

1 Einleitung

Es gibt einige Bereiche, in denen eine ziemlich mystische Aura um ein Elektrogerät gemacht wird. Eines davon sind Röhrenprüfgeräte. "Fully calibrated" protzen hier einige im Internet heraus- ganz schön gewichtige Aussage! Dabei geht es im Wesentlichen eigentlich nur darum, die Anzeige der Messinstrumente auf den korrekten Vollausschlag einzustellen- etwa so anspruchsvoll wie das Einstellen der Saugleistung eines Staubsaugers auf den neuen Teppich. Nunja- es gibt ja auch weitaus kompliziertere Tester, die höhere Anforderungen an den Elektrobastler stellen, aber mein TV-2 jedenfalls legt die Messlatte an das Knowhow des Bastlers doch recht niedrig an. Dennoch lasse ich mir dabei den Spaß an der ganzen Aktion nicht verderben; es kann schließlich nicht immer nur die ganz harten Nüsse geben. Auch die weichschaligen Weichtiere müssen mal geknackt werden ;-)*

Also ran an die Rosinen:

Bei der "Kalibrierung" geht es eigentlich im Wesentlichen nur um den Abgleich der Anzeige aller Messinstrumente. Mehr nicht.



Abbildung 1: Hickok TV-2 Röhrenprüfgerät

Messinstrumente hat das TV-2 mehr als genug. Als da wären:

- M1: Heizspannung
- M2: negative Gitterspannung
- M3: Percent Quality (Gm)
- M4: Signalspannung
- M5: Anodenspannung
- M6: Schirmgitterspannung

Es kommt also was auf mich zu. Es würde mich freuen, wenn Sie mich auf dieser Tour leserweise begleiten würden! Viel Spaß!

* Zu diesem Zeitpunkt wusste ich noch nicht, dass ich doch noch harte Schalen zwischen die Zähne kriegen werde. Dran bleiben lohnt sich also! Mehr davon in Kapitel 9...! :-)

2 Messinstrument "M1": Heizspannung

Um erst einmal den IST-Stand aufzunehmen, habe ich die am Messinstrument M1 angezeigten Werte mit einem ordentlich kalibrierten Digitalvoltmeter verglichen (Fluke 87-III). Dazu kann man die Heizspannung auf zwei Kontakte einer Röhrenfassung schalten (z.B. Pin 3 und 5) und seine Messzinken da reinhalten. Dann das DVM auf Wechselspannung stellen, den Wert ablesen und mit dem angezeigten im Röhrenprüfgerät vergleichen. Die Auswertung im Excel zeigt doch erhebliche Abweichungen! Die eingestellten 6,3V Heizspannung sind in Wirklichkeit mehr als 7V- das Analoginstrument zeigt also zu wenig Spannung an! Leider finde ich in meinem TV-2 Röhrenprüfgerät keine Abgleichpotis! Das bedeutet, dass man den letztendlichen Abgleich des Messinstruments also nur durch Umlöten von Vorwiderständen bewerkstelligen kann. Sollte das Kalibrieren am Ende doch noch etwas "interessanter" als mein Miele-Staubsauger werden??

Zu allererst schaue ich ins Schaltbild. Das verrät, dass es für das Messinstrument Spannungsteiler-Vorwiderstände gibt. Die werde ich nachher gleich einmal nachmessen. Vorher jedoch interessiert mich, ob das Messinstrument an sich überhaupt heile ist.

2.1 Messinstrumente-Check

"DC Movement" schreibt das Service-Manual über Messinstrument M1. Das sagt mir irgendwie nichts. Da das Messwerk direkt an der Heiz-Wechselspannung hängt (ohne zwischengeschalteten Gleichrichter oder so etwas), muss es sich dabei doch eigentlich um ein Dreheiseninstrument handeln. Dann müsste es aber sowohl auf Wechsel- als auch auf Gleichspannung reagieren. Durch Versuche mit Wechsel- und Gleichspannungskalibratoren kriege ich heraus: stimmt! Sowohl bei 50Hz Wechselstrom als auch bei Gleichstrom benötige ich etwa 1mA Strom für den Vollausschlag. Daraus schließe ich, dass M1 ein 1mA Dreheiseninstrument sein muss!



Abbildung 2: Abgriff der Spannungen am Röhrensockel

Überprüft habe ich das Instrument, indem ich es -mit eingeschleiftem Strommesser- über einen 10kOhm Vorwiderstand an meinen Fluke DC bzw AC-Kalibrator gehängt habe. Wer so etwas nicht hat, kann auch ein Netzgerät (für DC-Messung) bzw. für AC-Messung einen kleinen 12V-Lichttrafo mit nachgeschaltetem 10:1 Spannungsteiler und Poti benutzen. Wichtig ist nur, dass man den Vorwiderstand hoch genug wählt, um das Messinstrument durch die Prüfung nicht versehentlich zu überlasten. 1mA ist nicht viel, aber bei meinem gewählten 10kOhm Vorwiderstand kann man nicht so viel falsch machen. Aber trotzdem Vorsicht bitte! Als eingeschleiften Strommesser hat sich bei mir mein Fluke 87-III TRMS Multimeter bewährt. Das ist als Referenz hinreichend genau und misst auch Wechsel- sowie Gleichstrom im μA -Bereich. Es kam folgendes Ergebnis dabei heraus:

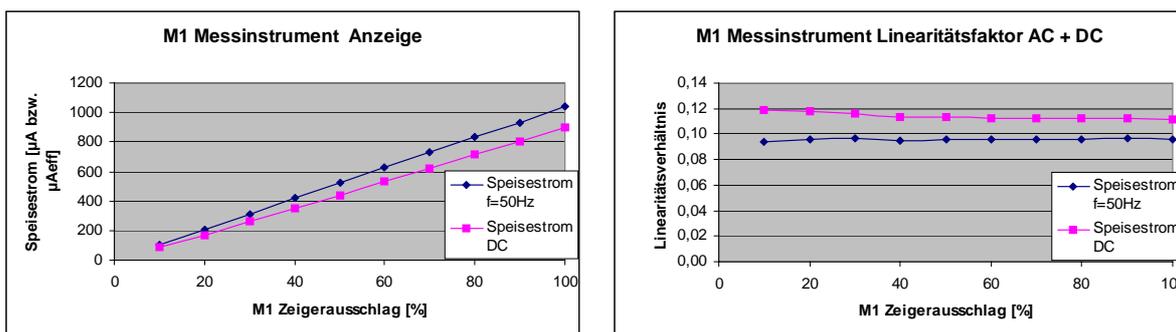


Abbildung 3: Messinstrument M1

Es zeigt sich, dass das Messinstrument doch geringe Unterschiede in der Empfindlichkeit für den Vollausschlag zwischen AC und DC besitzt. Das stört hier aber nicht weiter- es soll ja eh nur AC messen. Viel wichtiger ist die Linearität über den gesamten Skalenbereich. Und das sieht leider nicht ganz so schön aus...

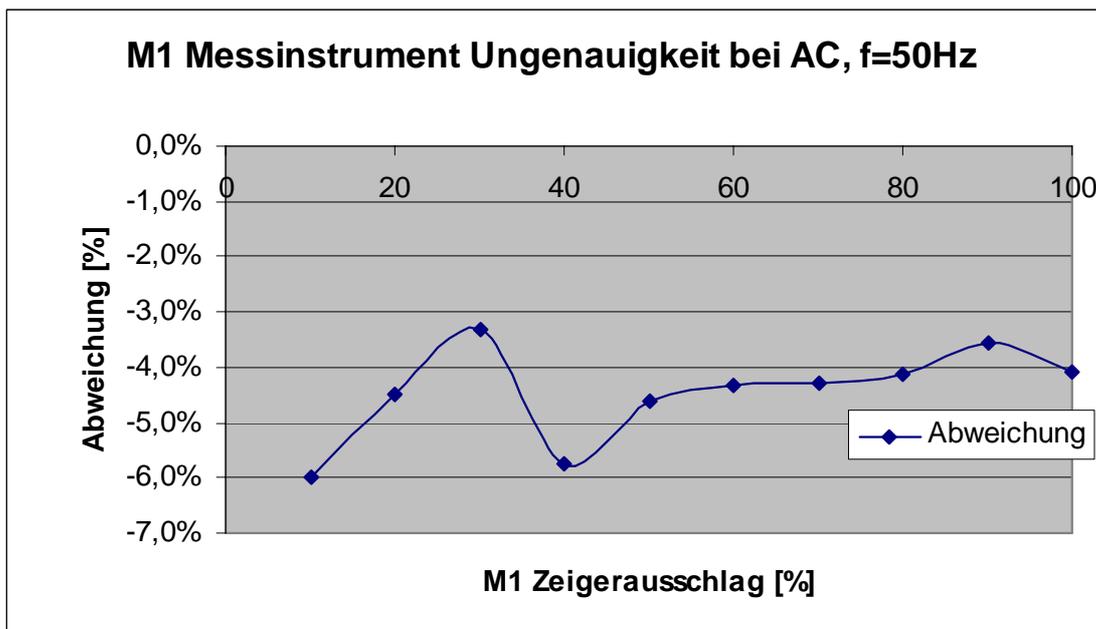


Abbildung 4: Abweichung Messinstrument M1

In dieser Darstellung offenbaren sich gnadenlos auch schon geringste Linearitätsungenauigkeiten! Wir lernen daraus mindestens zwei Dinge:

- 1) das Messinstrument hat einen Offsetfehler von etwa -4% über den gesamten Bereich.
- 2) Wenn man diesen Offsetfehler ausgleichen könnte, bleibt eine Schwankungsbreite von etwa 3% übrig. Also +/- 1,5%. Das wäre für ein analoges Messwert schon recht ordentlich!

In Summe jedoch erkläre ich als Messinstrument M1 daher als “gesund” und “diensttauglich”. Damit kann ich mich nun an seine Außenbeschaltung (=Widerstände) machen. Den störenden, statischen Offset von 4% werde ich nachher mit einem Trimmer ausgleichen. Aber alles schön der Reihe nach.

2.2 Widerstände

Beim Nachmessen der Vorschaltwiderstände für die einzelnen Messbereiche (immerhin 0,625V..117V) staune ich nicht schlecht: einige Widerstände haben sich im Laufe der Zeit um bis zu 20% im Wert vergrößert! Da ich bei Messgeräten ausnahmsweise mal kein Denkmalpflegerimage verfolge und ich das TV-2 nicht für die Vitrine, sondern zum ernsthaften Benutzen gekauft habe, treffe ich eine hart klingende Entscheidung: Raus mit dem alten Kram und moderne, 2W Metalloxyd-Widerstände einlöten! Ein kleines, aber sehr nützliches Tool aus dem Internet hilft mir dabei, so krumme Widerstände wie "70,0kOhm" aus E24-Normwerten zusammensetzen. Teilweise habe ich dafür bis zu drei Bauteile verschalten müssen, aber dafür habe ich einige sogar bis fast auf das Ohm genau getroffen!



Maßnahme: Erneuerung der Vorwiderstände für Messinstrument M1				
Widerstand	SOLL [Ohm]	IST [Ohm]	Deviation [%]	Bemerkung
R65 alt	50000	51351	2,6%	
R65 neu	50000	50002	0,0%	2* 100kOhm-Widerstände parallel, dazu 330Ohm in Reihe
R3 alt	70000	71520	2,1%	
R3 neu	70000	69923	-0,1%	470kOhm parallel 82kOhm; dazu 560Ohm in Reihe
R4 alt	20000	20939	4,5%	
R4 neu	20000	19999	0,0%	2* 10kOhm mit 100Ohm in Reihe
R5 alt	7000	8377	16,4%	
R5 neu	7000	6996	-0,1%	47kOhm parallel mit 8,2kOhm, danach 560Ohm in Reihe
R64 alt	1500	1793	16,3%	
R64 neu	1500	1493	-0,5%	1kOhm in Reihe mit 470Ohm Trimmer

Abbildung 6: Widerstandswerte Filament M1

Das war das Thema "Auswechseln von Widerständen mit erhöhter Toleranz". Wir wollten uns ja aber noch um das Ausmerzen der statischen 4% Messwerkungengenauigkeit kümmern....



Abbildung 7: Nachmessen der neu gebildeten Widerstandskombinationen

2.3 Abgleichbarkeit herstellen

Wir haben alle Vorwiderstände des Messwerks M1 gegen moderne Metalloxyd-Typen des korrekten Wertes getauscht und auch das Messinstrument selber auf Linearität und Endausschlag überprüft. Einen Vergleich gegen die Spezifikation ($\pm 5\%$ bezogen auf Vollausschlag) würde dieser Bereich des TV-2 vermutlich nun schon bestehen. Trotzdem geht es noch besser.

Ich ersetze R64 (1,5Kohm) gegen eine Reihenschaltung aus einem 1kOhm Festwiderstand und einem 470Ohm Trimpoti. Dadurch kann ich nun M1 gezielt ein wenig mehr Strom durch's Messwerk schicken, damit es immer etwas mehr anzeigt und den statischen Fehler von 4% ausgleicht.

Gesagt- getan! Durch sorgfältigen Abgleich schaffe ich es, die Anzeige von M1 so exakt einzustellen, dass jetzt schon die Nicht-Linearitätseffekte des Messwerks sichtbar werden. Aha, also geschafft! Ich justiere einen "Kompromiss" ein, bei dem die Fehlerkurve möglichst gut "gleichverteilt" ist. Das erfordert ein bisschen Fummeln und Nachmessen- das 100%ig exakte Abgleichen auf einen einzelnen Messbereich kann nämlich negative Auswirkungen auf andere Messbereiche haben. Man muss den Trimmer so einstellen, dass der Fehler möglichst überall gleichmäßig groß ist und keine groben Ausreißer entstehen. Nach etwa einer halben Stunde Abgleich- und Kontrollmessungen erhalte ich das hier:

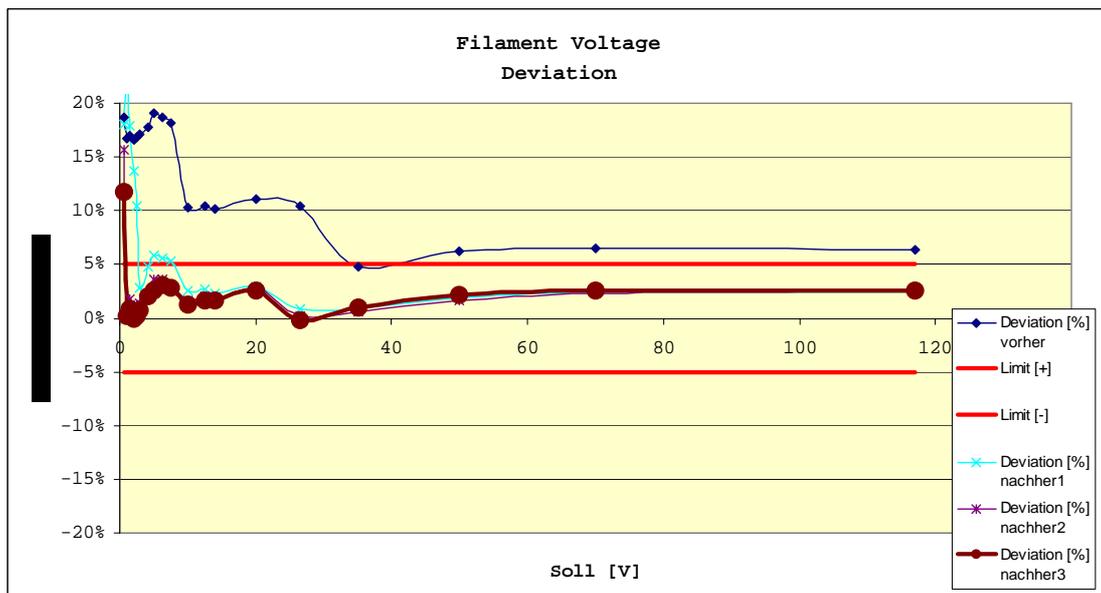


Abbildung 8: Anzeigegenauigkeit "Filament M1"

Wie die vielen Abgleichversuche im Bild zeigen: Besser kriege ich den Abgleich offensichtlich nicht hin. Mit der Gewissheit, nahezu das Optimum herausgeholt zu haben, gebe ich mich schließlich zufrieden. Wir wollen auch nicht vernachlässigen, dass allein schon das korrekte Ablesen des Messwerts von der Skala schnell einen Messfehler vorgaukelt, der bereits im Prozent-Bereich liegen kann! Wie schnell hat man mal schief draufgesehen und um eine halbe Zeigerbreite falsch abgelesen. Aber ich will mich bei einem Röhrenprüfgerät sowieso nicht um Millivolts streiten!

