die gesamte Skala hinweg eingehalten wird. Ich bin sprachlos- solch eine tolle Qualität ist heute nur noch sehr, sehr schwer zu finden.

Aber ich wollte ja die Skala verbessern. Also öffne ich das Gehäuse des Drehspulmesswerks mit einer gewissen Ehrfurcht. Der Russe versöhnt langsam- keine Frage! Mit ruhiger Hand schraube ich die drei Schrauben ab, die die Skala halten und ziehe sie gaaaaanz vorsichtig unter dem Zeiger hervor. Geschafft!



Abbildung 7: Messinstrument des L3-3 mit und ohne Skala

Nun die Skala auf den Scanner legen und einen 300dpi Scan machen. Dann in ein Grafikprogramm einladen und alle Striche nachmalen. Dann überall neue Zahlen dranschreiben, die erst einmal vollständig sind und außerdem die im L3-3 verwendeten Skalenendausschläge 15, 3, und 7,5 beinhalten, damit man nicht mehr krumme Korrekturfaktoren im Kopf umrechnen muss.

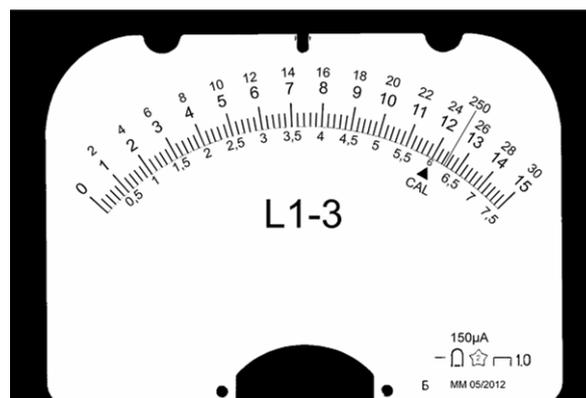


Abbildung 8: neue Skala für den L3-3; hier als Variante für den Vorgänger L1-3

Ich mache dann noch einen zusätzlichen 250V-Strich mit auf die Skala, der wird oft gebraucht.

Dann ausdrucken das ganze, auf ganz normales Papier. Ausschneiden mit scharfer Schere und Skalpell. Die Schraubenlöcher mit 'ner Gürtellochzange ausstanzen.

Ich habe mich dazu entschlossen, die neue Papier-Skala auf die Rückseite der originalen Blechskala zu kleben. So kann man durch Umdrehen der Skala ganz einfach den Originalzustand wiederherstellen- wenn man denn will ;-)

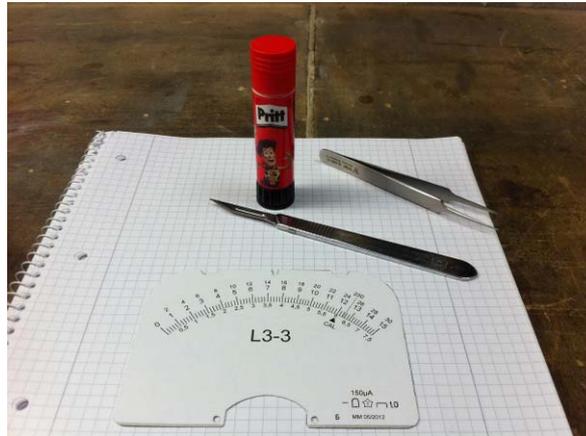


Abbildung 9: neue Skala aufkleben

Ich klebe die neue Papierskala ganz einfach mit einem einfachen Pritt-Stift auf. Simpel, was? Funktioniert aber hervorragend: keine Nasen und keine verwischten Zahlen. Ausrichten, andrücken, fertig!

Der Zusammenbau erfordert wieder eine ruhige Hand und eine nicht-magnetische Pinzette. Bevor man den stabilen Bakelitdeckel auf dem Messwerk aufsetzt, bestaunt man noch kurz die dicke, eingelegte Gehäusedichtung (wenn die Sojus-Kapsel genauso gebaut ist wie das Messinstrument des L3-3, würde ich jederzeit bedenkenlos einsteigen!) und schraubt alles vorsichtig wieder zu. Eine kurze Endkontrolle am Kalibrator mit den $150\mu\text{A}$ - alles weiterhin in Ordnung, nichts schab, alles super.

Sieht gut aus, oder?



Abbildung 10: neue Skala ist fertig

Ich baue das Instrument wieder ein und erfreue mich, dass ich in Zukunft endlich den Taschenrechner im Regal liegen lassen kann. Flugs kriege ich schon die erste Anfrage von meinem Kumpel Thomas, der nun auch so eine schöne Skala für seinen L1-3 will. Hi hi hi :-)



Abbildung 11: Messinstrument des L3-3 am Kalibrator: ein Traum!!!

Die Überprüfung des Messinstruments ist übrigens für mich immer der erste Schritt bei der Prüfung der Genauigkeit eines Messgeräts. Wenn das Drehspulmesswerk in sich schon einen großen Anzeigefehler hat, sollte man ein Justieren des Geräts erst gar nicht versuchen- man macht alles meist nur noch schlimmer. Motto: erst das Messwerk, dann den Rest! Da hier das Instrument aber wirklich tadellos ist, konnte ich es bedenkenlos wieder einbauen.

6 Inbetriebnahme

Beim Anschließen alter, und mir unbekannter Technik bin ich immer ein Angsthasen. Diesen L3-3 beispielsweise habe ich zuerst vorsichtig an meinem Regel-Trenntrafo von 0Volt an langsam hochgefahren und dabei die Stromaufnahme beobachtet. In Reihe hatte ich auch noch eine 100W-Glühlampe als Strombegrenzung angeschlossen, deren Existenz ich wegen aktueller EU-Gesetze (alle Glühlampen >40W sind verboten) vielleicht lieber verheimlichen sollte! Von Thomas' funktionierendem L1 wusste ich, dass der sich etwa 1A Strom bei 230V gönnt. Ein L3 hat weniger Röhren und müsste daher auf jeden Fall signifikant weniger Strom im Leerlauf aufnehmen.

Zu meiner Überraschung tat das mein "neuer" L3 auch- bei einer Stromaufnahme von etwa 0,5A an 230V sah mein neues Schätzchen erst einmal ziemlich "gesund aus".

Als ich diesen Bericht kurz vor der Veröffentlichung an Jan Wüsten schickte (bevor ich meine Reparaturberichte veröffentliche, frage ich vorher immer brav um das Einverständnis von den Personen, die in meinen bunten Geschichten vorkommen; Jan's Auftritt kommt in Kapitel 6.1), fiel dieser fast in Ohnmacht, als er las, dass ich den L3 unbeaufsichtigt mehrere Stunden lang zum "Formieren der Elkos" laufen ließ!

Ohne vorher die Elkos auf den korrekten Gesundheitszustand geprüft zu haben, würde er das nie machen, schrieb er mir. Und ich muss ihm recht geben: zu groß ist die Gefahr, dass ein defekter Elko einen Kurzschluss auslöst und dabei durch Überlastung den Netztrafo abraucht ("guter" Fall) oder gleich noch den Arbeitsplatz mit ("mittelschlechter" Fall, all die schönen Rohde-Schwarz Messgeräte wären hin) und das ganze Haus hinterher ("verdammte schlechter" Fall; versaut einem 100%ig den Tag!).

Auf jeden Fall war es absolut leichtsinnig von mir, ein so altes Gerät unbeaufsichtigt laufen zu lassen- auch wenn ich die Stromaufnahme und die Erdung vorher brav kontrolliert hatte. Ich hoffe, Ihr lernt daher aus meinen Fehlern, denn auch wenn bei mir vielleicht alles gut gegangen ist, kann das bei Euch anders aussehen! **Also aufpassen!**

6.1 Röhren

Als Nächstes sehe ich die Röhren des L3-3 an. Mein Kumpel Thomas hat mir ja netterweise seinen L1-3 zur Verfügung gestellt, mit dem ich jetzt systematisch erst einmal alle die im L3-3 steckenden "Glühkerzen" prüfen werde. Glücklicherweise hat die Kiste nur 3 verschiedene Röhrentypen verbaut, die passenden Prüfkarten dafür sind schnell gefunden.

Röhren im russischen Röhrenprüfer L3-3			
Position	kyrillisch	deutsch	Alternative
VL1	6П1П-ЕВ	6P1P-EB	
VL2	6П1П-ЕВ	6P1P-EB	
VL4	6Ж3П	6J3P	EF96, 6AG5
VL8	6П1П-ЕВ	6P1P-EB	
VL9	6Ж3П	6J3P	EF96, 6AG5
VL12	6Ж3П	6J3P	EF96, 6AG5
VL13	6Н3П-ЕВ	6N3P-EB	
VL14	6Ж3П	6J3P	EF96, 6AG5
VL15	6Н3П	6N3P	
VL16	6П1П-ЕВ	6P1P-EB	
VL17	6Ж3П	6J3P	EF96, 6AG5
VL18	6Н3П-ЕВ	6N3P-EB	
Tube count			
6P1P-EB		4	
6J3P		5	
6N3P (-EB)		3	
SUMME		12	

Abbildung 12: Übersicht der Röhren im L3-3

Am Ende stelle ich tatsächlich fest, dass drei der zwölf Röhren auffällig sind. "Auffällig" sage ich deshalb, weil die Funktion mit ihnen im L3-3 zwar grundsätzlich gegeben ist, jedoch ich bei diesen Röhren deutliche Leckströme messen kann, die laut Prüfkarte nicht ok sind und mit der Zeit sogar noch ansteigen. So etwas möchte ich nicht in meinem schicken L3 stecken haben, also bestelle ich einen Satz neue. Toll, mit einem anderen Prüfgerät wäre mir dieser Fehler möglicherweise gar nicht aufgefallen!

Die neuen Röhren kriege ich ganz einfach bei Jan Wüsten im Internet-Shop (www.die-wuestens.de). Ohne jetzt groß Werbung machen zu wollen, aber dort findet man wirklich eine Riesen-Auswahl an Röhren für fast jeden erdenklichen Zweck. Herr Wüsten nahm sich für mich sogar die Zeit und beriet mich individuell- so ein Support ist heutzutage nur noch sehr selten zu finden! Toll! :-))

Ich lege der Bestellung gleich noch die Typen 6L6, 6SN7 und 6922 (=E88CC) bei. Die möchte ich nämlich am Ende mit dem L3-3 einmal ganz gewissenhaft ausmessen und mir dann den Spaß machen, sie in meinen Hickok TV-2 zu stecken und zu messen. Ich erwarte heftige Messabweichungen :-)

Die Seite www.jacmusic.com -die sich ebenfalls jeder Röhrenprüferinteressierte unbedingt anschauen sollte- empfiehlt diese drei Röhrentypen übrigens als Referenzröhren für Kalibrierzwecke. Auf dieser Grundlage bietet jacmusic sogar bereits fertig kalibrierte Referenzröhrensätze zum Kauf an- für alle die, die endlich mal wissen wollen, wie weit Ihr Hickok von der "echten Wahrheit" weg ist;-) Eine aus meiner Sicht sehr vernünftige Anschaffung, eigentlich zwingend für alle die, die Röhren beruflich verkaufen und daher ihren Zustand vor dem Verkauf genau kennen müssen!

Ich selber überlege sogar, mir einen solchen Satz anzuschaffen, denn sinnvoll ist ein Kalibrierungsvergleich allemal. Im Moment habe ich jedoch erst noch einen Haufen Arbeit vor mir, denn der L3-3 bietet derzeit noch eine Menge offener Baustellen. Zum Beispiel diese hier:

6.2 Kondensatoren

Bis die neuen Röhren da sind, werde ich die ganzen dicken Kondensatoren, die im L3-3 zentral auf einem Blech zu finden sind, eingehend prüfen. Dazu zieht man den L3-3 aus dem Gehäuse, legt ihn auf die Seite und löst das Blech der Kondensatorenbank. Man kann sie dann abnehmen und sieht von unten auf ein Dutzend dicke Elkos.



Abbildung 13: Filterbank im L3-3

Ich löte die Anschlüsse nacheinander ab und baue die Elkos Stück für Stück aus. Zum Lösen der Verschraubung benutze ich tatsächlich einen 19mm Zündkerzenstecker aus dem Knarrenkasten. Alles besser, als mit ner Kombizange alles zu verfrickeln. Also raus den Elko und gemessen: Wert hervorragend!

Das wird mir jetzt so die ganze Zeit gehen: alle Elkos scheinen bei der Messung von Kapazität und ESR einwandfrei in Schuss, so dass ich schon glaubte, der ganze Aufwand sei für die Katz gewesen.

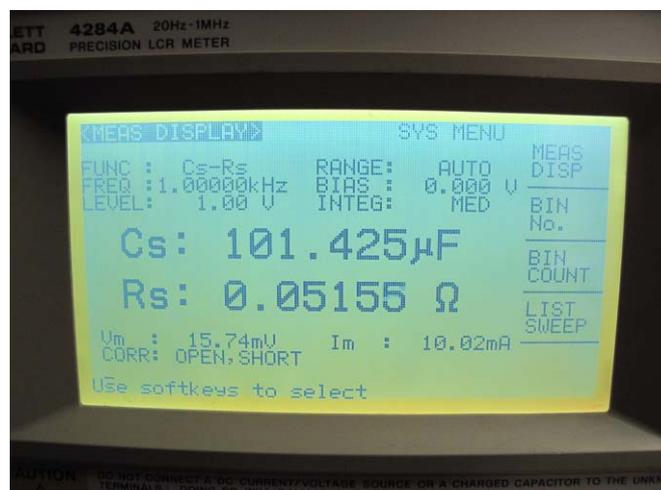


Abbildung 14: alle Elkos super! Bis auf...

Aber dann habe ich "Glück" beim allerletzten: der Elko C46, der für die Glättung der Gleichspannungsheizung zuständig ist, soll $2000\mu\text{F}$ haben. Er hat aber nur 300nF und ein ESR von mehr als $3\text{k}\Omega$. Also total kaputt. Ich löte einen aus meiner Bastelkiste ein, der mechanisch ganz gut passte und auch in den elektrischen Werten in Ordnung war. Somit hat sich der Sonntagnachmittag ja doch noch irgendwie "gelohnt".



Abbildung 15: ...den hier!

Nebenbei prüfe ich auch noch die den Kondensatoren meistens parallelgeschalteten Widerstände (dienen wohl aus Sicherheitsgründen zu einer sauberen Entladung der Kondensatoren nach Ausschalten der Betriebsspannung). Ich bin überrascht, dass die alle ihre Werte noch gut einhalten, denn in den meisten RPGs sind die bereits austauschreif. Vielleicht auch deshalb, weil die meistens RPGs eben nochmal locker 20 Jahre älter sind als dieses hier, vielleicht aber auch, weil diese hier einfach eine bessere Qualität und damit Langzeitstabilität besitzen. Auf jeden Fall wäre das sehr schön, denn das erspart mir möglicherweise eine Menge Auslöt- und Wechselarbeit.

6.3 Drehschalter

Nun kümmere ich mich darum, den L3-3 für einen normalen Ingenieur mit zarten Bürohändchen bedienbar zu machen. Insbesondere die Drehschalter am L3 haben eine so heftig stramme Rastung, dass man daran schon eine Knarre zum Lösen von Radmuttern ausprobieren könnte. Ich zerlege also das Gerät ein Stück weiter; das geht übrigens ganz gut, denn wenn die vier dicksten Schrauben, die man auf der Frontplatte findet, abschraubt, kann man die oberste "Schicht" Elektronik im L3 über Drehgelenke hochklappen wie eine Motorhaube. Dadurch kommt man viel besser von hinten an alle Schalter und Potis dran.



Abbildung 16: L3-3 mit geöffneter Motorhaube

Ich baue den rechten "PARAMETER"-Drehschalter aus, denn der ärgert mich am meisten. Zugleich schraube ich einige Bauteile in der Nähe los. Der Drehschalter hängt nämlich an einem dicken Kabelbaum und so hat man beim Ausbau etwas mehr Bewegungsfreiheit.

Irgendwann halte ich den Drehschalter in den Händen. Ich schraube die zwei kleinen Muttern ab, die man von vorne (gleich links + rechts neben der Betätigungsachse) sehen kann. Damit kann ich die Achse inklusiver Rastung des Drehschalters aus der Drehschaltereinheit herausziehen.

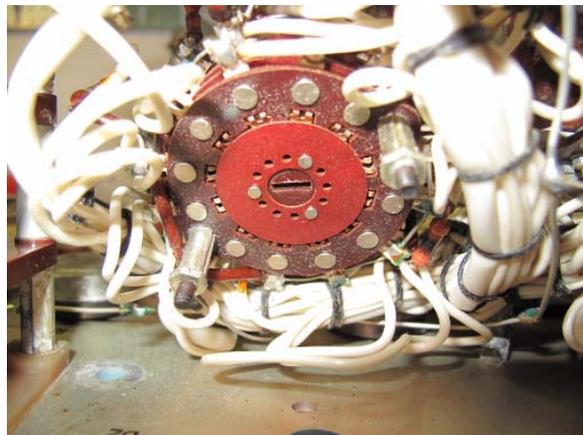


Abbildung 17: teilweise demontierter Drehschalter

Sogleich erkenne ich das Problem. Die Rastung des Drehschalters wird dadurch erzeugt, dass eine federnd gelagerte Kugel in ein großes Scheibenzahnrad drückt. Mit jeder Drehung rattert also die Kugel durch die Zahnradlücken und erzeugt so die verschiedenen Positionen des Drehschalters.

Die Kugel wird durch eine doppelte ausgeführte Bandfeder aus Federstahl in den Zahnkranz gedrückt. Klarer Fall: ich dre mele eine obere beiden Bandfedern einfach weg, so dass nur noch die unten liegende an die Kugel drücken kann. Damit dürfte sich der Anpressdruck auf Kugel und Zahnrad ungefähr halbieren und damit auch die notwendige Kraft zum Weiterdrehen in die gewünschten Positionen.



Abbildung 18: Drehschalter mit "halbiertem" Federblech

Gedacht, getan! Weggeflext das Ding, etwas WD-40 in das Achsengelenk und etwas Fett auf Kugel und Zahnrad und schon flutscht der Drehschalter- jetzt endlich auch geeignet für zarte Orgelspielergriffel! :-)

Wo wir schon so weit sind, würde ich natürlich gerne auch die Kontaktplatten des Drehschalters reinigen. Leider hat dieser Schalter so viele Ebenen und Anschlüsse, dass man mit einem Kontakt60-benetzten Wattestäbchen die Kontaktflächen so gut wie nicht erreichen kann. Und die haben eine Reinigung bitter nötig, wie man an dem vielen dunklen Dreck sehen kann. Nur mit viel Geschick und ruhiger Hand gelingt es mir, die einzelnen Ebenen des Drehschalters Stück für Stück "abzuschichten". Weil aber noch der ganze Kabelbaum mit seinen vielen, einzelnen Drähten dranhängt, braucht man hier wirklich viel Geduld.



Abbildung 19: knifflige Angelegenheit: Reinigung des Drehschalters

Aber schließlich kann ich die Reinigung doch noch durchführen. Ich baue den Drehschalter wieder ein, und- nichts funktioniert! Natürlich! Grrr!!

Also überlege ich, was denn schief gelaufen sein könnte bei der Reinigungsaktion. Ich komme schließlich darauf, dass ich die Achse genau um 180° verkehrt herum eingesteckt habe. Anstatt Position 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11, wird nun Position 6,7,8,9,10,11,12 (die gar keine Position ist, sondern der gemeinsame Abgriff) durchlaufen. Diese Erklärung klingt vernünftig, aber trotzdem will ich das erst anhand des Schaltbildes überprüfen. Das ist gar nicht so leicht. Nirgendwo steht, wo genau bei diesem Drehschalter Pin1 ist, und ob die oberste Ebene als "1" oder "5" bezeichnet wird. Ich messe lange nach, bis schließlich fest steht:

Wenn ich den L3-3 aufschraube und kopfüber auf den Tisch lege, so dass die die Motorhaube nach vorne (=also zu mir hin, vgl. Abbildung 16) abgeklappt wird, dann liegt der betreffende Drehschalter gleich vorne links. Dann ist die von oben sichtbare Schalterebene die Ebene Nr.5! Ebene 1 liegt dementsprechend am dichtesten zur Frontplatte.

Der Drehschalter hat pro Ebene 12 Anschlusspins. Pin Nr. 12 ist der gemeinsame Abgriff und gut daran zu erkennen, dass seine Kontaktzungen länger sind als die aller anderen (einer hat eben immer den längsten ;-). Pin1 ist -entgegen des Uhrzeigersinns gezählt, also links rum- direkt nur eine Position weiter zu finden.

Wenn der Drehschalter noch nicht auseinandergebaut sein sollte, kann man auch schön sehen, dass der Schleifkontakt in der allerersten Position (Drehschalter auf Linksanschlag, Position "N30" oder so ähnlich) direkt auf diesem Pin 1 liegt. Bei Rechtsanschlag des Drehschalters liegt der Schleifkontakt auf Position 11 des Drehschalters. Das macht alles durchaus Sinn, also korrigiere ich die Wahlschalter-Scheiben aller fünf Ebenen auf diese Weise.

Diese Erkenntnis hat mich eine geschlagene Stunde Grübeln gekostet. Aber siehe da, es hat sich gelohnt, denn jetzt funktioniert auch wieder alles!

Ein kleiner Tipp für alle Hobbyschrauber: bei solchen Geräten sollte man immer alles Schritt für Schritt machen und nach jedem Bauteil unbedingt eine kurze Funktionskontrolle durchführen! Wenn noch alles geht, dann weiß man, das man keinen Fehler reingebaut hat und kann sich die nächste Lokalbaustelle vornehmen. Falls jedoch nicht, dann weiß man immerhin, dass der Fehler direkt damit zusammenhängen muss, wo man ganz zuletzt dran rumgebastelt hat. Das hilft enorm beim Einkreisen zur Fehlersuche! Prüft man jedoch erst ganz am Ende der Restauration, und stellt dann erst fest, dass was nicht geht, dann viel Spaß bei der Sucherei!

7 Kondensatoren die 2te

Und dann passiert es wieder: Regressionsreparatur! :-(((

Ich war gerade dabei, die Ungenauigkeit der Steilheitsmessung des L3-3 zu überprüfen (es kam 4% heraus, das nur so zur Info).

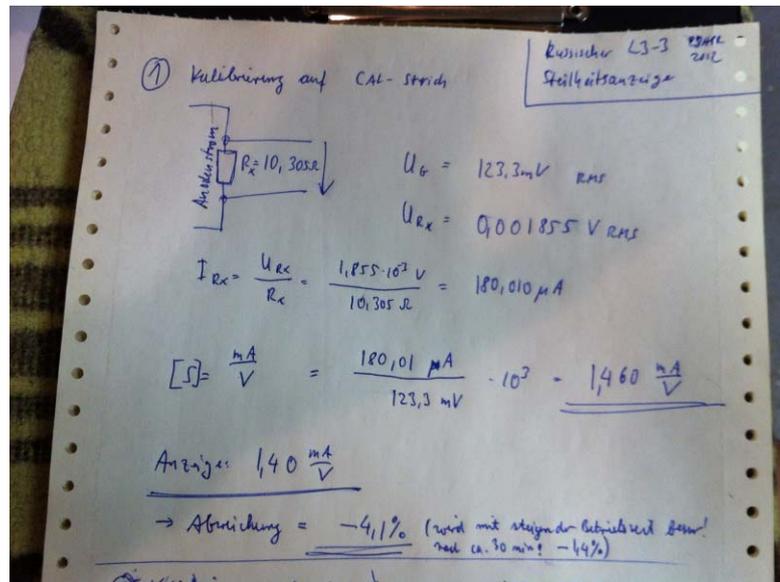
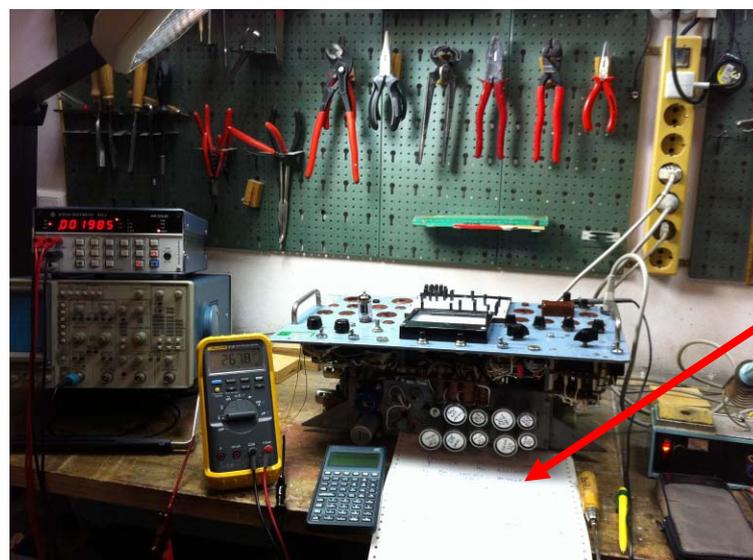


Abbildung 20: Kontrolle der Genauigkeit bei Steilheitsmessung

Dazu hatte ich eine Menge Kram an das Gerät angeschlossen und mir zur Dokumentation der Messwerte eine Arbeitskladde mit Papier auf den Tisch gelegt. Diese Klasse hat oben einen Clip, mit dem man das Papier darunter klemmen kann. Leider ist dieser Clip aus Metall. Es passierte das, was passieren musste! Während der Messung rutschte die Kladde unter das Gerät und der Metallclip schloss zielsicher den Elko C35 gegen Masse kurz. (Das geht ganz leicht, weil die Elkos tlw. auch an ihrem Metallgehäuse unter Spannung stehen.)



ganz, ganz böse Arbeitskladde!

Abbildung 21: Messaufbau

Ein lauter Knall und Blitz, dann ein hastiger Rettungsversuch meinerseits, aber es war schon zu spät. Der Elko protestierte mich laut an angesichts dieses ungewohnt hohen Stromimpulses: er knatterte noch einige Minuten lang sporadisch wie ein Maschinengewehr. Witzigerweise arbeitete der L3-3 aber noch unbeirrt weiter. Das ist gute, russische und solide Technik, kann ich nur sagen!

Einschlag-
stelle des
Kurz-
schluss-
funkens

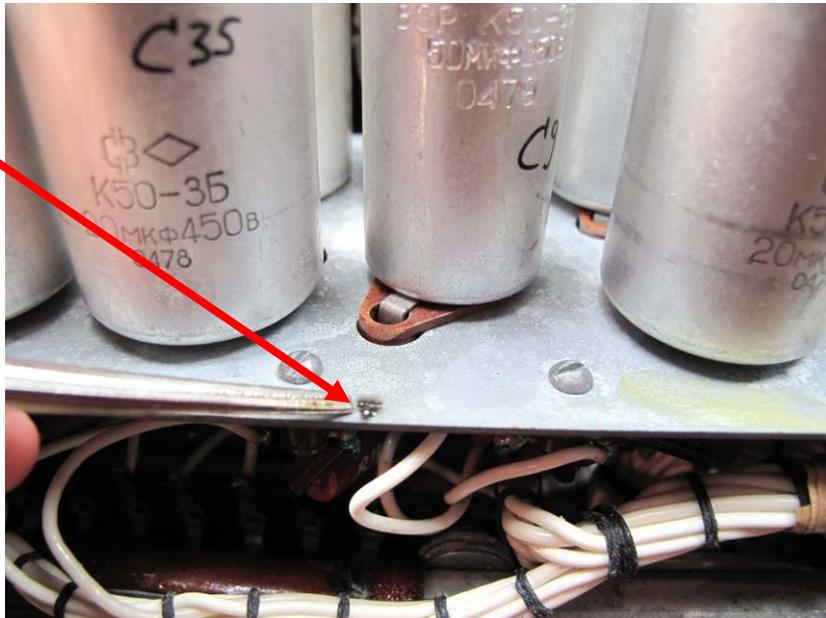


Abbildung 22: Mist...

Normalerweise bin ich da ja nicht so zimperlich, aber dieser Elko schien unter der Hochstromentladung doch hörbar gelitten zu haben. Beherzt hole ich wieder den Knarrenkasten und baue C35 aus.

Und nun die Überraschung: mein Kapazitätsmessgerät bescheinigt C35 eine unbeschadete Gesundheit! Mit $19,4\mu\text{F}$ und einem ESR von ca. $0,5\Omega$ zeigt er gegenüber der Erstmessung hier keine Veränderung. Wie geht denn das?

Das Knallen in C35 deute ich als interne Spannungsüberschläge. Das aber müsste sich doch durch einen erhöhten Leckstrom nachweisen lassen! Ich überlege mir, wie ich den Leckstrom von C35 bei Betriebs(Nenn-)spannung am besten messen kann. Leider habe ich für solche Fälle kein spezielles Messgerät. Ich behelfe mir mit einem Hochspannungstester, mit dem man normalerweise Elektroinstallationen am Haus auf Kriechströme überprüft.



Abbildung 23: Isolationstester

Mit einer eingesteckten 250V-Prüfkarte lädt er C35 nach einigen Minuten auf mehr als 320V auf und die Widerstandsanzeige klettert auf etwas um die 3 MOhm. Ist das gut? Keine Ahnung. Viel klingt mir das für einen 20µF Hochspannungselko aber nicht. Ich fleddere ebenfalls (den unbeschadeten, aber sonst genau gleichen) C36 aus dem Röhrenprüfer, um einen Vergleichswert zu kriegen. Nach etwa einer Stunde Aufladezeit liegt sein gemessener Isolationswirstand bei über 100MOhm! Ich nehme mir noch einmal den vermutlich defekten C35 vor und erreiche nun 20MOhm. Hmmm...scheint sich das Teil irgendwie von selbst zu reparieren? Angeblich gibt's ja sowas wie "selbstheilende Elkos"...



Abbildung 24: C35 "prahlt" mit 5Megohm nach 5 Minuten

Nun will ich es aber bei seiner vollen Nennspannung von 450V wissen. Leider kann man meinen Installationstester darauf nicht einstellen, daher brauche ich eine andere Spannungsquelle. Schon fällt mein Blick auf meinen Fluke 335A DC-Kalibrator. Hmmm...da sollte sich doch was draus machen lassen!

Über einen in der Anlaufphase vorgeschalteten Angst-Widerstand lade ich C35 langsam mit seiner Nennspannung (450V) auf. Glücklicherweise liefert der 335A durchaus ein paar mA Strom, so dass ich C35 auch wirklich ziemlich zügig voll* kriege! Nach 70 Minuten Wartezeit lese ich den Speisestrom am Digitalmultimeter ab: etwa 75 μ A. Damit errechnet man einen Isolationswiderstand von etwa 6M Ω .



Abbildung 25: Hochspannungstest von C35 am Kalibrator

* Wir wissen ja: gemäß Elektrischer Physik wird ein Kondensator erst in unendlich langer Zeit voll! 70 Minuten ist aus Sicht eines 20 μ F-Kondensators aber schon "ziemlich unendlich".

Nun folgt der Referenzkondensator C36. Dieser erreicht zwar nach 70 Minuten auch nicht viel geringere Ladestrom-Werte, aber so richtig deutlich wird es erst am folgenden Morgen:

Ich habe die Kondensatoren in geladenem Zustand auf dem Tisch liegen lassen und morgens mit dem DMM ihre noch verbleibende Klemmenspannung gemessen. C36: etwas mehr als 150Volt. C35: ~ 2Volt! Das ist jetzt für mich endlich mal eindeutig: C35 ist wirklich defekt-aller vorher aufgenommenen Messwerte mit Kalibratoren und Präzisions-LCR-Metern zum Trotz!

Inzwischen bin ich auch mit Jac von jacmusic.de etwas ins Klönen genommen. Jac rät mir auf jeden Fall zu einem Austausch des Bauteils. Nach meinem Erlebnis mit der Selbstentladung über Nacht bin ich mir nun auch sicher: er hat recht! Solche vorgeschädigten Bauteile können vielleicht nicht heute oder morgen, aber ganz sicher langfristig zu Ärger führen. Also tauscht man sie lieber gleich aus, bevor man sich später noch einmal damit ehumschlagen muss. Praktischerweise verkauft jacmusic auch solche Bauteile. Allerdings habe ich noch einen ganzen Haufen 15 μ F/450V Elkos in der Bastelkiste, die vom Herumliegen auch nicht besser werden. So will ich erst einmal versuchen, diese Kameraden zu verwenden (sorry Jac ;-). Die Herausforderung liegt hierbei in der mechanischen Befestigung. Die originalen Elkos sind Becherelkos mit Schraubgewinde und dazu passender Isolierscheibe. Ein Umbau ist gar nicht sooo einfach, denn die hier verwendete Schraubennorm und isolierscheibe kann ich sonst nirgends finden. Also überlege ich, was ganz Verrücktes zu probieren: ich säge den originalen Elko auf ca. 1/3tel der Höhe ab und pule das Innenleben raus (Aluminiumfolie und getränktes Papier). Zurück bleibt etwas, das an ein leergebranntes Teelicht erinnert. In der Mitte ragt

noch die Elektrode auf, hier hätte man sooooo schön den Pluspol der Ersatzelkos anlöten und mit dem Rest des Gehäuses ganz schick verschließen können. Hätte- wenn diese Elektrode leider nicht aus Aluminium bestünde! Leider kann man Aluminium nicht löten, so ein Ärger! Also muss ich mir eine andere Idee ausbrüten.

Ich schaue mir die Stelle im Schaltbild noch einmal an. Es sieht so aus, als ob C35 und C36 in Reihe liegen und die Anodenspannung filtern. Dann macht es sicher auch nichts aus, wenn ich den Wert von C35/36 etwas erhöhe, indem ich jeweils zwei 15 μ F-Elkos zu einem 30 μ F-Pärchen zusammenlöte. Je mehr Kapazität, desto besser die Filterung. Ganz einfach!

Vorher prüfe ich allerdings noch die Qualität meiner 15 μ F-Elkos. Schließlich lagen sie jahrelang bei mir in der Magazinwand und könnten ja auch nicht mehr gut sein. Ich mache denselben Test wie gestern: mit dem Kalibrator lade ich alle Elkos morgens auf +450V auf und klemme sie im geladenen Zustand ab. Gegen Abend werde ich sie mit dem DMM zurückmessen und schauen, auf wie viel Volt die Elektrodenspannung gesunken ist. Je mehr sie dann abgesunken ist, desto höher (=schlechter) ist der Leckstrom.

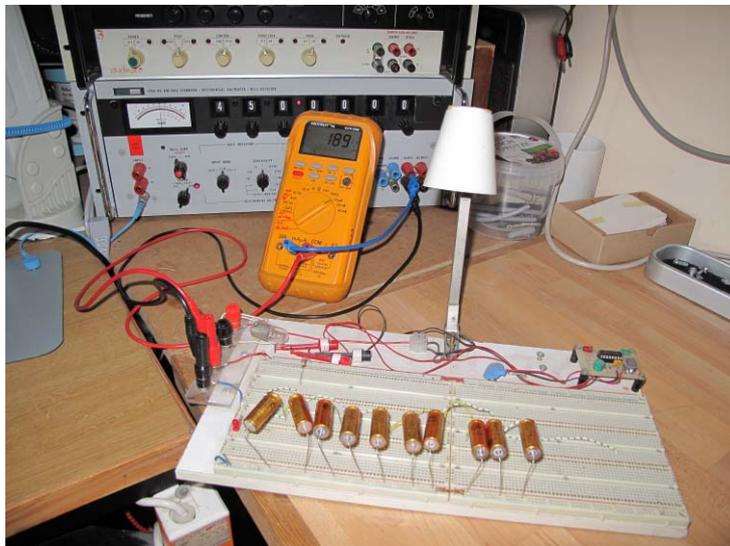


Abbildung 26: Elko-"Assessment" ;-)

Am Abend zeigen sich sehr interessante Ergebnisse! Von 17 bis knapp 170Volt Rest-Klemmenspannung ist bei meinen "neuen" Bauteilen wirklich alles dabei. Und das Lustigste: der uralte C36 Referenzelko, den ich als Vergleichselko auch mit an diesem Test beteiligte, war der Sieger: er hatte tatsächlich noch eine Restspannung von über 200Volt! Hammer! Ich sag's ja: wenn die Russen nur wollen, können sie wirklich fantastische Qualität bauen! Ich suche mir aus meinen zehn Ersatzbauteilen die vier besten heraus und löte sie in zweier-Gruppen zusammen. Somit erhalte ich jeweils knapp 30 μ F/450V; der Originalwert von C35 und C36 war jeweils 20 μ F/450V. Etwas mehr Kapazität kann an dieser Stelle nicht schaden.

Weil an dieser Stelle Spannungen von mehr als 600Volt herrschen können, klebe ich eine Lage Moosgummi als Isolierunterlage auf die Montagestelle. Als Masse-Fixpunkt benutze ich eine Schraube, der ich Zahnscheiben und Lötösen unterlege, damit es einen möglichst guten Kontakt gibt.

C35 und C36

beide ersetzt!

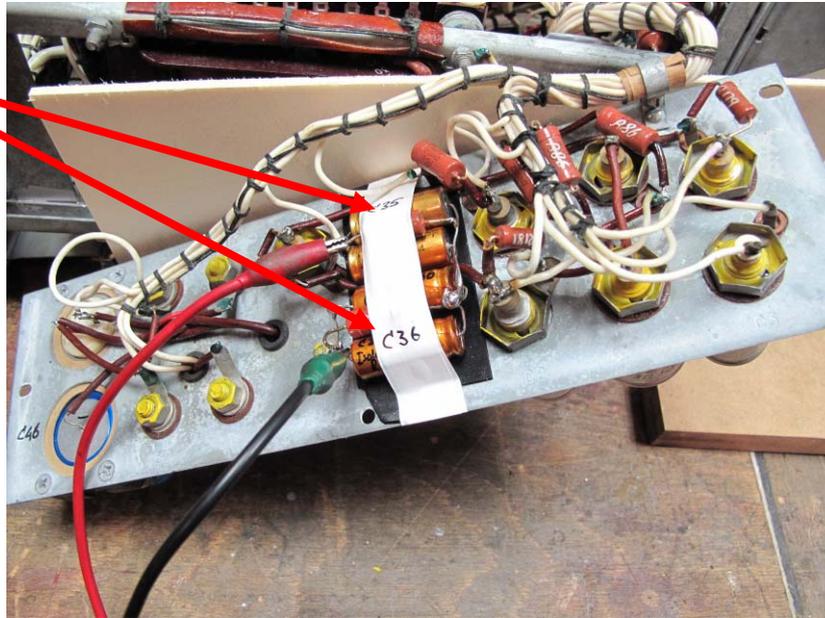


Abbildung 27: Pflaster drauf und alles ist wieder gut :-)

8 Neue Röhren... Teil 1

Ich bin gerade mit meiner Reparatur fertig, als neues Unheil droht: die Ersatzröhren treffen ein! Weil ich es natürlich wieder nicht lassen kann, will ich die frisch gelieferten Röhren vor dem Einbau in den L3-3 vorher testen. Und dabei jage ich prompt gleich 2 Stück 3N1P hoch, weil ich -als Folge einer total bescheuerten Bedruckung der Prüfkarte- eine falsche Anodenspannung eingestellt habe. Weiterhin macht eine an einer Röhrenfassung erneuerte Drossel einen Kurzschluss mit der Tongeneratorleiterplatte und bringt nicht nur die 3N1P zum blauen Leuchten, sondern zugleich auch noch meinen L3-3 zum Qualmen.

Sehr gut. So sieht professionelles Arbeiten aus!

Trotz meiner Tolpatschigkeit muss ich hier den L3-3 Entwicklern auch einen Vorwurf machen: der mechanische Aufbau mit der Motorhaube ist ja grundsätzlich eine sehr gute Idee. Doch bei der Umsetzung hätte man mehr darauf achten müssen, dass man beim Hoch- und Runterklappen weder Bauteile einklemmt, noch sie irgendwo an anderen Teilen anstoßen können! Das hat man dann beim L3 leider nicht so gut gelöst. Schon der Vorbesitzer hatte unbemerkt eine Drossel beim Motorhaube-Runterlassen eingequetscht, weshalb ich sie gleich auswechselte. Dabei habe ich das neue Bauteil offensichtlich wenige Millimeter anders eingebaut als vorher. Dadurch stieß es bereits an die Tongenerator-Leiterplatte an- Kurzschluss. Nicht gut!

9 Zwischenreparatur

Doch wo kam der Rauch jetzt her? Ich habe nur gesehen, dass er unter dem Messinstrument hervor kam. Ich befürchtete schon das Schlimmste, aber nach einigem Suchen bemerkte ich, dass die Anzeige der Gitterspannung ab dem Messbereich "15V" defekt war. Die kleineren Bereiche waren noch funktionsbereit, aber ab dem 15V-Bereich schlägt der Zeiger so gut wie nicht mehr aus. Ich schaue in den Schaltplan und finde eine vorgeschaltete Widerstandsteilerrkette für die Gitterspannung. Der für den 15V-Bereich verantwortliche Widerstand ist R106. Und den finde ich in Form eines Drahtwickelwiderstands auf einer Leiterplatte direkt vor dem Messinstrument. Hmmm, könnte zum Rauch passen!



Abbildung 28: der L3-3 zerstört sich selbst...L8 zerquetscht von eigener Motorhaube

Ich messe R106. Sollte 30kOhm haben, sagt das Manual. Hat aber in Wirklichkeit mehr als 30Mega-Ohm! Also platt! So ein Mist, eine Drahtwickelspule findet man nicht als Standardbauteil im Elektronikladen. Aber nicht verzweifeln, erstmal rausbauen das Ding und reingucken. Vieles kann man wieder reparieren, obwohl man erst gar nicht daran glaubte.

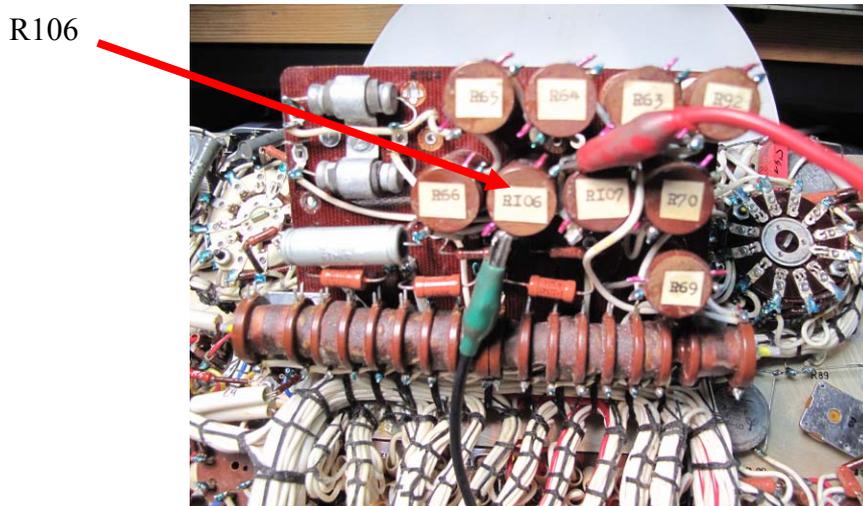


Abbildung 29: Messen von R106

Ich entferne das klebrige Isolierband, das den Wickelkörper nun viele Jahre vor Umwelteinflüssen geschützt hat. Danach sieht R106 aus wie die Nähgarnspule in einer Nähmaschine. Kontrollmessung: stimmt, Draht ist unterbrochen. Also mal abwickeln das Ding, vielleicht finde ich ja die Unterbrechung? Und tatsächlich: nach nur 2 Windungen finde ich die Schadensstelle, was für ein Dusel!

