The uTracer

The User Manual

Englisches Original compiled and edited by Bill van Dijk

Inhalt:

1. Einleitung
   1.1. GUI-Versionsverlauf und hinzugefügte Funktionen
2. Erste Schritte
   2.1. Die GUI im Überblick
   2.2. Heizung einschalten
   2.3. Messen einer Reihe von Ausgangskurven
   2,4. Ein schneller Test
   2.5. Speichern des Pin-, und Mess-Setups
   2.6. Eine Videotour
3. Messaufbau
   3.1. Übersicht über die Messeinstellungen
   3.2. Messverfahren
   3.3. Mittelung und Bereiche
   3.4. Konformität
   3.5. Verzögerung
4. Grafische Ausgabe
   4.1. Steuern der grafischen Ausgabe
   4.2. Plot behalten
   4.3. Paaren passender Röhren (Speichern eines Diagramms)
   4.4. Transkonduktanz und Plattenwiderstand
5. Schnelltest
   5.1. Schnelltest Einführung
   5.2. Verwenden des Schnelltests
   5.3. Drucken Sie die Ergebnisse in eine Berichtsdatei
6. Speichern von Plots und Messdaten
   6.1. Speichern eines Plots
   6.2. Messdaten speichern
   6.3. Importieren von Daten nach Microsoft Excel
   6.4. Speichern des Messaufbaus
   6.5. Die Kalibrierungsdatei
   6.6. Speicherort der Dateien
7. Installation der GUI
   7.1. Fehlerbehebung
   7.2. Installieren einer neuen Version
   7.3. Testen des USB-zu-Seriell-Konverters
   7.4. Belegen und Freigeben von COM-Ports

8. Capita Selecta
    8.1. Das Kommunikationsformular
    8.2. Magische Augen und Messungen im kontinuierlichen Modus
    8.3. Überlegungen zur Heizung
    8.4. Dreipunkt Gittervorspannungs-Kalibrierung
    8.5. Das Kalibrierungsverfahren
    8.6. Anpassen des „Pin" Formulars
    8.7. Verteiltes Laden (Ultra-Linear-Modus)
    8.8. Schade Feedback Simulation
    8.9. Berechnung der harmonischen Verzerrung
    8.10. Positive Gittervorspannung (A2-Modus)
    8.11. Schwingungen unterdrücken
    8.12. Testen von Diodenröhren
    8.13. Testen eines Thyratron
    8.14. Testen von direkt beheizten Röhren
    8.15. Testen einer 12SA7-Hexode („Pentagrid")
    8.16. (Re-) Formieren von Elektrolytkondensatoren
    8.17. Grid-Loupe
    8.18. Transistorkurven-Tracer

9. Hardware-Fehlerbehebung

HINWEIS: Die (englische) elektronische Version dieses Handbuchs enthält mehrere interne (z. B. das Inhaltsmenü) und externe Hyperlinks. Diese Hyperlinks funktionieren, sind jedoch möglicherweise aus Sicherheitsgründen in Ihrem PDF-Reader deaktiviert. Um die Hyperlinks zu verwenden, stellen Sie bitte sicher, dass in Ihrem Reader Hyperlinks aktiviert sind. Beim Ausdruck funktionieren diese offensichtlich nicht. Aus diesem Grund sind alle externen Links in den Endnoten am Ende des Dokuments aufgeführt. Externe Links sind mit einer römischen Ziffer gekennzeichnet, die der Ziffer in den Endnoten entspricht. Interne Links sind offensichtlich genug.

HINWEIS zur deutschen Übersetzung:

Die deutsche Übersetzung enthält keine Hyperlinks. Bitte benutzen sie hier die Hyperlinks aus dem englischen Original.

1 - Einleitung

Um die Hardware des µTracers so einfach wie möglich zu halten, wird der gesamte Betrieb des µTracers über die Software gesteuert. Das Programm, das den µTracer steuert, heißt Graphical User Interface (GUI). Die GUI ist ein eigenständiges Programm, das kostenlos heruntergeladen werden kann. Die GUI kommuniziert mit dem µTracer über eine serielle Datenverbindung.

Die GUI wurde in erster Linie entwickelt, um die Kennlinien von Röhren zu ermitteln. Diese Kennlinien geben alle Informationen über den Zustand der Röhre und liefern Informationen für den Entwurf von Schaltkreisen. Zusätzlich zur Kennlinien-Ermittlung wurde eine Röhrentestfunktion implementiert, welche die wichtigsten Röhrenparameter für einen einzelnen Bias-Punkt misst. Diese Funktion "Schnelltest" wurde in GUI-Versionen 3p10 und höher implementiert.

Die Bedienung des µTracers ist sehr einfach und besteht in der Regel aus vier Schritten:

1. **Einstellen der Messbedingungen,**
2. **Durchführen der eigentlichen Messung,**
3. **Anpassen der grafischen Darstellung, falls erforderlich, und**
4. **Speichern der Daten.**

Sobald die grafische Benutzeroberfläche für eine bestimmte Röhre eingerichtet wurde, kann die gesamte Messeinrichtung in einer Datei gespeichert und zu einem späteren Zeitpunkt abgerufen werden. Der Quick-Test ist noch einfacher: Geben Sie einfach Ihren bevorzugten Vorspannungspunkt und den Nenn-Anodenstrom ein und drücken Sie „Test".

Die Bedienung der GUI ist ziemlich intuitiv. Mit dem Abschnitt „Erste Schritte" in diesem Handbuch können Sie so schnell wie möglich loslegen, ohne auf zu viele Details einzugehen. Es gibt jedoch einige Bedienelemente und Funktionen, die näher erläutert werden müssen. Sie werden in den folgenden Abschnitten behandelt.

1.1 - GUI-Versionsverlauf und hinzugefügte Funktionen

Ausführung:	Datum:	Beschreibung:
GUI 3.11.1	17.11.2013	• Wenn die GUI keine cal-Datei der Version 11 findet, sucht sie nach einer cal-Datei der Version 10, 9 oder 8 und kopiert diese in eine cal-Datei der Version 11. • Pins Form & Frame Namen korrigiert • Ungerade Rundung der Zahlen in der Legende korrigiert (Fabio) • Ungerade Rundung von Zahlen in QT-Formularen korrigiert (Martin) • Fehler beim Speichern von Blockformat-Datendateien behoben (Spence) • "Ia speichern" entlang der Achse in "Ia gespeichert" geändert
GUI 3.11.2	08.02.2014	Verbessertes Verfahren zur Kalibrierung der Gitterspannung. Lesen Sie hier mehr darüber **hier i**. (Dies ist eine sehr lange externe Webseite, möglicherweise müssen Sie manuell nach(unten zu Abschnitt 28 scrollen).
GUI 3.11.3	11.02.2014	Es wurde die Option hinzugefügt, die Namen der Elektroden im Formular "Pins" zu ändern. Lesen Sie mehr dazu in **Kapitel 8.6.**
GUI 3.11.4	01.08.2014	• Hinzugekommen sind Messarten, mit denen Tetroden und Pentoden mit verteilter Belastung gemessen werden können (sogenannter Ultra-Linear-Modus). Lesen Sie mehr dazu in **Kapitel 8.7.** • Option für einen Piepton nach Abschluss einer Messung hinzugefügt
GUI 3.11.5	01.09.2014	In dieser Version wurden einige wichtige neue Funktionen hinzugefügt: • Ein neues Werkzeug wurde hinzugefügt, um die harmonische Verzerrung aus einer Reihe von Ausgangskurven für eine ohmsche Last zu bestimmen! Lesen Sie mehr dazu in **Kapitel 8.9.**

		• Ein Messtyp wurde hinzugefügt, um den Effekt von Schade-Feedback direkt zu bewerten. Lesen Sie mehr dazu in **Kapitel 8.8.** • Die Messung sowie die gespeicherte Messung werden jetzt in der Einstellungsdatei gespeichert. Auf diese Weise können Sie eine Art "Standard"-Röhre speichern oder eine Kurve für eine spätere Analyse (harmonische Verzerrung) abrufen. • Automatischer Gitterfehler behoben und die Anzahl der Dezimalstellen in der Legende auf 2 erhöht (Ale)
GUI 3.11.6	21.09.2014	In dieser Version wurden dem Schnelltest eine Reihe neuer Funktionen hinzugefügt: • Es ist jetzt möglich, Sollwerte für alle Ströme und Parameter einzugeben, die alle in der Setup-Datei gespeichert sind. • Das Layout der Formulare wurde gemäß den Vorschlägen von Martin Manning verbessert. • Die gemessenen Schnelltestdaten können in Form eines Berichts in eine Datei geschrieben werden. • Last but not least signalisiert der Piepton am Ende der Messung jetzt auch das Ende eines Schnelltests.
GUI 3.12.1	25.03.2015	Das Zeichnen von Punkten, die außerhalb des Maßstabs liegen oder einen Konformitätsfehler verursacht haben, entfällt! Gleichzeitig wurde ein Fehler behoben, der dazu führte, dass in der Setup-Datei gespeicherte Messungen nicht aufgezeichnet wurden.
GUI 3.12.2	08.07.2015	Das unbeabsichtigte Zurücksetzen der GUI beim Öffnen des Kalibrierungsformulars wurde korrigiert.
GUI 3.12.3	31.01.2018	Sowohl die **Niederspannungs-Hardwareoption ii** als auch die **Grid Loupe-Option iii** wurden hinzugefügt. (Folgen Sie den Links zur externen Website für Hardware-Änderungen.)
GUI 3.12.4	22.05.2018	Der Maximalwert, der für die Achse eingegeben werden kann, wurde auf 1M erhöht
GUI 3.12.5	24.12.2018	• Die maximale Verzögerungszeit wurde auf 30000 erhöht, um das **Formieren von Kondensatoren iv** zu erleichtern. Lesen Sie die Anweisungen auf der externen Website. • Auch ein Problem im Zusammenhang mit dem Schnelltest in Kombination mit der Niederspannungsversion wurde behoben.
GUI 3.12.6	06.01.2019	Diese Version enthält die notwendigen Änderungen, um den µTracer für höhere Ströme verwenden zu können (lesen Sie mehr **hier v** auf der externen Website). Auch eine Reihe von Fehlern im Schnelltest wurden entfernt. • Es ist möglich geworden, den Wert der Stromerfassungswiderstände im Kalibrierungsformular anzugeben. Die Werte werden in der Kalibrierungsdatei gespeichert. • Im Kalibrierungsformular wurde eine Schaltfläche hinzugefügt, um alle Kalibrierungswerte zurückzusetzen. • Der Maximalwert für die Nennanoden- und Siebstromwerte im Schnelltestformular wurde auf 1000 erhöht. • Ein irritierender Fehler, der im Schnelltest unnötige Warnmeldungen verursachte, wurde entfernt. • Ein Fehler, der Probleme verursachte, als die GUI für die Niederspannungsversion verwendet wurde, wurde behoben.

2 - Erste Schritte

In diesem Abschnitt wird davon ausgegangen, dass die GUI (Version 3p10) installiert wurde und die Verbindung zur µTracer-Hardware funktioniert. Um praktische Erfahrungen zu sammeln, empfiehlt es sich, eine mittelgroße Pentode wie eine EL84 (6BQ5) an den µTracer anzuschließen. Sie können auch eine Triode verwenden. In diesem Fall ist es jedoch nicht möglich, die Optionen für die Bildschirmstrommessung zu untersuchen.

2.1 - Die GUI im Überblick

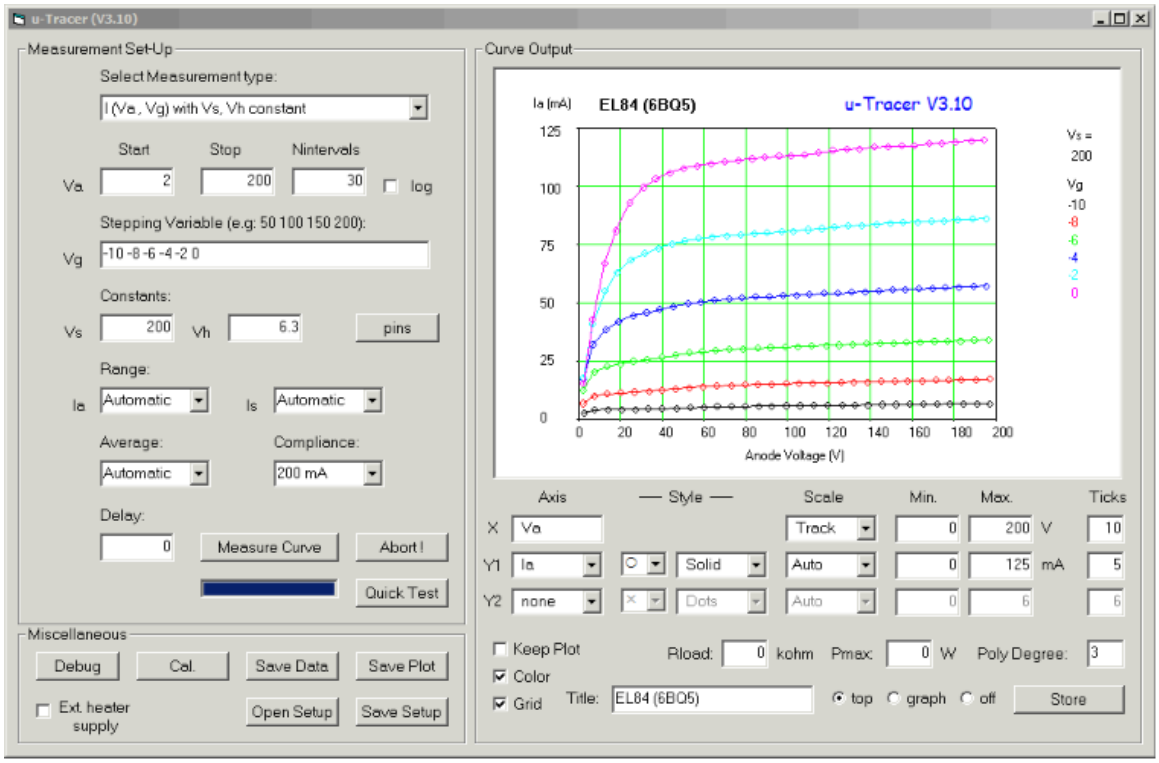


Abbildung 2.1.1 Hauptfenster der Benutzeroberfläche von µTracer 3.10.

Abbildung 2.1.1 zeigt das Hauptformular(Fenster)(Formular ist ein Visual Basic-Begriff) der GUI. Dieses Fenster enthält drei Bereiche. Der obere linke Bereich dient zum Messaufbau. Hier können Dinge wie die Art der Messung, die Spannungsbereiche und Details zur Bereichsauswahl, Mittelwertbildung und Stromkonformität eingestellt werden.

Die rechte Seite des Fensters dient zur grafischen Anzeige der gemessenen Daten. Hier wird angegeben, was und wie geplottet wird. Standardmäßig ist der Anodenstrom entlang der linken y-Achse aufgetragen. Es ist auch möglich, einen anderen Parameter auszuwählen oder eine zweite y-Achse rechts zu aktivieren, z.B. um gleichzeitig den aktuellen Bildschirmstrom zu plotten. Weiterhin ist die Skalierung von Achsen, der Markertyp, der Linienstil, der Plottitel usw. können eingestellt werden. Standardmäßig ist die Skalierung der Achsen auf automatisch eingestellt, sodass Sie für eine schnelle Darstellung nichts einstellen müssen.

Der kleine Bereich unten links ist für alle anderen Dinge reserviert, z. B. zum Speichern der Messdaten oder des Diagramms, zum Speichern und Abrufen eines Messaufbaus, zum Ändern der Kalibrierungswerte und zum Debuggen der Kommunikation.

2.2 – Heizung Einschalten

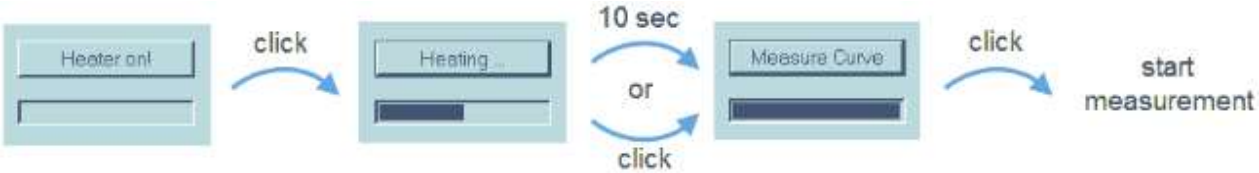


Abbildung 2.1.2 Einschalten der Heizung.

Da es einige Zeit dauert, bis sich die Heizung einschaltet und stabilisiert, empfiehlt es sich, zuerst die Heizung einzuschalten und dann die andere Messeinstellung anzupassen. Stellen Sie vor dem

Einschalten der Heizung sicher, dass im Feld „Vh" die richtige Heizspannung angezeigt wird. Ist dies nicht der Fall, stellen Sie den Wert auf einen Wert zwischen 0 und der Versorgungsspannung des µTracer ein, normalerweise etwa 19,5 V. Wenn Sie zufrieden sind, dass die richtige Heizspannung eingestellt ist, drücken Sie die Taste „Heizung ein!". Der Text auf der Schaltfläche ändert sich nun in „Heizen…". Die GUI sendet Befehle an die µTracer-Hardware, um die Heizspannung schrittweise von Null auf 100% des Sollwerts zu erhöhen. Dieser „langsame Start" reduziert den Wärmeschock, der normalerweise mit dem Einschalten eines kalten Heizgeräts von einer niederohmigen Spannungsquelle verbunden ist. Der Fortschrittsbalken unter der Befehlsschaltfläche zeigt den Fortschritt dieses Vorgangs an.

Tipp: Wenn Sie die Befehlstaste erneut drücken, während „Heizung…" angezeigt wird, wird die Heizspannung direkt auf den angegebenen Sollwert geschaltet.

Wenn die Heizung vollständig eingeschaltet ist, ändert sich der Text auf der Befehlsschaltfläche in „Kurve messen". Grundsätzlich kann jetzt eine Messung gestartet werden, es kann jedoch bis zu einer Minute dauern, bis die Heizung ihre Nennbetriebstemperatur (und damit die Emission) erreicht. Wir werden diese Zeit also nutzen, um die Messung einzurichten.

2.3 - Messen einer Reihe von Ausgangskurven

Während sich die Heizung stabilisiert, kann der Rest des Messaufbaus abgeschlossen werden. Der µTracer kann eine Reihe verschiedener Kurventypen messen und zeichnen, die aus dem Dropdown-Menü oben im Messbereich des Hauptfensters ausgewählt werden können. Um einen repräsentativen Satz von Ausgangskurven zu messen, wählen Sie die dritte, die markiert ist: I (Va, Vg) Vs, Vh-Konstante (Abb. 2.1). Dies ist eine Abkürzung für: „Messen Sie die Ströme als Funktion der Anodenspannung (x-Achse), erhöhen Sie die Gitterspannung, während Sie die Bildschirm- und Heizungsspannungen konstant halten. Wenn ein neuer Messtyp ausgewählt wird, setzt die GUI die Vorspannungsbedingungen automatisch auf Standardwerte, die normalerweise ein angemessener Ausgangspunkt sind. Für eine Reihe von Ausgangskurven beträgt die Standard-Schirmspannung 200 V, während die Anodenspannung zwischen 2 und 200 V gewobbelt wird. In diese Felder kann ein beliebiger Wert zwischen 2 und 300 V eingegeben werden. In diesem Beispiel möchten wir möglicherweise einige Gittervorspannungswerte hinzufügen. Ersetzen Sie daher die -10 V für die folgenden durch Leerzeichen getrennten Reihen: „-10 -8 -6 -4 -2 0" (Abb. 2.1). Nach diesen Vorbereitungen starten Sie die Messung durch Drücken der Befehlstaste, die jetzt "Kurve messen" anzeigt. Die Hochspannungs-LED leuchtet auf und zeigt an, dass im µTracer-Schaltkreis hohe Spannungen anliegen. Der µTracer beginnt mit der Datenerfassung für die Ausgangskurven. Während die Kurven gemessen werden, werden sie im grafischen Ausgabeabschnitt des Hauptformulars aufgezeichnet. Normalerweise müssen die Einstellungen im Ausgabeabschnitt kaum geändert werden, da die Achse im Verlauf der Messung automatisch skaliert wird. In Abschnitt 3 wird der Zweck der verschiedenen Kontrollen erklärt. Die Messung kann durch Drücken der Taste „Abort" unterbrochen werden. Nach der Messung (oder nach einem Abbruch) entlädt die µTracer-Hardware die Hochspannungs-Elektrolytkondensatoren auf ein sicheres Niveau und die Hochspannungs-LED erlischt.

Tipp 1: Aktivieren Sie das Kontrollkästchen „Beep" für ein Audiosignal, wenn die Messung abgeschlossen ist.

Tipp 2: Starten Sie keine neue Messung, bevor die Hochspannungs-LED erlischt, da dies zu einem „Aufhängen" der Software führen kann, was einen Neustart der Hard- und der Software erforderlich macht.
Wenn Sie eine Pentode (oder Tetrode) angeschlossen haben, wählen Sie im Dropdown-Menü in der Spalte „Achse" neben „Y2" den Parameter „Is". Der Bildschirmstrom wird nun zusammen mit der Achse auf der rechten Seite des Diagramms zur Anzeige

hinzugefügt. Wenn Sie mit der Maus auf oder in der Nähe einer der Kurven klicken, wird eine Markierung angezeigt. Der Wert an diesem Punkt wird ebenfalls angezeigt und bei Bedarf zwischen den Messpunkten interpoliert. Um das Diagramm zu speichern, klicken Sie im Abschnitt "Verschiedenes" des Hauptformulars auf "Diagramm speichern". Ein neues Formular wird geöffnet, in dem Sie aufgefordert werden, einen Dateinamen und einen Pfad einzugeben. Leider wird nur ".bmp" unterstützt. Die Messdaten können zur weiteren Verarbeitung auch im ASCII-Format gespeichert werden, indem Sie auf die Befehlsschaltfläche „Daten speichern" klicken. Es stehen verschiedene Datenformate zur Verfügung, die in Abschnitt 6.1 erläutert werden.

2.4 – Ein schneller Test

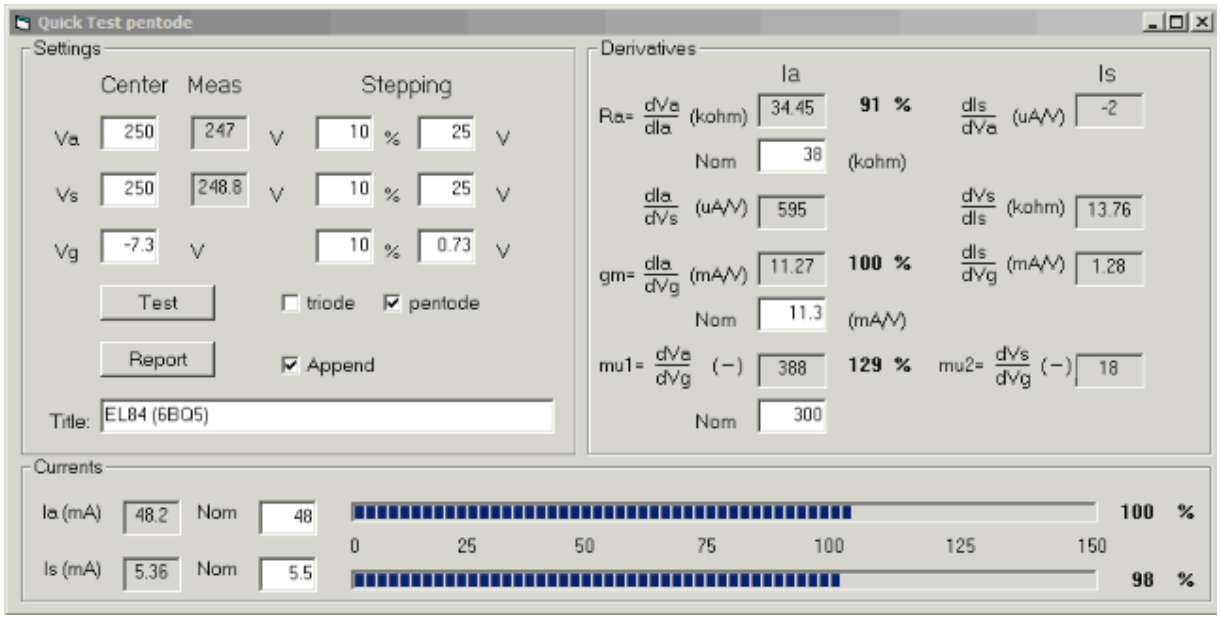


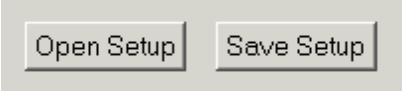
Abbildung 2.4.1 Der Schnelltest

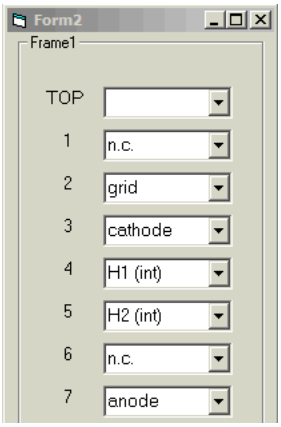
Mit dem µTracer können nicht nur vollständige Kurven aufgenommen, sondern auch die wichtigsten Parameter wie Plattenwiderstand (Rp), Transkonduktanz (Gm), Verstärkung (mu) und Ströme an einem einzigen Vorspannungspunkt gemessen werden. Hersteller von Röhren geben diese Parameter häufig an einem Vorspannungspunkt an, den sie für optimal halten. Da zum Extrahieren dieser Parameter nur wenige Messungen erforderlich sind, dauert ein „Schnelltest" nur wenige Sekunden.

Bei eingeschalteter Heizung kann der Schnelltest durch Klicken auf die Befehlsschaltfläche „Schnelltest" aufgerufen werden. Es wird ein neues Fenster angezeigt, von dem aus der Schnelltest durchgeführt wird. Wenn Sie eine Pentode an den µTracer angeschlossen haben, aktivieren Sie das Kontrollkästchen „Pentode". Ein alternatives Fenster wird angezeigt. Geben Sie nun den Bias-Punkt für den Schnelltest ein. Im Fall eV, Vs = 250 V und Vg = -7,3 V. In den mit „Nom" bezeichneten Textfeldern sind die Nennwerte für die Anoden- und Schirmströme sowie die Nennwerte angegeben Für den Plattenwiderstand können die Transkonduktanz und die Verstärkung eingegeben werden. Klicken Sie nun auf "Test". Die GUI misst nun die Ströme in einigen Vorspannungspunkten in und um den angegebenen Punkt und extrahiert die Ableitungen. Wenn Sie die Nennrohrparameter nicht kennen, können Sie den Nennwert bei 0 belassen.

Weitere Einzelheiten zur Schnelltestfunktion werden in Abschnitt 5 dieses Handbuchs erläutert. Im Moment möchte ich nur hinzufügen, dass, wenn die Doppel-Triode getestet werden soll, beide Abschnitte gleichzeitig getestet werden können. Auf diese Weise werden Informationen über die Übereinstimmung der Abschnitte schnell angezeigt.

2.5 - Speichern des Pin- und Mess-Setups





Abhängig von Ihren persönlichen Vorlieben haben Sie ein Mittel ausgewählt, um den µTracer an die Pins der Röhrenfassungen anzuschließen. Einige Leute verwenden einen einfachen „Bananenstecker"-Anschluss, während andere Drehschalter oder eine ähnliche Lösung bevorzugen. In beiden Fällen ist es nützlich, über ein Mittel zum Speichern von Informationen zu verfügen, die angeben, an welche Pins die Anschlüsse des µTracer angeschlossen werden sollen. GUI-Versionen 3p9 und höher verfügen über ein Formular, in dem diese Informationen gespeichert werden können. Das Formular kann durch Klicken auf die Schaltfläche „Pins" aufgerufen werden. Es zeigt die Pin-Nummern und neben jedem ein Dropdown-Menü an, aus dem das entsprechende µTracer-Terminal ausgewählt werden kann. Beachten Sie, dass eine Reihe von zusätzlichen und Ersatzterminals für zukünftige Erweiterungen enthalten sind. Diese Funktion wurde nur zur Vereinfachung des Benutzers hinzugefügt und beeinträchtigt in keiner Weise die Funktion des µTracer oder die Messung.

Zu diesem Zeitpunkt ist es möglich, den gesamten Messaufbau und die Messungen in einer Datei zu speichern, damit sie später abgerufen werden können, d. H. Wenn eine andere Röhre des gleichen Typs gemessen werden soll. Um das Setup zu speichern, klicken Sie einfach auf "Setup speichern" und geben Sie einen geeigneten Dateinamen ein, z. "EL84out". Die Datei mit den Einrichtungsdaten hat die Erweiterung .uts und wird in demselben Verzeichnis gespeichert, aus dem die GUI gestartet wurde, sofern kein anderer Pfad angegeben ist. Die Setup-Datei ist eine normale ASCII-Datei und kann mit einem beliebigen Texteditor überprüft werden.

2.6 - Eine Videotour.

Für eine frühere Version dieses Handbuchs habe ich eine Reihe von Bildschirmaufzeichnungen über den Betrieb der µTracer-Benutzeroberfläche erstellt. Die Videos wurden mit der GUI-Version 3.4 aufgenommen und sind daher etwas veraltet, die Hauptbedienung des µTracer ist jedoch unverändert geblieben. Als solche geben sie eine ziemlich gute Vorstellung davon, wie der µTracer betrieben wird. Das Aktualisieren der Bildschirmaufnahmen steht auf meiner (sehr langen) "To Do" Liste.

Messaufbau	Grafische Ausgabe	Transkonduktanz	Kommunikation
vi	vii	viii	ix

Klicken Sie(im Original) auf eines der Bilder, um eine Videoanleitung zur GUI zu erhalten!

3 - Messaufbau

In diesem Abschnitt wird das Formular „Messaufbau" ausführlich erläutert. Die Hauptfunktionen des Formulars werden in einem Abschnitt "Übersicht" vorgestellt. In den folgenden Abschnitten werden Funktionen beschrieben, die einer ausführlicheren Erläuterung bedürfen.

3.1 - Übersicht über die Messeinstellungen

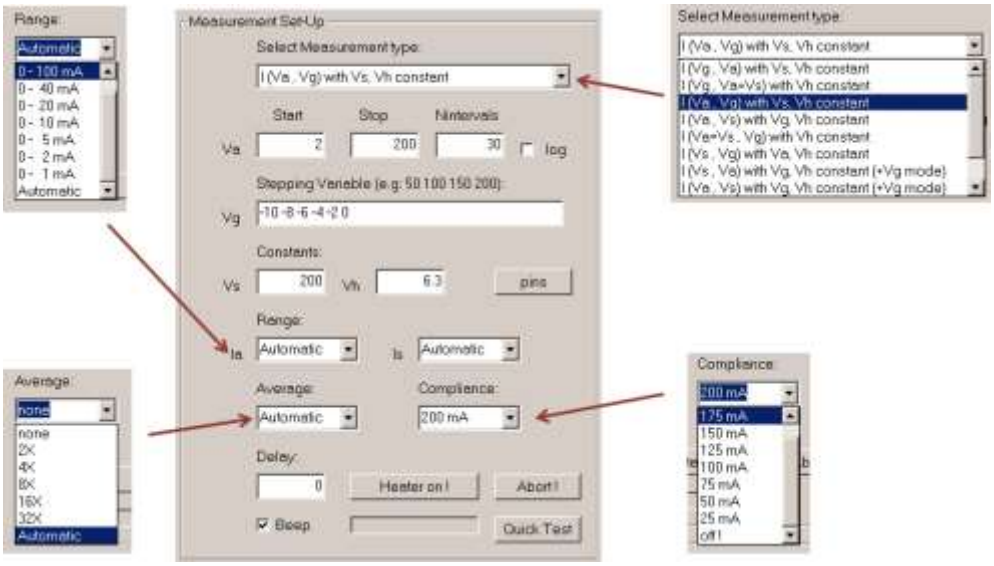


Abbildung 3.1.1 Das Formular „Messaufbau"

Das Einrichten einer neuen Messung ist recht einfach und intuitiv. Der beste Ansatz besteht darin, das Formular für den Messaufbau von oben nach unten durchzugehen. Die meisten Einstellungen wurden vorprogrammiert oder werden automatisch ausgefüllt, wenn ein neuer Messtyp ausgewählt wird, sodass normalerweise nur sehr wenige Anpassungen erforderlich sind, um eine Reihe von Kurven zu erstellen.

Als erstes muss der Messtyp angegeben werden. Dazu wählen Sie einen der Messtypen aus dem Dropdown-Menü oben im Formular aus (Abb. 3.1.1). In GUI 3p10 wurden zehn verschiedene Messtypen vordefiniert, die im nächsten Abschnitt besprochen werden. Beachten Sie, dass sich bei Auswahl eines neuen Messtyps die Variablennamen und die Standardwerte in einigen anderen Textfeldern entsprechend ändern. Jede Messung beinhaltet eine "laufende" Variable und eine "schrittweise" Variable und möglicherweise eine oder zwei konstante Spannungen. Die laufende Variable ist die Variable entlang der x-Achse. Diese Variable wird als Bereich von "Start" bis "Stopp" angegeben, der eine Reihe von Messpunkten "Zwischenintervalle" umfasst. Normalerweise ist der Abstand zwischen diesen Punkten äquidistant. Durch Aktivieren des Kontrollkästchens „log" wird jedoch ein sogenannter logarithmischer Sweep generiert, bei dem der Abstand zwischen den Punkten entlang der Kurve zunimmt (Abb. 3.1.2). Diese Funktion wird verwendet, um mehr Punkte am Anfang der Kurven zu generieren, an denen die Änderungen der Verläufe normalerweise am höchsten sind.

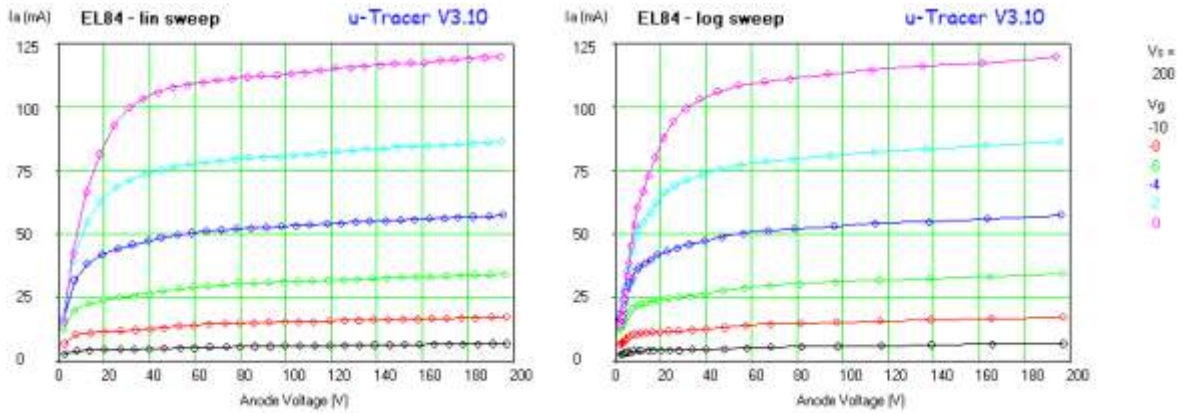


Abbildung 3.1.2 Der Unterschied zwischen einem linearen und einem logarithmischen Sweep

Im Textfeld unter der laufenden Variablen wird die Schrittvariable angegeben. Es können bis zu zwanzig Werte eingegeben werden, die durch Leerzeichen getrennt sind. Die Werte der Schrittvariablen werden im Verlauf der Messung rechts neben dem Diagramm angezeigt. Unterhalb der Schrittvariablen befinden sich normalerweise ein oder zwei Textfelder für Konstanten.

Es gelten folgende Bereiche:

- Hohe Spannungen (Anode und Schirm): 2 bis 300 V
- Steuergitter: 0 bis -50 V (das Minuszeichen muss enthalten sein)
- Heizspannung: 0 bis Vsupl (die Versorgungsspannung des µTracer)

Viel wurde über die Heizspannung gesagt und geschrieben. Es scheint, dass bei sehr niedrigen Heizspannungen und hohen Strömen die tatsächliche Heizspannung niedriger sein kann als die angegebene Spannung. In einem separaten Abschnitt werden diese Probleme und einige mögliche Lösungen dafür erläutert.

In den meisten Fällen kann nach dem Einstellen dieser Werte eine Messung gestartet werden, indem die Heizung eingeschaltet und eine Messung gestartet wird, wie im Abschnitt „Erste Schritte" beschrieben.

Gut zu wissen:
Unter bestimmten Umständen können die tatsächlich an die Röhre angelegten hohen Spannungen geringfügig geringer sein als die in der GUI eingegebenen Spannungen! Der Grund hängt mit der Funktionsweise des µTracer zusammen: Vor jeder Messung werden die Speicherkondensatoren auf den angegebenen Sollwert aufgeladen. Wenn der Sollwert erreicht ist, schließt der Hochspannungsschalter und die Röhre ist mit dem Speicherkondensator verbunden. Nach einer Stabilisierungszeit von 1 ms werden die Anode und der Schirmstrom gemessen. Leider ist die tatsächliche Spannung an den Klemmen etwas geringer als die ursprünglichen Sollspannungen. Dies liegt daran, dass sowohl der Hochspannungsschalter als auch der Stromerfassungswiderstand kleine Spannungsabfälle verursachen und dass der Speicherkondensator während der Stabilisierungszeit von 1 ms leicht entladen ist! Die tatsächlichen Klemmenspannungen können daher einige Volt unter den Sollwerten liegen. Aus diesem Grund werden die tatsächlichen Spannungen am Ende des Messimpulses gemessen. Dieser gemessene Wert, korrigiert um den Spannungsabfall über dem Schalter und den Stromerfassungswiderstand, wird als Variable für die x-Achse verwendet. Angenommen, der Sollwert betrug 250 V und der gemessene Wert 247 V, dann wird der letzte Wert für das Diagramm verwendet. Auf dem Formular "Debug" befindet sich ein Feld mit der Bezeichnung "Voltage Corr." Standardmäßig ist dieses Kontrollkästchen aktiviert, um anzuzeigen, dass die Spannungskorrektur standardmäßig aktiviert ist. Auf Wunsch kann es ausgeschaltet werden.

So weit, so gut. Wenn die betreffende Hochspannung jedoch als Schrittgröße oder als Konstante verwendet wird, kann es zu einer kleinen Differenz zwischen dem Sollwert und der tatsächlich an die Röhre angelegten Spannung kommen. In den Formularen „Schnelltest" werden übrigens die „realen" Spannungen nach der Messung angezeigt. Dies ermöglicht die Korrektur des Spannungsabfalls durch Auswahl eines etwas höheren Sollwerts. Eine der Verbesserungen für eine nächste GUI-Version könnte eine Bestimmung zur Korrektur dieses kleinen Fehlers sein.

3.2 – Messverfahren

Die Art der Messung kann im oberen Dropdown-Feld des Messbereichs ausgewählt werden. In der GUI-Version 3p10 wurden zehn Messtypen definiert. Eine Art Kurzschreibweise wird verwendet, um die Messtypen zu identifizieren.
Zum Beispiel:

I (Vg, Va) mit Vs, Vh Konstant

bedeutet: Messen Sie die Ströme - Anode und Schirmstrom werden immer gleichzeitig gemessen - mit Vg als Laufvariable (entlang der x-Achse) und Schritt Va, während Vs und Vh werden konstant gehalten.

Die folgenden Messarten wurden in der GUI-Auswahlliste vordefiniert:

1) I (Vg, Va) mit Vs, Vh Konstant: Messung von Ia und Is als Funktion von Vg, wobei Va, mit Vs und Vh Konstant, schrittweise erhöht wird. Dies ist die normale Übertragungskurve, aus der die Transkonduktanz abgeleitet werden kann. Im Falle einer Triode muss der Bildschirmanschluss nicht angeschlossen werden.

