

Verstärker mit $2 \times 80 \text{ W}$

Alles auf eine Karte setzen

Hochwertige NF-Endstufe mit FETs

Teil 1

Ergänzung zu bereits vorgestellten Vorverstärkern folgt eine dazu passende Endstufe. Jeder Kanal hat auf einer Europakarte Platz. Eine Zusatzschaltung schützt Endstufe und Lautsprecher.

Bei dem hier vorgestellten Gerät handelt es sich um eine mit MOSFETs bestückte Endstufe. Die durchgehend in Klasse A betriebene Ansteuerelektronik weicht von den üblichen Konzepten ab, was wiederum dem Bauelemente-Aufwand zugute kommt. Damit der Nachbau nicht an einem ansprechenden Gehäuse scheitert, wurde für ein fertig gestanztes Gehäuse gesorgt (Bild 1), das bei der Firma AS Beschallungstechnik, Schwerte, zu einem günstigen Preis bezogen werden kann. Die Frontplatte des Gehäuses ist nicht bearbeitet, so daß die Möglichkeit besteht, z. B. eine Aussteuerungsanzeige einzubauen.

Endstufenmodul auf einer Europakarte

Die symmetrische Struktur der Endstufenschaltung (Bild 2) gliedert sich in folgende Funktionsgruppen auf: Korrekturverstärker (NE 5534), Treiberstufe (BF 469/BF 470), Sourcefolge (2SK134/2SJ49), sowie verschiedene Vorstufenversorgungen. Alle Schaltungsteile finden auf einer einzigen Europaplatine Platz.

Das Eingangssignal (aus einem Vorverstärker, wie er in Heft 17/1984 oder Heft 18/1985 beschrieben wurde) gelangt über Anschluß E1 auf eine Hochpaß-Tiefpaß-Kombination mit folgender Wirkung: Der Hochpaß hat die Funktion eines Subsonic-Filters, das den Opera-

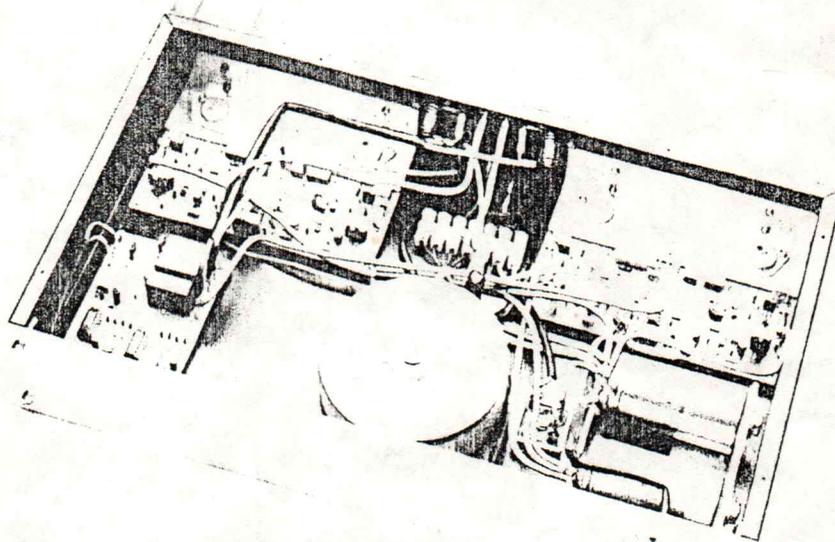
tionsverstärker galvanisch von der Quelle trennt. Dies ist aus zwei Gründen notwendig: Eine am Eingang liegende Fehlspannung könnte sonst verstärkt am Ausgang anliegen und Verstärker und Lautsprecher zerstören (die in diesem Konzept vorgesehene Schutzschaltung würde dies jedoch verhindern). Ein weiterer Grund ist die Instabilität der Offsetspannung bei wechselnden Quellimpedanzen. Das Tiefpaßfilter hat hingegen die Aufgabe, Frequenzen über 100 kHz

vom Operationsverstärker fern zu halten, was aus dynamischen Gesichtspunkten notwendig ist.

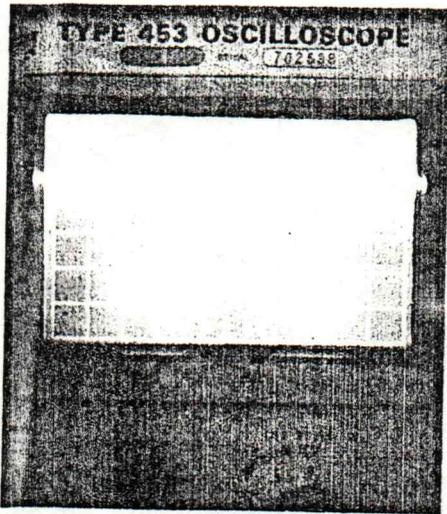
In die Gegenkopplung werden Operationsverstärker, Treiberstufe und die Sourcefolger mit einbezogen, so daß sich eine sehr hohe Gleichspannungs-Leerlaufverstärkung ergibt (ca. 130 dB). Dieser hohe Verstärkungsfaktor fällt jedoch stark mit steigender Frequenz ab, da die Eingangskapazität der MOSFETs mit dem Ausgangswiderstand der Treiber einen RC-Tiefpaß bilden. Dieser Pol in der Übertragungsfunktion muß mit einer Nullstelle in der Gegenkopplung kompensiert werden, da der Verstärker aufgrund anderer RC-Glieder, die dann eine 180°-Phasendrehung verursachen, schwingen würde. Bild 3 zeigt ein Rechtecksignal bei einer Amplitude von 30 V an 4Ω und 10 kHz am Ausgang des Verstärkers. Das Signal wird ohne Überschwinger wiedergegeben. Die Verrundung der Flanken wird durch das Eingangsfilter bewußt hervorgerufen.

