

Eine Reise in die Audiotechnik der 50er Jahre

Teil 1

Ulrich Fierz



Ulrich Fierz, dipl. El.Ing. ETHZ

Vorgeschichte

Warum man Projekte in Angriff nimmt, hat anfangs oft mit dem Gerät selbst wenig zu tun. 1956, in meiner Schulzeit im Internat, gab es ein Eisfeld, das wir benutzen konnten. Die Beschallung mit Musik wurde durch einen Philips Verstärker mit EL81 in der Endstufe sichergestellt, den ich als Radiobastler bewunderte. Viele Jahre später habe ich dann einen EL6400, der genau so aussah, in ziemlich mässigem Zustand gekauft. Kürzlich, nochmals Jahre später, hat ein Fest mit dem Motto 50er/60er Jahre stattgefunden und die Pause der Band war mit Schallplatten aus den 50ern zu überbrücken. Da war meine Motivation da: der Verstärker dazu sollte aus der gleichen Zeit sein und den habe ich ja!

Philips EL6400 und EL6411 ELA-Verstärker [1]

Die beiden Mono-Verstärker 20W und 40W wurden als Ersatz von Vorgängertypen ab etwa 1954 produziert, und wie es scheint, sehr erfolgreich verkauft. Es sind Mischverstärker für Elektroakustische Anlagen (ELA), also Beschallungssysteme aller Art. Zwei Eingänge für Mikrofone und zwei Eingänge für Kristall-Pickup oder Radio, eine einfache Tonblende, ein Sprachschalter (EL6411) und ein umschaltbarer 100V Lautsprecherausgang (mehr dazu später) wurden angeboten (Bild 1). Die Röhrenbestückung entsprach der



Bild 1: EL6400/11 MkII, betriebsbereit

Zeit und dem Hersteller Philips: Rimlockröhren in den Vorstufen und Novalröhren als Gegentakt-Leistungsstufe.

Die Ausgangsstufe wird als Gegentaktstufe betrieben, ein Klirrfaktor von weniger als 4% bei 20W (EL6400) und ein Geräuschabstand von besser als 60dB werden angegeben. Der Frequenzgang ist in etwa flach von 50-10'000Hz – beim Mikrofon ab 100Hz – und die Tonblende erlaubt ein Absenken ab 2 bis 12kHz (dort maximal -20dB).

Die verwendeten Röhren

Ab 1946 brachte Philips die Rimlock-Serie auf den Markt und startete damit eine neue Allglas-Miniaturröhrenfamilie, die sich von den amerikanischen Serien unter-

schied. 8 Stifte und eine Röhrenfassung, die die Röhre mit einer Feder sichert, war eine neue Idee. Zunächst hatten die Röhren unten einen angeklebten Metallkragen, später wurde die Verdickung und die Nase direkt im Glas implementiert. Im Verstärker EL6400/EL6411:

- Die mikrofoniearme Audiopentode EF40 (1948), ein sehr gelungener Entwurf, dessen Nachfolger EF86 (Noval, gleiche Konstruktion und Daten, brummärmer) bis heute in audiophilen Kreisen geschätzt wird.

- Die Doppeltriode ECC40 (1948), die auch in vielen Industrieanwendungen eingesetzt wurde, aber bald den Noval-Konkurrenten amerikanischen Ursprungs ECC81, ECC82, ECC83 weichen musste.

