

Fortissimo-100 - Verstärker mittlerer Leistung [210364]

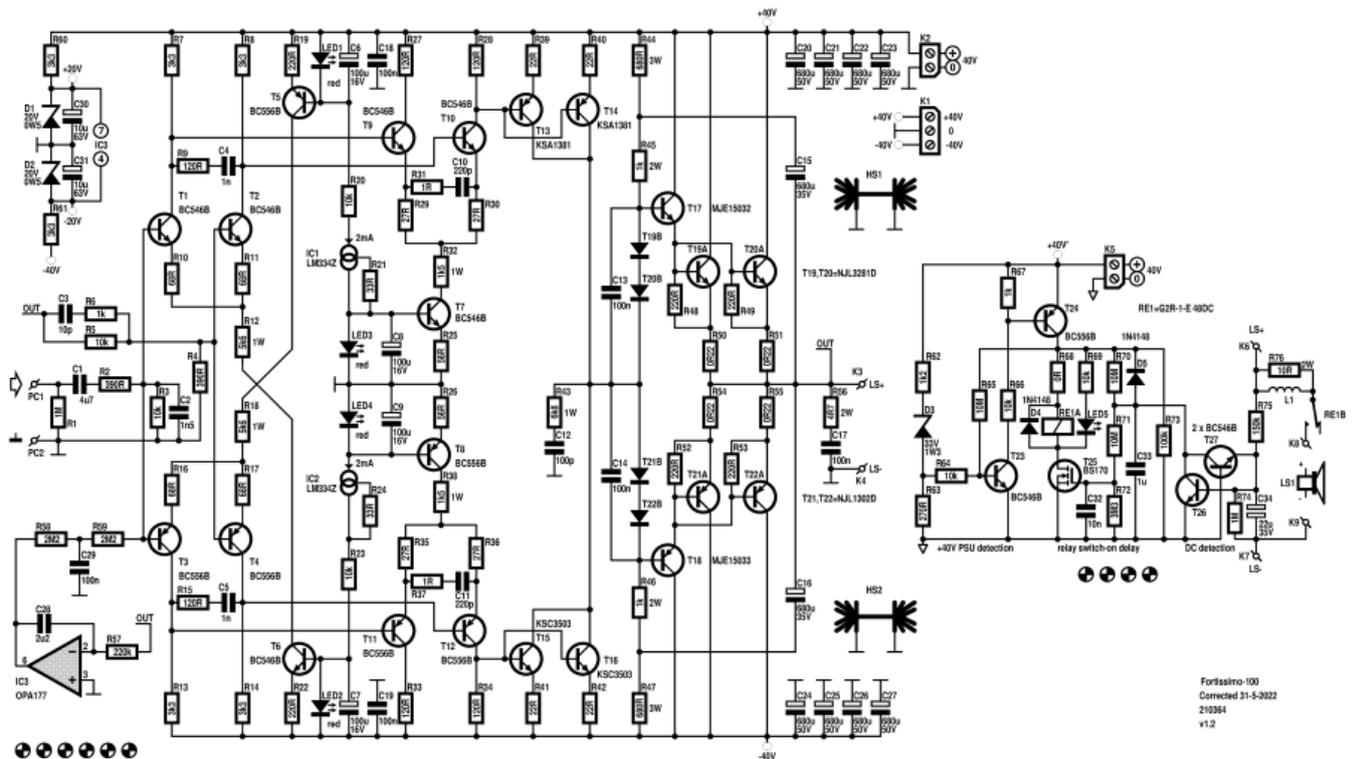


High-End, THD+N 0,0008 % bei 50 W/8 Ω , Max. Leistung (THD 1%) 98W/8 Ω 188W/4 Ω , Massives Modul, alle THT-Komponenten, ThermalTrak-Leistungstransistoren, vollsymmetrischer Aufbau

Dieser Verstärker ist teilweise mit Verstärkern aus der Vergangenheit wie dem Medium Power AF-Verstärker von Oktober 1990 (<https://www.elektormagazine.com/magazine/elektor-199010/32233>). Die Ausgangsstufe ist jedoch von anderer Art, sie ist immer noch Klasse-AB, hat aber eine symmetrische Bootstrap-Konfiguration. Der maximale Ausgangshub ist höher, ohne dass höhere Versorgungsspannungen für die Spannungsverstärkerstufen verwendet werden müssen. Dieser Bootstrap funktioniert am besten mit thermisch angepassten Vorspannungsdioden wie in ThermalTrak-Transistoren von On Semiconductor, Typen NJL3281D (NPN) und NJL1302D (PNP). Die maximale Ausgangsspannung ist auf diese Weise fast 2 V höher als bei der klassischen Konstruktion, bei der die Gegentaktstufe der Spannungsverstärkerstufe den Strom eines Bias-Transistors zur Temperaturkompensation der Schwankung der Basis-Emitter-Spannung der Transistoren einstellt Ausgangsstufe. Die Stromversorgung muss geregelte

symmetrische +/- 40 V haben, um eine optimale Leistung zu gewährleisten. Die maximale Leistung (THD 1%) liegt bei 100 W bei einer 8-Ω-Last und bei 190 W bei einer 4-Ω-Last (siehe Messungen). Alle Teile sind Durchgangsbohrungen, was den Aufbau des Verstärkers erleichtert. Das Design ist vollständig symmetrisch. Die sechs Transistoren in der Endstufe sind auf halbem Weg unter der Platine platziert und die Hauptplatine ist parallel zum Kühlkörper platziert, wodurch ein solides Modul entsteht. Es müssen 6 3-mm-Löcher gebohrt werden, um die Leistungstransistoren zu montieren, und 6 3-mm-Löcher für Abstandshalter, um die Leiterplatte am Kühlkörper zu befestigen. Unter der Annahme, dass der Kühlkörper SK53-100-SA von Fischer Elektronik verwendet wird, muss kein M3-Innengewinde geschnitten werden, indem M3-Gewindebohrer und -Griff verwendet werden. Die 12 Löcher sind zwischen den Finnen platziert und es gibt sogar ein wenig Spielraum für Fehler. Diese mechanische Arbeit ist wahrscheinlich der schwierigste Teil beim Aufbau des Verstärkers.

Schematische



Differenzverstärkerstufen

Das Design verwendet die guten alten BC546B/BC556B-Transistoren speziell für die Differenzverstärker (T1/T2, T3/T4, T9/T10, T11/T12). Diese Typen haben eine höhere Übergangsfrequenz als modernere Typen wie KSC1845/KSA992. Seien Sie immer vorsichtig, wenn Sie BC546B und BC556B durch andere Typen ersetzen. Die zuvor genannten Typen haben nicht nur eine andere Pinbelegung, sondern wirken sich auch auf die Stabilität aus. Die Verwendung anderer Typen ändert die Frequenzkompensationsnetzwerke und möglicherweise auch das Layout. Als Referenz für die Stromquellen der Differenzverstärker dienen rote, rechteckige LEDs, die neben dem Transistor angeordnet sind. Um die Verlustleistung der Stromquellentransistoren T5, T6, T7 und T8 zu begrenzen, sind 1-W-Widerstände R12, R18, R32 und R38 in Reihe geschaltet. Um die Referenzspannungen so sauber wie möglich zu machen, stellen zwei integrierte Stromquellen vom Typ LM334 (IC1/IC2) den Strom durch die LEDs auf 2 mA ein. Eine für jede Seite der symmetrischen Stromversorgung. Da die maximale Spannung des LM334 40 V beträgt, genau wie die Versorgungsspannung des Verstärkers, werden die Widerstände R20 und R23 in Reihe geschaltet, um die Spannung zwischen IC1 und IC2 zu senken, nur um sicherzugehen. Der Strom der LM334 wird durch die 33-Ω-Widerstände R21 und R24 eingestellt. Die Verstärkung des Verstärkers wird durch die Rückkopplungswiderstände R4 und R5 eingestellt und beträgt etwa 26,6. Tiefpassfilter R2/R3/C2, um Frequenzen am Eingang herauszufiltern, die der Verstärker nicht verarbeiten kann, senkt die Gesamtverstärkung auf 25,6. Die für einen unverzerrten Ausgangshub benötigte maximale Eingangsspannung liegt bei etwas über 1 V. C3 und R6 in der Rückkopplung sorgen für HF-Stabilität. Frequenzkompensations-RC-Netzwerke R9/C4 und R15/C5 in den ersten Differenzverstärkern (T1/T2, T3/T4) sind notwendig, um die Rückkopplung des Verstärkers stabil zu machen. Die zweiten Differenzverstärker (T9/T10, T11/T12) bieten eine kleine zusätzliche Verstärkung, aber was noch wichtiger ist, treiben die nächste Verstärkerstufe (Gegentakt) mit einer viel niedrigeren Impedanz (R28 und R34). Die Netzwerke R31/C10 und R37/C11 sind Leitungskompensationen zur Verbesserung der HF-Charakteristik des Verstärkers. Um die Kollektor-Emitter-Spannung beider Transistoren im zweiten Differenzverstärker nahezu gleich zu machen, werden R27/R33 addiert. Die Spannungsdifferenz zwischen R27 und R28 (R33 und R34) darf 0,35 V nicht überschreiten,

vorzugsweise weniger (theoretisch weniger als 0,1 V), sonst sind die Eigenschaften (VBE und hFE) der Transistoren in den ersten Differenzverstärkern nicht gleich genug. Beim Messen werden Sie eine Abweichung feststellen, da die Transistorpaare nicht wie ein echter Doppeltransistor im selben Gehäuse auf demselben Chip thermisch gekoppelt sind. Die Transistoren in einem KIT werden nicht nach diesen Eigenschaften ausgewählt. Am besten ist es, sie zuerst zu messen und die gleichsten für die Paare auszuwählen. Es reicht nicht aus, Paare auszuwählen, indem nur eine hFE-Messung mit beispielsweise einem Multimeter verwendet wird. VBE bei gleicher Kollektor-Emitter-Spannung und Kollektorstrom muss gleich sein, auf ein mV (oder weniger)! VBE des NPN-Paares kann sich von dem des PNP-Paares unterscheiden. Diese Messung variiert stark mit der Temperatur der Umgebung! Am besten ist es, sie zuerst zu messen und die gleichsten für die Paare auszuwählen. Es reicht nicht aus, Paare auszuwählen, indem nur eine hFE-Messung mit beispielsweise einem Multimeter verwendet wird. VBE bei gleicher Kollektor-Emitter-Spannung und Kollektorstrom muss gleich sein, auf ein mV (oder weniger)! VBE des NPN-Paares kann sich von dem des PNP-Paares unterscheiden. Diese Messung variiert stark mit der Temperatur der Umgebung! Am besten ist es, sie zuerst zu messen und die gleichsten für die Paare auszuwählen. Es reicht nicht aus, Paare auszuwählen, indem nur eine hFE-Messung mit beispielsweise einem Multimeter verwendet wird. VBE bei gleicher Kollektor-Emitter-Spannung und Kollektorstrom muss gleich sein, auf ein mV (oder weniger)! VBE des NPN-Paares kann sich von dem des PNP-Paares unterscheiden. Diese Messung variiert stark mit der Temperatur der Umgebung!

Die Gegentaktstufe

T10 und T12 treiben eine Gegentaktstufe an. Zwei Transistorpaare (T13...T16) im TO-126-Gehäuse (SOT-32) sind parallel angeordnet, um die Ansteuerung der parasitären Kapazität der Ausgangsstufe zu verbessern und ihren Kollektorstrom auch bei maximaler Ausgangsansteuerung im linearen Bereich zu halten. Die Transistoren sind das Komplementärpaar KSC3503 und KSA1381 von Fairchild (jetzt Teil von ON Semiconductor). Diese

Transistoren sind für diesen Teil des Verstärkers hervorragend geeignet: hohe Spannung (V_{CE0} 300 V), niedrige Rückübertragungskapazität (C_{re} 1,8/2,3 pF) und lineare Verstärkung bis 50 mA ($I_{c\ max\ DC}$ 100 mA). Laut Datenblatt haben diese Transistoren h_{FE} -Klassifikationen C, D, E und F. Der aktuelle Hersteller dieser Transistoren ON Semiconductor hat nur Typ D (h_{FE} 60...120) des NPN KSC3503 und nur Typ E (h_{FE} 100...200) des PNP KSA 1381 (warum??). Besser wäre es, wenn NPN und PNP die gleiche Klassifizierung haben. Lokale Rückkopplungen R39/R40 und R41/R42 kompensieren einen großen Teil der unterschiedlichen Klassifizierung. Der Strom jedes Transistors wird auf etwa 13 mA (praktischer Wert) eingestellt, hier ist f_T fast am höchsten. Bei einem Strom von 20 mA beträgt die Verlustleistung ungefähr 0,77 W pro Transistor, wenn die zweiten Differentialpaare perfekt ausgeglichen sind. T14 und T15 sind auf einem gemeinsamen Kühlkörper (HS1) platziert, ebenso wie T15 und T16 (HS2). Diese Kühlkörper sind vom Typ SK104 von Fischer Elektronik. In die kleinen Kühlkörper müssen keine Löcher gebohrt werden. Standardmäßig haben sie bereits Löcher für TO-220-, SOT-32- und TO-3P-Gehäuse. Ein TO-126-Paket passt auch. Der Wärmewiderstand wird mit 9 K/W (50,8 mm Version) angegeben. Wenn man bedenkt, dass sich die Leiterplatte sehr nahe am großen Kühlkörper befindet, beträgt der zusätzliche Temperaturanstieg jedes Kühlkörpers dann nur zusätzliche 14 Grad. Bei diesen Transistoren wird keine elektrische Isolierung benötigt, nur ein wenig Wärmeleitpaste, das Gehäuse ist ein Vollkunststoff.

Ausgangsstufe

Die Schaltung um T17...T22 ist die Ausgangsstufe und ein Class-AB-Design. Die meisten analogen Leistungsverstärkerdesigns verwenden eine komplementäre Emitterfolgerstufe, bei der der Ruhestrom der Leistungstransistoren durch einen Transistor (auf demselben Kühlkörper montiert) in einer Zener-ähnlichen Anwendung (V_{BE} -Spannungsvervielfacher) temperaturstabilisiert wird. Hier hat jeder der komplementären Leistungstransistoren NLJ3281D (NPN) und NJL1302D (PNP) eine galvanisch getrennte Diode (T19B...T22B im Schaltplan), die auf dem Metallrahmen im Gehäuse des Transistors montiert ist. Diese Dioden messen die Sperrschichttemperatur des Leistungstransistors direkter und

sind besser geeignet, den Ruhestrom der Leistungstransistoren einzustellen. Bei 4 Leistungstransistoren stehen 4 Dioden zur Verfügung, die in Reihe geschaltet werden können, um alle 4 Basis-Emitter-Spannungen der Leistungstransistoren T19...T22 (2x2 parallel) und ihrer Treiber T17/T18 (MJE15032/MJE15033) zu kompensieren. Hier tritt jedoch das gleiche Problem auf, die Temperatur der Treiber wird auf diese Weise indirekt gemessen und verursacht dennoch eine Variation mit der Temperatur der DC-Stromeinstellung der Endstufe. Aber es gibt kein thermisches Durchgehen. Der Strom durch die Dioden wird durch 4 Leistungswiderstände R44...R47 eingestellt. Diese Widerstände sind Teil einer symmetrischen Bootstrap-Schaltung einschließlich C15 und C16, die den Strom durch die Dioden nahezu unabhängig vom Spannungshub macht. Der Hauptvorteil ist jedoch ein höherer

Ausgangsspannungshub. **Wichtig: Der Ruhestrom der Leistungstransistoren hängt vom Strom durch die Bootstrap-Widerstände ab, daher muss die Stromversorgung (Festspannung) auf +/- 40 VDC geregelt werden. Ein großer Trafo mit Brückengleichrichter und Glättungskondensatoren ist als Netzteil für diesen Verstärker nicht zu empfehlen!!!** Im letzteren Fall hätte der Ruhestrom eine kleine Welligkeit, die Versorgungsspannung würde sich mit Last und Ausgangsleistung ändern, und Netzspannungsschwankungen und die Leistung des Verstärkers würden sich verschlechtern. Heutzutage sind hervorragende Schaltnetzteile erhältlich, die speziell für Audio-Leistungsverstärker entwickelt wurden, wie zum Beispiel ein SMPS800RE. Seien Sie jedoch sehr vorsichtig, welche Art Sie verwenden. **Viele sind oft für Leistungsverstärker der Klasse D ausgelegt und haben eine Ausgangsspannung, die proportional zur Netzspannung variiert. Diese sind nicht geeignet!** Auch hier muss das zu verwendende SMPS eine stabile symmetrische Ausgangsspannung von +/-40 V haben, vorzugsweise selbst unter der stärksten Last von 3Ω (zulässige Mindestimpedanz des angeschlossenen Lautsprechers).

Die Spannung an den Leistungswiderständen R45 und R46 beträgt mehr oder weniger konstant 23,4 VDC, nahezu unabhängig vom Ausgangssignal (LS+). Die Verlustleistung dieser beiden Widerstände beträgt nur 0,54 W bei einem Wert von 1 k Ω . Wenn kein Ausgangssignal anliegt, liegt die

Gleichspannung an R44 und R47 bei etwa 15,9 V, aber aufgrund der Bootstrap-Kondensatoren C19 und C20 liegt auch die Ausgangsspannung (AC) an diesen Widerständen an. Der RMS-Wert einer Sinuswelle mit einem DC-Spannungs-Offset ist $\sqrt{(V_{DC}^2 + V_{ACSpitze}^2 / 2)}$. Nehmen wir an, bei dieser Endstufe beträgt die Gleichspannung 15,9 V und die Wechsellspannung 39 V Spitze, die Verlustleistung beträgt 1,5 W an 680 Ω . Bei totaler Übersteuerung des Verstärkers und maximalem Clipping sind die Ausgänge Rechteckwellen mit fast der Versorgungsspannung. Die Verlustleistung von R44 und R47 beträgt dann etwa 2,6 W. Das sollte niemals passieren! Um ein mögliches Durchbrennen dieser Widerstände zu verhindern, werden 3-W-Typen und 2-W-Typen für R45 und R46 verwendet; dies auch unter Berücksichtigung der Nähe des großen Kühlkörpers. Die angegebene maximale Verlustleistung von Leistungswiderständen hängt auch von der Umgebungstemperatur ab.