Anmerkung:

Im empfindlichsten Messbereich (0,625V) wird das Messinstrument direkt (ohne Vorwiderstand) betrieben. In diesem Fall zeigt es natürlich auch wieder etwas zu wenig an. Weil es für diesen Messbereich aber keinen externen Vorwiderstand gibt, den man noch verkleinern könnte, kann ich hier nicht mehr elektrisch gegensteuern! Um auch diesen letzten Effekt zu beseitigen, wäre die Aufarbeitung des Messinstruments M1 an sich notwendig (z.B. neu aufmagnetisieren oder neu shunten?!). Damit habe ich jedoch überhaupt keine Erfahrung und da ich keinen Ersatz für ein vergurktes Messinstrument hätte, bleibe ich vernünftig und lasse die Finger davon. Überhaupt kenne ich nur eine einzige Person, die sich an das magnetische Re-Kalibrieren von Messwerken heranwagt (Hallo, Dieter W.!) und mich schon Vorfeld zum Auseinanderbauen des Messwerks anstiften wollte. Ich habe aber gekniffen, denn ohne direkte Aufsicht des großen Lehrmeisters wage ich mich an kein Drehspulinstrument-Innenleben heran, sorry.

Wohlgemerkt- wir sind mit alledem noch innerhalb der zulässigen Toleranz und kein Servicetechniker würde hier noch einen Finger krumm machen. Also lassen wir's einfach gut sein und freuen uns über das Erreichte :-)



Abbildung 9: ein TV-2 Tubetester von innen

3 Messinstrument "M2": Gittervorspannung

Die Überprüfung des ganzen Gittervorspannungsgedödelns werde ich in mehreren Schritten machen.

3.1 Aufnahme des aktuellen IST-Zustands

Die Fehlerkurve der Gittervorspannung sieht so aus:

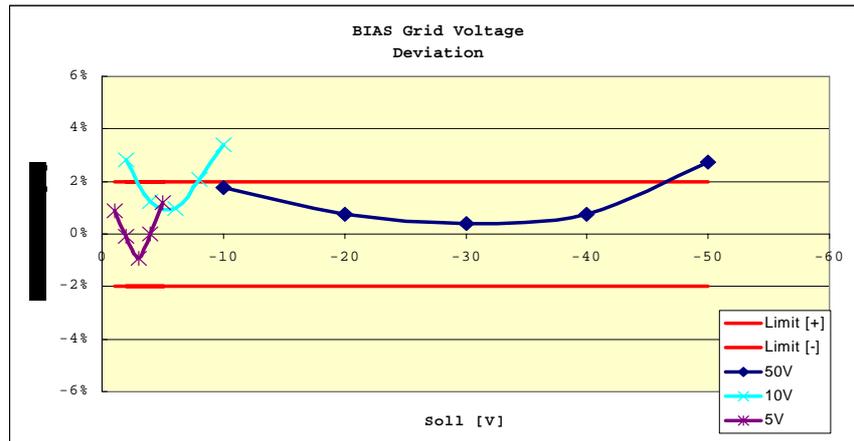


Abbildung 10: Anzeigegenauigkeit "M2 Grid BIAS" vorher

Wir beachten hier mehrere Dinge: zu allererst ist hier in der Spezifikation das Limit enger gezogen; d.h. bereits eine Abweichung von mehr als 2% wären (bei Vollausschlag!) nicht mehr zulässig. Weiterhin haben wir hier drei verschiedene Messbereiche- nämlich 5V, 10V und 50V. Daher auch drei Kurven im Diagramm. Man erkennt hier in jedem Bereich eine "Badewannenkurve". Mal sehen, woran das wohl liegt.

3.2 Messwerk M2 prüfen

Ich löte Messinstrument M2 ab und prüfe es wieder mit Vorwiderstand, einem Strommesser und Netzgerät auf Linearität.

Ich verwende dazu mein Fluke 87-III Multimeter mit Vorwiderstand, nehme aber diesmal statt des Kalibrators ein präzise einstellbares Netzgerät als Stromquelle. Das ist auch stabil genug, um die gewünschten Zeigerausschläge in M2 zu erzeugen.

Ergebnis (ich erspare Euch die ersten Diagramme und komme gleich zum Wesentlichen):

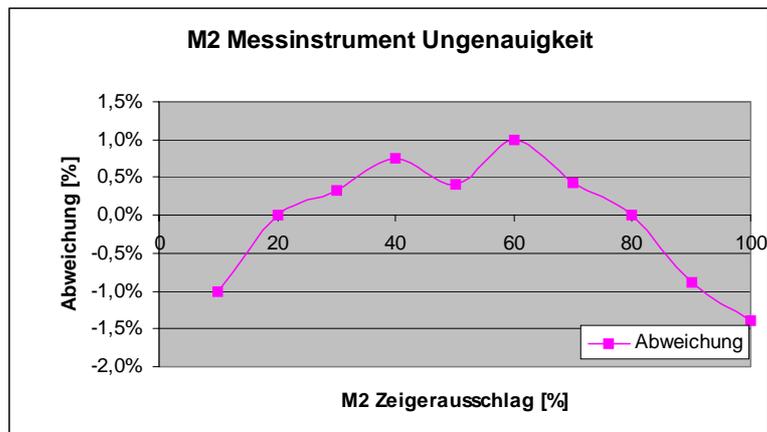


Abbildung 11: Abweichung Messinstrument M2

Ha, die Ursache der “Badewanne”! Die Fehlerkurve aus Abbildung 10 ist ein Abbild der Nichtlinearität des Drehspulinstrumentes M2! Trotzdem kann ich hier nicht schimpfen! Für ein uraltes Drehspulinstrument –dazu noch in absolut coolem Vintage-Design– ein hervorragendes Ergebnis. Achja: Es handelt sich bei M2 offensichtlich um ein Drehspulinstrument mit einer Full-Scale-Empfindlichkeit von 1mA.

Den 5V-Bereich würde ich so lassen, wie er ist. Aber überflüssig zu sagen, dass ich dem 10V-Bereich noch mal ans Schlafittchen gehen werde, oder? ;-)



Abbildung 12: Vergleich Analoges TV-2-Instrument (links) und Fluke 87-III (rechts)

3.3 Glättungskondensator C3 überprüfen

Zum Abgleichen brauche ich stabile Anzeigen! Daher prüfe ich vorher die Spannungserzeugung für den ganzen Gitterspannungskram. Der Siebelko C3 ist dem ganzen Gitter-Spannungsteiler vorgeschaltet. Er ist mit $50\mu\text{V}/200\text{V}$ beschriftet. Ich baue ihn aus und hänge ihn an meinen Kapazitätsmesser (HP4262A). Wenn ich ihn messe, komme ich auf etwa $30\mu\text{F}$ Kapazität (statt $50\mu\text{F}$). Das ist nicht ganz so toll, obwohl der ESR mit etwa 1Ω noch akzeptabel scheint (@1kHz).

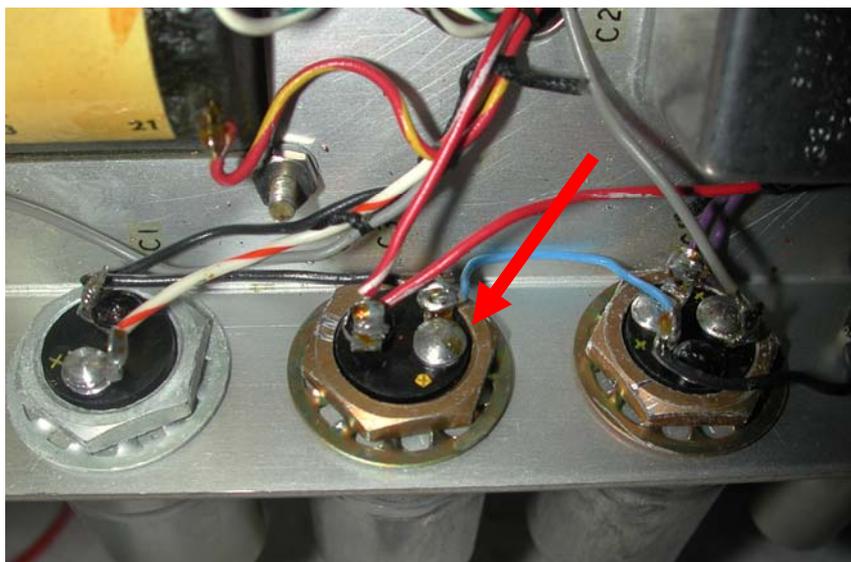


Abbildung 13: Kondensatoren-Filterbank (C1,C2,C3,C4a/b)

Der schlechte Elko macht sich leider auch auf der Gitterspannung bemerkbar: eine zu große der Gleichspannung überlagerte Stör-Wechselspannung ist tödlich, wenn man in der Mutual Transconductance-Betriebsart mit Signalspannungen arbeitet, die in der Größenordnung von nur $250\text{mV}_{\text{eff}}$ liegen!

Und nun muss ich mir (einmal wieder) anmaßen, das Service-Manual des Herstellers zu maßregeln. Dort steht immer drin, dass man den Schalter für die Signalspannung auf die "Safety Position A" drehen soll. Leider drückt dieser Schalter in dieser Stellung immer eine pflichtgemäße $250\text{mV}_{\text{eff}}$ Signalspannung in die Gitterleitung! Ich behaupte, hier eine bessere "Safety Position" zu kennen: drehen Sie den Schalter lieber auf "F"- denn damit schaltet man die Signalspannung einfach ab und man kann in Ruhe den Restbrumm auf der Gitterspannung messen. Uff- was habe ich mich damit doch erst verar...t!

3.4 Störspannung auf der Gitterleitung vermindern

Wenn man bei meinem TV-2 die Störkomponente (=Ripple) auf der Gittervorspannung misst, erhält man etwa das hier:

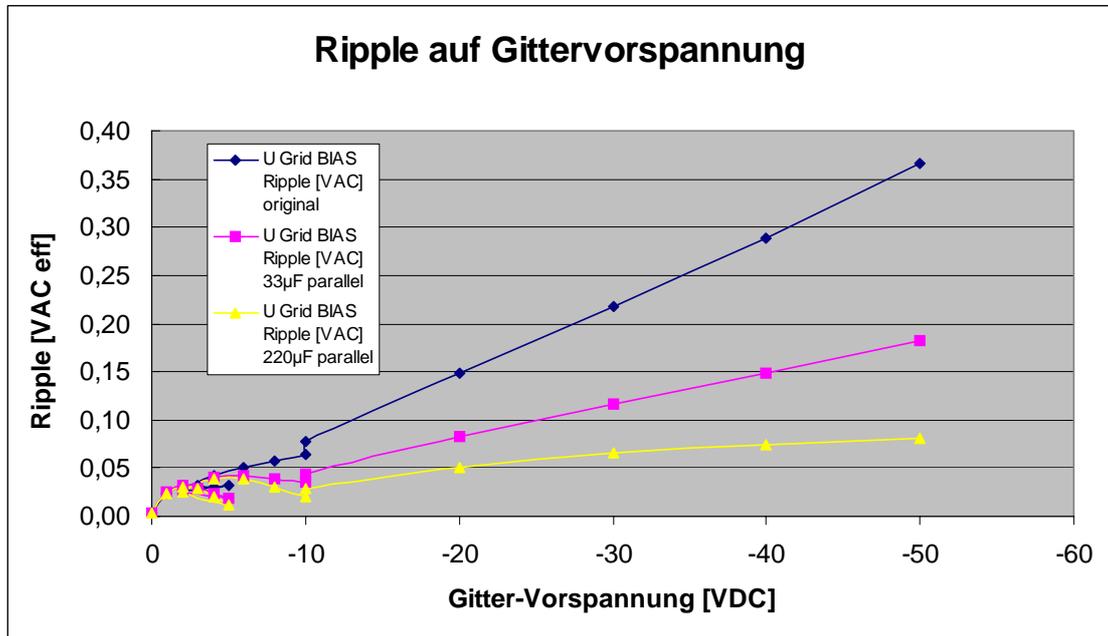


Abbildung 14: Ripple auf der negativen Gittervorspannung

Wir stellen fest: die Störkomponente (=Restbrumm) ist abhängig sowohl vom Messbereich (5V,10V,50V) als auch vom Einstellknopf der Gittervorspannung. Mit dem betagten Original-elko wird z.B. einer -50V Gittervorspannung mehr als 350mV_{eff} mit auf die Steuerungsspannung aufgedrückt. Schalte ich dem C3 einen modernen Elko von 33µF parallel (um in Summe in etwa auf die spezifizierten 50µF zu kommen), sinkt der Ripple auf ca. 170mV ab; mit einem 220µF-Elko sogar auf nur ca. 70mV_{eff}.

Ich habe mal einen Screenshot eines typischen "Ripples" gemacht:

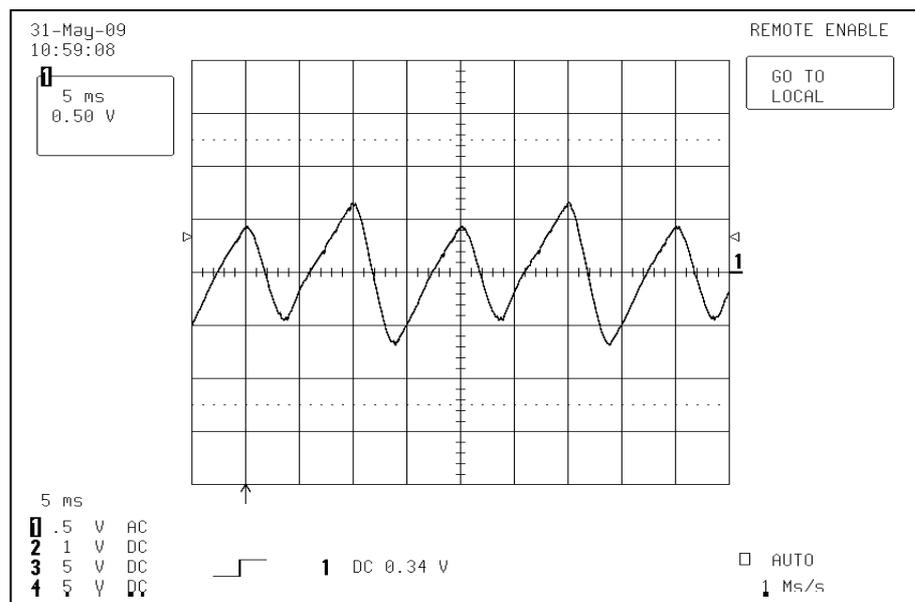


Abbildung 15: Ripple im 50V-Bereich

Im kleineren Messbereich (10V) erkennen wir noch andere, nette Dinge:

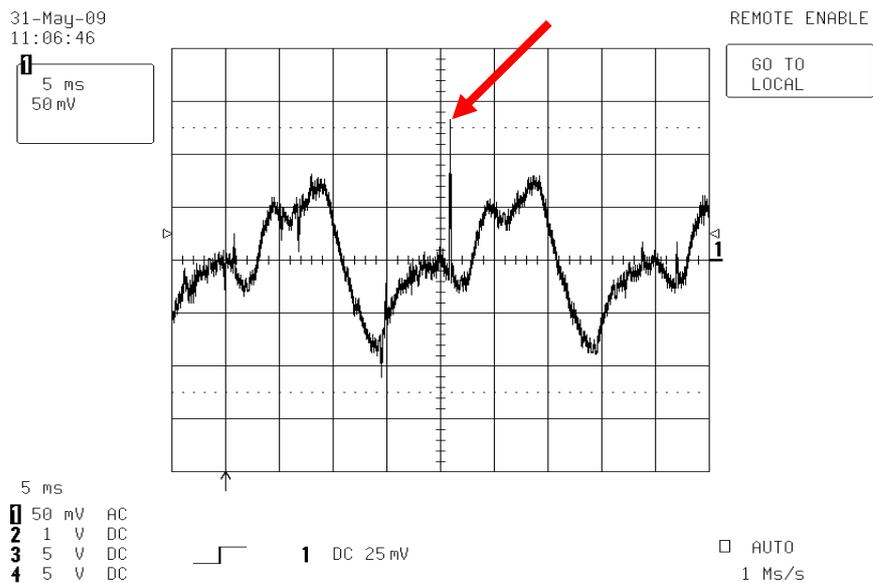


Abbildung 16: Ripple im 10V-Bereich

Bei der in Abbildung 16 gezeigten Störspannung sehen wir etwa in der Bildmitte einen netten Spike. Ich konnte nicht herausfinden, woher der kommt. Aus Angst davor habe ich jedoch später dem Siebelko C3 noch einen 1,5nF/1kV Keramikcondensator geschenkt (auch wenn das nicht nachweisbar geholfen hat.)