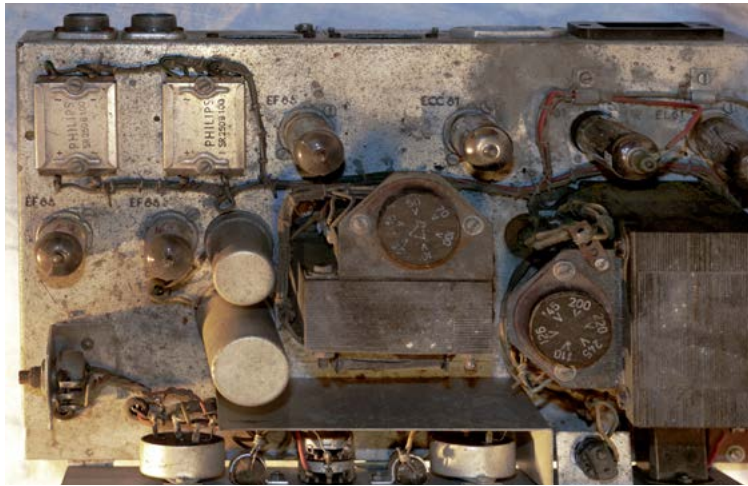


Bild 2: Verstärker EL6400 im gefundenen Zustand

Die in der Leistungsstufe verwendete EL81 (1951) wurde eigentlich als Zeilenendröhre (oft als PL81 mit Serieheizung) für die frühen Philips-Fernseheräte entwickelt. Die Anwendung als Audioendstufe ist etwas ungewöhnlich, aber sie erlaubte, trotz der verlangten Ausgangsleistung von 20W, die Verwendung von nur zwei Novalröhren und sparte Platz und wohl auch Geld. Selengleichrichter und eine Germaniumdiode 0A55 sind in der Stromversorgung zu finden.

Das Erneuerungs-Projekt

Mein EL6400 – mit der später verwendeten Röhrenbestückung 3x EF86, ECC81 und 2x EL81 – hatte in seinem Leben offenbar alles Mögliche erfahren müssen: um eine Endröhre herum war eine ziemlich gebastelte umfangreiche Reparatur, die Regelpotentiometer und ein Knopf wurden teilweise (falsch) ersetzt, einzelne Kondensatoren waren eher zweifelhaft, überall zeigte sich Rost und das Ganze war von fettigem Staub überzogen (Bild 2). Wohl ganz demontieren, reinigen und neu aufbauen war angesagt.

Auf der positiven Seite hatte ich alle verwendeten Rimlock Röhren, neue Rimlock Fassungen und

genügend EL81 ungebraucht vorrätig. Auch Kondensatoren (mit Ausnahme der Doppelklos) und Widerstände (mit Ausnahme der Potentiometer) waren vorhanden. Die Transformatoren waren in Ordnung. Die Erneuerung war möglich.

Das war der Zeitpunkt, sich zu fragen, was denn meine Zielsetzung der Arbeit sein soll: Schallplatten aus den 50ern mit kurzem Kommentar abspielen. Also ein Mikrofon und ein Tonabnehmer – damit es klappt, ein magnetisches System – mein Thorens TD150. Damit braucht es statt dem zweiten Mikrofonverstärker eine Phono-Entzerrung. Und wenn man schon dabei ist: die einfache Tonblende ist eher eine Sparmassnahme und war nicht Stand der Technik 1954, eine «richtige» Tonregelung (Bass/Höhen) war längst erfunden. Änderungen waren also geplant, aber diese sollten mit EF40 oder ECC40 und mit Schaltungstechnik und Wissen aus den 50ern implementiert werden.

Da war schon ein bisschen Studium [10] und Entwicklungsarbeit nötig, um herauszufinden, wie das umzusetzen ist. Die folgende Beschreibung gibt einen Einblick

in die Grundlagen und das Resultat. Keine klassische Restauration – der Verstärker war auch nicht «museumswürdig» – sondern ein interessanter und lehrreicher Ausflug in die Audio-Technologie der 50er Jahre.

Neue Schaltung und Grundlagen

Die Beschreibung beginnt mit den Vorverstärkern, gezeigt werden Schaltungsauszüge und Grundlagen der verschiedenen Stufen. Ein Gesamtschema – inkl. Speiseteil – auf zwei Blättern sowie weitere Informationen sind auf meiner Webseite als PDF-Dateien hinterlegt [2]. Dort findet man auch die Originalschemata zu den Philips EL6400 und EL6411.