DC-Korrektur

Im Idealfall würden sich die Basisströme von T1 und T3 kompensieren. Aber alle Teile haben eine gewisse Toleranz. Selbst wenn die hFE der NPN-Eingangstransistoren die gleiche ist wie die der PNP-Transistoren, ist die von den LEDs eingestellte Referenzspannung höchstwahrscheinlich nicht, Widerstände haben Toleranzen, Basis-Emitter-Spannung der Stromquellentransistoren auch und so weiter. All dies verursacht Abweichungen in den aktuellen Einstellungen. Auch wenn die Basis-Emitter-Spannungen des NPN-Paares (und des PNP-Paares) nicht gleich sind, sind die Differenzverstärker nicht perfekt ausbalanciert und die Ströme durch die Transistoren jedes Differenzverstärkers sind nicht gleich und können ebenfalls ein Extra verursachen interner Offsetstrom. Messungen haben gezeigt, dass der hFE des PNP BC556B größer ist als der des NPN BC546B, aber das hängt vom Hersteller ab. Dieser Offsetstrom, die Differenz der Basisströme von T1 und T3 erzeugt eine Offset-Spannung über R3 (10 k Ω), die durch die Verstärkung des Verstärkers verstärkt wird (10 k Ω / 390 Ω + 1 = 26,6). Diese Offsetspannung muss kompensiert werden. Die Offsetspannung an R4, verursacht durch die Basisoffsetströme von T2/T4 bis R4/R5 (< 390 Ω), ist viel kleiner und kann vernachlässigt werden. Opamp IC3, ein OPA177, hat einen sehr niedrigen Eingangs-Offset und misst die DC-Ausgangsspannung

über R57 und C28. Die Ausgangsspannung des Verstärkers wird auf fast 0 V korrigiert, indem R3 über R58/R59/C29 ein sehr kleiner Gleichstrom zugeführt wird. C29 filtert jedes Restsignal, das von IC3 kommt. Die Spannung am Eingang der beiden Differenzverstärker wird auf diese Weise korrigiert, da der Einfluss von R3 viel größer ist als die Spannung an R4. Jeglicher Eingangs-Offset, der durch Unterschiede in den Basis-Emitter-Spannungen der Eingangsstufentransistoren verursacht wird, wird ebenfalls kompensiert. Selbst wenn die Ausgangsspannung 0 V beträgt, ist die Spannung an R3 aufgrund aller Toleranzen höchstwahrscheinlich nicht der Fall. In der Praxis wird es einen kleinen Offset über R3 geben, 0,7 mV in unserem Prototyp. Die symmetrische +/-20-V-Stromversorgung für den Operationsverstärker wird von der Hauptspannung von +/-40 V durch die Widerstände R60 und R61 und die Zenerdioden D1 und D2 abgeleitet.

Schutz

Liegt am Ausgang, aus welchen Gründen auch immer, eine Gleichspannung an, ist es notwendig, den angeschlossenen Lautsprecher zu schützen. T26 und T27 sind Teil der DC-Erkennung. Ein Relais dient zum Abschalten des von T24 und T25 angesteuerten Lautsprechers. Eine ausreichend große positive Gleichspannung an R75 erzeugt einen Basisstrom in T26, der C33 entlädt, und T25 wird ausgeschaltet. Eine ausreichend große negative Gleichspannung an R75 erzeugt einen Emitterstrom in T27, der C33 entlädt, und T25 wird ausgeschaltet. R75 und C34 erzeugen einen Tiefpassfilter, der verhindert, dass niedrige Audiofrequenzen das Relais deaktivieren, selbst bei maximalem Ausgangspegel. Um sicherzustellen, dass beim Ein- oder Ausschalten des Verstärkers der Lautsprecher nicht mehr mit dem Ausgang verbunden ist, wenn die Versorgungsspannung zu niedrig ist, deaktiviert T24 das Relais, der Schwellenwert liegt bei etwa 36,7 V (ein, 36,5 V aus). Dieser Pegel wird von der Zenerdiode D3 erfasst. Der Strom durch D3 wird durch R62 auf fast 5 mA eingestellt. Die Spannung über R63 wird von der folgenden Schmitt-Trigger-Schaltung gemessen, die aus T23/T24/R64/R65/R66/R67 besteht. Diese Schaltung muss eine kleine Hysterese haben, um ein Flattern des Relais durch Störungen oder eine Welligkeit der Versorgungsspannung bei hoher Ausgangsleistung zu verhindern. MOSFET T25 und R70/R71/R72/C33

verzögern das Erregen des Relais beim Einschalten, wenn die Stromversorgung hoch genug ist und am Ausgang des Verstärkers (K6) keine Gleichspannung anliegt. R73 und D5 entladen C33 schnell, wenn T24 abschaltet. Dadurch wird beim nächsten Einschalten oder Wegnehmen der Gleichspannung am Ausgang die maximale Einschaltverzögerung des Relais gewährleistet. Die Widerstände am Gate von T25 haben sehr hohe Werte, so dass C33 einen relativ kleinen Wert für eine ausreichend große Zeitkonstante haben und vom Kunststofffolientyp sein kann. Elektrolytkondensatoren haben im Allgemeinen hohe Leckströme und altern mehr und können die Zeitverzögerung früher oder später beeinflussen. C33 setzt die Verzögerung auf etwa 3,5 Sekunden. Dies gibt dem DC-Regelkreis Zeit, sich nach dem Einschalten einzupendeln. Das Relais ist vom Typ G2R-1-E DC48. Er hat eine Spulenspannung von 48 V und kann 16 A verarbeiten (laut Datenblatt kann er ca. 5 ADC bei 40 VDC schalten). Die Ansprechspannung des Relais beträgt 70 % der Spulennennspannung, also würden 34 V ausreichen, um das Relais zu aktivieren, und eine Versorgungsspannung von 40 V wird es immer aktivieren. Falls ein anderes Relais verwendet wird (der Footprint ist Standard) mit einer niedrigeren Spulenspannung von 24 V 0 Ω muss der Widerstand R68 (oder Drahtbrücke) durch einen Widerstand mit dem passenden Wert ersetzt werden. Beispiel: Ein Relais G2R-1-E DC24 hat einen Spulenwiderstand von 1100 Ω. Ein Widerstand sollte dann folgenden Wert haben: $(40-24)/(24/1100) = 733 \Omega$. Nehmen Sie den nächstniedrigeren E-12-Wert, also 680 Ω. An T23 und T24 tritt ein kleiner Spannungsabfall auf, der jedoch bei der Berechnung vernachlässigt werden kann. Die Verlustleistung von R68 in diesem Beispiel beträgt 367 mW und aus diesem Grund erlaubt der Platzbedarf die Verwendung eines 1-W-Widerstands, auch wenn der Spulenwiderstand noch niedriger ist.

Aufbau

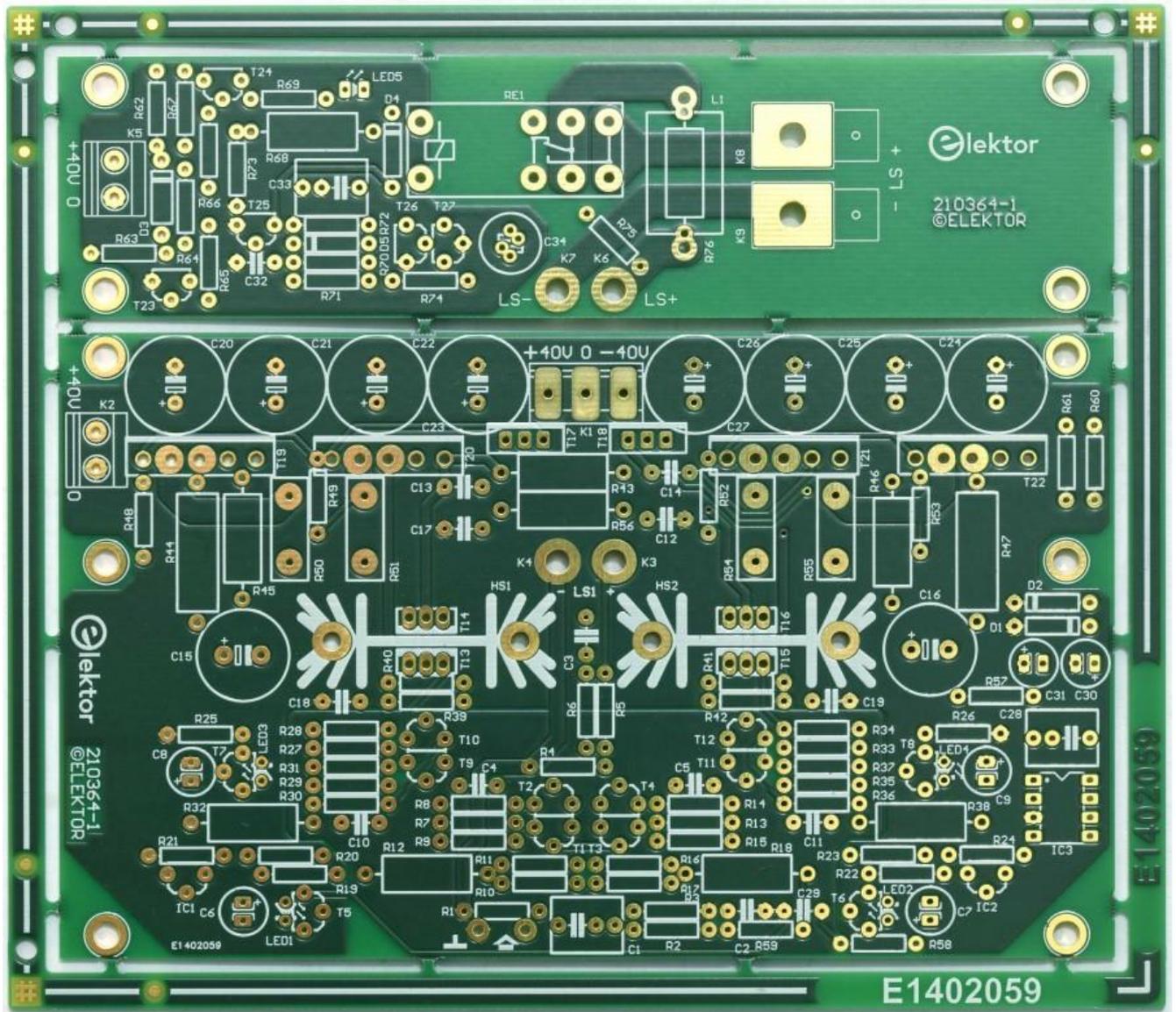
Das Design, insbesondere die Platzierung der Leistungstransistoren T17...T22 und der Platine, ist auf einfachen Aufbau ausgerichtet. Die erforderlichen mechanischen Arbeiten sollten mit einfachen Werkzeugen möglich sein, wie das Bohren von zwölf 3-mm-Löchern zum Montieren der Transistoren und das Befestigen der Platine parallel zur Rückseite des Kühlkörpers. Die Rippen

des ausgewählten Kühlkörpers, SK53-100-SA von Fischer Elektronik, haben genug Platz zwischen sich, um den Kopf von 3 mm (schwarzen) Schrauben dazwischen zu passen, und haben etwas Spielraum für Fehler. Die Leiterplatte wird mit sechs zehn mm langen Metall-Stift-Buchsen-Abstandshaltern mit M3-Gewinde auf dem Kühlkörper befestigt. Die Transistoren sind mit Keramikpads (Al_2O_3). Diese haben einen geringeren thermischen Widerstand als andere Typen. In der Endphase des Baus etwas Wärmeleitpaste auf die Rückseite der Transistoren und auf die Seiten der Pads, die gegen den Kühlkörper gelegt werden, nur eine sehr dünne Schicht! Treffen Sie Vorsichtsmaßnahmen, damit Sie die Wärmeleitpaste nicht auf Ihre Hände bekommen, viele davon sind giftig.

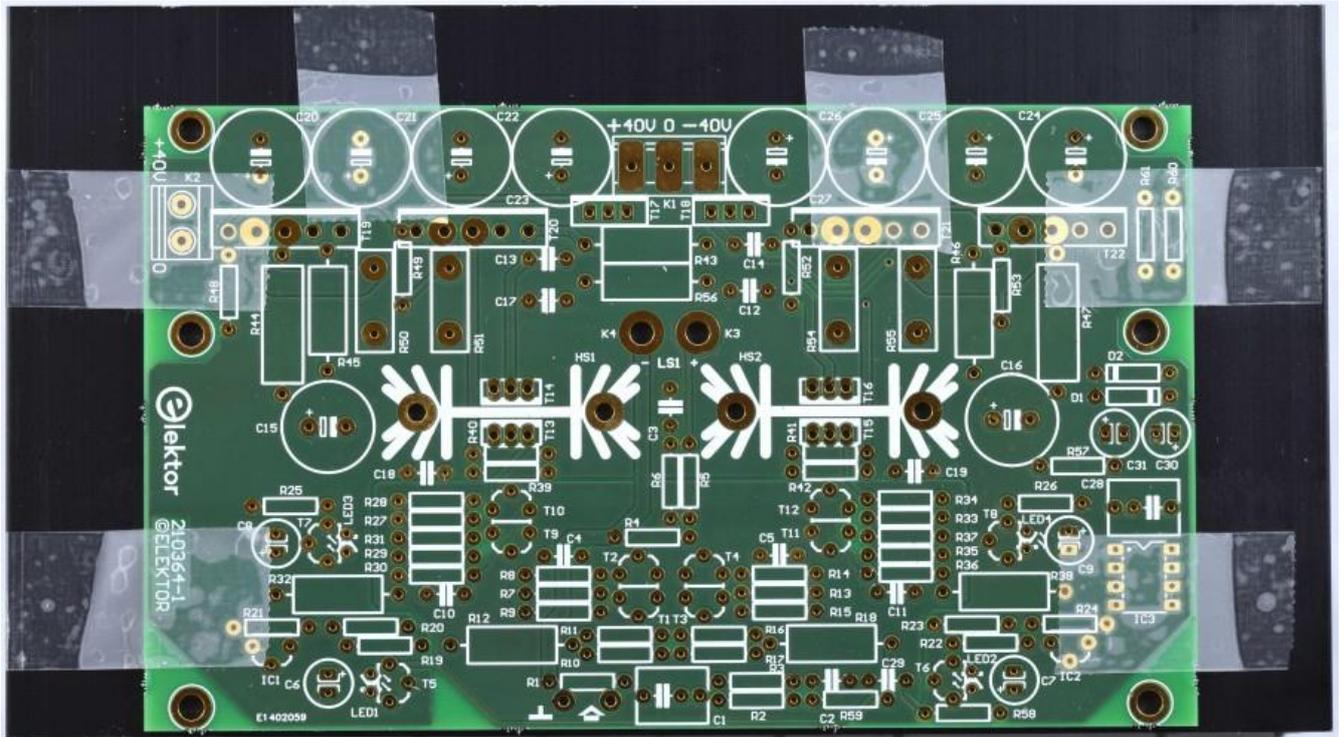
Der DC-Schutz und die Relaisschaltung befinden sich auf einer zweiten kleineren Platine, die parallel zur Verstärkerplatine angeordnet ist. Sechs 30 mm lange männlich-weibliche Metallabstandshalter sorgen für eine solide Konstruktion. Die Abstandshalter K3 und K4 (Verstärkerplatine) verbinden den Ausgang des Verstärkers mit LS+ und LS- auf der Schutzplatine und von dort über die Relais- und Ausgangsklemmen K8 und K9 mit dem Lautsprecher. Oben und unten befinden sich Kupferbahnen, um den Widerstand dieser Bahnen zu verringern. Die Faston-Steckverbinder K8 und K9 (PCB-Versionen) sorgen dafür, dass der Serienwiderstand dieser Verbindung zum Kabel sehr niedrig ist.

Wenn der Aufbau des Verstärkers abgeschlossen ist, sollten sich die Schraubenköpfe auf der Rückseite des Kühlkörpers befinden. Schwarze Schrauben fallen auf der Rückseite des Kühlkörpers nicht so sehr auf. Für die Transistoren habe ich schwarze Innensechskantschrauben (mit Innensechskant) verwendet, die bei Conrad Elektronik erhältlich sind. Schwarz 16 mm lange schwarze Schrauben sind seltsamerweise nicht bei vielen anderen Händlern für elektronische Teile zu finden.

