

# Eine Reise in die Audiotechnik der 50er Jahre

## Teil 2

Ulrich Fierz



Ulrich Fierz, dipl. El.Ing. ETHZ



Bild 1: EL6400/11 MkII, betriebsbereit

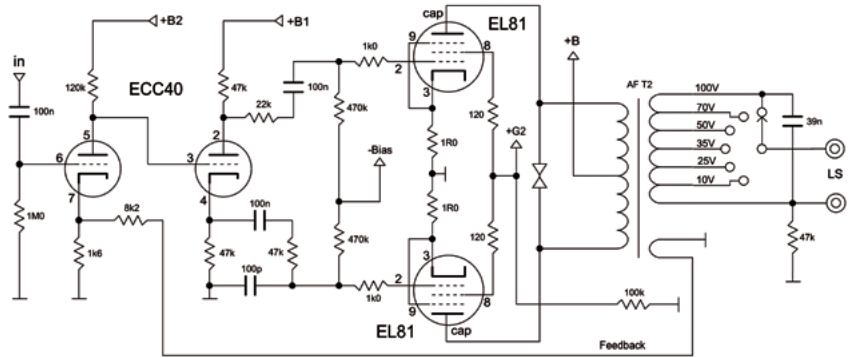


Bild 11: Treiber und Gegentaktendstufe

In der abrufbaren Ausgabe 4/2019 dieses Journals [12] finden Sie den ersten Teil dieses Artikels. Dort werden Veranlassung und Vorgehen bei der Erneuerung eines Philips ELA Verstärkers EL6400 von 1954 und die Auslegung der Vorstufen beschrieben. Besonders im Detail diskutiert werden die Grundlagen für die Phonoentzerrung nach RIAA und für die unabhängige Höhen- und Bassregelung nach *P.J.Baxandall*.

Der zweite Teil enthält die Beschreibung von Treiber und Endstufe, zeigt die erreichten Werte und ein Fazit aus diesem Projekt. Er wird ergänzt mit einem Nachtrag zum ersten Teil. Die Gesamtschaltung des neuen Verstärkers und weitere Zusatzinformationen sind abrufbar [14].

### Treiber und Phasenumkehrer

Die Treiberstufe mit einer ECC40 Doppeltriode entspricht der Schaltung des EL6411 (Bild 11). Sie besteht aus einer Verstärkerstufe – in deren Kathode auch das Gegenkopplungssignal eingespiesen wird

– und der Phasenumkehrstufe, die die Endröhren ansteuert. Das entspricht einer Standard-Lösung, die später meist mit der ECC83 realisiert wurde. Die Phasenumkehrstufe hat etwas Mühe mit der variablen Eingangsimpedanz der EL81 bei höheren Leistungen und zeigt im Oszilloskop «Verdickungen» auf der Sinuskurve – das sind Schwingungen im HF-Bereich. Im Original musste deswegen ein 47k Seriewiderstand im Kathoden-Zweig eingebaut werden, in meiner Umsetzung war noch mehr nötig: ein 100pF Kondensator im Kathoden- und ein 22kΩ Widerstand im Anodenzweig.

### Endstufe

Die Gegentaktendstufe mit den zwei EL81 wurde weitgehend so aufgebaut, wie sie im Originalgerät EL6400 war (Bild 11). Die beiden Röhren werden mit einer einstellbaren, festen Gittervorspannung in Klasse AB für 20W Ausgangsleistung betrieben. Der Arbeitspunkt liegt dort, wo bei

reduziertem Anodenstrom und kleinem Signal die Verzerrungen am geringsten sind (~20mA). Die Schirmgitter werden mit der halben Anodenspannung betrieben, die in der Stromversorgung eigens dafür erzeugt wird. Ein Relais schützt neu die Röhren bei Ausfall der Gittervorspannung. Die Widerstände in der Kathode dienen der Messung und Einstellung des Anodenstroms. Da beide Röhren dieselbe Vorspannung haben, sollten sie einigermaßen gepaart sein. Der Gegentakt-Ausgangsübertrager ist auf der Primärseite durch eine Funkenstrecke vor Überspannungen bei fehlendem Lautsprecher geschützt.

