

High-Endstufe für Aktivboxen

Kompakter Verstärker zum „Aktivieren“ von Lautsprechern



Von
Alfred Rosenkränzer
(D)

Eine Aktivbox ist gegenüber ihrem passiven Pendant zwar deutlich aufwändiger, hat jedoch klare audioteknische und damit klangliche Vorteile. Damit sich dieser Aufwand in Grenzen hält, wurde ein unkompliziertes Endstufenmodul entwickelt. Nebst passender aktiver Frequenzweiche kann man davon zwei, drei oder vier Stück in eine Box einbauen (je nach Zwei-, Drei oder Vierwegesystem) und durch ein einziges Netzteil versorgen.

In Lautsprecherboxen, die mehr als einen einzigen Breitbandlautsprecher beherbergen, stecken in der Regel passive Frequenzweichen, die aus (im besten Fall) dicken, fetten Luftspulen und nicht ganz preiswerten Folienkondensatoren aufgebaut sind. Sie haben die Aufgabe, die spektrale Energie passend an Tief-, Mittel- und Hochtöner zu verteilen, wenn es sich um einen klassischen Dreiwegelautsprecher handelt. Für Stereoklang benötigt man daher bei passiven Systemen zwei Endstufen. Bei einer Aktivbox hingegen ist jeder Lautsprecher an einem eigenen Verstärker angeschlossen und die Frequenzweiche ist „aktiv“ -

sie arbeitet also mit Transistoren oder Opamps und sitzt vor den jeweiligen Endstufen.

Vor- und Nachteile

Der Hauptnachteil aktiver Lautsprecherboxen ist der Aufwand: Für zwei Dreiwegelautsprecher benötigt man in der aktiven Variante eben sechs statt der üblichen zwei Endstufen. Dieses Mehr an Elektronik macht Aktivboxen teurer und deutlich seltener. Selbst im High-End-Segment sind aktive Systeme nicht unbedingt die Regel. Abgesehen davon überwiegen die technischen und somit die audiophilen Vorteile aktiver Kon-

zepte: Zum einen ist es ein Riesenvorteil, dass die Lautsprecher über kurze Leitungen direkt mit dem Ausgang „ihrer“ Endstufe verbunden sind. Man spart sich nicht nur dicke und damit gleichermaßen teure wie nicht so einfach verlegbare Lautsprecherkabel. Dadurch dass in Aktivboxen eben keine Spule und kein Kondensator in Serie mit den einzelnen Lautsprechern liegt, ist nicht nur die Dämpfung der Lautsprecher optimal, sondern entfallen auch die Verzerrungen, die durch hohe Ströme an passiven Bauteilen hervorgerufen werden können. Dies gilt besonders bei billigen passiven Frequenzweichen, die statt mit hochwertigen und entsprechend teuren Luftspulen und Folienkondensatoren mit preiswerteren Spulen mit Ferritkernen und bipolaren Elkos aufgebaut sind. Was weiter für aktive Lösungen spricht: Man kann bei aktiven Frequenzweichen mit geringen Kosten steilere Frequenzgänge = bessere Trennungen der Frequenzbereiche realisieren und zudem auch noch Besonderheiten wie Phasenkorrekturen etc. ermöglichen. Bei 2.1-Systemen benötigt der Subwoofer keinen Speziallautsprecher mit zwei Schwingspulen, da eine aktive Frequenzweiche die tieffrequenten Signale für den einzelnen Woofer sehr simpel zu einem Kanal mit einer Endstufe addieren kann. Wer im Internet oder auf der Elektor-Webseite nach Frequenzweichen fahndet, der wird eine Menge unterschiedlicher Weichenkonzepte für alle denkbaren Anwendungen finden. Bevor es Missverständnisse gibt: Es gibt passive Lautsprecher, die klanglich voll überzeugen. Nicht jede aktive Box ist allein schon deshalb besser. Auf jeden Fall aber lässt sich eine passive Box

durch „Aktivierung“ in Form des Ersatzes der passiven durch eine aktive Weiche samt der notwendigen Endstufen prima tunen. Dieser Unterschied ist mehr als nur messbar...

Endstufenkonzepte

Gegenüber einer passiven Box enthält ein aktives Lautsprechersystem eine Menge Elektronik. Eine externe Lösung würde einen Vorteil eines aktiven Systems reduzieren: die kurzen Leitungen und die damit verbundene hohe Dämpfung. Außerdem ergäben die für ein externes Dreiwegsystem notwendigen sechs dicken Litzen zu den Lautsprechern einen unästhetischen Drahtverhau. Es hilft also nichts: Die Elektronik muss zusätzlich zu den Lautsprechern in deren Gehäuse und daher ist der zur Verfügung stehende Platz in aller Regel begrenzt.

Der Platz limitiert auch an anderer Stelle: Endstufen im „Killerwatt“-Bereich nebst zugehörigem Netzteil sind zu voluminös. Man tut daher gut daran, sich für heimisches Hören auf Klasse statt auf Masse zu besinnen und sich nicht von einer unnötigen Wattomanie anstecken zu lassen. Für Wohnzimmer-kompatible Aktivlautsprecher sind also eher Endstufen mit sehr guten technischen Daten und eher kleineren bis mittleren Leistungen gefordert, die kompakt und einfach sind.

