

# ELV *journal*

Nr. 58

Mit  
Platinenfolien

Fachmagazin der Amateure und Profis für angewandte Elektronik

DM 4,80

## High-End-Elektrostat-Kopfhörer- Verstärker EV 2000



Schweiz sfr 4.80, Niederlande hfl 6.40, Luxemburg lfr 100,-, Finnland 17 Fmk

Mit  
Platinenfolien

In dieser  
Ausgabe:

High-End-Elektrostat-  
Kopfhörer-Verstärker  
EV 2000

Schallpegelmeßgerät SPM 130  
ELV-IC-Tester

ELV-Serie 7000:  
Farbbalkengenerator  
FBG 7000, Teil 2

Stereo-Analog-Watt-  
meter SW 7000

Supraleitung - Strom  
ohne Widerstand,  
Teil 4

Oszilloskop-Trigger-  
verzögerung

# Supraleitung – Strom ohne Widerstand

## Teil 4

*Im vierten Teil dieser mehrteiligen Artikelserie zum Phänomen Supraleitung werden die grundlegenden Zusammenhänge und Gesetzmäßigkeiten für die Normalleitung in festen Stoffen besprochen.*

*In weiteren Beiträgen werden Denkansätze zur Erklärung der Supraleitung und Anwendungsbeispiele beschrieben.*

### 5. Leitungsmechanismus

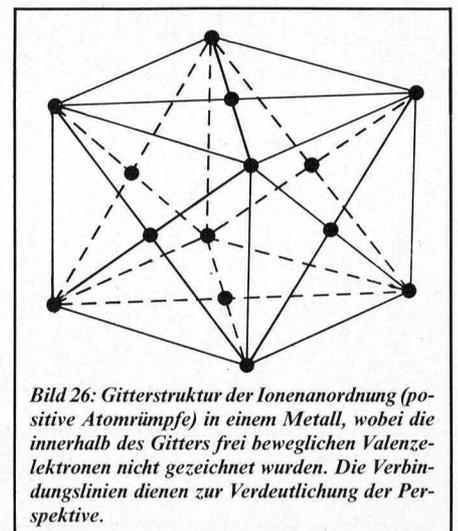
In den vorangegangenen Beiträgen wurden die wichtigsten Eigenschaften des supraleitenden Zustandes beschrieben. Als Einstieg für das Verständnis der Supraleitung wird nachfolgend die elektrische Leitfähigkeit von Stoffen mit Hilfe der zugehörigen Modellansätze erläutert.

#### 5.1 Normalleitung

Die elektrische Leitfähigkeit einer Substanz ist vorwiegend von der Anzahl der freien Ladungsträger abhängig. Im Gegensatz zu flüssigen und gasförmigen Substanzen findet bei Festkörpern keine Ionenleitung statt. Ionen sind Atomrümpfe, denen ein oder mehrere Elektronen der Hülle fehlen. Da

auch gasförmige und flüssige Substanzen bei hinreichender Abkühlung in den festen Zustand übergehen, werden im folgenden nur noch Festkörper behandelt. Unter dem Mikroskop zeigen die meisten Elemente und Verbindungen im festen Zustand eine kristalline Struktur. Bei Stromleitung verbleiben die Atomrümpfe des Kristalls fest an ihren Gitterplätze gebunden. Der elektrische Strom entsteht durch den Transport von frei beweglichen Elektronen, die sich unter dem Einfluß eines elektrischen Feldes durch die fest an ihre Gitterplätze gebundenen Atomrümpfe bewegen. Dabei wird die Struktur des leitenden Stoffes nicht beeinflusst. In Abbildung 26 ist ein typisches Beispiel für die Ionenanordnung in einem Metall gezeigt. Gezeichnet sind nur die Atomrümpfe

Von  
Professor Dr. rer. nat. Siegfried Fellmann  
Fachbereich Naturwissenschaftliche Technik  
Fachhochschule Ostfriesland  
2970 Emden



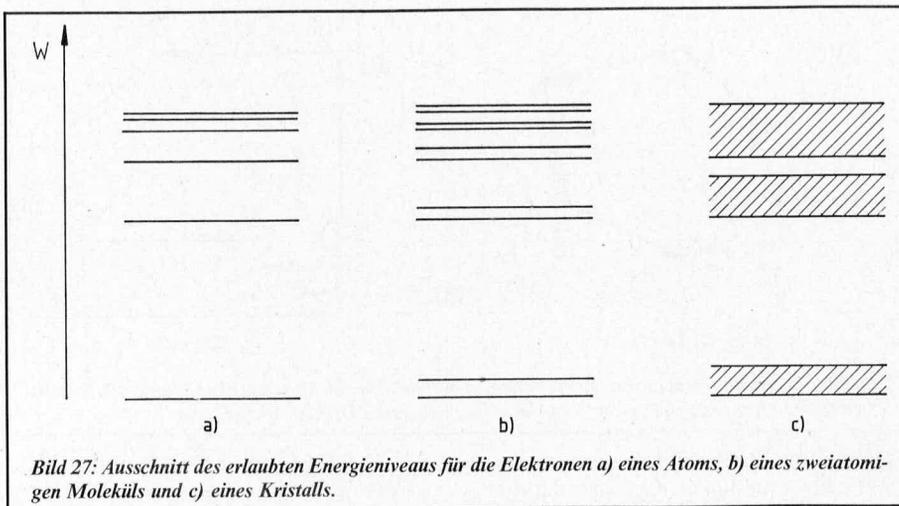


Bild 27: Ausschnitt des erlaubten Energieniveaus für die Elektronen a) eines Atoms, b) eines zweiatomigen Moleküls und c) eines Kristalls.

der Metallatome, während die frei beweglichen Elektronen zeichnerisch nicht dargestellt sind. Unter dieser Ordnungsstruktur versteht man das Metallgitter.

Jedes Atom besitzt gemäß seiner im Kern enthaltenen Protonenzahl eine positive Ladung, die im neutralen Zustand durch die um den Kern kreisenden negativen Ladungen der Elektronen kompensiert werden. Im neutralen Zustand stimmen daher Protonenzahl und Elektronenzahl überein. Das chemische Verhalten von Elementen wird durch die sogenannten Valenzelektronen charakterisiert. Die Valenzelektronen sind diejenigen, die die jeweiligen Kerne in den größten Abständen umkreisen. Gleichzeitig sind diese Valenzelektronen für die Bindung zu den benachbarten Atomen in einem Kristall verantwortlich (Valenzbindung). Diese Valenzelektronen können am leichtesten durch äußere Störungen wie z. B. mechanische Einwirkungen oder elektrische Felder beeinflusst werden.

Je nach Abstand vom Kern besitzt jedes Elektron eine ganz bestimmte Energie. Nach Bohr können die Elektronen eines Einzelatoms nur ganz bestimmte, diskrete Energien einnehmen. Dabei kann nach dem Pauli-Prinzip jeder energetische Zustand eines Atoms nur von einem einzigen Elektron besetzt werden. Diese möglichen Energiezustände eines Elektrons sind in Abbildung 27 a für ein Einzelatom dargestellt. Wenn dagegen ein zweiatomiges Molekül vorliegt, ergeben sich im Gegensatz zu einem Einzelatom für die erlaubten Energiezustände jeweils zwei eng beieinanderliegende Energieniveaus, so daß das Verhalten gemäß Abbildung 27 b resultiert. Bei einem kristallinen Verbund liegt schließlich eine äquidistante Kette von Atomen vor, wobei derart viele Einzelenergieniveaus existieren, daß diese nicht mehr voneinander zu unterscheiden sind. Diese extrem eng beieinanderliegenden Energien faßt man daher zu Energiebändern zusammen. Dieser Sachverhalt ist schließlich in Abbildung 27 c gezeigt. Danach bildet die Gesamtheit aller Energieniveaus eines Kristalls, die aus einer bestimmten Energiestufe eines Einzelatoms entstanden sind, ein Energieband. Dazwischen liegen nicht erlaubte Energiebereiche, die als verbotene Zonen anzusehen sind.

Für das Verständnis des Leitungsmechanismus sowie das unterschiedliche Verhalten

von Leitern, Isolatoren und Halbleitern genügt es, nur zwei Energiebänder mit der dazwischenliegenden verbotenen Zone gemäß Abbildung 28 zu berücksichtigen. Das untere Energieband heißt Valenzband und ist das höchste mit Elektronen vollbesetzte Energieband. Das höchste zulässige Energieniveau innerhalb des Valenzbandes wird mit  $W_V$  bezeichnet. Entsprechend gilt für das Leitungsband, daß es entweder keine Elektronen enthält oder daß nur ein Teil der möglichen Energiezustände innerhalb dieses Energiebandes besetzt sind. Dementsprechend ist das Leitungsband ein leeres oder nicht vollbesetztes Energieband. Dessen tiefstes zulässige Energieniveau wird mit  $W_L$  bezeichnet. Die Energiewerte zwischen diesen erlaubten Bändern sind für Elektronen verboten und bilden daher eine verbotene Zone, die man auch als Energielücke  $\Delta W = W_L - W_V$  bezeichnet.

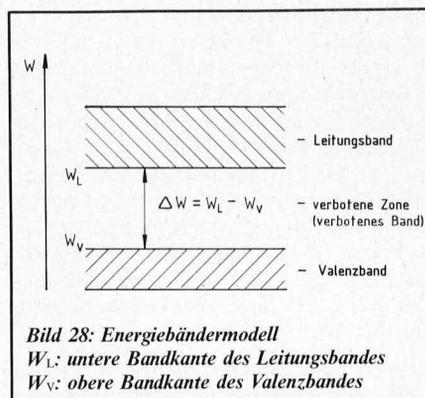


Bild 28: Energiebändermodell  
 $W_L$ : untere Bandkante des Leitungsbandes  
 $W_V$ : obere Bandkante des Valenzbandes

Mit dieser Vorstellung kann man eine Einteilung der Festkörper hinsichtlich ihrer Fähigkeit, den elektrischen Strom zu leiten, vornehmen. Hier sind die Besetzungsverhältnisse mit Elektronen in den beiden Energiebändern (Valenz- und Leitungsband) von Bedeutung. So kann ein vollständig besetztes Band zur Stromleitung nicht beitragen, da jede Beschleunigung eines Elektrons in einem elektrischen Feld zu einer Zunahme seiner Bewegungsenergie und damit zu einer Hebung des Elektrons auf ein höheres Energieniveau führen würde. Da alle Energieniveaus in einem Valenzband und somit auch die höher gelegenen innerhalb dieses Bandes bereits besetzt sind, würde eine solche Hebung zu einer Doppelbesetzung eines Energieniveaus führen. Dies ist nach dem Pauli-Prinzip verboten, da jedes

Energieniveau nur von einem einzigen Elektron besetzt sein darf. Bei der Untersuchung von Leitungsvorgängen in Festkörpern brauchen daher vollständig besetzte Energiebänder (Valenzbänder) nicht berücksichtigt zu werden. Man kann auch sagen, daß Elektronen, deren Energieniveaus in einem vollbesetzten Energieband liegen, nicht frei beweglich sind, so daß sie auch keine Leitfähigkeit verursachen können.

Anders liegen dagegen die Verhältnisse bei extrem hohen elektrischen Feldern. Dann besteht die Möglichkeit, daß Elektronen aus einem Valenzband in ein darüberliegendes leeres Band (Leitungsband) angehoben werden, womit sie frei beweglich werden und somit zum Stromfluß beitragen. Dieser Vorgang tritt jedoch nur bei extrem hohen Feldstärken im Inneren eines Festkörpers auf. Das Freisetzen von Elektronen im Inneren eines Festkörpers mit Hilfe sehr großer elektrischer Feldstärken heißt Zener-Effekt. Im allgemeinen reichen die Feldstärken für diesen Vorgang jedoch nicht aus.

Ein Leitungsband ist nie mit Elektronen voll besetzt, so daß Elektronen in diesem Energieband beim Beschleunigen durch ein elektrisches Feld immer freie Energiezustände vorfinden, die sie einnehmen können, ohne daß das Pauli-Prinzip verletzt wird. Die Elektronen des Leitungsbandes sind daher die Träger des elektrischen Stroms. Frei bewegliche Elektronen im Leitungsband stehen nur dann zur Verfügung, wenn dieses Band entweder nicht voll besetzt ist (einwertiges Metall; vgl. Abbildung 29 a) oder aber sich Valenz- und Leitungsband teilweise überlappen (zweiwertiges Metall; vgl. Abbildung 29 b). Für diese Fälle liegen metallische Leiter vor. In der Abbildung 29 a und b ist durch die doppelte Schraffur jeweils der Bereich des Leitungsbandes markiert, der durch freibewegliche Elektronen besetzt ist.

Bei einem Halbleiter sind Valenzband und Leitungsband durch einen bestimmten Energieabstand voneinander getrennt (vgl. Abbildung 29 c). Leitungselektronen erhält man nur dann, wenn den Valenzelektronen ein ausreichender Energiebetrag zugeführt wird, um den verbotenen Bereich zwischen beiden Bändern zu überspringen. Die Energiezufuhr kann dabei z. B., wie bereits erwähnt, mit Hilfe großer elektrischer Felder, durch thermische Anregung oder auch durch optische Anregung erfolgen. Bei den wichtigsten Halbleitermaterialien Germanium und Silizium liegen diese zu überwindenden Mindestenergieabstände bei 0,72 eV bzw. bei 1,1 eV. Da der Mittelwert der statistisch verteilten thermischen Energie der Elektronen bei Zimmertemperatur nur etwa 0,04 eV beträgt, ist die Wahrscheinlichkeit sehr gering, daß Elektronen ausreichend Energie aufnehmen können, um durch thermische Energiezufuhr diesen Energieabstand zu überwinden. Daher ist die Zahl der leitfähigen Elektronen in einem Halbleiter sehr viel geringer als in einem metallischen Leiter. Die Leitfähigkeit eines Halbleiters wächst mit zunehmender Temperatur, da dann immer mehr Elektronen aus dem Valenzband in das Leitungsband gelangen können. Umgekehrt nimmt die Leitfähigkeit von Halbleitern mit sinkender Temperatur ab, da dann immer weniger Elektronen aus

der thermischen Bewegung genügend Energie aufnehmen können, um das verbotene Band zu überspringen und damit ins Leitungsband zu gelangen.

In einem Isolator (vgl. Abbildung 29 d) ist schließlich der Abstand zwischen Valenzband und Leitungsband noch merkbar größer als in einem Halbleiter. Bei Diamant beträgt dieser Energieabstand z. B. etwa 7 eV. Substanzen, deren verbotenes Energieband  $\Delta W > 3$  eV ist, zählt man zu den Isolatoren. Bei diesen sind daher im Leitungsband überhaupt keine Elektronen vorhanden, da unter Normalbedingungen der erforderliche Energiebetrag von  $\Delta W > 3$  eV zur Überwindung der verbotenen Zone nicht zur Verfügung steht. So entspricht der Energie von 1 eV eine mittlere thermische Energie von 11 000 Grad. Dieses unterschiedliche Verhalten für Metalle, Halbleiter und Isolatoren mit den zugehörigen Energiebändermodellen ist in Abbildung 29 zusammengefaßt und vergleichend dargestellt.

Man kann diesen Sachverhalt auch wie folgt beschreiben: Alle festen Körper sind aus Atomen aufgebaut. Je nach dem Verhalten der Valenzelektronen dieser Atome kann man dementsprechend die festen Körper in verschiedene Typen einteilen. So gibt es Festkörper, bei denen die Valenzelektronen fest an ihre Atome gebunden sind. Solche festen Körper bestehen daher einfach aus neutralen Atomen. Beispielfhaft dafür können die Edelgase im kristallisierten Zustand stehen. Diese Art der Bindung heißt Van-Der-Waals-Bindung.

Dagegen teilen benachbarte Atome ihre Valenzelektronen in kovalenten Kristallgittern miteinander (z. B. Silizium oder Germanium). In diesem Falle spricht man dann von der kovalenten oder homöopolaren Bindung oder auch von Atombindung bzw. Elektronenpaarbindung. Die kovalente Bindung kommt durch Elektronen zustande, die den das Molekül aufbauenden Atomen gemeinsam gehören.

Außerdem gibt es noch die heteropolare Bindung oder aber auch die Ionenbindung. Diese kommt dadurch zustande, daß sich zwei unterschiedlich geladene Ionen anziehen wie etwa das positive Na-Ion und das negative Cl-Ion im NaCl-Kristall (Kochsalz). Die primär neutralen Na- und Cl-Atome tauschen Elektronen aus, wobei sie besonders stabile Edelgaskonfigurationen ihrer Atomhüllen erreichen (abgeschlossene Schalen!). Da dabei das Na-Atom ein Elek-

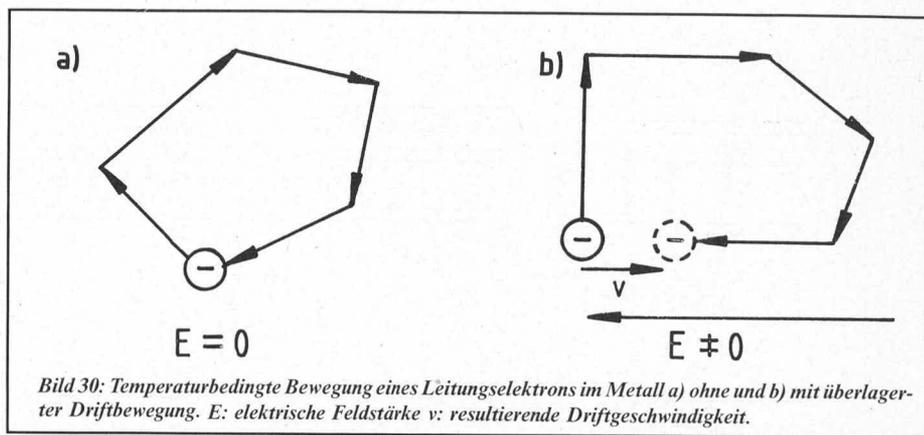


Bild 30: Temperaturbedingte Bewegung eines Leitungselektrons im Metall a) ohne und b) mit überlagerter Driftbewegung. E: elektrische Feldstärke v: resultierende Driftgeschwindigkeit.

tron abgibt und das Cl-Atom ein zusätzliches Elektron aufnimmt, ergibt sich die oben beschriebene unterschiedliche Ladung der beteiligten Ionen. Daraus resultiert eine anziehende Coulombkraft für die beiden Ionen (Ionenbindung).

Schließlich sind in Metallen die Valenzelektronen nicht mehr an irgendein bestimmtes Atom gebunden, sondern sie gehören zu dem Kristallgitter als Ganzes und können sich somit völlig frei in diesem bewegen. Dabei spalten die Metallatome je nach ihrer Wertigkeit ein oder mehrere Elektronen ab, die sich dann wie die Teilchen eines Gases zwischen den fixierten positiven Atomrümpfen bewegen. Daher spricht man in diesem Fall auch von einem Elektronengas, wobei die frei beweglichen Elektronen auch als Leitungselektronen bezeichnet werden. Die Leitungselektronen gehören daher den resultierenden positiven Metallionen gemeinsam an und schirmen die abstoßende Coulombkraft der Ionen ab, woraus sich der Zusammenhalt des Metallgitters ergibt (metallische Bindung). Man kann auch sagen, daß die Gesamtheit der Metallionen in das Elektronengas eingebettet ist und von diesem zusammengehalten wird. Dabei ergibt sich für die positiven Metallionen eine regelmäßige Raumstruktur – das Kristallgitter (vgl. auch Abbildung 26). Die Beweglichkeit der Leitungselektronen ist außergewöhnlich groß und zudem energiereich, so daß sie in der Lage sind, sich überall im Metall zu bewegen. Ihre mittlere Geschwindigkeit in Metallen liegt in der Größenordnung von  $10^6$  m/s.

Bei dieser schnellen Bewegung der Leitungselektronen innerhalb der Gitterstruktur der Atomrümpfe gibt es Zusammenstöße der Elektronen untereinander und mit den Gitter-

tionen. Nach jedem Stoß fliegen die Elektronen mit veränderter Geschwindigkeit und Richtung weiter. Diese temperaturbedingte Bewegung der Elektronen führt jedoch noch zu keinem Strom, da diese Elektronenbewegung statistisch über eine bestimmte Zeit betrachtet als Kreisprozeß anzusehen ist. Dieser Sachverhalt ist in Abbildung 30 angedeutet. Wenn dagegen ein elektrisches Feld E angelegt wird, dann tritt zusätzlich zu der temperaturbedingten statistischen Bewegung eine gerichtete Bewegung der Elektronen auf. Daraus resultiert eine Driftbewegung des gesamten Elektronengases innerhalb der Metallgitterrümpfe. Der elektrische Strom in einem Leiter ist daher auf die Driftbewegung von freien Elektronen, die unter der Wirkung eines elektrischen Feldes erfolgt, zurückzuführen. Die typische Driftgeschwindigkeit v der Leitungselektronen in Metallen beträgt etwa 0,1 mm/s.

Da auch die Atomrümpfe des Gitters temperaturbedingt Bewegungen (Schwingungen) um ihre Ruhelage ausführen, werden die Elektronen bei ihrer Driftbewegung mit diesen schwingenden Atomrümpfen zusammenstoßen, so daß der gerichtete Elektronenfluß behindert wird. Dadurch kommt der elektrische Widerstand  $R \neq 0$  von metallischen Normleitern zustande. Da mit zunehmender Temperatur einmal die Gitterbausteine Schwingungen ausführen, deren Frequenz und Amplitude größer wird, und zum anderen die temperaturbedingte ungeordnete Bewegung der Elektronen zur Erhöhung ihrer mittleren Geschwindigkeit führt, nimmt die Wahrscheinlichkeit für Zusammenstöße der Leitungselektronen untereinander und mit den Gitterbausteinen mit wachsender Temperatur ebenfalls zu. Daraus resultiert eine Zunahme des elektrischen Widerstandes mit wachsender Temperatur. Umgekehrtes Verhalten zeigt sich bei sinkender Temperatur. Da oberhalb von  $T = 0$  K immer temperaturbedingte Bewegungen der Elektronen und Gitterbausteine vorliegen, wird verständlich, daß aufgrund dieser Deutung der elektrische Widerstand von metallischen Leitern bestenfalls erst bei  $T = 0$  K verschwinden kann. Aufgrund dieses Bildes wird allerdings nur eine stetige Abnahme des elektrischen Widerstandes mit sinkender Temperatur verständlich, keinesfalls aber das abrupte Verschwinden des elektrischen Widerstandes oberhalb von  $T = 0$  K, wie es nämlich bei Supraleitern vorliegt. Daher muß zur Deutung der Supraleitung ein anderes Bild herangezogen werden.

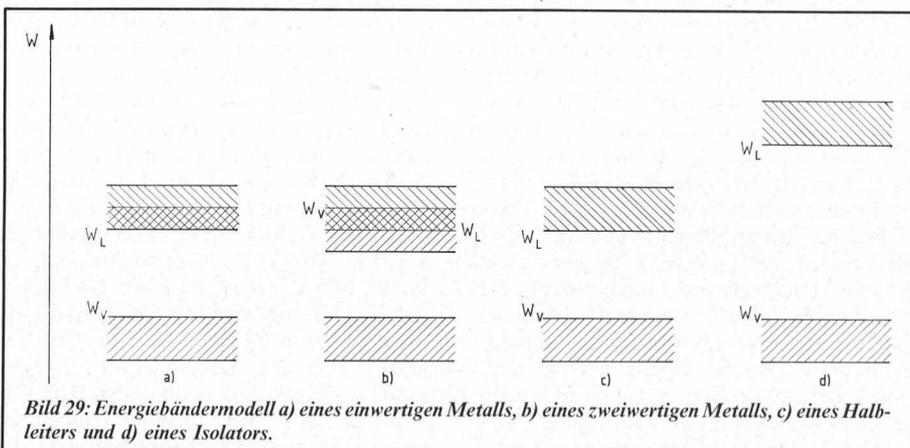


Bild 29: Energiebändermodell a) eines einwertigen Metalls, b) eines zweiwertigen Metalls, c) eines Halbleiters und d) eines Isolators.

# ELV-IC-Tester



**Der ELV-IC-Tester ermöglicht den logischen Funktionstest fast aller CMOS- und TTL-Standard-Bauteile, die in einem bis zu 20poligen DIL-Gehäuse untergebracht sind. Der IC-Tester ist als Einsteckkarte für den IBM-PC-XT/AT und Kompatible konzipiert. Außerdem wird in diesem Artikel das Serviceprogramm vorgestellt, um die über 500 in Frage kommenden Standardbauteile überprüfen zu können.**

## Allgemeines

Oft besteht der Wunsch, neue sowie gebrauchte und ausgelötete Standard-ICs auf ihre Funktionsfähigkeit hin zu überprüfen. Dieses ist bei einfachen Gatterschaltungen noch ohne großen Aufwand möglich. Sobald aber die Funktionsweise des zu überprüfenden ICs komplexer wird, ist das Überprüfen dieser Schaltung mit einfachen Mitteln wie Schalter und Leuchtdioden nicht mehr ohne beträchtlichen Aufwand durchzuführen. In solchen Fällen muß man entweder das betreffende IC aussortieren oder darauf hoffen, daß der Baustein funktionsfähig ist. Dies kann evtl. beim Einsatz in einem Mikrocomputersystem unangenehme Folgen nach sich ziehen.

Um eine möglichst schnelle und einfache Überprüfung der Funktionsweise dieser Standardbauteile zu gewährleisten, wurde der ELV-IC-Tester entwickelt. Es können fast alle Bausteine der Standard-TTL- und CMOS-Reihe mit einem bis zu 20poligen Dual-Inline-Gehäuse getestet werden. Bei der Überprüfung von 10, 14, 16 und 18poligen ICs wird ebenfalls die 20polige Testfassung benutzt. Hierbei werden alle ICs in gleicher Richtung und bündig mit Pin 10 von der 20poligen Textool-Fassung eingesetzt. Die übrigen Pins der Testfassung bleiben in diesem Fall ungenutzt. Natürlich eignet sich das System auch für die artverwandten LS-, HC- und HCT-Familien. Ausgenommen wurden bei dem vorliegenden System nur die spannungsgesteuerten Oszillatoren und PLL-Bausteine z. B. CD 4046, 74624 . . . , die den Aufwand bei dem vorliegenden Gerät extrem erhöht hätten, da diese Bausteine

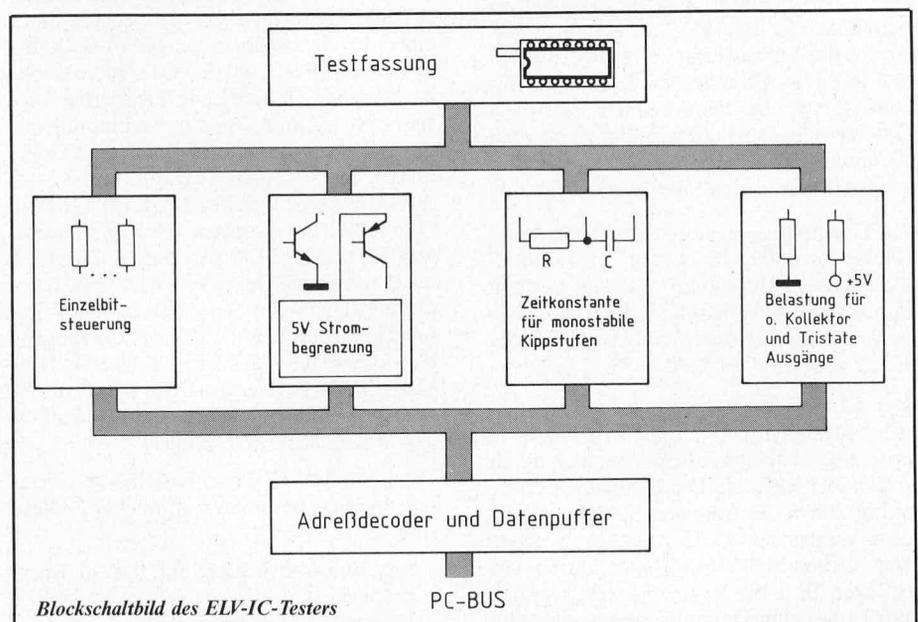
mehrere Versorgungsspannungen und Anlogeingangssignale benötigen. Für die Überprüfung von monostabilen Kippstufen ist eine spezielle Ansteuerschaltung entwickelt worden. Diese legt die erforderlichen Widerstände und Kondensatoren für die Zeitkonstanten an die dafür vorgesehenen Pins. Der IC-Tester prüft in vollem Umfang das logische Verhalten der zu testenden Bausteine.