2) I (Vg, Va=Vs) mit Vh Konstant: Messung von Ia und Is als Funktion von Vg, wobei Va=Vs, mit Vh Konstant, schrittweise erhöht wird. Dieser Messtyp wurde speziell hinzugefügt, um die Übertragungskurven beider Abschnitte einer Doppeltriode gleichzeitig zu messen. Während dieser Messung wird die erste Anode an den Anodenanschluss des µTracer angeschlossen, während die zweite Anode an den Bildschirmanschluss angeschlossen wird. Die Bildschirmstromversorgung fungiert in diesem Fall als Anodenversorgung für die zweite Anode. Durch Auftragen von Ia entlang der linken y-Achse und Is entlang der rechten y-Achse können beide Anodenströme in einem Diagramm angezeigt werden.

3) I (Va, Vg) mit Vs, Vh Konstant: Messung von Ia und Is als Funktion der Anodenspannung, wobei die Gitterspannung, bei konstanter Schirmspannung und Heizspannung, schrittweise erhöht wird. Dies ist eine normale Messung der Ausgangskurve. Aus dem Diagramm kann der Ausgangs- oder Plattenwiderstand extrahiert werden.

4) I (Va, Vs) mit Vg, Vh Konstant: Messung von Ia, Is ist dabei eine Funktion der Anodenspannung, wobei die Schirmspannung, bei konstanter Gitter- und Heizspannung, schrittweise erhöht wird.

5) I (Va=Vs, Vg) mit Vh-Konstant: Messung von Ia, Is ist dabei eine Funktion der Anodenspannung = Schirmspannung, wobei die Gitterspannung bei konstanter Heizspannung schrittweiseerhöht wird. Dieser Messtyp wird verwendet, um gleichzeitig die Ausgangseigenschaften beider Abschnitte einer Doppeltriode zu messen. Während dieser Messung wird die erste Anode an den Anodenanschluss des µTracer angeschlossen, während die zweite Anode an den Bildschirmanschluss angeschlossen wird. Die Bildschirmstromversorgung fungiert in diesem Fall als Anodenversorgung für die zweite Anode. Durch Auftragen von Ia entlang der linken y-Achse und Is entlang der rechten y-Achse können beide Anodenströme in einem Diagramm angezeigt werden.

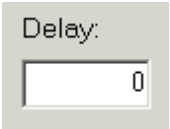
6) I (Vs, Vg) mit Va, Vh Konstant: Messung von Ia und Is als Funktion der Schirmspannung, wobei die Gitterspannung bei konstanter Anoden- und Heizspannung schrittweise erhöht wird.

7) I (Vs, Va) mit Vg, Vh Konstant (+Vg-Modus): Mit diesem Messtyp wird die Übertragungskurve einer Triode im positiven Gittervorspannungsmodus gemessen! In diesem Fall wird die Bildschirmstromversorgung an das Gitter angeschlossen und der Gitteranschluss des µTracer bleibt ungenutzt. Infolgedessen werden die Anoden-

und Gittervorspannungskurven als Funktion der positiven Gittervorspannung aufgezeichnet, wobei die Anodenspannung schrittweise erhöht wird.

8) I (Va, Vs) mit Vg, Vh Konstant (+Vg-Modus): Mit diesem Messtyp wird die Ausgangskurve einer Triode im positiven Gittervorspannungsmodus gemessen! In diesem Fall wird die Bildschirmstromversorgung an das Gitter angeschlossen und der Gitteranschluss des µTracer bleibt ungenutzt. Infolgedessen werden die Anoden- und Gittervorspannungskurven als Funktion der positiven Gittervorspannung aufgezeichnet, wobei die Anodenspannung schrittweise erhöht wird.

9) I (Vh, Vg) mit Va, Vs Konstant: Messung von Ia und Is als Funktion der Heizspannung, wobei die Gitterspannung, bei konstanter Anoden- und Schirmspannung, schrittweise erhöht wird. Da es im Allgemeinen einige Zeit dauert, bis sich die Heizung stabilisiert hat, nachdem ein neuer Vorspannungspunkt eingestellt wurde, kann eine Verzögerung zwischen dem Anlegen des neuen Vorspannungspunkts und der tatsächlichen Messung eingefügt werden. Die Verzögerung kann im Textfeld mit der Bezeichnung „Verzögerung" in der unteren linken Ecke des Formulars angegeben werden.



10) I (Vh, Va) mit Vg, Vs Konstant: Messung von Ia und Is als Funktion der Heizspannung, wobei die Anodenspannung, bei konstanter Gitter- und Schirmspannung, schrittweise erhöht wird. Da es im Allgemeinen einige Zeit dauert, bis sich die Heizung stabilisiert hat, nachdem ein neuer Vorspannungspunkt eingestellt wurde, kann eine Verzögerung zwischen dem Anlegen des neuen Vorspannungspunkts und der tatsächlichen Messung eingefügt werden. Die Verzögerung kann im Textfeld mit der Bezeichnung „Verzögerung" in der unteren linken Ecke des Formulars angegeben werden.

11) I (Vg, Va) mit Vs = UL (Va, k), Vh Konstant: Messung von Ia und Is als Funktion von Vg, schrittweises Erhöhen von Va mit Vh-Konstant und Vs = Va + (1-k) * (Va, max-Va). Dies simuliert das „verteilte Laden" (ultralinearer Betrieb) für Tetroden / Pentoden. Weitere Informationen finden Sie in **Abschnitt 8.7.**

12) I (Va, Vg) mit Vs = UL (Va, k), Vh Konstant: Messung von Ia und Is als Funktion von Va, schrittweise Erhöhung von Vg mit Vh-Konstant und Vs = Va + (1-k) * (Va, max-Va). Dies simuliert das „verteilte Laden" (ultralinearer Betrieb) für Tetroden / Pentoden. Weitere Informationen finden Sie in **Abschnitt 8.7.**

13) I (Va, Vg) mit Vs, Vh Konstant (Schade FB): Messung von Ia und Is als Funktion von Va, wobei Vg schreitweise, bei Vh Konstant, erhöht wird. Das angelegte Vg entspricht dabei Vg_act = Vg_set + (Va - Vg_set) * SFB. Dies simuliert Schade Feedback. Weitere Informationen finden Sie in **Abschnitt 8.8.**

3.3 - Mittelung und Bereiche

Um den gesamten Messbereich von 0 bis 200 mA mit ausreichender Genauigkeit abzudecken, verwendet der µTracer einen programmierbaren Verstärker (PGA) sowohl im Anoden- als auch im Bildschirmstrommesskreis. Durch Auswahl des richtigen Verstärkungsfaktors wird der gesamte Messbereich in 8 Unterbereiche von 0-1 mA bis 0-200 mA unterteilt, die alle mit einer Auflösung von 10 Bit aufgezeichnet werden. Zusätzlich ist es für Messungen im Niedrigstrombereich erforderlich, mehrere Messungen durchzuführen, um das Rauschen zu reduzieren.

Bei normaler Verwendung sorgt ein spezieller Algorithmus für das automatische Umschalten zwischen den Bereichen, damit die bestmögliche Auflösung erreicht wird. Abhängig vom Messbereich bestimmt der Algorithmus auch die Anzahl der zu mittelnden Messungen. Bei den meisten Messungen funktioniert die automatische Bereichs- und Mittelwertbildung einwandfrei. In einigen Fällen ist es jedoch möglicherweise besser, die Messbereiche auszuwählen oder die Mittelwertbildung manuell durchzuführen. Dies kann durch Auswahl der erforderlichen Messbereiche oder durch Mittelwertbildung aus einem Dropdown-Menü auf dem Messformular erfolgen.

Einige Beispiele dafür, wann Sie die manuelle Einstellung von Bereichen / Mittelwertbildung in Betracht ziehen möchten:

• Wenn nur ein schneller Eindruck der Röhreneigenschaften erforderlich ist, kann die Messung beschleunigt werden, indem die Mittelwertbildung auf „keine" gesetzt wird.

Einige Beispiele, wann Sie in Betracht ziehen möchten, Bereiche / Mittelung manuell festzulegen:

• Wenn nur ein schneller Eindruck der Röhreneigenschaften erforderlich ist, kann die Messung beschleunigt werden, indem die Mittelung auf „keine" gesetzt wird.

• Normalerweise versucht der Algorithmus, sowohl die Anode als auch den Bildschirmstrom mit derselben Genauigkeit zu messen. Dies bedeutet, dass, wenn eine Triode gemessen wird und kein Bildschirm angeschlossen ist oder wenn eine Pentode in einem Bereich gemessen wird, in dem der Bildschirmstrom sehr niedrig ist, der Algorithmus den niedrigsten Bereich für den Bildschirmstrom in Kombination mit einer hohen Mittelung auswählt, um das Rauschen zu reduzieren . Die zusätzlichen Mittelwerte verzögern die Messung, während sie für den Anodenstrom nicht benötigt werden. Um die Messung zu beschleunigen, kann der Bereich für den Bildschirmstrom manuell auf 0-200 mA eingestellt werden. In diesem Fall bestimmt der Algorithmus die Anzahl der Mittelwerte nur anhand des Werts des Anodenstroms.

• Obwohl die Verstärkungen der PGAs ziemlich genau sind, ist es dennoch möglich, dass kleine Abweichungen von der idealen Verstärkung in verschiedenen Bereichen zu kleinen Einbrüchen und Unebenheiten im Diagramm führen, wenn der Algorithmus den Bereich in der Mitte eines Diagramms ändert. Für die schönsten „Showbilder" kann es daher am besten sein, den Bereich manuell einzustellen (Abb. 3.3.1).

• Im „Schnelltest" werden die Ableitungen (Rp und Gm) aus nur zwei Punkten der Kurve bestimmt. Jedes Rauschen an diesen beiden Punkten führt direkt zu Schwankungen von Rp und Gm. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Gradienten klein sind (Rp ist hoch, z. B. Pentode). In diesem Fall ist es besser sicherzustellen, dass der Algorithmus nicht von einem Punkt zum anderen wechselt. Zusätzlich ist es unabhängig von der aktuellen Stufe sinnvoll, die Anzahl der Mittelwerte manuell auf z. 16X zu setzen. Der beste Ansatz besteht darin, einen ersten Schnelltest durchzuführen, bei dem die Entfernungs- und Mittelwertbildung auf automatisch eingestellt ist, um die aktuellen Werte zu ermitteln, und dann den richtigen Bereich manuell auszuwählen, den Durchschnitt auf das 16-fache einzustellen und den Test zu wiederholen.

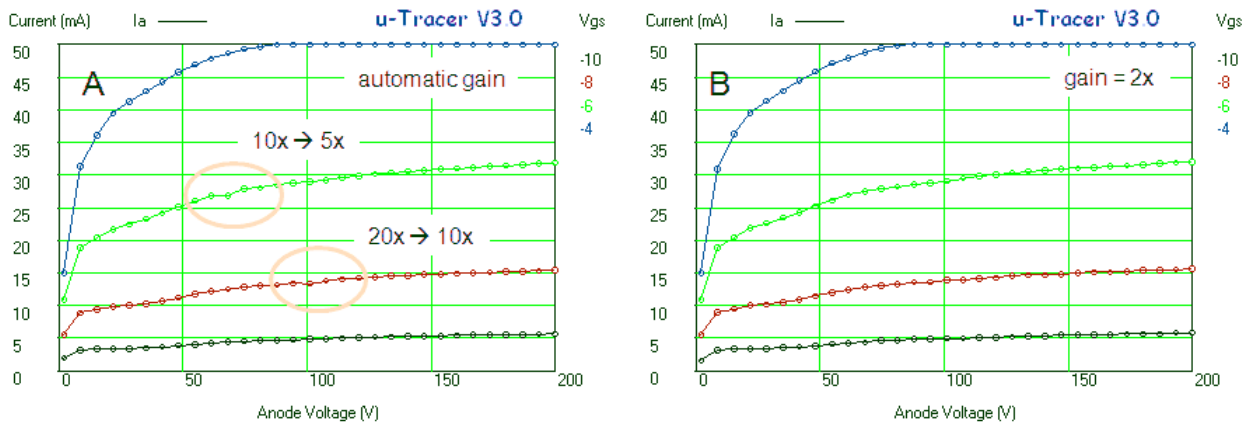


Abbildung 3.3.1 Ein Ia (Va) -Diagramm für Vg = -10 V, -8 V, -6 V, -4 V und Vs = 200 V.

Der linke Kurvensatz wurde mit der automatischen Verstärkungsoption gemessen. Die automatische Auswahl einer anderen Verstärkungseinstellung führt zu kleinen Diskontinuitäten im Strom. Das erneute Messen des Kurvensatzes mit einer festen Verstärkung führt zu einem glatten Kurvensatz.

3.4 - Konformität

Keine Funktion in der GUI war so schwer zu erklären wie die Konformitätseinstellung. Um zu erklären, was es ist, betrachten wir einen Kurzschluss oder die Situation, in der eine sehr schwere Last auf den Ausgang wirkt. Das erste was passieren wird, ist, dass sofort der Strombegrenzungskreis um den Hochspannungsschalter einschaltet und den Strom durch die Röhre auf etwa 240 mA begrenzt. Dies kann nur erreicht werden, indem der Transistor des Hochspannungsschalters irgendwo zwischen voller Leitung und vollständiger Abschaltung vorgespannt wird. Infolgedessen fällt fast die gesamte Spannung über den Transistor ab, was zu einer enormen Verlustleistung führt! Nehmen wir zum Beispiel an, der Speicherkondensator wurde auf 300 V aufgeladen, dann verursacht ein Kurzschluss eine sofortige Verlustleistung im Hochspannungsschalter von etwa 300 x 0,24 = 75 W! Es wird klar sein, dass der Hochspannungsschalter eine so große Verlustleistung nicht mag! Es ist daher wichtig, den Strom im Stromkreis so schnell wie möglich abzuschalten. Dies geschieht durch die zweite Verteidigungslinie gegen Kurzschlüsse, nämlich den Prozessor selbst. Wenn der Strom über den in der Konformitätseinstellung der GUI angegebenen Wert hinaus ansteigt, wird ein Interrupt generiert, der den Messimpuls beendet. Dies dauert ungefähr 20 µs, was in Tests während der Entwicklung des µTracers kurz genug zu sein schien, um eine Beschädigung des Transistors zu verhindern.

Wenn Sie die Konformität auf einen bestimmten Wert einstellen, wird nicht der maximale Strom eingestellt, sondern der Strompegel, über dem der Prozessor den Stromkreis abschaltet. Das Einstellen der Konformität auf einen Wert unter 200 mA bietet somit einen erhöhten Schutz gegen Überlastbedingungen. Zugegeben, seine Verwendung ist begrenzt, aber es war eine Option, die absolut kostenlos war.

3.5 - Verzögerung

Normalerweise sendet die GUI beim Messen eines Punkts einen Befehl an den µTracer, der ihn auffordert, die erforderlichen Spannungen einzustellen und wenn sie erreicht sind, einen Messimpuls auszugeben. Wenn eine „Verzögerung > 0" angegeben ist, wird eine Verzögerung zwischen der Einstellung der Spannungen und dem Messimpuls eingefügt. Die Verzögerung wird verwendet für:

1. Messungen, bei denen die Heizspannung als Laufvariable (x-Achse) verwendet wird. Offensichtlich benötigt die Heizung einige Zeit, um die Gleichgewichtstemperatur zu erreichen, die der angegebenen Spannung entspricht. Bei direkt beheizten Röhren kann die Verzögerung in der Größenordnung von Sekunden liegen, während bei indirekt beheizten Röhren etwas in der Größenordnung von 30 Sekunden besser geeignet ist.

2. Kontinuierliche Messungen, z.B. zum **Testen von Magic Eye-Röhren**. Eine Verzögerung von einigen Sekunden ermöglicht eine bessere Beobachtung der Röhre.

4 - Grafische Ausgabe

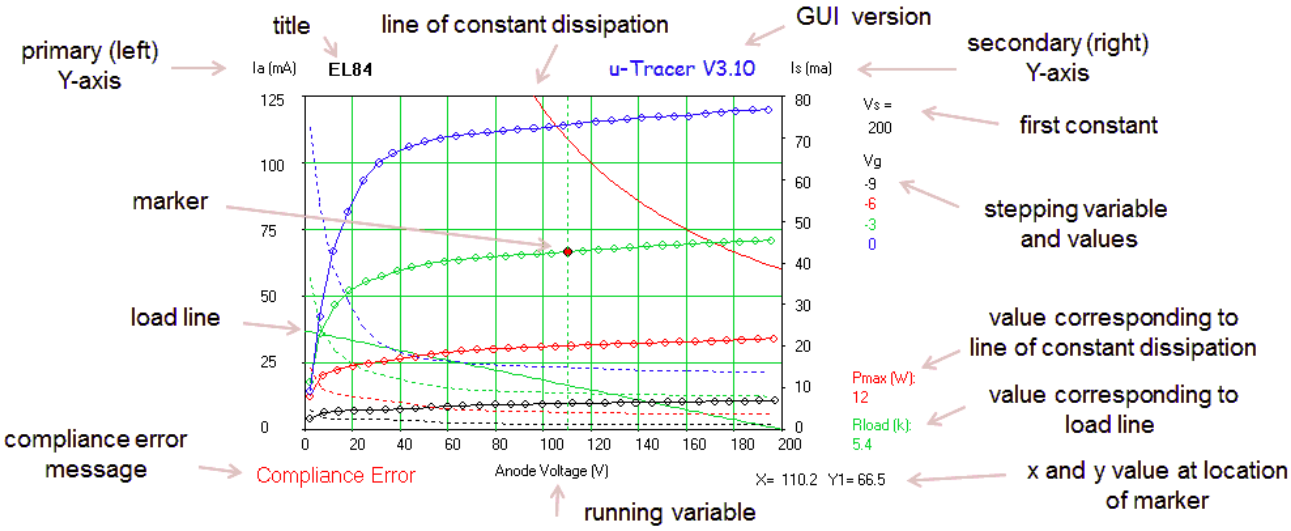


Abbildung 4.0.1 Der Abschnitt zur grafischen Ausgabesteuerung

Abbildung 4.0.1 zeigt die Hauptfunktionen des Abschnitts zur grafischen Ausgabesteuerung. In diesem Beispiel wurden die Ausgangseigenschaften einer EL84 für drei verschiedene Gitterspannungen aufgezeichnet. Die primäre (linke) y-Achse wird für den Anodenstrom verwendet, während die sekundäre (rechte) y-Achse für den Schirmstrom verwendet wird. Die meisten Objekte in der Grafik sind offensichtlich oder intuitiv, aber einige Objekte bedürfen schon einer weiteren Erklärung.

Sie können einen Marker auf dem Plot positionieren, indem Sie die Maus an der gewünschten Stelle positionieren und mit der linken Maustaste klicken. Die GUI zeichnet eine vertikale Linie und springt zu der Linie, die dem Mauszeiger am nächsten liegt. Dies kann eine Linie sein, die zur linken oder rechten Achse gehört. Die der Markierungsposition entsprechenden X- und Y-Werte werden in der unteren rechten Ecke angezeigt.

Neben den gemessenen Kurven hat der Benutzer die Möglichkeit, eine Lastlinie und eine Linie konstanter Verlustleistung hinzuzufügen. Der Lastwiderstand und die Verlustwerte können in die entsprechenden Felder im Eingabeabschnitt unterhalb des Diagramms eingegeben werden. Beide Linien dienen lediglich der Benutzerfreundlichkeit und interagieren in keiner Weise weiter mit der

Arbeitsweise des µTracer. Wenn die maximal zulässige Verlustleistung für die Röhre eingegeben wird, zeigt die Linie der konstanten Verlustleistung den sicheren Betriebsbereich (SOA) der Röhre an. Im normalen kontinuierlichen Modus darf eine Röhre nicht über diese Leitung hinaus betrieben werden. Da der µTracer jedoch im Pulsmodus arbeitet, ist es überhaupt kein Problem, die Röhreneigenschaften jenseits der SOA zu messen! Neben den Anoden- und Bildschirmströmen hat der Benutzer die Wahl zwischen sieben weiteren Parametern, die in der Grafik dargestellt werden sollen. Der Zweck dieser Parameter wird in Abschnitt 4.2 erläutert. Im nächsten Abschnitt werden die anderen Steuerelemente für die grafische Ausgabe erläutert.

4.1 - Steuern der grafischen Ausgabe

Normalerweise wird nach Auswahl eines Messtyps im Messabschnitt der grafische Abschnitt so initialisiert, dass automatisch ein darstellbarer Graph des Anodenstroms gegenüber der laufenden Variablen erhalten wird, ohne dass es notwendig ist Einstellungen einzugeben bzw. zu verändern. Standardmäßig werden alle Achsen automatisch skaliert oder verfolgen die Start- und Stoppwerte der laufenden Variablen. Trotzdem gibt es viele Möglichkeiten, um anzupassen, was gezeichnet wird oder wie es gezeichnet wird.

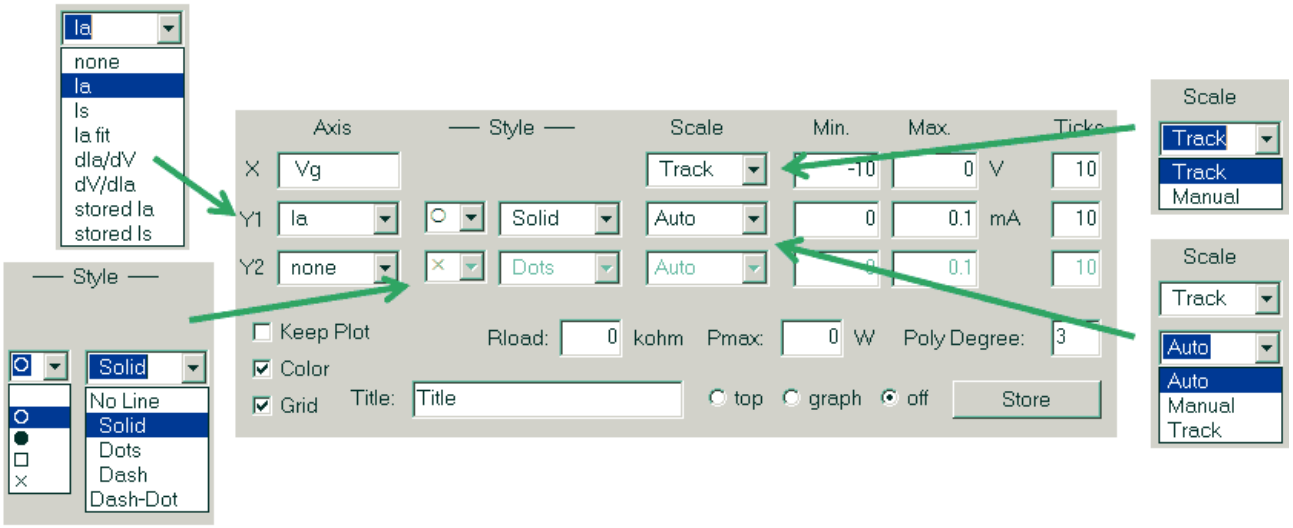


Abbildung 4.1.1 Die Steuerelemente des grafischen Ausgabeabschnitts

Im Herzen des grafischen Ausgabesteuerungsabschnitts befinden sich drei Zeilen mit Dropdown-Menüs und Textfeldern. Die drei Eingabezeilen steuern, was entlang der drei Achsen des Diagramms dargestellt wird, wie die Daten dargestellt werden und wie die Achsen angeordnet sind. Von oben nach unten steuern die drei Linien die X-Achse, die Y1-Achse und die Y2-Achse. Was entlang der X-Achse aufgetragen werden soll, wird durch die Messart bestimmt. Was entlang der beiden Y-Achsen aufgetragen werden soll, kann aus zwei Dropdown-Menüs ausgewählt werden (Abb. 4.1.1). Am offensichtlichsten sind Ia und Is. Die Bedeutung der anderen fünf Variablen wird später näher erläutert. Standardmäßig wird nur die primäre (linke) Achse verwendet, um den Anodenstrom anzuzeigen. Die sekundäre (rechte) Achse kann durch Auswahl eines der sieben Parameter aus dem Dropdown-Menü Y2 eingeschaltet werden.

Die anderen Steuerelemente in diesem Bereich sind selbsterklärend: Die zweite und dritte Spalte der Dropdown-Menüs unter der Überschrift „- Stil -“ bestimmen den verwendeten Markertyp und den Linienstil.

Die Auswahlmöglichkeiten in den Dropdown-Menüs unter der Überschrift „Skalieren“ müssen möglicherweise erläutert werden. Es gibt drei Möglichkeiten: "Auto",

"Manuell" und "Track". In „Auto" erfolgt die Skalierung der Achse automatisch und hängt vom größten gemessenen Wert ab. Es gibt einen speziellen Algorithmus, der sicherstellt, dass entlang jeder Achse sinnvolle und „runde Zahlen" verwendet werden. Bei Verwendung der Einstellung „Spur" werden die Min- und Max-Werte der Achse durch die im Messabschnitt ausgewählten Werte bestimmt. Wenn „Manuell" ausgewählt ist, wird die Achse gemäß den angegebenen Werten in den Feldern „Min" und „Max" skaliert
Die Zahl in der Spalte mit der Bezeichnung „Häkchen" gibt die Anzahl der Unterteilungen auf der Achse an.

Der Benutzer hat die Möglichkeit, einen Titel entweder über oder im Plot hinzuzufügen, indem er den Namen in das Feld "Titel" eingibt und eines der Optionsfelder "oben" oder "Grafik" ankreuzt. Die Funktion der mit „Farbe" und „Raster" gekennzeichneten Felder ist unkompliziert. Die in die mit Rload und Pmax bezeichneten Felder eingegebenen Werte bestimmen die Positionen einer ohmschen Lastlinie und einer Linie konstanter Verlustleistung in der Grafik. Wie bereits erwähnt, beeinträchtigen diese in keiner Weise die Funktionsweise der Schaltung und dienen lediglich der Benutzerfreundlichkeit. Wenn Sie einen Nullwert in eines der Felder eingeben, wird die entsprechende Linie aus dem Diagramm entfernt. Die anderen Funktionen des grafischen Ausgabeabschnitts werden in den nächsten Abschnitten ausführlicher erläutert.

4.2 - Plot behalten

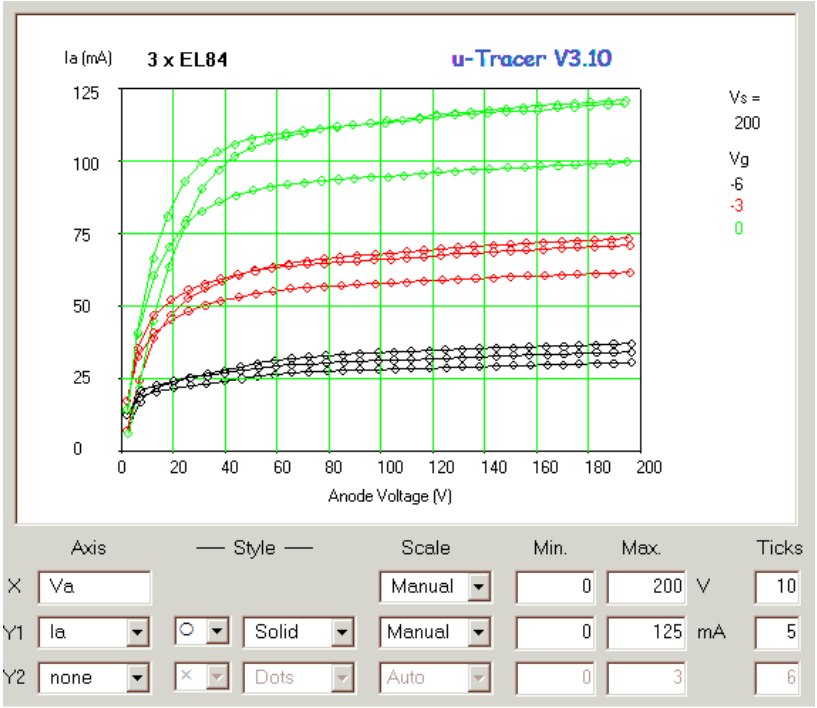


Abbildung 4.2.1 Drei EL84 werden mit der Option "Plot behalten" verglichen. Beachten Sie, wie die Skalierung der Achsen auf „manuell" eingestellt wurde.

Die Option „Diagramm behalten" wurde als grobe Methode zum Vergleichen der Eigenschaften mehrerer Röhren in einem Diagramm hinzugefügt. Die Arbeit ist sehr einfach, aber die ordnungsgemäße Verwendung dieser Funktion erfordert ein wenig Übung. Während des normalen Betriebs des µTracer wird jedes vorhandene Diagramm jedes Mal gelöscht, wenn ein neues Objekt oder eine neue Messung zum Diagramm hinzugefügt wird. Wenn das Kontrollkästchen "Plot behalten" aktiviert ist, wird diese Löschung weggelassen, sodass nur Objekte zum Diagramm hinzugefügt werden können. Die Option „Diagramm behalten" funktioniert nicht in Kombination mit der automatischen Skalierung der Achsen, da jedes Mal, wenn eine der Achsen neu gezeichnet wird, sie zu allen vorhandenen hinzugefügt wird, was zu einem enormen

Durcheinander führt (probieren Sie es selbst aus). Die Option „Diagramm beibehalten" wird ordnungsgemäß wie folgt verwendet:

1. Erstellen Sie ein Orientierungsdiagramm der ersten Röhre unter Verwendung der standardmäßigen automatischen Skalierung der Achsen.
2. Schalten Sie die Skalierung der Achsen auf manuell um und passen Sie die Min- und Max-Werte bei Bedarf an.
3. Aktivieren Sie das Kontrollkästchen „Plot behalten".
4. Entfernen Sie die erste Röhre aus der Fassung und setzen Sie die nächste ein. Es ist nicht erforderlich, zuerst die Heizungsversorgung auszuschalten und dann wieder einzuschalten (wenn Sie nicht zu zimperlich mit der Heizung umgehen wollen).
5. Führen Sie eine neue Messung durch. Das neue Diagramm wird nun zum ersten hinzugefügt.
6. Messen Sie nach Bedarf weitere Röhren und lassen sie sich auch diese Ergebnisse anzeigen.

Abbildung 4.2.1 (oben) zeigt zur Veranschaulichung einen Vergleich der Ausgangseigenschaften von drei EL84, welche ich noch herumliegen hatte, in einem Diagramm.

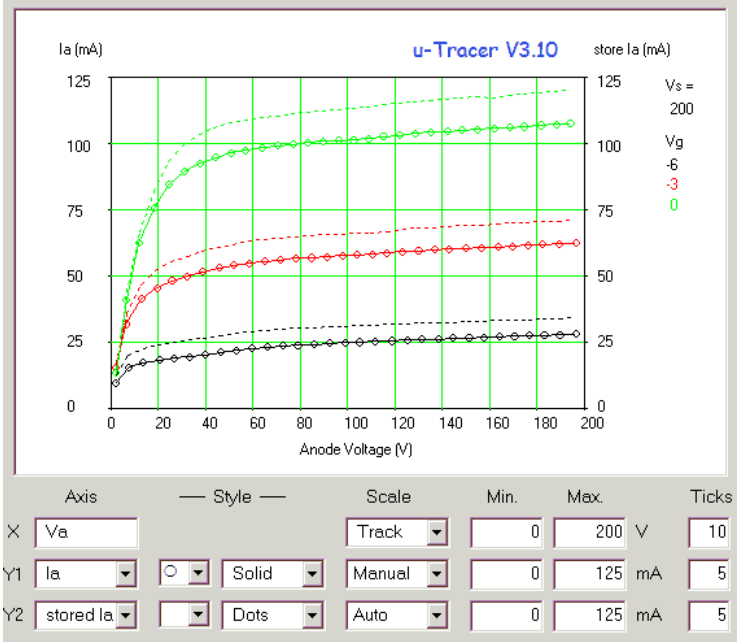


Abbildung 4.2.2 In diesem Diagramm werden die Ausgangseigenschaften einer EL84 mit einer Heizspannung von 5 V (durchgezogene Linien mit Markierungen, linke Achse) mit den gespeicherten Referenzkurven verglichen, die bei einer Heizspannung von 6,3 V gemessen wurden (gestrichelte Linien, rechte Achse).

4.3 – Paaren passender Röhren (Speichern eines Diagramms)

Es ist möglich, die vollständigen Daten einer gesamten Messung im RAM-Speicher zu speichern, damit sie zu einem späteren Zeitpunkt abgerufen werden können, z.B um die Übereinstimmung zweier Röhren zu untersuchen. Diese Option ist nicht zu verwechseln mit den Funktionen "Plot speichern" oder "Daten speichern", mit denen der Plot oder die Daten zur weiteren Verarbeitung durch andere Programme in einer Datei gespeichert werden.

Durch Drücken der Befehlsschaltfläche mit der Bezeichnung „Speichern" wird das aktuelle Diagramm in den Speicher kopiert. Nachdem die Daten gespeichert wurden, können sie durch Auswahl von „gespeichert Ia" oder „gespeicherte Is" im Dropdown-Menü unter der Überschrift „Achse" im Abschnitt zur grafischen Ausgabesteuerung abgerufen werden (Abb. 4.2.2). Die gespeicherten Werte können gegen die sekundäre Y-Achse aufgetragen werden, um einen einfachen Vergleich mit einem neuen Diagramm

zu ermöglichen. In Abb. 4.3.1 wurde die Option „Speichern" verwendet, um zwei Kurvensätze zu vergleichen, die bei unterschiedlichen Heizspannungen gemessen wurden.

Caveat: Balanced valves? Might be – might not! By: Robin Simmons

Beispiel für Röhren, die beim Vergleich der Eigenschaften am nominalen Vorspannungs- / Strompunkt des Herstellers im Vergleich zu den Messwerten am Auslegungsbetriebspunkt des Verstärkers ziemlich genau übereinstimmen.

Die folgenden Kurven ergaben sich als die Charakteristik von 4 Röhren aus einem alten "Fender Twin Reverb"-Gitarrenverstärker mit insgesamt 6L6GC-Röhren gemessen wurden, welche als "International C Servicemaster" (UdSSR) gekennzeichnet waren. Der erste Eindruck ist, dass die Röhren eine ähnliche Charakteristik haben und für die weitere Verwendung in einer Push-Pull-Verstärkerkonfiguration in Ordnung sein sollten.

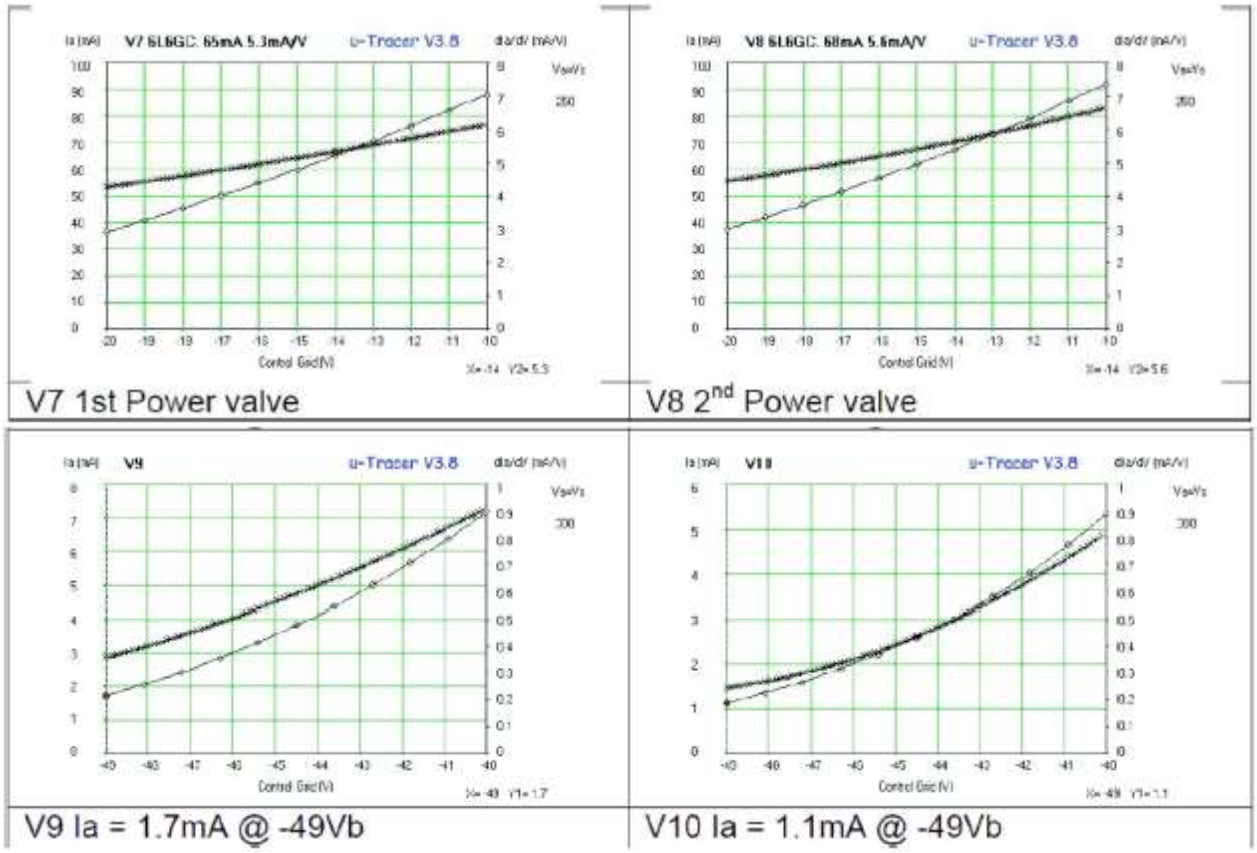


Abbildung 4.3.1

Nach einigen Reparaturen wurde der Verstärker eingeschaltet und nach dem Aufwärmen wurde der Anodenstrom für jede Röhre im normalen Vorspannungsbetriebspunkt des Verstärkers von ca. -52 V überprüft. Die Anodenspannung beträgt 440V. Die folgenden Ergebnisse wurden erhalten.

Valve	Ia	Static Pd
V7	18mA	8W
V8	32mA	14W
V9	24mA	11W
V10	23mA	10W

Offensichtlich unterscheiden sich die Anodenströme erheblich von den vorherigen Testergebnissen. Die Röhren wurden dann unter den Bedingungen getestet, die dem Betriebspunkt des Verstärkers am nächsten lagen, wie dies mit dem µTracer möglich war? Die Ergebnisse werden unten gezeigt.

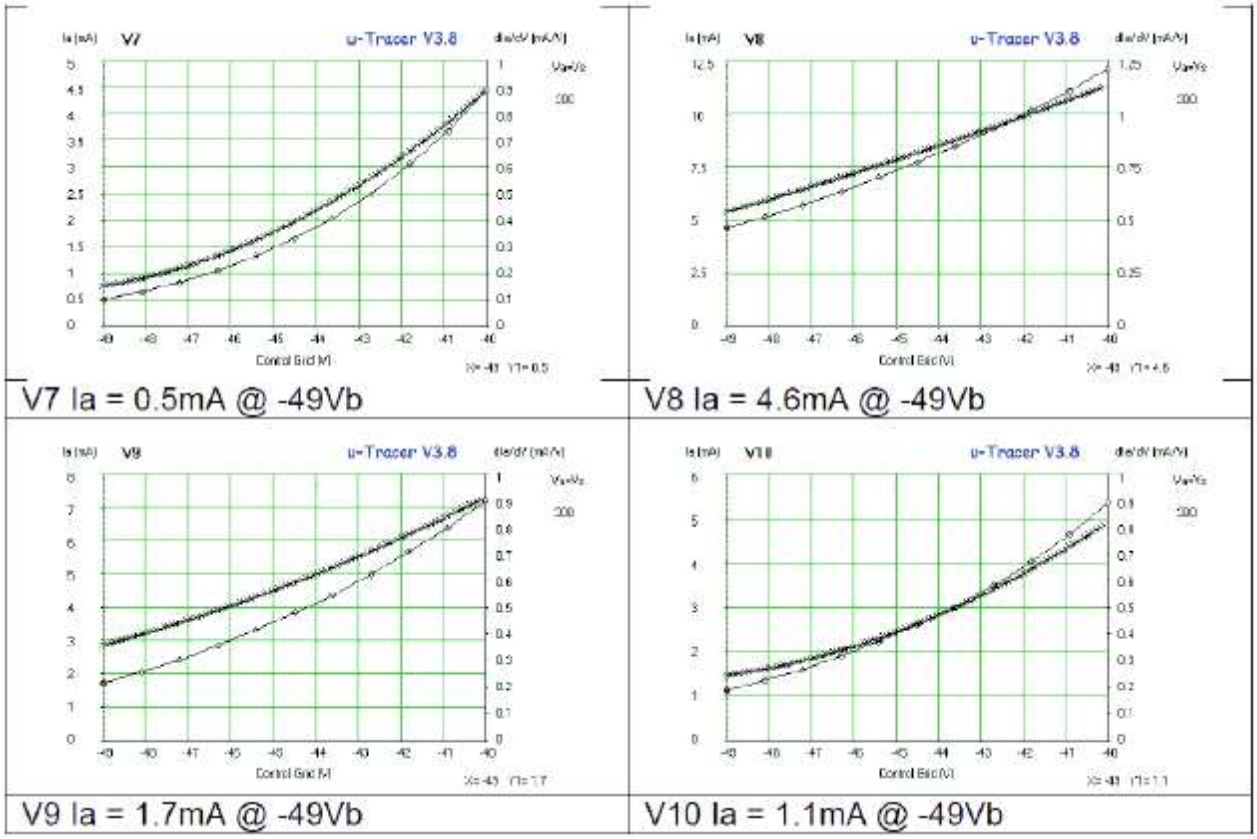


Abbildung 4.3.2

Dies zeigt, wie irreführend es sein kann, Röhren entsprechend den Vorgaben des Datenblatts zu testen, verglichen mit der tatsächlichen Verwendung in realen Anwendungen. Es ist auch "Munition" im Argument für µTracer, einen breiteren Bereich der Gittervorspannung sowie einen Bereich höherer Anodenspannungen zu haben, wie bereits im Blog diskutiert wurde. Dies würde das Testen von Röhren wie EL34 und 6L6 unter Bedingungen ermöglichen, die viel näher an der tatsächlichen Verwendung in Audioverstärkern liegen, und somit Probleme aufdecken, die ansonsten möglicherweise nicht so offensichtlich sind.

