

HIGH-END SUBWOOFER PREAMP



Beschreibung

Schaltung zur Ansteuerung von Verstärkern, die Tiefbaßlautsprecher versorgen.
Dieser PreAmp ist im Prinzip lediglich ein regelbarer, aktiver Höhenfilter, welcher zwischen Vorverstärker und zusätzliche Subbaß-Endstufe(n) geschaltet wird.
Sein Zweck ist es, vorhandene Vollbereichs-Boxen mit (in weiten Bereichen frei wählbaren) Endstufen-Lautsprecher-Kombinationen im Tiefbaß ergänzen zu können.

Eine Anmerkung vorab:

Dies ist keine deppensichere Bastelanleitung. Ich beschreibe die Komponente mit Schaltplan der wichtigsten Abschnitte, Fotos und Notizen so gut wie möglich, aber das Mitdenken kann ich niemandem abnehmen.

Voraussetzungen für den erfolgreichen Nachbau sind:

Erfahrung im Umgang mit LötKolben und Bohrer
Grundkenntnisse in Elektronik und Mathematik
entsprechendes Werkzeug
etwa 200,- Euro für Materialkosten
Geduld und ein paar Tage Zeit

Ich habe mir die Pläne und Beschreibungen der einzelnen Abschnitte dieser Schaltung im Internet zusammengesucht.

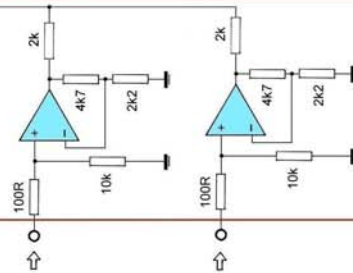
Linksammlung: <http://www.thel-audioworld.de/module/genius/genius1.htm>

Ich bekomme zwar kein Geld dafür, aber ich möchte trotzdem feststellen, daß ich dieses Projekt ohne die Hinweise von Herrn Hartwig (THEL) vermutlich gar nicht erst begonnen hätte - und mir ohne die Ermunterung von Herrn Straßacker (im Net zu finden unter <http://www.lautsprechershop.de/>) sicherlich nicht die Mühe gemacht hätte, das vorliegende Manual zu verfassen.

Subwoofer - Schaltung

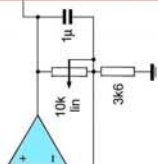
(nicht eingezeichnet: Stromversorgung)

Summierer



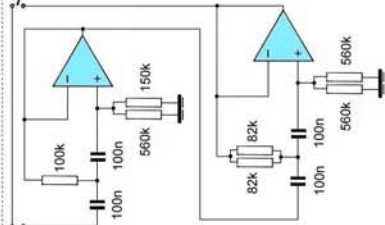
Baß Boost

25Hz / +10dB
regelbar



Subsonicfilter

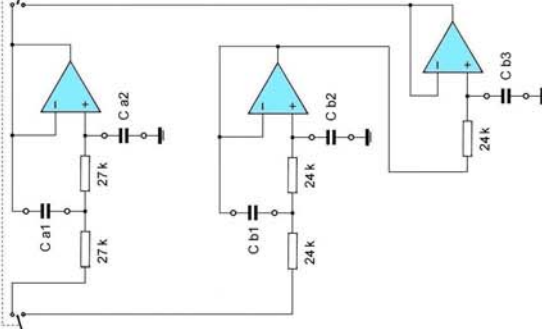
15 Hz
zuschaltbar



R1 = 100 k
R2 = 118 k
R3 = 41 k
R4 = 280 k

Hi - Cut

40 / 50 / 60 Hz sowie jeweils
12 / 18 dB umschaltbar

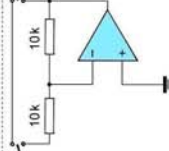


nicht eingezeichnet:
1Pot-3Pos-Schalter, div. Relais

Schalter Position	C (in nF)		
	12db/Oktave a1	18db/Oktave b1	b3
oben	60	222	55
mitte	50	166	83
unten	40	201	101

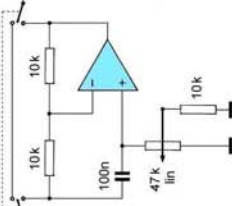
Inverter

zuschaltbar



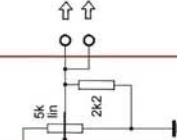
Phasendreher

zuschaltbar



nicht eingezeichnet:
Schalter des Potentiometers
betätigt Bypass-Relais

Vol



Eigenschaften

Stereo-Cinch-Eingänge
Subbaßanhebung bei 25Hz 0 ... +10dB
Subsonicfilter 15Hz / 24dB (zuschaltbar)
Übergangsfrequenz: 40/50/60Hz mit 12/18dB (jeweils schaltbar)
Phasenkorrektur: 180°-Inverter / 0 ... 180° - Regler (jeweils zuschaltbar)
Lautstärkeregelung
Zwei Cinch-Ausgänge (summiertes Mono-Signal)
Stromversorgung: +/-12 ... 48 V

Einsatzbereich

Wer der Tiefbaßwiedergabe seiner Anlage auf die Sprünge helfen will, ohne gleich Verstärker/Boxen zu tauschen, landet meist bei einem aktiven Subwoofer. Ein Nachteil dieser Lösung besteht darin, daß die Hauptlautsprecher dann eine klanglich problematische "Satelliten"-Filterschaltung durchlaufen; für eine rein ergänzende Ankoppelung sind die Trennfrequenzen meist nicht flexibel bzw. genau genug einstellbar. Das gilt auch für separate Sub-Verstärkermodule; zudem ist die Leistung deren Endstufen oft vergleichsweise bescheiden.