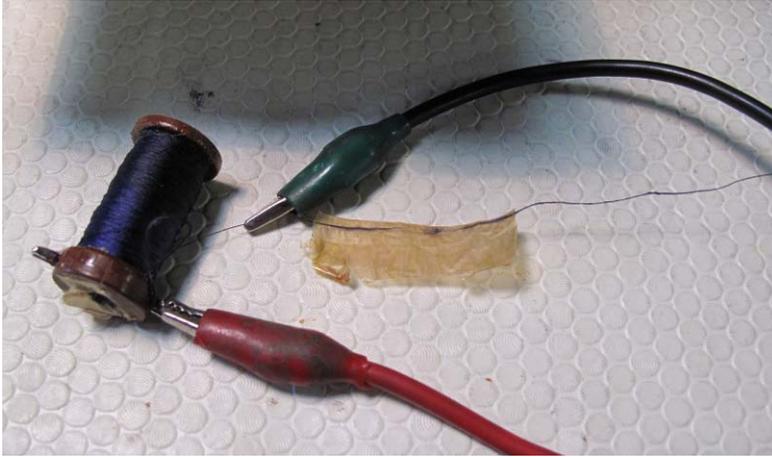


Abbildung 30: defekte Stelle in R106 gefunden!

Also kann ich kurz davor abschneiden und den Draht neu anlöten. Die maximal 10cm weniger Widerstandsdraht auf dem Wickelkörper haben bei den (geschätzt) vielen hundert Windungen so gut wie keinen messbaren Einfluss auf den Endwert. Glück gehabt!

Mal wieder, denn bei der Vibratospule einer Hammondorgel ist es mir auch schon einmal so gegangen. Der Defekt war direkt auf den ersten Windungen zu finden, so dass ich auch hier bedenkenlos abwickeln und reparieren konnte. Also niemals gleich aufgeben, wenn man einen defekten Drahtwiderstand vor sich hat! Mit einer ruhigen Hand und einem geduldigen LötKolben (zum Abbrennen der Kabelisolation der Spulendrahts) kriegt man vieles wieder hin.



Abbildung 31: kleine Exkursion: vergleichbarer Schaden an der Linebox einer B-3 Hammondorgel

Nach dem Wiedereinbau von R106 ist wieder alles wie zuvor. Reparatur geglückt! Ich kann nun loslegen mit meinen (verbliebenen) Röhren.

10 Neue Röhren....Teil2

Nach diesem Schrecke nehme ich nun wieder den L1-3 meines Kumpels zu Hilfe. Mit ihm messe ich schließlich alle neuen Röhren einmal durch. Erstaunlicherweise sind die zwischen L1 und L3 erhaltenen Messwerte für Steilheit und Anodenstrom fast deckungsgleich. Das schafft schon einmal Vertrauen! Aber meinen Leckstrommesser muss ich mir anschauen, hier unterscheiden sich die Messwerte erheblich.

Nachdem ich alle 3N1P durchgeorgelt und die auffälligen in meinem L3-3 ersetzt habe, bin ich wieder ein Stück weiter.

11 Genauigkeit der Ausgangsspannungen

So, nun will ich es aber ganz genau wissen. Ich mache mir die Mühe, die Übereinstimmung der L3-Spannungsanzeige für Gitterspannung₁, Gitterspannung₂ und Anodenspannung mit einem modernen Multimeter (HP34401) zu ermitteln. Sprich: was liegt wirklich an der Röhre an, wenn das L3 mir "250V" anzeigt?

Etwas mehr, nämlich etwa 254Volt, wie ich jetzt in langen Messreihen feststelle. Dafür muss ich das L3-3 mittels Universalkarte erst in die gewünschte Konfiguration "stöpseln" und dann von dort (an den Stöpsel vorher ne Krokoklemme dranmachen und dann erst ins Stöpselfeld einstecken; es macht nichts, wenn der Stöpsel 5 mm weniger tief im Steckfeld steckt) die zu prüfende Spannung abgreifen.

Schon beim Prüfen der Gitterspannung merke ich: das Poti ist Mist! Raus damit! Jac rät mir zu einem 10Gang-Präzisionspoti, denn der hatte vorher dasselbe Problem. Die 10Gang-Potis für die Gitterspannung gibt es auch in der gewünschten Größe (5kOhm) und ich habe sogar eines vorrätig. Also rein damit und auf einmal kann man die Gitterspannung so präzise einstellen wie noch nie. Jac beobachtete zugleich eine signifikante Verbesserung der Stabilität der Gitterspannung; das originale Poti habe einen recht hohen Temperaturkoeffizienten. Ich will ihm nicht widersprechen- dem L3-3 tut das neue Präzisionspoti sichtlich gut!

Für den -65V-Bereich möchte ich auch ein solches Poti einsetzen, aber hier braucht man 22kOhm und so einen Wert habe ich leider als 10Gang-Poti gerade nicht in der Bastelkiste. Also erstmal provisorisch ein normales (neues) Poti rein und damit die Messungen machen.

Während ich Anodenspannungen prüfe, stellt sich bei mir auch hier der Wunsch nach einem 10Gang-Poti ein. Leider will der L-3 hier ein 1MOhm-Poti sehen und so sehr ich auch im Internet suche- ein solches Poti in 10Gang-Ausführung kann ich nicht finden. Auch Jac war bisher vergeblich auf der Suche, so überlegen wir, ob wir hier nicht mit einem anderen Wert leben könnten, wenn wir die Anodenspannungserzeugung entsprechend anpassen?

Damit kommen wir zum Thema...

12 Schaltplan

Jetzt meckern wir wieder. Aber zuerst das Positive: es ist schön, dass es überhaupt einen Schaltplan für das Gerät gibt. Das war es aber auch schon. Denn der ist dermaßen gruselig gezeichnet, dass er nahtlos zu der deutschen Übersetzung des russischen Handbuchs für den L-3 passt. Ich erkenne hier fast nichts. Zahlreiche, sich gegenseitig überschneidende Leitungen, bei deren Kreuzungen man auch nicht wirklich erkennen kann, ob sich die Leiterbahnen nun berühren sollen oder nicht (Kreuzungspunkte sucht man meist vergebens), sehr ungünstige Platzierungen der Bauteile, es stehen keine Werte dran, teilweise sind die Bauteilbezeichner unleserlich, wir finden keine Spannungsangaben an Messpunkten und wenn überhaupt was dasteht, dann auf russisch.

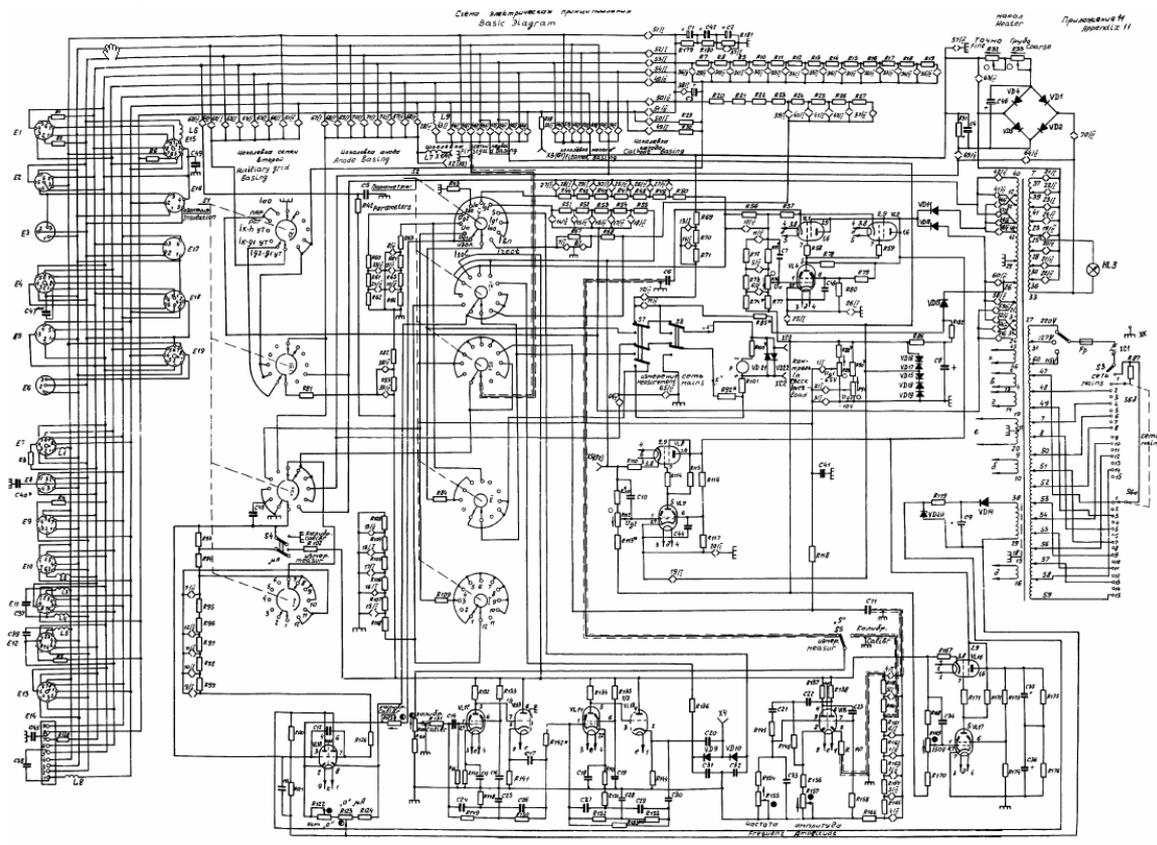


Abbildung 32: Schaltplan zum L3-3....das Original

Okay, über den letzten Punkt kann ich nicht ernsthaft böse sein, auch wenn es für mich einfach dazugehört, auch den dazugehörigen Schaltplan zu übersetzen, wenn ich den Auftrag zum Übersetzen eines Handbuchs bekomme. Aber sei's drum- so wie der Schaltplan derzeit gezeichnet ist, komme ich nur sehr schwer zurecht. Ich werde ihn überarbeiten!

Ich lade mir den Scan des Originalplans als Bitmap in ein Grafikprogramm. Nun beginne ich, in diesem Bild herumzumalen, ungeschickt gezeichnete Leitungen wegzulöschen (=übermalen in weißer Farbe), unleserliche Beschriftungen zu ersetzen, Leitungen zu gruppieren, Werte an die Bauteile dranzuschreiben und die so langsam erkennbaren Baugruppen erst einmal zu benennen! Nur so kriegt man etwas Übersicht in das Chaos. Das Anodenspannungs-Filter (Elkos C35 und C36) verschiebe ich thematisch sinnvoll in Richtung des Anodenstrom-Gleichrichters und die Spannung an sich nenne ich nun "Ua RAW" (engl. "Raw" = roh, unfertig). Alle Baugruppen, die damit versorgt werden, bekommen einfach einen Pfeil

und die Beschriftung "Ua RAW", zum anzudeuten, dass hier die Anodenspannung eingespeist wird. Wie die da hinkommt, muss ich nun wirklich nicht im Schaltplan einzeichnen, also lösche ich das komplette "Ua RAW" Leitungsnetz raus. Ebenso mache ich das mit anderen Spannungen: UG1, UG2, UVD15, UVD16. Es lichtet sich das Leitungsgewirr und auf einmal ist sogar Platz, an den Gitterspannungsteiler die Abgriffe dranzuschreiben. Warum nicht gleich so?!?

Zwischendrin stürzt das Grafikprogramm ab und reißt leider die noch geöffnete Datei gleich mit in den Tod- netterweise hat das Grafikprogramm eine Stunde vorher noch schnell eine Sicherungskopie angelegt. Trotzdem: die Arbeit dieser Stunde is dahin. Ärgerlich! Aber es gibt ja noch mehr verregnete Sonntag-Nachmittage in Deutschland, ich werde schon noch ans Ziel kommen.

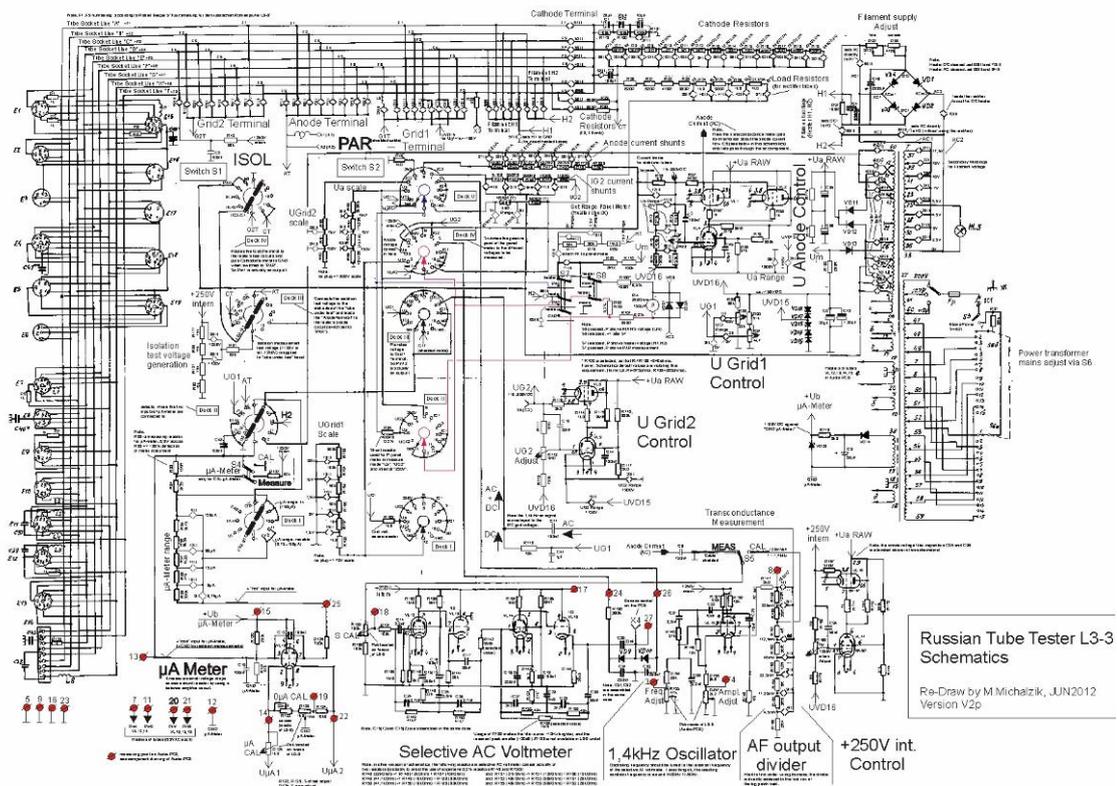


Abbildung 33: sieht zwar erstmal nicht besser aus, ist es aber! Mein bearbeiteter Zwischenstand!

Mit jeder gelöschten Linie im Schaltplan wird mir die Funktion des L3 ein Stückchen klarer. Zum Beispiel erkenne ich, dass Widerstand R100 (450Ohm, 0,2%!) dem Messinstrument grundsätzlich in Reihe vorgeschaltet ist. Hier könnte man also einen Trimmer vorschalten, mit dem man eine *grundsätzliche* Abweichung des Endausschlags korrigieren könnte. Auch die einzelnen Widerstandsnetzwerke für die Gitterspannungs-Messbereiche und Kathodenwiderstände tauchen auf einmal aus dem Leitungsgewirr hervor. Für mich nach wie vor unbegreiflich, weshalb man das Schaltbild so kompliziert gezeichnet hat. Ein Röhrenprüfgerät ist doch grundsätzlich ziemlich einfach aufgebaut (wenn man es beispielsweise mit einem Rohde&Schwarz CMS52 Funkmessplatz oder einem Fluke 5101 Multifunktionskalibrator vergleicht!). Dass es auch einfacher geht, diesen Beweis erbringe ich Euch nun in Abbildung 33 (nach mehrmaligen Abstürzen meines Grafikprogramms ;-)

13 Tongenerator und selektives Voltmeter

Nach einer ersten "Schaltplan-Grundreinigung" will ich aber erstmal etwas Spaß haben. Den hole ich mir an der Audio-Leiterplatte. Dort sind der 1,4kHz Tongenerator, das selektive Audiovoltmeter sowie das μ A-Meter drauf.

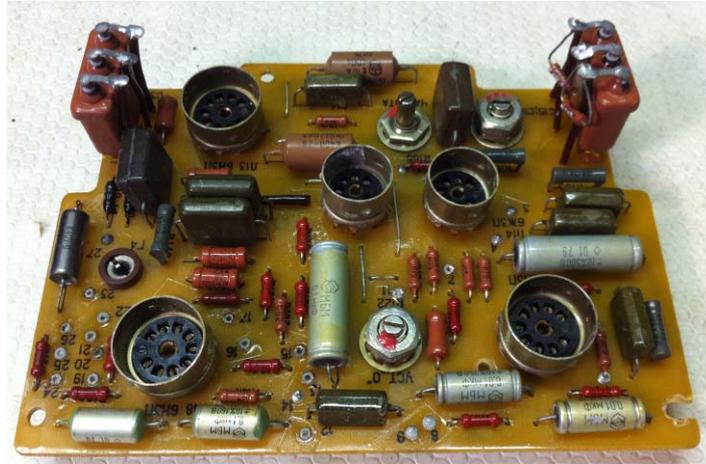


Abbildung 34: Audio-PCB vor der Restauration

Die erst beiden Einheiten werden zur Messung der Verstärkung (=Steilheit, mA/V) einer Röhre benötigt. Der Tongenerator des L3-3 speist am Gitter der Prüfröhre eine kleine Wechselspannung ein, die dann an der Anode (verstärkt) abgegriffen und (durch das selektive Voltmeter) gemessen wird.

Laut Manual soll der Tongenerator bei einer Frequenz von 1400Hz arbeiten. Er erzeugt -wenn er korrekt abgeglichen ist- eine Ausgangsspannung von etwa 450mVeff, die durch einen steckbaren Spannungsteiler bei Bedarf auf nur wenige Millivolt hinunter abgeschwächt werden kann. Damit ist wirklich mehr als sichergestellt, dass auch hochverstärkende Röhren -wie eine ECC83- nicht übersteuert werden. Super! Manche RPGs dröhnen dort bis zu 2,5Veff rein und wundern sich dann, warum sie mit dieser hohen Signalspannung schon den Arbeitspunkt der Röhre beeinflussen und damit Fahrkarten messen. Oder man wundert sich eben nicht-noch schlimmer ;-)

Der L3-3 ist diesbezüglich jedenfalls fast vorbildlich konstruiert. Dennoch meine ich, im L3 ein Problem erkannt zu haben. Wie sich Jac bei mir ebenfalls beklagt, muss auch er seine beiden L3's bei der Steilheitsmessung ständig nachjustieren. Ich selber beobachte das ebenfalls: die Eichung des Steilheitsmesser "hält" nur wenige Minuten, dann muss man wieder nachstellen. Auf die Dauer nervt das doch etwas, daher fragen wir uns gerade, woran das wohl liegen könnte.

14 Selektives Voltmeter

Ich habe einen ersten Verdacht. Um dem nachzugehen, messe ich mal spontan den Amplitudenfrequenzgang des selektiven Voltmeters. Ich trenne die Drahtbrücke zwischen R129 und dem Umschalter S5 (Steilheitsmesserumschaltung MESSEN/EICHEN) auf und speise dort 150mVeff Tonsignal aus meinem Audioanalyzer ein. Nachdem das Signal dann durch das selektive Voltmeter des L3's gelaufen ist, greife ich es an der Buchse "X4" (zu finden als Bananenbuchse im Innern des L3-3 auf der Audioleiterplatte) wieder ab und führe es wieder dem Analyzer zur Auswertung zu.

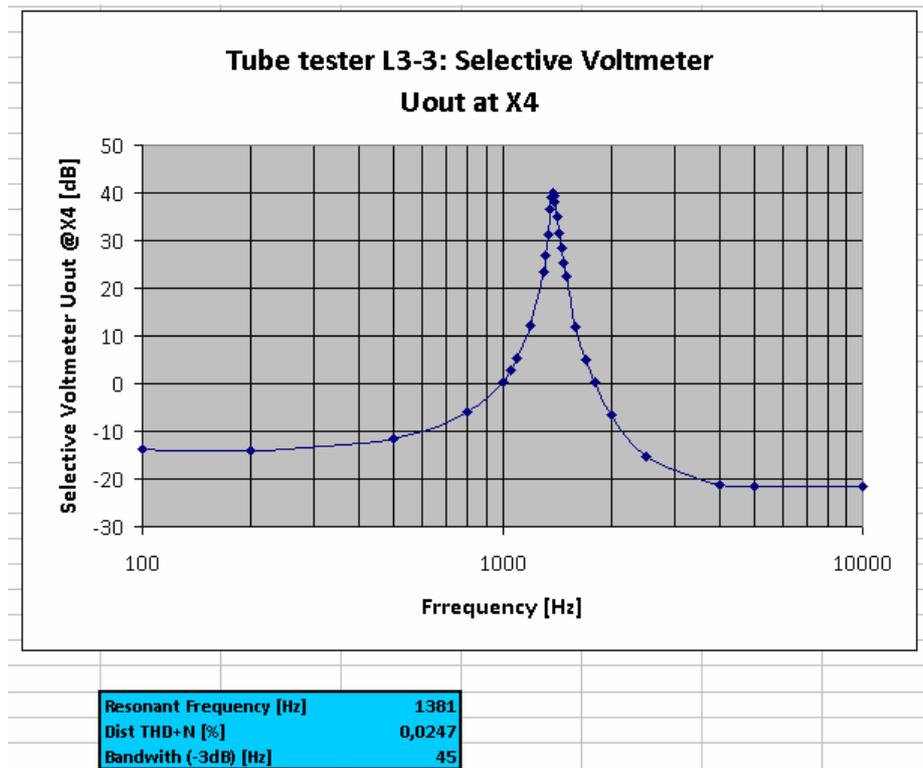


Abbildung 35: Amplitudenfrequenzgang vorher

Nun wird es sehr spannend, denn ich komme auf -für so ein altes Gerät- doch recht erstaunliche Werte! Das Resonanzmaximum des Voltmeters liegt bei genau 1381Hz. Also voll im Soll (1400Hz+/-50Hz). Die -3dB Bandbreite innerhalb der Resonanz liegt bei nur 45Hz und die maximale Sperrdämpfung außerhalb der Resonanz bei immerhin über 60dB! Ich erkläre das Voltmeter für "technisch heile", denn viel besser geht es mit einem 2kreisigen Resonanzfilter vermutlich nicht. Und ich meine auch, dass in dieser tollen Trennschärfe Jac's und mein Problem mit dem ständigen Nachgleichen liegt: am Audioanalyzer konnte ich beobachten, dass bereits eine um 1Hz veränderte Anregung des selektiven Voltmeters seine Ausgangsspannung messbar verändert. Bedeutet: sobald der einspeisende Generator auch nur um 1Hz in seiner Ausgangsfrequenz läuft (z.B. durch Temperaturdrift), ändert sich das Ausgangssignal- und damit die Anzeige im L3-3! Im Moment ist es nur eine Vermutung, doch ich behaupte, dass der interne (und gänzlich unregelte!) 1,4kHz-Oszillator nie so stabil sein wird, dass er seine Ausgangsfrequenz besser als diese 1Hz halten wird. Von Amplitudenänderungen ganz so zu schweigen, denn die schlagen natürlich auch auf den Zeigerausschlag durch.

Klarheit kriege ich nur dadurch, wenn ich die Ausgangsfrequenz (und ggfs. den Pegel) des L3-3 über einen längeren Zeitraum messe. Das wird nun das nächste sein, was ich mache.

14.1 Tongenerator (1,4kHz Mess-Oszillator)

Um den Tongenerator des L3 hinsichtlich seiner Frequenzstabilität zu vermessen, braucht man einen Frequenzzähler. Ich benutze dazu meinen Racal-Dana 1992. Das ist ein schönes Teil, klein und schnuckelig, als Gebrauchtteil nicht allzu teuer, eine relativ gute Zeitbasis und dank seines Konzepts kann er auch bei nur 1s Torzeit noch mehrere Nachkommastellen Auflösung messen. Das ist insbesondere in unserem vorliegenden Fall bei NF-Frequenzen sehr hilfreich. Zusätzlich besitzt der 1992 eine IEC-Bus Schnittstelle. Also wie geschaffen für meinen Zweck, denn:



Abbildung 36: Messaufbau Langzeitmessung Oszillatorstabilität

Das Protokollieren mache ich per IEC-Bus mit einem Interface und Computerprogramm. Das ständige Mitschreiben der Messwerte wäre mir einfach zu doof. Am Ende der Messung soll herauskommen, um wieviel Hz der Oszillator des L3-3 denn nun so durchschnittlich wandert. Die Bewertung (gut/schlecht) würde ich dann ganz dilettantisch per "Augenmaß" machen; wohl wissend, dass es hier richtig professionelle Auswertemethoden (z.B. Allan-Deviation) gibt, die bestimmte Zeitfenster betrachten und dieses Fenster wie eine Wanderdüne durch die Messreihen schieben- auf der Suche nach dem größten Abweichungs-Intervall. Sowa mache ich hier nicht, denn bleiben wir auf dem Teppich: es geht hier um ein altes Röhrenprüfgerät für Hobbyzwecke und nicht um einen Marsroboter. Ein einfacher Blick auf die ermittelte Frequenzkurve und ein wenig gesunder Menschenverstand sollen uns hier genügen.

Es geht los, die Messung beginnt:

Kurz nach dem Einschalten hat der L3 natürlich die schlechteste Stabilität. Der Generator ändert innerhalb weniger Minuten seine Schwingfrequenz um einige Hertz. Erst nach etwa einer Stunde zeigt sich so etwas wie eine Abflachung seiner Drift. Richtig erstaunlich wird es aber erst nach einer Laufzeit von etwa 10 Stunden. Hier sieht man, dass die Schwingfrequenz noch immer kontinuierlich steigt! Selbst nach 12,5 Stunden scheint sich also noch immer kein wirklich stabiler Endzustand eingestellt zu haben. Ich lasse das Teil weiter laufen, damit ich am Ende einen Schrieb über etwa 24h Laufzeit habe. Für die Praxis ist diese

lange Messung sicher unsinnig, denn so lange lässt wohl niemand ein Gerät warmlaufen, nur um mal eben eine Röhre zu messen. Hier geht es jedoch um die Aufdeckung eines technischen Sachverhalts, dafür muss man eben schon mal etwas Geduld haben.

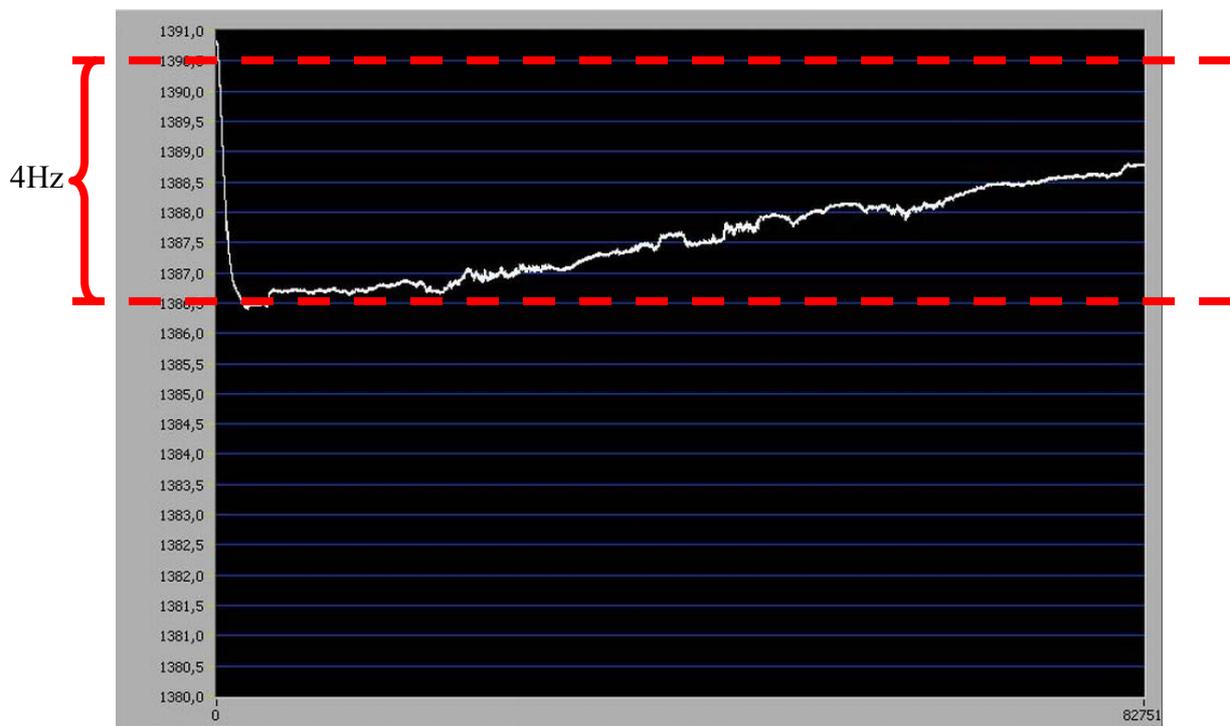


Abbildung 37: Oszillatorstabilität L3-3 über 82751 Sekunden (~23h)

in Y: Ausgangsfrequenz [Hz]; in X: Zeit in [s]; pro Sekunde ein Messwert

14.2 Zwischenbetrachtung

Die Stabilitätsbetrachtung mache ich ja u.a. aus dem Grund, um die Ursache herauszufinden, warum man die Steilheitsmessung beim L3-3 so oft naheichen muss. Die Vermessung des selektiven Verstärkers hat uns bereits gezeigt, dass hier sehr scharf gefiltert wird. Wandert der Mess-Oszillator also nur um wenige Hertz, könnte er damit sofort aus der Filterkurve herauslaufen und so einen ungewollten Pegelabfall produzieren (was einen dann wieder zum Nach-Eichen zwingt). Meine erste Untersuchung bewies, dass bereits eine Abweichung um nur 4 Hz bereits einen Amplitudenabfall von etwa 2% erzeugen wird! Die Anforderung an den Mess-Oszillator bezüglich Frequenzkonstanz ist also schon nicht ganz "ohne", wenn man stets innerhalb dieses Fensters bleiben will!

Hinzu kommt bei dieser Betrachtung, dass nicht nur die Drift des Mess-Oszillators berücksichtigt werden muss, sondern der Bandpass im selektiven Voltmeter selbst natürlich auch eine Temperaturdrift besitzt. Im schlimmsten Fall ist die sogar gegenläufig zu der des Mess-Oszillators, damit addieren sich sogar die Instabilitäten von Oszillator und Voltmeter. Ich werde also die Driftkurve des Bandpasses (also wie sich der Peak über die Zeit verschiebt) ebenfalls ermitteln müssen. Wie ich das genau mache, weiß ich noch nicht. Aber vermutlich wird mir nichts anderes übrig bleiben, als mir die Stoppuhr zu stellen und in bestimmten Zeitintervallen die Resonanzfrequenz händisch nachzumessen und dann zu notieren. (Ein Computerprogramm will ich dafür nicht extra schreiben, das wäre mir zu aufwändig.) Ein paar Messwerte sollten dafür ausreichen, um eine Tendenz zu erkennen.

14.3 Weiter im Text

Insgesamt mache ich drei Messungen. Die erste zeigt mir eine erste Tendenz, ist aber von drei nicht erklärbaren Peaks überlagert. Ich schalte am Laptop den Virens scanner aus und aktiviere am Frequenzzähler zusätzlich ein Tiefpassfilter. Nun sind die mysteriösen Peaks weg, wie ich an der zweiten Probemessung erkenne. Nachdem ich nun endlich ein lauffähiges Setup habe, lasse ich den L3 abkühlen und starte dann schließlich die dritte, finale Messung. Sie läuft jetzt problemlos knapp 24 Stunden im Dauerbetrieb und ist in Abbildung 37 zu sehen.

Innerhalb der ersten Stunde nach dem Einschalten sinkt die Oszillatorfrequenz um etwa 5Hz/Stunde. Danach geht die Kurve in eine kontinuierliche Steigung über; d.h. bis zum Messungsende nach 24 Stunden steigt sie wieder mit etwa 0,1Hz/Stunde an. Und selbst nach 24 Stunden sieht man noch keinen stationären Endwert, auf den sich der Oszillator einzuschließen scheint! Bei einem ordentlich laufenden OSC hätte ich erwartet, dass sich nach einer kurzen Aufheizphase (z.B. 1 Stunde) ein Mittelwert einstellt, um den herum der Oszillator nun ständig hin und her schwankt. Leider macht mein L3 das nicht und das ist eigenartig. Ich bin froh, dass ich im Endeffekt diese Messung gemacht habe und möglicherweise hier einem Problem auf die Schliche gekommen bin, auch wenn ich gerne zugeben muss, dass Jac von Anfang eine Vorahnung hatte und mich erst in diese Richtung geschubst hat. Auch ein Röhrenoszillator müsste doch letztendlich auf eine mittlere Resonanzfrequenz konvergieren- und das in einer Zeit, die sehr viel kürzer sein muss als 24 Stunden. Oder nicht?

Jac vermutet defekte bzw. leckstrombehaftete Kondensatoren im Oszillator als mögliche Fehlerquelle. Ich tue gut daran, seine von großer Erfahrung geprägten Hinweise ernst zu nehmen und in diese Richtung zu forschen. Auch aus meiner Restaurationserfahrung weiß ich, dass Kondensatoren im Laufe der Zeit durch Aufnahme von Feuchtigkeit gerne mal ihren Wert vergrößern oder Widerstände hochohmiger werden, daher klingt sein Hinweis in meinen Ohren sehr vernünftig.

14.4 Audio-Leiterplatte ausbauen

Nicht zuletzt auch deshalb, weil ich Ausgangssignal des L3-Tongenerators auch ein leichtes Clippen der negativen Sinusspitzen sehe, entscheide ich mich zu einem Rework der kompletten Audio-Leiterplatte (Tongenerator, μ A-Voltmeter und selektives NF-Voltmeter). Dazu muss ich sie erst von dem dicken Kabelbaum ablöten, mit dem sie im L3 verbunden ist. Ich beschrifte alle einzelnen Kabel mit Nummern-Klebeschildchen, damit ich sie später wieder eindeutig zuordnen kann. Das Lötzinn ist ziemlich schwer aufzuschmelzen. Nicht nur das werksseitig aufgebraute Coating (=Schutzlack) macht das Entlöten schwer, sondern auch die im Laufe der Jahre tlw. heftig oxidierten Lötstellen erschweren die Zinnannahme. Hier kann man nur mit Geduld, viel frischem Lot und ständigem Reiben der Lötspitze versuchen, die Oxidschicht aufzukratzen und die benötigte Wärme in die Lötstelle einzuleiten.

Danach reinige ich jedes Lötauge mit Flutsche und Kontakt60 Reiniger auf Wattestäbchen. So werden auch Flussmittelreste und die restlichen Oxidschichten gut entfernt. Es ist aber ein Haufen Arbeit, der sich am Ende aber hoffentlich lohnen wird.

14.5 Kondensatoren-Tausch

Ich beginne mit meinen Restaurationsarbeiten mit den Kondensatoren in der Umgebung der Röhre VL15- also dem Oszillator. Hier gibt es 10nF und 22nF-Kondensatoren. Ich baue die beiden 10nF aus und messe mehr als 14nF sowie 470Ohm ESR. Das ist viel. Laut Toleranzangabe (10nF +/- 10%) sogar eindeutig *zu viel*, also raus damit. Ich löte jeweils einen 10nF Styroflex-Kondensator ein, die für ihre hohe Frequenzkonstanz bekannt sind. Diese haben auch tatsächlich 9,8nF und einen ESR von nur 73Ohm. Das klingt schonmal besser!

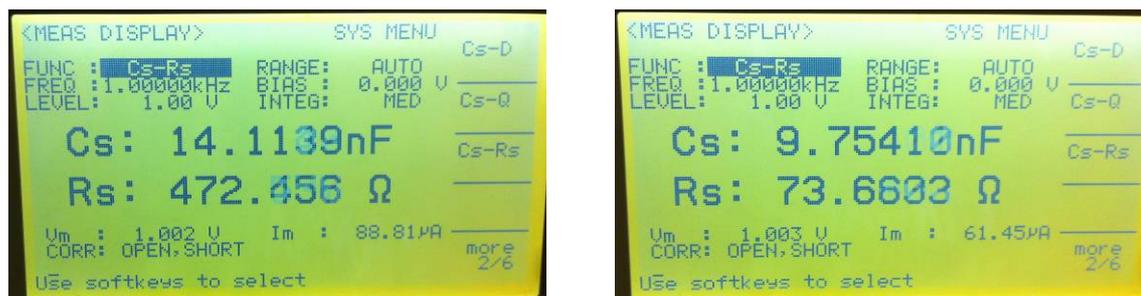


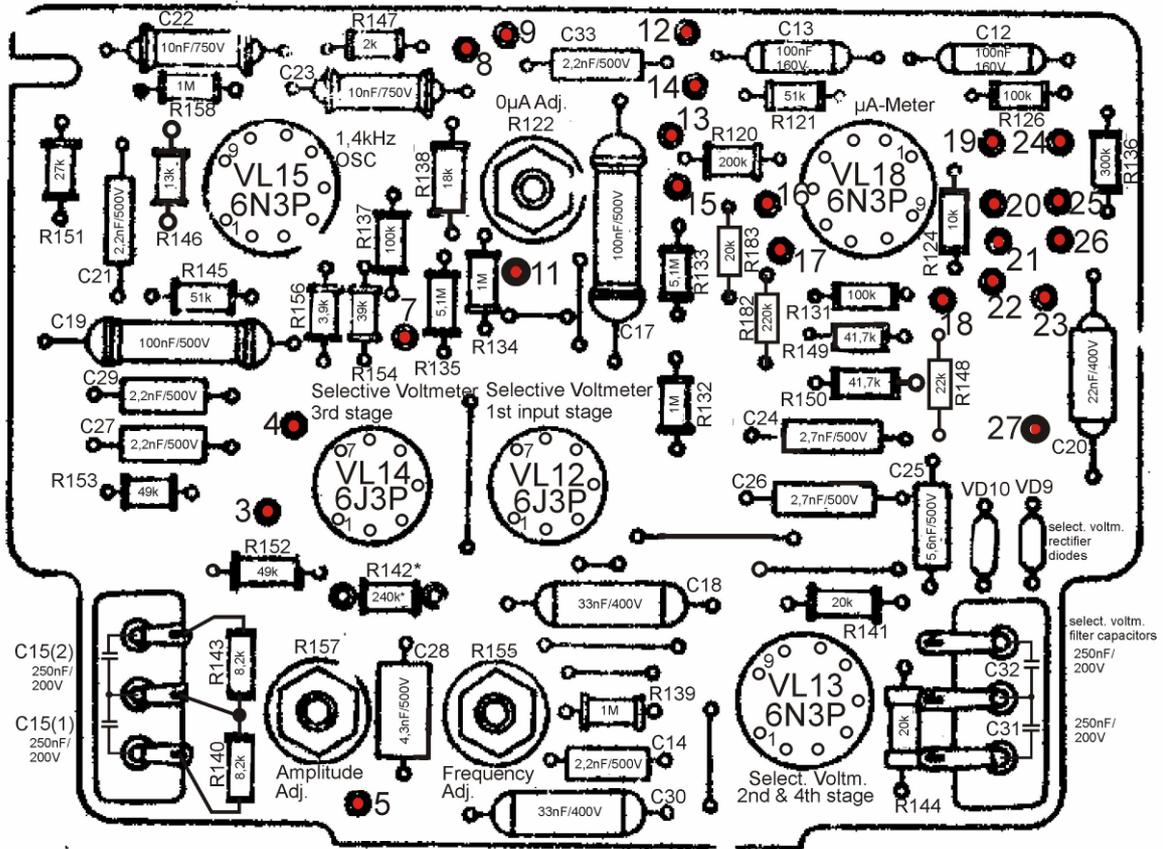
Abbildung 38: links: alter Kondensator; rechts: neuer Kondensator

Nun bastele ich mich Stück für Stück durch die Leiterplatte durch. Den 100nF-Kondensator, der die Schirmgitterspannung einer Röhre filtern soll, erhöhe ich lockerflockig auf 220nF. Heutzutage sind die Bauteile einfach kleiner und leistungsfähiger und an dieser Stelle kann "ein Pfund mehr" sicher nicht schaden.

Zwischendurch schimpfe ich dann wieder über die meiner Meinung nach schlechten (deutschen) Unterlagen des L3, denn auf dem Bauteile-Lageplan der Audio-Leiterplatte sind die Namen der Bauteile kaum zu erkennen. Und im Schaltplan fehlen (natürlich!) die Schnittstellen zum Kabelbaum. Auch deckt sich der Bauteileplan mal wieder nicht 100%ig mit meiner Version der Leiterplatte. Das macht es alles nicht einfacher!

Glücklicherweise stehen die Bauteilbezeichnungen aber auf der Leiterplatte selber- allerdings geschickterweise UNTER den Bauteilen, so dass man sie erst lesen kann, wenn man das Bauteil bereits ausgelötet hat. Auf Basis des alten, nicht mehr lesbaren Bestückungsbildes im L3-Manual mache ich mir einen Scan, lösche das Gekruckel mit einem Zeichenprogramm raus und ergänze es mit den Bauteilenamen, die ich nach und von der Platine ablese. Wieder ein Haufen Arbeit, aber es lohnt sich. Nachdem ich auch die Schnittstellen zum Kabelbaum identifiziert und in den Schaltplan übertragen habe, verstehe ich auch so langsam, was sich die Entwickler gedacht haben müssen.

Für alle die, die sich ebenfalls über die schlechten Unterlagen ärgern, hier meine Version des Bauteile-Lageplans.



L3-3 tube tester, Audio PCB. Re-draw by M.Michalzik MAY2012. V1.0
Errors possible, no "warranty", no commercial use.

Abbildung 39: Audio-PCB, von mir neu beschriftet

Nicht perfekt, aber besser als das hier:

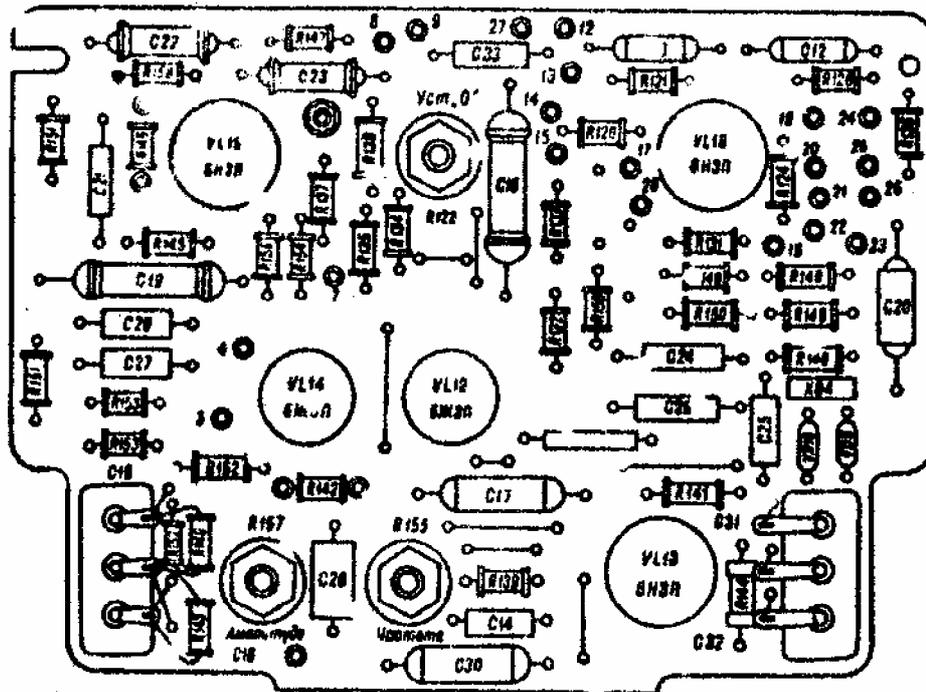


Abbildung 40: Audio-PCB, so sah es vorher aus...

14.6 Neuer Anlauf

Die Audio-PCB ist fertig bearbeitet- wenn auch mit einer kleinen Unterbrechung durch unseren erstgebohrnen Sohn, der es am Ende eiliger hatte als es seinen Eltern eigentlich recht war. Da verwundert es nicht, dass das Elektronikbasteln nun erst einmal etwas zurück stehen muss. Sogar Jac gibt unverdrossen zu, dass es im Leben tatsächlich auch Dinge gibt, die *noch* wichtiger sind als Röhren. Wow!