Einfache Ruhestrom-Einstellung

Eine weitere Besonderheit bei der Verwendung von MOSFETs in der vorliegenden Weise besteht darin, daß die Ruhestromeinstellung sowie die Strombe-



① Musteraufbau des Autors. $2 \times 80 \text{ W}$ Nennleistung an 4Ω liefert dieser Verstärker



③ Ausgangssignal – bei 30 V mit 10 kHz an einer Last von 4 Ω (= 32 W)

grenzung mit wenigen Bauelementen zu bewerkstelligen ist. Die notwendige Vorspannung (Enhancement-Typ) wird einfach durch den Spannungsabfall am Trimpotentiometer (250 Ω) eingestellt.

Die Diode in Reihe zum Poti hat die Aufgabe, den negativen Temperaturkoeffizienzen der Transistoren zu unterstützen. Die Reihenschaltung aus Z-Diode und Diode begrenzt mit ihrer flachen Kennlinie die Eingangsspannung am Gate auf etwa 7 V und damit den Ausgangsstrom auf 8 A. Die Sourcewiderstände bewirken eine geringe Stromgekopplung.

Wie eingangs erwähnt, ist die gesamte Schaltung auf einer Platine von 10 cm × 16 cm aufzubauen (Bild 4). Beim Bestücken nach Bild 5 ist folgendes zu beachten:

1. Die Transistoren für die temperaturstabilisierte Vorspannungserzeugung (T1...T4) stehen sich auf der Platine mit ihren flachen Seiten gegenüber, so daß es sich anbietet, die Flächen zu verkleben, damit für beide Gehäuse ein thermischer Gleichlauf gewährleistet ist.
2. Die 220-Ω-Widerstände (gestrichelt) sind aus Platzgründen auf der Unterseite der Platine anzulöten. Hierfür sind die ungelochten Lötäugen vorgesehen. Auf der Bauteilseite sind auf dem 33-kΩ-Rückkoppelwiderstand ein 56-pF-Kondensator sowie auf den beiden 1,2-kΩ-Widerständen am Ausgang des Operationsverstärkers je ein 15-pF-Kondensator anzulöten.
3. Die Drahtbrücke unter der IC-Fassung darf nicht vergessen werden.