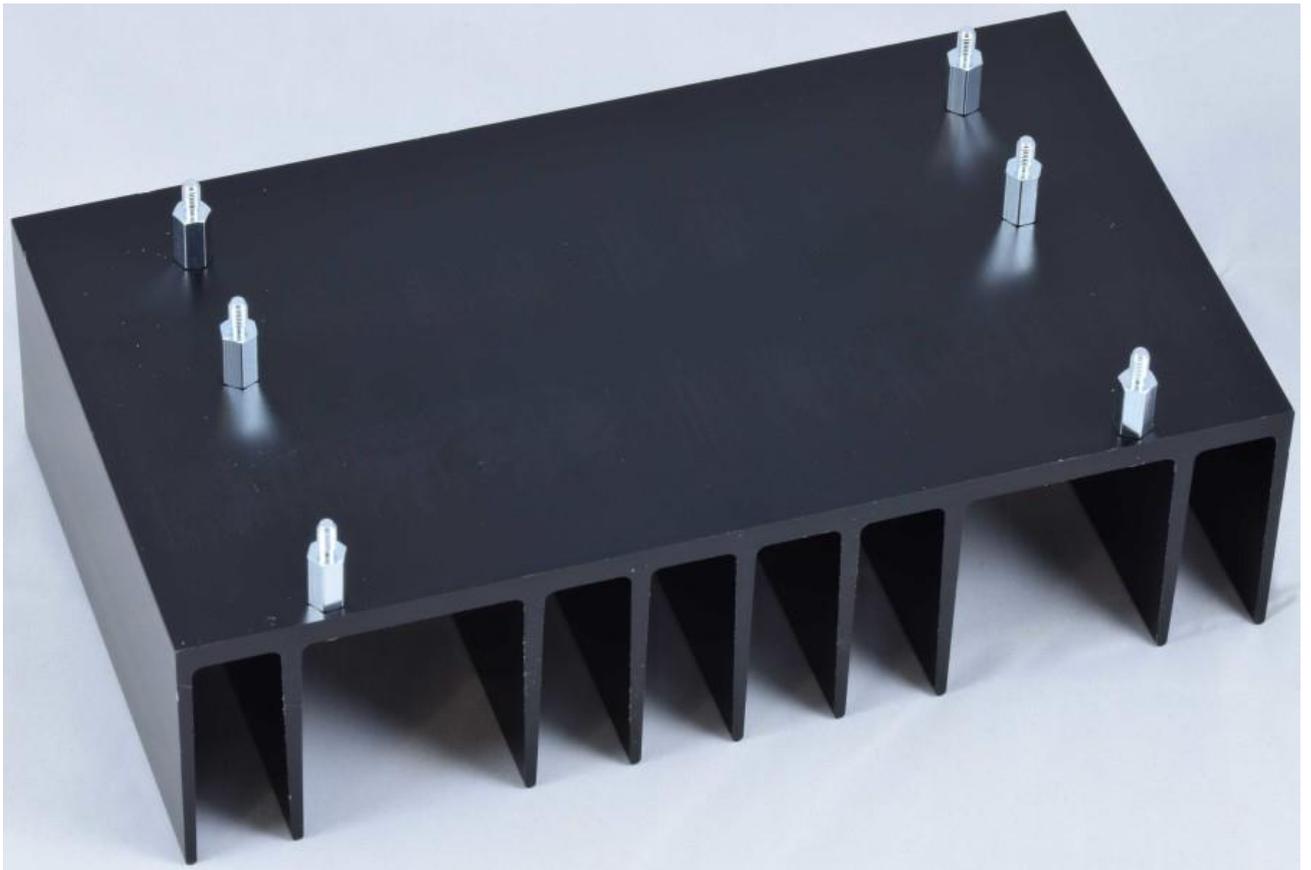
Die Bestückung der Bauteile auf der Leiterplatte kann beginnen.



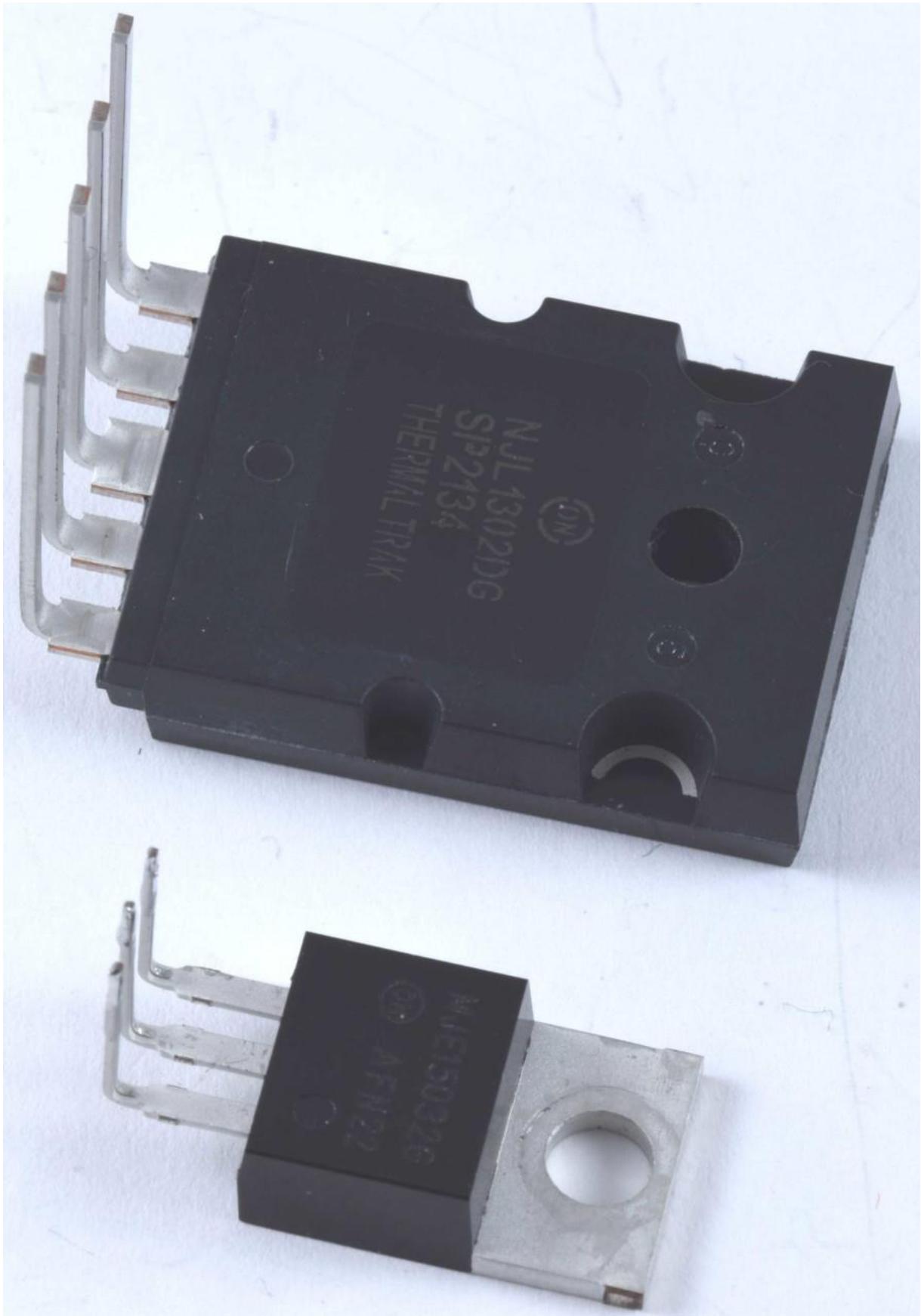
Das erste Foto zeigt das Panel der Platine



Das zweite Foto zeigt die Platine in der Mitte des Kühlkörpers 1 mm von der Kante entfernt (wo sich C1 befindet) und vorübergehend mit Klebeband befestigt, damit die sechs Positionen für die Metallabstandshalter markiert werden können. Verwenden Sie einen 3,5-mm-Bohrer und drehen Sie ihn mit etwas Druck gegen den Uhrzeigersinn in die sechs Löcher an den kurzen Seiten der Platine, ohne die Platine zu beschädigen. **K3 und K4 nicht markieren . Diese beiden haben keinen Kontakt zum Kühlkörper! Diese beiden sind der Ausgang des Verstärkers!!!** Alle sechs Löcher befinden sich in ausreichendem Abstand von den Rippen, um genügend Platz für die Köpfe der Schrauben mit einer kleinen Fehlerquote zu haben.

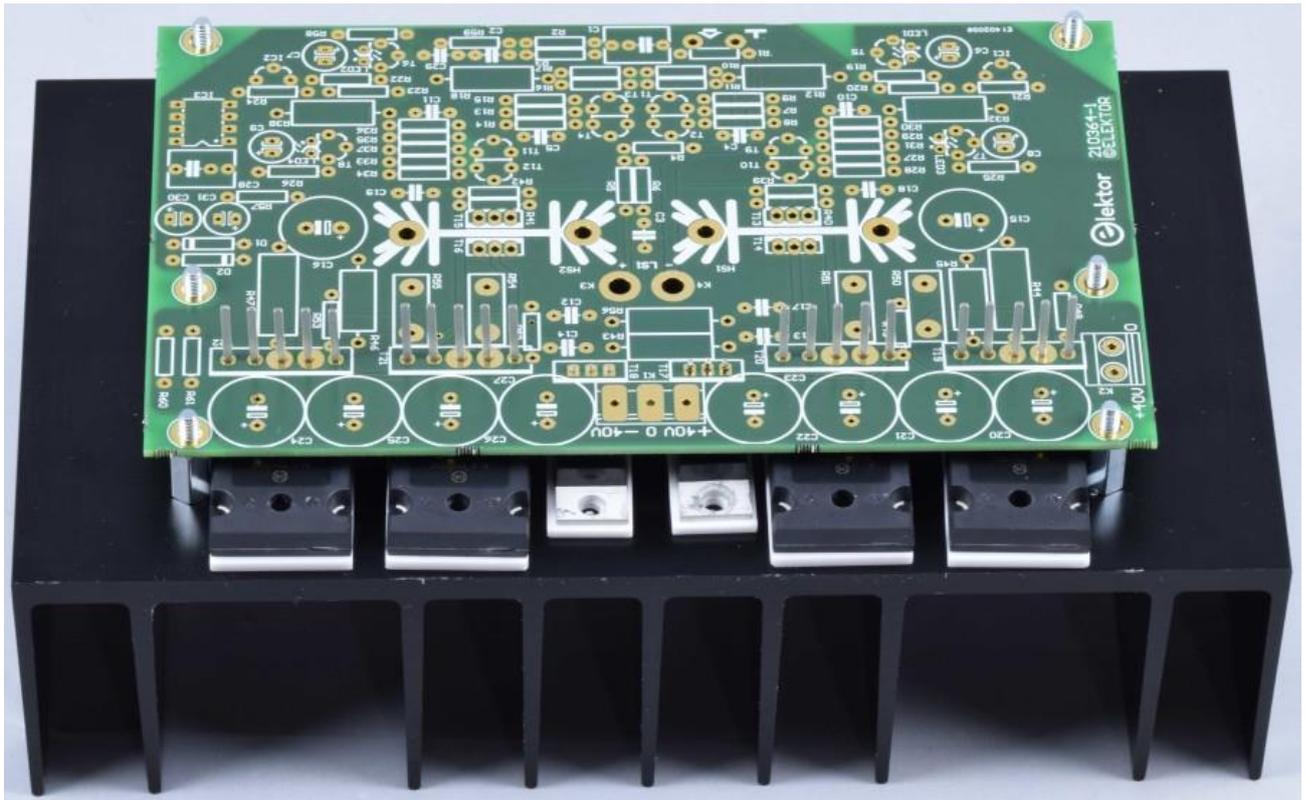


Das dritte Foto zeigt die sechs 10-mm-Abstandshalter, die auf dem Kühlkörper angebracht sind. Setzen Sie die 10-mm-Abstandshalter (M3-Stecker-Buchse) auf den Kühlkörper und prüfen Sie, ob die Platine über die sechs Abstandshalter gleitet. Wenn nicht, erwägen Sie, ein oder mehrere Löcher zu feilen, um die Position der Abstandshalter zu korrigieren.



Biegen Sie alle Stifte der Transistoren (T17...T22) senkrecht zur Vorderseite der Transistoren (siehe Foto). Um zu viel Kraft von den Stiften auf das Gehäuse

der großen Leistungstransistoren zu vermeiden, verwenden Sie einen 2-mm-Bohrer und einen Schraubstock, um die Stifte vorsichtig einzuspannen und zwischen den Kanten eines Schraubstocks zu bohren. Verwenden Sie ein flaches Stück Material, um alle Stifte zur Vorderseite des Transistors zu biegen. Das Biegen der Stifte der kleineren TO-220-Gehäuse kann mit einer Zange erfolgen und sie 1 mm weiter vom Gehäuse weg biegen, wo die Stifte kleiner werden.



Die Positionierung der Löcher für die sechs Schrauben für die auf dem Kühlkörper montierten Transistoren kann am besten vorgenommen werden, bevor irgendwelche Teile auf der Leiterplatte montiert werden. Foto 5 zeigt die Platine mit den 6 Transistoren der Leistungsstufe, die vorübergehend darunter platziert sind, um die Position für die sechs 3-mm-Löcher zu markieren. Auch die Keramikisolierung wird zwischen Transistoren und Kühlkörper platziert, da diese die genaue Position der Löcher beeinflussen kann. Bei diesem Prototypen sind die 4 Löcher für die Leistungstransistoren ca. 8,8 mm vom Rand des Kühlkörpers entfernt, die kleineren Transistoren 11,5 mm. Dies kann jedoch variieren, je nachdem, wo genau die Pins der Transistoren gebogen sind. Höchstwahrscheinlich würde eine Bohrreferenz für den Kühlkörper nicht die richtigen Positionen der Transistoren

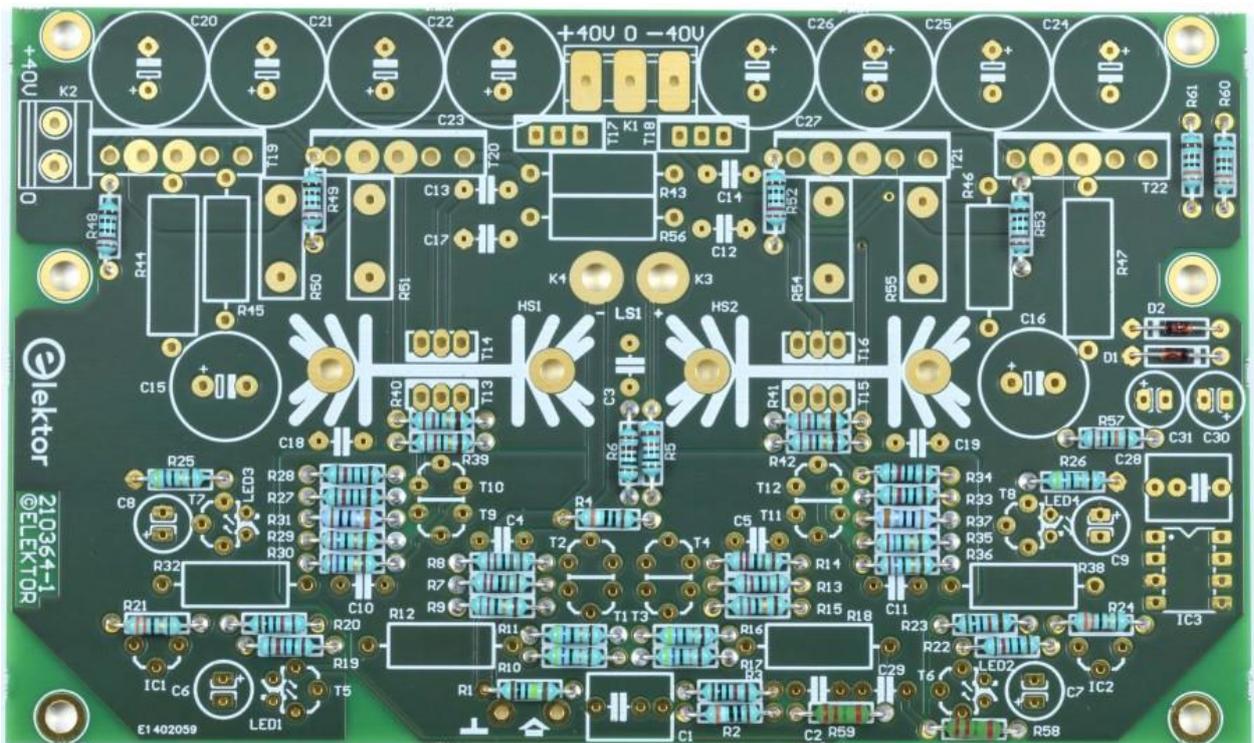
anzeigen. Markieren Sie die sechs Löcher mit einem 3-mm-Bohrer.

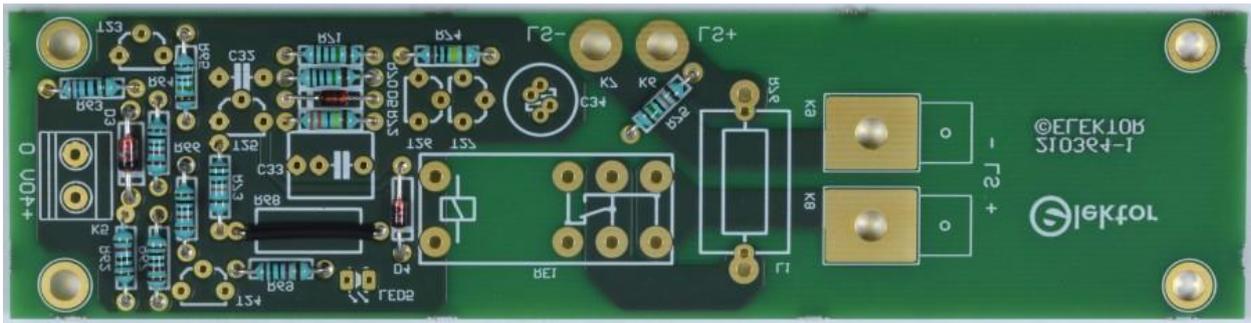


Foto 6 zeigt die Positionen, an denen die sechs Löcher gebohrt werden müssen.