Reine Sub-Vorverstärker gibt es natürlich auch bereits zu kaufen. Ich habe diesen hier gebaut, weil mir die Fertiggeräte entweder nicht gut genug oder aber viel zu teuer waren. Dieses Alukästchen kostet rund 200,- Euro an Material und erfüllt höchste Ansprüche.

Anwendungsbeispiele

Aus klanglichen Gründen ist weder ein "Sat"-Zweig noch ein Hochpegeleingang vorgesehen: der PreAmp wird parallel hinter den vorhandenen Vorverstärker geschaltet, wobei der Signalweg der Hauptlautsprecher unbeeinflusst bleibt.

Handelt es sich bei den zu unterstützenden Lautspechern um Baßreflexboxen, sollten probierhalber deren Reflexrohre verschlossen werden - das verbessert nebenbei die Impulstreue und entlastet den Hauptverstärker.

Das Gehäuse des Subwoofers kann kleiner ausfallen als die Chassisparameter vorhersagen, weil der Pre im untersten Bereich den Frequenzgang ggf. "geradebiegt".

Sind die Hauptboxen ausreichend groß (geschlossen oder BR), können Subchassis auch gleich dort eingebaut werden (d.h. zwei Stück, einer pro Kanal). In den meisten Fällen funktioniert es nämlich, die Gehäuse - ein Innenvolumen ab, sagen wir, 40l vorausgesetzt - einfach abzuteilen: die ursprünglichen Baßtreiber arbeiten dann z.B. auf das halbe Volumen (mit etwas höherer unterer Grenzfrequenz), in der jeweils zweiten Kammer finden die neuen Subwoofer Platz.

Diese Variante hat einige Vorteile: zwei Subbaß-Lautsprecher sind unkritischer, was die Anregung von Raumresonanzen betrifft; als Verstärker kann auch eine nicht brückbare Stereo-Komponente¹⁾ sinnvoll eingesetzt werden; und nicht zuletzt spart man sich eine zusätzliche Kiste im Zimmer.

(Anmerkung: das funktioniert zwar meistens, aber natürlich kommt man um exakte Berechnungen nach TSP-Parametern, Gehäuseart, etc. nicht herum.)

¹⁾ Kräftige Verstärker gibt es gebraucht in großer Auswahl. Daß die "Alten" vielleicht in puncto Hochtonauflösung schwächeln, ist hier schließlich völlig unwichtig.

Ich selbst verwende den Vorverstärker in folgender Kombination:

Hauptlautsprecher mit Monarch SPH-200KE, vorher in 47l-BR-Gehäusen ($f_c = 32\text{Hz}$), jetzt in geschlossenen Kammern mit 26l netto (effektiv entsprechend etwa 30l, wegen virtueller Volumensvergrößerung durch Dämmmaterial) und f_c somit = ca. 50Hz. Nach Neubau der Gehäuse blieben jeweils noch 26l für die als Subwoofer hinzugekommenen Mivoc XAW210HC, was dort 47Hz als f_c ergibt; die aktive Anhebung bei 25Hz zieht den Frequenzgang jedoch bis in diesen Bereich linear.

Die direkt angesteuerten Endstufen eines modifizierten Marantz PM80MkII arbeiten als Sub-Amps.

Eigentlich wäre eine Einstellung des Pre auf 50Hz / 12dB zu erwarten gewesen. Tatsächlich stellte sich eine harmonische Ankoppelung bei 50Hz / 18dB ein (bei invertiertem Signal, nahezu maximaler Sub-Anhebung und "10 Uhr"-Stellung des Lautstärkereglers).

Das Ergebnis überzeugt vollständig. Schon vorher waren 32Hz als untere Grenzfrequenz ja durchaus beeindruckend. Die Entlastung der BaßMitten-Chassis durch geschlossene Gehäuse in Verbindung mit den aktiven Mivoc brachte jedoch das, was ich zuvor vermißt hatte: das vielzitierte "unerschütterliche Fundament", die Gelassenheit, mit welcher selbst abgrundtiefe Impulse trocken wiedergegeben werden, ohne - wie vorher - die Konturen zu verwischen; "magenschütternd" wo nötig, aber ohne sich vorzudrängen.

Nebeneffekt: mein Project-II-Plattenspieler (auf "6er-Niveau" getunt) mit ATOC9-System konnte trotz akkugespeister THEL-Pre in den untersten Registern bislang nicht recht überzeugen - solche Qualitäten sind sehr teuren Masselaufwerken vorbehalten. Jetzt aber kann ich das korrigieren, indem ich den Lautstärkereglers des SubPre auf "12 Uhr" stelle. Ich bin gerade dabei, meine Plattensammlung neu zu entdecken ...

Ausführung

1) Bauteile und Konstruktion

Meine Bezugsquellen: Conrad (günstig) und RS Components (teuer, aber erstklassig).

Das Gehäuse ist ein Euro-Aluminium-Typ, BHT 103x56x168mm. Die mitgelieferten Blechtreiber leiern leicht aus; ich habe daher M4-Gewinde geschnitten und Zylinderkopfschrauben eingesetzt, was nebenbei auch besser aussieht. Natürlich kann man die ganze Schaltung auch gleich in den benötigten Verstärker einbauen.

Das Layout ist auf kurze Signalwege ausgelegt. Wer die Platine selbst ätzt, findet hier aber noch Raum für Verbesserungen - die von mir verwendete Lochrasterplatine bedingt ziemliches Kabelwirrwarr. Zu achten ist jedenfalls auf einen zentralen Massepunkt (deshalb auch die isolierten Cinchbuchsen). Für die NF-Verkabelung eignet sich dünner Kupferdraht (keine Litzen), wie man ihn etwa in Telefonkabeln findet (ggf. verdrillen; auch klanglich ist diese Variante absolut empfehlenswert). Zum Löten verwende ich hochwertiges Silberlot (10%); ob der Unterschied bei dieser Schaltung hörbar ist, kann ich nicht sagen. Die verwendeten OPA2604-ICs (welche ja in HighEnd-Kreisen einen guten Ruf haben) können möglicherweise durch einfachere Typen ersetzt werden, ohne daß die Wiedergabe leidet.