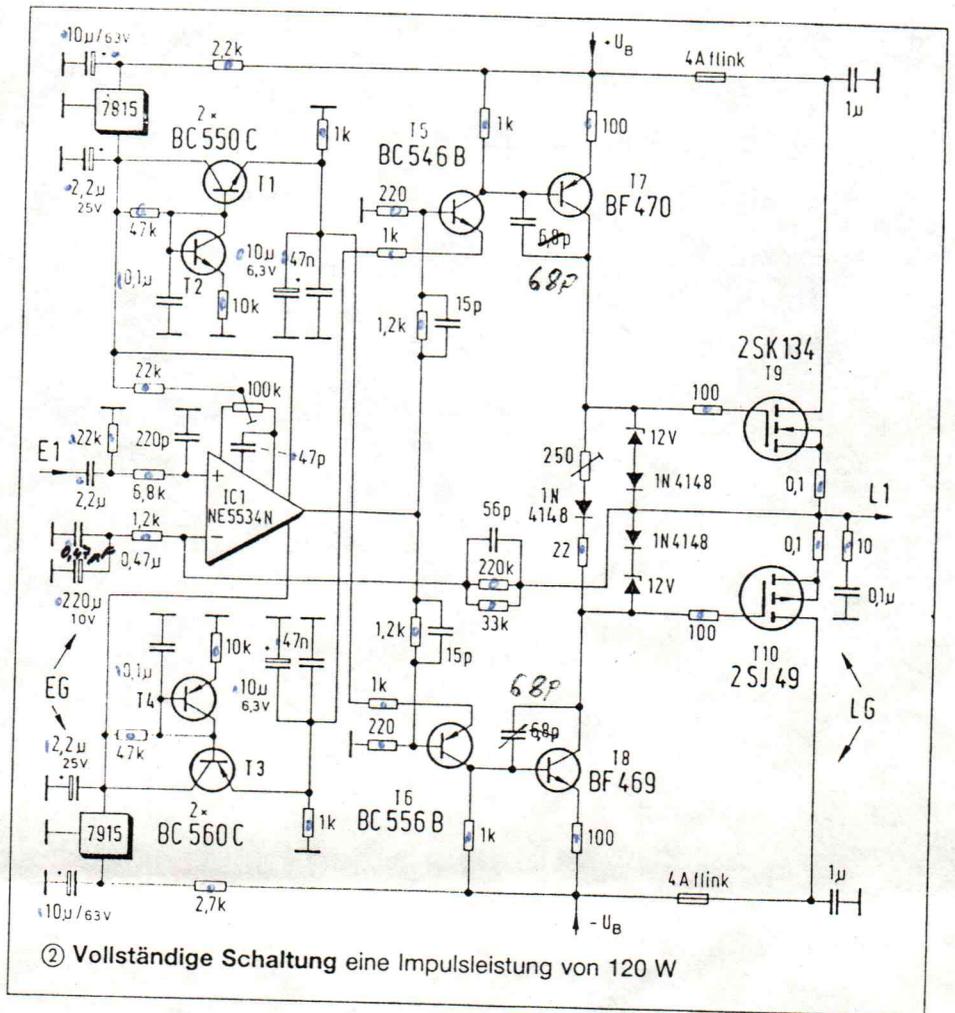
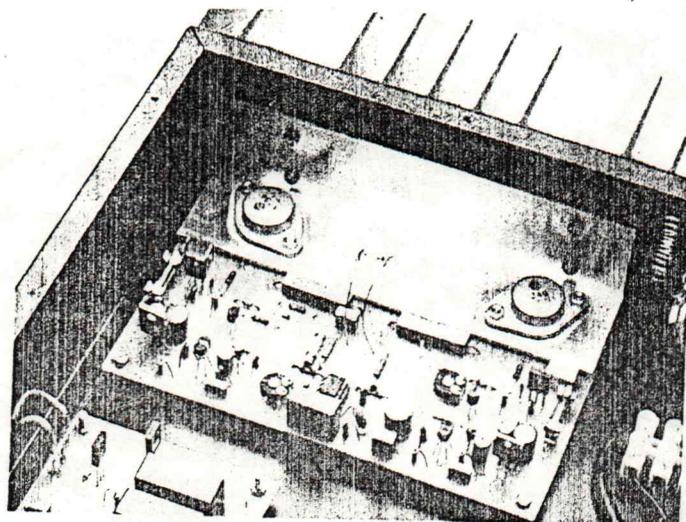


Tabelle der wichtigsten Daten

Eingangsempfindlichkeit	0,7 V an 22 kΩ
Ausgangsleistung	2 × 80 W Nennleistung 2 × 120 W Impulsleistung
Übertragungsbereich (1 W, -3 dB)	7 Hz...50 kHz
Spannungsversorgung	±50 V/4 A