Weiter ist es wichtig, dass man mehrere dieser Endstufen an einem einzigen Netzteil betreiben kann, ohne dass diese sich gegenseitig beeinflussen. Schließlich sorgen Bassimpulse dafür, dass entsprechende Stromimpulse vom Netzteil fällig werden, was durchaus zu Spannungs-

Technische Daten:

Kompakte Qualitätsendstufe für Aktivboxen

Maximale Eingangsspannung:	0,62 V für 23 W an 8 Ω
Ausgangsleistung (bei ±25 V):	34 W an 4 Ω; 23 W an 8 Ω
Versorgungsspannung:	±25 V für 4 Ω; ±42 V für 8 Ω
Bandbreite (1 W an 8 Ω):	16,4 Hz bis 230 kHz (-3 dB)
S/N (Signal/Rausch-Verhältnis):	>100 dB (22 Hz bis 22 kHz)
S/N (1 W an 8 Ω):	>103 dB(A)
THD (Verzerrungen):	<0,1% (34 W / 4 Ω; 23 W / 8 Ω)
THD + N (mit Rauschen):	0,0023 % (1 kHz; 1 W / 8 Ω)
THD + N (B = 22 kHz):	0,006% (11 W / 8 Ω)
	0,006% (1 W / 4 Ω)
	0,015% (17 W / 4 Ω)
Dämpfungsfaktor:	>600 (1 kHz)
Dämpfungsfaktor (1 W an 8 Ω):	>400 (20 kHz)
Ausgangs-Offset-Spannung:	54 mV

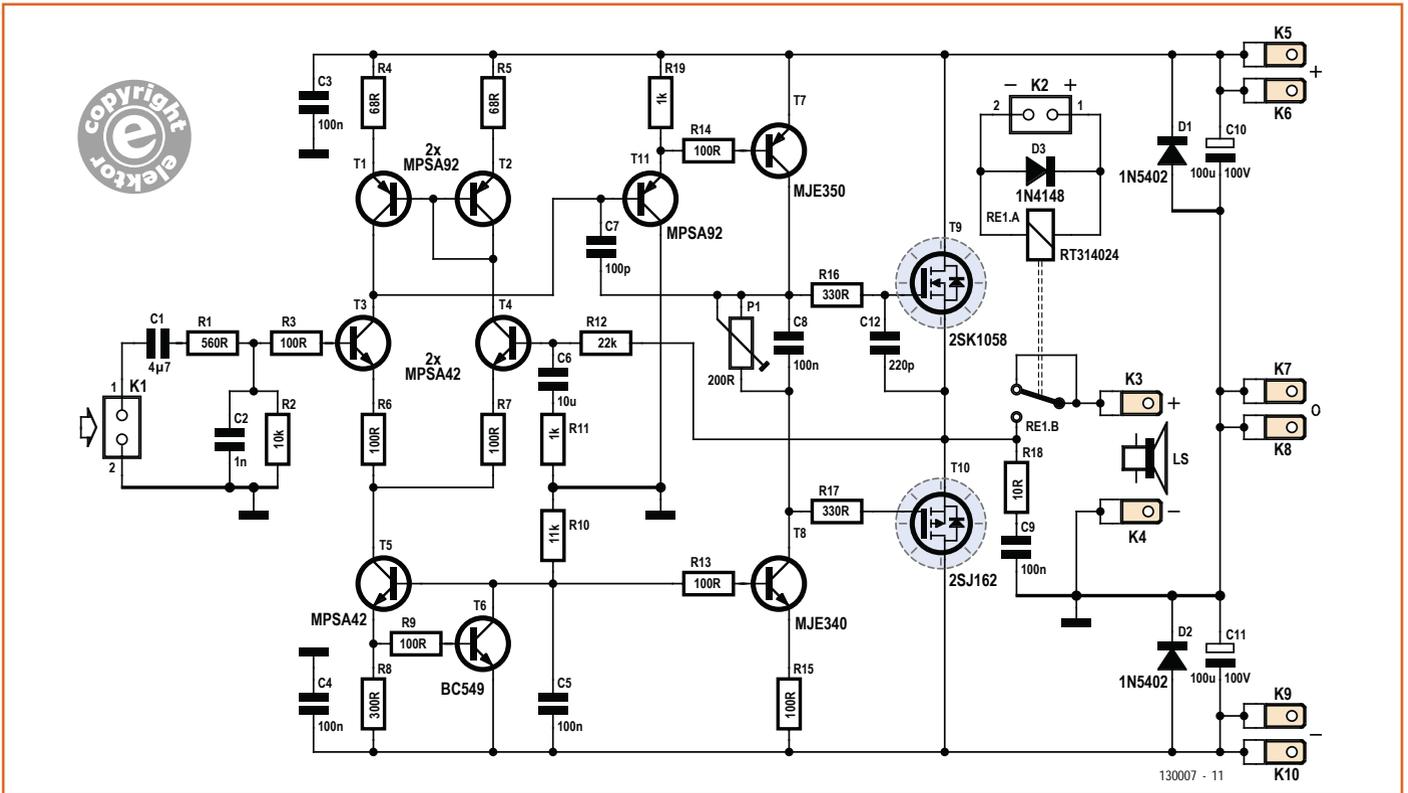


Bild 1.
Der Schaltplan der kompakten High-Endstufe.

schwankungen führen kann. Diese sollten nicht zu Beeinträchtigungen des Mittel- oder Hochtonkanals führen. Andernfalls wäre pro Endstufe auch noch ein eigenes Netzteil erforderlich – man kann es auch übertreiben.