Jedenfalls schaffe ich es trotzdem, die Audio-PCB abzuschließen- wenn auch nun in kleineren Häppchen. Die Potis habe ich alle gereinigt, die Röhrenfassungen mit Klebeschildchen beschriftet und die allermeisten Widerstände gewechselt. Nur die ganz "schiefen" 0,2%-Typen habe ich -nach vorheriger Kontrolle- dringelassen, ebenso die MICA-Kondensatoren, von denen tatsächlich ohne Ausnahme alle noch 100% heile waren.

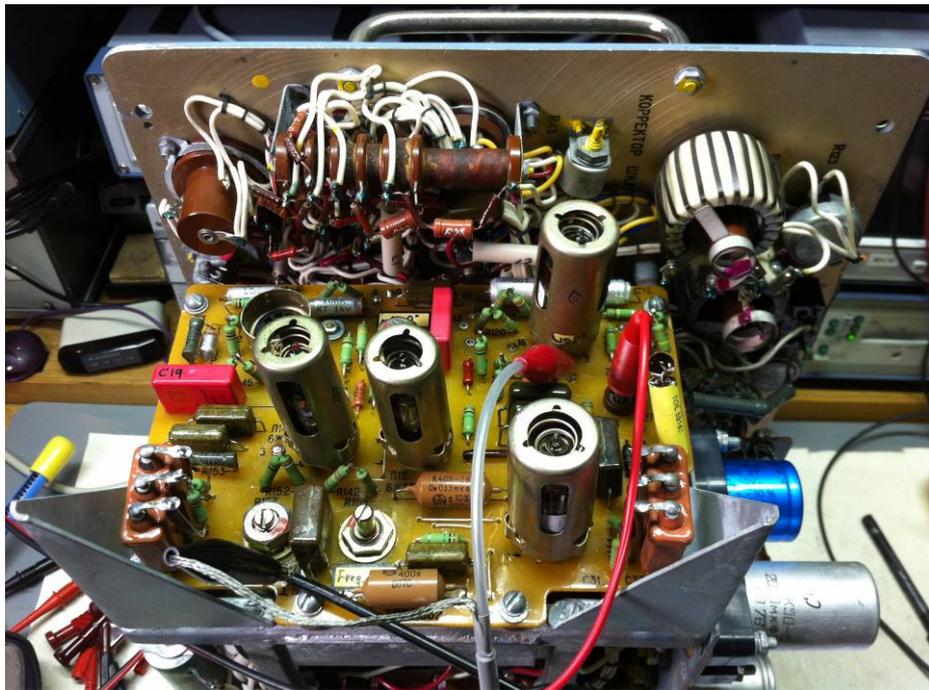


Abbildung 41: Audio-PCB fertig aufgearbeitet und eingebaut

Beim Anschließen an den Kabelbaum fielen mir leider ein paar von den mühsam beschrifteten Klebeschildchen ab, aber ein Blick in den Schaltplan und ein Durchgangspiepser schafften hier relativ schnell wieder Klarheit. Ein erstes Einschalten und kurzes Warmlaufen zeigt mir, dass die Verzerrungen des L3-internen 1,4kHz-Generators nun sehr viel geringer geworden sind! Sehr erfreulich, ich messe irgendwas um die 2% Klirrfaktor. Und auch die 450mVeff Ausgangsspannung sind durch die Poti-Reinigung und anschließender Konservierung (mit techn. Vaseline) nun deutlich präziser einstellbar. THD%



15 Stabilität nach Restauration

Nun interessiert mich natürlich, ob sich an der Stabilität etwas verändert hat. Und nun kommt die Enttäuschung: nein. Der L3 startet mit etwa derselben Steigung wie vor dem Umbau und auch nach einem Tag scheint noch kein Endwert erreicht worden zu sein. Ich lasse die Messung dennoch weiter laufen - aber nach über 2 Tagen Dauerlauf breche ich die Messung ab. Irgendwann zwischendurch scheint sich zwar hin und wieder ein quasi-stationärer Zustand einzustellen, aber jedes mal, als ich das dachte, setzte die Drift zu höheren Frequenzen hin nach wenigen Stunden wieder erneut ein.

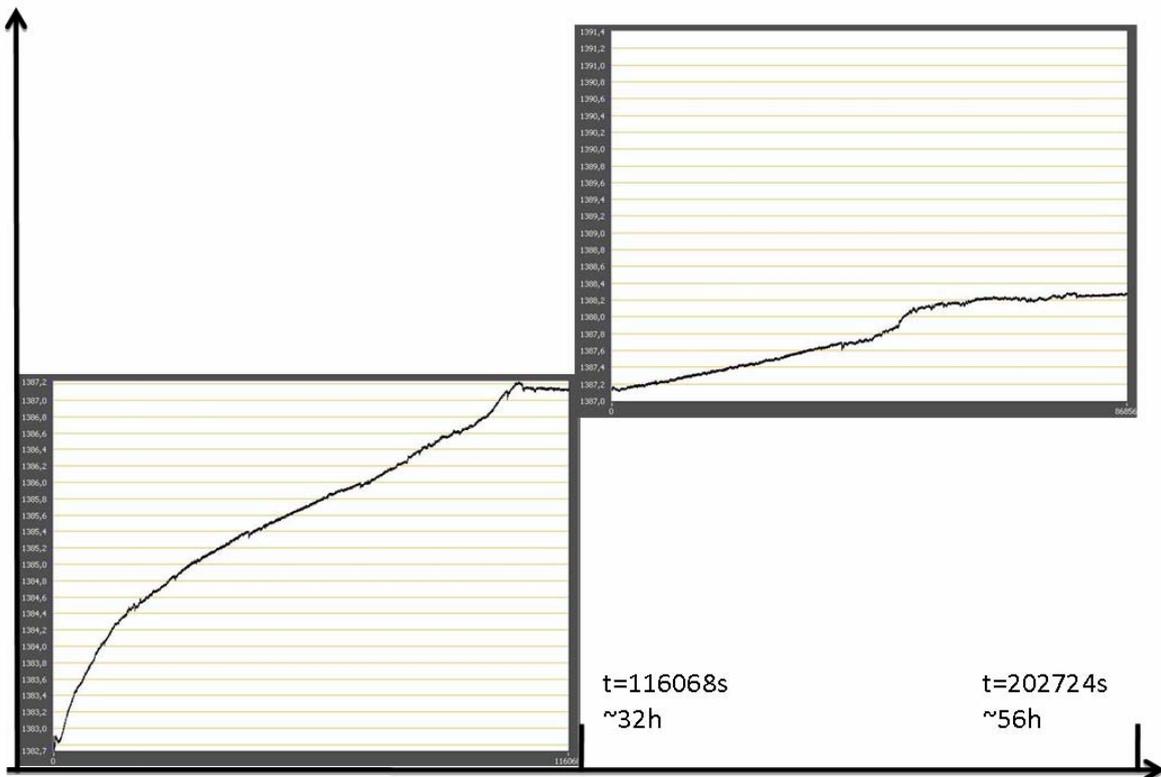


Abbildung 43: OSC-Stabilität nach der Restauration

in Y: Ausgangsfrequenz [Hz]; in X: Zeit in [s]; pro Sekunde ein Messwert

Hier die Verlauf des Oszillators über eine Zeitspanne von mehr als 2 kompletten Tagen. Weil ich die Messung mittendrin aus Versehen mal gestoppt hatte, hier als Fotomontage noch einmal entsprechend zusammengeklebt. Wenn man den Maßstab und die Kurve mit dem Zustand vorher vergleicht (zu sehen in Abbildung 37), ist das doch ziemlich ernüchternd.

Weitere Erkenntnisse ließen sich wahrscheinlich nur gewinnen, wenn man den L3 wirklich über Wochen und Monate hinweg laufen ließe und misst. Auch müssten mehrere Geräte untersucht werden, ob alle ein Einlaufen zu höheren Frequenzen hin zeigen oder es auch da Unterschiede gibt. Liebe Freunde, hier muss ich leider stoppen. Ich bin kein Zuverlässigkeitslabor und auch wenn es noch so reizt- am Ende will ich mit meinem L3 durch auch irgendwann einmal fertig werden und Röhren messen! Also breche ich ab und akzeptiere einfach, dass freischwingende Röhrenoszillatoren einfach ein paar Hertz "wandern". Boah, welche Erkenntnis!

16 Durchlasskurve (selektives Voltmeter)

Der Grund für die Stabilitätsuntersuchung war ja, dass der eingebaute Steilmessmeter mit so einem sauscharfen Selektivmesser arbeitet: der 1,4kHz Prüfoszillator verlässt durch sein "Wandern" innerhalb kurzer Zeit die scharfe Spitze seines Durchlassbereiches und produziert damit merkbare Pegelveränderungen an der Anzeige. Da die Stabilität des int. Oszillators offensichtlich bauartbedingt etwas schwankt, könnte man ja als Gegenmaßnahme die Filterbandbreite im selektiven Voltmeter verbreitern. Somit hätte der Oszillator in der Durchlass"spitze" des selektiven Voltmeters mehr "Platz" zum Wandern- ein paar Hertz Frequenzänderung würden sich nicht gleich als Pegeländerung im Anzeigeelement auswirken.

Ich kenne für den L3-3 nun mindestens drei verschiedene Schaltplan-Varianten. In einer ist das Doppel-T-Filter des selektiven Voltmeters mit einem 1,5M Ω Parallelwiderstand (R183) bedämpft. Ob das eine Verbreiterung des Peaks bewirkt, so dass sich ein geringfügiges Frequenzpendeln des 1,4kHz Messoszillators nicht mehr so stark auf die Messergebnisse auswirkt?

Natürlich lässt mir das keine Ruhe. Ich benutze zur Erforschung dieses mal einen "Dynamic Analyzer" HP3561A, der Frequenzgänge in Echtzeit darstellen kann. Wenn man keine zu große Dynamik braucht, (bei ca. 60..70 dB realer Anzeigedynamik ist bei dem Gerät Schluss) ist der HP3561A eine gute Wahl, weil er mit einem speziell generierten Prüfsignal arbeitet, mit dem er Frequenzgänge innerhalb weniger Sekunden auf seinem Bildschirm sichtbar machen kann. Schneller geht's auch mit heutigen Soundkarten und potenten PCs kaum (und genauer sowieso nicht ;-).

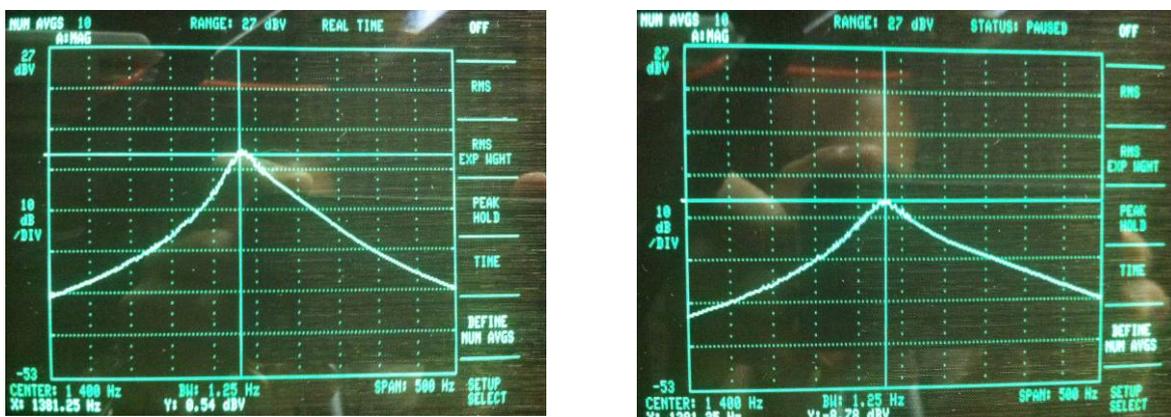


Abbildung 44: Filterfrequenzgang ohne R183 (links) und mit R183 (rechts); Sichtbereich 500Hz

Die Änderung des Filterfrequenzgangs wird bereits wenige Sekunden nach Anlegen von R183 sichtbar: der Peak verbreitert sich zwar um etwa 10Hz von 31Hz auf 45Hz (-3dB-Bandbreite), allerdings wird das Maximum auch um 10dB kleiner und tiefe Frequenzen <100Hz steigen noch einmal deutlich an. Bedeutet: ja, das Filter ist etwas toleranter gegen Frequenzschwankungen des Prüfzillators geworden, aber leider auch etwas empfänglicher für Störungen außerhalb seines Filterbereichs. Und weil 10Hz mehr jetzt auch nicht "die Welt" sind, entschlief ich mich dafür, R183 nicht einzulöten, sondern mit der Originalbestückung zu leben.

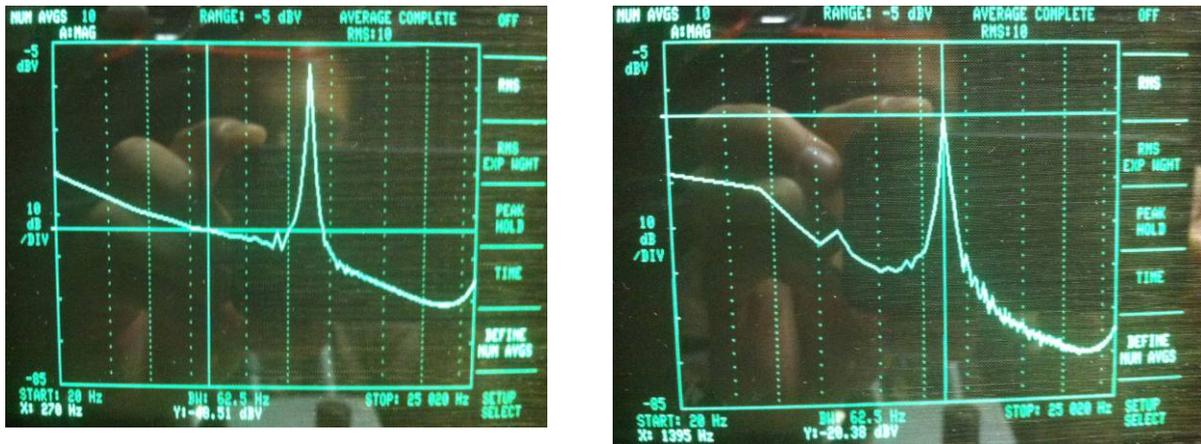


Abbildung 45: Frequenzgangvergleich wie zuvor, allerdings von 20Hz..25kHz

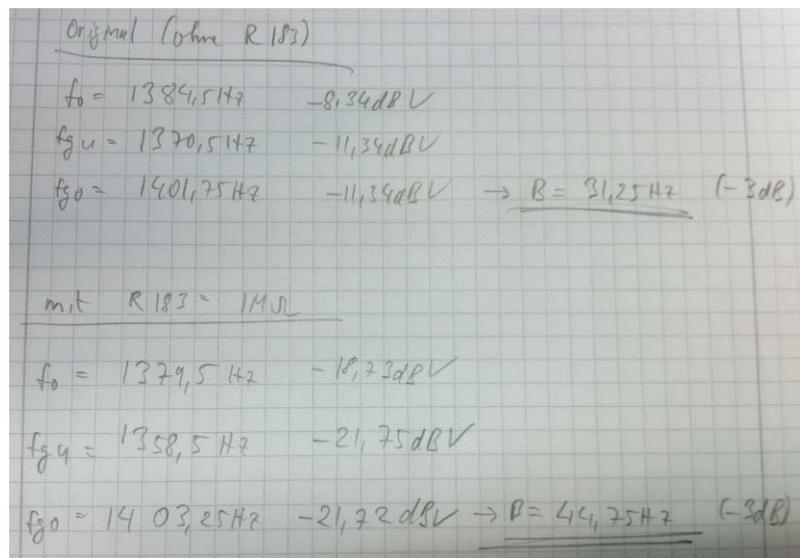


Abbildung 46: Filterbandbreite- meine Notizen über R183

Achja: natürlich wird jetzt der eine oder andere von Euch eine pfiffige Idee haben, wie man die Grenzfrequenzen der beiden T-Filter so gegeneinander verschieben kann, dass sich die Durchlasskurve auch verbreitert OHNE eine Einbuße in der Gesamtselektivität zu erreichen. Ich meine, im Netz habe ich sogar schonmal einen Verrückten (und das ist nicht als Schimpfwort gemeint!) gesehen, der die Schaltung mit PSPICE durchsimuliert hat. Das wäre ein guter Ansatz für eine Optimierung. Ich spreche hier offiziell meine Bewunderung für so viel Ehrgeiz aus. Doch werde ich eher einen anderen Ansatz verfolgen: anstatt den L3 hier weiter zu tunen, werde ich ihm viel lieber separate Ein- und Ausgangsbuchsen einbauen, an die ich ein

modernes Messgerät anschließen kann! Dann habe ich weder Ärger mit wandernden Prüfoszillatoren noch zu scharf filternden Röhrenvoltmetern. Überdies kann ich durch die zu prüfende Röhre schlimmstenfalls sogar ein "richtiges" Audiosignal aus einem CD-Player o.ä. hindurchjagen und mir das Klangverhalten der Röhre sogar richtig anhören! Nun gut, ich gebe gerne zu, dass es uns in einem Experimentalworkshop mit 20 verschiedenen Röhren des Typs ECC83 und etwa dreißig Teilnehmern *nicht* gelungen ist, dort irgendwelche Unterschiede zwischen verschiedenen Röhren herauszuhören, aber höchstwahrscheinlich liegt das einfach daran, dass meine und die Ohren aller Workshopteilnehmer diesbezüglich einfach nicht geschult genug waren. (Jede andere Begründung würde sicher auch einen Sturm der Entrüstung in der Ecke der HiFi-Enthusiasten auslösen ;-)

Trotzdem halte ich es -gerade in Bezug auf die Messung elektrischer Parameter wie Klirr und Restbrumm- doch vernünftig, den L3 mit einer entsprechenden Schnittstelle auszurüsten. Somit wird er noch flexibler, als er von Haus aus schon ist!

17 Zwischenstand

Ok, nun fassen wir mal zusammen, was wir schon alles gebastelt und dabei herausgefunden haben:

- die Audio-PCB wurde komplett entkernt und kritische Bauteile (Elkos, Widerstände, Röhren) erneuert
- erstaunlicherweise waren nur sehr wenige Bauteile wirklich nachmessbar "mau", das spricht für eine gute Qualität der Bauelemente bei der Herstellung
- der Klirrfaktor des 1,4kHz-Generators konnte dadurch signifikant gesenkt werden (keine Verzerrung mehr in der negativen Halbwelle zu sehen; THD+N nun ca. 2%)
- die Frequenzstabilität konnte durch diese Maßnahmen jedoch nicht wesentlich verbessert werden
- das selektive Voltmeter arbeitet vorher wie nachher (nach dem Umbau) einwandfrei
- seine Durchlasskurve ist mit ca. 31Hz ziemlich schmal, wird durch Einbau von R183 zwar breiter, aber auch weniger selektiv
- das Reinigen und Konservieren der Potis auf der Audio-PCB hat deutlich spürbare Verbesserungen im Einstellen von Frequenz, Amplitude und Nullpunkt des μ A-Meters zur Folge
- den Dauerlauftest (2 Tage mit einer ECC83 als Prüfröhre) hat der L3 einwandfrei überstanden

18 Messgeräte-Kalibrierung

Eigentlich ist dieses Thema ja eine meiner Leidenschaften, doch der L3 macht es mir hier nicht besonders leicht. Unterschiede zwischen Schaltplan und der "Realität" im Gerät bringen einen manchmal dermaßen zum Verzweifeln, dass man schon die Lust daran verlieren kann. Aber schön der Reihe nach.

Weiter oben habe ich ja bereits schon die Ausgangsspannungen hinsichtlich Genauigkeit überprüft. Das Ergebnis schulde ich Euch noch. Hier im Einzelnen:

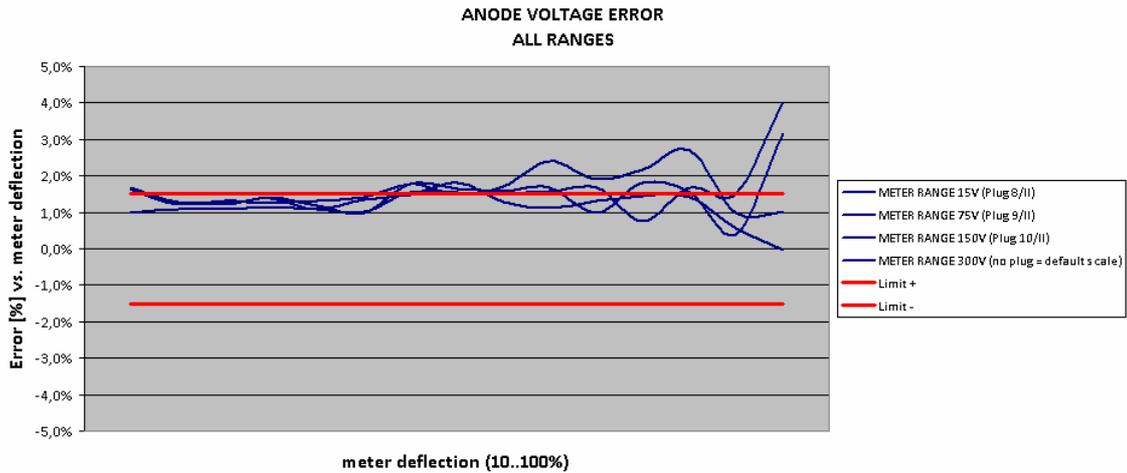


Abbildung 47: Abweichung Anodenspannung

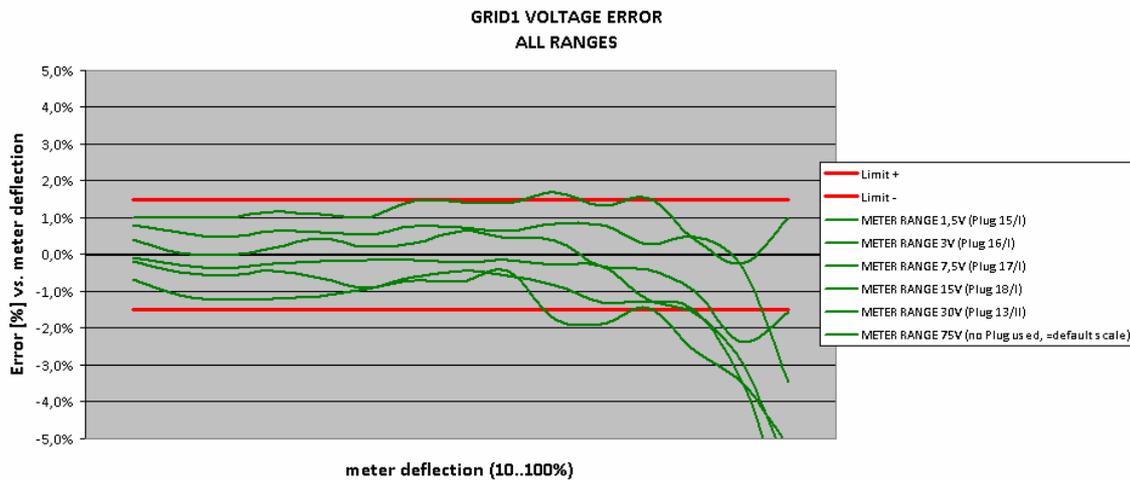


Abbildung 48: Abweichung Gitter1-Spannung

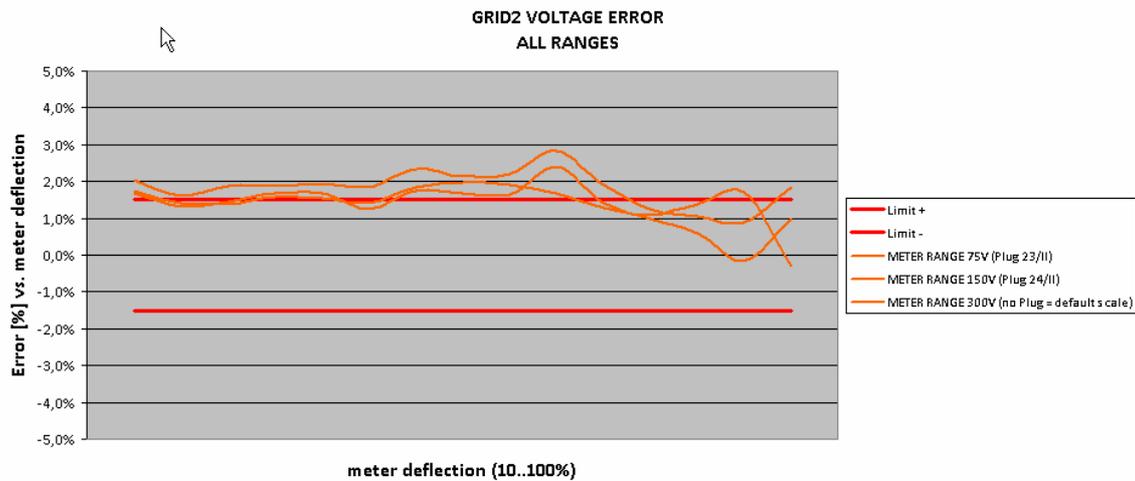


Abbildung 49: Abweichung Gitter2-Spannung

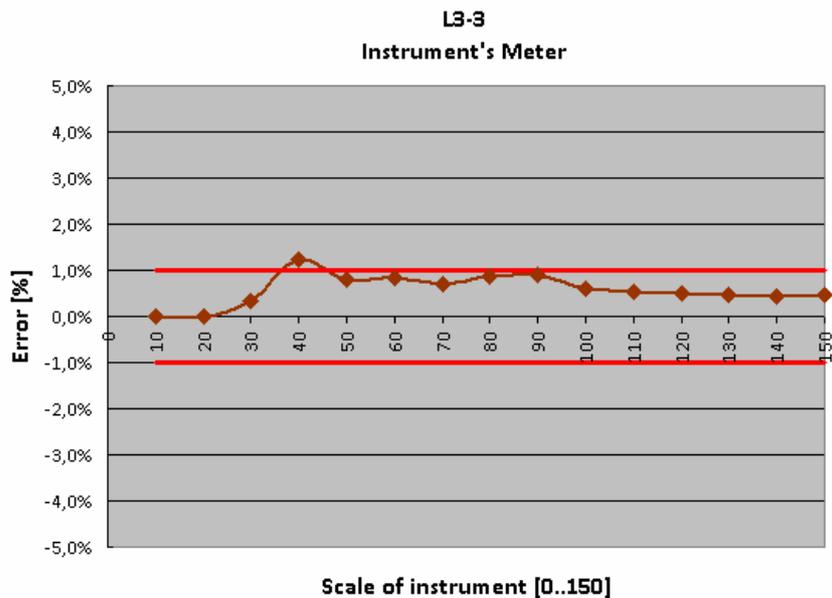


Abbildung 50: Abweichung des Anzeigeinstruments an sich

Wir sehen, dass dieser L3 bereits an einigen Stellen ganz leicht aus der Spezifikation rutscht. Ein neuer Abgleich würde hier die Performance sicher noch verbessern können. Da es für diese Bereiche aber keine Abgleichpotis im L3 gibt, muss man erstmal die verwendete Technik zur Messung von Anoden- und Gitterspannung verstehen, um in einem zweiten Schritt diese Technik modifizieren zu können (z.B. durch zusätzliche Potis, um den ganzen Kram abgleichbar zu machen).

Ich mache mir hier wieder dolle Mühe. Nach intensivem Schaltplanstudium und akribischem Nachverfolgen der Spannungspfade komme ich zu drei Blockschaltbildern: und zwar zu ei-

nem für den Messkreis "Anodenspannung", "Gitterspannung 1" und "Gitterspannung 2". Teilweise wird dem Messinstrument nicht nur ein Spannungsteiler vorgeschaltet, sondern ebenfalls ein Parallelwiderstand zugeschaltet. Eine schöne Übung zur E-Technik1-Vorlesung, diesen ganzen Kram einmal nachzurechnen. Klar, das konnte ich mal wieder nicht lassen!

Um es gleich "richtig" zu machen, kimperte ich sowohl Blockschaltbild als auch Berechnungsformeln gleich in Excel, so dass ihr meine Ergebnisse auch besser sehen könnt. Ich beobachte bereits geringe rechnerische Abweichungen im Bereich von knapp 1%, sehr interessant! Wenn man nun gehässig wäre, könnte man fragen, warum man viel Geld in ein super Klasse-1-Messinstrument investiert, sich diese Genauigkeit aber dann gleich wieder durch eine systemimmanente Ungenauigkeit versaut? Nunja, möglicherweise habe ich ja beim Berechnen einen Fehler gemacht oder sonst irgendwas nicht berücksichtigt (z.B. den Vorwärtsstrom der antiparallel zu Messwerk geschalteten Schutzdioden, die sicherlich auch etwas Strom schlucken werden).

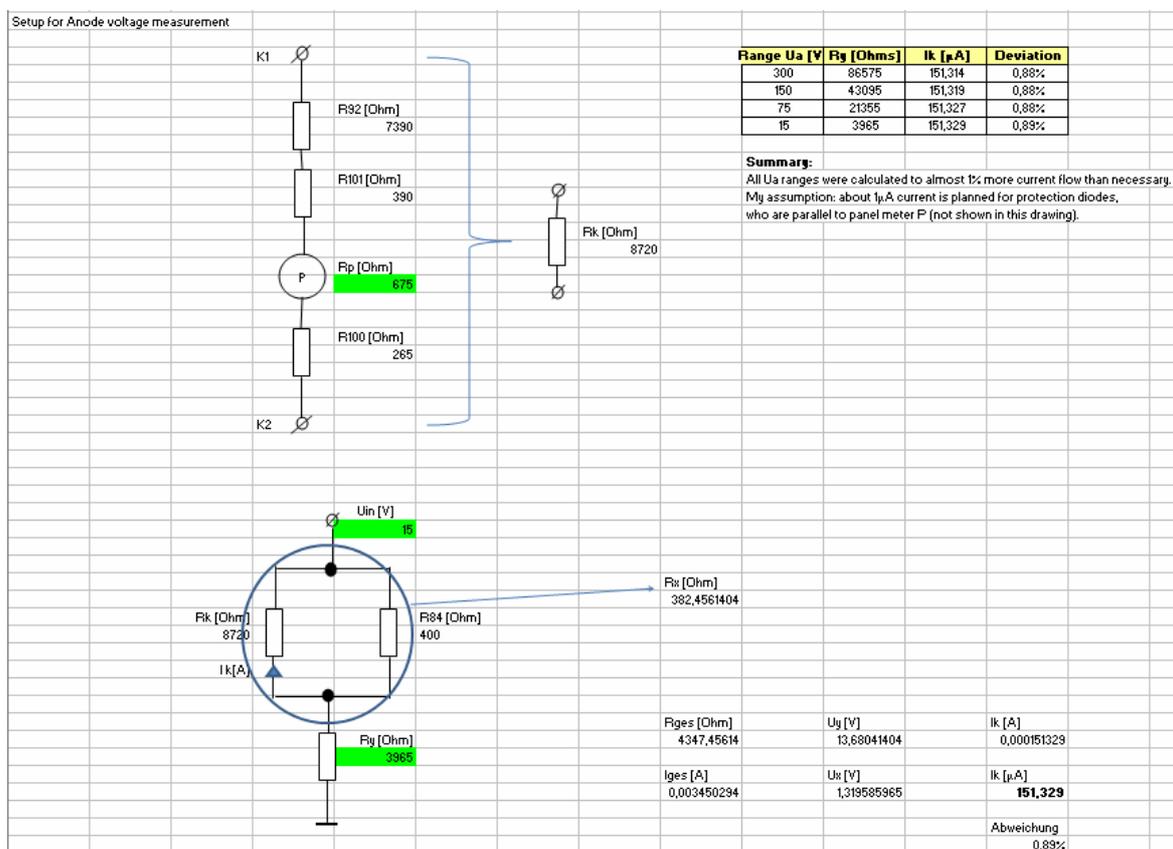


Abbildung 51: Messkreiskonfiguration im L3-3 für Messung der Anodenspannung

Aber ich bin ja nicht gehässig, daher lasse ich es mit der provokanten Hinterfragerei nun gut sein :-)

Nachdem ich also die verschiedenen Beschaltungen des Messkreises für Anoden- und Gitterspannungen selber alle nachgerechnet hatte, wollte ich gerne die Bauelemente des Messkreises in der Praxis nachmessen und mit der Theorie (=Berechnung) vergleichen. Anfangen wollte ich mit R100, also dem Widerstand, der den resultieren Innenwiderstand des Messwerks in Reihe liegt und diesen zusammen mit R100 auf exakt 940Ohm bringen soll. Sagt zumindest das Manual.

Für alle die, die mir nicht glauben, hier der Auszug aus dem Manual "Röhrenkenngrössenmesser L3-3", Technische Beschreibung und Betriebsanweisung, 641.02 TO, Seite 93:

Bemerkung.1. Der des Widerstandes R100 wird so ausgewählt, dass Widerstandssumme des Mikroamperemeters P und R100 $940 \pm 0,2\%$ betrage. Der Wert des Widerstandes R92 wird so eingestellt, dass der Eingangswiderstand des Messkreises in den Punkten "KK" (Mikroamperemeterwiderstand + Widerstand R100 + Widerstand R101 + Widerstand R92) $8720 \Omega \pm 0,2\%$ bei normaler Umgebungstemperatur betrage.

Abbildung 52: Auszug aus dem Manual, Seite 93

Witzpickel!!

Mit einem Gleichspannungswiderstand von gemessenen 675Ohm des Messwerks würde ich also einen R100 von exakt 265Ohm erwarten, um diese Forderung zu erfüllen. Das alleine finde ich zwar schon etwas komisch, weil

a) in demselben Manual steht, dass der Innenwiderstand des Messwerks 850Ohm sein soll

P Mikroamperemeter M906-10 0-150 μA 850 Ω
Kl.1,0 mit horizontaler Arbeitsteilung 1



Abbildung 53: Auszug aus Seite 91

(statt den von mir mit einem HP34401 und R&S UVD5 gemessenen 675Ohm)

b) in demselben Manual steht, dass R100 standardmäßig 450Ohm sein soll, was zusammen mit dem 850Ohm-Messwerk dann 1,3kOhm ergäbe und damit die eigene Forderung nach 940Ohm grob verletzt.

R100 Widerstand 450 Ω $\pm 0,5\%$ 4,530.126-12



Abbildung 54: Auszug aus Seite 87

Aber es wird noch schlimmer. In meinem L3 gibt es gar keinen R100! Naja- zumindest nicht da, wo er laut Manual sein sollte: ich finde (irgend-) "einen" R100 in meinem L3 als einen Widerstand am Spannungsteiler für die Gitterspannung- doch der hat mit dem Vorwiderstand des Messgerätes nicht das Geringste zu tun! Ich könnte doch schon wieder laut losk....! Wenn ich eins hasse, dann sind es langsam laufende Zahnarztbohrer und Schaltpläne, die nicht zum Gerät passen! In meinem L3 gibt es immerhin zwar den R92- aber keinen R101, und erst recht auch keine antiparallel geschalteten Schutzdioden am Messwerk. Jac hat einen Schaltplan von einem L3, der hinsichtlich Messkreis mit dem meines L3 bis jetzt am besten übereinzustimmen scheint- jedoch hat diese Version Glimmstabis als Spannungsreferenzen; das deutet ein-

deutig auf einen L1 hin und nicht auf den Schaltplan des neueren L3's! Außerdem ist im Messkreis ein Kringel eingemalt, den ich als Relais interpretiere- oder möglicherweise ein Reed-Kontakt als Überstromschutz? Keine Ahnung! Habe ich mal wieder ein Vorserien-Gerät geschossen, bei dem einige Dinge wieder nicht so sind, wie sie sein sollten?? Das erinnert mich an eine böse Odyssee mit meinem Fluke5100 Kalibrator...

Ich muss zugeben, dass mich das niederschmettert. Nochmal habe ich keine Lust auf sowas. Ohne passenden Schaltplan ist das wie Rätselraten, ohne dass man überhaupt die Fragen kennt. Oder wie Nüsse knacken, bei denen man nicht weiß, ob die Nüsse überhaupt Nüsse sind- oder nicht am Ende ungenießbare Kirschkerne, die man einfach nicht klein kriegt. Es ist müßig, die vielen Widersprüche im Manual aufzudecken und am Ende deswegen nicht weiterzukommen. Das macht so einfach keinen Spaß.

Ich betrachte die aufgenommenen Ungenauigkeitskurven für Anoden- und Gitterspannung. Wäre es denn so schlimm, mit der aktuell gebotenen Performance zu leben? Muss der Einbau eines Abgleichorgans denn unbedingt sein? Solange ich weiß, in welchen Bereichen der L3 dann wie viel Prozent Fehler anzeigt, ist die Welt doch eigentlich in Ordnung- oder nicht? Ich bin fast geneigt, diese Frage zu bejahen.

19 „Banana-Deck“: die Idee

Um meine Laune etwas aufzubessern, hecke ich zusammen mit Jac lieber was Neues aus. Nach dem Vorbild des Metrix U61 wollen wir den L3 mit einer Schnittstelle für Anode, Gitter2, Gitter1, Kathode sowie der Heizung ausrüsten. Das wäre sehr praktisch, denn damit könnte man bei jeder beliebigen Röhre den Schaltkreis auftrennen und beispielsweise mit einem ordentlichen Ampere-Messgerät den Anodenstrom messen oder die Anodenspannung messen ohne auf das L3-interne Anzeigeinstrument angewiesen zu sein. Doppelt gut: damit wäre es auch nicht mehr ganz so schlimm, wenn das Instrument einen etwas höheren Messfehler hätte: wenn man es wirklich mal „ganz genau“ braucht, trennt man einfach den Anodenkreis auf, hängt ein beliebig genaues Messinstrument seiner Wahl (zum Beispiel ein HP3458A hä hä hä!) in den Messkreis und hat es damit auf 7 Stellen hinter dem Komma genau. Das reicht hoffentlich.

Ich zermartere mir gerade das Hirn, wo man diese Buchsen alle einbauen könnte und bin schon fast dabei, die rechte Hälfte des L3 auszuweiden, um dort Platz für ein selber konstruiertes Schaltfeld zu schaffen, da schickt mir Jac per email ein vollgekritzelttes Stück (virtuelles;-) Papier. Erst denke ich, er will mich auf den Arm nehmen, aber dann erkenne ich seine Idee: der Mann ist einfach genial! Instatt meinem L3 mit Laubsäge und Schweißbrenner auf den Leib zu rücken, schlägt Jac einfach vor, hinter der linken Serviceklappe eine zusätzliche kleine Platte senkrecht einzubauen, auf die man dann alle Bananen- und sonstige Buchsen einsetzen kann. Weil wir uns beide in unseren emails immer in englisch unterhalten, nennen wir diese Idee nun ab sofort liebevoll „Banana-Deck“ :-)

20 Buchsentausch

Bevor ich das Banana-Deck in Angriff nehme, klingelt der Postbote und bringt mir einen Haufen neuer Röhrenfassungen. Die hatte ich kurzerhand bestellt, nachdem ich festgestellt hatte, wie ausgeschlagen die eingebauten teilweise schon sind. Manche Messungen kann man nur machen, wenn man die zu prüfende Röhre manuell in eine ganz bestimmte Richtung drückt- damit sie gerade mal etwas Kontakt zum Anschlusspin kriegt.

So geht das natürlich nicht, also habe ich neue bestellt. Ich fühle, wie Jac im Hintergrund die Stirn runzelt, er hätte lieber die alten nachgebogen und restauriert- zu groß ist seine Furcht, dass die neuen Röhrenfassungen Riefen auf den Prüflingen hinterlassen könnten. Das wäre für besonders seltene und wertvolle Röhren (z.B. NOS-Röhren) natürlich wertmindernd! Auch wenn man sich hier bald wie beim Münzensammeln vorkommt, bitte lacht nicht darüber! Jac hat völlig Recht: auch wenn ich selber meine Röhren vielleicht nicht als Sammelobjekt sehe, sondern eher pragmatisch mit ihnen umgehe „Hauptsache sie spielen und –Rumms!!- rein in die Hammond!“, so gibt es genug Röhrenfans, die einfach Wert auf ein perfektes, handgemachtes NOS 300B-Röhrenpaar legen und die Patina an den Röhrenpins fast als „Echtheitszertifikat“ ansehen. Wie gesagt- auch wenn ich selber hier nicht so empfindlich bin, kann ich das aber schon verstehen. Was für die einen der Lack am Auto ist, ist für den anderen der Röhrenpin an der 300B. Aber wir schweifen ab.

Hier die alte, angebrochene und wackelkontaktige Röhrenfassung Nr.11 und die neue.

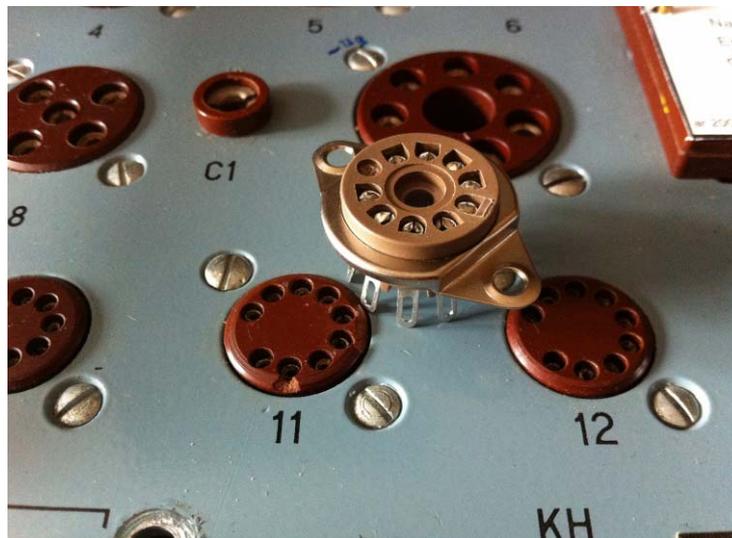


Abbildung 55: Noval-Röhrenfassung, Nr.11

Weil es im Innern des L3 ein wenig unübersichtlich ist, habe ich mir vorher eine kurze Anschlusskizze gemacht.

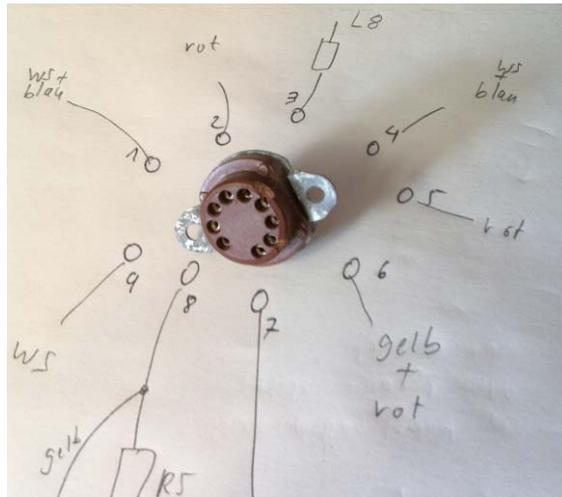
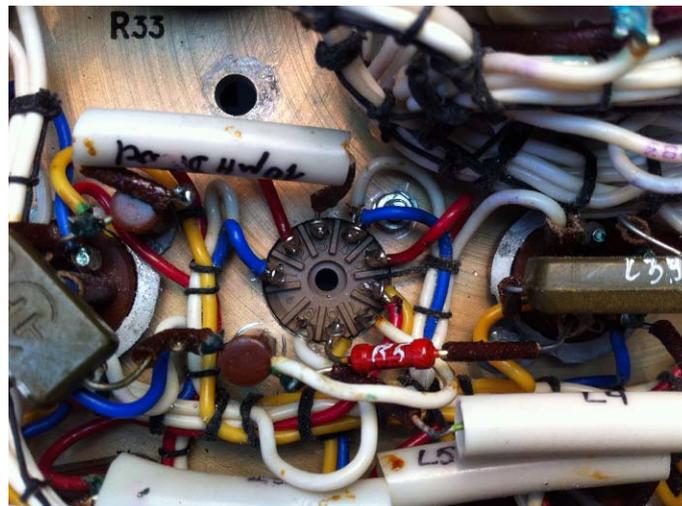


Abbildung 56: Skizze und die alte Fassung

So sieht es nun von unten aus:



Und so von oben:



Abbildung 57: neue Fassung Nr.11 eingebaut

Sofort stichelt Jac, dass man die Buchse doch auch von unten hätte einbauen können, das sähe schöner aus. Stimmt, doch habe ich sie mit Absicht von oben eingebaut: in meinem zarten Alter von derzeit 38 Jahren stelle selbst ich hin und wieder ein Nachlassen meiner Adleraugenperformance fest. Die nach oben gelegte Röhrenfassung bietet mir ganz einfach den Vorteil dass ich beim Einsetzen der Röhre die Pins besser sehen kann! :-)

Nunja, und wo ich schonmal dabei bin, wechsele ich gleich auch noch die Oktal-Fassung aus. Hier das Ergebnis.