MM-Phono-Vorverstärker mit Entzerrer

Um Schallplatten optimal schneiden zu können, muss der Frequenzgang des Schneideverstärkers – ganz besonders bei Langspielplatten mit ihren schmälere Spuren – angepasst werden. Bässe werden abgesenkt, um zu grosse Auslenkungen zu vermeiden und die Spuren näher zueinander anordnen zu können. Höhen werden angehoben, um bei der Wiedergabe ein besseres Signal-Rausch Verhältnis und weniger Kratzgeräusche zu haben. Diese Charakteristik (Schneidekurve) muss im Wiedergabeverstärker durch ein komplementäres Netzwerk kompensiert werden.

Was zunächst mit einem standardisierten Netzwerk einfach erscheint, ist in Realität viel komplizierter. Es gab historisch zahlreiche unterschiedliche Schneidekurven verschiedenster Hersteller und Standardgremien (AES, IEC, RIAA, CCIR usw.) [3]. Dazu wurden – gemäss zeitgenössischen

Aufsätzen [4] – diese teilweise auch noch der aufgezeichneten Musik angepasst! Perfekt müsste man eigentlich eine auf die Schneidkurve der jeweiligen Schallplatte abgestimmte umschaltbare Kompensation haben. Entsprechend vielfältig waren auch die verschiedenen aktiven und passiven Entzerrnetzwerke für magnetische Tonabnehmer jener Zeit.

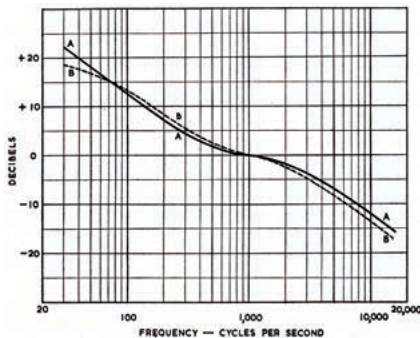


Bild 3: AES (A) und RIAA (B) Kurven 1954 [11]

Heute scheint sich die um 1954 in USA als gemeinsame Norm bestimmte RIAA Kurve durchgesetzt zu haben (Bild 3). Es werden damit, auch wenn die Kurve nicht perfekt implementiert ist, sehr gute Resultate erzielt. Natürlich sind die Diskussionen und Meinungen dazu (im Netz) ohne Ende.

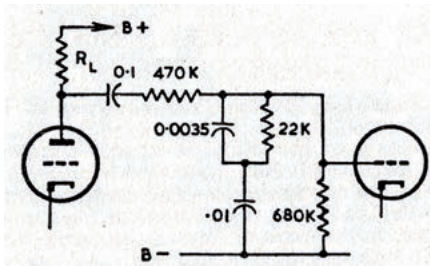


Bild 4: Netzwerk für die RIAA Kurve B in Bild x [11]

Um den RIAA Frequenzverlauf abzubilden, sind zwei RC Kombinationen notwendig, die in der passiven Variante als frequenzabhängiges Netzwerk vor oder nach einer Verstärkerstufe implementiert werden. Die zur Kurve B passende Schaltung mit zwei Trioden ist in Bild 4 dargestellt.

