

Röhrenkennlinien aufnehmen mit dem PC

Wer Röhren erwirbt, kauft sehr leicht die Katze im Sack. Die Streuungen sind erheblich, nicht nur bei solchen von unterschiedlichen Herstellern, sondern durchaus auch zwischen verschiedenen Exemplaren vom selben Hersteller. Wer die Kennlinien nachmisst, findet häufig überraschende Abweichungen von den veröffentlichten Datenblättern. Die hier beschriebene halb automatische Messvorrichtung kann die Selektion wesentlich beschleunigen.

Dipl.-Phys. Helmuth Lemme

Wie oft ist das schon passiert: Man tauscht bei einem Verstärker eine Röhre aus, und anschließend klingt er anders. Die Ursache ist, dass die neue Röhre eine andere Kennlinie hat als die alte. Eigentlich sollte so etwas nicht vorkommen, aber grau ist alle Theorie. In den Datenbüchern sind die schönsten Zahlen und Kurven abgedruckt, aber wenn man diese überprüft, kann man sein blaues Wunder erleben. Die Realität liegt oft meilenweit daneben.

Das Messen ist allerdings ein mühsames Geschäft. Bei einer einzelnen Röhre macht man das per Hand. Aber wer nach dieser Methode aus einer größeren Anzahl einen ganz bestimmten Kennlinienverlauf herausselektieren will, kann dabei alt und grau werden. Im Computerzeitalter ist Automatisierung angesagt. Messsysteme zur Kennlinienaufnahme gibt es auch. Solche haben die Anbieter, die selektierte Röhren

im Angebot haben. Die Röhren werden durchgemessen und in Klassen eingeteilt. Teils machen das die Hersteller schon selbst, teils auch Händler, die dann häufig ihren eigenen Stempel auf die Röhre setzen, oder zumindest auf die Schachtel. Hier weiß man dann einigermaßen, was man kauft. Allerdings muss der Kunde die Arbeit gut bezahlen. Je feiner die Klassifikation, desto teurer sind zwangsläufig solche Röhren. Leider rechnet sich ein automatisiertes Messsystem erst bei hohem Durchsatz. Bei kleinen bis mittleren Stückzahlen wäre hier mit Kanonen auf Spatzen geschossen. Man bräuchte zwischen Handarbeit und Hochautomatisierung ein ökonomisches Mittelding. Diese Lücke soll hier geschlossen werden.

Das Herz des Systems ist ein preiswerter Oszilloskopvorsatz für einen PC. Damit verbunden wird eine leicht aufzubauende Messplatine.

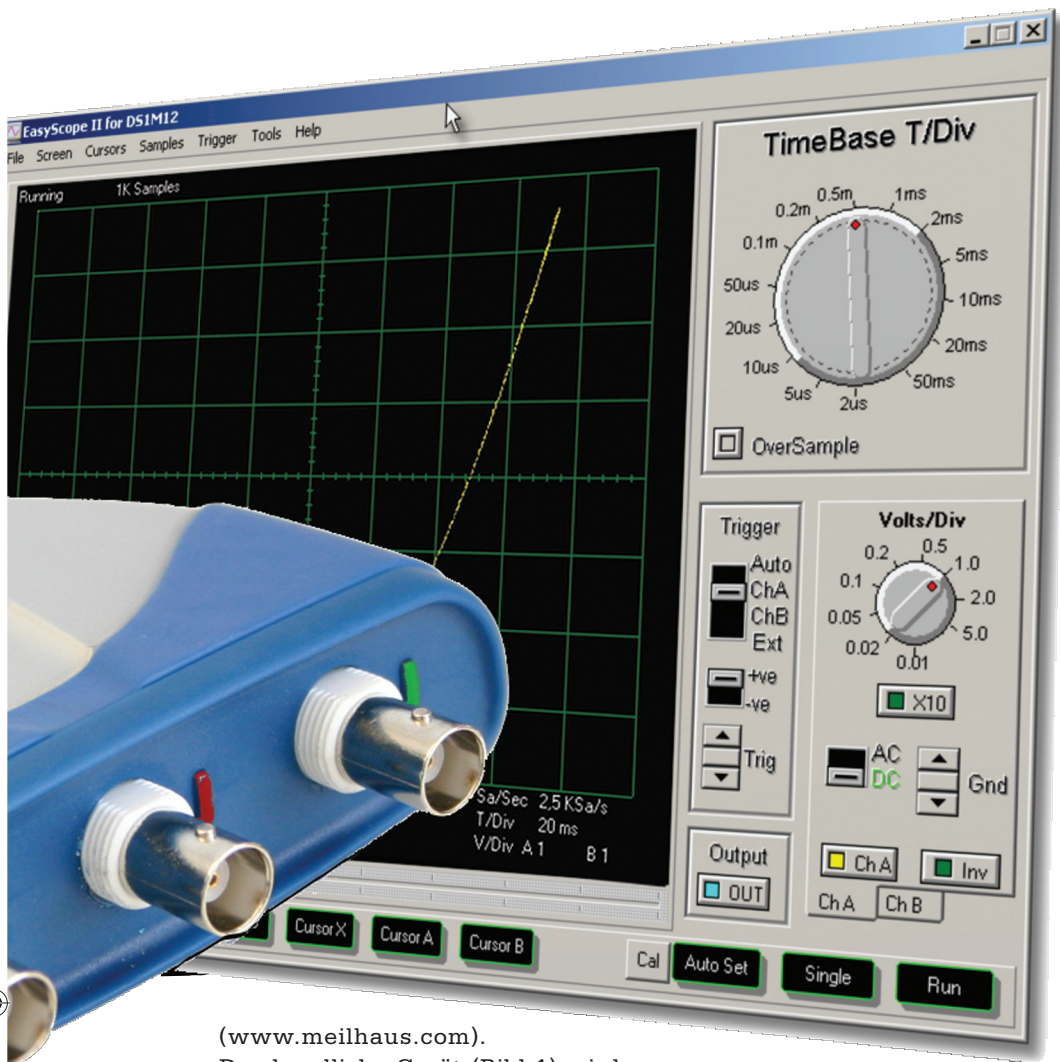
Sie ist so ausgelegt, dass sich zwei verschiedene Kennlinienscharen aufnehmen lassen:

1. Anodenstrom in Abhängigkeit von der Gitterspannung bei verschiedenen festen Anodenspannungen,
2. Anodenstrom in Abhängigkeit von der Anodenspannung bei verschiedenen festen Gitterspannungen.

