

Die Schaltung des SYMASYM wurde 2005 von Michael Bittner entwickelt und hat in diesem Thread im internationalen DIY – Forum seinen Ursprung:

<http://www.diyaudio.com/forums/solid-state/60918-explendid-amplifier-designed-michael-bittner-our-mikeb.html>

Berühmt in Deutschland wurde der SYMASYM durch die Publikationen von Holger Barske, Redakteur aus „Klang+Ton“:

<http://www.symasym.holgerbarske.com/doku.php?id=symasym>

und den Group-Buy, von Tommes in diesem Forum organisiert:

<http://www.analog-forum.de/wbboard/index.php?page=Thread&threadID=25151>

Sämtliche technischen Fragen zum SYMASYM werden in diesem Thread behandelt:

<http://www.analog-forum.de/wbboard/index.php?page=Thread&threadID=25151>

Meinem Layout liegt die Version 5.3 des SYMASYM zugrunde.

Dieses Manual soll Euch beim Aufbau Eurer Endstufen unterstützen.

In Ihm wird auch der Aufbau der Netzteil- Platine behandelt.

Bitte lest diese Anleitung, bevor Ihr mit Eurem Projekt startet.

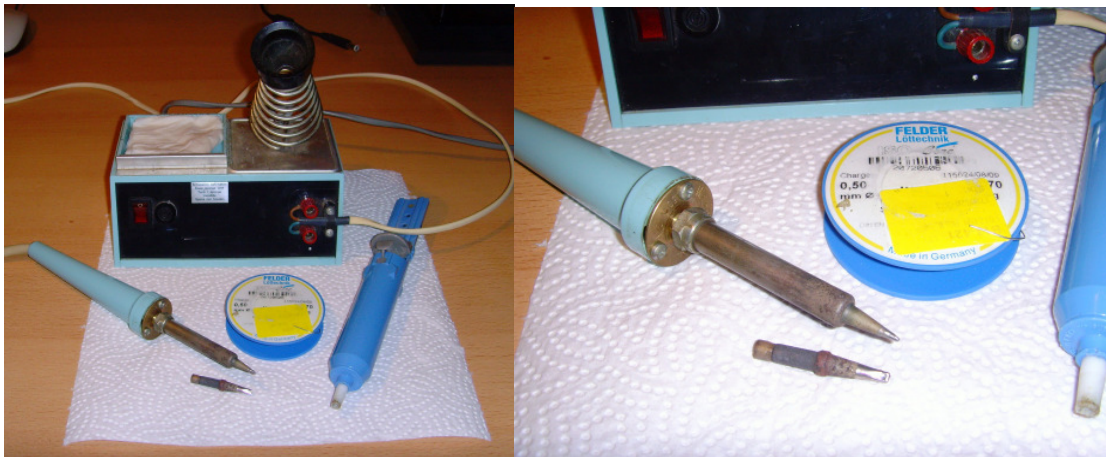
Viel Erfolg bei Aufbau und viel Freude beim anschließenden Hören wünscht: Rudi

Inhaltsverzeichnis

1. Welche Hilfsmittel für den Aufbau der Platinen benötigt werden
2. Die Netzteilplatine
3. Die TO-264 SYMASYM Platine
4. Die Einstellung des Ruhestroms

1. Welche Hilfsmittel werden für den Aufbau der Platinen benötigt?

Ihr benötigt einen Lötkolben, ein Entlötgerät und Lötzinn.



Mein alter Weller Magnastat-Lötkolben (Baujahr 1979) ist ein 50 Watt Lötkolben mit 2 Spitzen: einer sehr feinen, zum Löten der Kleintransistoren, der Widerstände, ... und eine breite Spitze zum Löten großer Bauteile und Stecker, insbesondere wenn deren Lötäugen in einer großen Kupferfläche liegen. Das Lötzinn, das ich verwende, ist 0.5mm dick.

Was wird sonst noch benötigt?



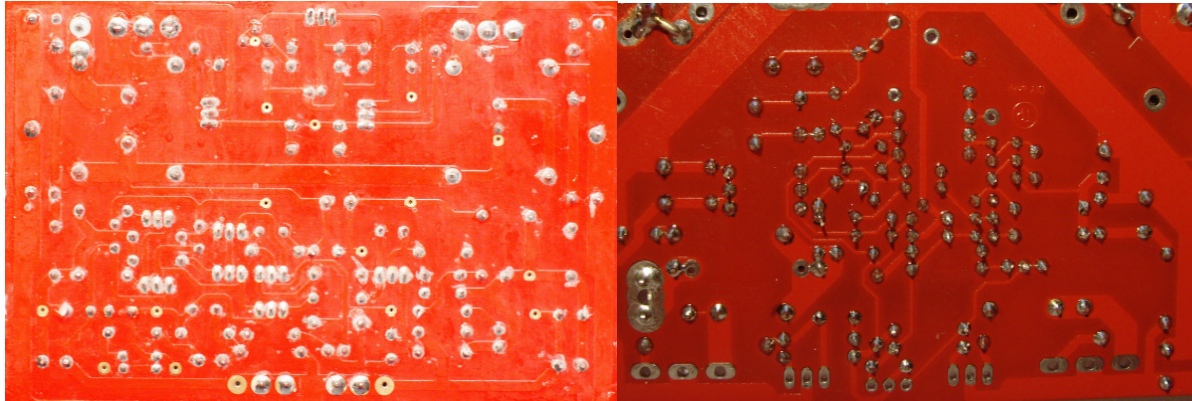
Ihr benötigt ein Digitales Multimeter, um Wechsel- und Gleichspannung sowie einen Widerstandswert zu messen.

Gut wäre es, wenn Euer Multimeter eine Einrichtung zum Messen der Kleintransistoren (BC546, 2N5401 und 2N5551) besitzt, sodass Ihr Euch der Pin-Reihenfolge (E-B-C bzw. C-B-E) auch sicher seid.

Nutzt das Multimeter und messt einen Widerstand, bevor Ihr in einlötet. Eventuell hat ein Mitarbeiter des Elektronikversands einen fehlerhaften Wert ins Tütchen gepackt, 10K statt 10 Ohm zum Beispiel, und solche Verwechslungen führen zu Fehlern auf der fertigen Platine, die sehr schwer zu finden sind.

Den Alkohol (Isopronanol, 75%) und die Zahnbürste benötigt Ihr, um die Platine vor dem Löten von Fettflecken und Schmutz zu befreien, nach dem Löten, um das Fluxmittel zu entfernen. Ich reinige auch das ALU-Profil vor dem Aufsetzen der Transistoren.

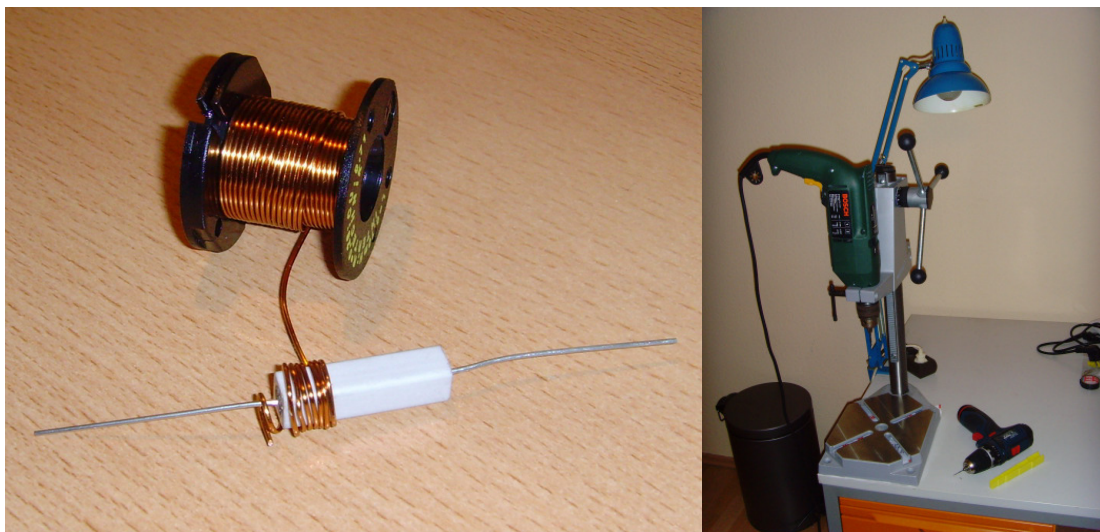
Bitte säubert die Platine nach dem Löten nicht mit Wasser: Wasser und Fluxmittel gehen eine schmierige Verbindung mit nicht vorhersagbarem Resultat ein.



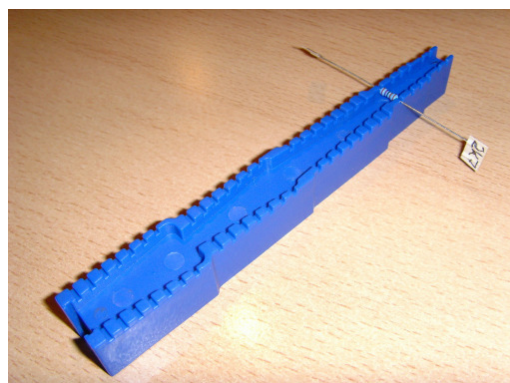
Links: eine Platine, die nach dem Lötten mit Wasser gereinigt wurde, rechts die gleiche Platine, nach dem Lötten mit Alkohol und Zahnbürste gesäubert. Ich brauche nicht zu sagen, daß es einige Mühe gekostet hat, die linke Platine zum Laufen zu bekommen.