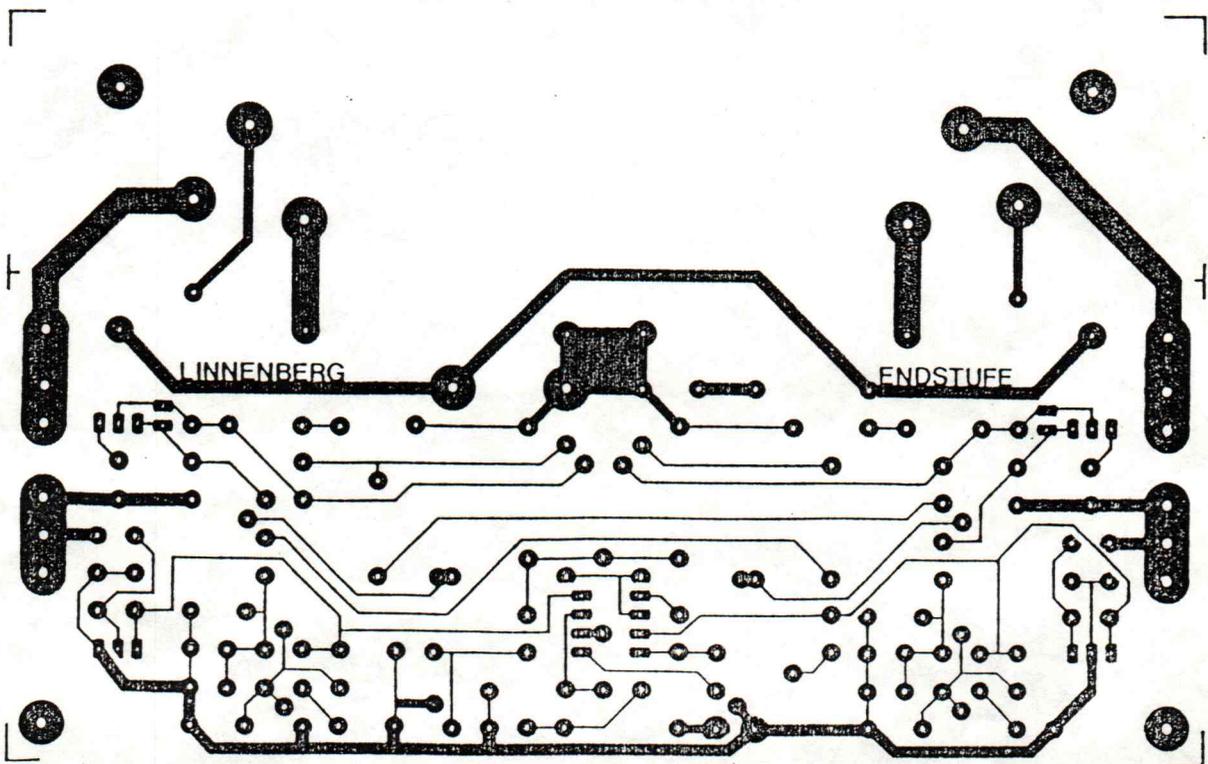
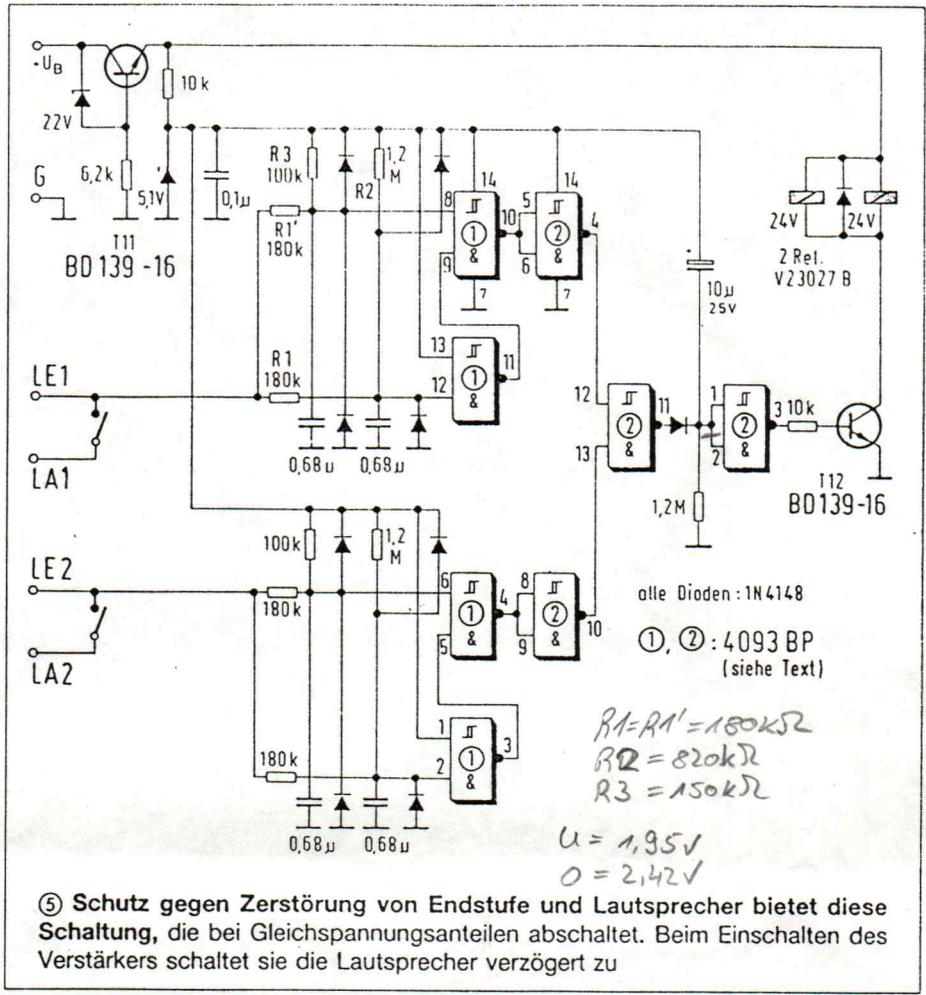
Die Temperaturfühler-Diode: Sie wird mit auf 3 cm verlängerten Anschlußdrähten durch Federkraft auf dem Kühlkörper gehalten, von wo sie die Temperaturinformation erhält

Zum Schluß befestigt man die MOS-FETs zusammen mit den Kühlwinkeln auf der Platine. Hierzu werden die Winkel auf 160 mm zugeschnitten und dann mit einer kleinen Schraubzwinge paßgerecht auf der Platine angeklemt. Dann können alle Löcher von der Leiterbahnseite aus vorgebohrt werden.

In einem zweiten Arbeitsgang werden alle Löcher vom Winkel und der Platine auf Nennmaß gebracht. Beim Zusammenbau wird über das Gewinde der Befestigungsschrauben ein Isolierröhrchen gesteckt, so daß eine seitliche Berührung mit den Kühlwinkeln im Bohrloch ausgeschlossen ist. Die zwei Anschlußstifte der MOSFETs (möglichst nicht mit den Händen berühren, mit geerdetem Lötcolben löten) werden nach dem Festziehen der Schrauben mit den Kupferbahnen verlotet. Zuvor sollte jedoch nachgeprüft werden, ob die TO3-Gehäuse wirklich isoliert vom Kühlwinkel eingebaut sind. Außerdem: reichlich Wärmeleitpaste verwenden und die Glimmerscheibe nicht vergessen.