Gefordert ist, dass die Kurve in wenigen Sekunden auf dem PC-Bildschirm erscheint und anschließend abgespeichert und ausgedruckt werden kann. Außer Trioden und Pentoden sollen auch Gleichrichter- röhren vermessen werden können.

Beim Messvorsatz fiel die Wahl auf den „DS1M12“ von der britischen Firma USB Instruments (www.usb-instruments.com), in Deutschland vertrieben durch die Firma Meilhaus





(www.meilhaus.com).

Das handliche Gerät (Bild 1) wird über einen USB-Anschluss mit dem PC verbunden und darüber auch mit Strom versorgt. An der Vorderseite sitzen drei BNC-Buchsen, die linke und die mittlere sind die beiden Messeingänge A und B, die rechte wird hier nicht benötigt. Die zugehörige Software ist leicht installiert, auf dem Monitor erscheint ein virtuelles Oszilloskop mit den üblichen Bedienungselementen (Bild 2). Die Funktion ist ähnlich wie bei einem

Hardwareoszilloskop, nur dass die Maus die Hand ersetzt. Das am Eingang A aufgenommene Signal wird als gelbe Messkurve dargestellt, das an Eingang B als violette. Links unten befindet sich ein Knopf, mit dem man von dem normalen Zeitbasisbetrieb auf den hier benötigten XY-Betrieb umschalten kann. Kanal A ist dann der Horizontaleingang, B der Vertikaleingang.

Einfache Messschaltung

Um die Kurven in ihrer ganzen Länge durchzufahren, muss man die Spannung am Steuergitter bzw. an der Anode zwischen 0 und dem jeweiligen Maximalwert variieren. Es liegt nahe, dafür einen Gleichspannungsverstärker zu verwenden, der mit einem einzelnen Sägezahnimpuls angesteuert wird. Dies erfordert allerdings hohen Schaltungsaufwand. Bei näherem Hinsehen zeigt sich, dass dieser gar nicht nötig ist. Es geht auch viel einfacher, nämlich über die Entladung eines Kondensators. Es ist für das Messergebnis schließlich egal, ob die Kurve von unten nach oben oder von oben nach unten durchlaufen wird, und auch die Geschwindigkeit spielt keine Rolle. Eine Kondensator-entladung über einen Widerstand verläuft bekanntlich nach einer Exponentialfunktion, also zuerst schnell, dann immer langsamer. Das stört hier nicht, weil die Zeitabhängigkeit bei der XY-Darstellung herausfällt. Mit diesem Trick lässt sich die Messschaltung relativ einfach aufbauen.

Wichtig ist, dass die Kathode während des gesamten Messvorgangs exakt auf Nullpotenzial bleibt. Die Strommessung darf keine Verfälschung verursachen. Ein Widerstand in der Zuleitung, an dem man den Spannungsabfall messen könnte, scheidet deshalb aus. Stattdessen ist die Kathode hier mit dem invertierenden Eingang eines Operationsverstärkers gekoppelt, der über einen Widerstand R1 mit dessen Ausgang verbunden



Bild 1. Macht den PC zum Oszilloskop: der Messvorsatz „DS1M12“ (USB Instruments).

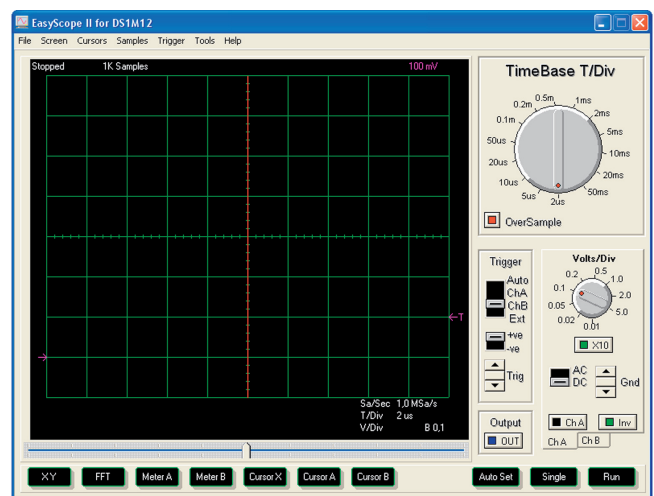


Bild 2. Oszilloskop auf dem Bildschirm (USB Instruments).

ist (Bild 3). Damit liegt sie bei allen Strömen virtuell an Masse. Die am Ausgang gemessene Spannung ist ein präzises Maß für den Strom durch die Röhre, allerdings mit falschem Vorzeichen. Deswegen wird das Messsignal mit einem zweiten Operationsverstärker in Verbindung mit den gleich großen Widerständen R2 und R3 invertiert. An dessen Ausgang wird der Vertikaleingang des Oszilloskopvorsatzes (Kanal B) angeschlossen. Bei z. B. $R1 = 1 \text{ k}\Omega$ entspricht 1 V genau 1 mA, bei 100Ω sind es 10 mA, usw.