3.5 Ripple am Siebelko C3

Der Ripple kommt natürlich bereits von der Gleichrichterröhre und dem Siebelko C3. Während die dort messbare Gleichspannung in allen Fällen etwa

$$U_{C3(DC)}: -149 \text{ V}$$

ist, kann man den Brummlevel durch Parallelschaltung weiterer Elkos noch ganz gut drücken. Guckst Du Diagramm:

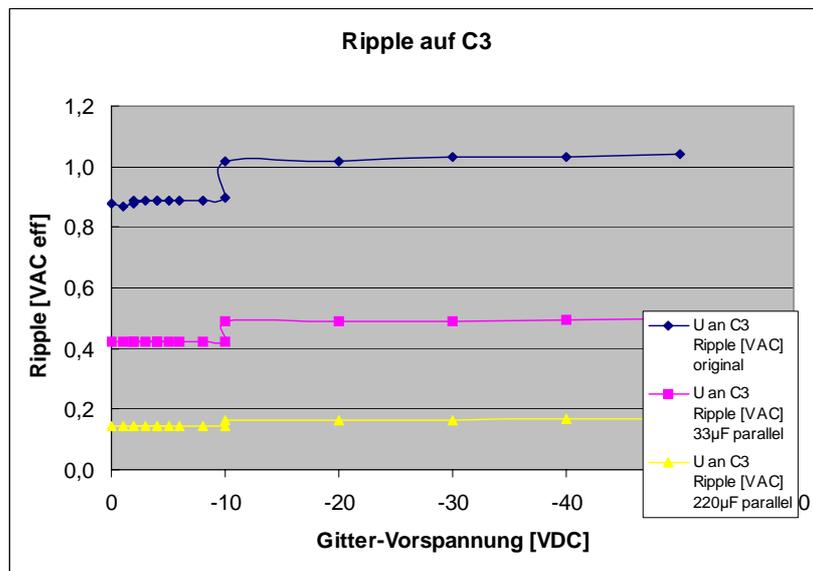


Abbildung 17: Ripple über Siebelko C3

Es fällt auf, dass der Ripple -abhängig vom eingestellten Messbereich- unterschiedlich groß ist. Vermutlich belastet der Spannungsteiler hinter dem Messbereichsschalter die Gitterspannungserzeugung je nach Stellung unterschiedlich stark, wodurch auch das Brummen unterschiedlich stark ausfällt.

In Summe habe ich mich dazu entschlossen, einen $220\mu\text{F}/200\text{V}$ Elko aus neuer Produktion dem alten C3 parallel mit anzuschließen. Der passt mechanisch noch einigermaßen gut ins Gehäuse und auch mit dieser Kapazitätzunahme werden die Spannungen an C3 nach dem Ausschalten des Geräts schnell genug abgebaut (Sekundenbereich).

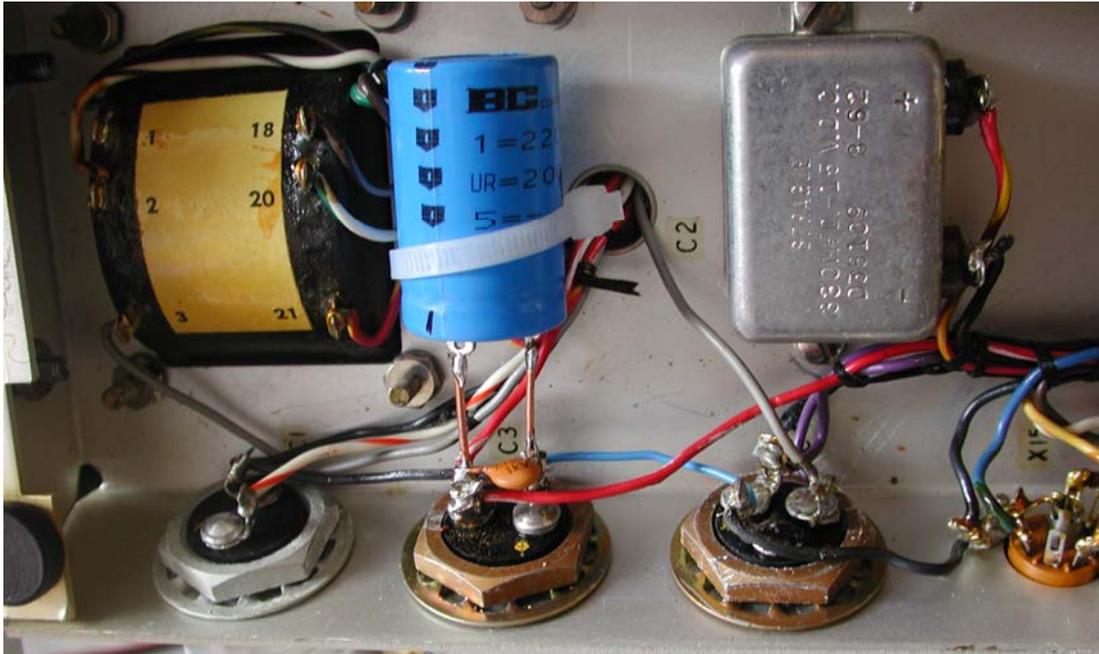


Abbildung 18: Endlösung: C3 mit $220\mu\text{F}$ und $1,5\text{nF}$ parallel

Trotzdem muss man bei dieser mechanischen Konstruktion immer die Griffel weit weg von den blanken Anschlussdrähten halten (150V !)! Aber in einem Röhrentester hat ein technischer Laie eh nichts verloren!!! (Lebensgefahr!)

Anmerkung

Natürlich kann man hier noch Elkos parallel schalten, bis man schwarz wird. Es ist aber alles auch eine Frage des mechanisch sinnvollen Einbaus- ich finde, dass meine $220\mu\text{F}$ noch einigermaßen gut einzubauen sind und die Störungen hinreichend gut unterdrücken. Noch wichtiger ist: die max. zulässige Spannung des verwendeten Elkos beachten (mindestens 200V)!

Eine negative Rückwirkung dieser Maßnahme auf andere Schaltungsteile konnte ich übrigens nicht beobachten (die 250mV Signalspannung der Transkonduktanzmessung G_m wird durch das "Elko-Pimping" zum Beispiel nicht beeinträchtigt!).

3.6 Vorwiderstände überprüfen

Weiter geht's mit der Optimierung! Für die eigentliche Spannungsmessung gibt es drei Widerstände, die als Vorwiderstand für das Messinstrument M2 dienen: R12 (4,9kOhm) für den 5V-Bereich, R11 (9,9kOhm) für den 10V-Bereich und R10 (50kOhm) für den 50V-Bereich.

Aus der Fehlerkurve aus Abbildung 10 sprang mir ja gleich der 10V-Bereich ins Auge. Die Messung der Vorwiderstände ergibt:

Prüfung der Vorwiderstände für Messwerk M2					
Widerstand	SOLL [Ohm]	IST [Ohm]	Deviation	Bemerkung	
R10 alt	50000	50505	1,0%	50V-Bereich; Widerstand stark temperaturabhängig!	
R10 neu		Abgleich		47kOhm in Reihe 10kOhm Trimmer	
R11 alt	9900	10096	1,9%	10V-Bereich	
R11 neu		Abgleich		10kOhm parallel 330kOhm, 4700Ohm Trimmer in Reihe	
R12 alt	4900	4899,5	0,0%	5V-Bereich	
				kein Auswechseln von R12, so lassen	

Abbildung 19: Widerstände an M2

Aha. Der Vorwiderstand des 10V-Bereichs ist etwa 2% zu groß, daher zeigt der Strommesser nach dem Ohmschen Gesetz auch glatt 2% zu wenig an! Zusätzlich kann man mit ihm inzwischen sogar Temperatur messen, denn ein kurzes Tippen mit dem Finger auf den Widerstandskörper bewirkt eine Änderung von mehreren hundert Ohm. Inakzeptabel, raus damit! Das sollte die Messgenauigkeit sehr positiv beeinflussen. Ähnlich im 50V-Messbereich.

Ich ersetze die Bauteile für den 50V- und 10V-Bereich und füge Trimmer hinzu, mit denen ich den Abgleich machen kann. Der Erfolg lässt nicht auf sich warten. Hier ist er (Linien in **fett** dargestellt):

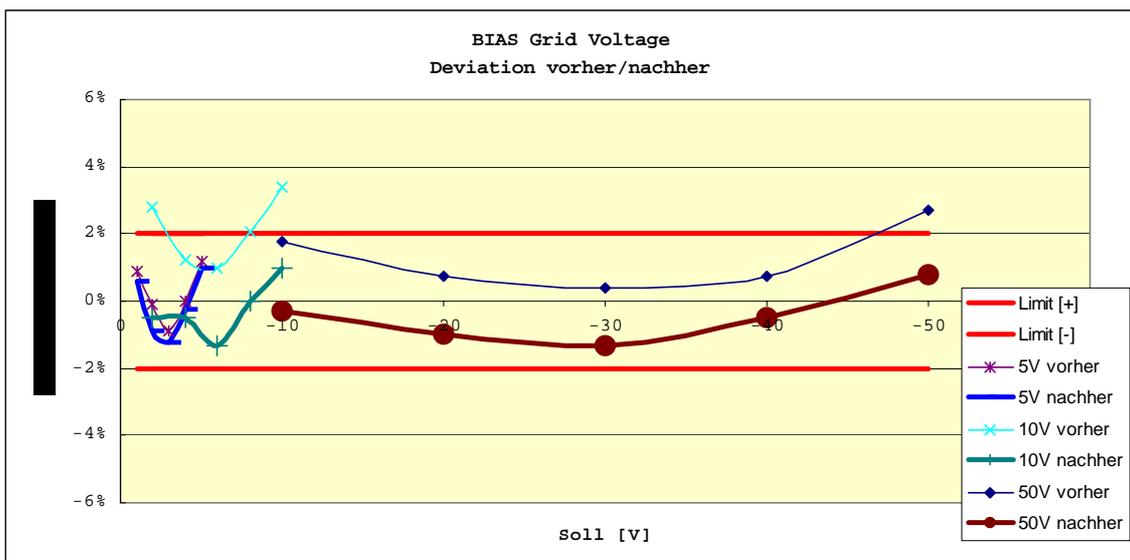


Abbildung 20: Messinstrument M2 vor und nach Abgleich

4 M5 Anodenspannung

Die Anodenspannung - auch "Plate Voltage" genannt- ist was ganz Fieses! Und zwar eine gleichrichtete, aber NICHT gesiebte! "Gleichspannung". Hier ist echt die Frage, über was man redet, wenn man von 250V Anodenspannung redet: Peak? Mittelwert? Effektivwert? Ha!

Alan Douglas verstehe ich aus seinem Testgear-Buch so, dass er seinem Voltmeter immer einen 250kOhm-Widerstand parallel schaltet. Warum? Geduld, wir werden schon noch dahinter kommen.

4.1 Aufnahme des IST-Zustands

Wir überprüfen die Anodenspannung wieder mit meinem Fluke 87-III im Gleichspannungsmodus. Das Diagramm zeigt:

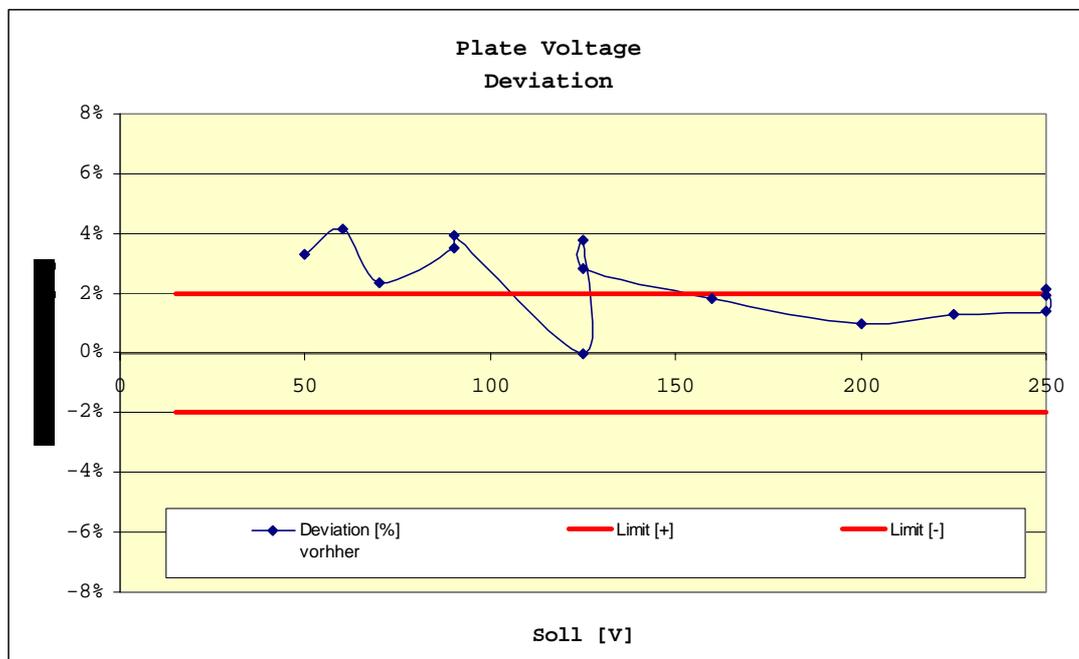


Abbildung 21: Fehlerkurve Anodenspannung (vorher)

Das sieht scheiße aus. Aber wir werden das Schätzchen schon noch in den Griff kommen. Vorher werden wir uns aber das Messinstrument selbst vorknöpfen.

4.2 Messinstrument M5

Und dieser Spaßvogel scheint ja ein lustiger Kamerad zu sein:

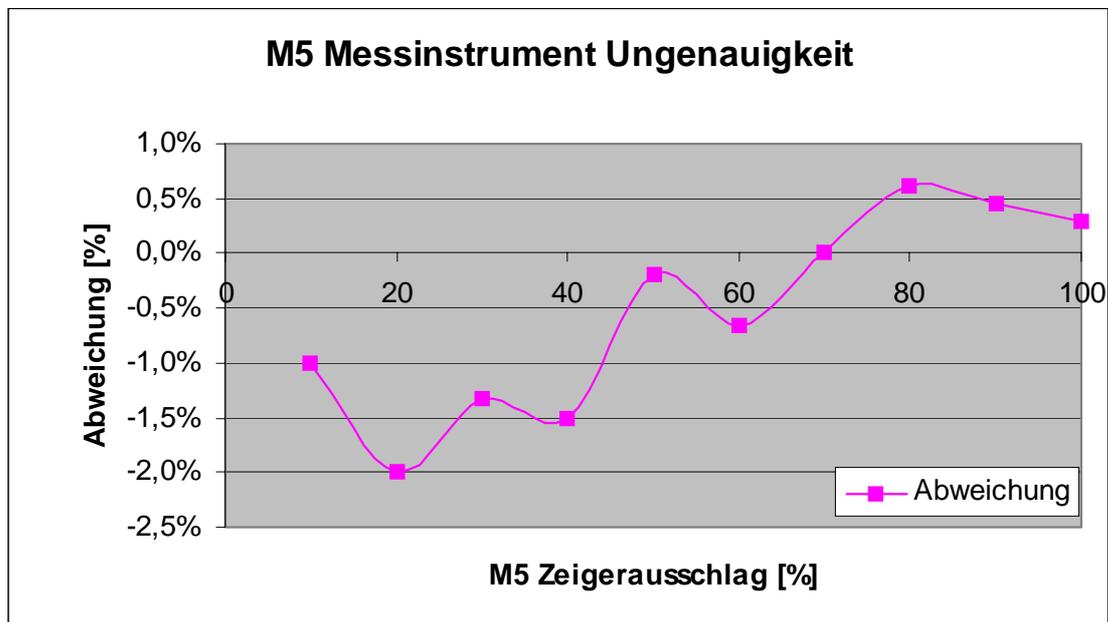


Abbildung 22: Linearität Messinstrument M5 (Anodenspannung)

Etwas "verstimmt", das gute Stück, aber auf jeden Fall noch brauchbar. Ich lese aus dem Diagramm +0,5/-2,0% Abweichung. Mit einem kleinen Schubs zu etwas höheren Anzeigen werden wir die Linearität etwas ausmitteln.