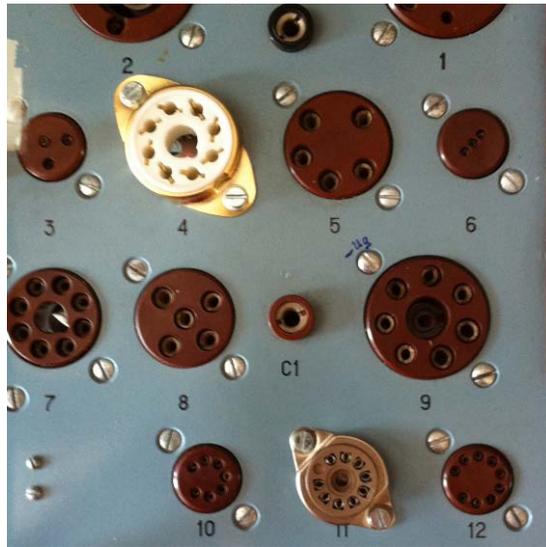


Abbildung 58: Oktal-Fassung auch erneuert

Jetzt geht's aber erstmal ran ans Banana-Deck!!

21 Banana-Deck: der Einbau

So, es geht los. Ich stecke das L3-Chassis in sein Blechkleid, öffne die linke Serviceklappe und nehme erstmal Maß.



Abbildung 59: ausmessen

Eine der Nussecken wird abgebaut und gebohrt....

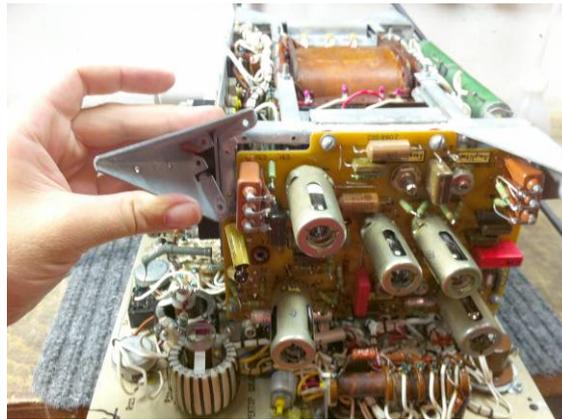


Abbildung 60: Vorbereitung für die Bananen...

...und dann erstmal provisorisch das Raw-Banana-Deck montiert:



Abbildung 61: die Grundplatte steht!

Sieht schonmal garnicht schlecht aus. Und auch wenn man wieder alles zusammensteckt, macht es einen vernünftigen Eindruck:



Abbildung 62: Ansicht im zusammengebauten Zustand

Ich markiere mir die nutzbare Fläche mit einem Filzstift und baue das Bananen-Decke wieder aus- damit es mit den ersten Bananen bestückt werden kann!

Erst ne Skizze, dann alle Bauteile probeweise draufstellen, mit dem Höhenanreißer alles anzeichnen, ankörnen....



Abbildung 63: Schritt 1

...dann erstmal 'nen Stück leckeren Obstkuchen vom Bäcker aus dem Nachbarort....



Abbildung 64: Schritt 2

...dann bohren, entgraten, grundieren, lackieren....

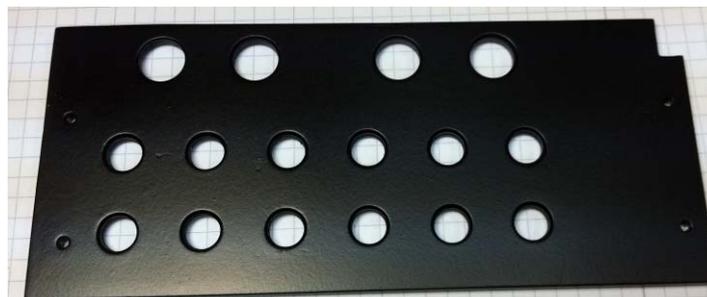


Abbildung 65: Schritt 3

..und einbauen.



Abbildung 66: Schritt 4

So weit, so gut. Es passt alles und auch die 4 BNC-Buchsen, die ich für das Ein- und Auskoppeln der Gitter-NF sowie des AC-Anteils des Anodenstroms brauche, hakeln zwar etwas beim Einsetzen des L3-Chassis in das Gehäuse, stören sonst aber nicht großartig.

22 Anschlüsse

Weil Jac das Banana-Deck auch nachbauen möchte, bat er mich, den Abgriff der Signale (Anode, Gitter2, Gitter1, Kathode, Heizung1, Heizung2) möglichst genau zu beschreiben, damit er nicht so lange suchen muss. Also gut, es ist nicht ganz einfach, aber ich will es versuchen.

Wir beginnen erstmal ganz einfach mit dem Bild der „Universalkarte“. Warum, seht ihr gleich.

In Abbildung 67 sehen wir die Universalkarte, wie man sie in Internet findet. Die wird uns nun helfen, die benötigten Trennstellen zu finden. Denn letztendlich enden die gesuchten Signale allesamt irgendwann am großen Patchfeld! Also müssen wir da suchen!

Jan Wüsten bemerkt hierbei beim Review-Lesen, ob die langen Leitungen nicht Probleme machen könnten (Oszillation). Ich greife schon einmal vor: bislang habe ich so etwas nicht bemerkt. Ich weiß aber sehr wohl, dass gerade hochverstärkende Röhren wie die ECC83 bei manchen Röhrenprüfgeräten hinsichtlich Selbstoszillation stark gefürchtet sind. Aus diesem Grunde musste ich bei meinem Hickok TV-2 kilogrammweise Ferritperlen nachrüsten. Beim L3 scheint das aber unkritisch zu sein, wie wir später auch bei den Klirrfaktormessungen sehen werden.

Nach umfangreichem Gewühl im Kabelbaum (so ähnlich müssen sich Pilzsammler im Wald fühlen) werde ich schließlich fündig! Da! Der Silberdraht, der das Anodensignal auf alle 8 Patchfeld-Kontakte zur Auswahl anbietet.

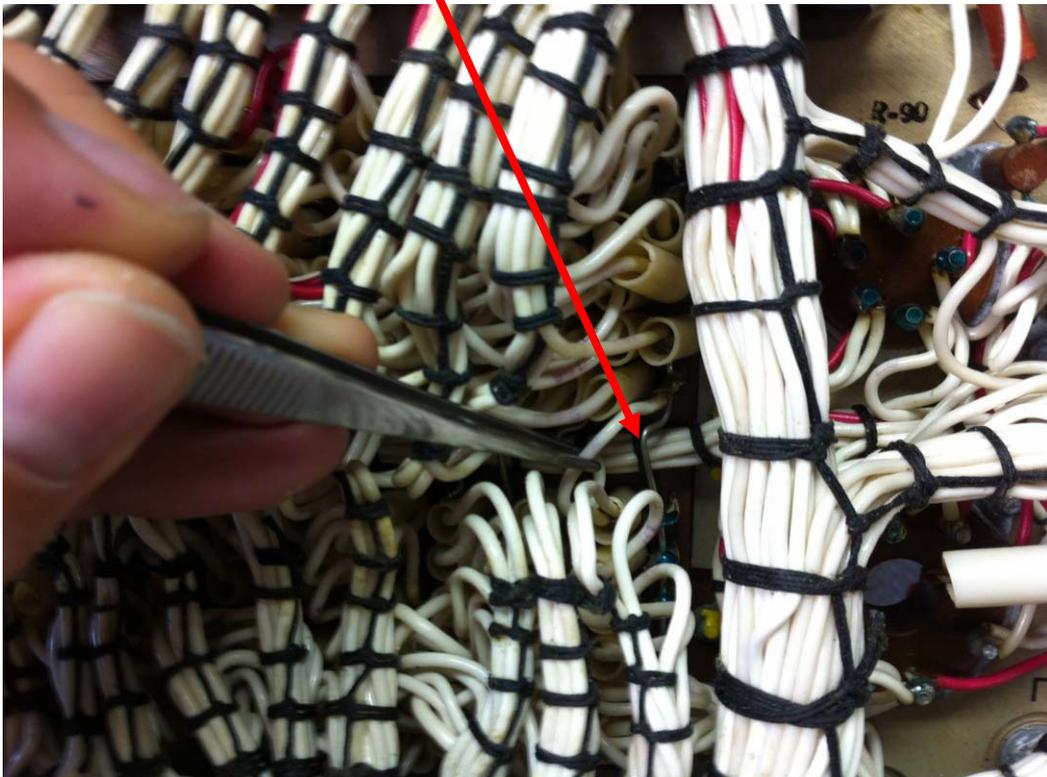


Abbildung 69: gemeinsamer Anodenanschluss gefunden

An diesem Silberdraht sind genau drei Kabel angelötet. Einer von ihnen muss zum Pin7 des Betriebsartenumschalters S1 führen und den Silberdraht mit dem Anodensignal bestromen. Genau dieses Kabel suchen wir! Ich muss doch tatsächlich erst alle drei am Silberdraht angelöteten Kabel ablöten, um schließlich das richtige zu finden.

Da geht es hin:

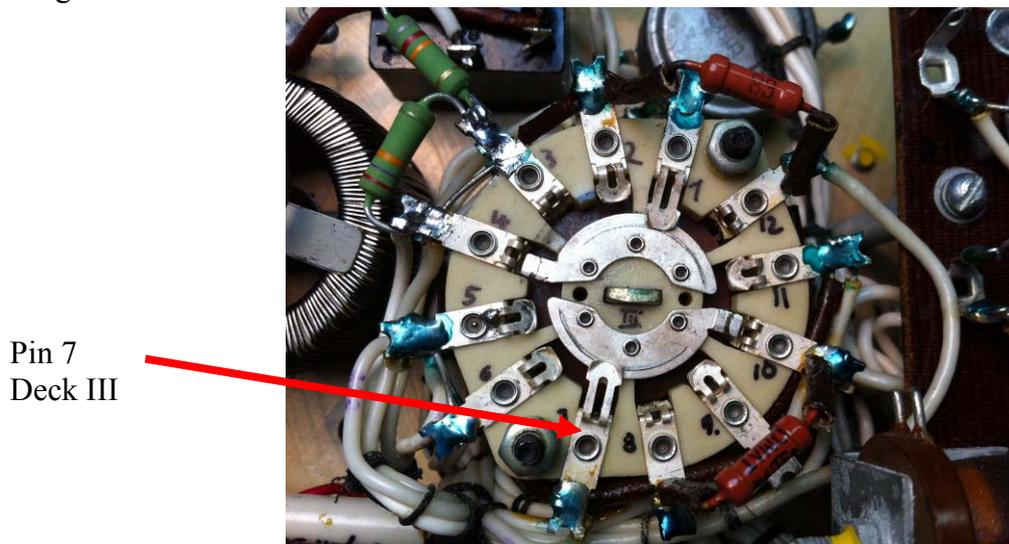
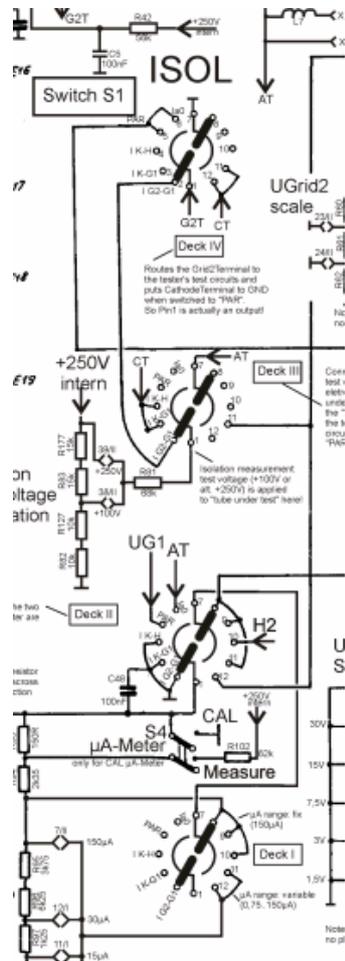


Abbildung 70: Keramischer Umschalter S1

Woher ich das alles schon wieder weiß? Von meinem Schaltplan nicht! Denn der L3 hält mich wieder einmal zum Narren.

„Mein“ Schaltplan sagt das hier:



„Jacs“ sagt das:

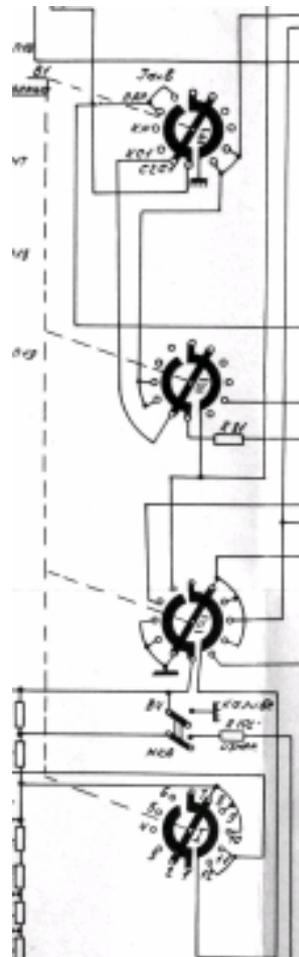


Abbildung 71: Schaltplanauszug zum L3- mehrere Vorschläge vom Hersteller ;-)

Wir zählen die Anzahl der Schaltebenen: eins, zwei, drei...vier....jawoll! Vier!

Jetzt gucken wir uns den Schalter S1 in meinem L3 an. Und zählen:



Abbildung 72: Funktionsschalter S1 in der Praxis

Eins, zwei, drei,....ja....drei....äh....wo ist denn die Ebene Nr. vier???

Es ist doch einfach zum Mäusemelken!!!! Es passt schon wieder nichts zusammen!

Ich frage Jac. Und auch er stellt fest, dass seine beiden L3's „nur“ drei Ebenen besitzen.

Schluchzt! :-((((

In dem PDF-Dokument „Technische Beschreibung und Betriebsanweisung zum Kenngrößenmesser L3“ auf Seite 106 finde ich das hier:

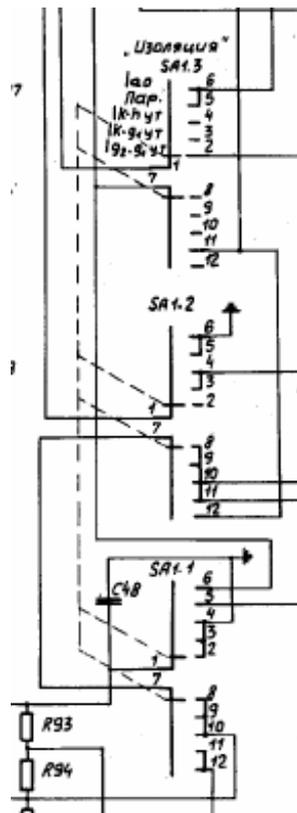


Abbildung 73: eine weitere Schaltplanversion- diesmal mit drei Ebenen

Toll! Endlich eine Schaltplanversion, in der der Umschalter S1 auch wirklich nur drei Ebenen besitzt! Wie schön! Man könnte meinen, dass ich damit endlich eine zu meinem Gerät passende Schaltplanversion gefunden hätte- aber weit gefehlt! Dieser Schaltplan zeigt Röhrengleichrichter. Bis eben dachte ich immer, nur der L1 hätte Röhren als Gleichrichter. Aber dieser Schaltplan behauptet, ein L3, der einen Umschalter mit nur drei Ebenen besitzt, habe auch Gleichrichterröhren.

Ich bin nun an dem Punkt angelangt, wo meine Enttäuschung über den Zustand der L3-Dokumentation so groß ist, dass ich diesen Unterlagen jetzt gar nichts mehr glaube.

Aber ich werde mich jetzt auch so durchkämpfen. Die Leitung ist gefunden und ich unterbreche sie mit einem einfachen Knips des Seitenschneiders. Das blaue Kabel lenkt das Anodensignal auf das Banana-Deck, das braune führt es wieder zurück zum Patchfeld.

Kabel

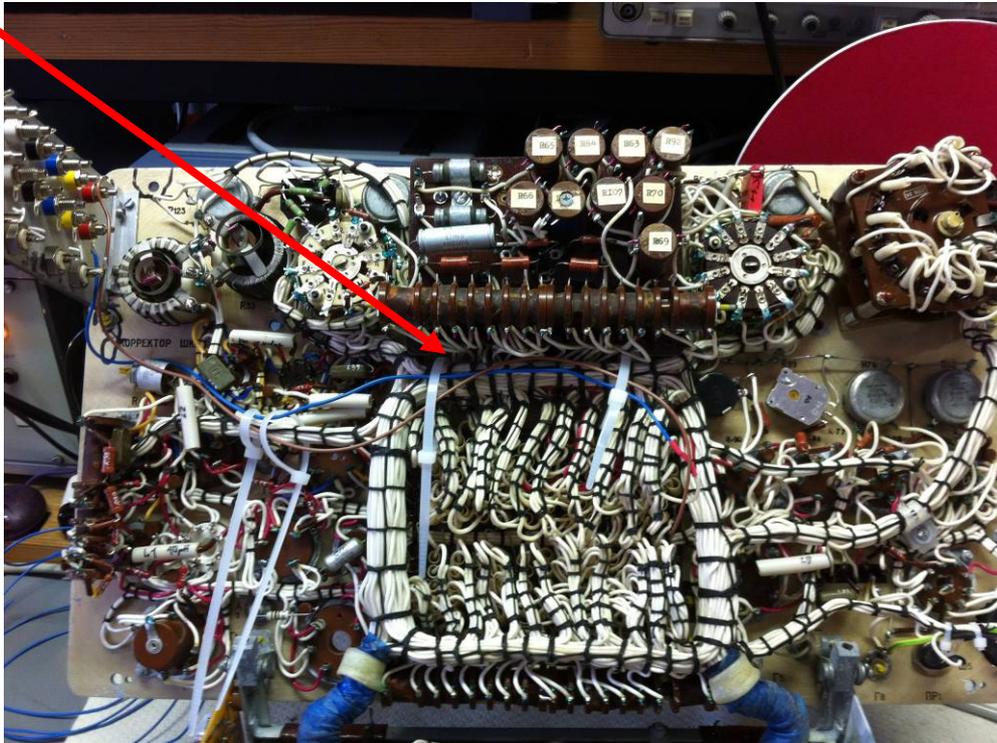


Abbildung 74: mein L3 mit dem ersten Kabel für die Anode

Dann ein erster Test, ob's klappt. Ich stecke eine ECC83 ein und schließe mein Fluke87 als Strommesser in den Anodenstromkreis.

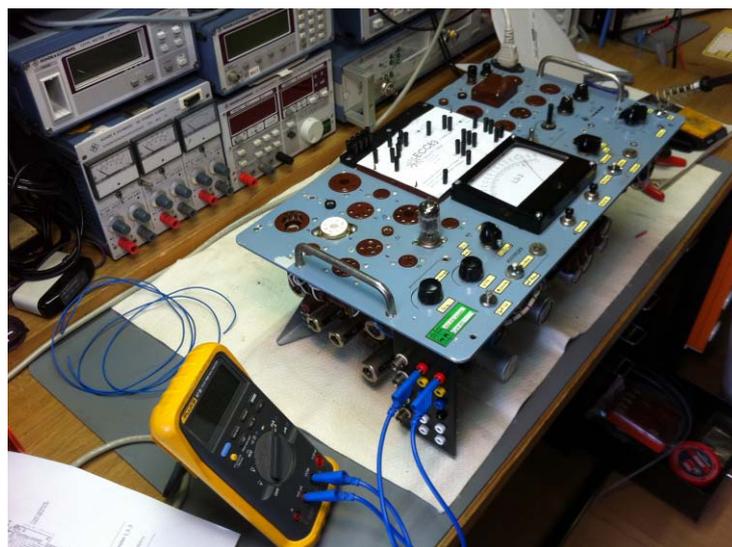


Abbildung 75: Test-Setup



Abbildung 76: links: Anzeige Anodenstrom im L3; rechts: Anzeige im externen Strommesser

Toll! Die erste „Banane“ des Banana-Decks funktioniert! In Zukunft kann ich bei meinem L3 also bei jeder beliebigen Röhre die Anodenleitung auftrennen und einen Strommesser einschleifen. Jac überflutet mich schon mit Ideen, was man mit dieser Möglichkeit beim L3 alles machen könnte ;-)

Aber das war erst der Anfang. Die nächste Elektrode wartet: Gitter 2!

22.2 Gitter2

Wir beginnen wieder mit einem Blick auf Abbildung 67. Gleich links neben der Anodenspalte sehen wir die Stöpselreihe für das Gitter2. Wir machen genau denselben Trick: auch hier verbindet ein kurzer Silberdraht die sieben Anschlüsse des Patchfelds. Dieser Silberdraht ist die gemeinsame Einspeisung für das Gitter2. Wir sehen wieder nach, wie viele Drähte an diesen Silberdraht angeschlossen sind und suchen den heraus, der die Gitterspannung liefert. Glücklicherweise gibt's hier nur einen einzigen Draht, also fällt die Wahl nicht schwer.

Silberdraht

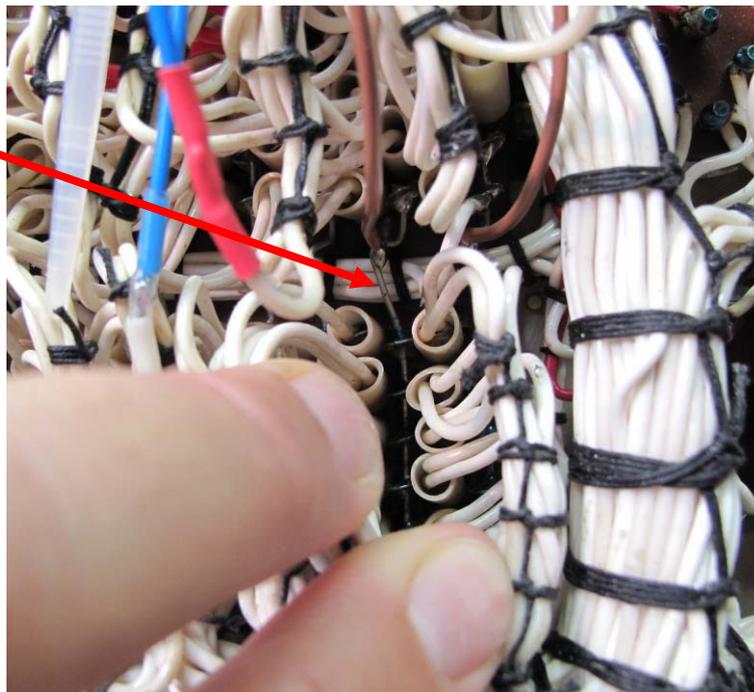


Abbildung 77: Einspeisung für Gitter2

22.3 Heizung H1

Als nächste Spalte auf der Universalkarte sehen wir die Anschlüsse für die Heizung. Erneut werden Silberdrähte verwendet, so dass das Lokalisieren nicht allzu schwer ist. Die Heizung f- (bzw. H1) kann identifiziert werden, wenn man das Kabel verfolgt, das direkt zum Widerstand R31 (zu finden in der Kondensator-Filterbank) geht. Das andere, am Silberdraht angelötete Kabel führt übrigens zum Widerstand R69 und dient dazu, die momentan eingespeiste Heizspannung im L3 zu messen.

22.4 Heizung H2

Die Sektion darunter führt den Elektrodenanschluss "Heizung f+", bzw. H2. Der ist noch einfacher, denn hier gibt es nur ein einziges Kabel, das zum Silberdraht führt.

hier auftrennen! (von diesem Kabel aus wird H2 eingespeist)

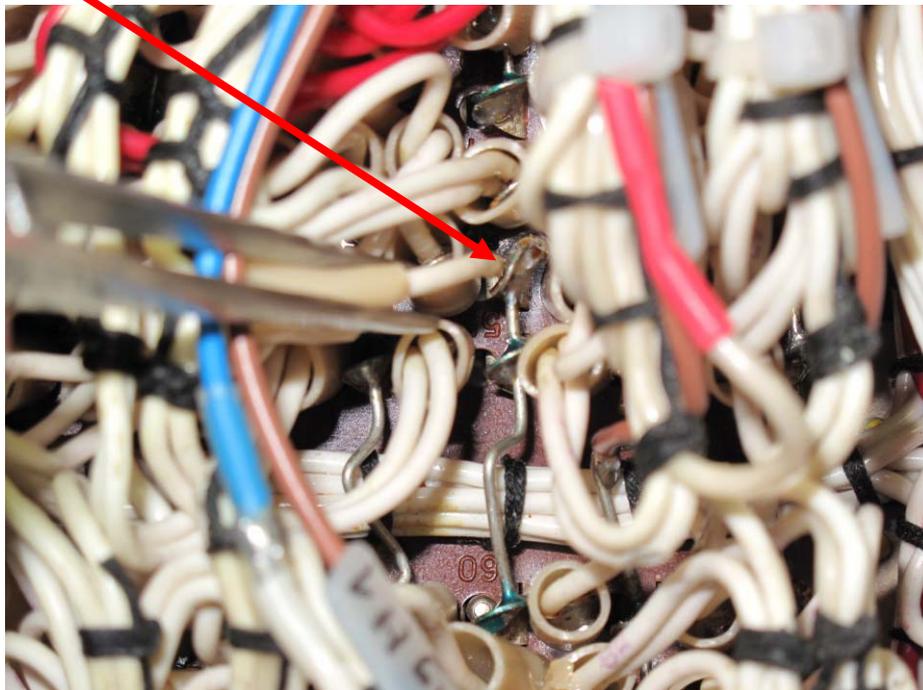


Abbildung 78: Heizung H2

22.5 Kathode

Die Kathode ist wohl der kniffligste, denn an ihm hängen sage und schreibe 5 Kabel. Das korrekte Kabel, das wir durchtrennen müssen, ist dasjenige, das zum Funktionsschalter S1, Pin1 auf Deck II (also das mittlere) führt. Ein kleiner Tipp: meistens sind die Kabel diejenigen, die am nächsten zum Messinstrument liegen. Warum? Keine Ahnung. War bei mir aber in fünf von sechs Fällen so.

22.6 Gitter1

Die letzte Elektrode: das Gitter 1. An ihm sind nur zwei Drähte angelötet. Ich zeige an diesem Beispiel noch einmal detailliert, wie ich das immer gemacht habe. Zuerst die Universalkarte und den Schaltplan angeguckt und festgestellt, welches Kabel das Speisekabel ist. Ich finde heraus, dass das gesuchte Kabel vom Umschalter S2, Pin12, Deck III kommt. Also nen Durchgangspiepsen nehmen und forschen, welches das richtige ist.

Zuerst sicherstellen, dass man an der richtigen Stelle misst. Der Silberdraht (im Bild rote Klemme) muss Verbindung zum Umschalter S2, Pin12, Deck III haben (schwarze Klemme). Hat er, zeigt das Multimeter.

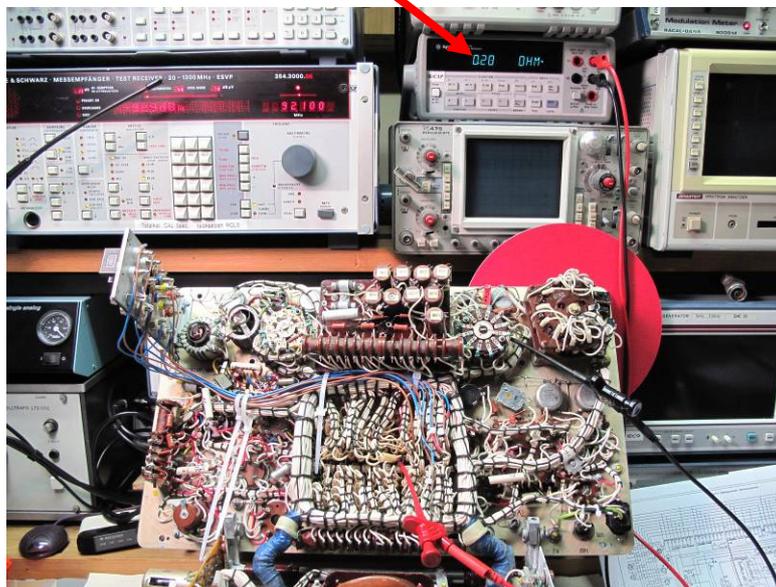


Abbildung 79: Messaufbau herstellen

Gut. Dann bleiben in diesem Fall nur zwei Kabel, die diese Verbindung herstellen könnten. Wir wählen zufällig eines von beiden aus und knipsen es durch.



Abbildung 80: eines der beiden Kabel durchknipsen

Ich schlieÙe das Multimeter zwischen den abgeknipsten Draht und Umschalter S2:



Abbildung 81: daneben: der war's nicht!

Ok. Also muss es das andere Kabel sein. Ich löte das eben abgekniffene wieder reumütig an den Silberdraht an und knipste stattdessen das andere ab.

Dann messe ich wieder...

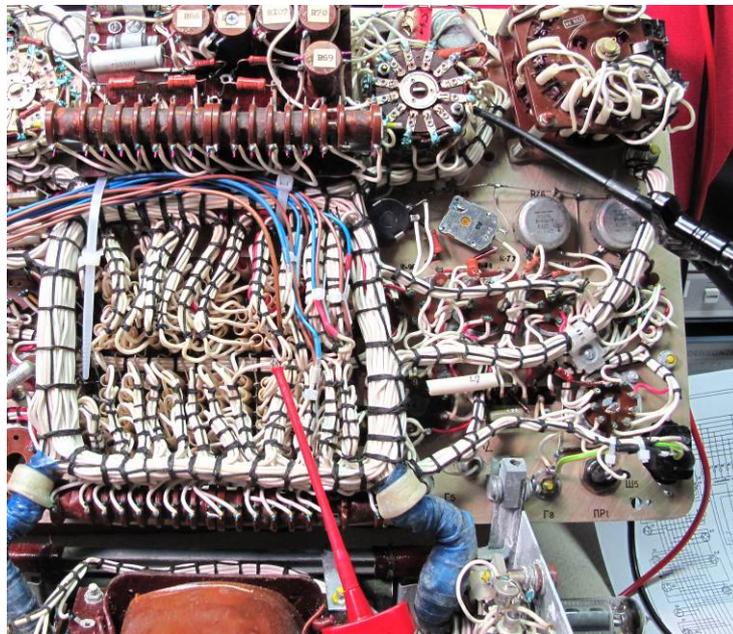


Abbildung 82: das andere Kabel messen...



Abbildung 83: Treffer!

Das war's! Genau dieses Kabel muss ich auf das Banana-Deck umleiten!

22.7 ...fast fertig!

Ich habe nun alle 6 Elektrodentypen (Anode, Gitter2, Gitter1, Kathode, Heizung1, Heizung2) auf das Banana-Deck umgeleitet. Es sieht jetzt so aus:

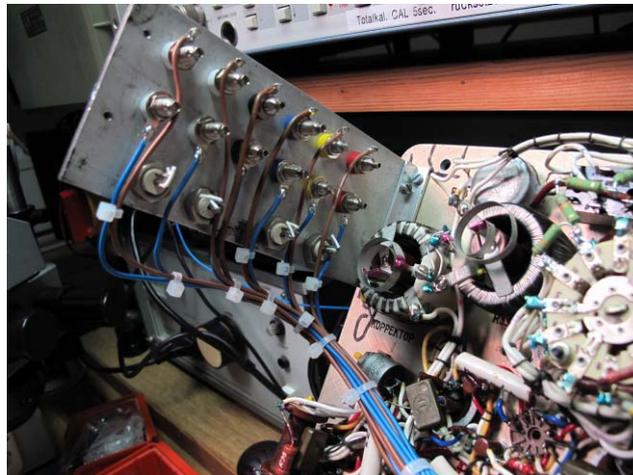


Abbildung 84: Banana-Deck von hinten

Gut, es fehlen natürlich noch die BNC-Anschlüsse. Aber die machen wir später. Erst einmal testen wir, ob der L3-3 den Umbau gut überstanden hat und noch alles ordnungsgemäß funktioniert.

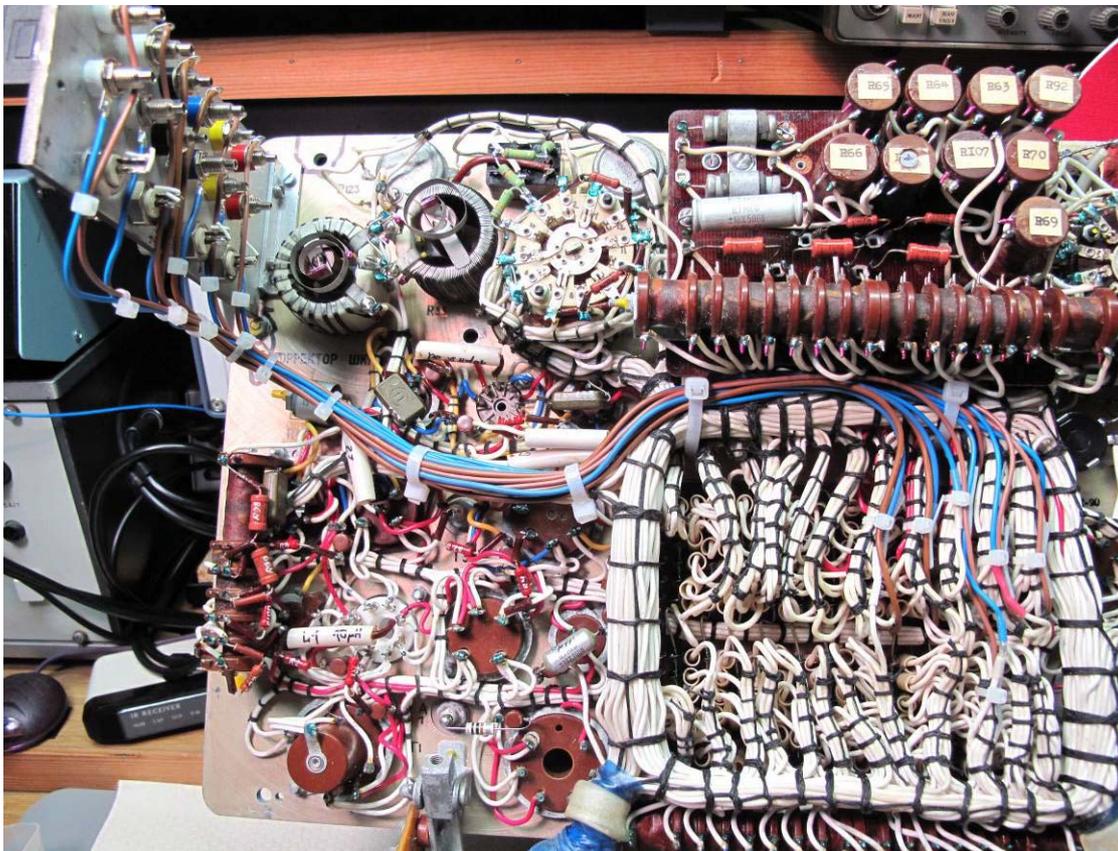


Abbildung 85: L3-3 mit halb fertigem Banana-Deck

Und was soll ich sagen- das tut er! Und wie! Ich kann mithilfe der Kurzschlussbrücken nun alle Spannungen und Ströme zu sämtlichen Röhrenelektroden messen und z.B. auch die Leitungen kurzerhand unterbrechen. Toll!!!!

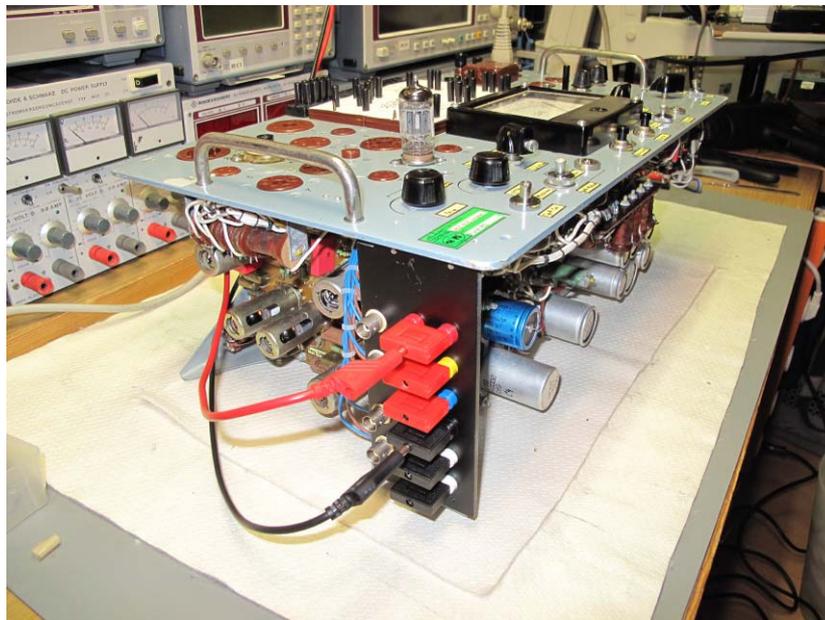


Abbildung 86: erster "Banamentest" ;-)

22.8 BNC-Buchsen

Die BNC-Anschlüsse auf dem Bananendeck will ich wie folgt belegen (in blau):

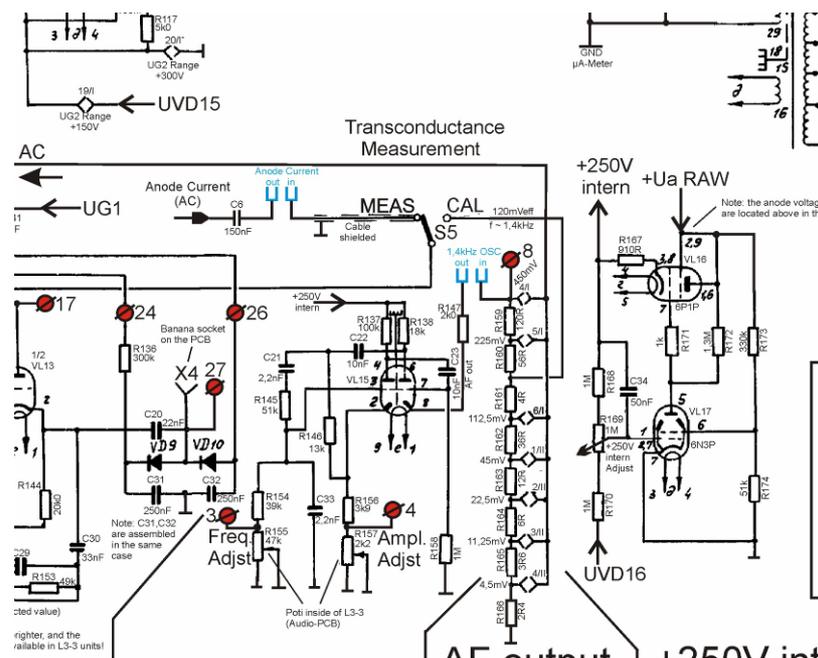


Abbildung 87: geplante BNC-Buchsen

Die Umsetzung der BNC-Buchsenanschlüsse ist recht einfach. Die Anschlüsse von und zum selektiven Voltmeter macht man hier...

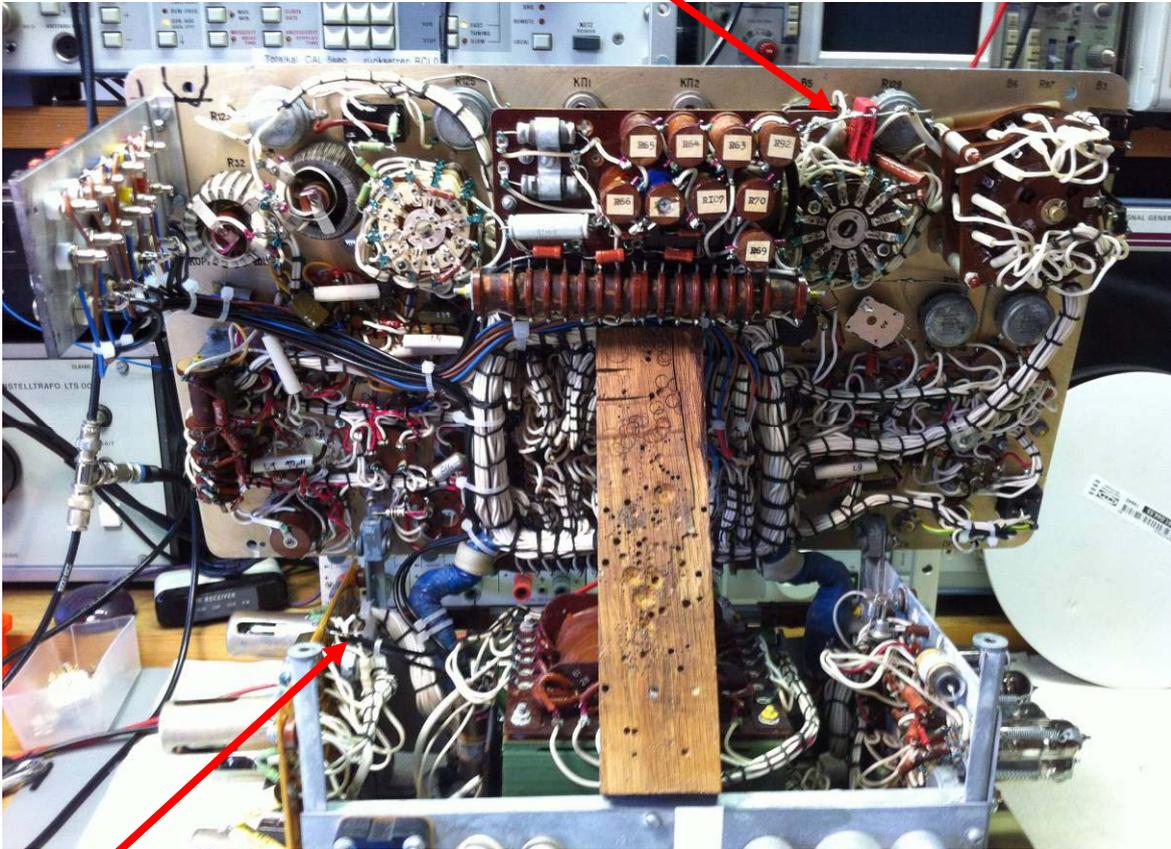


Abbildung 88: BNC-Kabel eingebaut

...und die von und zum Tongenerator hier (Pin 8 und 9 der Audio-PCB).

Die Leitungen führte ich alle enge am bereits im L3 vorhandenen Kabelbaum entlang und fixierte die Leitungen mit Kabelstrapsen. Es ist aber darauf zu achten, dass beim Zusammenklappen des L3 später nichts irgendwo eingeklemmt wird! Insbesondere dort, wo die Audio-PCB sitzt, kann man gut Kabel einquetschen. Darauf also aufpassen und die Bananen-Deck-Leitungen entsprechend verlegen.

Also Kabel für die BNC-Leitungen habe ich dünnes RG174 benutzt. Die Masse habe ich jeweils auf beiden Seiten angelötet, auch wenn das möglicherweise Brummschleifen begünstigt. Dafür habe ich allerdings isolierte BNC-Buchsen verwendet, so dass die Gefahr dadurch wieder minimiert wird (wenn das daran angeschlossene Messgerät vorher erdfrei gemacht wird; z.B. durch einen Trenntrafo). Tatsächlich werde ich im späteren Betrieb aber merken, dass die "Brummschleife" hier kein Thema ist.

