

Schaltungsbeschreibung FM-Stereodekoder

Das Stereo-Multiplex-Signal MPX wird, nach Abtrennen eventueller Gleichspannung mit C2, auf zwei Pfade aufgeteilt: einerseits via R1 zur eigentlichen Dekodierung und andererseits via R2 zur Rückgewinnung des 38kHz-Trägers für die Demodulation des Differenzsignals.

Zuerst zur Träger-Rückgewinnung: Es gibt dazu grundsätzlich zwei Methoden, nämlich die Synchronisation eines Lokal-Oszillators mit einer PLL analog der Zeilenfrequenz-Erzeugung in Fernsehern, und das direkte Ausfiltern des 19kHz-Pilottons mit anschliessender Frequenzverdoppelung. Die PLL-Methode liefert zwar bessere Ergebnisse, ist aber recht aufwendig und braucht mindestens eine Röhre mehr, so dass hier die direkte Filterung angewendet wird. Mit dem durch C3 auf 19kHz abgestimmten Trafo L1 wird das Signal ein erstes Mal gefiltert und gleichzeitig hochtransformiert, so dass der Kreis mit R2 hochohmig an die Signalquelle angeschlossen werden kann, was eine weitere Filterung und hohe Güte ergibt. Je nach Amplitude des MPX-Signals muss man R2 eventuell anpassen.

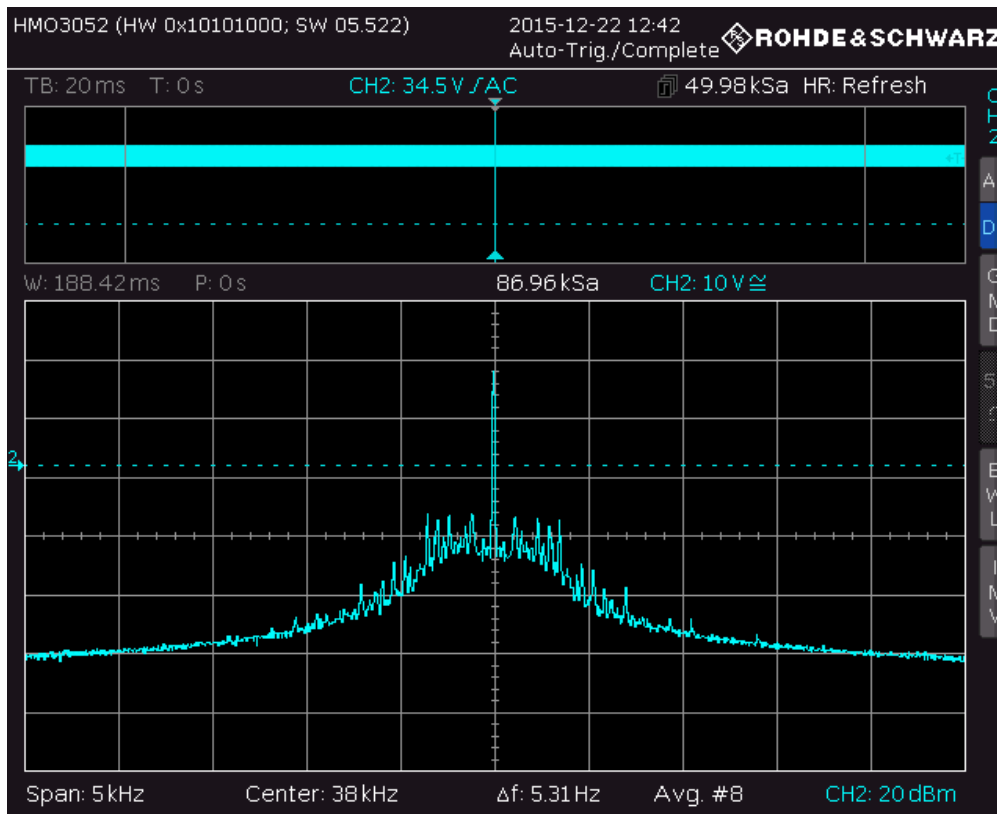
Die Röhre V1 verstärkt das vorgefilterte Signal ca. 100fach, und der mit C7 abgestimmte Trafo im Anodenkreis sorgt für eine weitere Filterung des 19kHz-Signals. Hier muss eine Pentode verwendet werden, Trioden dämpfen einerseits durch den niedrigen Innenwiderstand den Ausgangskreis, und zudem müssten sie neutralisiert werden, da sonst durch die Anoden-Gitter-Kapazität das Ganze zu schwingen beginnt.