Achja- das Teil ist wieder ein Drehspulinstrument mit 1mA Endausschlag.

4.3 Abgleich

Bei der Anodenspannung hat man leichtes Spiel: es gibt nur einen einzigen, gemeinsamen Vorwiderstand für das Messinstrument M5. Irgendwo da unten rechts ist er (R36):

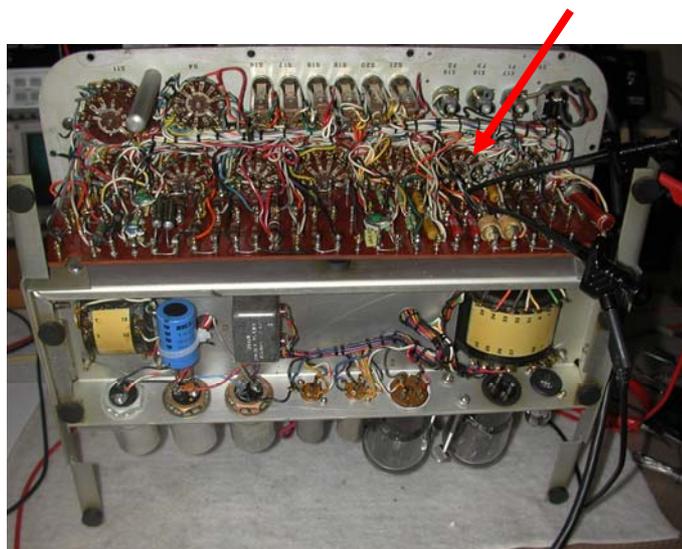


Abbildung 23: auf der Suche nach R36

R36 hat laut Beschriftung 250kOhm und 1% Ungenauigkeit. Normalerweise. Bei mir hat er 258kOhm. Das sind 3% Abweichung. Also raus damit.

Wenn man ihn gegen eine Widerstands-Trimmer-Kombination auswechselt, ergibt sich wieder eine Abgleichmöglichkeit. Weil ich gerade mal keine 220kOhm-Widerstände in der Bauform hatte, habe ich 180kOhm+47kOhm+15kOhm+10kOhm Trimmer genommen. Hört sich lustig an. Ist es auch. Aber es geht:

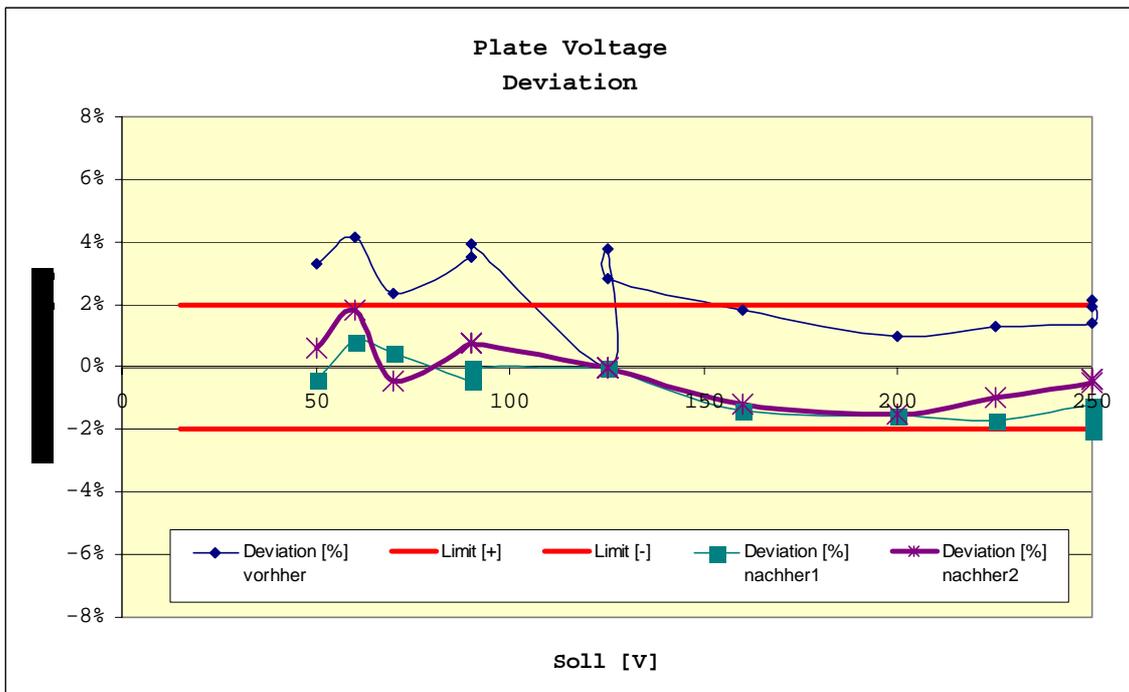


Abbildung 24: Anodenspannung M5 abgeglichen

Na also, die fette Linie (violett, "nachher2") zeigt den Erfolg. Noch haarscharf in den Herstellerlimits, aber was will man mehr von einem Messinstrument, das wahrscheinlich älter ist als man selbst?!?? :-)

Achja- es bleibt anzumerken, dass nicht alle Prüfspannungen laut Manual erreicht werden konnten. Insbesondere in den Messbereichen K,L,M mit 125V Anodenspannung konnte ich als Minimum nur etwas um schlappe 130V einstellen. Vermutlich der Grund dafür, warum es beim TV-2 noch weitere Geräteserien mit einigen Modifikationen gab (nach unten hin vergrößerter Einstellbereich). Um mich aber nicht zu verzetteln, lasse ich erst einmal alles so, wie es ist.

5 M6 Schirmgitterspannung

Genauso wie bei M5; nur handelt es sich hier um eine gefilterte Spannung. Der Messinstrumente-Vorwiderstand ist R56.

5.1 IST-Zustand

Ein kleiner Check zeigt:

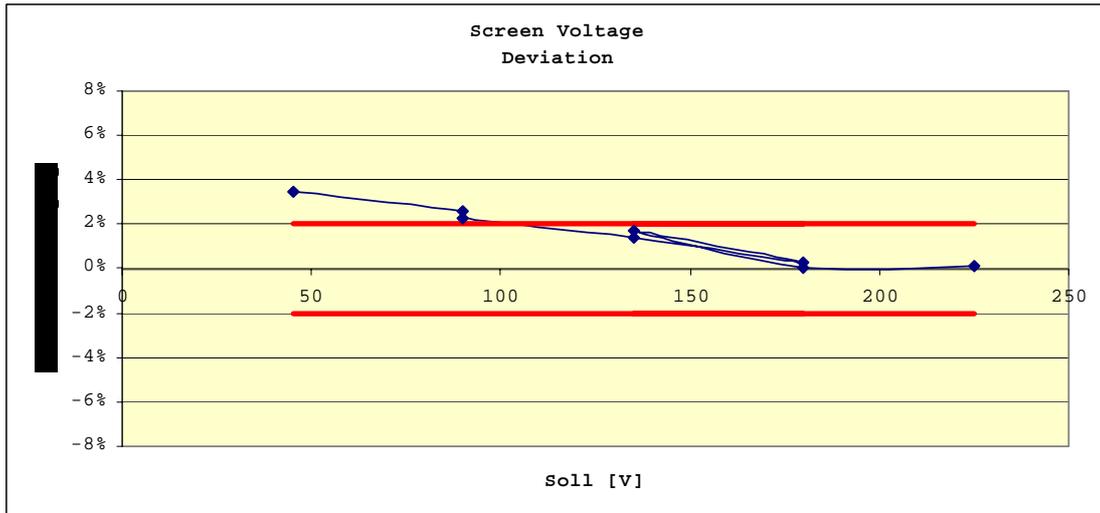


Abbildung 25: IST-Zustand Schirmgitterspannung

...daneben! Wir müssen hier was machen! Schauen wir uns zuerst wieder das Messinstrument M6 alleine an.

5.2 Messinstrument M6

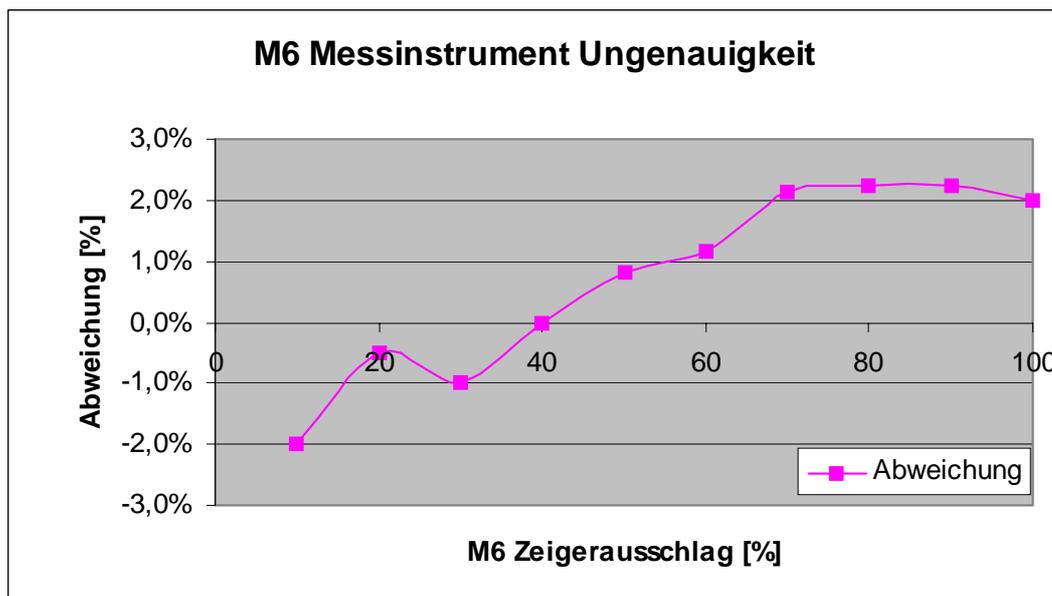


Abbildung 26: Linearität Messinstrument M6

Mit einer Abweichung von $-2,0/+2,2\%$ ist dieses Instrument vermutlich das Schlechteste in unserem TV-2. Trotzdem ist es noch brauchbar.

Wir kümmern uns um eine vernünftige Kalibrierung und werden sehen, dass wir die Herstellerlimits auch (gerade noch so;-) einhalten werden:

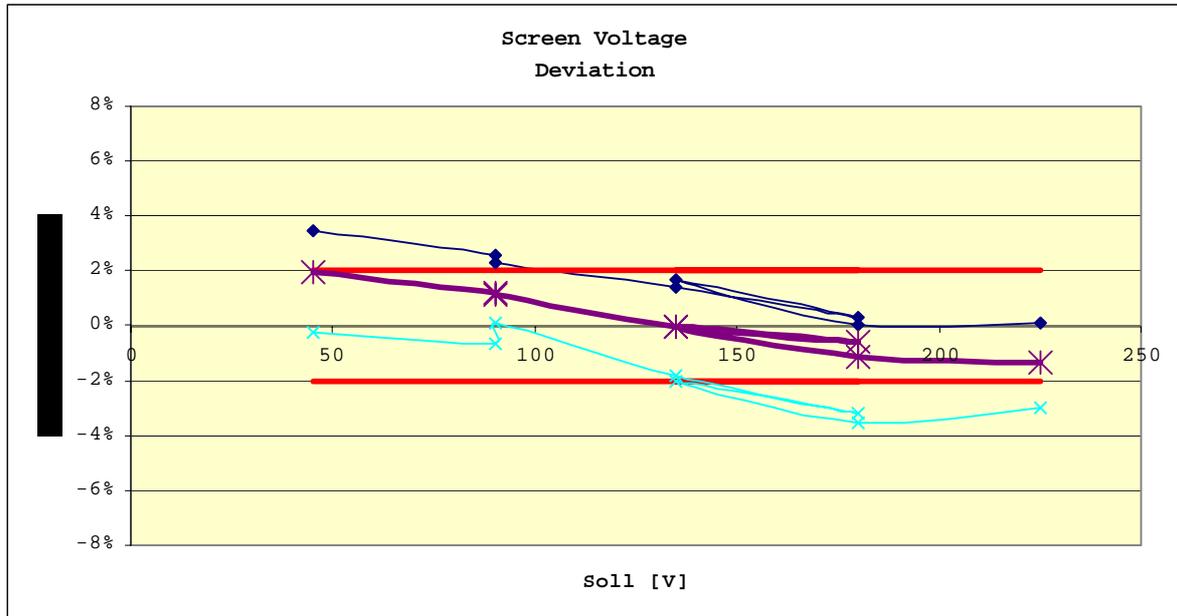


Abbildung 27: Screen Voltage Fehlerverlauf nach Abgleich

R56 alt: 257kOhm

R56 neu: 180kOhm + 68kOhm mit 10kOhm-Trimmer in Reihe

Mehr gibt's hier eigentlich nicht zu sagen. Auf zu neuen Aufgaben.

6 M4 Signal Voltage

Beim Messinstrument für "Signal Voltage" interessiert das Linearitätsverhalten nicht die Bohne. Wichtig ist nur, dass -sobald ich den Zeiger auf den roten kleinen Strich eingestellt habe- am Gitter der Röhrenfassung eine bestimmte Spannung ansteht.

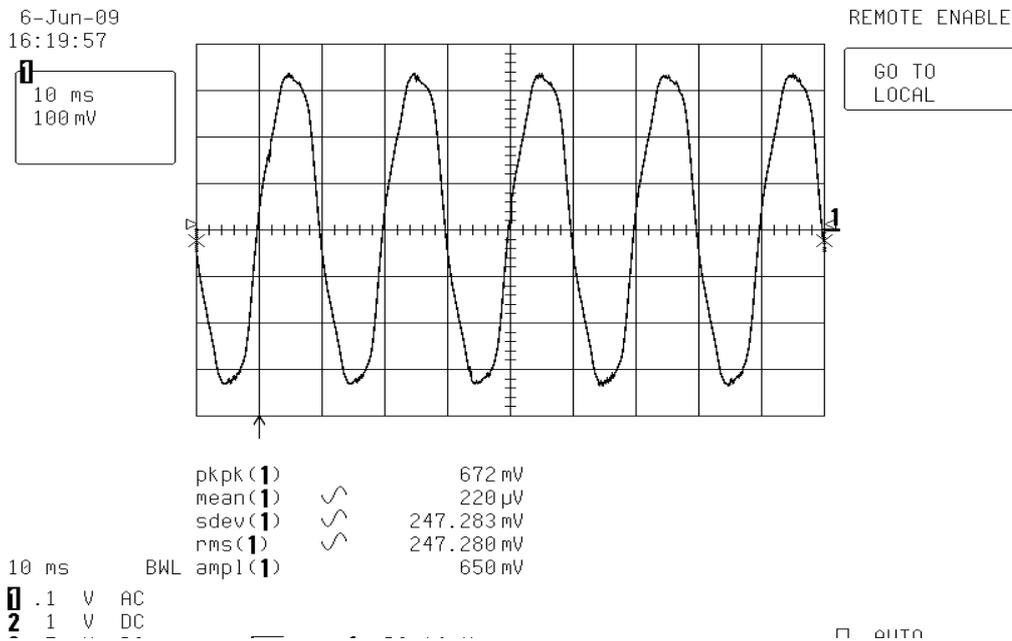


Abbildung 28: Signalspannung am Gitter (Bereich "A")

Man stellt das TV-2 dafür auf eine Einstellung, als ob man eine 6L6-Röhre messen wollte (nicht verunsichern lassen durch die doppelte Belegung von Pin8! Ist schon richtig!). Man steckt nur keine Röhre rein, sondern fummelt sein Oszilloskop zwischen Pin5 und Pin8 und misst dort die Gitter-Signalspannung.

Diese Spannungen sind -wie wir aus dem Service Manual wissen-:

Messbereich	SOLL [Veff]	IST [Veff]	Deviation [%]
A	0,25	0,2505	-0,2%
B	0,25	0,2507	-0,3%
C	0,25	0,2504	-0,2%
D	0,5	0,5005	-0,1%
E	2,5	2,5	0,0%
F (off)	0	0,0005	
gemessen mit HP34401			

Tabelle 1: Signalspannungen

Bei diesen Abweichungen drehe ich NICHTS! Ich könnte es wohl nur schlechter machen. Bleibt anzumerken, dass -bei Hinzufügen eines Gleichspannungsoffsets (=BIAS) auf das Gitter- die Signalspannung etwas absinkt. Aber so sind unstabilierte Röhrentester eben- alles beeinflusst sich gegenseitig. Aber dafür kann man das beim TV-2 mit seinen vielen Messinstrumenten ja wenigstens sehen!

