

Ulti-Preamp

Seit 231500Aug14 zu sehen in der Kategorie [Audio](#)

 English version

[Scroll down \(or click here\) for an english version of this article.](#)



Der korrekte Schaltplan

Der „ulti.preamp.org“ ist ein diskret aufgebauter Vorverstärker mit Standardbauteilen. Die Schaltung basiert auf dem 1994 vorgestellten Ulti-Preamp von Elektor, wurde jedoch in einigen Punkten an meine Wünsche und Vorgaben angepasst. Als erstes mussten die extrem teuren, nur schwer beschaffbaren und inzwischen seit einigen Jahren nicht mehr hergestellten Doppeltransistoren MATo2 und MATo3 ersetzt werden. Natürlich gibt es inzwischen adäquaten Ersatz, aber der ist auch nicht überall zu bekommen (also wieder extra Versandkosten etc.) und immer noch extrem teuer. Ein einzelner dieser Doppeltransistoren liegt derzeit bei Mouser bei ca. EUR15,00 – für einen Stereoverstärker brauchen wir insgesamt 8 Stück, also sind die ersten hundert Euro

schonmal kaputt. Für weniger als den Preis eines einzelnen Doppeltransistors bekommt man aber schon 100 BC550 und 100 BC560! Natürlich muss man sich damit die Arbeit der Selektion selber machen, und man wird sicher auch nicht die Präzision eines Doppeltransistors erreichen (alleine schon wegen der separaten Dies), aber für eine hochwertige Audiowiedergabe sollte es allemal ausreichen. Und damit sind wir gleich beim zweiten Punkt: Damit man nun nach dem Matchen nicht noch 192 Transistoren rumliegen hat (na gut, ein paar davon braucht man eh noch für den Verstärker...), habe ich die einzelnen Endstufentransistoren durch jeweils 16 „kleinere“ ersetzt. ~~Ob das auch gut funktioniert wird sich noch zeigen~~ Das funktioniert erstaunlich gut :) , schließlich bringt eine solche Konstruktion seine eigenen Probleme und Eigenschaften mit sich. Zum Beispiel kann man jetzt ja den VBE-Spreader nicht mehr mit einem einzelnen Transistor thermisch koppeln. Um dieses Problem zu minimieren, habe ich die Spreader-Transistoren (sind ja zwei in dieser Schaltung) jeweils in die Mitte aus einem Ring Ausgangstransistoren gesetzt. Ausserdem musste ich einige Widerstände entsprechend anpassen; so auch die Emitter-Widerstände, die mit 100 Ohm recht hoch ausgefallen sind. Dadurch ergibt sich jedoch eine wesentlich bessere Temperaturstabilität des Ruhestroms als mit niedrigeren Werten! Für die Ausgangsimpedanz spielt das keine Rolle, zumal diese ja künstlich auf 50 Ohm festgelegt ist.



Thermisch koppeln für beste Performance

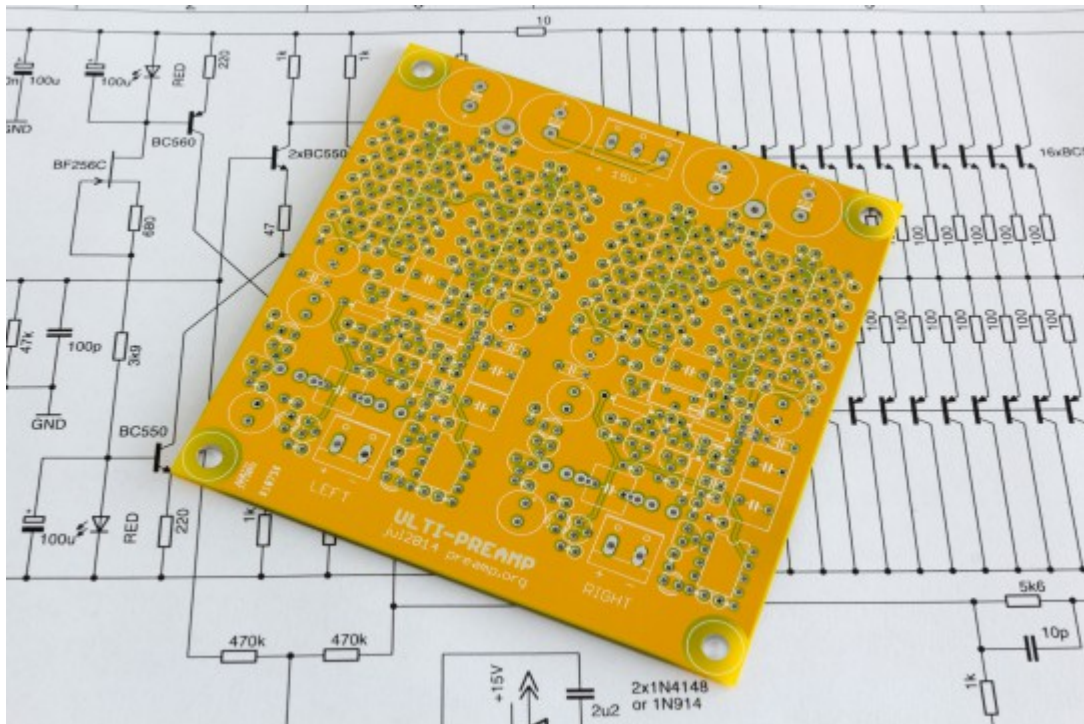
Thermisch koppeln für beste Performance

Ein weiterer Punkt, der auch von den IPS-Transistoren abhängt, ist das DC-Servo für den Ausgangsoffset. Da die jetzt verwendeten BC550 und BC560 einen deutlich anderen hFE aufweisen als die MAT's, funktioniert die Originalbeschaltung nicht mehr. Der MAT02 (NPN) hat einen hFE um 500, während der MAT03 (PNP) irgendwo unten bei 160-170 rundümpelt. Da hat der Servo natürlich ordentlich was zu tun. Bei dem BC550 (NPN) von ON-Semi sind wir mit typischen 500 gut dabei, allerdings hat der BC560 (PNP) ebenfalls typische 500! Bei meinem Haufen hatte ich die meisten NPN um 570 und die PNP um 610, also umgekehrte Verhältnisse. Um den Servo wieder in Gang zu bringen, hat es im Simulator gereicht den 100k-Trimmer der Originalschaltung durch eine rote LED zu ersetzen. Damit ist der Regelbereich groß genug um auch deutlich höhere hFE-Differenzen auszugleichen, und auch bei einem Temperaturbereich von 0-60°C gab's noch keinerlei Probleme. ~~Ob das auch in der Wirklichkeit so gut klappt wird sich bald zeigen...~~ Funktioniert in der Wirklichkeit natürlich *so nicht*... Ein typischer Fall von „nicht nachgedacht, sondern nur dem Simulator vertraut“. Da die PNP-Transistoren ja nun einen höheren hFE haben, muss ihnen logischerweise etwas Basisstrom weggenommen und nicht zugeführt werden. Dazu muss der Transistor hinter dem OP ein PNP werden und an die positive Betriebsspannung ran; die zusätzliche LED ist komplett überflüssig und verhindert sogar noch die einwandfreie Funktion. Glücklicherweise ist das nur eine relativ kleine Anpassung, die sich auf der fertigen Platine noch mit recht geringem Aufwand umsetzen lässt. Jetzt arbeitet der Servo auch so wie er soll: Beim Einschalten liegt der Offset je nach Last bei ca. 70mV, sinkt innerhalb einer Minute auf 3mV und pendelt sich dann nach einigen weiteren Sekunden bei ein paar hundert Mikrovolt ein. Der Rest waren dann noch kleinere kosmetische Anpassungen. So habe ich zum Beispiel den OP07 als Servo-Opamp gewählt, weil er günstig zu haben ist und sicherlich ausreichend präzise. Im Prinzip sollte jeder Unity-Gain-stabile OP funktionieren, sogar ein 741; allerdings hängt dann der Ausgangsoffset vom starken Temperaturgang des OPs ab. Teurere Alternativen gehen selbstverständlich immer, z.B. der neuere OP177, oder andere Präzisions-OPs mit geringem Offset und niedriger Temperaturdrift wie LT1028, LT1168 und Konsorten. Ob's den höheren Preis von mehreren Euros zum 25ct-OP07 wert ist, muss jeder selber wissen.