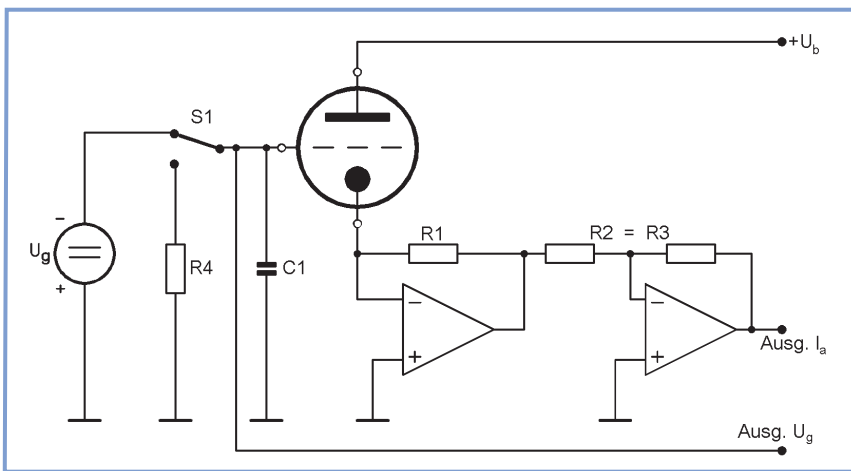


Bild 3. Für Trioden: Messprinzip für den Anodenstrom in Abhängigkeit von der Gitterspannung.

Messungen an Trioden

In der ersten Messreihe wird der Anodenstrom in Abhängigkeit von der Gitterspannung bei fester Anodenspannung vermessen. Das Prinzip ist in Bild 3 dargestellt. Die Anode wird mit einem externen Netzgerät verbunden, das etwa 200 V bis 300 V liefert. Der Kondensator C1, der mit dem Gitter verbunden ist, wird zuerst auf die maximale negative Gitterspannung aufgeladen. Nach Umliegen des Schalters S1 wird er über den Widerstand R4 entladen. An das Gitter wird der X-Eingang des Oszilloskop-Vorsatzes angeschlossen (Kanal A).

Während der Entladung des Kondensators wird die Kennlinie der Röhre durchlaufen und erscheint auf dem Bildschirm. Für den Fall, dass das nicht auf Anhieb klappen sollte, hängt es noch an der Triggereinstellung. Man schaltet dann noch einmal auf Zeitbasis-Betrieb zurück und experimentiert mit der

Schwelle. Ein sinnvoller Wert liegt bei etwa 1 Div. Getriggert wird auf Kanal B mit Einstellung „edge“ (im Menüpunkt „Trigger“), reagierend auf die ansteigende Flanke, hierzu wird der zugehörige Schiebeschalter auf „+ve“ gesetzt. Anschließend schaltet man wieder in den XY-Betrieb. Die Einstellung der Zeitbasis sollte hier theoretisch keine Rolle spielen. In der Praxis tut sie das aber doch, weil im Hintergrund eine zeitdiskrete Abtastung läuft. Die günstigsten Einstellungen sind hier 5 oder 10 ms/Div.

einem üblichen Bildverarbeitungsprogramm noch weiter verschönern, etwa den inneren Bereich invertieren, leere Bereiche abschneiden, die Achsen hervorheben, eine stärkere Linie durch die Punkte ziehen und eventuell (durch Schalterprellungen) mit hineingeratenen „Dreck“ beseitigen. In der Form von Bild 4b macht die Kennlinie dann schon sehr viel mehr her. Bei Bedarf lassen sich hier auch mehrere Kurven – in verschiedenen Farben – in einem Diagramm übereinander legen, um Vergleiche zu erleichtern.

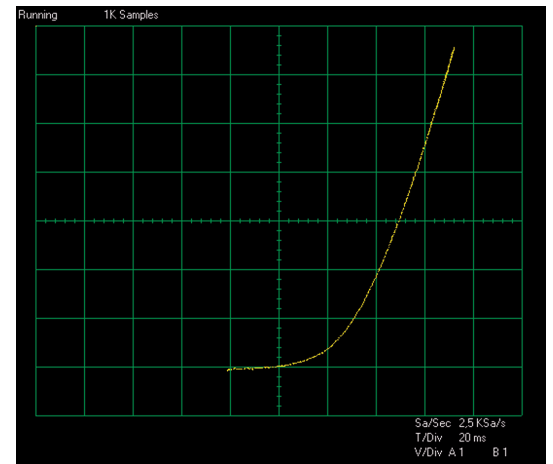


Bild 4a. Triode: I_a in Abhängigkeit von U_g (ECC83, $U_b = 300 \text{ V}$, U_g von -5 V auf 0 V entladen).

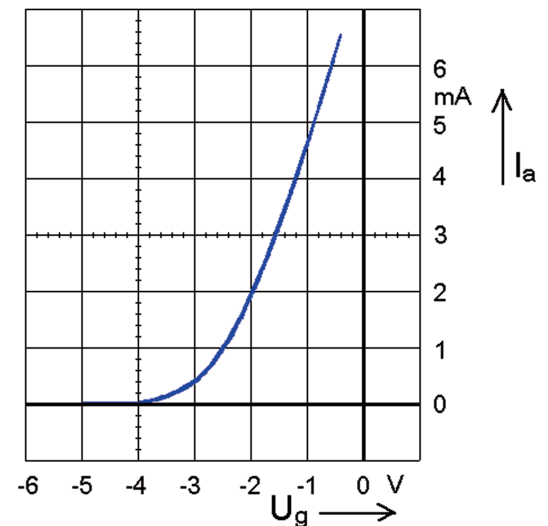


Bild 4b.