Hier noch ein Bild der Signalspannung im höchsten (=unempfindlichsten) Messbereich, wo $2,5V_{\text{eff}}$ in das Gitter gedrückt wird.

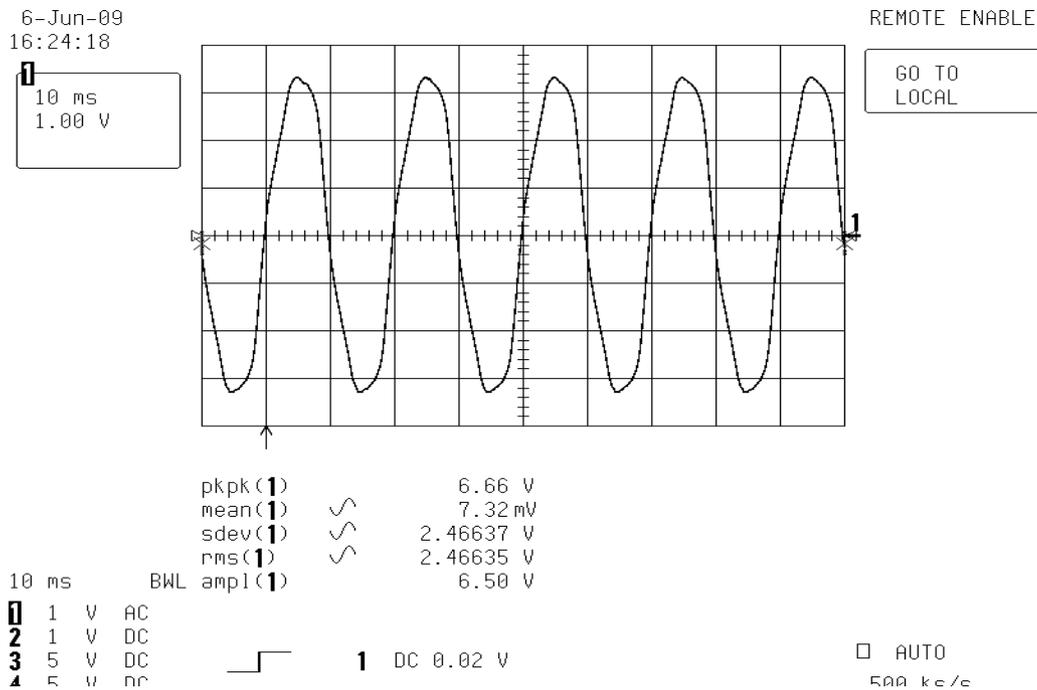


Abbildung 29: Signalspannung am Gitter (Bereich "E")

Sieht genauso aus wie bei allen anderen Stellungen. Weil die Signalspannung direkt aus dem Trafo gewonnen wird, ist es kein idealer Sinus. Aber was ist im Leben schon "ideal"... ;-)

7 M3 Gm Quality Percent

Und hier kriegte ich sie schließlich doch noch: meine harte Nuss!



Abbildung 30: Messinstrument M3

Das Kalibrieren der Prozentanzeige der Transkonduktanz-Messung forderte dann letztendlich doch noch etwas interessante Denkarbeit. Ausgangsgrundlage war die Abgleichanleitung von Alan Douglas' überaus interessantem Buch "Tube Testers and Classic Electronic Test Gear".

Bevor es ans Kalibrieren geht, hier erst einmal etwas wichtige(!) Vorarbeit:

Alan schlägt vor, zur Kalibrierung einen 5mA Wechselstrom in die Röhrenfassung zu "drücken". Nach der Formel

$$G_m [\text{Micromhos}] = \frac{I_{\text{Anode}(\text{eff})}}{U_{\text{Signal}(\text{eff})}} \cdot 10^6$$

und für unseren Fall mit 5mA Anodenstrom, sowie 250mVeff Signalspannung (das ist eine Eigenschaft des TV-2: im Messbereich A,B, und C werden 250mVeff zur Ansteuerung des Gitters angelegt) ergibt das einen Zeigerausschlag von:

$$G_m = \frac{5\text{mA}_{\text{eff}}}{250\text{mV}_{\text{eff}}} \cdot 10^6 = 20000\text{Micromhos}$$

Auf deutsch: wenn ich 5,0mAeff Wechselspannung in die Röhrenfassung einspeise, erzeuge ich einen definierten "Percent Quality"-Zeigerausschlag von 20000 μmhos . Je nachdem, wie gerade die Percent-Skala kalibriert ist (durch Drehen des Shunt-Knopfes zwischen 0 und 100%), kommt der Zeiger irgendwo auf der "Percent-Quality-Skala" (0..150%) zum Liegen.

Mitgekommen?

Mit einem auf 100% eingestellten Shunt-Regler hat das Messinstrument „Percent Quality“ von Alans TV-2-Tester einen Endausschlag von 24000µmhos- so zumindest schreibt er auf Seite 64 seines Buches. Wenn wir genau nachzählen, hat die Messinstrumente-Skala 30 Teilstriche à 5% => also von 0..150%. Beim Endausschlag (=150%) soll also nun 24000µmhos liegen. Folglich bedeutet ein Teilstrich in dieser Empfindlichkeitsstufe („A“) mit dieser Shunt-Einstellung (100%) exakt: $24000\mu\text{mhos}/30 = 800\mu\text{mhos}$.

Wir werden diese Erkenntnis gleich noch einmal aufgreifen und ausweiten.

7.1 Shunt-Regler prüfen

Vorher jedoch prüfen wir, ob der Shunt-Regler, der dem Messinstrument M3 vorgeschaltet ist, auch noch korrekt arbeitet. Dazu schlägt das Service Manual vor, ein besonderes Testgerät zu verwenden. Alles Unfug, es geht auch viel einfacher, nämlich mit einem Netzgerät, einem 1kOhm-Widerstand (ca. 5W) und einem guten Digitalmultimeter im Strommessbereich.

Ich wiederhole hier die Messung aus dem Service-Manual:

1. Plate Switch auf Pin 5 schalten
2. Suppressor auf Pin 8
3. Plate-Screen-Switch auf Position „H“ (!)
4. GM-Signal Range auf Position E

Nun mit dem Netzgerät und einem in Reihe liegenden 1kOhm-Widerstand und Strommesser einen Gleichstrom erzeugen und zwischen Pin5 (GND) und Pin8 (+) in die Oktal-Röhrenfassung jagen. Messaufbau siehe Abbildung 31.

Den TV-2 einschalten und die Taste P2 drücken. Den Zeiger von M3 beobachten: wenn er nach links ausschlägt, dann war's verkehrt herum angeklemt. (Spannung am Netzgerät oder an der Fassung umpolen.)

Das waren die Voraussetzungen. Nun kommt der Abgleich: Netzgerät ausschalten. TV-2 einschalten und nach kurzer Warmlaufzeit mit dem Knopf „GM Center“ einen Nullabgleich von M3 machen.

7.1.1 Shunt auf 90% einstellen

Netzgerät einschalten und Strom vom Strommesser ablesen (DC mA). Das Netzgerät so in der Spannung einstellen, dass das Messinstrument M3 exakt Vollausschlag (also laut Skala „150%“) anzeigt. Das sollte bei einem 1kOhm-Vorwiderstand grob bei etwa 1V der Fall sein. Jetzt den in die Röhrensockelfassung eingespeisten Strom vom Multimeter ablesen.

SOLL: 0,605mA

IST: 0,63mA. +/- 5% Abweichung seien lt. Manual zulässig, also mache ich mir keine Sorgen!

7.1.2 Shunt auf 10% einstellen

Genauso wie oben; jedoch Shunt-Regler auf 10% drehen. Man benötigt am Netzgerät nun Spannungen von etwa 10V zum Erreichen des Vollausschlags.

SOLL: 4,92mA

Bei mir war der Strom: 4,93mA. Also voll passig. Die Limits liegen laut Service Manual (S.40) ebenfalls bei +/-5%.

Das folgende Bild zeigt das Schaltbild für diese Messung.

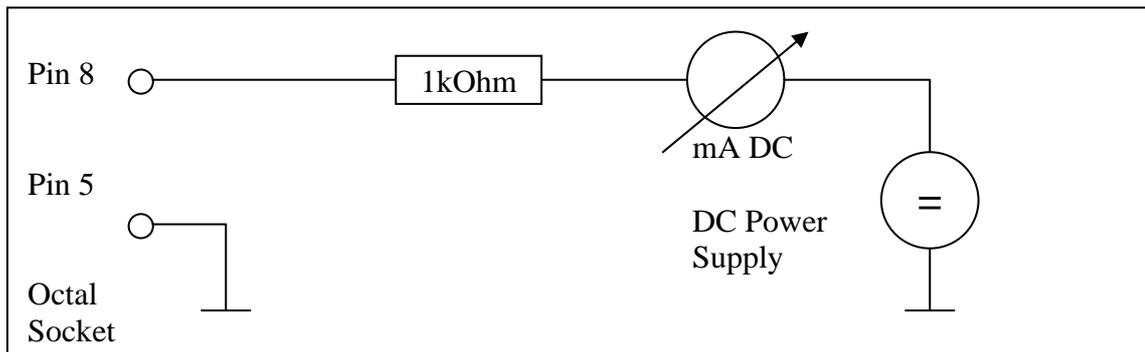


Abbildung 31: Messaufbau Shunt-Test

So sah die Messung im Original aus (der Trafo wurde (noch) nicht benötigt. Er stand da gerade herum, weil mein 1kOhm-Widerstand daran angelötet war):



Abbildung 32: Messaufbau Shunt-Messung am TV-2

7.2 Gm-Messbereich überprüfen (Vorarbeit)

Nun geht es zur Sache. Zuerst habe ich es nicht verstanden, warum man die Prüfung (siehe Alan's Buch, Seite 6) so „kompliziert“ machen soll! Ein gutes modernes Multimeter kann doch sehr gut zwischen AC und DC unterscheiden, um den –dem Anodenstrom überlagerten- Wechselstrom zu messen, brauche ich doch keinen Trafo! Oder doch?

Doch!!

Das Problem beim TV-2 ist, dass der Anodenstrom nicht gefiltert ist. Wir haben es hier mit einem gleichgerichteten Sinus zu tun!!! Ein gutes Multimeter wie das Fluke 87 ist zwar durchaus in der Lage, den DC-Anteil einer Wechselspannung zu messen, jedoch überlagern sich hier gleich zwei Wechselspannungen- dann wird es nicht mehr so einfach. Ich kann hier also nicht einfach auf DC schalten, den statischen Anodenstrom messen und dann munter auf AC und -davon völlig getrennt- den Signalstrom. Nix is!

Aus genau diesem Grund schlägt Alan völlig zu Recht vor, einen dicken Trafo mit Vorwiderstand dafür zu benutzen. Leider erklärt er in seinem Buch nur recht oberflächlich, wie er das macht. Im Grund geht es um eine genau dosierte Überlagerung von Signal- und Anodenstrom. Ich will das noch einmal genauer erklären:

7.2.1 Widerstand genau ausmessen

Der 10kOhm-Widerstand, den man verwenden soll, ist eine wirklich gute Wahl. Er ist hoch genug gewählt, dass irgendwelche Innenwiderstände im TV-2 ihm gegenüber kaum mehr ins Gewicht fallen und den einspeisenden Trafo stark genug entkoppelt, andererseits noch niederohmig genug, um die gewünschten μhos -Werte zu simulieren. Da ich erst keinen hatte, habe ich mir im ersten Versuch einen 7,6kOhm-Widerstand aus Einzelteilen zusammengebastelt. Die wurden ziemlich warm. Daher bin ich dann doch irgendwann zu Conrad gelatscht und habe mir 'nen ordentlichen 25W Drahtwiderstand 10kOhm gekauft.

Um den korrekten Strom von 5mA (oder jeden beliebigen anderen) einzustellen, kann man auf zwei Arten vorgehen, die meiner Meinung nach völlig äquivalent sind:

a) Widerstand messen und ausrechnen

Mit einem präzisen Widerstandsmesser (z.B. Agilent 34401) messe ich meinen 10kOhm Vorwiderstand genau aus. Wir nehmen mal an, es kommt 10,312kOhm heraus.

Die Spannung, die der Trafo dann über den Ausgangsklemmen erzeugen muss, um 5mA_{eff} zu erzeugen ist

$$U_{\text{eff (Trafo, sekundär)}} = R_{\text{Vorwiderstand}} \cdot I_{\text{eff}}$$

und bei uns dann

$$U_{\text{eff (Trafo, sekundär)}} = 10312\text{Ohm} \cdot 0,005\text{A} = 51,56\text{V}_{\text{eff}}$$

Damit wird auch klar, warum Alan einen Trafo mit 50V Sekundärwicklung vorschlägt :-)

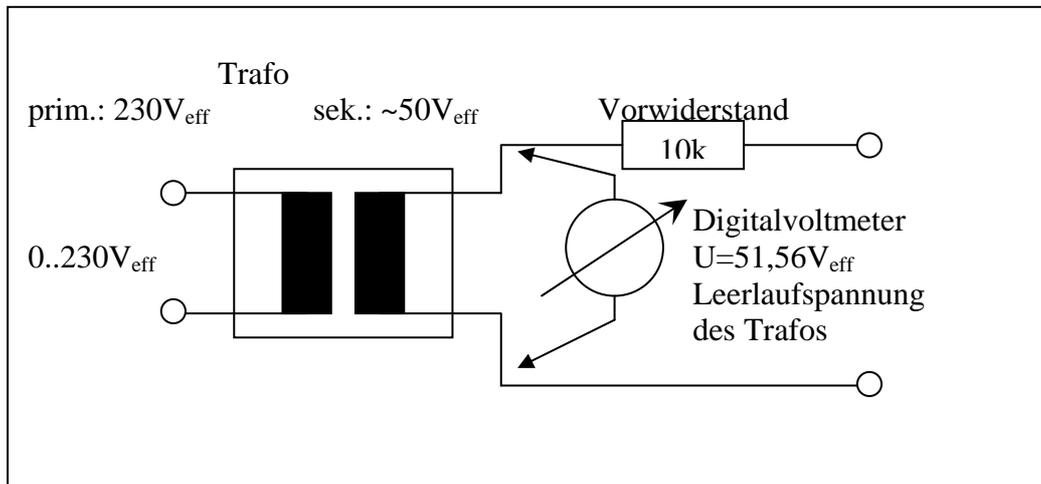


Abbildung 33: Trafo-Messschaltung für I=5mA (Variante 1)

Wir verstehen aber auch, dass jeder beliebige andere Widerstand, der grob in der Größenordnung liegt, ebenfalls verwendbar ist (siehe meinen 7,6kOhm-Bastelwiderstand). Ging auch, das Ohmsche Gesetz gilt ja glücklicherweise immer :-)

b) Strom direkt messen

Laut meiner Erfahrung geht es aber ebensogut, die Sekundärwicklung mit dem gewünschten 10kOhm-Vorwiderstand "kurz" zu schließen und den fließenden Strom im Sekundärkreis mit einem guten Multimeter direkt zu messen. Wie ich bereits oben sagte, ist der Vorwiderstand groß genug, dass sämtliche Innenwiderstände des TV-2-Testers ihm gegenüber vernachlässigbar klein sind, so dass sich der Strom durch diese zusätzlichen Innenwiderstände so gut wie nicht ändern wird. Will sagen: die 5mA bleiben nahezu 5mA; quasi eine "Konstantstromquelle". Einen ähnlichen Trick macht man auch bei der Messung der Impedanz von Lautsprecherboxen, aber das ist eine andere Geschichte ;-)

Voraussetzung für den "Konstantstrom" ist natürlich, dass der Trafo groß genug dimensioniert ist, und den beabsichtigten Strom auch wirklich spiiiieelend treiben kann. 5mA sind aber der reinste Lacher und wohl von jedem Trafo locker aufzubringen. Ich selber habe einen Trafo mit zwei in Reihe geschalteten 30V-Sekundärwindungen und ca. 3A Strom ausgewählt (also etwa $60V \cdot 3A = \text{ca. } 180VA$), den ich hinter einen Regeltrafo geschnallt habe. So konnte ich die Primärspannung so einstellen, dass ich auf der Sekundärseite die gewünschten 5mA Stromfluss ergaben.