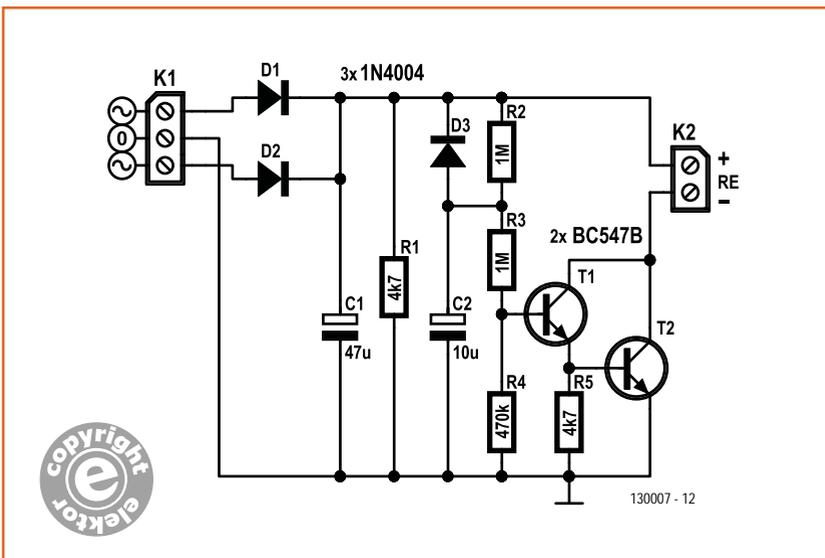
Bild 2.
Die Ansteuerung der Relais ist recht einfach.

Passend zu diesen Anforderungen hat der Autor einen modularen Endverstärker entwickelt, der sich sehr gut für den Einsatz in Aktivboxen eig-

net. Bei der Schaltungskonzeption ließ er sich von den Überlegungen von Douglas Self leiten [1], aus dessen Feder in Elektor neben anderen Audio-Schaltungen ein besonders guter Vorverstärker [2] veröffentlicht wurde, der sich übrigens ideal zum Ansteuern von Aktivlautsprechern eignet.

Verstärkerschaltung

Wie bei modernen Endstufen üblich wird auch dieser Verstärker symmetrisch versorgt. Ein Ausgangselko ist daher überflüssig – er wäre ja gerade in Aktivboxen kontraindiziert. Was in der Schaltung von **Bild 1** direkt ins Auge sticht ist der Einsatz von komplementären Power-MOSFETs als Endtransistoren. Dabei handelt es sich nicht um Exemplare, wie sie z.B. in Schaltnetzteilen etc. eingesetzt werden, sondern um FETs von Hitachi mit eher geringer Steilheit und höheren Kanalwiderständen. Diese waren in Elektor schon öfter in Endstufen zu sehen. Das hat seinen Grund: Durch die höheren Drain-Source-Widerstände ergeben sich zwar höhere Verluste und damit geringere Ausgangsleistungen (bei gegebener Versorgungsspannung). Dafür bekommt man aber auch besseres Klangverhalten, denn z.B. im Bereich der Vollaussteuerung ist das Begrenzungsverhalten sanfter – ganz ähnlich wie bei Röhren übrigens.



Gegenüber niederohmigeren MOSFETs glänzen die Hitachi-Typen zudem mit recht geringen Gate-Source-Kapazitäten. Die Eingangskapazität des N-Typs (T9) liegt bei nur 600 pF und die von T10 bei 900 pF. C12 gleicht diesen Unterschied weitgehend aus. Die geringen Kapazitäten erlauben eine relativ einfache, hochohmige Ansteuerung bei Audiofrequenzen und somit niedrige Treiberströme. Die 330 Ω von R16 und R17 dämpfen daher hohe Frequenzen nicht so sehr. Hinzu kommt, dass die Treibertransistoren T7 und T8 keine hohe Steuerleistung aufbringen müssen und daher auch ungekühlt nicht sehr warm werden. Zur Ruhestromeinstellung genügt mit P1 ein simpler Trimmpoti ohne zusätzliche Stabilisierungsmaßnahmen. Der Temperaturgang von T9 und T10 ist nämlich genau anders herum wie bei bipolaren Transistoren, weswegen der Ruhestrom auch bei Erwärmung nicht davonläuft, sondern sich selbst begrenzt.