Bei den verschiedenen ICs können die Anschlußpins unterschiedliche Bedeutung haben:

- Spannungsversorgung + 5 V

- Spannungsversorgung Masse
- logischer Ausgang „H“ oder „L“
- Open-Collector-Ausgang
- Tristate-Ausgang
- Daten- oder Steuereingang.

Diese Zustände können mit Hilfe der vorliegenden Schaltung simuliert werden. Das Suchen nach einem bestimmten IC wurde in der Software nicht berücksichtigt, da die Spannungsversorgung bei gleichem Gehäuse an verschiedenen Pins anliegen kann. Dieses könnte beim Suchvorgang ein intaktes IC beim Anlegen der „falschen“ Versorgungsspannung zerstören.



Blockschaltbild des ELV-IC-Testers

PC-BUS

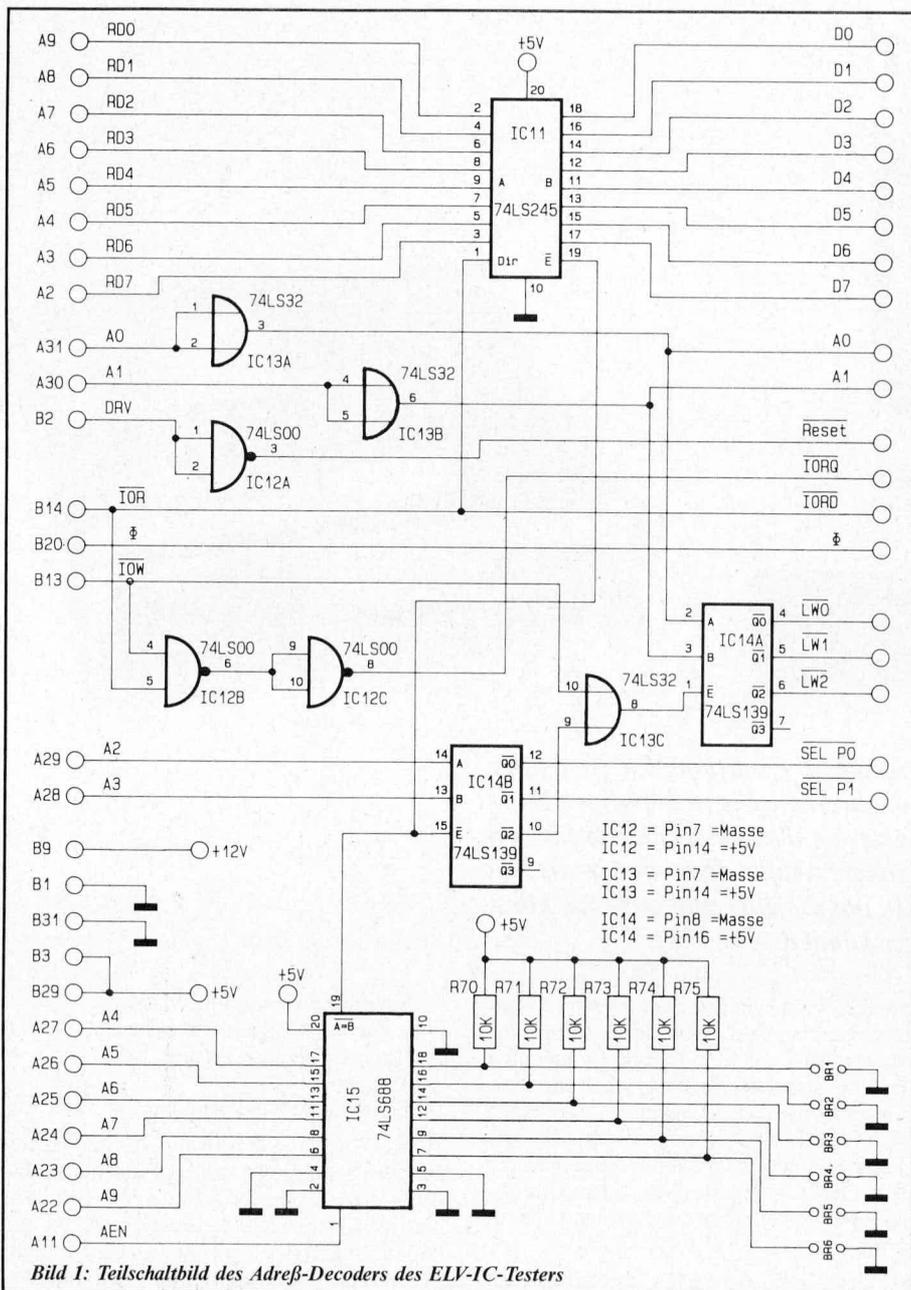


Bild 1: Teilschaltbild des Adreß-Decoders des ELV-IC-Testers

### Zur Schaltung

Die Schaltung des ELV-IC-Testers besteht aus 2 Teilen. Bild 1 zeigt den kompletten Adreßdecoder und Bild 2 die einzelnen Stufen für die Ansteuerung des zu überprüfenden ICs. Der Adreßdecoder hat im wesentlichen 2 Aufgaben. Zum einen müssen die 8 Datenleitungen gepuffert, und zum anderen die unten beschriebenen Speicher und Puffer selektiert bzw. angesteuert werden.

Die Datenpufferung übernimmt der bidirektionale Bustreiber IC 11 vom Typ 74LS245. Die Datenrichtungsumschaltung erfolgt durch die I/O-Leseleitung IOR. Freigegeben wird der Treiber durch den Adreßdecoder IC 15 vom Typ 74LS688.

Der ELV-IC-Tester benötigt einen zusammenhängenden I/O-Adreßbereich von 16 Byte. Die einzelnen Adressen werden durch A 0 bis A 3 selektiert. Die Grobadressierung erfolgt durch die Adressen A 4 bis A 9, die dem Vergleich IC 15 zugeführt werden. Der Grobadreßbereich kann durch die Brücken Br 1 bis Br 6 eingestellt werden. Wird die eingestellte Grobadresse vom

Steuerprozessor angesprochen, so erscheint am Ausgang des 8-Bit-Vergleichers IC 15 (Pin 19) ein „L“-Pegel. In Abhängigkeit von A 2 und A 3 des PC-Busses wechselt dann einer der 4 Ausgänge von IC 14 B Q0 bis Q3 auf „L“-Pegel. Q0 und Q1 steuern direkt die beiden in der Schaltung integrierten Bausteine IC 1, 2 an. Q2 gibt in Verbindung mit der I/O-Schreibleitung IOW über das Oder-Gatter IC 13 C einen Ausgang von IC 14 A (74LS139) frei. Der Pegel von Q0, Q1 oder Q2 wechselt entsprechend der Kombination von A 0 und A 1. Die Adressen A 0 und A 1 werden über die Oder-Gatter IC 13 A, B gepuffert. Die Reset-Steuersleitung DRV gelangt invertiert über IC 12 A auf die Eingänge M1 von IC 1, 2. Mit Hilfe der NAND-Gatter IC 12 B, C wird aus den I/O-Schreib- und Leseleitungen IOR und IOW das I/O-Zugriffssignal IORQ erzeugt.

Der komplette IC-Tester besteht aus mehreren logisch trennbaren Einheiten. Diese sind:

- Spannungsversorgung für das zu überprüfende IC
- Vorgabe der logischen Zustände

Tabelle 1: Anschluß der Erweiterungssteckplätze beim IBM-PC

Signalname	Stiftbezeichnung		Signalname
	Lieferbahnseite	Bestückungsseite	
GND	B01	A01	I/O CHECK
Reset	B02	A02	D7
+5V	B03	A03	D6
IRQ2	B04	A04	D5
-5V	B05	A05	D4
DREQ2	B06	A06	D3
-12V	B07	A07	D2
reserviert	B08	A08	D1
+12V	B09	A09	D0
GND	B10	A10	I/O CHRDY
MEMW	B11	A11	AEN
MEMR	B12	A12	A19
IOWC	B13	A13	A18
IORC	B14	A14	A17
DACK3	B15	A15	A16
DREQ3	B16	A16	A15
DACK1	B17	A17	A14
DREQ1	B18	A18	A13
DACK0	B19	A19	A12
CLK	B20	A20	A11
IRQ7	B21	A21	A10
IRQ6	B22	A22	A9
IRQ5	B23	A23	A8
IRQ4	B24	A24	A7
IRQ3	B25	A25	A6
DACK2	B26	A26	A5
TC	B27	A27	A4
ALE	B28	A28	A3
+5V	B29	A29	A2
OSC	B30	A30	A1
GND	B31	A31	A0

- RC-Kombination für monostabile Kippstufen
- Belastungsschaltung für die Treiberausgänge.

Die positive Spannungsversorgung für die zu überprüfenden ICs wird über den Decoder IC 4 (74LS138), R 29 bis R 40 und T 5 bis T 10 auf die jeweils dazugehörigen Pins der Textool-Fassung gegeben. Ist eine der 6 Versorgungsspannungsleitungen für das zu testende IC geschaltet, aktiviert eine der Dioden D 1 bis D 6 über R 41 bis R 43 und T 11 die rote Leuchtdiode neben der Textool-Fassung. Solange diese Leuchtdiode geschaltet ist, sollte das zu testende IC weder entnommen noch eingesteckt werden, um Zerstörungen zu vermeiden, die dann durch die unregelmäßige Spannungsführung entstehen könnten. Die positive Versorgungsspannung (+ 5 V) wird über den Spannungsregler IC 3 (78L05) bereitgestellt. Diese Maßnahme wurde getroffen, um bei einem evtl. Kurzschluß des zu überprüfenden ICs nicht die interne 5 V-Spannungsversorgung des Computers zusammenbrechen zu lassen. Das könnte unabsehbare Folgen für das Netzteil des PCs haben. Der Spannungsregler IC 3 begrenzt somit den maximal fließenden Kurzschlußstrom auf ca. 100 mA. Die negative Versorgungsspannung, also Masse für das zu testende IC, wird über einen der 4 Transistoren T 1 bis T 4 auf den dazugehörigen Pin der Testfassung geschaltet.

Die beiden Bausteine IC 1 und IC 2 vom Typ Z 80 - PIO stellen das Herzstück der Schaltung dar. Diese eigentlich zur Z 80-Familie gehörenden Bausteine haben den großen Vorteil, daß die I/O-Leitungen bitweise als Ein- oder Ausgänge geschaltet werden können. Dadurch ist es möglich, z. B. Pin 1 der Textool-Fassung als Eingang und Pin 2 als Ausgang usw. zu schalten, was auch sehr oft benötigt wird. Die Strombegrenzungswiderstände R 1 bis R 20 sind zum Schutz der PIO-



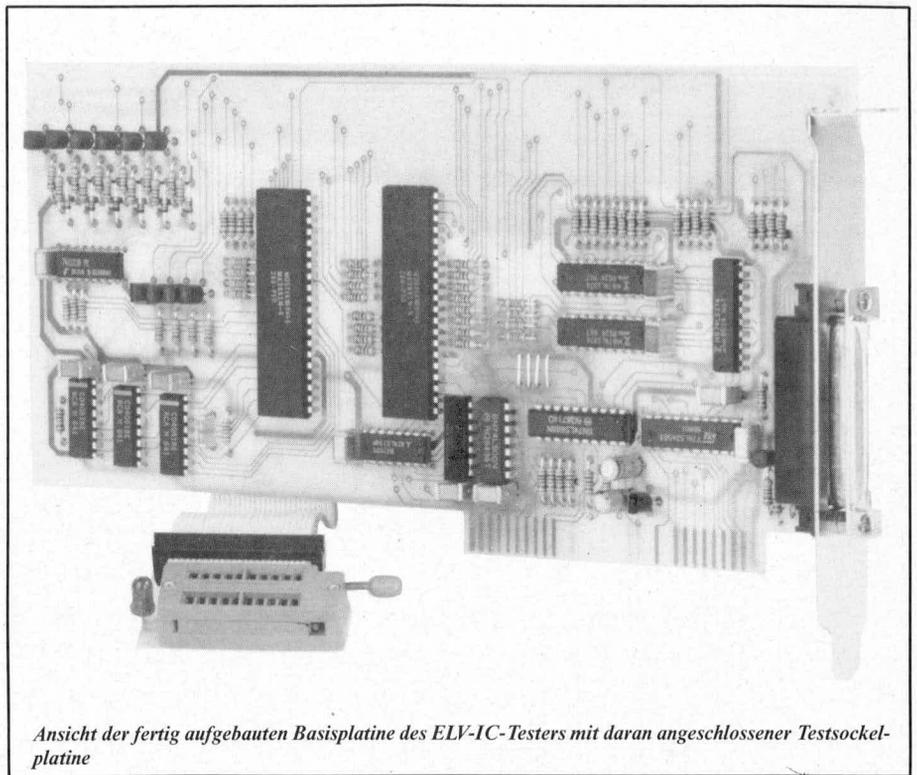
Bausteine bei einem etwaigen Kurzschluß des zu testenden ICs vorgesehen.

Zum Test von monostabilen Kippstufen können die verschiedenen RC-Kombinationen mit Hilfe der Analogschaltung IC 5 bis 7 (CD 4051) auf die zugehörigen Pins des zu testenden monostabilen Bausteins geschaltet werden. Die Werte für C 3 und R 47, die die Zeitkonstante festlegen, wurden so gewählt, daß alle Bausteine damit überprüft werden können. Mit der Steuerleitung INH, die jeweils an Pin 6 der 3 ICs angeschlossen ist, kann die RC-Kombination zugeschaltet werden. Mit den 3 Auswahlleitungen an Pin 9, 10 und 11 wird eine der 7 Schaltungsarten für die RC-Kombination ausgewählt.

Bei der Überprüfung von Open-Collector- und Tristate-Ausgängen ist es erforderlich, diese mit einem hochohmigen Widerstand zu belasten. Dabei werden die Ausgänge der Zwischenspeicher IC 8 bis 10 über den Ausgangs-Freigabe-Eingang Pin 1 ( $\overline{OE}$ ) gesteuert. Ist diese Steuerleitung auf „L“-Pegel, so sind die 20 Ausgänge von IC 8 bis IC 10 je nach vorher geladenem Datenwort auf „H“- oder „L“-Pegel. Dieser logische Pegel wird über die Belastungswiderstände R 49 bis R 68 auf die dazugehörigen Pins der Testfassung gegeben. Die Reaktion des zu testenden ICs wird dann über R 1 bis R 20 an den Eingängen der beiden PIO-Bausteine abgefragt.

### Die Anwendersoftware

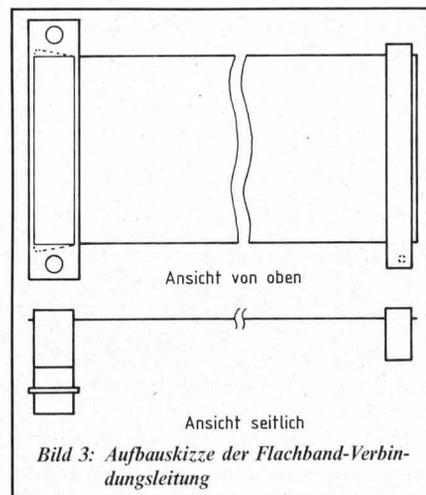
Die umfangreiche Anwendersoftware besteht aus mehreren Dateien und wird auf einer  $5\frac{1}{4}$ " 360 K Standard-Diskette geliefert. Unter anderem befindet sich auf dieser Diskette eine Datei mit dem Namen „READ.ME“, die eine komplette Beschreibung der Programme und die einer Installation auf einer ggf. vorhandenen Festplatte erläutert. Diese Datei kann entweder mit „TYPE READ.ME“ auf den Bildschirm geschrieben werden oder über „COPY READ.ME LPT 1:“ auf dem Drucker ausgegeben werden. Die komplette Testsoftware ist menügeführt und damit sehr einfach zu handhaben. Zum Starten dieser Software muß „ICTEST“ und „Return“ eingegeben werden. Alles weitere ist dann selbsterklärend. Durch Drücken der Taste F 1 kann jederzeit eine Hilfmeldung angefordert werden. Die Software ist auf allen Standardkarten wie z. B. Monochrom, Herkules oder EGA lauffähig. Beim Start des Programms sucht sich die Software automatisch die installierte Karte heraus. Die I/O-Basisadresse für den IC-Tester liegt standardmäßig bei 300 H. Soll die Karte in einem anderen Bereich angesprochen werden, so ist das Programm mit „ICTEST Adresse“ und „Return“ aufzurufen. Die Adresse ist hier immer in hexadezimaler Form einzugeben. Das gesamte Softwarepaket verfügt über die Möglichkeit, über 500 verschiedene IC-Typen auszuwählen und zu testen. Ferner können auch noch bisher nicht erfaßte ICs zum Testen eingegeben werden. Dazu ist in dem File „READ.ME“ eine genaue Anleitung gegeben. Die Software funktioniert auch ohne angeschlossene Hardware. In diesem Fall kann das Softwarepaket als Nachschlagewerk für die IC-Anschlüsse dienen, da zu jedem IC, das getestet werden kann, auch ein Anschlußbild auf den Bildschirm erscheint.



### Zum Nachbau

Der komplette ELV-IC-Tester besteht aus 2 Platinen, die über ein 25poliges Flachbandkabel und Steckverbinder gekoppelt sind. Der Hauptteil der Schaltung ist auf einer 235 x 110 mm großen doppelseitig durchkontaktierten Leiterplatte untergebracht. An der Busrückwand dieser Platine befindet sich eine 25polige Submin D Printbuchse, die zur Verbindung mit der 46 x 24 mm großen Platine zur Aufnahme des Textool-Sockels dient.

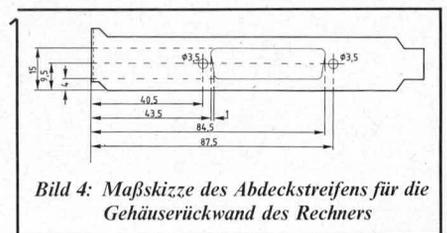
Die Bestückung der Platine wird in gewohnter Weise vorgenommen. Zunächst sind die passiven und anschließend die aktiven Bauelemente anhand der Bestückungspläne auf die Platinen zu setzen und zu verlöten. Da sämtliche Bauelemente auf den beiden Platinen untergebracht sind, ist der Aufbau recht einfach durchzuführen. Es ist darauf zu achten, daß die Bauteile möglichst niedrig auf die Platine gesetzt werden, um eine spätere Berührung mit der im nächsten Slot steckenden Platine zu vermeiden. Auf der kleinen Platine befinden sich lediglich 3 Bauteile. Dieses sind St 1, Bu 1 und die Leucht-



diode D 7. Wegen der kleinen Abmessung dieser Platine wurde auf ein Gehäuse dafür verzichtet.

Als letzter Arbeitsschritt muß die Verbindung der beiden Platinen mit dem 25poligen Flachbandkabel hergestellt werden. Dazu sind der 25polige Submin D-Stecker mit Flachbandkabelanschluß und der 26polige doppelreihige Pfostenfeldsteckverbinder mit Flachbandkabelanschluß an das Kabel anzuquetschen (Bild 3).

In der Gehäuserückwand des Rechners wird ein Abdeckstreifen an der Stelle entfernt, an der die Hauptplatine des ELV-IC-Testers eingesteckt werden soll. Die Bearbeitung dieses Abdeckstreifens wird entsprechend der Abbildung 4 vorgenommen, wobei die Schnittkanten sorgfältig zu entgraten sind.



Bevor der ELV-IC-Tester seiner Bestimmung übergeben werden kann, müssen noch die Brücken für die I/O-Ansprechadresse eingelötet werden. Eine nähere Beschreibung der noch zur Verfügung stehenden I/O-Adreßbereiche finden Sie in Tabelle II.

Zur Erläuterung der Einstellung des I/O-Adreßdecoders, bestehend aus Br 1 bis Br 6 wollen wir die Adresse 300 H als Basisadresse für den ELV-IC-Tester vorsehen. Da das System einen durchgängigen I/O-Adreßbereich von 16 Byte benötigt, muß nur einmal die I/O-Basisadresse decodiert werden. Die Basisadresse muß immer eine durch 16 teilbare ganze Zahl sein. Daraus ergibt sich für die letzte Stelle der Adresse eine 0. Die erste Ziffer der I/O-Adresse kann maximal eine 3

**Tabelle 2: Der E/A-Adreßbereich des IBM-PC**

E/A-Adresse	Funktion
000H..00FH	DMA-Controller (8237A-5)
020H..021H	Interrupt-Controller (8259-5)
040H..043H	Zeitgeber/Zähler (8253-5)
060H..063H	Systemregister (8255A-5)
080H..083H	DMA-Seitenregister (74 LS 670)
0A0H..0BFH	NMI-Interrupt-Register
0C0H..0FFH	Reserviert
100H..1FFH	Frontplattencontroller
200H..20FH	Für Computerspiele (Game Port)
210H..217H	Erweiterungseinheit
220H..24FH	Reserviert
278H..27FH	Zweiter Drucker
2F8H..2FFH	Zweite serielle Schnittstelle
300H..31FH	Prototypkarte
320H..32FH	Festplatten-Controller
378H..37FH	Druckerschnittstelle (parallel)
380H..38FH	SDLC-Schnittstelle
3A0H..3AFH	Reserviert
3B0H..3BFH	Monochromadapter und Drucker
3C0H..3CFH	Reserviert
3D0H..3DFH	Farbgrafikkarte
3E0H..3E7H	Reserviert
3F0H..3F7H	Floppy-Controller
3F8H..3FFH	Serielle Schnittstelle

sein, da der 16 Bit I/O-Adreßraum des IBM-PC nur mit 10 Bit, d. h. maximal 400 H decodiert ist. Diese 3 wird binär mit den Brücken Br 5 und Br 6 eingestellt. Die zweite Ziffer, die einen Wert von 0 bis F haben kann, wird binär über Br 1 bis Br 4 eingestellt. In unserem Beispiel für die I/O-Basisadresse 300 H müssen also die Brücken Br 1 bis Br 4 mit einer Drahtbrücke geschlossen sein und die Brücken Br 5 und Br 6 bleiben offen. Tabelle III zeigt die Vergabe der 16 I/O-Adressen an die verschiedenen Bausteine.

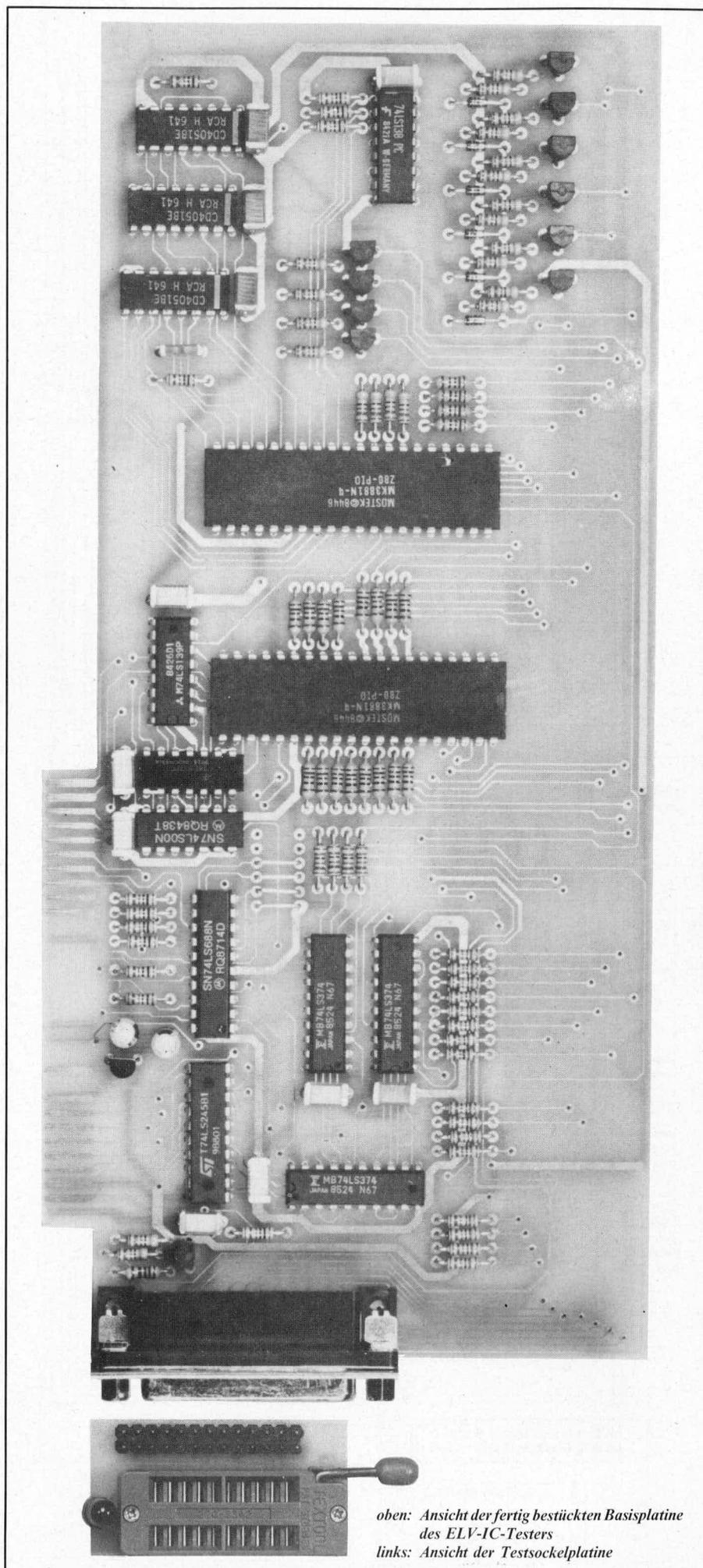
**Tabelle III**

Basisadresse	I/O-Baustein
+ 0	PIO 1 Port A Daten
+ 1	PIO 1 Port B Daten
+ 2	PIO 1 Port A Steuerung
+ 3	PIO 1 Port B Steuerung
+ 4	PIO 2 Port A Daten
+ 5	PIO 2 Port B Daten
+ 6	PIO 2 Port A Steuerung
+ 7	PIO 2 Port B Steuerung
+ 8	Latch 0 Belastung Pin 1...8
+ 9	Latch 1 Belastung Pin 9...12
+ A	Latch 2 Belastung Pin 13...20
+ B	
+ C	
+ D	
+ E	
+ F	

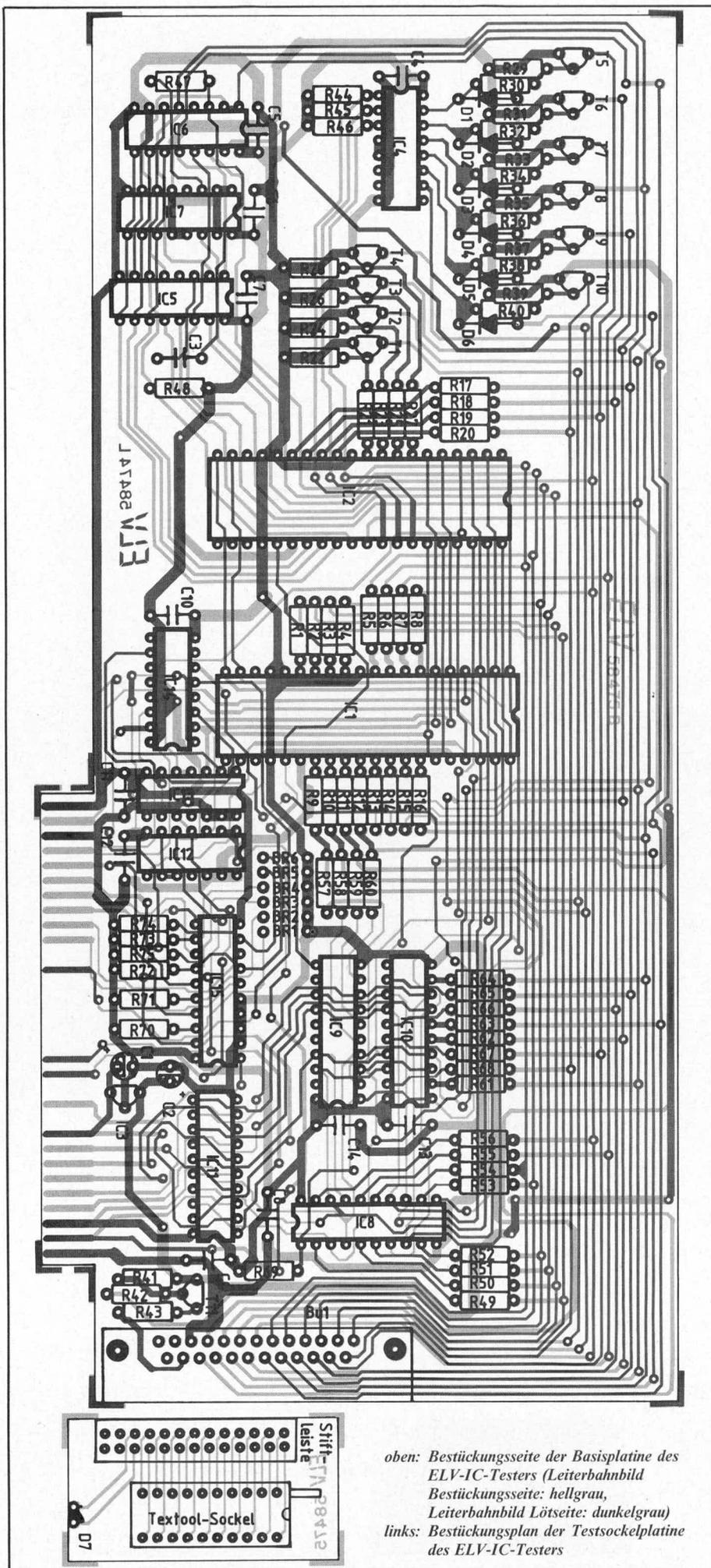
Ist der Aufbau noch einmal sorgfältig überprüft worden, steht der Anwendung dieses universellen IC-Testers nichts mehr im Wege.