4.4 - Transkonduktanz und Plattenwiderstand

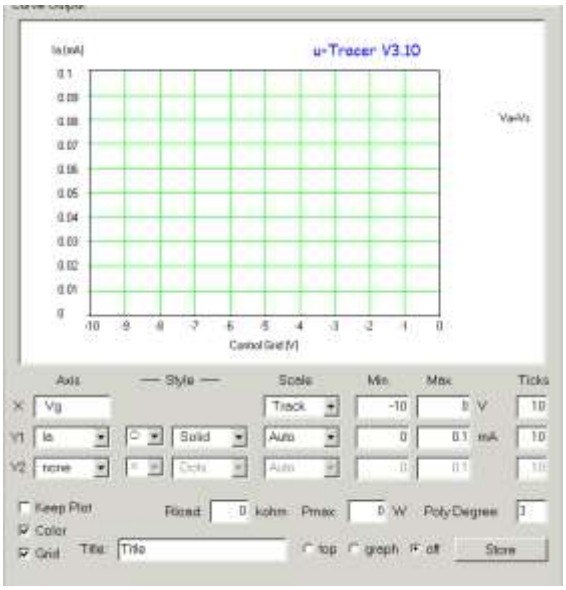
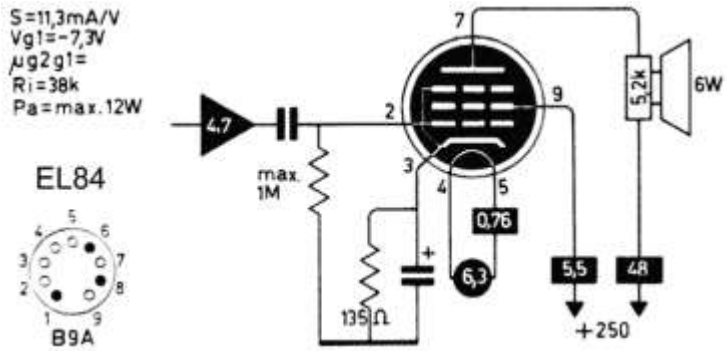


Abbildung 4.4.1

Die Transkonduktanz einer Röhre ist die Änderung des Anodenstroms infolge einer geringen Änderung der Gitterspannung an einem bestimmten Vorspannungspunkt. Mit anderen Worten ist es die Steigung des Anodenstroms gegenüber der Gitterspannung an diesem Vorspannungspunkt. Mathematisch gesehen ist die Transkonduktanz die erste Ableitung des Anodenstroms in Bezug auf die Gitterspannung.

Diese einfachste Methode zur Messung der Transkonduktanz besteht darin, eine Linie durch zwei aufeinanderfolgende Datenpunkte auf der Ia (Vg)-Kurve zu ziehen. Die Transkonduktanz ist dann nichts weiter als die Steigung dieser Linie. Die Differenzierung einer gemessenen Kurve auf diese Weise führt jedoch normalerweise zu einer sehr verrauschten Transkonduktanzkurve infolge von Rauschen in den gemessenen Daten. Dies gilt insbesondere dann, wenn der Gradient der Kurve sehr klein ist. In der Version 3 µTracer wird daher ein besserer Ansatz verwendet: Nach der Messung eines Satzes von Ia (Vg) -Kurven wird ein Polynom durch die Messpunkte angepasst. Dieses Polynom gleicht die Schwankungen der gemessenen Daten aus. Die Reihenfolge des Polynoms wird so gewählt, dass das Polynom die gemessenen Daten genau darstellt. Nach der Anpassung wird das Polynom analytisch differenziert, was zu einer perfekt rauschfreien Transkonduktanzkurve führt **[MEHR]x**.

Die Abbildung links (Anm. Bezug fehlt)zeigt in einer Animation die schrittweise Extraktion der Transkonduktanzkurven aus einem Satz von Ia (Vg)-Kurven eines EL84 (Va = Vs). Nach der Messung der Ia (Vg)-Kurven wird die Linie ausgeschaltet, so dass nur noch die Markierungen übrig bleiben. Als nächstes wird die angepasste Kurve ausgewählt, um gegen die rechte Achse aufgetragen zu werden. Die optimale Reihenfolge des Polynoms wird experimentell bestimmt, und normalerweise ergibt etwas zwischen 3 und 6 ein gutes Ergebnis. Die Ordnung des Polynoms sollte jedoch nicht zu hoch sein, da dies zu Schwingungen in der Transkonduktanzkurve führen kann. Wenn die Anpassung in Ordnung ist, kann die Ableitung des Stroms zur Spannung (dIa / dV) aufgezeichnet werden. Eine alternative Möglichkeit, den optimalen Polynomgrad zu finden, besteht darin, die Transkonduktanz direkt aufzuzeichnen und dann den Polynomgrad zu variieren. Das Erhöhen der Ordnung des Polynoms sollte zunächst zu einer signifikanten Änderung der Transkonduktanzkurven führen. Ab einem bestimmten Punkt ändern sich die Kurven nicht mehr stark, wenn die Reihenfolge erhöht wird. Wird die Reihenfolge dennoch weiter erhöht, treten Schwingungen in den Transkonduktanzkurven auf. Das Optimum liegt irgendwo in dem Bereich, in dem die Transkonduktanz relativ unabhängig vom Grad des Polynoms ist. Schließlich ist zu sehen, dass der Marker genau mit der Transkonduktanz an dem in meinem Röhrenhandbuch „Muiderkring" empfohlenen Vorspannungspunkt übereinstimmt, 11,6 mA / V! (siehe Einschub, Vg = -7,3 V und Va = Vs = 250 V).



Das gleiche Verfahren kann verwendet werden, um den Ausgangs- oder Plattenwiderstand aus einem Satz von Ausgangskurven zu extrahieren. In diesem Fall ist die Umkehrung von dIa / dV aufgetragen: dV / dIa. Das Extrahieren des Ausgangswiderstands einer Triode ist relativ einfach, da der Gradient der Kurven normalerweise relativ hoch ist. Das linke Diagramm in Abb. 4.4.2 zeigt den extrahierten Ausgangswiderstand einer als Triode angeschlossenen EL84. Die Kurven sind schön und glatt, abgesehen von etwas Rauschen im Niedrigstrombereich. Im normalen Pentodenmodus ist die Extraktion des Plattenwiderstands schwieriger. Die angepassten Anodenstromkurven sehen in Ordnung aus, enthalten jedoch kleine Schwankungen, die sich als Schwingungen im Plattenwiderstand äußern. Es erfordert nicht viel Vorstellungskraft, um zu dem Schluss zu kommen, dass der Plattenwiderstand irgendwo im Bereich von 25 bis 30 kOhm liegt. In diesem Fall wurde ein Polynom 11. Ordnung als optimal befunden. Es ist zu beachten, dass eine herkömmliche Extraktion des Plattenwiderstands aus der Tangente einer Linie, die durch zwei benachbarte Messpunkte gezogen wird, zu einer viel verrauschten Darstellung führen würde.

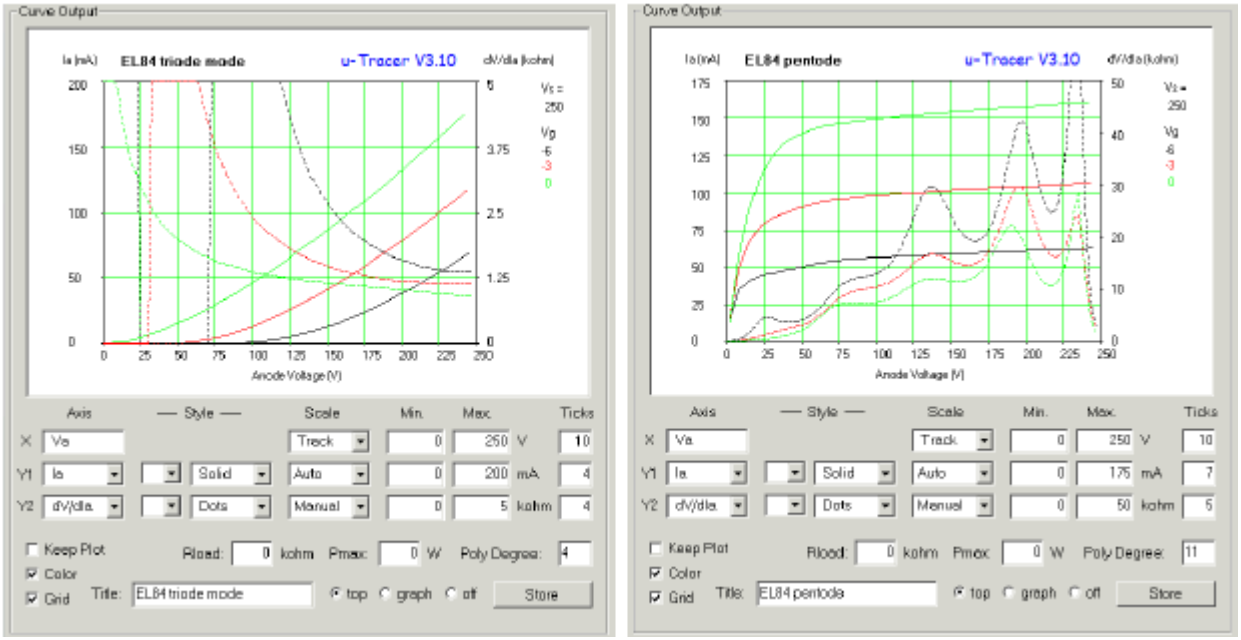


Abbildung 4.4.2 Ausgangswiderstand gegen Anodenspannung (gepunktete Linie) für einen EL84, der als Triode (links) und Pentode (rechts) geschaltet ist. Anzahl der Mittelwerte 16 mit festem Anodenbereich von 0-200 mA.

5 - Schnelltest

Mit der Option „Schnelltest" können die wichtigsten Parameter einer Röhre (Nennströme, gm, Rp und mu) schnell ermittelt werden, ohne dass ein vollständiger Kurvensatz gezeichnet werden oder man durch das komplette Verfahren der Kurveneinstellungen gehen muss. Ab der GUI-Version 3p10 wurde der GUI der „Schnelltest" als zusätzliche Funktion hinzugefügt. In diesem Abschnitt werden wir uns ansehen wie es funktioniert, was gemessen wird und wie die Option Schnelltest verwendet werden kann.

5.1 – Schnelltest Einführung

Die meisten Kurzreferenz-Röhrenhandbücher enthalten keine vollständigen Kurvensätze für Röhren, sondern nur die wichtigsten Parameter für einen optimalen Vorspannungspunkt. Wenn wir das EL84 als Beispiel nehmen, dann ist der optimale Vorspannungspunkt gegeben als Va=250 V, Vs=250 V und Vg=-7,3V, und die wichtigsten

Parameter in diesem Punkt sind Ia=48mA, Is=5,5 mA, g=11,3 mA/V, Rp=38kOhm. Wir unterscheiden dabei zwischen direkt messbaren und indirekt messbaren Parametern. Zwei Parameter, die direkt am gegebenen Vorspannungspunkt gemessen werden können, sind die Anode und die Schirmströme. Der Plattenwiderstand, die Transkonduktanz und die Verstärkung (mu) können nicht direkt gemessen werden, sondern werden aus den Eigenschaften der Röhre am angegebenen Vorspannungspunkt abgeleitet. Die Transkonduktanz ist beispielsweise die erste Ableitung des Anodenstroms in Bezug auf die Steuergitterspannung (∂Ia / ∂Vg) am angegebenen Vorspannungspunkt, und der Plattenwiderstand ist die Umkehrung der ersten Ableitung des Anodenstroms in Bezug auf die Anodenspannung (∂Va / ∂Ia) am Vorspannungspunkt. Für eine Triode haben wir nur den Anodenstrom als Funktion des Gitters und der Anodenspannungen oder Ia (Vg, Va), daher gibt es nur zwei Ableitungen: die Transkonduktanz (gm) und den Plattenwiderstand (Rp). Der Verstärkungsfaktor mu kann einfach aus mu = gm * Rp berechnet werden. Für eine Tetrode oder Pentode ist die Situation viel komplexer. Hier müssen wir uns sowohl mit dem Anodenstrom (Ia) als auch mit dem Schirmstrom (Is) befassen, die im Prinzip Funktionen aller drei Klemmenspannungen sind: Ia (Vg, Va, Vs) und Is (Vg, Va, Vs)). Jetzt gibt es nicht weniger als sechs Ableitungen, die alle eine physikalische Bedeutung haben und die alle für den Entwurf einer Schaltung relevant sein können:

	I_a	I_s
V_a	$\frac{\partial I_a}{\partial V_a}$	$\frac{\partial I_s}{\partial V_a}$
V_s	$\frac{\partial I_a}{\partial V_s}$	$\frac{\partial I_s}{\partial V_s}$
V_g	$\frac{\partial I_a}{\partial V_g}$	$\frac{\partial I_s}{\partial V_g}$

$\Longrightarrow$

	I_a	I_s
V_a	$R_p = \frac{\partial V_a}{\partial I_a}$	$\frac{\partial I_s}{\partial V_a}$
V_s	$\frac{\partial I_a}{\partial V_s}$	$R_s = \frac{\partial V_s}{\partial I_s}$
V_g	$g_m = \frac{\partial I_a}{\partial V_g}$	$\frac{\partial I_s}{\partial V_g}$

Abbildung 5.1.1 Mögliche Ableitungen für eine Pentode

Einige dieser Ableitungen werden natürlicher betrachtet als Widerstand dargestellt, z. B. die Platten- und Schirmwiderstände, während die anderen besser als Transkonduktanzen dargestellt werden. In der "Standard"-GUI werden die Ableitungen gebildet, indem zuerst die vollständige Kurve gemessen, ein Polynom an die Kurve angepasst, die Kurve analytisch differenziert und schließlich die Ableitung aufgetragen wird. Obwohl diese Methode schöne glatte Kurven als Funktion der Vorspannung erzeugt, ist es in den meisten Fällen ausreichend, die Ableitungen an einem bestimmten Vorspannungspunkt zu kennen. In diesem Fall kann die Ableitung angenähert werden, indem eine gerade Linie durch zwei Punkte Vo-δV und Vo + δV gezogen wird, wobei Vo der Vorspannungspunkt und δV ein kleiner Versatz ist. Als Beispiel kann die Transkonduktanz angenähert werden mit:

$$g_m = \frac{I_a(V_g + \delta V_g, V_a, V_s) - I_a(V_g - \delta V_g, V_a, V_s)}{2\delta V_g}$$

Je kleiner δV gewählt wird, desto genauer ist die Approximation, aber auch umso empfindlicher ist das Ergebnis für Rauschen in den gemessenen Daten. Im Prinzip sind jetzt nur noch sechs Messungen erforderlich, um alle Ableitungen für eine Pentode zu berechnen, wie in Abbildung 5.1.1 dargestellt, und eine siebte Messung gibt die Ströme in den Vorspannungspunkten selbst an. Für eine Triode sind insgesamt nur fünf Messungen erforderlich.

5.2 - Verwenden des Schnelltests

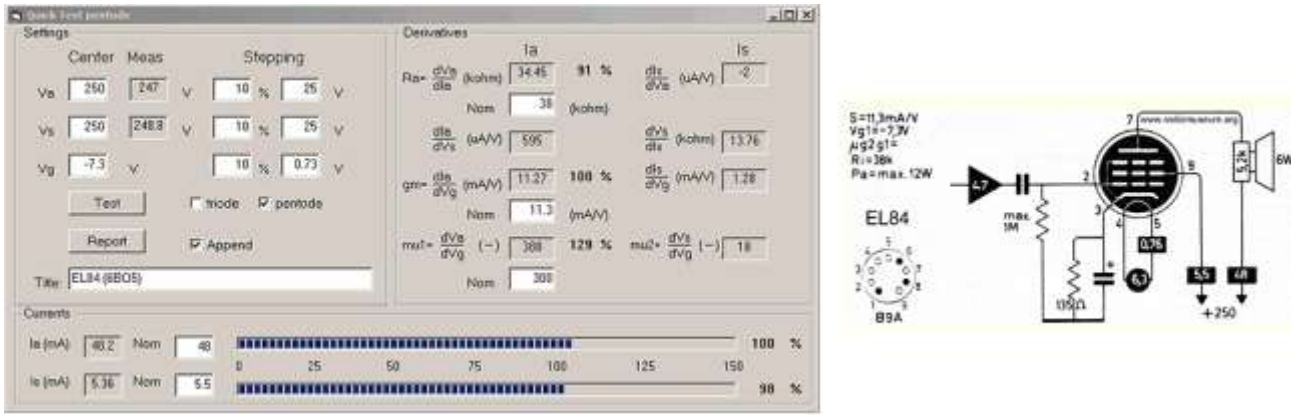


Abbildung 5.2.1 Schnelltest einer hervorragenden EL84 (6BQ5)

Die Option „Schnelltest", mit der alle Ableitungen in einem bestimmten Vorspannungspunkt gemessen werden, wurde als Alternative zu einer vollständigen Kurvencharakterisierung implementiert. Der Schnelltest wird durch Klicken auf die entsprechende Befehlsschaltfläche im Messbereichs-Fenster gestartet. Beachten Sie, dass die Heizung aktiviert sein muss, um eine Schnelltestmessung durchzuführen. Die Verwendung der Option Schnelltest ist recht einfach:

1. Schließen Sie eine Röhre an den µTracer an und starten Sie die GUI.
2. Stellen Sie die gewünschte Heizspannung ein. Es ist nicht erforderlich, einen bestimmten Messtyp auszuwählen oder einen anderen Vorspannungswert im Hauptmessformular festzulegen, da diese im Schnelltestformular festgelegt werden. Die Auswahlmöglichkeiten „Bereich", „Konformität" und „Durchschnitt" behalten jedoch ihre ursprünglichen Funktionen bei, und die Ergebnisse des Schnelltests können von ihren Einstellungen abhängen. Die Verwendung der Standardwerte ist normalerweise ein guter Ausgangspunkt.
3. Schalten Sie die Heizung wie gewohnt ein.
4. Klicken Sie auf „Schnelltest". Dadurch wird das Schnelltest-Fenster geöffnet.
5. Wählen Sie Triode oder Pentode (= Tetrode) aus, je nachdem, welcher Röhrentyp getestet wird.
6. Geben Sie die gewünschten Vorspannungspunktwerte in die entsprechenden Felder ein. Standardmäßig verwendet die GUI δVs, die 10% der Bias-Werteingaben ausmachen. Die δVs können für jeden Eingang nach Bedarf erhöht oder verringert werden, indem entweder ein neuer Prozentwert oder direkt ein δV eingegeben wird. In beiden Fällen werden die anderen Felder automatisch aktualisiert.
7. Wenn die Nennwerte für die Ströme und Ableitungen bekannt sind, können sie in die Felder mit der Bezeichnung "Nom" eingegeben werden. Diese Nennwerte werden am Ende des Tests verwendet, um die relative Abweichung des Messwerts vom Nennwert zu berechnen. Die eingegebenen Werte haben keinen Einfluss auf die Messung. Wenn die Nennwerte nicht bekannt sind, können diese Werte bei 0 belassen werden, damit sie nicht berücksichtigt werden.
8. Starten Sie den Test durch Drücken von "Test". Ein Triodentest dauert ungefähr fünf Sekunden, während ein Pentodentest ungefähr acht Sekunden dauert.

Alle Quick Test Bias-Werte und -Einstellungen werden gespeichert, wenn die Funktion „Einstellungen speichern" im Haupt-GUI-Formular ausgeführt wird.

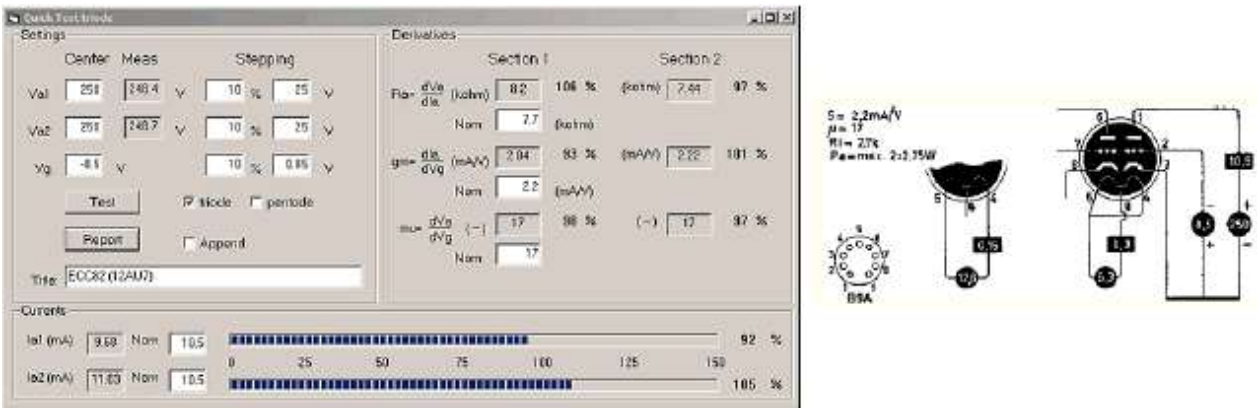


Abbildung 5.2.2 Schnelltest einer ECC82 (12AU7)Doppeltriode.

Der Plattenwiderstand (Rp), die Transkonduktanz (gm) und die Spannungsverstärkung (mu) werden für beide Abschnitte gleichzeitig gemessen.

<u>Tipps und Dinge, die Sie beachten sollten:</u>

1. Der Trioden-Schnelltest wurde so konzipiert, dass beide Abschnitte in Doppel-Trioden gleichzeitig getestet werden (Abb. 5.2.2). In diesem Fall ist die Anode des zweiten Abschnitts mit dem Schirmanschluss des µTracer verbunden. Wenn einzelne Trioden getestet werden, können die Felder für die zweite Triode einfach ignoriert werden.

2. Platten- und Bildschirmwiderstände größer als 1 M Ohm werden als „> 1 M" angezeigt. Transkonduktanzen größer als 200 mA / V werden als „> 200" angezeigt.

3. Zum Testen von Trioden im A2-Modus (positive Gittervorspannung) wird der Pentoden-Schnelltest verwendet und das Gitter an den Schirmanschluss des µTracer angeschlossen. In diesem Fall gibt ∂Ia / ∂Vs die Transkonduktanz an, während ∂Vs / ∂Is die Gitterimpedanz angibt!

4. Die zur Berechnung der Ableitungen verwendeten, gemessenen Ströme, können durch Speichern der Messmatrix gespeichert und auch angezeigt werden: Drücken Sie auf "Daten speichern" und anschließend auf "Messmatrix speichern".

5. Insbesondere bei hohen Plattenwiderständen (Pentoden / Tetroden) kann der Messwert durch winzige Stromschwankungen erheblich beeinflusst werden. Es kann daher besser sein, den Messbereich auf einen bestimmten Wert festzulegen, um ein Umschalten der Verstärkung zwischen zwei Messpunkten zu vermeiden und die Mittelwertbildung manuell auf einen hohen Wert einzustellen.

6. Wenn ein δV-Wert eingegeben wird, der zu einer Vorspannungseinstellung führen würde, die über die Fähigkeiten des µTracer hinausgeht, wird der Wert so angepasst, dass er innerhalb des Maximums bleibt, und eine Warnmeldung wird generiert.

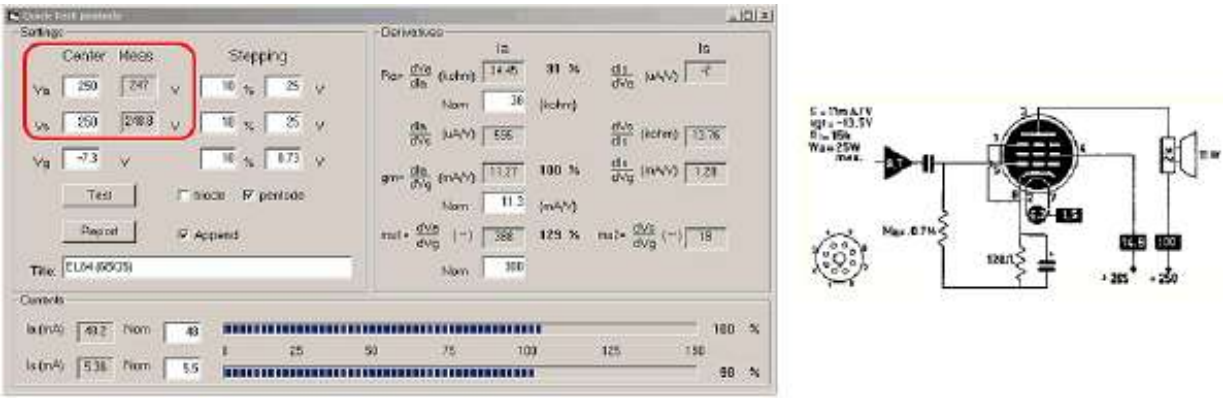


Abbildung 5.2.3 Schnelltest eines ausgezeichneten EL34 (6CA7).

Um die gewünschten Vorspannungen zu erhalten: Va=250V, Vs=250V, kann es erforderlich sein, die Sollwerte geringfügig zu erhöhen.

Aufgrund des Messprinzips des µTracers sind die bei der Messung tatsächlich verwendeten Spannungen geringfügig niedriger als die Sollwertanoden- und Schirmspannungen. Dies wird dadurch verursacht, dass während des Messimpulses die Anoden- und Schirmströme die Speicherkondensatoren etwas entleeren. Je höher der Strom, desto höher ist die Differenz. In einem normalen Diagramm ist dies kein Problem, da die tatsächlichen Spannungen am Ende des Impulses gemessen und im Diagramm verwendet werden. Im Schnelltest kann der Unterschied jedoch ärgerlich sein und eine Kompensation erfordern. In Abb. 5.2.3 zeigt der rote Kreis, wie die tatsächlich gemessenen Spannungen neben den Sollwerten angezeigt werden. Bei Bedarf können die Sollwerte jetzt manuell erhöht werden, damit die Messwerte den erforderlichen Prüfbedingungen entsprechen.

5.3 - Drucken sie die Ergebnisse in eine Berichtsdatei

Nach der Messung können die gesammelten Daten in Form eines einfachen Berichts in einer Datei gespeichert werden. Abbildung 5.3.1 zeigt ein Beispiel für eine solche Berichtsdatei für einen EL84. Der Benutzer kann optional einen Titel eingeben, der unter der Kopfzeile gedruckt wird. Durch Aktivieren des Kontrollkästchens "Anhängen" wird der Bericht an die ausgewählte Datei angehängt. Auf diese Weise können die Messdaten mehrerer Röhrchen auf einfache Weise in einer einzigen Datei erfasst werden.

```
20-9-2014 21:20:40   uTracer3, GUI  V3.11.6  Pentode Quick Test

EL84 (6BQ5)

Test conditions:
Va  : 250 (V)                Swing +/- 25 V (10%)
Vs  : 250 (V)                Swing +/- 25 V (10%)
Vg  : -7.3 (V)               Swing +/- 0.73 V (10%)

Test results:
Ia  : 48.2 (mA)              100 % of nominal 48 (mA)
Gma : 11.27 (mA/V)           100 % of nominal 11.3 (mA)          Gma = dIa/dVg
Ra  : 34.45 (kohm)           91 % of nominal 38 (kohm)           Ra  = dVa/dIa
mu1 : 388 (-)                129 % of nominal 300 (-)            mu1 = Gma*Ra
Gm1 : 595 (uA/V)                                                 Gm1 = dIa/dVs

Is  : 5.36 (mA)              98 % of nominal 5.5 (mA)
Gms : 1.28 (mA/V)                                                Gma = dIs/dVg
Rs  : 13.76 (kohm)                                               Rs  = dVs/dIs
mu2 : 18 (-)                                                     mu2 = Gms*Rs
Gm2 : -2 (uA/V)                                                  Gm2 = dIs/dVa
```

Abbildung 5.3.1 Beispiel einer Berichtsdatei für eine EL84-Pentode

6 - Speichern von Plots und Messdaten

Im Abschnitt "Verschiedenes" des Hauptfensters gibt es eine Reihe von Befehlsschaltflächen, mit denen der Plot oder die gemessenen Daten in einer Datei gespeichert oder der gesamte Messaufbau gespeichert und abgerufen werden kann. Diese Optionen werden unten erläutert. Beachten Sie, dass in allen Fällen der Standardspeicherort für die Dateien der Ordner ist, in dem der µTracer installiert wurde. Es kann jedoch auch ein anderer Ordner angegeben werden.

6.1 - Speichern eines Plots

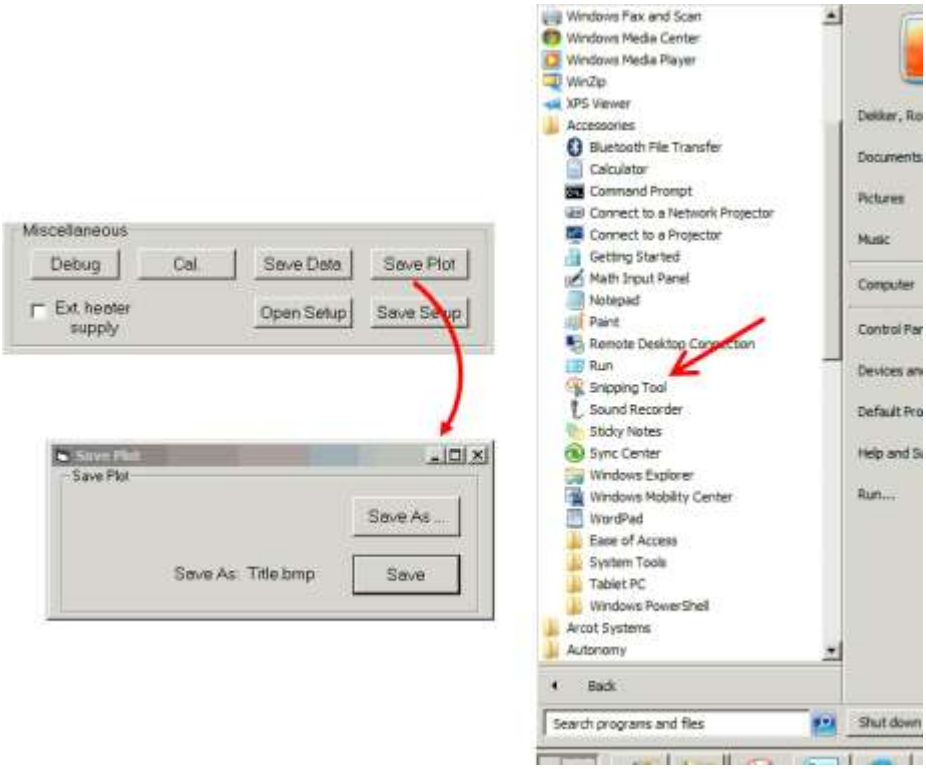


Abbildung 6.1.1 Links: Zeichnen des Diagramms in eine BMP-Datei. Rechts: Position des Snipping-Tools, mit dem das Diagramm vom Bildschirm abgerufen werden kann.

Eine Einschränkung von Visual Basic, der Programmiersprache der GUI, besteht darin, dass Grafiken nur im Bitmap-Format (BMP) gespeichert werden können. Persönlich halte ich das nicht für ein Problem, da Grafiken im Bitmap-Format leicht in Standardprogramme wie Word und PowerPoint importiert werden können. Wenn Sie auf die Schaltfläche „Plot speichern" klicken, wird das kleine Fenster in der linken Hälfte von Abb. 6.1.1 geöffnet. Durch Klicken auf "Speichern unter" wird ein Dialogsteuerelement geöffnet, mit dem der Benutzer nach einem bestimmten Ordner suchen und einen Dateinamen angeben kann. Die Erweiterung lautet .bmp

Persönlich bevorzuge ich das "Snipping Tool", ein Standard-Windows-Tool, das unter "Zubehör" zu finden ist. Ich habe dieses Tool sogar dauerhaft in die Taskleiste am unteren Rand des Windows-Bildschirms kopiert. Es kann verwendet werden, um einen beliebigen Teil des Bildschirms zu erfassen und in eine Datei im JPG- oder GIF-Format zu schreiben oder um die ausgewählte Grafik direkt in Word oder PowerPoint zu kopieren. Tatsächlich wurden die meisten Bilder in diesem Handbuch erstellt, indem zuerst eine Grafik vom Bildschirm abgerufen, zur Bearbeitung in PowerPoint kopiert (Hinzufügen von Text, Pfeilen oder anderen Bildern) und dann das endgültige Bild erfasst und in eine Datei geschrieben wurde.

6.2 - Messdaten speichern

Sehr wahrscheinlich möchte der Benutzer die Messdaten speichern, um sie in eine andere Anwendung oder ein anderes Programm zu importieren, z. Excel. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, wie die gemessenen Daten in eine Datei geschrieben werden können. In diesem Abschnitt werden die verschiedenen Möglichkeiten und Formate erläutert. Der Import der Daten in Excel wird ebenfalls erläutert. Zur Veranschaulichung der verschiedenen Dateiformate wird eine sehr einfache Messung verwendet, die aus zwei Kurven mit jeweils vier Punkten besteht (Abb. 6.2.1)

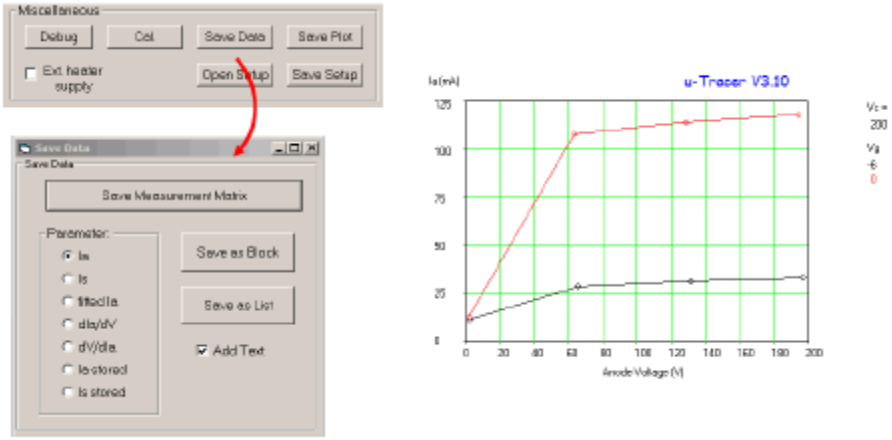
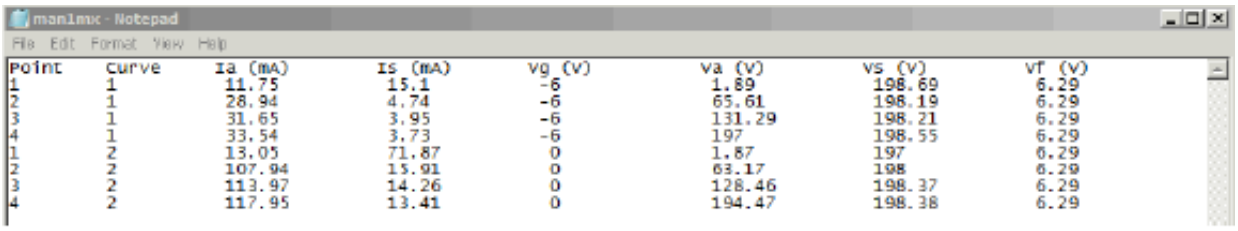


Abbildung 6.2.1 Das Formular „Daten speichern" (links) und die Testmessung zur Veranschaulichung der Dateiformate in diesem Abschnitt (rechts).

Das Fenster „Daten speichern" wird durch Klicken auf die Schaltfläche „Daten speichern" im Abschnitt „Verschiedenes" im Hauptfenster geöffnet (Abb. 6.2 links). Es gibt drei Formate, in denen die gemessenen Daten gespeichert werden können: Messmatrix, Block und Liste. Die verschiedenen Formate werden durch Klicken auf die entsprechende Befehlsschaltfläche ausgewählt. Sowohl die zu messenden Punkte als auch die gemessenen Daten sind in der Messmatrix enthalten, einem Array, das intern von der GUI verwendet wird. Durch Drücken der Schaltfläche „Messmatrix speichern" wird der Inhalt dieses Arrays in die angegebene Datei geschrieben. Diese Datei und alle Messdatendateien haben die Erweiterung .utd (µTracer-Daten).



manimc - Notepad

File Edit Format View Help

Point	Curve	Ia (mA)	Is (mA)	Vg (V)	Va (V)	Vs (V)	Vf (V)
1	1	11.75	15.1	-6	1.89	198.69	6.29
2	1	28.94	4.74	-6	65.61	198.19	6.29
3	1	31.65	3.95	-6	131.29	198.21	6.29
4	1	33.54	3.73	-6	197	198.55	6.29
1	2	13.05	71.87	0	1.87	197	6.29
2	2	107.94	15.91	0	63.17	198	6.29
3	2	113.97	14.26	0	128.46	198.37	6.29
4	2	117.95	13.41	0	194.47	198.38	6.29

Abbildung 6.2.2 Beispiel für das Format der gespeicherten Messmatrix

Abbildung 6.2.2 zeigt das Format der gespeicherten Messmatrix. Die Daten werden in acht Spalten gespeichert. Die erste Spalte gibt die Messpunktnummer innerhalb jeder Kurve an, während die zweite Spalte die Kurvennummer angibt. Die dritte und vierte Spalte sind die Anoden- und Schirmströme in mA. Die letzten vier Spalten enthalten die Gitter-, Anoden-, Sieb- und Filamentspannungen. Beachten Sie, dass die angezeigten Gitter- und Filamentspannungen die Sollwerte sind, während die Anoden- und Siebspannungen tatsächlich gemessen werden.