Das Vergrößerungsglas wird z.B. dafür benutzt, um sich vom Zustand einer Lötstelle zu überzeugen, die Aufschrift auf einem Kleintransistor zu entziffern, ...

Und das Teppichmesser? Um mal eine Leiterbahn frei zu kratzen oder die Isolierung des Spulendrahts abzuschaben, wenn Ihr einen „induktiven“ Widerstand anfertigt, oder ...



Ein Bohrständler wäre natürlich auch nicht schlecht und/oder ein kleine Akku-Bohrmaschine. Und – nicht zu vergessen: die Biegelehre von Reichelt: sie ist jeden ihrer 80 Cents wert.



Zur mentalen Unterstützung vielleicht noch dieses Werkzeug:



„

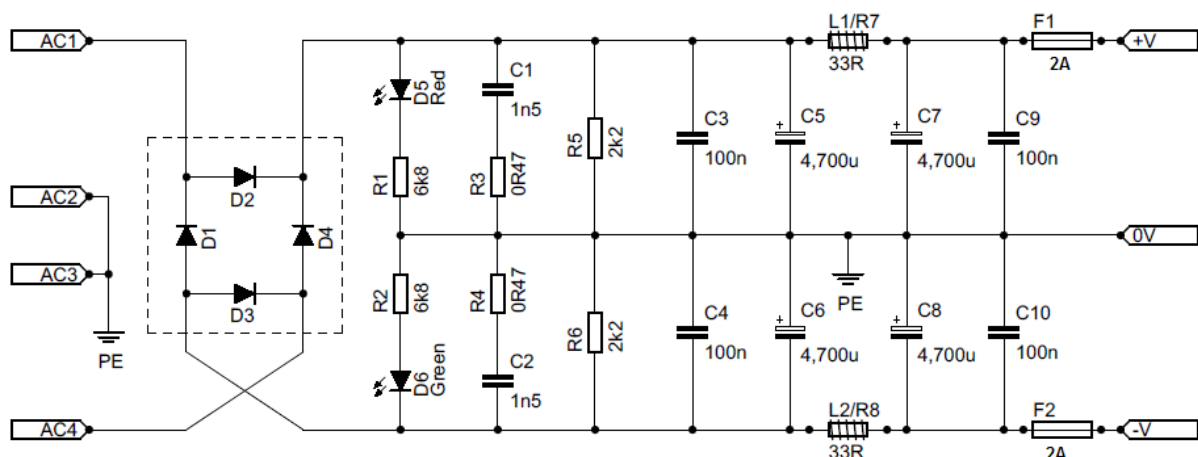
Für den Aufbau des „TO-264 SYMASYM“ braucht Ihr weder Oszilloskop noch Funktionsgenerator noch andere „high-sophisticated“ elektronische Geräte.

Fangen wir mit der Netzteil-Platine zum „Anwärmen“ an.

2. Die Netzteilplatine

Die Netzteilplatine („Power Supply Unit“) wurde von Carlos FM und Carlos Mergulhao, brasilianischen Audio-Endstufen-Designern im internationalen DIYAUDIO – Forum , entwickelt.

Anbei das Schaltbild der PSU:

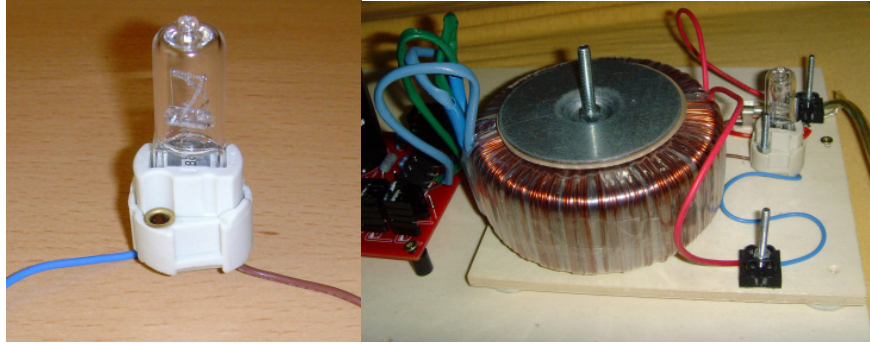


Die Teileliste für die PSU:

| Device | Value | Specs | Notes |
|-----------------------|--------------------|-----------------|---|
| Semiconductors | | | |
| D1, D2, D3, D4 | MUR810 or MUR860 | TO-220ACS case | 6 to 10 amp bridge. |
| LED1, LED2 | Red and green LED. | 3mm or 5mm LEDs | |
| Capacitors | | | |
| Value | | | |
| C1, C2 | 1.5nF | | Polyester, Ceramic |
| C3, C4, C9, C10 | 100nF | | Electrolytic |
| C5, C6, C7, C8 | 4700uF | | Electrolytic |
| | | | Polyester, Ceramic |
| Resistors | | | |
| R1, R2 | 6k8 | | |
| R3, R4 | 0R47 | 1 watt | |
| R5, R6 | 2k2 | 2 watt | |
| R7, R8 | 33R | 3 watt | Used with L1, L2 |
| Inductors | | | |
| L1+R7, L2+R8 | | | 40 turns of 1.0 mm enamelled copper wire wound in 2 layers around R7 and R8 |

Nicht aufgeführt in der Teileliste sind die Platinenverbinder:





Ich habe meinen Strombegrenzer mit einer gesockelten 40 Watt 220 Volt Hochvolt-Halogenbirne aufgebaut (Preis: 5€ bei eBay) und diese Birne in eine Primärwicklung des Trafos eingeschleift.

Die Leistung an den Sekundärwicklungen wird somit auf 40 Watt begrenzt; bei 2 Sekundärwicklungen mit 25 VAC (entspricht ca. 35 Volt Gleichspannung) fließen pro Wicklung dann max. 500mA, ein ausreichend hoher Strom, um den SYMASYM einzustellen und Musik bei kleiner Lautstärke zu hören, und andererseits stellt der Strombegrenzer sicher, dass ein Kurzschluß auf der Netzteil- oder Endstufenplatine nicht Euren teuren Trafo zerstört.

Anschluss des Transformators

Den Trafo wird sekundärseitig (die vier dicken Drähte, bei Mikky's Trafo die 2 grünen und die 2 blauen Drähte) wie folgt angeschlossen:

Das Multimeter auf den Wechselspannungs-Messbereich 200V einstellen.

Von der Sekundärwicklung 1 (blau) verbindet Ihr einen (irgendeinen) Draht mit einem (irgendeinem) Draht von Sekundärwicklung 2 (grün), z.B. mit einer Krokodilklemme oder Ihr klemmt beide Drähte in einen (!) Anschluß einer Lüsterklemme,

Die beiden offenen Enden des Transformators an das Multimeter anschliessen.

Das 220V Netz einschalten. Wenn nun das Multimeter die doppelte Spannung anzeigt (z. B. $2 \times 24V = 48V$ bei Mikky's Transformator), ist alles in Ordnung.

Falls 0V angezeigt werden, müsst Ihr bei einer Sekundärwicklung die beiden Drähte vertauschen.

Die beiden verbundenen Drähte der beiden Sekundärwicklungen definieren die „Masse“ (GND) der Schaltung.

Nachdem die Drähte-Paare gefunden wurden, wird die Masseverbindung wieder getrennt und die zwei Massedrähte auf der Netzteilplatine in den 2-poligen Leiterplattenverbinder mit der Bezeichnung GND geschraubt. In den Steckverbinder mit der Bezeichnung AC kommen die beiden offenen Drähte vom Trafo.

Es ist egal, welcher der beiden offenen Drähte in Pin1 bzw. Pin2 der Steckverbinder kommt, wir haben es hier noch mit Wechselspannung zu tun.

Die Wechselspannungen an den Sekundärwicklungen des Transformators werden durch die 4 Gleichrichterioden D1 - D4 gleichgerichtet. Als Gleichrichterioden setze ich gerne Dioden im TO-220 Gehäuse vom Typ MUR8x0 ein. Die Gleichrichterioden sollten durch einen kleinen Kühlkörper gekühlt werden.

Achtet bitte darauf, dass sich die Kühlkörper nicht berühren!

Den Gleichrichterioden folgt ein Status-LED (3mm oder 5mm). Achtet bitte auf die korrekte Polarität der LEDs. Das längere Beinchen ist grundsätzlich die Anode und wird an das positivere Potential angeschlossen!

Dann folgen die beiden großen Kondensatoren mit dem Widerstand und der um ihn gewickelten Spule.