### ELA 100V Technik

Auf der Sekundärseite ist der Ausgangstrafo für die ELA 100V-Technik – umschaltbar für tiefere Spannungen (z.B. USA mit 70V) – ausgelegt. Diese 100V-Technik erlaubt den Parallelanschluss zahlreicher, nach abzugebender Leistung unterschiedlich dimensionierter Lautsprecher(-grup-

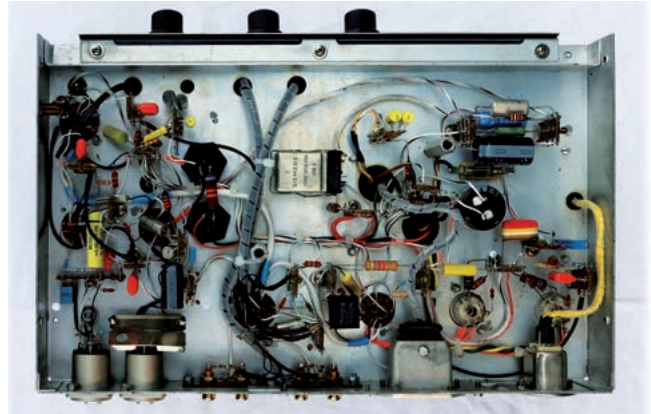
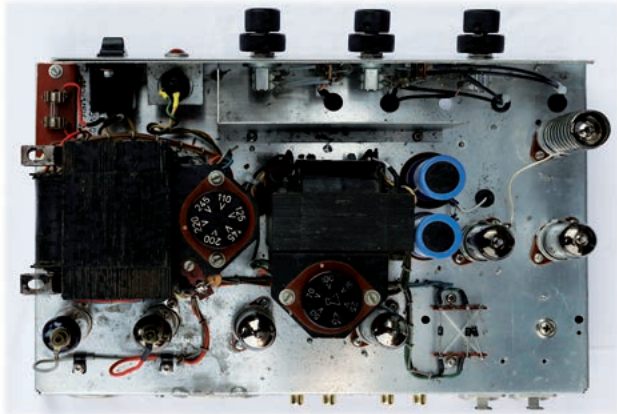


Bild 12: Gesamtansicht des Verstärkers EL6400/11 MkIIB (ohne Haube und Bodenplatte)

pen) mit einer einzigen Leitung – auch an verschiedenen Orten und in grösserer Distanz – ohne dafür Kabel mit grossem Querschnitt verwenden zu müssen. Die Summe aller parallelgeschalteten Lautsprecherimpedanzen darf dabei den der Maximalleistung entsprechenden  $\Omega$ -Wert nicht unterschreiten, höhere Werte (also weniger Belastung) sind ok. Bei 20W entsprechen 100V einer Last von  $500\Omega$ , also benötigen meine zwei JBL Lautsprechersäulen mit je  $4\Omega$  Impedanz Vorschalttransformatoren von  $1k\Omega : 4\Omega$  mit wenigstens 10W Belastbarkeit. Beide Säulen können dann maximal je 10W abgeben.

Solche neuen ELA 100V-Transformatoren für Musik und verschiedene Anpassmöglichkeiten sind verfügbar [9]. Einfachere Typen aus China sind mehr für Sprache geeignet.

### Stromversorgung

Die benötigten Gleichspannungen werden aus dem Netztrafo mit Si-Dioden gewonnen, alte Se- lenglrichter sind zu ersetzen. Die Siebkette für die Vorstufen ist etwas länger und die negative Gittervorspannung speist auch das Schutzrelais. Dieses schaltet die G2-Spannung der EL81 und schützt diese. Das abrufbare Gesamtschema [14] zeigt die Umsetzung im Detail.

### Gesamtverstärker MkII, Aufbau

Der Aufbau der neuen Schaltung erfolgte, wie im Original, Punkt-Punkt mit Lötstützpunkten. Das Layout der Röhrenfunktionen entspricht, mit Ausnahme der zusätzlichen ECC40, ebenfalls dem Original. Die Verdrahtung zu den Transformatoren konnte belassen werden, unten im Chassis dagegen ist fast alles neu. Durch die zusätzlichen Komponenten ist das Layout dichter, auch wenn viele moderne Elemente kleiner sind. Die Heizleitungen sind verdrillt und teilweise abgeschirmt, abgeschirmt sind auch alle längeren Signalleitungen (Bild 12).