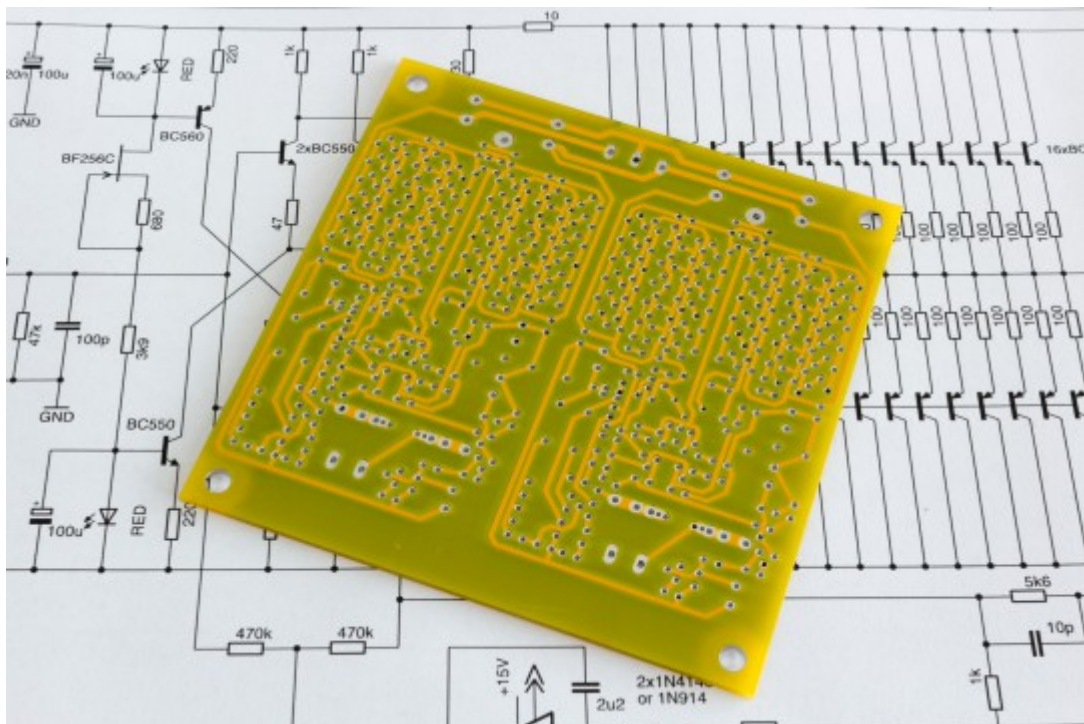


Die Match-Pappen sauber aufgereiht

Zum Ausmessen der Transistoren habe ich einen Atlas DCA75 Pro von Peak Electronic verwendet. Der einfache hFE-Wert war mir in diesem Falle genau genug. Ich hätte noch von jedem Transistor eine Kurvenschar aufnehmen können und diese dann miteinander vergleichen, aber das war mir dann doch zu viel des Guten. Jedenfalls habe ich mir als kleines Hilfsmittel ein paar Match-Pappen angelegt. Das sind einfach nur Streifen aus Wellpappe, in die ich mit einem Schraubendreher ein paar Löcher gedrückt habe. In die Löcher kamen dann die Transistoren, die jetzt übersichtlich nummeriert sind. Außerdem kommt man mit den Testclips gut an die einzelnen Beinchen ran und muss keinen Transistor mit den Fingern anfassen, was diesen erwärmen und somit das Messergebnis beeinflussen würde. In eine ausgedruckte Tabelle habe ich dann die Messwerte eingetragen. Hat gut eineinhalb Stunden gedauert...

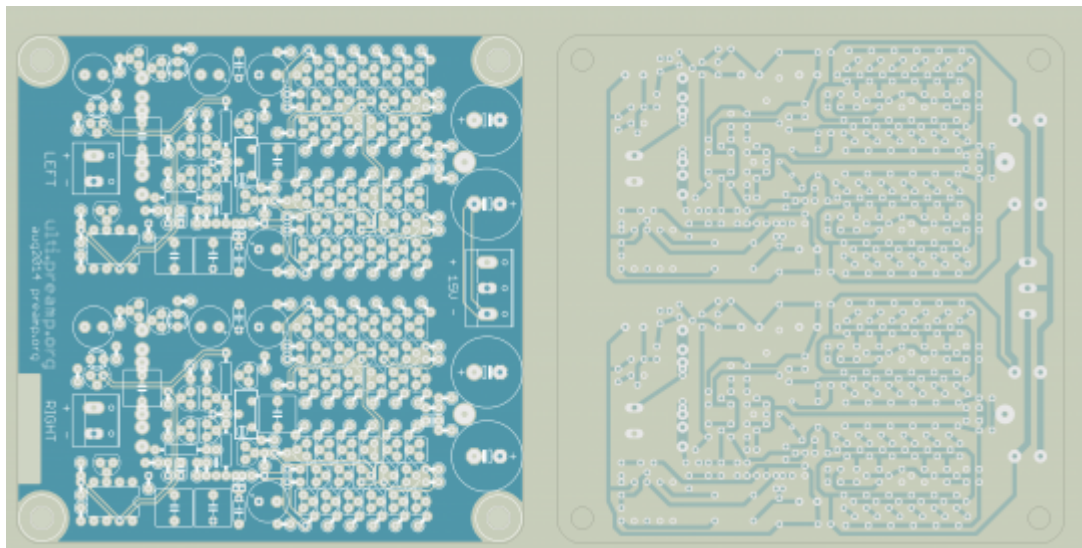
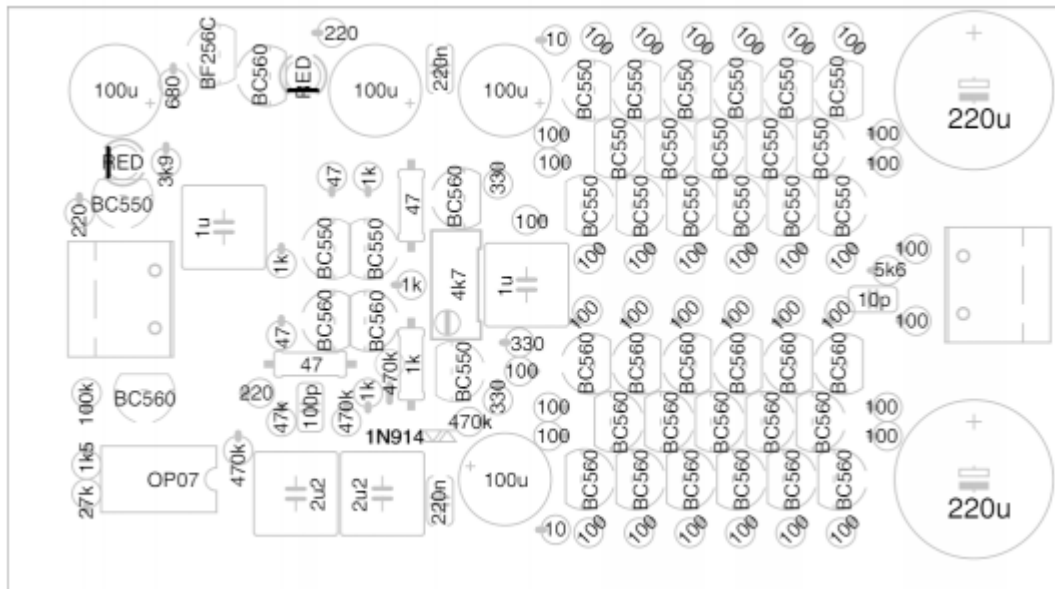


Die erste Platine von oben...