Nicht gespart werden sollte hingegen bei den restlichen Bauteilen; nur eng tolerierte Werte garantieren präzise Filterfunktion.

Widerstände: Metallschicht / 0,25W / 1%

Kondensatoren: Folie 5% bzw. 1%

Relais: "sensitiv", Kontakte AgPa/vergoldet

Schalter: Silberkontakte, hohe Zyklenanzahl

Potentiometer: Leitplastik (Ausnahme "PhaseShift"-Schaltpoti - siehe dort)

2) Stromversorgung

Die Schaltung enthält kein Netzteil.

Da man aber ohnehin einen zusätzlichen Verstärker benötigt, wo sich eine geeignete Spannung abzweigen läßt, habe ich das AM1-Board von THEL eingesetzt (<http://www.thel-audioworld.de/module/AM1/am1.htm>), welches theoretisch mit Spannungen von +/-5 ... 80V betrieben werden kann (eine Gyrator-Schaltung limitiert auf +/-18V).

Das funktioniert hier aber nur mit Einschränkungen. Zum einen benötigen die Relais 12V (ein LM7812CT ist der Regler), und zum anderen nehmen die ICs mehr Strom auf, als die am Board vorhandenen BD139/140 je nach Eingangsspannung liefern können.

Man muß die BDs also gegen TIP132/137 oder höherwertige austauschen (seitenverkehrte Pinbelegung beachten! BD = "ECB", TIP = "BCE" - also "umgedreht" einlöten); zusätzliche Kühlkörper sind in jedem Fall empfehlenswert. Der Spielraum reduziert sich somit auf Versorgungsspannungen von +/-12 ... 48V, was aber ausreichen dürfte.

Modifikationsmöglichkeit:

Weglassen des AM1-Boards (44,-) und externe Stromversorgung mit +/-12 ... 24V vorsehen (im beschriebenen Gehäuse wäre kein Platz dafür); diese sollte aber großzügig dimensioniert werden und eine hochwertige Siebung aufweisen, um einigermaßen das Niveau der THEL-Schaltung zu erreichen.

3) Summierer

Hier wird das Stereo-Signal zusammengefaßt²⁾ und mit Faktor drei verstärkt (die Schaltung funktioniert natürlich auch, wenn nur ein Cincheingang belegt ist).

Das Ursprungssignal wird nicht beeinflusst. Der Verstärkungsfaktor kann über die Widerstände geändert werden. Warum es aber im Sinne bester Dynamik und geringstmöglichen Rauschens vorteilhaft ist, zuerst zu verstärken, dann zu filtern und erst am Ausgang die Lautstärke zu regeln, wird auch im THEL-Datenblatt ausführlich erläutert.

(Ich habe hier übrigens den bei der AM1-Platine mitgelieferten AD712 eingesetzt, welcher in der gleichen Liga spielt wie der OPA2604.)

4) Subbaß-Anhebung

Hier kann um bis +10dB verstärkt werden. Der Kondensatorwert bestimmt die Einsatzfrequenz. Mit 1µF liegt sie bei praxisgerechten 25Hz; ich habe trotzdem einen Sockel vorgesehen, damit durch einfaches Umstecken variiert werden kann.

5) Subsonicfilter

Ein zuschaltbarer Filter mit Butterworth-Charakteristik begrenzt das Signal bei 15Hz mit 24dB Flankensteilheit nach unten; das kann etwa bei LP-Wiedergabe mit hohen Pegeln den Lautsprecher vor Beschädigung bewahren.

²⁾ Die Schaltung ist ab hier Mono. Unterhalb von etwa 80Hz kann das menschliche Gehör kaum mehr orten, und die entsprechenden Musiksignale sind ohnehin fast immer entsprechend abgemischt. In dem äußerst seltenen Fall, daß ein Kanal ein zum anderen um 180° phasengedrehtes Baßsignal liefert, kann es zur Auslöschung kommen (das schadet der Anlage nicht, man hört es dann bloß nicht); solche exotischen Aufnahmen würden allerdings auch bei Stereowiedergabe im Raum partiell ausgelöscht.

6) Obere Einsatzfrequenz

Da die meisten guten Boxen ohnehin bis in die Gegend von 50Hz ausreichend Pegel liefern, habe ich 40/50/60Hz als schaltbare Eckfrequenzen vorgesehen.

Um eine harmonische Ankoppelung zu ermöglichen, sollte die Kurvenflanke spiegelbildlich zu jener der Hauptlautsprecher verlaufen. Deshalb ist diese Filterung hier doppelt vorhanden, nämlich mit jeweils 12 und 18dB/Oktave (Butterworth) - eine wesentliche Option, welche kaum ein Fertiggerät bietet.

Hier liegt der größte Bauteilaufwand. Um den Signalweg trotzdem möglichst kurz zu halten, betätigt der Frequenzwahl-Schalter Relais, welche die Kondensatorwerte vor Ort anpassen. Das Layout wurde so ausgearbeitet, daß sich durch gruppenweises Zu- und Wegschalten einer möglichst geringen Anzahl von Kondensatoren präzise die geforderten Werte ergeben - und außerdem die Position des Schalters logisch von oben nach unten 60-50-40 Hz auslöst (und nicht etwa 60-40-50 oder Ähnliches, wie das oft bei Fertiggeräten zu finden ist).