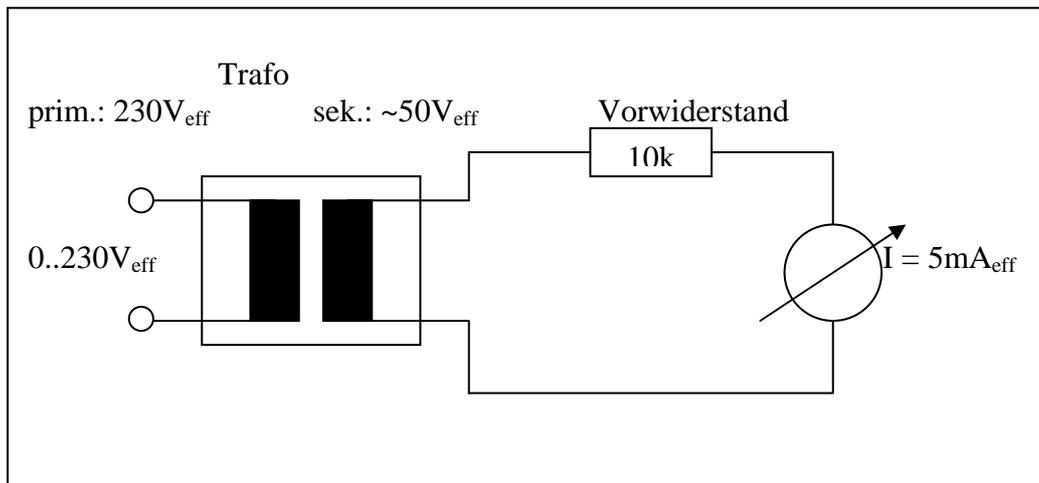


Abbildung 34: Trafo-Messschaltung für I=5mA (Variante 2)

Seien Sie übrigens nicht überrascht, wenn Sie auch in diesem Fall "automatisch" eine Sekundärspannung von den oben berechneten $\sim 51,56V_{\text{eff}}$ erhalten. Wie gesagt, die Belastung durch den Stromfluss von 5mA ist so gering, dass sich Leerlaufspannung und die Spannung unter Last so gut wie nicht voneinander unterscheiden*! (Aus diesem Grund geht es ja auch so einfach!).

Also: gut gedacht, Alan, danke für Deine Vorarbeit!

*Ich habe nachgemessen: bei 50V_{eff} AC war der Unterschied etwa nur 50mV_{eff}!

7.3 Gm-Messbereich überprüfen

Die Vorarbeit ist gemacht, nun wenden wir unsere Schaltung an. Zum Messen des Stroms koppele ich meine Schaltung kurz ab, mache bewusst einen Kurzschluss und messe den Kurzschlussstrom (siehe Abbildung 34). Dann teile ich mit einem Taschenrechner durch die Signalspannung (je nach Messbereich (A,B,C,D oder E: 0,25V_{eff}, 0,5V_{eff} oder 2,5V_{eff}) und erhalte das Ergebnis für Gm!

Hinweis: zur Darstellung des Ergebnisses in der Einheit "Mikromhos" (=μSiemens) das Teilen durch 1000000 (=1E+6) nicht vergessen (wegen "μ"!).

Ich komme auf folgende Endwerte. Damit erweitere ich Alan's Tabelle aus seinem Buch auf S. 64:

Range	Gm Full Scale [μS]	Shunt Pot (Alan D.)	Shunt Pot (my TV-2)	Grid Signal	μS/div	Calibration Current
A	30000	55	59	0,25V _{eff}	1000	7,50mA _{eff}
B	15000	37	40	0,25V _{eff}	500	3,75mA _{eff}
C	7500	37	39	0,25V _{eff}	250	1,875mA _{eff}
C	3000	86	88	0,25V _{eff}	100	750μA _{eff}
D	1500	86	88	0,5V _{eff}	50	750μA _{eff}
E	300	86	88	2,5V _{eff}	10	750μA _{eff}

Tabelle 2: Gm-Tabelle (erweitert durch mich)

Die Abweichungen sind nur minimal. Ein Vergleich der Skalenendwerte mit Alan's Angaben zeigt:

Range	Full Scale Gm Reading Alan Douglas [μS]	dito, my TV-2	@simulated Plate current
A	24000	23840	5,96mA _{eff}
B	8000	8240	2,06mA _{eff}
C	2300	2340	585μA _{eff}
D	1150	1170	585μA _{eff}
E	230	230	585μA _{eff}
F (=off)	----	---	---

Tabelle 3: Full-Scale Endwerte (Vergleich Alan's TV-2 und meiner)

Damit bin ich zufrieden. Auch wenn es mich wurmt, dass in der Spezifikation zum TV-2 keine Full-Scale-Endwerte zu finden sind. Dann hätte man noch schön darauf abgleichen können! Aber ohne das Wissen über das korrekte Ziel lasse ich alles so, wie es ist und freue mich über die ziemlich gute Übereinstimmung mit Alan's TV-2.

8 Widerstands-Pimping

Was mir bei der Kalibrierung im Allgemeinen aufgefallen ist, dass fast alle Widerstände erhebliche Erhöhung ihrer Werte zeigten. Ich habe mir alle angeschaut und die, bei denen ich der Meinung war, dass sie in ihrer Funktion eine Ungenauigkeit produzieren können, habe ich mit Parallelwiderständen geshuntet, so dass sie wieder ihren Sollwert erreichen.

Aber es geht noch viel Schlimmer: vermutlich bei einer Reparatur wurde ein Widerstand mit dem falschen Wert bestückt:

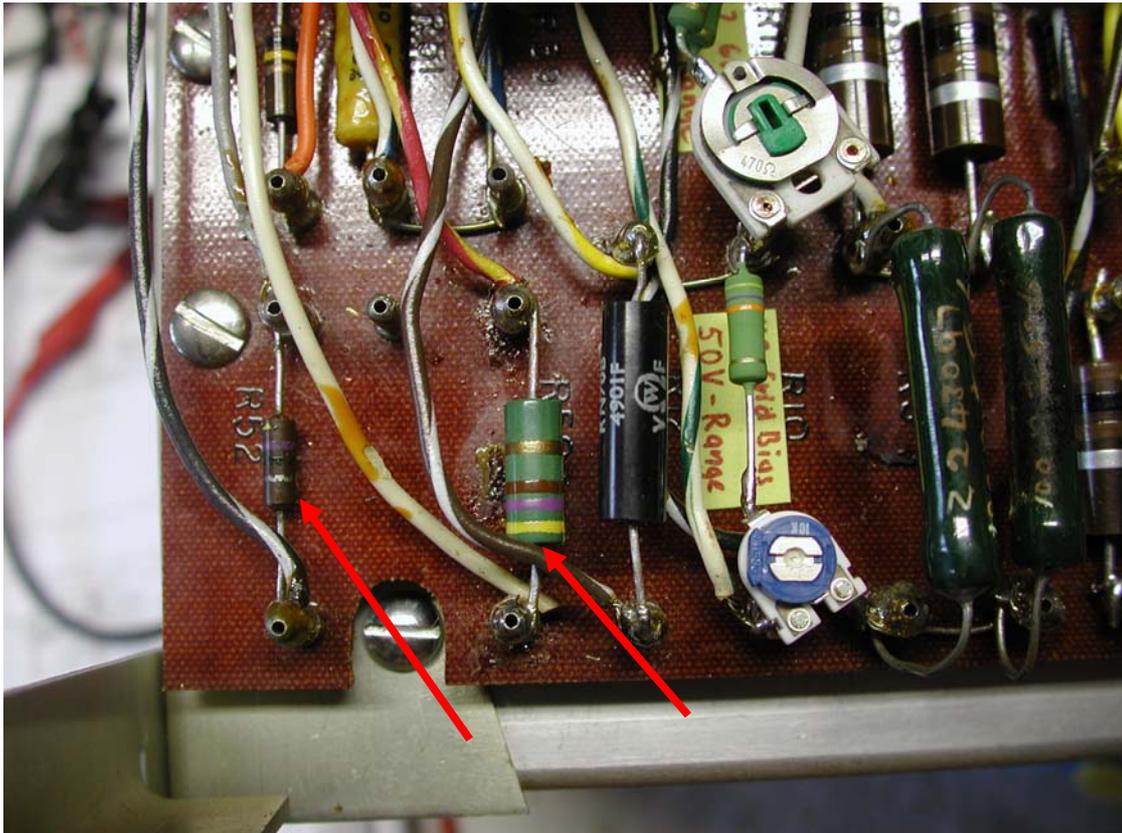


Abbildung 35: R52 und R59- beide falsch!

Laut Teileliste sollen R52 und R29 identisch sein. Dass sie das nicht sind, sieht man schon von außen. Unter R59 sind Einwirkungen von großer Hitze auf der Leiterplatte zu sehen, weshalb ich vermute, dass man ihn irgendwann einmal ausgewechselt hat. Dabei hat man leider zum Falschen gegriffen: anstatt 470 Ω , hat man nun 4700 Ω eingelötet. Das ging daneben!

/*Sarkasmus ein*/

Och, nicht schlimm, war ja nur der Anodenwiderstand, wie ich nachher aus dem Schaltbild erkenne.....-(((

/*Sarkasmus wieder aus*/

Dass R52 vom Sollwert her richtig bedruckt war (470Ohm), half ihm aber auch nicht. Beim Nachmessen.....

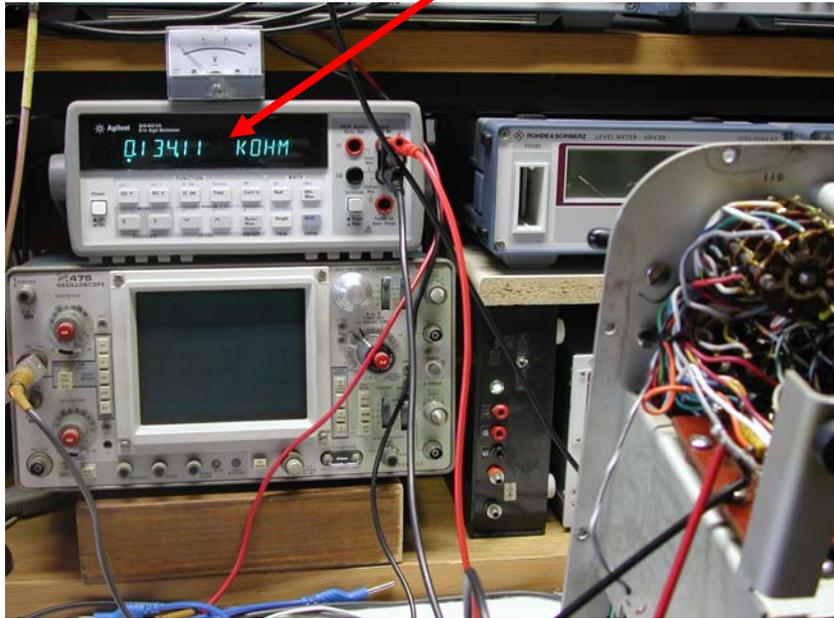


Abbildung 36: Nachmessen eines "470Ohm"-Widerstands

Liebe Leser, wie lautet da noch gleich mein Spruch?

"Raus damit!!!!"

Genau! :-)

Am Ende habe ich eine ganze Reihe neuer Widerstände einbauen müssen. Aber dafür bin ich wenigstens sicher, dass mein TV-2 jetzt endlich innerhalb Herstellerspezifikationen arbeitet! Puh! Geschafft!

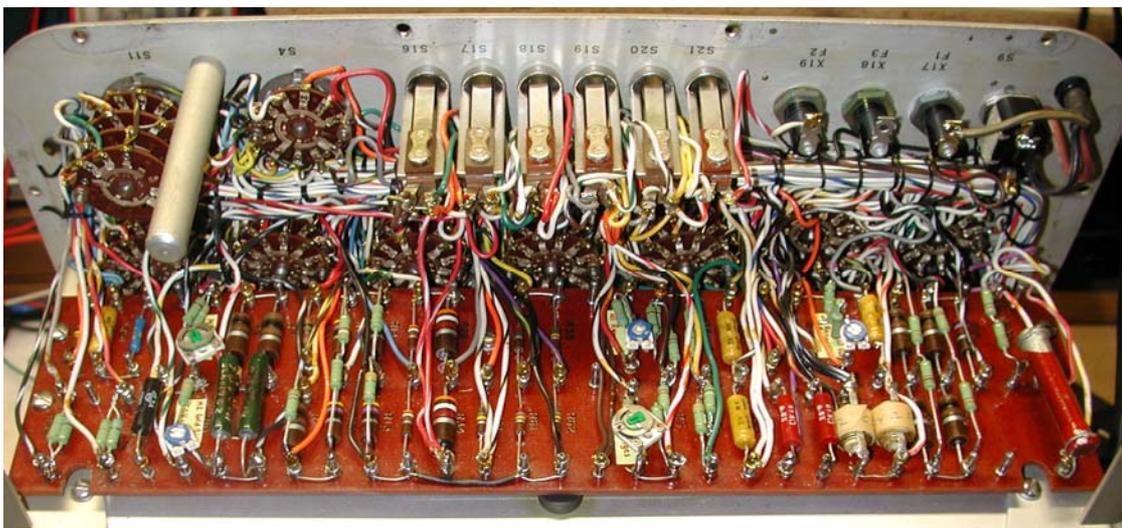


Abbildung 37: Endergebnis der "Widerstandsschlacht"

9 Anhang: kleine Messgerätehilfe

Eins ist mir bei diesem Projekt mal wieder siedendheiß klar geworden: mein Grundwissen über die Eigenschaften von Drehspulinstrumenten, Formfaktor, Mittel-, Scheitel- und Effektivwert hatte sich doch stark zurückentwickelt. Aber mal ehrlich, wüssten Sie sofort, wie Sie den Mittelwert eines 2weg-gleichgerichteten Sinus' berechneten? Na?

9.1 die Kernüberlegung

Die grundsätzliche Überlegung, wie wir vor der Kalibrierung eines Röhrenprüfers daher machen müssen, ist leider ziemlich theoretischer Natur: welche Messgeräte dürfen wir verwenden? Allein die Tatsache, dass ein modernes Digitalmultimeter bereits eine um zwei Zehnerpotenzen größere Genauigkeit besitzt als die analoge Zeigeranzeige im Röhrenprüfgerät, ist noch kein Beleg dafür, dass wir es auch automatisch einsetzen dürfen! Die Kernfrage ist doch: was genau zeigt denn unser Multimeter überhaupt an? Arithmetischen Mittelwert? Effektivwert, gültig für Sinus? Womöglich echten Effektivwert? Und was hat man damals verwendet? Auf welchen dieser Werte beziehen sich die Angaben auf dem Service Manual? Wenn wir das nicht wissen, gleichen wir auf einen falschen Zielwert ab!

Einfaches Beispiel:

Die Angabe "21Grad Raumtemperatur" hilft uns nicht, wenn wir nicht wissen, ob °Celsius oder °Fahrenheit gemeint ist. Und auch die Anweisung "die Raumtemperatur bitte auf 40Grad einstellen" ist nicht umsetzbar, solange wir nicht wissen, welche Skala gemeint ist. Aber selbst, wenn wir das wüssten, können wir noch immer nicht an der Heizung drehen, solange wir nicht wissen, in welcher Einheit überhaupt unser Thermometer geeicht ist.

Übertragen wir nun die Anweisung "40Grad" auf eine Angabe Service-Manual und das Thermometer auf unser Multimeter, mit dem wir messen wollen. Verstanden, worum es hier geht?

Wir müssen also verstehen, wie genau man früher die Soll-Werte, auf die das RPG abgeglichen werden soll, gemessen wurden und heute müssen wir gewährleisten, dass wir auch auf die selbe Art wieder rückmessen.

Alan sagt, dass früher alle DC-Spannungen mit einem Drehspulinstrument gemessen und eingestellt wurden. Um mit heutigen, hochohmigen Digitalmultimetern dieselben Ergebnisse zu erhalten, sollte man einen 250kOhm-Widerstand parallel zu den Eingangsklemmen schalten. So macht man es künstlich niederohmiger und schafft ggfs. auch stabile, ohmsche Verhältnisse beim Messen in der Schaltung.

Drehspulinstrumente sind für die Messung von Gleichspannungen konstruiert und reagieren auf den "arithmetischen Mittelwert" einer Spannung. Lege ich also eine reine Sinusspannung an die Klemmen, "mitteln" sich positive und negative Halbwelle im Betrag genau gegeneinander zu Null weg und das Messinstrument schlägt nicht aus.