...und von unten

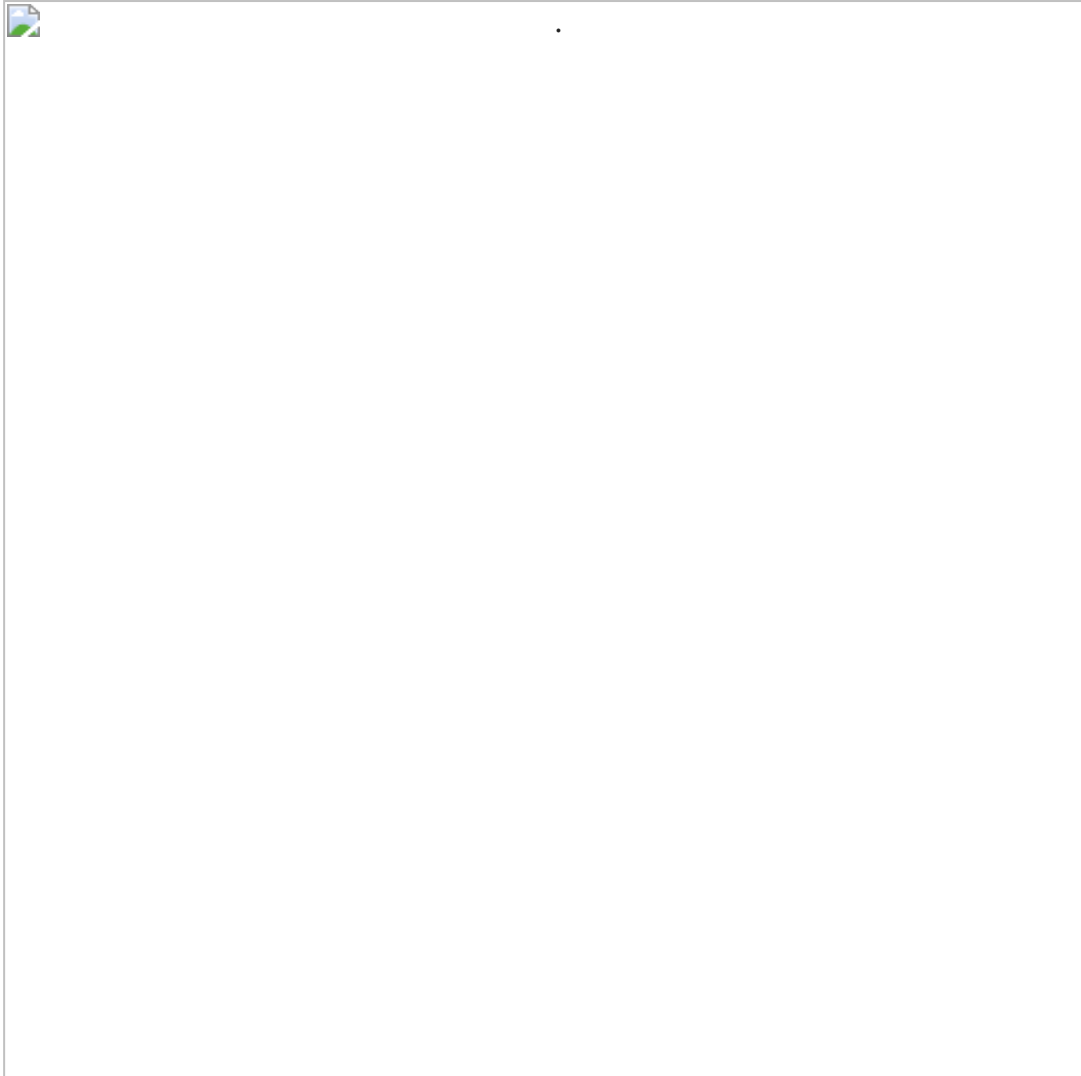
Die Platine habe ich mir bei Dirt Cheap Dirty Boards fertigen lassen. Lochraster wäre bei der Komplexität nicht drin gewesen, also blieb nur Doppelseitig mit Massefläche. Für Bilex waren die Bahnen zu fein und Jack & Al hatte ich schonmal, daher kamen jetzt mal die „dirty“ Chinesen zum Zuge. Das Ergebnis kann sich sehen lassen, zumal ich jetzt gleich noch ein paar Boards mehr habe, die ich auch günstig abgeben würde ;) .



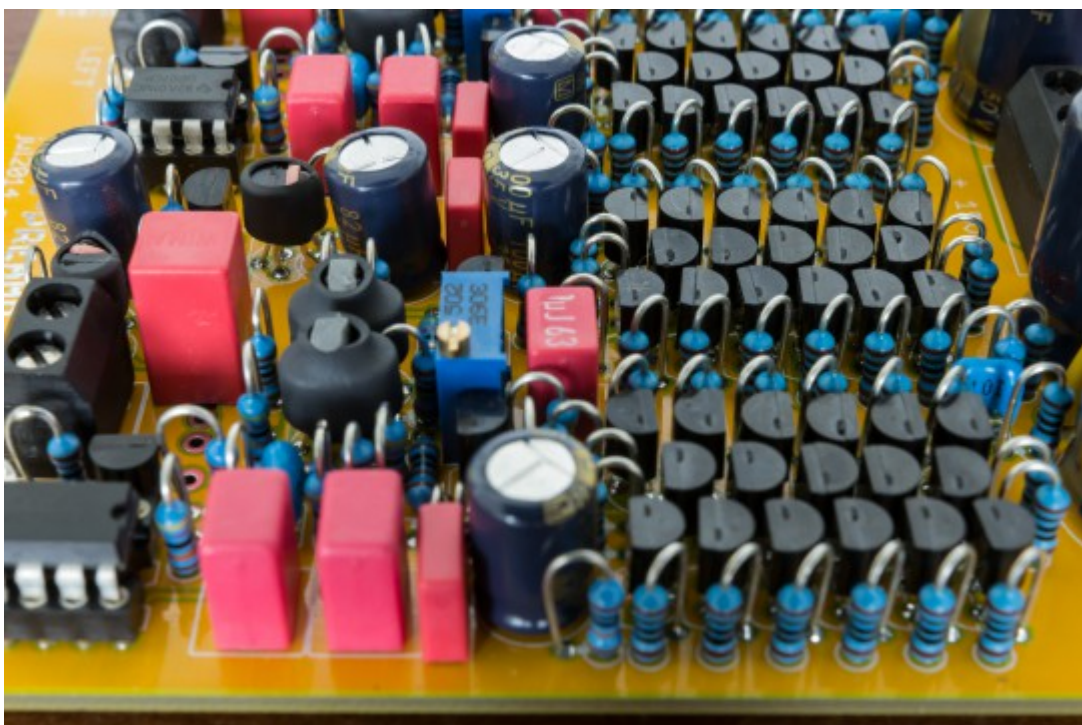


.

Der Prototyp



Nochmal



Zwischen den Teilen im Schrumpfschlauch befinden sich kleine Wärmeleitpads

Echte Messwerte gibt's logischerweise erst zu sehen, wenn ich das Teil fertig aufgebaut habe. Die übrigen Teile sind bestellt und unterwegs, wenn nichts dazwischen kommt gibt's also schon bald was zu sehen :) . Bis dahin könnt ihr euch gerne mit der Simulation beschäftigen.

Der erste Messwert!

Im moment liegt das Teil offen hier rum und beweist seine Tauglichkeit als Kopfhörerverstärker. Klirrfaktormessungen mit Kopfhörer als Last sind aber leider nix, weil alles unterhalb etwa 1kHz von einem extremen Mikrofonieeffekt vermurkst wird. Ein erster Test mit SpectraPLUS und 100 Ohm Widerstand als Last brachte folgendes Ergebnis:



6.5dBu (1.636Vrms) an 100 Ohm

Die schwarzen Kurven zeigen den gemessenen Amp (ohne Poti davor, also mit voller Verstärkung), die roten Kurven sind ein Loopback mit dem selben Soundkarten-Ausgangspegel. Wie man deutlich sieht, kann ich bei diesem Pegel nur Rauschen messen und keine Verzerrungen! Zum Vergleich: Eine einfache THD-Messung bei 1kHz bringt

etwa 0.0008% mit Verstärker und 0.0003% mit Loopback. Das Ganze funktioniert also einwandfrei, aber die übrigen Störungen sind einfach zu hoch um bei THD+N was erkennen zu können.