Schutz für Endstufe und Lautsprecher

Wenn diese Arbeiten zweimal (für jeden der beiden Stereokanäle) durchge-



④ Pro Kanal eine Europakarte: Das Layout für die Endstufe

führt sind, wird der Schutzkreis aufgebaut, dessen Schaltung in Bild 6 wiedergegeben ist. Eine Platine dazu wird in Teil 2 im nächsten Heft abgebildet. Ein Fensterkomparator – aufgebaut aus einem NAND-Schmitt-Trigger der 4000-Reihe – untersucht den Ausgang der Endstufe auf Gleichspannungskomponenten.

Durch die Widerstände R1', R1...R3 ist das Ruhepotential so eingestellt, daß jeweils am oberen Gatter H-Signal und am unteren Gatter L-Signal anliegt. Wird die Spannung am Anschluß LE1 von 0 V auf positive oder negative Werte verschoben (Störung!), ändert sich an einem der Gatter die Spannung so weit, daß sich sein Schaltzustand ändert. Durch die Wahl der Widerstände ergibt sich ein symmetrisches Fenster von $\pm 2,7$ V. Der Kondensator (0,68 μ F) schließt Wechselspannungsanteile kurz, so daß mit „normalen“ Musiksignalen dieses Fenster nicht überschritten wird.

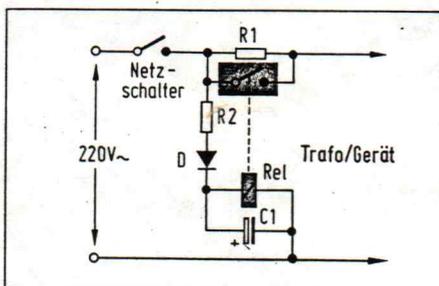
Alle Komparatorausgänge werden über eine NOR-Verknüpfung und eine Diode einer Zeitstufe als Schaltsignal zugeführt. Im Normalbetrieb sorgt die Zeitstufe außerdem für ein verzögertes Aufschalten der Lautsprecher.

Ivo Linnenberg
(Schluß folgt)

Ärger mit hohem Einschaltstrom?

Relais als Nothelfer

Wer kennt nicht das leidige Thema, daß beim Einschalten des Trenntransformators die Netzsicherung auslöst? Eine stärkere Sicherung kann zwar manchmal helfen, aber das ist nicht überall möglich oder zulässig. Die Schaltung (Bild) ist recht einfach und kann in den meisten Geräten noch nachträglich eingebaut werden.



Der Einschaltstrom für induktive Verbraucher wird mit dieser Schaltung reduziert, so daß die Netzsicherung hält. Zur Dimensionierung siehe Text

Es gilt, den Einschaltstrom zur Magnetisierung größerer Netztransformatoren oder anderer induktiver Lasten zu be-

grenzen. Dazu dient der Widerstand R1. Über R2 und D1 lädt sich C1 auf, bis das Relais schaltet. Dadurch wird R1 überbrückt, und das Gerät wird normal betrieben. Einige Anhaltswerte zur Dimensionierung der Bauteile:

Relais: Nach möglichst hoher Betriebsspannung (min. 24...48 V) und geringem Strom (20...50 mA) auswählen. Der Schaltkontakt muß einen hohen Strom verkräften.

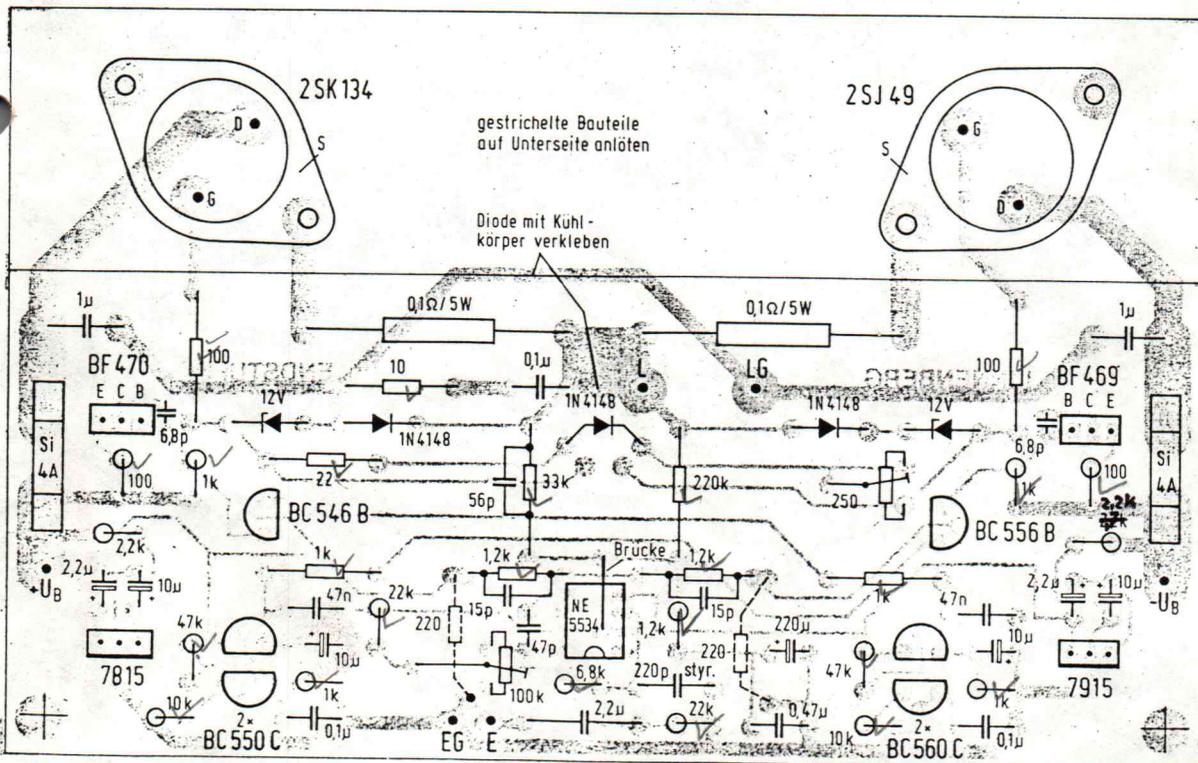
R1: Nach dem Ohmschen Gesetz werden für 15 A bei Netzspannung etwa 15 Ω benötigt. Wegen der kurzen Einschalt-dauer reicht eine Belastbarkeit von 4 bis 6 W aus.