Als Daumenregel gilt: jedes Ampere, das durch die Endstufe fließt, sollte mit ca. $5.000\mu\text{F}$ auf der jeweiligen Power-Rail (der ‚+‘ bzw. der ‚-‘ – Versorgungsleitung der Endstufe) gepuffert werden. Da durch den SYMASYM bei max. Lautstärke ca. 2A pro Power-Rail fließen, ist man mit 2 Elektrolyt-Kondensatoren mit je $4.700\mu\text{F}$ gut beraten. Wer es sehr gut meint, setzt 2 Kondensatoren mit je $6.800\mu\text{F}$ ein.

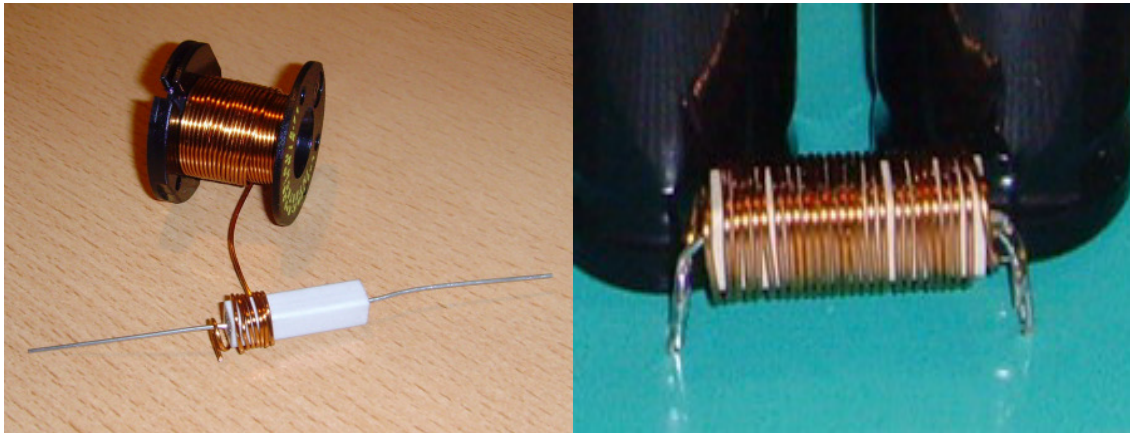
Die obige Rechnung gilt nur, wenn jede Endstufe (jeder Kanal, der linke als auch der rechte) seine eigene Stromversorgung (Transformator und Netzteil) besitzt.

Bei Verwendung von nur einer Stromversorgung für beide Endstufenkanäle empfehle ich den Einsatz eines 300 Watt Transformators und 2 x $10.000\mu\text{F}$ Kondensatoren pro Power-Rail.

Die Kondensatoren dürfen den Durchmesser von 30mm nicht überschreiten.

Bei der Verwendung von Transformatoren mit 24 - 25 VAC Sekundärwicklungen ist eine Spannungsfestigkeit von 40V der Kondensatoren ausreichend.

Zwischen den beiden großen Kondensatoren liegt ein Widerstand, der mit einem Spulendraht (ca. 40 Wicklungen eines 0.6 - 1mm dicken Drahts) umwickelt ist. Die Kombination aus C – R / L – C stellt einen Filter dar, der unerwünschte, hochfrequente Anteile aus der erzeugten Gleichspannung filtert.

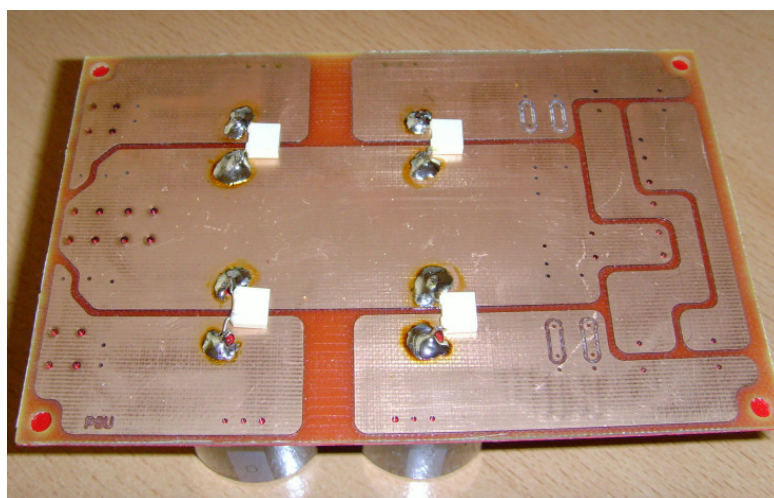


Man erzeugt den Spulen-Widerstand, in dem man von einer Spule (bzw. Spulendraht) die Isolierung an einem Ende abkratzt, an das eine Ende des Widerstands anlötet, und dann den Draht um den Widerstand wickelt, bis etwa 40 Wicklungen erreicht sind, den Draht abschneidet, die Isolierung am abgeschnittenen Ende abschabt und an das andere Bein des Widerstands anlötet. Bitte achtet darauf, daß der Spulendraht sauber/gut an den Widerstand angelötet ist. 99% des Stroms fließt nämlich durch den Draht!

Auf der rechten Seite des Netzteil-PCBs (siehe Seite 8, auf dem Bild unten auf der linken Seite) befinden sich die Anschlüsse (6.3mm Faston Stecker) für die Spannungsversorgung (+35V, - 35V), GND – und (!) für die Lautsprecher-Rückleiter (die „schwarzen“ Adern eines Lautsprecher-Kabels).

Von diesem Bereich führt also jeweils ein Kabel an die positive Versorgungsspannung einer Endstufen Platine, eines an die negative Versorgungsspannung, eines an den GND-Anschluß der Platine und eines an den Lautsprecher-Rückleiter.

Ich löte grundsätzlich immer noch einen kleinen (z.B. 100nF) Kondensator zwischen die Pins der Powerkondensatoren auf der Lötseite, um hochfrequentes Rauschen zu minimieren.



Das Bild eines fertigen Netzteils:

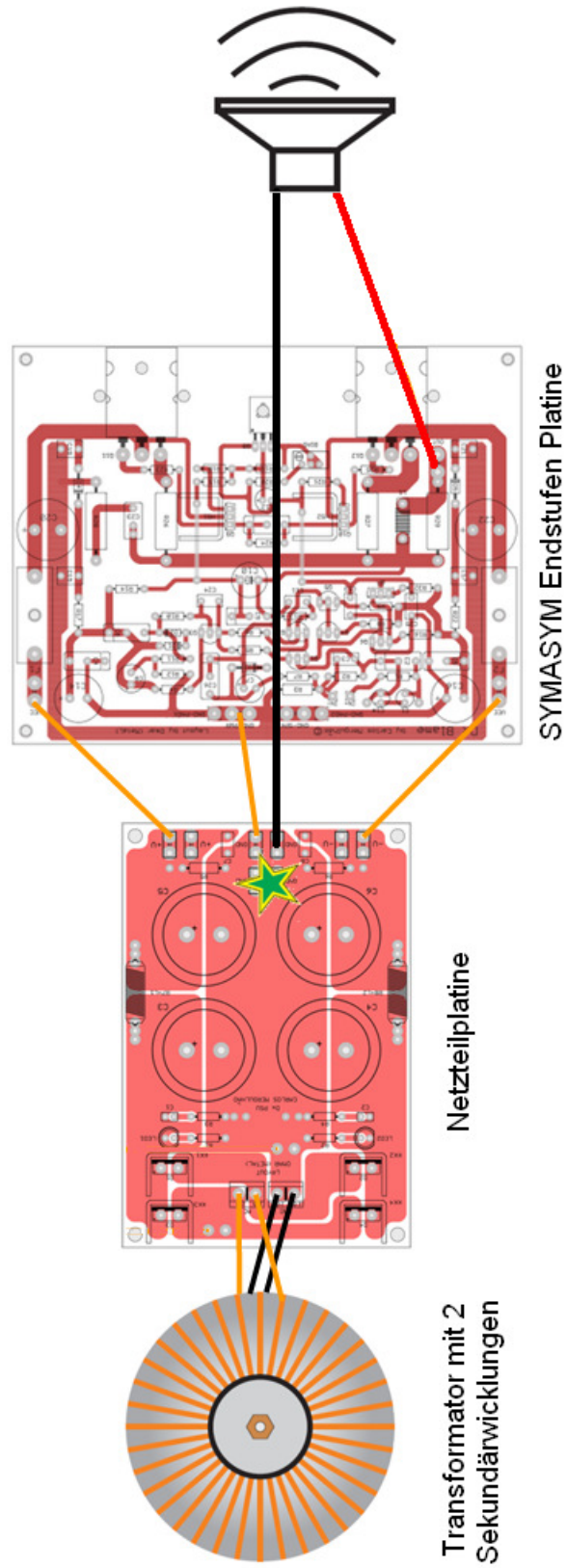


Bei Verwendung von nur einer Stromversorgung für beide Endstufen-PCBs (Kanäle) führen je 2 Anschlußdrähte von den Versorgungsspannungen (+ / - 35V) und GND auf dem Netzteil-PCB zu den Endstufen-Platinen und beide Lautsprecherrückleitungen werden an die GND – Stecker auf dem Netzteil-PCB angeschlossen.

Prüft bitte nach dem Abschluss der Lötarbeiten, ob an den Ausgängen (zwischen +V und GND bzw. zwischen –V und GND) die erwartete Ausgangsspannung (ca. +/- 35VDC) anliegt.