Modifikationsmöglichkeit:

Beim Betätigen v.a. des Flankensteilheits-Schalters sind bei mir Ploppgeräusche vom Lautsprecher zu hören. Ich vermute, daß es an der DC-Koppelung der nachfolgenden Endstufe liegt; es könnte sich auszahlen, hier zu experimentieren. Vielleicht verringern auch kleine Kapazitäten (10 ... 100nF), direkt an die Pins der Schalter gelötet, die Störungen.

7) Inverter und Phasendreher

Phasenschieber (oder "-dreher") haben den Nachteil, frequenzabhängig unterschiedliche Ergebnisse zu liefern; einigermaßen sinnvoll wird nur der Bereich von 20 ... 160° abgedeckt. Das ist der Grund, weshalb ich hier einen zusätzlichen Inverter vorgesehen habe: erst die Kombination ermöglicht präzise Anpassung.

Die Bypass-Stellung des Phasendrehers wird vom Schalter des Potentiometers betätigt, welcher ein Relais steuert. (Ich konnte kein Leitplastik-Schaltpoti finden, weshalb es sich hier um einen Kohleschicht-Typ handelt.)

Tip: sollte die Ankoppelung des Subwoofers invertiert besser klingen, empfiehlt es sich, danach den Inverter-Schalter auf "Off" zu stellen und stattdessen die Lautsprecher zu verpolen - das erspart dem Signal eine zu durchlaufende Stufe.

Modifikationsmöglichkeit:

Da ein Inverter in den meisten Fällen zur Anpassung genügt, kann man den Phasendreher auch weglassen, zumal dieser klanglich oft nicht überzeugt. Und wer sich die Mühe macht, durch händische Verpolung der Sub-Lautsprecher die bessere Phasenlage zu eruieren, spart sich auch noch den Inverter.

Anhang

Hier noch Zeichnungen, welche ich für mich als Gedankenstütze anfertigte.

Warnung: die (wenngleich für dieses Manual überarbeiteten) Grafiken sind weit davon entfernt, "wissenschaftlich" oder in irgendeiner Form normgerecht zu sein.

1) Hi Cut

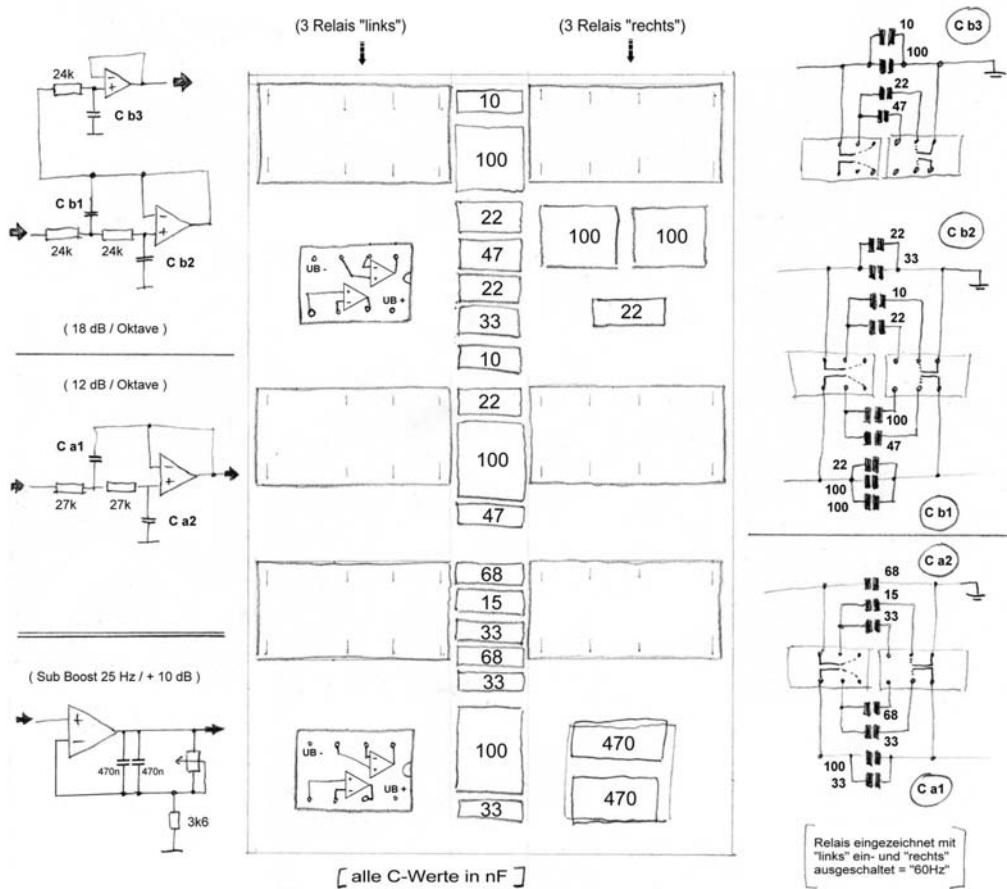
Der Abschnitt, welcher die obere Einsatzfrequenz regelt, ist der komplizierteste. Hier deshalb eine Aufsicht der Platine, wie ich sie bestückte (relativ maßstabsgetreu).

Die 100nF-Kondensatoren sind 1%-Typen, alle anderen weisen 5% Toleranz auf. Ob sich der Aufwand lohnt, alle mit 1% zu wählen, kann ich nicht beantworten: neben erhöhtem Platzbedarf (und damit längeren Signalwegen) würde es die Kosten deutlich in die Höhe treiben. 10%-Folien oder gar Elkos sind jedenfalls nicht zu empfehlen.