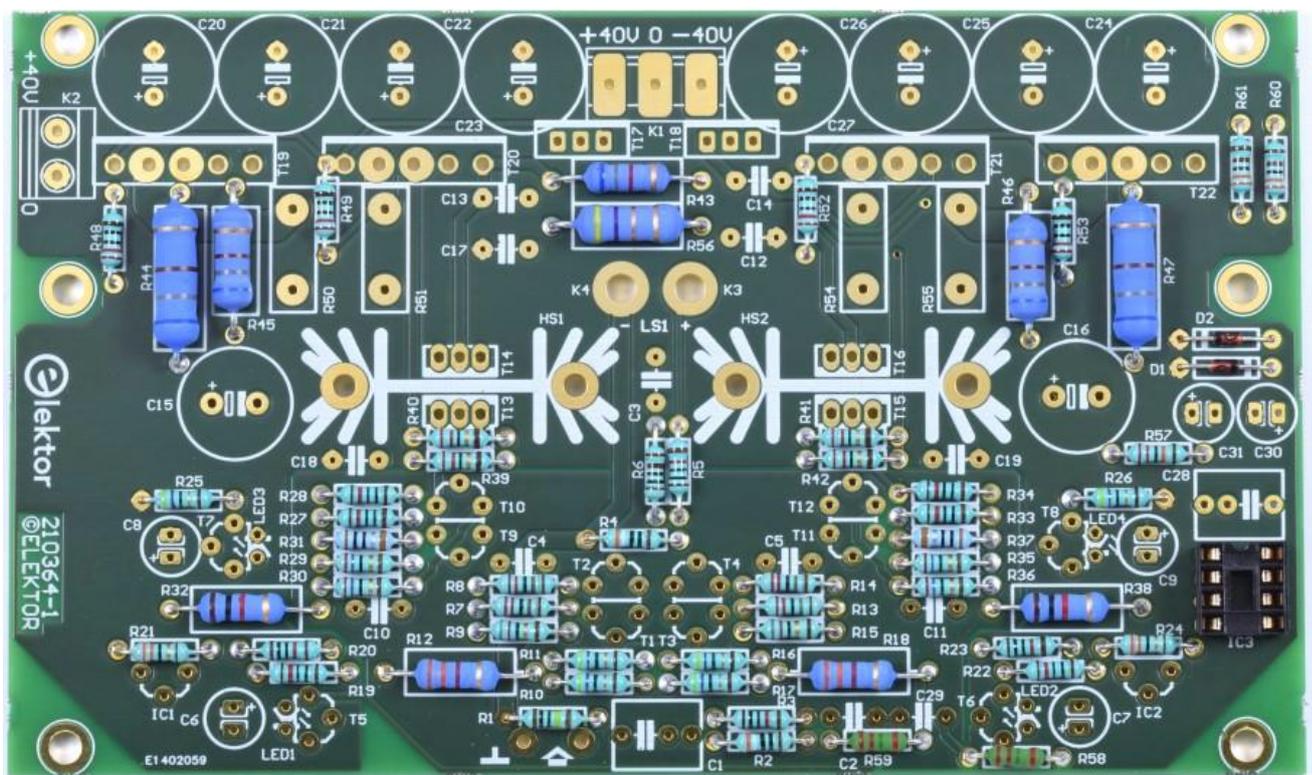
Foto 7 zeigt die Löcher für die 6 Transistoren in der Ausgangsstufe. Platzieren Sie die Transistoren mit Schrauben, müssen Sie sie nicht mit Muttern befestigen, und prüfen Sie, ob die Platine perfekt über alle Stifte und die sechs Abstandshalter gleitet.



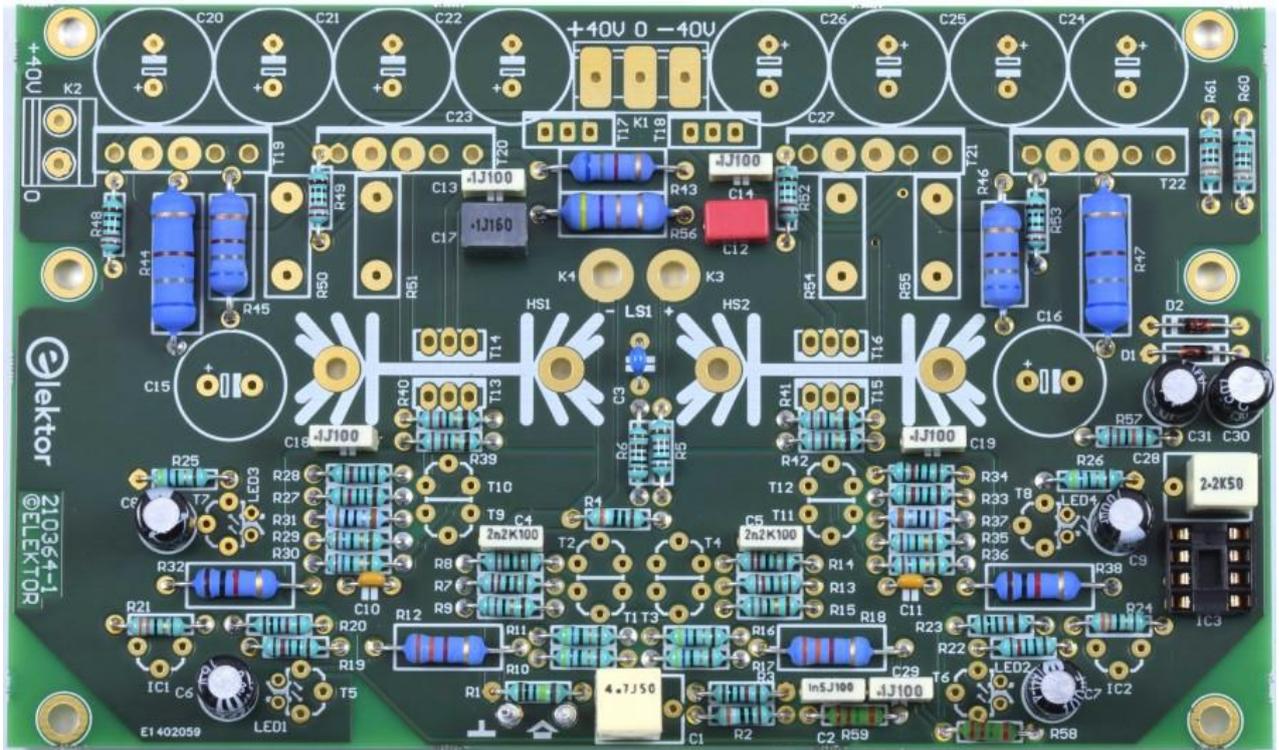


Danach können fast alle Teile auf den Platinen bestückt werden. Beginnen Sie mit den niedrigsten Komponenten. Also die logischste Reihenfolge:

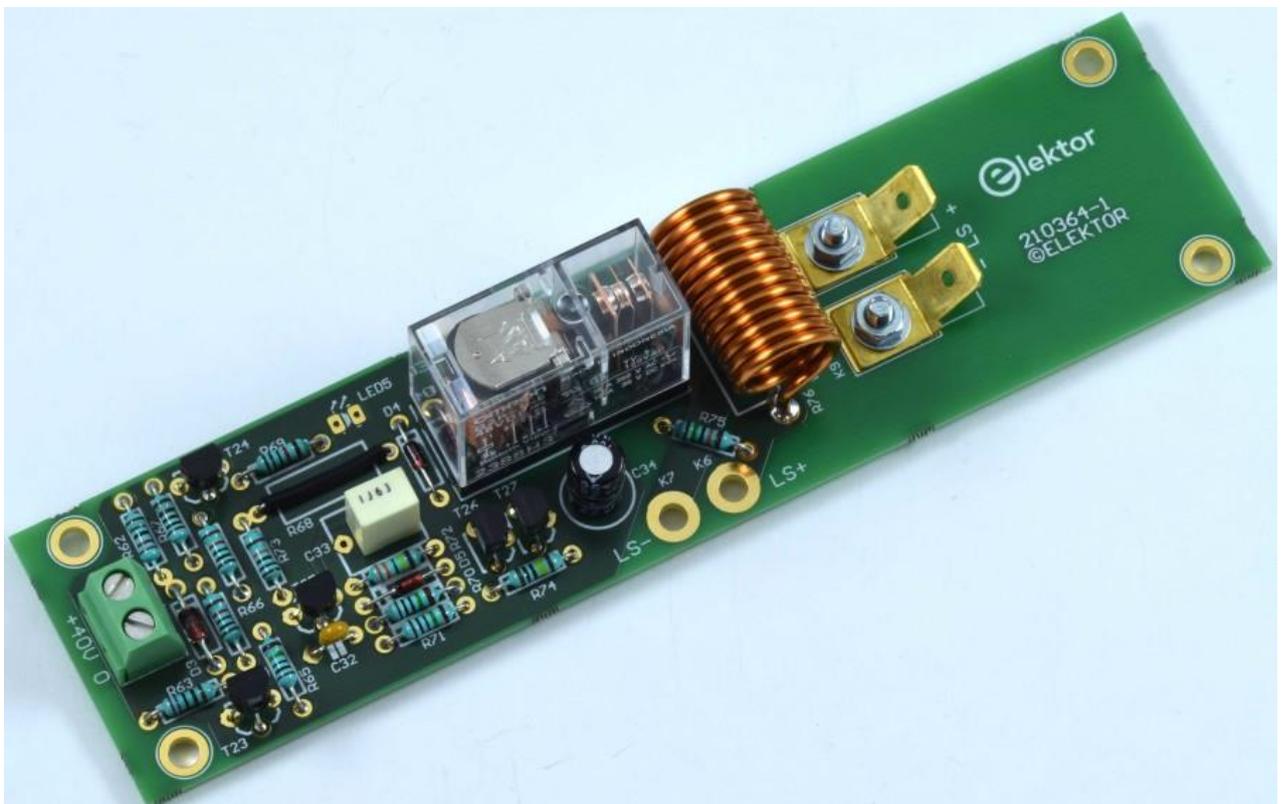
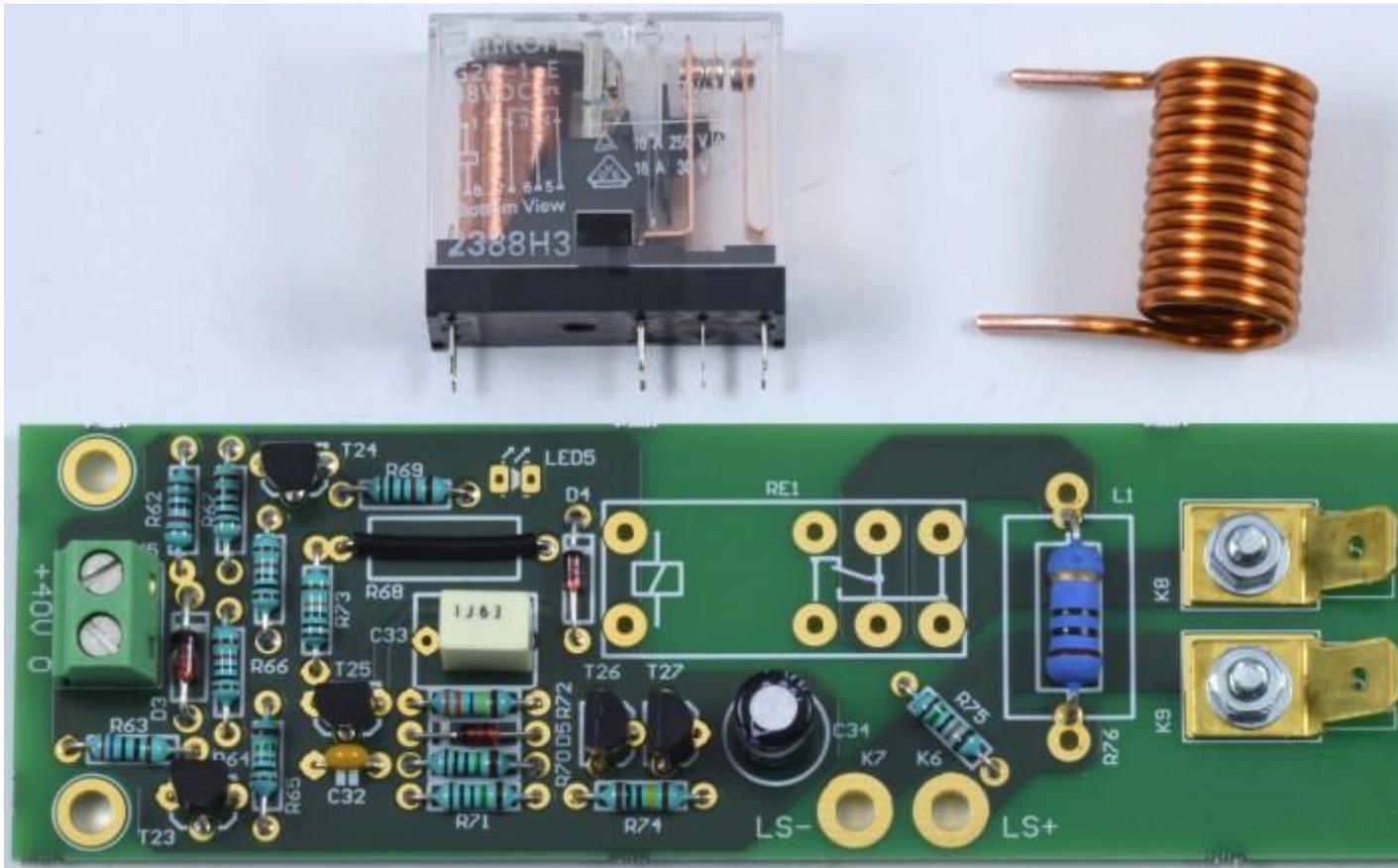
- kleine Widerstände und Dioden (D1...D5).



- Leistungswiderstände und IC-Sockel für Operationsverstärker IC3

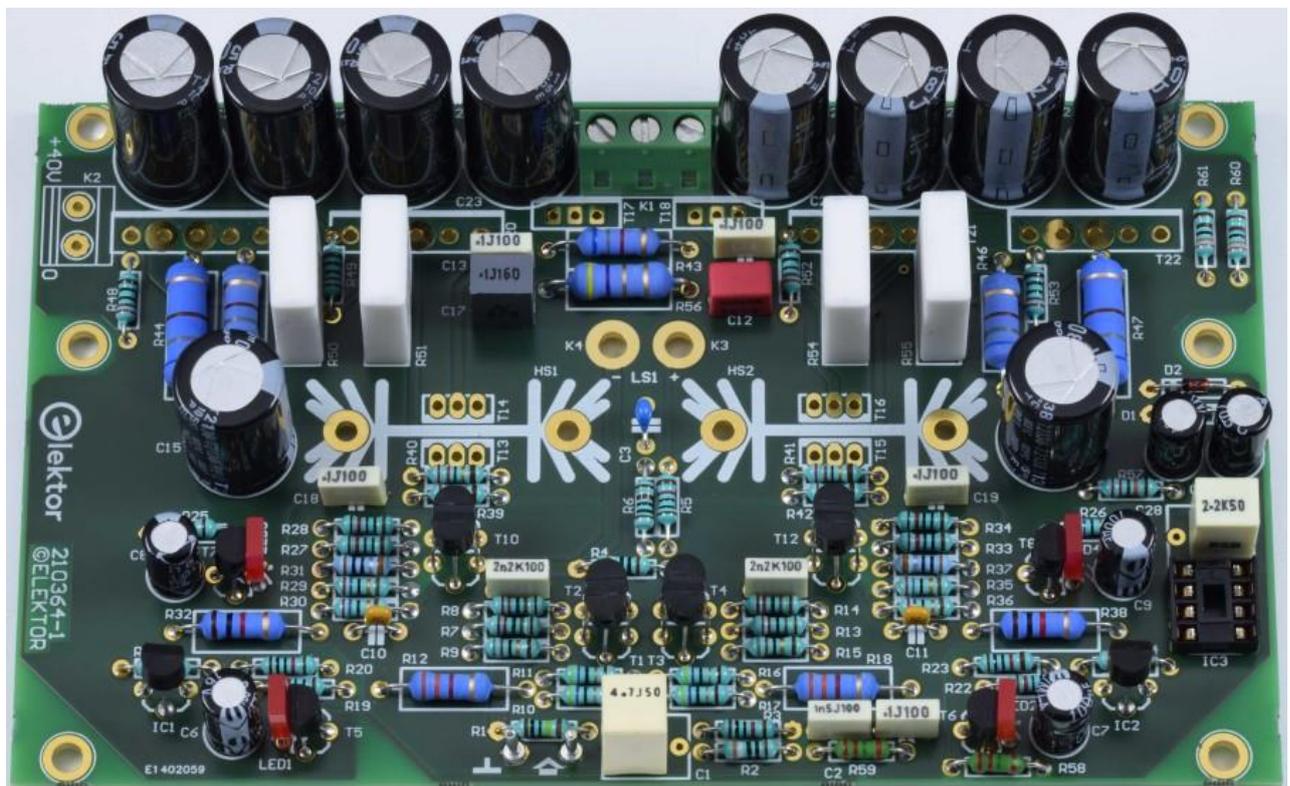


- kleine Kondensatoren, kleinste zuerst: C3, C10, C11, C32, C4, C5, C12, C2, C13, C14, C18, C19, C29, C17, C33, C28
- größer/ Höhere Kondensatoren: C6, C7, C8, C9, C30, C31, C34, Anschlussstifeingang, C1



- In diesem Stadium können Sie zuerst die restlichen Komponenten auf der kleinen Leiterplatte montieren: T23, T26, T27, T24, T25, K5, Faston-Laschen K8

und K9 (einschließlich zwei 8-mm-M3-Schrauben/Muttern/Unterlegscheiben und schließlich Induktor (13 Windungen aus 1,5 mm Kupferlackdraht) und Relais RE1 Die obligatorische Ausgangsinduktivität L1 besteht aus 13 Windungen in einer einzigen Lage aus 1,5 mm Kupferlackdraht Innendurchmesser sollte 10 mm betragen Ein 10 mm Bohrer kann sein ein Werkzeug, um den Induktor zu konstruieren. Machen Sie die beiden Enden lang genug, um den Induktor über R76 zu platzieren, und prüfen Sie, ob der Abstand der beiden Enden mit der Grundfläche übereinstimmt und in einer Linie liegt. Dieser Widerstand unterdrückt ein mögliches Klingeln. Verwenden Sie ein Messer, um die zu kratzen Isolierung der Enden der Induktivität LED5 wird auf der Vorderseite des Gehäuses des Verstärkers montiert und ggf. mit dünnen Litzen verbunden.