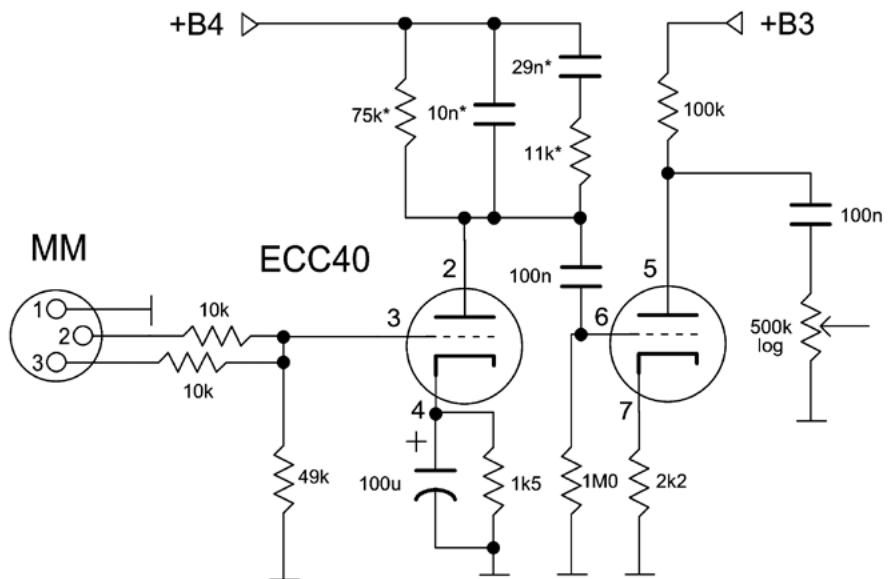


Bild 5: RIAA Vorverstärker für MM-Tonabnehmer im MkII

Das Design des Vorverstärkers wird ausserdem noch von der notwendigen Verstärkung bestimmt. Ein MM-Pickup (moving magnet) wie beim TD150 liefert 2-5mV und benötigt eine Eingangsimpedanz von ~50kΩ. Eine ECC40 in der Konfiguration wie Bild 4 kann das. Die Werte für das passive Netzwerk wurden nach den Vorgaben von *E. Komissarov* [5] gewählt, die heute oft verwendet werden und die RIAA Kurve sehr gut abbilden.

Das Schaltbild der Vorstufe ist in Bild 5 zu sehen, die Verstärkung ist auch ohne Kathodenkondensator an der zweiten Triode hoch genug. Die Schlüsselkomponenten (*) sollten auf <2% Abweichung ausgemessen werden. Die Eingangsschaltung mit der Kombination der beiden Kanäle muss abgeschirmt werden, auch die Röhre selbst braucht einen Schirm. In der ECC40 werden die Steuergitter über zwei Stützen aussen an den Anoden hochgeführt und von oben kontaktiert, sie sind deshalb «brummexponiert».

Mikrofonvorverstärker

Diese Stufe mit der EF40 wird im Original als Triode betrieben und ist für hochohmige Mikrofone ausgelegt. Für den direkten Anschluss eines niederohmigen dynamischen Mikrofons braucht es einen Eingangstrafo oder mehr Verstärkung.

In der gewählten Schaltung (Bild 6) wird der Eingang mit 4k7 abgeschlossen und die EF40 als Pentode geschaltet. Damit ist die Verstärkung, sogar ohne Kathodenkondensator, ausreichend und die Änderung bleibt minimal.

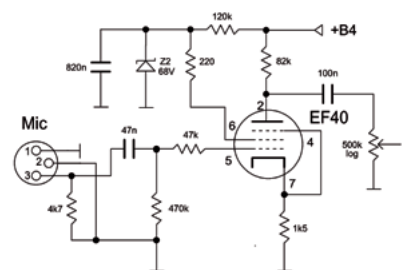


Bild 6: Mikrofonvorverstärker im MkII

Klangregelstufe

Für die Wiedergabe von Sprache, der Kompensation der Bassabsenkung bei 78er Schallplatten oder für einen angenehmeren Musik-

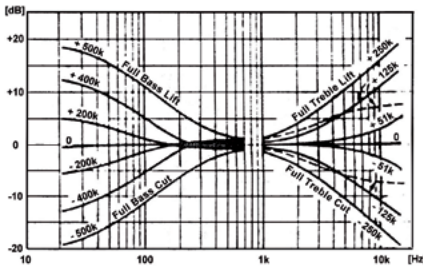
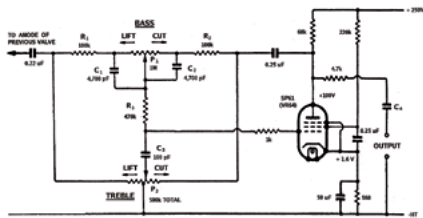


Bild 7a+b, Original Baxandall Schaltung und Kurven [7]

genuss, wurden schon in den 30ern Tonregler und -schalter in Radios und Verstärker eingebaut. Meist bestanden sie, wie auch im Verstärker EL6411, aus einem schaltbaren Hoch- und einem regelbaren Tiefpass (Tonblende). Meist nur in professionellen Geräten gab es damals Einrichtungen um den Frequenzgang differenzierter zu steuern. Sie umfassten mehrere schaltbare RC-Glieder, Potentiometer oder auch Resonanzkreise mit Spulen samt zugehörigen Verstärkerstufen.