Die Treiberstufe funktioniert so: Statt eines Widerstands liegt am Kollektor der in Emitter-schaltung betriebenen, aus T11 und T7 bestehenden darlington-ähnlichen Stufe die aus T8 gebildete Konstantstromquelle. Der Strom durch T7 und T8 ergibt sich aus der Spannung an R15. Diese wiederum ergibt sich aus der Spannung am Kollektor von T6, die sich aus U_{BE} von T6 plus U_{BE} von T5 minus U_{BE} von T8 zusammensetzt. An R15 liegen also etwa 0,67 V, was einen Strom von knapp 7 mA ergibt. Die Verlustleistung an T7 bzw. T8 liegt daher bei einer Versorgung mit ±25 V bei nur 170 mW – eine Kühlung erübrigt sich. Selbst bei einer Versorgung mit ±42 V werden die Treiber-Ts nicht bedenklich heiß.

Nun zur Eingangsstufe: T3 und T4 bilden einen fast klassischen Differenzverstärker. In den Kollektorleitungen liegt ein aus T1 und T2 gebildeter Stromspiegel, was elegant die Leerlaufverstärkung erhöht, denn die Stromverstärkung der verwendeten Transistoren ist nicht allzu hoch. Die beiden Emitter werden über R6 und R7 von der Stromquelle aus T5 und T6 gespeist, deren Strom sich aus R8 und U_{BE} von T6 ergibt. Durch T3 und T4 fließen also je rund 1,1 mA. Vor der Basis von T3, dem nichtinvertierenden Eingang, liegt ein Tiefpass aus R1 und C2 zum Blocken eingestreuter HF und zur Limitierung der Anstiegsgeschwindigkeit der Eingangssignale, der gleichzeitig den Frequenzgang des Verstärkers begrenzt. C1 blockt Gleichspannungsanteile am Eingang. Die Grenzfrequenz des mit R2 (+ R1) gebildeten Hochpasses ist mit rund 3,5 Hz tief genug,

damit die untere Grenzfrequenz des Verstärkers weitgehend durch den Tiefpass aus R11 und C6 determiniert wird (16 Hz). Die Gesamtverstärkung wird durch das Verhältnis aus R12/R11 auf etwa 22 = 27 dB festgelegt.

Stromspiegel und Konstantstromquellen entkoppeln die Vorstufe und damit den kompletten Verstärker weitgehend von der Versorgungsspannung. Das ist der Grund, warum man mehrere dieser Endstufen trotz ihrer scheinbar simplen Schaltungstechnik an einem gemeinsamen Netzteil betreiben kann, das nicht einmal stabilisiert zu sein braucht.

Relaisanschaltung

Wenn man einen Verstärker einschaltet, dann dauert es wie bei jeder anderen gegengekoppelten Elektronik eine kurze Zeit, bis sich stabile Verhältnisse eingestellt haben. So könnten z.B. ein Offset am Eingang und andere Phänomene einen Impuls am Ausgang produzieren, der bei direkt angeschlossenen Lautsprechern zu einem deutlich vernehmbaren „Plopp“ führt. Was im Falle eines Tieftöners mit seiner großen Schwingspule lediglich ein unangenehmes Geräusch ist, kann für einen direkt angeschlossenen Hochtöner aber durchaus gefährlich werden. In einer Aktivbox sitzt nämlich kein schützender Kondensator in Serie mit dem Hochtöner, der die übertragene Energiemenge begrenzt. Hochtöner sind empfindlich, denn sie sind nicht für hohe Dauerlasten, sondern nur für die mittlere spektrale Hochtonenergie von typischen Musiksignalen gebaut, die ziemlich gering ist.

Sicher ist es daher, die Lautsprecher nicht direkt, sondern verzögert über ein Relais mit kräftigen Kontakten anzuschließen. Die verzögerte Relaisansteuerung verhindert jeden Einschaltknacks. Idealerweise wird der Lautsprecher auch schneller abgetrennt, als die Versorgungsspannung fällt. Dann kann auch beim Ausschalten nichts schief gehen. Aus diesem Grund befindet sich RE1 in der Schaltung. Jede Endstufe hat also ihr eigenes Relais. Zur Ansteuerung dient die Schaltung von **Bild 2**. K1 wird einfach zusätzlich an die Sekundärseite des Netztrafos angeschlossen. Beim Einschalten wird C1 schnell und C2 langsam über R2 geladen. Daher wird das Anziehen von an K2 angeschlossenen Relais um einige Sekunden verzögert. Beim Ausschalten wird der Energieinhalt des relativ kleinen C1 schnell durch die Relais aufgebraucht, weshalb die Spannung an der Basis von T1 flott fällt, da D3 den Kondensator C2 fix entlädt. T2

Über den Autor

Alfred Rosenkränzer arbeitet seit 29 Jahren als Entwicklungsingenieur, zu Anfang im Bereich der professionellen Fernsehtechnik. Seit Ende der 1990er Jahre entwickelt er digitale High-Speed- und Anlogschaltungen für IC-Tester. Das Thema Audio ist sein privates Steckenpferd.

scheint zwar als BC547B etwas schmalbrüstig, doch das in Bild 1 angegebene Relais benötigt an 25 V nur etwa 18 mA, weshalb die Steuerschaltung locker drei dieser Relais treiben kann. Die ganze Schaltung ist so einfach, dass sie leicht auf einem Stückchen Lochrasterplatine aufgebaut und an passender Stelle platziert werden kann.