Wir wollen das mal an einem Beispiel deutlicher machen. Wir sehen in Abbildung 38 eine reine Wechsellspannung: eine Sinusschwingung!

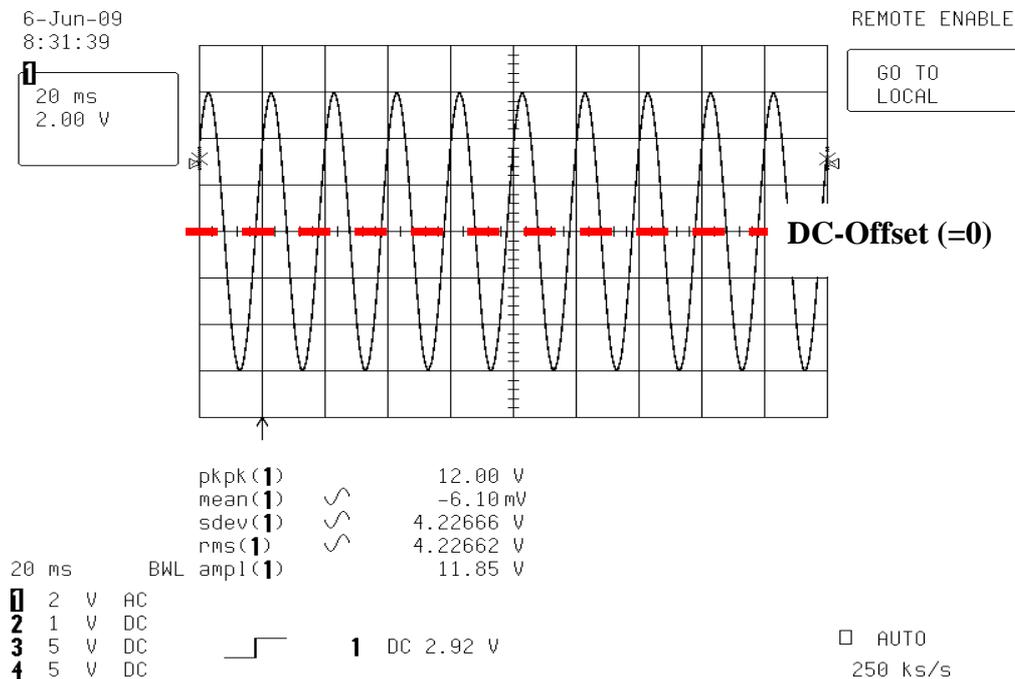


Abbildung 38: Sinusschwingung

Das hier verwendete Oszilloskop (LeCroy 9314L) ist so freundlich, und rechnet dazu allerhand Werte aus. Wie lesen aus dem Screenshot ab:

Mittelwert ("mean"): ist fast Null! Genau das würde ein Drehspulinstrument auch anzeigen. Anders im folgenden Bild, hier ist der Wechsellspannung eine Gleichspannung überlagert. Ich habe dort mal eine dicke, gestrichelte Linie eingetragen. Dort liegt der arithmetische Mittelwert!

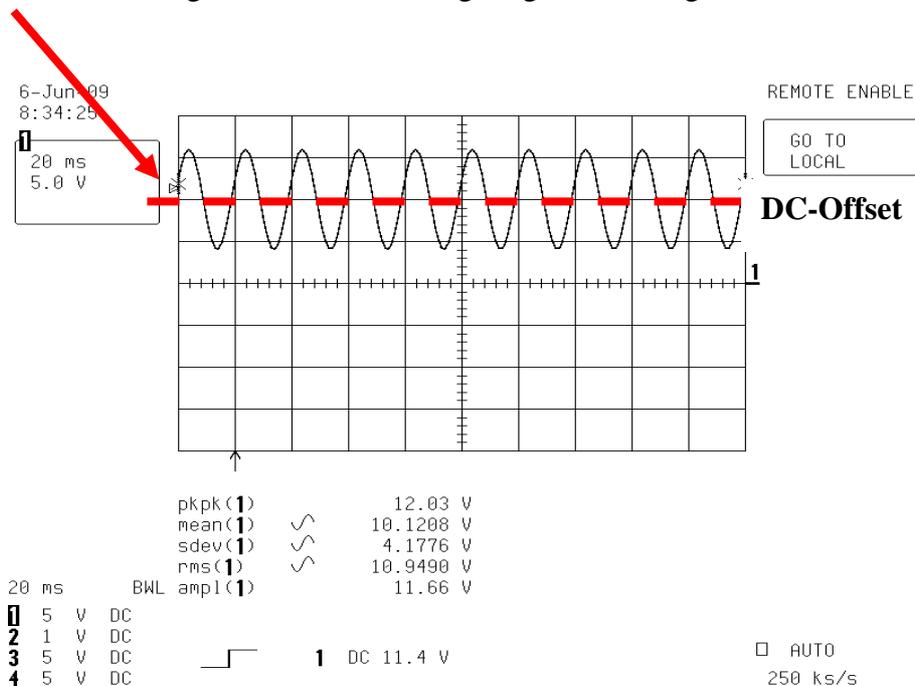


Abbildung 39: Sinusschwingung mit DC-Offset

Er ist hier übrigens ca. 10V, wie man bei "mean" im Bild oben ablesen kann.

Wir lernen also:

Ein Drehspulinstrument zeigt bei Wechselspannungen immer den Gleichspannungsanteil an. Wenn einer Sinusspannung als ein Gleichspannungsoffset überlagert ist: mitteln sich die positiven und negativen Halbwellen aus. Übrig bleibt der reine Gleichspannungsanteil, der vom Messinstrument erfasst und angezeigt wird. Damit eignen sich Drehspulinstrumente sehr gut für das Aufspüren von Gleichspannungsanteilen in Audiosignalen.

Bevor wir heute ein Digitalmultimeter als Referenz fürs Kalibrieren hernehmen, müssen wir also erst sicherstellen, dass es sich wirklich ebenso verhält wie damals das Drehspulinstrument. Es muss also ebenfalls den arithmetischen Mittelwert bilden!

Wenn man allerdings auf "AC" umstellt, zeigen gute Spannungsmesser den Effektivwert (mathematisch: den quadratischen Mittelwert) an- und zwar unabhängig davon, ob wir es mit einem Sinus oder einer anderen Wellenform zu tun haben! Dreheiseninstrumente, so wie z.B. das Messinstrument M1 für die Anzeige der Heizspannung, zeigen konstruktionsbedingt immer den echten Effektivwert an. Somit gilt:

M1-Messwerk mit einem Effektivwertmesser abgleichen (Multimeter im AC-Bereich)!

Bei der Anodenspannung wird es nun etwas spannender. Hier haben wir es mit einem gleichgerichteten Sinus zu tun- also einer positiven Höckerlandschaft. Wie wir aus der Verwendung von Drehspulinstrumenten als Werkzeuge beim Hersteller ableiten können, sind sämtliche Werte, die wir hier ablesen, als "arithmetische Mittelwerte" angegeben. Dementsprechend müssen wir unser Digitalmultimeter unbedingt auf "DC" stellen, damit es auch arithmetische Mittelwerte bei dieser Spannungsform anzeigt. Ansonsten vergleichen wir Äpfel mit Birnen!

Zur Verdeutlichung habe ich das mal grob in einem Screenshot eingetragen:

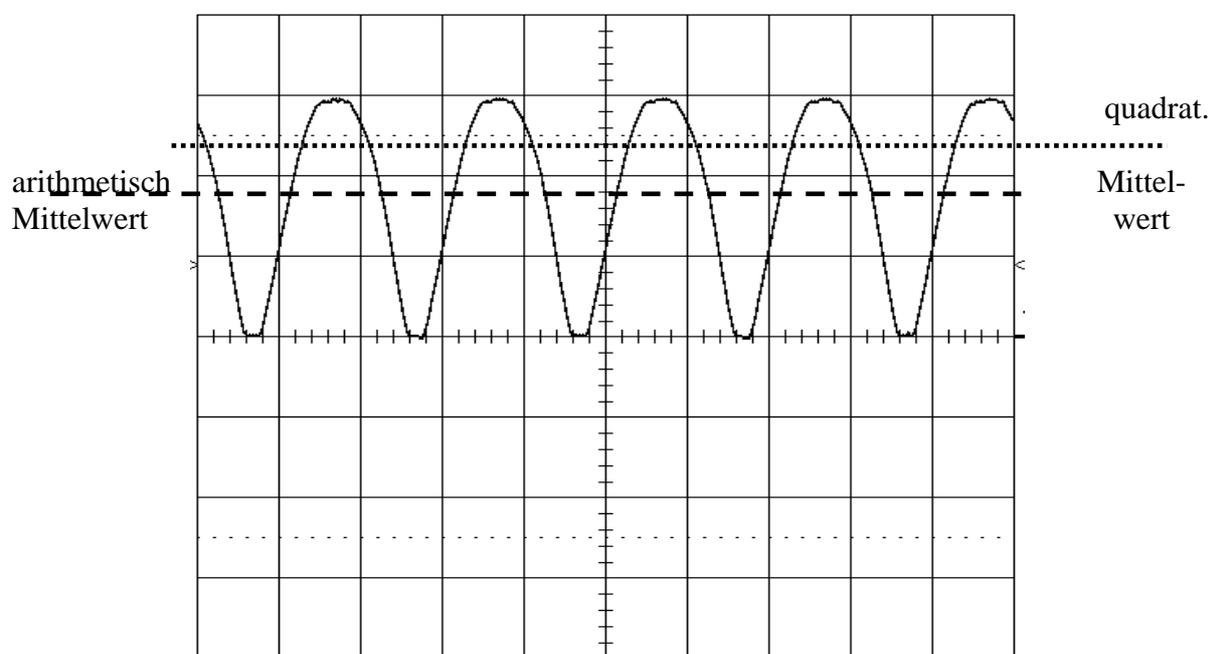


Abbildung 40: arthm. Mittelwert, quadrat. Mittelwert

9.2 Versuch

Mit diesem Vorwissen ausgestattet, sind wir nun soweit, folgenden Versuchsaufbau durchzuspielen. Ich habe ich ermittelt, was welches der bei mir verfügbaren Messinstrumente denn auch anzeigt. Überraschungen sind garantiert!

Ich habe einfach meinen 2x30V-/180VA-Trafo genommen, den ich noch von der Gm-Messung herumliegen hatte (jeder andere geht sicher auch) und ihn an einem Stelltrafo betrieben, so dass ich die Höhe seiner Ausgangsspannung einstellen konnte. An der Sekundärseite des 2x30V-Trafos habe ich einen ganz normalen Silizium-Gleichrichter geklemmt und ihn mit einem 10kOhm-Widerstand abgeschlossen (wegen eindeutiger, ohmscher Verhältnisse!). Die hinter dem Gleichrichter messbare Spannung ist dann eine ungefilterte, pulsierende Gleichspannung- eine Folge von positiven Sinushalbwellen. Also genauso wie die Anodenspannung im Röhrenprüfgerät.

Mit einem Digitaloszilloskop prüfte ich erst die Kurvenform. Den Spitzenwert stellte ich durch Drehen am Stelltrafo auf 10Vs ein. Durch die Gleichrichtung haben die positiven Sinushöcker nun eine Frequenz von 100Hz. Das Digital-Speicheroszi liefert einem bereits allerhand mathematische Kennwerte: neben den vertrauten Kenngrößen wie "arithmetischer Mittelwert, RMS-Wert und Spitzenwert" kann man sich bei diesem Oszi sogar Statistiken dazu berechnen lassen. Hilft in diesem Fall zwar nicht weiter, ist aber interessant zu wissen. Ich ermittelte folgende Messwerte:

Messgerät	Betriebsart	Anzeige	lässt schließen auf...	Bemerkung
Rohre&Schwarz URE3	DC	5,97V	$U_{\text{Mittelwert}}$	
	P-P	9,71V	$U_{\text{Spitze-Spitze}}$	
	AC	3,45V	$\frac{1}{2} * U_{\text{Effektivwert}}$	halber Wert!
	A.DC	6,9V	$U_{\text{Effektivwert}}$!!!ok!!!
Fluke 87-III	DC	5,97V	$U_{\text{Mittelwert}}$	
	AC	3,43V	$\frac{1}{2} * U_{\text{Effektivwert}}$	halber Wert!
Conrad Drehspulinstrument		ca. 6V	$U_{\text{Mittelwert}}$	
HP34401	DC	5,97V	$U_{\text{Mittelwert}}$	
	AC	3,44V	$\frac{1}{2} * U_{\text{Effektivwert}}$	halber Wert!
LeCroy 9314L Digitaloszi	(pk-pk)	10,00V	$U_{\text{Spitze-Spitze}}$	
	(mean)	6,44V	$U_{\text{Mittelwert}}$	
	(sdev)	3,47V	$\frac{1}{2} * U_{\text{Effektivwert}}$	halber Wert!
	(rms)	7,32V	$U_{\text{Effektivwert}}$!!!ok!!!
	(amp)	9,69V	unbekannt	
Unigor 6e		5,85V	$U_{\text{Mittelwert}}$	nicht kalibriert
μ 4317 (russisch)		6,1V	$U_{\text{Mittelwert}}$	nicht kalibriert

Tabelle 4: Vergleich verschiedener Multimeter

Es zeigen Abgründe auf! Meine guten, teuren Echt-Effektivwertmesser zeigen nur etwa die Hälfte an! Warum? Irgendetwas stimmt hier doch nicht?

Es hilft nichts, wir müssen hier wohl härtere Geschütze auffahren: Mathematik! Und wenn die nichts nützt, die Physik! (Kann man das noch irgendwie steigern?? Vielleicht mit Philosophie? ;-) Ha Ha!)

9.3 mathematische Herleitung

Wer meine Berichte kennt, weiß, dass ich hin und wieder auch mal ein paar mathematische Kracher (wenn man das von meinem Mathematikniveau aus betrachtet) heraushole. Hier ist wieder sowas. Warum ich das mache?

1. Weil ich meinen ehemaligen Mathe-Lehrern doch noch irgendwann einmal zeigen muss, dass zwischen den Ohren ein bisschen was hängen geblieben ist. Zu Schulzeiten war das bei mir noch nicht immer so gut erkennbar.

2. Weil es mir einfach keine Ruhe lässt, wie die mathematisch exakte Lösung aussieht (mit einem Fehler von 0,00000000000000000000!!!!)

3. Weil ich einfach verstehen will, wie das alles zusammenhängt. (Das wiederum würde nun vielleicht meinen alten Physiklehrer freuen....)

Also los geht's. Hoffentlich ist kein Fehler drin, das würde mich ja total blamieren (ist mir neulich in einem anderen Bericht passiert, da hat nen E-Technik-Professor 'nen falsch angesetzten Spannungsteiler gefunden- sehr sehr peinlich...). Egal, hier kommen die Umrechnungen von "Spitzenwert" auf den...

9.3.1 arithmetischer Mittelwert

Der arithmetische Mittelwert ist ja das, was ein Drehspulinstrument immer anzeigt. Ich quatsche nun mal nicht mehr in den Bericht rein, hier das Ergebnis einer komplett durchgerechneten Mittagspause:

Definition: $\frac{1}{b-a} \cdot \int_a^b f(x) dx$

Aus unseren Fall angewendet: $\hat{U} \cdot \frac{1}{\pi} \cdot \int_0^{\pi} \sin(x) dx$

Vereinfacht: $\hat{U} \cdot \frac{1}{\pi} \cdot [(-\cos(\pi)) - (-\cos(0))]$

$= \hat{U} \cdot \frac{1}{\pi} \cdot [+1 - (-1)]$

$$= \hat{U} \cdot \frac{2}{\pi}$$

Violà! Der Umrechnungsfaktor, um von einem gemessenen Spitzenwert einer \sin^2 -Funktion auf den Mittelwert zu schließen, ist $\frac{2}{\pi}$, also etwa 0,637. Wenn ich im Internet recherchiere, kommen die meisten auch auf dieses Ergebnis. Scheint also zu stimmen...?!? (das wäre jetzt eine philosophische Frage für meinen Geschichtslehrer: "Fresst Sch..., Millionen Fliegen können nicht irren!") ;-)

9.3.2 quadratischer Mittelwert

Der quadratische Mittelwert ist gleich dem Effektivwert- also dem Wert einer Gleichspannung, die in einem ohmschen Widerstand exakt dieselbe Wärmemenge erzeugen würde wie die Wechselspannung. Aha, das ist doch mal 'ne Aussage.