### Bedienung und Funktion

Nachdem die Einsteckkarte in den dafür vorgesehenen Slot des PC eingesteckt und die kleine Platine mit dem Flachbandkabel angeschlossen wurde, ist das Gehäuse des PCs wieder zu schließen. Sobald der Rechner eingeschaltet und das Betriebssystem geladen wurde, kann das Serviceprogramm mit der Eingabe von „ICTEST“ und „Return“ geladen und gestartet werden. Die wei-

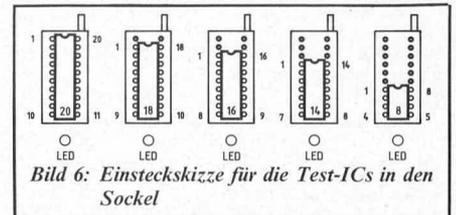


oben: Ansicht der fertig bestückten Basisplatte des ELV-IC-Testers  
links: Ansicht der Testsockelplatine



tere Steuerung des Betriebsablaufes übernimmt dann das Programm.

Die zu testenden ICs werden grundsätzlich mit der Einkerbung zum Hebelarm der Textool-Fassung hin eingesteckt. Haben die zu testenden ICs weniger Pins als 20, so werden diese bündig wie in Bild 6 dargestellt in Richtung Leuchtdiode eingesetzt.



Die zu testenden ICs sollten nur eingesetzt bzw. herausgenommen werden, wenn die Leuchtdiode erloschen ist, um eine Zerstörung dieses ICs zu vermeiden. Das Programm gibt Auskunft über die Funktionsfähigkeit des zu testenden ICs. Sollten nur Teile dieses ICs funktionieren, so wird dieses mit der entsprechenden Meldung ausgegeben.

Die Software ist modular strukturiert aufgebaut. Das eigentliche Testprogramm ist ein Interpreter, der sich die Daten der einzelnen ICs aus verschiedenen Datenfiles holt. Neue ICs, die auf dem Markt erscheinen, können somit auch nachgetragen werden. Eine genaue Anleitung zu diesem Thema ist in dem File „READ.ME“ ausführlich enthalten. Um die Ladezeit von der Diskette etwas zu verkürzen, sollte das komplette Programmpaket auf eine Festplatte übertragen und von dort aus gestartet werden.

### Stückliste: IC Prüfgerät

#### Widerstände

220 $\Omega$ .....	R 1-R 20, R 43
4,7 k $\Omega$ .....	R 21-R 42
10 k $\Omega$ .....	R 44-R 46, R 48, R 69-R 75
22 k $\Omega$ .....	R 49-R 68
47 k $\Omega$ .....	R 47

#### Kondensatoren

100 nF .....	C 4-C 14
680 nF .....	C 3
10 $\mu$ F/16 V .....	C 1, C 2

#### Halbleiter

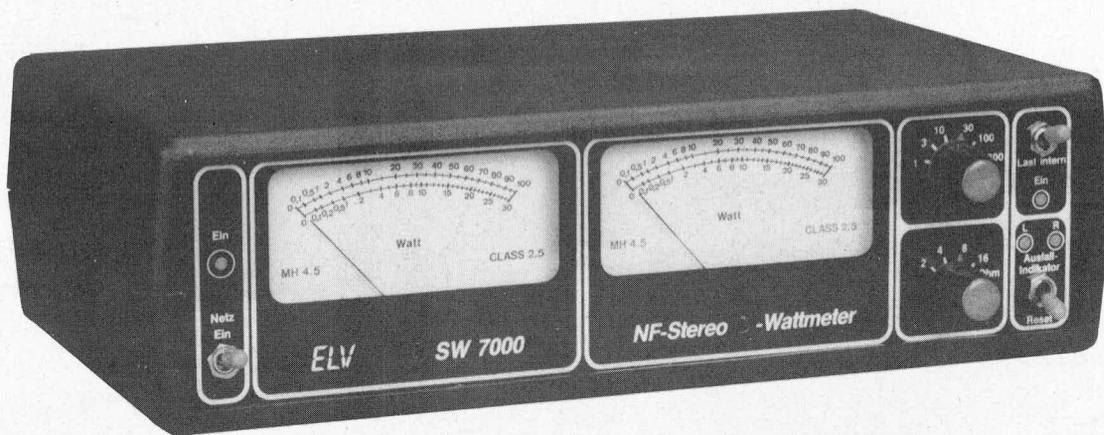
Z 80-PIO .....	IC 1, IC 2
CD 4051 .....	IC 5-IC 7
74LS00 .....	IC 12
74LS32 .....	IC 13
74LS138 .....	IC 4
74LS139 .....	IC 14
74LS245 .....	IC 11
74LS374 .....	IC 8-IC 10
74LS688 .....	IC 15
78L05 .....	IC 3
BC548 .....	T 1-T 4
BC 558 .....	T 5-T 11
1N4148 .....	D 1-D 6
LED, 5 mm, rot .....	D 7

#### Sonstiges

- 1 20poliger Textool-Sockel
- 1 Pfostenverbinder, 2reihig, 26polig
- 1 Stiftleiste, 2reihig, 26polig
- 1 Sub-D-Stecker, 25polig, für Flachbandkabel
- 1 Sub-D-Buchse, 25polig, Print
- 0,5 m 25polige Flachbandleitung, RM 1,27
- 1 Abdeckstreifen

# ELV-Serie 7000:

## Stereo-Analog-Wattmeter SW 7000



*Im Design der ELV-Serie 7000 wurde im ELV-Labor ein komfortables Wattmeter mit zwei großen, gut ablesbaren Analog-Zeiger-Instrumenten entwickelt, das zum Testen von NF-Verstärkern im Leistungsbereich zwischen 1 Watt und 300 Watt ausgelegt ist. Neben dem großen Leistungsbereich zeichnet sich das Gerät durch zahlreiche weitere Features aus, die den Einsatz sowohl im anspruchsvollen Hobbybereich als auch in professionellen Werkstätten ermöglicht.*

### Allgemeines

Für die Überprüfung von NF-Leistungsverstärkern spielt der Belastungstest eine wesentliche Rolle. Hierzu wird ein möglichst rein ohmscher Lastwiderstand, der der Nenn-Anschlußimpedanz entspricht, an den Verstärkerausgang gelegt und parallel dazu die Leistung gemessen.

Es ist sinnvoll, bei Stereo-Leistungsverstärkern beide Endstufen gleichzeitig zu überprüfen, um ggf. thermische oder sonstige Beeinflussungen feststellen zu können.

Des Weiteren ist eine Überprüfung des Leistungsverstärkers bei angeschlossenen Lautsprecherboxen, also ohne die ohmschen Belastungswiderstände, empfehlenswert, um das reale Zusammenspiel von Verstärker-Lautsprecher zu prüfen, wobei die Ausgangsleistung wiederum über ein entsprechendes Anzeigeelement abgelesen wird.

Zu guter Letzt können bei NF-Verstärkern kurze, in unregelmäßigen Abständen auftretende Aussetzer das Klangerlebnis trüben. Diese Aussetzer beruhen auf unterschiedlichsten Defekten, wie z. B. Wackelkontakte, thermische Aussetzer, Spannungseinbrüche usw. Hier bietet sich ein mit dem Leistungsmesser gekoppelter Aussetz-Indikator an.

Vorstehend aufgeführte Tests sind mit dem ELV-Stereo-Analog-Wattmeter SW 7000 durchführbar.

### Bedienung und Funktion

Auf der Geräterückseite befinden sich vier Lautsprecherbuchsen. Zwei davon stellen die Eingänge für den linken und rechten Kanal des zu testenden Stereoverstärkers dar. Selbstverständlich können auch Monoendstufen überprüft werden, wobei dann der zweite Kanal frei bleibt.

An die beiden anderen Lautsprecherbuchsen können zwei Lautsprecherboxen oder, falls gewünscht, auch externe Lastwiderstände angeschlossen werden.

Mit dem rechts auf der Frontplatte angeordneten 3stelligen Kippschalter „Last“ kann der zu testende Verstärker wahlweise an die internen Belastungswiderstände gelegt oder auf die extern angeschlossenen Lautsprecher (bzw. Widerstände) geschaltet werden. In Mittelstellung ist der Verstärker unbelastet.

Zunächst wird jedoch das NF-Stereo-Wattmeter SW 7000 mit dem links auf der Frontplatte angeordneten Netzschalter eingeschaltet, nachdem das Gerät mit der 220 V-Netzwechselspannung über den Netzstecker verbunden wurde. Die Kontroll-LED „Ein“ signalisiert die Betriebsbereitschaft.

Rechts neben den Anzeigeelementen sind zwei Drehschalter angeordnet. Mit dem oberen 6stufigen Drehschalter werden die Meßbereiche zwischen 1 W und 300 W für

die Anzeigeelemente gewählt. Durch die interne Schaltungsdimensionierung ist eine Überlastung der Meßwerke ausgeschlossen, d. h., auch wenn im 1 W-Bereich 300 W in das Gerät eingespeist werden, gehen zwar die Zeiger der Meßwerke auf Endanschlag, jedoch nehmen sie mit Sicherheit keinen Schaden.

Der darunterliegende Drehschalter ermöglicht die Auswahl der Anschlußimpedanz. Hiermit wird sowohl der erforderliche Korrekturfaktor für die Meßwerke als auch die Zuschaltung der entsprechenden Belastungswiderstände eingestellt. Zu beachten ist, daß auch beim Anschluß von externen Lasten (Lautsprecher oder externe Widerstände) in jedem Fall mit diesem Drehschalter die richtige Anschlußimpedanz (Widerstandswert) einzustellen ist, da dies eine wesentliche Voraussetzung für eine korrekte Messung bildet.

Die Dauerbelastung der internen Lastwiderstände beträgt ungefähr  $40 \text{ W} = 20 \text{ W}$  pro Kanal. Bei höheren Belastungen spricht die eingebaute Temperatursicherung nach einer gewissen Zeit an und nimmt eine Abschaltung der Lastwiderstände vor. Dies wird durch Aufleuchten der LED „Temp“ signalisiert, wobei die Verstärkerendstufen dann im Leerlauf arbeiten. Je größer die eingespeiste Leistung, desto früher erfolgt die Abschaltung. Nachdem das Gerät hinreichend abgekühlt ist, schaltet die Temperaturüberwa-

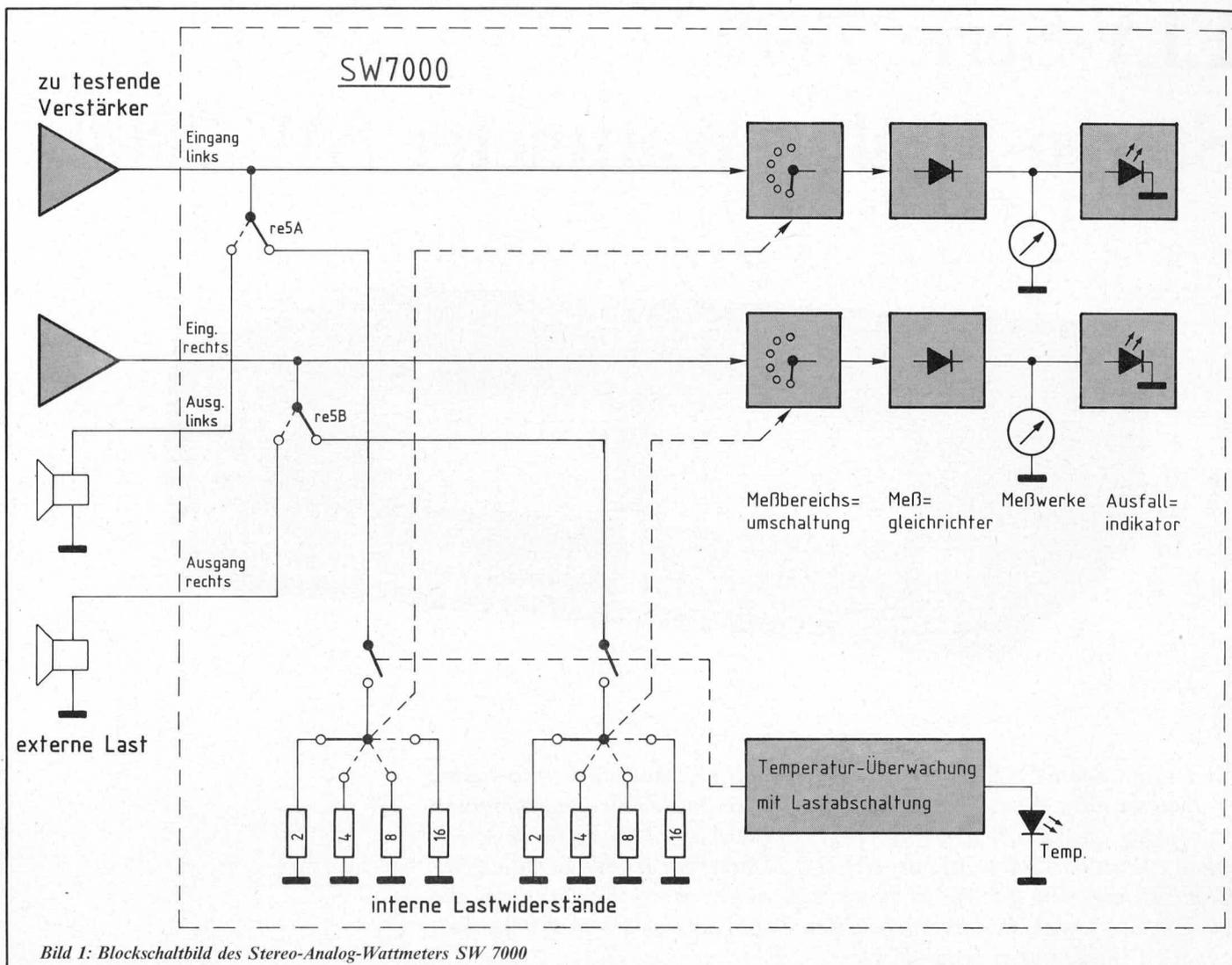


Bild 1: Blockschaltbild des Stereo-Analog-Wattmeters SW 7000

chung die internen Belastungswiderstände automatisch wieder zu. Die Kontroll-LED „Temp“ erlischt.

Werden höhere Dauerbelastungen gewünscht, können, wie bereits erwähnt, die beiden Lautsprecherbuchsen für externe Last nicht nur mit Lautsprecherboxen, sondern mit entsprechenden leistungsfähigen Lastwiderständen beschaltet werden. Es ist jedoch darauf zu achten, daß die Widerstandswerte möglichst exakt den gewünschten Wert (2  $\Omega$ , 4  $\Omega$ , 8  $\Omega$  oder 16  $\Omega$ ) besitzen.

Wenden wir uns zu guter Letzt dem besonders interessanten Ausfall-Indikator zu. Befindet sich der rechts auf der Frontplatte angeordnete Kippschalter in Stellung „Reset“, ist dieser Schaltungsteil nicht in Betrieb. In der oberen Schalterstellung kontrolliert eine automatische Überwachungsschaltung das Ausgangssignal beider zu testenden Endstufen. Sobald ein Aussetzer bzw. ein nennenswerter Einbruch der abgegebenen Verstärkerleistung auftritt, leuchtet die zugehörige LED „L“ (linker Kanal) oder „R“ (rechter Kanal) auf. Die Speisung des Verstärkers muß hierbei selbstverständlich über einen stabilen NF-Generator erfolgen, da Musiksingale aufgrund ihrer natürlichen Schwankungen sofort zum Ansprechen des Ausfall-Indikators führen würden. Der Meßbereich (1 W bis 300 W) des SW 7000 muß bei dieser Betriebsart so eingestellt werden, daß die Anzeigeinstrumente mindestens 30 % vom

jeweils eingestellten Meßbereichsendwert anzeigen (ansonsten muß in den nächst kleineren Meßbereich geschaltet werden).

Anzumerken ist in diesem Zusammenhang noch, daß beide Kanäle des SW 7000 galvanisch vollkommen getrennt sind, so daß auch der Test von Stereo-Brückenendstufen problemlos möglich ist.

Nachdem wir die übersichtliche Bedienung des ELV-Stereo-Analog-Wattmeter SW 7000 ausführlich beschrieben haben, wenden wir uns nachfolgend der Schaltung des Gerätes zu.

### Zur Schaltung

In Abbildung 1 ist das Blockschaltbild des ELV-Stereo-Analog-Wattmeters SW 7000 dargestellt.

Die vom zu testenden Verstärker abgegebene NF-Ausgangsleistung gelangt auf die beiden auf der Geräterückseite angeordneten Eingangsbuchsen des SW 7000. Je nach Stellung der Umschaltkontakte „re 5A, B“ werden diese Signale entweder auf die Ausgangsbuchsen oder die internen Lastwiderstände gegeben.

Über einen Auswahlschalter (für jeden Kanal getrennt) können die verschiedenen internen Lastwiderstände eingeschaltet werden.

Eine Temperaturüberwachung prüft an markanten Stellen die Arbeitstemperatur

der Lastwiderstände, um beim Überschreiten einer festgelegten Schwelle aktiv zu werden, d. h., die Lastwiderstände abzutrennen – der zu testende Verstärker arbeitet im Leerlauf.

Unabhängig von der Stellung der Kontakte „re 5A, B“ gelangen die NF-Eingangssignale in jedem Fall auf die Meßbereichsumschaltung zur Auswahl der Leistungsbereiche (1 W bis 300 W). Als Besonderheit besteht hier eine Verknüpfung mit den Umschaltern zur Anwahl der internen Lastwiderstände. Dies ist von wesentlicher Bedeutung, um die unterschiedlichen Spannungsabfälle an den verschiedenen Lastwiderständen bei der Anzeige der abgegebenen Verstärkerleistung zu berücksichtigen.

An die Meßbereichsumschaltung schließt sich ein aktiver Meßgleichrichter an, dessen gepufferter Ausgang die Anzeige-Meßwerke speist.

Zusätzlich ist an dieser Stelle der Ausfall-Indikator angekoppelt, der in bereits beschriebener Weise auf Signalunterbrechungen und -einbrüche reagiert. Auch vorstehend genannte Schaltungsteile sind vollkommen getrennt in 2-facher Ausführung im SW 7000 vorhanden bei absolut getrennter Stromversorgung und Masseführung.

In der kommenden Ausgabe des „ELV journal“ stellen wir Ihnen dann das komplette Schaltbild des SW 7000 vor.

# ELV-Serie 7000: Farbbalkengenerator FBG 7000



*Im zweiten, abschließenden Teil dieses Artikels stellen wir Ihnen die Schaltung des HF-Modulators vor sowie die ausführliche Beschreibung des Nachbaus, der Inbetriebnahme und der Einstellung.*

## Teil 2

### Der HF-Modulator (Bild 7)

Wesentlicher Bestandteil eines guten Farbbalkengenerators ist ein hochwertiger HF-Modulator, der das Bindeglied zum HF-Eingang eines zu testenden Farbfernsehgerätes darstellt. Bei der Konzipierung des ELV-Farbbalkengenerators FBG 7000 wurde dieser Teilschaltung ebenfalls besondere Aufmerksamkeit gewidmet.

Der ELV-HF-Modulator überstreicht einen großen Frequenzbereich, der alle wesentlichen bei Fernsehgeräten vorkommenden Kanäle abdeckt einschließlich aller Sonderkanäle (VHF III, UHF IV, V). Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang die hohe

Frequenzkonstanz sowie die mit einem separaten Poti in weiten Grenzen einstellbare Höhe der Ausgangsamplitude.

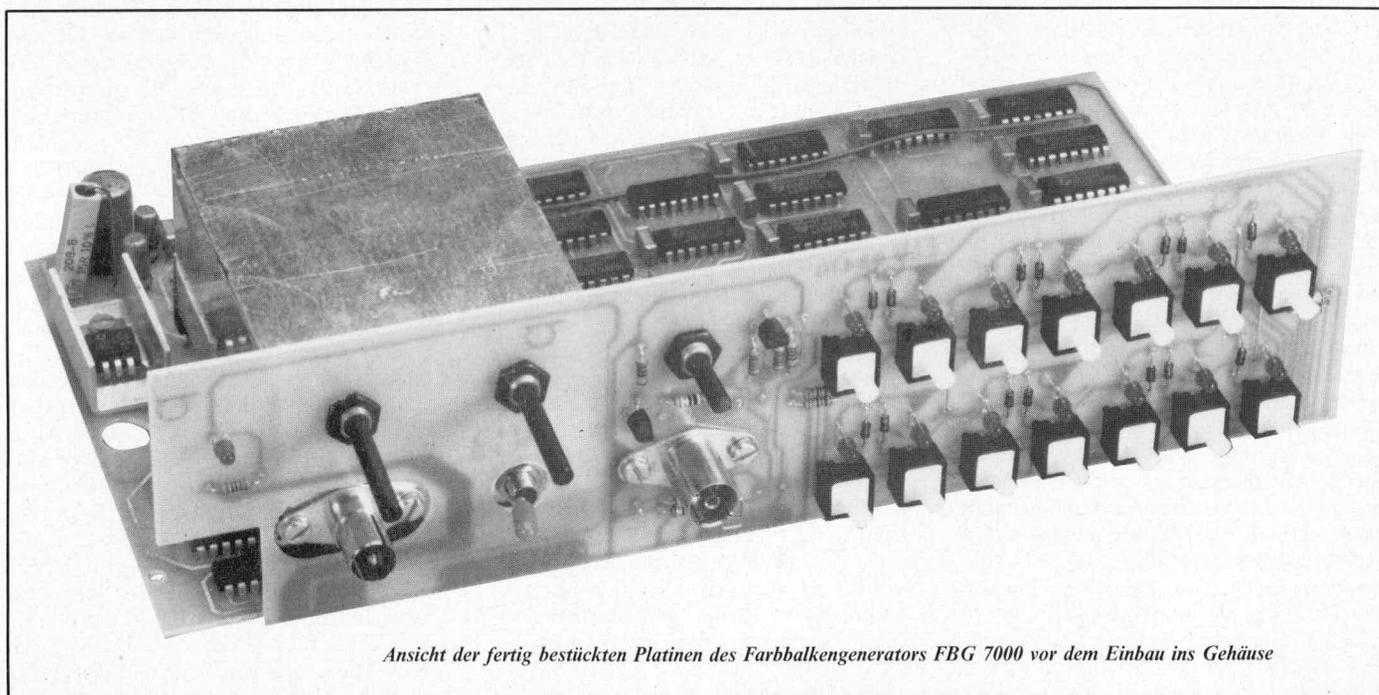
Die interne NF-Modulierbarkeit über einen integrierten 1-kHz-Pegeltongenerator stellt in diesem Zusammenhang ein fast selbstverständliches Feature dar.

Doch kommen wir nun zur Beschreibung der eigentlichen Schaltung dieses HF-Modulators.

Zentraler Baustein ist die monolithisch integrierte Schaltung IC 101 des Typs TDA 5660 P der Firma Siemens. Durch die Verwendung dieses Chips ist es möglich, eine entsprechende qualitativ hochwertige Schaltung aufzubauen und dennoch den schal-

tungstechnischen Aufwand in Grenzen zu halten. Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, daß keine komplizierten Einstell- und Abgleicharbeiten erforderlich sind.

Der Verstärker des HF-Oszillators ist an den Anschlußpins 3 bis 7 des IC 101 verfügbar. Der Oszillator arbeitet in symmetrischer ECO-Schaltung. Die Frequenz wird durch die Kondensatoren C 109 bis C 111, die Varicap-Diode D 101 sowie die beiden Schwingkreisspulen L 102, L 103 bestimmt. C 116, 117 dienen in diesem Zusammenhang lediglich zur gleichspannungsmäßigen Entkopplung der Kapazitätsdiode D 101. Über R 107 wird die Anode auf Massepotential gelegt.



*Ansicht der fertig bestückten Platinen des Farbbalkengenerators FBG 7000 vor dem Einbau ins Gehäuse*

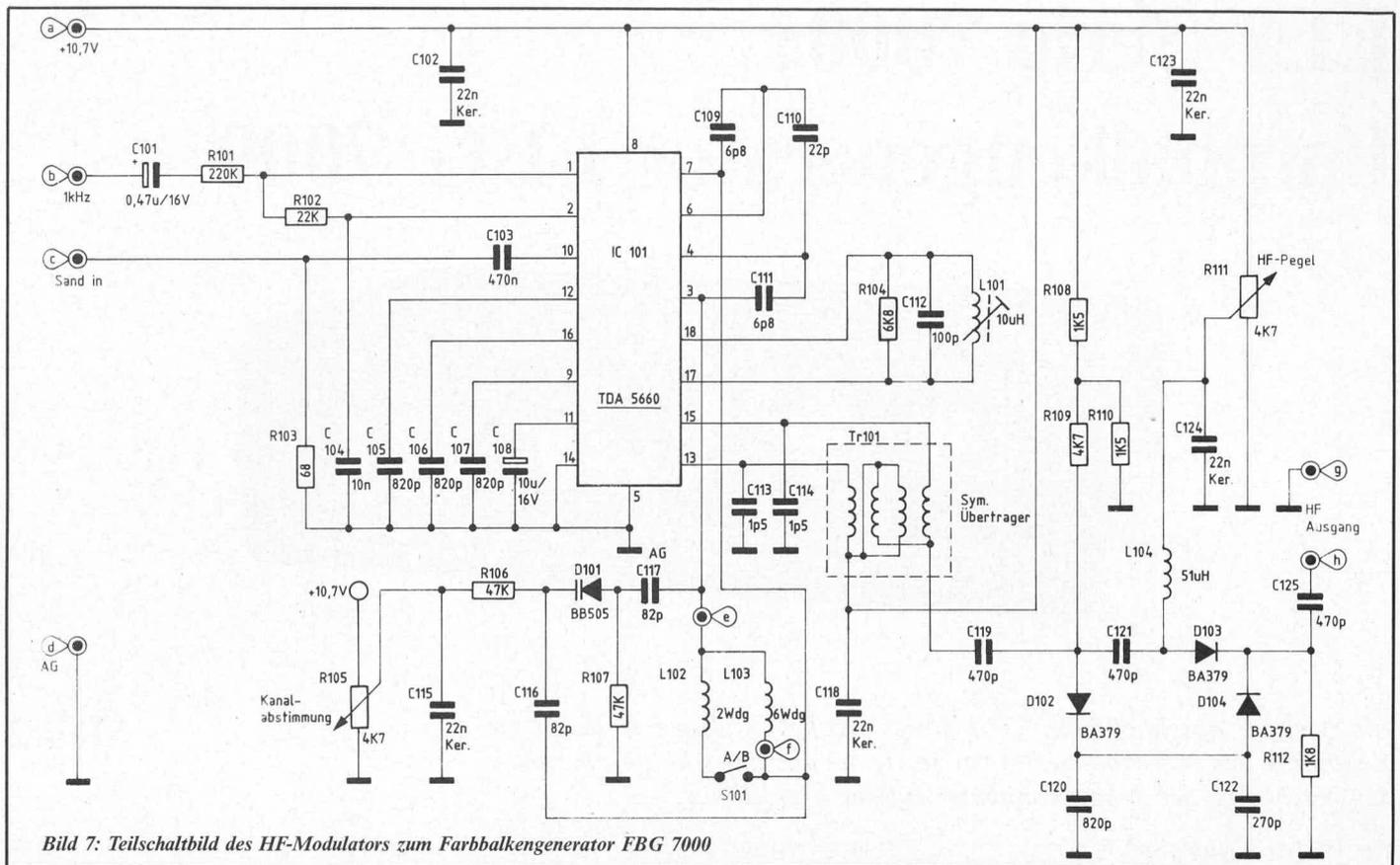


Bild 7: Teilschaltbild des HF-Modulators zum Farbbalkengenerator FBG 7000

Die zur Kapazitätsänderung von D 101 erforderliche Abstimmspannung gelangt vom Kanal-Abstimm-Poti R 105 über R 106 auf die Katode von D101. Hierdurch wird die Oszillatorfrequenz eingestellt. C 115 dient der HF-Abblockung am Poti.