- a) Rohform und
- b) mit Bildverarbeitungsprogramm verschönert.

Ein typisches Messergebnis an einer ECC83 zeigt Bild 4a. Über den Menüpunkt „Screen“ im Programm lässt sich das Bild als bmp-Datei mit einer Auflösung von 545 x 473 Pixel abspeichern (505 KByte). Es ist zunächst noch „nackt“; man kopiert es zweckmäßigerweise in ein neues Bild mit z. B. 640 x 480 Pixeln, damit man Platz für die Zahlen an X- und Y-Achse hat. Wer viel Zeit hat, kann es dann mit

Die zweite Messreihe untersucht den Anodenstrom in Abhängigkeit von der Anodenspannung bei verschiedenen festen Gitterspannungen. Hierzu dient die Schaltung nach Bild 5. Der Kondensator C2 wird zuerst auf die maximale Messspannung aufgeladen

den, z. B. 300 V aus dem Netzgerät. Der Trigger-Schiebeschalter muss hier auf „-ve“ umgeschaltet werden. Zum Messen wird der Taster gedrückt; wenn die Verbindung unterbrochen ist, entlädt sich der Kondensator über die Röhre. Parallel liegt ein Spannungsteiler mit einem Teilverhältnis von z. B. 100:1, hier wird das Messsignal für die X-Achse abgenommen und dem Messeingang A zugeführt. Der Stromessteil bleibt unverändert. Den Nullpunkt des Koordinatensystems setzt man jetzt nach links unten, dazu verschiebt man den Offset von Kanal A auf „+4 Div.“; der von Kanal B bleibt auf „-3 Div.“. Die Zeitbasis ist unverändert 5 oder 10 ms/Div. Die so aufgenommenen Rohkurven kann man dann auch wieder abspeichern und verschönern. In Bild 6 sind die Messungen bei verschiedenen Gitterspannungen zusammenmontiert.

Operationsverstärker OPV1 verkraftet, ist dessen Ausgang hier um einen PNP-Transistor verstärkt. Das Spannungsregler-IC LM337 wird mit dem Trimpoti auf genau 8 V Ausgangsspannung eingestellt. Mit dem Drehschalter S3 kann man dann die Gitterspannung in stabilisierten 1-Volt-Schritten wählen. Damit eignet sich die Schaltung für die Röhrentypen ECC83 (12AX7, 7025, 5751) und ECC81 (12AT7). Bei der seltener verwendeten ECC82 (12AU7) braucht man Gitterspannungen bis -20 V, hier muss man den LM337 auf eine andere Ausgangsspannung einstellen, beispielsweise auf -25 V (dann separat versorgt), bei noch anderen Trioden nach Bedarf. Bei Doppeltrioden müssen unbedingt beide Systeme (Pins 1-2-3 und 6-7-8) vermessen werden, denn die Unterschiede können beträchtlich sein.

Messungen an Pentoden

Bei Pentoden werden die Messungen wegen der zwei zusätzlichen Elektroden komplizierter. Damit die Untersuchungen nicht ausufern, sind hier nur Betriebsweisen betrachtet, bei denen das Bremsgitter mit der Kathode verbunden ist. Die EL34 würde auch andere Schaltungen zulassen, die meisten anderen Typen wegen der festen inneren Verbindung mit der Kathode jedoch nicht. Einige Röhren, die im normalen Sprachgebrauch als Pentoden bezeichnet werden, sind genau genommen keine, sondern vielmehr „Beampower-Tetroden“. Dazu zählen z. B. die 6L6GC, KT 88, 6V6 u. ä. Das Verhalten hat aber große Ähnlichkeit mit Pentoden, so dass diese Unkorrektheit tolerierbar ist. Hier hat das Strahlformungsblech letztlich eine ähnliche Funktion wie das Bremsgitter in echten Pentoden. Das Schirmgitter wird meist über einen Widerstand in der Größenordnung von 1 k Ω auf Anodenruhepotenzial oder etwas darunter gelegt. Im regulären Betrieb fließt hier nur ein kleiner Teil der von der Kathode emittierten Elektronen ab.

Der genutzte Bereich der Gitterspannung ist hier anders als bei den Trioden. Es werden sehr viel höhere negative Werte benötigt, bis etwa -50 V. Dafür darf der Wert 0 V niemals erreicht werden, weil sonst der Strom durch die Röhre unzulässig stark würde. Deshalb muss die Schaltung für die Gitteransteuerung in diesem Fall dahin gehend abgeändert werden, dass die Entladung des Konden-

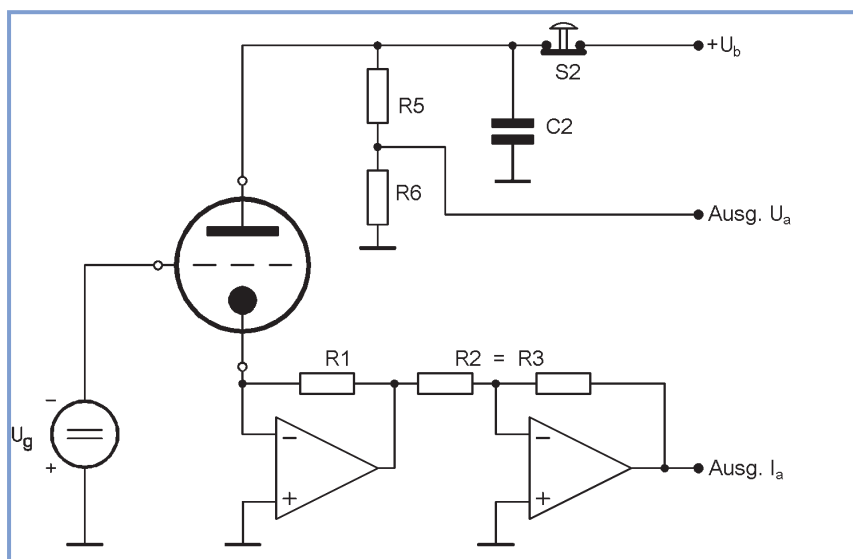


Bild 5. Für Trioden: Messprinzip für den Anodenstrom in Abhängigkeit von der Anodenspannung