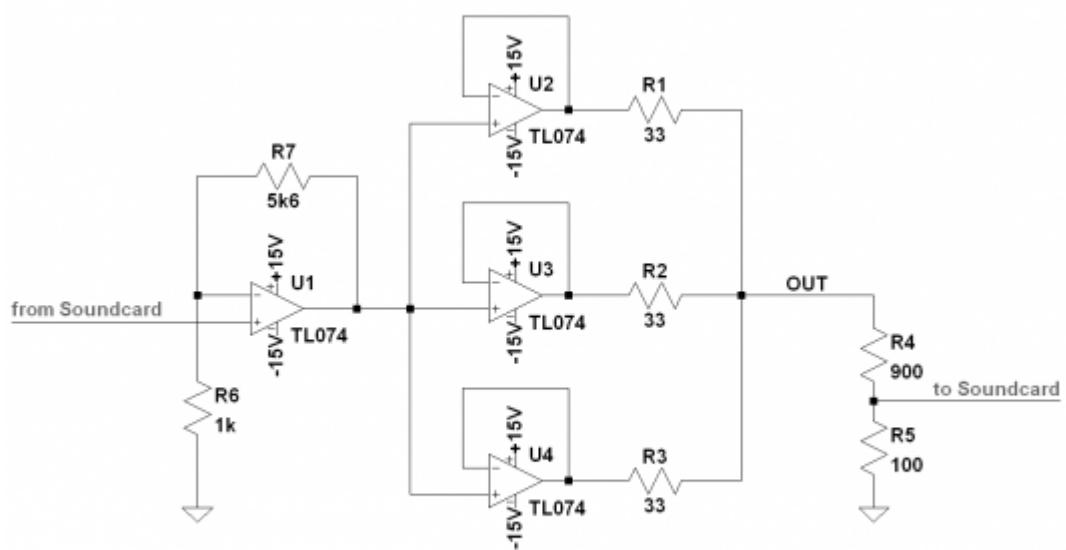
ESI Juli@ bei -6dBFS. DUT-Ausgang gemessene 6.570Vrms (16.35dBV oder 9.291V-Spitze) an 1kOhm (900+100 für 9:1 Teiler). Gemessen mit ARTA

Test / Bandbreite	24kHz	24kHz loopback	96kHz	96kHz loopback
THD 1kHz	0.0016%	0.00028%	0.0028%	0.0016%
THD 20kHz	–	–	0.004%	0.001%
IMD 4:1 60Hz+7kHz SMPTE	0.0055%	0.00094%	0.0053%	0.0016%
IMD 4:1 250Hz+8kHz SMPTE	0.0064%	0.0013%	0.0059%	0.0013%
IMD 1:1 13kHz+14kHz	0.0013%	0.00031%	0.0025%	0.00062%
TL074 bei -6dBFS und 1k Last				
THD 1kHz	0.00095%	0.00028%	0.0025%	0.0016%
THD 20kHz	–	–	0.014%	0.001%
IMD 4:1 60Hz+7kHz SMPTE	0.0065%	0.00094%	0.0069%	0.0016%
IMD 4:1 250Hz+8kHz SMPTE	0.0081%	0.0013%	0.0079%	0.0013%
IMD 1:1 13kHz+14kHz	0.0038%	0.00031%	0.0087%	0.00062%



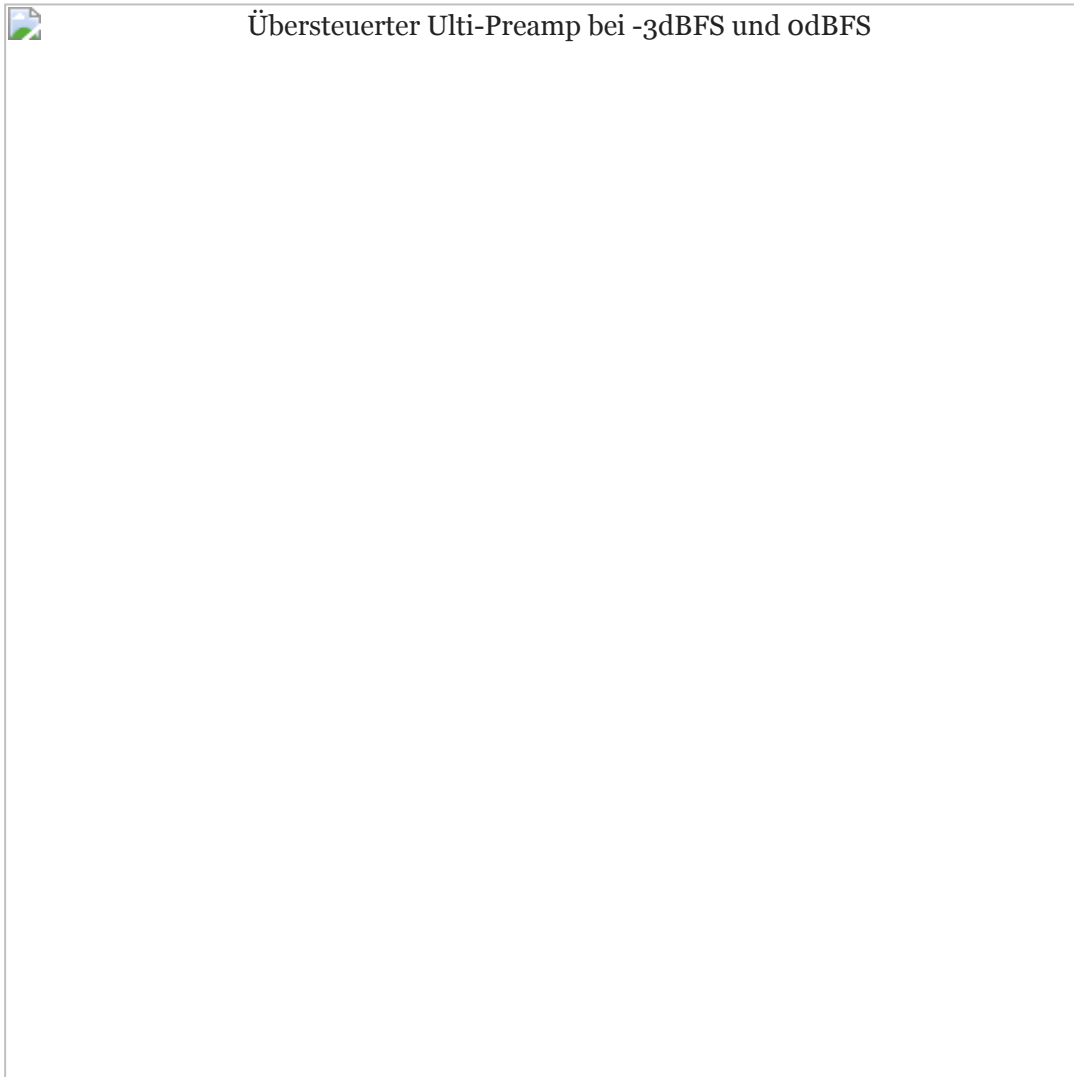
Das Spektrum bei 1kHz und 24kHz Bandbreite

Das Spektrum bei 1kHz und 24kHz Bandbreite



Test-Verstärker zum Vergleichen

Um etwas zum Vergleichen zu haben, wurde diese kleine Schaltung zum Leben erweckt. Ich habe quasi genommen, was gerade in der Bastelkiste war – ausserdem wollte ich eh irgendwann nochmal einen Amp mit vielen (16 oder so) TL074 pro Kanal bauen... Natürlich kann die lange nicht so viel Strom liefern wie der Ulti-Preamp, aber bei 1kOhm spielt das keine Rolle. Mit demselben Netzteil und dem gleichen Feedback-Netzwerk sollte die Aussteuerbarkeit vergleichbar sein, was sich als zutreffend herausgestellt hat. Die Messwerte in der Tabelle oben sprechen für sich. Auch interessant ist das Verhalten beim Übersteuern. Hierbei wurde wirklich nur der Eingang der Verstärker übersteuert; der Ausgang war dank des 9:1-Teilers nicht stark genug, um den Eingang der Soundkarte zu übersteuern (etwa +0.5dBV).



Übersteuerter Ulti-Preamp bei -3dBFS und odBFS



Übersteuerter TL074-Testverstärker bei -3dBFS und odBFS



Übersteuerter TL074-Testverstärker bei -3dBFS und odBFS

[Weiter zu den Kommentaren...](#)



English version



Der korrekte Schaltplan



The corrected schematic

The „ulti.preamp.org“ is a discrete preamp and headphone amp constructed with standard parts. The circuit is based on the '94 ulti preamp published by Elektor. I have made some major changes though, which I'll describe now. First of all, I wanted to get rid of the hard to get and pretty expensive dual transistors. They're obsolete for a couple of years now, but you can still get them (or some of their successors), ut they're still pretty expensive. For the price of one dual transistor you can get a whole bunch of BC550 and BC560, 100 each in my case. This way you'll have to match them yourself, but the money you saved buys you all the other parts you need to complete the amp :) . And here's the next point: I wanted to make use of the remaining 192 transistors. That's why I swapped the output stage transistors with 16 individual ones, each. ~~We'll see if this actually works~~ Turns out to work pretty well :) . Since I'm now no longer able to thermally couple the bias spreader transistors to a single output device, I placed them in a ring of output transistors. To aid the bias spreader in tracking temperature, I increased the output stage emitter resistors to 100R each. I didn't notice any ill effects in doing so, as there's plenty power left to drive even low impedance headphones.