Zur Erzielung einer besseren Auflösung wurde der VHF-Bereich, der sich einschließlich aller durch das Kabelfernsehen bedingten Sonderkanäle von ca. 100 MHz bis 300 MHz erstreckt, in 2 Stufen (Teilbereiche) aufgeteilt. Je nach Schalterstellung von S 101 ist bei geöffnetem Schalter L 103 frequenzbestimmend, während bei geschlossenem Schalter L 102 zu L 103 parallel geschaltet wird.

In seiner Grundfrequenz arbeitet der Oszillator in beiden Schalterstellungen im VHF-Bereich, der durch die Umschaltmöglichkeit über S 101, wie bereits erwähnt, über R 105 voll abgedeckt wird. Gleichzeitig kann durch die harmonischen Oberwellen auch der gesamte UHF-Bereich von 470 MHz bis 860 MHz durchgestimmt werden. Hier müssen allerdings leichte Abstriche bei der Signalamplitude gemacht werden, die zu höheren Frequenzen hin zwar leicht abnimmt, jedoch auch bei 860 MHz im allgemeinen für ein vollkommen rauschfreies Fernsehbild ausreichend ist.

An Pin 5 des IC 101 ist die Oszillator-Chip-Masse herausgeführt, d. h. auf diesen Schaltungspunkt sind die zum Teil extrem hohen Oszillatorfrequenzen bezogen. Der periphere Aufbau des Oszillatorschwingkreises ist sehr empfindlich. HF-Einstreuungen wirken sich besonders störend aus. Daher sollte zwischen den Oszillatranschlüssen Pin 3 bis Pin 7 und den Modulatorausgängen Pin 13 bis Pin 15 eine Schirmdämpfung von mindestens 80 dB vorhanden sein, um ein stabiles Arbeiten der Schaltung sicherzustellen.

Durch konstruktive Maßnahmen, auf die wir im weiteren Verlauf dieser Beschreibung noch näher eingehen, wird ein stabiles Arbeiten des HF-Modulators erreicht.

An Pin 13 und 15 befindet sich der symmetrische Mischerausgang. Pin 14 stellt hierbei die HF-Masse dar. Zur Erzielung einer guten Restträgerunterdrückung ist der symmetrische Mischerausgang an den Anschlußpins 13 und 15 mit einem Breitbandsymmetrieübertrager (Tr 101) beschaltet, der sich durch eine sehr gute Phasengenauigkeit von 0 Grad und 180 Grad auszeichnet und eine Transformation von 300  $\Omega$  (symmetrisch) auf 75  $\Omega$  (unsymmetrisch) bewirkt.

Das vom Ausgang des Übertragers Tr 101 kommende HF-Signal wird über C 119 dem PIN-Diodenabschwächer zugeführt, über den die Ausgangsamplitude einstellbar ist. Ein handelsübliches Potentiometer kann bei den hier zu verarbeitenden extrem hohen Frequenzen nicht mehr direkt zur Einstellung verwendet werden, da es sich bei hohen Frequenzen anders verhält, als man es üblicherweise von einem Potentiometer erwartet. Allein die mechanische Konstruktion der Kohlebahn stellt eine Induktivität dar, die das gesamte Verhalten des Ausgangskreises wesentlich verändern kann; ganz zu schweigen von den parasitären Kapazitäten, die bei niedrigen Frequenzen im allgemeinen vernachlässigbar sind. Bei hohen Frequenzen bietet sich die Einstellung der Ausgangsamplitude mit Hilfe von PIN-Dioden an. Hierbei handelt es sich um Silizium-Dioden, deren P- und N-Schichten durch eine schmale Zone von eigenleitendem (I = intrinsic), hochohmigem Silizium getrennt sind. Diese Dioden wirken oberhalb einer Frequenz von etwa 1 MHz wie ohmsche Widerstände, deren Widerstandswert sich über einen va-

riablen Gleichstrom steuern läßt. Der mögliche Einstellbereich liegt im Bereich von ca. 50  $\Omega$  bis 5 k $\Omega$ .

Die Funktionsweise des im ELV-HF-Modulator eingesetzten PIN-Diodenabschwächers ist wie folgt:

Das zur Amplitudeneinstellung dienende Poti R 111 stellt eine veränderbare Steuerspannung bereit, die über L 104 von der eigentlichen HF-Ausgangsspannung entkoppelt ist. C 124 dient zur HF-Abblockung. Befindet sich der Schleifer von R 111 am oberen Anschlag (ca. + 10,7 V), so fließt ein relativ großer Gleichstrom über L 104, D 103 sowie R 112 zur Schaltungsmasse. Hierdurch wird D 103 niederohmig (maximal leitend), und der Signalweg des HF-Ausgangssignals über C 119, C 121, D 103 und C 125 wird freigegeben. Der hierbei an R 112 gleichzeitig auftretende Spannungsabfall sperrt die Diode D 104. Je weiter der Schleifer des Potis R 111 in Richtung Schaltungsmasse (0 V) bewegt wird, desto geringer wird der Stromfluß durch D 103, d. h. diese PIN-Diode wird langsam hochohmiger. Ungefähr in Schleifermittelstellung tritt zusätzlich ein HF-Signal über D 102/C 120 sowie D 104/C 122 nach Masse kurzgeschlossen – die größtmögliche Abschwächung ist erreicht.

Die maximale Dämpfung beträgt im VHF-Bereich ca. 25 bis 30 dB und liegt im oberen UHF-Bereich immerhin noch bei ca. 10 dB. Durch die ausgereifte Schaltung dieses PIN-Diodenabschwächers läßt sich die Dämpfung und damit die Höhe der Ausgangsamplitude in den angegebenen Grenzen kontinuierlich einstellen. Wesentlich für die einwandfreie Funktion ist jedoch neben der theoretischen Schaltung die praktische Ausführung des Aufbaus. Bereits kleinste Koppelkapazitäten, hervorgerufen durch Leiterbahnen bzw. ungünstige Bauteilanordnungen, lassen die Dämpfung bei hohen Frequenzen unwirksam werden. Diesem Punkt wurde jedoch bei der Konstruktion entsprechende Aufmerksamkeit gewidmet, so daß sich die vorstehend erwähnten Einstellwerte erreichen lassen.

Nachdem der HF-Teil des ELV-HF-Modulators beschrieben wurde, kommen wir zur Modulation.

Das Video-Signal mit negativem Synchronpegel gelangt über den Koppelkondensator C 103 auf Pin 10 des IC 101. Den Abschlußwiderstand für das Video-Signal bildet R 103. Intern wird dieses Signal auf den Synchronwert geklemmt. Eingangssignalschwankungen bis zu 6 dB werden durch eine interne Regelschaltung, die sich auf den Spitzenweißwert einstellt, automatisch ausgeglichen. C 108 legt hierbei die Regelzeitkonstante für den Spitzenweißdetektor fest. Mit C 104 wird die interne Referenzspannung nach Masse abgeblockt.

Zusätzlich bietet das IC 101 die Möglichkeit, auch Tonsignale zu verarbeiten. Über C 101, R 101 gelangt das vom 1 kHz-Pegelton-generator kommende NF-Signal auf den FM-Modulationseingang (Pin 1). Nach Durchlaufen eines im IC 101 integrierten Mischers wird das FM-modulierte 1 kHz-Tonsignal zum Video-Signal addiert und im HF-Mischer mit dem Oszillatorsignal gemischt. Durch C 106 wird der AM-Modulationseingang wechsellastig auf Masse gelegt, da für die hier vorliegende Schaltung ausschließlich die FM-Modulation zum Tragen kommt.

Der an Pin 17, 18 anliegende Parallelschwingkreis, bestehend aus C 112, L 101, ist für den 5,5 MHz-Tonträger-Oszillator frequenzbestimmend. Zur Gewährleistung des Bild-/Tonträgerabstandes von 12,5 dB dient R 104.

Die gesamte Schaltung des ELV-HF-Modulators befindet sich in einem weitgehend HF-dichten Metallgehäuse mit 2 zusätzlichen Abschirmblechen. Die ausgereifte Konstruktion ist sehr nachbausicher. Diesem Punkt kommt besonders bei Höchsthochfrequenzschaltungen eine wesentliche Bedeutung zu.

### Zum Nachbau

Obwohl es sich um eine verhältnismäßig komplexe Schaltung handelt, ist der Nachbau doch recht einfach möglich. Hierzu trägt nicht zuletzt das ausgefeilte Platinenlayout bei sowie die einfache Inbetriebnahme. Bis auf den Kippschalter und die 3,5-mm-Klinkenbuchse sind sämtliche Bauelemente auf den 3 übersichtlich gestalteten Platinen untergebracht.

Beginnen wir bei der Bestückung mit der Frontplatine, auf der u. a. die Taster angeordnet sind.

Zunächst werden die niedrigen und anschließend die höheren Bauelemente auf die Platine gesetzt und auf der Leiterbahnseite verlötet. Zu beachten ist, daß kein Bauteil mehr als 8 mm von der Platinenoberseite hervorsticht, damit später Frontplatine und Frontplatte entsprechend dicht zusammenliegen können.

Als nächstes kommen wir zur Bestückung der Basisplatine. Aufgrund der erforderlichen Leiterbahnvielfalt kommt hier eine doppelseitige, durchkontaktierte Leiterplatte zum Einsatz, die u. a. den Vorteil bietet, daß keinerlei Brücken erforderlich sind. Auf das Selbstanfertigen dieser Platine sollte verzichtet werden, da die zahlreichen Durchkontaktierungen, d. h. die Verbindungen von oberer zur unteren Leiterbahnführung über die Bohrungen im allgemeinen nur in-

dustriell herzustellen sind. Das ersatzweise Löten auf beiden Seiten dieser Platine ist nur mit Einschränkungen zu empfehlen. Bei industriell gefertigten durchkontaktierten Leiterplatten braucht nur auf der Leiterplattenunterseite gelötet zu werden.

Die Bestückung der Basisplatine wird in gewohnter Weise anhand des Bestückungsplanes vorgenommen. Zuerst werden auch hier die niedrigen und anschließend die höheren Bauelemente auf die Platine gesetzt und verlötet.

Nachdem die Frontplatine und die Basisplatine fertiggestellt wurden, kann die Frontplatine im rechten Winkel an die Basisplatine gelötet werden. Die Unterkante der Frontplatine steht hierbei ca. 1,5 mm unterhalb der Platinenunterseite der Basisplatine hervor. Mit einem feinen LötKolben werden die einzelnen Leiterbahnen von Basis- und Frontplatine miteinander verlötet. Es dürfen sich keine Lötzinnbrücken zwischen den einzelnen Leiterbahnen bilden.

## Stückliste: Farbbalkengenerator FBG 7000

### Basisgerät

#### Widerstände

15 Ω/4 W	R 56
68 Ω	R 18, R 19, R 50, R 57
100 Ω	R 39
180 Ω	R 54
270 Ω	R 47, R 49
330 Ω	R 40
470 Ω	R 55
560 Ω	R 42, R 44
1 kΩ	R 2, R 3, R 35, R 36
2,2 kΩ	R 22, R 23, R 27-R 29, R 37
3,3 kΩ	R 51, R 52, R 58
4,7 kΩ	R 4-R 17, R 24, R 33, R 48
8,2 kΩ	R 30-R 32
10 kΩ	R 20, R 21, R 34, R 38
22 kΩ	R 45, R 46
27 kΩ	R 26
33 kΩ	R 25
100 kΩ	R 1, R 41
100 Ω, Trimmer, liegend	R 53
4,7 kΩ, Poti, 4 mm, lin	R 43

#### Kondensatoren

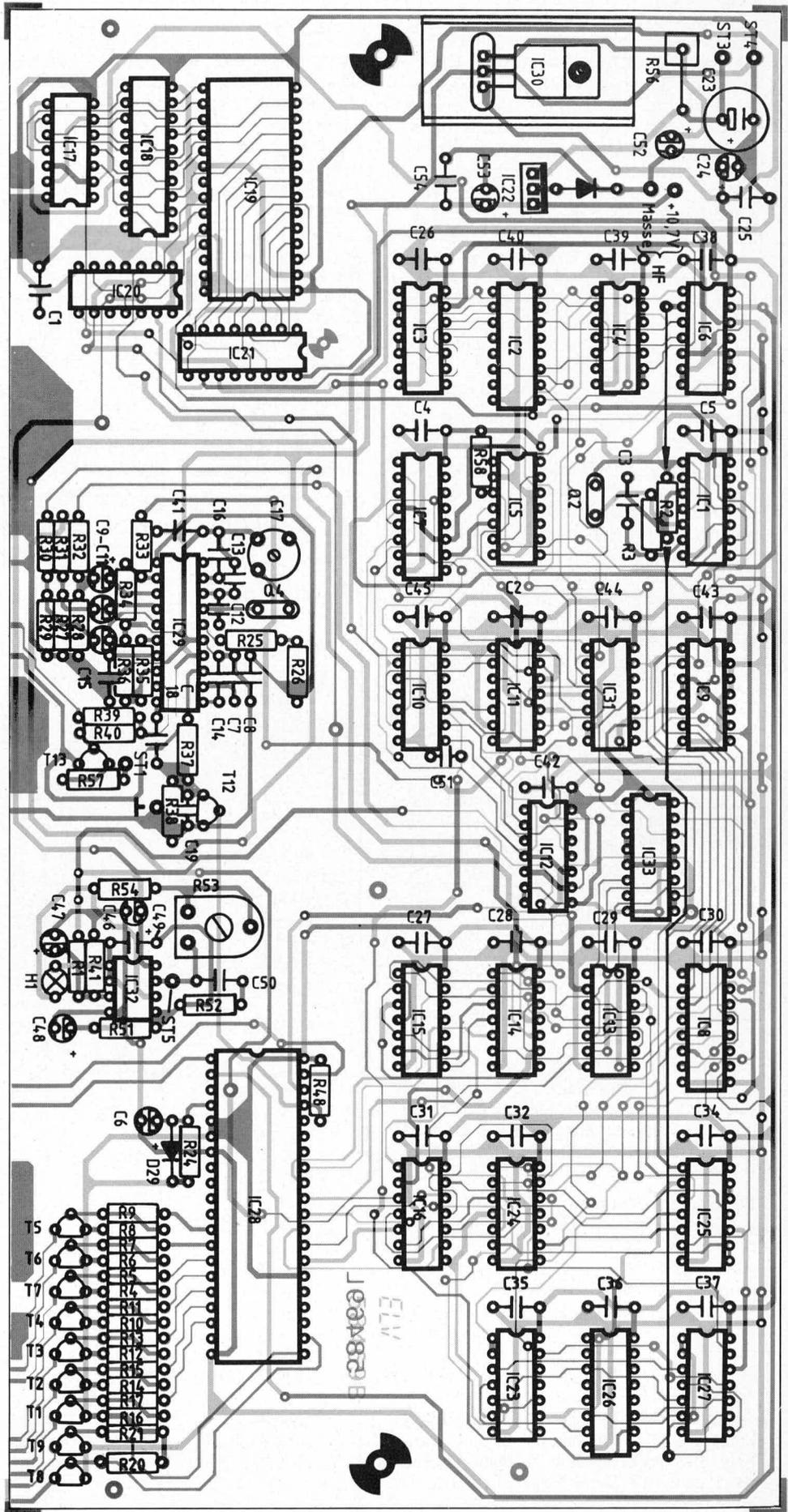
33 pF	C 19
100 pF	C 51
220 pF	C 12, C 13
1 nF	C 8, C 16, C 18
10 nF	C 3, C 7, C 14, C 15
47 nF	C 1, C 2, C 4, C 5, C 26-C 32, C 34-C 45, C 49, C 50, C 54
100 nF	C 21, C 25
4,7 µF/16 V	C 48
10 µF/16 V	C 6, C 24, C 46, C 47, C 52, C 53
22 µF/16 V	C 9-C 11
220 µF/16 V	C 20, C 22
470 µF/16 V	C 23
2-40 pF, Trimmer	C 17

### Halbleiter

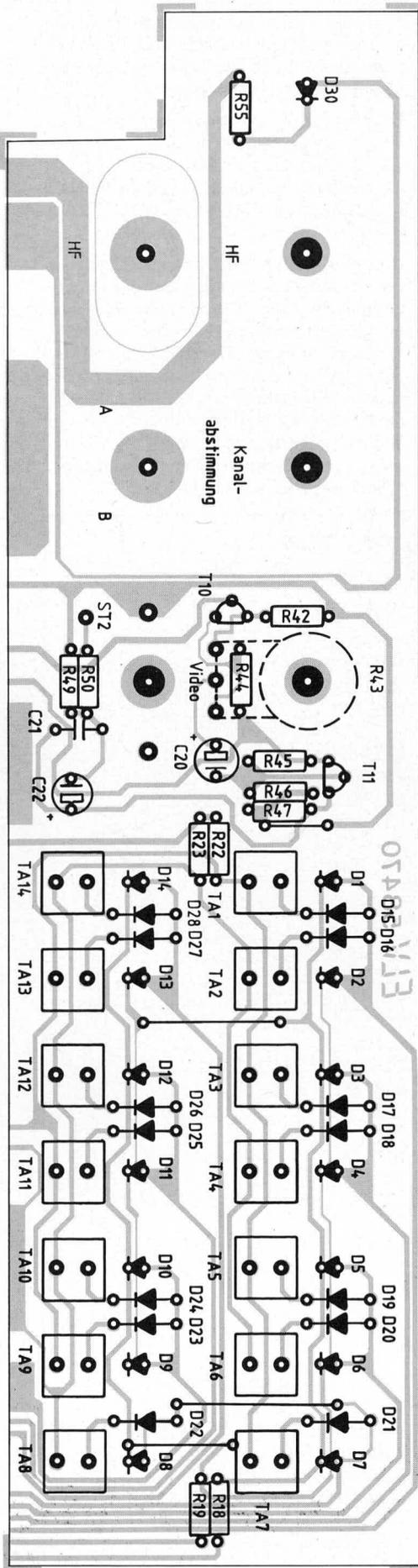
TL 082	IC 32
MC 1377	IC 29
CD 4001	IC 13, IC 14, IC 16
CD 4011	IC 4, IC 10, IC 25, IC 27
CD 4013	IC 6, IC 12, IC 31
CD 4023	IC 9, IC 23
CD 4025	IC 24
CD 4029	IC 33
CD 4030	IC 11
CD 4040	IC 2, IC 7, IC 21, IC 26
CD 4068	IC 3
CD 4081	IC 15
CD 4520	IC 8
74LS04	IC 1
74LS74	IC 20
74LS393	IC 5, IC 17
74LS688	IC 18
ELV 8822	IC 28
ELV 8823	IC 19
7805	IC 30
7810	IC 22
BC 548	T 8-T 13
BC 558	T 1-T 7
LED, 3 mm, rot	D 1-D 14, D 30
1N4148	D 15-D 29, D 31

### Sonstiges

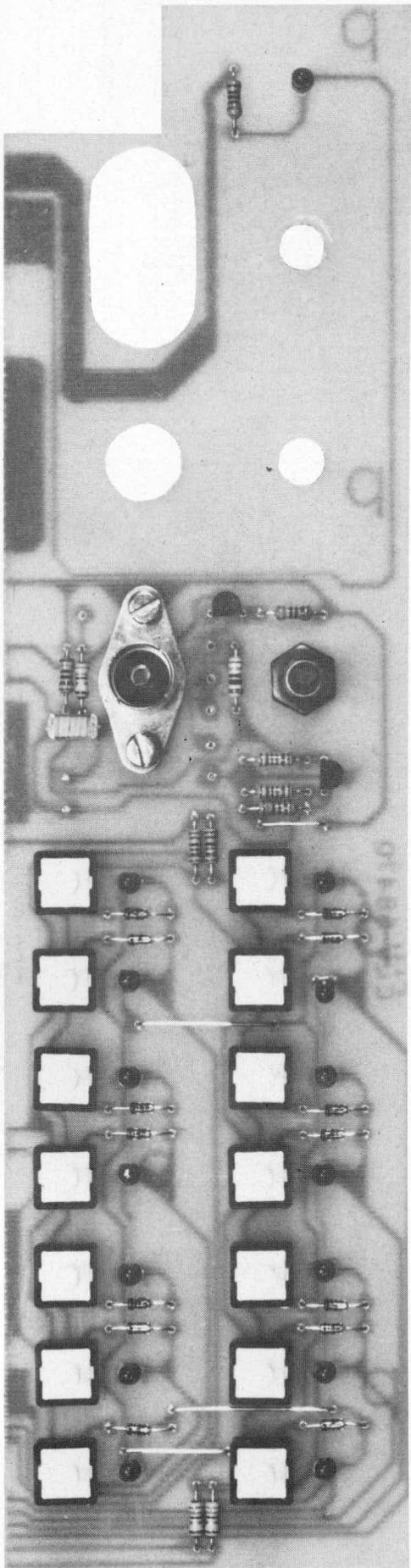
4,43 MHz Quarz	Q 4
8 MHz Quarz	Q 2
Printtaster stehend	Ta 1-Ta 14
1 Glühlampe 12-15 V/20 mA	
1 U-Kühlkörper SK 13	
5 Schrauben M 3 x 6	
5 Muttern M 3	
7 Lötstifte	
1 Koax-Einbaustecker	
1 Koax-Einbaubuchse	
1 Klinkenbuchse 3,5 mm	
1 Kippschalter 1 x um	
20 cm flexible Leitung 0,22 mm <sup>2</sup>	
20 cm flexible Leitung 0,4 mm <sup>2</sup>	
7 Lötstifte	



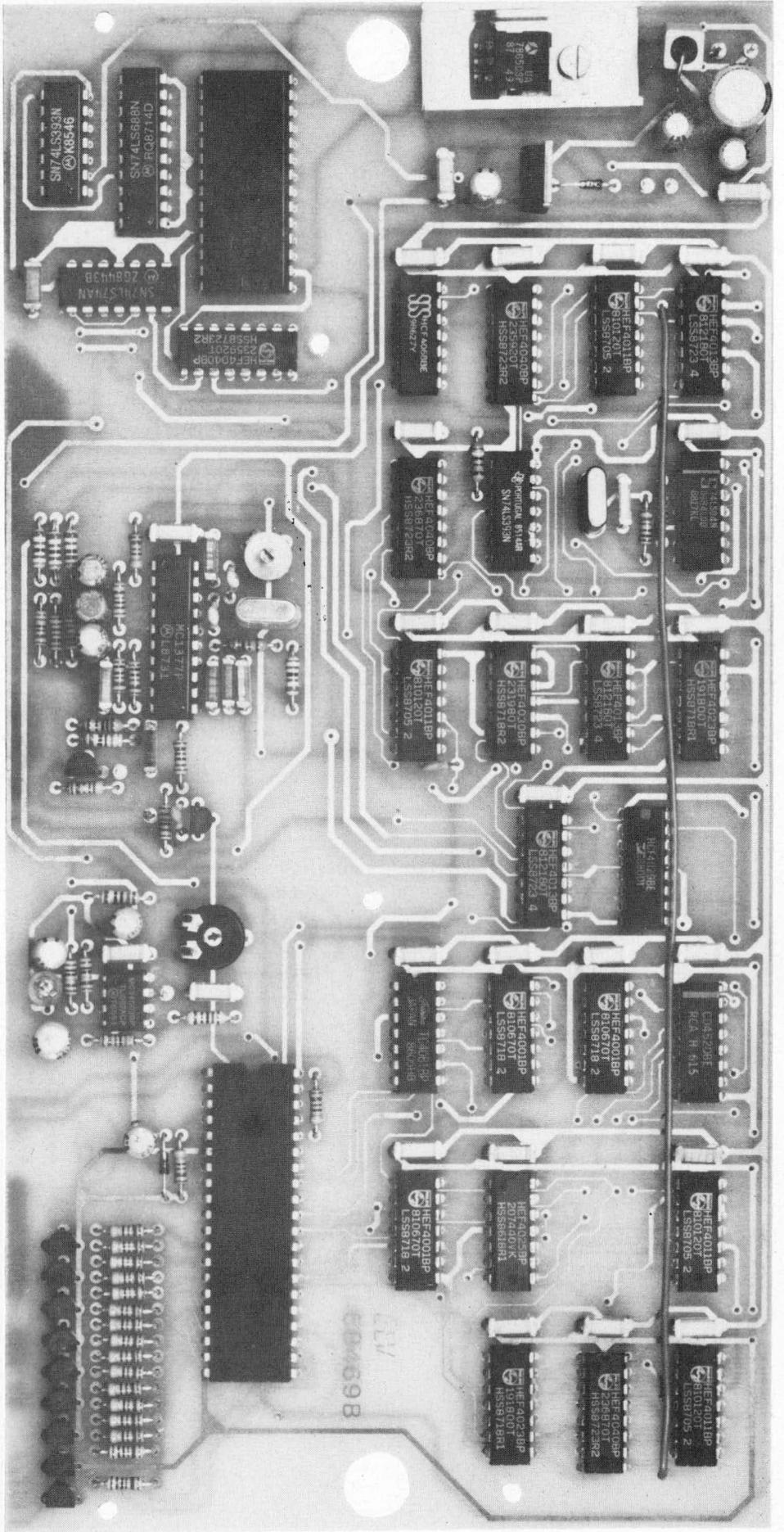
Bestückungsplan der doppelseitig durchkontaktierten Basisplatte des Farbbalkengenerators FBG 7000. (Leiterbahnbild Bestückungsseite: hellgrau, Leiterbahnbild Lötseite: dunkelgrau)



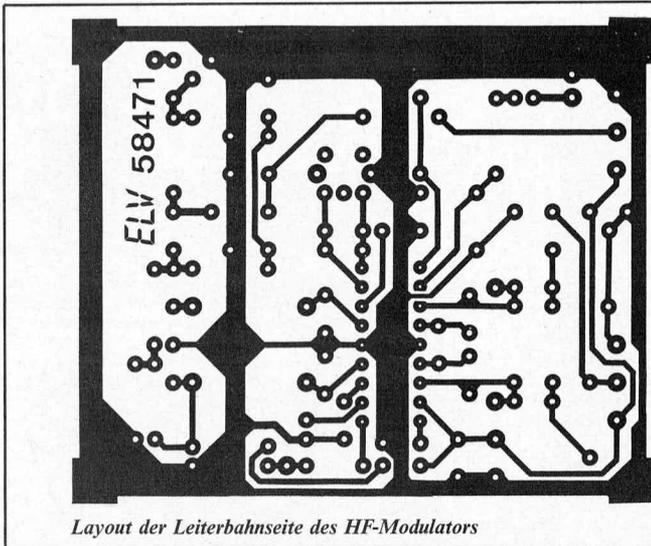
Bestückungsplan der Anzeigenplatte des Farbbalkengenerators FBG 7000



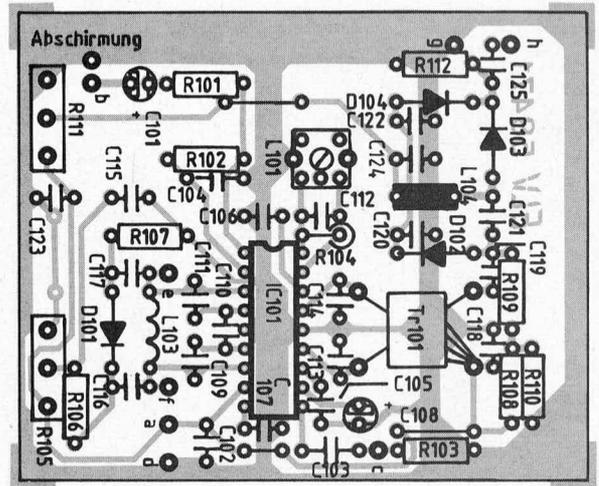
Ansicht der fertig bestückten Anzeigenplatine des Farbbalkengenerators FBG 7000



Ansicht der fertig bestückten Basisplatine des Farbbalkengenerators FBG 7000



Layout der Leiterbahnseite des HF-Modulators



Bestückungsseite der Platine des HF-Modulators

Anschließend wird die dritte Platine, d. h. die Modulatorplatine in gewohnter Weise bestückt und verlötet.