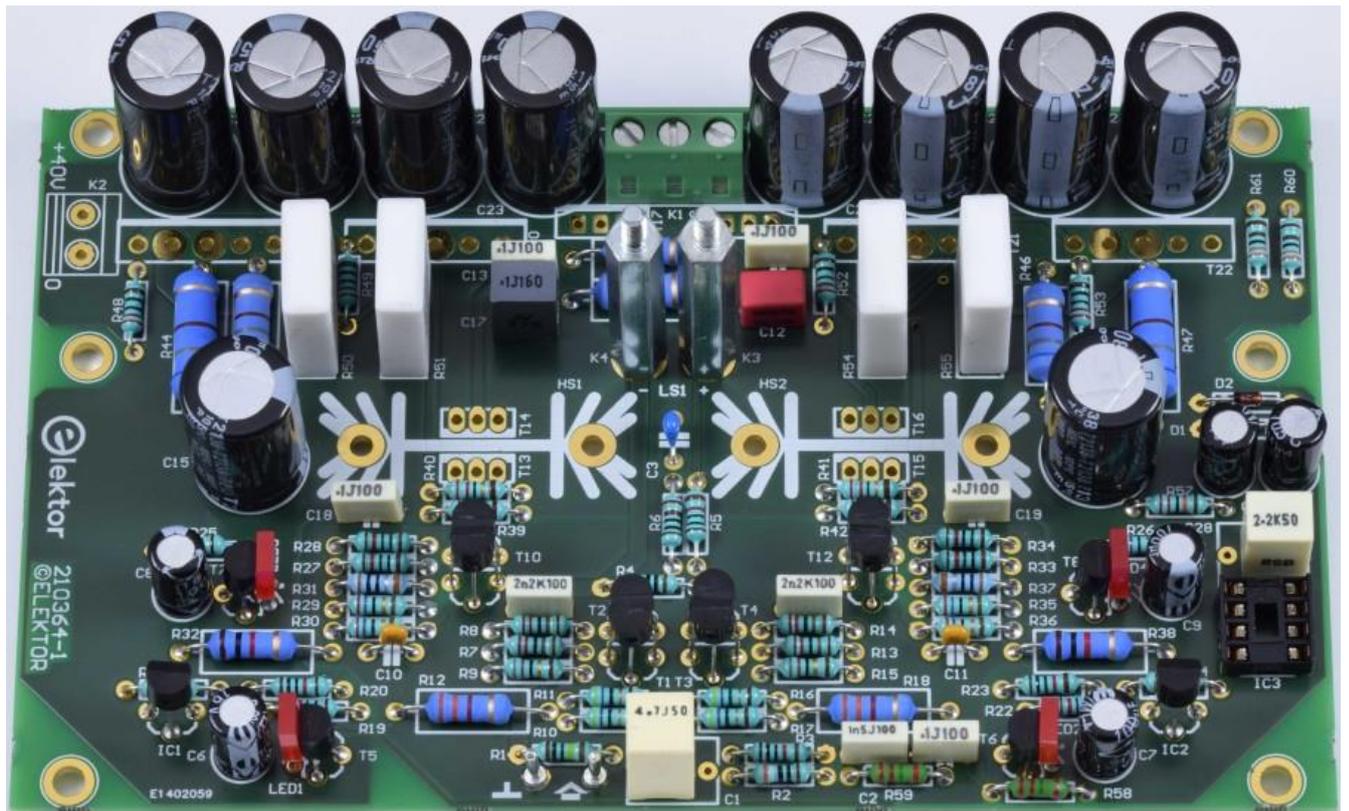


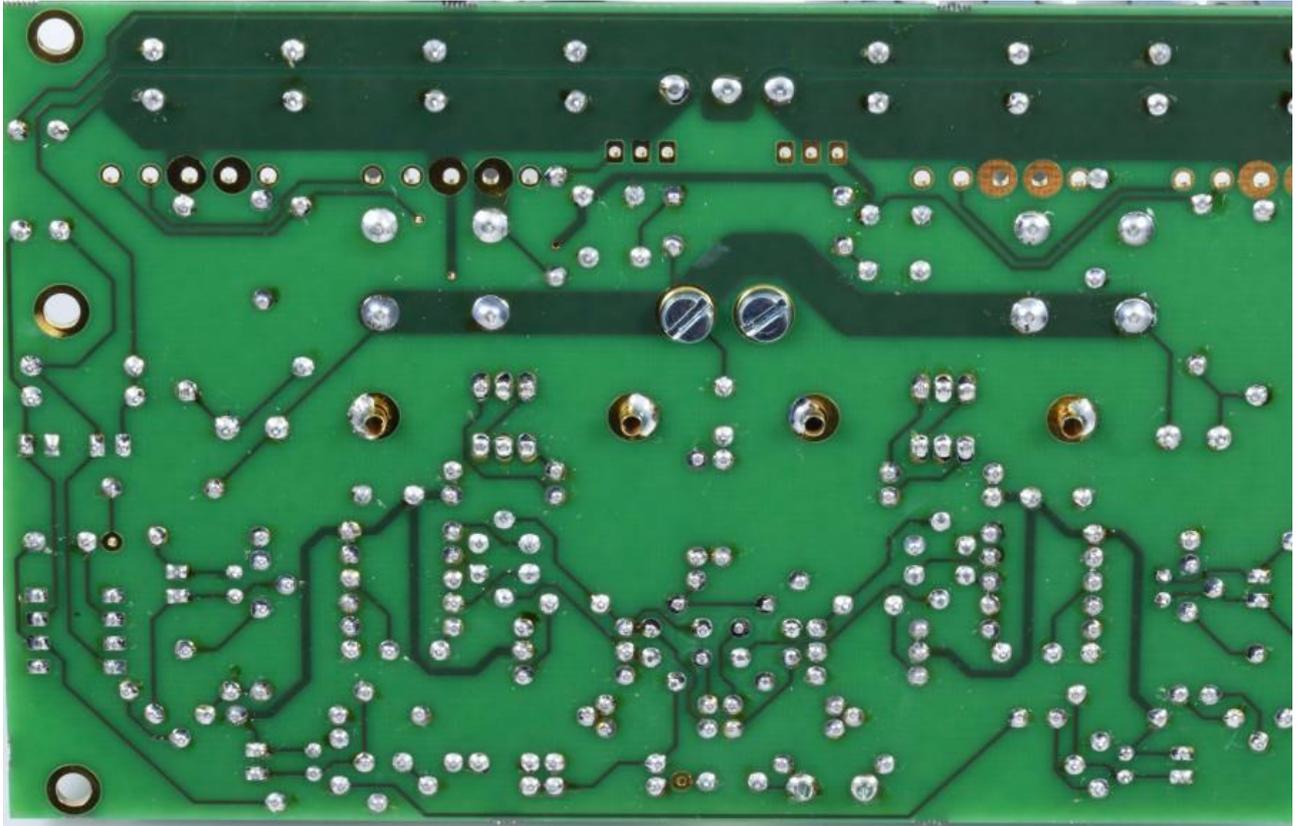
- nächste T5, T6, T7, T8 und LED1, LED2, LED3, LED4. Platzieren Sie den Chip in der LED auf halber Höhe des Gehäuses des Transistors daneben und gegen den Transistor, um die beste thermische Kopplung zu erzielen.

-Wenn Sie genug Transistoren haben, wählen Sie am besten die Eingangstransistorpaare T1/T2 und T3/T4 mit identischem UBE und hFE, aber auch die Transistoren in den zweiten Differenzverstärkern T9/T10 und

T11/T12. Achten Sie beim Verlöten der Paare darauf, dass die flachen Seiten nach dem Löten einen guten Kontakt zur thermischen Kopplung haben.

- Leistungswiderstände R50,R51,R54,R55
- Kondensatoren C15 und C16
- Kondensatoren C20...C27

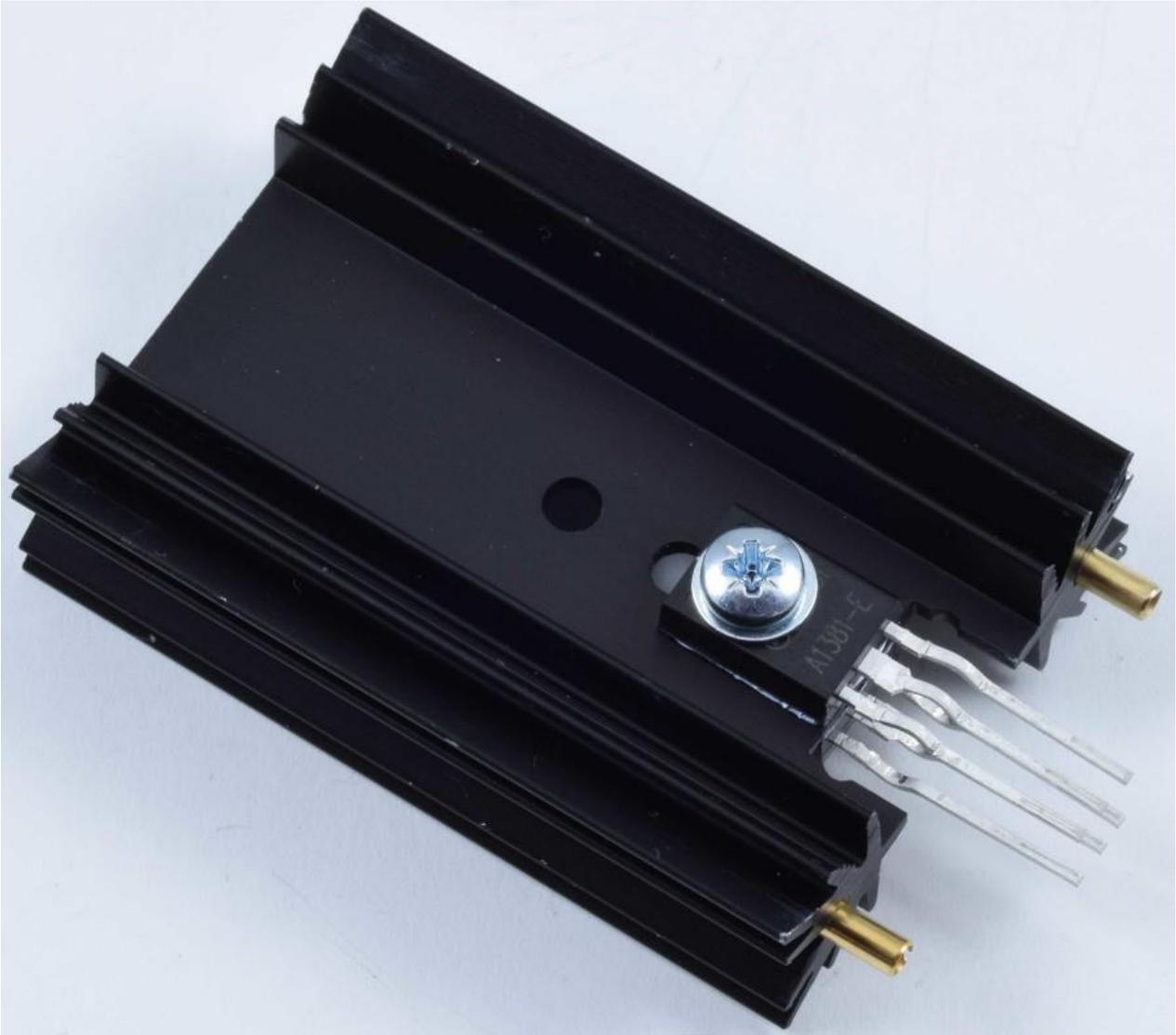


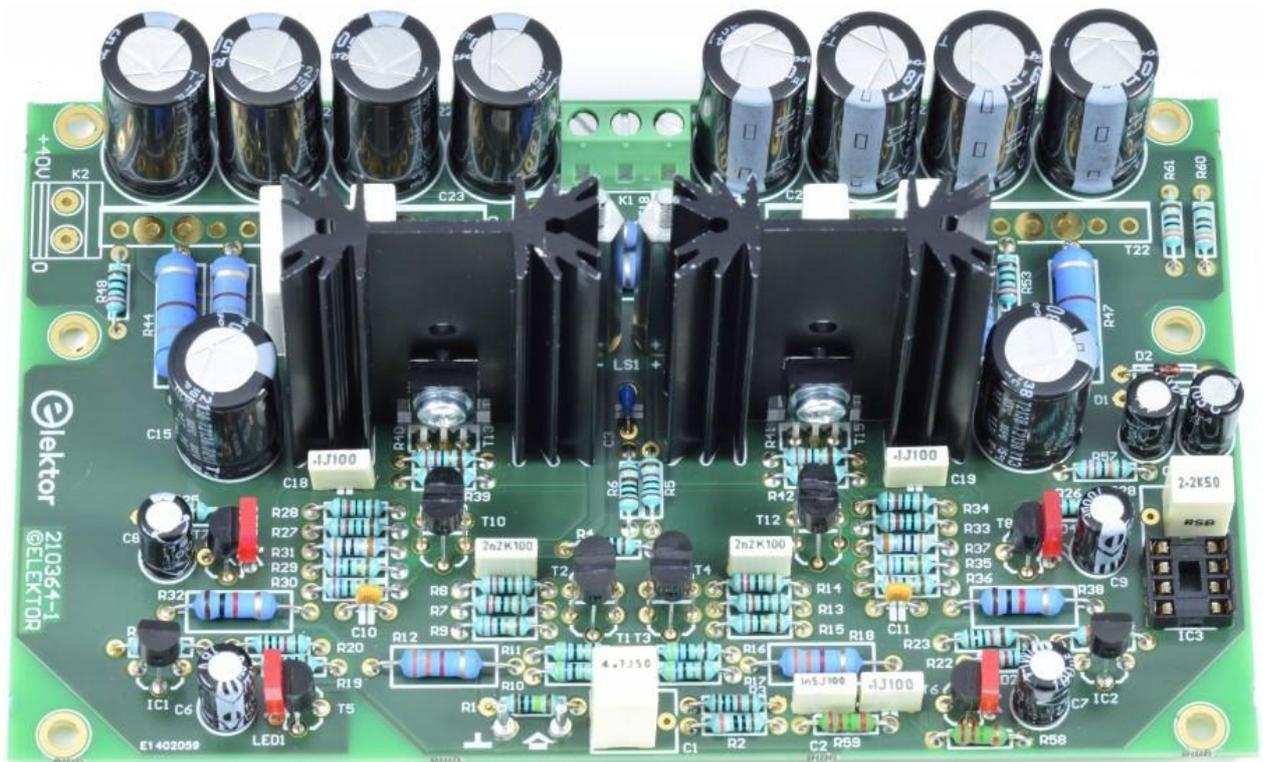


zwei Metall-Abstandshalter, die den Ausgang der Hauptplatine mit der kleineren darüber verbinden, können aufgesteckt und mit je einem 8 mm langen Stift befestigt werden Zylinderkopfschraube M3.