R2: Nach der Beziehung $U_{Rel} \cdot 1,4/I_{Rel}$ (mit Werten: 24 V \cdot 1,4/0,04 A) ergibt sich ein Widerstandswert von 840 Ω . Die Belastbarkeit sollte (nach $I^2 \cdot R$) größer als 1,5 W sein, besser 2...4 W.

C1: Dieser Wert sollte experimentell ermittelt werden. Die Spannungsfestigkeit muß mindestens $1,5 \cdot U_{Rel}$ betragen. Eine Verzögerungszeit von 0,1...0,5 s reicht im allgemeinen aus.

D: Wegen der Spannungsfestigkeit ist der Typ 1N4007 zu empfehlen.

Heinz Danz



⑥ **Bestückungsplan für den Verstärker.** Drei Kondensatoren werden direkt auf die Widerstände gelötet – Hinweise im Text beachten

Verstärker mit $2 \times 80 \text{ W}$

Alles auf eine Karte setzen

Hochwertige NF-Endstufe mit FETs

Teil 2

Die Schaltungen für die Endstufe und die Schutzschaltung wurden bereits in Teil 1 vorgestellt. Es folgen noch die Platine für die Schutzschaltung sowie Hinweise für den Aufbau des Gesamtgerätes. Das Netzteil ist so ausgelegt, daß es die beiden Endstufen eines Stereoverstärkers versorgen kann.

Der Aufbau der Schutzschaltung auf der Platine nach Bild 7 ist völlig unkritisch. Die Relais sind stehende Standardtypen (siehe auch Bestückung in Bild 8) von Siemens (V23027B 24V) oder von Omron Carlo Gavazzi mit genormter Stiftbelegung. Die MOS-Bausteine 4093 müssen in Fassungen gesteckt werden. Es dürfen wiederum die Drahtbrücken (eine unter einer Fassung) nicht vergessen werden. Auch ist darauf zu achten, daß der Längstransistor T11 1 cm über der Platine stehend eingebaut wird, da er bis zu seiner maximalen Verlustleistung beansprucht wird.

beschaffung können Anfragen an die Redaktion gerichtet werden.

Nach der Sichtprüfung aller Platinen auf eventuelle Fehler werden diese in das vorgesehene Gehäuse eingebaut, bevor Einstell- und Abgleicharbeiten durchgeführt werden. Dazu werden zunächst die Kühlkörper (Größe zwischen $60 \text{ mm} \times 180 \text{ mm}$ und $80 \text{ mm} \times 190 \text{ mm}$; $R_{thK} = 0,8 \text{ K/W}$) auf der Rückseite des Stahlblechgehäuses befestigt. Hierfür sind vier Bohrungen an den Kanten des Rechteckausschnittes vorzusehen.

Die Endstufenmodule werden von innen an den Kühlkörper angesetzt und so

angezeichnet, daß nach Ausbau des Kühlkörpers die ursprüngliche Lage des Winkels erkennbar ist. Mit drei M3-Schrauben werden Winkel und Kühlkörper verbunden.

Für die Schutzschaltung, Ringkerntransformator und Elkos (Netzteil siehe Bild 9) müssen noch entsprechend der mechanischen Ausführung der letztgenannten Bauteile Löcher in den Boden des Gehäuses gebohrt werden. Die Anordnung der Baugruppen im Mustergerät zeigt Bild 1 (aus Teil 1).

Das Anschlußfeld an der Rückwand wird mit der Netzkabeldurchführung, dem Sicherungshalter, den Polklemmen sowie den Cinchbuchsen bestückt. Es ist unbedingt auf einen isolierten Einbau zum Gehäuse zu achten.