Von der Sekundärseite des Trafos L2 gelangt das 19kHz-Signal symmetrisch auf die beiden Gitter von V2. Die Kondensatoren C13 und C14 sorgen für die negative Gittervorspannung, da sie während den positiven Halbwellen durch den dann fließenden Gitterstrom geladen werden. Die Widerstände R12 und R13 sorgen dafür, dass sich die Kondensatoren bei abnehmendem Signal wieder entladen können. Die Spannung vom Trafo beträgt ca. 10V_{ss}, so dass V2 während den negativen Halbwellen komplett gesperrt ist und nur die positiven Halbwellen verstärkt.

Da V2 gegenphasig angesteuert wird, fließt abwechselnd bei jeder Halbwellen des 19kHz-Signals entweder in der linken oder der rechten Triode Strom, je nachdem, welches der beiden Gitter eine positive Halbwellen bekommt. Somit hat der Anoden-Summenstrom eine Frequenz von 38kHz, die mit dem Trafo L3 und C10 ausgefiltert wird.

Durch den hochohmigen Spannungsteiler R7/R8 ist die Betriebsspannung von V2 recht tief. Das sorgt einerseits für eine Begrenzung des 38kHz-Signals, so dass die Amplitude nicht so stark von der Amplitude des Pilottons abhängt und so eine bessere Dekodierung ermöglicht, andererseits wird so der Anodenstrom ohne Ansteuerung klein gehalten, denn ohne Ansteuerung fällt auch die negative Gittervorspannung weg und die Röhre zieht maximalen Anodenstrom. Die Spannung an C9 kann somit als Indikator für eine Stereo-Sendung benutzt werden, bei Mono beträgt sie ca. 20V, bei Stereo mindestens 40V.

Hier ist entscheidend, dass das 38kHz-Signal spektral möglichst rein ist, da sämtliche Störungen im anschliessenden Dekoder direkt auf das NF-Signal gelangen. Hier noch das Spektrum bei gutem Empfang:



Man sieht hier schön die Filtercharakteristik der Bandfilter (500Hz/Div Frequenzteilung und 20dB/Div Amplitude). Die Dämpfung beträgt auch nahe am Träger noch etwa 50dB, was nicht schlecht ist. Bei schlechtem Empfang nimmt dieser Anteil an Amplitude zu und sorgt so für niederfrequentes Rauschen, da er wie das Differenzsignal demoduliert wird. Da in diesem Fall aber sowieso nur noch verrauschter Stereo-Empfang möglich ist, spielt das keine grosse Rolle, man sollte aber für diesen Fall eine Umschaltmöglichkeit auf Mono vorsehen.

Nun folgt die eigentliche Dekodierung. Dazu wird als erstes das originale Multiplexsignal zum 38kHz-Träger addiert, indem es in die Mittelanzapfung der Sekundärwicklung vom Trafo L3 eingespeist wird. Mit dem Poti R1 kann der Pegel und damit die Verstärkung eingestellt werden, gleichzeitig sorgt es mit C1 für eine Amplitudenkorrektur des Multiplexsignals. Da die Dekodierung bekanntlich durch Differenzbildung gemacht wird, müssen die Amplituden vom Summen- und Differenzsignal exakt(!) gleich sein, sonst ist die Kanaltrennung miserabel.

Dazu ein einfaches Beispiel: Gesendet wird ein Ton nur auf dem linken Kanal, somit ist das Summensignal $M = (L+R)/2 = L/2$ und das Differenzsignal $S = (L-R)/2 = L/2$.