Der integrierte HF-Oszillator überstreicht einen Frequenzbereich von ca. 100 MHz bis ca. 860 MHz. Zur Vermeidung unerwünschter Abstrahlung ist es erforderlich, die Schaltung des Modulators, d. h. die gesamte dritte Platine, in ein HF-dichtes abgeschirmtes Metallgehäuse zu setzen. Anhand der Abbildung 8 kann dieses Gehäuse aus Weißblech mit einer Stärke von ca. 0,5 mm selbst erstellt werden. Es ist auch ein dazu passendes, entsprechend vorgefertigtes Gehäuse lieferbar. Hierbei handelt es sich um einen „Gehäusebausatz“, der nach einem neuen Verfahren hergestellt wurde und in Form einer mit sämtlichen erforderlichen Aussparungen versehenen Weißblechplatte geliefert werden kann. Das der Abbildung 8 entsprechende Gehäuse kann ohne Werkzeuge durch Biegen auf einer geraden Unterlage in die gewünschte Form gebracht werden, da sämtliche Biegekanten so gelocht sind, daß sämtlich auf leichte und einfache Weise daraus

paßgenau das entsprechende Gehäuse biegen läßt.

Zunächst wird der ca. 40 mm hohe Rahmen des Gehäuses zu einem entsprechenden Viereck gebogen. Danach ist die Modulatorplatine paßgenau dazwischenzusetzen, wozu die beiden Potentiometer durch die entsprechenden Bohrungen zu führen und provisorisch zu befestigen sind. Der Abstand zwischen Platinenunterseite und Gehäuseunterkante beträgt 15 mm (entsprechend der Höhe der beiden Abschirmzwischenbleche). Danach wird die Stoßkante des Gehäuserahmens verlötet. Die im Randbereich der Leiterplatte verlaufenden Massepotential führenden Leiterbahnen werden an mehreren Stellen unter Zugabe von reichlich Lötzinn an der Rahmeninnenseite des Metallgehäuses angelötet.

Der Kippschalter für die Kanalabstimmung wird ohne eine Kontermutter von der Abschirmgehäuseinnenseite aus durch die entsprechende Bohrung gesteckt und mit einer Mutter fest verschraubt. Der Kippschalterhals steht hierbei bewußt recht weit

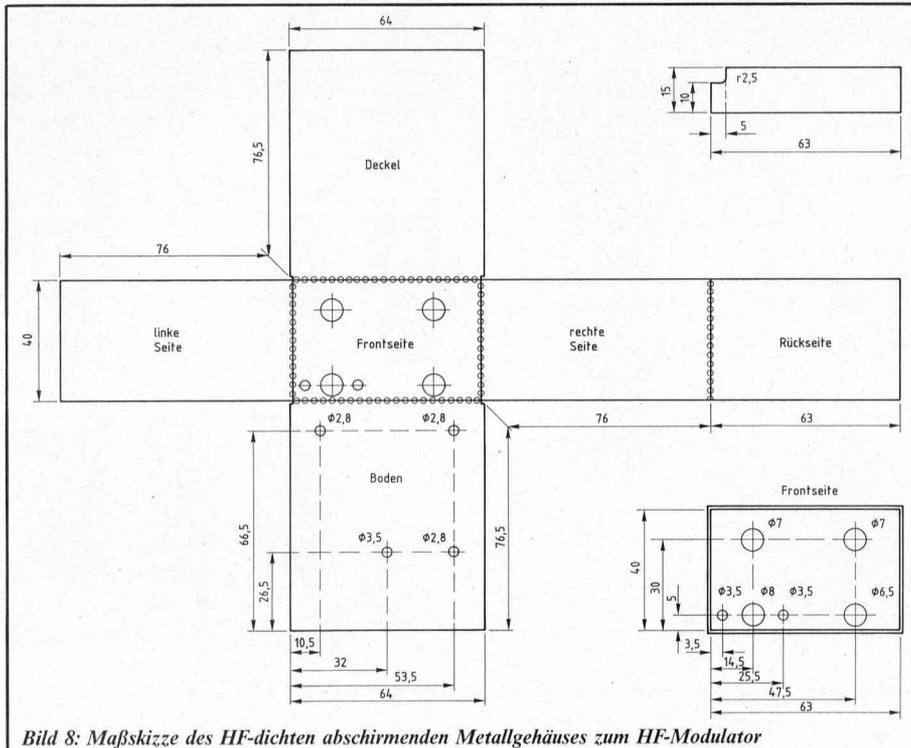


Bild 8: Maßskizze des HF-dichten abschirmenden Metallgehäuses zum HF-Modulator

## HF-Modulator

### Widerstände

68 Ω	.....	R 103
1,5 kΩ	.....	R 108, R 110
1,8 kΩ	.....	R 112
4,7 kΩ	.....	R 109
6,8 kΩ	.....	R 104
22 kΩ	.....	R 102
47 kΩ	.....	R 106, R 107
220 kΩ	.....	R 101
4,7 kΩ, Poti, 4 mm, lin	.....	R 105, R 111

### Kondensatoren

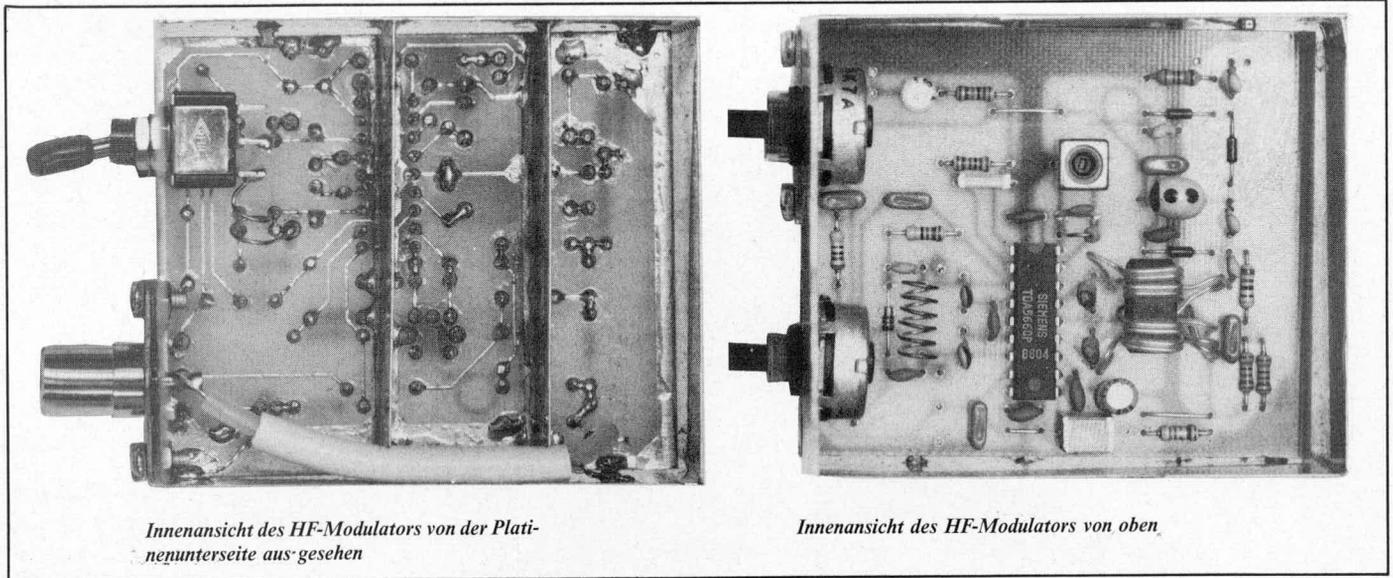
1,5 pF	.....	C 113, C 114
6,8 pF	.....	C 109, C 111
22 pF	.....	C 110
82 pF	.....	C 116, C 117
100 pF	.....	C 112
270 pF	.....	C 122
470 pF	.....	C 119, C 121, C 125
820 pF	.....	C 105-C 107, C 120
10 nF	.....	C 104
22 nF, Keramik	.....	C 102, C 115, C 118, C 123, C 124
470 nF	.....	C 103
0,47 μF/16 V	.....	C 101
10 μF/16 V	.....	C 108

### Halbleiter

TDA 5660	.....	IC 101
BB 505	.....	D 101
BA 379	.....	D 102-D 104

### Sonstiges

Spule 10 μH	.....	L 101
Spule 51 μH	.....	L 104
Sym. Übertrager	.....	Tr 101
Kippschalter 1 x um	.....	S 101
1 Gehäusebausatz		
1 Schraube M 3 x 20		
3 Muttern M 3		
60 cm 1 adrige abgeschirmte Leitung		
20 cm Silberschaltdraht 0,4 mm <sup>2</sup>		
10 cm Koaxleitung		



Innenansicht des HF-Modulators von der Platinenunterseite aus gesehen

Innenansicht des HF-Modulators von oben

aus dem Abschirmgehäuse hervor (ca. 8 mm).

Die HF-Ausgangsbuchse wird von außen an das Abschirmgehäuse gesetzt und mit 2 Metallschrauben M 3 x 6 mm sowie 2 von innen aufgesetzten Muttern M 3 fest verschraubt. Ein zusätzliches Verlöten der beiden Muttern an der Gehäuseinnenseite ist zu empfehlen.

Der Mittelabgriff des Kippschalters wird über einen möglichst kurzen (ca. 15 mm) Silberdrahtabschnitt mit dem Platinenanschlußpunkt „f“ verbunden. Am linken Kippschalteranschluß (von der Gehäuseunterseite aus gesehen) wird die aus 2 Windungen bestehende Spule L 102 angelötet. Der zweite Spulenanschluß ist an den Platinenanschlußpunkt „e“ zu legen. Die Spule selbst wird aus einem ca. 60 mm langen Silberdrahtabschnitt gefertigt, der mit 2 Windungen um einen 5-mm-Bohrer gewickelt wird. In gleicher Weise ist auch die Spule L 103 mit 6 Windungen aus einem ca. 110 mm langen Silberdrahtabschnitt zu fertigen. Der Breitbandsymmetrieübertrager Tr 101 ist komplett gewickelt ab Werk lieferbar ebenso wie die Induktivitäten L 101 und L 104.

Die Verbindung des im hinteren Leiterplattenbereich des HF-Modulators angeordneten HF-Ausgangs mit der gegenüber befindlichen HF-Ausgangsbuchse erfolgt über einen ca. 70 mm langen Koax-Leitungsabschnitt. Diese Leitung wird an beiden Enden auf ca. 15 mm von der Außenummantelung befreit, um die Abschirmung zurückzuschieben und zu verzwirbeln. Danach wird die Innenisolierung auf jeweils ca. 3 mm entfernt. Die jetzt freiliegende innere Ader ist zum einen mit dem Platinenanschlußpunkt „h“ und zum anderen mit dem Mittelanschluß der HF-Ausgangsbuchse zu verlöten. Die beiden verzwirbelten Enden der Abschirmung sind anschließend in der Nähe der jeweils zugehörigen Innenader an der Abschirmgehäuseinnenwand anzulöten. Aus Sicht der Gleichspannungsverteilung wäre dies selbstverständlich nicht erforderlich. Durch die hier zu verarbeitenden extrem hohen Frequenzen ist diese Maßnahme jedoch sinnvoll.

Ist die Verdrahtung innerhalb des Abschirmgehäuses soweit vervollständigt, wer-

den die beiden zusätzlichen Abschirmbleche senkrecht zur Platinenunterseite eingebaut. Das erste Abschirmblech befindet sich genau mittig zwischen den beiden 9poligen Reihen der Anschlußbeinchen des IC 101, d. h. ca. 32 mm von der vorderen Gehäuseinnenseite entfernt. Das zweite Abschirmblech ist im hinteren Gehäusebereich ca. 55 mm von der inneren Gehäusevorderseite entfernt anzuordnen. Die elektrische und gleichzeitig mechanische Befestigung erfolgt unter Zugabe von reichlich Lötzinn mit den darunterliegenden Massepotential führenden Leiterbahnen.

Vor dem Einsetzen der beiden Abschirmbleche ist darauf zu achten, daß die Aussparungen dieser Bleche für die interne Verlegung des 70 mm langen Koax-Abschnittes zu der Seite hinweisen, auf der die entsprechende Leitung verläuft (linke Seite – von vorne gesehen nach erfolgtem Einbau des HF-Modulators ins Gesamtgerät). An der gegenüberliegenden Gehäusewandung erfolgt zusätzlich die Verbindung von den Abschirmblechen zur inneren Gehäusewand.

Als nächstes wird die untere Gehäuseabdeckung so weit abgelenkt, daß die 3 flexiblen Zuleitungen für die Stromversorgung, das 1 kHz-Pegeltonsignal sowie das Videosignal durch die entsprechenden Bohrungen der unteren Gehäuseabdeckung geführt und an den zugehörigen Schaltungspunkten angelötet werden können. Hierzu verwenden wir in allen 3 Fällen 1 adrige abgeschirmte isolierte Zuleitungen.

Die Mittelader für die Stromversorgung verbindet den Platinenanschlußpunkt „HF + 10,7“ der Basisplatine mit dem Platinenanschlußpunkt „a“ auf der Modulatorplatine, während die Abschirmung an die Schaltungsmassen beider Platinen zu löten ist. Bei der Modulatorplatine ist dies die unmittelbar daneben verlaufende Leiterbahn und bei der Basisplatine der Schaltungspunkt „HF-Masse“.

Das Video-Signal zur Speisung der Modulatorplatine gelangt ebenfalls über eine abgeschirmte Zuleitung vom Platinenanschlußpunkt ST 1 auf der Basisplatine zum entsprechenden Eingang „c“ der Modulatorplatine, und zwar über die innere Ader. Die Abschirmung wird auf der zur Modulator-

platine hinweisenden Seite an die Massepotential führende Leitung gelötet, die in unmittelbarer Nähe des Platinenanschlußpunktes „c“ am Platinenrand verläuft. Auf der zur Basisplatine hinweisenden Seite wird die Abschirmung nicht angelötet, sondern sorgfältig isoliert.

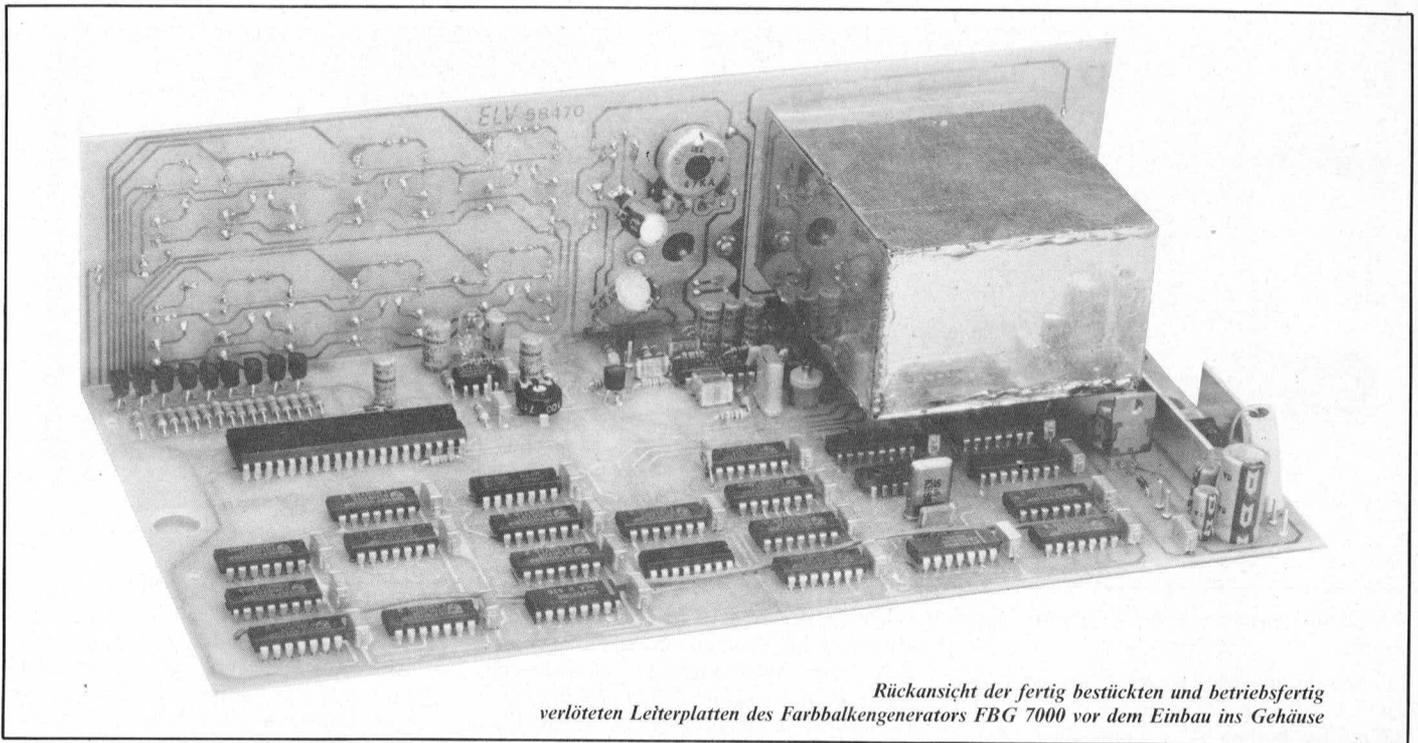
In ähnlicher Weise wird das 1 kHz-Tonsignal über die innere Ader einer abgeschirmten Leitung vom Platinenanschlußpunkt ST 5 der Basisplatine dem Platinenanschlußpunkt „b“ der Modulatorplatine zugeführt. Die Abschirmung der zur Modulatorplatine hinweisenden Seite wird auch hier an die in unmittelbarer Nähe zum Platinenanschlußpunkt „b“ am Platinenrand verlaufende Massepotential führende Leitung gelegt. Auf der zur Basisplatine hinweisenden Seite ist die Abschirmung sorgfältig zu isolieren.

Durch die jetzt noch verbleibende Bohrung im Gehäuseboden des Abschirmgehäuses wird von innen eine Schraube M 3 x 20 mm gesteckt und mit einer Mutter M 3 fest verschraubt. Zusätzlich empfiehlt sich das Verlöten von Schraubenkopf und -mutter mit dem Gehäuseboden. Eine weitere Mutter M 3 wird so weit aufgeschraubt, daß die Unterseite ca. 5 mm vom Schraubenende entfernt ist.

Nun werden beide Gehäuseabdeckungen ganz an den Gehäuserahmen gedrückt und mit einem kleinen Lötspitzen provisorisch festgeheftet. Es folgt ein erster Funktionstest des HF-Modulators, bei dem die übrige Schaltung des FBG 7000 bereits voll einsatzfähig sein sollte.

Ist dieser Funktionstest zur Zufriedenheit verlaufen, wird vor dem weiteren mechanischen Zusammenbau jetzt der komplette Abgleich vorgenommen. Hierzu wird je nach Bedarf die obere bzw. untere Gehäuseabdeckung des Abschirmgehäuses, soweit erforderlich, wieder hochgebogen. Auf den genauen, mit einfachen Mitteln durchzuführenden Abgleich wird im weiteren Verlauf dieses Artikels noch ausführlich eingegangen.

Zuletzt (nach erfolgtem Abgleich) werden zur Erzielung der HF-Dichtigkeit sämtliche nicht benötigten Bohrungen im Bereich der



Rückansicht der fertig bestückten und betriebsfertig verlöteten Leiterplatten des Farbbalkengenerators FBG 7000 vor dem Einbau ins Gehäuse

Knickkanten sowie der freien Schnittkanten sorgfältig unter Zugabe von reichlich Lötzinn verlötet.

Die so entstandene mechanisch und elektrisch solide Konstruktion wird jetzt an die Leiterbahnseite der Frontplatte angeflanscht. Hierzu werden die provisorisch aufgeschraubten Muttern der beiden Potentiometer abgenommen, die Potentiometerachsen durch die entsprechenden Bohrungen der Frontplatte geführt und anschließend von der Bestückungsseite her wieder fest verschraubt. Sowohl die HF-Ausgangsbuchse als auch der entsprechende Kippschalter ragen ohne geänderte Befestigung (also nur an der Frontseite des Metallgehäuses) durch die entsprechend großen Aussparungen der Frontplatte.

Die aus der Abschirmgehäuseunterseite herausragende Schraube M 3 x 20 mm wird hierbei durch die senkrecht darunter angeordnete Bohrung in der Basisplatte gesteckt. Die zuvor aufgeschraubte Mutter M 3 wird so weit verdreht, daß sie mit ihrer Unterseite gerade an der Bestückungsseite der Basisplatte anliegt. Eine weitere Mutter M 3 dient von der Platinenunterseite aus zur festen mechanischen Verbindung. Zu beachten ist hierbei, daß sich keine Spannungen dieser Konstruktion ergeben, insbesondere daß durch Festziehen der letztgenannten Mutter die Frontplatte nicht verbogen wird. Jetzt kann die Frontplatte vor die Frontplatte gesetzt werden, indem die Tasterhülse sowie die übrigen durch die Frontplatte ragenden Bauelemente durch die entsprechenden Bohrungen geführt werden. Danach wird die Konstruktion von oben in die Gehäuseunterhalbschale gesetzt, wobei die Frontplatte in die entsprechende Nut einzuführen ist. Die Rückwand wird in die hintere Nut der Gehäuseunterhalbschale geschoben, nachdem die Klinkenbuchse eingebaut wurde.

Diese 3,5-mm-Klinkenbuchse zur 12 V-Stromversorgung ist mit dem Außenring

(Masse) an den Platinenanschlußpunkt „ST 4“ zu legen. Der Innenring (+ 12 V bis + 15 V) wird über den in der Frontplatte eingebauten Kippschalter geführt und danach an den Platinenanschlußpunkt „ST 3“ angeschlossen.

### Inbetriebnahme und Einstellung

Unmittelbar nach dem Einschalten wird zunächst die Eingangsspannung gemessen. Hierzu wird, wie auch für alle im folgenden beschriebenen Messungen, ein Spannungsmessgerät mit seinem Minusanschluß an den Platinenanschlußpunkt „ST 4“ angeschlossen, um anschließend am Platinenanschlußpunkt „ST 3“ die positive Versorgungsspannung zu messen. Sie sollte minimal 12 V und maximal 15 V betragen.

Nun wird die stabilisierte Versorgungsspannung am Ausgang des 10 V-Festspannungsreglers gemessen. Sie sollte zwischen 10,2 V und 11,2 V liegen.

Wer noch ein übriges tun möchte, kann zunächst die Stromaufnahme kontrollieren, die zwischen 250 mA und 400 mA liegen sollte.

Zur weiteren Inbetriebnahme wird zunächst der Video-Ausgang mit dem Video-Eingang eines Farbfernsehgerätes verbunden.

Mit dem C-Trimmer C 17 wird die Frequenz des quartzesteuerten Farbträgeroszillators geringfügig nachgestellt. Hierzu ist beim Farbbalkengenerator FBG 7000 die Funktion „Farbbalken“ zu wählen. Der Trimmer sollte so eingestellt werden, daß sich an den Übergangskanten der 8 Farben keine sichtbaren Sägezähne ergeben. Bei ungünstigem Abgleich kann sich an den Schnittkanten ein leichtes Flimmern einstellen, begleitet von durchlaufenden allerdings sehr geringen Sägezähnen. Dies ist jedoch mit Hilfe des entsprechenden C-Trimmers auszugleichen.

Die zweite Einstellung bezieht sich auf den HF-Oszillator. Hierzu wird die Video-Verbindung wieder getrennt und jetzt der HF-

Ausgang des FBG 7000 mit dem HF-Eingang eines Farbfernsehgerätes verbunden.

Das zur Frequenzeinstellung dienende Poti „HF“ wird an den Linksanschlag (entgegen dem Uhrzeigersinn) gedreht und der Kippschalter des Kanalwählers in Stellung „A“ gebracht. An dem angeschlossenen Fernsehgerät ist der Sonderkanal S 3 (119,25 MHz) einzustellen, der die niedrigste vom ELV-HF-Modulator bereitzustellende Frequenz empfängt.

Durch vorsichtiges Zusammendrücken (Frequenz wird kleiner) oder Auseinanderziehen (Frequenz steigt) der Windungen (in Längsrichtung) der Spule L 103 (auf der Bestückungsseite) wird die Oszillatorfrequenz jetzt genau auf den Sonderkanal S 3 eingestellt.

Als nächstes wird das Frequenzeinstellpoti an den Rechtsanschlag (im Uhrzeigersinn gedreht) und der Kanalwähler in Stellung „B“ gebracht. Am Fernseher wird der Sonderkanal 20 (294,25 MHz) gewählt, der die höchste Frequenz im VHF-Bereich repräsentiert.

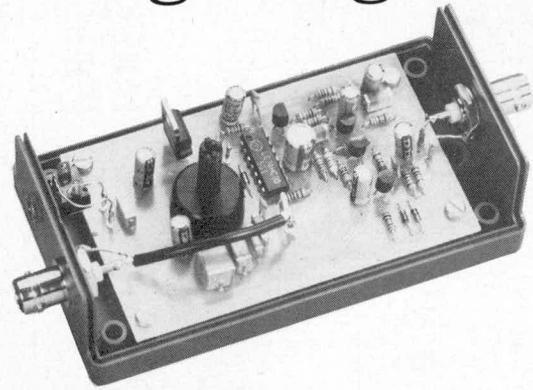
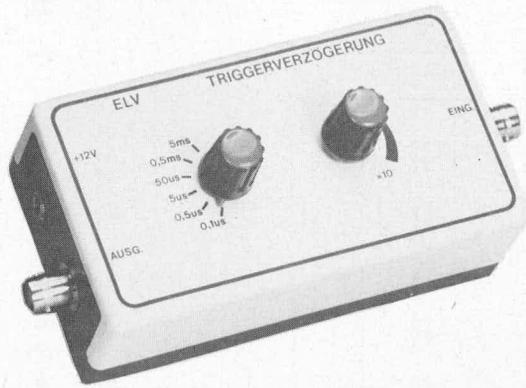
Durch vorsichtiges Zusammendrücken bzw. Auseinanderziehen der Windungen der Spule L 102 (auf der Platinenunterseite) wird die Oszillatorfrequenz jetzt auf den Sonderkanal S 20 eingestellt.

Der letzte Abgleich bezieht sich auf die Spule L 101. Diese ist auf maximale Lautstärke des 1 kHz-Tones einzustellen (durch das Fernsehgerät kontrolliert).