Definition:
$$\sqrt{\frac{1}{b-a} \cdot \int_a^b f(x)^2 dx}$$

Auf unseren Fall angewendet:
$$\hat{U} \cdot \sqrt{\frac{1}{\pi} \cdot \int_0^{\pi} \sin^2(x) dx}$$

Vereinfacht:
$$\hat{U} \cdot \sqrt{\frac{1}{\pi} \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \left(\pi - \underbrace{\sin(\pi)}_0 \cdot \underbrace{\cos(\pi)}_0 \right) - \frac{1}{2} \cdot \left(0 - \underbrace{\sin(0)}_0 \cdot \underbrace{\cos(0)}_0 \right) \right]}$$

mit Stammfunktion:
$$F(\sin^2(x) dx) = \frac{1}{2} \cdot (x - \sin(x) \cdot \cos(x))$$

(mit Hilfe aus dem Internet; denn in diesem verflixten Brønstein finde ich alleine noch nicht mal die Formel für eine einfache Addition (sorry- das deprimiert nun meinen ehemaligen Mathe-Prof...)).

$$= \hat{U} \cdot \sqrt{\frac{1}{\pi} \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (\pi - 0) \right]}$$

$$= \hat{U} \cdot \sqrt{\frac{1}{\pi} \cdot \frac{1}{2} \cdot \pi}$$

$$= \hat{U} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}$$

Kein Unbekanntes also! Der Umrechnungsfaktor (vornehm auch "Formfaktor" genannt), mit dem man bei unserer Funktion vom Spitzenwert auf den Effektivwert umrechnen kann, ist die gute alte 0,707! Überraschung? Eigentlich nicht- durch die Quadrierung unter der Wurzel "klappen sowieso alle Sinuswellen hoch ins Positive", da ist es völlig egal, ob sie vorher schon positiv waren oder erst durchs Quadrieren positiv werden. Fakt ist: der Umrechnungsfaktor ist $\frac{1}{\sqrt{2}}$ und genau das wollten wir lernen!

9.4 Versuchsauswertung

Erst jetzt bin ich endlich in der Lage, die korrekte Versuchsauswertung zu machen: mit den bekannten Umrechnungsfaktoren zwischen Spitzenwert, Mittelwert und Effektivwert können wir nun eine Bewertung durchzuführen.

Beispiel:

Spitzenwert $\hat{U} = 10V_{ss}$

Mittelwert $U_{mittel} = \frac{2}{\pi} \cdot \hat{U} = 6,367V$

Effektivwert $U_{RMS} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \hat{U} = 7,071V$

Tja- es bleibt aber die Frage, warum meine Echt-Effektivwertmesser fast alle nur den Halben Wert anzeigen! Nun brauchen wir die Physik! (Das würde wieder den Physiklehrer freuen: ohne Mathe kommt der zwar auch nicht aus, aber für Physiker sind Zahlen ja nur Werkzeuge, die er benutzt. Mathematiker sind da eher wie ich: sie können sich auch an einem tollen Werkzeug erfreuen! Meine sehen nur anders aus, aber lassen wir das...)

Um zu erklären, was hier so passiert, verwende ich nun einige Bilder. So sieht die Spannung, die ich messen will, ja eigentlich aus:

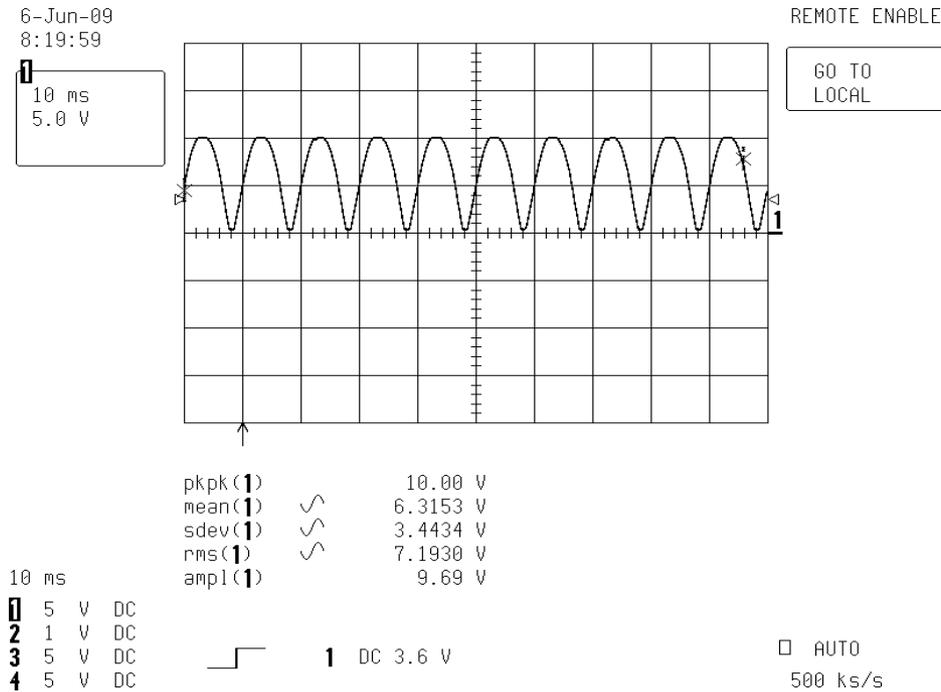


Abbildung 41: gleichgerichtete Spannung mit Offset

Alle negativen sinus-Höcker wurden gleichgerichtet und auf die positive Y-Achse gebracht. Mein Oszi errechnet einen RMS-Wert von 7,19V- also ziemlich gut dran an den mathematisch berechneten 7,07V.

Aber nun schalte ich einen Koppelkondensator in Reihe, der die Kurvenform von jeglichen Gleichspannungs-Offsets befreit. Das geht beim Oszi ganz einfach, indem ich einfach auf "AC Coupling" schalte.

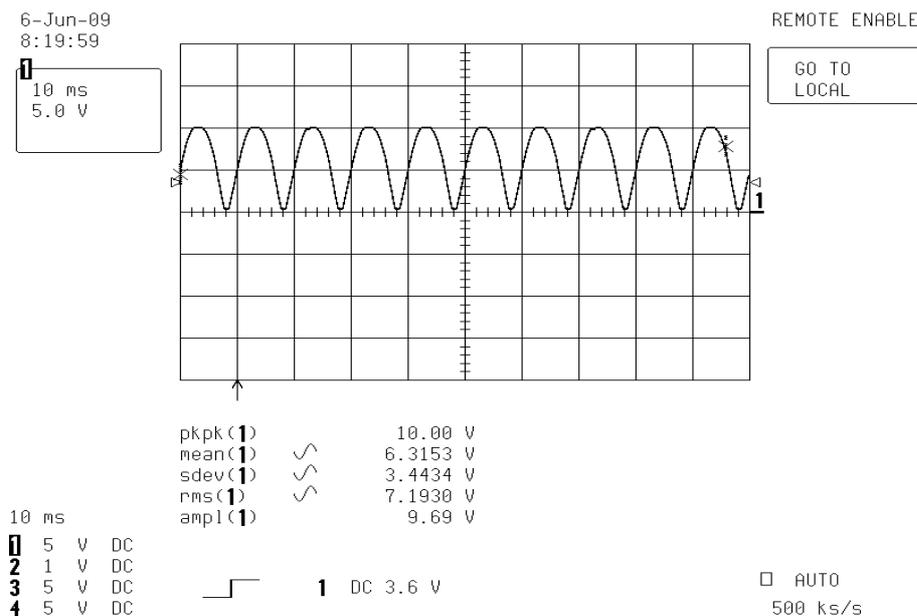


Abbildung 42: gleichgerichtete Spannung ohne Offset

Bingo!!! Als "RMS"-Wert wird 3,44V errechnet! Und genau das zeigen meine Effektivwertmesser auch ziemlich genau an!

Wir lernen wieder:

Traue nie einem Effektivwertmesser, wenn der zu messenden Spannung eine Gleichspannung überlagert ist! Diese wird meist knallhart vom Messergebnis abgezogen!

Eine rühmliche Ausnahme macht mein Rohde&Schwarz URE3; bei dem gibt es nämlich extra eine Betriebsart, bei der Gleichspannungsoffsets mit in die Effektivwertberechnung einbezogen werden. Dazu stellt man es auf "A.DC" und schon kommt der richtige Wert heraus. Überflüssig, zu erwähnen, dass dieses Gerät ziemlich teuer ist, oder?

9.5 Fazit

Das war doch wieder spannend, oder?

Ich ziehe folgende Lehren für mich:

- traue nie ungesehen einem T-RMS Multimeter
- dasselbe gilt übrigens für Versicherungsvertreter!
- versuche immer, zu verstehen, was hier eigentlich los ist
- Drehspulinstrumente zeigen den arithmetischen Mittelwert an = Gleichspannungs-Offset. Diesen kann man mit einem normalen Handmultimeter in Stellung "DC" normalerweise gefahrlos messen.
- Dreheiseninstrumente zeigen den quadratischen Mittelwert an = Effektivwert. Ist diesem eine Gleichspannung überlagert (das ist immer dann, wenn die Kurvenform nicht absolut symmetrisch zur x-Achse ist!), sei Dir sicher, dass Dein T-RMS-fähiges Multimeter den DC-Offset nicht wieder abkoppelt. Sonst stimmt's unter Umständen nicht!

Abschließend ermittelte ich für das Rohde&Schwarz URE3 und mein Oszilloskop LeCroy 9314L als die Geräte, die im Vergleich untereinander in sich die stimmigsten Ergebnisse abliefern. Das soll nicht heißen, dass man mit den anderen Geräten nicht gut messen kann! Die Kunst ist eben, zu wissen, mit welchem Messgerät man welche Messaufgabe am Besten machen kann. Das zu wissen, kann man nur durch Erfahrung lernen.

Oder durch das Lesen meiner Reparaturberichte :-)

10 Schlusswort

Damit soll es nun endlich gut sein! Mit dieser Frischzellenkur erwarte ich, dass mein TV-2-Tester mir noch viele Jahre Freude machen wird. Ein paar Pläne für die Zukunft habe ich allerdings noch:

- Einbau einer Anodenstrom-Mess-Schnittstelle (hierfür bietet sich die auf der Frontplatte vorhandene Dummy-Stromsteckdose geradezu an!!!)
- Einbau zweier Sicherheits-Bananenbuchsen anstelle der beiden maroden, brüchigen Krokodilkabel "A" und "B" (im Foto bereits abgeschnitten, damit ich aus Versehen nicht noch einen gewischt kriege!!!)
- Auswechseln des Anschlusskabels (Das ist ebenfalls recht brüchig! Zwei Meter hochwertiges H07-Kabel liegen schon zum Einbau bereit!)

Wozu es wohl leider nicht kommen wird, ist das Nachrüsten einer Kopfhörerbuchse zum Abhören von Mikrofonie-Effekten. Leider arbeitet die Hickok-Schaltung nicht mit Anodengleichstrom. Würde ich z.B. einfach einen Übertragertrafo zum Kathodenwiderstand parallel schalten und damit die NF auskoppeln, würde ich nur die pulsierende Anodenspannung "abhören". Schade- dafür brauche ich wohl noch einen zweiten Röhrentester. Vielleicht einen schönen, alten Neuberger?? ;-)



Abbildung 43: mein TV-2 Röhrentester "fast fertig" ;-)

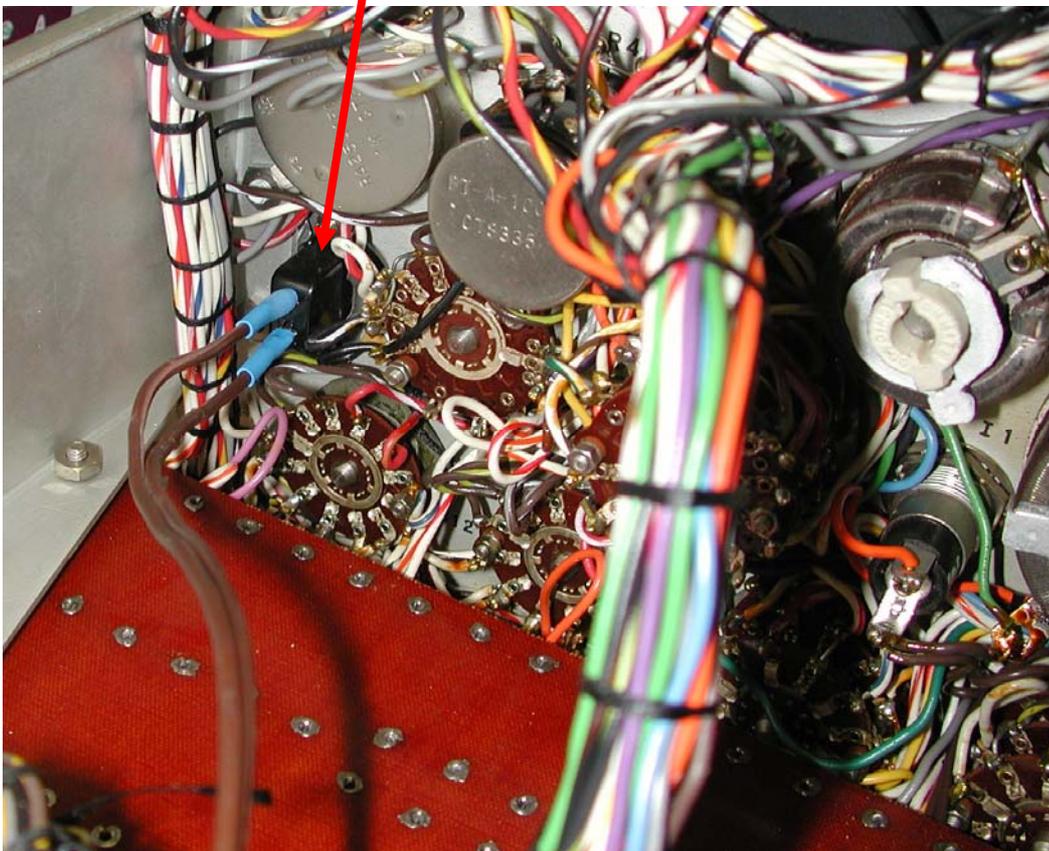
Zum Abschluss vielen Dank für's Lesen dieses Artikels und auch einen Gruß an meinen Chef, der ja hin und wieder auch über meine Internet-Reparaturberichte stolpert und sich bestimmt fragt, ob ich beruflich nicht ganz ausgelastet sei, wenn ich privat noch Energie für solche Projekte aufbringe. Es macht mir Spaß und man lernt was dazu- und nur darauf kommt es im Leben wirklich an! (Der war jetzt noch für die Philosophen, die seit Seite1 zusammen mit den Physikern noch verbissen auf einen guten Spruch gewartet haben ;-)

Marc Michalzik, 07JUN2009

11 Nachtrag

An dem TV-2 habe ich nun noch folgende Arbeitsschritte durchgeführt:

- Auswechseln des maroden Netzkabels gegen eine H07N-Leitung
- Einbau von Bananen-Sicherheitsbuchsen anstatt der maroden Krokodilklemmenkabel für Anschluss "A" und "B"
- Umfunktionieren der Netzsteckerbuchse, die eigentlich nur als mechanische Halterung für das Netzkabel in den TV-2 eingebaut wurde. Wenn man diese Buchse einfach mit dem Anodenstromkreis beschaltet, hat man eine astreine Schnittstelle zum Messen von Anodenstrom auf der Frontplatte! Und immer wieder rückstandsfrei zurück-rüstbar (wichtig für Nostalgiker)!



- Reinigen aller(!) Röhrenfassungen im Ultraschallbad. Anschließend wieder eingelötet und auf jede Leitung Ferritperlen aufgefädelt (=entspricht technisch nun fast einem TV-2 /C-U). Ich gebe gerne zu, dass das eine meiner aufwändigsten Arbeiten war, die ich an diesem Gerät durchgeführt habe.
- Wiederholung der Kalibrierung. Ergebnisse unterscheiden sich nur minimal von der ersten Kalibrierung (z.B. Einstellung des Shunts auf "88" statt vorher "87").
- Reinigung aller Drehknöpfe im Ultraschallbad.
- Isolationsmessung aller Röhrenfassungen mit 1kV DC. Ergebnis: R ~ 20GOhm
- Reinigung und Konservierung der Drahtpotis (Kontakt60, KontaktWL, Kontaktfett)

Das war's nun aber wirklich.