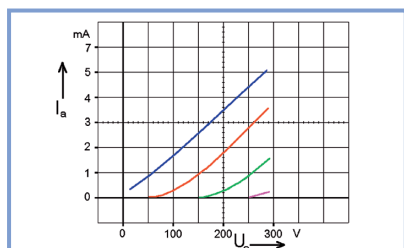


Bild 6. Triode: I_a in Abhängigkeit von U_a . ECC83, blau $U_g = 0$ V, rot $U_g = -1$ V, grün $U_g = -2$ V, violett $U_g = -3$ V.

Wenn man die Trioden-Messschaltung auf einer Platine aufbaut, bietet es sich an, gleich beide Messmöglichkeiten vorzusehen und dann einfach umzuschalten. Bild 7 gibt die Gesamtschaltung wieder. Um auch höhere Ströme messen zu können, als der

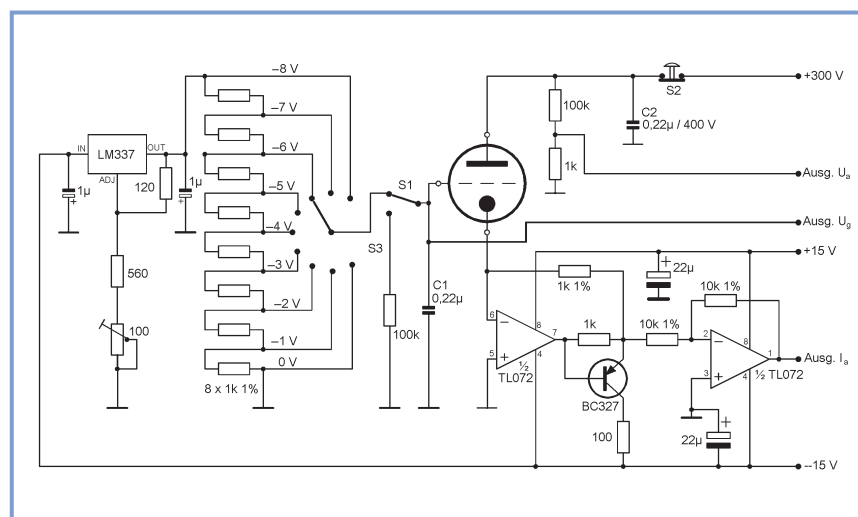


Bild 7. Die vollständige Messschaltung für Trioden.

sators auf einer Mindestspannung stehen bleibt. Die passende Messschaltung ist in Bild 8 gezeigt.

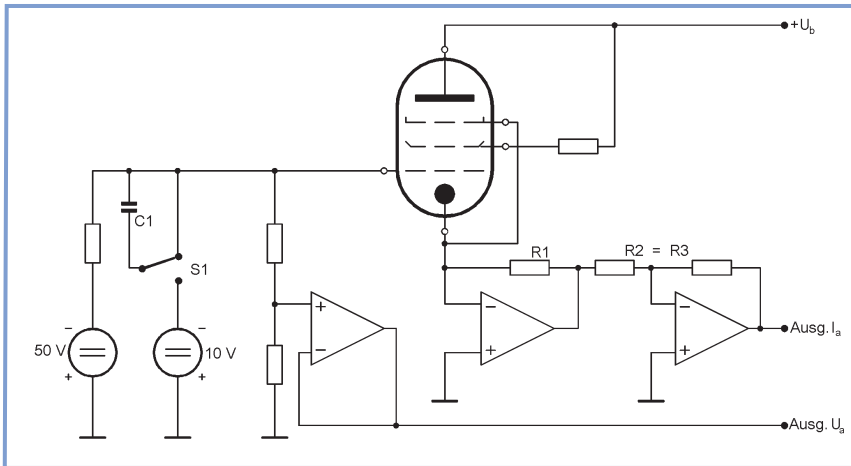


Bild 8. Für Pentoden: Messprinzip für den Gesamtstrom I_{a+g2} in Abhängigkeit von der Gitterspannung U_{g1} bei fester Anodenspannung U_a .

Bei der ersten Messreihe liegt die Anode auf festem Potenzial, je nach Röhrentyp auf etwa 300 bis 500 V, zugeführt aus einem externen Netzteil. Die Gitterspannung liegt im Ruhezustand auf etwa -50 V, wo praktisch jede Pentode sperrt. Zum Start der Messung wird der Drucktaster S1 betätigt. Dadurch kommt die Gitterspannung kurzzeitig bis auf -10 V und steigt dann im Laufe der Aufladung des Kondensators C1 wieder bis auf den Ruhewert an. Der Stromimpuls dauert nur ein paar Millisekunden, dabei ist eine Überlastung der Röhre nicht zu befürchten. Wenn man den Taster loslässt, wird der Kondensator wieder entladen und ist bereit für die nächste Messung. Was man jetzt an der Kathode misst, ist die Summe von Anodenstrom und Schirmgitterstrom. Eine Trennung ist hier nicht möglich. Wenn Anode und Schirmgitter auf gleicher Spannung liegen, fließen beispielsweise bei der EL34 etwa 12 % des Stromes durch das Schirmgitter und 88 % durch die Anode ab. Bild 9 zeigt ein typisches Messergebnis; die ungleichmäßige Dichte der Punkte kommt hier vom exponentiellen Verlauf der Entladung.