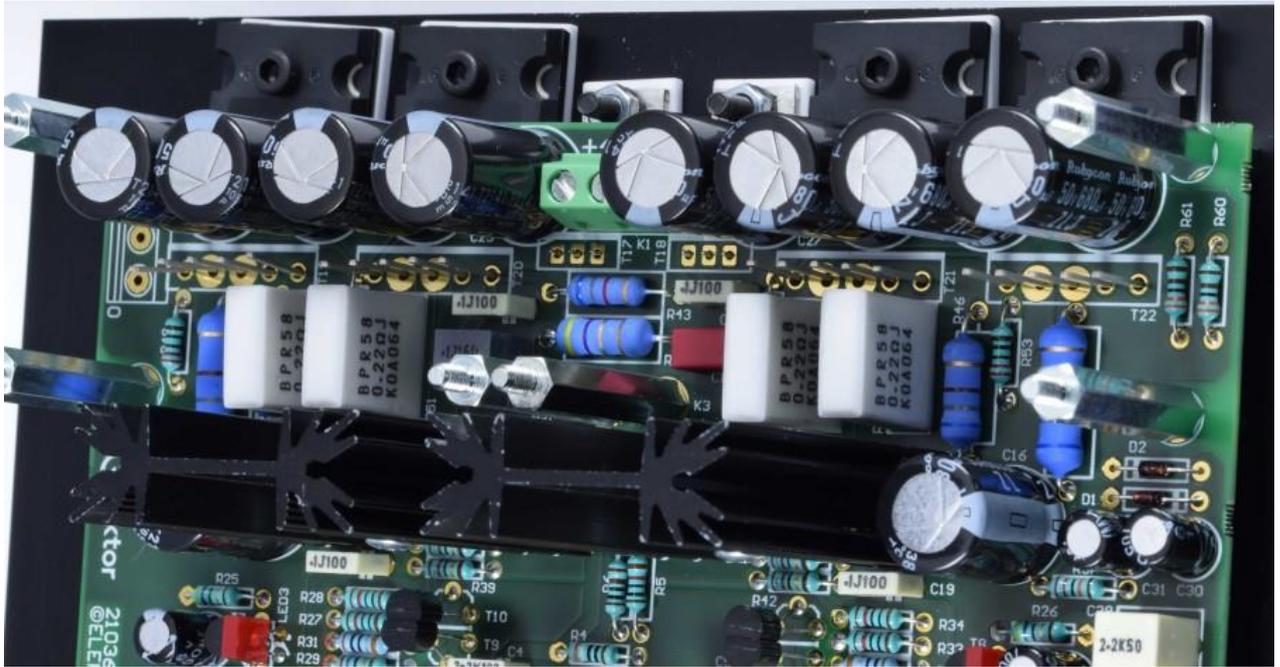


- Auf den kleinen Kühlkörpern können die Transistoren T13, T14 und T15, T16 montiert werden. Eine thermische Entlastung der Pins jedes Transistors wird empfohlen, um mechanische Belastungen durch Temperaturänderungen zu reduzieren. Es ist am besten, eine kleine Biegung in den Stiften vom Kühlkörper weg zu machen. Das Foto zeigt eine Spezialzange und einen angepassten Transistor. Die Biegung muss nahe genug am Gehäuse sein, damit die Pins der Transistoren durch die Platine passen

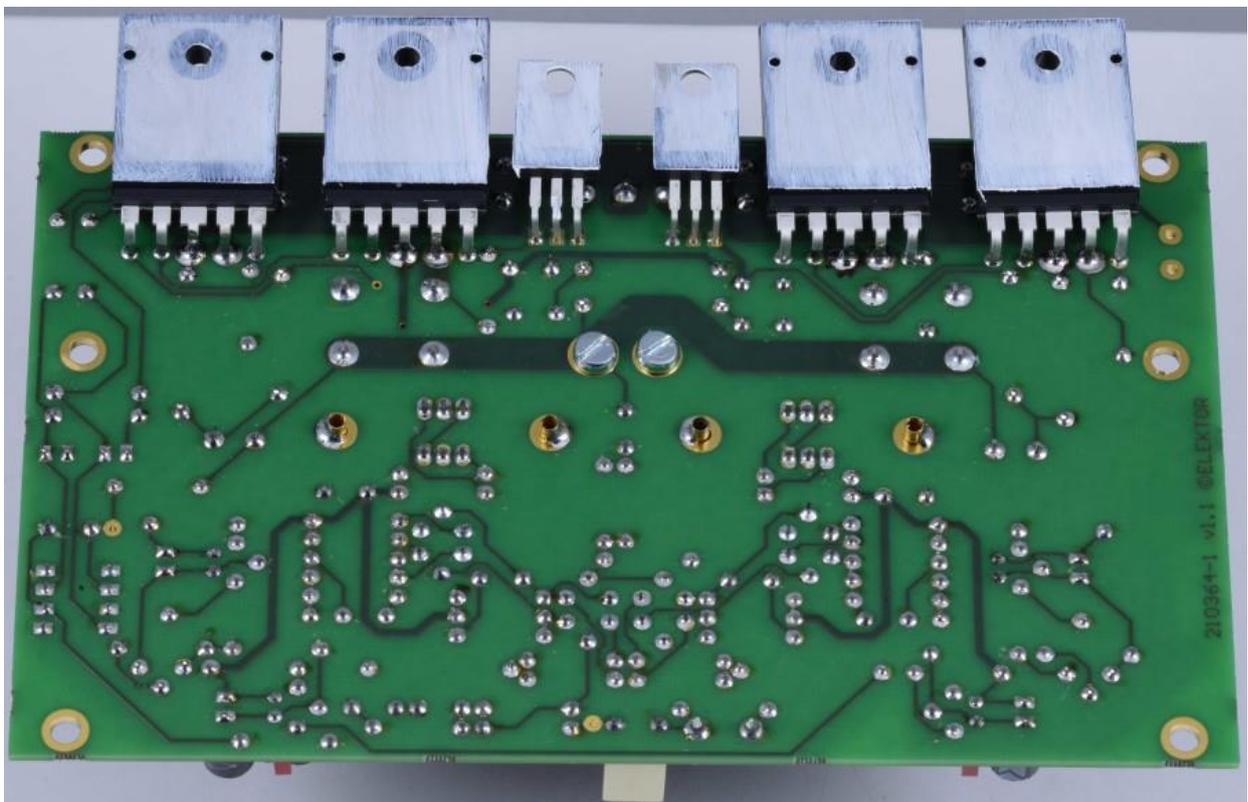




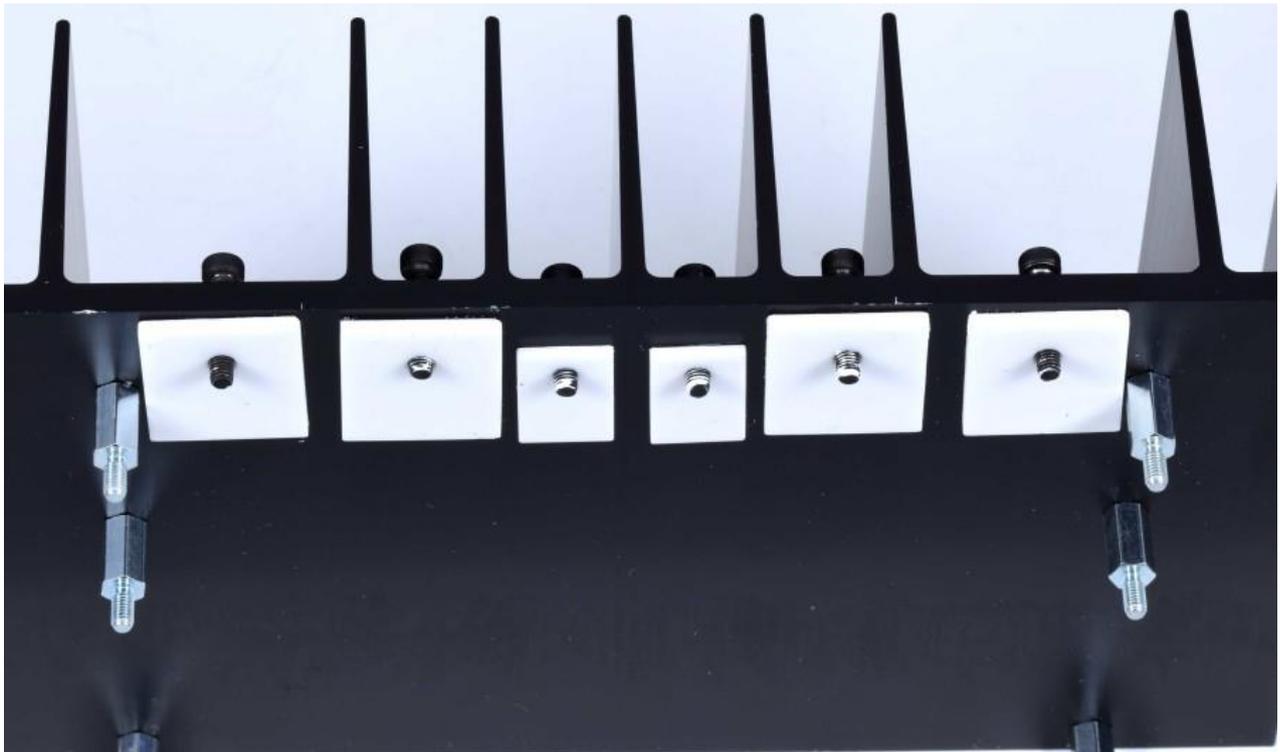
- Tragen Sie zuerst eine kleine Menge Wärmeleitpaste auf die Rückseite jedes Transistors auf. Da das Gehäuse dieser Transistoren vollständig aus Kunststoff besteht, ist keine Isolierung erforderlich. Platzieren Sie den Kopf der Schraube in Richtung des Eingangs der Platine. Sie können die Schraube nur von dieser Seite mit einem Schraubendreher anziehen. Verwenden Sie eine Zange, um die Mutter auf der anderen Seite des Kühlkörpers zu halten, aber ziehen Sie die Schrauben noch nicht fest. Legen Sie eine Metallscheibe für M3 zwischen den Kopf der Schraube und den Transistor. Das Foto zeigt die Transistoren, die an dem kleinen Kühlkörper angebracht sind. Löten Sie zuerst die Pins der beiden Kühlkörper auf die Platine und ziehen Sie die Schrauben der Transistoren fest und löten Sie erst dann die Transistorpins.



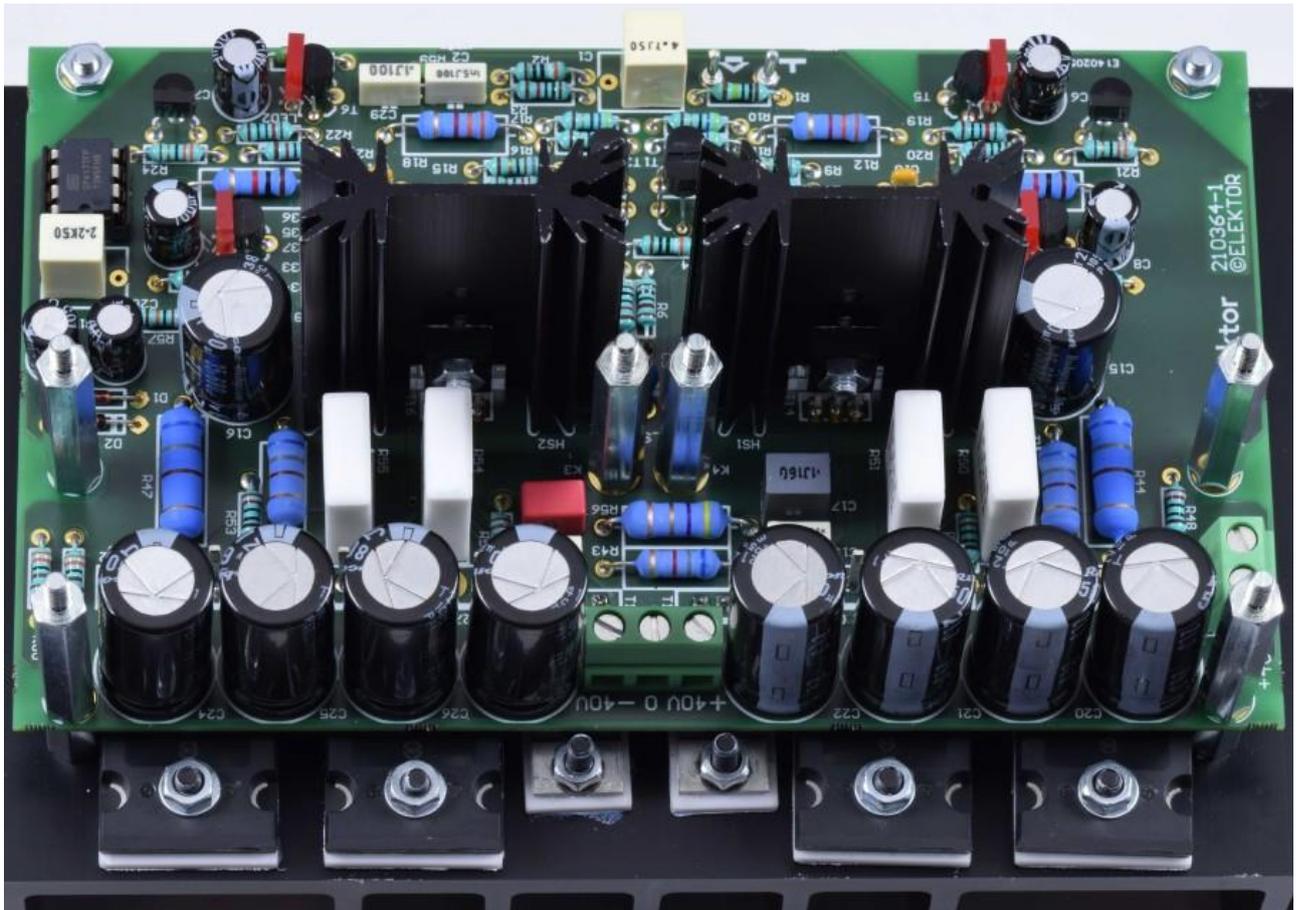
- Das Foto zeigt die Transistoren, die vorübergehend mit Muttern zum Löteten versehen sind. Auch die Platine wird auf den 10 mm langen Abstandshaltern auf dem Kühlkörper mit 30 mm langen Abstandshaltern befestigt (oder vorerst Muttern verwenden). Platzieren Sie auch die Keramikscheiben für die Transistoren und die Isolierbuchsen für die TO-220-Transistoren, da all dies die genaue Position jedes Transistors beeinflussen kann.



- Versuchen Sie, mindestens die beiden Stifte auf beiden Seiten jedes großen Leistungstransistors zu löten, ohne den Kunststoff verschiedener Kondensatoren zu schmelzen, aber wenn möglich mehr Stifte. Eine längere Lötspitze wird empfohlen. Alle Pins von T17 und T18 können von oben gelötet werden. Wenn dies erledigt ist, entfernen Sie zuerst die Schrauben und dann die Abstandshalter, die die Platine halten. Nehmen Sie die Platine vorsichtig vom Kühlkörper und achten Sie darauf, die Transistoren nicht zu verbiegen. Die Transistoren werden nun an ihrer endgültigen Position auf der Platine befestigt. Löten Sie die restlichen Stifte von der Unterseite. Der 2-Wege-Schraubklemmenblock K2 wurde noch nicht gelötet, um einen besseren Zugang zu den Pins von T19 zu ermöglichen, und sollte jetzt ausgeführt werden. Tragen Sie dann eine sehr dünne Menge Wärmeleitpaste auf die Rückseite der sechs Transistoren und eine Seite jeder Keramikscheibe auf, die gegen den Kühlkörper gelegt wird.



Stellen Sie den Kühlkörper aufrecht mit den Löchern für die Transistoren nach oben. Setzen Sie die sechs 16-mm-Schrauben (schwarz) halb durch den Kühlkörper und schieben Sie die Keramikscheiben mit der gefetteten Seite über die Schrauben gegen den Kühlkörper, wie das Foto zeigt.



Setzen Sie die Platine auf die Abstandshalter auf dem Kühlkörper und achten Sie darauf, dass die Schrauben durch die Transistoren gehen. Bringen Sie die vier 30-mm-Abstandshalter und zwei M3-Muttern an, um die Platine am Kühlkörper zu befestigen. Verwenden Sie auch M3 Unterlegscheiben zur Befestigung der 4 Leistungstransistoren und vergessen Sie nicht die Isolierbuchsen für T17 und T18 (Typ IB 6 von Fischer Elektronik o.ä.). Platzieren Sie IC3 in seinem Sockel. Das Foto zeigt die fast fertige Endstufe. Alle Schrauben festziehen.



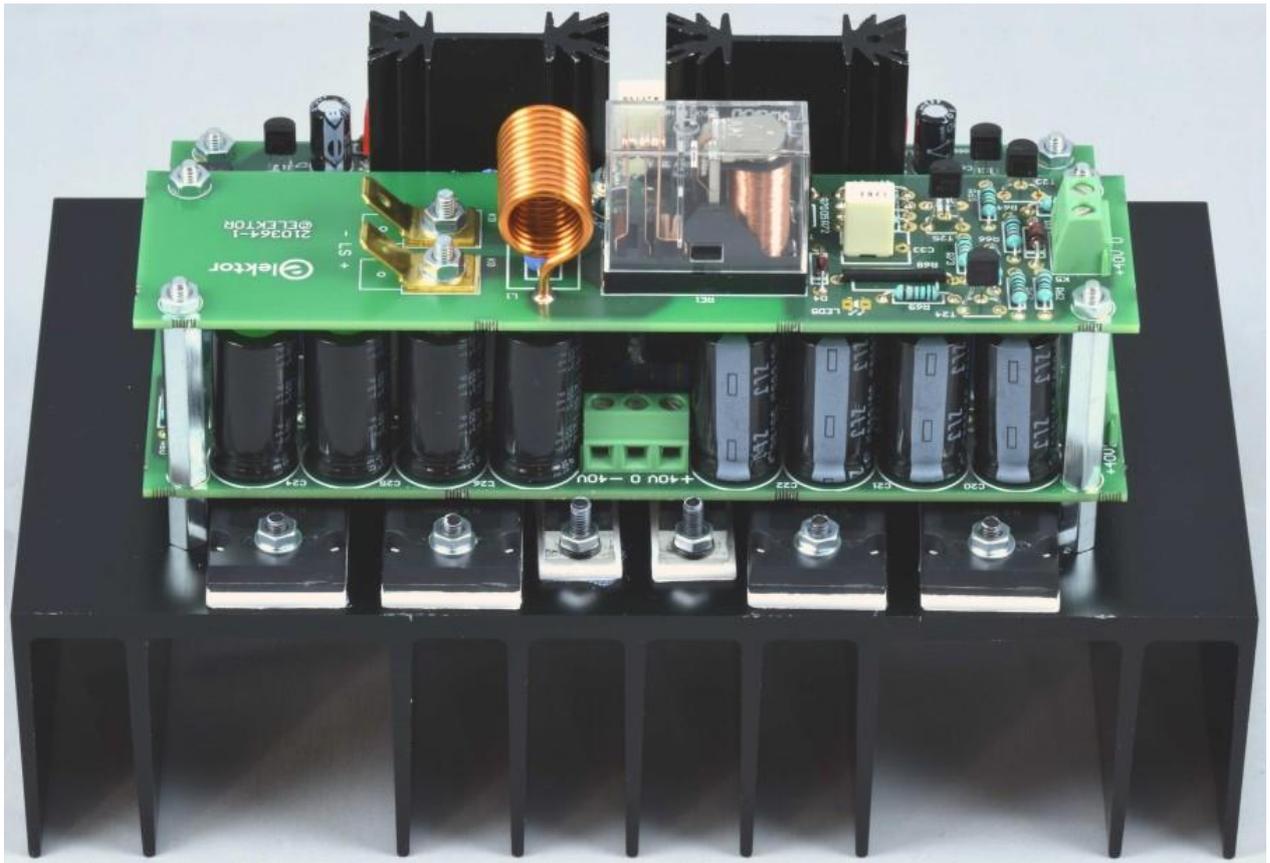
So sieht dann die Rückseite des Kühlkörpers aus. Ich habe die längeren 16-mm-Schrauben für T17/T18 verwendet, aber einfacher ist es, kürzere 12-mm-Schrauben zu verwenden.