HI CUT

top view

(Widerstände nicht eingezeichnet)



1) Ein Schalter wechselt die Ein/Ausgänge zwischen "12dB" und "18dB" (2 x UM)

2) Ein zweiter Schalter bestimmt die Trennfrequenz (Ein / Aus / Ein, 1polig):

Schalter Position	Relais geschaltet		C - Werte	Hz
	"links"	"rechts"		
unten	—	✓	max	40
mitte	—	—	med	50
oben	✓	—	min	60

(alle jeweils "linken" und "rechten" Relais sind in der Stromversorgung parallelgeschaltet)

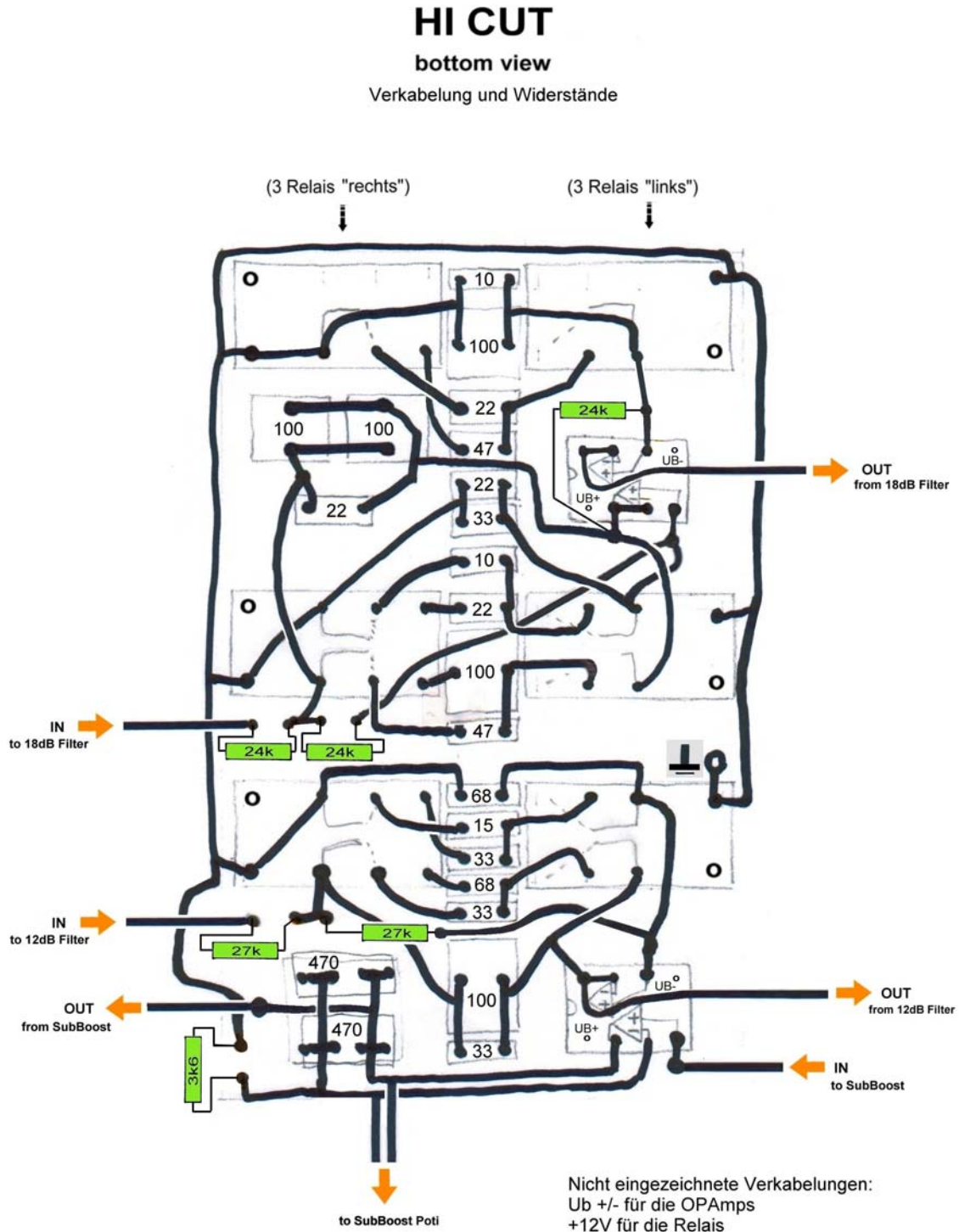
R = 24k		18 dB		
Hz	C b1	C b2	C b3	
40	222 } 322 100	55 } 77 22	110 } 157 47	
50	222 } 269 47	55 } 65 10	110 } 132 22	
60	222	55	110	

R = 27k		12 dB	
Hz	C a1	C a2	
40	133 } 201 68	68 } 101 33	
50	133 } 166 33	68 } 83 15	
60	133	68	

2) Hi Cut Verkabelung

Die nämlich Schaltung von unten:

Hier sieht man die Nachteile einer Lochraster-Platine. Der Kabelsalat erfordert ziemliche Konzentration, und servicefreundlich ist er schon gar nicht. (Nein, die Kabel sind nicht so dick; ich hatte eben bloß einen Edding zur Hand.)



Nicht eingezeichnete Verkabelungen:
Ub +/- für die OPamps
+12V für die Relais

Die Widerstände befinden sich
auf der Oberseite der Platine.