Kritischster Punkt der Verdrahtung: die Masseführung

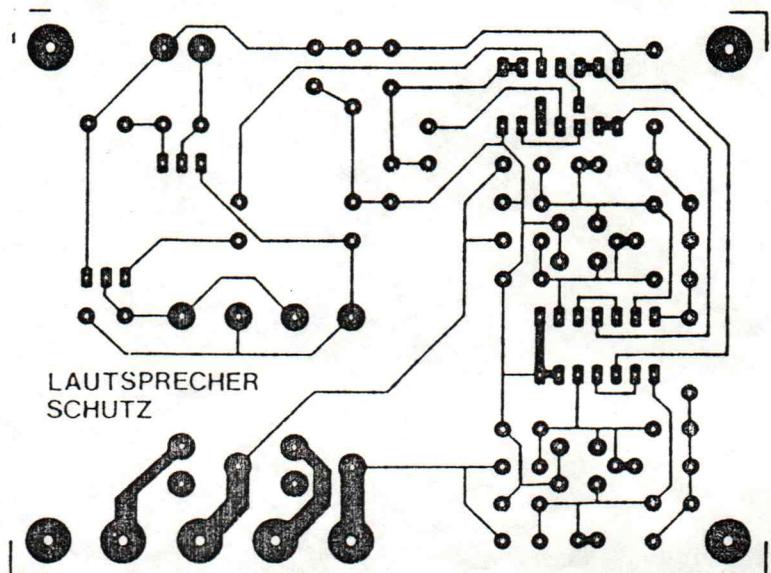
Wenn alle mechanischen Arbeiten erledigt sind, kann mit der Verdrahtung begonnen werden. Da es sich hier um den kritischsten Punkt beim Aufbau einer Endstufe handelt, ist in Bild 9 ein Verdrahtungsplan wiedergegeben. Es ist auf Einhaltung der Mindestquerschnitte bei den Kabeln und auf die Masseführung zu achten.

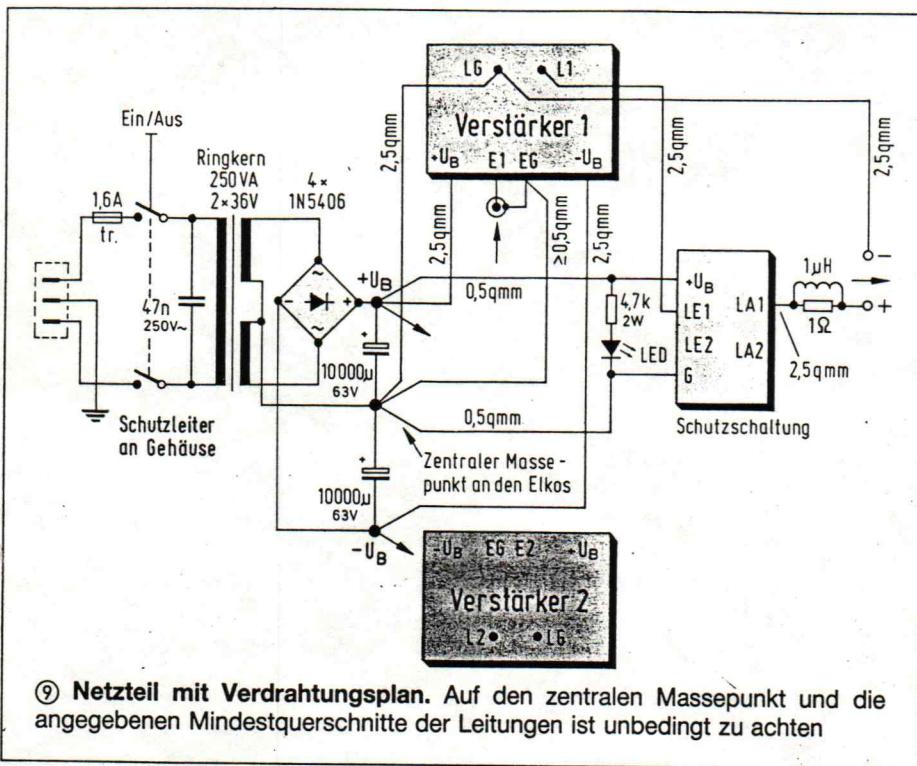
Grundsätzlich sollte angestrebt werden, die Kabel so kurz wie möglich zu halten, die Betriebsspannungsleitungen von den Signaleingängen fernzuhalten, keine Masseleitungen über den Trafo zu

Schutzschaltung korrekt auslegen

In der Schaltungserklärung ist stillschweigend angenommen worden, daß die H- und L-Spannungen bei gegebener Betriebsspannung für jedes IC 4093 gleich sind. Da dies meist nicht der Fall ist, wurde die Schaltung auf Valvolocmos-Bausteine ausgemessen, die typische Ein- und Ausschaltspannungen von 2,3 V und 3 V haben. Diese Bausteinsreihe hat ein wenig bessere Eigenschaften als der JEDEC-Standard, so daß die ICs oft gesondert angeboten oder bestellt werden können (siehe auch Kästen). Bei Schwierigkeiten der Bauteile-