Die bereits fertige kleinere Platine kann nun auf die sechs 30-mm-Abstandshalter aufgelegt und mit sechs M3-Muttern befestigt werden.

Als nächstes drei Fotos des (fast) fertigen Moduls. Es fehlt lediglich die Verbindung der +40 V Spannungsversorgung zwischen den beiden Platinen (K2 bis K5). Die Fotos zeigen den Aufbau des kompletten Prototyps für Messungen. LED5 (auf der Schutzplatine) wird an dieser Stelle weggelassen.







Die Fotos oben zeigen den Aufbau des kompletten Prototyps für neue Messungen. Nur die beiden Drähte zwischen K2 und K5 auf den letzten Fotos fehlen und LED5 (auf der Schutzplatine).

Messungen

Stromversorgung: Labornetzteil 2 x 40DC geregelt + 2 x 10000 μ F/50V nahe K1

Eingangsempfindlichkeit 1,076 V (94 W/8 Ω , THD = 0,1 %, B = 22 kHz)

Eingangsimpedanz 10 k Ω

Sinusleistung 94 W (8 Ω , THD = 0,1 %)

(1 kHz, B = 22 kHz) 98 W (8 Ω , THD = 1 %)

181 W (4 Ω , THD = 0,1 %)

188 W (4 Ω , THD = 1 %)

Bandbreite 3,3 Hz...237 kHz (-3 dB, 1 W/8 Ω)
(Generator 20 Ω) 10,8 Hz...78 kHz (-0,5 dB, 50 W/8 Ω)

Open-Loop-Bandbreite \approx 20 kHz
Open-Loop-Verstärkung \approx 140000 (8 Ω Last)

Flankensteilheit 45 V/μs

Anstiegszeit 1,5 μs

Signal-Rauschabstand 103 dB (B = 22 Hz...22 kHz linear)
(bezogen auf 1 W/8 Ω) 106 dBA

Klirrfaktor plus Rauschen 0,0008 % (1 kHz, 1 W, 8 Ω, B = 22 kHz)
0,0016 % (1 kHz, 1 W, 8 Ω, B = 80 kHz)
0,0016 % (20 kHz, 1 W, 8 Ω, B = 80 kHz)
0,0008 % (1 kHz, 50 W, 8 Ω, B = 22 kHz)
0,0008 % (1 kHz, 50 W, 8 Ω, B = 80 kHz)
0,002 % (20 kHz, 50 W, 8 Ω, B = 80 kHz).)
0,0012 % (1 kHz, 1 W, 4 Ω, B = 22 kHz)
0,002 % (1 kHz, 1 W, 4 Ω, B = 80 kHz)
0,0025 % (20 kHz, 1 W, 4 Ω, B = 80 kHz)
0,0023 % (1 kHz, 100 W, 4 Ω, B = 22 kHz)
0,0023 % (1 kHz, 100 W, 4 Ω, B = 80 kHz)
0,0042 % (20 kHz, 100 W, 4 Ω, B = 80 kHz)

Intermodulationsverzerrung 0,0012 % (1 W, 8 Ω)
(50 Hz : 7 kHz = 4 : 1) 0,0015 % (50 W, 8 Ω)
0,0024 % (1 W, 4 Ω)
0,0041 % (100 W, 4 Ω)

Dynamische IM-Verzerrung 0,0016 % (1 W, 8 Ω)
(3,15 kHz Rechteckwelle + 0,001 % (50 W, 8 Ω)
15 kHz Sinuswelle) 0,0019 % (1 W, 4 Ω)
0,0021 % (100W, 4 Ω)

Dämpfungsfaktor 570 (1 kHz, 8 Ω)
(gemessen an K8/K9) 315 (20 kHz, 8 Ω)

Spannungsversorgungserkennung 36,5 V aus (leicht temperaturabhängig)
(nur positive Versorgung) 36,7 ein (leicht temperaturabhängig)

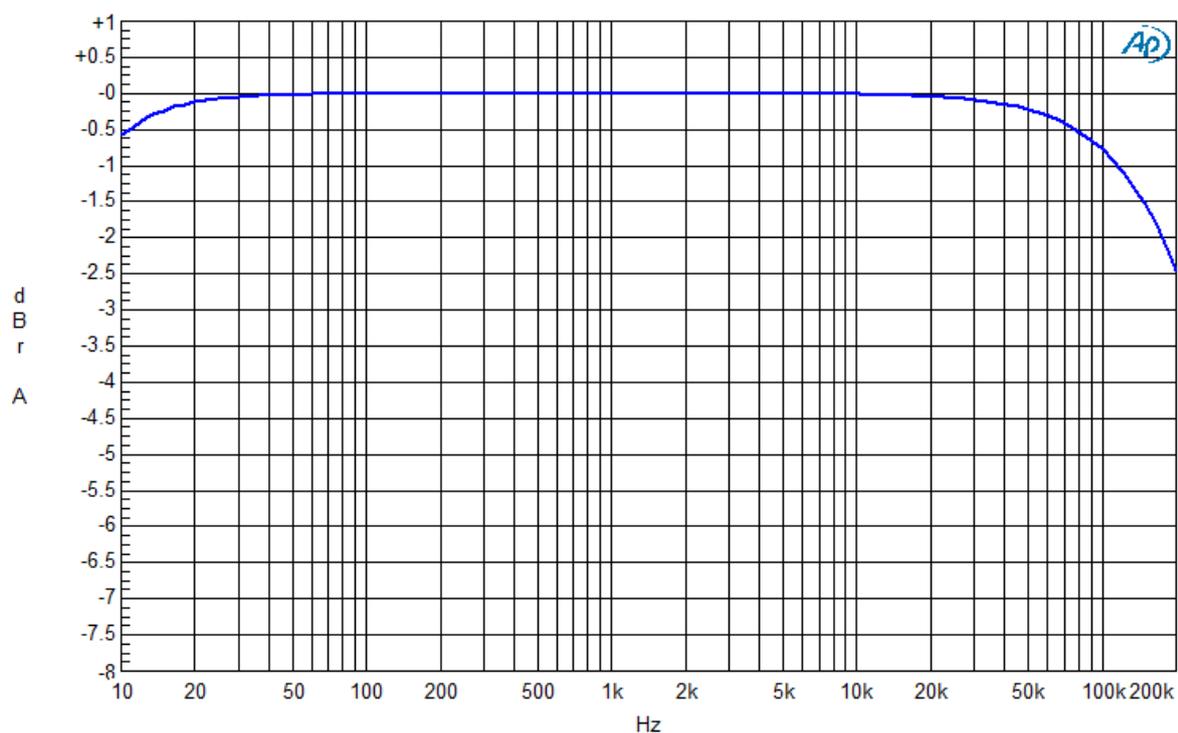
DC-Schutz +0,54 V/-0,89 V Einschaltverzögerung

Ausgangsrelais 3,5 s

Einige Diagramme der Endstufe: Diagramm

Audio Precision

05/19/22 09:43:19



A zeigt die Amplitude in dB über der Frequenz. -3 dB Bandbreite der Endstufe ist größer als der Generator unseres Audio Precision Analysers ausgeben kann. Bei -0,5 dB beträgt die Bandbreite 10,8 Hz bis 78 kHz. -3 dB sind 3,3 Hz bis 237 kHz.

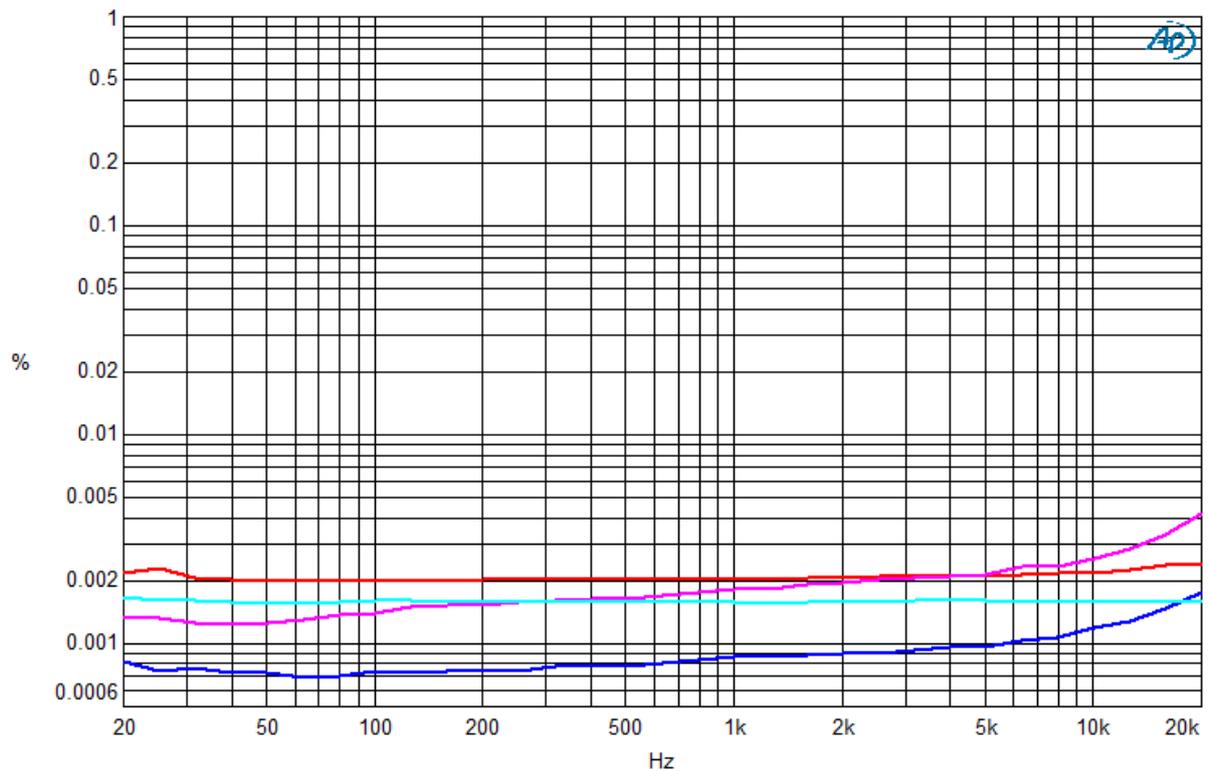


Diagramm B zeigt Verzerrung plus Rauschen über der Frequenz bei einer Last von 4 und 8 Ω , jeweils 1 und 50 W und einer Bandbreite von 80 kHz. Bei 1 W in 8 Ω (Cyan) bestimmt hauptsächlich Rauschen den Plot. Bei 1 W an 4 Ω (rot) ist die Ausgangsspannung niedriger und das Rauschen relativ höher und Oberschwingungen der höheren Frequenzen zeigen etwas ihren Einfluss. Bei 50 W an 8 Ω (blau) ist THD+N mit weniger als 0,0008 % unter 1 kHz extrem gering und selbst bei 20 kHz beträgt er nur 0,0018 %. Bei 4 Ω (Magenta) und gleicher Ausgangsspannung, also 100 W, ist der THD größer, aber immer noch hervorragend mit 0,0023 % bei 1 kHz und 0,0042 % bei 20 kHz.

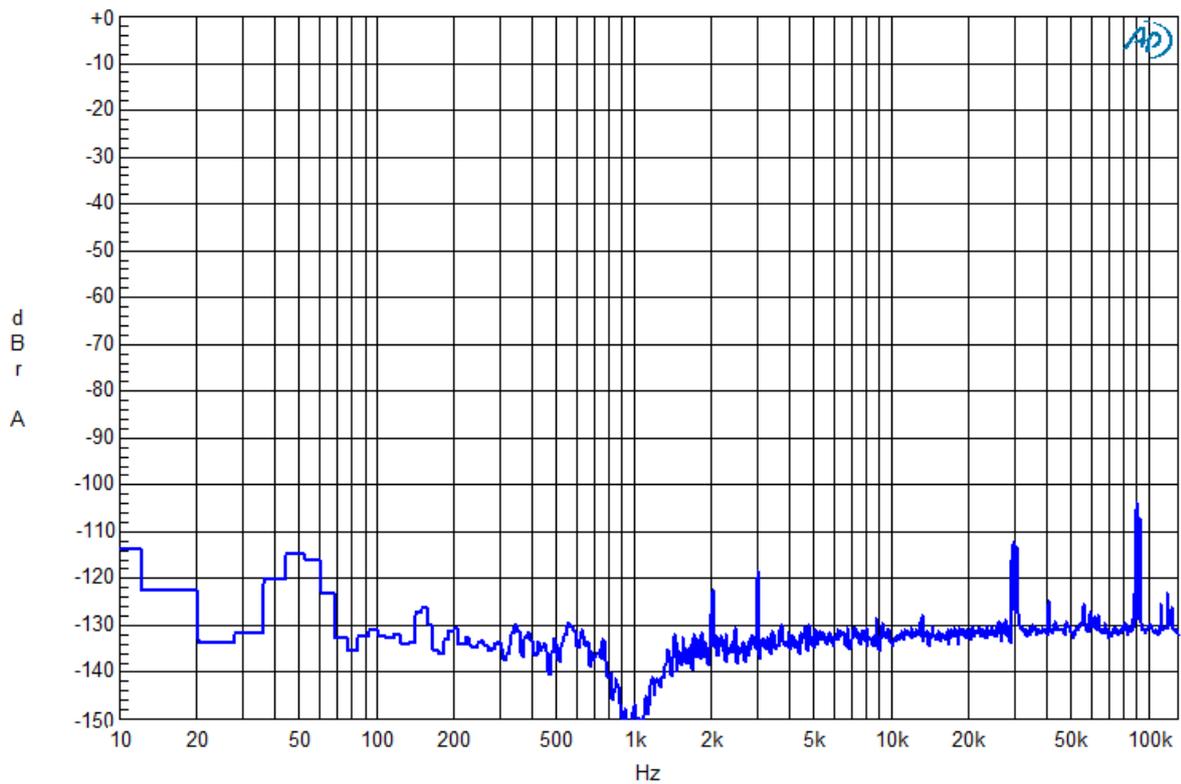


Diagramm C zeigt das Frequenzspektrum von 1 kHz bei 1 W in 8 Ω . Zwei Harmonische sind sichtbar, eine zweite bei -122,6 dB und eine dritte bei -118,5 und THD beträgt nur 0,00015 %, das sind 1,5 ppm! Die Signale bei 30 und 90 kHz werden durch die Restwelligkeit der Labornetzteile verursacht und warum ist die Verzerrung von 1 kHz gemessen bei 22 kHz Bandbreite geringer als bei einer Bandbreite von 80 kHz. Bei größeren Ausgangspegeln haben die Netzteilartefakte keinen Einfluss auf die Messungen.

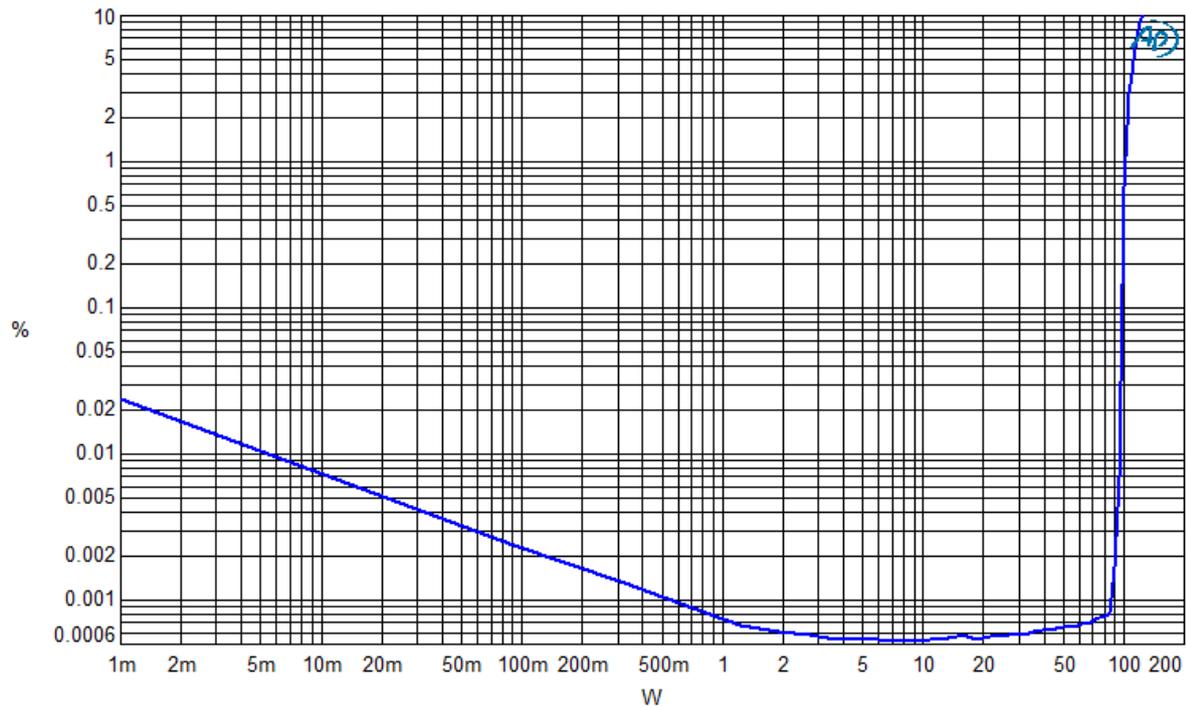
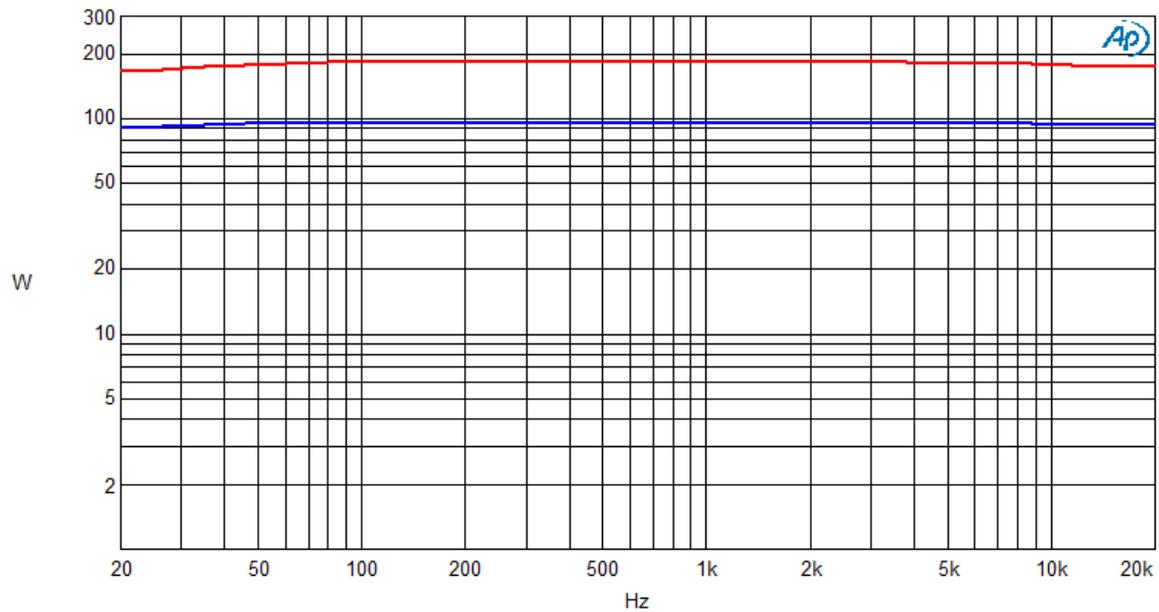


Diagramm D zeigt Verzerrung plus Rauschen über dem Ausgangspegel von 1 kHz bei einer Last von 8Ω , gemessen bei einer Bandbreite von 22 kHz. Bei 10 W beträgt THD+N nur 0,00052 %. Das Clipping beginnt bei etwa 85 W bei einem THD+N-Pegel von 0,0008 %.