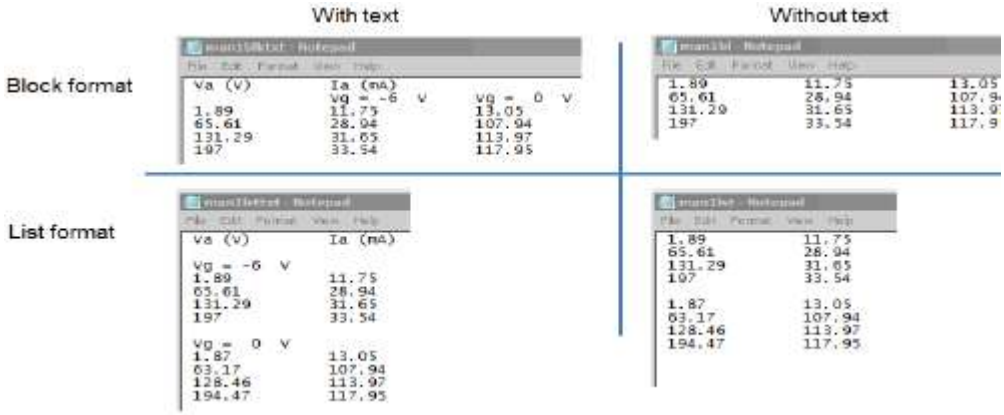
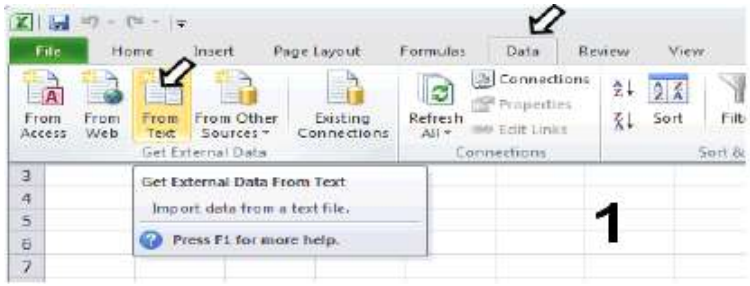


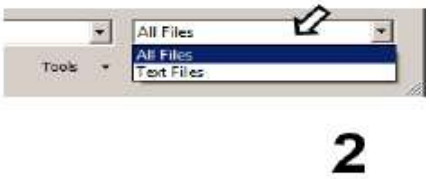
Abbildung 6.2.3 Beispiele für das Format „Block" (obere Reihe) und das Format „Liste" (untere Reihe). Beide Formate können mit und ohne Text generiert werden.

Abbildung 6.2.3 zeigt die Formate „Block" und „Liste": Im Format „Block" ist die erste Spalte die laufende Variable (x-Achse) der ersten Kurve, und die folgenden Spalten sind die gemessenen Daten für jede Kurve. Im "Listen" -Format werden die Daten sowohl für die laufende Variable als auch für die gemessenen Daten für jede Kurve nacheinander gespeichert. Da der tatsächliche Wert der laufenden Variablen vom Strom abhängt, kann es im Blockformat zu einem geringfügigen Fehler in den Strom-Spannungs-Beziehungen kommen. Im Listenformat werden sowohl die Spannungen als auch die Ströme genauso gespeichert, wie sie gemessen werden. Um das Importieren von Daten in eine andere Anwendung zu erleichtern, können Sie den Text in den Dateien weglassen, indem Sie das Kontrollkästchen „Text hinzufügen" deaktivieren (Abb. 6.4). Anstelle des Anodenstroms kann eine der Variablen in der Optionsfeldliste des Fensters zum Speichern ausgewählt werden.

6.3 - Importieren von Daten in Microsoft Excel

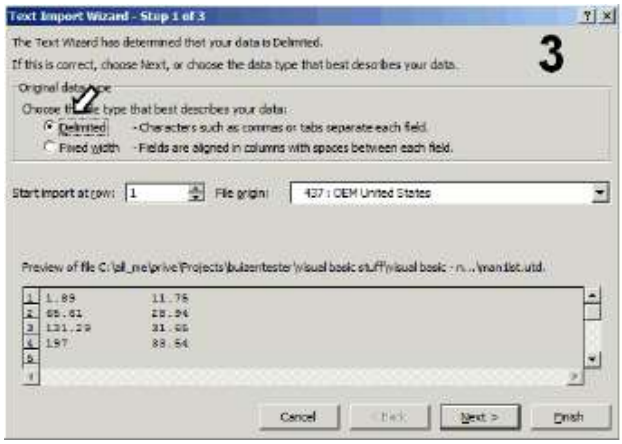
Das Importieren von Daten aus einer .utd-Datei in Excel ist sehr einfach. In diesem Abschnitt wird der Vorgang Schritt für Schritt anhand einer Datei gezeigt, die im Format „Liste" gespeichert wurde. Ich bin nicht besonders erfahren mit Excel, und es kann sein, dass es einfachere Möglichkeiten gibt, die Daten zu importieren. Für den gelegentlichen Gebrauch funktioniert diese Methode einwandfrei.

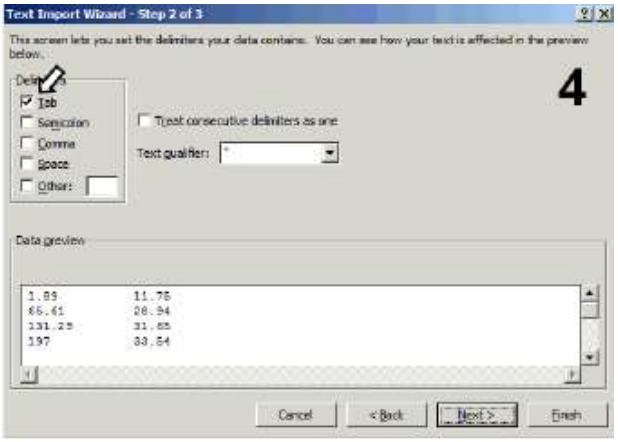




1. Wählen Sie unter der Registerkarte "Daten" unter "Externe Daten abrufen" die Option "Aus Text".

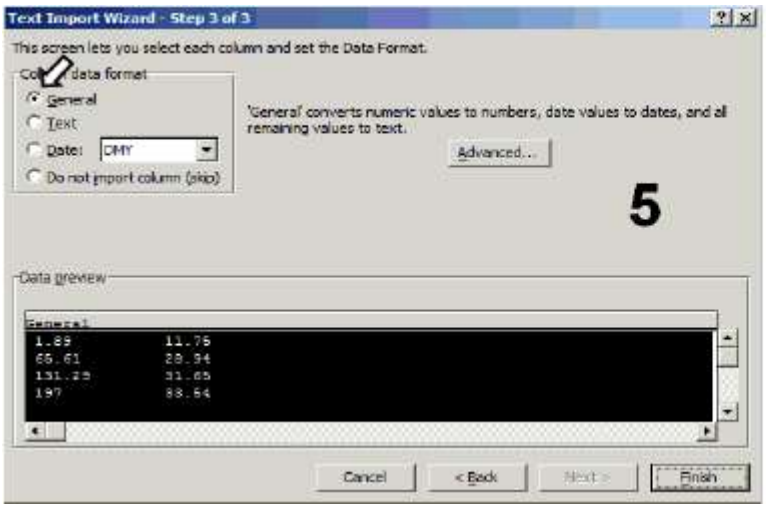
2. Stellen Sie im Dateibrowser sicher, dass Sie "Alle Dateien" auswählen.

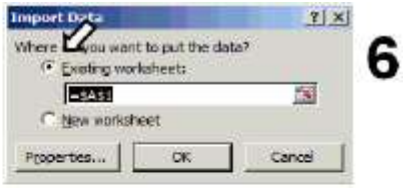


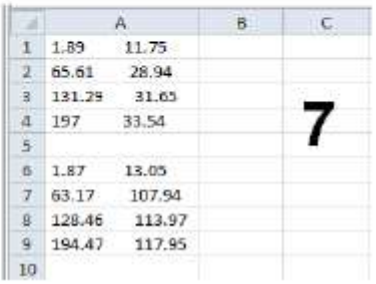


3. Wählen Sie "Begrenzt" (Standard),

4. "Tabulatoren" (Standard).







5. Wählen Sie "Allgemein" als Datenformat (Standard),

6. im "vorhandenen Arbeitsblatt" (Standard).

7. Fertig!

6.4 - Speichern des Messaufbaus

Durch Drücken der Befehlsschaltfläche „Setup speichern" im Abschnitt „Verschiedenes" werden alle Setup-Informationen (das vollständige Mess-Setup, Pinning-Informationen, grafische Ausgabeeinstellungen und Schnelltest-Einstellungen) sowie die aktuelle Messung in der Grafik angezeigt und die gespeicherte Messung werden in einer Setup-Datei gespeichert. Auf diese Weise ist Folgendes möglich:

1. Speichern Sie einfach den Messaufbau für einen bestimmten Röhrentyp.
2. Aufnahme einer gespeicherten Referenzmessung für einen bestimmten Röhrentyp, an der zukünftige Messungen gemessen werden können;
3. Um einen Satz von Messungen für zukünftige Analysen zu speichern, z. mit dem Verzerrungsanalyse-Tool.

Nach dem Drücken der Befehlsschaltfläche "Setup speichern" im Abschnitt "Verschiedenes" wird der Benutzer aufgefordert, einen Dateinamen einzugeben, nach

dem das vollständige Setup und die Messungen (falls vorhanden) in einer Datei gespeichert werden. Diese Datei ist eine Standard-ASCII-Datei, die mit jedem Texteditor gelesen werden kann. Die Datei hat die Standarderweiterung .uts (µTracer Setup). Beachten Sie, dass zur Vermeidung von Problemen mit Dezimaltrennzeichen alle Realzahlen als Ganzzahlen multipliziert mit 1000 gespeichert werden. Der Wert -1 gibt das Dateiende an, wodurch die Datei in Zukunft erweitert werden kann. Jedes gespeicherte Mess-Setup kann neu geladen werden, indem Sie auf „Setup öffnen" klicken und anschließend die jeweilige Setup-Datei auswählen.

6.5 - Die Kalibrierungsdatei

Kleine Abweichungen bei den Komponentenwerten machen es erforderlich, den µTracer für eine optimale Genauigkeit zu kalibrieren. Um dies zu erreichen, wird eine Reihe von Variablen mithilfe des grafischen Fensters „Kalibrierung" angepasst, in dem die Schieberegler entsprechend verschoben werden, um genaue Werte für Ströme und Spannungen **[MEHR]xi** festzulegen. Das genaue Verfahren zum Ermitteln der richtigen Kalibrierungswerte ist in Kapitel **8.5 Das Kalibrierungsverfahren** beschrieben. Der Standardwert für jeden Schieberegler ist 1,0 (Mittelposition) und kann über einen Bereich von 0,9 bis 1,1 oder +/- 10% eingestellt werden. Die Variablen VaGain und VsGain passen die Anoden- und Schirmspannungen an, während IaGain und IsGain die gemessenen Ströme anpassen. Mit Vsuppl und Vgrid können die genauen Versorgungs- und Giterspannungen eingestellt werden, und Vsat stellt den Spannungsabfall über dem Hochspannungsschalter während des Messimpulses ein.

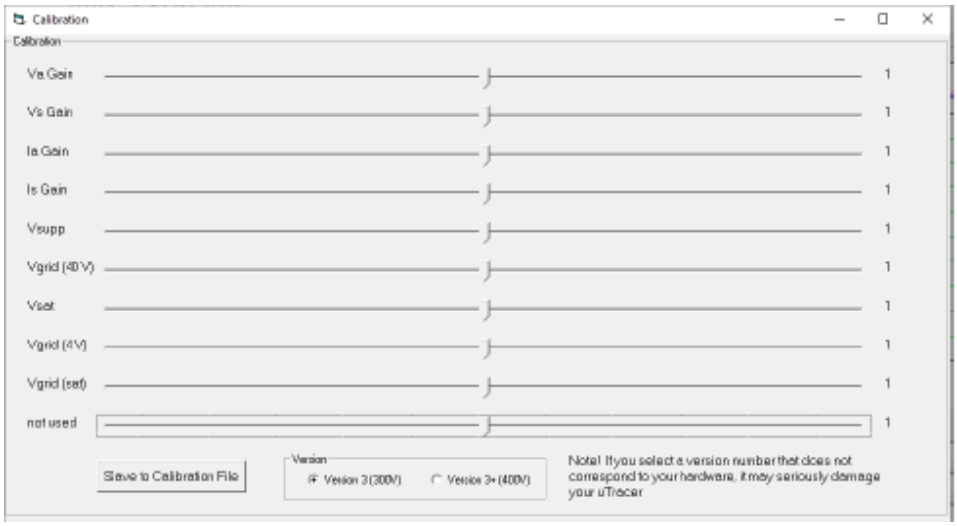


Abbildung 6.5.1 Das Kalibrierungsformular (V3.11)

Durch Klicken auf die Schaltfläche „In Kalibrierungsdatei speichern" im Kalibrierungsfenster werden die Kalibrierungsdaten in der Datei „µTracer_3pX.cal" gespeichert, wobei „X" die aktuelle GUI-Versionsnummer angibt. Die Datei wird in demselben Ordner gespeichert, in dem sich die ausführbare GUI-Datei befindet, normalerweise im Ordner "Programmdateien" **[MEHR}xii**.

Tipp: Notieren Sie die Kalibrierwerte immer auf einem Blatt Papier oder in einer Textdatei! Obwohl es möglich ist, den alten Namen der Kalibrierungsdatei nach der Installation einer neuen GUI-Version in den neuen Namen zu kopieren und umzubenennen, ist es bei weitem schneller und einfacher, die korrekten Werte nach der Installation einer neuen GUI-Version erneut einzugeben.

1. **Hinweis:** Die COM-Portnummer wird auch in der Kalibrierungsdatei gespeichert. Dies bedeutet, dass bei einer Änderung der COM-Portauswahl das Kalibrierungsfenster geöffnet und die Schaltfläche „In Kalibrierungsdatei

speichern" gedrückt werden muss, wenn die neue Portauswahl gespeichert werden soll

2. **Hinweis:** Stellen Sie sicher, dass die richtige µTracer-Version (3 oder 3+) ausgewählt ist.

6.6 - Speicherort der Dateien

Windows 7: Wenn die Benutzerkontensteuerung (User Account Control, UAC) aktiviert ist (Standardeinstellung), wird jeder Versuch einer Anwendung, in Systemverzeichnisse zu schreiben, heimlich an einen benutzerspezifischen "virtuellen Speicher" weitergeleitet, mit Lese- und Schreibzugriff für diesen Benutzer. Dies geschieht, um zu verhindern, dass Benutzer installierte Anwendungen beschädigen, und das Gleiche wird seit Jahren unter UNIX getan.

Der Standardspeicherort für Ihren virtuellen Speicher lautet: "C: \ Benutzer \ <Benutzername> \ AppData \ Local \ VirtualStore \ Programme" oder "C: \ Benutzer \ <Benutzername> \ AppData \ Local \ VirtualStore \ Programme (x86)". "Dabei ist <Benutzername> Ihr Login-Benutzername.

Der virtuelle Speicher dient zum Schutz der Verzeichnisstruktur unter "C: \ Programme", ist jedoch durch den Anmeldenamen qualifiziert. Wenn Sie 32-Bit-Windows 7 ausführen oder 32-Bit-Anwendungen installiert haben, wird das Verzeichnis "Programme (x86)" angezeigt, in dem 64-Bit-Windows 7 das Verzeichnis "Programme" verwendet.

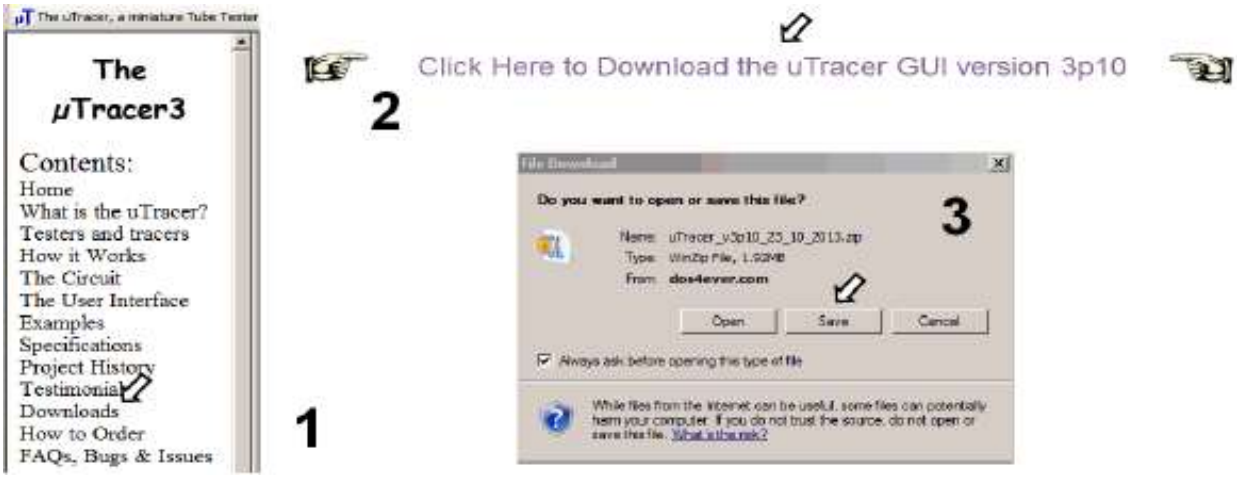
Beachten Sie, dass das Verzeichnis "AppData" standardmäßig nicht angezeigt wird, da es sich um einen Systemordner handelt. Sie können es im Explorer wie folgt sichtbar machen: Navigieren Sie zu "C: \ Benutzer \" und wählen Sie im Menü "Organisieren" die Option "Ordner und Suchoptionen". Wählen Sie im daraufhin angezeigten Dialogfeld die Registerkarte "Ansicht". Aktivieren Sie im Fenster "Erweiterte Einstellungen" unter "Versteckte Dateien und Ordner" das Optionsfeld "Versteckte Dateien, Ordner und Laufwerke anzeigen" und klicken Sie dann auf "OK".

Unter dem Verzeichnis "Programme" oben sehen Sie ein weiteres Verzeichnis mit dem Namen "µTracer_v3px". Hier werden die Kalibrierungsdatei und die Plot- / Datendateien gespeichert.

7 - Installation der GUI

Die Installation der GUI ist normalerweise recht einfach. Entpacken Sie einfach den Download auf den Desktop oder in ein temporäres Verzeichnis. Der entpackte Download enthält drei Dateien: eine CAB-Datei (Cabinet), eine LST-Listendatei und eine Setup-Anwendung. Die CAB-Datei ist nur eine weitere komprimierte Datei, die die ausführbare GUI-Datei und einige ActiveX-Komponenten (.OCX-Dateien) enthält, die die ausführbare Datei ausführen muss. Am wichtigsten sind mscomm32.ocx und MSCOMCTL.OCX, die sich mit der seriellen Kommunikation befassen. Normalerweise sollte ein Doppelklick auf die Anwendung „SETUP" ausreichen, um das Programm zu installieren und die neuen Komponenten in der Registrierung zu registrieren.

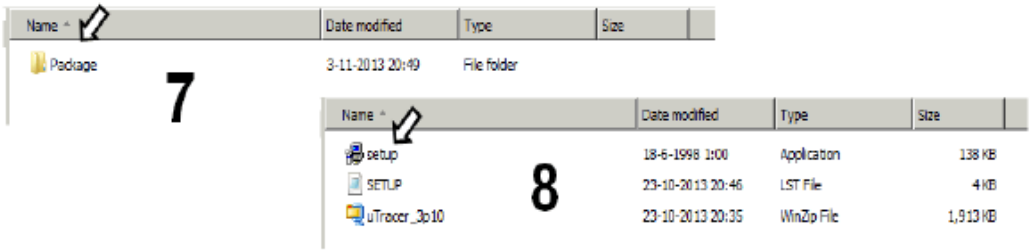
Hier ist der Installationsprozess für die GUI, dargestellt mit Screenshots:



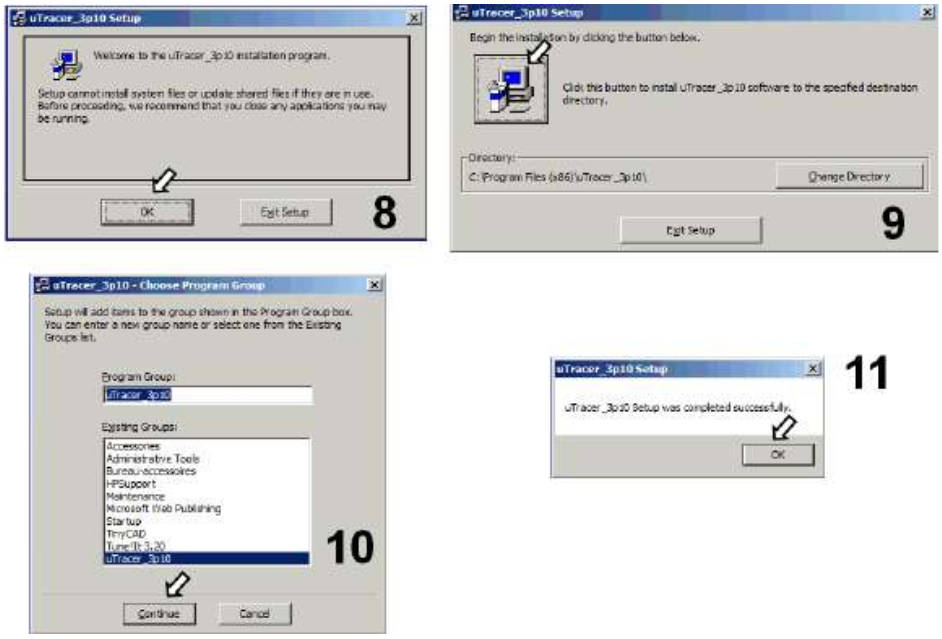
Navigieren Sie auf der µTracer-Webseite zur Seite „Download".

1- Klicken Sie auf den Link, um die Zip-Datei mit der GUI herunterzuladen (Die tatsächliche Versionsnummer der GUI kann von der hier angezeigten abweichen).
2- Speichern Sie die Zip-Datei an einem geeigneten Ort, z. der Desktop

3- Doppelklicken Sie auf die Zip-Datei, um die Datei zu entpacken, z. mit winzip.
4- Klicken Sie auf "1-Click Unzip". Ein Ordner mit den Setup-Dateien wird generiert.
5- Öffnen Sie den Ordner.



6- Ordner öffnen Paket
7- Doppelklicken Sie auf die Setup-Anwendung



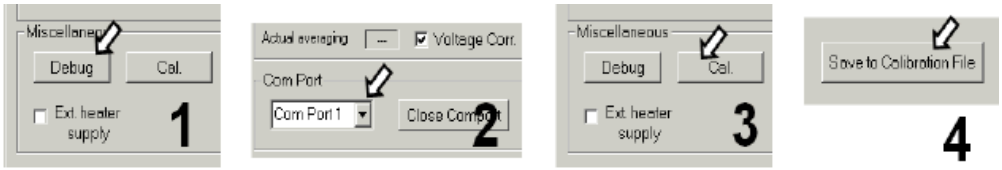
9-10- Das Installationsprogramm installiert jetzt die GUI. Grundsätzlich sind nur unsere OK-Klicks erforderlich.

11- Die GUI erfolgreich installiert!

12- In Ihrer Programmliste sollte ein µTracer-Symbol angezeigt werden. Doppelklicken Sie darauf. Beim ersten Start erstellt die GUI eine leere Kalibrierungsdatei. Klicken Sie auf OK.

13- Das Hauptfenster der GUI sollte jetzt angezeigt werden.

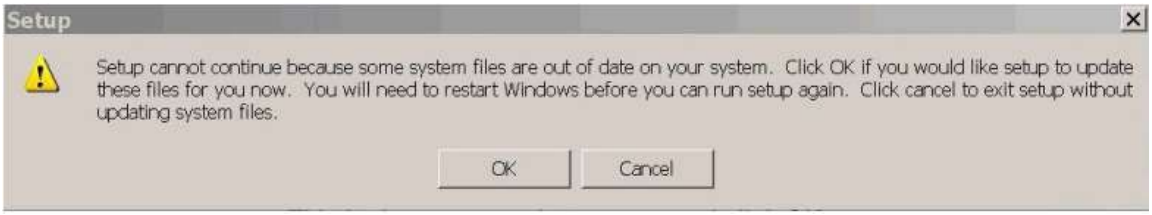
Zuletzt muss der richtige COM-Port eingestellt werden, damit die GUI mit dem µTracer kommunizieren kann. Dies erfolgt im Kommunikationsfenster, das durch Drücken von „Debug" im Hauptfenster (1) geöffnet werden kann. Nach Auswahl des richtigen COM-Anschlusses (2) wird die ausgewählte COM-Anschlussnummer in der Kalibrierungsdatei gespeichert, indem Sie das Kalibrierungsfenster (3) öffnen und auf „In Kalibrierungsdatei speichern" (4) klicken.



7.1 - Fehlerbehebung

Normalerweise sollte die Installation der GUI reibungslos verlaufen, in der Praxis können jedoch einige Schwierigkeiten auftreten. In diesem Abschnitt wurden einige Tipps von Benutzern gesammelt, die Lösungen für aufgetretene Probleme gefunden haben. Wenn das mit dem Download gelieferte Installationsprogramm "Setup.exe" überhaupt nicht funktioniert, können Sie manuell ein Verzeichnis "µTracer3px" im Stammverzeichnis Ihres Systems erstellen. Dieses Verzeichnis sollte im Verzeichnis "Programme" für XP und unter "Programme (x86)" für Windows 7 erstellt werden. Dann entpacken Sie einfach die CAB-Datei in dieses Verzeichnis. Mit etwas Glück wurden die erforderlichen OCX-Komponenten bereits in der Vergangenheit von einem anderen Programm installiert und registriert, und die GUI wird durch einfaches Doppelklicken auf die ausführbare Datei „µTracer3px.exe" ausgeführt. Meistens fehlen jedoch eine oder zwei OCX-Komponenten, die von Hand installiert werden müssen. Beachten Sie, dass die manuelle Installation dieser fehlenden Dateien auch erforderlich ist, wenn während des normalen Einrichtungsvorgangs die folgende Meldung angezeigt wird:

Da dies auf einem meiner eigenen Systeme noch nie passiert ist, kann ich nur die



Lösungen weitergeben, die andere gefunden haben! Die Fehlermeldung hängt wahrscheinlich mit einem Problem mit Ihrer Registrierung zusammen!

Überprüfen Sie zunächst, ob die Setup-Anwendung ein Verzeichnis "µTracer3px" in Ihrem Verzeichnis "Programme" (Windows XP) oder "Programme (x86)" (Windows 7) erstellt hat. Wenn nicht, müssen Sie es selbst erstellen und die ausführbare Datei µTracer3px darin entpacken.

Als nächstes müssen die fehlenden Komponenten installiert werden. Joe Neil hat mir eine Beschreibung gegeben, wie dies manuell durchgeführt werden kann:

Damit diese App funktioniert, müssen Sie mscomm32.ocx bei regsvr32.exe "registrieren". Sie sollten dies manchmal über eine Befehlszeile tun können das funktioniert nicht Hier ist eine alternative Möglichkeit: Für Win XP sollte sich regsvr32.exe im Ordner \ WINNT \ system32 befinden. mscomm32.ocx sollte ebenfalls vorhanden sein, muss jedoch möglicherweise heruntergeladen werden.

Ich habe es hier **http://www.nodevice.com/dll/MSCOMM32_OCX/item12152.html** gefunden Um mscomm32 zu "registrieren", setzen Sie den Cursor auf die mscomm32-Datei, halten Sie die linke Maustaste gedrückt und ziehen Sie die Datei über die regsvr32-Datei und lassen Sie die Taste los (drop). Sie sollten ein Fenster erhalten, in dem mscomm32 erfolgreich registriert wurde.

Alternative Methode von Chris Bartnick:

(Anmerkung: Ergänzt in der deutschen Fassung durch den Übersetzter, Quelle: dos4ever.com, FAQs)

Chris Bartnick hatte das gleiche Problem und fand einen gründlicheren Weg, um das Problem zu lösen.
Er war so nett, eine E-Mail mit einer Schritt-für-Schritt-Anleitung zu schreiben, welche nachfolgen gezeigt wird. Vielen Dank!

„Ich wollte die GUI auf einem ausgewählten Desktop mit einer neuen Windows XP Home Edition mit installiertem SP3 installieren. Die Festplatte wurde für eine saubere Windows-Installation formatiert. Bei der Installation der GUI wurde die gefürchtete Meldung "Einige Systemdateien sind auf Ihrem System veraltet" angezeigt. Ich habe Service Pack 3 installiert. Es gibt keine neueren Registrierungsdateien, die mir bekannt sind als die in SP3. Dann habe ich versucht, es auf einem funktionierenden Laptop mit Windows XP Professional SP3 mit dem gleichen Ergebnis zu installieren. Ich habe versucht, es manuell zu tun, wie von Joe Neil in den FAQ beschrieben. Es war verwirrend, weil meine XP-Installationen keinen Ordner \ WINNT \ System32 hatten. Dieser Ordner ist nur vorhanden, wenn einer von Windows 2000 oder NT migriert wurde. Wie auch immer, nach stundenlangen Recherchen im Internet habe ich es installiert und es läuft auf beiden Computern einwandfrei. Eine Schritt-für-Schritt-Anleitung finden Sie unten. Ich werde es auch in der Google Support Group veröffentlichen.

1. Erstellen Sie einen neuen Ordner "uTracer3px" in C: \ Programme \

2. Downloaden und entpacken Sie das uTracer-GUI-Paket in einen temporären Ordner Ihrer Wahl.
Sie sehen die folgenden Unterordner:
/ uTracer_v3pxxxx / uTracer_3pxxx / Paket (xxx sind die Versionsnummern oder was auch immer).
Klicken Sie mit der linken Maustaste auf Paket> klicken Sie mit der linken Maustaste auf CAB-Datei,> markieren Sie alle Dateien und klicken Sie mit der rechten Maustaste darauf> In Verzeichnis extrahieren C: \ Programme \ uTracer3px. Welches sie gerade erstellt haben.
Wechseln Sie in das Verzeichnis C: \ Programme \ uTracer3px.
Es wird mehrere Dateien geben, darunter MSCOMM32.OCX und MSCOMCTL.OCX.
Ziehen Sie sie in den Ordner C: \ Windows \ System32.
Schließen Sie den Windows Explorer.

3. Diese Dateien müssen wie folgt in der Registrierung registriert werden:
Klicken Sie auf Start> Ausführen: Geben Sie "cmd" in das Fenster ein, drücken Sie noch nicht die EINGABETASTE, drücken Sie STRG + Umschalttaste und jetzt die EINGABETASTE, klicken Sie auf JA
Stellen Sie im schwarzen Befehlsfenster zum Ändern des Verzeichnisses: cd C: \ Windows \ System32 sicher, dass C: \ Windows \ System32 an der Eingabeaufforderung angezeigt wird.
Geben Sie den folgenden Befehl ein: regsvr32_/u MSCOMM32.OCX (Hinweis: Nach 32 steht ein Leerzeichen) und drücken Sie die EINGABETASTE. Dadurch wird die Registrierung der Datei aufgehoben. Klicken Sie auf OK.
Wiederholen Sie diesen Vorgang für die Datei MSCOMCTL.OCX.
Geben Sie den folgenden Befehl ein: regsvr32 MSCOMM32.OCX, um die Datei zu registrieren.
Wiederholen Sie diesen Vorgang für die Datei MSCOMCTL.OCX. OK klicken.
Geben Sie exit + Enter ein, um das Befehlsfenster zu verlassen.
All dies wird hier noch einmal gezeigt:

http://scn.sap.com/people/firoz.ashraf2/blog/2014/10/02/how-to-registeractivate-activex-component-mscomm32ocx-on-windows-7

4. Erstellen Sie abschließend eine Verknüpfung zum uTracer-Programm.
Gehen Sie im Windows Explorer zu C: \ Programme \ uTracer3px und klicken Sie mit der rechten Maustaste auf uTracer3px.exe> Senden an> Desktop.
Erledigt.

7.2 - Installieren einer neuen Version

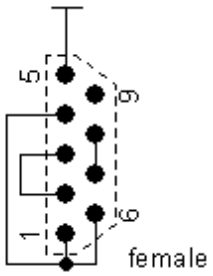
Wenn Sie die GUI bereits installiert haben und diese auch funktioniert, müssen Sie bei der Veröffentlichung einer neuen Version nicht den gesamten Installationsvorgang durchführen, da alle erforderlichen OCX-Komponenten bereits installiert wurden. Es reicht aus, einfach ein Verzeichnis mit einem geeigneten Namen (z. B. µTracer_3p8) zu erstellen, vorzugsweise im Verzeichnis „Programme" (Windows XP) oder „Programme (x86)" (Windows 7), und die ausführbare Datei „v3p8" direkt in diesen Ordner zu entpacken -only-zip-file **"(verfügbar auf der Download-Seite)xiii.** Doppelklicken Sie auf die ausführbare Datei und es sollte funktionieren.

Ich empfehle dringend den folgenden Ansatz, um die Kalibrierungswerte auf die neue GUI zu portieren: Starten Sie die alte Version der GUI und notieren Sie im Kalibrierungsformular alle Kalibrierungswerte (auf einem Blatt Papier). Öffnen Sie als Nächstes die neue Version, stellen Sie alle Kalibrierungswerte entsprechend ein und klicken Sie auf „In Kalibrierungsdatei speichern". Beenden Sie die GUI und starten Sie sie neu. Öffnen Sie dann das Kalibrierungsformular und stellen Sie sicher, dass alle Kalibrierungswerte ordnungsgemäß gespeichert wurden.

7.3 - Testen des USB-Seriell-Konverters

Leider hat sich die Verwendung eines USB-Seriell-Konverters als problematisch erwiesen. Dies ist nicht die Schuld der GUI oder des µTracer, sondern bezieht sich ausschließlich auf die Hardware / Software des Konverters, manchmal in Kombination mit der Windows-Installation. Es wird daher empfohlen, den Konverter zunächst mit dem in diesem Abschnitt beschriebenen Verfahren zu testen.

Ein besonderes Problem trat bei einem USB-zu-Seriell-Konverter auf, der den „Prolific" -Chipsatz verwendete. Als die GUI versuchte, den COM-Port zu lesen, stürzte das Programm mit einem "Laufzeitfehler 8020, Fehler beim Lesen des Kommunikationsgeräts" ab. Eine Suche im Internet ergab, dass dieses spezielle Problem nur bei USB-Seriell-Konvertern auftritt, die auf dem Chipsatz „Prolific" basieren, und nur unter Windows Vista oder Windows 7.



Wenn Sie überlegen, Ihren eigenen µTracer zu bauen, empfehle ich dringend, dass Sie die GUI herunterladen und zuerst testen. Es ist sehr einfach, die GUI und ihre Kommunikation zu testen, ohne über die eigentliche µTracer-Hardware zu verfügen, indem ein emulierter COM-Port verwendet wird. Obwohl es möglich ist, die GUI bei geöffnetem COM-Port zu testen, ist eine gründlichere Überprüfung möglich, wenn der COM-Port durch Verbinden des Sende-Pin mit dem Empfangs-Pin getäuscht wird. Die kleine Dummy-µTracer-Schaltung rechts zeigt, wie eine solche Schaltung an eine 9-polige RS232-Buchse (DB9) angeschlossen werden kann. Die Pins 2 und 3 sind die Datenpins, und die andere Verkabelung stellt sicher, dass die Handshake-Signale ordnungsgemäß umgangen werden.

Nach der Installation der GUI wie oben beschrieben sollten zwei Konfigurationen ausprobiert werden, um einen 100% ausfallsicheren Test der GUI-Kommunikation zu erhalten:

Starten Sie bei geöffnetem COM-Port den µTracer und klicken Sie auf die Befehlsschaltfläche „Debug". Wählen Sie die richtige COM-Port-Nummer und drücken Sie die Befehlstaste „Ping". Durch Drücken der Ping-Taste sendet die GUI zwei Befehlszeichenfolgen an den µTracer. Die erste Zeichenfolge ist ein <00> Befehl zum Starten der Messsequenz, und die zweite Zeichenfolge ist ein <50> Befehl zum Auslesen aller analogen Kanäle. Die GUI überträgt das erste Zeichen (die erste „0" in „00") und wartet, bis µTracer es wiedergibt. Wenn der COM-Port geöffnet ist, wird nichts wiedergegeben. Nach 2 Sekunden erkennt die GUI ein Timeout und gibt einen Timeout-Fehler aus.

Verbinden Sie den "Dummy µTracer" -Schaltkreis mit dem COM-Port und drücken Sie den Befehl "ping" im Debug-Fenster. In diesem Fall überträgt die GUI die beiden Befehlssequenzen erfolgreich und gibt nach 10 Sekunden einen Timeout-Fehler aus, da erwartet wird, dass eine Ergebniszeichenfolge vom µTracer zurückgesendet wird.

Wenn die GUI in beiden Fällen wie oben reagiert, funktioniert die GUI und ihre Kommunikation mit dem COM-Port ordnungsgemäß.

7.4 – Belegen und Freigeben von COM-Ports

Es kommt manchmal vor, dass einige Geräte einen COM-Port beanspruchen und ihn dann nicht „freigeben", wenn das Gerät entfernt wird. Besonders (billige) serielle Bluetooth-Kommunikationsmodule haben diese unangenehme Angewohnheit. Das Ergebnis ist, dass die niedrigeren COM-Port-Nummern von Geräten belegt werden, die nicht vorhanden sind. Da die auf der GUI ausgewählte COM-Port-Nummer im Bereich von 1 bis 10 liegen muss, kann es vorkommen, dass Ihnen die COM-Ports ausgehen. Hier ist eine Möglichkeit, nicht verwendete COM-Portnummern freizugeben:

1. Überprüfen Sie zunächst, ob versteckte Geräte die COM-Anschlüsse belegen: Klicken Sie auf Start> Alle Programme> Zubehör und dann auf Eingabeaufforderung.
2. Geben Sie in der Eingabeaufforderung "set devmgr_show_nonpresent_devices = 1" ein und drücken Sie die Eingabetaste. (Möglicherweise müssen Sie Ihren Computer danach neu starten.)
3. Geben Sie "cd \ Windows \ system32" in die Eingabeaufforderung ein und drücken Sie die Eingabetaste.
4. Geben Sie "start devmgmt.msc" in die Eingabeaufforderung ein und drücken Sie die Eingabetaste.
5. Klicken Sie auf "Ansicht" > Versteckte Geräte anzeigen. Dadurch werden Geräte angezeigt, die nicht mit Ihrem Computer 6 verbunden sind.
6. Wenn Sie nun den Abschnitt über COM-Ports erweitern, werden alle jemals erstellten COM-Ports angezeigt, wobei die nicht vorhandenen grau dargestellt sind.
7. Sie können alles deinstallieren, was Sie nicht möchten (Rechtsklick, Deinstallieren auswählen.

8 - Capita Selecta

In diesem Abschnitt werden einige ausgewählte Themen behandelt, die einige Besonderheiten der GUI hervorheben.

8.1 - Das Kommunikationsformular

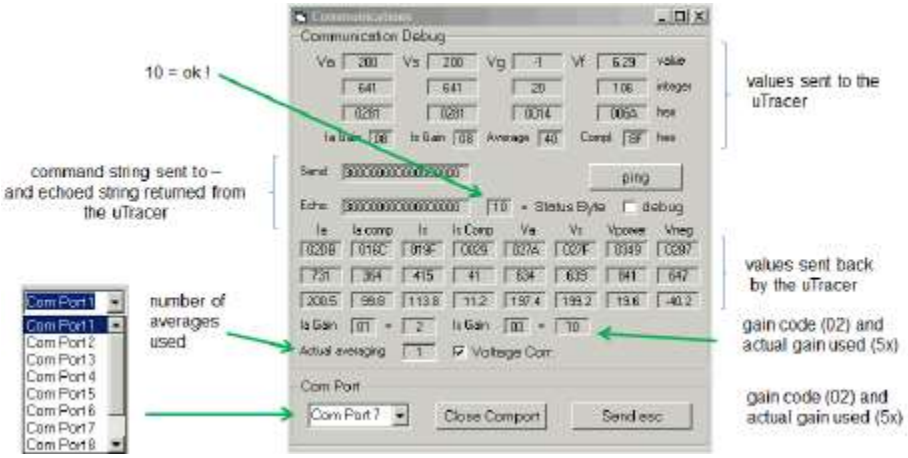


Abbildung 8.1.1 Kommunikations-Debug-Formular

Das "Kommunikationsfenster" wird durch Klicken auf "Debuggen" im Abschnitt "Verschiedenes" des Hauptfensters geöffnet. Oben im Fenster werden detaillierte Informationen zur Kommunikation zwischen der GUI und dem µTracer angezeigt. Dieses Fenster wurde während der Debugging-Phase der Programmentwicklung ausgiebig verwendet, und ich verwende es immer noch regelmäßig, um zu überprüfen, was im Detail vor sich geht. Das Fenster besteht aus drei Bereichen. Im oberen Bereich werden Daten angezeigt, die von der GUI **[Mehr] xv** an den µTracer gesendet werden. In den vier Spalten finden wir die Sollwerte der Spannungen, die zusammen den Vorspannungspunkt der Röhre bestimmen. Die obere Zeile gibt den Dezimalwert an. Die Zeile darunter gibt eine ganzzahlige Darstellung des Sollwerts an, der in einen Wert übersetzt wurde, der für die 10-Bit-On-Chip-AD / PWM-Wandler sinnvoll ist. Die Zeile darunter gibt nur die hexadezimale Darstellung des ganzzahligen Werts an. Die letzte Zeile enthält die Werte für die Einstellungen für Verstärkung, Mittelwertbildung und Konformität, die in der Befehlszeichenfolge an den µTracer gesendet werden. Diese letzten Werte sind bereits codiert, damit der µTracer sie leicht interpretieren kann.