Thermally couple for best performance

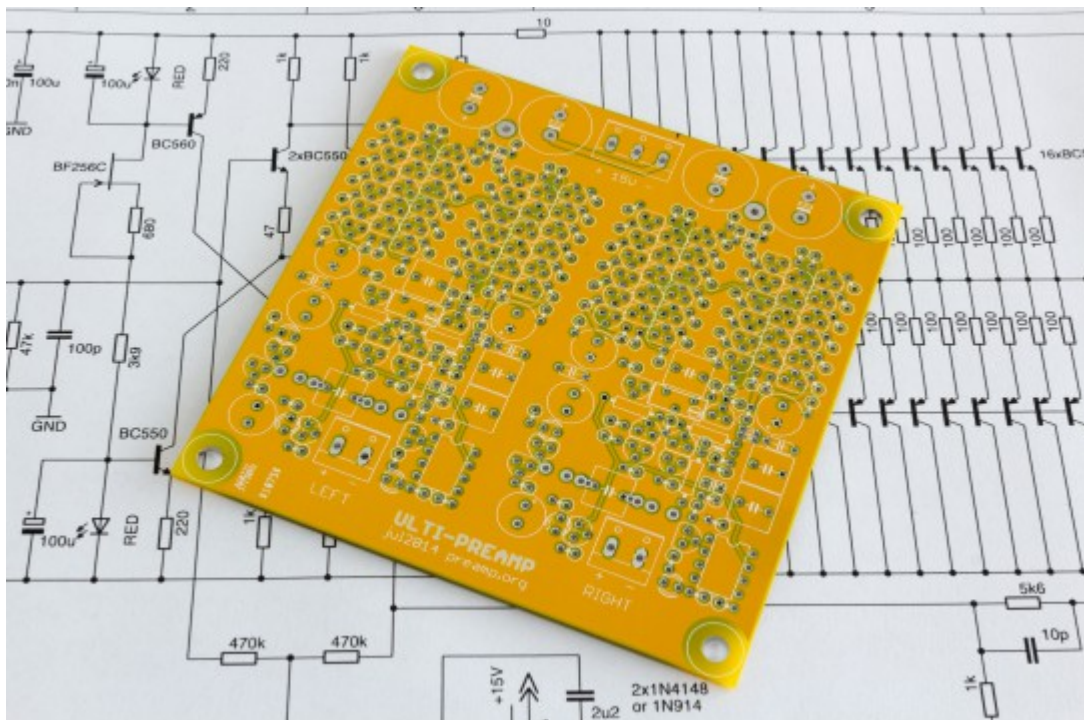
Thermally couple for best performance

Another thing that's depending on the IPS transistors is the DC servo. The originally used parts have a nominal h_{FE} of 500 and 170 for NPN and PNP, respectively. The substituted BC's are rated at a nominal 500 each. I had my best matches at 570 NPN and 610 PNP, so basically the other way round. To put the servo back on duty, I replaced the 100k trimpot with a red LED, and now the servo takes care of a huge h_{FE} difference with ease, as long as the PNP has higher gain than the NPN. I simulated the whole range of h_{FE} I measured in my batch over a range of 0-60°C with no problems. ~~Hope this holds true in the real world...~~ Of course this won't work in the real world. Since the PNP's h_{FE} is now higher, we have to shunt away some of its base current, hence the transistor following the OP has to be a PNP, too, which is connected to the positive rail. Luckily this is only a minor modification to the original design, which is easily incorporated to the manufactured boards. The servo is now working as it's supposed to: after switch-on the offset is roughly 70mV, dropping to 3mV in the first 60 seconds and arriving at a couple 100 microvolts after several more seconds.