Mit der Einführung der Langspielplatten und des UKW-Rundfunks Ende der 40er Jahre mit ihrem stark erweiterten Frequenzumfang wurde der Wunsch nach einer Anpassung der Wiedergabe an die Charakteristik der Lautsprecher oder des Wiedergaberaums dringender. Eine solche getrennte und unabhängige Regelung des Frequenzverlaufs mit einem einfachen RC-Netzwerk für Bässe und Höhen und ohne deutliche Pegeländerung bei der Mittenfrequenz – wie wir es aus Geräten der 60/70er Jahre als Standard kennen – wurde 1949 von *E. J. James* vorgestellt [6]. Sein passives Netzwerk war zunächst einfach eines von vielen, aber es bildete

die Grundlage für den Entwurf einer aktiven Implementierung durch *P. J. Baxandall* 1952 [7]. Dieses neue Netzwerk mit Gegenkopplung (negative feedback) wurde vor allem in Europa für viele Radios und Verstärker der 60/70er zum Standard und wird auch heute noch gebraucht. Aus meiner Sicht ist «James-Baxandall» mit zwei getrennten Potentiometern und einer unabhängigen Steuerung für Bässe und Höhen immer noch die bevorzugte einfache Lösung – auch dazu sind die Diskussionen (im Netz) über «Tone Control» natürlich endlos.

Die im Aufsatz beschriebene Schaltung besteht aus zwei Stufen mit Pentoden (Bild 7a, die Eingangsstufe ist nicht gezeichnet). In der Regel ist es später eine Doppeltriode mit hohem Verstärkungsfaktor (heute fast immer die ECC83). Schon sehr früh wurde auch die Mittelanzapfung des Höhenpotentiometers eliminiert und durch Widerstände auf jeder Seite ersetzt.

Die Eingangsstufe muss mit einer im Verhältnis zum Netzwerk kleinen Ausgangsimpedanz das Netzwerk ansteuern, die Ausgangsstu-

fe summiert die beiden Signale und ist als stark gegengekoppelter Verstärker konzipiert. Dessen Eingang wird – ähnlich zum invertierenden Eingang eines Operationsverstärkers – durch den Eingangsstrom gesteuert. Netzwerk und Gegenkopplung sind dabei frequenzabhängig. Damit wird es möglich, die Bässe/Höhen nicht nur abzusenken, sondern sie auch anzuheben (Bild 7b). Wie das genau funktioniert wird im Aufsatz von *P. J. Baxandall* [7] detailliert beschrieben.

Die in meinem Verstärker umgesetzte Klangsteuerung (Bild 8) entspricht dieser Lösung von 1952 mit den auch von Baxandall erwähnten ECC40 (mit viel weniger Verstärkung [8] als die Pentode). Die resultierenden Kurven sind deswegen z.B. in der maximalen Anhebung deutlich schwächer. Die RC-Kombination an der Kathode der Eingangsstufe korrigiert den Frequenzgang ab ~1kHz.

Summierverstärker

Die Verstärkung der Klangsteuerung mit den Potentiometern in Mittelstellung beträgt nur etwa 3dB, es fehlt also noch an Gesamt-Verstärkung, besonders auch um