Die vier Sollwerte, die von einem Befehlsbyte geleitet werden, werden zu einer Befehlszeichenfolge kombiniert, die im mittleren Bereich des Fensters **[MEHR]xvi** angezeigt wird. Normalerweise gibt der µTracer jedes an ihn gesendete Zeichen wieder. Dieser Vorgang wird in der Zeile unter der Befehlszeichenfolge überwacht, in der die wiedergegebenen Zeichen angezeigt werden.

Im unteren Bereich des Fensters werden die vom µTracer in der Ergebniszeichenfolge zurückgesendeten Daten angezeigt. Die Ergebniszeichenfolge besteht aus drei Teilen. Es wird von einem Statuswort geleitet, das separat angezeigt wird. Ein Wert von 10 zeigt eine erfolgreiche Messung an, während 11 anzeigt, dass ein Konformitätsfehler aufgetreten ist. Der Großteil der Daten in der Ergebniszeichenfolge ist das Auslesen der 8 AD-Kanäle. Die Hex-Anzeige und die Ganzzahldarstellungen werden in den beiden oberen Zeilen angezeigt. In der Zeile darunter werden die Dezimalwerte angezeigt, in denen die Umwandlung von AD-Anzeige in reale Spannungen und Ströme durchgeführt wurde. In den Feldern unten werden die tatsächlichen Verstärkungs- und Mittelwerte angezeigt, die für diesen bestimmten Messpunkt verwendet wurden. Sie können von Punkt zu Punkt variieren, wenn die automatischen Bereichs- und Mittelungsoptionen ausgewählt wurden, und es ist aufschlussreich zu sehen, wie sie sich während einer Messung ändern.

Im unteren Teil des Formulars kann die COM-Port-Nummer aus einem Dropdown-Menü ausgewählt werden. Beachten Sie, dass nach Auswahl eines neuen COM-Anschlusses die Nummer erst in der Kalibrierungsdatei gespeichert wird, wenn das Kalibrierungsformular geöffnet und „In Kalibrierungsdatei speichern" gedrückt wird. Darüber hinaus gibt es eine Schaltfläche zum „Schließen" des aktuellen COM-Ports oder zum Senden eines Escape-Zeichens an den µTracer. Ein Escape-Zeichen zwingt den µTracer immer dazu, in seinen Rücksetzzustand zurückzukehren.

8.2 - Magische Augen und Messungen im kontinuierlichen Modus

Der µTracer eignet sich sehr gut zum „Testen", oder besser gesagt zum Betrachten" von magischen Augen. Dazu wird der µTracer im kontinuierlichen Modus verwendet. Dies hat bei Benutzern, die auf der GUI nach einer Schaltfläche für den kontinuierlichen Modus suchten, zu Verwirrung geführt. Hier werde ich versuchen zu erklären, was damit gemeint ist.

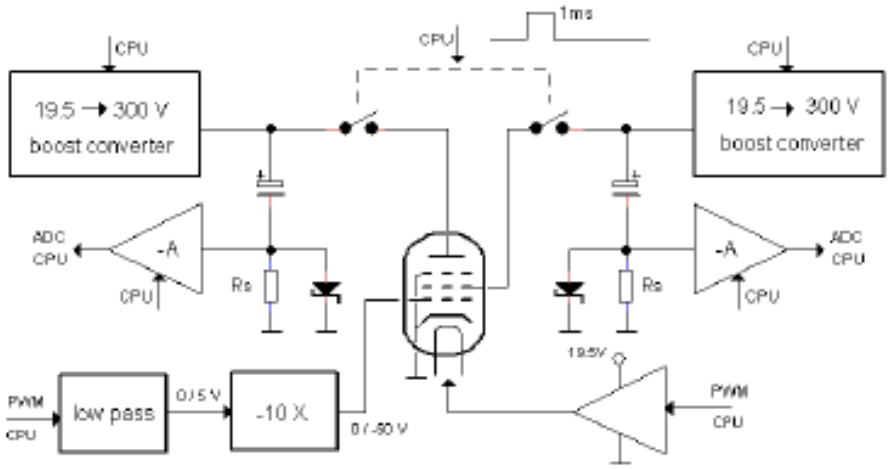


Abbildung 8.2.1
Normaler gepulster
Betrieb des µTracer

Abbildung 8.2.1 zeigt das normale „gepulste" Funktionsprinzip des µTracer. Zwei Hochleistungs-Aufwärtswandler laden zwei 100-uF-Speicherkondensatoren auf die gewünschten Anoden- und Schirmspannungen auf. Während der eigentlichen Messung werden die Speicherkondensatoren durch Schließen der Hochspannungsschalter für eine Dauer von einer Millisekunde mit der Anode und dem Schirm verbunden. Während dieser Millisekunde werden die Anoden- und Schirmströme von den Speicherkondensatoren geliefert und die Ströme gemessen.

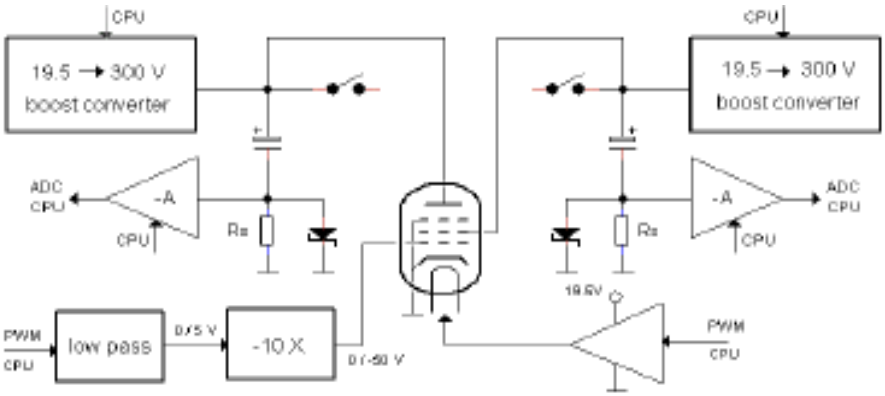


Abbildung 8.2.2
Dauerbetrieb des
µTracer

Im Dauerbetrieb (Abb. 8.2.2) werden die Hochspannungsschalter nicht verwendet, sondern die Anode und der Bildschirm sind direkt mit den Aufwärtswandlern verbunden. Da die Aufwärtswandler nur ca. 3 mA liefern können, kann dieser Modus nur für Niedrigstromröhren verwendet werden. Auf der Platine befinden sich keine Klemmen für den direkten Anschluss an die Aufwärtswandler. Wenn Sie das Gerät im Dauerbetrieb verwenden möchten, können Sie die Aufwärtswandler am besten an den Anoden der 100-uF-Speicherkondensatoren „antippen" (siehe auch die Bauanleitung unter „Verdrahtung des µTracers"). Um den µTracer im kontinuierlichen Modus zu verwenden, müssen Sie keine Taste drücken, kein Kontrollkästchen aktivieren oder etwas anderes, da die GUI den Unterschied zwischen gepulstem und kontinuierlichem Modus nicht kennt. Beachten Sie, dass die Aufwärtswandler, wenn die Röhre zu viel Strom zieht, den Sollwert nicht erreichen können, was zu einem Timeout-Fehler führt.

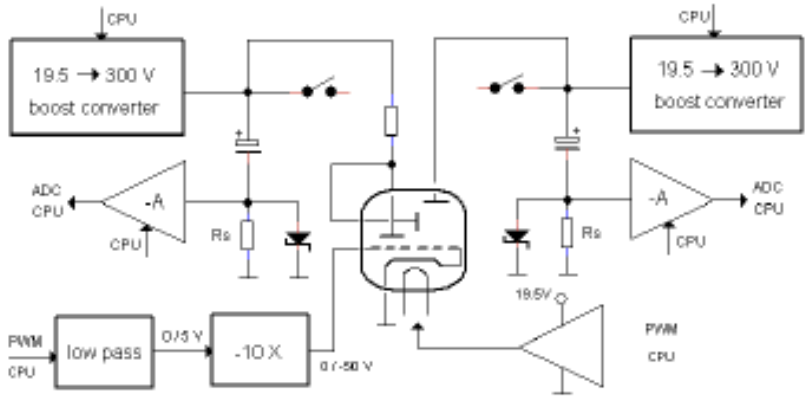


Abbildung 8.2.3 Testen von Magic Eyes im kontinuierlichen Modus

Die meisten Magischen Augen Röhren ziehen nur einen Milliampere Anodenstrom oder sogar weniger, sodass sie im kontinuierlichen Modus getestet (und betrachtet) werden können. Die obige schematische Zeichnung gibt einen Vorschlag, wie ein magisches Auge mit dem µTracer verbunden werden kann. In diesem Fall werden die Trioden- und CRT-Abschnitte unabhängig voneinander angesteuert. Das einzige, was hinzugefügt werden muss, ist ein Anodenlastwiderstand, um die Verstärkung des Trioden-Abschnittes einzustellen. Den richtigen Wert für diesen Widerstand finden Sie im Datenblatt der Röhre.

8.3 - Überlegungen zum Heizung

Ich erhielt eine Reihe von Fragen von Personen, die Fragen oder Probleme im Zusammenhang mit der Stromversorgung des Heizgeräts haben, insbesondere in Kombination mit direkt beheizten Hochstromfilamenten mit niedriger Spannung (<4 V). Die Heizungsversorgung wurde ursprünglich für normale Röhren vom Typ 6,3 - 12 V Radio / Fernsehen entwickelt. Für diese Röhren gibt es kein Problem mit der Heizungsversorgung, aber wenn eine Niederspannungs- / Hochstromkombination benötigt wird, wird die Versorgung an die Grenzen ihrer Leistung gebracht. Glücklicherweise kann stattdessen eine einfache externe Heizungsversorgung verwendet werden. Schließlich scheint es, dass die zum Testen direkt beheizter Röhren erforderlichen µTracer-Verbindungen einer Erklärung bedürfen.

Wie funktioniert die Heizungsversorgung?

Die Temperatur des Heizgeräts und damit die Emission ist eine Funktion der darin abgegebenen Energiemenge. Die Heizung ist im Grunde eine ohmsche Last mit einer großen Wärmekonstante, und im µTracer werden diese Eigenschaften verwendet, um einen sehr einfachen Versorgungskreis zu realisieren. In seiner einfachsten Darstellung ist es nichts anderes als ein Leistungs-MOSFET mit einem sehr geringen Widerstand, der die 19,5-V-Stromversorgung direkt mit der Heizung verbindet. Der MOSFET wird mit einem 19,5-kHz-Signal mit variablem Arbeitszyklus angesteuert. Die Schaltfrequenz ist so hoch, dass die Temperatur des Filaments dem Schaltvorgang nicht folgen kann, und nimmt auf diese Weise eine Temperatur an, die sich auf die durchschnittliche Verlustleistung bezieht. Durch Variieren des Arbeitszyklus kann die im Heizgerät verbrauchte Leistung variiert werden. Hier wird die Beziehung zwischen dem Arbeitszyklus, der Sollwertheizspannung und der Versorgungsspannung abgeleitet **[MEHR]xvii**. Beachten Sie, dass der Arbeitszyklus gleich dem Quadrat des Verhältnisses der Sollwertspannung zur Versorgungsspannung ist! Wenn also eine Heizspannung von 10 V angegeben wird und die Versorgungsspannung 20 V beträgt, wird das Tastverhältnis auf (10/20) ^ 2 = (0,5) ^ 2 = 0,25 oder 25% eingestellt!

Einige Leute haben versucht, die Versorgungsspannung des Heizgeräts des µTracers mit einem normalen Voltmeter zu überprüfen und sehr seltsame Werte zu finden. Dies liegt daran, dass der Ausgang der Heizungsversorgung gepulst ist. Sie können die Heizungsversorgungsspannung des µTracers nicht mit einem normalen Voltmeter überprüfen! Nur ein Voltmeter, welches den wahren Effektivwert (Root Mean Square) von einem Wechselstromsignal mit einer ausreichend hohen Bandbreite messen kann, kann verwendet werden.

Ich selbst habe kein solches Voltmeter, aber einige Leute haben darüber berichtet **(Link1 xviii, Link2 xix)**.

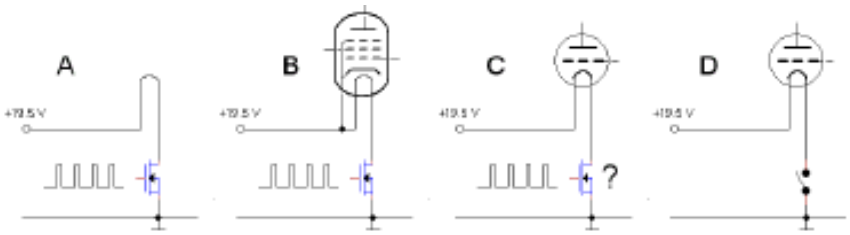


Abbildung 8.3.1 Prinzip der Heizungsversorgung

Die Heizungsversorgung des µTracer kann offensichtlich nicht für sich „schweben" und muss an den Rest des Stromkreises angeschlossen werden. Abbildung 8.3.1 zeigt das Prinzip, wie das gemacht wird. Da die Ausgangsspannung eines Aufwärtswandlers niemals niedriger als die Versorgungsspannung sein kann, wird die Kathode der Röhre auf die positive Versorgungsspannung bezogen **(mehr hier)xx**. Bei indirekt beheizten Röhren ist dies offensichtlich überhaupt kein Problem (Abb. 8.3.1B). Bei direkt beheizten Röhren scheint es ein Problem zu geben, da in diesem Fall die Heizung auch als Kathode dient und wie hoch das Kathodenpotential ist, wenn die Heizung kontinuierlich zwischen Null und der maximalen Versorgungsspannung ein- und ausgeschaltet wird (Abb. 8.3.1C)? Die Lösung ist einfach: Während des 1-ms-Messimpulses, wenn die Hochspannungen an die Röhre angelegt werden, wird die Heizungsversorgung vollständig abgeschaltet, sodass die Kathode / das Filament auf Erdpotential liegt (Abb. 8.3.1D)! Beachten Sie, dass dies eine ziemlich seltsame Situation ist, die normalerweise in keinem praktischen Kreislauf mit direkt beheizten Röhren auftritt. In normalen Schaltkreisen verursacht die Heizspannung immer einen Spannungsgradienten entlang des Filaments, was zu einem Gradienten der Vorspannung der Gitterheizung führt. Die Ströme in einem realen Stromkreis unterscheiden sich also geringfügig von den mit dem µTracer gemessenen Strömen! Wie ernst das ist, hängt von der Heizspannung und der Gittervorspannung ab.

Niedrige Spannungen, hohe Ströme:

Ein Problem tritt bei Heizgeräten auf, die eine niedrige Spannung mit einem hohen Strom kombinieren. Die Wurzel des Problems besteht darin, dass mit abnehmender Heizspannung das Tastverhältnis der PWM-Heizungsversorgung und damit die Impulsbreite der Heizungsversorgung gemäß einem inversen Quadratgesetz abnimmt. Die Impulsbreite wird so kurz, dass bereits eine geringe Induktivität in der Verdrahtung des Heizkreises verhindert, dass der Heizstrom auf seinen Maximalwert ansteigt. Ein Teil dieser Induktivität wurde möglicherweise sogar absichtlich in Form von RFI-Ferrithülsen hinzugefügt, um Schwingungen zu vermeiden! Beachten Sie, dass bei höheren Heizspannungen überhaupt kein Problem besteht. Eine 6,3V / 1,5A Heizung in einem EL34 funktioniert einwandfrei, das Problem liegt nur in der Kombination von Niederspannung und Hochstrom. Weitere Informationen finden Sie im **Weblog-Abschnitt 23 xxi**.

Es können verschiedene Maßnahmen ergriffen werden, um das Problem zu minimieren:

1. Verwenden Sie für den Heizungsanschluss keine RFI-Ferrithülsen. Leider widerspricht dies einer AVO-Verkabelung von „Tube-Board", bei der RFI-Ferrite in jedem Draht enthalten sind, um Schwingungen zu unterdrücken.
2. Verwenden Sie so kurze wie möglich verdrillte Drähte für die Verbindung zwischen dem µTracer und der Röhrenbuchse.
3. Erhöhen Sie einfach die Sollspannung für die Heizung! Die Frage ist dann, welchen Wert. Ich werde gleich darauf zurückkommen.
4. Verwenden Sie eine externe Gleichstromversorgung. Dies ist sowohl für indirekte als auch für direkt beheizte Röhre durchaus möglich. Dies ist bei weitem die beste und sicherste Lösung sowohl für die Röhre als auch für den µTracer.

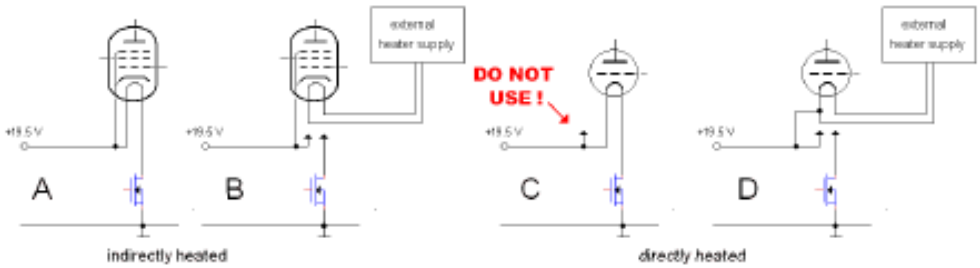


Abbildung 8.3.2 Anschlussplan von indirekt / direkt beheizten Röhren mit internen / externen Netzteilen.

Indirekt beheizte Röhren testen:

Um eine indirekt beheizte Röhre mit dem µTracer zu testen, verbinden Sie die Heizung und die Kathode der Röhre mit den entsprechenden Anschlüssen des µTracers (Abb. 8.3.2A). Wenn eine externe Heizungsversorgung verwendet wird, kann diese einfach an die Heizung der Röhre angeschlossen werden, sodass die Heizungsklemmen des µTracer nicht angeschlossen sind. Die Kathode der Röhre bleibt offensichtlich mit dem µTracer verbunden (Abb. 8.3.2B).

Testen von direkt beheizten Röhreen:

Zum Testen direkt beheizter Röhren wird die Heizung der Röhre an die Heizungsanschlüsse des µTracer angeschlossen, **der Kathodenanschluss des µTracer wird jedoch nicht verwendet!** (Abb. 8.3.2C)! Durch Anschließen des Kathodenanschlusses an einen der Heizungsanschlüsse kann die Heizungsversorgung kurzgeschlossen werden, wodurch in einem Fall ein vollständiger µTracer zerstört wurde. **TUN SIE ES NICHT!**

Anders sieht es aus, wenn eine externe Heizungsversorgung verwendet wird, die in Bezug auf den µTracer elektrisch „schwimmt"(getrennte Potentiale?). In diesem Fall muss der Kathodenanschluss an einen der Heizungsanschlüsse der Röhre angeschlossen werden (Abb. 8.3.2D). Die resultierenden Kurven können aufgrund von Asymmetrien in der Röhre variieren, abhängig davon, welcher Heizungsanschluss mit der Kathode verbunden ist. Sie können sogar ein Potentiometer mit niedrigem spezifischem Widerstand parallel zur Heizung platzieren und den Kathodenanschluss des µTracer mit dem Schleifer verbinden.

Ein weiterer Hinweis zur Vorsicht ist erforderlich, wenn empfindliche Batterieröhren gemessen werden! Wie zuvor erläutert, wird der Heizzyklus bei niedrigen Heizspannungen sehr kurz. Kleine Schwankungen des Arbeitszyklus führen somit zu relativ großen Schwankungen der Verlustleistung. Wenn ich also empfindliche Batterieröhren wie die DAF96 (1AH5), russische Bleistiftröhren usw. messe, verwende ich einfach eine 1,5-V-Batterie als Heizungsversorgung. Auf diese Weise kann überhaupt nichts schief gehen.

Ein einfaches Kalibrierungsverfahren:

Ein einfacher Trick zum Kompensieren der Induktivitäten im Stromkreis besteht darin, den Sollwert der Heizspannung zu erhöhen, bis die richtige Heizer-Temperatur erreicht ist! Die Frage ist, um wie viel die Heizspannung erhöht werden muss. Leider ist das von Röhre zu Röhre unterschiedlich, und da alles so sehr von Streuinduktivitäten abhängt, sogar von µTracer zu µTracer. Wenn Sie nur eine begrenzte Anzahl verschiedener Röhrentypen testen möchten, können Sie das folgende Kalibrierungsverfahren anwenden:

1. Schließen Sie ein „bekanntermaßen gute Röhre" an den µTracer an und verwenden Sie eine externe Heizungsversorgung, die auf die Nennspannung der Heizung eingestellt ist.
2. Messen Sie eine Reihe von Kurven für relevante Einstellungen und speichern Sie die Messung.
3. Entfernen Sie die externe Versorgung und schließen Sie die interne Versorgung an.
4. Erhöhen Sie iterativ die Heizspannung, bis sich die Kurven mit den gespeicherten Kurven überschneiden.
5. Notieren Sie die Sollwert-Heizspannung für diesen speziellen Röhrentyp.

Die Option für die externe Heizungsversorgung:

Im vorherigen Abschnitt wurde erklärt, dass das „Problem" der Heizung bei Heizungsspannungen auftritt, die im Vergleich zur Versorgungsspannung (19,5 V) klein sind. Bei niedrigen Heizspannungen führt dies zu einem sehr niedrigen Arbeitszyklus der PWM-Heizspannung, was in Kombination mit den Induktivitäten im Stromkreis und den hohen Strömen die Probleme verursacht. Die Verwendung einer

externen Heizungsversorgung löst dieses Problem, macht es jedoch auch unmöglich, einen automatischen Spannungsdurchlauf der Heizung durchzuführen. Glücklicherweise gibt es eine Art Kompromisslösung. Der Trick besteht darin, die externe Heizungsversorgung zu verwenden, um die PWM-Schaltung der Heizung zu speisen und diese Versorgungsspannung so niedrig wie möglich einzustellen. Wenn beispielsweise ein Heizspannungsdurchlauf von 0 bis 6 V gewünscht wird, sollte die Heizungsversorgungsspannung auf etwa 7 V eingestellt werden. Auf diese Weise werden die Impulse der PWM-modulierten Heizerspannung nicht zu kurz.

Abbildung 8.3.3 Anschlussplan für die externe Niederspannungsheizung

Abbildung 8.3.3 erläutert die Idee. Der Einsatz zeigt den Heizkreis des µTracer. Anstelle der 19,5-V-Versorgungsspannung für den Heizkreis wird in diesem Fall eine externe Stromversorgung verwendet. Der „Grundriss" zeigt, wie mit einem zusätzlichen Induktor und einem Kondensator die Modifikation implementiert werden kann, ohne die Leiterplatte zu modifizieren. Mit einem Schalter ist es sogar möglich, zwischen der internen und der externen Heizungsversorgung umzuschalten. Für die Induktivität kann jede Hochstrominduktivität von einigen hundert µH verwendet werden, z.B. eine aus einem alten PC-Netzteil geborgene. Beachten Sie, dass diese Option nur in Kombination mit Röhren mit einer indirekt beheizten Kathode funktioniert, da in diesem Fall die Kathode mit Vsupl verbunden bleibt. Bei direkt beheizten Kathoden bezieht sich die Heizung nicht mehr auf Vsupl, sondern auf ein niedrigeres Potential.

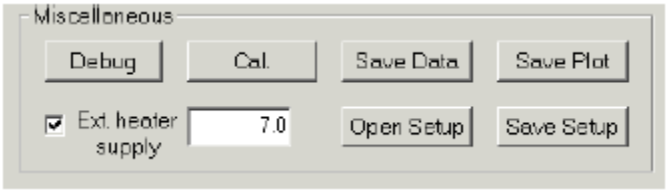


Abbildung 8.3.4 Nach Aktivierung der Option für die externe Heizungsversorgung wird ein Feld angezeigt, in das die Spannung der externen Heizungsversorgung eingegeben werden kann.

Die Verwendung dieser Methode erfordert einen speziellen Pfad in der GUI-Software, da normalerweise die Versorgungsspannung von 19,5 V des µTracer als Referenz verwendet wird. Um diese Option zu aktivieren, aktivieren Sie das Kontrollkästchen „Ext. Heizung supl. " im Abschnitt Verschiedenes im Hauptfenster. Es erscheint ein neues Feld, in dem die Spannung der externen Heizungsversorgung angegeben werden kann. Die im Feld „Vh" angegebene tatsächliche Heizspannung kann nun auf einen beliebigen Wert zwischen 0 und Vhsupl eingestellt werden. Wenn nun unter „Messart auswählen" ein Heizungsdurchlauf ausgewählt wird (I (Vh)), kann die Heizungsspannung von 0 auf maximal Vhsupl gewobbelt werden.

8.4 - Dreipunkt-Gittervorspannungs-Kalibrierung

In GUI 3.10 wurde eine Einzelpunkt-Kalibrierung für die Gittervorspannung verwendet. Obwohl dies ziemlich genau ist, schien es, dass bei niedrigen Spannungen ein Fehler auftreten kann, der mehrere Zehntel Volt beträgt. Dies ist insbesondere bei Röhren mit niedriger Quetschspannung und hoher Transkonduktanz wie der ECC83 (12AX7) problematisch. Daher wurde ab GUI 3.11 ein Dreipunkt-Kalibrierungsverfahren implementiert. In diesem Abschnitt wird erklärt, wie es funktioniert. Das eigentliche Kalibrierungsverfahren wird im nächsten Abschnitt beschrieben.

So funktioniert das neue Kalibrierungsverfahren:

Die erste Beobachtung ist, dass aufgrund der Art und Weise, wie die Gittervorspannung erzeugt wird, die Genauigkeit, die erreicht werden kann, begrenzt ist. Es wird daran erinnert, dass die Gittervorspannung durch Tiefpassfilterung und Verstärkung eines pulsbreitenmodulierten (PWM) Signals erhalten wird, das von einem der internen-PWM-Generatoren des PIC so erzeugt wird, dass ein Tastverhältnis von 0% einer Gittervorspannung von 0 V entspricht, während ein Tastverhältnis von 100% -50 V entspricht. Der PWM-Generator hat eine Auflösung von 10 Bit, was bedeutet, dass das Tastverhältnis 1024 Werte haben kann. Folglich ist der kleinste Schritt in der Gittervorspannung 50/1024 ≤ 50 mV. Auf den ersten Blick klingt das nicht schlecht. Sicherlich führt dies für höhere Gittervorspannungswerte zu einer ziemlich guten Auflösung, aber wenn die Gittervorspannung abnimmt reduziert sich auch die die relative Auflösung dramatisch. Für eine Gittervorspannung von z.B. -0,2 V entspricht ein Schritt von 50 mV einer relativen Auflösung von 25%! Mit der µTracer-Hardware können wir es also nie besser machen.

Dies bedeutet nicht, dass es keinen Raum für Verbesserungen gibt. Die Art und Weise, wie die Gittervorspannung im Moment kalibriert wird, basiert auf einer Näherung, bei der die Übertragungsfunktion zwischen der Sollwertgittervorspannung durch eine einzelne gerade Linie mit dem PWM-Arbeitszyklus in Beziehung steht. Abbildung 8.4.1A zeigt, wie es gemacht wird. Die Beziehung zwischen dem Arbeitszyklus (n) und der Sollwertgittervorspannung (Vset) ist gegeben durch $n = Vset \cdot C \cdot \lambda 40$ mit $C = 1023/50$. Während der Kalibrierung wird die tatsächliche Gittervorspannung gemessen und der Benutzer stellt den Wert von λ40 so ein, dass ein Sollwert von -40 V genau einem gemessenen Wert von -40 V entspricht. Obwohl dies ein ziemlich gutes Ergebnis für Gittervorspannungen bis zu mehreren Volt ergibt, wurde festgestellt, dass der Fehler bei sehr niedrigen Gittervorspannungswerten ziemlich signifikant sein kann, insbesondere wenn Röhren mit einer hohen Transkonduktanz und / oder einer niedrigen Quetschspannung gemessen werden.

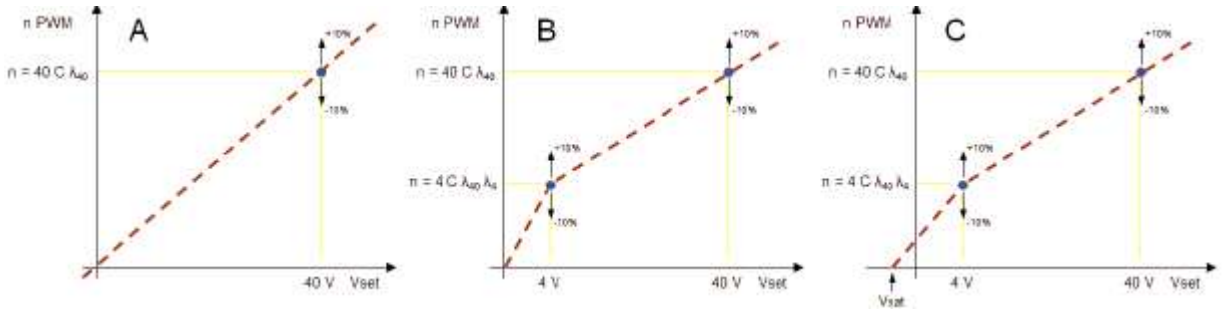


Abbildung 8.4.1 (A) Aktuelle Gittervorspannungskalibrierung und verbesserte Kalibrierung basierend auf zwei (B) und drei (C) Punkten.

Ein erster Schritt zur Verbesserung des Kalibrierungsverfahrens bestand darin, einen zweiten Kalibrierungspunkt bei einer viel niedrigeren Spannung einzuführen. Da die erste Kalibrierung bei -40 V durchgeführt wird, wurde der zweite Kalibrierungspunkt bei einem Zehntel dieses Wertes bei -4 V gewählt. Die

Übertragungsfunktion zwischen dem Sollwert und dem PWM-Arbeitszyklus wird nun durch zwei gerade Linien angenähert wie in Abb. 8.4.1B gezeigt. Die Beziehung zwischen dem Sollwert und dem PWM-Arbeitszyklus im zweiten Kalibrierungspunkt ist gegeben durch n = 4,0 · C · λ40 · λ4. Nachdem der Benutzer die Gittervorspannung bei -40 V kalibriert hat, wird die Gittervorspannung als nächstes bei -4 V kalibriert, indem λ4 eingestellt wird. Für λ4 wird einer der drei freien Kalibrierungswerte im Kalibrierungsfenster verwendet. Beachten Sie, dass der Standardwert für die Kalibrierungswerte 1,0 ist. Wenn also der Standardwert 1,0 verwendet wird, reduziert sich der Wert im Arbeitszyklus im zweiten Kalibrierungspunkt auf n = 4,0 · C · λ40, was mit der ursprünglichen Kalibrierungskurve übereinstimmt (Abb. 8.4.1A). Auf diese Weise bleibt die neue Software mit der alten Kalibrierungsdatei kompatibel. Wenn der Benutzer aus dem einen oder anderen Grund nicht das Bedürfnis hat, das erweiterte Kalibrierungsverfahren durchzuführen, kann die alte Kalibrierungsdatei verwendet werden, was zu den alten Gittervorspannungswerten führt .

Leider ist das nicht das Ende der Geschichte. Wie in einem der **vorhergehenden Abschnitte xxii** erläutert, kann die Ausgangsspannung der Gittervorspannungs-Schaltung niemals genau Null werden. Die Sättigungsspannung von T6 und T7 begrenzt die minimale Gitterspannung auf ungefähr -50 mV. Die Sättigung von T6 macht sich bei sehr niedrigen Gittervorspannungswerten bemerkbar und muss kompensiert werden. Dies erfolgt durch Einführung eines dritten Kalibrierungswerts (Abb. 8.4.1C). Indem Vsat einen Wert in der Größenordnung von -80 mV gegeben wird, ist es möglich, die Sättigung von T7 etwas zu kompensieren, obwohl eine Ausgangsspannung von genau null Volt niemals erreicht werden kann. Vsat wird unter Verwendung eines der verbleibenden zwei freien Kalibrierungsparameter im Kalibrierungsfenster so eingestellt, dass der Bereich von 0,9 - 1 - 1,1 des Kalibrierungsparameters einem Vsat-Bereich von -0,2 - 0,0 - 0,2 Volt entspricht, so dass der voreingestellte Standardwert für den Kalibrierungsparameter von 1,0 t wieder der alten Situation entsprich, wodurch die Abwärtskompatibilität der Kalibrierungsdatei sichergestellt wird.

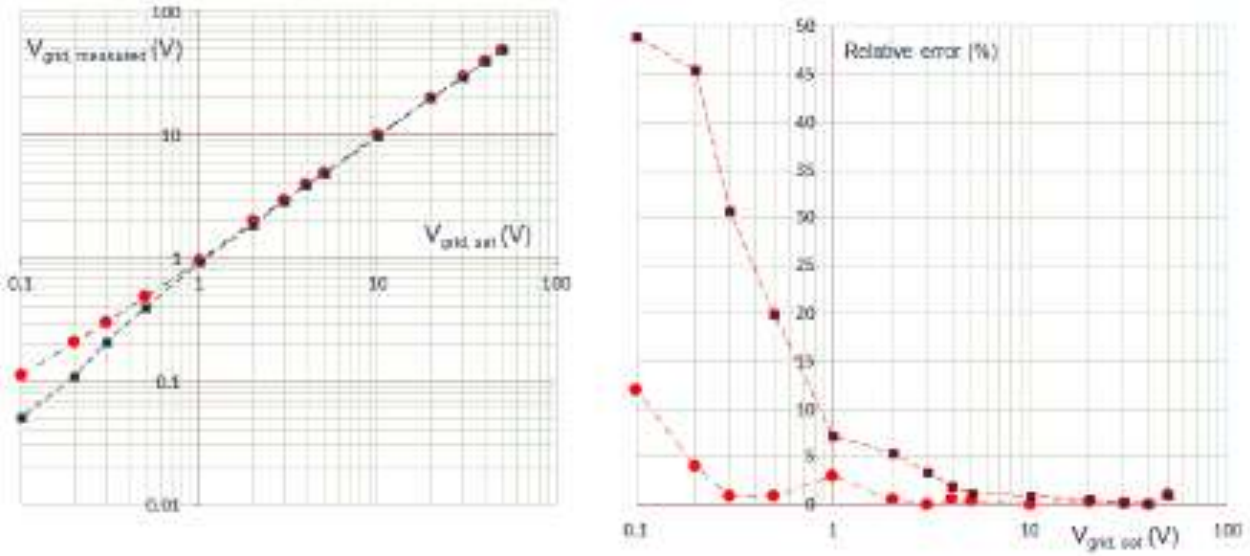


Abbildung 8.4.2 Die Genauigkeit des neuen Kalibrierungsverfahrens (rot) im Vergleich zum alten Verfahren (schwarz).

In Abb. 8.4.2 wird die Genauigkeit der Gittervorspannung unter Verwendung des alten Einzelpunktkalibrierungsverfahrens mit dem neuen Verfahren verglichen. Abbildung 28.3A zeigt auf einer Log-Log-Skala die gemessene Gittervorspannung gegenüber den Sollwerten. Abbildung 28.3B vergleicht die relative Genauigkeit der beiden Methoden mit den Sollwerten. Bis zu -0,1 V liegt die Genauigkeit innerhalb der theoretischen Grenze von 50 mV.

8.5 - Das Kalibrierungsverfahren

Martin Manning hat die Kalibrierungsverfahren für den µTracer wie folgt zusammengestellt **(auch hier zum Download verfügbar)xxiii):**

Kommunikation zwischen PC und Mikrocontroller

Wenn eine Kalibrierung durchgeführt werden soll, beginnen Sie mit diesem Test:

1. Schließen Sie den µTracer an den PC an.
2. Schließen Sie das Netzteil an den µTracer an (~ 20 VDC, 1A).
3. Starten Sie die GUI.
4. Schalten Sie das µTracer-Netzteil ein.
5. Öffnen Sie das Fenster Debug / Communications, indem Sie im Miscellaneous Abschnitt des Hauptfensters auf die Schaltfläche „Debug" klicken.
6. Wählen Sie gegebenenfalls den entsprechenden COM-Anschluss aus.
7. Drücken Sie die Taste „Ping".
8. Stellen Sie sicher, dass im Debug-Fenster die folgenden Werte angezeigt werden: Die Zeichenfolgen „Senden" und „Echo" sollten beide 500000000000000000 anzeigen, im dritten Abschnitt unter "Vpower" sollte die Versorgungsspannung angezeigt werden. In der dritten Zeile unter „Vneg" sollte ein Wert von ca. -40 V angezeigt werden.

Kalibrierungsverfahren:

Eine Kalibrierung muss durchgeführt werden, wenn die Kalibrierungsdatendatei durch erneutes Laden oder Aktualisieren der Software verloren gegangen ist, man erkennt das daran, das im Kalibrierungsfenster alle Schieberegler wieder in der Mittelstellung stehen. Ansonsten sollte die Kalibrierung jährlich überprüft werden.

Versorgungsspannung:

1. Messen Sie die Versorgungsspannung mit einem DVM. (Digitales Multimeter)
2. Vergleichen Sie die Messung mit der Spannung, wie sie im Debug-Fenster wie in Schritt 8) oben angezeigt wird.
3. Wenn es eine Diskrepanz gibt, öffnen Sie das Kalibrierungsfenster, indem Sie im Abschnitt "Verschiedenes" des Hauptfensters auf "Cal" klicken.
4. Verstellen Sie den Schieberegler mit der Bezeichnung „Vsupp" in die entsprechende Richtung, um den Fehler zu verringern (d. H. Bewegen Sie den Schieberegler nach rechts, um den Anzeigewert zu erhöhen).
5. Drücken Sie im Debug- / Kalibrierungsformular auf „Ping" und beobachten Sie die Anzeige der Versorgungsspannung.
6. Wiederholen Sie die Schritte 4) und 5) nach Bedarf, bis die Anzeige mit der DVM-Messung übereinstimmt.
7. Klicken Sie im Kalibrierungsformular auf die Schaltfläche „In Kalibrierungsdatei speichern".

Gittervorspannungskreis:

1. Schließen Sie ein DVM an den Kathodenanschluss (positive Leitung) und den Gitteranschluss (negative Leitung) des µTracer an.
2. Wählen Sie den Messtyp I (Va, Vg) mit der Konstante Vs, Vh und stellen Sie die Messparameter für Va Start = 2, Stop = 25, Nintervals = 30, Vg = -40, Vs = 25, Vh = 6,3 ein.
3. Öffnen Sie das Kalibrierungsfenster, indem Sie auf die Schaltfläche „Cal" im Abschnitt „Verschiedenes" des Hauptfensters klicken.
4. Schalten Sie die µTracer-Stromversorgung ein.
5. Drücken Sie die "Heizung ein!" Schaltfläche im Hauptfenster zweimal. Das zweite Drücken der "Heater On!" - Taste bewirkt, dass der µTracer die verzögerte Heizfunktion überspringt, die für diesen Test nicht erforderlich ist.
6. Drücken Sie im Hauptfenster auf „Kurve messen" (vorher Heater On).