Auf der folgenden Seite habe ich die Verdrahtung des Transformators, der Netzteilplatine, der (einer) Endstufen Platine, der Lautsprecher-Schutzschaltung und der Lautsprecher skizziert.

Ich hoffe, dass das Bild anschaulich ist.



3 – Die TO-264 SYMASYM - Platine

Die Netzteil— Platine war ein gut geeigneter Kandidat, um die eigene Lötfertigkeit und das benötigte Werkzeug zu prüfen. Die Platine waren sehr einfach, einseitig Kupfer-kaschiert, besaß wenige Bauteile und ihre Funktionalität lässt sich sofort prüfen. Und wenn Ihr trotz aller Sorgfalt feststellt, daß Euch ein Lötfehler unterlaufen ist, so lässt sich dieser relativ leicht beheben.

Die Anforderungen beim Aufbau der TO-264 SYMASYM Platine sind deutlich höher.

Ihr benötigt sehr viel Sorgfalt und Zeit, um die Endstufen-Platine erfolgreich abzuschliessen. Prüft bitte vor dem Einlöten einer Komponente ihren Wert, die Orientierung der Anschlusspins (bei Kondensatoren, Dioden und Transistoren), messt auf der Platinenoberfläche, ob der Kontakt zur benachbarten Komponente (siehe Schaltplan, siehe Silkscreen, ...) vorhanden ist, ...

Nehmt Euch Zeit! Das ist die wichtigste Voraussetzung für das Gelingen!

Zum Einen ist es sehr mühselig, eine Komponente aus dem doppel-seitigen PCB auszulöten, zum anderen sind Fehler durch das Vertauschen oder das falsche Einsetzen von Komponenten oder Kurzschlüssen nicht zu diagnostizieren.

Auf den drei folgenden Seiten werden die Schaltung des TO-264 SYMASYM, sein Silkscreen (Durchsicht von Oben durch das PCB) mit Werten und seinen Silkscreen mit Namen abgebildet.

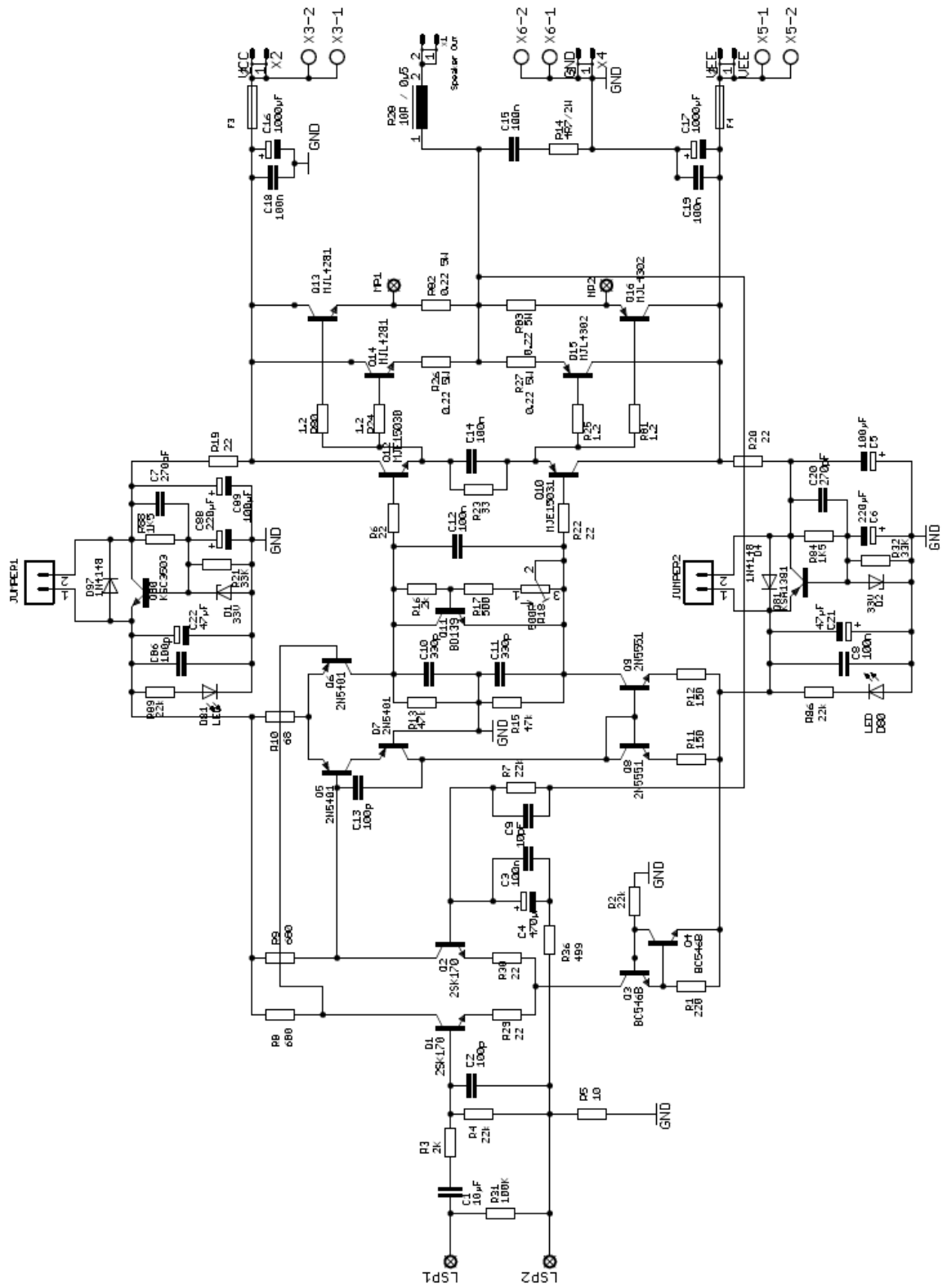
Die auf den Silkscreens rosa eingezeichneten Linien kennzeichnen diejenigen Kupferbahnen, die auf der Bestückungsseite der Platine verlaufen.

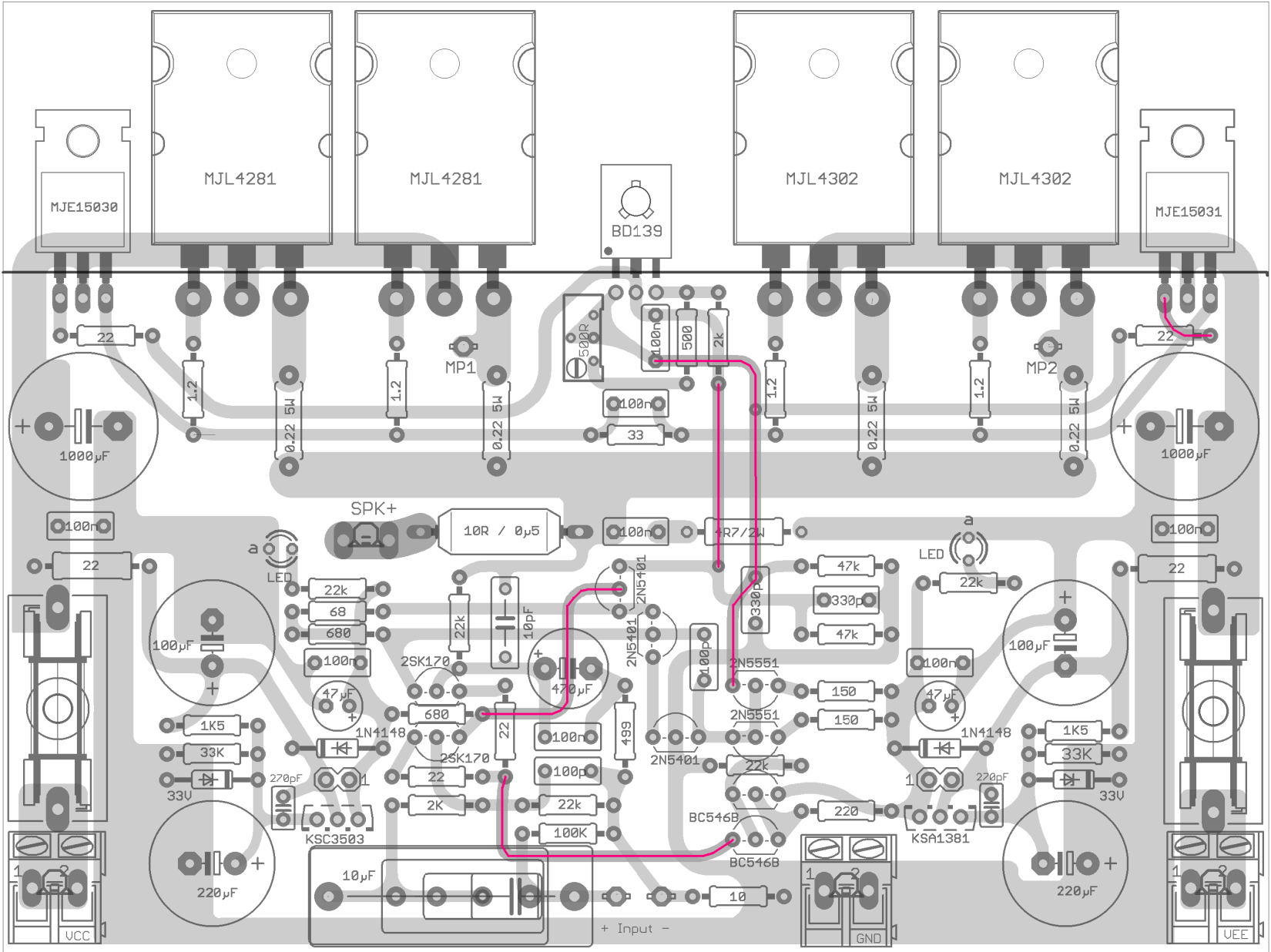
Die von mir verwendeten Komponentennamen weichen von den Namen in den Schaltungen, die Ihr in anderen Foren (z.B. Analog-Forum, DIYAUDIO-Forum, ...) ab.