Der Dekoder bildet daraus wieder $L = M+S = (L/2 + L/2) = L$ und $R = M-S = (L/2 - L/2) = 0$, so wie es sein sollte. Hat aber der Empfänger bei 38kHz, wo das Differenzsignal S ist, 6dB Amplitudenabfall (was noch nicht besonders schlecht ist), hat S nur noch die halbe Amplitude. Somit ergibt sich folgende Dekodierung:

$$L = (L/2 + L/4) = 3/4 * L$$

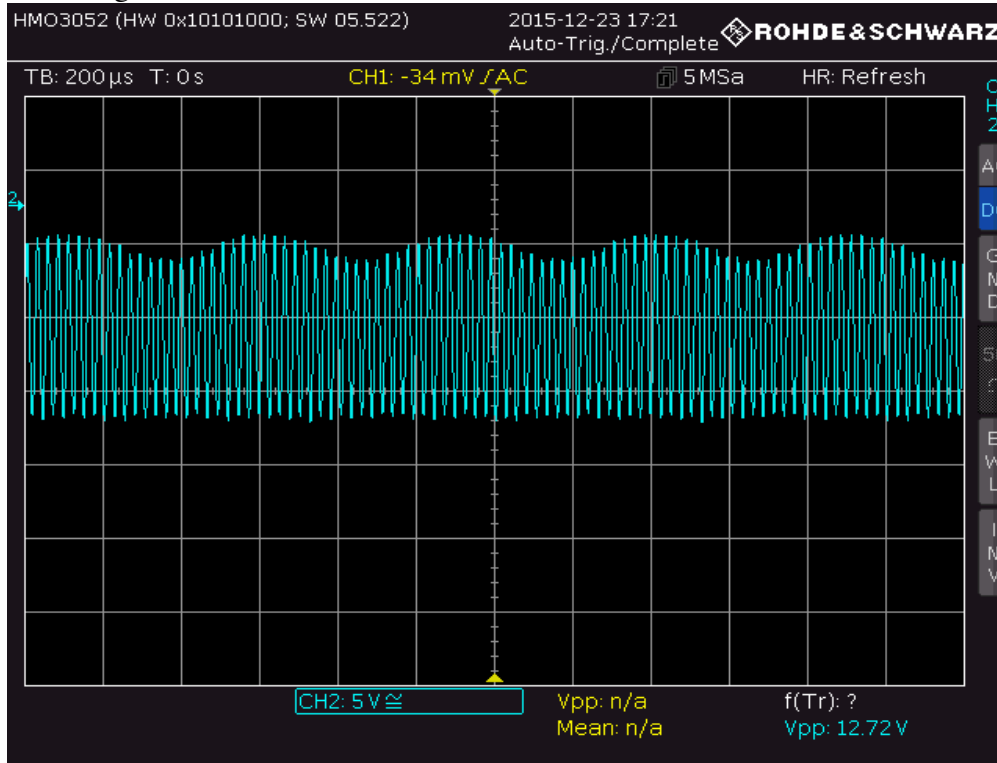
$$R = (L/2 - L/4) = 1/4 * L$$

Das Signal auf dem linken Kanal ist also ca. 3dB zu tief, was nicht weiter stört, aber das Signal auf dem rechten Kanal, das Null sein sollte, hat 1/3 der Amplitude des linken Kanals, was einer Kanaltrennung von noch gerade 10dB entspricht, was kaum mehr Stereo-Effekt ergibt.