Die zweite Messreihe untersucht den Gesamtstrom in Abhängigkeit von der Anodenspannung bei verschiedenen festen Steuergitterspannungen. Dazu dient die Messanordnung von Bild 10. Die Gitterspannung ist mit einem Stufenschalter wählbar, ein sinnvoller Bereich ist -50 bis -10 V mit Stufen von 5 V. Die 50-V-Spannung wird hier

aus einem externen Netzteil zugeführt, die -10-V-Spannung wird auf der Platine mit dem IC LM337 erzeugt. Eigentlich müsste man Anodenstrom und Schirmgitterstrom getrennt messen. Das geht mit dieser Schaltung nicht, weil man den Strom bei hohem Potenzial gegen Masse nicht aufnehmen kann, sondern nur in der Nähe des Nullpotenzials. Somit ergeben sich zwangsläufig Abweichungen von den Kurven in den Datenblättern, in denen beide Ströme separat gemessen worden sind (vor Jahrzehnten mit altväterlichen Drehspulinstrumenten). Zum Vergleich verschiedener Röhren und zur Selektion ist diese Methode aber trotzdem nützlich.

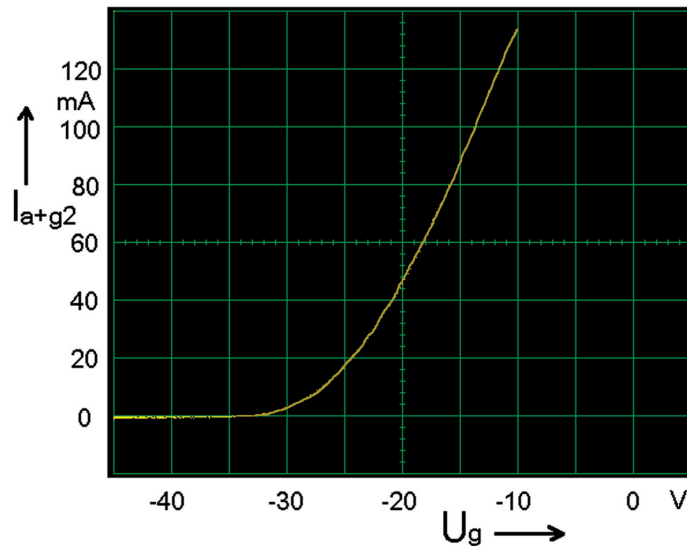


Bild 9. Pentode: I_a in Abhängigkeit von U_{g1} (EL34, $U_a = 300$ V)

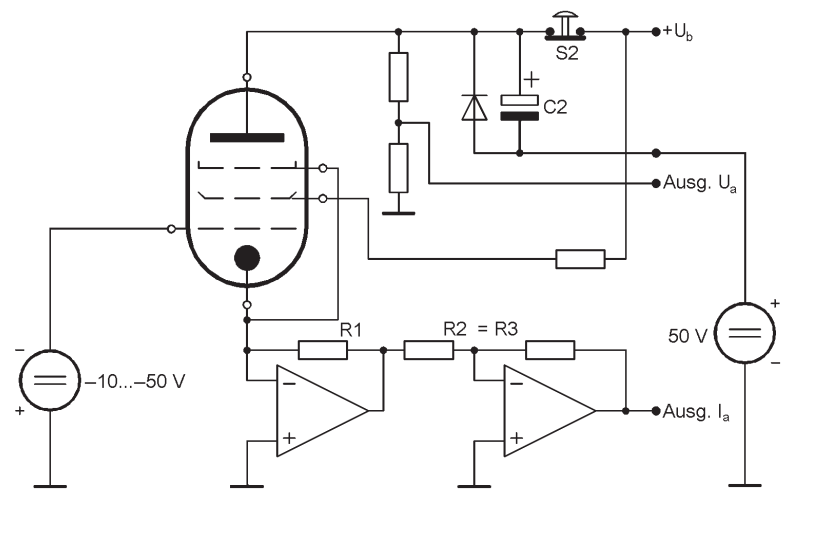


Bild 10. Für Pentoden: Messprinzip für den Gesamtstrom I_{a+g2} in Abhängigkeit von der Anodenspannung U_a bei verschiedenen festen Gitterspannungen.

Wie bei den Trioden wird der Kondensator C2 auf die maximale Anodenspannung aufgeladen und dann über die Anode entladen. Das Schirmgitter muss dabei auf seiner hohen Spannung bleiben. Jetzt taucht ein Problem auf: Wenn die Anodenspannung gegen Null geht, kann durch die Anode kein Strom mehr abfließen. Die Elektronen treten aber weiterhin munter aus der Kathode aus. Weil sie nicht anders können, nehmen sie jetzt den Weg über das Schirmgitter. Das hält aber nicht entfernt so viel Verlustleistung aus wie die Anode, bei der EL34 sind es maximal 8 W, während die Anode 25 W verkraftet. Wird das Schirmgitter überlastet, kommt es ins Glühen. Dabei können sich innere Schweißpunkte der Elektroden lösen. Durch lose Drähte können Kurzschlüsse zwischen verschiedenen Elektroden entstehen und die Röhre ist schlagartig hin. Eine Anodenspannung Null darf also nie auftreten. Die Schaltung wird deshalb so ausgelegt, dass die Entladung nur von der Maximalspannung bis auf eine Grundspannung von etwa 50 V absinkt. Eine Diode schützt den Kondensator vor Falschpolung. Die Triggerung durch den Strom muss hier auf „negativ“ umgeschaltet werden („-ve“). Kritisch ist die richtige Einstellung der Triggerschwelle. Hier muss man unter Umständen erst etwas im Zeitbasis-Betrieb experimentieren, bis es klappt, und dann wieder in den XY-Bereich zurückschalten. Bild 11 zeigt drei Messkurven an einer EL34, die hier in ein gemeinsames Diagramm montiert sind ($U_b = 300\text{ V}$, $U_{g1} = -15\text{ V}$, -20 V , -25 V).