Der Kern der Schaltung ist jedoch absolut identisch mit der Version 5.3 des SYMASYM.

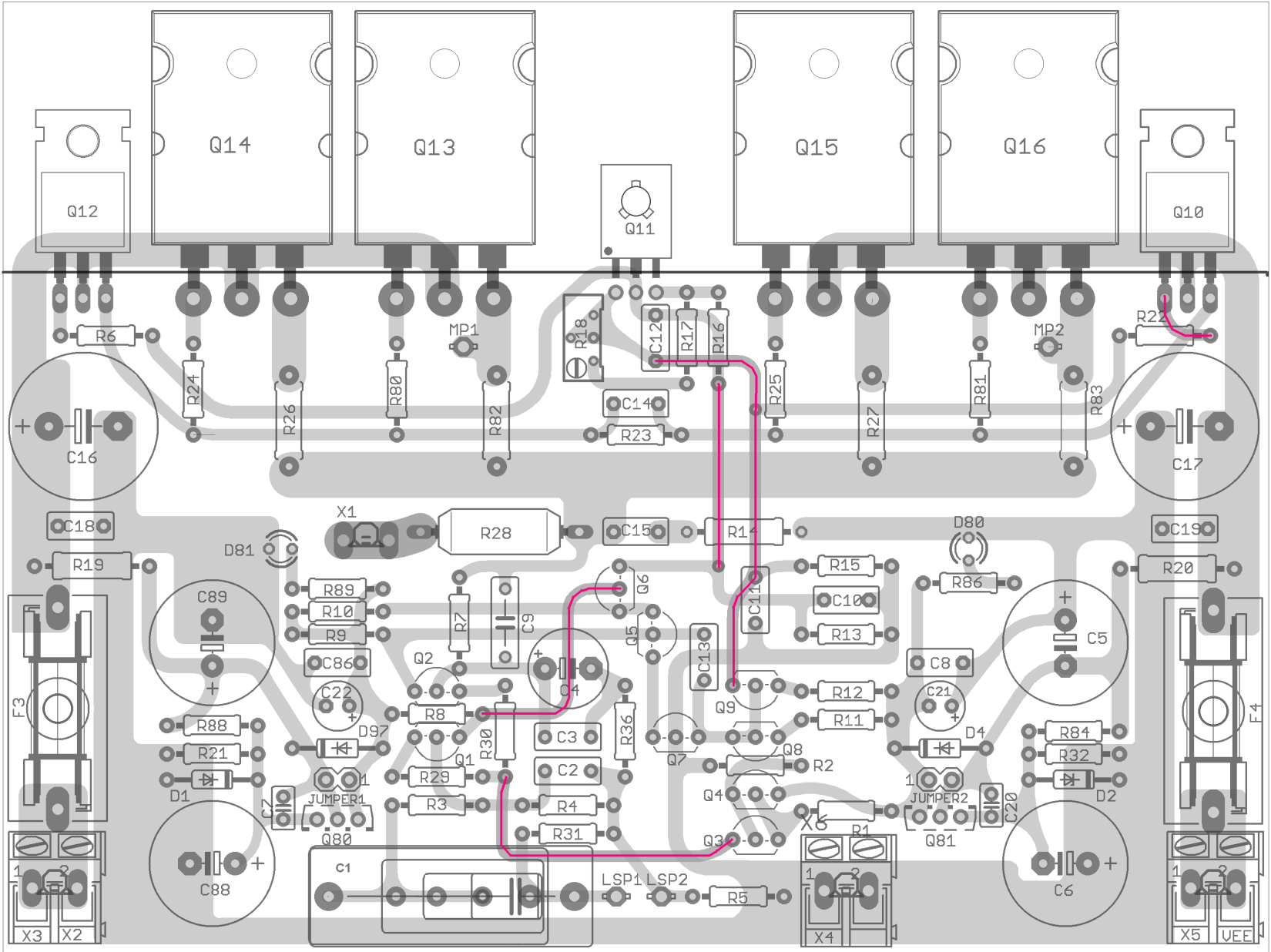
Ich habe die Schaltung erweitert um sog. „CAP-Multiplier“, die die Versorgungsspannungen für die Eingangsstufen glätten und verwende je ein Paar Ausgangstransistoren (statt eines Ausgangstransistors), um so auch Lautsprecher mit niedriger Impedanz (ca. 4 Ohm) zu unterstützen.

Schaltbild





Silkscreen mit Werten



Silkscreen mit Namen

Bestückung des TO-264 SYMASYM PCBs

Ich habe die Komponentenliste des TO-264 SYMASYM bei Reichelt als öffentlichen Warenkorb gespeichert:

<http://www.reichelt.de/?ACTION=20;AWKID=501283;PROVID=2084>

Die bei Reichelt nicht vorhandenen bzw. überkauerten Komponenten bieten Tobias und ich wie folgt an:

Ich biete neben den Netzteil- und Endstufen PCBs an:

- 1 STK ALU-L Profil pro Endstufenplatine zum Preis von 2€
- 1 Satz (4 STK) Emitterwiderstände MPC74 0R22 zum Preis von 2.50€
- 1 STK Eingangskondensator C1 MKT 1822 / 10µF zum Preis von 2€

Tobias bietet Euch an:

- 1 Satz (2 Paare) Ausgangstransistoren MJL4302A / MJL4281A pro Platine
- 1 Paar CAP Transistoren KSC3503 / KSA1281 pro Platine
- 4 STK Glimmerscheiben für Ausgangstransistoren
- Lackdraht (?)

Bitte prüft vor dem Bestellen, ob die Liste vollständig ist und korrekt ist.

Habt Ihr genügend Lötzinn, Wärmeleitpaste, Cinchstecker/-buchsen, Lautsprecherterminals, Abstandshalter, Schrauben, Isolierbuchsen IB2...?

Wenn Ihr Teile nachbestellen müsst, kostet das zusätzliches Porto und evtl. einen Minderwertaufschlag.

Am Signaleingang liegt vor dem Eingangskondensator ein 100k Widerstand (R31) gegen Masse. Der Widerstand ist optional und muss nicht zwingend bestückt werden. Er kann Knackprobleme verhindern, die beim Umschalten von Quellen entstehen können. Auf der anderen Seite belastet dieser Widerstand den Signaleingang. Bestückt diesen Widerstand also anfänglich nicht!

Wird der TO-264 SymAsym an einem Vorverstärker betrieben, so ist es ratsam, die Gesamtverstärkung zu reduzieren.

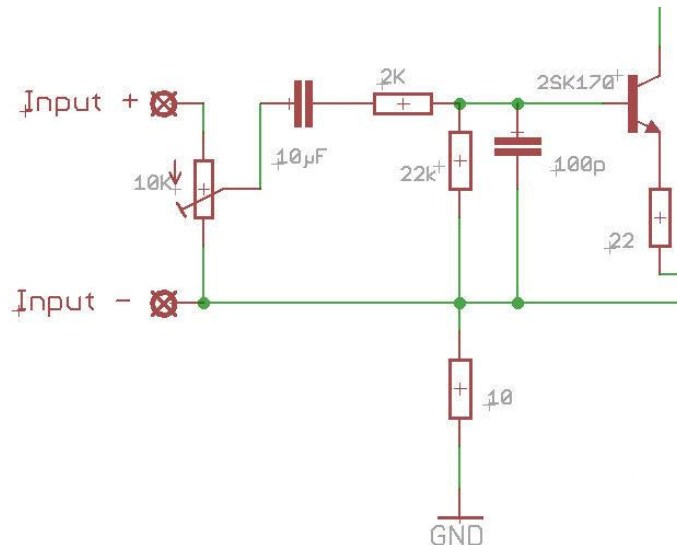
Dazu werden R36 auf 1k erhöht und R29 und R30 mit 22Ohm eingebaut. Damit halbiert sich die Gesamtverstärkung der Endstufe. Weitere Informationen finden sich auf der Website von Michael Bittner.

Betrieibt man den TO-264 SymAsym ohne Vorverstärker, dann werden R29 und R30 durch Drahtbrücken ersetzt und R36 mit einem 499 Ohm Widerstand bestückt.

(Im Schaltbild sind sowohl R29 und R30 mit 22 Ohm und R36 mit 499 Ohm eingezeichnet. So bitte nicht löten. Entweder – oder: siehe oben!)