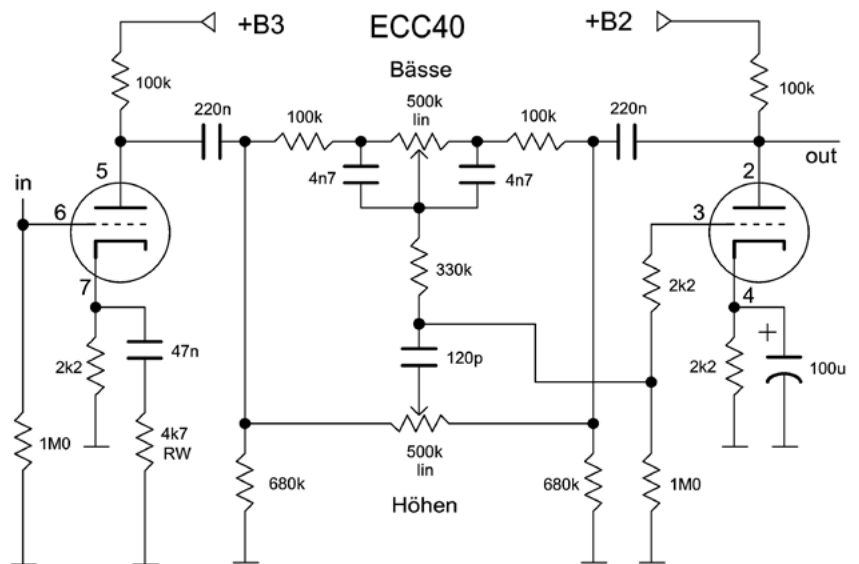


Bild 8: James-Baxandall Klangregler im MkII

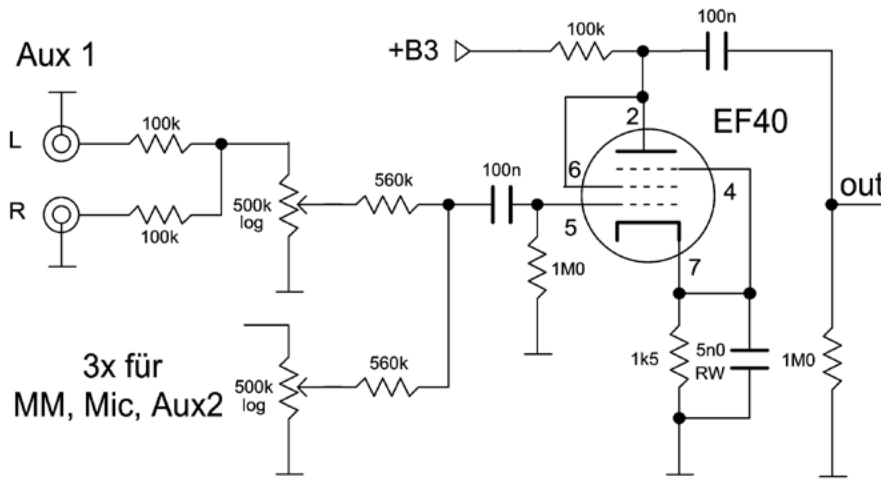


Bild 9: Summiervverstärker im MkII
eine zusätzliche EF40

den Pegelverlust durch das Widerstands-Mischnetzwerk auszugleichen. Der neue Verstärker braucht deshalb eine Stufe mehr als das Original und ich musste leider ein Loch stanzen. Klar wird damit auch, dass Philips wohl wegen dieser Mehrkosten bei der einfachen Tonblende blieb.

Als Verstärker wurde eine zusätzlich EF40 (als Triode geschaltet) plaziert, diese sammelt die Signale

der vier Eingänge, die durch Seriewiderstände entkoppelt sind (Bild 9). Diese Stufe bestimmt den Geräuschabstand für die Eingänge ohne Vorverstärkung. Die Gesamtverstärkung ab hier ist deshalb (mit etwas Reserve) gerade so hoch, dass diese Eingänge den Verstärker bis zu 100V aussteuern können. Die kleine Kathodenkapazität korrigiert den Gesamtfrequenzgang ab ~10kHz.