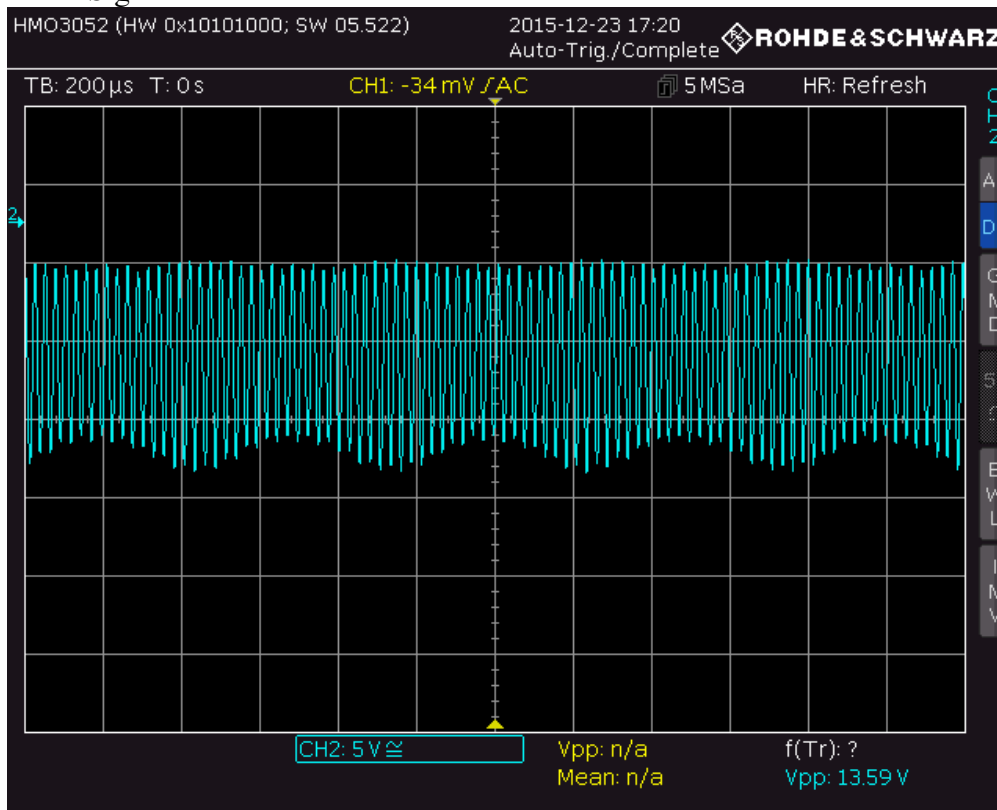
Somit muss C1 eventuell angepasst werden, der Wert hängt vom Frequenzgang des verwendeten Radios ab.

Durch das Hinzufügen des 38kHz-Trägers entsteht ein amplitudenmoduliertes Signal, bei dem die ‚obere‘ Hüllkurve dem linken und die ‚untere‘ Hüllkurve dem rechten Kanal entspricht. Somit braucht es also nur noch zwei AM-Demodulatoren, einer für die positive und einer für die negative Hüllkurve. Die folgenden beiden Bilder zeigen dieses Signal:

2kHz-Signal auf dem linken Kanal:

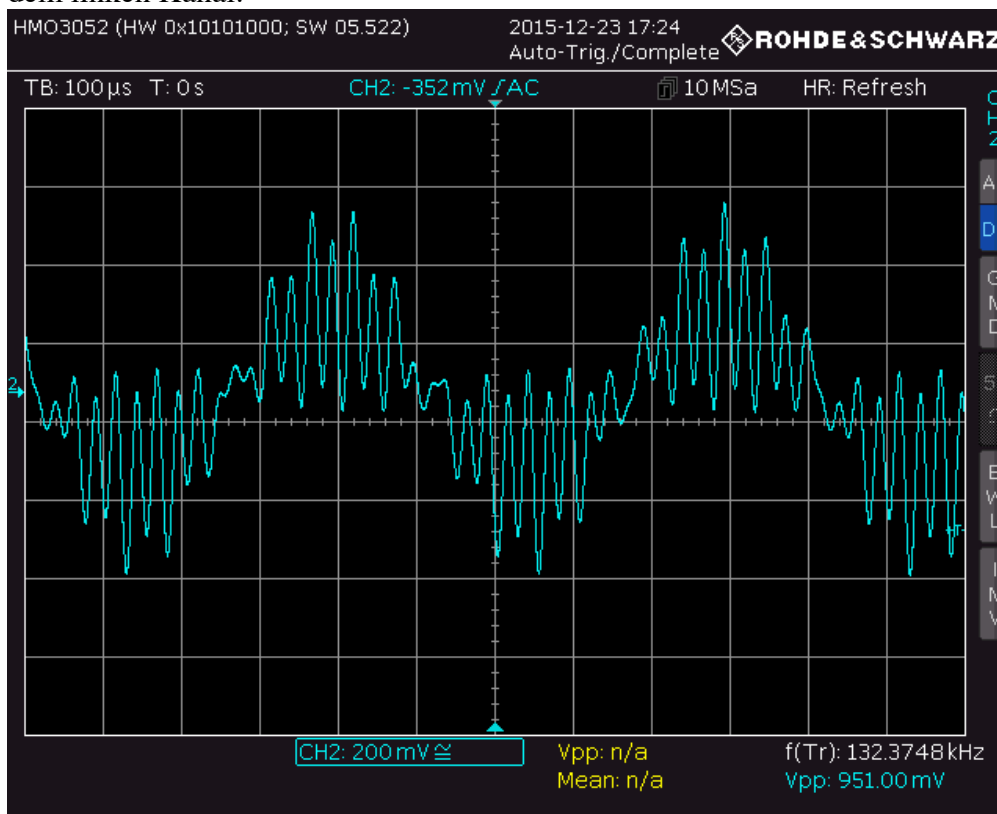


2kHz-Signal auf dem rechten Kanal:



Durch die symmetrische Sekundärwicklung von L3 sind am unteren Ende der Wicklung die beiden Hüllkurven gegenüber dem oberen Ende vertauscht (also die beiden Bilder getauscht), so dass man von den beiden Wicklungsenden jeweils die positive Hüllkurve demodulieren kann, was einfacher ist.

Im Prinzip ist diese Demodulation eine Abtastung des Multiplexsignals mit dem positiven Puls des 38kHz-Trägers (linker Kanal) und dem negativen Puls (rechter Kanal). Zur Veranschaulichung noch das folgende Bild eines Multiplex-Signals mit einem 2kHz-Ton auf dem linken Kanal:

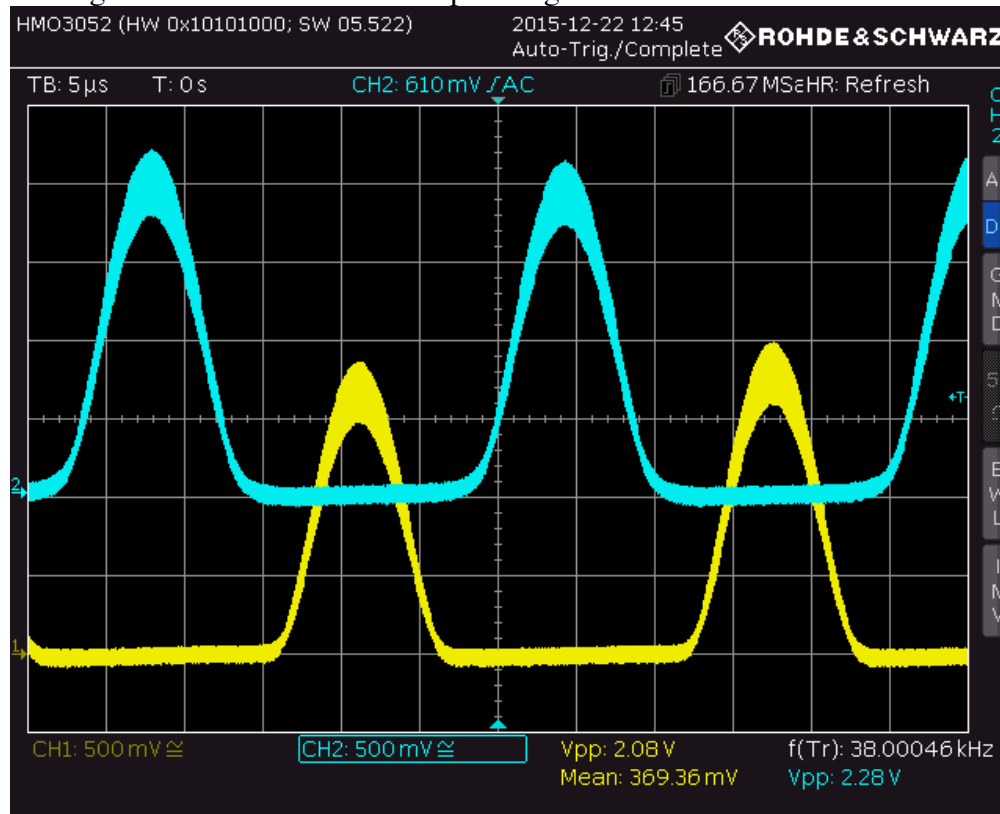


Da nur ein Kanal ein Signal hat, gibt es ein starkes Differenzsignal und dadurch ist der 38kHz-Träger ausser in den Nulldurchgängen immer sichtbar. Schaut man sich die positive Halbwelle der Hüllkurve an, sieht man, dass die positiven Peaks dem 2kHz-Signal folgen (und überlagert dem 19kHz-Pilotton, daher folgt immer auf eine höhere eine niedrigere Spitze), während die negativen Peaks nur den 19kHz-Pilotton enthalten, weil auf dem rechten Kanal kein Signal ist. Bei der negativen Halbwelle der Hüllkurve ist es genau umgekehrt, da durch den unterdrückten Träger die Phase des modulierten Signals bei negativen Signalen um 180 Grad dreht (siehe auch mathematische Beschreibung im Beitrag zum Stereo-Encoder). Wird diesem Signal phasenrichtig der Träger hinzugefügt, entsteht das oben beschriebene AM-Signal mit nur einer Hüllkurve.

Zur Demodulation und gleichzeitiger Pufferung dient die Doppeltriode V3a/b, jede Triode ist für einen Kanal zuständig. Bei Stereo-Empfang erhalten die Trioden eine recht hohe negative Gittervorspannung von V2 über das Siebglied R10/R11/C12, die über R9 ebenfalls über den Trafo eingespeist wird. Der Wert beträgt ca. -10V und sorgt so dafür, dass die Trioden nur im Bereich der positiven Spitzen des Eingangssignals aufgesteuert werden und während den negativen Halbwellen gesperrt sind. Durch die nicht überbrückten Kathodenwiderstände entsteht eine starke Gegenkopplung, während die Trioden leitend sind, was die Verzerrungen

stark reduziert. Somit arbeiten die Röhren als Schalter, indem sie die positiven Halbwellen zu den Anodenwiderständen und damit zu den Ausgängen durchschalten.

Im folgenden Bild sieht man die Spannungen an den beiden Kathodenwiderständen:



Man sieht, dass die Trioden während mehr als 50% der Zeit gesperrt sind und so die negative Halbwellen vollständig abgeschnitten wird. Da der Träger so stark ist, dass die Modulation nie 100% erreicht, macht es nichts, wenn auch ein Teil der positiven Halbwellen abgeschnitten wird, das ist sogar erwünscht, weil so kleine Phasenfehler bei der Rekonstruktion des Trägers die Kanaltrennung nicht beeinflussen. Durch die gegenphasige Ansteuerung leiten die Trioden abwechselnd im 38kHz-Takt.

Wird ein Monosignal empfangen, gibt es keine negative Gittervorspannung und auch keinen 38kHz-Träger. In diesem Fall funktionieren die beiden Trioden als normale NF-Verstärker im linearen A-Betrieb. Im Fall eines schwachen oder schlechten Stereo-Signals ist der 38kHz-Träger verrauscht und stört so das NF-Signal. In diesem Fall muss der Dekoder manuell abgeschaltet werden, z.B. indem man die Anoden- und Schirmgitterspannung von V1 abschaltet.