In der Konfiguration ohne Vorverstärker wird meistens Stereo gebaut, das ein Lautstärkepoti erfordert.

Das Poti sollte ein gutes, z.B. Alps 10k log. Stereo sein und wird wie folgt eingeschleift:



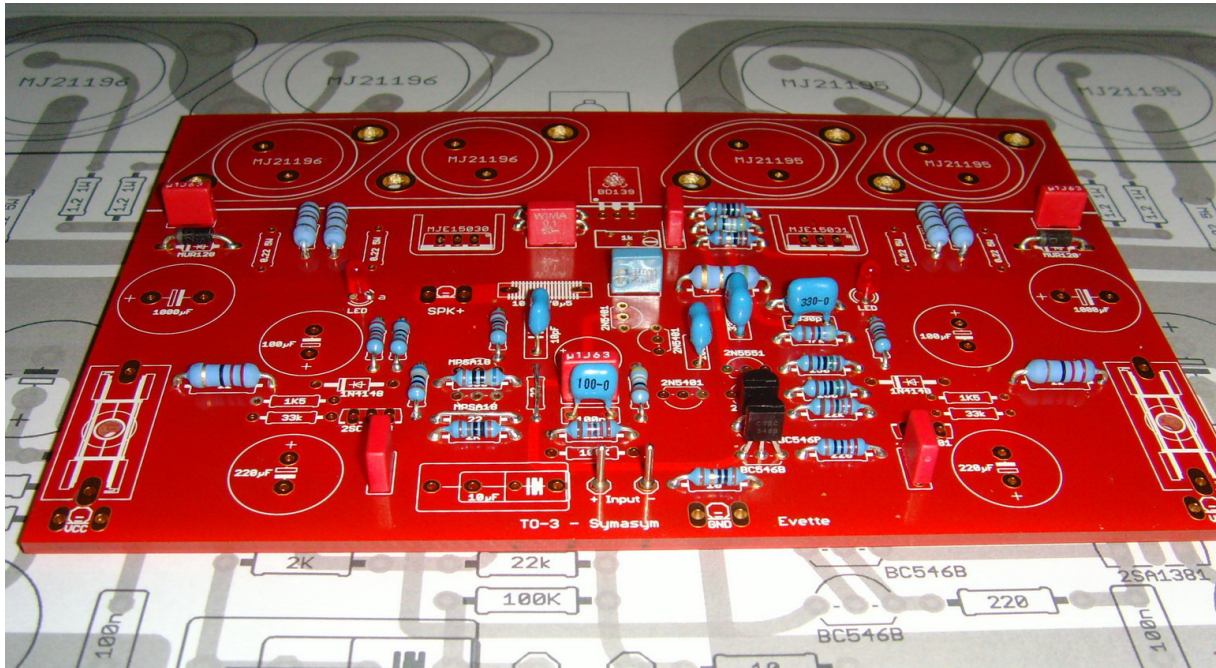
Weitere Informationen finden sich auf der Website von Michael Bittner bzw. im SYMASYM-Thread im ANALOG-Forums.

(<http://www.analog-forum.de/wbboard/index.php?page=Thread&threadID=25151>)

Die Bestückung der Endstufen-Platine beginnt mit dem Reinigen der Lötseite mit Isopropanol und einem Stück Haushaltspapier.

Wie üblich wird mit den flachsten Bauteilen begonnen und zu den höheren hingearbeitet, also: mit den Drahtbrücken (oder auch nicht), Dioden und Widerständen beginnen.

Es folgen die MICAs, die kleinen Kondensatoren ,...



Passt bitte beim Zobel-Kondensator (C15 / 100nF) auf. An ihm liegt der „volle Swing“ des Musik-Signals (die positive und die negative Halbwelle). Das sollte ein 100V – Typ sein. Gut zu sehen bei meinem Aufbau: die 63V – WIMA-Caps sind rot, der 100V - Zobel-Cap ist blau.

Ihr seht ferner auf dem Bild die etwas größeren 2-Watt Widerstände: die Railwiderstände (22 Ohm, rechts und links, waagrecht) und den Zobelwiderstand R14, 4R7, neben dem blauen Zobel-Kondensator. Es reicht für den Zobel-Widerstand R14 ein 1-Watt – Typ!

Die 4 „Base-Stoppers“, 1R2, am oberen Rand, senkrecht nebeneinander liegend, können normale ¼ Watt Typen sein (sind es auch aktuellen Warenkorb).

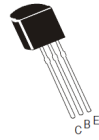
Anbei die Deckseiten der Datenblätter der Kleintransistoren:



Continental Device India Limited
An ISO/TS 16949, ISO 9001 and ISO 14001 Certified Company



NPN SILICON PLANAR EPITAXIAL TRANSISTORS



BC546, A, B, C
BC547, A, B, C
BC548, A, B, C

TO-92
Plastic Package
For Lead Free Parts, Device
Part # will be Prefixed with
"T"

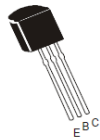
An den Beinchen halten, mit der geraden Seite nach vorne, von links nach rechts: Kollektor, Basis, Emitter



Continental Device India Limited
An ISO/TS 16949, ISO 9001 and ISO 14001 Certified Company



PNP EPITAXIAL PLANAR SILICON HIGH VOLTAGE TRANSISTOR



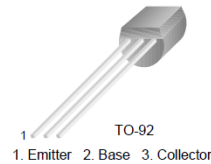
2N5401
TO-92
CBE



2N5401

Amplifier Transistor

- Collector-Emitter Voltage: $V_{CE0} = 150V$
- Collector Dissipation: $P_C (max) = 625mW$
- Suffix "-C" means Center Collector (1. Emitter 2. Collector 3. Base)



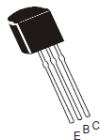
(FAIRCHILD und CDIL haben die gleiche Pinbelegung!)



Continental Device India Limited
An ISO/TS16949 and ISO 9001 Certified Company



NPN EPITAXIAL PLANAR SILICON HIGH VOLTAGE TRANSISTOR



2N5551
TO-92
CBE

Ich empfehle, die Beinchen der Kleintransistoren vor dem Einlöten mit einer kleinen Zange etwas abzuwinkeln, damit sie nicht zu sehr unter mechanischer Spannung stehen.



Für den Eingangskondensator C1 stehen Rastermasse von 5 mm bis 27.5mm zur Verfügung. Als Werte könnt Ihr 4.7 μ F, 6.8 μ F oder 10 μ F verwenden.

Der Eingangskondensator ist ein bipolarer Typ, also bitte keinen Elektrolytkondensator an diese Stelle einsetzen. Die WIMA 6.8 μ F oder 10 μ F sind zur Zeit bei Reichelt nicht erhältlich. Meine persönliche Tendenz geht zum MKT 1822 von ERO. Wenn Ihr es ganz gut meint, lötet einen ERO 1837 / 100nF Kondensator auf der Lötseite parallel zum Eingangskondensator.

Die Elektrolyt-Kondensatoren auf der Platine sind 40 V Typen (beim Löten bitte die Polarität der Elkos beachten), bis auf C4: da reicht ein 16V Typ.

Die beiden großen 1000 μ F Elektrolytkondensatoren C16 und C17 besitzen ein Rastermass von 7.5mm . Wenn Ihr ELKO mit einem Rastermass von 5mm verwendet, müsst Ihr vor dem Einlöten die Anschlusspins ein wenig auseinanderbiegen.

Die beiden Leuchtdioden (3 mm) leuchten bei Anliegen der Railspannungen. Die Anode der LEDs (der längere der beiden Pins einer Leuchtdiode) ist auf dem Silkscreen mit dem Buchstaben „a“ gekennzeichnet.

Vor dem Einlöten des 500 Ohm Trim-Potentiometers R18 dreht ihr an der Schraube des Potis im Uhrzeigersinn, bis der Maximalwert von 500 Ohm zwischen Pin 1 (unter der Schraube) und dem Schleifer (mittlerer Pin) anliegt, und achtet bitte darauf, daß Ihr das Potentiometer mit der Schraube nach unten, wie auf dem Silkscreen gezeigt, einlötet.

Beim Einlöten der Emitter – Hochlastwiderstände (der MPC74 0R22, ebenso der 2 Watt Widerstände auf dem PCB) habe ich einen Streichholz unter die Widerstände gelegt, so daß sie ca. 1-2 mm von der PCB-Oberfläche abstehen. Das erleichtert die Wärmezirkulation rund um diese Widerstände.

Unmittelbar über den CAP-Multiplier – Transistoren (Q80 und Q81) befindet sich ein 2-poliger Pfostenstecker (Jumper 1 bzw. Jumper 2), der mithilfe eines Jumpers (so wie man ihn von PCs kennt) das Aktivieren bzw. Deaktivieren des CAP-Multipliers – je nach Hörgeschmack – erlaubt.

Ist der Jumper  gesteckt, wird der CAP-Multiplier deaktiviert.

Bei aktiviertem CAP-Multiplier (Jumper gezogen), glättet der CAP-Multiplier die Versorgungsspannung für den Eingangsbereich der Endstufe. Zudem wird die Railspannung mittels einer Zener-Diode auf eine Maximalspannung begrenzt (z.B. auf +/-33V, wie im Schaltbild angegeben) und schützt die empfindlichen Eingangstransistoren vor zerstörerischen Spannungsspitzen.