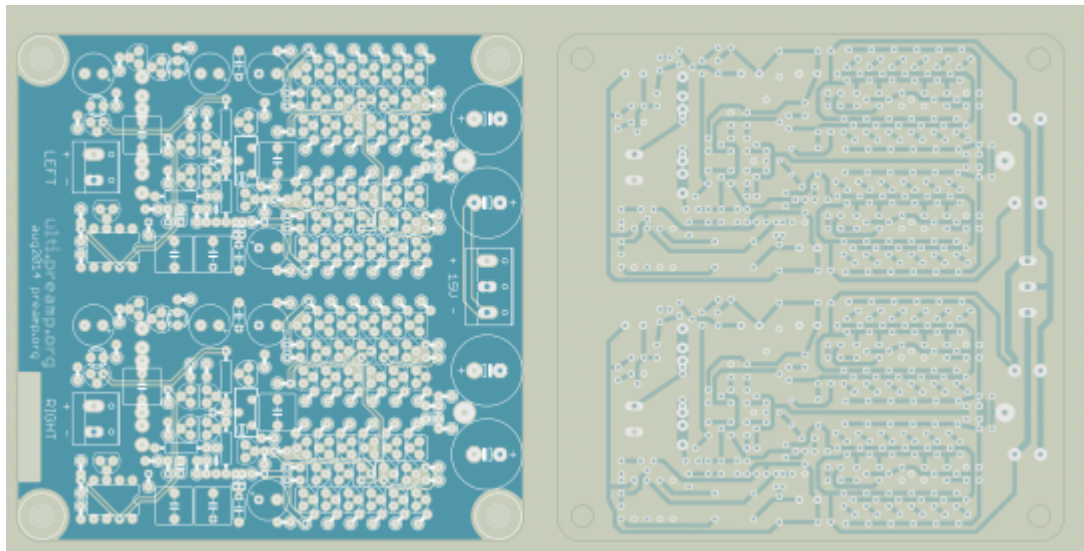


Cardboard strips for matching

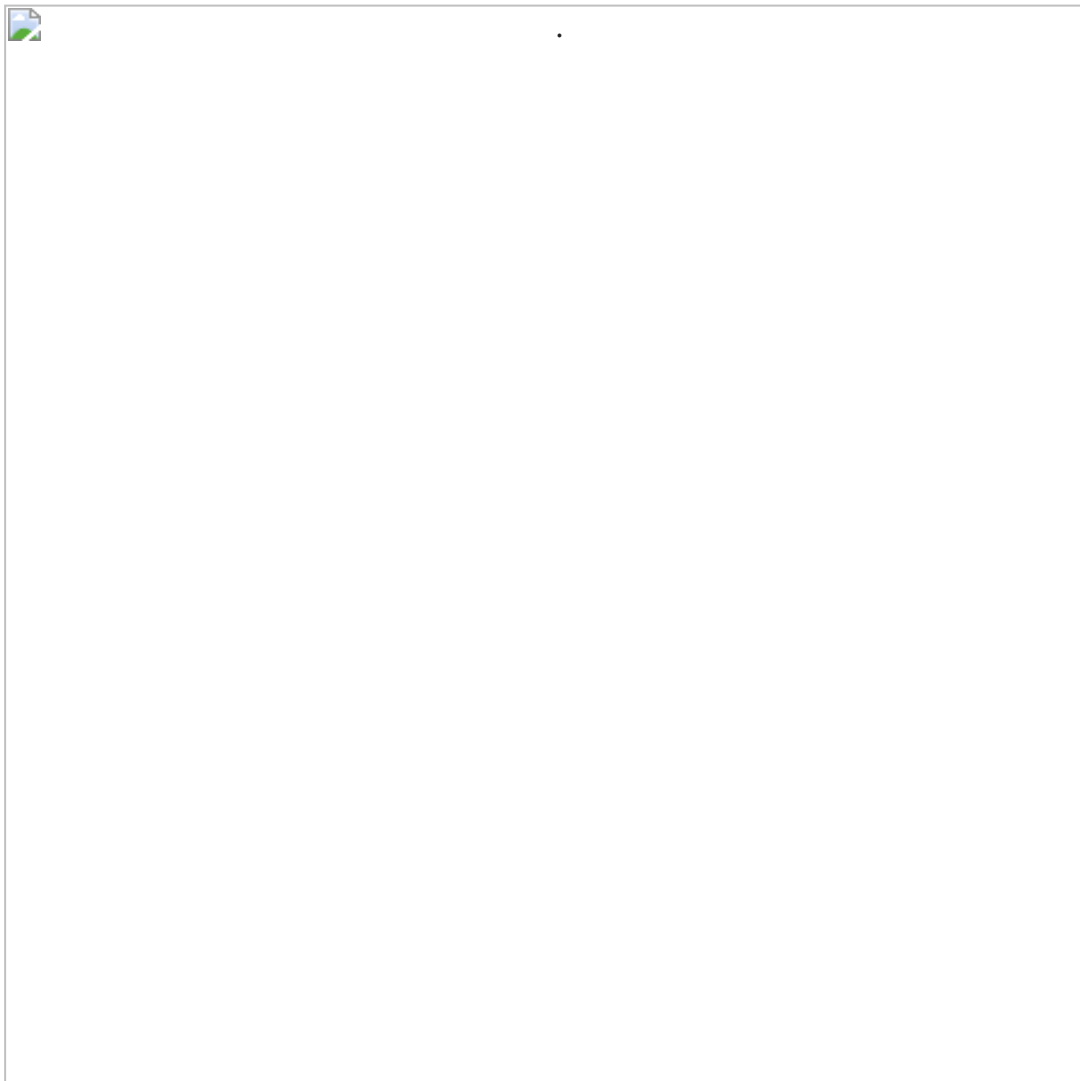
For measuring each device I utilized a Atlas DCA75 Pro from Peak Electronic. I was content with the hFE the instrument put out. Tracing the curves for each device and comparing them to each other's seemed just too time consuming for me :) . To keep the parts separated and be able to number them, I 'invented' the use of cardboard strips with holes punched in them. One transistor in one hole and you're set. This also helps to keep them at a constant temperature (at least that's what I hope) as you don't have to touch them when applying the test leads. The whole measurement procedure then took me around 90 minutes, having prepared the cardboard strips a couple of days before and letting them acclimatize.



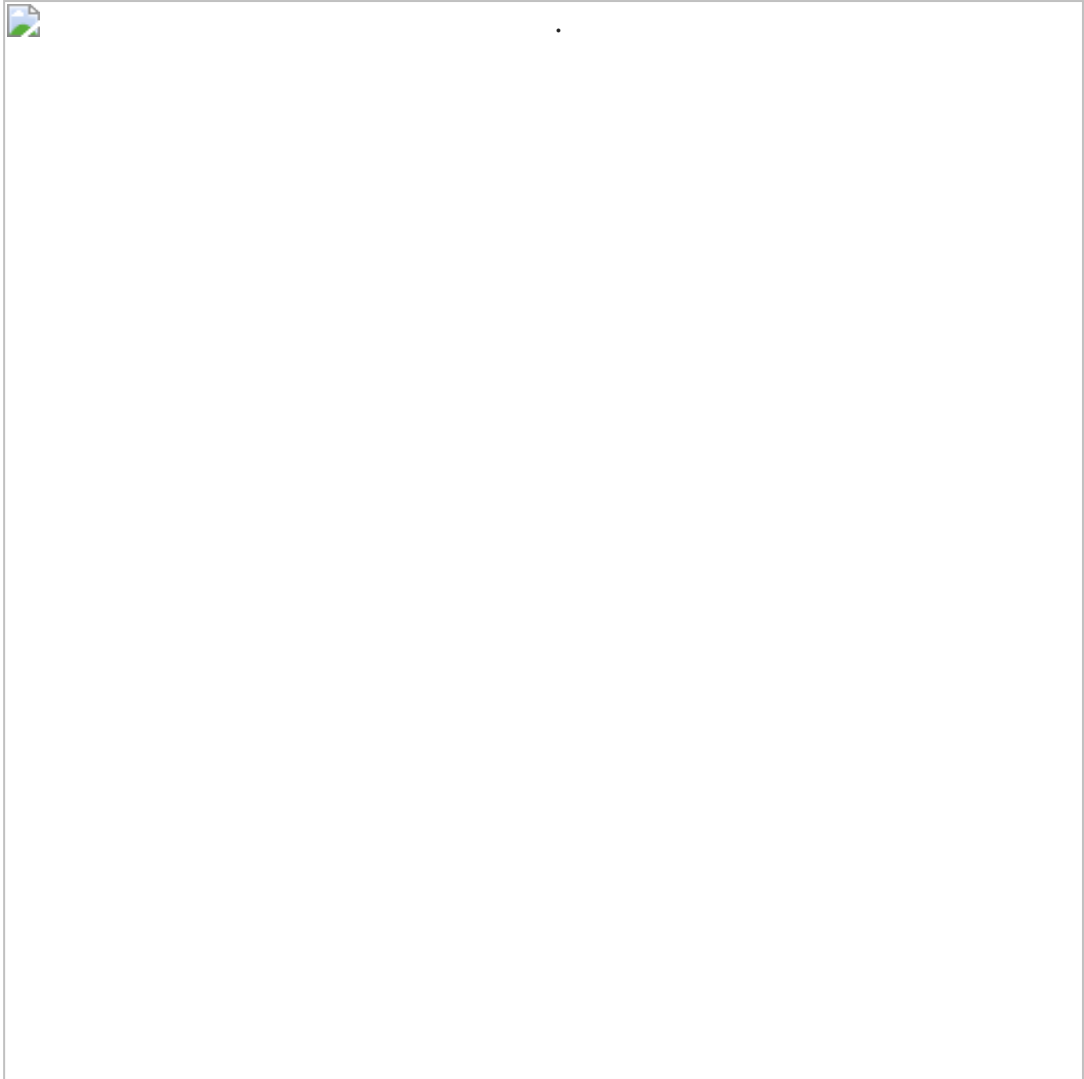
The first PCB showing the top layer...



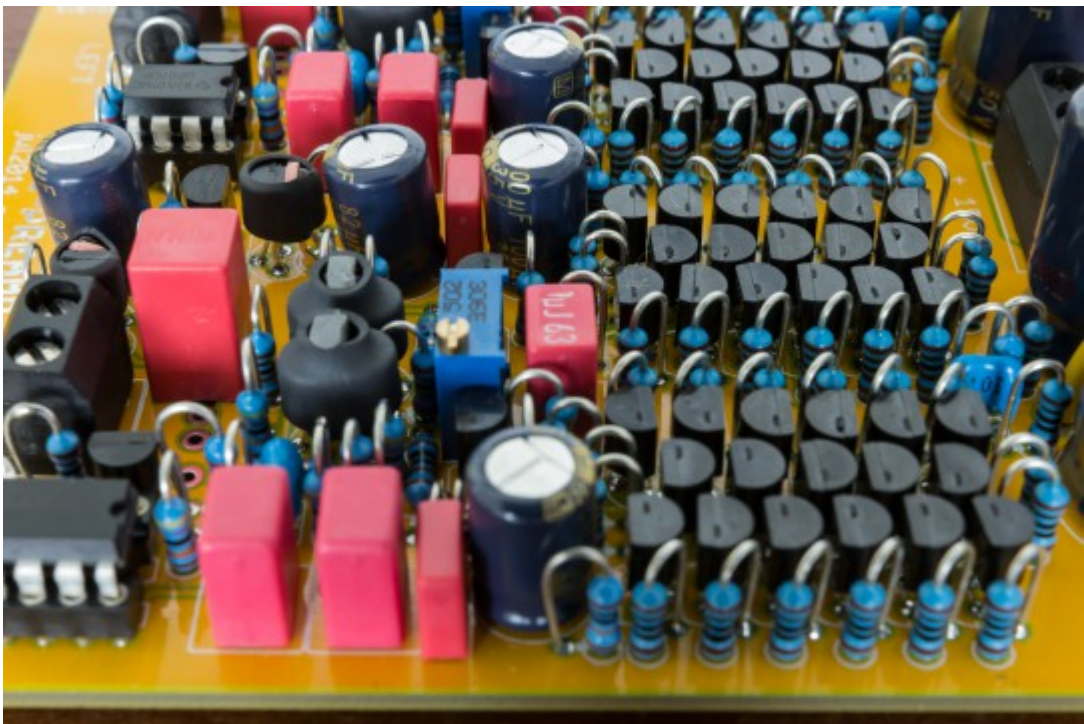
Layout



First prototype



again...