7. Lesen Sie die tatsächliche Gitterspannung am DVM ab. Nach dem Ablesen der Spannung kann die Messung durch Drücken von Abort unterbrochen werden. Stellen Sie sicher, dass Sie keine neue Messung starten, bevor die HV-LED erlischt, da sonst die Firmware „aufhängt".
8. Stellen Sie den Verstärkungsregler „Vgrid (40V)" im Kalibrierungsfenster in die entsprechende Richtung, um etwaige Diskrepanzen zwischen der DVM-Messung und dem eingestellte Wert von -40 V zu kompensieren (d.h. den Schieberegler nach rechts bewegen, um die gemessene Gitterspannung zu erhöhen).
9. Wiederholen Sie die Schritte 6) bis 8) nach Bedarf, bis die gemessene Spannung -40 V beträgt.
10. Stellen Sie den Schieberegler „Vgrid (sat)" als Startwert auf 0,96.
11. Stellen Sie die Gitterspannung auf -4 V ein.
12. Drücken Sie im Hauptfenster auf „Measure Curve" (Kurve messen).
13. Lesen Sie die tatsächliche Gitterspannung am DVM ab.
14. Stellen Sie den Verstärkungsregler „Vgrid (4V)" auf dem Kalibrierungsfenster in die entsprechende Richtung, um etwaige Diskrepanzen zwischen der DVM-Messung und dem eingestellten Wert von -4 V zu schließen.
15. Wiederholen Sie die Schritte 12) bis 14) nach Bedarf, bis die gemessene Spannung -4 V beträgt.
16. Überprüfen Sie verschiedene Gitterspannungen zwischen -0,2 und -1,0 und stellen Sie „Vgrid (sat)" ein, um festzustellen, ob die Kalibrierung weiter verbessert werden kann.
17. Klicken Sie im Kalibrierungsformular auf die Schaltfläche „In Kalibrierungsdatei speichern".

Der Aufbau für die Kalibrierung der Gittervorspannung kann unter einem geeigneten Namen wie „Cal Grid Bias" für die zukünftige Verwendung gespeichert werden.

Schirmgitter Aufwärtswandler:

Warnung: Während dieses Tests werden hohe Spannungen anliegen und gemessen!

1. Schließen Sie ein DVM an die freiliegenden Kabel des Schirm-Speicherkondensators C13 an.
2. Schalten Sie die µTracer-Stromversorgung ein und notieren Sie die Leerlaufspannung am DVM.
3. Wählen Sie den Messtyp I (Va = Vs, Vg) mit der Konstante Vh und stellen Sie die Messparameter für Va = Vs Start = 100, Stop = 200, Nintervals = 1, Vg = -1, Vh = 6,3 ein. Stellen Sie Range und Averaging = Auto, Compliance = 200 mA und Delay = 5 (Sek.) ein.
4. Öffnen Sie das Kalibrierungsfenster, indem Sie auf die Schaltfläche „Cal" im Abschnitt „Verschiedenes" des Hauptfensters klicken.
5. Drücken Sie "Heizung ein!" zweimal.
6. Drücken Sie auf „Kurve messen" und beobachten Sie die vom DVM während der 200-V-Phase der Messung gemessene Spannung. Vergleichen Sie sie mit einem Wert von Vidle + 200 V, wobei Vidle die in Schritt 2) beobachtete Spannung ist.
7. Stellen Sie den Schieberegler Vs Gain im Kalibrierungsfenster in die entsprechende Richtung ein, um etwaige Diskrepanzen zwischen der DVM-Messung und Vidle + 200 zu schließen (d. H. Bewegen Sie den Schieberegler nach rechts, um die gemessene Schirmspannung zu erhöhen).
8. Wiederholen Sie die Schritte 6) und 7) nach Bedarf, bis die während der 200-V-Phase gemessene Spannung Vidle + 200 V entspricht.
9. Klicken Sie im Kalibrierungsfenster auf die Schaltfläche „In Kalibrierungsdatei speichern".
1o. Schalten Sie nach dem Erlöschen der Anzeige „HV On" die Stromversorgung des µTracer aus und trennen Sie das DVM.

Anoden-Aufwärtswandler:

Warnung: Während dieses Tests werden hohe Spannungen anliegen und gemessen!

1. Wiederholen Sie den obigen Vorgang, außer in Schritt 1) Schließen Sie das DVM an den Anoden-Speicherkondensator C18 an und stellen Sie in Schritt 7) den Va Gain-Schieberegler auf dem Kalibrierungsformular so ein, dass die DVM-Messung gleich Vidle + 200 V ist.

Die Einstellungen für die Schirm- und Anodenspannungs-Kalibrierung können unter einem geeigneten Namen wie „Cal Boost Converters" für die zukünftige Verwendung gespeichert werden.

Stromverstärker:

Warnung: Bei diesem Test liegen hohe Spannungen an!

1. Stellen Sie sicher, dass die Stromversorgung ausgeschaltet ist und die Speicherkondensatoren entladen sind.
2. Schließen Sie einen 10k, 1% -Widerstand zwischen dem Anodenanschluss und dem Kathodenanschluss an.
3. Schließen Sie einen 10k, 1% -Widerstand zwischen dem Schirmanschluss und der Kathodenanschluss an.
4. Wählen Sie den Messtyp I (Va = Vs, Vg) mit der Konstante Vh und stellen Sie die Messparameter für Va = Vs Start = 195, Stop = 210, Nintervals = 4, Vgs = -1, Vh = 6,3 ein. Stellen Sie den Bereich Ia = 0 - 40 mA, Is = 0 - 40 mA, Average = 4X, Compliance = 200 mA und Delay = 0 (Sek.) Ein.
5. Plot-Steuerelemente einstellen: Zeigen Sie Ia auf der linken Y-Achse und Is auf der rechten Y-Achse an. Stellen Sie alle Achsenskalenbereiche auf manuell ein. Stellen Sie den X-Achsen-Skalenbereich für 190 bis 210 V mit 2 Häkchen ein. Stellen Sie beide Y-Achsen-Skalenbereiche für 19 bis 21 mA mit 2 Häkchen ein.
6. Öffnen Sie das Kalibrierungsfenster, indem Sie im Abschnitt "Verschiedenes" des Hauptfensters auf "Cal" klicken.
7. Schalten Sie die µTracer-Stromversorgung ein und drücken Sie „Heater On!". zweimal.
8. Drücken Sie im Hauptfenster auf „Kurve messen", um die Messung zu starten.
9. Beobachten Sie das resultierende Diagramm und stellen Sie die Regler für die Verstärkung von Ia und Is im Kalibrierungsfenster in die entsprechende Richtung ein, sodass die geraden Linien auf dem Diagramm (die einen reinen Widerstand anzeigen) 200 V bei 20 mA in der Mitte des Diagramms durchlaufen.
10. Wiederholen Sie den Vorgang ab Schritt 8), bis sowohl die Ia- als auch die Is-Leitung 200 V und 20 mA durchlaufen.
11. Klicken Sie im Kalibrierungsfenster auf die Schaltfläche „In Kalibrierungsdatei speichern".

Das Setup für die Stromverstärkerkalibrierungen kann unter einem geeigneten Namen wie „Cal Current Amps" für die zukünftige Verwendung gespeichert werden.

8.6 - Anpassen des "Pin"-Formulars

Seit der Einführung des "Pins" -Fensters in der GUI haben mich Leute nach einer Möglichkeit gefragt, dieses Formular so anzupassen, dass mehr oder andere Elektroden eingeschlossen oder umbenannt werden können oder die Namen verwendet werden können der Elektroden in ihrer eigenen Sprache. Selbst die englischsprachigen Länder können sich nicht entscheiden, wie die Elektroden zu benennen sind (Plate vs. Anode). In der GUI 3.10 ist dies nicht möglich, da die Namen im Dropdown-Menü direkt im GUI-Programm codiert sind.

Um die Anpassung des Formulars zu ermöglichen, wurde in der GUI 3.11 ein anderer Ansatz verfolgt. Wenn nun das Formular „Pins" geöffnet wird, sucht die GUI in dem Verzeichnis, in dem die GUI installiert wurde, nach der Datei „pins.uts" und verwendet die Namen in dieser Datei für die Beschriftungen in den Dropdown-Menüs **(siehe auch Abschnitt "Speicherort der Dateien")**. Wenn die GUI die Datei nicht findet, z. Nach einer Neuinstallation der GUI wird eine mit den Standardnamen generiert. Wenn eine neu generierte Datei mit einem Texteditor geöffnet wird, sieht sie folgendermaßen aus:

```
-- blank line --
     anode
    screen
     grid
    cathode
   H1 (int)
   H2 (int)
   H1 (ext)
   H2 (ext)
   H1 (bat)
   H2 (bat)
     aux 1
     aux 2
     aux 3
     n.c.
```

Beachten Sie, dass die erste Zeile genau wie im Dropdown-Menü leer ist. Die Namen in der Datei können nach Wunsch geändert werden. Beachten Sie jedoch, dass nur die ersten 10 Zeichen jeder Zeile verwendet werden. Das Ändern der Pinning-Informationen hat keinen Einfluss auf die Art und Weise, wie die Pinning-Informationen in der Setup-Datei gespeichert werden, in der nur die Position im Dropdown-Menü für jeden Pin gespeichert wird.

8.7 - Verteilte Belastung (Ultra-Linear-Modus)

Tetroden und Pentoden bieten eine hohe Effizienz der Ausgangsleistung auf Kosten eines erhöhten Plattenwiderstands und einer relativ hohen Verzerrung, die eine erhebliche Rückkopplung erfordert. Trioden hingegen arbeiten in Bezug auf Verzerrungen viel besser, sind jedoch weitaus weniger effizient. Der Unterschied zwischen zwei Röhrenklassen ist natürlich das Siebgitter. Wenn wir eine Tetrode / Pentode nehmen und das Schirmgitter an eine feste Hochspannung anschließen, erhalten wir das Verhalten der Tetrode / Pentode, und wenn wir das Schirmgitter an die Anode anschließen erhalten wir Trioden -Eigenschaften.

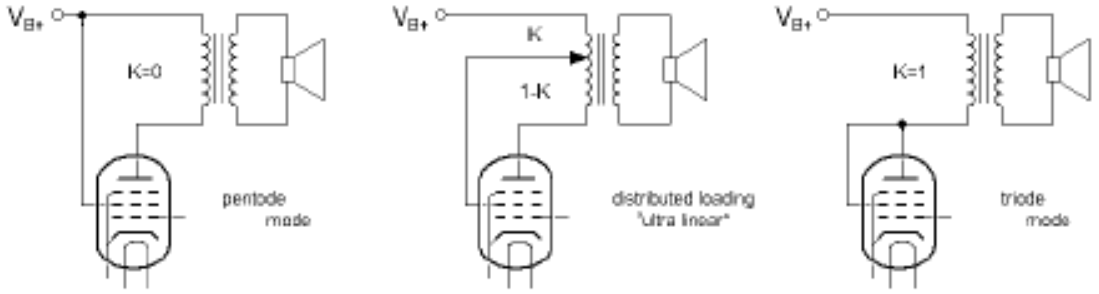


Abbildung 8.7.1 Prinzip der verteilten Belastung

Hafler und Keroes xxiv stellten fest, dass, wenn der Schirm an einen Punkt irgendwo zwischen einer festen Hochspannung B + und der Anode angeschlossen ist, z. auf einer Anzapfung am Ausgangstransformator, können Eigenschaften erreicht werden, die irgendwo zwischen dem Verhalten von Tetrode / Pentode und Triode liegen. Weitere Analysen haben gezeigt, dass durch sorgfältige Auswahl der Position k des Abgriffs ein hoher Wirkungsgrad mit einer geringen Verzerrung kombiniert werden kann. Hiermit repräsentiert k = 0 die Situation, wenn der Schirm an die konstante Hochspannung (Tetrode / Pentode) angeschlossen ist, und k = 1 die Situation, wenn der Bildschirm an die Anode (Triode) angeschlossen ist.

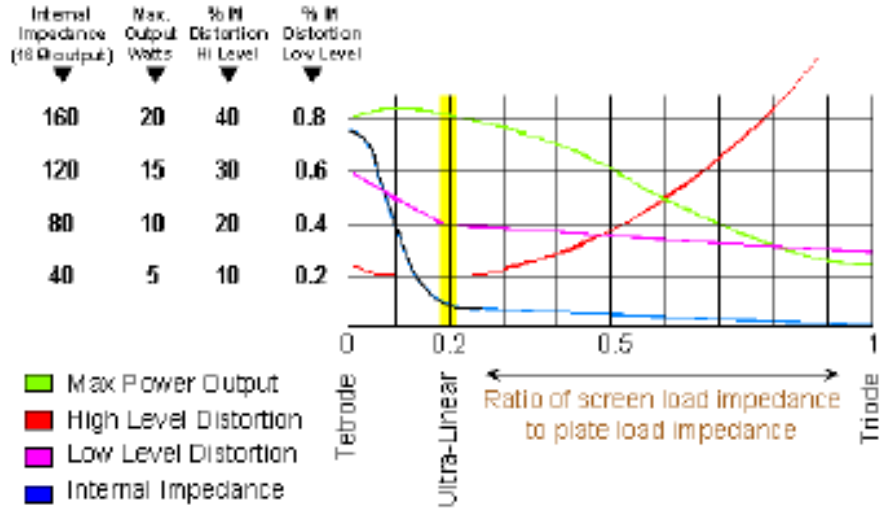


Abbildung 8.7.2 Ausgangsleistung und Verzerrung eines 6V6 als Funktion von k (entnommen aus **Hafler und Keroes.xxv)**

Abbildung 8.7.2 stammt aus der Veröffentlichung von **Hafler und Keroes xxvi**. Sie zeigt, wie bei einer6V6 die Ausgangsleistung und die Verzerrung für verschiedene Werte von k variieren. Zum Erhöhen von k fällt die Verzerrung schnell ab, während die Ausgangsleistung noch hoch ist. Für die 6V6 lag das Optimum bei 21%.

Spezielle Messtypen sowohl für die Ausgangseigenschaften (Ia (Va)) als auch für die Übertragungseigenschaften wurden aufgenommen, um den Effekt eines variablen Grads der verteilten Belastung zu demonstrieren:

- **I (Va, Vg) mit Vs = UL (Va, k), Vh-Konstant:** Bei dieser Messung werden Ia und Is als Funktion von Va gemessen, während Vg schrittweise verändert wird. Die Schirmspannung Vs wird an jedem Punkt berechnet aus:

  $$V_s = V_a + (1 - k)(V_{a,max} - V_a)$$

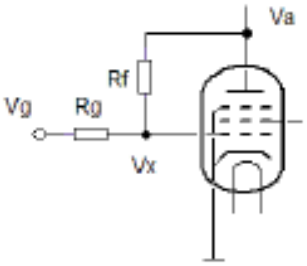
  Mit Va,max als der im Messaufbau angegebene Stoppwert von Va. Für k = 1 arbeitet die Röhre also im Triodenmodus (Vs = Va). Für k = 0 ist die Schirmspannung konstant und gleich Va, max. Für Werte von k zwischen 0 und 1 wechselt der Betrieb allmählich vom Pentoden- zum Triodenmodus.

- **I (Vg, Va) mit Vs = UL (Va, k), Vh-Konstant:** Bei dieser Messung werden Ia und Is als Funktion von Vg bei schrittweiser Änderung von Va gemessen. Die Schirmspannung wird genauso wie bei der ersten Messung berechnet, aber jetzt wird Va,max aus dem in der Schrittliste eingegebenen Maximalwert von Va bestimmt.

Für weitere Info lesen sie hier nach: **Mullard Circuits for Audio Amplifiers xxvii**

8.8 - Schade-Feedback Simulation

Bei der Schade-Rückkopplung wird ein kleiner Teil der Anodenspannung in das Gitter zurückgeführt (Abb. 8.8.1). Es wurde von O.H. Schade erdacht (siehe Originalpapier xxviii) und wird verwendet, um den Ausgangswiderstand von Pentoden auf Kosten einer geringeren Transkonduktanz und eines Gitterstroms zu verringern! Es wird behauptet, dass der Effekt eine bessere Dämpfung und Basskontrolle bietet, während er auch einige der ungeraden Harmonischen höherer Ordnung reduziert.

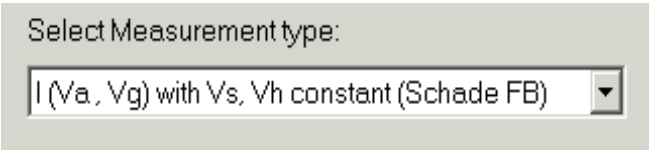


$$V_x = V_g + (V_a - V_g)\frac{R_g}{R_g + R_f} \quad \text{or}$$

$$V_x = V_g + (V_a - V_g)SFB \quad \text{with} \quad SFB = \frac{R_g}{R_g + R_f}$$

Figure 8.8.1 Prinzip des Schade Feedback.

Mit der GUI ist es möglich, die Auswirkung eines bestimmten Prozentsatzes der Schade-Rückkopplung auf die Ausgangseigenschaften einer Pentode zu bewerten, ohne dass die Rückkopplungs- und Gitterwiderstände tatsächlich hinzugefügt werden müssen. Stattdessen berechnet die GUI die tatsächliche Gitterspannung (Vx) für einen bestimmten Gitter Sollwert (Vg) und die Anodenspannung (Va) für den erforderlichen Prozentsatz der Rückkopplung (F) gemäß der in Abb. 8.14 angegebenen Formel. Um eine Röhre mit Schade Feedback zu messen, wählen Sie den folgenden Messtyp:



Im Feld „SFB" kann der durch die Gleichung in Abb. 8.14 definierte Faktor „Schade Feed-Back" eingegeben werden. Der Rückkopplungsfaktor muss einen Wert zwischen 10-6 und 1 haben. Wenn ein hoher Rückkopplungsfaktor ausgewählt wird, kann es vorkommen, dass die Gitterspannung entsprechend der Gleichung berechnet, positiv wird.

Da der µTracer keine positiven Gitterspannungen liefern kann, wird die Gitterspannung in diesem Fall auf 0 V begrenzt und eine Warnmeldung ausgegeben. Um diese Messung durchführen zu können, ohne die GUI zu stark zu verändern, musste die Heizspannung aus dem Auswahlformular für diesen Messtyp entfernt werden. In der Praxis ist dies kein Problem, da sich die GUI die Heizspannung merkt, wenn ein anderer Messtyp ausgewählt wird. Der richtige Weg, um die Heizspannung auf eine andere Spannung als 6,3 V (die Standardspannung) einzustellen, besteht daher darin, zuerst einen anderen Messtyp auszuwählen, die Heizspannung für diese Messung einzustellen und dann die Schade-Feedback-Messung auszuwählen.

8.9 - Berechnung der harmonischen Verzerrung

Jede Funkröhre weist einen gewissen Grad an Nichtlinearität auf. Infolgedessen ist das Ausgangssignal im Vergleich zum Eingangssignal verzerrt. Mathematisch bedeutet dies, dass die Anode nicht nur eine Sinuswelle mit der verstärkten Grundfrequenz ω trägt, sondern auch Sinuswellen mit den Frequenzkomponenten 2ω, 3ω, wenn ein reines Sinuswellensignal mit einer bestimmten Frequenz ω (= 2πf) an das Gitter angelegt wird , 4ω usw. Diese werden als Harmonische bezeichnet, und der gesamte Prozess wird als harmonische Verzerrung bezeichnet. Das Ausmaß der Verzerrung ist eine wichtige Gütezahl für Verstärker, und es ist daher von Interesse zu wissen, wie viel und welche Art von Verzerrung eine bestimmte Röhre mitbringt.

Wirklich der beste Weg, um diese Informationen zu erhalten, ist es den Verstärker zu bauen und zu testen! Der zweitbeste Weg ist, eine (Anzahl) Gleichstrommessungen an der Röhre durchzuführen und ein genaues Ersatzschaltbild zu extrahieren, z.B unter Verwendung der **ExtractModel xxix** Modelle und Software. Das Verhalten der Schaltung kann jetzt mit einem Schaltungssimulator wie **LTSPICE xx**x simuliert werden. Wenn alle Nicht-Idealitäten aller Komponenten wie parasitäre Kapazitäten und Induktivitäten in der Simulation enthalten sind, liefert diese Methode eine genaue Vorhersage des Schaltungsverhaltens, einschließlich seiner Nicht-Idealitäten.

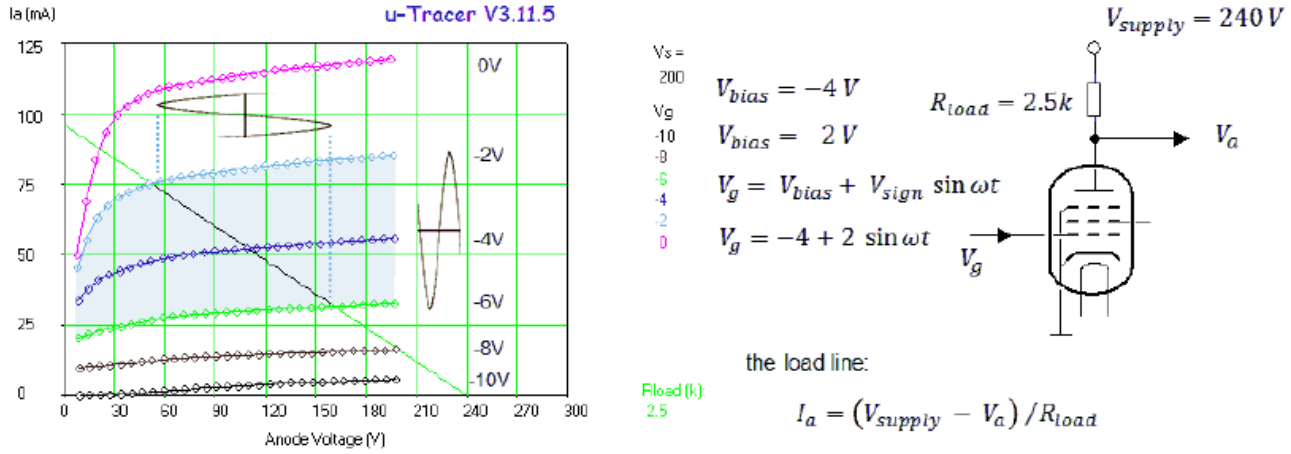


Abbildung 8.9.1 Grafische Auswertung der Anodenspannung in Abhängigkeit von der Gitterspannung.

Obwohl die Schaltungs-Simulationsroutine sehr genau ist, beginnen die meisten Konstrukteure mit einer einfachen visuellen Analyse der Ausgangseigenschaften einer Röhre. Eine Untersuchung dieses Kurvensatzes gibt erfahrenen Designern eine Vorstellung von der Verstärkung und Linearität sowie der optimalen Lastimpedanz, Versorgungsspannung und dem Vorspannungspunkt. Der erste Schritt besteht darin, anzunehmen, dass die Anode der Röhre über einen einfachen Widerstand mit der Hochspannungsversorgung verbunden ist. Dieser Widerstand „übersetzt" den von der Röhre abgezogenen Strom in eine Spannung und legt die Beziehung zwischen dem Anodenstrom und der Anodenspannung auf einer geraden Linie fest, die im Kurvensatz gezeichnet werden kann. Beachten Sie, dass die Steigung dieser Leitung vollständig durch den Wert des Lastwiderstands und die Versorgungsspannung bestimmt wird. Die Übertragungscharakteristik der Röhre von der Gitterspannung zur Anodenspannung kann nun konstruiert werden, indem der Kurvensatz mit der Lastlinie geschnitten wird. Im Beispiel von Abb. 8.9.1 wurde eine Gittervorspannung von -4 V verwendet, der ein Wechselstromsignal mit einer Amplitude von 2 V überlagert wurde. Aus dem Schnittpunkt mit den Linien, die Gitterspannungen von -4 + 2 = -2 V und -4-2 = -6 V entsprechen, wird der Schwung der Anodenspannung ermittelt. Bei der ersten Inspektion beträgt die durchschnittliche Anodenspannung etwa 105 V, und die Amplitude des Wechselstromsignals beträgt etwa 55 V, was einer Verstärkung von ca. 25 entspricht. Die Auswahl der optimalen Lastlinie und des Vorspannpunktes

hängt natürlich von vielen Faktoren ab, und eine vollständige Diskussion würde den Rahmen dieses Handbuchs sprengen. Ein schönes Designbeispiel finden Sie **[Hier]xxxi.**

Neben der Verstärkung kann auch die Verzerrung aus den Ausgangseigenschaften und der Lastlinie geschätzt werden. In den Bereichen, in denen der Abstand zwischen gleichen Schritten in der Gitterspannung gleichen Schritten im Anodenstrom entspricht, wird eine geringe Verzerrung erwartet. Im der Zeit vor dem PC haben sich Leute alle Arten von ausgeklügelten Schemata ausgedacht, um die Verzerrung mittels grafischer Analyse direkt aus den Ausgabeeigenschaften zu bestimmen. Eine ausführliche Erklärung, wie dies getan werden kann, gibt Reich in **Theory and Applications of Radio Tubes (1944) xxxii**. Es erfordert eine Auswertung des Anodenstroms in einer großen Anzahl strategisch ausgewählter Vorspannungspunkte entlang der Lastlinie, gefolgt von einer einfachen Algebra. Nicht wirklich kompliziert, aber umständlich und fehleranfällig. Was noch schlimmer ist, das Verfahren erfordert eine große Anzahl von Kurven für unterschiedliche Gitterspannungen oder eine visuelle Interpolation zwischen Kurven. Alles in allem keine wirklich praktische Methode, um einen schnellen Eindruck von der Verzerrung zu bekommen.

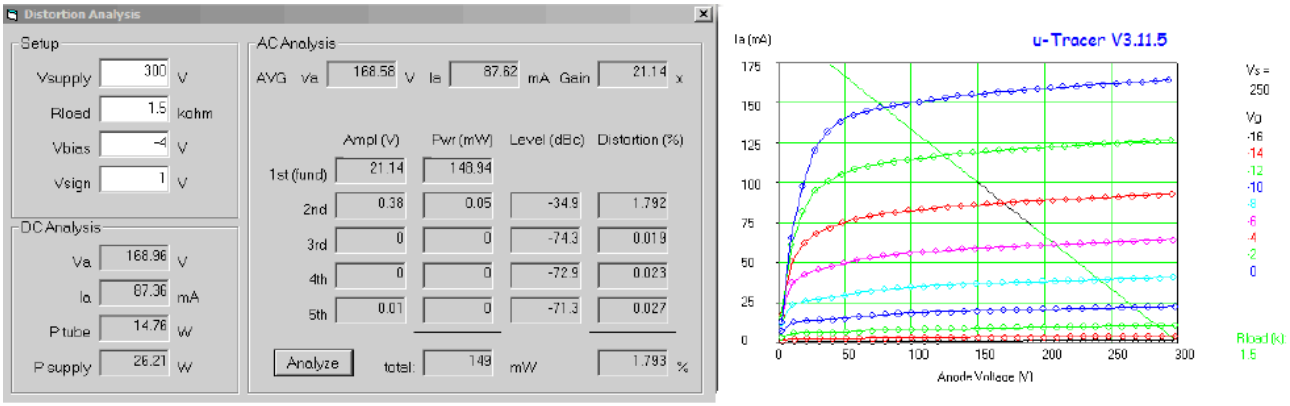


Abbildung 8.9.2 Beispiel für das „Verzerrungsanalyseformular" und einen entsprechenden Kurvensatz.

Das Verzerrungsanalyse-Tool in der µTracer-Benutzeroberfläche folgt weitgehend demselben Weg, nutzt jedoch die Vorteile der enormen Rechenleistung, die in modernen Computern verfügbar ist. Zuerst nimmt das Programm die gemessenen Ausgangskurven und berechnet eine 2D-Qubic-Spline-Matrix. Mit dieser Matrix ist es möglich, den Anodenstrom Ia für jede Kombination von Anodenspannung (Va) und Gitterspannung (Vg) genau zu interpolieren, vorausgesetzt, sie liegen innerhalb der für die Messung verwendeten Minimal- und Maximalwerte von Va und Vg. Als nächstes bestimmt ein linearer Löser die Schnittpunkte zwischen der Lastlinie und den Ausgangskurven für eine große Anzahl von Punkten unter Verwendung des qubischen 2D-Splines, um zwischen den tatsächlich gemessenen Punkten zu interpolieren. Wiederum wird ein Spline verwendet, um eine glatte Übertragungskurve von der Gitterspannung zur Anodenspannung bereitzustellen. Diese Übertragungskurve wird verwendet, um die Anodenspannung zu berechnen, die sich aus einer reinen Sinuswellengitterspannung ergibt. Schließlich wird eine schnelle Fourier-Transformation (FFT) verwendet, um die Harmonischen im Ausgangssignal zu bestimmen. Es klingt kompliziert, ist aber sehr einfach und dauert nur einen Bruchteil einer Sekunde.

Die Verzerrungsanalyse kann nur durchgeführt werden, wenn im Diagramm des Hauptfensters ein gültiger Satz von Ausgabekurven angezeigt wird. Der Kurvensatz kann eine Messung sein, die in derselben Sitzung durchgeführt wurde, oder ein Kurvensatz, der aus einer Setup-Datei neu geladen wurde. Das Verzerrungs-Analysefenster wird durch Drücken der Schaltfläche „Verzerrung" im Abschnitt Messanalyse im Hauptformular geöffnet. Das Verzerrungsanalyseformular besteht aus drei Abschnitten: "Setup", "DC-Analyse" und "AC-Analyse". Im Einrichtungsabschnitt können die Versorgungsspannung (Vsupply) und der Lastwiderstand (Rload) für die

Lastleitung sowie die DC-Gittervorspannung (Vbias) und die Amplitude der Sinuswellengitteranregung (Vsign) angegeben werden. Beachten Sie, dass die Amplitude wie in Abb. 8.9.2 dargestellt definiert ist. Durch Drücken der Schaltfläche „Analyse" wird die Lastlinie in das Diagramm eingezeichnet und die DC- und AC-Analyse durchgeführt. Beachten Sie, dass auf der Lastlinie das Schwingen der Gitterspannung hervorgehoben ist. Die Gleichstromwerte des Anodenstroms und der Anodenspannung werden direkt vom Schnittpunkt zwischen der Lastlinie und der Ausgangskurve abgeleitet, die der Gittervorspannung (Vbias) entspricht. Die in der Röhre (Ptube) verbrauchte Leistung und die von der Stromversorgung (Vsupply) gelieferte Leistung werden aus dem Gleichstrom und der Spannung der Anode und der Versorgungsspannung berechnet.

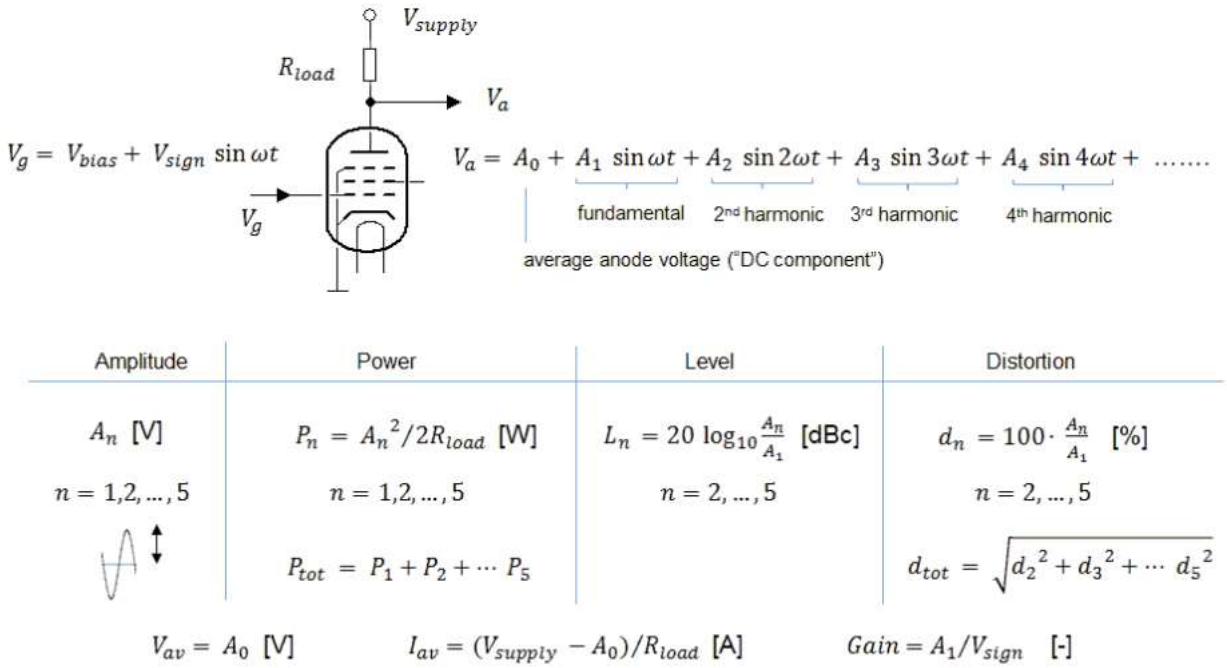


Abbildung 8.9.3 Formeln hinter dem Verzerrungsanalyseformular.

Der Abschnitt „AC-Analyse" zeigt die Ergebnisse der FFT-Berechnung. Aus der Fourier-Analysetheorie ist bekannt, dass jedes periodische Signal mit der Frequenz ω als (unendliche) Summe von Sinuswellenfunktionen mit den Frequenzen ω, 2ω, 3ω,… mit den Amplituden A0, A1, A2, A3… geschrieben werden kann. Der erste Term A0 repräsentiert die durchschnittliche Anodenspannung. Bei sehr kleinen Signalamplituden entspricht die durchschnittliche Anodenspannung der DC-Anodenspannung. Wenn jedoch die Signalamplitude zunimmt, wird ein Teil des Wechselstromanodensignals aufgrund von Nichtlinearitäten der Röhre gleichgerichtet. Die gleichgerichtete Spannung addiert sich zur Gleichspannung, was zu einer Verschiebung der durchschnittlichen Anodenspannung führt. Der zweite Term in der Fourier-Erweiterung ist die Grundfrequenzkomponente. Es ist im Grunde die "gewünschte" Komponente im Ausgangssignal. Die Amplitude dieser Komponente geteilt durch die Amplitude des Wechselstromgittersignals bestimmt die Verstärkung (A1 / V-Gitter).

Die anderen Begriffe repräsentieren die zweite, dritte und höhere Harmonische. Auf dem Formular sind die zweite bis zur 5. Harmonischen enthalten. Von jeder Harmonischen (einschließlich der Grundwelle) wird die Leistung aufgelistet, die sie in der Last erzeugt. Weiterhin ist für jede Harmonische ihr Abstand unter dem Träger (in dBc) angegeben. Schließlich wird der Verzerrungsfaktor berechnet, der das Verhältnis der Amplitude der Harmonischen zur Grundkomponente ist.

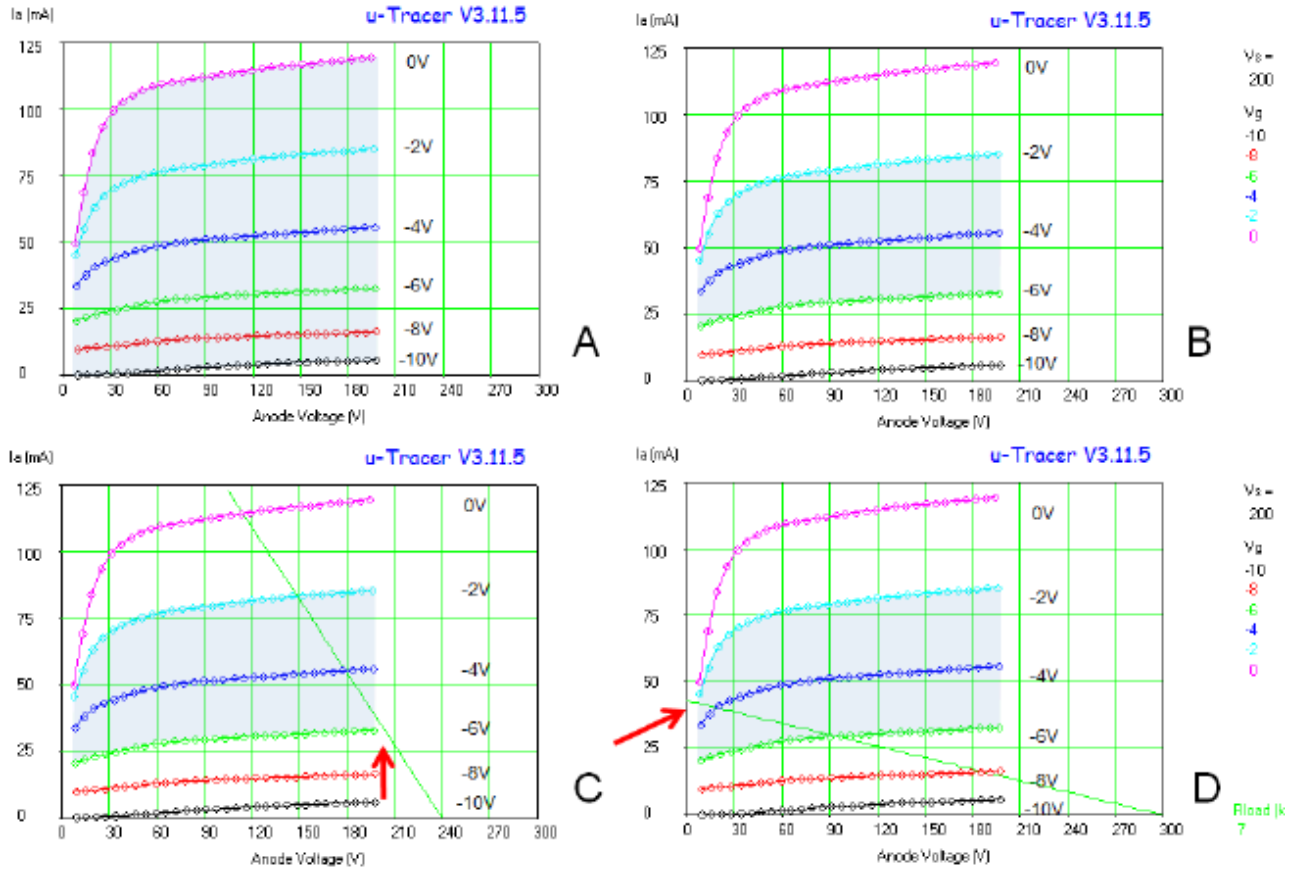


Abbildung 8.9.4 Der Messbereich und die Lastlinie.

Einschränkungen:

Obwohl das Verzerrungsanalyse-Tool zwischen Messpunkten innerhalb des Messdatensatzes genau interpolieren kann, kann es nicht außerhalb des Messdatensatzes extrapolieren! Abb. 8.9.4A zeigt ein Beispiel eines gemessenen Satzes von Ausgangskurven. Zur Veranschaulichung wurde die Anodenspannung ab 10 V gewobbelt; Normalerweise wird immer die niedrigste Anodenspannung von 2 V verwendet. In diesem Beispiel wurde die Gitterspannung von -10 V auf 0 V erhöht. Der farbige Bereich gibt den Bereich des gemessenen Datensatzes an. Alle Schnittpunkte der Lastlinie mit den Kurven für die ausgewählte Gittervorspannung und Gittersignalamplitude müssen in diesen farbigen Bereich fallen! Für die ordnungsgemäße Verwendung des Verzerrungsanalyse-Tools müssen eine Reihe von Richtlinien und Einschränkungen berücksichtigt werden. Wenn diese Einschränkungen verletzt werden, wird eine Warnmeldung ausgegeben. In diesem Abschnitt werden diese Einschränkungen in Bezug auf die ausgegebenen Warnmeldungen erläutert:

>>> Die Variable auf der x-Achse muss Va oder Vs sein!

Eine ziemlich offensichtliche Anforderung. Das Verzerrungsanalyseformular kann nur aufgerufen werden, wenn ein ausgangscharakteristischer Messtyp ausgewählt wurde.

>>> Mindestens 3 Kurven mit jeweils 5 Punkten erforderlich!

Damit der Spline-Algorithmus funktioniert, ist ein Mindestsatz an Kurven und ein Mindestsatz an Punkten pro Kurve erforderlich. Hier wurde etwas willkürlich die minimale Anzahl von Kurven auf drei gesetzt, mit einem Minimum von fünf Punkten pro Kurve.

Dies wirft die Frage auf, welche Anzahl von Kurven und Anzahl von Punkten pro Kurve optimal ist. Offensichtlich führen mehr Kurven und mehr Punkte pro Kurve zu einer höheren Genauigkeit, erhöhen aber auch die Messzeit. In den EL84-Beispielen in diesem Abschnitt wurde die Gitterspannung mit Schritten von 2 V erhöht. In einem Test wurden die interpolierten Werte in Intervallen von 1 V berechnet wurden berechnet und mit Messwerten verglichen. Der Fehler betrug in allen Fällen weniger als 1%. Im Allgemeinen sind die Ia (Va, Vg) -Eigenschaften von Röhren ziemlich glatt und verhalten sich gut. Eine begrenzte Anzahl von Kurven und Punkten reicht daher in den meisten Fällen aus, um die Röhre zu „erfassen", und das in diesem Abschnitt gezeigte Beispiel gibt eine gute Vorstellung von einem optimalen Satz von Kurven und Punkten.