Zu den Messungen mit den BNC-Anschlüssen später mehr.

23 folgenschwerer Kaffeebesuch

Mein Kumpel Thomas kommt neugierig zu Besuch und will wissen, was ich in den letzten Wochen mit dem von ihm vermittelten L3 inzwischen alles angestellt habe. Stolz präsentiere ich ihm meine Fortschritte und demonstriere ihm das Banana-Deck.

23.1 Restbrumm

Thomas kommt sofort auf den Punkt und macht mich auf den leichten Restbrumm auf der Anodenspannung aufmerksam. Er macht ihn dafür verantwortlich, dass die Steilheitsmessung des L3 etwa 5% geringere Werte anzeigt, als ich mit separat in die Messleitungen eingeschleiften Messgeräten errechne. Auch Jac hatte schon eine Vermutung in diese Richtung geäußert und stellte ebenfalls dieses Phänomen bei seinem Setup fest.

Wir machen eine kurze Überschlagsrechnung und stellen fest, dass es durchaus sein könnte, dass dieser Restbrumm bei der breitbandigen Anodenstrommessung mit meinem TRMS-Voltmeter einen höheren Anodenstrom suggerieren könnte, als in Wirklichkeit fließt. Einmal mehr muss ich den L3-Entwicklern meinen Respekt zollen, wie vernünftig es ist, den Anodenstrom selektiv bei 1,4kHz zu messen und nicht breitbandig. Leicht restwellige Anodenspannung, die bei meinen externen Messgeräten nämlich bereits zu einem ungewollten Zeigerausschlag führt, "kratzt" den L3 nämlich gar nicht: das selektive Voltmeter filtert diese Störeinflüsse einfach aus und liefert am Ausgang nur den "echten" Messwert des 1,4kHz Signalstromes! Einfach genial!

Mir lässt das Thema trotzdem keine Ruhe: Ziel ist es, solch saubere Messbedingungen zu schaffen, dass sowohl bei der internen Messvorrichtung des L3 als auch bei meinen extern angeschlossenen Voltmetern möglichst genau dieselben Messwerte herauskommen. Das wird aber nur funktionieren, wenn die an die zu testende Röhre angelegten Spannungen alle möglichst sauber sind. Und hier kann man den L3 höchstwahrscheinlich noch verbessern, denn eine bessere Anodenspannungs- und Gitter1-Filterung (denn auch da sehe ich derzeit ca. 20mV Restbrumm auf der Leitung) würden die Spannungen sicherer sauberer machen.

23.2 Schaltplan: die Erlösung!

Und dann lässt Thomas die Katze aus dem Sack: er zaubert eine vierte Schaltplanversion für den L3 aus dem Hut! Ich glaube es nicht: diese Version scheint endlich diejenige zu sein, die zu meinem L3 passt! Er hat sie als Scan einem alten Radiosammler abgekauft, daher möchte ich sie hier nicht einfach öffentlich verteilen, ich hoffe ihr versteht das. Trotzdem: mit diesem Stück Papier habe ich möglicherweise ENDLICH eine Chance, meine Messwerks-Kalibrierung in Ordnung zu bringen. Super!

Die Kehrseite der Medaille: all die vielen Stunden Arbeit, die ich mir mit dem Re-Draw des L3-Schaltplans gemacht habe, sind -zumindest für meinen L3- für die Katz gewesen. Ich habe die falsche Schaltplan-Version bearbeitet. Da muss man Humor haben!

Aber vielleicht hilft meine Arbeit ja anderen L3-Besitzern, das wäre mir ein Trost.

24 Aktion "Saubermann"

Mich hat die Idee von Thomas so angesteckt, dass ich nun die Filterung von Anoden- und Gitterspannungen mir etwas näher ansehe. Netterweise schenkt er mir ein paar 450V Hochspannungs-Elkos aus seiner Bastelkiste, die ich in meinem L3 ausprobieren kann. Solche Elkos werden heutzutage gerne in Weitbereichs-Schaltnetzteilen verwendet, daher kann man sie relativ einfach kriegen.

Um die "Performance" meines L3's zu beurteilen, schaffe ich mir erst einmal eine Standard-Messbedingung: Eine ECC83 wird eingesteckt, mit 250V Anodenspannung betrieben und die Gitterspannung so eingestellt, dass genau 1mA Anodenstrom fließt. Das passiert bei dieser Röhre bei einer Gitterspannung von knapp -2Volt. Vorher wird der L3 auf korrekt auf die Netzspannung eingestellt (Zeiger bei Netz-Überprüfung auf CAL-Strich).

Bei exakt diesen Bedingungen messe ich nun folgende Parameter:

- AC-Anteil auf der Anodenspannung (am Banana-Deck)
- AC-Anteil des Anodenstroms (am Banana-Deck)
- AC-Anteil auf der Gitterspannung (am Banana-Deck)
- Spannung über den Anoden-Siebelkos C35,C36 (AC und DC-Anteil)
- Spannung über dem Gitterspannung-Siebelko C8 (AC und DC-Anteil)
- Unterschied der Steilheitsmessung zwischen "Anzeige im Gerät" und "errechnet" mittels externer Messgeräte

Zuerst messen wir das im aktuellen Grundzustand des Geräts. Dann werde ich Stück für Stück die Thomas'schen Zusatzkondensatoren mit anklemmen und beobachten, wie das sich das auf die Messwerte auswirkt. Hoffentlich positiv... ;-)

Es geht los, hier erst einmal ein Bild des Messaufbaus. Ich habe an Multimetern so ziemlich alles im Einsatz, was Rang und Namen hat. (Viel mehr Schönes habe ich auch nicht ;-)

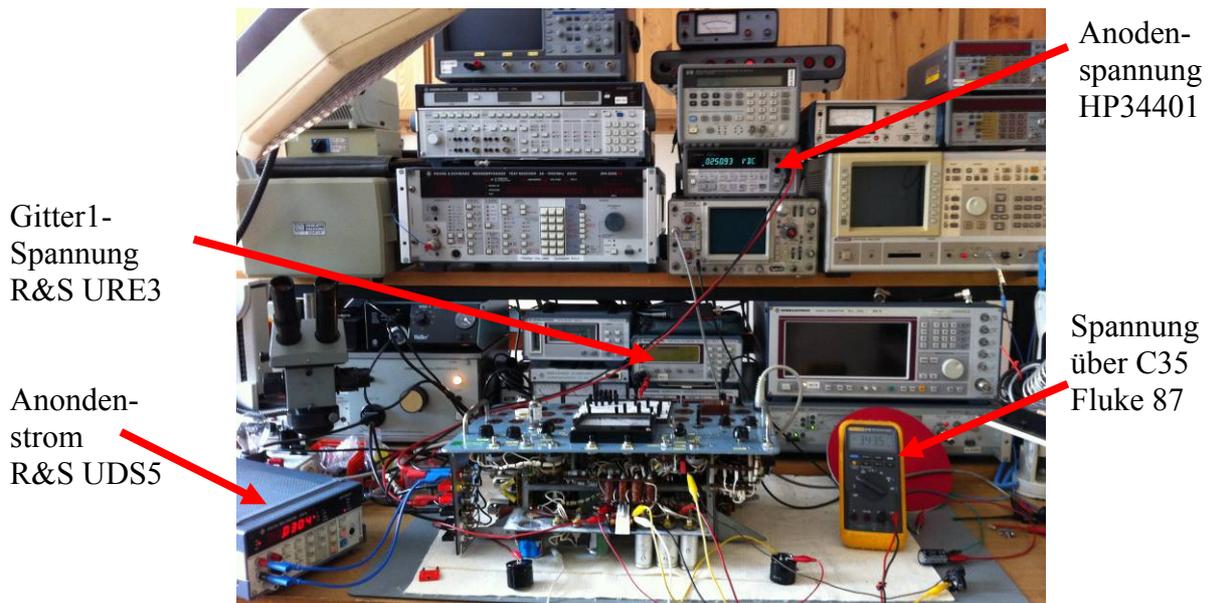


Abbildung 89: Messaufbau

24.1 Originalzustand

Im „reparierten Originalzustand“ sehen die Spannungen so aus:

	1	
CONDITION:	Original (not modified)	
Anode Voltage	251,01	DC [V]
	0,0265	AC [V]
Anode Current	971	DC [μ A]
	30,2	AC [μ A]
Grid Voltage	-1,907	DC [V]
	0,0026	AC [V]
Voltage across C35/C36: (Anode Filtering)	644	DC [V]
	5,65	AC [V]
Voltage across C8: (Grid Filtering)	-340,9	DC [V]
	3,53	AC [V]
Gm according L3:	1,33	μ hos
Gm according calculation:	1,39	μ hos
deviation	-4,6%	

Abbildung 90: Originalzustand

Wir achten besonders auf den Wechselspannungsanteil der Anodenspannung (hier: 26,5mVeff) und der Gitterspannung (hier: 2,6mVeff).

24.2 mit 220 μ F-Kondensatoren in Anodenspannung

Es wird interessant: mit jeweils einem 220 μ F-Elko parallel zu C35 und C36 verbessern wir den Ripple der Anodenspannung vor der Regelung (also auf dem Ladekondensator). Er sinkt von anfangs 5,6Veff auf nun 0,7Veff.

	2	
CONDITION:	C35&C36 with additional 220 μ F	
Anode Voltage	250,84	DC [V]
	0,0265	AC [V]
Anode Current	997	DC [μ A]
	30,5	AC [μ A]
Grid Voltage	-1,911	DC [V]
	0,0026	AC [V]
Voltage across C35/C36: (Anode Filtering)	649	DC [V]
	0,7	AC [V]
Voltage across C8: (Grid Filtering)	-342,5	DC [V]
	3,64	AC [V]
Gm according L3:	1,32	μ hos
Gm according calculation:	1,39	μ hos
deviation	-5,4%	[%]

Abbildung 91: mit 220 μ F-Kondensatoren

Alles schön und gut, doch ändert dies rein GAR NICHTS am Rest-Ripple hinter der Anodenspannungsstabilisierung! Die zu prüfende Röhre sieht genau dieselben Bedingungen- egal ob mit verstärktem C35/C36 oder nicht. Das spricht für eine gute Spannungsstabilisierung, die die 5,6Veff Anodenripple gut ausregelt.

Gut, das war also schonmal ein Kalter :-)

24.3 mit 56µF an Gitter1-Spannungserzeugung

Nun schließen wir an den Ladekondensator der Gitterspannungserzeugung (C8) einen zusätzlichen 56µF-Kondensator an. Damit müsste die Gitter1-Spannung sauberer werden, denn die ist nicht geregelt, sondern direkt vom Ladekondensator C8 abgegriffen und heruntergeteilt. Sehen wir mal.

		3
CONDITION:		C8 with additional 56µF
Anode Voltage		249,7 DC [V]
		0,0276 AC [V]
Anode Current		998 DC [µA]
		30,6 AC [µA]
Grid Voltage		-1,893 DC [V]
		0,0026 AC [V]
Voltage across C35/C36: (Anode Filtering)		637 DC [V]
		6,02 AC [V]
Voltage across C8: (Grid Filtering)		-339,5 DC [V]
		1,37 AC [V]
Gm according L3:		1,3 µmhos
Gm according calculation:		1,38 µmhos
deviation		-6,1% [%]

Abbildung 92: 56µF an Gitterspannungserzeugung

Toll, es ändert sich mal wieder....NICHTS! Zwar wird der Ripple direkt am Ladekondensator C8 von zuvor 3,6Veff auf ca. 1,4Veff reduziert, doch die 2,6mVeff Störsignal auf der Gitter1-Gleichspannung bleiben.

24.4 mit 220µF an der Gitter1-Leitung

Nun probieren wir eine letzte Maßnahme: kurz vor der Stelle, wo der Gitter1-Spannung das 1,4kHz-Signal des Prüfoszillators überlagert wird, sitzt noch der Siebkondensator C41. Er hat normalerweise 1µF. Ich erhöhe ihn testweise auf krasse 220µF. Mal sehen, was passiert!

		4	
CONDITION:	C41 with additional 220µF		
Anode Voltage	249,7	DC	[V]
	0,0133	AC	[V]
Anode Current	10016	DC	[µA]
	14,4	AC	[µA]
Grid Voltage	-1,909	DC	[V]
	0,00014	AC	[V]
Voltage across C35/C36: (Anode Filtering)	647	DC	[V]
	5,67	AC	[V]
Voltage across C8: (Grid Filtering)	-342,3	DC	[V]
	3,55	AC	[V]
Gm according L3:	1,32	µmhos	
Gm according calculation:	1,41	µmhos	
deviation	-6,6%	[%]	

Abbildung 93: mit 220µF als C41am Gitter1

Aha! Es tut sich was! Wo vorher noch 2,6mVeff am Gitter der Röhre herumvagabundierten, sinkt dieser Störenfried auf etwas mehr als 0,1mVeff! Das nenne ich eine saubere Spannung. Und damit folgt auch der Anodenwechselstrom, der vorher von seinen 30µAeff nicht wegzukriegen war: er sinkt auf nur noch 14µAeff. Das ist definitiv eine Verbesserung!

Wir stellen fest, dass die Gitter1-Spannung zwar durch eine Vergrößerung von C41, nicht jedoch von einer Erhöhung des Ladekondensators C8 verbessert werden konnte. Das spricht aus meiner Sicht dafür, dass die Zenerdioden A11 und A12 ein starkes Rauschen erzeugen könnten, das sie der Gitter1-Spannung überlagern. Es kann aber auch durchaus sein, dass die Störung rückwärts von den Regelschaltungen her kommen, denn alle drei Regelschleifen (Anodenspannung, Gitter2-Spannung und int. 250V) benutzen diese Spannung als Referenzspannung!

Möglicherweise als Folge der beruhigten Gitter1-Spannung sinkt nun auch die Unruhe auf der Anodenspannung. Die gemessene Wechselspannung reduziert sich von vorher ca. 27mVeff auf nun ca. 13mVeff.

Kann das sein? Meine ECC83-Prüfröhre hat eine Steilheit von etwa 1,3mA/V. Überschlagen wir mal grob: Vorher hatten wir am Gitter eine Störspannung von etwa 2,6mVeff gemessen. Das würde also einen Anodenstrom von etwa 3,4µAeff verursachen. Messen tun wir jedoch mehr als 30µAeff. Eine Verringerung der Gitter1-Störspannung von 2,6mVeff auf 0,14mVeff bewirkt rein rechnerisch eine Reduzierung des Anodenstroms von 3,4µAeff auf 0,2µAeff. Also etwa eine Reduzierung um nur etwa 3µA. Der Beitrag der Gitter1-Spannung am Anodenstörstrom kann also nicht sehr viel größer als etwa 10% sein! Es muss noch eine weitere Erklärung für die 30µAeff Störspannung geben. Im Moment wissen wir aber noch nichts Genaueres, wir beobachten erst einmal nur.

Sehr interessant ist auch, dass durch diese Maßnahme keine „Verbesserung“ der Steilheitsmessung zu erreichen ist: der L3-Messwert unterscheidet sich vom errechneten (gemessen mit den externen DVMS) noch immer um mehr als 5%! Wir machen mal eine letzte Probe und schließen alle Kondensatoren gleichzeitig an: also ein verbessertes Anodenfilter, ein verbessertes Gitter1-Ladefilter und die Beruhigung des Gitter1-Ausgangssignals.

24.5 wir geben alles...

So sieht es also aus, wenn wir alles anschließen, was wir haben.

	5	
CONDITION:	all measures 2+3+4	
Anode Voltage	250,49	DC [V]
	0,0088	AC [V]
Anode Current	999,1	DC [μ A]
	14,7	AC [μ A]
Grid Voltage	-1,896	DC [V]
	0,0002	AC [V]
Voltage across C35/C36: (Anode Filtering)	644	DC [V]
	0,7	AC [V]
Voltage across C8: (Grid Filtering)	-342,6	DC [V]
	1,38	AC [V]
Gm according L3:	1,31	μ hos
Gm according calculation:	1,40	μ hos
deviation	-7,1%	[%]

Abbildung 94: einmal alles!

Lustig: die Anodenspannung ist noch etwas ruhiger geworden- möglicherweise haben wir erst durch den gleichzeitigen Einsatz mehrerer Entstörmaßnahmen es geschafft, mehrere sich überlagernde Störeffekte zu minimieren. Das sieht doch also schonmal nicht nicht schlecht aus, ich denke viel mehr kann man aus dem L3 nicht herausholen. Und doch...

... der Unterschied bei der Steilheitsmessung zwischen L3 und externem Messequipment ist nicht kleiner geworden- im Gegenteil. Mit etwa 7% nicht gerade ermunternd.

Tja, was jetzt?

25 Rechnerischer Ansatz

Mathematik!

Ein wenig nur, aber es wird uns hoffentlich weiterbringen. Das Manual zum L3-3 gibt uns zwei Formeln zur Steilheitsberechnung an die Hand (hier sind sich die verschiedenen Versionen der Manuals wenigstens untereinander einig ;-).

Und zwar:

$$U_a = k \cdot S \quad \text{und} \quad k = R_a \cdot U_g$$

mit U_a = Signalspannung der Anode am Anodenwiderstand R_a

$$R_a = \text{Anodenwiderstand} = R_{57} = 445\Omega \quad U_g = \text{Gitterspannung (Signalspannung)}$$

k ist ein spezifischer Linearitätsfaktor des L3. Und S ist natürlich die Steilheit.

Wir machen nun Folgendes: ich stecke wieder meine Prüf-ECC83 ein und messe mit dem L3 die Steilheit. Ich nenne diesen Wert nun S_{gemessen}

Dann ermittle ich mit meinem Rohde&Schwarz UPA erst die Signalwechselspannung am Gitter der Röhre (U_g) und dann die Anoden-Signalwechselspannung (U_a). Mit dem Wissen, dass R_a laut Stückliste 445Ohm sein soll, können wir dann die Steilheit aufgrund der Messwerte ausrechnen. Wir nennen die dann $S_{\text{berechnet}}$.

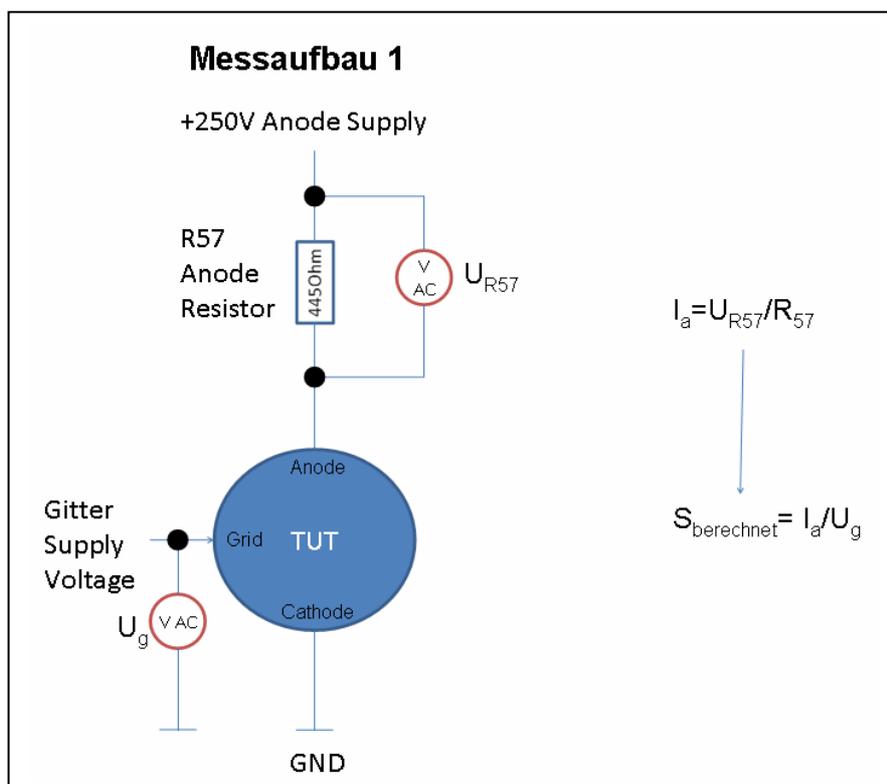


Abbildung 95: Messaufbau 1 für "S berechnet"

Es geht los, ich messe. Der L3 zeigt genau 1,26mA/V als Steilheit an. Das ist also $S_{gemessen}$. Mal sehen, was die Formeln dazu meinen.

Ich ermittelte (Dank des Banana decks!):

$$U_g = 111,4mV_{eff} \quad \text{und} \quad U_a = 64,45mV_{eff}$$

$$\text{Damit ergibt sich } k = R_a \cdot U_g = 445\Omega \cdot 111,4mV_{eff} = 49,5396 \frac{V^2}{A}$$

$$\text{Und schließlich } S_{berechnet} = \frac{U_a}{k} = \frac{64,45 \cdot 10^{-3} V}{49,5396 \frac{V^2}{A}} = 1,30 \frac{mA}{V}$$

Hmmm...das passt nicht so ganz. Und zu allem Überfluss errechne ich eine dritte Steilheit nach diesem Schema...

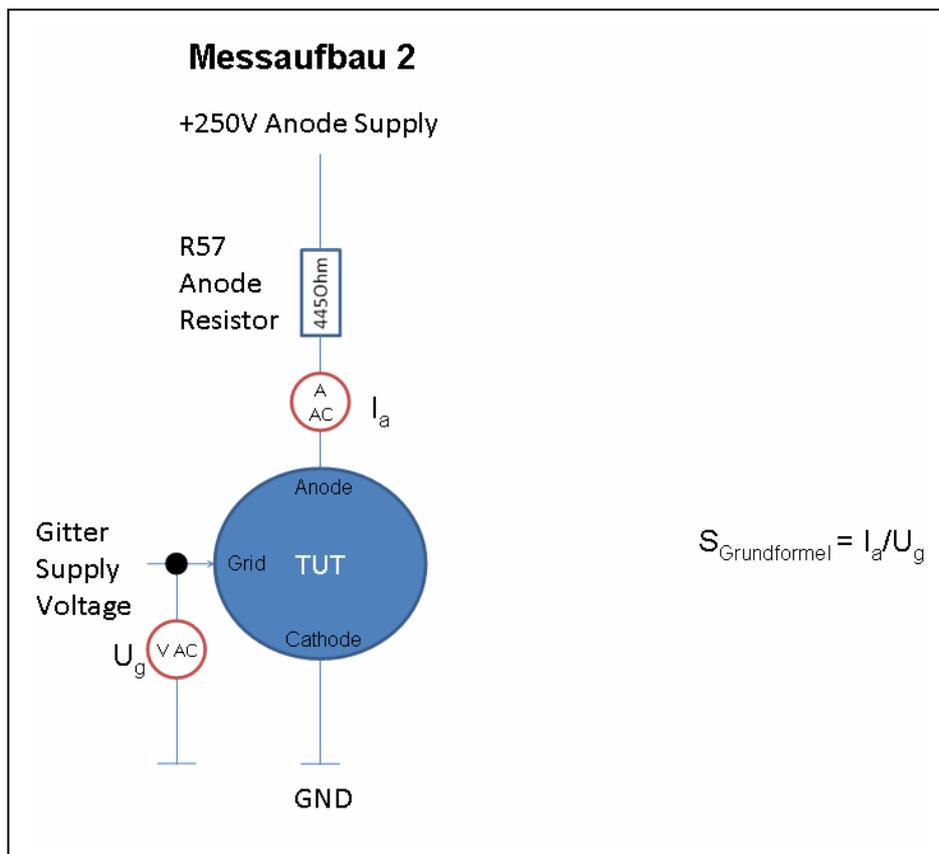


Abbildung 96: Messaufbau 2 für S in der Grundform

...über die Steilheits-Grundformel $S = \frac{\text{Anodenwechselstrom}}{\text{Gitterwechselspannung}} = 1,34 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$

Anoden-Wechselstrom: gemessen mit R&S UDS5, AC- Strommessung im Anodenkreis via Banana-Deck

Ich stelle fest: nun haben wir drei verschiedene Steilheiten und so richtig weitergebracht hat mich das bis jetzt leider auch nicht.

Jac vermutet ganz fest, dass nichtlineare Verzerrungen, die durch eine krumme Röhrenkennlinie entstehen könnten, das Phänomen erklären könnte, dass ich mit dem L3 durchweg etwa 5% „zu niedrige“ Messwerte für die Steilheit erhalte. Ich selber bin da noch nicht ganz sicher. Zweifelsohne wäre das eine durchaus vernünftige Erklärung dafür, dass der L3 –bedingt durch sein selektives Voltmeter, das sämtliche Verzerrungen vor der Messung herausfiltert –immer etwas weniger anzeigt, doch will mein Audioanalyzer seine Idee nicht so recht unterstützen: die von ihm gemessene Gitterwechselspannung hat bereits einen Klirrfaktor von 12,3%! Und die vom Anodenwiderstand abgegriffene Anodenwechselspannung messe ich zu 10,4%! Wenn hier nichtlineare Verzerrungen ihr Unwesen treiben würden, müsste der Klirrfaktor am Ende der Übertragungskette doch höher sein als am Anfang....oder??

Alles eigenartig. Ich messe nochmal nach. Selbes Ergebnis. Dann kommt mir ein Gedanke: angenommen, der Anodenwiderstand R_a (im Schaltplan R_{57}) wäre etwas aus der Toleranz, dann würde das doch direkt Einfluss auf den Steilheitswert haben. Ich rechne zurück: aufgrund der erhaltenen Messwerte würde ein Anodenwiderstand von 433Ohm die erhaltene Anzeige im L3 erklären. Laut Manual sollte er aber 445Ohm haben. Der routinierte Leser weiß nun sicher, was jetzt kommt, oder?

26 Untersuchung Anodenwiderstand R57

Natürlich baue ich den L3 wieder auseinander. Laut Stückliste soll der Widerstand R57 heißen. Das war leicht. Nur: finden muss man ihn erstmal! Leider gibt es in den Unterlagen keinen Bauteile-Lageplan (den ich verstehe). Und daher suche ich bestimmt eine halbe Stunde, bis ich ihn gefunden habe: es ist der dicke Drahtwiderstand direkt neben dem Trafo, der aus Widerstandsdraht auf eine Leiterplatte gewickelt ist.

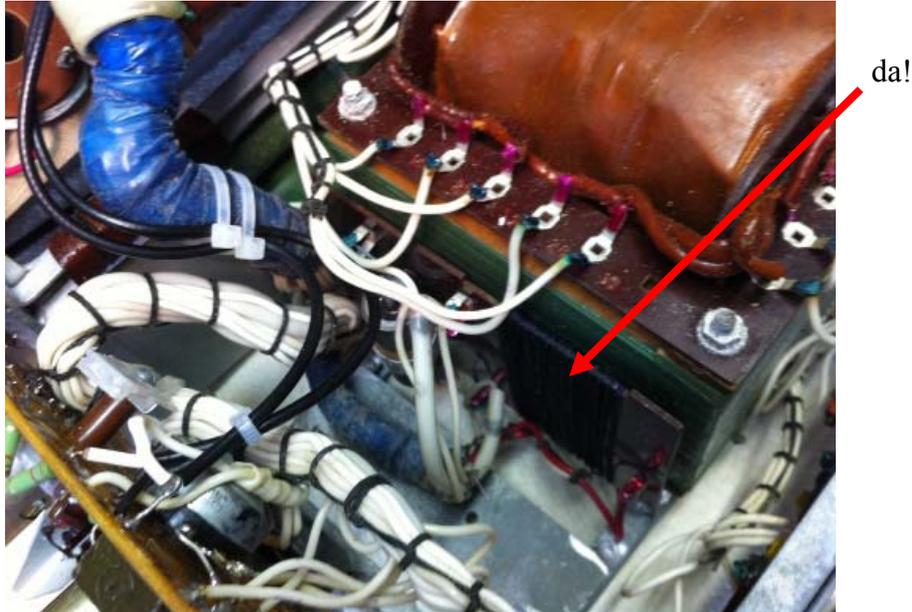


Abbildung 97: R57 Anodenwiderstand

Um ihn zu entnehmen und messen zu können, muss man die Audio PCB wieder ausbauen. Macht nix, das geht schnell. Dann schnell noch die zwei kleinen Schraublein auf der R57-Leiterplatte ab und schon haben wir den Schlingel in der Hand.

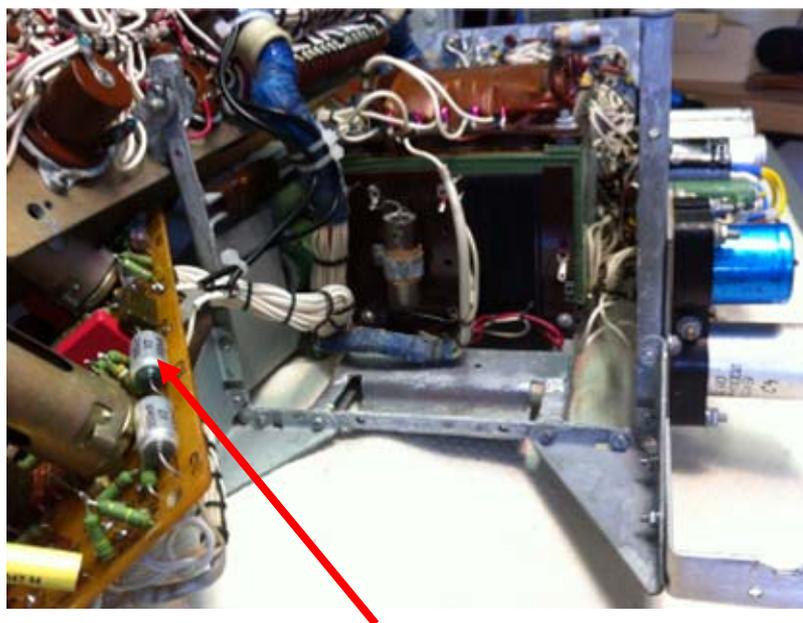


Abbildung 98: Audio-PCB zur Seite gelegt...

Mein HP34401 zeigt exakt 444,69 Ohm in 4Draht-Messung an. Das ist eine Abweichung von nur knapp 0,07%. Erlaubt sind laut Stückliste 0,5%. R57 ist also völlig in Ordnung und voll im Limit!



Abbildung 99: R57 gemessen mit 4Draht-Messung

Meine Theorie mit dem verkorksten Anodenwiderstand kann ich also ad acta legen.*

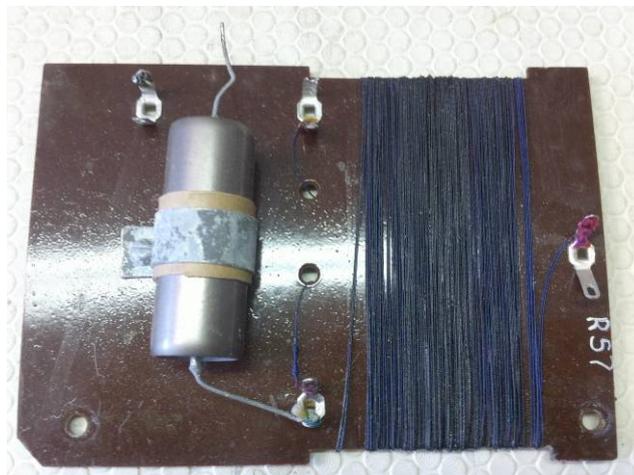


Abbildung 100: Leiterplatte mit R57 Drahtwiderstand und C6

* zumindest glaube ich das in diesem Moment ganz fest. Weiterlesen!

27 Messfehler durch Klirrfaktor?

Mir bleibt nichts anderes übrig: ich muss mir Jac's Theorie mit den nichtlinearen Verzerrungen noch einmal genauer vornehmen- vielleicht hat er ja doch Recht damit, dass die Messabweichungen zwischen L3 und externem Messequipment durch einen zu hohen Klirrfaktor zu begründen sind.

Was ich dafür brauche, ist ein NF-Voltmeter, das selektiv bei der Generatorfrequenz von 1386Hz messen kann. Da wird guter Rat teuer: was für ein Gerät kann sowas? Und noch bessere Frage: was für ein Gerät, das ich auch besitze, kann sowas??

Ich schiele ja schon lange auf einen schönen Rohde&Schwarz UPL, aber bislang wollte noch keiner meinen Labortisch kreuzen. Ich finde aber was anderes Interessantes unter meiner Kellertreppe: einen UPA4! Bislang habe ich einen UPA4 immer „nur“ für einen selektierten UPA3 gehalten, aber dieser hier scheint -gegenüber dem UPA3- tatsächlich ein programmierbares Bandpassfilter zu haben. Unter Spezialfunktion 19 kann man es auswählen- und seine Mittenfrequenz bis auf's Hertz genau einstellen! Das ist genau das Richtige, was mir nun hilft! (Achja: mein UPA3- auch mit UPA-B2 Filteroption kann das übrigens nicht! Hier enden die Spezialfilter bei Nr. 17!!!)



SPEC Filter
aktiviert!

Abbildung 101: selektives NF-Voltmeter mit UPA4 Spezialfilter Nr. 19

27.1 Messung von U_a

Also wird das Teil unter der Kellertreppe vorgezerrt und an den L3 angeschlossen. Ich messe zuerst den Anodenspannungs-Ausgang U_a. Dort habe ich immer ein Signal mit einem Klirrfaktor von irgendwas um die zehn Prozent gehabt.

Der UPA4 misst breitbandig (22Hz..22kHz): **64,42mV_{eff}** (THD+N= 10,3%)

Und selektiv: **64,19mV_{eff}** (THD+N= 0,26%)

Was lernen wir daraus?

Erstmal, dass das Bandpassfilter des UPA4 nur eine endliche Sperrdämpfung besitzt (denn sonst hätten wir ja nicht 0,26% Rest-Klirrfaktor bei der selektiven Messung, sondern Null). Nun gut, der UPA ist ja auch zum größten Teil analog aufgebaut, da kann man auch nicht viel mehr erwarten.

Aber viel wichtiger: sooooo groß scheint der Unterschied zwischen einer Breitbandmessung (wie sie mein externes Messequipment wie das Anodenstrommessgerät UDS5 macht) und der Selektivmessung (wie sie der L3 macht) wohl gar nicht zu sein. Hmmm....

27.2 Messung von U_g

Messen wir mal die Gitterwechselspannung U_g . Vielleicht sieht hier das da ja anders aus.

Breitbandig gemessen (UPA4, 22Hz..22kHz): **111,6mV_{eff}** (THD+N= 13,2%)

Selektiv gemessen (UPA4, Filter #19, f=1386Hz): **110,5mV_{eff}** (THD+N= 0,104%)

Das ist ein knappes Prozent Unterschied. Zu wenig, um unser Phänomen zu erklären.

27.3 Zwischenstand

Fassen wir den Kram mal zusammen.

Der L3-3 zeigt an seinem Steilmessgerät unter den bereits weiter oben definierten Bedingungen an meiner Prüfröhre im Moment eine Steilheit von 1,26mA/V an. Das notieren wir uns jetzt mal gleich eingangs.

Wenn ich die Steilheit zusätzlich nun über die Formeln aus dem L3-Manual nachrechne und die eben ermittelten Werte für U_a und U_g einsetze, komme ich

- a) mit breitbandiger Messung auf eine berechnete Steilheit $S(\text{Breitband})=1,299\text{mA/V}$
- b) mit selektiver Messung auf eine berechnete Steilheit $S(\text{selektiv})= 1,3062\text{mA/V}$.

Das ist ein Unterschied von nur 0,5%! Sprich: die "einfache", breitbandige Messmethode mit dem Multimeter dürfte gegenüber der aufwändigeren, selektiven Messmethode im L3 nur um diese 0,5% abweichen. Wir haben ja aber 1,26mA/V mit dem L3 gemessen- das sind aber fast 4 Prozent Abweichung gegenüber der berechneten Methode- und nicht nur 0,5!

Wenn wir die Ergebnisse mal in einer Liste zusammenstellen (auf zwei Stellen gerundet):

MESSMETHODE	ERGEBNIS	BEMERKUNG
L3:	1,26mA/V	
breitbandig, UPA4:	1,30mA/V	berechnet über k-Faktor
selektiv, UPA4:	1,31mA/V	berechnet über k-Faktor
breitbandig, URE3:	1,34mA/V	berechnet über S-Formel, siehe Kapitel 25 unten

Also: auch der Versuch "selektive Messung" kann die Unterschiede zwischen L3 und externer Messung im Moment leider nicht erklären.

Leider, Jac, leider...:-(

27.4 Vergleich

Der Vollständigkeit halber (und weil das Messequipment gerade warm gelaufen ist) vergleiche ich noch einmal die Messung des Anodenstroms mittels Rohde&Schwarz UDS5 Multimeters (eingeklinkt in den Anodenstromkreis via Banana-Deck) und die Messung des Anodenstroms über eine Spannungsmessung am Anodenwiderstand R57 und Rückrechnung per ohmschem Gesetz. Beides sollte ja äquivalent sein!

27.4.1 breitbandige Messung UPA4

$U_a = 66,25 \text{ mV}_{\text{eff}}$ (THD+N = 8,2%)

$\Rightarrow I = U_a / R_{57} = 66,25 \text{ mV}_{\text{eff}} / 444,69 \text{ Ohm} = 148,98 \mu\text{A}_{\text{eff}}$

Das UDS5 zeigt in diesem Moment $151,4 \mu\text{A}_{\text{eff}}$ AC an.

\Rightarrow Unterschied der Messwerte: ca. 2%

27.4.2 selektive Messung UPA4 bei $f=1,388 \text{ kHz}$

$U_a = 66,02 \text{ mV}_{\text{eff}}$ (THD+N = 0,59%)

$\Rightarrow I = U_a / R_{57} = 66,02 \text{ mV}_{\text{eff}} / 444,69 \text{ Ohm} = 148,46 \mu\text{A}_{\text{eff}}$

Das UDS5 zeigt in diesem Moment $151,3 \mu\text{A}_{\text{eff}}$ AC an.

\Rightarrow Unterschied der Messwerte: ca. 1,6%

27.4.3 Was sagt uns das?

Zuerst einmal, das der Unterschied zwischen breitbandiger und selektiver Messung auch diesmal sehr gering (nämlich lediglich $2\% - 1,6\% = 0,4\%$) ist. Witzig: die Übereinstimmung des breitbandig messenden UDS5 mit dem UPA4 ist bei der selektiven Betriebsart des UPA4 größer- und nicht kleiner! Erwartet hätte ich das Gegenteil (Das UDS5 kann nur breitbandig messen, daher sollte die beste Übereinstimmung erreicht werden, wenn auch der UPA4 breitbandig misst. Tut es aber nicht ;-)

28 Selbstkontrolle UPA4

Hin und wieder ist es mal angebracht, seine eigenen Geräte und Messungen auf den Prüfstand zu stellen und auf Plausibilität zu checken. Ich weiß, ihr hättet auch nichts weniger Ehrgeiziges von mir erwartet :-)

Also. Mich interessiert, ob das selektive Voltmeter im UPA4 plausible Messwerte liefert. Um das zu ermitteln, verwende ich den Klirrfaktormesser und das eingebaute Breitband-Voltmeter...und Wikipedia. Dort finde ich nämlich die Formel zur Definition des Klirrfaktors!

$$k = \frac{\sqrt{U^2 - U_1^2}}{U}$$

U- Effektivwert der gesamten Spannung

U_1 - Effektivwert der reinen Grundwelle (bei $f=1,4 \text{ kHz}$)

Wir erinnern uns: breitbandig gemessen, lieferte der UPA4 mir den Messwert der Anoden-Wechselspannung von $66,25\text{mV}_{\text{eff}}$. Diese Spannung beinhaltet einen Klirrfaktor von 8,2%-sagt der UPA4 jedenfalls.

Sobald ich das selektive Voltmeter am UPA4 mit dazuschalte, sinkt die Anzeige auf $66,02\text{mV}_{\text{eff}}$ (und der Klirrfaktor auf 0,59%, also vernachlässigbar). Der Rest "dazwischen" waren also die (störenden) Verzerrungen, die durch das Filter nun von der Messung ausgeblendet wurden!

Wenn ich die Klirrfaktorformel aus Wikipedia nehme und nach U_1 (=die Grundwelle) umstelle, erhalte ich das hier:

$$U_1 = \sqrt{U^2 \cdot (1 - k^2)} \quad \text{k: Klirrfaktor}$$

Setze ich dann für U die $66,25\text{mV}_{\text{eff}}$ ein und für k die 8,2% (=0,082), und nehme beispielsweise an, dass wir es wirklich nur mit Oberwellen des Prüfsignals zu tun haben (also keine anderen Schweinereien), müssten sich für die Grundwelle U_1 laut Formel genau der Wert ergeben, den ich auch messe, wenn ich das selektive Voltmeter im UPA aktiviere. Und...tatsächlich:

$U_1 = 66,0269\text{mV}_{\text{eff}}$ errechne ich. Und selektiv gemessen hatte ich genau $66,02\text{mV}_{\text{eff}}$ auf der Anzeige! Das ist eine Abweichung zwischen Theorie und Messwert von nur 0,01%- soooooo-ooooo liebe ich das!

Ich muss also tatsächlich davon ausgehen, dass meine Messungen zumindest "in sich" stimmig sind. Auf der einen Seite zwar schade, dass ich noch immer keine Erklärung für die Steilheitsunterschiede zwischen L3 und Messgeräten habe, auf der anderen jedoch sehr ermutigend hinsichtlich der Messgenauigkeit meiner verwendeten Prüfmittel.

29 Belastung des 1,4kHz Prüfoszillators

Natürlich informiere ich Jac erst einmal über die neuesten Erkenntnisse. Und wie immer hat er schon wieder reichlich Ideen, was man nun noch alles ausprobieren könnte. Quasi als "Hausaufgabe für's Wochenende" fragt er mich, ob möglicherweise der 1,4kHz Oszillator beim Umschalten von CAL auf MESSUNG in diesem Moment seine Ausgangsspannung leicht verändern könnte (schließlich hat er ja keine Amplitudenregelung)- zum Beispiel durch parasitäre Kapazitäten oder irgendwelche Lasten durch Anschlusskabel.

An sich eine gute Idee, die ich aber auch schon bereits hatte. Dabei bemerkte ich, dass der Ausgangs-NF-Teiler so niederohmig ausgelegt ist, dass es kaum eine Rolle spielt, ob man ihn dahinter noch etwas belastet oder nicht. Trotzdem wollte ich meine Hausaufgaben brav erledigen und habe am Ausgang des NF-Teilers gemessen (Konfiguration des L3 mittels Prüfkarte für eine ECC83), während ich den Steilheits-Umschalter zwischen CAL und MESSUNG hin und her schaltete. Ergebnis:

$U_{CAL}: 128,4\text{mV}_{\text{eff}}$

$U_{MESSUNG}: 128,5\text{mV}_{\text{eff}}$

(gemessen mit Rohde&Schwarz URE3)

Es macht also wirklich nichts aus. Solche geringen Unterschiede (0,07%) sind keine ausreichende Erklärung für unser Phänomen.

30 Selektives Voltmeter

Nun knacke ich aber die Nuss. Endlich!

Initiator für dieses Kapitel war einmal mehr der liebe Jac, der mich auf eine Idee brachte (aber anders, als er dachte ;-). Er schrieb mir, dass man bei ihm die Abweichungen der Steilheitsmessung durch Neu-Setzen des CAL-Strichs auf dem L3-Messinstrument kompensieren könne. Allerdings gelte das dann nur für einen speziellen Röhrentyp- benutzt man die neue Einstellung dann für einen anderen Röhrentyp, stimmt's wieder nicht. Man müsse also individuelle CAL-Striche für jeden neuen Röhrentyp auf seinem L3 machen.