Aufbau

Für dieses schöne Verstärkermodul wurde eine Platine entworfen, deren Bestückungsplan in **Bild 3** zu sehen ist. Wenn man mit Hilfe des PCB-Prototypers [3] oder mit Hausmitteln diese doppelseitige Platine [4] selbst herstellt, dann muss man auf die fehlenden Durchkontaktierun-

gen achten und wo nötig und möglich die Bauteile von beiden Seiten anlöten. Z.B. bei Keramik-Cs wurden für unterschiedliche Rastermaße mehr Bohrungen als nötig vorgesehen. Die nicht genutzten Bohrungen kann man mit Drahtstückchen zur Verbindung von Ober- und Unterseite nutzen. Elkos kann man mit etwas Abstand montieren und sie so von zwei Seiten anlöten. Mit einer fertigen Platine hat man diese Probleme nicht und dank bedrahteter Bauelemente ist die Bestückung ziemlich stressfrei (siehe **Bild 4**). Etwas komplexer ist die Bestückung von T9 und T10. Sie kommen zuletzt an die Reihe und sitzen direkt auf dem Kühlkörper (siehe **Bild 5**). Die Platine hat passende Löcher für die Befestigungs-

Stückliste

Widerstände:

¼W / 1% wenn nicht anders angegeben

- R1 = 560 Ω
- R2 = 10 k
- R3,R6,R7,R9,R13,R14,R15 = 100 Ω, 400 mW
- R4,R5 = 68 Ω
- R8 = 300 Ω
- R10 = 11 k
- R11,R19 = 1 k
- R12 = 22 k*
- R16,R17 = 330 Ω
- R18 = 10 Ω, 1 W, 5 %
- P1 = 200 Ω, Mehrgang-Trimpoti, stehend

Kondensatoren:

- C1 = 4µ7 / 63 V, RM 5/7,5 mm
- C2 = 1 n / 63 V, RM 2,5/5 mm
- C3,C4 = 100 n / 100 V, X7R, RM 2,5/5 mm
- C5 = 100 n, 63 V, MKT, RM 2,5/5 mm
- C6 = 10 µ, 63 V, MKT, RM 5/7,5/10/15 mm
- C7 = 100 p / 1000 V, MKP, RM 5 mm
- C8 = 100 n / 63 V, MKT, RM 2,5/5 mm
- C9 = 100 n / 63 VAC, MKT, RM 2,5/5 mm
- C10,C11 = 100 µ / 100 V, Elko, ø max. 13,5 mm, RM 5 mm
- C12 = 220 p, 1000 V, 5 %, MKP, RM 5 mm

Halbleiter:

- D1,D2 = 1N5402
- D3 = 1N4148
- T1,T2,T11 = MPSA92
- T3,T4,T5 = MPSA42
- T6 = BC549C
- T7 = MJE350
- T8 = MJE340

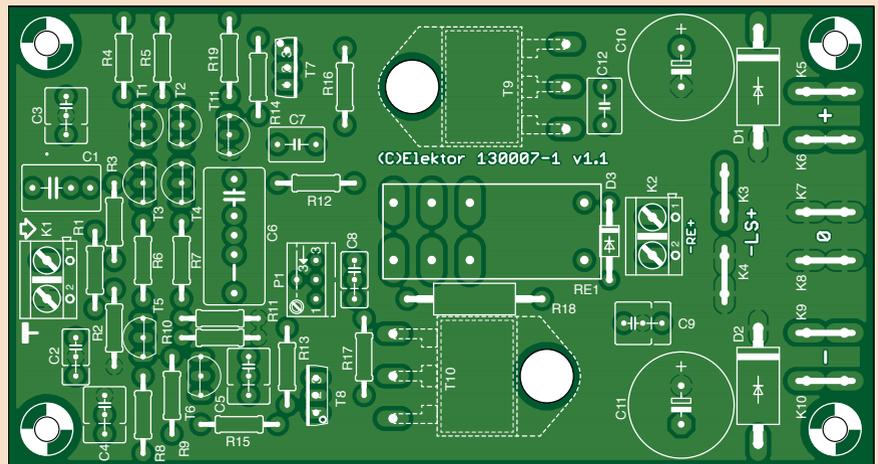


Bild 3. Der Bestückungsplan der High-Endstufe.