Die notwendigen Doppelpotentiometer mit zwei konzentrischen Achsen und passenden Knöpfen werden zum Glück für E-Gitarren neu hergestellt. Neue  $50+50\mu\text{F}$  Becherelkos gibt es wieder von F&T. Alle Kondensatoren im

Audiopfad sind moderne Folienkondensatoren – «Audiokondensatoren» müssen es nicht sein. Auf der Rückseite wurden neue Buchsen eingebaut, XLR für MM und Mic, je 2x RCA für die Direkteingänge. Damit können neu auch Stereoquellen angeschlossen werden.

### Resultate MkII

Die erreichten technischen Daten sind erfreulich und in Tabelle 1 zusammengefasst. Die Performance des Verstärkers [13] am Fest mit über 50 Personen war sehr gut, mit dem TD150 und den zwei JBL Boxen konnten gute Qualität und Volumen produziert werden. Dank «Baxandall» konnte auch auf die alten Platten, den Raum und den heutigen Hörstil eingegangen werden. Die Gäste waren interessiert und überrascht, welche Performance in den 50ern und mit nur 20W möglich war!

Leistung:	2W		10W		20W			
Klirrfaktor	<1%		-2.5%		-3.5%			
Kanäle:	Aux (L oder R)		MM (L oder R)		Mic (mono)			
Geräuschabstand	65dB		>45dB		>55dB			
Empfindlichkeit	<200mV		<5mV@1kHz		2mV			
Frequenzgang **	20Hz-10kHz $\leq \pm 0.5\text{dB}$		$\Delta$ 35Hz-17kHz $\leq \pm 0.5\text{dB}$		-			
	bei 17kHz -3dB		$\Delta$ bei 20Hz < -1dB		-			
** Pegelmessungen: Aux am LS-Ausgang @ -2W - $\Delta$ zu RIAA direkt am Ausgang Summierstufe								
Klangregler:	dB (Referenz 600Hz)							
Höhen +	1kHz +1.4	3kHz +5.6	6kHz +9.2	9kHz +10.5	16kHz +11	-		
Höhen -	-1.0	-4.6	-9.4	-15	-20	-		
Bässe +	300Hz +2.6	150Hz +6.1	100Hz +7.8	70Hz +9.0	30Hz +10	20Hz +10		
Bässe -	-3.5	-7.6	-10	-12	-13.5	-12.5		

Tabelle 1: Gemessene Daten am überarbeiteten Verstärker MkIIB (mit HP333A, Distortion Analyzer + RMS Voltmeter)

**Fazit**

Rückblickend sind – neben diesem Erfolg – im Projekt auch Schwachstellen auszumachen:

- die Röhrenheizung der Vorstufen mit Wechselstrom, die zu Brummeinstreuungen auch innerhalb der Röhren führt und schwierig abzuschirmen bleibt. 1954 war natürlich die heute übliche Gleichstromheizung in Audiovorstufen viel zu aufwändig und zu teuer.

- die ECC40, die Abstriche bei der Gesamtperformance verursacht und nicht überzeugt. Es sind der hohe Heizstrom, der mässige Geräusch- und Brummabstand, der kleine Verstärkungsfaktor und der kleine Innenwiderstand. Wenig erstaunlich, dass später in diesen Anwendungen andere Röhren, bei Trioden meist die ECC83, bevorzugt wurden.

- die falsche Wahl der ECC40 als MM-Vorstufe. Mit dieser Schaltung werden die Bässe viel zu wenig angehoben und die Höhen zu stark abgesenkt. Das neue, richtige Konzept wird im folgenden Nachtrag beschrieben.

Positiv aufgefallen sind dagegen die EF40 und die EL81, die sich hinter Nachfolgetypen nicht verstecken müssen. Die vergleichbaren, noch heute eingesetzten EF86 und EL84 würden in diesem Umfeld keine wesentlichen Verbesserungen bringen.