Als Jac das so schrieb, kam mir eine Vermutung. Die von Jac benutzten Röhren (eine 6SN7 und eine 6L6) haben laut Datenblatt verschiedene Steilheits-Werte. Eine 6SN7 soll es auf einen Wert zwischen 2,6..3,0mA/V bringen und eine 6L6 auf etwa 6 mA/V. Das heißt, auf dem L3-Tester würden wir dafür verschiedene Steilheits-Messskalen benutzen- also verschiedene NF-Pegel an die Röhre anlegen. Wenn wir es also offensichtlich mit einem pegelabhängigen Fehler zu tun haben, dann kann eigentlich nur noch eine aktive Baugruppe diesen Fehler verursachen (Halbleiter wie Dioden einmal eingeschlossen). Und die einzige aktive Baugruppe, die mir dann noch in der Signalkette einfällt, ist das selektive Voltmeter.

Seinen Frequenzgang hatte ich damals ja schon einmal untersucht (siehe Kapitel 14), jedoch nicht seinen Pegelgang; also die Beziehung zwischen Ein- und Ausgangsspannung bei variierendem Eingangspegel (aber konstanter Frequenz). Das hole ich jetzt nach.

Dazu trenne ich an meinem Banana-Deck auf und speise per BNC-Kabel direkt in das selektive Audio-Voltmeter ein. Ich benutze wieder meinen R&S UPA Audioanalysator als Signalquelle, der sehr genaue Audiosignale liefern (und messen) kann. Als Frequenz wähle ich das Durchlassmaximum des selektiven Voltmeters; bei mir also 1386Hz. Als Pegel fange ich mit 1mV_{eff} an und erhöhe so lange, bis ich an der Anzeige des L3 einen Vollausschlag erzeuge. Das wird dann bei etwa $155\text{mV}_{\text{eff}}$ passieren- und zwar unabhängig von der gewählten Steilheits-Skala*!

*Warum eigentlich?

Weil die lediglich das Prüfsignal verkleinert; also bei höherer Steilheits-Skala eine kleinere Prüfspannung in das Röhrgitter einspeist, denn die Prüfröhre verstärkt dann ja mehr- bei konstanter Empfindlichkeit des selektiven Voltmeters! Gut gemacht, denn damit vermeidet man erstens eine Übersteuerung von empfindlichen, hochverstärkenden Röhren und zweitens arbeitet das selektive Voltmeter stets in seinem optimalen Empfindlichkeitsbereich (hoffentlich ;-).

Abgreifen tue ich das Signal "Uout" an der Buchse X6 und X7, die sich lustigerweise auf der Seite der Spannungsregler (rechte Klappe) befinden. Sie liegen parallel zu den beiden antiparallel geschalteten Dioden, die das Messwerk vor zu hohen Spannungen schützen sollen.

Aber hier kommt jetzt der Knaller. Die Übertragungsfunktion:

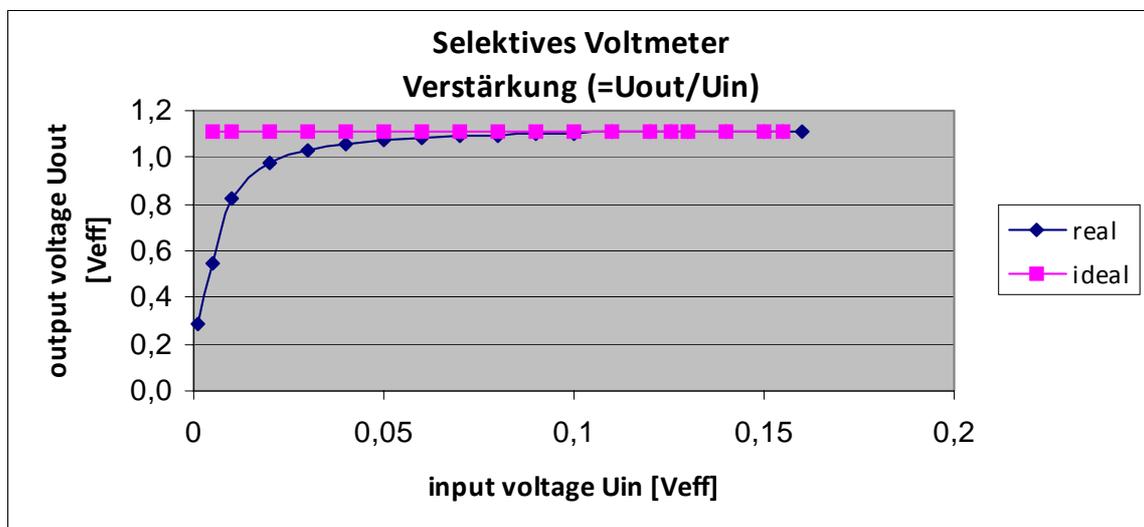


Abbildung 102: Verstärkungsfaktor selektives Voltmeter

Ich habe mal die ideale Kurve mit dazugemalt, damit man die Abweichung gleich auf den ersten Blick sehen kann. Wir erkennen sofort, dass wir insbesondere bei kleinen Signalspannungen eine ganz herbe Abweichung bekommen, die durch das selektive Voltmeter verursacht wird! (ich vermute mal, durch die Gleichrichterdiolen, VD9 und VD10, aber das ist im Moment noch Spekulation)

Dabei sieht es doch erstmal gar nicht so schlimm aus, wenn wir uns nur die Eingangsspannung in Bezug zum erhaltenen Zeigerausschlag am Messinstrument (0..150 Skalenteile) ansehen:

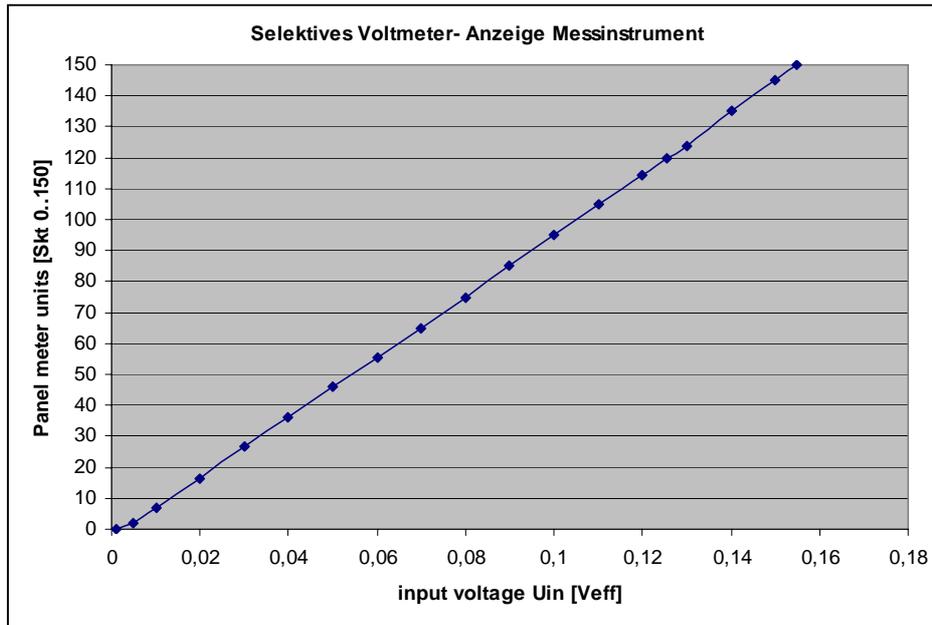


Abbildung 103: Selektives Voltmeter - Anzeige Messinstrument

Aber diese Darstellung täuscht, auch wenn sie erstmal schön gerade und linear aussieht. Ich glaube, am besten kommt es heraus, wenn wir uns einmal wirklich den erhaltenen Messfehler in Prozent ansehen:

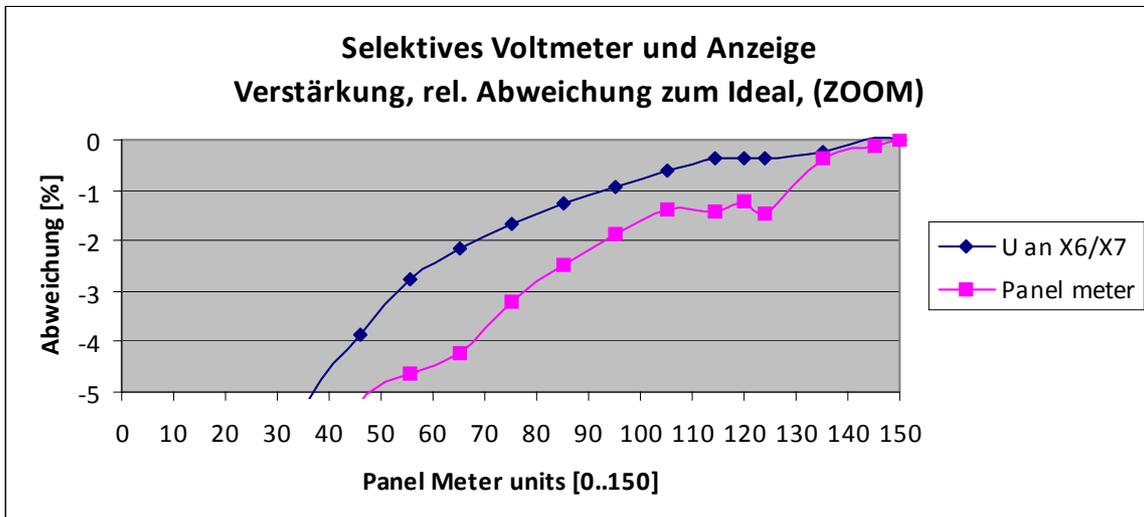


Abbildung 104: Fehlerkurve von selektivem Voltmeter und Messinstrument

Ich denke, jetzt ist die Katze aus dem Sack. Damit habe ich zum ersten mal einen Fehlermechanismus gefunden, der überhaupt in der Größenordnung zu dem passt, was ich an Abweichungen in der Realität auch beobachte: sobald das Messinstrument nur bis zu 1/3tel seines Skalenendwertes (also "50" auf der X-Achse in Abbildung 104) ausschlägt, habe ich schon mit einem Anzeigefehler von 5% zu rechnen- das passt exakt zu meinen Beobachtungen! "50" auf der alten Skalenteile-Skala des L3 bedeutet bei einer ECC83 mit eingestellter 3mA/V-Steilheitsskala einen Zeigerausschlag auf Werte von 1mA/V. Und genau in diesem Bereich habe ich mich ja immer messtechnisch aufgehalten. Bingo! :-)

Und es erklärt auch zugleich Jacs Beobachtungen: der Anzeigefehler ist nicht überall gleich; d.h. er ist abhängig vom Zeigerausschlag! Damit verhält sich die Anzeige des L3 bei verschiedenen Röhren mit verschiedenen Zeigerausschlägen "unterschiedlich gut"; wir haben keinen konstanten, sondern einen variablen Anzeigefehler. Das ist zwar schlecht, weil man sowas nur schwer mit Analogtechnik kompensieren kann, aber wenigstens habe ich damit eeeendlich eine Erklärung, die zu meinen und Jacs Beobachtungen passt.

Uff!

Schwere Geburt!

Hier noch einmal der Auszug aus der Schaltung, wo ich gemessen habe:

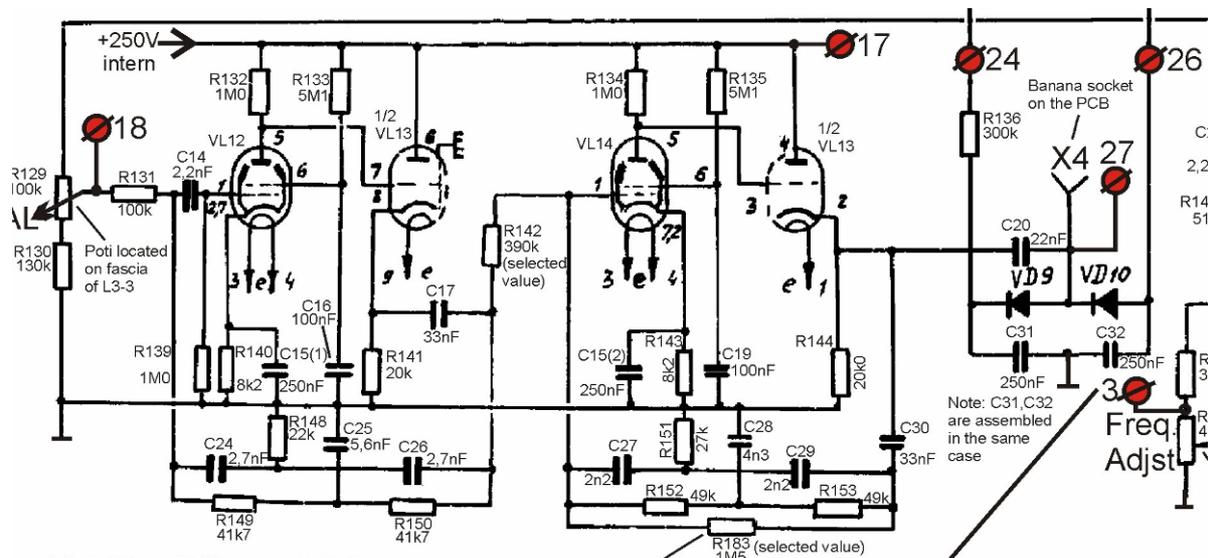


Abbildung 105: Auszug Schaltplan selektives Voltmeter

Eingespeist habe ich mein Prüfsignal kurz vor Punkt 18 im obigen Bild. Und abgenommen habe ich die gleichgerichtete Gleichspannung dann kurz hinter Punkt 24 und 26. Wir durchlaufen also das komplette selektive Voltmeter einschließlich Gleichrichterdioden VD9 und VD10.

30.1 Sind die Dioden Schuld?

Eine Frage, die sich mir dann natürlich gleich stellt, ist: woher kommt die "krumme Kurve"? Ich vermute, es sind die Gleichrichterdioden, die bei kleinen Spannungen einfach noch im krummen Bereich ihrer Kennlinie arbeiten.

Ob es das ist oder nicht, kann ich relativ schnell herauskriegen. Ich mache einfach dieselbe Messung, greife das Signal aber diesmal noch vor den Dioden ab- zum Beispiel an der netterweise von den russischen Konstrukteuren vorgesehenen Buchse X4. Die liegt wiederum auf der anderen Seite des Gerätes, direkt eingearbeitet in die Audio-PCB (linke Gehäuseklappe des L3).

Zur Einspeisung der 1386Hz-Signales nehme ich wieder den UPA. Zum Messen der Wechselfspannung an X4 habe ich mir gerade schnell das UDS5 gegriffen. Es lag da gerade herum. Der UPA hätte es natürlich genauso gut getan, aber beim UDS5 bin ich mir sicher, dass es schön hochohmig misst und ich den Schaltungskreis nicht unnötig belaste.

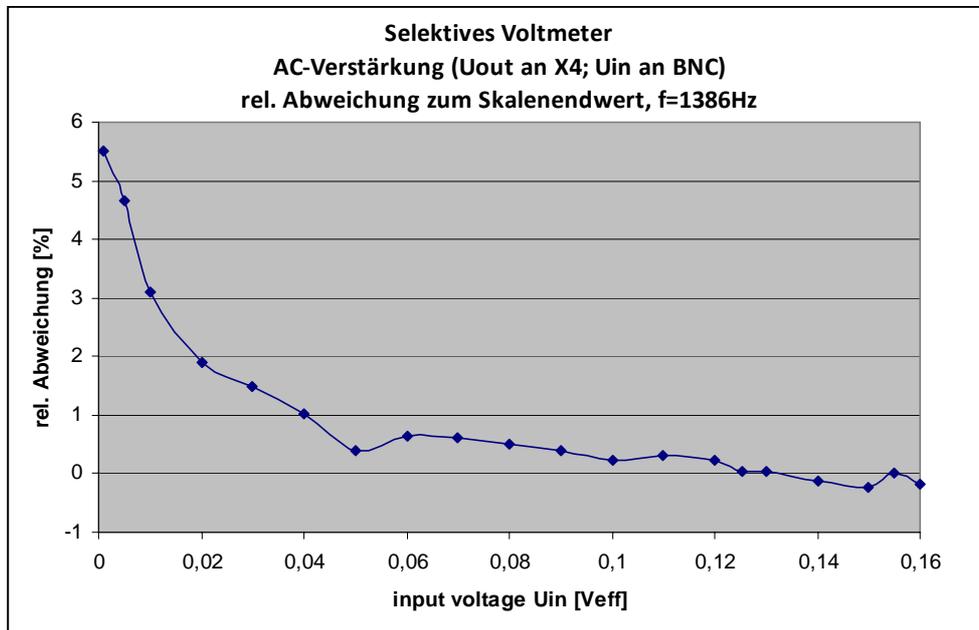


Abbildung 106: AC-Pegelgang selektives Voltmeter

Abbildung 106 zeigt uns gleich die relative Abweichung zum Skalenendwert (sprich: Zeigerausgang "150", entspricht einer Eingangsspannung von 155mV_{eff}), so können wir die Zusammenhänge gleich besser sehen.

Auch hier erleben wir eine kleine "Überraschung". Bei sehr kleinen NF-Signalen kriegen wir zunehmend einen Messfehler, der uns -hört, hört!- zu große Messwerte vorgaukelt! In erster Linie haben wir es hier aber mit hoher Wahrscheinlichkeit mit Rauschen und Restbrumm zu tun, das sich dem Ausgangssignal einfach überlagert. Je kleiner das Nutzsignal wird, desto mehr fällt es ins Gewicht. Also nichts Beunruhigendes, sondern eigentlich eine ganz normale Sache. Man kann sich nun streiten, ob wir diesen Effekt nun unbedingt bekämpfen müssen oder nicht. Ich plädiere jedoch fest dazu, sich lieber erst einmal um die Gleichrichterdiode zu kümmern, wenn man hier was verbessern will.

Ansonsten sehen wir hier eine über einen weiten Bereich ziemlich konstante Verstärkung mit Faktor von etwa 116 (soviel verraten jedenfalls meine Excel-Daten). Damit können wir zufrieden sein.

Um die Frage noch einmal zu wiederholen:
"Sind die Dioden Schuld?"

Ja. Sind sie!*

* Aber nicht alleine, wie ich jetzt schonmal verraten darf! :-)

31 Diodentausch

Im Moment deutet dennoch Vieles darauf hin, dass ein relativ großer Fehler beim Gleichrichten des 1,4kHz-Signals entsteht. Leider muss es gleichgerichtet werden, bevor wir es auf das Drehspulinstrument schicken- es würde sonst nichts anzeigen, weil Geräte seiner Art immer genau NULL anzeigen, wenn man eine symmetrische Wechselspannung an sie anlegt.

Wie wir in Abbildung 105 sehen können, ist der Gleichrichter ganz simpel gemacht und besteht aus zwei Dioden (VD9 und VD10) und zwei Filterkondensatoren. Die Kondensatoren hatte ich bei meiner Großtausch-Aktion der Audio-PCB schon überprüft; jedoch die Dioden nicht! Meine Vermutung ist, dass hier etwaige Nichtlinearitäten dieser Bauteile einen Großteil des beobachteten Messfehlers bei der Steilheitsmessung verursachen.

31.1 Ausbau

Ich löte die beiden Kandidaten russischer Bauart also aus und ersetze sie -auf Rat von Thomas- durch zwei HP5082-2800 Schottky-Dioden, die ich auch rein zufällig im Schrank habe. Ein vorheriger Blick ins Datenblatt dieser Dioden bestätigt mir, dass sie für meinen Zweck geeignet sein sollten. Insbesondere die niedrige Schwellenspannung von nur 0,3..0,4V sollte eine Verbesserung der Nichtlinearität bei kleinen Zeigerausschlägen bewirken.

31.2 Test

Ich will aber nichts dem Zufall überlassen und mache vorher ein schönes Spannungs-Strom-Diagramm; sowohl von den original Dioden als auch von den neuen HP5082-2800-Typen. Um die Dioden nicht zu überlasten, schalte ich einen 1kOhm-Widerstand vorweg. Das ganze Gebilde hänge ich an ein gutes, fein einstellbares Netzgerät (selbstverständlich von R&S ;-). Damit lege ich Spannungen zwischen 0,1 bis knapp 10Volt an und notiere mir jeweils den fließenden Strom. Als Strommesser nehme ich das UDS5 Multimeter.

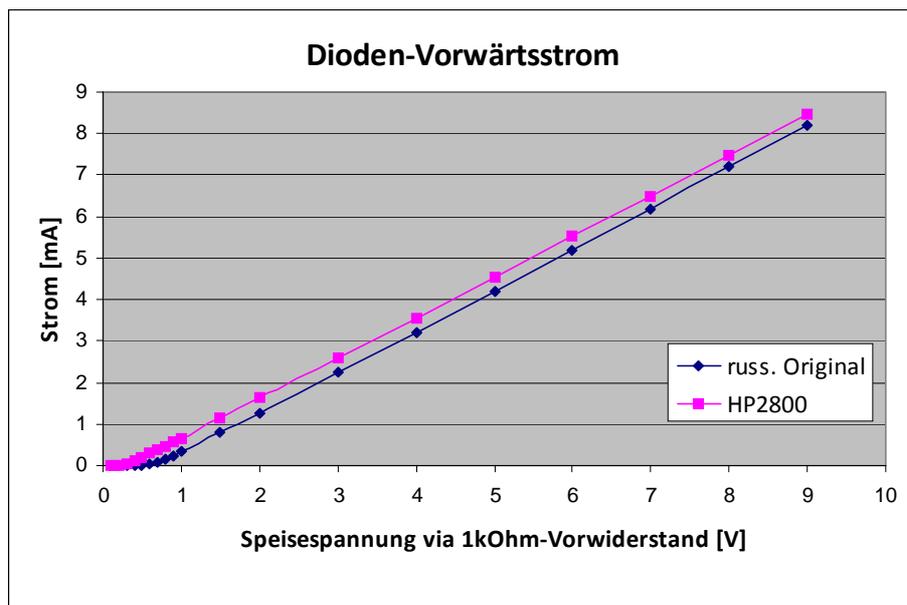


Abbildung 107: Dioden-Vorwärtsstrom

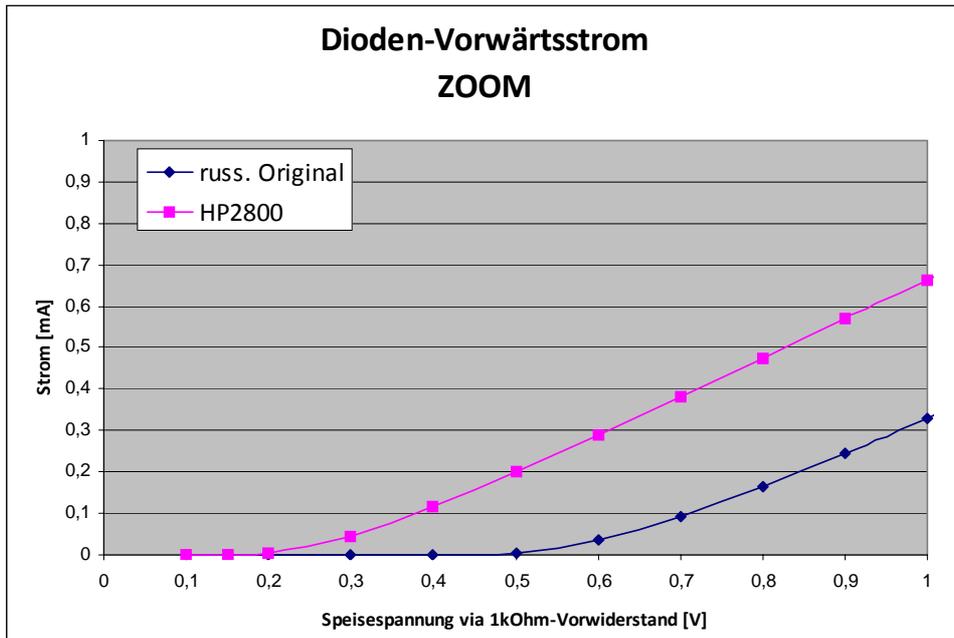


Abbildung 108: Dioden-Vorwärtsstrom (Zoom)

Aufgrund des großen Maßstabs zeigt die Kennlinie erst einmal noch nicht so große Nicht-linearitäten. Erst wenn man die Kurve einmal ableitet (also nach $m = \Delta Y / \Delta X$ bildet), sieht man mehr. Diese Ableitung zeigt den differentiellen Widerstand; also die Änderung des Dioden-Widerstands über einen Spannungsbereich hinweg. Genau das brauchen wir: wir wollen, dass sich die Diode über den Spannungsbereich von 0 bis ca. 20Veff so gut wie GAR NICHT ändert.

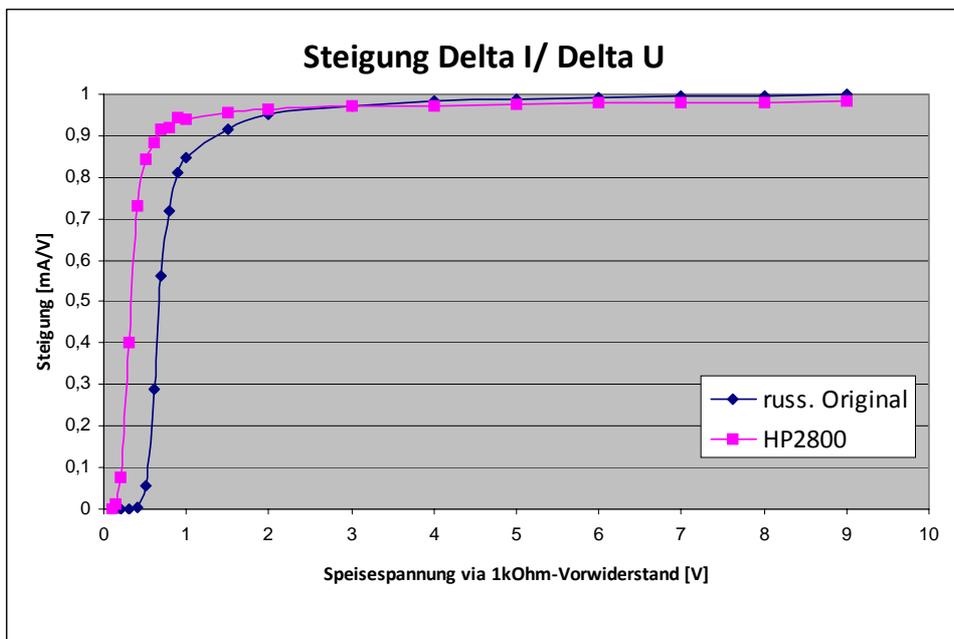


Abbildung 109: differentieller Widerstand

Da es ein reales Bauteil ist, tut sie das aber doch. Normiert auf den Endwert der Messreihe sehen wir insbesondere bei kleinen Spannungen durchaus nennenswerte Abweichungen. Das liegt an dem Knick in der Kennlinie unterhalb der Schwellwertspannung (bei Silizium meist so 0,6V..0,7V).

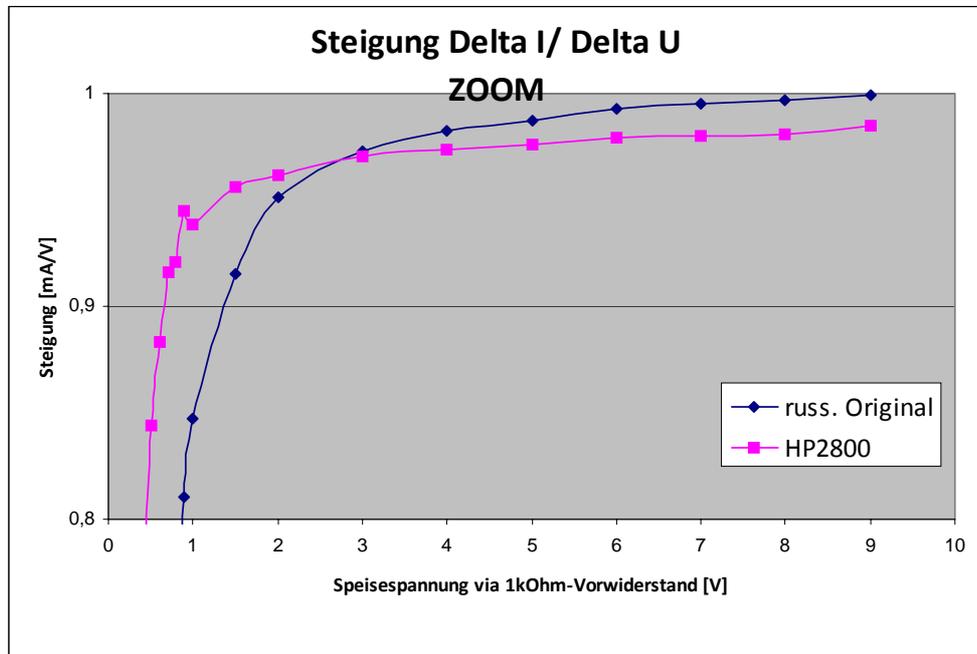


Abbildung 110: differentieller Widerstand (Zoom)

In Abbildung 110 sieht man es ganz deutlich: erwartungsgemäß beginnt die HP5082-2800 etwas früher, leitend zu werden. Auch sieht mir der lineare Bereich etwas konstanter aus, was also grundsätzlich durchweg eine Verringerung der Nichtlinearitäten bedeutet. Trotzdem: auch die modernere HP5082-2800 ist ein reales Bauteil und kein ideales!



el: such den Unterschied! :-)

31.3 EINBAU

Ich baue die Dioden trotzdem ein und wiederhole meine Messung aus Kapitel 30.1.

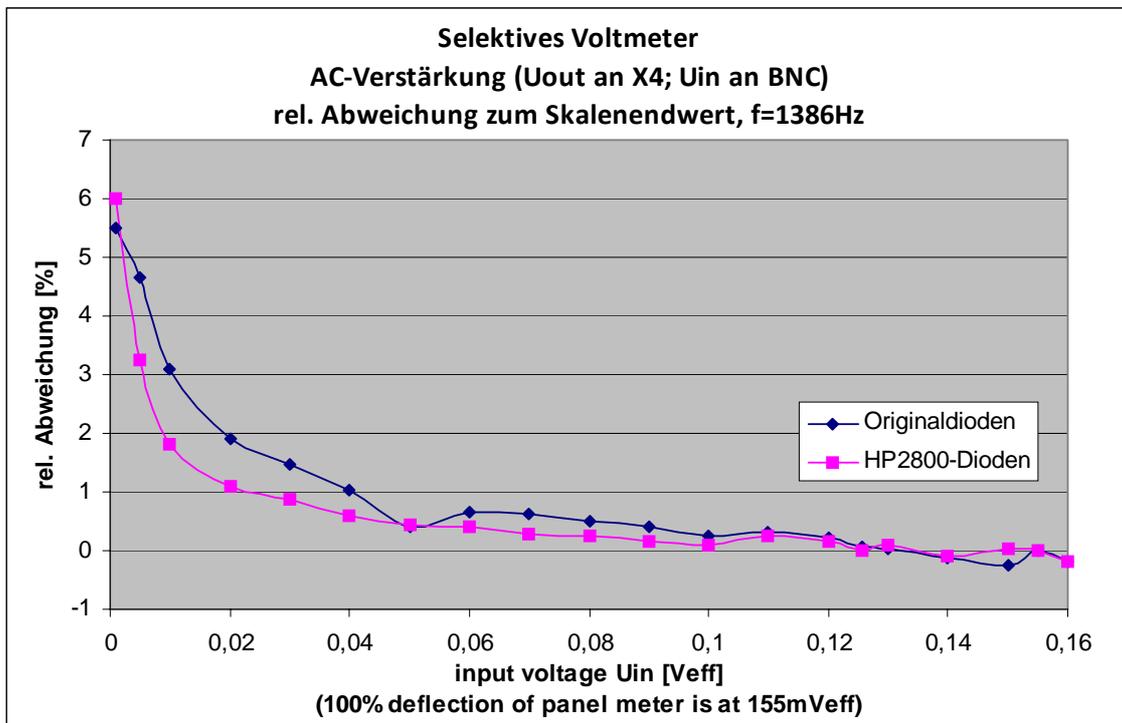


Abbildung 112: AC-Pegelgang selektives Voltmeter (vorher/nachher)

Ich muss zugeben, ein ganz wenig bin ich doch enttäuscht- ich hätte eine größere Verbesserung erwartet. Zwar arbeitet der Gleichrichter nun zweifelsfrei etwas genauer als mit den originalen russischen Dioden, doch eine Verkleinerung des gesamten Messfehlers auf unter 1% (das hatte ich erhofft) schaffe ich allein damit nicht.

In dem L3 muss noch irgendwo ein anderes Geheimnis stecken, das ich noch immer nicht gefunden habe! Das zeigt mir auch eine Probemessung:

Sie zeigt bei der Steilheit nun einen gesamten Anzeigefehler von etwa 3,5% (G_m berechnet: 1,29mA/V; Anzeige L3: 1,25mA/V).

Vorher hatte ich immer so Ungenauigkeiten zwischen 5% und 7% beobachtet. Damit verglichen, bringt der Diodenwechsel nachweisbar eine Verbesserung. Politiker würden es im Wahlkampf als eine "Halbierung des Fehlers" darstellen (notorisch-positiv-darstell-Spinner als "Verdoppelung der Anzeigegenauigkeit").

Ich als überwiegend aufgeklärt-kühl denkender Ingenieur ziehe die Angabe des Anzeigefehlers in ehrlichen Prozent vor. :-)

32 Zeit für Großes

Wenn ich in meiner Formatvorlage bei Word noch eine größere Überschrift definiert hätte, ich hätte sie jetzt benutzt. Denn in diesem Kapitel kommt endlich das, worauf schon alle so lang gewartet haben: ich reduziere den Anzeigefehler bei der Steilmessung auf kleiner 0,3%.

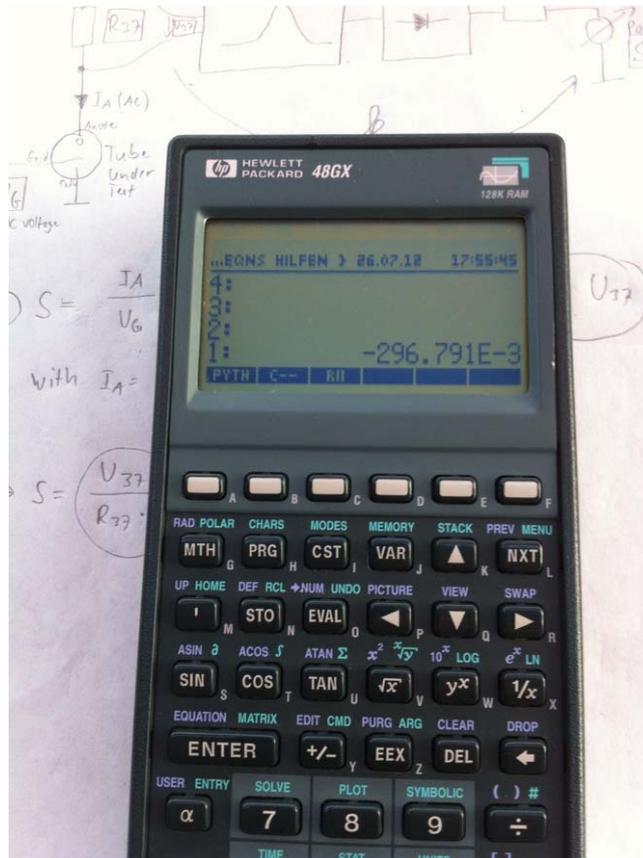


Abbildung 113: Endlich: Anzeigefehler kleiner 0,3%!

Wie das geht? Weiterlesen!

Inzwischen ist es Sommer geworden und ich habe abends mal wieder auf der Terrasse herumgelandert, die warme Abendsonne genossen (zumindest was davon nach einem langen Arbeitstag davon noch übrig ist ;-)) und mir -für alle Fälle- einen Block und Bleistift auf den Tisch gelegt. Das mache ich -zum Grummeln meiner Frau- öfter. Nur für den Fall, dass mir mal was einfällt, was ich dringend aufschreiben muss.

Und das tat es.

Bei noch immer guten 28° in der Luft, dem plätschernden Springbrunnen im Garten und den zirpenden Grillen irgendwo unten in der Gartenhecke kam mir eine folgenschwere Idee. Unser Nachbar sprang gerade laut plumpsend in seinen Pool, was diese typischen Gluckergeräusche erzeugt, die man noch aus dem Freibad kennt, wenn jemand eine Arschbombe vom Dreier macht. (Manche Leute mögen so eine Geräuschkulisse etwas störend finden- ich jedoch finde das ungeheuer entspannend!)

Ich überlegte mir, wie man die Messmethode für die Steilheit im L3 wohl mathematisch nachrechnen könnte. Im Manual steht darüber ja grundsätzlich etwas drin - ein gewisser Herr Sergeev soll die Methode entwickelt haben (natürlich war ein Russe der Schöpfer dieser sensationellen Idee, den Spannungsabfall an einem Anodenwiderstand als Messgröße zu benutzen!). Es stehen auch ein paar Prinzipschaltbilder drin, aber das ganze erinnert mich eher an eine Darstellung der Barkhausen-Formel denn an eine detaillierte Erläuterung, wie genau denn der "Sergeev-Kasten" nun wirklich funktioniert.

Bei meinem Nachbarn ist nun auch noch die kleine Tochter mit in den Pool gesprungen. Die quiekt -wie Kinder das nunmal so tun- und damit ist die Schwimmbadidylle nun perfekt. Es sprudelt nun nicht nur im Pool des Nachbarn, sondern auch aus meinem Stift. Ich male ein Blockschaltbild des L3 und zwei einfache Formeln dazu.

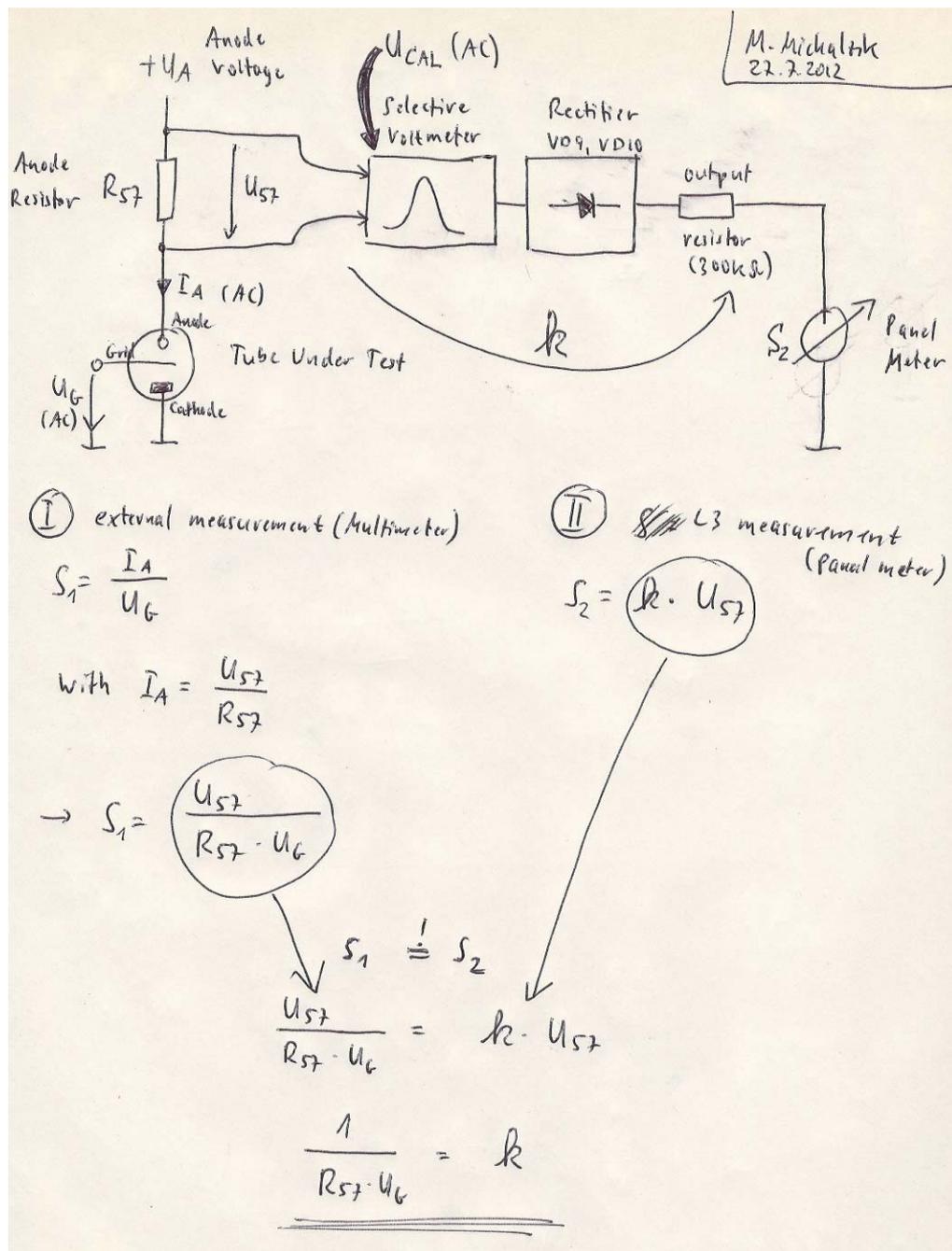


Abbildung 114: Steilheitsmesser nachgerechnet!

Ich erkläre es kurz:

Die Formel "1" beschreibt die Definition der Steilheit S, so wie ich sie normalerweise korrekt ermittelte. Ich messe mit einem Voltmeter die Wechselspannung am Gitter der Röhre und mit einem Ampèremeter den daraus resultierenden Anodenwechselstrom. Beides teile ich durcheinander und erhalte die Steilheit der Röhre in der Einheit "A/V".

In Formel "2" überlege ich, wie der L3 es macht: er wandelt eine an einem Anodenwiderstand abfallende Wechselspannung in einen Zeigerausschlag am Messinstrument um. Das Messinstrument ist auch in "Steilheit" geeicht.

Idealerweise stimmen beide Steilheiten überein: die berechnete und die am Messinstrument abgelesene. Für diesen Fall (den streben wir ja an) darf ich beide Formeln dann miteinander gleichsetzen.

Gemacht, getan, kurz umgestellt und violà: der Linearitätsfaktor, der beschreibt, wieviel Millivolt Spannungsabfall am Eingangs des selektiven Voltmeters welchen Ausschlag am Messinstrument bewirken sollten, kann exakt berechnet werden!

Nachrechnung der Steilheitsanzeige im L3				
Parameter	Bezeichner	Wert	Einheit	Bemerkung
Anodenwiderstand	R57	445	Ohm	Dieser Wert ist als Anodenwiderstand im L3 eingelötet.
Gitterwechselspannung	Ug	0,1125	Veff	Mit dieser Wechselspannung wird die zu prüfende Röhre in der Skala "3mA/V" angesteuert.
Kalibrierwechselspannung (Theorie)	Ucal1	0,12	Veff	Mit dieser Wechselspannung wird das selektive Voltmeter auf einen Ausschlag von 2,4mA/V kalibriert.
Anodenstrom	Ia		Aeff	Der entsprechend der Röhrensteilheit fließende Anoden-Wechselstrom.
Linearitätsfaktor (Theorie)	k1	0,01997503	A/V ²	Auf diesen Wert ist der L3 berechnet. Wenn alles stimmt, erzeugt damit Ucal1 eine Steilheitsanzeige von exakt 2,4mA/V
Kalibrierwechselspannung (Praxis)	Ucal2	0,1255	Veff	Diesen Wert braucht der L3 jedoch in der Praxis, um die 2,4mA/V anzuzeigen.
Steilheitsanzeige bei CAL	Scal1	0,0024	mA/V	Beschiftung der Skala im L3, wenn der Zeiger auf der "CAL"-Marke steht.
Theorie: Ucal1 erzeugt Ausschlag auf "CAL"-Marke				
Praxis: Ucal2 wird benötigt, um Ausschlag auf "CAL"-Marke zu erzeugen				
damit Rückrechnung auf				
Linearitätsfaktor (Praxis)	k2	0,01912351	A/V ²	Diesen Wert hat mein L3 tatsächlich!
damit Rückrechnung auf				
korrekten Anodenwiderstand	R57neu	464,814815	Ohm	Und diesen Anodenwiderstand bräuchte man tatsächlich, wenn die Kalibrierung stimmen soll!
Korrektur Anodenwiderstand	absolut	19,8148148	Ohm	Das ist der Unterschied zwischen Theorie und Praxis ;-)

Abbildung 115: Berechnung des "korrekten" Wertes von R57 mit Excel

Wir wissen nun, was das Instrument anzeigen müsste und wir wissen nun auch, warum! Damit sind wir einen entscheidenden Schritt weiter, den L3 wirklich zu verstehen.