- T9 = 2SK1058
- T10 = 2SJ162

Außerdem:

- K1,K2 = 2-pol. Schraubklemme für Platinenmontage, RM 5 mm
- RE1 = RT314024, Relais für Platinenmontage 24 V / 1440 Ω, 1x um, 250 VAC / 16 A
- K3-K10 = Faston Flachstecker, stehend, RM 5,08 mm
- T9,T10 = Isolierscheibe für TO-3P, z.B. Kapton MT Film 0,15 mm
- Kühlkörper mit 1,2 K/W, z.B. SK 85/75 SA von Fischer Elektronik
- Platine EPS # 130007-1 v1.1*

* siehe Text



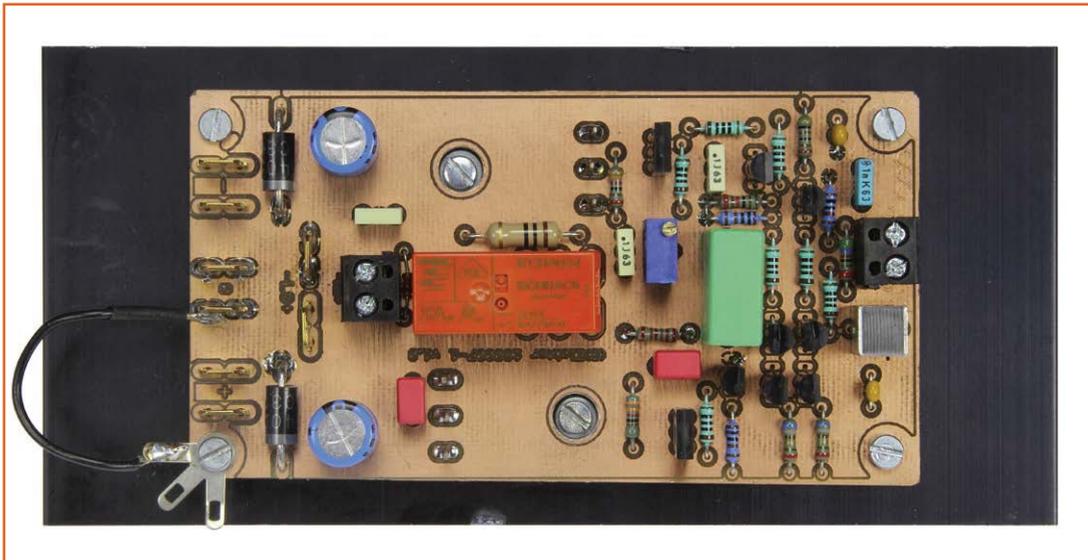


Bild 4.
So sieht die fertig
aufgebaute Platine des
Prototypen von oben aus.

schrauben der Transistoren. Sie eignet sich gut als Schablone zum Anzeichnen der Bohrlöcher auf dem Kühlkörper. Die Platine sollte mit mindestens 6 mm Abstand vom Kühlkörper montiert werden. Das geht mit metallenen 5-mm-Abstandshülsen plus Sprengringen oder entsprechenden Schraubbolzen. T9 und T10 tragen samt Isoscheibe keine 5 mm auf und so wird jeder direkte thermische Kontakt mit der Platine vermieden.

Hat man die Löcher im Kühlkörper gebohrt, schraubt man T9 und T10 samt Isoscheiben leicht fest. Wenn man die Beinchen dann passend hochbiegt, kann man die Platine aufstecken und die Beinchen oben anlöten. Entfernt man dann die Befestigungsschrauben für T9 und T10

(geht problemlos, da die Bohrungen in der Platine 7 mm Durchmesser haben), kann man Platine samt Transistoren abheben und die Beinchen auch unten anlöten. Anschließend wird die Platine wieder auf den Kühlkörper geschraubt. Die Schrauben für T9 und T10 nicht vergessen! Auch M3-U-Scheiben passen durch die 7-mm-Löcher.

Inbetriebnahme

Die Verstärkermodule sind für eine Betriebsspannung von ± 25 V ausgelegt. Diese erzielt man einfachst durch einen Netztrafo mit 2 x 18 V sekundär und 1,2 A Belastbarkeit für 8- Ω -Lautsprecher. Hinzu kommen ein Brückengleichrichter B40C2200 und zwei Siebelkos mit je 4.700 μ F / 35 V. Das