An den Ausgängen folgen noch sehr steilflankige Tiefpassfilter, welche den starken 38kHz-Träger sowie Reste des Differenzsignals ausfiltern. Im Prinzip ist das nicht nötig, da aber diverse Halbleiter-Verstärker Verzerrungen durch Intermodulation erzeugen und auch die Hochtöner keine Freude an derartigen Signalpegeln haben, ist das Filter angebracht, ausser man betreibt den Dekoder mit einer schwach gegengekoppelten Röhrendstufe niedriger Leistung und passenden Lautsprechern.

Noch etwas zu den verwendeten Röhren:

Ich habe diese Typen verwendet, weil sie vorrätig waren und ich noch viele Miniaturröhrensockel hatte. Die Anforderungen sind aber nicht sehr kritisch, daher können auch andere Röhren verwendet werden. Die internen Kapazitäten sind bei diesen Frequenzen

ziemlich egal. Werden andere Röhren verwendet, müssen natürlich die Arbeitspunkte korrekt angepasst werden.

V1 muss eine Pentode sein, da Trioden schwingen würden und auch zu wenig Verstärkung und zu viel Dämpfung haben. Am besten eignen sich ZF-Verstärkerröhren mit hohem Innenwiderstand (auch Misch-Heptoden wie die ECH81 sind denkbar), z.B. die EF89, EBF89 oder auch die EF93. Ob Regelröhre oder nicht spielt hier keine grosse Rolle. Hier ist vom Prinzip her auch eine Kaskodenschaltung möglich, z.B. mit der ECC88.

Für V2 kann jede Doppeltriode (oder auch zwei Einzeltrioden) mit ausreichend Steilheit (ab 5mA/V) verwendet werden. Nach Theorie gilt hier: je steiler, desto besser. Somit können auch die ECC81, ECC85, ECC88 (E88CC) oder 2*EC92 verwendet werden. Allenfalls muss der Anodenspannungsteiler angepasst werden, an den Anoden sollte der Spitze-Spitze-Wert des 38kHz-Signals ca. 40V betragen.

Für V3 gilt im Wesentlichen dasselbe wie für V2 (ausser die ECC88, die verträgt zu wenig Spannung), eventuell ist hier auch die ECC83 geeignet. Da diese aber wesentlich hochohmiger ist, müssen vermutlich die Anoden- und Kathodenwiderstände vergrössert werden, was eine Neudimensionierung des Ausgangsfilters zur Folge hat. Je nach verwendeter Röhre muss die Gittervorspannung eventuell angepasst werden. Eine zu negative Gitterspannung kann mit einem Widerstand vom Mittelpunkt bei L3 nach Masse reduziert werden, bei zu wenig Gitterspannung muss das Kathodenpotential mit einem zusätzlichen Widerstand zur Anodenspannung hochgezogen werden. Die Gittervorspannung ist dann korrekt, wenn die Röhre während 20..40% der Zeit leitet, wie im obigen Bild. Falls die beiden Trioden stark voneinander abweichen, kann es nötig sein, das Potential einer Kathode etwas anzuheben, damit beide etwa bei der gleichen Gitterspannung leitend werden.

Nach was zur Heizung: Hier kann man einiges falsch machen, was zu Brummen führt. Am sichersten ist es, mit Gleichspannung zu heizen, was aber mit Aufwand verbunden ist. Heizt man mit Wechselfspannung, müssen der hinführende und der wegführende Draht für die Heizspannung miteinander verdrillt werden, damit sich die Magnetfelder aufheben. So wird die Heizung jeder Röhre angeschlossen, die Verbindung mit Masse erfolgt beim Trafo. **Auf keinen Fall direkt bei der Röhre ein Fadenanschluss auf Masse legen, so brummt es garantiert!**

Wird die Heizspannung aus dem Radio genommen, ist zu beachten, dass hier etwa 1A zusätzlicher Strom fliesst. Nicht jeder Trafo hat so viel Reserve. Da man bei Mono-Geräten die interne Endstufe eigentlich nicht mehr braucht, kann man die Endröhre aus der Fassung ziehen (und allfällige Vorröhren). Da die üblicherweise verbauten EL84 und ECL86 recht viel Heizstrom ziehen, stimmt so die Energiebilanz wieder, und der Originalzustand lässt sich einfach wiederherstellen.