Vergesst bitte nicht, den Spulendraht um den Ausgangswiderstand R28 zu wickeln. Der Großteil des in den Lautsprecher fließenden Stroms fließt durch den Spulendraht!

10 Wicklungen mit einem 0.6 - 1mm Spulendraht: das sollte doch zu schaffen sein, oder?

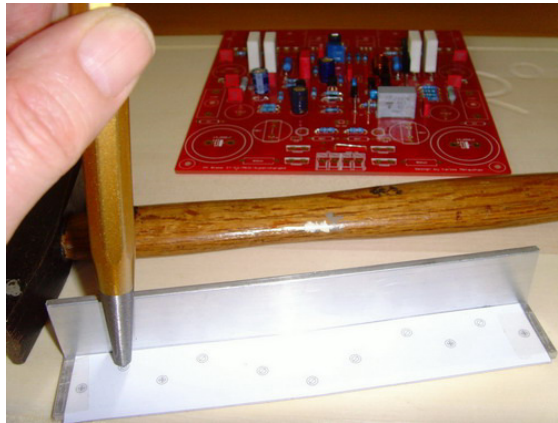
Wir nähern uns dem Ende des Aufbaus, aber zunächst wird Euer handwerkliches Geschick noch auf die Probe gestellt: das Aufsetzen der Ausgangstransistoren, der Treiber- und des VBE-Multipliers auf das ALU-L Profil und das anschließende Einlöten steht an.



Auf dem PCB sind bereits die Bohrlöcher vorhanden, an die die Transistoren zusammen mit dem ALU-L Profil verschraubt werden.

Ihr müsst nun in einen Schenkel des ALU-L Profils an den identischen Positionen Löcher bohren. Dazu eignet sich die Bohrschablone, die ich als PDF-File an diese Email gehängt habe.

Druckt das PDF-File bitte in 100% Größe aus, schneidet es entlang des eingezeichneten Rechtecks aus, fixiert es mittels Tesafilm auf einen Schenkel des ALU-L Profils, körnert es an und bohrt dann mit einem 3.5mm Bohrer.

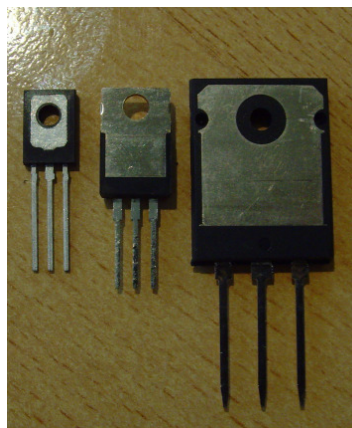


Vergesst bitte nicht, anschließend auch die Löcher für die Anbringung des ALU-L Profils an den „eigentlichen“ Kühlkörper in den anderen Schenkel des ALU-Profils zu bohren.

Ich empfehle, den gebohrten ALU-Schenkel mit einem 800 - 1.000 Schmiergelpapier zu glätten.

Reinigt bitte anschliessend die Oberseite des gebohrten Schenkels mit Isopropanol!
Dann setzt das ALU-Profil auf das PCB und beginnt mit dem Anbringen der Transistoren.

Die Transistoren besitzen auf der Rückseite für die Wärmeableitung eine Metallfläche, die in der Regel mit dem Kollektor des Transistors verbunden ist.



Diese Metallfläche darf unter keinen Umständen in Kontakt mit dem ALU-L Profil kommen. Unter den Transistor wird daher eine Wärme-leitende Isolierscheibe (Glimmerscheibe, Wärme-leitendes Textil) gelegt. Falls Ihr Metallschrauben verwendet, sorgen Isolierbuchsen (z.B. IB 2 bei Reichelt) für eine geeignete Isolierung; ansonsten verwendet Polyamid-Schrauben. Die großen Ausgangstransistoren können ohne Isolierbuchsen angeschraubt werden, da die Metallfläche auf der Rückseite nicht bis zum Bohrloch reicht.

Beginnt mit dem VBE-Multiplier – in der Mitte : dem BD139.

Dessen Anschlußpins müsst Ihr zunächst geeignet abwinkeln.

Den Transistor entweder mit einer auf beiden Seiten mit einer sehr (!) dünnen Schicht Wärmeleitpaste (zum Ausgleich von evtl. vorhandenen Riefen im ALU) versehenen Glimmerscheibe oder einem Wärmeleittextil auf das ALU isoliert anschrauben: entweder mit einer Plastik- (Polyamid) – M3-Schraube oder mithilfe einer Isolierbuchse (z.B. IB 2 von Reichelt).

Wichtig ist, dass der Transistor mit keinem seiner Beinchen oder dem metallenen Rücken Kontakt zum ALU-Profil hat. Stellt zur Überprüfung bitte Euer Messgerät auf „Widerstand, höchster (M Ω) Bereich“ und messt den Widerstand zwischen den Beinchen des Transistors und dem ALU-Profil. Bei allen 3 Beinchen muss der gemessene Widerstand unendlich sein!

Dann erst könnt Ihr den Transistor auf der Unterseite des PCBs einlöten.

Geht genauso mit den beiden Treiber Transistoren MJE15030 und MJE15031 und den Ausgangstransistoren vor: isolieren, anschrauben, nachmessen, einlöten.

Lötet zunächst nur die beiden Ausgangstransistoren Q13 und Q16 ein!

Nochmals (ich kann es nicht oft genug wiederholen) meine Bitte an Euch: **nehmt euch Zeit** beim Löten, überprüft die Komponenten, bevor Ihr sie einlötet auf den richtigen Wert! Prüft nach dem Einlöten mit einer Lupe, dass Ihr keinen Kurzschluß zu einem benachbarten Bauelement gelötet habt.

Nach dem Einsetzen und Anschrauben der Transistoren prüft bitte noch mal, ob auch kein Anschlußpins oder die Schrauben Kontakt zum ALU-Profil haben (Multimeter, höchster Widerstandsbereich, messen zwischen dem ALU-Profil und den Anschlüssen).

Schaut jetzt noch einmal auf das PCB: alle Komponenten bis auf die beiden fehlenden Ausgangstransistoren sind eingelötet? Nichts vergessen?

Reinigt dann bitte das PCB auf der Lötseite mit einer Zahnbürste, die Ihr zuvor in Alkohol getaucht habt, befreit es von den Löt-Fluxmitteln und tupft es mit einem fusselfreien Tuch ab.

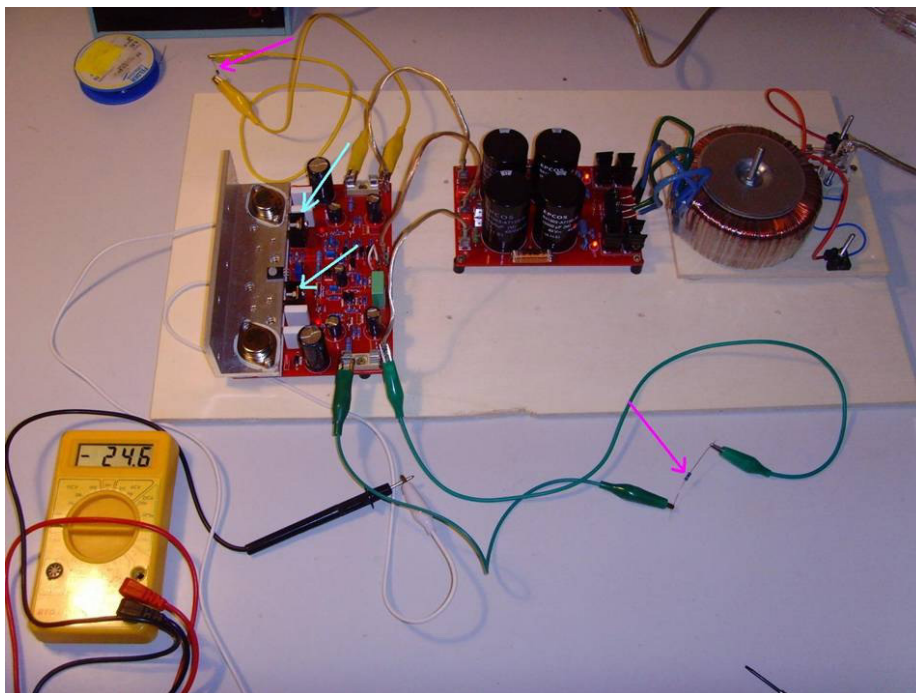
4 - Einstellung des Ruhestroms

Gleich wird es ernst, und die Platine wird „unter Strom gesetzt“.

Zuvor: prüft bitte in Seelenruhe noch einmal Euer Lötwerk, mit der Lupe (kein Kurzschluß zwischen zwei Lötunkten), sind die Lötunkte „glänzend“, bilden sie um den Anschluß eines Pins einen kleinen Kegel, sind die Kondensatoren und Dioden richtig herum eingesetzt, gleiches gilt für die Transistoren, haben die Widerstände die richtigen Werte? Vergewissert Euch, dass Ihr fehlerfrei gearbeitet habt.