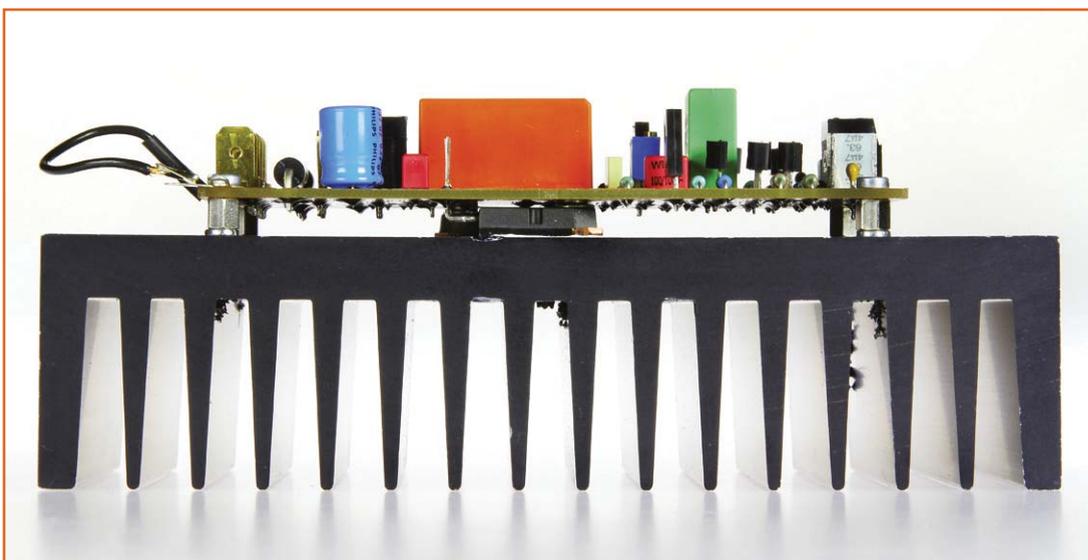
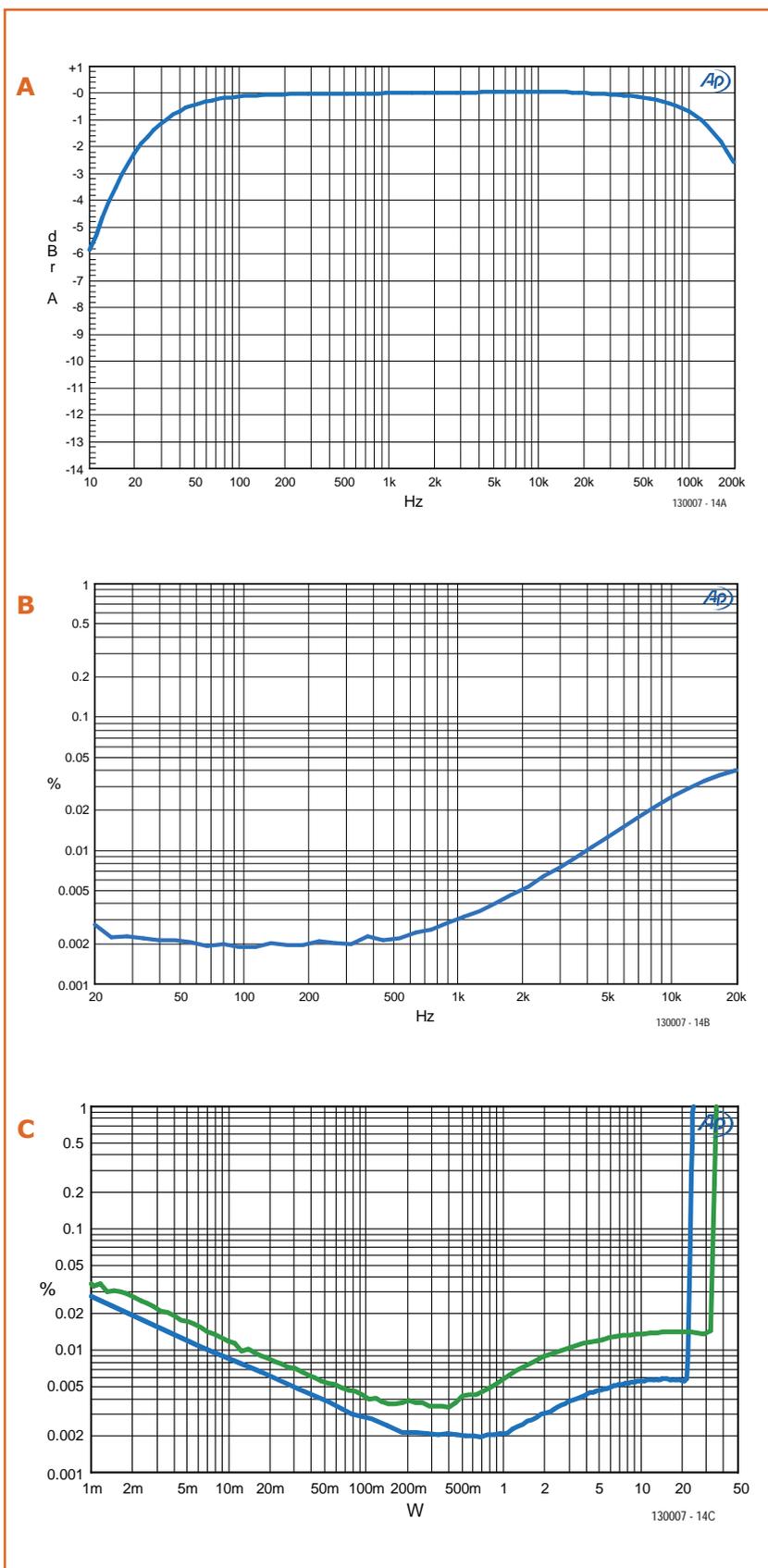


Bild 5.
Hier kann man schön sehen,
wie die Endtransistoren
befestigt sind.