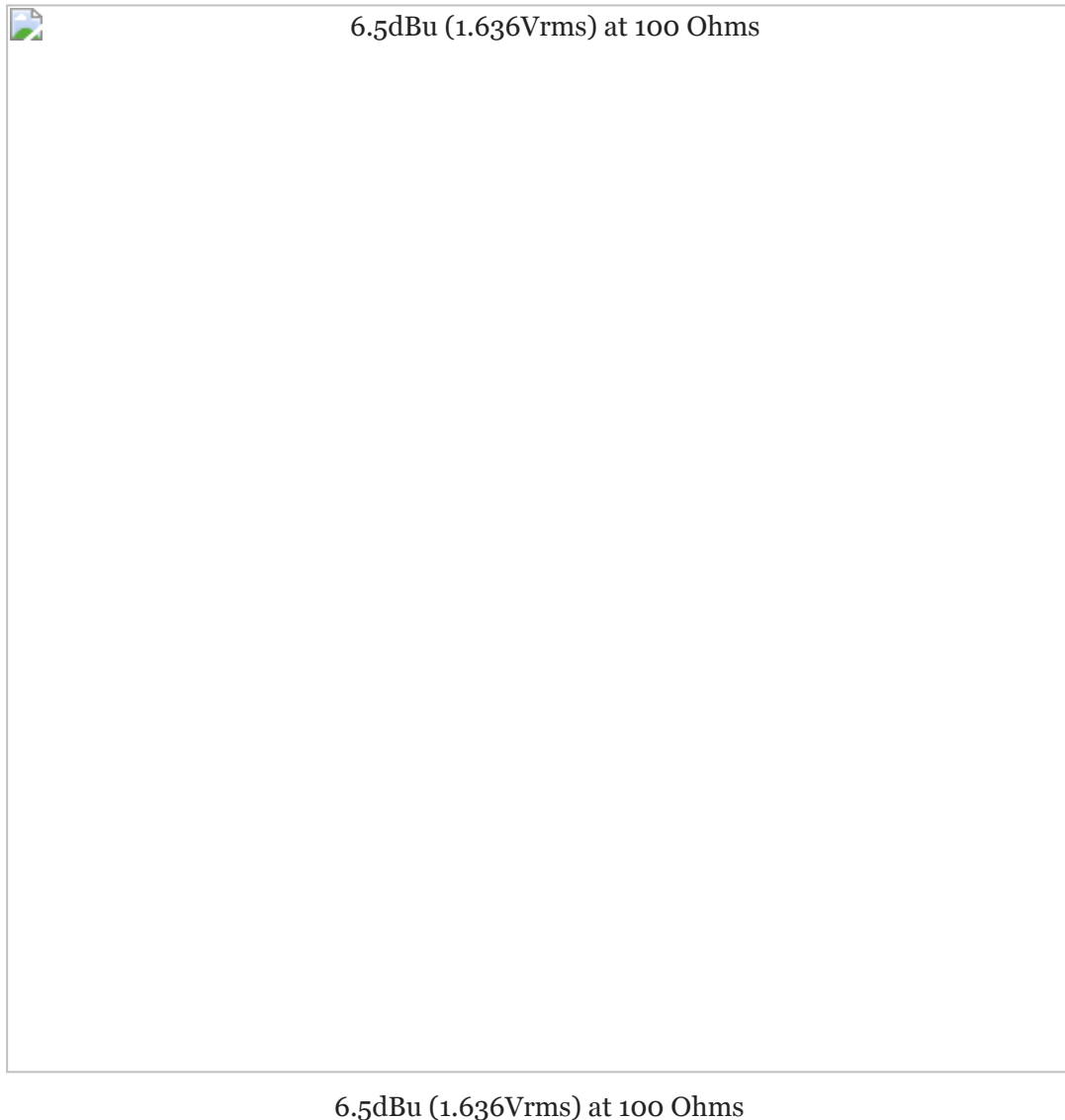


There're small thermal pads between the parts in the shrinking tube

Since I didn't build this thing yet, I can't show you some real-world measurement results. You'll have to wait a couple of days for the missing parts to arrive and for me to finish :) . Meanwhile you can play around with the [LTspice sim file](#).

The first measurement!

I'm currently testing the amp's capabilities as a can amp. Using the cans as a load while performing a THD measurement turned out to be a bad thing, because there's a strong microphonic effect swamping everything below 1kHz. So here's a first measurement using SpectraPLUS and a 100R resistive load:



The black trace is the actual amplifier result, with its full gain and the soundcard output adjusted accordingly. The red trace shows a loopback measurement with the same soundcard settings. The cable alone picks up more noise than the amp! A single THD measurement at 1kHz showed 0.0003% for the loopback cable and 0.0008% for the amp, so everything is actually working fine. Now how do I get rid of that noise...

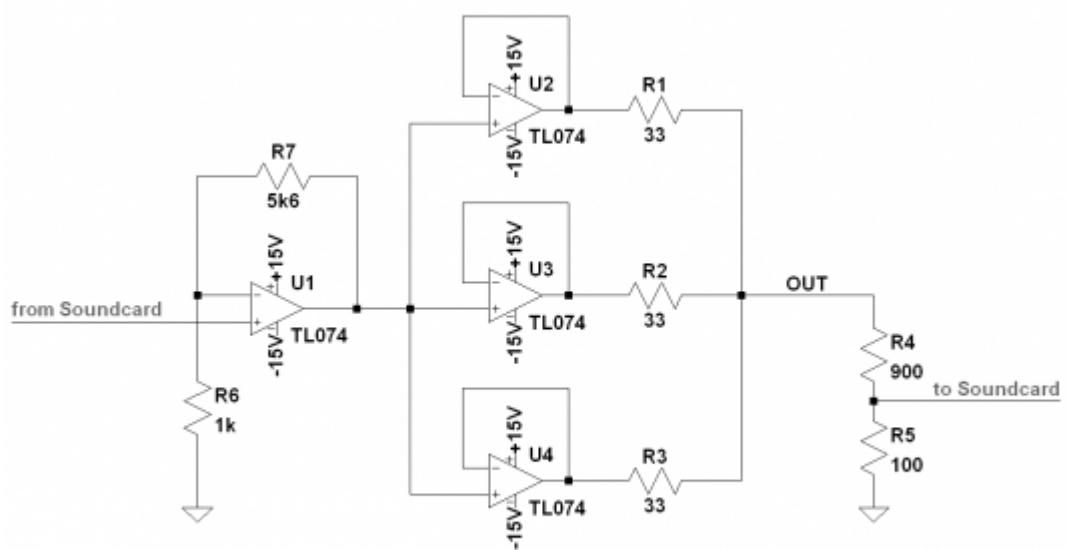
ESI Juli@ set to -6dBFS. DUT output measured 6.570Vrms (16.35dBV or 9.291Vp) into 1kOhm (900+100 for 9:1 divider). Measured with ARTA

Test / Bandwidth	24kHz	24kHz loopback	96kHz	96kHz loopback
THD 1kHz	0.0016%	0.00028%	0.0028%	0.0016%
THD 20kHz	—	—	0.004%	0.001%
IMD 4:1 60Hz+7kHz SMPTE	0.0055%	0.00094%	0.0053%	0.0016%
IMD 4:1 250Hz+8kHz SMPTE	0.0064%	0.0013%	0.0059%	0.0013%
IMD 1:1 13kHz+14kHz	0.0013%	0.00031%	0.0025%	0.00062%
TL074 at -6dBFS, loaded with 1k				
THD 1kHz	0.00095%	0.00028%	0.0025%	0.0016%
THD 20kHz	—	—	0.014%	0.001%
IMD 4:1 60Hz+7kHz SMPTE	0.0065%	0.00094%	0.0069%	0.0016%
IMD 4:1 250Hz+8kHz SMPTE	0.0081%	0.0013%	0.0079%	0.0013%
IMD 1:1 13kHz+14kHz	0.0038%	0.00031%	0.0087%	0.00062%