Nun kann ich denselben Weg auch wieder zurück gehen. Eigentlich sollten bei einer Kalibriererspannung von 120mV_{eff} die CAL-Marke getroffen werden. In Wirklichkeit hatte ich in Kapitel 30 aber bereits herausgefunden, dass in meinem L3 in Wirklichkeit 125,5mV_{eff} dazu nötig sind.

Setze ich diesen Wert nun in die zweite Formel ein, erhalte ich einen leicht anderen Linearitätsfaktor. Ich habe ihn k₂ genannt. Und setze ich den wiederum in die erste Formel ein, kann ich einen Anodenwiderstand berechnen, den man tatsächlich brauchte, um genügend Spannungsabfall im Anodenstromkreis erzeugt, um das selektive Voltmeter korrekt anzusteuern. Und siehe da, was kommt als R57 heraus?

Drin sind: 4450hm.

Brauchen tue ich aber: knapp 4650hm!

Sagt zumindest meine Formel!

Meine Frau sagt indessen, dass ich nun genug gemalt hätte und ich mich eher mit ihr unterhalten sollte. So was! Gerade jetzt, wo ich dem "dicken Ding" so scharf auf der Spur bin!

Ich ignoriere diese Aufforderung (bereue es später;-) und löte stattdessen flüchtig einen 5Watt 220hm-Widerstand in Reihe zu R57. Und ich glaube es kaum: der Unterschied zwischen berechneter und gemessener Steilheit sinkt auf unter 0,3% (siehe Abbildung 113)!

32.1 Ende gut, alles gut

Jac ist so verückt, dass er mir -aus Spaß natürlich- den Job eines Chefingenieurs anbietet für den Fall, dass er mal einen brauchen würde ;-)

Ich glaube jedoch, den Posten kann er selber ganz gut bekleiden, denn ich habe in der ganzen Zeit, in der ich auf Fehlerjagd war, seinen Sachverstand und seine Art zu denken sehr zu schätzen gelernt. Trotzdem ist es interessant, welche unterschiedlichen Ideen man dennoch manchmal hat und welche unterschiedlichen Wege dann doch noch zum Ziel führen. Ich sehe diesen Erfolg jedenfalls als Teamleistung an und freue mich, dass -obwohl wir uns noch nie gesehen haben- die Nuss letztendlich doch noch knacken konnten :-)

32.2 Nebenwirkungen

Ich werde den L3 nun noch etwas laufen lassen und mögliche Nebenwirkungen beobachten. Obwohl ich es mir fast nicht vorstellen kann, möchte ich dennoch sicherstellen, dass meine zusätzlichen 220hm hier nicht doch noch was Schlimmes anstellen.

Der Anodenstrommesser zeigt sich durch die 220hm mehr jedenfalls nicht beeindruckt. Da hätte ich höchste Beeinflussung erwartet.

Was ich bislang noch nicht weiß ist, ob meine Maßnahme möglicherweise nun nur diesen gerade verwendeten Messbereich (Steilheitsskala 3mA/V) kuriert, oder wirklich auch alle anderen Messbereiche

- a) überhaupt von einer erhöhten Abweichung betroffen sind und
- b) durch meinen 220hm-Widerstand kuriert werden.

Um wenigstens einen Eindruck davon zu bekommen, stecke ich die Steilheitsskala einmal auf 1,5mA/V um und rechne den Anzeigefehler aus.

33 NF-Ausgangsteiler

Den NF-Ausgangsteiler möchte ich mir noch einmal näher angucken. Aber nur rein Interessehalber.

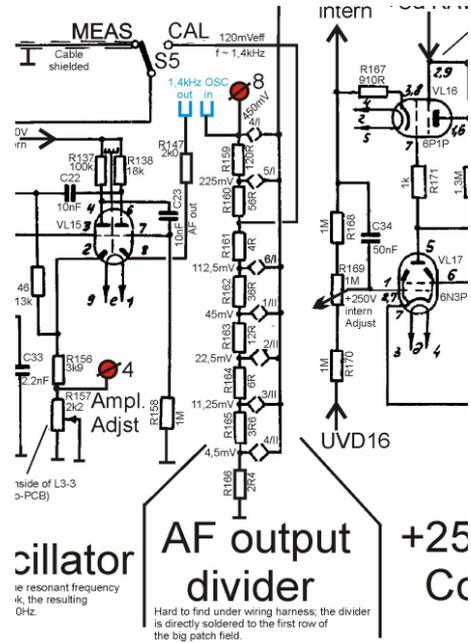


Abbildung 116: NF-Ausgangsteiler (Schaltplanauszug)

Ich habe einmal einen kleinen Schaltplanauszug mit abgedruckt. Man erkennt, dass an Punkt 8 der Prüfoszillator seine $450\text{mV}_{\text{eff}}$ Ausgangsspannung in dieses Widerstandsgebilde ein-speist. Durch das Setzen von Stöpseln im Stöpselfeld wird an der gewünschten Stelle das her-untergeteilte Signal abgegriffen und zum Gitter der zu prüfenden Röhre geschaltet. Ich wollte nun wissen, wie genau dieser Teiler arbeitet.

gewählter Gm Messbereich		int. Generator Ausgangssignal	Wechselspng. am Gitter IST	Teilerfaktor real	Teilerfaktor ideal	Abweichung [%]	Wechselsp. Gitter SOLL
mA/V	Pin Steckfeld	[Veff]	[Veff]				[Veff]
0,75	4/I	0,4769	0,4715	1,01	1	1,15	0,45
1,5	5/I	0,4815	0,2377	2,03	2	1,28	0,225
3	6/I	0,4823	0,12005	4,02	4	0,44	0,1125
7,5	1/II	0,4831	0,05032	9,60	10	-3,99	0,045
15	2/II	0,4831	0,02877	16,79	20	-16,04	0,0225
30	3/II	0,4831	0,02009	24,05	40	-39,88	0,01125
75	4/II	0,4835	0,01683	28,73	100	-71,27	0,0045

Abbildung 117: Wertetabelle NF-Ausgangsteiler Messung

Die Tabelle in Abbildung 117 erscheint auf den ersten Blick zwar langweilig, ist aber recht lehrreich. Wir erkennen erst einmal, welche Teilerfaktoren theoretisch herauskommen sollen; nämlich 1,2,4,10,20,40 und 100. Damit werden die gewünschten Steilheits-Messskalen zwischen $0,75\text{mA/V}$ und 75mA/V erzeugt.

33.1 Amplitudenabfall

Wir erkennen ebenfalls, dass der interne 1,4kHz-Prüfoszillator des L3 die NF-Teilerkette recht gut treiben kann; seine Ausgangsspannung bleibt in allen gesteckten Messbereichen weitgehend konstant bei ca. $480\text{mV}_{\text{eff}}$.

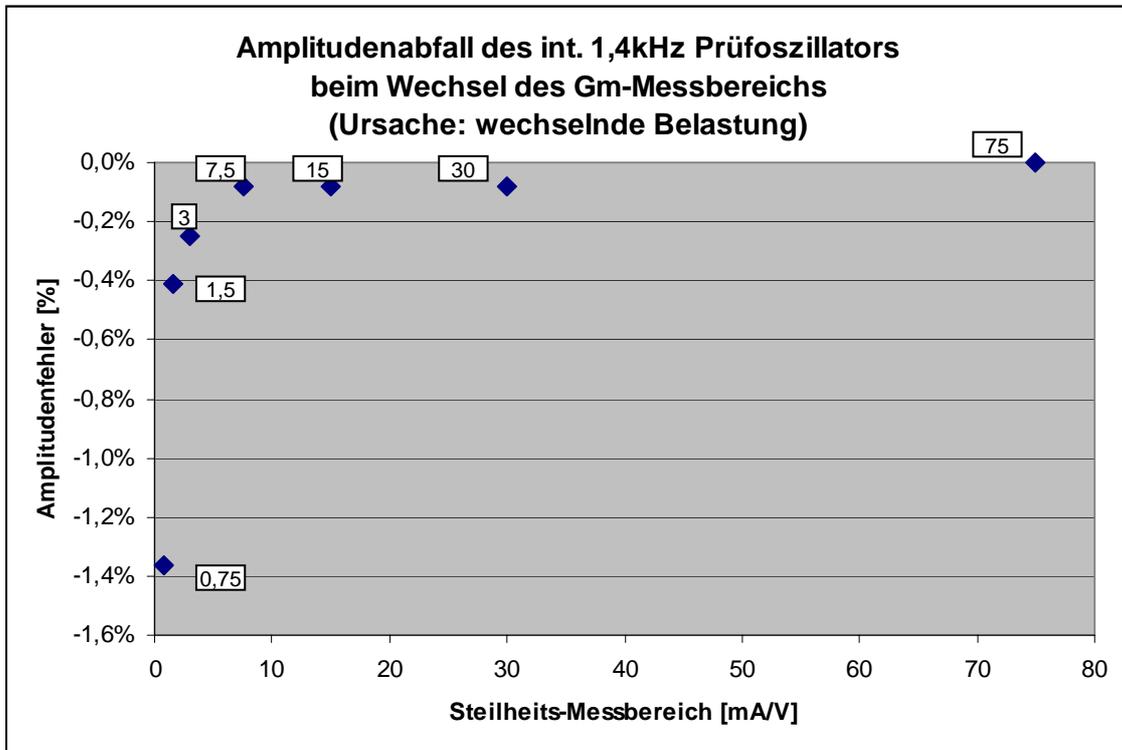


Abbildung 118: Amplitudenabfall des int. Prüfoszillators

Lediglich im kleinsten Messbereich ($0,75\text{mA/V}$) bricht der Oszillator in seiner Ausgangsamplitude um etwa 1,4% ein- für einen unstabilierten Röhrenoszillator gar nicht einmal schlecht. Offensichtlich wird der OSC in dieser Stellung am meisten belastet.

Schlaue Leute können nun anhand der Widerstandswerte an der NF-Teilerkette in Verbindung mit dem beobachteten Pegel einbruch den Ausgangswiderstand des OSC ausrechnen. Wer so schlau ist, kann mir das ja mal per email zuschicken. Ich würde mich nicht wundern, wenn etwa $2\text{k}\Omega$ herauskommen würde- wie der Kathodenwiderstand von Röhre VL15 ;-)

33.2 Teilerfaktor

Ebenfalls interessant ist, wie der gemessene Teilerfaktor in den einzelnen Steilheits-Bereichen ist. Wir erkennen ihn in folgender Grafik:

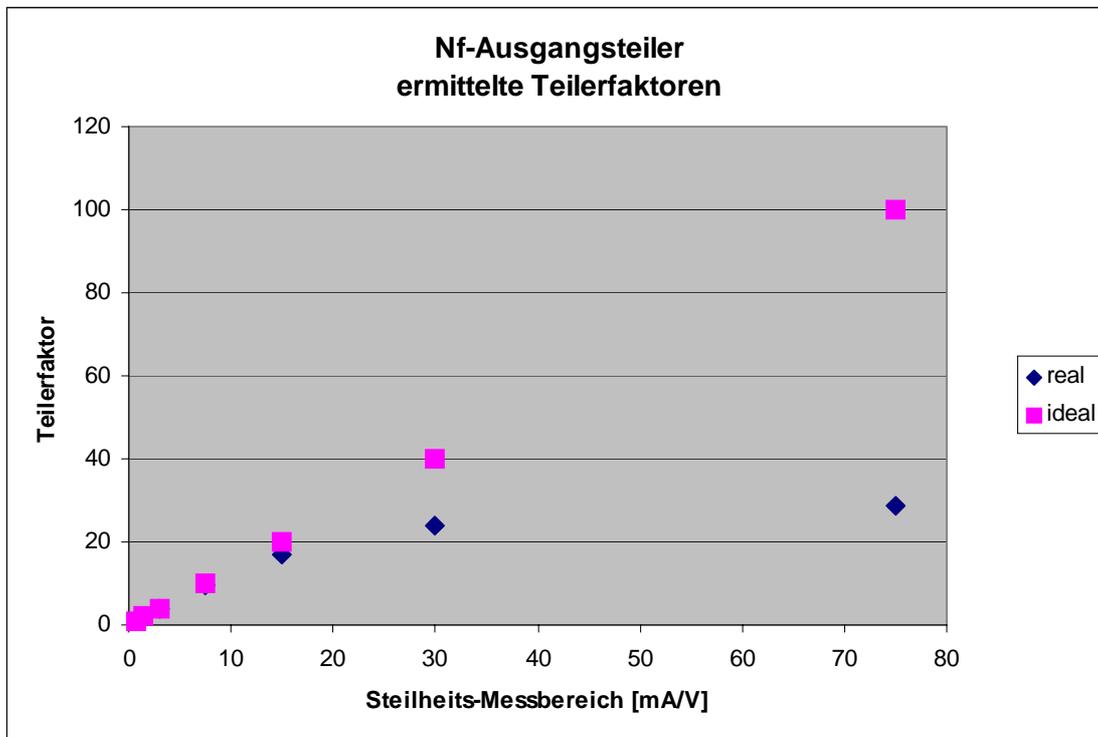


Abbildung 119: Teilerfaktoren NF-Ausgangsteiler

Hier kann man wieder schön sehen, wie uns bei den hohen Messbereichen (30mA/V und 75mA/V) die Effekte "Restbrumm" und "Rauschen" die Messung versauen. Laut Mathematik liegen in diesem Messbereich lediglich $4,5\text{mV}_{\text{eff}}$ Signalspannung am Gitter der Röhre an. Obwohl ich zu diesem Zeitpunkt meinen L3 bereits hinsichtlich DC-Filter entscheidend verbessert habe (ich beschreibe das erst etwas weiter hinten in diesem Reparaturbericht), misst mein Rohde&Schwarz UDS5 hier bereits fast 17mV Wechselspannung als Gitterspannung- das "versaut" uns natürlich komplett die Grafik.

Weil ich im Moment keinen Grund zu der Annahme habe, das hier irgendwas kaputt ist, bin ich dem jetzt nicht mehr nachgegangen, woher das nun wirklich kommt. Ich begnüge mich mit der Vermutung, dass der von mir verwendete Messaufbau hier wohl einfach an seine Grenzen stößt (man kann auch nicht allem hinterher, sonst komme ich hier nie zu Ende... ;-).

34 Lampenwechsel

Achja- so ein paar Kleinigkeiten habe ich noch an meinem L3 gemacht. Zum Beispiel war die Netzkontrolllampe bei mir defekt. Ich habe bei Reichelt eine neue 6V-Glühlampe bestellt (Bestellnummer "L2207", 6V/100mA) und sie in die Fassung gesteckt.

Ergebnis: leuchtet nicht. Toll.

Dann mit Glashaarradierer die Kontakte an der Fassung freigerubbelt und angelötet.



Abbildung 120: Netzkontroll-Lampe des L3

Ergebnis: leuchtet wieder! Gut so!



Abbildung 121: es wurde Licht...

"Job done". Weiter.

35 Kondensatoren einbauen

Etwas spät, aber ich wollte es dennoch erwähnen. In Kapitel 24 habe ich ja ausführlich das Thema "DC-Filter" beschrieben. Auch wenn ich den Nachweis erbracht habe, dass z.B. die Erhöhung der Filterkondensatoren für die Anodenspannung in der Praxis nicht viel bringen (zumindest nicht beim Prüfen einer ECC83), so habe ich schließlich dennoch die dort beschriebenen Kondensatoren alle noch bei meinem L3 nachgerüstet. Schlechter ist er damit mit Sicherheit nicht geworden!

35.1 Anodenspannung

Die zusätzlichen Anoden-Elkos habe ich einfach mit Heißkleber auf die Filterbank geklebt, seitlich noch etwas abgestützt und dann mit dicken Kabeln durch ein eh bereits vorhandenes Loch geführt und parallel zu meinen $30\mu\text{F}$ C35 und C36 angeschlossen. Damit habe ich nun je $250\mu\text{F}$ für C35 und $250\mu\text{F}$ für C36. Die Restwelligkeit der Anodenspannung über den Elkos ist damit von etwa $5V_{\text{eff}}$ auf $0,7V_{\text{eff}}$ gesunken.

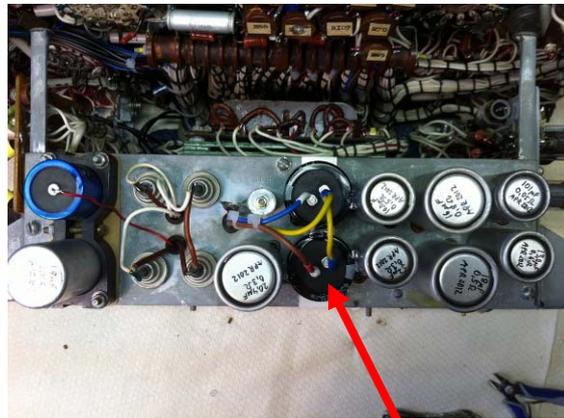


Abbildung 122: zusätzliche Filter für Anodenspannung

35.2 Gitterspannung Elko C8

Die zusätzliche Spannungssiebung für Gitter1 (Elko C8) habe ich natürlich auch eingebaut.



da issert!

Abbildung 123: weitere $56\mu\text{F}$ für Gitter1

In Zukunft wird ein 56 μ F/450V-Elko die Gitterspannung zusätzlich glätten.

35.3 Gitterspannung Elko C41

Und natürlich habe ich C41 vergrößert. Das hatte ja nachweislich den größten Beitrag zu sauberen Spannungen gebracht. Hier habe ich es richtig krachen lassen und wirklich die 220 μ F ausgewählt. Bis jetzt habe ich keine nachteiligen Effekte dadurch feststellen können.

36 Gitter2 Angstwiderstand

Noch eine Kleinigkeit. Auf der Suche nach dem heiligen Gral der sauberen Gleichspannungen habe ich mit Thomas (siehe Kapitel 23) auch noch -mehr zufällig- einen weiteren Fehler gefunden. Nach dem Abschrauben der Schutzhaube im Längsregler-Teil haben wir einen halbverkokelten R110 entdeckt.

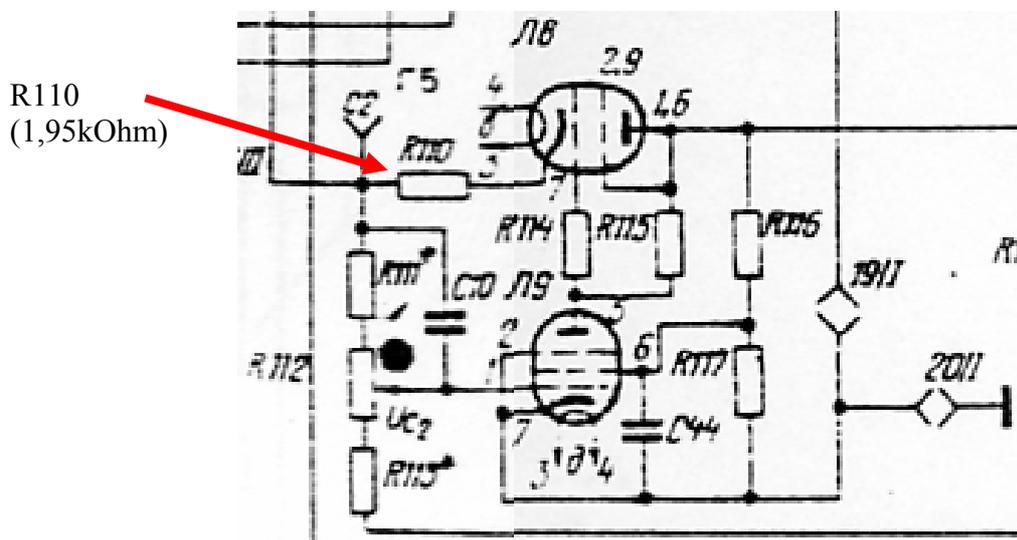
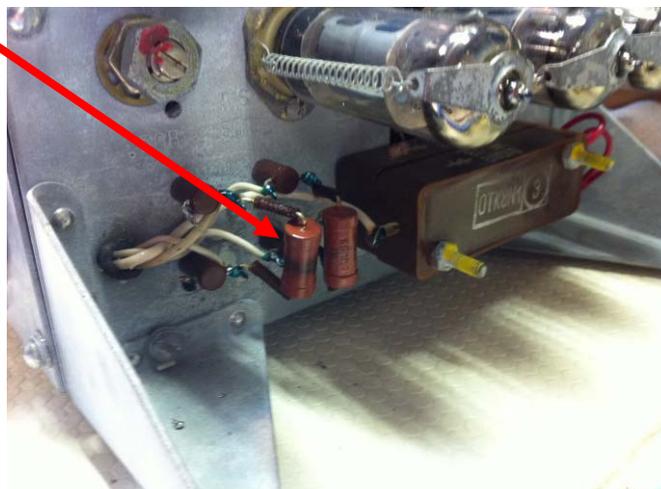


Abbildung 124: Schaltplanauszug Gitter2-Regelung

So sah er aus:



Und gegen das da haben wir ihn ausgetauscht:

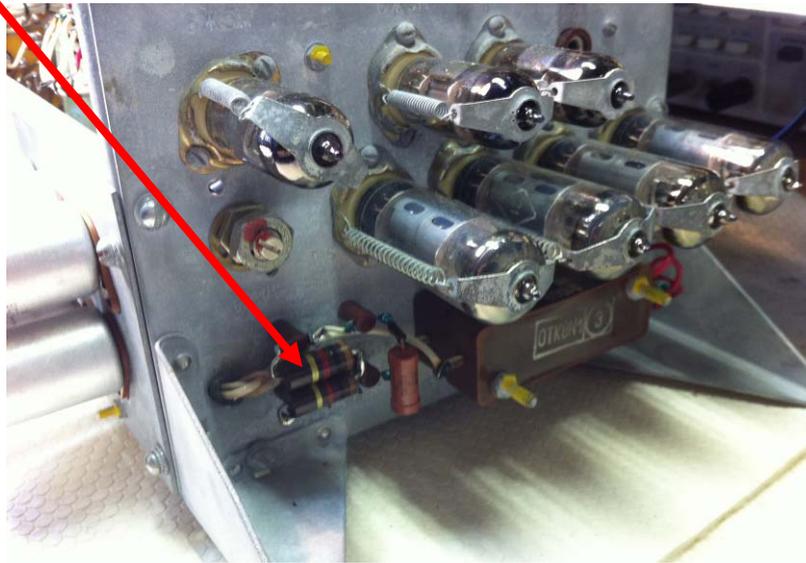


Abbildung 125: R110 wurde repariert

R110 ist eine Art "Angstwiderstand", der den Stromfluss aus der Spannungsquelle für die Gitter2-Spannung begrenzt. Offensichtlich ist hier in der Vergangenheit einmal viel Strom geflossen, so dass einer von den R110's (besteht im Original aus zwei parallel geschalteten 3,9kOhm Widerständen) überlastet wurde.

Statt der Parallelschaltung habe ich nun eine Reihenschaltung von zwei 1,0kOhm-Widerständen eingebaut, die hatte ich gerade noch herumliegen. Laut Manual soll die Kombination 1,95kOhm haben; nun hat sie 2,0kOhm, das ist hier aber absolut unkritisch. Viel wichtiger ist es, dass die Kameraden eine hohe Belastbarkeit haben (2Watt), damit sie nicht gleich wieder Feuer legen im L3.

Gut, auch diese Baustelle ist nun wieder geschlossen.

Achja, der dicke Klotz unten rechts mit den gelb lackierten Gewindestangen ist übrigens der Gleichrichter für die Anodenspannung (Dioden D5 und D6).

37 Shunt PCB

Zwischendurch war ich mal auf Widerstandssuche und habe das Bestückungsbild der Leiterplatte aufgenommen, die direkt unter dem Messinstrument zu finden ist. Das fehlte bislang im Manual immer.

Vorderseite

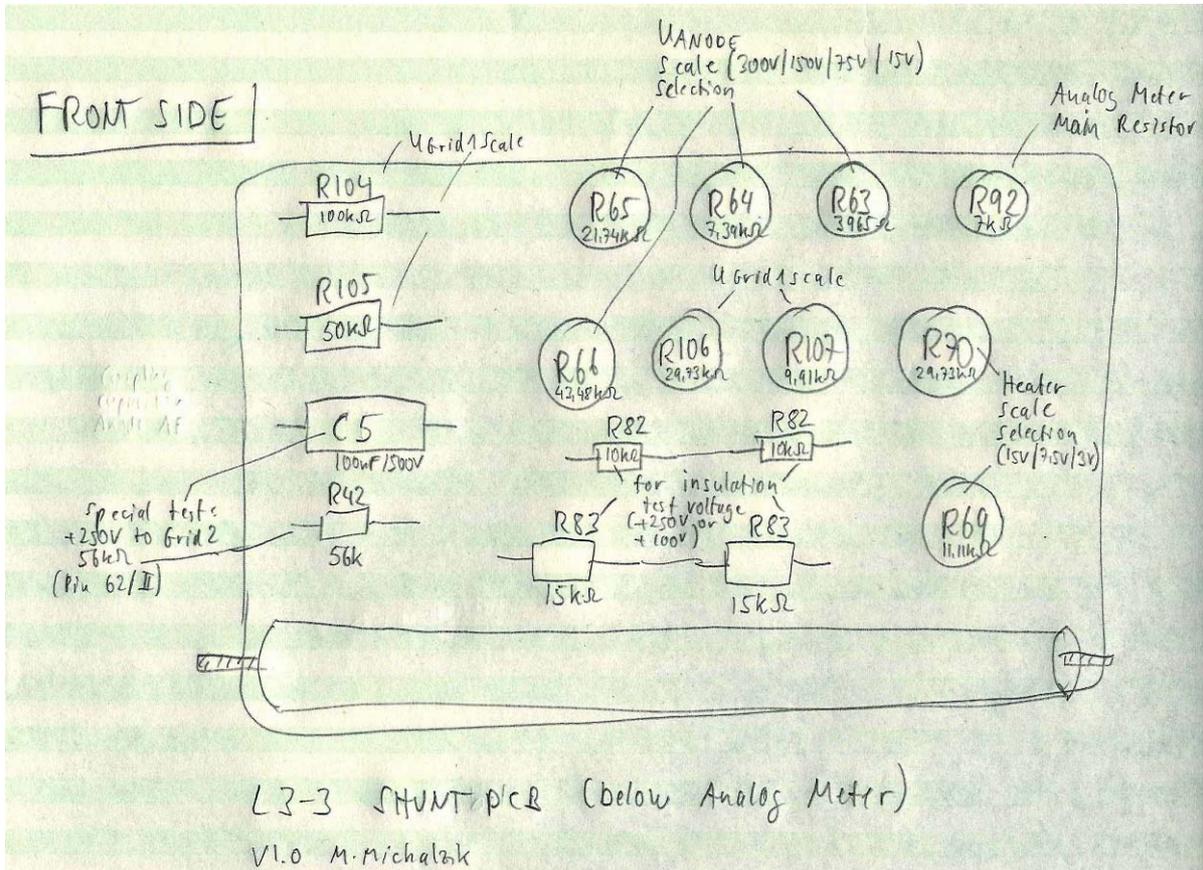


Abbildung 126: Vorderseite der Shunt-PCB

Rückseite:

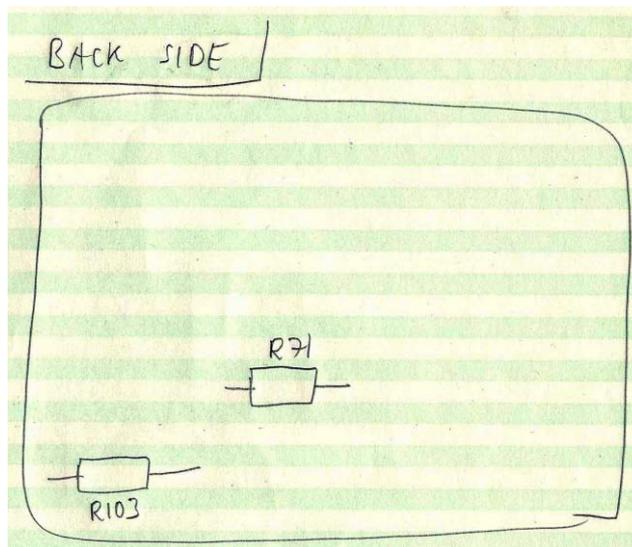


Abbildung 127: Rückseite der Shunt-PCB

38 μ A-Meter

Das Mikroamperemeter ist die letzte Baustelle, die ich nun beackern werde. Es wird dazu benutzt, Feinschlüsse zwischen den Elektrodenelementen zu erkennen sowie Gitterstrom zu messen. Weiterhin kann man damit auch "Anodenstrom zu Beginn der Kennlinie" messen, wie das Manual nicht aufhört, zu beteuern. Leider weiß jedoch kaum jemand, was "Anodenstrom zu Beginn der Kennlinie" genau sein soll. Die "Kennlinie" könnte die bekannte Übertragungsfunktion $I_a(-U_g)$ sein. Sie "beginnt" nach meiner Logik aber bei $U_g=0V$. Um den Stromfluss einer KT88 bei 0Volt Gitterspannung zu messen, braucht man aber kein μ A-Meter, sondern einen 10A-Shunt!

Das kann also nicht gemeint sein. Aber was ist gemeint? Keine Ahnung, das bleibt für mich ein Rätsel. Ist mir aber auch relativ egal- ich vermisse nichts an meinem L3, wofür mir eine Messmöglichkeit fehlen würde.

38.1 Inbetriebnahme "Isolation"

Um das μ A-Meter zu überprüfen, habe ich einfach einen Leckstrom mit einer Widerstandsdekade zwischen Kathode und Gitter simuliert. Durch das Banana-Deck ist das ja nun eine Kleinigkeit.

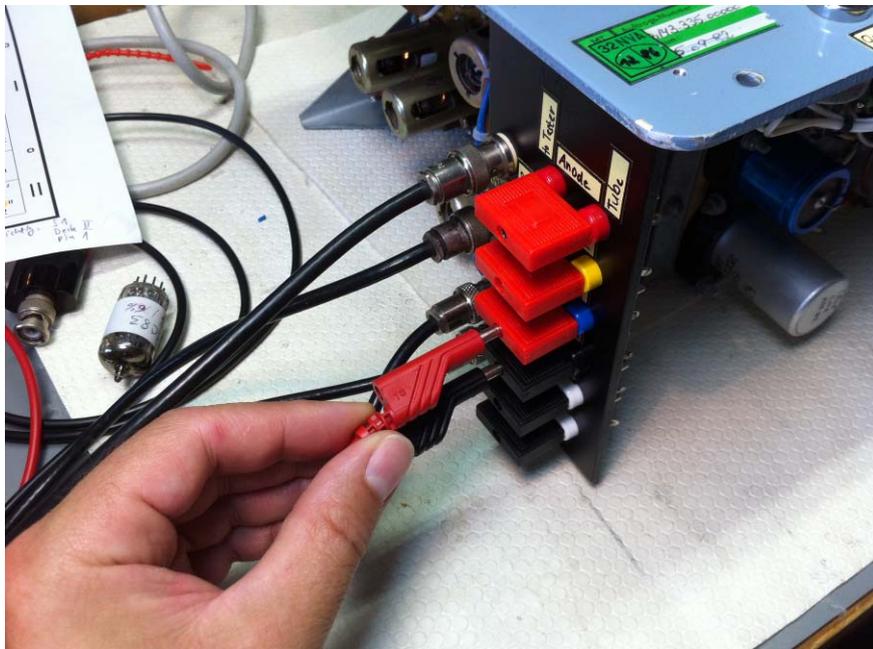


Abbildung 128: Leckstrom künstlich simulieren

Einfach die von meinem Opa Kurt noch selbstgebastelte Widerstandsdekade rangestöpelt, wie wild dran herumgekurbelt und noch das UDS5 in Reihe, damit ich den wirklich fließenden Strom auch messen kann.



Abbildung 129: Widerstandsdekade Modell "Kurt" und UDS5

Ich stelle einmal locker flockige $100\mu\text{A}$ ein, damit kann man noch nicht so schrecklich viel kaputt machen, falls ich mich irgendwo verstopfeln sollte. Aber siehe da:



Abbildung 130: Isolationsmessung mit $100\mu\text{A}$ Teststrom

Scheint zu gehen! Offensichtlich scheint der Endausschlag bei $150\mu\text{A}$ zu liegen. Eigenartig- aber im Steckfeld oben ist doch $3\mu\text{A}$ gesteckt...hmmm...??

Allen L3-Besitzern sei jetzt gesagt, dass man hier schnell in eine Falle tappen kann!

Die Skala für das μA -Meter ist bei der Funktion "Isolationsmessung" immer auf $150\mu\text{A}$ fest eingestellt- völlige egal, was man oben im Steckfeld festgelegt hat! Musste ich auch erstmal drauf kommen. Die Bedienungsanleitung hat dann aber weitergeholfen... ;-)

Erwähnenswert erscheint mir noch, dass man die Prüfspannung für die Isolationsmessung im Steckfeld einstellen kann: es stehen $+250\text{V}$ und $+100\text{V}$ wahlweise zur Verfügung. Das finde ich mal angenehm- schließlich ist so eine hohe Prüfspannung auch absolut praxistauglich.

38.2 Inbetriebnahme "Gitterstrom"

Um wirklich die ganzen anwählbaren Messbereiche des μA -Meters zu testen, musste ich also eine andere Betriebsart wählen. Ich entschied mich für den Gitter1-Strom, den man mit dem rechten PARAMETER-Drehschalter wählen kann.

Also los: die Widerstandsdekade zwischen Gitter1 und Kathode gesteckt, den L3 entsprechend eingestellt und dann losprobiert.



Abbildung 131: L3 bereit zur Gitterstrom-Messung

Mit der Schraubzwinde habe ich mal den MESSUNG-Knopf arretiert, weil mir das Drücken zu anstrengend war :-)

Die mit der Widerstandsdekade justierten $3\mu\text{A}$ zeigen am UDS5:



Abbildung 132: $3\mu\text{A}$ SOLL

und am L3:

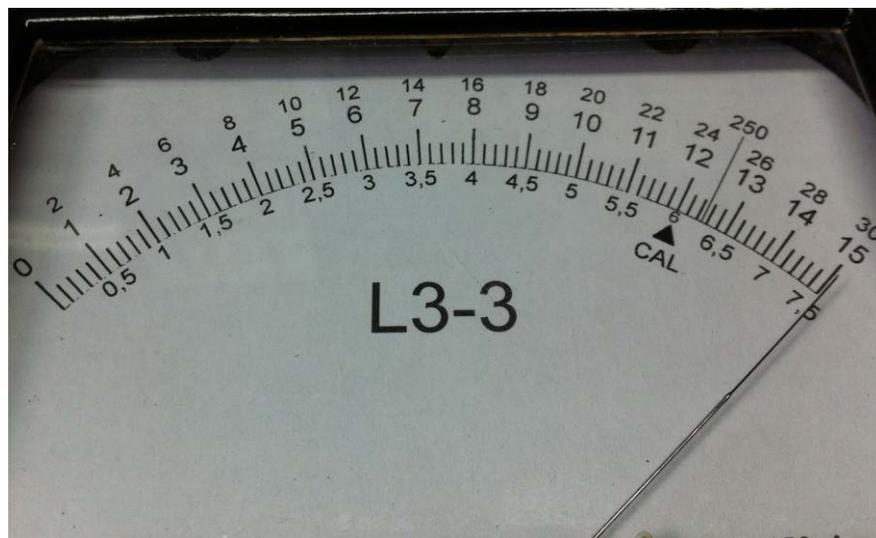


Abbildung 133: $3\mu\text{A}$ IST

Das geht mir jetzt mit allen Messbereichen so. Die Anzeigegenauigkeit ist durchweg ohne Tadel. Liegt möglicherweise auch daran, dass das μA -Meter von mir ja komplett mit refurbished wurde, als ich die Audio-PCB aufgearbeitet habe (da sitzt es ja mit drauf). Die neuen Bauteile tun unserem Kumpel L3 also offensichtlich sehr gut.

Ich wollte noch was zum Vorzeichen des UDS5 sagen: dort sieht man "-3 μ A" im Display. Das liegt daran, dass die Gitter1spannung normalerweise negativ ist. Daher fließt der Strom ja auch rückwärts- was mir das UDS5 mit dem Minus mitteilen will. Also alles in Ordnung, kein Grund zu Sorge.

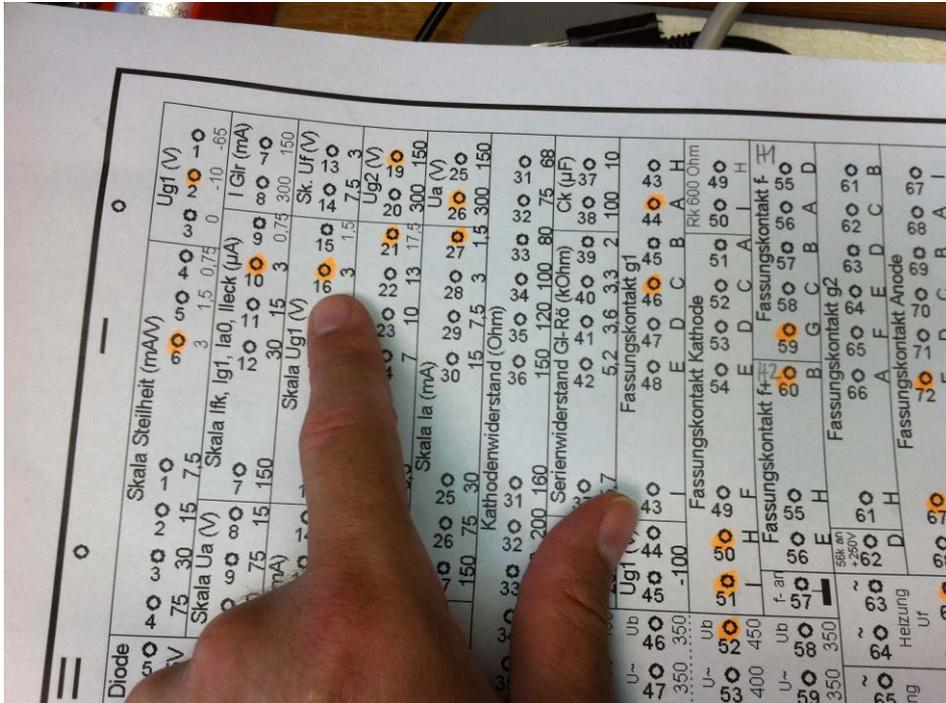


Abbildung 134: die Universalkarte mit Markierungen zur Messung einer ECC83

38.3 Fazit

Ich könnte Euch jetzt noch haufenweise Fotos der verschiedenen μ A-Skalen und des L3-Messinstruments bei sauberem Vollausschlag abdrucken, aber das würde uns nicht entscheidend weiterbringen. Jeder der Messbereiche wurde geprüft und funktioniert ohne Auffälligkeit. Ich erkläre das μ A-Meter damit für einsatzbereit! :-)



Abbildung 135: Einstellung im L3 für μ A-Meter Betriebsart "Gitterstrom"

39 Abschlusskapitel (1. Versuch)

Man glaubt es kaum, aber auch dieser Bericht soll sich nun dem Ende neigen. Eigentlich sollte man -didaktisch korrekt- am Ende einer Arbeit noch einmal alles zusammenfassen, damit der Stoff im Gehirn besser hängen bleibt. Ich behaupte jedoch, diese Regel wurde eher deswegen erfunden, damit Professoren die langweiligen Ergüsse Ihrer Diplomanden nicht über hunderte von Seiten im Detail ertragen müssen, sondern am Ende lieber den ganzen Schwall in geballter Form abkriegen. Die wahren Männer wollen es doch meist lieber "kurz und schmerzvoll".

Weil ich hier keine Diplomarbeit schreibe, sondern einen einfachen Reparaturbericht, muss ich mich nicht an diese Regel halten. Zum einen schon deshalb, weil ich mich auch traue, Fotos von Erdbeerkuchen in einem technischen Bericht mit abzudrucken (kommt, gebt es zu: der Kuchen von unserem Bäcker in Abbildung 64 ist eine Wucht, oder??) und zum anderen, weil ich die Art von Arbeiten, wo man noch eine Zusammenfassung schreiben musste, nun hoffentlich in meinem Leben schon alle hinter mir habe.

Oder...wer weiß ;-)

Auf jeden Fall bin ich mit meinem L3 nun "durch" und um ehrlich zu sein, gelüstet es mich nun auch langsam nach Neuem. Zum Beispiel den Bau eines Holzunderstands im Garten- natürlich ordentlich mit Beton-Fundamenten ;-)) aber auch das Beobachten der ersten Krabbelversuche unseres kleinen "neuen Bastelprojekts" können doch auch ganz niedlich sein. Dafür werde ich mir nun erstmal Zeit nehmen.

40 was man sonst noch machen könnte...

...aber nicht macht oder zumindest lieber nicht mache sollte.

Eine ganze Menge. Man könnte die internen +250V einmal so richtig auseinander nehmen und untersuchen- auch hinsichtlich Restbrumm und Auswirkungen auf die daran angeschlossene Elektronik. Man könnte den MESSUNG-Knopf gegen einen Schalter austauschen, damit man keine Schraubzwinde mehr zum Festhalten braucht. Oder es sich "so richtig geben" und die ganzen Spannungsteiler für Anodenspannung, Strom, Gitterspannung, usw.. abgleichbar machen. Oder den 1,4kHz-Generator durch eine modernere Version ersetzen. Oder den Steilheits-Frequenzgang aufnehmen und analysieren, oder, oder, oder...

Wer immer sich an sowas wagen sollte, der darf mir gerne eine email schreiben und seine Erfahrungen mitteilen! Ich werde ihn auch nicht auslachen, weil ich weiß, auf welche bescheuerten Ideen man manchmal kommt, wenn man nur lange genug über was nachdenkt. Als Belohnung verrate ich dann auch gerne die Adresse unseres Bäckers mit dem leckeren Obstkosten aus Abbildung 64. :-)

41 Thomas lässt die Bombe platzen

Das Beste kommt normalerweise immer zuletzt. Und so kam es auch hier. Thomas schrieb mir kurz vor Abschluss des Berichts folgende Zeilen:

"Ich will ja Deine Freude nicht dämpfen, aber ich glaube, daß Du durch die Widerstandsänderung nur einen Fehler durch einen anderen kompensiert hast. Sonst müßten ja alle L1/L3 den gleichen Fehler haben und so blöd sind die Russen sicher nicht.

Wenn ich die Sergeev-Schaltung richtig verstehe, ist sie eine Regelschaltung, um den dynamischen Anodenwiderstand zu verringern.

Beleg dafür ist, daß lt. Schaltbild der Steilheitsmesser am falschen Ende von R57 angeschlossen ist. Offenbar werden die 1,4 kHz vom Prüfling über C7 an g1 von VL4 und dann verstärkt g1 von VL1||VL2 zugeführt und die daraus entstandene Kompensationsspannung über die VL1/2-Kathoden dem NF-Messer und über R57 dem Prüfling zugeführt. VL1/2/4 haben demnach eine Doppelfunktion! Viel Spaß beim Knobeln ;-)"

Mist!

Das klingt leider nur allzu einleuchtend! Ich darf das hier sehr gerne öffentlich zugeben, denn von dem ehemaligen Gruppenleiter des Messtechnik-Teams eines großen, deutsches Traditionsunternehmens auf einen Denkfehler aufmerksam gemacht zu werden, ist sicher keine Schande! Man darf daher mit großen Respekt behaupten, dass Thomas diesen Job zu Recht hatte.