⑦ Platine für die Schutzschaltung





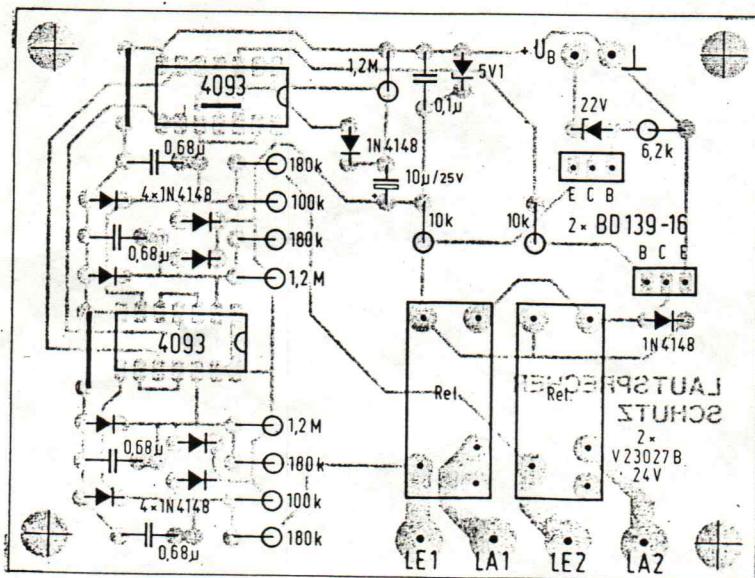
9 Netzteil mit Verdrahtungsplan. Auf den zentralen Massepunkt und die angegebenen Mindestquerschnitte der Leitungen ist unbedingt zu achten

verlegen, den zentralen Massepunkt so weit wie möglich in die Gehäusemitte zu legen. Zum Schluß der Aufbauarbeiten werden die Kühlwinkel der Endstufenmodule unter Verwendung von Wärmeleitpaste mit den Kühlkörpern verschraubt. Die Phasenrückdrehspule an den Pluspol-Klemmen der Lautsprecher werden aus 1 mm CuL, 10 Wdg, mit 10 mm Durchmesser selbst hergestellt.

Vor dem ersten Einschalten sind die 4-A-Sicherungen an den MOSFETs gegen 200 mA flink auszutauschen. Dann

sind die Schleifer des Offsetabgleichreglers auf Mitte zu bringen und von der Ruhestromeinstellung in Richtung des Transistors BC 556 zu stellen. Brennen die Sicherungen beim Einschalten nicht durch, so wird kein Aufbaufehler vorliegen. Nach Tausch der Sicherungen wird der Ruhestrom auf 100 mA eingestellt (an den Sourcewiderständen sind dann 10 mV zu messen). Die Ausgangsspannung wird mit dem 100-kΩ-Offsettrimmer auf 0 mV eingestellt.

Ivo Linnenberg



8 Bestückungsplan der Lautsprecher-Schutzschaltung. Zur Dimensionierung der Bauteile bitte die Hinweise im Kasten beachten

Literatur

- [1] TDA 1034. Ein rauscharmer Operationsverstärker für NF-Anwendungen. Valvo Brief, 13. März 1978.
- [2] Tietze, U.; Schenk, Ch.: Halbleiterschaltungstechnik. Springer-Verlag Heidelberg.
- [3] Power MOSFET Data Book. Hitachi Electronic Components Europe GmbH.

Festlegen der Schaltpunkte

Wenn der Aufwand für die Beschaffung eines ICs nicht gerechtfertigt scheint, kann die Widerstände R1', R1...R3 nach folgender Formel umdimensionieren, nachdem die Schaltpunkte des betreffenden ICs ausgemessen sind:

$$R1 = R1' \approx 180 \text{ k}\Omega$$

$$R3 = R1 \left(\frac{5 \text{ V}}{O + 0,2 \text{ V}} - 1 \right)$$

$$R2 = \frac{R1 \cdot R3 \cdot (O - 5 \text{ V})}{R1 \cdot (5 \text{ V} - U) - R3 \cdot (U + O)}$$

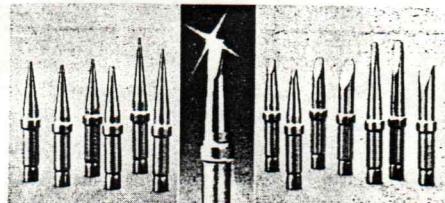
dabei bedeuten

- O: obere Schaltschwelle, die ein Kippen von H→L (Inverter) bewirkt;
- U: untere Schaltschwelle, die ein Rückkippen von L→H bewirkt.

Lötspitzen:

Lange Standzeit

Die Lebensdauer der Lötspitzen 3S-TIP Super+ soll um 10...30 % höher liegen als bisher. Erreicht wird das durch eine Dehnschicht zwischen dem Grundmaterial Kupfer und der galvanisch aufgetragenen Legierung, die Mikrorisse durch thermische Dehnungen verhin-



dert. Noch fehlt die Erprobung in der Praxis. Spirig als Hersteller wird deshalb Muster an möglichst viele „Löter“ verteilen. Wenn Sie das Bild ausschneiden, die gewünschte Lötspitze ankreuzen und einsenden an Ernest Spirig, Postfach 1140, CH-8640 Rapperswil, erhalten Sie unentgeltlich eine Probespitze, passend zum Weller-TPC-LötKolben.