Wie bereits erwähnt, ist es möglich, die Messung zusammen mit dem Messaufbau zu speichern. Auf diese Weise ist es möglich, eine Reihe von Kurven zu analysieren, die in einer vorherigen Messsitzung erhalten wurden.

>>> Signalamplitude unter dem gemessenen Minimum Vg! & Signalamplitude über maximal gemessenem Vg!

Dies bedeutet einfach, dass das maximale Eingangssignal (Vbias + Vsign) gleich oder kleiner als die bei der Messung verwendete maximale Gitterspannung sein muss und dass das minimale Eingangssignal (Vbias - Vsign) gleich oder höher als das Minimum sein muss bei der Messung verwendete Gitterspannung.

>>> Vgrid außerhalb der Messebene, rechts. Vsupl oder Vsign verringern; oder Rload erhöhen!

Diese Situation lässt sich am besten anhand eines Beispiels erklären. Angenommen, für den Kurvensatz von Abb. 8.9.4B wird eine Gittervorspannung (Vbias) von -4 V angelegt, und die Amplitude des Eingangssignals (Vsign) beträgt 2 V. Die Eingangsspannung schwingt nun zwischen der Gittervorspannung Linien markiert mit -6 V und -2 V (farbiger Bereich). Die linke Abgrenzung dieses Bereichs ergibt sich aus der minimalen Anodenspannung, die bei der Messung angegeben wurde, während der rechte Rand durch die maximal verwendete Anodenspannung bestimmt wird. Bei bestimmten Kombinationen von Vsign, Rload und Vsupply ist es möglich, dass sich die Lastlinie nicht mit allen Kurven im farbigen Bereich schneidet. Diese Situation ist in Abb. 8.9.4C dargestellt. Beachten Sie, dass bei niedrigen Eingangsspannungen die Lastlinie die Kurven für die niedrigsten Gitterspannungen nicht schneidet. In dieser Situation wird eine Warnmeldung ausgegeben und es werden keine weiteren Berechnungen durchgeführt, und der Benutzer muss die Versorgungsspannung oder die Signalamplitude verringern oder den Lastwiderstand erhöhen.

>>> Vgrid außerhalb der Messebene, links. Erhöhen Sie Vsupl; oder Vsign oder Rload verringern!

Ein ähnlicher Zustand kann auf der linken Seite des Diagramms auftreten. Abbildung 8.9.4D zeigt die Situation, in der die Lastlinie die höchsten Gittervorspannungskurven nicht schneidet. Hier besteht die Abhilfe darin, die Versorgungsspannung zu erhöhen oder die Eingangsamplitude oder den Lastwiderstand zu verringern.

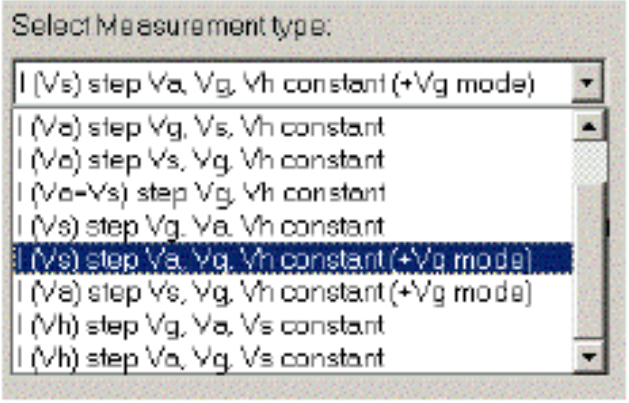
>>> Maximale Anzahl von Iterationen überschritten, bitte Problem speichern und melden.

Bitte speichern Sie das Problem und melden Sie das Problem!

8.10 - Positive Gittervorspannung (A2-Modus)

Bestimmte Typen von Audioverstärkern der Klasse B und die meisten Hochleistungs-HF-Sender der Klassen B und C arbeiten in einem positiven Vorspannungsmodus, daher ist das Testen von Röhren in diesem Bereich offensichtlich von Interesse. Das Problem ist, dass das Gitter, wenn es positiv wird, als eine Art Anode wirkt und Elektronen anzieht. Infolgedessen beginnt ein Gitterstrom zu fließen und das Gitter beginnt sich aufzulösen! Die Gittervorspannungsschaltung des µTracer ist nur für negative Gittervorspannungen ausgelegt. Einige Leute haben vorgeschlagen, die Schaltung durch Hinzufügen einer positiven schwebenden Spannungsquelle in Reihe mit dem Gitteranschluss zu "täuschen", so dass z. Der Bereich von -50 bis 0 V wird auf -25 bis 25 V verschoben (unter Verwendung einer 50-V-Batterie). Leider funktioniert dies nicht, da die Gittervorspannungsschaltung auch nicht in der Lage ist, die wesentlichen Ströme zu liefern, die für positive Vorspannungen zum Gitter fließen würden. Beachten Sie übrigens, dass dieser Trick dazu dient, den Gittervorspannungsbereich des µTracer in Richtung negativerer Vorspannungen zu erweitern!

Dies war die Situation, bis James Hill im **Audio-Talk-Forum xxxiii** die fantastische Idee hatte, die Schirmversorgung zu nutzen, um das Gitter für positive Vorspannungen brauchbar zu machen! Warum habe ich vorher nicht daran gedacht, die Idee ist in der Tat brillant! Die Schirmversorgung kann positive Gittervorspannungsimpulse liefern und was noch wichtiger ist: Sie kann den resultierenden Gitterstrom genau messen. Ein weiteres wichtiges und sogar notwendiges Merkmal ist, dass auf diese Weise die Gittervorspannung gepulst wird, so dass die übermäßige Verlustleistung im Gitter, die auftreten würde, wenn Gleichstromvorspannungen verwendet würden, verhindert wird. Soweit ich sehen konnte, hatte die Idee nur zwei Probleme: Das erste war, dass die GUI-Software eine solche Messung nicht vorsah. Das zweite war, dass die Schirm sowie die Anodenversorgung aufgrund der begrenzten Auflösung des AD-Wandlers und des Prinzips hinter der Schaltung ein wenig an Genauigkeit für Niederspannung verlieren. Schließlich ist das Verfahren natürlich nur zum Testen von Trioden geeignet, da es nur eine Schirmversorgung gibt.



Das erste Problem konnte leicht behoben werden. Da ich ohnehin an einer neuen Version der GUI arbeitete, konnten die beiden neuen Messtypen problemlos in Version 3p8 implementiert werden. Zwei neue Messtypen wurden implementiert, um I (Vg) - und I (Va) -Messungen im positiven Gittervorspannungsmodus (+ Vg-Modus) zu ermöglichen. Im „+ Vg-Modus" wird das Gitter an den Schirmanschluss des µTracer angeschlossen. Der normale Gittervorspannungsausgang funktioniert (konstante Spannung), wird jedoch in den meisten Fällen nicht verwendet. Beachten Sie, dass für die Messungen im „+ Vg-Modus" im Auswahlfeld für den Messtyp (Bildschirmaufnahme links) „Vs" verwendet wird, um die Gitterverbindung zu kennzeichnen. Ich fand das logischer, da das Gitter der Röhre mit dem Schirmimpulsausgang des µTracer verbunden werden muss. Auch in der Grafik hat "+ Vg" Vg ersetzt. Das einzige, was sich nur schwer ändern ließ, war der Achsname für den Gitterstrom. Also für diese beiden Messungen stellt Is den Gitterstrom dar, sorry dafür!

Als James vorschlug, die Bildschirmversorgung für positive Gitterverzerrungen zu verwenden, befürchtete ich, dass dies zu „verrauschten" Kurven führen würde. Der Grund war, dass ich den Eindruck habe, dass sowohl die Anode als auch die Schirmversorgung bei niedrigen Spannungen an Genauigkeit verlieren. Es gibt zwei Gründe für meinen Verdacht. Der erste Grund ist, dass bei niedrigen Spannungen der relative Fehler eines AD-Wandlers zunimmt. In diesem Fall besteht immer eine Unsicherheit eines LSB, die ungefähr 0,3 V entspricht. Hinzu kommt, dass die Referenzspannungen des AD-Wandlers möglicherweise etwas Rauschen aufweisen und die Gesamtunsicherheit von leicht ein Volt oder so betragen kann. Bei 300 V ist dies ein relativ kleiner Fehler; Bei etwa zehn Volt ist der Fehler jedoch enorm! Die zweite Rauschquelle liegt in der **Funktionsweise der Aufwärtswandler xxxiv** Vier Stromimpulse laden die Speicherkondensatoren gleichzeitig auf, bis die erforderliche Spannung erreicht ist. Insbesondere bei niedrigen Spannungen kann dies zu einem kleinen Überschwingen führen. Es ist unnötig zu erwähnen, dass diese kleinen Abweichungen durch die Röhre verstärkt werden, wenn die Schirmversorgung zum Vorspannen des Gitters verwendet wird!

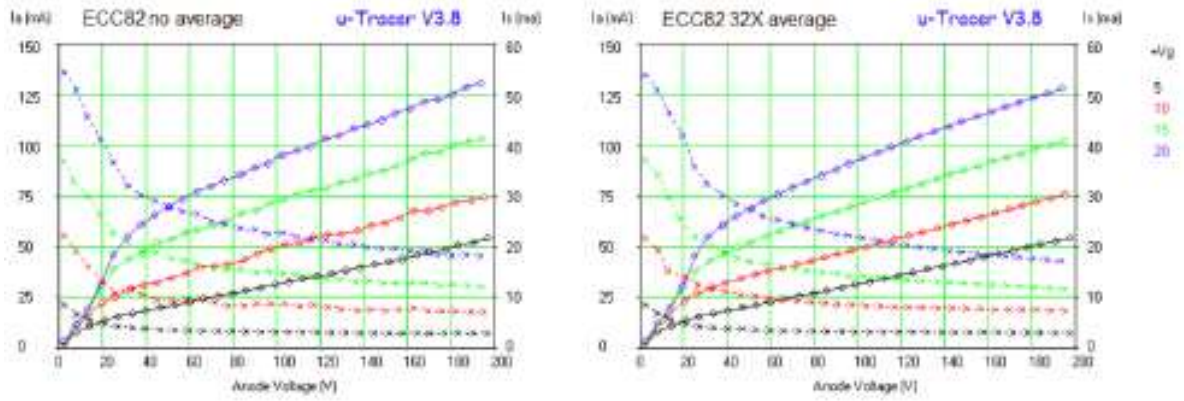


Abbildung 8.10.1 Eliminieren von Rauschen aus den Kurven durch Erhöhen der Anzahl der Mittelwerte.

Wie sich herausstellte, war das Problem viel weniger ernst als ich befürchtet hatte. Ein schöner Hinweis darauf, dass die Anoden- und Schirmversorgung überhaupt nicht so schlecht ist! Die Kurven der Fign. 8.10.1 sind eigentlich ganz nett und glatt. Bei sehr niedrigen Gitterspannungen (Abb. 8.10.1 links) sind jedoch tatsächlich einige Schwankungen zu beobachten. Die naheliegendste Methode zur Reduzierung der Schwankungen ist die Mittelung der Messungen. Normalerweise wird das **Durchschnittsmerkmal des µTracer xxxv** verwendet, um das Rauschen im Niedrigstrombereich zu mitteln. Wenn die Mittelwertbildung auf automatisch eingestellt ist, reduziert der PIC automatisch die Anzahl der Mittelwerte, wenn der gemessene Strom zunimmt. Abbildung 8.10.1 zeigt, wie das manuelle Einstellen der Anzahl der Mittelwerte auf einen Wert über 1X dazu beitragen kann, das durch die „Gitterversorgung" verursachte Rauschen in den Kurven zu reduzieren.

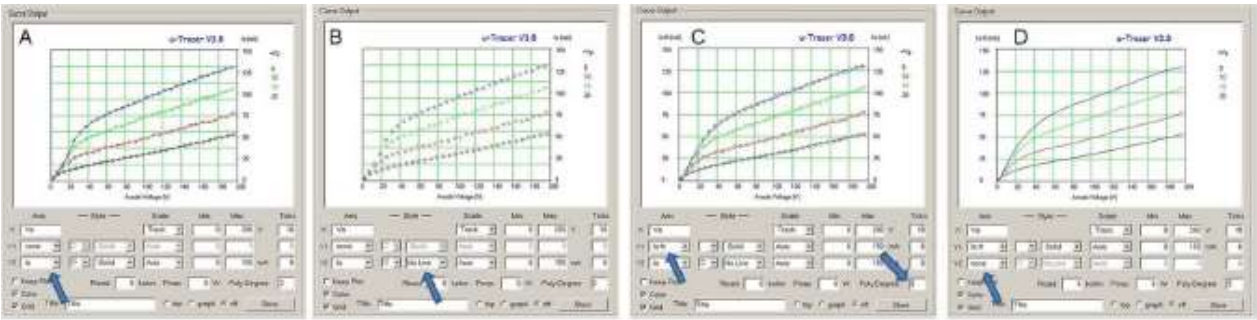


Abbildung 8.10.2 Das Begradigen von Kurven mittels Polynomanpassung.

Die in die GUI integrierte Kurvenanpassungsfunktion zur Erzeugung rauschfreier Transkonduktanz-Kurven kann auch zum Begradigen von verrauschten oder wackeligen Kurven verwendet werden. Abbildung 8.10.2 zeigt, wie es gemacht wird. Wir beginnen mit der ersten Darstellung der Messdaten entlang der zweiten Y-Achse (Abb. 8.10.2A). Als nächstes werden die durchgezogenen Linien entfernt, wobei nur die Markierungen übrig bleiben (Abb. 8.10.2B). Wir wählen dann den angepassten Strom aus, der entlang der primären Y-Achse angezeigt werden soll, und der Polynomgrad wird auf einen solchen Wert eingestellt, dass ein schöner Satz von Kurven erhalten wird (Abb. 8.10.2C). Schließlich werden auch die zur ursprünglichen Messung gehörenden Marker ausgeschaltet (Abb. 8.10.2D).

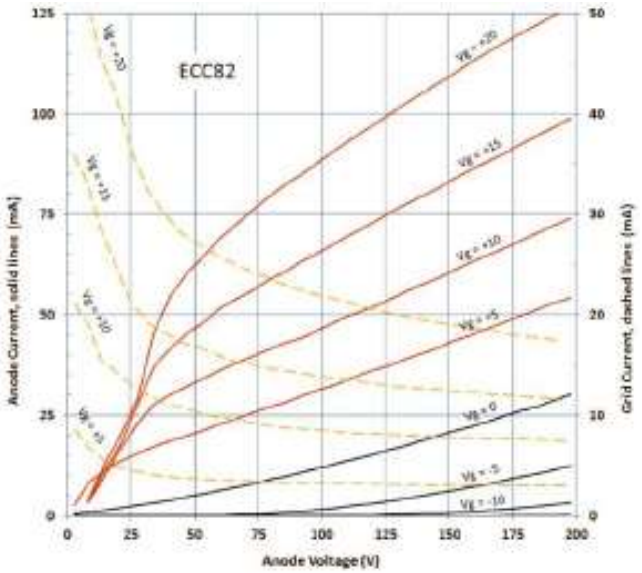
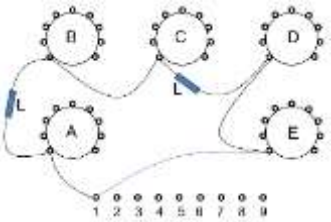


Abbildung 8.10.3 ECC82 gemessen mit positiven und negativen Gittervorspannungen.

Leider ist es nicht möglich, positive und negative Gittervorspannungskurven in einem Diagramm zu kombinieren. Abb. 8.10.3 zeigt jedoch, dass durch die Kombination der Daten aus mehreren Messungen in Excel beeindruckende Grafiken erhalten werden können. In diesem Fall wurde ein ECC82 getestet, was zu einer Reihe von Kurven führte, die nur sehr wenige Röhrenkurven-Tracer hätten erzeugen können, ohne das Gitter oder möglicherweise die gesamte Röhre zu zerstören.

8.11 – Schwingungen unterdrücken

Eine der größten Bedrohungen für Röhrentester sind unerwünschte Schwingungen, die auftreten können, weil die Röhren unter realistischen Vorspannungsbedingungen getestet werden, während sie durch lange Drähte verbunden sind, die viele parasitäre Resonanzkreise enthalten. Bei herkömmlichen Röhrentestern kann es sehr gut vorkommen, dass eine Röhre zerstört wird, weil eine zerstörerische Schwingung auftritt! Ein großer Vorteil des µTracer ist, dass die maximale Energie, die in den Speicherkondensatoren gespeichert ist, sehr klein ist, zu klein, um eine Röhre zu zerstören. Die Schwingungen können jedoch die Messung stören, daher ist es wichtig, dass sie verhindert werden. Eine der effektivsten Möglichkeiten, dies zu erreichen, besteht darin, HF-Unterdrückungsspulen in die Röhrenverbindungen aufzunehmen. Bei Gleichstrom ist der Widerstand dieser Spulen nahezu Null, während die Widerstandsverluste mit zunehmenden Frequenzen schnell ansteigen.



Darüber hinaus empfehle ich dringend, das von AVO in ihren Röhrentestern verwendete (und patentierte) Verdrahtungsschema zu verwenden. Das folgende schematische Diagramm zeigt die Grundidee für ein Terminal. Der Drahtverbindungsstift 1 jeder Röhrenbuchse verläuft in einer Schleife, die auch mit dem Bananenstecker oder dem Drehschalter verbunden ist. In bestimmten Intervallen wird eine HF-Ferrithülse (z. B. Würth Nr. 74270015) über die Drähte verschoben. Die physikalischen Längen aller Schleifen müssen ungefähr gleich sein. Die Abbildung auf der nächsten Seite gibt einen Eindruck vom Verdrahtungsschema meiner Version des µTracer. Wenn beim Testen einer Röhre die resultierenden Kurven wirklich seltsam erscheinen, können Schwingungen das Problem sein. Fügen Sie eine zusätzliche Ferrithülse hinzu, um festzustellen, ob das Problem dadurch behoben wird.

Verwenden Sie für den Heizungsanschluss keine RFI-Unterdrückungsspulen. Leider widerspricht dies einer AVO-Verkabelung von „Tube-Board", bei der RFI-Spulen in jedem Draht enthalten sind, um Schwingungen zu unterdrücken. Der Grund dafür ist, dass sich die RFI-Unterdrückungsspulen nachteilig auf den Heizstrom auswirken, der im Schaltmodus auf 19,5 kHz geregelt wird. Beachten Sie auch, dass aus diesem Grund die effektive Heizspannung NICHT mit einem normalen Voltmeter (auch RMS) gemessen werden kann. Wenn eine hohe Genauigkeit oder niedrige Spannungen mit hohem Strom erforderlich sind, wird eine externe Stromversorgung bevorzugt. Verwenden Sie so kurze wie möglich verdrillte Drähte für die Verbindung zwischen dem µTracer und der Röhrenfassung

8.12 - Testen von Diodenröhren

Bisher habe ich den Einfluss der Anoden- und Schirmströme auf die Anoden- und Schirmspannungen vernachlässigt. Es gibt drei Effekte: Erstens gibt es den Spannungsabfall über dem Stromerfassungswiderstand. Zweitens entladen die Ströme die Pufferkondensatoren, und schließlich gibt es den Spannungsabfall über dem Hochspannungsschalter. Alle diese drei Effekte senken die effektiven Anoden- und Schirmspannungen. Glücklicherweise können die drei Spannungsabfälle leicht gemessen oder berechnet werden (Abb. 8.12.1). Der Spannungsabfall über dem Erfassungswiderstand entspricht einfach dem gemessenen Strom mal dem Widerstand des Erfassungswiderstands. Die ungefähre Spannung des Pufferkondensators zum Zeitpunkt der Strommessung ist ebenfalls bekannt, da die Spannung der Pufferkondensatoren unmittelbar nach dem Messimpuls gemessen wird. Die Spannung über dem Hochspannungsschalter ist ungefähr konstant (0,7 V).

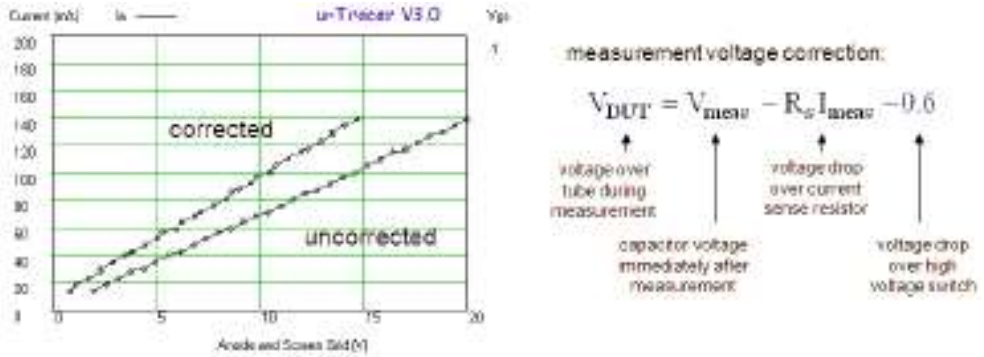


Abbildung 8.12.1 I (V) -Kurve eines 100-Ohm-Widerstands zeigt den Einfluss der Anoden- / Schirmspannungskorrektur für niedrige Spannungen.

Bisher habe ich diese Effekte vernachlässigt und nur die Ströme gegen die Sollspannungen aufgetragen. Der Fehler ist normalerweise sehr klein; Für die meisten Röhren sind die Ströme eher klein, während die Spannungen hoch sind. Es gibt jedoch mindestens einen Röhrentyp, bei dem der Fehler ziemlich groß sein kann: Dioden! Offensichtlich sind Dioden so ausgelegt, dass sie hohe Ströme mit einem geringen Spannungsabfall über die Diode leiten. Der Spannungsabfall über dem Messwiderstand, dem Schalter und dem Pufferkondensator kann in diesem Fall sehr bedeutend sein.

Abbildung 8.12.1 zeigt zwei I (V)-Messungen eines 100-Ohm-Widerstands zwischen Anoden- und Kathodenanschlüssen des µTracers mit und ohne Korrektur der Messspannung. Beachten Sie den großen Unterschied zwischen den Kurven! Beide Linien scheinen weniger „glatt" zu sein als die normalen µTracer-Kurven. Hierbei gibt es eine Reihe von Faktoren. Zuerst müssen wir erkennen, dass wir an den Grenzen des AD-Wandlers sind. Mit einem 10-Bit-AD-Wandler, der für einen Bereich von 380 V ausgelegt ist, beträgt der Spannungsschritt pro Bit ca. 0,4 V. Wenn wir die „unkorrigierte Kurve" betrachten, können wir etwa alle 4 Messpunkte kleine Sprünge in der Linie beobachten. Deutlicher Aliasing-Effekt in Bezug auf den AD-Konverter. Die "korrigierte Kurve" leidet offensichtlich auch unter den Einschränkungen des AD-Wandlers, aber zusätzlich einer Korrekturspannung, die an sich auch einen Fehler enthält, wird von der Sollspannung abgezogen, was zu einer eher unregelmäßigen Kurve führt. Obwohl die Kurven es bei einem Schönheitswettbewerb sicherlich nicht schaffen würden, sind sie sicherlich immer noch sehr akzeptabel und zumindest gut genug für mich.

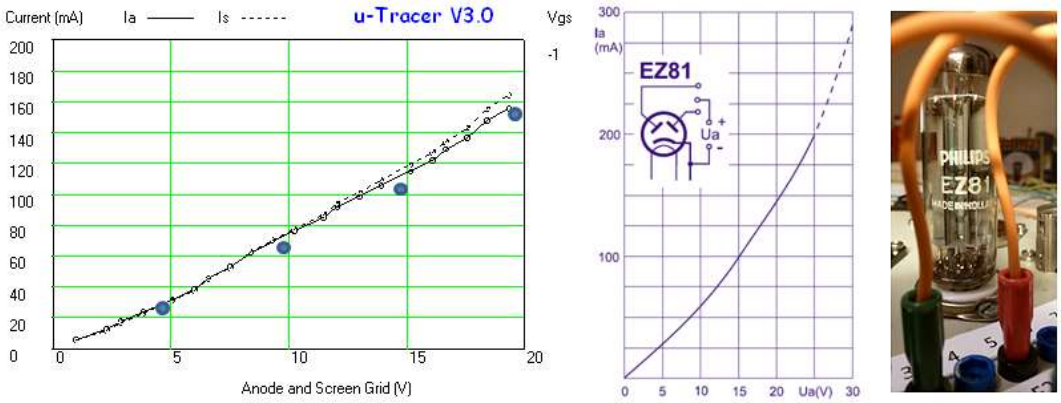


Abbildung 8.12.2 EZ81-Vollweggleichrichter getestet und mit Datenblatt verglichen.

In Abb. 8.12.2 wird die I (V)-Kurve der Dioden eines einzelnen EZ81 mit der Kurve aus einem der Datenblätter verglichen. Wie bei der Messung von Doppeltrioden ist eine der Anoden mit dem Anodenanschluss des µTracer verbunden, während die andere Anode mit dem Schirmanschluss verbunden ist. Auf diese Weise können beide Anodenströme innerhalb einer Messung verglichen werden.

8.13 - Testen eines Thyratron

Der EC50, Thyratron.

Die EC50 ist ein mit Helium gefülltes Thyratron, das um 1939 eingeführt wurde. Ein Thyratron ist ein Hochspannungsschalter, der mit einem Thyristor sehr vergleichbar ist. Wenn der Anodenstrom mit dem Gitter auf ein negatives Potential angehoben wird, gibt es keinen Anodenstrom. Wird das Gitter jedoch kurz positiv gemacht, entzündet sich ein Plasma und ein Strom beginnt durch einen externen Widerstand begrenzt zu fließen. Der Strom fließt weiter, auch wenn das Gitter wieder negativ gemacht wird. Das Plasma erlischt erst, wenn die Anodenspannung wieder auf Null reduziert wird. Wenn die Röhre gezündet wird, gibt es einen Spannungsabfall von ungefähr 33 V zwischen Anode und Kathode.

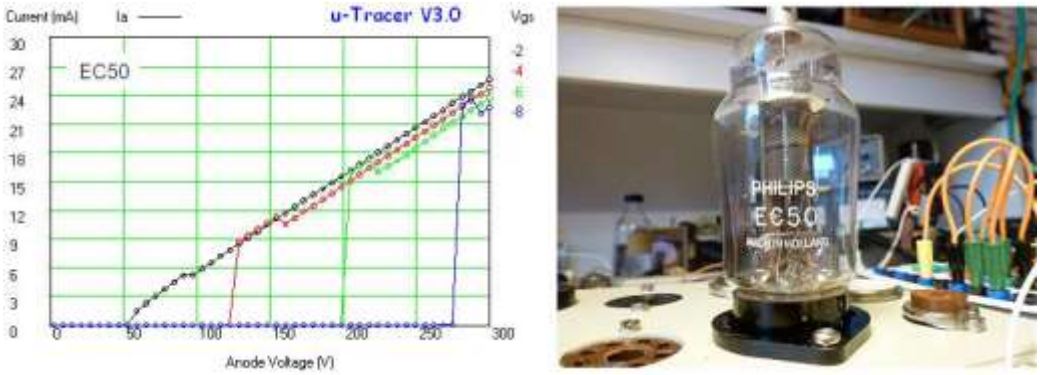


Abbildung 8.13.1 Ia (Va) -Kurve des EC50 für verschiedene Vg mit einem Anoden-Vorwiderstand von 10k.

Die Röhre kann sich jedoch auch entzünden, wenn die Anodenspannung über einen bestimmten kritischen Wert hinaus erhöht wird. Dieser Wert hängt von der negativen Gittervorspannung ab. Je negativer das Gitter, desto höher die Zündspannung. Die Beziehung zwischen der negativen Gittervorspannung und der Zündspannung ist nahezu linear. In Abb. 8.13.1 wird eine Ia (Va) -Kurve eines EC50 für verschiedene Gittervorspannungswerte gemessen. Um den Strom zu begrenzen, wurde ein 10k-Widerstand in Reihe mit der Anodenleitung geschaltet, wie durch die Steigung der geraden Linie dargestellt.

8.14 - Testen von direkt beheizten Röhren

Um eine direkt beheizte Röhre zu testen, schließen Sie die Heizung der Röhre erneut an die Heizungsanschlüsse des µTracer an. In diesem Fall wird jedoch der Kathodenanschluss am µTracer nicht verwendet (Abb. 8.14.1C)! **Durch Anschließen des Kathodenanschlusses an einen der Heizungsanschlüsse kann die Heizungsversorgung kurzgeschlossen werden, wodurch in einem Fall ein vollständiger µTracer zerstört wurde. TUN SIE ES NICHT!**

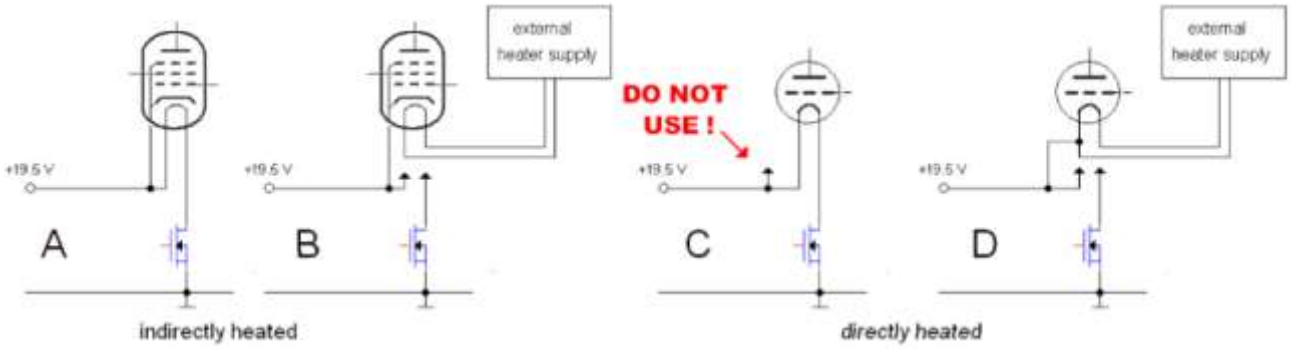


Abbildung 8.14.1 Anschlussplan von indirekt / direkt beheizten Röhren mit internen / externen Netzteilen.

Anders sieht es aus, wenn eine externe Heizungsversorgung verwendet wird, die in Bezug auf den µTracer elektrisch „schwimmt". In diesem Fall muss der Kathodenanschluss an einen der Heizungsanschlüsse der Röhre angeschlossen werden (Abb. 8.14.1D). Die Kurven können aufgrund von Asymmetrien in der Röhre variieren, je nachdem, welcher Heizungsanschluss an die Kathode angeschlossen ist. Sie können sogar ein Potentiometer mit niedrigem spezifischen Widerstand parallel zur Heizung platzieren, wobei der Schieber an den Kathodenanschluss angeschlossen ist. Ein weiterer Hinweis zur Vorsicht ist erforderlich, wenn empfindliche Batterieröhren gemessen werden! Wie zuvor erläutert, wird der Heizzyklus bei niedrigen Heizspannungen sehr kurz. Kleine Schwankungen des Arbeitszyklus führen somit zu relativ großen Schwankungen der Verlustleistung. Wenn ich also empfindliche Batterieröhren wie die DAF96 (1AH5), russische Bleistiftröhren usw. messe, verwende ich einfach eine 1,5-V-Batterie als Heizungsversorgung. Auf diese Weise kann überhaupt nichts schief gehen.

8.15 - Testen einer 12SA7-Hexode („Pentagrid")

Die ordnungsgemäße Prüfung der Frequenzumrichterröhre der 12SA7-Hexode („Pentagrid") war etwas komplizierter. Philips, z.B. veröffentlicht DC-Kurven ihrer Hexoden, diese waren jedoch für die 12SA7 nicht verfügbar. Wahrscheinlich zu Testzwecken gibt das Datenblatt jedoch einige Gleichstromeigenschaften der Röhre im "nicht oszillierenden" Modus an. Wenn die Anode und die Schirme an 100 V angeschlossen sind und die Gitter an 0 V angeschlossen sind, sollte der Kathodenstrom etwa 25 mA betragen (ich nahm an, dass dabei Suppressorgitter schwebend gehalten wurde). Fig. 21 zeigt einen Satz von Ia (Va) -Kurven des in dieser Konfiguration getesteten 12SA7, wobei die Anodenspannung zwischen 0 und 100 V variiert wurde und die erste Steuergitterspannung von -7 auf 0 V gestuft wurde. Der allerletzte gemessene Punkt entspricht dem im Datenblatt genannten Punkt, und die Anode entspricht sehr gut dem im Datenblatt angegebenen Strom (25 mA).

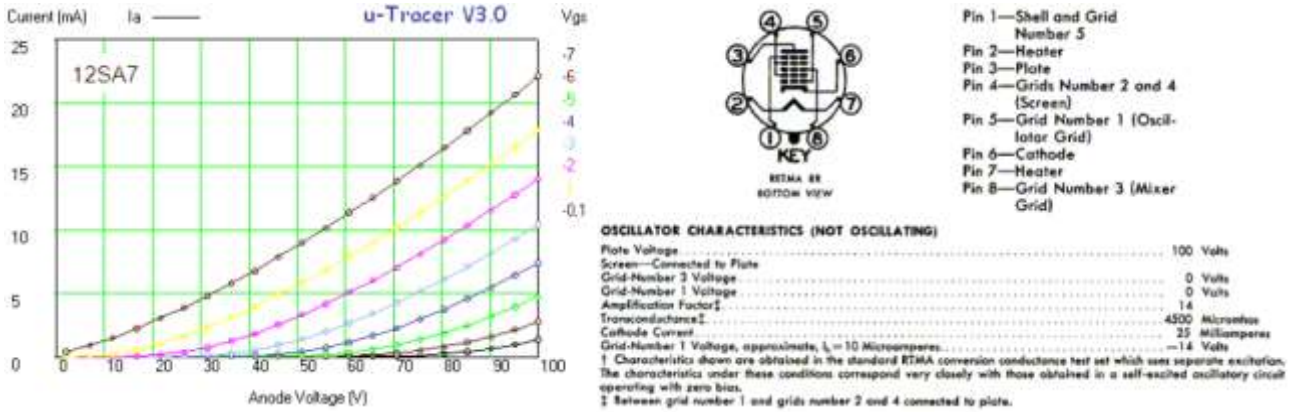


Abbildung 8.15.1 12SA7 HF-Mischer / Oszillator

8.16 – (Re-)Formieren von Elektrolytkondensatoren

Glücklicherweise ist es sehr einfach, Kondensatoren auf ihre ordnungsgemäße Funktion zu überprüfen. Alles, was getan werden muss, ist den Strom beispielsweise mit einem hochwertigen Widerstand zu begrenzen. In seiner einfachsten Form nehmen Sie eine Hochspannungsversorgung und verbinden diese über einen Widerstand von beispielsweise 10 kOhm mit dem Kondensator, während der Strom überwacht wird. Wenn der Kondensator in Ordnung ist, sollte der Strom schnell auf einen Wert im Bereich von zehn Mikroampere abfallen. Ein 100-uF-Kondensator sollte beispielsweise zu 99% in 3RC = 3 * 100E-6 * 10E3 = 3 Sekunden aufgeladen sein. In den meisten Fällen dauert es jedoch viel länger, einen Strom im Mikroverstärkerbereich zu erhalten. Was passiert, ist dass das Dielektrikum langsam auf seine ursprüngliche Dicke zurückgesetzt wird. Es kann sehr gut sein, dass niemals ein ausreichend niedriger Strom erhalten wird. In diesem Fall war der Kondensator zu groß und muss ersetzt werden. Um das ursprüngliche Aussehen des Instruments beizubehalten, gehen einige Leute so weit, den defekten Kondensator auszuhöhlen und ihn mit einem neuen Ersatztyp zu füllen. Dies ist häufig möglich, da moderne Kondensatoren viel kleiner sind als herkömmliche. Die Entwicklung von Kondensatoren hat offensichtlich auch eine kontinuierliche Innovation erfahren, und Sie werden feststellen, dass Kondensatoren ab den siebziger Jahren viel stabiler und robuster sind.

Die gute Nachricht ist also, dass in vielen Fällen alte Vintage-Kondensatoren durch vorsichtiges Anlegen einer Spannung und Begrenzung des Stroms zum Leben erweckt werden können. Dieser Vorgang wird als (Re-) Formierung bezeichnet. Es gibt keine allgemein vereinbarte beste Strategie, wie dies zu tun ist. Einige Leute lassen einfach den Kondensator im Stromkreis und versorgen das Gerät über eine variable Spannungsversorgung mit Strom und erhöhen dann langsam die Versorgungsspannung. Andere entfernen den Kondensator aus dem Stromkreis und verbinden ihn über einen hochwertigen Widerstand mit der maximalen Arbeitsspannung.

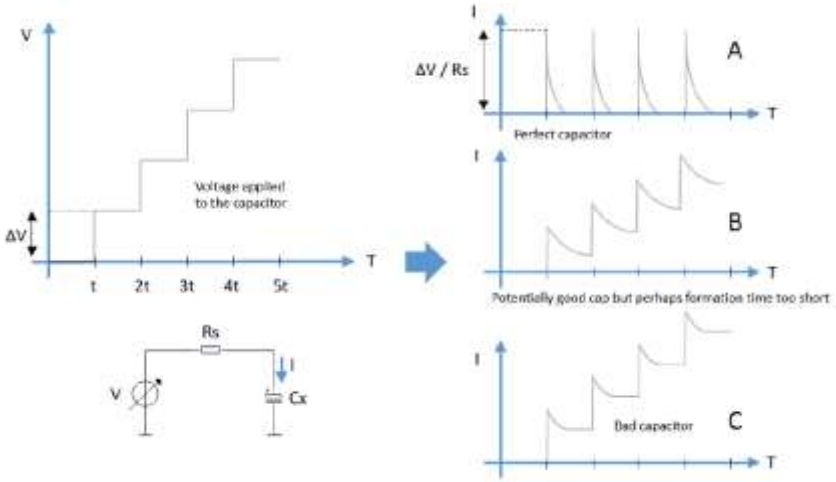


Abbildung 8.16.1
Bevorzugte Methode zur Formierung von Vintage-Elektrolyt-Kondensatoren.

Ich persönlich bevorzuge eine Methode, bei der der Kondensator über einen Widerstand an eine einstellbare Spannungsquelle angeschlossen wird, wobei die Spannung schrittweise erhöht wird, während dem Kondensator bei jedem Schritt Zeit zur Stabilisierung gegeben wird (Abb. 8.16.1 links). Abhängig vom Zustand des Kondensators sind verschiedene Stromantworten möglich. Rechts in Abb. 8.16.1 (A, B und C) ist eine Auswahl von Antworten skizziert. Ein perfekter Kondensator hat eine Stromantwort, wie in Abb. 8.16.1A dargestellt. Jedes Inkrementieren der Spannung führt zu einer Stromspitze mit einer Amplitude Vstep / Rs. Der Kondensator lädt sich schnell auf und in etwa der dreifachen Zeitkonstante (3 * Rs * Cx) fällt der Strom auf fast Null ab. Abbildung 8.16.1B zeigt die Stromantwort eines Kondensators, der alles andere als perfekt ist. Es ist zu beachten, dass die Amplitude der Stromspitzen aufgrund des Spannungsabfalls über dem Serienwiderstand des Kondensators abgenommen hat. Beachten Sie auch, dass der Strom nicht auf Null fällt. Wenn die Zeitverzögerungen so gewählt wurden, dass t >> 3RC, zeigt dies

an, dass sich der Kondensator selbst bildet und dass wahrscheinlich mehr Zeit benötigt wird, um die Heilung abzuschließen. In diesem Fall können die Zeitinkremente verlängert werden, um festzustellen, ob der Strom schließlich auf nahezu Null abfällt. Das kann Stunden dauern! Der Kondensator in Abbildung 8.16.1C geht offensichtlich hoffnungslos verloren. Es bleibt nur ein wenig kapazitives Verhalten übrig, und der Kondensator zeigt meistens ein Widerstandsverhalten, wobei der Strom nicht abfällt, selbst wenn die "Umformzeit" erhöht wird. Dieser Kondensator ist offensichtlich "ein kaputter Kondensator".