Damit ist die Inbetriebnahme und Einstellung bereits beendet. Zu beachten ist, daß jetzt die obere und untere Gehäuseabdeckung des Modulatorgehäuses „wasserdicht“ verlötet sind. Nachdem auch die Gehäuseoberhalbschale sowie die Drehknöpfe aufgesetzt und verschraubt wurden, kann dieses interessante Gerät seiner Bestimmung zugeführt werden.

Es sind die gesetzlichen und postalischen sowie die geltenden Sicherheits- und VDE-Bestimmungen zu beachten.

# Oszilloskop-Triggerverzögerung



Mit der hier vorgestellten Triggerverzögerung kann die Auslösung der Zeitablenkung ab Triggerpunkt um eine vorwählbare Zeit (100 ns bis 50 ms) verzögert werden. Damit besteht die Möglichkeit, im Einstellbereich der Verzögerung, an jeder Stelle einer Signalperiode mit der Zeitablenkung zu beginnen. Neben dem Vorteil bei periodischen Vorgängen lassen sich auch ansteigende und abfallende Flanken, auf denen normalerweise getriggert wird, anschauen zu können, besteht zudem die Möglichkeit, durch anschließende Erhöhung der Ablenkgeschwindigkeit den interessierenden Zeitabschnitt zu dehnen und so die Auflösung zu erhöhen.

## Bedienung und Funktion

Die Handhabung der ELV-Triggerverzögerung (auch Ablenkverzögerung genannt) ist denkbar einfach. Zunächst wird die Stromversorgung über ein handelsübliches 300 mA-Steckernetzteil angeschlossen. Der Spannungsbereich kann zwischen +9 V und +15 V schwanken.

Die Verbindung vom Ausgang der Triggerverzögerung zum externen Triggereingang des Oszilloskops erfolgt durch eine Standard-BNC-Verbindungsleitung.

An den Eingang der Triggerverzögerung wird ein Oszilloskop-Tastkopf angeschlossen, der je nach zu triggender Signalgröße auf 1:1 oder 10:1 zu schalten ist.

Ausgehend vom normalen Oszilloskop-Betrieb (interne Triggerung) wird das zu untersuchende Signal zunächst mit 1 bis 3 Grundperioden auf dem Bildschirm dargestellt.

Handelt es sich z. B. um ein Rechtecksignal ist üblicherweise die erste ansteigende Flanke auf dem Bildschirm nicht mehr sichtbar, da das Oszilloskop auf dieser Flanke triggert. Äquivalent dazu würde die abfallende erste Flanke nicht auf dem Bildschirm erscheinen, sofern das Oszilloskop auf negative Triggerung eingestellt wurde.

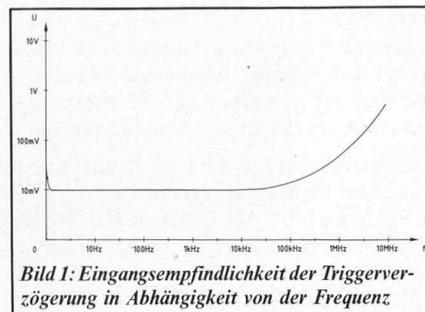
Soll die ansteigende Flanke genauer untersucht werden, muß die Ablenkgeschwindigkeit erhöht werden durch Drehung des Zeitbereichsschalters am Oszilloskop in Richtung kürzerer Ablenkzeiten. Bevor man zu einer hinreichenden Auflösung kommt, ist häufig, besonders bei steilen Flanken, dieser Signalteil nach rechts aus dem Bild gewandert.

Hier setzt die ELV-Triggerverzögerung ein, mit deren Hilfe die Auslösung der Zeitablenkung ab Triggerpunkt um eine vorwählbare Zeit verzögert werden kann, um damit

die Zeitablenkung an einer Stelle zu starten, die kurz vor dem zu betrachtenden Signal-Zeitabschnitt liegt.

Hierzu wird die ELV-Triggerverzögerung zunächst in ihren kleinsten Bereich gebracht (Dreheswitcher auf 100 ns = 0,1 µs und Potentiometer auf „x 1“). Der für die Triggerverzögerung zuständige Tastkopf wird zusätzlich zum bereits angeschlossenen Oszilloskop-Tastkopf an das zu untersuchende Eingangssignal gelegt.

Als nächstes wird am Oszilloskop auf externe Triggerung umgeschaltet. Durch Auswahl der Abschwächung am Tastkopf für die Triggerverzögerung (1:1 oder 10:1) kann ggf. die Triggerung optimiert werden. Der eingebaute Vorverstärker besitzt eine hohe Eingangsempfindlichkeit von typ. 20 mV im unteren und mittleren Frequenzbereich, die bis auf ca. 800 mV in der Nähe der oberen Grenzfrequenz von 10 MHz abnimmt. In Bild 1 ist der betreffende Kurvenverlauf dargestellt. Bei den häufig zu untersuchenden steilflankigen Signalen mit ausgeprägter Grundfrequenz arbeitet diese Triggerung sehr sicher, während bei extremen Signalmischen in manchen Fällen nur eine wesentlich aufwendigere Vorverstärker-/Triggerschaltung ein stehendes Bild ermöglicht.



Durch schrittweises Verdrehen des sechsstelligen Stufenschalters wird jetzt der Zeitbe-

reich des zu untersuchenden Signales möglichst weit an den linken Bildrand verschoben. Wurde eine Stufe zu weit gedreht, verschwindet der zu untersuchende Zeitbereich nach links aus dem Bild. Hier ist dann die nächste kürzere Verzögerungszeit zu wählen. Mit dem Einstellpoti „x 1 bis x 10“ kann nun eine feinfühligere kontinuierliche Verschiebung des interessierenden Zeitbereiches des zu untersuchenden Signals vorgenommen werden. Die optimale Einstellung ist dadurch gegeben, daß der Start der Zeitablenkung des Oszilloskops unmittelbar vor dem interessierenden Zeitabschnitt des zu untersuchenden Signals beginnt, d. h. der Kurventeil, der näher untersucht werden soll, ist ganz an den linken Oszilloskop-Bildrand geschoben.

Jetzt kann durch Erhöhung der Ablenkgeschwindigkeit (Drehung des Zeitbasischalters in Richtung kürzerer Ablenkzeiten) eine Dehnung des zu untersuchenden Signalbereiches vorgenommen werden, ohne daß dieser aus dem Bild herausläuft. Ggf. kann durch Feinabgleich der Triggerverzögerung mit Hilfe des Einstellpotis eine Korrektur der Signallage auf dem Bildschirm erfolgen.

Wesentliche Voraussetzung für das einwandfreie Arbeiten der ELV-Triggerverzögerung sind sich periodisch wiederholende Signale, die eine eindeutige Triggermöglichkeit bieten.

## Zur Schaltung

Das zu triggende und anschließend zu verzögernde Eingangssignal im Bereich zwischen 20 Hz und 10 MHz wird gleichspannungsmäßig mit Hilfe von C 1 entkoppelt und durch R 1 auf das Massepotential der Schaltung bezogen. Über die Parallelschaltung C 2/R 2 gelangt das Signal auf das Gate des als Impedanzwandler geschalteten FETs T 1 des Typs BF 245 C. D 1, D 2 dienen dem Schutz vor Überspannungen.

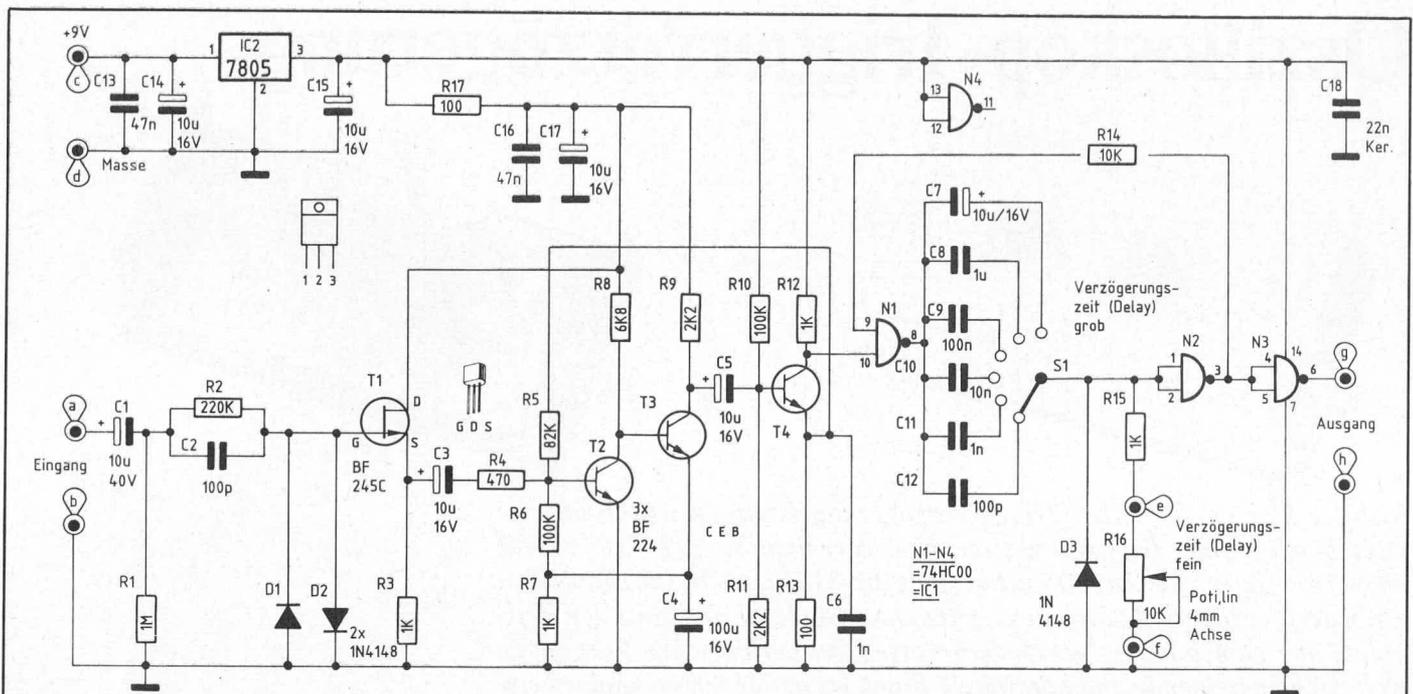


Bild 2: Schaltbild der Oszilloskop-Triggervverzögerung

Die Spannungsfestigkeit des Eingangs liegt bei 20 V<sub>eff</sub>, wobei kurzzeitige Spannungsspitzen bis zu 100 V dem Gerät keinen Schaden zufügen können.

Am Lastwiderstand R 3 steht das aufbereitete und gepufferte Signal zur Verfügung. Über C 3, R 4 gelangt es auf die Basis von T 2 der nachfolgenden Verstärkerstufe.

T 2 und T 3 sind gleichspannungsmäßig gekoppelt und besitzen über die Kombination R 6, R 7 sowie C 4 eine automatische Arbeitspunkteinstellung.

Am Kollektor von T 3 wird das verstärkte Signal abgenommen und über C 5 auf die Endstufe bestehend aus T 4 mit Zusatzbeschaltung gegeben. Der Arbeitspunkt dieses Transistors wird mit Hilfe des Spannungsteilers R 10, 11 festgelegt. Am Emitter-Strombegrenzungswiderstand R 13 wird eine Rückführungsspannung abgegriffen und über R 5 zusätzlich auf die Basis der Vorverstärkerstufe T 2 gegeben. Hierdurch erfolgt eine zusätzliche Rückkopplung zur Arbeitspunktstabilisierung dieses Verstärkertails.

Am Kollektor von T 4 steht ein sauberes, weitgehend störspannungsfreies Rechtecksignal zur Verfügung, das zur direkten Ansteuerung des Eingangs (Pin 10) der Monoflop-Schaltung geeignet ist. (N 1, 2 mit Zusatzbeschaltung).

Bei jeder negativen Flanke (Wechsel von „high“ nach „low“) an Pin 10 von N 1 erfolgt am Ausgang (Pin 8) ein Potentialwechsel von „low“ (ca. 0 V) auf „high“. Dieser Wechsel wird über einen der Kondensatoren C 7 bis C 12 sowie S 1 auf die beiden parallel geschalteten Eingänge (Pin 1, 2) des nachfolgenden Gatters N 2 gegeben. Dessen Ausgang (Pin 3) springt im selben Moment auf „low“ und bewirkt damit an Pin 9 von N 1 eine Selbsthaltung, unabhängig vom Eingangspegel an Pin 10.

Die Verzögerungszeit (Monozeit) wird durch einen der Kondensatoren C 7 bis C 12 (je

nach Stellung von S 1) in Verbindung mit R 15, R 16 festgelegt. Nach Ablauf dieser Zeit ist die Spannung an den Eingängen Pin 1, 2 von N 2 soweit in Richtung Massepotential abgefallen, daß der Ausgang (Pin 3) wieder auf „high“ springt. Hierdurch wird auch das Gatter N 1 an Pin 9 freigegeben, so daß ein weiterer negativer Spannungssprung an Pin 10 einen neuen Verzögerungsablauf starten kann. D 3 dient zur schnelleren Entladung der zeitbestimmenden Kondensatoren nach Ablauf der Monozeit.

Das Gatter N 3 nimmt eine weitere Invertierung und Pufferung vor.

Am Platinenanschlußpunkt „g“ steht das entsprechende aufbereitete Signal mit TTL-Pegel zur externen Triggereung eines Oszilloskops zur Verfügung. Die steigende Flanke ist nahezu unverzögert, während die fallende Flanke den verzögerten Zeitpunkt markiert. Je nachdem, ob die externe Triggereung am Oszilloskop auf positive oder negative Triggereung eingestellt ist, kann somit zwischen beiden Funktionen gewählt werden.

### Zum Nachbau

Bis auf die 3 Buchsen und das Einstellpoti sind sämtliche Bauelemente auf einer einzigen, übersichtlich gestalteten Leiterplatte untergebracht.

Zunächst werden die niedrigen und anschließend die höheren Bauelemente anhand des Bestückungsplanes auf die Platine gesetzt und auf der Leiterbahnseite verlötet.

Zweckmäßigerweise wird die Platine in ein passendes Gehäuse eingebaut. Zuvor sind entsprechend der Abbildung an den beiden Stirnseiten die Bohrungen für die BNC-Eingang- und Ausgangsbuchse sowie die 3,5 mm-Klinkenbuchse zur Stromversorgung einzubringen. Danach sind die Buchsen durch die Bohrungen zu stecken und fest zu verschrauben.

Die Befestigung der Leiterplatte im Gehäuse erfolgt über 4 Schrauben M 3 x 6 mm.

Die Eingangsbuchse wird mit zwei kurzen Silberdrahtabschnitten an die entsprechenden Platinenanschlußpunkte gelötet (Zentralstift der Buchse an den Platinenanschlußpunkt „a“ und Außenanschluß der Buchse an Platinenanschlußpunkt „b“). Die 3,5 mm-Klinkenbuchse wird entsprechend der Abbildung 3 ebenfalls über 2 kurze Silberdrahtabschnitte an die entsprechenden Platinenanschlußpunkte gelegt.

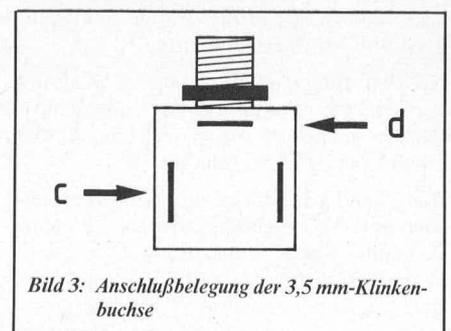
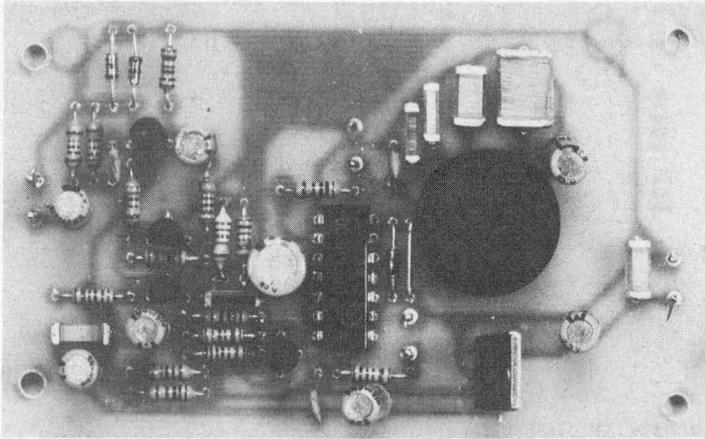


Bild 3: Anschlußbelegung der 3,5 mm-Klinkenbuchse

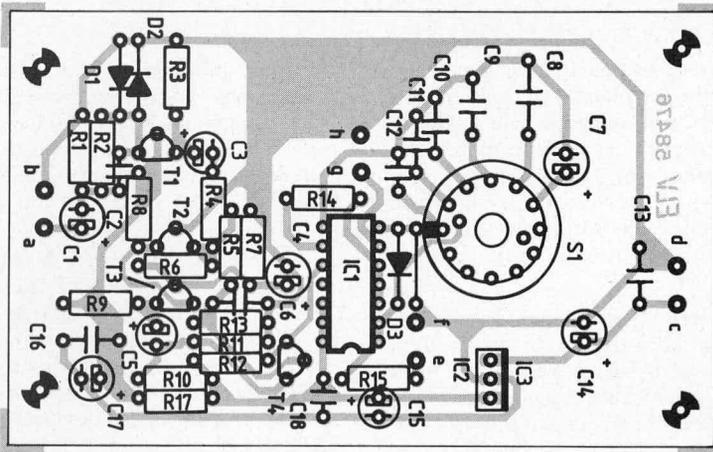
Für den Anschluß der Ausgangsbuchse dient ein ca. 60 mm langer Abschnitt einer Iadrigen, abgeschirmten, isolierten, flexiblen Leitung.

In gleicher Weise wird das ins Gehäuseoberteil eingebaute Einstellpoti mit einer Iadrigen, abgeschirmten, isolierten, flexiblen Leitung (ca. 60 mm) mit den zugehörigen Platinenanschlußpunkten verbunden. Der mittlere und linke Potianschluß liegen hierbei an der Abschirmung, die wiederum an den Platinenanschlußpunkt „f“ gelötet wird. Der rechte Potianschluß wird über die Innenader mit dem Platinenanschlußpunkt „e“ verbunden.

Nach dem Aufsetzen und Verschrauben des Gehäuseoberteils sowie dem Aufsetzen der beiden Drehknöpfe kann die Triggervverzögerung ihrem ersten Einsatz zugeführt werden.



Ansicht der fertig bestückten Oszilloskop-Triggervverzögerung



Bestückungsseite der Platine der Oszilloskop-Triggervverzögerung

### Stückliste:

#### Triggervverzögerung

##### Widerstände

100 Ω	R 13, R 17
470 Ω	R 4
1 kΩ	R 3, R 7, R 12, R 15
2,2 kΩ	R 9, R 11
6,8 kΩ	R 8
10 kΩ	R 14
82 kΩ	R 5
100 kΩ	R 6, R 10
220 kΩ	R 2
1 MΩ	R 1
10 kΩ, Poti, 4 mm	R 16

##### Kondensatoren

100 pF	C 2, C 12
1 nF	C 6, C 11
10 nF	C 10
22 nF, Keramik	C 18
47 nF	C 13, C 16
100 nF	C 9
1 μF	C 8
10 μF/16 V	C 3, C 5, C 7, C 14, C 15, C 17
10 μF/40 V	C 1
100 μF/16 V	C 4

##### Halbleiter

7805	IC 2
74 HC 00	IC 1
BF 245 C	T 1
BF 224	T 2-T 4
1N4148	D 1-D 3

##### Sonstiges

- 1 Präzisionsdreheschalter 6.2 S
- 8 Lötstifte
- 20 cm 1adrig abgeschirmte Leitung
- 2 BNC-Buchsen
- 1 3,5 mm-Klinkenbuchse
- 1 14er Spannzangendrehkopf
- 1 14er Deckel
- 1 14er Pfeilscheibe
- 1 Knopfreduzierstück

# ELV-Schallpegelmeßgerät SPM 130



*Gehören Sie auch zu denjenigen, die gern wissen möchten, wie laut es tatsächlich ist (z. B. im Auto, am Arbeitsplatz, in lärmbelasteten Umgebungen usw.) oder möchten Sie vielleicht Ihre selbstgebauten High-End-Boxen einmessen? Mit Hilfe des neuen ELV-Schallpegelmessers ist dies alles möglich.*

## Allgemeines

Lärm wird von Menschen abhängig von ihrer seelischen und körperlichen Verfassung nur subjektiv beurteilt. Um trotzdem die genaue Größe festzustellen, benötigt man einen Helfer, der Schallpegel objektiv beurteilen kann — den Schallpegelmesser.

Das menschliche Ohr empfindet die Töne unterschiedlich stark. Tiefe Frequenzen nimmt man weniger wahr als hohe. In der ELV-Serie „Gehör-Mikrofon-Kopfhörer“ von Dr. Ivar Veit aus dem Hause Sennheiser Electronic KG, die in den Ausgaben Nr. 41 bis 48 des „ELV journal“ erschienen ist, werden unter anderem die Belange rund um das menschliche Gehör ausführlich beschrieben. Darüber hinaus ist diese Artikelserie in Form einer Broschüre unter der Bestellnummer 0404271 zum Preise von DM 9,95 direkt bei ELV erhältlich. An dieser Stelle soll die betreffende Thematik daher nicht weiter vertieft werden und der vorliegende Artikel auf den Schallpegelmesser konzentriert bleiben.

Bei der Messung von Schallpegeln haben sich 2 grundsätzliche Bewertungskurven herausgebildet, die den meisten praktischen Anforderungen gerecht werden.

Zum einen handelt es sich um die sogenannte A-Kurve, die eine ungefähr inverse Abbildung der Empfindlichkeit des menschlichen

Ohres darstellt. In Bild 1 ist der Frequenzverlauf eines normalhörenden Ohres bei unterschiedlichen Schallpegeln und in Bild 2 der Frequenzgang des A-Bewertungsfilters gezeigt. Damit bei Lärmmessungen der Schallpegelmesser genauso messen kann wie das menschliche Ohr hört, muß ein entsprechendes Filter (A-Bewertungsfilter) mit eingebaut werden.

Zum anderen besteht die Forderung, Schallpegel unbewertet, d. h. bei linearem Frequenzgang zu messen. Dies ist z. B. beim Einmessen einer Lautsprecherbox der Fall. Hier wird ohne Filter, also linear, über den gesamten Frequenzbereich von 20 Hz bis 20 kHz gemessen.

## Bedienung und Funktion

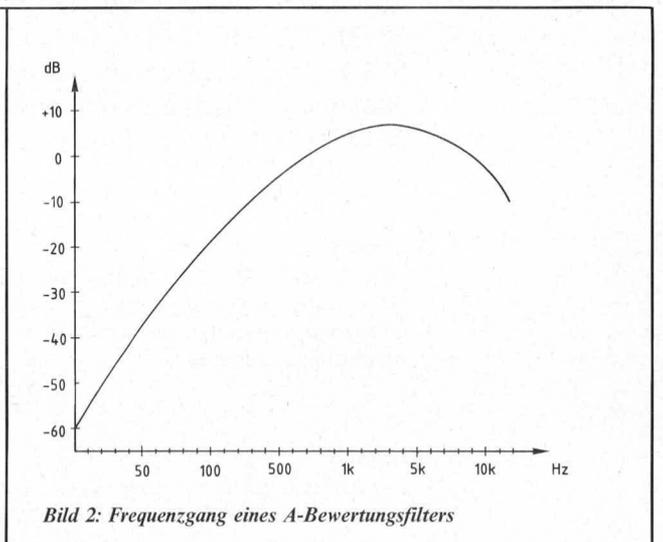
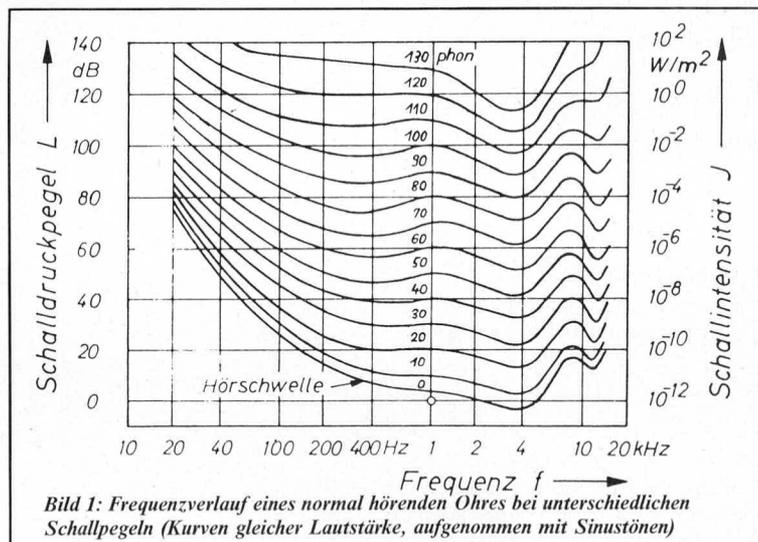
Auf der Frontseite des ELV-Schallpegelmessers SPM 130 sind zwei Drehschalter sowie ein Schiebeshalter angeordnet. Mit diesen drei Bedienelementen werden alle Funktionen des Gerätes eingestellt.

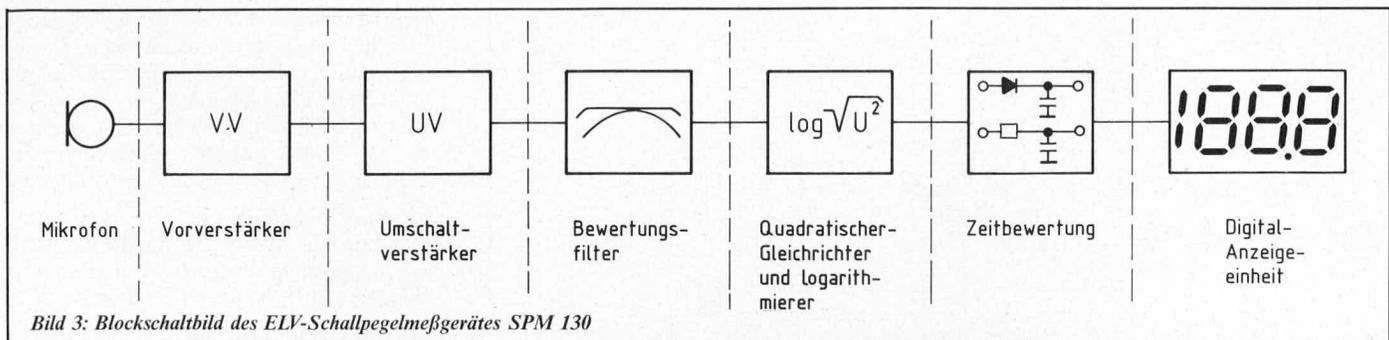
Mit dem Schiebeshalter wird zwischen den Bewertungsarten „linear“ (Stellung „lin“) und „A-Bewertung“ („dBA“) gewählt. Üblicherweise werden Messungen, bei denen der Mensch und seine Hörempfindungen eine Rolle spielen, unter Berücksichtigung des A-Bewertungsfilters vorgenommen. Dies ist bei fast allen Geräuschmessungen im Hinblick auf Lärmbelastigungen usw. der Fall.

Ein quasi unbewerteter, d. h. linearer Frequenzverlauf im Bereich von 20 Hz bis 20 kHz wird hingegen bei zahlreichen, rein technischen Messungen gewünscht wie sie z. B. bei der Einmessung von Lautsprecherboxen erfolgen.

Der rechte Drehschalter dient zur Anwahl der drei Meßbereiche. In der linken Stellung „0“ wird der A/D-Wandler einschließlich des betreffenden Vorverstärkers getestet, d. h. auf der Anzeige erscheint „00.0“ bis „00.4“ (der linke Drehschalter steht hierbei in Stellung „F“). Größere Abweichungen deuten auf einen Defekt des Gerätes hin. In Stellung „70 dB“ werden Messungen von 40 dB bis 70 dB, in Stellung „100 dB“ von 70 dB bis 100 dB und in Stellung „130 dB“ von 100 dB bis 130 dB vorgenommen. Bei eingeschränkter Genauigkeit kann jeder Meßbereich um ca. 10 dB über- sowie unterschritten werden, wodurch sich eine hinreichende Überschneidung der drei Bereiche ergibt. Die Genauigkeit im gesamten definierten Meßbereich von 40 dB bis 130 dB liegt bei typ. 0,5 dB (!). Die typischen Meßbereichsgrenzen reichen von ca. 35 dB bis 135 dB. Dies bedeutet eine Dynamik von 100 dB (!) entsprechend einem Verhältnis von 1:100 000.