Dann verbindet die Betriebsspannungen, wie auf Seite 12 angegeben, der Endstufe mit der Netzteilplatine! Die positive Betriebsspannung des Netzteils (+35V) mit der positiven Railspannung VCC der Endstufe, die negative Betriebsspannung (-35V) mit der negativen Railspannung VEE der Endstufe, GND des Netzteils mit GND der Endstufenplatine.

Setzt noch keine Sicherungen in die beiden Sicherungshalter, sondern überbrückt die Sicherungshalter mit je einem 10 Ohm / ¼ Watt Widerstand.



Siehe die beiden rosa Pfeile auf dem Bild: ich habe den Sicherungshalter mit Krokoklemmen und den 10 Ohm Widerständen überbrückt.

Warum der 10 Ohm Widerstand?

Bei der Einstellung des Ruhestroms fließen pro Rail, wenn alles korrekt ist, ca. 100mA.

D.h.: die Spannung, die über dem 10 Ohm Widerstand abfällt, ist ca. 1V und seine Verlustleistung beträgt ca. 100mW, also kein Problem für den ¼ Watt Widerstand.

Hat sich trotz aller Gewissenhaftigkeit dennoch ein Fehler in Euren Aufbau eingeschlichen und sollte deutlich mehr Strom als die vermeintlichen 100mA fließen, wird der 10 Ohm Widerstand zunächst anfangen zu rauchen und dann schmelzen (hoffentlich!) und schützt (hoffentlich) die Schaltung vor größerem Schaden.

Der Eingang muss kurz geschlossen sein (Input + = Input -); der Lautsprecherausgang bleibt offen.

Habt Ihr den Strombegrenzer im Einsatz?! (Siehe Seite)!

Jetzt einen kräftigen Schluck Whisky (oder Weissbier) – und: Power On.

Der erste Blick sollte den LEDs gelten: leuchten die LEDs auf dem Netzteil- und dem Endstufen-PCB? Dann der Griff an die 10 Ohm – „Angstwiderstände“: ein wenig warm können sie schon werden, aber nicht heiss, und Rauchsignale sollten sie auf gar keinen Fall senden.

Falls die LEDs nicht leuchten oder die 10 Ohm Widerstände zu glühen beginnen: Power Off.

In diesem Fall habt Ihr nicht 100% korrekt gearbeitet, und die Inspektion Eures Werks beginnt von Neuem.

Falls Ihr die 1. Hürde genommen habt, die LEDs brav leuchten und die 10 Ohm Widerstände handwarm bleiben, wartet ruhig ein paar Minuten und haltet das Geschehen im Auge. Bleibt alles konstant? Dann Power Off und warten, bis die LEDs nicht mehr leuchten (bis sich die großen Power Caps entladen haben).

Entfernt nun die 10 Ohm Widerstände und setzt die Sicherungen ein.

Schliesst Eurer Multimeter (Einstellungsbereich: DC, 200 mV Bereich) an die beiden Messpunkte MP1 (die rote Messleitung) und MP2 (die schwarze Messleitung) an und schaltet das Netzteil erneut ein.

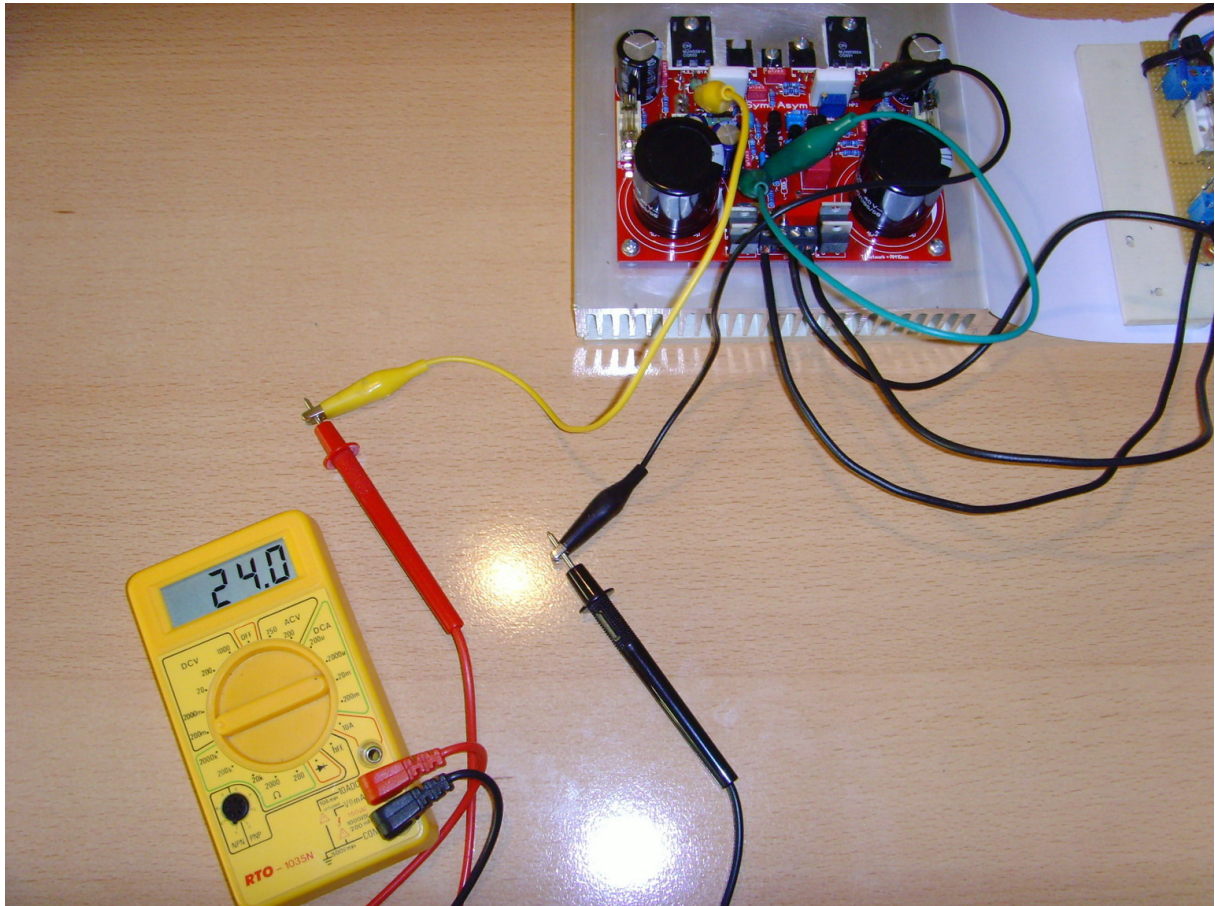
Das Multimeter sollte 0 mV anzeigen.

Nun dreht mit einem feinen Schraubenzieher an der Einstellschraube des Trimpotentiometers R18 entgegen dem Uhrzeigerzinn. Während der ersten ca. 10 Umdrehungen sollte sich die Anzeige 0 mV nicht ändern, dann jedoch, mit jeder weiteren Umdrehung, sollte das Multimeter Werte anzeigen: 5mV, 10 mV, 15 mV, ...

Ihr messt gerade den Spannungsabfall über die beiden Emitterwiderstände R82 und R83.

Der empfohlene Richtwert während der Ruhestromeinstellung für den Stromfluss durch einen TO-264 Transistor liegt bei ca. 50 - 55 mA, d.h.: über einen 0R22 Emitterwiderstand (z.B. R82) fallen dann ca. 12 mV ab (Ohmsche's Gesetz: $U = R * I$)

Da zwischen den beiden Messpunkten MP1 und MP2 zwei Emitterwiderstände liegen, müsst Ihr also den Wert des Potentiometers (weiter entgegen dem Uhrzeigersinn drehen) solange verringern, bis ca. 24 mV auf dem Multimeter angezeigt werden.



Gelingt Euch das?

Herzlichen Glückwunsch 🐛 ! Das sieht sehr, sehr gut aus.

Lasst den Aufbau in diesem Zustand etwa **15-20 Minuten** stehen und justiert noch einmal nach.

Messt bitte jetzt auch den Gleichspannungsanteil am Ausgang (Multimeter auf 200 mV DC einstellen und zwischen Lautsprecherstecker X1 auf der Platine und GND messen).

Es sollte ein Wert unter 30mV angezeigt werden.

Die Ruhestromeinstellung ist hiermit abgeschlossen.

Dann schaltet das Netzteil aus.

Lötet anschließend das 2. Paar TO-264 Transistoren ein und vergesst nicht zu prüfen, dass auch das 2. Paar an keinem seiner Anschlüsse einen Kontakt zum ALU-Profil hat.

Dann könnt Ihr das Versuchsaufbaustadium verlassen, schließt Eure Quelle (CD Player über einen Lautstärkereglern, Vorverstärker, PC, ...) und einen Lautsprecher (die Hinleitung an dem Stecker X1 auf der Endstufen-Platine, die Rückleitung an einen freien GND-Stecker auf der Netzteilplatine) an, stellt auf leise Lautstärke und hört Musik ... und freut Euch über den phänomenalen Klang und Eurer gelungenes Werk.

Ich wünsche Euch gutes Gelingen und viel Freude beim Hören - Rudi