Die Grundschaltung

Es wird daran erinnert, dass die Anoden- und Schirmhochspannungsversorgungen des µTracers aus zwei programmierbaren Aufwärtswandlern mit niedrigem Strom bestehen, die die zwei 100 uF-Speicherkondensatoren des µTracers auf die gewünschten Spannungen aufladen. Die Aufwärtswandler können einen Strom von wenigen Milliampere liefern, was mehr als genug ist, um Kondensatoren neu zu formieren!

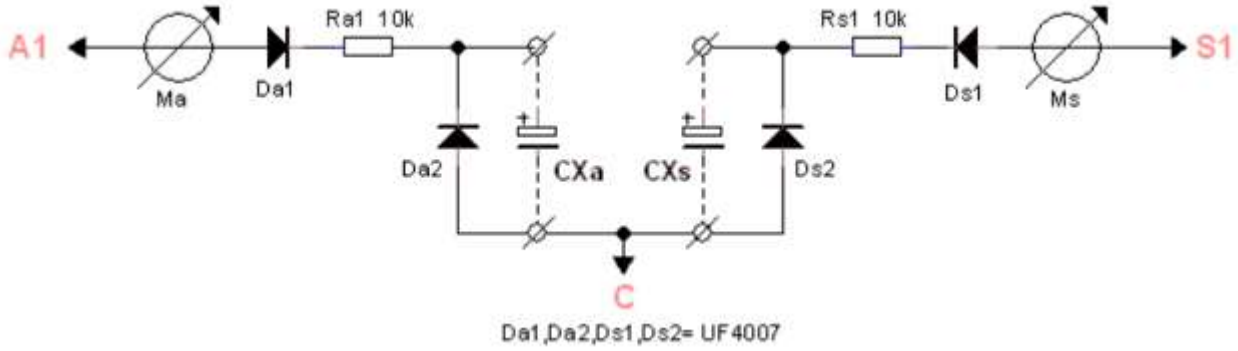


Abbildung 8.16.2

Abbildung 8.16.2 zeigt die Idee in ihrer einfachsten Form. Die Kathode des zu reformierenden Kondensators ist mit dem Kathodenanschluss des µTracers verbunden, während die Anode über einen 10k-Widerstand mit der Anode eines der 100uF-Speicherkondensatoren des µTracers verbunden ist. Durch Angabe einer Verzögerung im Feld "Verzögerung" lädt der µTracer die Kondensatoren auf die gewünschte Spannung auf und hält diesen Wert dann, bevor er zum nächsten "Messpunkt" übergeht. Lesen Sie hier mehr über die Verzögerungsfunktion. Da der µTracer über zwei unabhängige Hochspannungsquellen verfügt, können zwei Kondensatoren gleichzeitig formiert werden. Praktisch bei der Reformierung von „kombinierten" Vintage-Elektrolytkondensatoren! Die beiden "Umformschaltungen" sind offensichtlich identisch, daher werde ich hier nur eine diskutieren. Die Diode Da1 verhindert, dass Strom vom Kondensator zurückfließt, der in den µTracer zurückgeführt wird, wodurch die Spannungsregelung der Schaltung gestört werden kann. Die Diode Da2 stellt sicher, dass der Kondensator niemals in Sperrrichtung vorgespannt werden kann. Der Strommesser Ma dient zur Überwachung des Stroms. Persönlich bevorzuge ich ein altmodisches Zifferblattinstrument, weil es eine bessere und schnellere Vorstellung vom Fortschreiten des Stroms gibt, aber natürlich kann auch ein digitaler Strommesser verwendet werden.

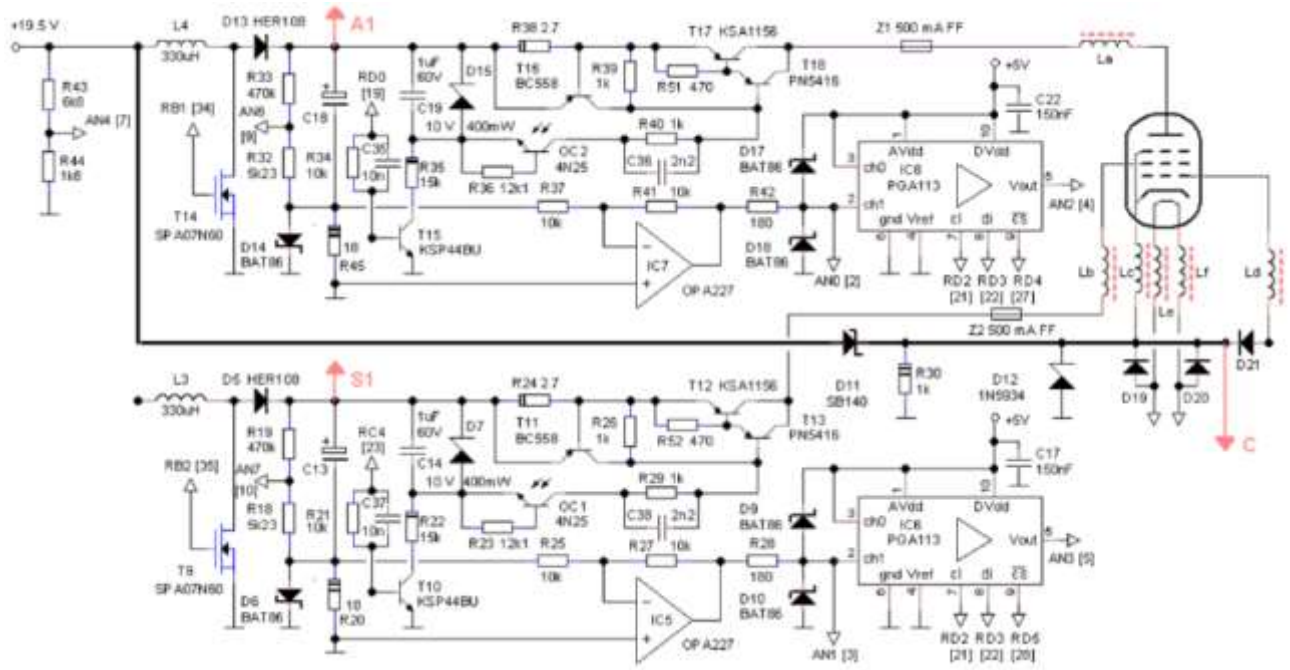


Abbildung 8.16.3 zeigt, wo der Stromkreis 8.16.2 mit dem µTracer verbunden ist

Um den Stromkreis zu betreiben, müssen Sie:

1) die Messung „I (Va = Vs, Vg) mit Vh-Konstante" auswählen.
2) Den Spannungsbereich in den „Start" und "Stop"-Felder eingeben und geben Sie auch die Anzahl der Schritte an. Verwenden Sie als Startwert mindestens 20 V, da der µTracer mit dem hinzugefügten Kondensator Probleme hat, die Spannung für niedrigere Werte zu stabilisieren.
3) Stellen Sie die Anzahl der Durchschnittswerte vorzugsweise auf „keine" ein.
4) Die Werte in den Feldern "Vg" und "Vh" sind irrelevant.
5) Stellen Sie im Feld „Verzögerung" (in Sekunden) die gewünschte Verzögerung zwischen den Spannungsinkrementen ein. Hinweis: In der Standard-GUI-Version ist diese Verzögerung auf 300 Sekunden begrenzt. Um Verzögerungen von bis zu 30.000 Sekunden (ca. 8 Stunden) einzugeben, müssen Sie die Beta-Version GUI 3.12.5 (oder höher) herunterladen und ausführen. Die Installation der Beta-GUI ist sehr einfach. Klicken Sie hier, um sie herunterzuladen und Anweisungen zur Installation zu erhalten.
6) Doppelklicken Sie auf die Messschaltfläche, um den Heizzyklus zu überspringen und den Umformvorgang zu starten.

Auf der µTracer-Website finden Sie eine Beschreibung einer **„Deluxe"-Version xxxvi**, mit der der Strom am Ende jedes Schritts aufgezeichnet werden kann. Dies beinhaltet kleinere Operationen am µTracer selbst.

8.17 – Grid-Loupe

Die Gitterversorgung des µTracer ist nicht ausreichend, um das Verhalten von Röhren bei sehr niedrigen Plattenspannungen zu untersuchen. Die Gitterversorgung des µTracer wurde zur Erzeugung von Vorspannungen im Bereich von -50 bis 0 V ausgelegt und kann keine signifikanten Ströme liefern oder verarbeiten. Bei (sehr) niedrigen Plattenspannungen zeigen die meisten Röhren jedoch erst einen merklichen Anodenstrom für Gittervorspannungen im Bereich von -2 bis 0 V. Außerdem beginnt das Gitter bei niedrigen Plattenspannungen, signifikante Ströme für Gittervorspannungen unter -0,5 V zu ziehen (ich denke, die mathematisch korrekte Art, dies zu sagen, wäre: für Gittervorspannungen über -0,5 V.). Der Grund ist, dass bei niedrigen Plattenspannungen weniger Elektronen zur Platte gezogen werden, so dass sie zum Gitterstrom beitragen können. Wie bereits erwähnt, war die Gittervorspannungsversorgung des µTracer niemals darauf ausgelegt, erhebliche Strommengen zu liefern, was zu Messartefakten führte. Schließlich könnten Personen, die an der Verwendung von Röhren bei sehr niedrigen Plattenspannungen interessiert sind, an den Eigenschaften von Röhren mit leicht positiven Gittervorspannungen interessiert sein, da es den Anschein hat, dass abgesehen von der Tatsache, dass das Gitter anfängt, signifikante Gitterströme zu ziehen, die Haupteigenschaften der Röhre - einschließlich des speziellen „Röhrensounds" - erhalten bleiben. Die Idee entstand, eine kleine Adapterschaltung - eine Gitterlupe - zu entwerfen, um Röhren bei niedrigen und sogar positiven Gittervorspannungen zu untersuchen.

Die Wunschliste für die „Grid-Loupe" lautet:

- Genaue Gitterspannungserzeugung von -10 V bis +5 V
- Kann mehrere zehn mA liefern oder verarbeiten.
- Überwachung des Gitterstroms.
- Als Erweiterung der vorhandenen µTracer3 + -Hardware (und GUI)
- So einfach wie möglich

Einzelheiten zum Erstellen der **Grid Loupe-Option xxxvii** finden Sie auf der µTracer-Website.

8.18 - Transistorkurven-Tracer

Wie sich herausstellt, ist es überraschend einfach, den µTracer in einen Transistorkurven-Tracer umzuwandeln! In seiner einfachsten Form braucht es wirklich nicht mehr als ein paar Widerstände und ein paar Testclips. Abbildung 10.1 zeigt das Prinzip, nach dem npn-Bipolare, N-Kanal-MOSFETs und n-Kanal-JFETs an den µTracer angeschlossen und vermessen werden können.

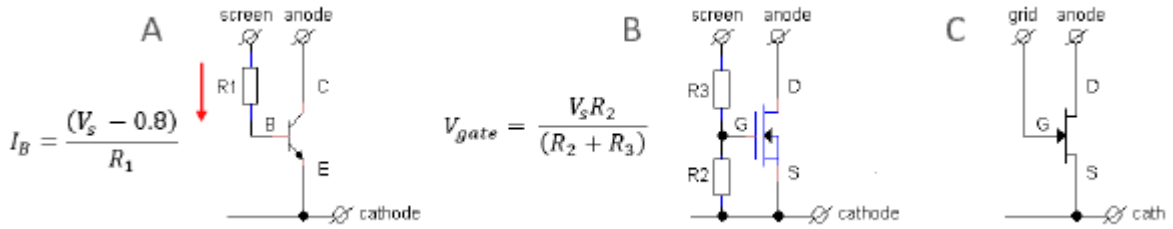


Abbildung 8.18.1 Einige einfache Widerstände verwandeln den µTracer in einen Transistortester.

Bipolartransistoren sind Stromverstärker. Die Basis des Transistors wird mit einem Strom versorgt, und infolgedessen fließt ein größerer Kollektorstrom. Das Verhältnis zwischen dem Kollektor und dem Basisstrom wird als Gleichstromverstärkung oder Beta oder hFE bezeichnet. Die Netzversorgung des µTracer ist überhaupt nicht geeignet, um die Basis von Bipolartransistoren anzusteuern. Zunächst werden negative Spannungen und dann wieder Ströme nahe Null erzeugt. Es stellt sich jedoch heraus, dass es recht einfach ist, die Schirmversorgung in eine (nahezu ideale) programmierbare Stromquelle umzuwandeln, mit der die Basis von npn-Transistoren angesteuert werden kann. Das einzige, was benötigt wird, ist ein Widerstand! Abbildung 10.1A zeigt das Prinzip, bei dem die Emitter-Basis-Spannung eines Silizium-Bipolartransistors zwischen 0,7 und 1,0 V nahezu konstant ist. Mit einem einfachen Widerstand kann nun eine Schirmspannung in einen Basisstrom umgewandelt werden. Wenn wir die Schirmversorgung auf eine Reihe von nicht zu kleine Spannungen programmieren, dann wird die Emitter-Basis-Spannungsänderung vernachlässigbar sein, so dass der Basisstrom Ib = (Vs-0,8) / R ist. Wenn Vs >> 0,8 V ist, kann dies zu Ib = Vs / R vereinfacht werden.

Das Testen von n-Kanal-MOSFETs ist ebenso einfach. Wir verwenden wieder die nicht genutzte Schirmversorgung, um positive Gatespannungen zu erzeugen. Um die Genauigkeit der Gate-Spannung zu erhöhen, wird ein Spannungsteiler verwendet, um die Schirmspannung um den Faktor 10 zu reduzieren, so dass der Schirm-Spannungsbereich von 0 bis 200 V zu einem praktischen Gate-Spannungsbereich von 0 bis 20 V führt Der Gate-Strom ist Null, ein einfacher ohmscher Spannungsteiler ist in Ordnung. Das einzige, was berücksichtigt werden muss, ist, dass die Impedanz des Spannungsteilers niedrig genug ist, um die Gatekapazität innerhalb des 1-ms-Messimpulses gut aufzuladen. Das Messen von n-Kanal-JFETs ist noch einfacher. In diesem Fall kann die Gittervorspannung des µTracers direkt verwendet werden, um das Gate des FET anzusteuern.

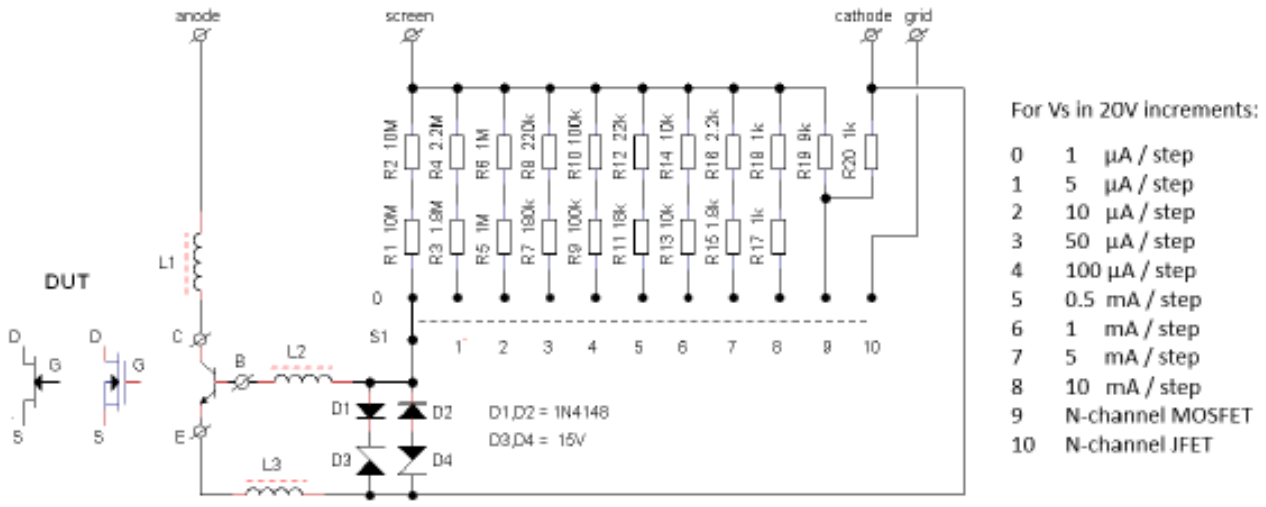


Abbildung 8.18.2 Beispiel einer Implementierung des Transistoradaptermoduls.

Das Konzept führt zu einer einfachen Schaltung, die die meisten Menschen nach einem Sprung in ihre Junk-Box kostenlos bauen können. In meinem Fall hatte ich das Glück, einen Drehschalter mit 11 Positionen zu finden (eigentlich 12, aber den letzten habe ich nicht verwendet). Mit den Positionen 0 bis 8 des Drehschalters wird der gewünschte Basisstrombereich ausgewählt. Weitere Informationen zur Auswahl der Widerstände R1 bis R18 und zu den Basisstrombereichen finden Sie am Ende dieses Abschnitts. Position 9 des Drehschalters ist für die Charakterisierung von MOSFETs reserviert. Der aus R19 und R20 bestehende Widerstandsteiler reduziert die Schirmspannung um den Faktor 10, bevor sie an das Gate des Transistors angelegt wird. Der ungerade Wert von 9k wird übrigens erhalten, indem ein 10k-, 100k- und 1M-Widerstand parallel geschaltet wird. Position 10 des Drehschalters ist für n-Kanal-JFETs reserviert. In diesem Fall ist die negative Gitterspannung direkt mit dem Gate des FET verbunden. Die meisten gängigen (Leistungs-) MOSFETs, die ich kenne, haben eine maximal zulässige Gate-Spannung von +/- 20V. Um sicherzustellen, dass im Fehlerfall das Gate des zu testenden MOSFET immer geschützt ist, habe ich D1-D4 eingefügt. Diese winzige Schaltung klemmt die maximale Gate-Source-Spannung auf +/- 15 V (ich habe mich nicht darum gekümmert, sie zu implementieren).

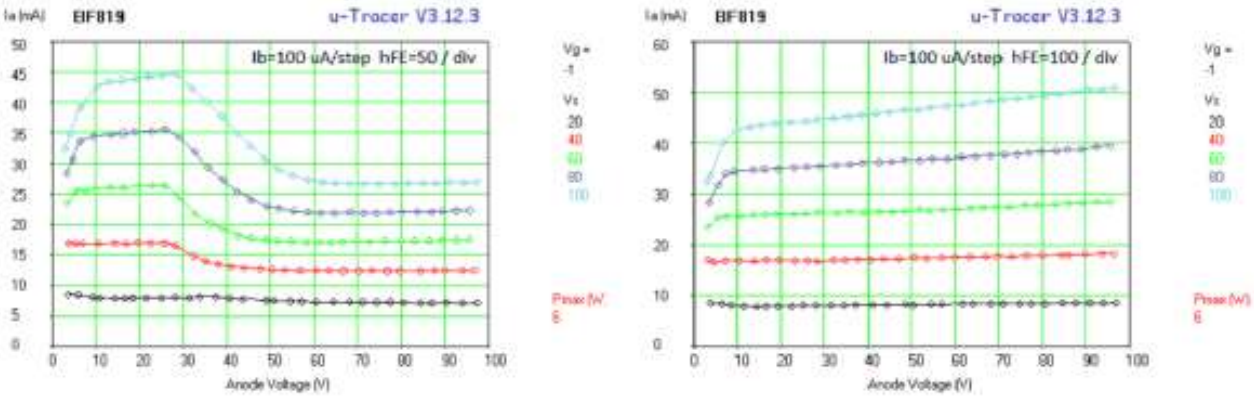


Abbildung 8.18.3 Linkes, typisches Ergebnis, wenn der Transistor in einem bestimmten Vorspannungsbereich schwingt. In diesem Fall gibt der µTracer häufig auch Compliance-Fehler aus. Richtig, der Transistor könnte mit ein paar einfachen RFI-Ferrithülsen zum Schweigen gebracht werden.

Die Adapterschaltung erwies sich als ziemlich anfällig für Schwingungen. Oszillationen sind ein häufiges Problem bei Transistorkurven-Tracern (lesen Sie mehr [MEHR hier] xxxviii). Abbildung 8.18.3 zeigt eine Spur eines BF819, eines 90-MHz-fT-250-V-Leitungstreibertransistors, der in Farbfernsehern verwendet wurde. Die linke Kurve in Abb. 8.18.3 zeigt ein unregelmäßiges Verhalten bei mittleren Strömen. Bei hohen Strömen sehen die Kurven normal aus. Was passiert ist, dass für die mittleren Ströme der Transistor für maximale fT vorgespannt ist und dazu neigt, zu schwingen. Bei höheren Strömen wird der Transistor in eine (Quasi) Sättigung getrieben, was zu einer starken Abnahme von fT führt und infolgedessen die Schwingungen nachlassen. Einige Ferrit-RFI-Hülsen in den Leitungen zum Transistor reichten aus, um die Schwingungen zu stoppen (Abb. 8.18.3 rechts).

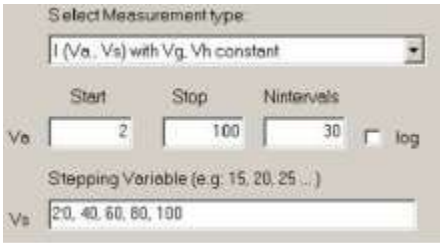
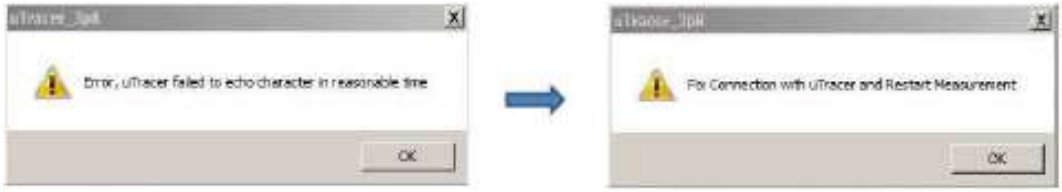


Abbildung 8.18.4 Zur Messung eines Satzes von bipolaren oder n-Kanal-MOSFET-Ausgangskurven wird der Messtyp I (Va, Vs) ausgewählt.

9 – Hardware Troubleshooting

Was sind die Symptome, dass etwas nicht stimmt? Das häufigste Symptom dafür, dass etwas nicht stimmt, ist das bei einer neuen Messung die GUI ein oder zwei Punkte zeichnet und dann eine Zeitüberschreitungsmeldung anzeigt, gefolgt von einer Meldung, dass ein Kommunikationsproblem vorliegt. In diesem Fall ist der Hochspannungsschalter wahrscheinlich beschädigt und leitet kontinuierlich.



In Fällen, in denen der Hochspannungsschalter weniger stark beschädigt wurde, werden sehr seltsame Kurven erzeugt, die manchmal sogar „zurückklappen" können.

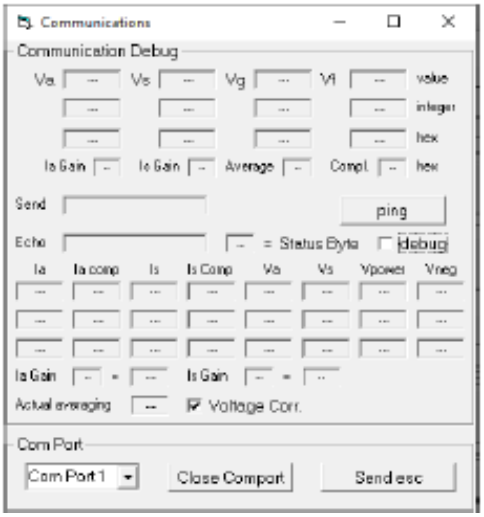
Systematisches Testen:

Wenn Sie den Verdacht haben, dass mit den Hochspannungsquellen etwas nicht stimmt, können einige einfache Tests durchgeführt werden, um das Problem zu lokalisieren. Die einzige Ausrüstung, die benötigt wird, ist ein digitales Voltmeter (DVM) plus zwei 100k Widerstände, zwei 10k-Widerstände und einige Testclips. Es ist am besten, die Tests in der unten beschriebenen Reihenfolge durchzuführen und gegebenenfalls die resultierenden Diagramme aus jedem Test zu speichern, damit sie bei Bedarf per E-Mail gesendet werden können. Sofern nicht anders angegeben, ist das Minuskabel des DVM mit Masse verbunden (die negative Seite der Versorgungsspannung des µTracer).

Warnung: Es werden hohe Spannungen erzeugt und gemessen. Stellen Sie bei jedem Test sicher, dass die HV-LED aus ist, bevor Sie etwas anschließen, entfernen oder sogar berühren!

Schritt 1: Isolieren der µTracer-Platine Trennen Sie das Röhrenfassungen-Array vom µTracer, damit die Klemmen für Kathode, Gitter, Schirmgitter und Anode an nichts angeschlossen sind. Wenn eine Patchkabel-Verbindungstechnik verwendet wird, entfernen Sie einfach alle Patchkabel von den µTracer-Anschlüssen. Andernfalls trennen Sie die Sockel-Array-Kabel an den Schraubklemmen A, S, C und G.

Schritt 2: Stellen Sie sicher, dass die CPU noch aktiv ist. Starten Sie die GUI und die Hardware neu. Öffnen Sie das Debug-Fenster und drücken Sie die Ping-Taste. Wenn die CPU antwortet, kann man sicher schließen, dass der PIC funktioniert. Lesen Sie die Werte in der dritten Zeile unter Vpower und Vneg im Debug-Formular aus. Vpower sollte der Versorgungsspannung entsprechen und Vneg sollte ungefähr -40 V betragen (siehe Abbildung unten).



Schritt 3: Testen Sie die Gittervorspannungsschaltung. In den Schritten 3 bis 6 wird die Hardware durch Ausführen einer Messsequenz trainiert, in der die Anoden- und Schirmspannungen mit einer Schrittgittervorspannung gewobbelt werden.

Um die Messung einzurichten, wählen Sie den Messtyp: I (Va = Vs, Vg) mit Vh-Konstante

Stellen Sie die Anoden- und Schirmspannungen so ein, dass sie in 4 Intervallen von 2 auf 200 V übergehen, und definieren Sie die Gittervorspannungsschritte 0, -20 und -40. Stellen Sie die Plot-Steuerelemente so ein, dass der Anodenstrom auf der linken Achse, der Bildschirmstrom auf der rechten Achse und die Skalierungssteuerelemente auf „Track" oder „Auto" angezeigt werden. Zum späteren Nachschlagen kann dieser Testaufbau unter einem geeigneten Namen wie „System Check" gespeichert werden.

Verwenden Sie Messclips und stellen Sie sicher, dass die HV-LED nicht leuchtet, bevor Sie etwas berühren.

Verbinden Sie das Minuskabel des Voltmeters mit dem Kathodenanschluss und das Pluskabel mit dem Gitteranschluss. Drücken Sie zweimal auf „Heater On" und „Measure Curve", um die Messsequenz auszuführen, und überprüfen Sie, ob die angegebenen Gittervorspannungen erzeugt wurden.

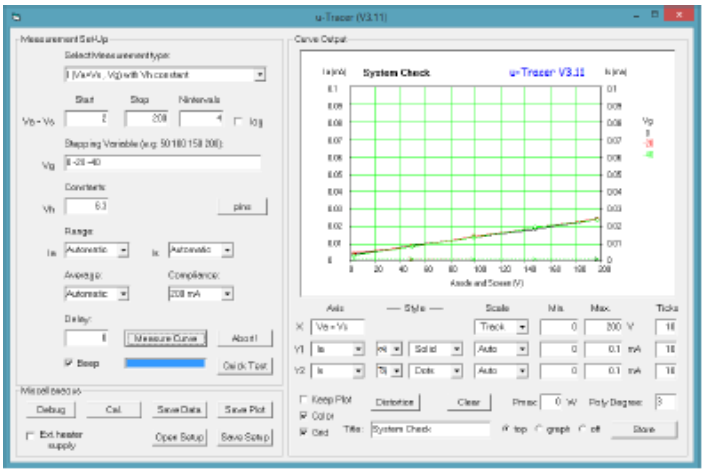
Wenn die Gittervorspannung fehlerhaft ist oder nicht auftritt, überprüfen Sie die „rohe" negative Versorgungsspannung, um festzustellen, ob sie ungefähr -40 V beträgt. Diese Spannung befindet sich am negativen Ende von R4 (47 k) Ende, das dem vertikal montierten 1000 uF-Radialkondensator C1 am nächsten liegt. Überprüfen Sie auch die geregelte negative Versorgungsspannung, um festzustellen, ob sie -15 V beträgt. Diese Spannung befindet sich am negativen Ende von R7 (120 Ohm), dem Ende, das am weitesten vom 1000-uF-Radialkondensator C1 entfernt ist. Diese Komponenten befinden sich alle in der Nähe von IC1, dem Spannungsregler LM337 mit dem daran angebrachten Kühlkörper. Diese Messungen zeigen deutlich an, welcher Teil der Gittervorspannungsschaltung fehlerhaft funktioniert.

Schritt 4: Testen der Aufwärtswandler. Schließen Sie das Voltmeter an die Anode (die positive Leitung) des 100-uF-AnodenSpeicherkondensators C18 an. Führen Sie die Messsequenz durch und stellen Sie sicher, dass der Kondensator für jeden Gitterspannungsschritt ordnungsgemäß auf ~ 220 V (die eingestellte Spannung plus die Versorgungsspannung) geladen ist.

Das Plot-Fenster sollte lineare Reaktionen (gerade Linien) mit in Schritten von ~ 50 V bis ~ 200 V ansteigenden Spannungen und einem sehr niedrigen Strom (<< 0,01 mA) für den Aufwärtswandler anzeigen, der nicht vom DVM gemessen wird. Der gemessene Hochsetzsteller zeigt abhängig von der Eingangsimpedanz des DVM einen höheren Strom (~ 0,05 mA) an. Überprüfen Sie in ähnlicher Weise den Schirmverstärkungswandler, indem Sie das Voltmeter an die positive Leitung des Schirmspeicherkondensators C13 anschließen.

Hinweis: Wenn ein Schalter für den kontinuierlichen Modus enthalten ist, der die Speicherkondensatoren direkt mit den Schalttafelanschlüssen für Anode und Bildschirm verbindet, können diese Messungen an den Schalttafelanschlüssen durchgeführt werden. Wählen Sie den kontinuierlichen Modus und schließen Sie das DVM zuerst an die Anoden- und Kathodenanschlüsse und dann an die Bildschirm- und Kathodenanschlüsse an. In diesem Fall sollte die am DVM beobachtete maximale Spannung ~ 200 V (die eingestellte Spannung) betragen.

Schritt 5: Testen Sie den Strommesskreis. Da die Aufwärtswandler einige Milliampere Strom erzeugen können, können sie einen 100-k-Widerstand im kontinuierlichen Modus direkt ansteuern. Auf diese Weise kann der Strommesskreis ohne Verwendung der Hochspannungsschalter getestet werden.

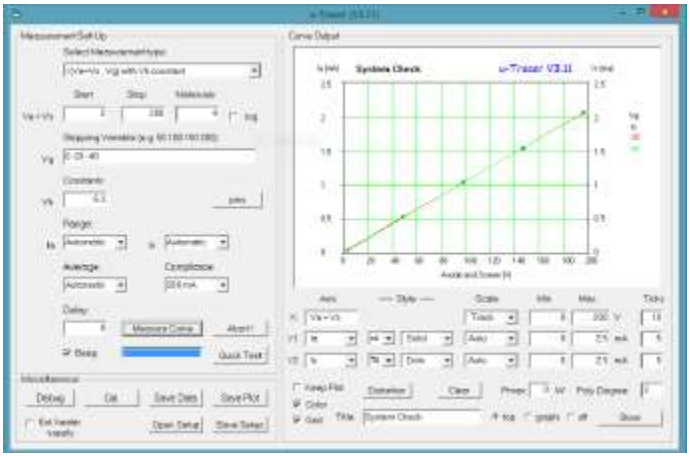


Schließen Sie 100 k-Widerstände von den Anoden (positiven Leitungen) der 100 uF-Speicherkondensatoren C18 und C13 an Masse an und wiederholen Sie die Messsequenz. Dieser Test sollte eine lineare Reaktion sowohl im Bildschirm als auch im Anodenstrom von ~ 0 bis ~ 2 mA erzeugen.

Wenn einer der Ströme deutlich unter 2 mA liegt, ist höchstwahrscheinlich die BAT86-Diode D14 (Anodenabschnitt) oder die BAT86-Diode D6 (Schirmabschnitt) ausgefallen und leckt oder ist kurzgeschlossen.

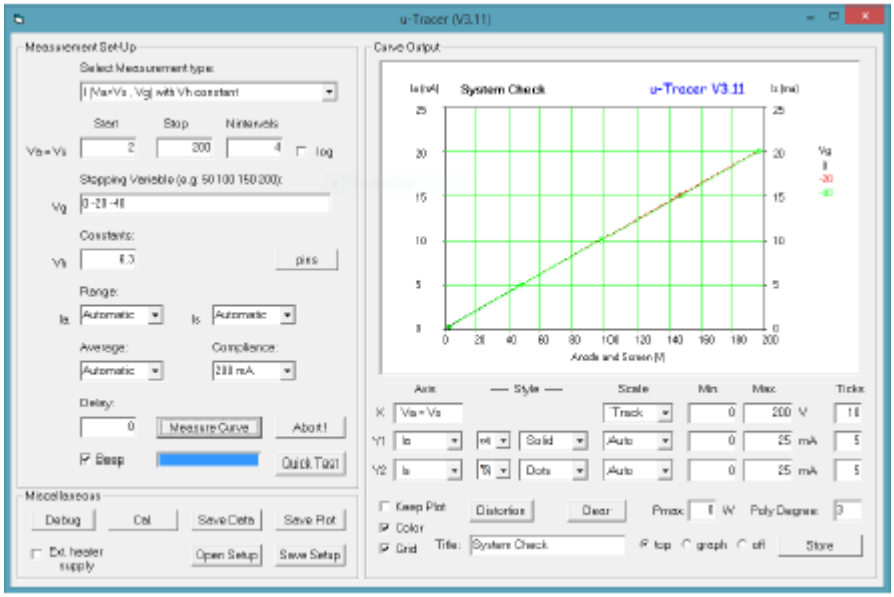
Wenn ein Schalter für den kontinuierlichen Modus enthalten ist, wählen Sie den kontinuierlichen Modus und verbinden Sie die beiden 100-k-Widerstände mit den Panel-Anschlüssen, von der Anode über die Bildschirmanschlüsse bis zur Kathode.

Schritt 6: Testen Sie die Hochspannungsschalter. Schließen Sie 10-k-Widerstände zwischen den Anoden- und Kathodenanschlüssen und den Schirm- und Kathodenanschlüssen an und wiederholen Sie die Messsequenz. Wenn die Schalter ordnungsgemäß funktionieren, führt der Sweep zu linearen Stromantworten von ~ 0 bis 20 mA.



Wenn ein Schalter für den kontinuierlichen Modus enthalten ist, können die Bedienfeldanschlüsse verwendet werden. Wählen Sie jedoch den Modus „Normal" (gepulst), bevor Sie die Messsequenz starten.

Wenn die Antwort nicht wie erwartet ist, gibt es zwei Möglichkeiten:



Eine besteht darin, dass der Schalter vollständig defekt ist (Kurzschluss). In diesem Fall kann die GUI einen oder zwei Punkte zeichnen und dann den Fehler "Timeout" und "Verbindung" zurückgeben wie oben schon beschrieben. Der Aufwärtswandler versucht, den Speicherkondensator auf die angegebene Spannung aufzuladen, aber ein signifikanter Leckpfad ermöglicht es der Ladung, schneller abzusickern, als sie wieder aufgefüllt werden kann, und die Sollspannung kann nicht erreicht werden. Einige Sekunden nachdem die GUI den Befehl zum Laden des Kondensators auf eine bestimmte Spannung ausgegeben hat, wird festgestellt, dass der PIC-Prozessor keine Messung zurückgegeben hat. Daraufhin wird der Schluss gezogen, dass etwas nicht stimmt, und es wird eine Fehlermeldung ausgegeben, die besagt, dass die µTracer-Hardware nicht in angemessener Zeit reagiert hat. Schließlich wird der Schluss gezogen, dass auf die eine oder andere Weise die Kommunikation mit dem µTracer unterbrochen wurde, in diesem Fall, weil der µTracer auf das Laden des Kondensators gewartet hat.

Die zweite Möglichkeit besteht darin, dass der Hochspannungsschalter nicht vollständig defekt ist. Die Messsequenz kann vollständig ausgeführt werden, das Ergebnis sind jedoch seltsam aussehende Kurven.

In beiden Fällen wird empfohlen, T16, T17 und T18 (die Anodenschaltertransistoren) und / oder T11, T12 und T13 (die Schirmschaltertransistoren) zu ersetzen, wie durch die Prüfung angegeben. Es ist möglich, dass nicht alle Transistoren in einem Schalter beschädigt sind, aber es ist im Allgemeinen schwieriger herauszufinden, welche ausgefallen sind, als sie einfach alle auszutauschen.

Verweise und Links:

[i] http://dos4ever.com/uTracerlog/tubetester2.html#bias
[ii] http://dos4ever.com/uTracerNotebook/Notebook.html#uTracerLV1
[iii] http://dos4ever.com/uTracerNotebook/Notebook.html#grid2
[iv] http://dos4ever.com/uTracerNotebook/Notebook.html#Former
[v] http://dos4ever.com/uTracerNotebook/Notebook.html#Current1
[vi] http://youtu.be/0xAO-PUcQbs
[vii] http://youtu.be/MU0lEq5u3Ro
[viii] http://youtu.be/JLY931P5L1w
[ix] http://youtu.be/RsF4z73PaKQ
[x] https://www.dos4ever.com/uTracerlog/tubetester2.html#more27
[xi] https://www.dos4ever.com/uTracerlog/tubetester2.html#more25
[xii] http://dos4ever.com/uTracer3/uTracer3_pag12.html#FAQ5
[xiii] https://www.dos4ever.com/uTracer3/uTracer3_pag10.html
[xiv] http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=1onusMPwOkk
[xv] https://www.dos4ever.com/uTracerlog/tubetester2.html#more22
[xvi] https://www.dos4ever.com/uTracerlog/tubetester2.html#more22
[xvii] http://dos4ever.com/uTracerlog/tubetester.html#fil1
[xviii] http://www.diyaudio.com/forums/tubes-valves/227013-utracer.html
[xix] http://ijl.fi/utracer.html
[xx] http://www.dos4ever.com/uTracerlog/tubetester2.html#highv
[xxi] http://dos4ever.com/uTracerlog/tubetester2.html#heater
[xxii] https://www.dos4ever.com/uTracer3/uTracer3_pag5.html#grid
[xxiii] https://www.dos4ever.com/uTracer3/uTracer_cal.pdf
[xxiv] https://www.dos4ever.com/uTracer3/ultralin.pdf
[xxv] https://www.dos4ever.com/uTracer3/ultralin.pdf
[xxvi] https://www.dos4ever.com/uTracer3/ultralin.pdf
[xxvii] http://basaudio.net/blog/wp-content/uploads/2013/01/19400164-Mullard-Circuits-for-Audio-Amplifiers.pdf
[xxviii] https://www.dos4ever.com/uTracer3/Schade.pdf
[xxix] http://dos4ever.com/uTracer3/uTracer3_pag14.html
[xxx] http://www.linear.com/designtools/software/
[xxxi] http://diyaudioprojects.com/mirror/members.aol.com/sbench102/po-dis.html
[xxxii] https://www.dos4ever.com/uTracer3/Reich.pdf
[xxxiii] http://www.audio-talk.co.uk/phpBB2/viewtopic.php?t=4979&postdays=0&postorder=asc&start=60
[xxxiv] http://www.dos4ever.com/uTracerlog/tubetester2.html#highv
[xxxv] http://www.dos4ever.com/uTracerlog/tubetester2.html#range
[xxxvi] https://www.dos4ever.com/uTracerNotebook/Notebook.html#Former
[xxxvii] https://www.dos4ever.com/uTracerNotebook/Notebook.html#grid2
[xxxviii] https://www.microwaves101.com/encyclopedias/controlling-curve-tracer-oscillations