The spectrum at 1kHz and 24kHz bandwidth

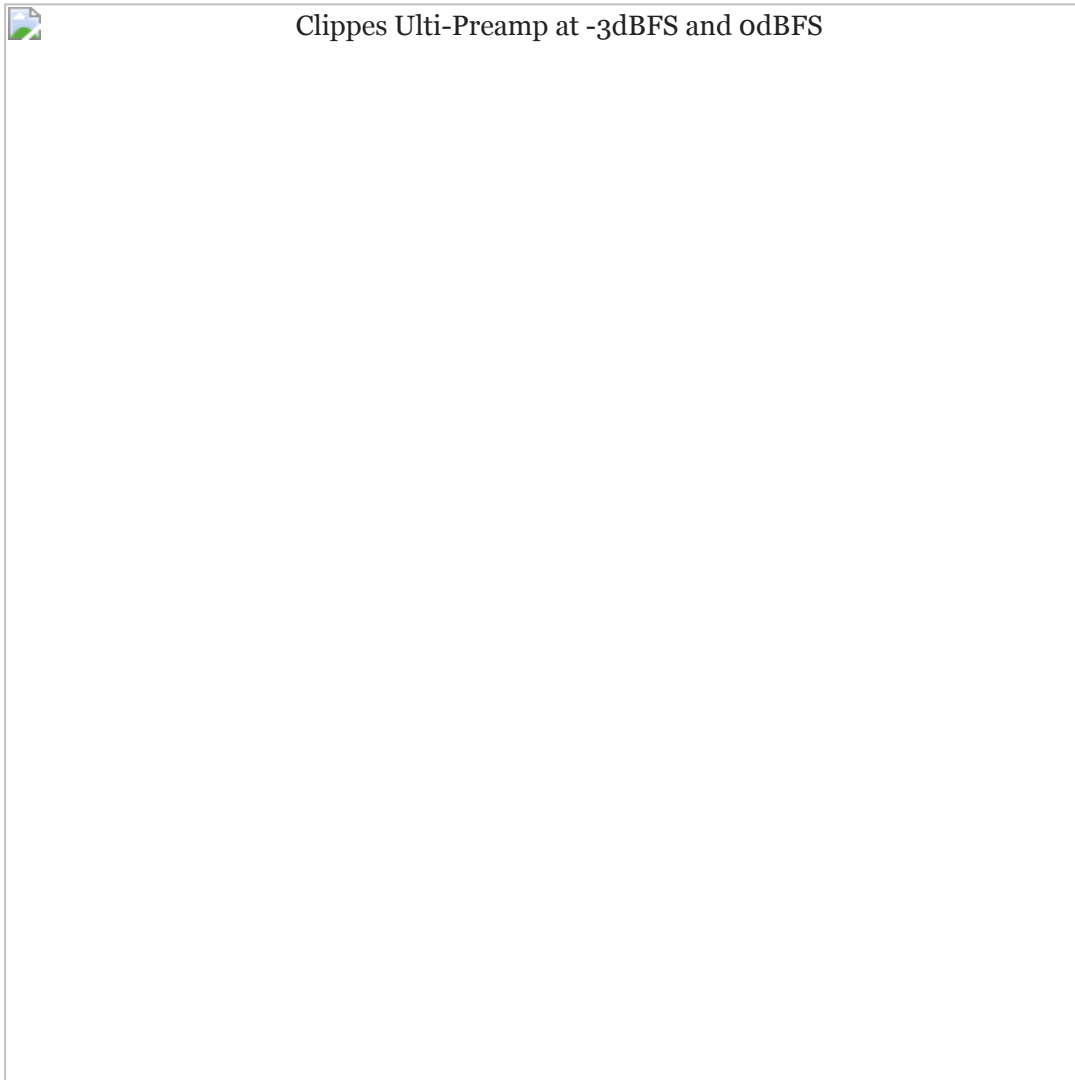
The spectrum at 1kHz and 24kHz bandwidth



TL074 Test Amp for reference

To make some reference measures, I created this little circuit. I used what was in the parts bin, which happened to be one of a whole lot of TL074' which I'll be using for a grid amp anytime soon :) . Of course this little guy here can't cope with the ulti-preamp in terms of current output, but that's no problem here for a 1k resistive load. I used the same psu and the same value feedback network, so that voltage output is comparable.

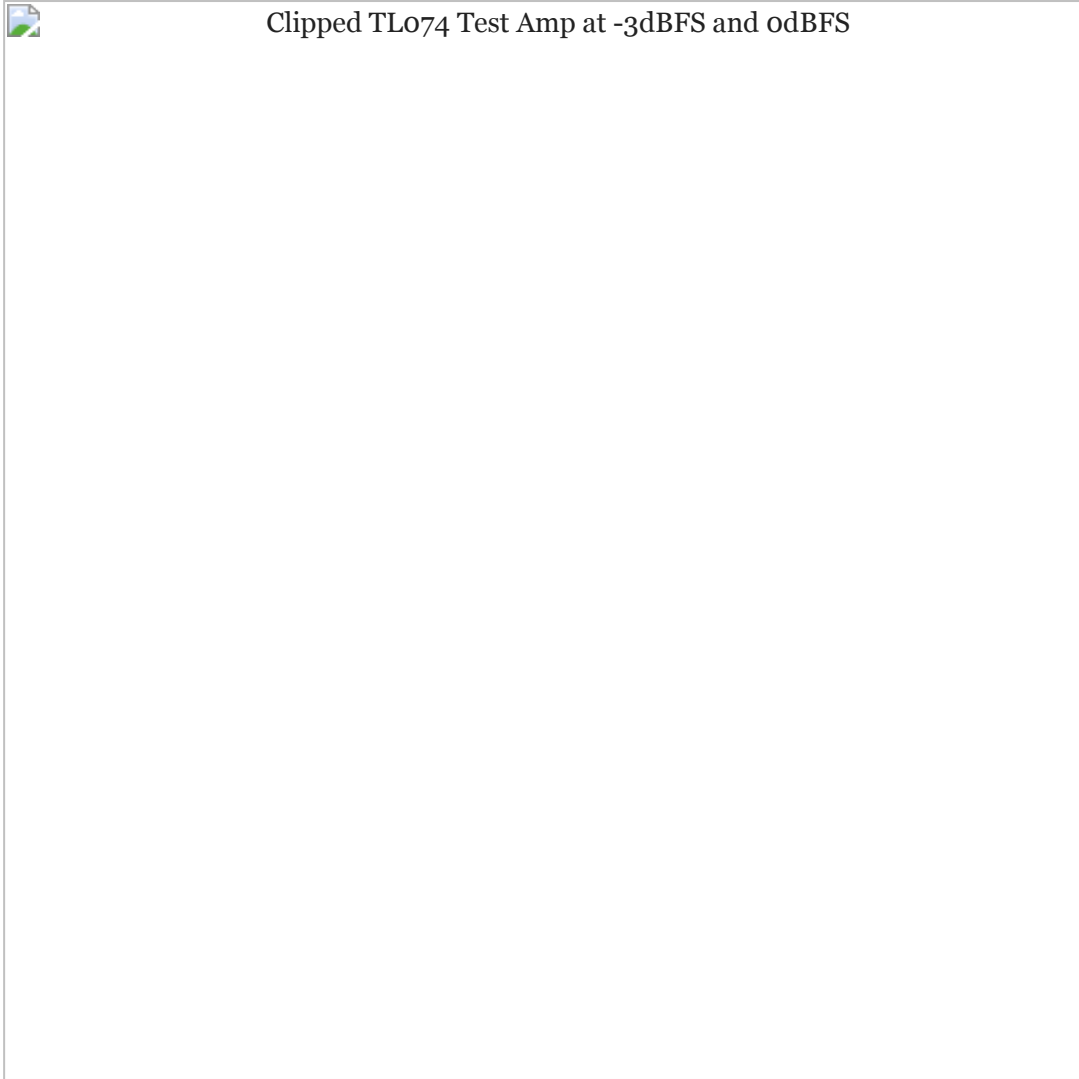
The measured values in the table above speak for themselves, and the plots below show the clipping behaviour of both circuits. Please note that I have made sure to clip the DUT only, and not the input of the soundcard used for measurements!



Ulti-Preamplifier clipping at -3dBFS and 0dBFS



Clipped TLO74 Test Amp at -3dBFS and odBFS



TLO74 Test amp clipping at -3dBFS and odBFS