reicht locker für drei High-Endstufen aus. Bei 4- Ω -Lautsprechern und dementsprechend höherer Leistung sollte der Trafo mit 2 A belastbar sein. Bevor man ein Verstärkermodul anschließt, sollte P1 auf minimalen Widerstand gedreht werden. Als Vorsichtsmaßnahme empfiehlt es sich, das Modul zunächst an ein geeignetes Labornetzteil anzuschließen oder aber je zwei kräftige 12-V-Autobirnen in die Zuleitungen einzuschleifen. Wenn dann etwas schief geht wird es nur hell statt rauchig. Bei kurzgeschlossenem Eingang wird der Ruhestrom auf 90 mA eingestellt. Hierzu stellt man ohne angeschlossenen Lautsprecher im positiven Versorgungszweig einen Strom von 99 mA ein (im negativen Zweig entspricht dies einem Strom von 101 mA). Geht das und liegt die Gleichspannung am Ausgang bei angezogenem Relais im Bereich von ± 50 mV, ist alles in Ordnung und man kann testweise einen Lautsprecher und ein Eingangssignal anschließen.

Wenn die Gleichspannung am Ausgang aber höher ausfällt, kann man entweder ein anderes Exemplar für T3 oder T4 bestücken, da diese Spannung von der Differenz ihrer Stromverstärkung abhängt, oder aber man spielt mit dem Wert von R2. Größere Werte reduzieren die Spannung - kleinere Werte erhöhen sie. Werte zwischen 4,7 k Ω und 33 k Ω für R2 gehen in Ordnung.

Kurven

Die High-Endstufe wurde im Elektor-Labor ausgiebig getestet und vermessen. Die Messergebnisse führten zu den schönen Kurven in **Bild 6**, die von der hohen Qualität dieses Verstärkers zeugen: Die obere Kurve A zeigt die Leistungsbandbreite bei 1 W an 8 Ω . Sie reicht von 16 Hz bis über 200 kHz (-3 dB). Jeder Lautsprecher und jeder Hörraum verformt diese Übertragungsfunktion weit mehr.

Die mittlere Kurve B zeigt den prozentualen Anteil an Verzerrungen plus Rauschen über der Frequenz bei 1 W an 8 Ω . Bei niedrigen Frequenzen sind die Störanteile minimal. Oberhalb von 1 kHz steigen die Verzerrungen langsam an. 0,04 % bei 20 kHz sind aber immer noch hervorragend.

Bild 6.

Diese drei Messschriebe zeigen die Bandbreite (A), Verzerrungen plus Rauschen abhängig von der Frequenz (B) sowie die Verzerrungen in Abhängigkeit von der Leistung (C) für 4 Ω (grün) und 8 Ω (blau).

Weblinks:

- [1] Audio Power Amplifier Design von Douglas Self: www.douglas-self.com/ampins/books/apad.htm
- [2] Preamp 2012, High-End-Vorverstärker für den Selbstbau: www.elektor-magazine.de/110650
- [3] PCB Prototyper: [www.elektor.de/projekte/pcb-prototyper-\(100619\).1599802.lynkx](http://www.elektor.de/projekte/pcb-prototyper-(100619).1599802.lynkx)
- [4] Elektor-Webseite mit Downloads zu diesem Artikel: www.elektor-magazine.de/130007

Die beiden Kurven im unteren Diagramm C zeigen getrennt für 4- Ω - und 8- Ω -Lasten, wie die Verzerrungen mit der Leistung ansteigen. Bei 8 Ω steigen die Verzerrungen oberhalb von 1 W. Bei 4 Ω beginnt der Anstieg beim gleichen Strom und daher der halben Leistung. Wenn die Signale begrenzt werden, überschreiten die Verzerrungen schnell die 1-%-Marke.

Sonstiges

Wer mehr Leistung aus den Verstärkern holen will, der kann die Betriebsspannung auf bis zu 42 V erhöhen. An 8 Ω hat man dann gut 60 W mit leicht höheren Verzerrungen zur Verfügung. In der Folge muss man einen Widerstand mit 1 k Ω und 1 W Belastbarkeit in Serie zu jedem Relais schalten. Als Trafo eignet sich hier ein Exemplar mit 2 x 30 V und 2 A Belastbarkeit. Die Spannungsfestigkeit der Siebelkos sollte dann 63 V betragen.

Der Autor steuerte bei einer ± 42 -V-Versorgung sogar 4- Ω -Lautsprecher an und erzielte so gut 100 W Leistung (der Trafo muss dann 3 A liefern können). Das ist beim häuslichen Musikhören auch mit dem angegebenen Kühlkörper kein Problem, da (anders als z.B. bei einem Gitarrenverstärker) die mittlere abgegebene Leistung sehr viel niedriger als die Spitzenleistung ist. Die höhere Spitzenleistung sorgt daher hauptsächlich für eine höhere Dynamik und schiebt die Grenze weiter hinaus, bei der Signalimpulse begrenzt werden.

Die Platine hat für jeden Versorgungsanschluss je zwei Flachstecker. Dies erleichtert das Durchschleifen der Versorgungsleitungen. Selbstverständlich sollte dann als erstes Modul der Bassverstärker angeschlossen sein, denn der braucht am meisten Strom.

(130007)