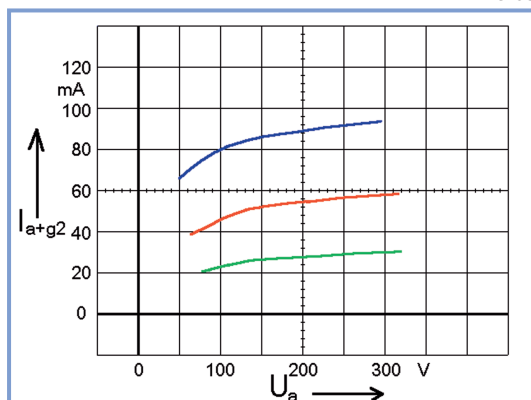


Bild 11. Pentode: I_a in Abhängigkeit von U_a . (EL34, blau $U_{g1} = -15\text{ V}$, rot $U_{g1} = -20\text{ V}$, grün $U_{g1} = -25\text{ V}$).

Soll eine Pentode im Triodenbetrieb untersucht werden, dann wird das Schirmgitter mit der Anode verbunden (mit dem Schalter S5). Die so aufgenommenen Kennlinien verlaufen vollständig anders. In diesem Fall kann man ohne Gefahr mit der Entladung bis auf 0 V heruntergehen, und der Minuspole von C2 kann auf Masse liegen.

Gleichrichterröhren

In hochwertigen HiFi-Verstärkern haben diese Oldtimer nichts verloren. Sie sind aber noch oft in Gitarrenverstärkern zu finden, wo der dadurch hervorgerufene Kompressionseffekt erwünscht ist. Häufig verwendete Typen sind z. B. EZ81, GZ34 (= 5AR4) und 5U4. Eine Messschaltung für diese Röh-

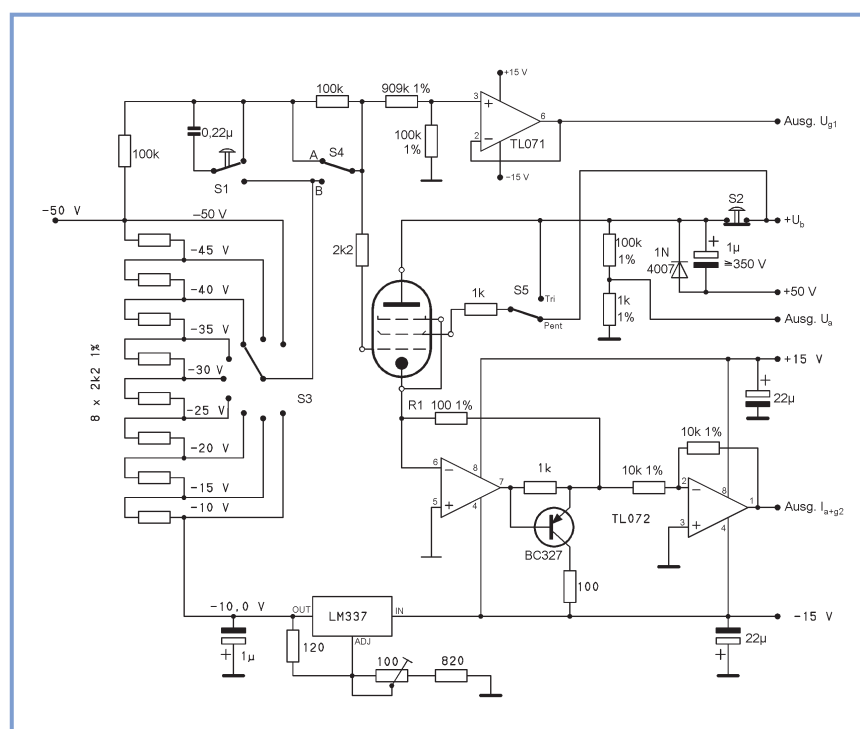


Bild 12. Vollständige Messschaltung für Pentoden, Dimensionierung für EL34, 6L6GC und ähnliche.

Die konkrete aufgebaute Messschaltung in Bild 12 ermöglicht auch wieder beide Messreihen. Für die erste Messreihe steht der Schalter S4 in Stellung A. Mit S3 kann man hier wählen, bis wohin der kurze Gitterspannungsimpuls reichen soll. In Stellung B von S4 für die zweite Messreihe stellt man mit S3 die feste Gitterspannung ein. Die hier angegebene Dimensionierung passt für stärkere Pentoden wie EL34, 6L6GC und ähnliche Typen. Eine Anpassung an andere Röhren ist leicht möglich. Bei der EL84 beispielsweise legt man den Ruhewert der Gitterspannung sinnvollerweise auf etwa -20 V und den kleinsten, kurzzeitig während der Messung erreichten Wert auf -4 V .

ren funktioniert ähnlich wie die beschriebene Messung des Anodenstroms in Abhängigkeit von der Anodenspannung, nur dass die Gitterspannung hier entfällt. Der Spannungsabfall im realen Betrieb liegt bei einigen $-z\text{ig Volt}$. Deshalb darf man hier den Kondensator C2 nicht entfernt so hoch aufladen wie bei den anderen Röhren. Beginnen sollte man z. B. mit etwa 10 V , dann kann man höher gehen, bis der zulässige Maximalstrom der Röhre erreicht ist. Eventuell muss man den Messwiderstand R1 kleiner machen, z. B. $10\ \Omega$, und der Spannungsteiler zwischen Anode und Anodenspannung-Ausgang sollte z. B. auf $1/10$ abgeändert werden. Auch hier müssen wieder beide Anoden getrennt vermessen werden, die Kurven können verschieden ausfallen.