3) Verkabelung von Bedienelementen und Platinenteilen

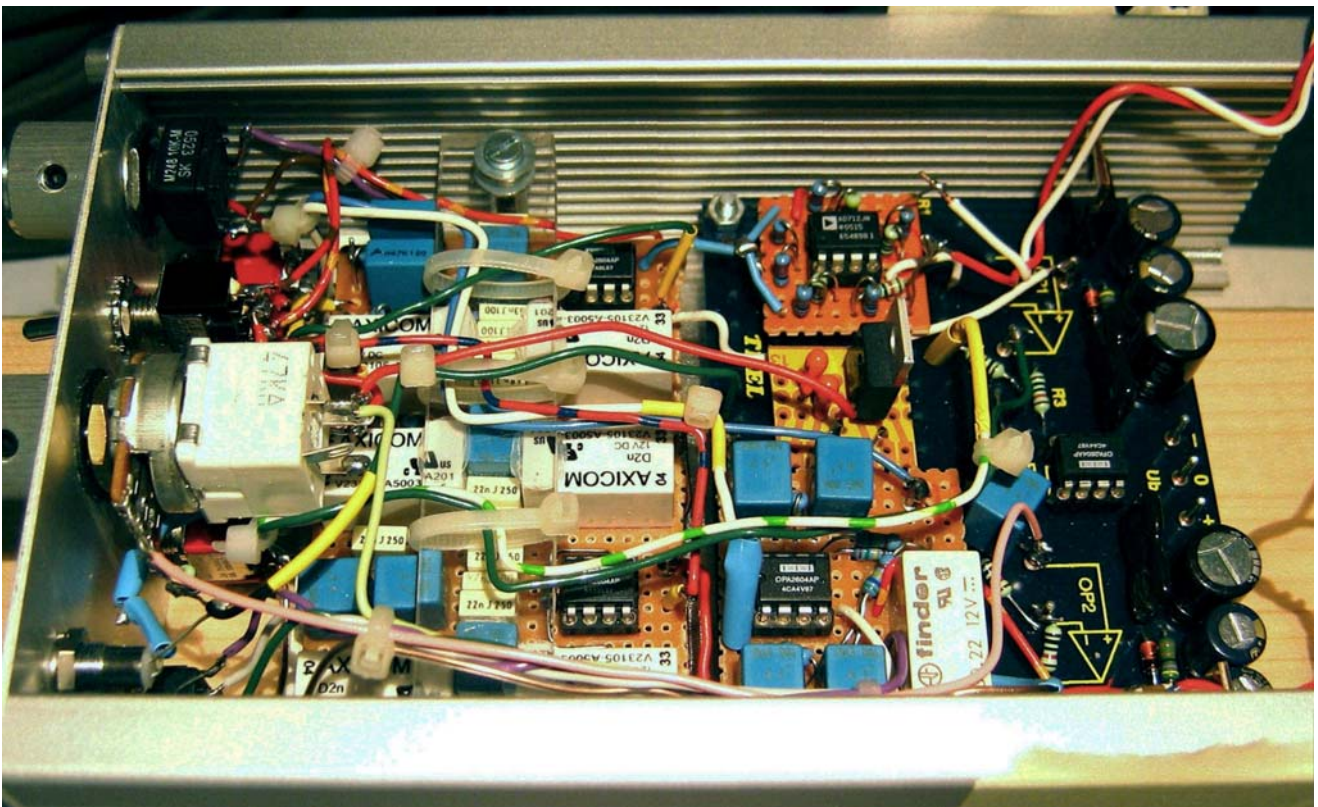
Da ich der Qualität des Schalters im PhaseShift-Poti mißtraue, habe ich ein Relais zwischengeschaltet. Das führt aber, wie man (Grafik "Signalverlauf", nächste Seite, rechts) sieht, zu einem weiteren Hin und Her des Signales zwischen Frontplatte und Platine, auch bei abgeschaltetem Phasendreher. Das könnte man verbessern - etwa indem das Relais weiter vorne montiert wird (direkt bei an der Frontplatte ist hier allerdings kein Platz), oder eben durch Weglassen dieses Schaltungsabschnittes.

Das erste IC im Signalweg befindet sich beim Summierer. Dann kommt die HiCut-Platine mit zwei OPA2604, von deren insgesamt vier Operationsverstärkern einer beim SubBoost und die restlichen drei bei den Grenzfrequenz-Filtern verwendet werden.

Das vierte IC befindet sich auf der "Subsonic"-Platine. Inverter und Phasendreher verwenden ja eine Hälfte des fünften IC, welches im Sockel der THEL-Platine steckt.