Wichtig ist in diesem Zusammenhang die Wahl des korrekten Meßbereiches. Dies ist jedoch auf einfache Weise möglich, indem





während einer Messung geprüft wird, ob der angezeigte Wert innerhalb der Meßgrenzen des eingestellten Meßbereiches liegt (in Stellung „100 dB“ also zwischen 70 dB und 100 dB). Von einer geringfügigen Meßbereichsüber- bzw. -unterschreitung einmal abgesehen, sind angezeigte Meßwerte außerhalb des definierten Bereiches nicht verwertbar, d. h. bei größeren Meßbereichsüber- bzw. -unterschreitungen (mehr als  $\pm 10$  dB) steigen die möglichen Meßfehler sprunghaft an. Diesem Punkt ist somit während der Messungen die nötige Aufmerksamkeit zu schenken, zumal mit einem kurzen Blick der angezeigte Meßwert und der eingestellte Meßbereich verglichen werden können.

Der linke Drehschalter dient zur Vorwahl der Zeitbewertung und gleichzeitig zum Einschalten des Gerätes.

In der Schalterstellung „Aus“ ist die Stromversorgung unterbrochen. Durch die Anwahl einer der drei Zeitbewertungsstellungen „S, F, I“ wird das Gerät gleichzeitig eingeschaltet.

In vielen Fällen weisen die zu messenden Geräusche Pegelschwankungen auf, deren Ausmaß durch die gewählte Zeitbewertung wesentlich mitbestimmt wird. Der ELV-Schallpegelmessgerät SPM 130 bietet hierzu drei der gebräuchlichsten Bewertungsmöglichkeiten.

1. In der Schalterstellung „S“ (Slow = langsam) besitzt das Gerät eine Zeitkonstante von 1 s. Hierdurch wird eine sichere Ableseung auch bei schwankenden Pegeln und die Weiterverarbeitung zu einem wirkungsäquivalenten Langzeit-Beurteilungswert ermöglicht. Schnelle Schwankungen werden ausgemittelt und kurze Impulse weitgehend unterdrückt.

2. Sollen hingegen die Unterschiede im Verlauf von wechselnden Schallereignissen sichtbar werden, empfiehlt sich die Schalterstellung „F“ (Fast = schnell, hier: aktuell) mit einer Zeitkonstanten von ca. 125 ms. Die Anzeige stellt sich schnell ein und folgt auch verhältnismäßig schnell wechselnden Schallstärken. In bestimmten Fällen wie z. B. beim Taktmaximalpegel-Verfahren ist diese Zeitbewertung obligatorisch.

3. In der Schalterstellung „I“ (Impuls) spricht das Gerät auch auf kurze impulsartige Schallereignisse an, d. h. die Anzeige erlaubt eine Aussage über die Intensität der Kurzzeitwahrnehmungen oder anderer Wirkungen auf den Menschen. In diesem Fall kommen zwei Zeitkonstanten zum Tragen, die bei Impulsen einen schnellen Anstieg (35 ms) und einen langsamen Abfall

(10 s) bewirken. Früher wurden Schallpegelmessgeräten mit der Zeitbewertung „I“ auch als Impulsschallpegelmessgeräten bezeichnet (Achtung: Bei Anwahl dieses Bereiches kann die Anzeige zunächst in den Überlauf gehen. Es sind dann ca. 10 s zu warten bis die Anzeige auf einen Wert „heruntergelaufen“ ist, der kleiner als der zu erwartende Meßwert ist).

Welche Zeitbewertung im konkreten Fall einzustellen ist, hängt vom jeweiligen Einsatzfall in Verbindung mit der gewünschten Aussage ab (ist der Spitzenwert oder der Mittelwert oder die Schwankung von Interesse). Darüber hinaus gibt es einschlägige Meßnormen, Richtlinien und Vorschriften, die bei professionellem Einsatz von Schallpegelmessgeräten die genaue Vorgehensweise festlegen. In einer der nächsten Ausgaben des ELV journal werden wir in einem separaten Artikel hierauf noch detaillierter eingehen.

### Zur Schaltung

In Bild 3 ist die prinzipielle Funktionsweise des ELV-Schallpegelmeßgerätes SPM 130 im Blockschaltbildcharakter dargestellt.

Die zu messende Schallstärke wird von einer besonders hochwertigen Elektret-Mikrofonkapsel (Druckempfänger) in Back-Elektret-Technik mit integriertem Impedanzwandler empfangen. Bei dieser Mikrofonkapsel der Firma Sennheiser electronic des Typs KE 4-211-2 handelt es sich um ein System mit äußerst geringen Abmessungen (TO 18-Transistor-Gehäuse), weitem Übertragungsbereich (20 Hz bis 20 kHz), hohem

Geräuschspannungsabstand und großem Dynamikbereich (von ca. 35 dB bis ca. 135 dB) sowie Körperschallunempfindlichkeit durch Back-Elektret-Technik. Vorstehende Spezifikationen stellen eine wesentliche Voraussetzung für einen hochwertigen Schallpegelmessgerät dar. Low-Cost Mikrofonkapseln wie sie vielfach auf dem Markt günstig angeboten werden mit eingeschränktem Frequenzbereich, geringer Dynamik usw. sind für den Einsatz im SPM 130 absolut ungeeignet.

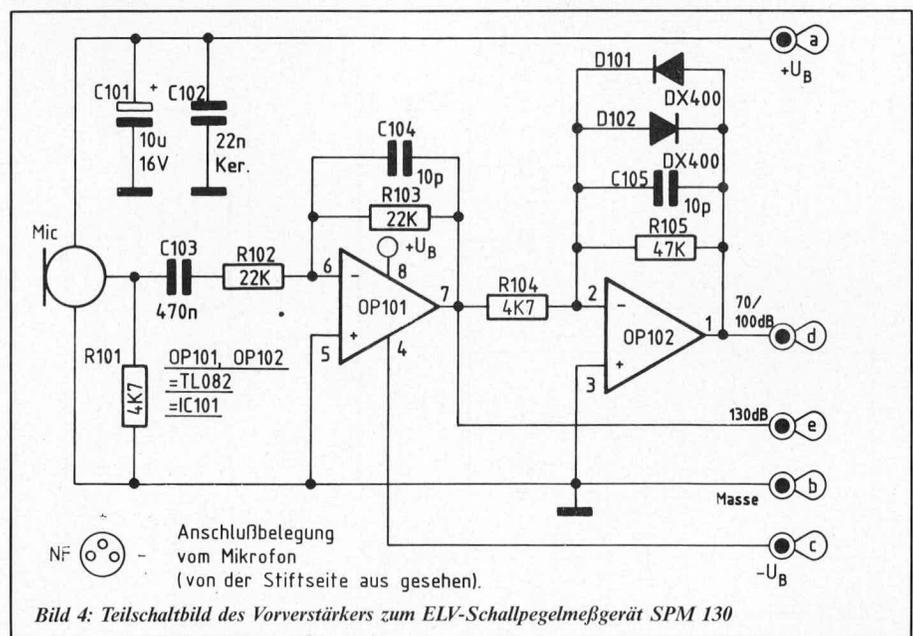
Das Mikrofon arbeitet auf einen Vorverstärker (VV), der sich gemeinsam mit der Mikrofonkapsel in einem abschirmenden Metallröhrchen befindet. Diese Maßnahme ist wichtig, um auch die im kleinsten Meßbereich auftretenden Spannungen im Bereich von  $10 \mu\text{V}$  (10 millionstel Volt) verarbeiten zu können.

Vom Vorverstärker aus führt eine ca. 1 Meter lange Zuleitung zum Eingang des Basisgerätes. Durch die Loslösung des Vorverstärkers mit dem Mikrofon vom Basisgerät ergibt sich eine hohe Flexibilität der Meßmöglichkeiten bei gleichzeitiger Minimierung der Schallfeldstörungen durch das Gerät.

Der Umschaltverstärker bietet die Möglichkeit der Verstärkungsumschaltung in drei Bereichen.

Es folgt das Bewertungsfilter, wobei zwischen „lin“ und „dBA“ gewählt werden kann.

Die soweit aufbereitete vom Mikrofon abgegebene NF-Wechselspannung gelangt auf



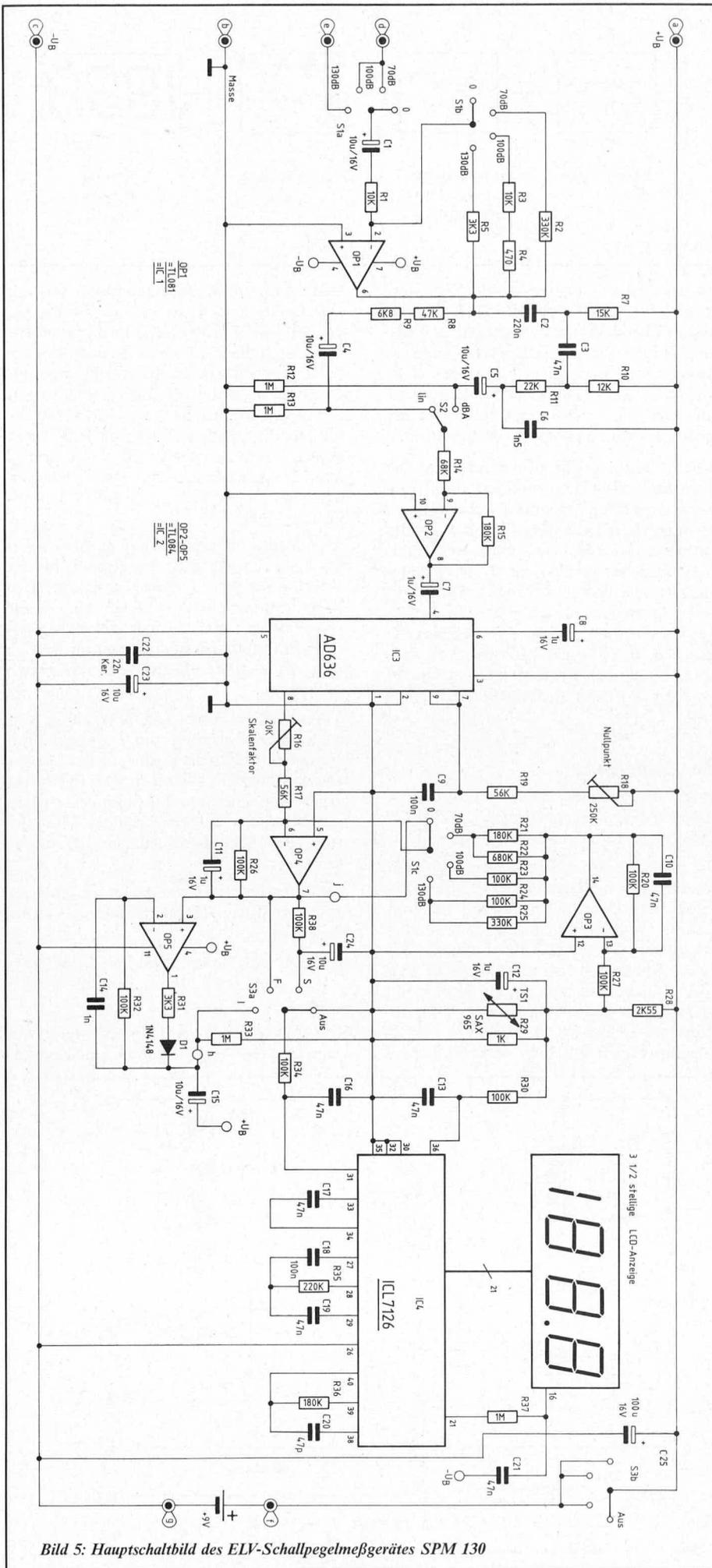


Bild 5: Hauptschaltbild des ELV-Schallpegelmeßgerätes SPM 130

einen quadrierenden Gleichrichter mit nachgeschaltetem Logarithmierer. Das Logarithmieren ist erforderlich, um eine linear verlaufende Gleichspannung in eine logarithmische Kurvenform zu bringen, die später von einem entsprechenden digitalen Spannungsmesser verarbeitet werden kann.

Zuvor durchläuft die so aufbereitete Gleichspannung eine Zeitbewertung, die die Auswahl zwischen Spitzenwertmessung und verschiedenen Integrationszeiten bietet.

Den Abschluß bildet eine Digital-Anzeige-einheit, auf der der Meßwert des betreffenden Schallereignisses direkt in dB abgelesen werden kann.

Nachdem wir die grundsätzliche Funktionsweise des SPM 130 betrachtet haben, wenden wir uns der ausführlichen Schaltungsbeschreibung zu.

In Bild 4 ist die auf einer separaten Platine aufgebaute Mikrofon-Vorverstärkereinheit dargestellt. Die zu messenden Schallereignisse werden von der Elektret-Mikrofonkapsel aufgenommen und in elektrische NF-Wechselspannungssignale umgesetzt. Über C 103, R 102 gelangen diese Signale auf die erste als Impedanzwandler geschaltete Verstärkerstufe, die mit OP 101 und Zusatzbeschaltung aufgebaut ist. Der Verstärkungsfaktor wird durch die beiden Widerstände R 103 und R 102 festgelegt und beträgt exakt 1 — bei einer Phasendrehung von 180 Grad. Der Ausgang (Pin 7 von OP 101) wird zur direkten Weiterverarbeitung im 130 dB-Bereich an den Platinenanschlußpunkt „e“ geführt.

Für die beiden kleineren Meßbereiche ist eine weitere Verstärkung um den Faktor 10 mit Hilfe des OP 102 erforderlich, bevor diese Signale über die Verbindungsleitung zum Basisgerät geleitet werden (Platinenanschlußpunkt „d“). Der Verstärkungsfaktor wird hier durch die beiden Widerstände R 105 und R 104 festgelegt. Werden Messungen im 130 dB-Bereich vorgenommen, können die Eingangsamplituden so groß werden, daß der Ausgang des OP 102 in die Begrenzung fährt. Dies wiederum könnte zu unerwünschten Rückwirkungen (z. B. über die Versorgungsspannung) auf die erste Verstärkerstufe führen, obwohl der betreffende Ausgang („d“) in diesem Falle gar nicht benutzt wird. Hier schaffen die beiden im Rückkopplungszweig liegenden reststromarmen Begrenzerdioden D 101, 102 Abhilfe. Bei Messungen in den beiden unteren Bereichen (70/100 dB) sind aufgrund der entsprechend kleineren Amplituden diese Dioden wirkungslos.

Die Kondensatoren C 101 und C 102 dienen der allgemeinen Stabilisierung und Schwingungsunterdrückung. R 101 stellt den erforderlichen Belastungswiderstand für den gepufferten Mikrofonausgang dar.

Die Versorgungsspannung wird über die Anschlußpunkte „a“ (positive Batteriespannung) und „c“ (negative Batteriespannung) zugeführt, während der Platinenanschlußpunkt „b“ (Masse) mit dem internen, künstlich erzeugten Schaltungsmassepunkt des Basisgerätes verbunden wird. „d“ und „e“ stellen die beiden Signalausgänge dar. Als Zuleitung wird eine 4adrige, flexible, isolierte, abgeschirmte, ca. 1 Meter lange Leitung

verwendet, deren Abschirmung am Massepunkt „b“ liegt.

Sehen wir uns nun die Schaltung des Basisgerätes in Abbildung 5 an.

Über den Bereichswahlschalter S 1a gelangt das vom Vorverstärker kommende NF-Signal auf den Eingang des Umschaltverstärkers (OP 1 mit Zusatzbeschaltung). Die Verstärkungsumschaltung erfolgt mit S 1b, wobei das Verhältnis des im Rückkopplungszweig liegenden Widerstandes zu R 1 den Verstärkungsfaktor bestimmt. C 1 dient zur gleichspannungsmäßigen Entkopplung.

Je nach Stellung des Schiebeschalters S 2 gelangt das vom Ausgang (Pin 6) des OP 1 kommende NF-Signal entweder über das A-Bewertungsfilter (C 2, C 3, C 6, R 7, R 10, R 11) oder direkt über R 8, R 9 auf den invertierenden Verstärker OP 2, dessen Ausgang (Pin 8) auf den Eingang (Pin 4) des IC 3 arbeitet. C 4, C 5, C 7 dienen lediglich der gleichspannungsmäßigen Entkopplung.

Das IC 3 des Typs AD 636 stellt ein weiteres wesentliches Bauelement innerhalb der Schaltung des SPM 130 dar. Ursprünglich als echter Effektivwertwandler konzipiert, besitzt dieses IC einen dB-Ausgang (Logarithmierer), der in Verbindung mit dem vorgeschalteten echten Effektivwertwandler eine Ausgangsspannung liefert, die den Logarithmus des entsprechenden Gleichrichtertes darstellt. Diese an Pin 8 des IC 3 zur Verfügung stehende Gleichspannung gelangt auf den mit OP 4 und Zusatzbeschaltung aufgebauten invertierenden Verstärker. Der genaue Verstärkungsfaktor wird mit R 16 eingestellt (Skalenfaktor).

Je nach Stellung des für die Zeitbewertung zuständigen Drehschalters S 3a wird entweder die Ausgangsspannung des OP 4 (Pin 7) direkt abgegriffen (schnelle Ansprechgeschwindigkeit) oder über das R/C-Glied R 38/C 24 (Zeitkonstante ca. 1 s) oder über den Spitzenwertgleichrichter aufgebaut mit OP 5 und Zusatzbeschaltung. Die Aufladzeitkonstante wird hierbei durch R 31/C 15 und die Entladzeitkonstante durch R 33/C 15 festgelegt.

Über R 34 wird dann eine dieser 3 Spannungen auf den Meßeingang (Pin 31) des A/D-Wandlers IC 4 des Typs ICL 7126 gegeben. Dieses IC setzt eine Gleichspannung, die zwischen den Anschlußpins 30 und 31 anliegt, in einen Digitalwert um, der anschließend direkt auf dem LC-Display abgelesen werden kann.

Die zugehörige Referenzspannung steht zwischen den Anschlußpins 35 und 36 an, wobei Pin 32 eine interne Referenzspannung generiert, die typ. 2,8 V unterhalb der positiven 9 V-Versorgungsspannung liegt.

Eine Besonderheit stellt in diesem Zusammenhang der Temperatursensor Ts 1 des Typs SAX 965 dar. In Verbindung mit R 28 und R 29 ist die Einflußgröße dieses Temperatursensors so dimensioniert, daß sich die über R 30 auf Pin 36 des IC 4 gegebene Referenzspannung in dem Maße mit der Temperatur verändert, wie durch die gleiche Temperaturänderung die Ausgangsspannung des IC 3 driftet. Hierdurch wird auf höchst elegante Weise eine automatische Temperaturkompensation des IC 3 vorgenommen,

die bei entsprechender Genauigkeit für die Verwendung des dB-Ausganges erforderlich ist.

In gleichem Maße wie die Referenzspannung müssen sich auch die Kompensationsströme für die 3 Meßbereiche verändern, jedoch mit unterschiedlichen Vorzeichen. Hierzu dient der als Inverter geschaltete OP 3, der über R 27 direkt an die Referenzspannung angekoppelt ist. Bei einer Temperatur von 25°C fällt über Ts 1 eine Referenzspannung von ca. 470 mV ab.

R 21 bis R 25 sind so dimensioniert, daß sich eine Pegelverschiebung am Ausgang (Pin 7) des OP 4 ergibt, die entsprechend den 3 Meßbereichen jeweils eine Differenz von 30 dB ausmacht.

Zur „Nullpunkt“-Einstellung dient R 18, mit dessen Hilfe ein zusätzlicher Gleichstrom in den Logarithmierer eingespeist wird. Dies ist erforderlich, um eine Meßbereichsverschiebung auf den gewünschten Wert vornehmen zu können. Hierbei wird als „Nullpunkt“ ein Meßpunkt am oberen Meßbereichsende gewählt, auf den bei entsprechendem Eingangssignal die Anzeige mit R 18 anschließend einzustellen ist. Auf den insgesamt einfach durchzuführenden Abgleich des SPM 130 wird im weiteren Verlauf dieses Artikels noch ausführlich eingegangen.

### Zum Nachbau

Die gesamte Schaltung findet auf 2, verhältnismäßig kompakt aufgebauten, einseitigen Leiterplatten Platz. Die Bestückung der Platinen wird in gewohnter Weise anhand der Bestückungspläne vorgenommen.

Zuerst werden die niedrigen und anschließend die höheren Bauelemente auf die Platinen gesetzt und verlötet. Auf der Vorverstärkerplatine ist C 101 und auf der Basisplatine C 12 und der Temperatursensor Ts 1 liegend einzubauen.

Grundsätzlich wäre es wünschenswert, wenn sich der Temperatursensor in unmittelbarer Nähe des zu kompensierenden IC 3 befinden würde. Da die Schaltung jedoch üblicherweise im verhältnismäßig ausgeglichenen Raumtemperaturbereich betrieben wird und darüber hinaus in einem Gehäuse untergebracht ist, das weitgehend homogene innere Temperaturverhältnisse erwarten läßt, entspricht die vorliegende Anordnung den praktischen Erfordernissen. Bei plötzlich auftretenden Temperaturstürzen von mehr als 10 Grad kann mit der vollen Genauigkeit erst nach Ablauf von ca. einer halben Stunde gerechnet werden, nachdem sich die Temperaturverhältnisse wieder stabilisiert haben.

Folgende Bauelemente sind bei der Basisplatine auf der Rückseite anzulöten: R 35, C 1, C 13, C 16 bis C 20 sowie C 25. Der Anschluß von C 25 erfolgt direkt an die Lötunkte Pin 4 (+ Pol) und Pin 11 (- Pol) des IC 2.

In die 6 Bohrungen für den Schiebeschalter S 2 werden Lötstifte eingesetzt, die auf 2 mm zu kürzen sind. Hier sind anschließend die Lötpins des Schiebeschalters anzulöten.

Damit auch das LC-Display die erforderliche Aufbauhöhe erhält wird zunächst eine 40polige Fassung in die entsprechenden Bohrungen gesetzt und verlötet. Anhand der

Abbildung 7 wird eine zweite Fassung eingesteckt, die später das LC-Display trägt. Die verwendeten IC-Fassungen sind hierzu in Längsrichtung aufzutrennen, d. h. die Zwischenstege abzuschneiden.

Die beiden jeweils mit „h“ bezeichneten Platinenanschlußpunkte auf der Basisplatine werden mit einer ca. 35 mm langen, flexiblen, isolierten Leitung auf der Bestückungsseite verbunden, während die beiden Anschlußpunkte „j“ auf der Leiterbahnseite durch einen ca. 25 mm langen, isolierten Leitungsabschnitt ihre Verbindung erhalten.

Der Batterieclip ist an die Platinenanschlußpunkte „f“ (Pluspol, rot) und „g“ (Minuspol, schwarz) zu löten.

Die Mikrofonkapsel wird, ohne die Anschlußbeinchen zu kürzen, von der Bestückungsseite aus in die zugehörigen Bohrungen der Vorverstärkerplatine gesetzt und auf der Leiterbahnseite verlötet. Anschließend sind die Anschlußbeinchen unmittelbar an der Stelle, an der sie aus der Leiterplatte heraustreten, im 90 Grad Winkel abzuknicken, damit das Mikrofon beim späteren Einsatz nach vorne aus dem Abschirmröhrchen herauschaut.

Nachdem auch die 4adrige, flexible, isolierte Zuleitung einschließlich der Abschirmung an die 5 Platinenanschlußpunkte „a“ bis „e“ der Vorverstärkerplatine gelötet wurde, kann der Einbau dieser kleinen Platine in das ca. 100 mm lange Metall-Abschirmröhrchen erfolgen. Die Vorverstärkerplatine wird hierbei soweit in das Abschirmröhrchen eingeschoben, daß die Unterseite der Mikrofonkapsel gerade eben nicht mehr auf der Stirnseite des Abschirmröhrchens hervortritt, d. h., die Vorderseite der Mikrofonkapsel ragt ca. 3 mm weit aus dem Abschirmröhrchen heraus. In dieser Stellung wird mit einem möglichst heißem LötKolben eine Lötverbindung zwischen Innenwandung des Metall-Abschirmröhrchens und der Schaltungsmasse der Vorverstärkerplatine hergestellt, und zwar möglichst im hinteren Leiterplattenbereich, damit die Mikrofonkapsel nicht unnötig erhitzt wird und auf keinen Fall mit dem LötKolben in direkte Berührung kommt.

Ist der Aufbau soweit erfolgt, kann auch der Anschluß der ca. 1 Meter langen Zuleitung an die Basisplatine erfolgen, um vor dem endgültigen Zusammenbau das Gerät in Betrieb zu nehmen und abzugleichen.

### Abgleich und Inbetriebnahme

Nachdem die Bestückung beider Platinen nochmals sorgfältig überprüft wurde, kann die Schaltung unter Zwischenfügen eines Strommessers mit der 9 V-Batteriespannung verbunden werden. Der linke Drehschalter befindet sich hierbei in Stellung „Aus“, der rechte in Stellung „0“ und der Schiebeschalter auf „lin“. Es darf jetzt keine Stromaufnahme meßbar sein. Das Display ist erloschen.

Als nächstes wird der linke Drehschalter in Stellung „F“ (Fast = schnell, aktuell) gebracht. Die Stromaufnahme liegt jetzt im Bereich zwischen 4 mA und 10 mA (typ. 6 mA). Auf der Anzeige erscheint ein Wert zwischen „00.0“ und „00.4“. Ist dies nicht der Fall, muß die Schaltung zunächst auf Löt-

brücken, Bestückungsfehler o. ä. besonders im Bereich der ICs 2, 4 untersucht werden.

Bei korrekter Anzeige wird jetzt der rechte Drehschalter in den Meßbereich „70 dB“ gebracht. Durch mehr oder weniger lautes Besprechen des Mikrofons kann sowohl in diesem als auch in den beiden übrigen Meßbereichen die grundsätzliche Funktionsweise überprüft werden, um anschließend den exakten Abgleich vorzunehmen.

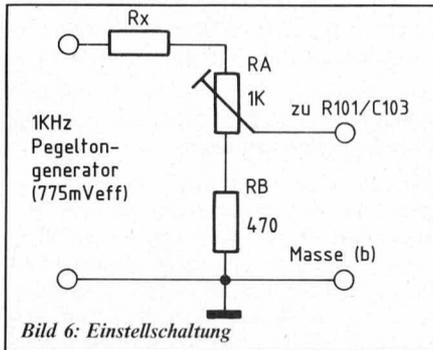


Bild 6: Einstellschaltung

Hierzu leistet z. B. der ultraklirarme 1 kHz-Pegeltongenerator aus dem ELV Journal, Nr. 45, gute Dienste. An die Platinenanschlußpunkte „c“ und „e“ (Masse) des Pegeltongenerators wird die in Bild 6 dargestellte kleine Einstellschaltung angeschlossen, die ggf. frei zu verdrahten ist. Der Mittelabgriff des 1 kΩ-Trimmers wird über eine kurze, abgeschirmte Leitung mit dem Vorverstärkereingang verbunden, wozu der Mittelabgriff der Elektret-Mikrofonkapsel für den Zeitraum der folgenden Einstellung abzulöten ist (der Punkt, an dem sich R 101 und C 103 treffen). Die beiden anderen Mikrofonanschlüsse können angeschlossen bleiben oder falls gewünscht, ebenfalls abgeklemmt werden. Der Masseanschluß der in Bild 6 gezeigten Testschaltung wird mit der Schaltungsmasse des Vorverstärkers verbunden, und zwar möglichst in der Nähe des entsprechenden Mikrofonanschlußbeinchen. Zu beachten ist, daß der Pegeltongenerator mit einer vollkommen getrennten Stromversorgung zu speisen ist (z. B. zweite 9 V-Blockbatterie).