**Nachtrag zur MM-Vorstufe**

Die zu Beginn der Arbeit und beim ersten Einsatz verwendete EF40 als MM-Vorstufe brachte den richtigen Frequenzgang, aber zu wenig Verstärkung. Sie wurde später, zu wenig überlegt, durch eine zweistufige Anordnung mit einer ECC40 ersetzt. Leider habe ich die Entzerrerkurve damals nicht nochmals nachgemessen und viel zu spät festgestellt, dass

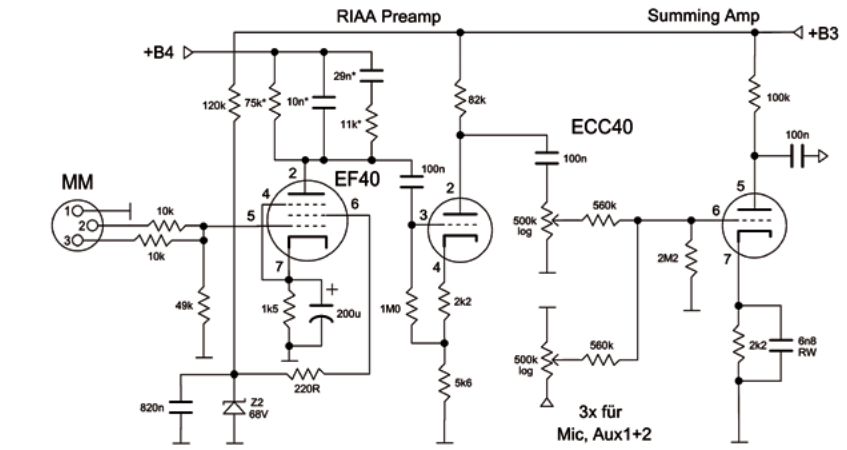


Bild 13: Der neue Phonoentzerrer und Summierverstärker MkIIB

das RIIA-Netzwerk so nicht funktioniert. Die notwendige Bassanhebung ist völlig ungenügend und die Höhen werden zu stark abgesenkt. Deshalb ist das MM-Design im Teil 1 fehlerhaft und muss verbessert werden.

Ein Studium des *Komissarov*-Aufsatzes [14] zeigte, dass es einen hohen Innenwiderstand und eine hohe Verstärkung in der Eingangsstufe braucht (sie wirkt als Stromquelle), was den Einsatz einer Pentode erfordert.

Die neue, sorgfältig ausgemessene Konfiguration besteht deshalb wieder aus einer EF40 als Vorstufe, ergänzt um 1/2ECC40, die den Pegel vor dem Summierverstärker anhebt. Die Gegenkopplung in der Kathode bestimmt die passende Verstärkung. Die jetzt resultierende Entzerrerkurve ist ein wenig besser als die von Komissarov angegebenen Richtwerte.

Die Summierstufe wird auch 1/2ECC40 und damit tauschen die beiden Vorröhren im Chassislayout den Platz. Die neue Schaltung ist in Bild 13 (ersetzt Bilder 5 & 9 im Teil 1) dargestellt und in der Gesamtschaltung [14] des Verstärkers integriert. Zum Glück konnte sie mit wenig Änderungen umgesetzt werden.

Trotz diesem Fehler hoffe ich, dass diese Reise in die Tontechnik der 50er Jahre zum Verständnis einiger der in unseren gesammelten Geräten verwendeten Audioschaltungen beigetragen hat. Bei mir entstand der einsatzbereite «Philips EL6400/11 MkIIB» – das Projekt und die Reise dorthin waren lehrreich und interessant. Kommentare und Anregungen zu diesen Themen gerne an: [hb9aik@hb9aik.ch](mailto:hb9aik@hb9aik.ch).

**Anmerkungen und Quellen:**

[9] VISATON TR 84 100V ELA Übertrager, für Musikübertragung geeignet. Primär 10W/1k0, 6W/1k7 oder 3W/3k3), sekundär 4 oder 8Ω, 20Hz-20kHz @-3dB.

[12] Die archivierten HISTEC Journale sind hier: <https://enter.ch/shop-services/downloads/>

[13] Noch mit der Pentode EF40 in der Komissarov-MM-Vorstufe, nicht einer ECC40!

[14] Alle diese Infos sind auf meiner Webseite zu finden: <https://hb9aik.ch/HISTEC.html>. Auch der redigierte Komissarov-Aufsatz, jetzt in Englisch (Russisch mit Google gelesen).