Spulen

Die 10mH-Spulen L4..L9 sind handelsübliche Festinduktivitäten ohne besondere Eigenschaften. Die drei Trafos müssen selber gewickelt werden. Ich habe dazu RM6-Kerne mit Luftspalt und Abgleichstift von Epcos verwendet, bei Neosid findet man auch etwas Passendes. Diese lassen sich leicht wickeln, können auch wieder zerlegt werden und sind in Grenzen abgleichbar und magnetisch geschirmt. Wem diese Kerne zu fummelig sind, kann natürlich auch grössere oder andere nehmen. Für die Anpassung der Windungszahl habe ich noch die Induktivität der frequenzbestimmenden Wicklung angegeben. Werden andere Kerne verwendet, müssen diese ausreichend gross sein, damit sie nicht sättigen. Die Daten sind wie folgt:

L1:

Eingang (zu R2): 40Wdg

Ausgang (zu C3/C4): 250Wdg, L = 25mH

L2:

Eingang (Anode): 250Wdg, L = 25mH

Ausgang: 2*50Wdg

L3:

Eingang (Anode): 60Wdg, L = 1.44mH

Ausgang: 2*15Wdg

Für die 250 Windungen braucht es 0.1mm-Draht, für die anderen kann man auch etwas dickeren Draht verwenden. Da zwischen Primär- und Sekundärseite sowie innerhalb der Primärseite hohe Spannungen auftreten (ausser bei L1), sollte Draht mit einer Isolationsspannung von mindestens 500V verwendet werden. Am besten verwendet man die Spulenkörper mit 2 Kammern, dann kommt die Primärwicklung in die eine und die Sekundärwicklung in die andere Kammer. Werden die Wicklungsenden noch mit einem Isolierschlauch überzogen, hat man so eine sichere Trennung zwischen Primär- und Sekundärseite.

Damit die symmetrischen Sekundärwicklungen von L2 und L3 wirklich symmetrisch werden und man auch weniger zu wickeln hat, werden diese mit 2 Drähten gleichzeitig (bifilar) gewickelt. Am Schluss kommt das Ende einer Wicklung an den Anfang der zweiten und ergibt so die Mittelanzapfung.

Der Wickelsinn der Spulen ist nicht kritisch (ausser den beiden Hälften der symmetrischen Wicklungen), allenfalls wird der linke mit dem rechten Kanal vertauscht.

Vor dem Verbauen der Spulen L1..L3 sollen die genauen Werte der Schwingkreiskondensatoren (C3, C7, C10) bestimmt werden, das geht einfacher als nachträglich herumzulöten. Die im Schaltplan angegebenen Werte sind Richtwerte. Man beginnt mit diesen und bestimmt den Resonanzfrequenzbereich, dazu wird über einen 100kΩ-Widerstand ein Sinussignal eingespeist und über dem Schwingkreis mit dem Oszilloskop die Spannung gemessen. Bei Resonanz ist die Spannung maximal. Nun wird die Kapazität so verändert, dass der Einstellbereich der Resonanzfrequenz mit dem Spulenkern etwa symmetrisch um die Sollfrequenz ist (L1 und L2: 19kHz, L3: 38kHz). In die Schaltung werden dann die so ermittelten Kapazitäten verbaut.

Bei den RM-Kernen gibt es noch einen Trick, wenn man sie nicht auf eine Leiterplatte bestücken will, so wie das eigentlich vorgesehen ist: Man vertauscht die beiden Kernhälften, so dass die Abgleichschraube von der Seite mit den Anschluss-Pins des Spulenkörpers in den Kern geschraubt wird, und zusätzlich werden die Befestigungsbügel für den Kern verkehrt herum eingesetzt, so dass diese gegenüber den Anschluss-Pins auf einen Kupfer- oder Messingblechstreifen gelötet werden können und dieser Streifen auf dem Chassis montiert wird.