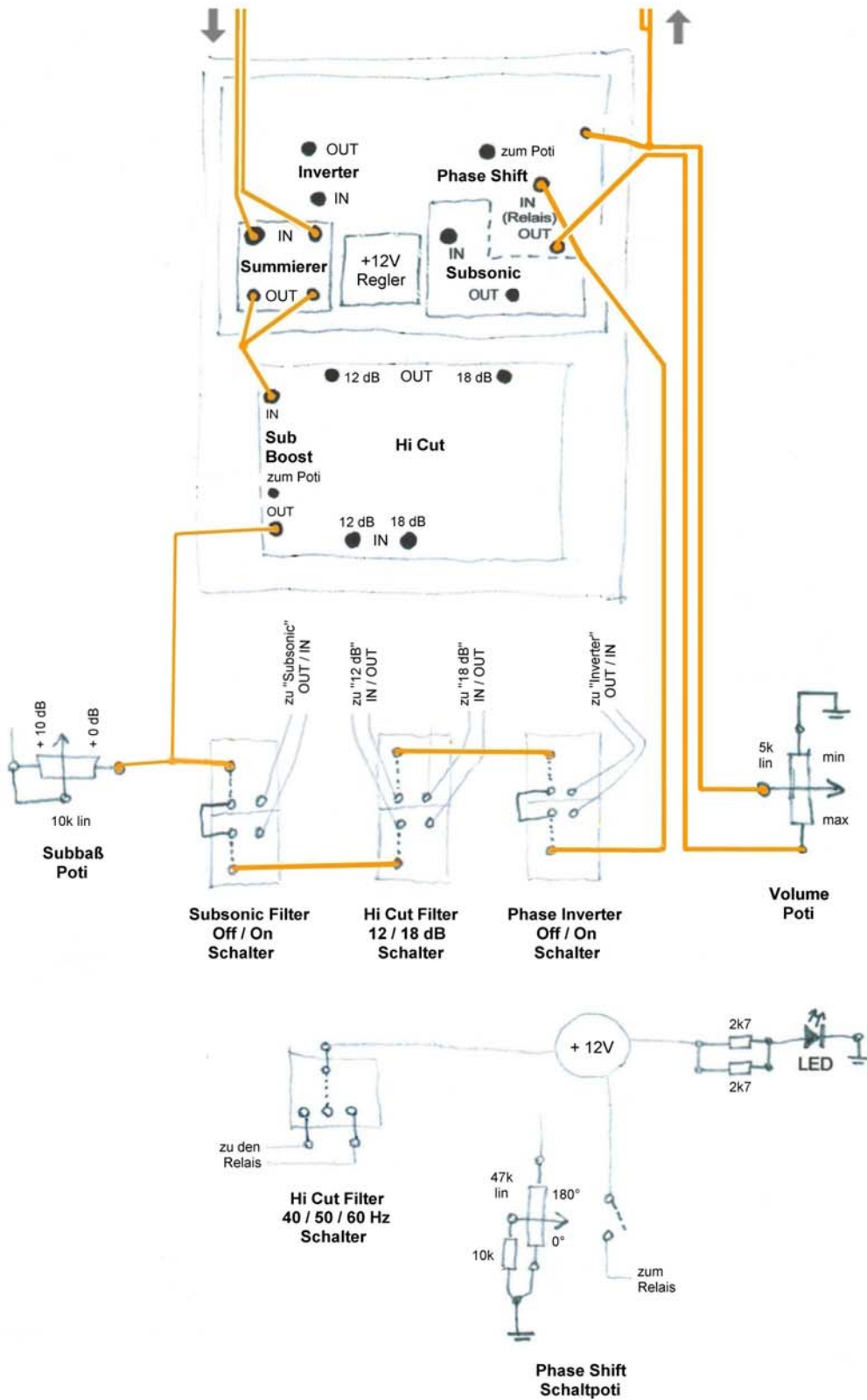
Vom 12V-Festspannungsregler führt eine Leitung zur Frontplatte, wo sie die LED versorgt und von zwei Schaltern (Frequenzwahl, PhaseShift) zu den jeweiligen Relais weiterläuft. Die Beschaltung dieser Reglerplatine habe ich nicht aufgezeichnet - sie enthält außer des LM7812CT nur zwei Tantal-Kondensatoren, deren Anordnung klar sein dürfte (falls nicht: siehe Internet).

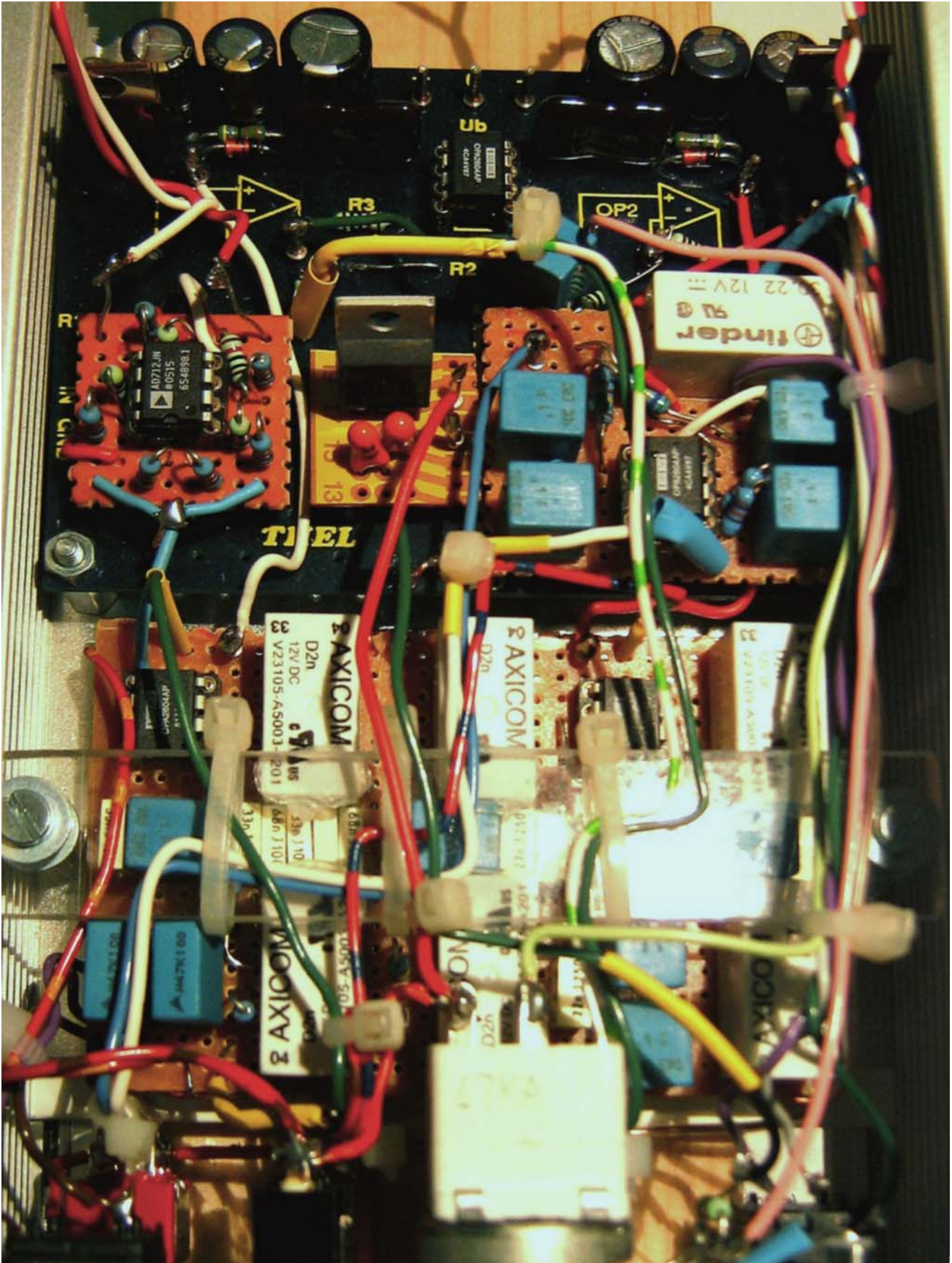
Hier ein Foto, das ich während des Aufbaues machte. Wie man sieht, ist nicht viel Platz. Die verschiedenen Farben der Telefondrähte erleichtern die Orientierung (vorausgesetzt, man notiert rechtzeitig, welcher wohin führt ...).