Handlung Zeigt die maximale Ausgangsleistung über der Frequenz bei einer Verzerrung von 0,1 %. Blaues Diagramm ist die 8-Ω-Last und Rot ist 4 Ω. Bei 20 Hz, 1 kHz und 20 kHz beträgt die Ausgangsleistung in 8 Ω jeweils 89,5, 94 und 92,4 W. Für 4 Ω: 163, 181 und 171 W. Die genauen Pegel hängen natürlich stark von der Versorgungsspannung ab. Jeder Spannungsabfall über Kabel vom Netzteil zum Verstärker verändert die hier genannten Werte. Grund, warum beim Testaufbau zwei 10000-uF-Kondensatoren in der Nähe von K1 platziert wurden. Der Spitzenstrom einer Sinuswelle von 181 W in 4 Ω beträgt 9,5 A! Für maximale Leistung sollte das Netzteil mindestens 10 A DC ausgeben können.

Gleichspannungen über mehrere Bauteile unseres Prototyps:

R7 7,90 V

R8 7,85 V

R13 7,90 V

R14 7,96 V

R19 1,06 V

R22 1,05 V

R27 1,2 V

R28 0,9 V

R33 1,2 V
R34 0,95 V
R25 1,006 V
R26 1,007 V
R39 0,28 V
R40 0,28 V
R41 0,28 V
R42 0,28 V
R55 18,7 mV Amp kalt
28,3 mV und keine Power-

LEDs (Durchschnitt) = 1,675 V

Stückliste
(PCB 210634-1 v1.1, Schema v1.2)

Widerstand (kleine 0,6-W-Widerstände sind Metallfilm)

R1, R74 = 1 M Ω , 1 %, 0,6 W

R2, R4 = 390 Ω , 1 %, 0,6 W

R3, R5, R20, R23, R64, R66, R69 = 10 k Ω , 1 %, 0,6 W

R6, R67 = 1 k Ω , 1 %, 0,6 W

R7, R8, R13, R14, R60, R61 = 3,3 k Ω , 1 %, 0,6 W

R9, R15, R27, R28, R33, R34 = 120 Ω , 1 %, 0,6 W

R10, R11, R16, R17 = 68 Ω , 1 %, 0,6 W

R12, R18 = 5,6 k Ω , 5 %, 1 W, Metallfolie oder Metalloxid, Körpergröße 5 x 12 mm max.

R19, R22, R48, R49, R52, R53 = 220 Ω , 1 %, 0,6 W

R21, R24 = 33 Ω , 1 %, 0,6 W

R25, R26 = 56 Ω , 1 %, 0,6 W

R29, R30, R35 R36 = 27 Ω , 1 %, 0,6 W

R31, R37 = 1 Ω , 1 %, 0,6 W

R32, R38 = 1,5 k Ω , 5 %, 1 W, Metallfolie oder Metalloxid, 1 W, Körpergröße 5 x 12 mm max .

R39, R40, R41, R42 = 22 Ω , 1 %, 0,6 W

R43 = 6,8 k Ω , 5 %, 1 W, Metallfolie oder Metalloxid, Körpergröße 5 x 12 mm

max.

R44,R47 = 680 Ω , 5 %, 3 W, Metallfolie oder Metalloxid, Gehäusegröße 5,5 x 16 mm max.

R45,R46 = 1 k Ω , 5 %, 2 W, Metallfolie oder Metalloxid, Körpergröße 5 x 12 mm max.

R50,R51,R54,R55 = 0,22 Ω , 5 %, 5 W, Metallplatte, radial, Leiterabstand 9 mm, Körpergröße 5 x 14 mm, BPR58CR22J Koa

R56 = 4,7 Ω , 5 %, 2 W, Metallfolie oder Metalloxid, Körpergröße 5 x 12 mm max.

R57 = 220 k Ω , 1 %, 0,6 W

R58,R59 = 2,2 M Ω , 1 %, 0,6 W

R62 = 1,2 k Ω , 1 %, 0,6 W

R63 = 270 Ω , 1 %, 0,6 W

R65,R70,R71 = 10 M Ω , 1 %, 0,6 W

R68 = 0 Ω , Schaltdraht

R72 = 3,3 M Ω , 1 %, 0,6 W

R73 = 100 k Ω , 1 %, 0,6 W

R75 = 150 k Ω , 1 %, 0,6 W

R76 = 10R, 5 %, 2 W, Metallfolie oder Metalloxid, Körpergröße 5 x 12 mm max.

Kondensator

C1 = 4,7 μ F, 5 %, 50 VDC, Raster 5/7,5 mm, PET, Gehäusegröße 7,6 x 9,7 mm max.

C2 = 1,5 nF, 5 %, 100 VDC, Rastermaß 5 mm, Gehäusegröße 2,5 x 7,2 mm max.

C3 = 10 pF, \pm 0,5 pF, 100 V, Raster 5 mm, COG/NP0 (FG28COG2A100DNT00 TDK)

C4,C5 = 1 nF, 5 %, 63 V, Raster 5 mm, PET, Gehäusegröße 2,5 x 7,2 mm max.

C6,C7,C8,C9 = 100 μ F, 20 %, 16 V, D 6,3 mm, vorzugsweise 105°C

C10,C11 = 220 pF, 5 %, 100 V, Raster 5 mm, COG/NP0, Gehäusegröße 2,5 x 7,2mm max.

C12 = 100 pF, 5 %, 100 V, Raster 5 mm, PP, Gehäusegröße 4,5 x 7,2 mm max.

C13,C14,C18,C19,C29 = 100 nF, 5 %, 100 VDC, Pitch 5 mm, PET, Gehäusegröße 2,5 x 7,2 mm max.

C15,C16 = 680 μ F, 20 %, 35 V, D 12,5 mm, Pitch 5 mm, 5000h@105°C (35ZL680MEFC12.5X20 Rubycon)

C17 = 100 nF, 5 %, 160 VDC, Pitch 5 mm, PP, Gehäuse Größe, 5 x 7,2 mm max. (R79GC3100Z340J Kemet)

C20,C21,C22,C23,C24,C25,C26,C27 = 680 µF, 20 %, 50 V, D 13,5 mm max., Pitch 5 mm, 10000h@105°C (50ZLJ680M12,5X25 Rubycon)

C28 = 2,2 µF, 10 %, 50 VDC, Raster 5/7,5 mm, PET, Gehäusegröße 7,6 x 9,7 mm max.

C30,C31 = 10 µF, 20 %, 63 V, D 6,3 mm, Raster 2,5 mm, vorzugsweise 105 °C

C32 = 10 nF, 10 %, 50 V, Raster 5 mm, X7R, Gehäusegröße 2,5 x 7,2 mm max.

C33 = 1 µF, 5 %, 63 VDC, Pitch 5/7,5 mm, PET, Gehäusegröße 7,6 x 9,7 mm max.

C34 = 22 µF, 20 %, 35 V, bip., D 8 mm max., Raster 2,5/3,5 mm

Induktivität

L1 = 1,5 mm Kupferlackdraht, < 0,6 m, 13 Windungen, ID 10 mm

Halbleiter

D1,D2 = Zener Diode 20 V, 5 %, 0,4 W, DO-35 (BZX79-C20,113 Nexperia)

D3 = Zenerdiode 33 V, 5 %, 1,3 W, DO-41 (BZV85-C33,113 Nexperia)

D4,D5 = 1N4148, DO-35

LED1,LED2,LED3,LED4 = LED, rot, 2 x 5 mm rechteckig (MCL453MD Multicomp Pro)

LED5 = LED, grün, 5 mm, T-1 3/4 (5 mm)

T1, T2, T6, T7, T9, T10, T23, T26, T27 = BC546B, TO-92

T3, T4, T5, T8, T11, T12, T24 = BC556B, TO-92

T13, T14 = KSA1381, TO-126

T15, T16 = KSC3503, TO-126

T17 = MJE15032, TO-220

T18 = MJE15033, TO-220

T19, T20 = NJL3281D, TO-264, 5 BLEI

T21, T22 = NJL1302D, TO-264, 5 BLEI

T25 = BS170, TO-92

IC1, IC2 = LM334Z, TO-92

IC3 = OPA177FP, DIP-8

Andere

K1 = 3-Wege-Klemmenblock, Raster 5 mm (1729131, MKDSN 1,5/ 3-5,08 Phoenix Contact)

K2,K5 = 2-Wege-Reihenklemme, Raster 5 mm (1729128 oder MKDSN 1,5/ 2-5,08 Phoenix Contact)

INPUT = 2 x Press Mount Terminal Pin, 1,3 mm, PCB-Lochgröße 1,4 mm (13.14.419 Ettinger)

K3, K4 (=K6, K7) + 4 für 2. PCB = Metallabstandshalter, 30 mm, M3, männlich-weiblich (also 6 insgesamt)

K8, K9 = Faston PCB, Loch 3,3 mm, Lasche 6,35 mm x 0,81 mm (42822-2 Amp/TE Connectivity oder ähnlich)

RE1 = Relais 16 A /250 VAC/30 VDC, G2R-1-E 48DC Omron

4 x M3-Schraube, 16 mm, schwarz (T19/T20/T21/T22 zum Kühlkörper, 839672 Toolcraft)

8 x M3-Schraube, 12 mm, schwarz (Abstandshalter PCB/T17/T18 zum Kühlkörper, M312 PRSTMCB100-TR-Befestigungen)

2 x M3-Schraube, 8 mm (LSP-Kontakte befestigen 2 Abstandshalter an der Hauptplatine)

18 x M3-Mutter

8 x M3-Unterlegscheibe, glatt, Stahl

-Metall-Abstandshalter, 10 mm, M3, Stecker-Buchse (PCB an Kühlkörper)

HS1,HS2 = Kühlkörper, 9 °C/W, H 50,8 mm, SK 104 50,8 ST Fischer Elektronik

T17-T22 = Kühlkörper, 0,6 °C/W, 100x180x48mm, SK53-100-SA Fischer Elektronik

T19,T20,T21 ,T22 = Keramik-Wärmeleitpad (für T19..T22), 23 x 20 mm x 2 mm (SL-012-AL20 Silfox)

T17,T18 = Keramik-Wärmeleitpad (für T17/T18), 18 x 12 x 1,5 mm mm (SL-019-AL15 Silfox)

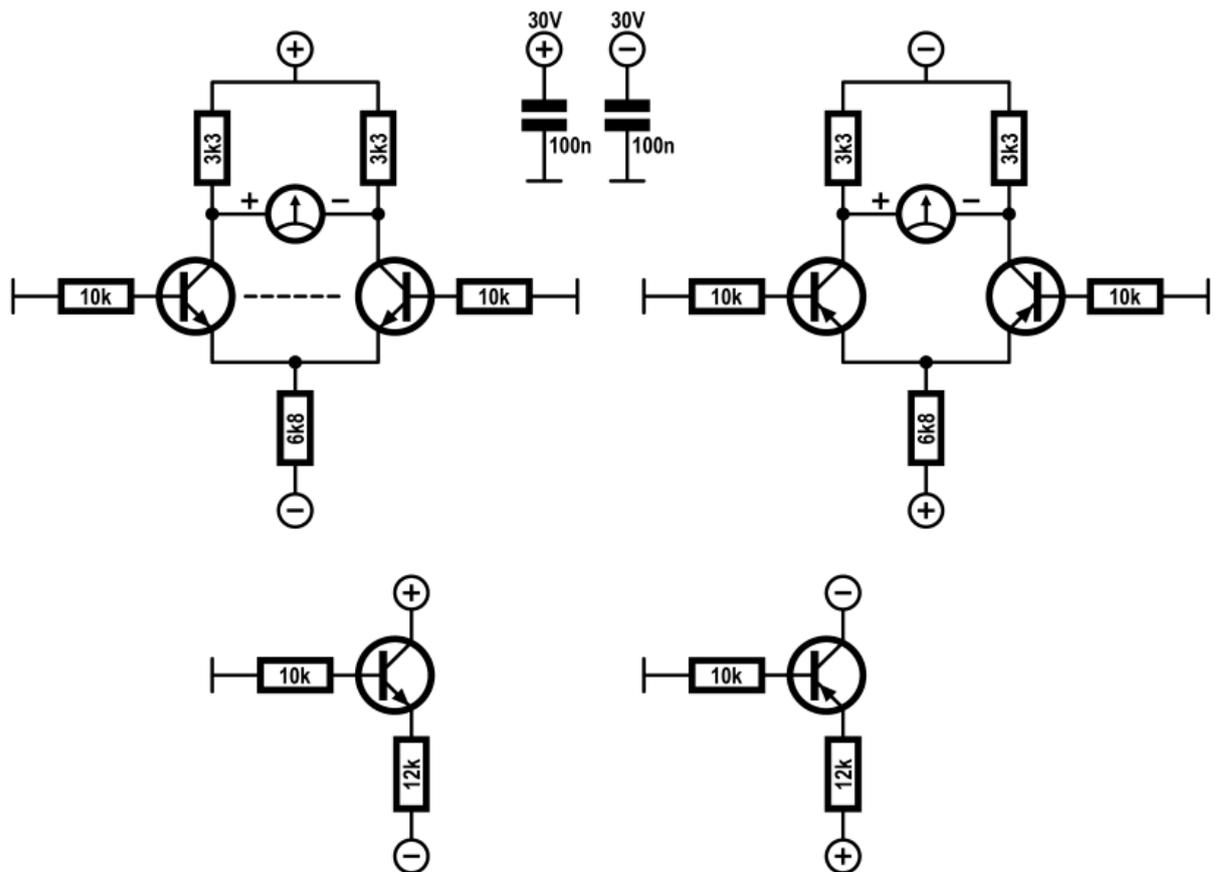
T17,T18 = Isolierbuchse, TO-220 (für T17/T18, IB 6 Fischer Elektronik)

IC3 = IC-Sockel DIP-8

Diverses

PCB 210364-1 v1.1

Messung BC546B/BC556B



Zur Auswahl der Transistoren für die differentiellen Eingangsstufen können einfache Schaltungen auf einer Steckplatine aufgebaut werden. Der beste Weg ist, zwei Transistoren zu verwenden, die gegeneinander angeordnet sind (und klemmen) und den Unterschied zwischen den 3,3 zu messen. $k\Omega$ -Widerstände für geringsten Offset. Über die $10\text{ k}\Omega$ können die Basisströme gemessen werden. Vorzugsweise muss das h_{FE} des NPN das gleiche wie das des PNP sein. Tauschen Sie die Transistoren gegen den niedrigsten Offset zwischen den Kollektorwiderständen aus. Dadurch ist die Messung weniger temperaturabhängig. Eine einfachere Möglichkeit besteht darin, jeden Transistor, U_{BE} und h_{FE} zu messen und eine Tabelle zu erstellen und die besten Übereinstimmungen auszuwählen. Aber das ist viel mehr Temperatur abhängig. Für die Kollektorspannung können Sie, falls vorhanden, 40 V für die Spannungsversorgung verwenden. $6k8$ sollte etwas niedriger sein ($6k2$), wenn bei $2,4\text{ mA}$ gemessen werden soll.

Für die zweite Differentialstufe müssen einige Dinge angepasst werden. Der Strom pro Transistor muss auf ca. 9 mA pro Transistor erhöht werden. Die

Versorgungsspannung für den Kollektor muss 8 V betragen. Wählen Sie den gemeinsamen Emitterwiderstand und die negative Versorgungsspannung (für NPN), um einen Gesamtstrom von 18 mA einzustellen.