Anmerkungen und Quellen:

- [1] Die Philips ELA-Verstärkerfamilie EL64xx reicht von 20W bis 1kVA! Siehe die Infos dazu auf der Seite von Frank Philipse <https://frank.pocnet.net/instruments/instruments.html>
- [2] Link für die Zusatzinfos: <https://hb9aik.ch/HISTEC.html>
- [3] Eine schöne Übersicht der vielen verschiedenen Schneidkurven findet sich hier: http://pspatialaudio.com/Pspatial_EQ_Guide.pdf
- [4] «Stylus in Wonderland», O. J. Russell, in «Wireless World», Oct. 1954, Seiten 503-508. Download auf Seite: <http://douglas-self.com/ampins/ww-archive/wwarchive.htm>
- [5] Eugen Komissarov, Moskau, 2002. Download einer Kopie in Russisch auf: http://www.audioworld.ru/DIY/Vinil/cor_01.html
- [6] «Simple Tone Control Circuit», E. J. James, in «Wireless World», Feb. 1949, Seiten 49-50. Download: http://www.thermionic.info/james/James_SimpleToneControl.pdf
- [7] «Negative-Feedback Tone Control», P. J. Baxandall, in «Wireless World», Oct. 1952, Seiten 402-405 inklusive Erratum in W. W. Nov. 1952. Bild 7 ist (überarbeitet) aus diesem Aufsatz (Fig.6 und Fig.8). Download einer Kopie: http://www.thermionic.info/baxandall/Baxandall_Negative-FeedbackTone.pdf
- [8] Die Verstärkungsfaktoren (μ) als Übersicht: ECC40: 32, ECC81: 60, ECC83: 100, EF40 (μ G2/G1): 38. Die realisierbare Spannungsverstärkung ist kleiner, z.B. ~24 bei der ECC40 oder ~65 bei der ECC83. Die EF40 als Pentode erreicht dagegen 120...200.
- [9] VISATON TR 84 100V ELA Übertrager, für Musikübertragung geeignet. Primär 10W/1k0, 6W/1k7 oder 3W/3k3), sekundär 4 oder 8 Ω .
- [10] Für die historisch richtige Einordnung der Schaltungstechnik war das Buch «Radio Designer's Handbook», F.Langford-Smith (Ed.), 4th Ed., 3rd Imp., Wireless Press, Australia, 1955 sehr hilfreich. Durch dort enthaltene Quellenhinweise waren weitere Informationen abrufbar.
- [11] «Radio Designer's Handbook», Supplement, p. 1485, Fig. 17.15D und Fig. 17.15E.

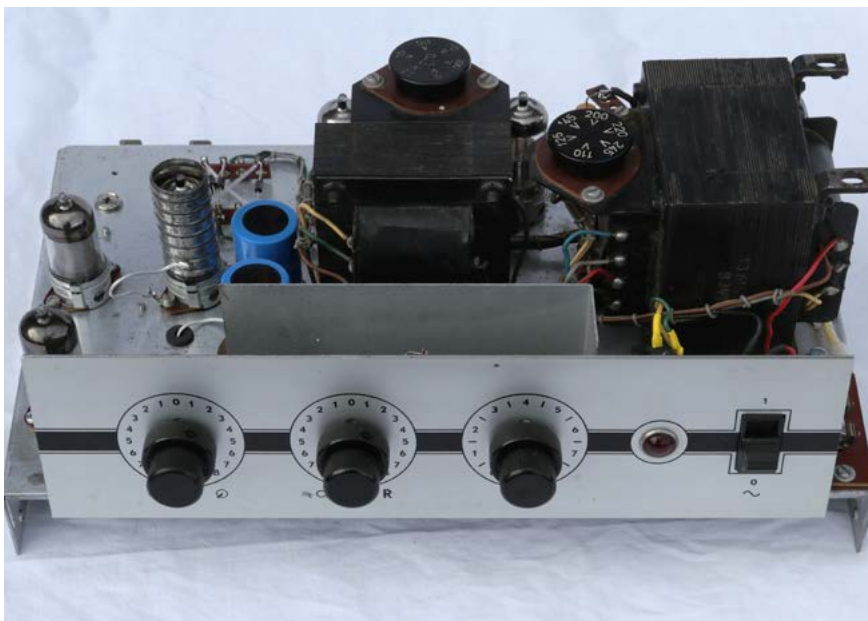


Bild 10 EL6400/11 MkII, Blick auf die Vorstufen und Regler.

(wird fortgesetzt)