Nach diesem Denkanstoß habe ich die Sergeev-Schaltung nun wohl endlich einigermaßen kapiert. Ich erklär's Euch mal kurz, was Thomas mit nur einem kurzen, routinierten Blick natürlich sofort gesehen hat und wofür ich erst die "Kopfnuss" brauchte:

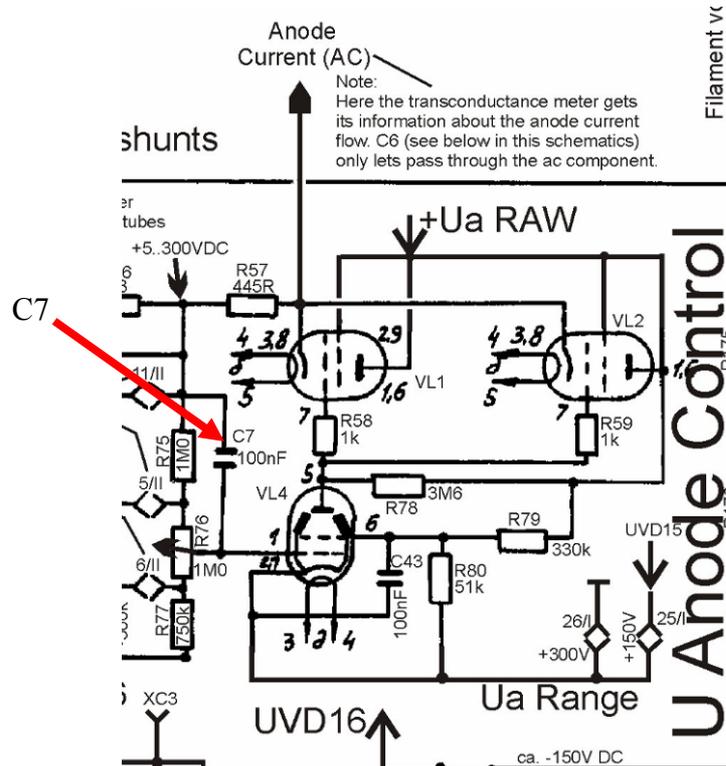


Abbildung 136: Schaltplanauszug L-3

Im L3 wird doch tatsächlich die Anodenspannungs-Endstufe für die Steilheitsmessung mit benutzt! Und zwar wird der durch den Anodenwiderstand R57 fließende Anodenwechselstrom als Regelgröße über C7 mit auf die Endstufe eingekoppelt. Dadurch regelt die Endstufe die durch den 1,4kHz Prüfgenerator erzeugte und durch die Prüfröhre schließlich verstärkte Signalspannung wieder aus! Was wir letztendlich mit dem selektiven Voltmeter dann messen, ist die Kompensationsspannung der Endstufe, mit der die Anodenwechselspannung wieder ausgeregelt wird!

Das ist genial: denn damit entkoppelt man den ganzen Kram nicht nur, sondern stellt auch einen direkten Bezug zur Gerätemasse her! Man muss die nachfolgenden Schaltungsteile (selektives Voltmeter) nicht mehr floaten lassen, sondern kann sie ganz einfach massebezogen weiterverarbeiten!

Mich erinnert dieses Prinzip ein wenig an PLL-Oszillatorschaltungen, wo manchmal die Regelspannung einer PLL zum Demodulieren/Modulieren missbraucht wird oder sogar eine normale NF-Endstufe funktioniert oft nach dem Prinzip, dass sie stets bestrebt ist, eine an den Eingang gelegte "Störgröße" (das ist bei uns die Signalspannung) am Ausgang auszuregeln und damit stets im eingeschwungenen Zustand zu verbleiben. Solang die Endstufe (oder die PLL) schnell genug ist, funktioniert das ganz hervorragend!

Mit Thomas' Theorie kann ich nun schlagartig auch mindestens zwei weitere Dinge erklären, die mir aufgefallen sind:

1. Den nach unten abgeschnittenen Frequenzgang ($f < 200\text{Hz}$). Hier reicht nämlich vermutlich der 100nF Koppenkondensator C7 nicht mehr aus, um die Anodenwechselspannung stark genug in die Endstufe einzukoppeln, womit das Ausregeln nicht mehr so gut funktioniert und die Regelspannung kleiner wird. Damit auch die Anzeige des Steilheitsmessers!
2. Warum eine vergrößerte Filterbank im Anodenstromkreis den Messwert nicht verändert: die Sergeev-Schaltung ist konstruktionsbedingt bereits unempfindlich gegen eine wellige Anodenspannung; sie "schwimmt" quasi auf der Welligkeit der Anodenspannung "mit"! Eine weitere Glättung der Anodenspannung bringt hier kaum einen weiteren Vorteil.

Man muss den Konstrukteuren gegenüber mal wieder den Hut ziehen; sie haben hier wirklich ein großartiges Gerät entwickelt. Angesichts dieser Leistung lässt es sich auch verschmerzen, wenn der Schaltplan nicht so toff gezeichnet ist, wie ich es mir gerne gewünscht hätte. Aber vermutlich haben sich auch die russischen Ingenieure intelligentere Hobbybastler gewünscht, die ihre Schaltung gleich durchblickt hätten- trotz schlechter Darstellung. Damit sind wir quitt, denke ich :-)

Zum zweiten Thema, das Thomas ansprach: nämlich die zusätzlichen 200 Ohm im Anodenwiderstand R₅₇:

Thomas erscheint die von mir vorgeschlagene Änderung des Anodenwiderstands etwas suspekt, denn so ein krasser Designfehler würde den "Russen"* bei der Entwicklung des L-3 sicher nicht passieren!

*Anmerkung: Dieser Ausdruck bekräftigt unseren Respekt vor den Entwicklern des L3- ganz gleich, welcher Nationalität sie waren! Ich schreibe das so explizit, dass mir hier einer am Ende nicht noch Fremdenfeindlichkeit nachsagt- im Gegenteil: ich bin bekennender "Vielfalt-Fan" und Thomas ebenso!

Ich meine auch, dass der L-3 viel zu clever konstruiert ist, um sich letztendlich dann noch so einen Entwicklungs-Patzer zu erlauben. Vielmehr vermute ich, dass der L-3 zum Zeitpunkt seiner Auslieferung einwandfrei und mit sehr hoher Präzision gearbeitet hat. Möglicherweise hat dann aber der Magnetismus im Messwerk des L3 etwas nachgelassen, wodurch er nun zur Anzeige der Messwerte etwas mehr Strom benötigt als früher. Ein solches Phänomen ist bei vielen älteren Geräten mit analogen Messinstrumenten zu beobachten und daher nicht ungewöhnlich. Und letztendlich konnte ich mit meiner langen Messreihe in Kapitel 18 bereits nachweisen, dass das L3-Instrument ja durchaus einen ganz geringen Prozentsatz zu wenig anzeigt.

Nun- der um 200 Ohm größer benötigte Anodenwiderstand erzeugt letztendlich bei Stromfluss natürlich jetzt einen um etwa 5% größeren Spannungsabfall, somit also eine um 5% größere Ausgangsspannung. Ich vermute, dass das die leichte "Taubheit" des Messinstruments kompensiert. Und weiterhin ist der 200 Ohm-Widerstand ja auf Grundlage einer richtigen Messung des wirklich benötigten Stromflusses durch das Messinstrument berechnet worden (-nämlich 125,5 mV statt 120 mV - wir erinnern uns!). Ich vermute sehr stark, dass -wenn das Messinstrument bereits bei 120 mV den korrekten Ausschlag auf die CAL-Marke machen würde- auch der serienmäßig eingebaute R57 in seinem Wert ganz genau passt. (Ich habe es einmal nachgerechnet und es kommt fast ganz genau 120 mV heraus).

Von einem "Serienfehler" würde ich daher also keinesfalls sprechen. Vielmehr jedoch von einem möglicherweise globalen Problem vieler L3's- ich kann einfach nicht ignorieren, dass nicht nur meiner um etwa 5% zu kleine Werte anzeigte, sondern mir auch Jac von seinen beiden L-3's ganz ähnliche Abweichungen berichtete. Das sind 3 von 3 Geräten- zu viel für einen Zufall, oder?

Auf jeden Fall reichte diese Erkenntnis es bereits aus, dass sich Jac schon um neue Gleichrichterdiode Gedanken machte- ich nehme mal an, jetzt hält ihn auch nichts mehr, wo er weiß, wie man diese Ungenauigkeit im L-3 noch wirksam bekämpfen kann. Und- sein wir mal ehrlich- selbst ohne diese Maßnahme liefert auch ein nicht modifizierter L-3 mehr als hinreichend genaue Messwerte! Wir klagen hier also auf sehr, sehr hohem Niveau. Viele Hickok-Besitzer wären froh, auch nur in die Nähe dieser Genauigkeit zu gelangen. (Ich hoffe, ich trete damit niemandem zu nahe; aber ich als ebenfalls-Hickok-Besitzer zähle mich da auch durchaus mit dazu und darf das daher vielleicht sagen!)

Und was wir auch bedenken müssen: selbst unsere Prüflinge schwanken mehr oder weniger stark im Prozent-Bereich! Alleine durch Erwärmung oder nur geringfügige Änderung der Heizspannung erhalten wir so große Unterschiede in der Steilheit, dass die zusätzliche Ungenauigkeit bei der L3-Steilheitsmessung kaum mehr ins Gewicht fällt.

Das wollte ich noch einmal feststellen, bevor mir nun jeder (bisher) glückliche L-3-Besitzer mir nun frustriert seine Röhrenprüfgerätesammlung zum Verschrotten vor die Haustür stellt. Mit einem L-3 (modifiziert oder nicht) misst man immer "ganz vorne" mit, kein Zweifel!

42 Abschlussmessung "Steilheit"

Um mein schlechtes Gewissen doch noch irgendwie zu beruhigen, dass ich jetzt nicht die ganze L3-Community mit 22Ohm-Anodenwiderständen vergifte und nachher möglicherweise noch Unsinn erzähle, wollte ich die Auswirkung meines im Wert erhöhten R57 Anodenwiderstands -wenigstens stichprobenartig- noch einmal final überprüfen.

42.1 Wir messen...

Alle meine Messungen habe ich bislang immer nur mit einer ECC38 in einem bestimmten Steilheits-Messbereich (3mA/V) durchgeführt. Auf Grundlage der Messungen in genau diesem Betriebszustand des L3 habe ich meine Verbesserungen evaluiert und eingebaut. Nun könnte es ja sein, dass nur genau *dieser* Messbereich in seiner Genauigkeit verbessert wurde, im Gegenzug jedoch sich andere Messbereiche aber möglicherweise verschlechtert haben! Um das zu überprüfen, habe ich -zwar immer noch mit derselben ECC83- einige andere Gm-Messbereiche ausprobiert. Der L3 bietet hier einen empfindlicheren Messbereich mit 1,5mA/V sowie den größeren mit 7,5mA/V. Alle anderen Bereiche machen hier wenig Sinn, da der Zeiger entweder die Skala verlassen oder die Ausschläge so gering wären, dass man auf der Skala nichts mehr ablesen könnte.

Als Referenz schleife ich wieder mein UDS5 in den Anodenstromkreis ein, sowie messe mit dem URE3 bei aktivierten NF-Filtern die am Röhrensockel anliegende Gitterwechselspannung. Dann berechne ich aus diesen Werten die tatsächliche Steilheit. Die vergleiche ich mit dem Wert, den ich am L3-Anzeiginstrument ablese.

Die Messung mache ich einmal direkt nach dem Einschalten des L3 und dann nochmals, wenn das Gerät (nach Spezifikation mindestens eine halbe Stunde lang) warmgelaufen ist.

Kaltstart					
Gm Messbereich [mA/V]	Gitterspannung, AC [Veff]	Anodenstrom, AC [Veff]	Gm berechnet [mA/V]	Gm abgelesen [mA/V]	Unterschied [%]
1,5	0,2376	0,0003092	1,30	1,34	3,0
3	0,1197	0,0001574	1,31	1,32	0,4
7,5	0,04977	0,0000679	1,36	1,26	-7,6

Abbildung 137: Genauigkeit der Steilheitsmessung bei Kaltstart

Und dasselbe nochmal nach ca. 1 Stunde:

Warmgelaufen (t ⁻¹ h)					
Gm Messbereich [mA/V]	Gitterspannung, AC [Veff]	Anodenstrom, AC [Veff]	Gm berechnet [mA/V]	Gm abgelesen [mA/V]	Unterschied [%]
1,5	0,238	0,000307	1,29	1,33	3,1
3	0,12055	0,0001586	1,316	1,32	0,3
7,5	0,0508	0,0000694	1,37	1,25	-8,5

Abbildung 138: Genauigkeit der Steilheitsmessung nach Warmlauf

Hier die Anzeigen des L3. Darstellung etwas verfälscht durch Prallaxenfehler beim Fotografieren. Korrekt sind die Werte aus der Tabelle.

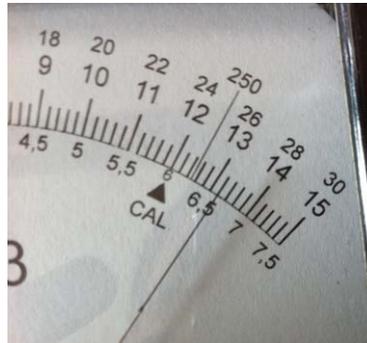


Abbildung 139: Bereich "1,5mA/V"

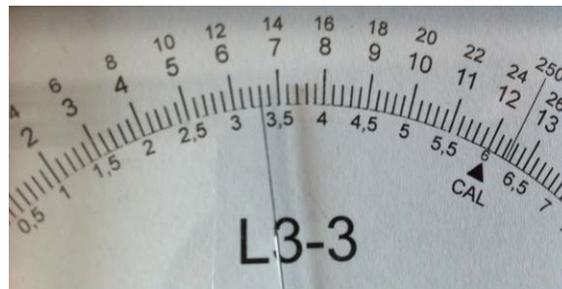


Abbildung 140: Bereich "3mA/V"

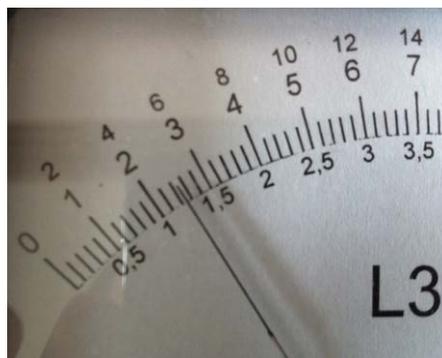


Abbildung 141: Bereich "7,5mA/V"

42.2 ...und wir lernen daraus...

Überraschenderweise ermittelte ich zwischen kaltem und warmem L3 kaum Unterschiede. Das bedeutet, dass von der im Manual vorgeschriebene Warmlaufphase in der Praxis auch abgewichen werden kann, ohne gleich große Messfehler in Kauf nehmen zu müssen. Diese Nachricht ist erst einmal gut für alle die, die nur wenig Zeit haben und nicht immer gleich eine ausgedehnte Kaffeepause einlegen wollen, bevor sie mit dem L3 eine Messung beginnen (das trifft übrigens auch für mich zu).

Dann bestätigt uns die Messung, dass der L3 in dem Messbereich, der von der ECC83-Prüfkarte vorgeschlagen wird, im Steilheitsmesser jetzt tatsächlich reproduzierbar eine sehr gute Anzeigegenauigkeit bietet! Ein Messfehler von nur +0,4 bzw. +0,3% darf den L3 in der Familie der Röhrenprüfgeräte in die absolute Spitzenklasse katapultieren!

Interessant ist, dass der nächst kleinere Messbereich (1,5mA/V) eine etwas größere Ungenauigkeit aufweist, obwohl er mit der Anzeige des Messwerts das Anzeigeelement bis zu etwa 90% seines Darstellungs-Skalenbereich aussteuert. Also dort, wo das Instrument eigentlich die größte Genauigkeit besitzen müsste. Trotzdem ist der Anzeigefehler in diesem Messbereich sogar etwas größer: nämlich etwa +3%. Immernoch ein Wert, mit dem man gut leben kann!

Erwartungsgemäß ist der Anzeigefehler im höheren 7,5mA/V-Messbereich am größten. Hier haben wir eine Abweichung von mehr als -7%. Ich erkläre mir das so, dass sich hier die Amplituden- Nichtlinearität des selektiven Voltmeters zeigt, das ja besonders bei kleinen Signalspannungen besonders hohe Fehler erzeugt. Das Messinstrument schlägt hier durch die hohe Skala nur zu etwa 15% seines möglichen Anzeigebereichs aus. Das beweist uns, dass wir uns hier definitiv in diesem kritischen Bereich der besonders hohen Abweichungen bewegen.

42.3 Fazit

Es ist zwar gut gemeint, aber diese Messung kann -seriös denkend- dennoch nur als kleine Stichprobe für einen Einzelfall bezeichnet werden. Um eine wirklich belastbare Aussage über die zu erwartende Ungenauigkeit des L3 bei der Steilheitsmessung zu erzeugen, reicht das Überprüfen mit einer einzelnen Röhre in nur drei verschiedenen Messbereichen einfach nicht aus. Hier müssten auch andere Röhrentypen, die andere Steilheits-Messbereiche erfordern, vermessen werden. Schlichtweg aus Zeit- und Aufwandsgründen habe ich das hier nicht gemacht, sondern beschränke mich auf diese Stichprobe.

Realistisch gedacht, bin ich allerdings überzeugt, dass ich selbst mit dieser einfachen Stichprobenmessung immernoch mehr Erkenntnisse über meinen L3 gewonnen habe, als viele andere L3-Besitzer in ihrem Leben je über ihr Gerät lernen werden!

Zu provokant? Ich begründe Euch, warum ich so denke...

43 Kalibrierung (Abschlusskapitel, 2. Versuch)

Ich muss leider diesen Eindruck gewinnen, wenn ich mir die Beschreibungen von Auktionen einiger online-Auktionshäuser mal etwas genauer ansehe. Da weiß so ziemlich *niemand*, was genau er da eigentlich verkauft. Wie Jac mir schon traurig schreibt: es gebe leider kaum einen Markt für gut und sorgfältig restaurierte Röhrenprüfgeräte. Viele Käufer entscheiden sich meist ausschließlich über den Preis- ohne lang zu überlegen, was sie dafür eigentlich bekommen. Ich hoffe, ich trete hier niemandem zu nahe, meine persönliche Auffassung ist aber die:

Wenn wir über ein ehrliches PRÜFgerät reden, mit dessen Hilfe ich später Bauteile auf ok oder nok PRÜFEN will (ggfs. auch darüber entscheide, sie bei Defekt wegzuschmeißen oder nicht), kann ich ein online-Schnäppchen in unbekanntem Zustand einfach nicht gebrauchen. (Einzige Ausnahme: ich kaufe es mit dem Ziel, es später selber aufzuarbeiten und zu kalibrieren)! Was mich hier nur wirklich weiterbringt, ist ein PRÜFgerät, auf das ich mich nachweislich verlassen kann. Und das kann ich bei so alten Möhren nur, wenn sie vorher wenigstens geprüft; besser jedoch: komplett restauriert und justiert sind. Dass das Aufwand bedeutet und damit dieser Aufwand am Ende auch irgendwie bezahlt werden will, liegt in der Natur der Sache. Wenn man einigermaßen sachkundig ist und die Zeit dazu hat, kann man das selber machen- wie ich hoffe, in diesem Reparaturbericht bewiesen zu haben. Wenn aber nicht, dann führt am Kauf eines gründlich überprüften Gerätes eigentlich kein Weg mehr vorbei.

Was aber tun, wenn man doch nicht widerstehen und den "Schnäppchen-Knopf" bereits schon geklickt hat? Dann solltet ihr das tun, was man in der professionellen Messtechnik immer macht, wenn man herauskriegen will, ob ein Messgerät wirklich funktioniert: man besorgt sich kalibrierte Prüfnormale, von denen man ganz genau weiß, welchen Messwert sie im Messgerät erzeugen müssen. Das vergleicht man dann mit der tatsächlichen Anzeige und schon weiß man ziemlich schnell, ob das eigene Messgerät innerhalb Spezifikation arbeitet oder nicht. Ich möchte jetzt keine spezielle Werbung machen, aber Jac's Firma www.jacmusic.com ist tatsächlich das einzig mir derzeit bekannte Unternehmen, das solch individuell ausgemessene Kalibrierröhren für Hobbybastler und Röhrensammler zum Verkauf anbietet! Aus meiner Sicht also ein echtes MUSS für jeden, der seriös Röhren prüfen bzw. messen will/muss.

Achja- eine kleine Anregung habe ich vielleicht noch: nicht jedes Kalibrierlabor besitzt eigene Prüfnormale. Manche werden gemietet, manchmal werden Normale auch zu Evaluationszwecke untereinander ausgetauscht und verglichen (man nennt diese dann "Transfornormale"), so dass man sich diese Teile nicht gleich selber kaufen muss.

Vielleicht wäre es eine gute Idee, den Kalibrierröhrensatz gegen eine Gebühr auch zum Ausleihen (z.B. 1 Woche) anzubieten! Solange wir im nicht-professionellen Sektor unterwegs sind, reicht es ja sicherlich aus, die Kalibrierung des eigenen Röhrentesters nur alle paar Jahre zu wiederholen. Dafür braucht man keinen eigenen Kalibrierröhrensatz, sondern gibt alle paar Jahre einmal die Leihgebühr aus- das würde bestimmt auch bei der Ehefrau und der Bastelkasse für Wohlwollen sorgen :-)

So, Leute, also fasst Euch ans Herz und überlegt Euch ganz ehrlich und gewissenhaft, wofür ihr Euer Röhrenprüfgerät wirklich einsetzen wollt- und wie Ihr garantieren wollt, dass es auch richtig funktioniert. Ich denke, ich habe oben schon ein paar gute Anregungen gegeben, die sicher zum Ziel führen ;-)

44 Auswechseln der Pico7-Fassung

Wie ich ja bereits erwähnte, interessierten mich am L3 ja besonders die Funktionen, die ich für den Test von Hammondorgel-Röhren brauche. Das sind in erster Linie ECC82, ECC83, 6X4, 6AU6, 6C4, 6550, 0C3, Die haben die Fassungen "Oktal", "Noval" - und eben auch die Pico-7.

Weil ich die Fassung am Ende zur Sicherheit auch noch ausgetauscht habe und weil's recht interessant war, schreibe ich nochmal was dazu.

Der Austausch dieser Fassung bereitet mir leider erst einiges Kopfzerbrechen, weil die Austauschfassung an ihrem Befestigungsflansch einen anderen Lochabstand als das Original hat. Leider ist der Abstand etwas kleiner, so dass ich nicht einfach ein neues Loch in den L3 jubeln kann (der Bohrer würde gerade so "halb" das alte Bohrloch treffen und sowas geht aus meiner Erfahrung immer schief). Ich muss mir was anderes einfallen lassen.

Die Lösung ist ein fast 8mm dickes Stück Aluminium, in das ich von unten die Kontur der neuen Röhrenfassung etwa 3mm tief ausfräse, so dass ich sie von unten in den Alu-Block versenkt einschrauben kann. So präpariert kann man den Alublock mit neuer Fassung auf genau der Stelle auflegen, wo vorher die alte Fassung ihren Platz hatte. Noch zwei Löcher bohren mit dem originalen Lochabstand und schon kann man meinen neuen Röhrenfassungsadapter von oben auf den L3 aufschrauben.



Abbildung 142: Adapterplatte (Frästeil)

So viel zur Idee. Die Umsetzung dauerte jedoch etwas:

Ich besitze zwar eine alte Bohrfräse (Baujahr ca. 1960, aber sehr gut in Schuss), mit der das Fräsen von Aluminium gar kein Problem ist, doch ist die Kontur der neuen Röhrenfassung oval. Solche runden Formen kann man ganz schlecht von Hand fräsen, hierzu braucht man eigentlich eine CNC-Fräse (Computersteuerung), die solch komplexe Formen einfach und sauber herausarbeiten kann. Da es 1960 noch keine CNC-Fräsen gab, muss ich eben versuchen, mit meinen Mitteln irgendwie das Beste daraus zu machen. Die Kontur ist daher nicht ganz so exakt geworden, aber ich bin dennoch zufrieden. Für "mit Hausmitteln gemacht von einem Bediener, der normalerweise nur einen Bürojob macht" gar nicht schlecht. Außerdem sieht man die Ausfräsung nachher ja sowieso nicht mehr, weil sie auf der Unterseite ist.

Nach dem Bohren der Löcher und Schneiden der Gewinde bekommt die Sache langsam ge-
sicht. Der Metallklotz wird noch etwas an den Ecken abgeschliffen, damit er etwas hübscher
aussieht. Heutzutage hat ja auch jedes "App" für's Telefon runde Ecken- sogar die Tagesschau
hat heute "runde Ecken", warum dann also nicht auch mein Adapter für's Röhrenprüfgerät. Ich
muss in Etappen schleifen, denn auf dem Bandschleifer wird der Alublock so schnell so heiß,
dass ich ihn selbst mit Handschuhen nicht mehr anfassen kann und ihn zwischendrin abkühlen
lassen muss.



Abbildung 143: Pico7-Fassung eingelegt

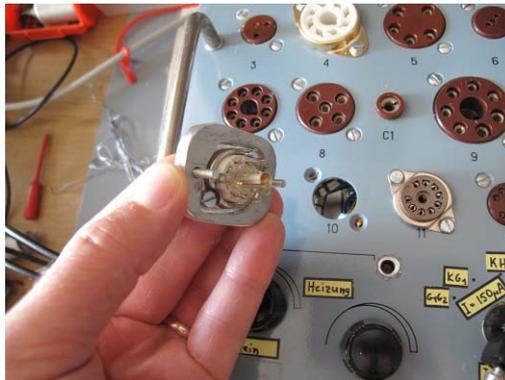


Abbildung 144: Pico7-Fassung bereit zum Einbau

So sieht das Endergebnis aus. Nostalgiepflieger flippen nun sicher komplett aus, aber bei mir
steht hier eindeutig die technische Funktion im Vordergrund! Naja...das sieht man ja auch ;-)



Abbildung 145: Pico7-Fassung fertig ausgewechselt

45 Vergleich mit Hickok TV-2

Vielleicht haben es ja einige von euch gemerkt: es fehlt natürlich noch die Auflösung, wie denn nun der abschließende Unterschied der Messwerte zwischen dem L3-3 und meinem Hickok TV-2 ist!

Ich habe das nun am Beispiel der ECC83, die angesichts der langen Projektlaufzeit des L3-Restaurationsprojektes inzwischen wahrscheinlich die am meisten getetete Röhre der Welt geworden ist, überprüft. Der L3 zeigt hier 1,28mA/V an. Und mein Hickok: 1,8mA/V!* Das ist ein Unterschied von immerhin 40%!

Hiermit habe ich also noch einmal mehr den abschließenden Beweis erbracht, dass man mit einem Hickok lieber nicht die μ hos-Skala verwenden sollte, sondern ausschließlich die auf dem Rollchart aufgedruckten Limits der %-Skala, die der Hersteller anhand umfangreicher Tests mit vielen, vielen fabrikeneuen Röhren damals für uns ermittelt hat. Nur so liefert der TV-2 eine sinnvolle Aussage, mit der man wirklich etwas anfangen kann!

46 Nachtrag: Poti-Änderung für Anodenspannung

VORSICHT! NICHT GETESTET!!!!

So klug die Russen hier sich wieder was mit der Sergeev-Schaltung ausgeknobelt haben, so sehr legen sie nun Jac's Wunsch nach dem 10Gang-Poti für die Präzisions-Anodenspannungsregelung auf's Kreuz:

Original hat das Poti zum Einstellen der Anodenspannung (R76) einen Wert von 1M Ω und ist in Reihe zu einem weiteren 1M Ω , sowie 750k Ω -Widerstand geschaltet. Im worst case (Anodenspannung +300V) liegt zwischen alle Elementen eine Spannung von 450Volt (negative Referenzspannung von -150V!), die dann nach dem Ohmschen Gesetz einen Querstrom von 164 μ A erzeugen würde. Dieser Strom wiederum erzeugt in allen drei Bauteile zusammen eine Wärme von insgesamt 74mW.

Leider gibt es 1M Ω Potis in 10Gang-Ausführung so gut wie nicht zu kaufen. Der höchste Wert eines solchen Potis im Katalog liegt bei 100k Ω .

Die Idee war nun, die Schaltung so umzudimensionieren, dass auch ein 100k Ω -Poti (das es ja in 10Gang-Ausführung gibt) eingebaut werden kann. In Abbildung 146 habe ich bereits eine meiner berühmten Terrassen-Block-Stift-Zeichnungen gemacht und die zu erwartenden Ströme und Spannungen mit dem Datenblatt des auserkorenen 100k Ω -Potis abgeglichen. Zumindest von der Seite her wäre das Unternehmen "Präzionspoti" denkbar.

Doch leider habe ich nun langsam Bedenken, ob das ggfs. das Regelverhalten der Sergeev-Schaltung durcheinander bringen könnte. Die Veränderung der Zeitkonstante mit C7 und R75,76,77 wäre die Folge, so dass C7 möglicherweise auch verzehnfacht werden muss- und hier kann ich noch nicht abschätzen, welche Konsequenzen das auf die dynamischen Regeleigenschaften hätte.

Ich drucke Euch meinen Terrassen-Bleistift-Kritzelblock zu diesem Thema trotzdem einmal ab- aber nur rein informativ, **da ungetestet!**. Wer es trotzdem probieren möchte, viel Spaß. Sagt mir aber nicht, dass ich Euch nicht gewarnt hätte.. ;-)

Falls es doch funktioniert, dann freue ich mich über eine kurze Rückmeldung per email!

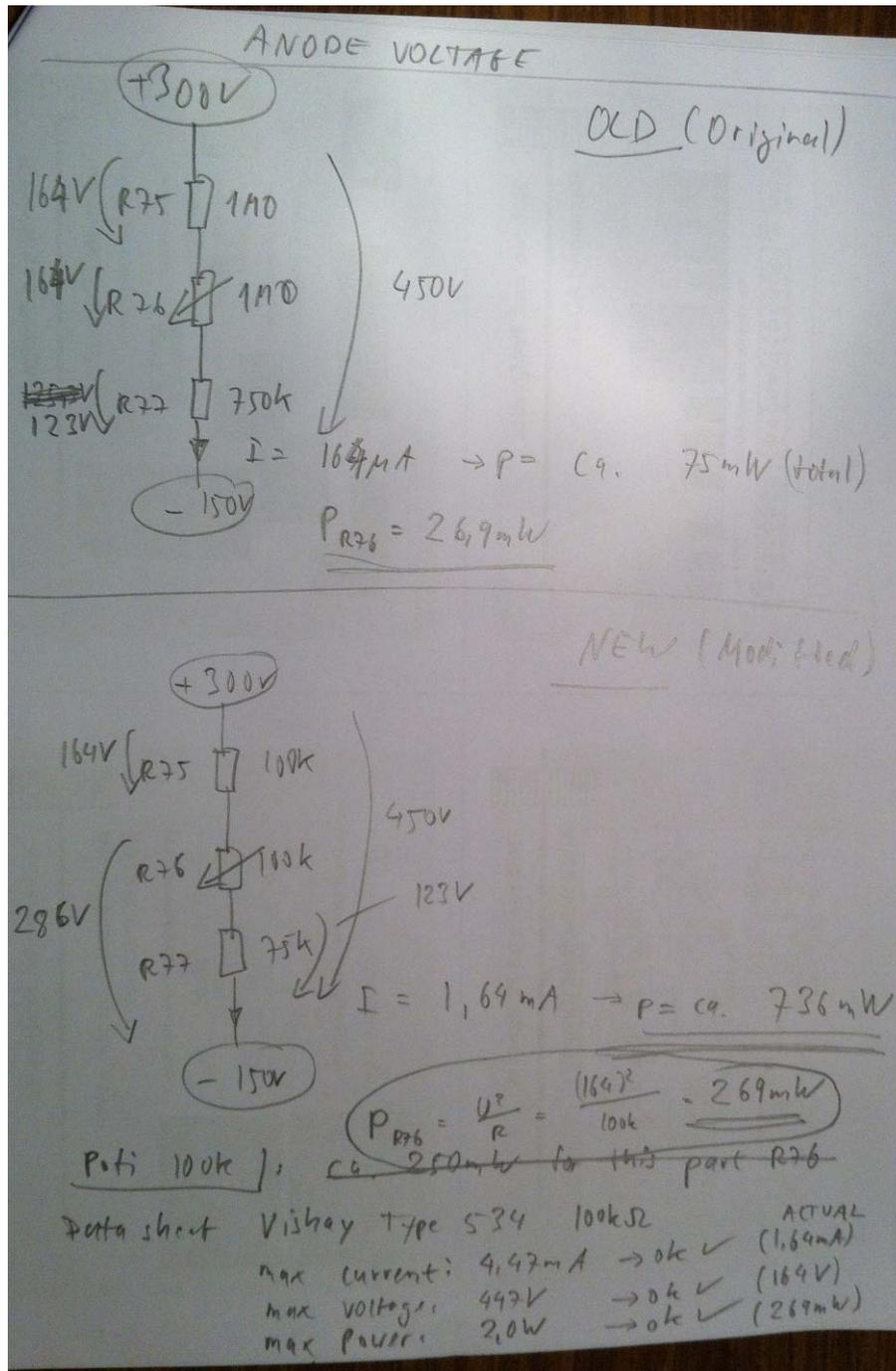


Abbildung 146: Abschätzung zum Umbau von 1Mohm-Poti nach 100kOhm-Poti: NICHT GETESTET!

VORSICHT! NICHT GETESTET!!!!

47 Ausklang (Versuch Nr. 3)

Einen hab ich noch.

Nach über 100 Seiten darf ich sicher noch einen dritten Ausklang-Versuch formulieren, ohne dass es überzogen wirkt. (Ha ha ha! Welch Gelächter!)

Das L3-Projekt hat mich wieder 'ne ganze Menge Zeit gekostet. Ich hab es als "verheirateter Junggeselle" begonnen und als waschechter, notorisch müder Familienvater beendet. Na, was kann es da noch Schöneres geben!

Ich habe mich stundenlang über das nicht zum Gerät passende Schaltbild geärgert und ein zweites Mal in den Ar... gebissen, als ich merkte, dass Thomas sogar das richtige Schaltbild in seinem Aktenstapel hatte.

Ich habe geflucht über Word2003, das ab Dateigrößen >500MB (ja, so groß ist dieses Viech hier inzwischen geworden!) spontan alle Bilder ab Seite 80 im Dokument weggeworfen hat, bis ich nach dem dritten mal(!) endlich die versteckte "Komprimieren"-Funktion gefunden habe, die das Dokument endlich wieder auf handliche Größen um die 100MB reduzierte. Meine Meinung: anstatt das Generieren neuer, knallbunter Office-Versionen, die mir durch wedelnde Hunde schwachsinnige Ratschläge aufdrängen wollen oder nur noch runde Ecken kennen (sieht wohl schicker aus), sollten die Jungs vielleicht erst einmal die ganzen Fehler aus ihren alten Office-Versionen ausbauen, bevor sie zu Neuem schreiten.

An die Office-Entwickler von Microsoft: seid froh, dass ich keine Reparaturberichte über Software schreibe... ;-)

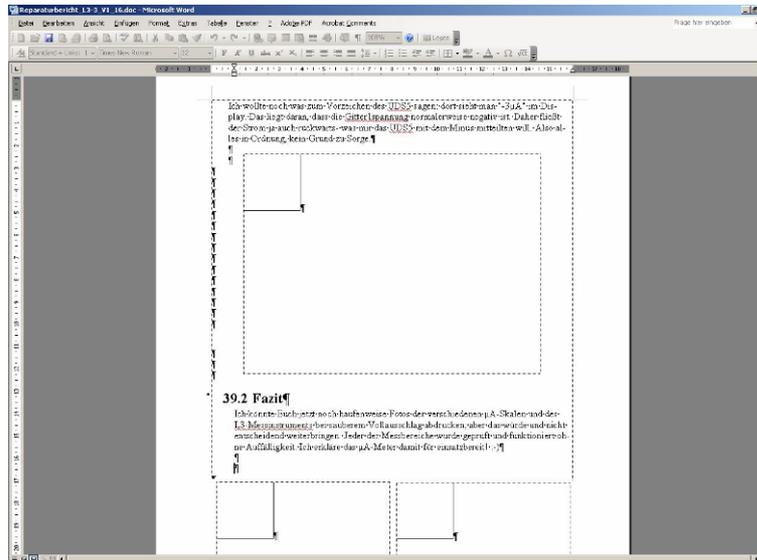


Abbildung 147: schon wieder alle Bilder im Dokument weg...!! Arrggghh!!!!

47.1 Übersicht der Arbeiten am L3

Folgende Arbeiten habe ich am L3 durchgeführt:

Grundsubstanz / Wiederherstellung / Reparatur

- Reinigen des Potis für Anodenspannung
- Entkernen und komplett neuer Aufbau der Audio-Leiterplatte (selektives Voltmeter, μA -Meter, 1,4kHz-Oszillator)
- Auswechseln Fassungen für 7Pin, Noval und Oktal
- Reinigen der Umschalter für „Eichen/Messen“ (Steilheitsmesser, μA -Meter)
- Auswechseln der teilweise defekten Widerstände für Gitter2-Spannung
- Reinigen der Funktions-Wahlschalter (alle Ebenen)
- Reparatur aufgerauchter Widerstand in Gitter1-Spannungsteiler
- Reinigen und Konservieren der Regelorgane für die Heizspannung

Wartung

- Überprüfung und Korrektur der Kondensator-Filterbank
- Prüfen und Ersetzen defekter Röhren in der Elektronik des L3

Kleinigkeiten / Nebensächlichkeiten

- Einbau einer Kaltgerätebuchse und Erdung des Decks
- Ersetzen der Netzkontrolllampe

allgemeine Verbesserungen

- Erneuerung und Ergänzung der Skala des Messwerks
- Auswechseln der Potis für Gitterspannung -10V und -65V gegen 10Gang-Präzisionspotis
- Auswechseln der Potis für das μA -Meter (10Gangs-Präzisionspotis)
- Update der DC-Filter für Gitter - und Anodenspannung
- Einbau des Banana-Decks, inkl. Aussägen der linken Gehäuseklappe
- Beschriftung der Frontplatte mit Klebeschildchen (deutsche Begriffe)

Verbesserungen der Messgenauigkeit

- Kalibrierung der Messbereiche des Messwerks
- Änderung des Anodenwiderstands zur Verbesserung der Genauigkeit des Steilheitsmessers
- Austausch der Dioden im Steilheitsmesser

48 Danksagungen

Es ist vielleicht etwas übertrieben, normalerweise machen das immer nur Autoren "richtiger" Bücher, Doktoranden oder Filmstars, die gerade einen heftig hoch dotierten Preis gewonnen haben (also Personen, die im Gegensatz zu mir wirklich "was geleistet" haben), aber das Internet ist geduldig und Ihr als Leser auch, denn sonst hättet Ihr Euch nicht bis zu Kapitel 48 durchgekämpft!

Bravo!

Also hier meine Dankes-Seite. Er geht an (Reihenfolge ungeordnet):

- Euch!

Dafür, dass Ihr bis hierhin beim Lesen durchgehalten habt! Tolle Leistung! Wer das kann, kann übrigens auch L3's reparieren ;-)

- Jac van de Walle

Immer eine tolle Idee oder Anregung auf Lager, auch wenn sie einem erst manchmal auch etwas "schräg" vorkommt. Aber genau das braucht man, wenn man mit dem Kopf bis zum Hals in einem L3 steckt und nicht mehr weiß, wie man da jemals wieder rauskommt, wenn die Frau spontan zum Obstkuchen ruft. Außerdem habe ich ja schon eingangs erwähnt, dass ich ein Fan von "Vielfalt" bin. Seit mir ein niederländischer Elektronikhändler einmal völlig selbstlos bei der Beschaffung eines Ersatzteils für eine alte Bühnenorgel geholfen hat (er brachte das wenige Pfennige kostende Ersatzteil sogar eigens mit dem Fahrrad zum Express-Versand in die Stadt!), habe ich dieses Völkchen mit ihrem tief liegenden Land einfach in mein Herz geschlossen. Irgendwann werden hoffentlich auch die Fußballfans unserer beiden Nationen merken, dass man lieber das Ende eines spannenden Fußballspiels locker zusammen abfeiern sollte, als sich immer nur gegenseitig die Köpfe einzuschlagen.

- Thomas

Immer, wenn ich nicht mehr weiter weiß, frage ich Thomas. Von ihm kriege ich nicht nur fachkundige Ratschläge, sondern manchmal auch irgendwelche verrückten Bauteile, die er von noch verrückteren Flohmärkten –zur Freude seiner Frau- anschleppt. Er ist ein Meister seines Fachs und hat auf seinem Dachboden sogar ein kleines Museum für alte Röhrenradios. Außerdem sammelt er Röhrenprüfgeräte. Sympathischer geht's doch nicht!

- Jan Wüsten

Einer der wenigen Röhrenhändler, der sich noch die Zeit nimmt, seine Kunden individuell und mit viel Mühe persönlich zu beraten! Er las die Review-Version dieses Reparaturberichts in Rekordzeit und revanchierte sich mit einer email voller sinnvoller Anmerkungen. Sogar den kleinen Scherz ganz am Ende im Sicherheits-Kleingedruckten hat er gefunden! Ha ha! Großartig! Jan, ich habe übrigens alle Ihre Beanstandungen sorgfältig eingearbeitet :-)

- Helmut Weigl

Auch der Großmeister des modernen Röhrenprüfgerätebaus nahm sich für mich die Zeit und ackerte die über 100 Seiten durch. Vielen Dank dafür! Ich hoffe, Du bist nicht böse, dass ich (noch ;-)) kein Roetest aufgebaut habe, sondern stattdessen einen L3 massakriert hab'. Aber wer weiß, wie lange ich noch Deiner neuen Version 6 widerstehen kann :-)

- Peter

Der ehemalige Besitzer meines L3. Er hat eine unglaublich umfangreiche Röhrensammlung, diese tatsächlich einzeln im Computer inventarisiert und baut vorwiegend Röhrenverstärker. Ein Röhrenfan aus Fleisch und Blut also. Von ihm warte ich übrigens noch immer auf ein gutes Angebot für seinen zweiten, defekten L3 ;-)

Nein, davon wird es keinen Reparaturbericht geben.

Oder?



Abbildung 148: Kalibr L3-3...endlich fertig restauriert!!!!

Marc Michalzik im August 2012

Hat bereits mein Rohde&Schwarz UDS5 angehimmelt!
Gutes Zeichen! :-)

Nachwuchs!



Abbildung 149: mein Terrassen-"Arbeitsplatz" ;-)

lecker Obstkuchen vom Bäcker aus dem Nachbardorf!

Hinweise:

1. Wer auf dieser Grundlage bastelt, bastelt auf eigene Gefahr!
2. Das hier ist ein privat und hobbymäßig zusammengestellter Reparaturbericht. Ich übernehme keine Garantie für die Korrektheit der hier beschriebenen Inhalte.
3. Ich übernehme keine Folgekosten, die durch evtl. Anwendung der hier beschriebenen Informationen entstehen könnten.
4. Das Basteln in elektrischen Geräten kann für nicht Sachkundige ein hohes Risiko von Verletzungen aller Art bedeuten. Sollten Sie nicht sachkundig sein, lassen Sie bitte lieber die Finger davon. Im Zweifelsfall schenken Sie die eingesparte Zeit lieber Ihrer Frau- wenn alles glatt läuft, könnten Sie in etwa 12..16Jahren entsprechenden Nachwuchs produziert haben, der sich mit dem ganzen elektrischen Kram dann möglicherweise besser auskennt, als Sie selbst. Überlassen Sie ihm dann die fachlich anspruchsvollen Arbeiten ;-)
5. Die kommerzielle Nutzung des hier beschriebenen Wissens ist nicht vorgesehen.
6. Die in diesem Bericht genannten Links wurden vor der Veröffentlichung von mir sorgfältig überprüft. Sollten sich dort dennoch Inhalte befinden, die gegen geltendes Recht, Ordnung und/oder gute Sitten verstoßen oder fremdenfeindliches Gedankengut enthalten, so distanzieren ich mich ausdrücklich davon!

©® Dieser Artikel unterliegt dem Urheberrecht. Alle Rechte vorbehalten.
AUGUST2012, Marc Michalzik