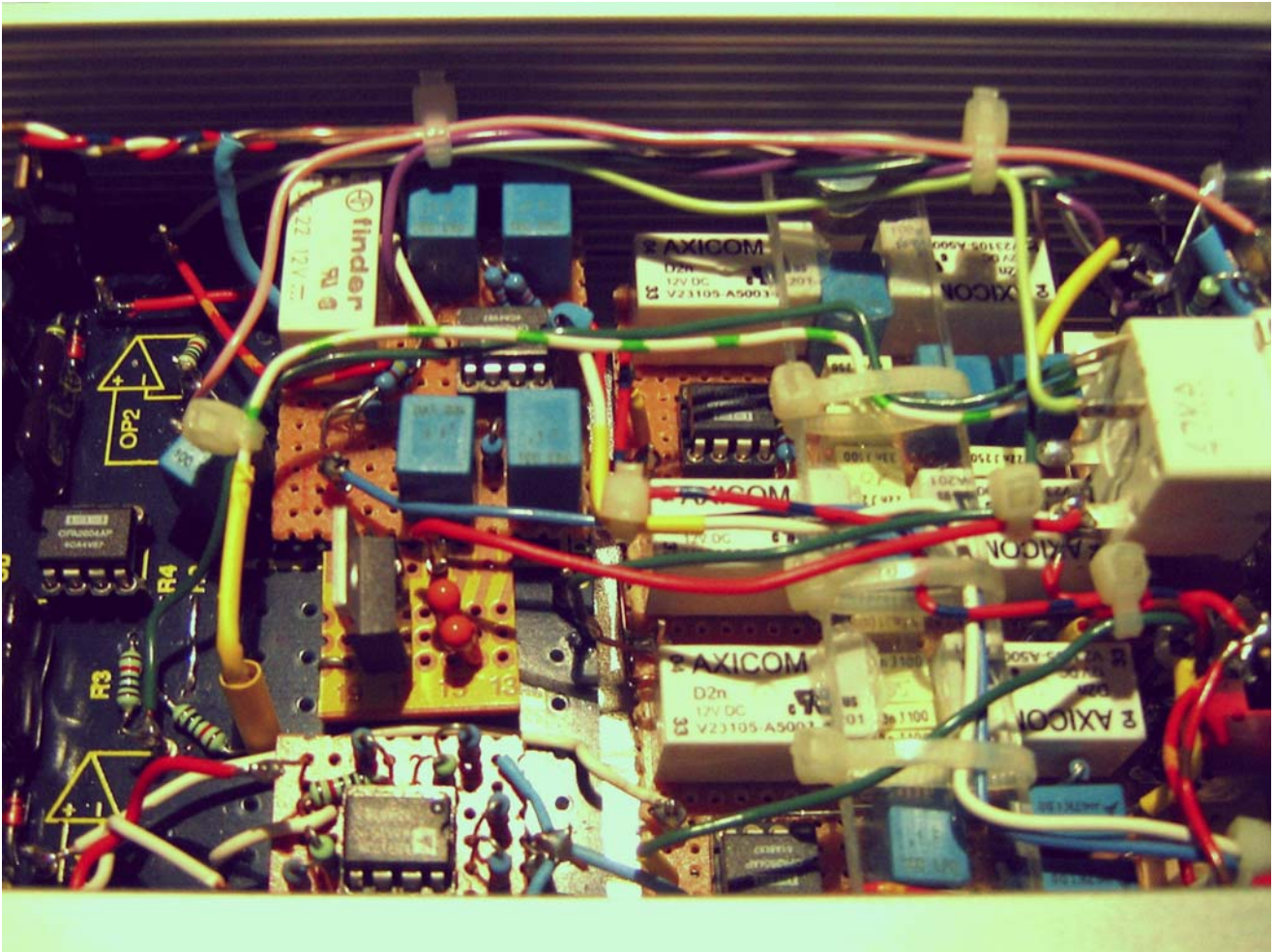


SIGNALVERLAUF

(nicht eingezeichnet:
Massekabel, Stromversorgungen)







Noch ein Hinweis zum Schluß:

Das Einpegeln eines Subwoofers dauert ein paar Tage. Anfangs dreht man nämlich immer viel zu weit auf - man will ja was hören von der Neuerwerbung. Was mit ein Grund dafür ist, daß manche HiFi-Puristen dieses System allenfalls naserümpfend betrachten ("Ganz nett für Film-Soundtracks, aber").

Also:

Nach Ermittlung der besten Phasenlage und Übernahmefrequenz sollte am SubPre-Lautstärkereger so lange gedreht werden, bis man den Woofer nicht mehr heraushört und dann noch ein Stück zurück. Wenn man nach längerem Hören den Sub dann einmal probetalber abschaltet, merkt man auch bei Zimmerlautstärke sofort, wozu er gut ist.

Marcus Stöger, Oktober 2006