Man sollte aber jetzt nicht auf die abwegige Idee kommen, Siliziumdioden mit dieser Schaltung vermessen zu wollen. Das wäre sowieso nicht interessant, denn bei diesen sind die Streuungen minimal.

Ernüchternde Ergebnisse

Die so aufgenommenen Kurven dürften bei vielen Röhren-Freaks zu langen Gesichtern führen. Nicht nur zwischen verschiedenen Herstellern sind die Schwankungen beträchtlich, auch zwischen verschiedenen Exemplaren desselben Herstellers. Selbst bei vorselektierten Röhren können noch deutliche Differenzen auftreten.

Die größten Probleme bereiten die Doppeltrioden. Wie sich sehr schnell zeigt, sind die Abweichungen zwischen beiden Systemen meistens erheblich. Bei fester Anoden- und Gitterspannung sind 20 % Unterschied bei den Anodenströmen schon bald das Normale, 10 % sind selten, 5 % oder noch weniger sind fast unmöglich zu finden. Bei besonders schlechten Exemplaren können es aber auch bis zu 50 % sein (bezogen auf den kleineren Wert). Jetzt stellt sich die Frage: Was machen die Röhrenselektierer hier eigentlich? Einzelröhren kann man leicht linear in Klassen einteilen und bei Bedarf auch zu Paaren oder Quartetten zusammenstellen. Aber bei Doppelröhren bräuchte man ein zweidimensionales Feld, in das man sie einsortiert, beispielsweise fünf Klassen horizontal für das System Pin 1-2-3 und fünf Klassen vertikal für System das Pin 6-7-8, das wären dann insgesamt 25 Klassen. Aber wer macht das schon? Eine lineare Klassifikation ist hier sinnlos.

Weiterhin bestehen die Unterschiede nicht nur bei der Steilheit. Auch in den Randgebieten des Kennlinienfeldes können die Verläufe unterschiedliche Formen haben. Für die HiFi-Fans ist das kein Thema, wohl aber für die Gitarristen. Wenn es hier bei Anbietern sinngemäß heißt „Die

Röhre X klingt so und so“, dann bezieht sich das im wesentlichen auf einen Betrieb im übersteuerten Bereich („Crunch“), wo die Unterschiede voll zur Wirkung kommen. Im „Clean“-Bereich gibt es zwar auch schon Differenzen, aber die sind weitaus geringer.

Was das Sache noch weiter kompliziert, Röhren altern, d. h. die Elektronenemission aus der Kathode vermindert sich im Laufe der Zeit. Ganz am Anfang sinkt sie während ihres „Einbrennvorgangs“ etwas ab, danach bleibt sie lange Zeit einigermaßen stabil. Gegen Ende ihrer Lebensdauer verringert sie sich dann immer schneller. Gleichzeitig kann auch das Vakuum schlechter werden, dadurch verschiebt sich ebenfalls die Kennlinie.

Und schließlich hängt die Kennlinie von der Heizspannung ab. Der Nennwert von 6,3 V bei den E-Röhren wird nicht immer exakt eingehalten. Bei höherer Heizspannung ist die Elektronenemission aus der Kathode stärker, bei niedrigerer schwächer. Bei sämtlichen Messungen ist deshalb die Heizspannung sorgfältig zu überprüfen. Wenn sie bei einer starken Röhre wie der EL34 genau gestimmt hat und man denselben Trafo dann zum Heizen einer ECC83 hernimmt, dann wird sie jetzt sehr wahrscheinlich etwas höher sein, weil der Trafo weniger belastet wird. Für präzise Kennlinienmessungen ist ein Nachregeln unerlässlich. Dafür eignet sich ein Stelltrafo auf der Primärseite.

Fazit: Kontrolle ist besser

Wer reproduzierbare Klänge haben will, der kommt am Kauf von vorselektierten Röhren nicht vorbei. Nachmessen und eigenes Selektieren ist aber auf alle Fälle noch sehr viel besser. Vor allem bei den Doppeltrioden.

Was die Schaltung betrifft, in der die Röhren arbeiten sollen, ist eine Anpassungsmöglichkeit immer sinnvoll. Bei den meisten Endstufen ist die negative Gitterspannung mit Trimpotis einstellbar. Je größer der Einstellbereich, desto unterschiedlichere Röhren kann man noch verwenden. Das trägt dazu bei, dass nicht allzu viele in die Mülltonne wandern müssen. Bei den Trioden in den Vorstufen macht das aber keiner. Im HiFi-Bereich ist das kein so großes Thema, im Gitarrenverstärkerbereich aber sehr. Einstellmöglichkeiten für den Arbeitspunkt wären hier eine Bereicherung. Die immer wieder gedankenlos kopierte und selten hinterfragte Einheitsbeschaltung der ECC83 mit Kathodenwiderstand 1,5 k Ω und Anodenwiderstand 100 k Ω ist nicht für jedes Röhrenexemplar das Optimum. Hier liegen noch reichliche Möglichkeiten für Schaltungsentwickler, sich Verbesserungen einfallen zu lassen.

Informationen zum DS1M12:

http://www.usb-instruments.com/oscillo_stingray.html

<http://www.meilhaus.de/produkte/usb-mobile-messtechnik/>

Dieser Artikel ist 2008 im Elektor-Sonderheft
"Special Project Röhren 4" erschienen.

Der darin genannte PC-Oszilloskop-Vorsatz ist
mittlerweile nicht mehr lieferbar. Es gibt aber
andere, die das gleiche oder noch mehr leisten.

Helmuth Lemme