Die Kalibrierung der 3 Meßbereiche erfolgt durch Anlegen einer NF-Testspannung, die der Abgabespannung der Mikrofonkapsel bei dem zugehörigen Schallpegel entspricht. In Tabelle I ist die Vorgehensweise für den kompletten Abgleich aufgeführt. Der linke Drehschalter befindet sich hierbei auch weiterhin in Stellung „F“ und der Schiebeshalter in Stellung „lin“.

Der erste Abgleichschritt wird im Meßbereich 130 dB ausgeführt. Bei Rx handelt es sich um eine Brücke, und der Trimmer RA wird so eingestellt, daß eine 1 kHz-Testspannung von 631 mV<sub>eff</sub> auf den Eingang des Vorverstärkers gelangt. Mit dem Spindeltrimmer R 18 zur „Nullpunkt“-Einstellung wird die Anzeige jetzt auf 130 dB eingestellt.

Eine direkte Nullpunkt-Einstellung ist nicht möglich, da aufgrund des eingeschränkten Meßbereiches die Anzeige nicht bis auf „00.0“ im realen Betrieb herunterreicht. Es ist deshalb erforderlich, eine genau bekannte Eingangsspannung, die z. B. dem Meßbereichsendwert entspricht, zu wählen und anschließend den so verschobenen „Nullpunkt“ einzustellen.

Beim zweiten Abgleichschritt wird jetzt eine Spannung von 20 mV<sub>eff</sub> auf den Vorverstärkereingang gegeben und nun der Skalenfaktor mit R 16 in der Weise abgeglichen, daß auf der Anzeige ein Wert von 100 dB erscheint.

Durch den zweiten Abgleichschritt (Skalenfaktor) kann sich der Nullpunkt wieder geringfügig verschieben, da dieser, wie bereits erwähnt, nicht wirklich im Nullpunkt eingestellt wurde. Als dritter Abgleichschritt ist daher die „Nullpunkt“-Einstellung bei einer Eingangsspannung von 631 mV<sub>eff</sub> zu wiederholen (Anzeige mit R 18 auf 130 dB).

Der vierte Abgleichschritt erfolgt analog dazu, bei einer Eingangsspannung von 20 mV<sub>eff</sub>, wobei die Anzeige mit R 16 auf 100 dB zu bringen ist.

Vorstehend beschriebene Schritte sind so oft zu wiederholen, bis beide Werte (100 dB und 130 dB) ohne nachgleichen zu müssen bei den betreffenden Eingangsspannungen auf der Anzeige erscheinen.

Nun wird im Meßbereich „70 dB bis 100 dB“ bei einer Eingangsspannung von 20 mV<sub>eff</sub> das Anzeigergebnis überprüft. Aufgrund der exakten Schaltungsdimensionierung in Verbindung mit der hohen Genauigkeit der verwendeten Bauelemente müßte sich die Anzeige automatisch auf 100 dB einstellen, bei einer maximalen Abweichung von ± 0,5 dB. Ein Abgleich ist in dieser Stellung nicht vorgesehen.

Gleiches gilt für den „40 dB bis 70 dB“ Meßbereich, bei dem eine Eingangsspannung von 631 μV<sub>eff</sub> angelegt wird und eine Anzeige von 70 dB auf dem Display erscheinen müßte. Auch hier liegen Abweichungen von ± 0,5 dB im Rahmen der Toleranz.

Sollten sich deutlich höhere Abweichungen ergeben, ist die Schaltung insbesondere im Hinblick auf die korrekt eingebauten Widerstandswerte zu untersuchen. Kleinere Abweichungen können, falls gewünscht, dadurch ausgeglichen werden, daß im „100 dB“-Bereich R 23 und im „70 dB“-Bereich R 21 oder R 22 individuell anzupassen sind. Hierzu werden diese Widerstände durch Trimmer ersetzt, der genaue Wert eingestellt, d. h., die Anzeige bei der betreffenden 1 kHz-Testspannung auf 100 dB bzw. 70 dB gebracht. Anschließend wird der Widerstandswert des Trimmers gemessen, um diesen durch eine Kombination aus Festwiderständen zu ersetzen. Im allgemeinen wird diese Vorgehensweise jedoch nicht erforderlich sein.

Voraussetzung für vorstehend genannte Abgleichmethode ist der exakte Felderlauf-Übertragungsfaktor der Mikrofonkapsel, die bei 10 mV/Pa liegt. Hierbei können jedoch Abweichungen von ± 2,5 dB auftreten. Damit sich dennoch eine entsprechend hohe Genauigkeit von ± 0,5 dB erreichen läßt, wurde jede einzelne Kapsel im ELV-Labor überprüft und ausgemessen. Zu jeder Mikrofonkapsel wird daher ein Korrekturfaktor mitgeliefert, der sich im Bereich von ca. 0,7 bis 1,4 bewegen kann. Mit diesem Faktor sind die in der Tabelle I angegebenen 1 kHz-Testspannungen zu multiplizieren und das Ergebnis für den Abgleich zugrunde zu legen.

Anhand des folgenden kleinen Beispiels soll die einfache Umrechnung aufgezeigt werden:

Liegt dem betreffenden Mikrofon ein Korrekturfaktor von 1,2 bei, so ist beim ersten Abgleichschritt eine Testspannung von 631 mV x 1,2 = 757,2 mV einzustellen. Der zweite Abgleichschritt wird mit einer Eingangsspannung von 20 mV x 1,2 = 24 mV durchgeführt usw.

Abschließend sei noch darauf hingewiesen, daß die eingestellten Testspannungen mit einem Voltmeter gemessen werden sollten, das auch bei einer Frequenz von 1 kHz genaue Messungen erwarten läßt.

### Zur Endmontage

Sind alle Test- und Abgleichergebnisse zur Zufriedenheit ausgefallen, wird der Testgenerator abgeklemmt und die Mikrofonkapsel in der bereits beschriebenen Weise wieder angelötet. Durch mehr oder weniger lautes Besprechen des Mikrofons in den verschiedenen Meßbereichen, ist die grundsätzliche Funktionsweise nochmals zu prüfen, wie auch die Funktion der 3 Zeitbewertungen des linken Drehschalters und der Stellung „dBA“ des Schiebeshalters (hier ist kein separater Abgleich erforderlich).

Die Basisplatine wird in die Gehäuseoberhalbchale des Handmeßgehäuses eingesetzt und mit 2 10 mm langen Knippingschrauben auf der Batteriefachseite festgeschraubt. 2 5 mm lange Distanzröllchen sorgen für den korrekten Abstand zwischen Gehäuseinnenseite und Leiterplatte. Auf der gegenüberliegenden Seite wird die Platine mit etwas Zwei-Komponenten- oder Sekundenkleber festgesetzt.

Die Zuleitung zum Vorverstärker wird durch eine 4 mm-Bohrung in der Stirnseite geführt, und auf der Leiterbahnseite der Basisplatine an die entsprechenden Punkte angelötet. Es ist sorgfältig darauf zu achten, daß die Abschirmung keine Kurzschlüsse verursacht. Als Zulentlastung dient ein Kabelbinder. Anschließend ist die Gehäuserückwand aufzuschrauben.

Die Vorverstärkerplatine im Metall-Abschirmröhrchen sollte vor Umwelteinflüssen

Tabelle I					
Schritt	Meßbereich	1 kHz-Testspannung U <sub>eff</sub>	Rx (Bild 6)	Anzeige	Anzeige einstellen mit:
1.	100 dB-130 dB	631 mV ± 63,1 Pa	Brücke	130 dB	R 18
2.	100 dB-130 dB	20 mV ± 2 Pa	39 kΩ	100 dB	R 16
3.	100 dB-130 dB	631 mV ± 63,1 Pa	Brücke	130 dB	R 18
4.	100 dB-130 dB	20 mV ± 2 Pa	39 kΩ	100 dB	R 16
5.	70 dB-100 dB	20 mV ± 2 Pa	39 kΩ	100 dB	—
6.	40 dB- 70 dB	631 μV ± 0,063 Pa	1 MΩ	70 dB	—

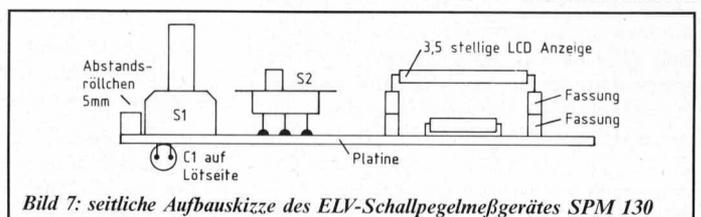


Bild 7: seitliche Aufbauskiizze des ELV-Schallpegelmeßgerätes SPM 130

möglichst gut geschützt sein. Hier bietet sich ein Vergießen dieses Schaltungsteiles an.

Um die Mikrofonkapsel zu schützen, wird zunächst der Rand mit der Vorderseite der Kapsel mit Tesafilm umwickelt, damit in die Schalleintrittsöffnung auf keinen Fall Vergußmasse eindringen kann. Als nächstes wird die Stirnseite mit Knetmasse abgedichtet, und zwar so, daß sich die Knetmasse mehrere Millimeter weit in das Abschirmröhrchen hineindrückt. Jetzt wird das Abschirmröhrchen senkrecht gestellt und von der Rückseite aus mit Vergußmasse vorsichtig aufgefüllt.

Nach dem Aushärten der Vergußmasse (ca. 24 Stunden) richtet man das Röhrchen auf, entfernt die Knetmasse auf der Stirnseite und füllt jetzt vorsichtig diesen Teil bis zum Rand mit Vergußmasse auf. Die Mikrofonkapsel ragt jetzt mindestens 2 bis 3 mm auf der Stirnseite des Abschirmröhrchens aus der Vergußmasse heraus. Nachdem auch dieser Teil der Vergußmasse ausgehärtet und die Mikrofonkapsel von Tesafilm befreit ist, steht dem Einsatz dieses interessanten Schallpegelmeßgerätes nichts mehr im Wege.

## Stückliste: Schallpegelmeßgerät

### Widerstände

470 Ω	R 4
1 kΩ	R 29
2,55 kΩ	R 28
3,3 kΩ	R 5, R 31
6,8 kΩ	R 9
10 kΩ	R 1, R 3
12 kΩ	R 10
15 kΩ	R 7
22 kΩ	R 11
27 kΩ	R 17
47 kΩ	R 8
68 kΩ	R 14, R 19
100 kΩ	R 20, R 23, R 24, R 26, R 27, R 30, R 32, R 34, R 38
180 kΩ	R 15, R 21, R 36
220 kΩ	R 35
330 kΩ	R 2, R 25
680 kΩ	R 22
1 MΩ	R 12, R 13, R 33, R 37
50 kΩ, Spindeltrimmer	R 16
100 kΩ, Spindeltrimmer	R 18

### Kondensatoren

47 pF	C 20
1 nF	C 14
1,5 nF	C 6
22 nF, Keramik	C 22
47 nF	C 3, C 10, C 13, C 16, C 17, C 19, C 21
100 nF	C 9, C 18
220 nF	C 2
1 µF/16 V	C 7, C 8, C 11, C 12
10 µF/16 V	C 1, C 4, C 5, C 15, C 23, C 24
100 µF/16 V	C 25

### Halbleiter

TL 081	IC 1
TL 084	IC 2
AD 636	IC 3
ICL 7126	IC 4
IN4148	D 1

### Sonstiges

SAX 965	TS 1
1 LCD-Anzeige 3,5stellig	
2 Präzisionsdreheschalter 4.3 S	
1 Schiebeschalter 2 x um	
1 9 V-Batterieclip	
15 Lötstifte	
1 m 4adrige abgeschirmte Leitung	
2 40polige IC-Fassung (für LCD-Anzeige)	
2 Abstandsrollchen 5 mm	
2 Knippingschrauben	

### Mikrofonverstärker

#### Widerstände

4,7 kΩ	R 101, R 104
22 kΩ	R 102, R 103
47 kΩ	R 105

#### Kondensatoren

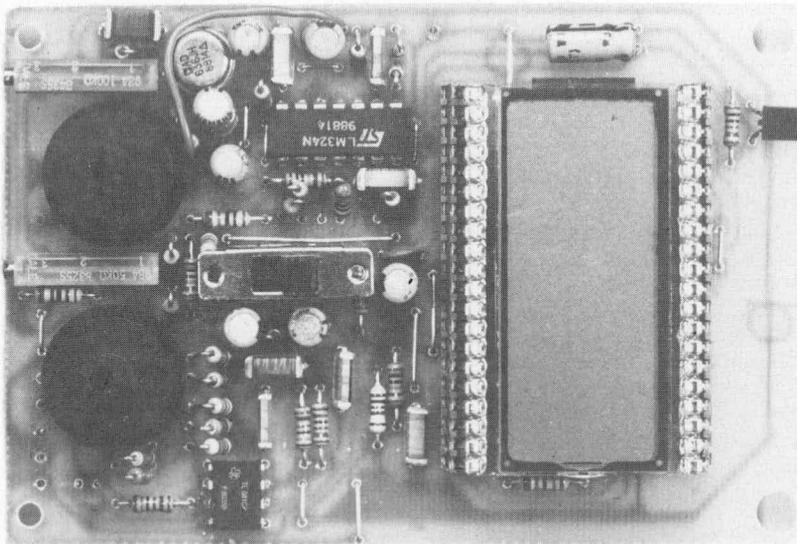
10 pF	C 104, C 105
22 nF, Keramik	C 102
470 nF	C 103
10 µF/16 V	C 101

#### Halbleiter

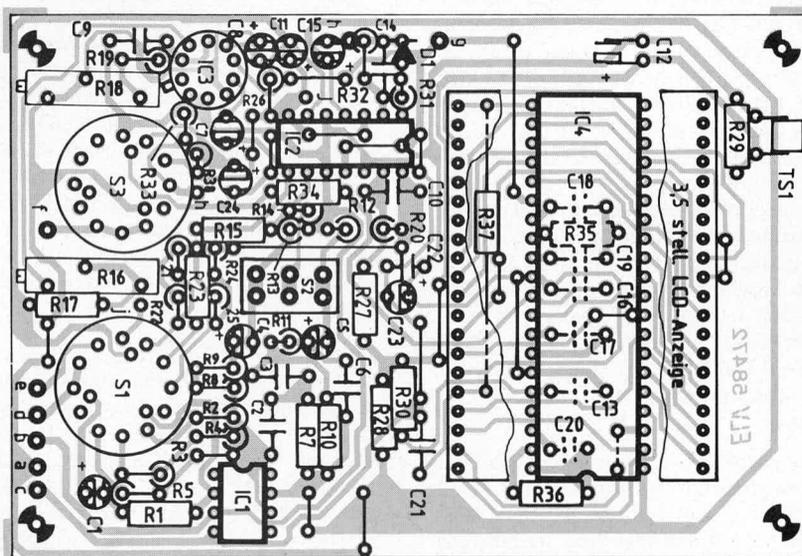
TL 082	IC 101
DX 400	D 101, D 102

#### Sonstiges

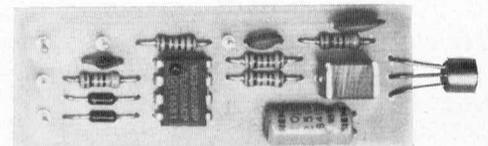
5 Lötstifte	
1 Mikro, Sennheiser KE 4-211-2	
1 Metallrohr	



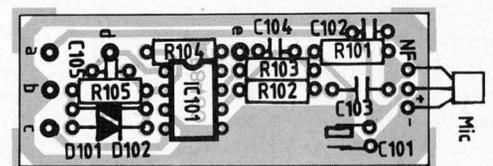
Ansicht der fertig aufgebauten Basisplatte des ELV-Schallpegelmeßgerätes SPM 130



Bestückungsseite der Basisplatte des ELV-Schallpegelmeßgerätes SPM 130



Ansicht der fertig bestückten Vorverstärkerplatte



Bestückungsseite der Vorverstärkerplatte

# High-End-Elektrostat-Kopfhörer-Verstärker EV 2000

## Direkt ansteuernder 2000 Volt-Elektrostat-Kopfhörer-Verstärker



*Es ist wohl unbestritten, daß Elektrostat-Kopfhörer die Krönung der Schallwandler darstellen. Eine Verbesserung läßt sich wie bei fast allen Dingen auch hier erreichen, und zwar in der Ansteuerung. Der im allgemeinen für Elektrostat-Kopfhörer erforderliche NF-Transformator kann beim Einsatz des hier vorgestellten 2000 Volt-High-End-Hochspannungsverstärkers ersatzlos entfallen, und die Ansteuerung erfolgt „eisenlos“ mit einer bis dahin kaum gekannten Brillanz. Beachten Sie bitte auch den Hochspannungshinweis am Schluß dieses Artikels.*

### Allgemeines

Zur Ansteuerung von elektrostatistischen Kopfhörern wird eine Wechselfspannung bis zu 2000 V<sub>SS</sub> benötigt. Bisher standen hierfür keine geeigneten Hochspannungsverstärker zur Verfügung, die hinsichtlich Dynamik, Bandbreite und Spannungsfestigkeit den Anforderungen gerecht wurden. Röhrenverstärker scheiden aufgrund ihres verhältnismäßig geringen Dynamikbereiches von 60 dB bis 65 dB von vornherein aus. So blieb bisher nur die Möglichkeit der Ansteuerung über einen NF-Transformator, der die von einer „normalen“ Endstufe kommenden Signale herauftransformiert. Hierbei ergeben sich jedoch selbst bei besonders hochwertigen NF-Transformatoren gewisse Signalverfälschungen, die bei geeigneter Auslegung zwar so gering bleiben können, daß auch in der Kombination Elektrostat-Kopfhörer/NF-Transformator gute Daten erreicht werden, die jedoch in erster Linie durch die Unzulänglichkeiten des Transformators eingeschränkt werden.

Bevor wir im weiteren Verlauf dieses Artikels auf den im ELV-Labor entwickelten High-End-Elektrostat-Kopfhörer-Verstärker EV 2000 eingehen, sollen zunächst die elektrostatistischen Kopfhörer selbst näher beleuchtet werden.

### Der elektrostatistische Kopfhörer

Elektrostatistische Kopfhörer zeichnen sich durch eine besonders präzise Wiedergabe auch feinsten klanglicher Nuancen aus und nehmen deshalb eine Spitzenstellung unter den Kopfhörern ein. Sie besitzen eine im Vergleich zu dynamischen Kopfhörern besonders leichte und trägheitsarme Membran aus einer dünnen Kunststoffolie, die symmetrisch zwischen 2 schalldurchlässigen Gegenelektroden angeordnet ist. Die Membran wird entweder schwach leitfähig gemacht und mit einer Gleichspannung gegen beide Gegenelektroden vorgespannt, oder sie wird permanent durch Elektretisieren aufgeladen, wobei die Membran dann aus einem Kunststoff mit hierfür besonders ge-

eigneten Eigenschaften (Teflon) besteht. In beiden Fällen wird erreicht, daß die Membran eine konstante, homogen verteilte elektrische Ladung trägt.

Zwischen den Gegenelektroden wird durch Anlegen einer Wechselfspannung (Audio-Signal) ein elektrisches Feld erzeugt. Dieses Feld wirkt auf die geladene Membran ein und erzeugt dort eine proportionale Kraft. Da die Ladung homogen über die Membran verteilt ist und das elektrische Feld zwischen den parallelen Gegenelektroden ebenfalls homogen ist, ist auch die Antriebskraft an jeder Stelle der Membran gleich groß. Das hat zur Folge, daß die Membran auch noch bei sehr hohen Frequenzen vollkommen einheitlich schwingt. Diese Eigenschaft führt in Kombination mit der geringen Membranmasse zu der hervorragenden Impulstreue der elektrostatistischen Kopfhörer.

Diesem unbestrittenen Vorzug steht als Nachteil gegenüber, daß elektrostatistische Kopfhörer wesentlich höhere Wechselfspannungen zur Ansteuerung benötigen, als von üblichen Verstärkern abgegeben werden. Man benutzt deshalb Transformatoren zur Spannungsanpassung. Leider sind aber deren Eigenschaften keineswegs ideal. So besteht bei tiefen Frequenzen die Gefahr der magnetischen Sättigung des Eisens, und bei hohen Frequenzen entstehen Verluste durch Streuung. Deshalb ist ein Verstärker, der die hohe Spannung direkt liefern kann und damit die Transformatoren überflüssig macht, die bessere, um nicht zu sagen, die ideale Lösung. Da die Anschlußimpedanz elektrostatistischer Kopfhörer nahezu rein kapazitiv ist, muß der Verstärker fast nur Blindleistung aufbringen. Diese kann allerdings beachtliche Werte annehmen, wie die folgende Rechnung zeigt.

Die Kapazitäten elektrostatistischer Kopfhörer einschließlich Zuleitungen liegen bei etwa 150 pF, so daß die Impedanz bei 20 kHz etwa 50 kΩ beträgt. Der Spannungsbedarf für Vollaussteuerung liegt bei etwa 700V<sub>eff</sub> entsprechend ca. 2000 V<sub>SS</sub> (Sennheiser Unipolar 2000 und Unipolar 2002). Der Strom

bei 20 kHz und Vollaussteuerung beträgt also etwa 14 mA. Damit ergibt sich eine Blindleistung von etwa 10 W! Praktisch wird diese Leistung jedoch kaum jemals benötigt, da natürliche Signalspektren keine 20 kHz-Komponenten mit vollem Pegel enthalten. Die Blindleistung verringert sich mit abnehmender Frequenz und beträgt beispielsweise bei 1 kHz und Vollaussteuerung etwa 0,5 W und bei 100 Hz nur noch 50 mW. Werden 2 Kopfhörer parallel betrieben, dann verdoppelt sich die Kapazität und entsprechend auch die Blindleistung.

Realistisch betrachtet bietet ein Verstärkerkonzept mit den angegebenen Eckdaten 700 V und 14 mA (beides Effektivwerte) genügend praktische Reserven, um einen Kopfhörer bis 20 kHz bzw. 2 Kopfhörer bis 10 kHz voll aussteuern zu können. Bei halber Signalamplitude sind nach vorstehender Betrachtung auch 2 Kopfhörer mit 20 kHz ansteuerbar.

Damit die Verlustleistung der im A-Betrieb arbeitenden Endstufen des EV 2000 vertretbare Werte annimmt, wurde die Schaltung auf die vorstehend genannten Werte ausgelegt, d. h. daß beim Anschluß eines Kopfhörers der maximal mögliche Schalldruck auch bei 20 kHz erreicht werden kann. Dies ist jedoch mehr von akademischem denn von praktischem Interesse. Beim Anschluß von 2 Kopfhörern kann selbstverständlich auch die volle Bandbreite bis 20 kHz genutzt werden, wobei die maximal möglichen Signalamplituden bei 20 kHz um 3 dB eingeschränkt sind.

Damit an dieser Stelle keine Mißverständnisse entstehen, soll noch einmal darauf hingewiesen werden, daß dieses Verhalten keineswegs einen unlinearen Frequenzverlauf bedeutet, sondern lediglich die maximal mögliche Lautstärke im oberen Frequenzbereich um 3 dB reduziert. Wird diese wie bei üblichen Schallverteilungskurven nicht mehr benötigt, ist die Aussteuerbarkeit auch beim Anschluß von 2 Kopfhörern im vollen Umfang möglich.

## Technische Daten: EV 2000

Eingänge:	Cinch und DIN sowie Lautsprecherbuchsen
Eingangsempfindlichkeit für Vollaussteuerung:	Cinch und DIN: 775 mV <sub>eff</sub> Lautsprecher :12 V <sub>eff</sub>
Ausgänge:	für Sennheiser Unipolar 2000 und Unipolar 2002
Ausgangsspannung:	max. ca. 700 V <sub>eff</sub> $\cong$ 2000 V <sub>ss</sub>
Klirrfaktor (bei U <sub>max</sub> -6 dB):	0,01 % bei 1 kHz 0,02 % bei 10 kHz
Frequenzgang:	20 Hz bis 20 kHz ( $\pm$ 0,4 dB)
Signal-Rauschabstand:	107 dB
Maße (B x H x T):	470 x 150 x 260 mm

**Achtung:** Aufgrund der hohen Ausgangsspannung des EV 2000 ist vor dem Anschluß eines Kopfhörers dieser auf einwandfreie Funktion, besonders der Isolation zu prüfen. Beim Anschluß von anderen Elektrostat-Kopfhörern als Sennheiser Unipolar 2000 bzw. Unipolar 2002 ist vorher festzustellen, ob die Betriebsspannungsfestigkeit bei min. 700 V<sub>eff</sub>  $\cong$  2000 V<sub>ss</sub> liegt und der betreffende Hersteller eine Freigabe zum Anschluß an den EV 2000 erteilt hat.

Angegeben sind typ. Werte. - Technische Änderungen vorbehalten.

### Zur Schaltung

Beginnen wir bei der Beschreibung des EV 2000 mit der Hochspannungserzeugung (Bild 1).

Ein großzügig dimensionierter 220 V/70 VA-Netztransformator (Tr 2) stellt an seiner Sekundärseite eine 350 V-Wechselspannung mit einer Belastbarkeit von 200 mA bereit. Diese wird in einer doppelten Einweg-Spitzenwert-Gleichrichtung in Verbindung mit den Pufferkondensatoren C 21 bis C 24 in eine Gleichspannung von ca. 1000 V umgesetzt. Die Widerstände R 58 bis R 69 dienen zur gleichmäßigen Spannungaufteilung auf die Pufferkondensatoren.

Die bei einer Belastung von nahezu konstant 40 mA auftretende Brummspannung liegt im Bereich von ca. 8 V entsprechend einer Restwelligkeit von weniger als 1 %. Für das hier vorliegende Verstärkerkonzept, das nach dem Stromquellenprinzip arbeitet, spielt diese Restwelligkeit keine Rolle. Ein

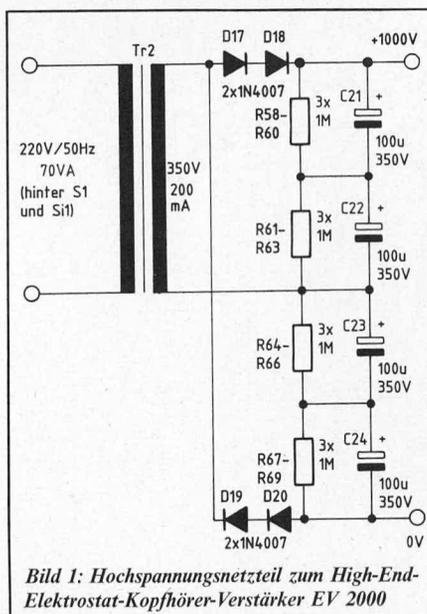


Bild 1: Hochspannungsnetzteil zum High-End-Elektrostat-Kopfhörer-Verstärker EV 2000

hierauf zurückzuführender Brummanteil am Verstärkerausgang ist im Bereich des vollen Dynamikumfangs nicht vorhanden. Auf eine zusätzliche elektronische Stabilisierung kann daher verzichtet werden.

Die Versorgung der Ansteuerverstärker sowie der übrigen Elektronik des EV 2000 erfolgt aus einem 24-V-Gleichspannungsnetzteil (Bild 2 oben links).

Über den 2poligen auf der Frontplatte angeordneten Netzschalter S 1 a, b sowie die Schmelzsicherung S 1 l gelangt die 220 V-Netzwechselspannung sowohl auf den 70 VA-Netztransformator Tr 2 als auch auf den zweiten separaten Netztrafo Tr 1. Die 24 V-Wechselspannung der Sekundärseite von Tr 1 wird über D 1 bis D 4 gleichgerichtet, durch C 1 gepuffert und mit Hilfe des Festspannungsreglers IC 1 auf 24 V stabilisiert. C 2 und C 3 dienen der Schwingneigungunterdrückung. D 5 signalisiert die Betriebsbereitschaft, wobei der Vorwiderstand R 1 den Betriebsstrom für diese Leuchtdiode begrenzt.

Der eigentliche NF-Verstärkerteil ist in Abbildung 2 mit einer gestrichelten Linie umrahmt. Dieser Schaltteil ist doppelt vorhanden, im Schaltbild jedoch nur einmal gezeichnet, da er für die Endstufe des linken Kanals mit der Endstufe für den rechten Kanal absolut identisch ist. In der Durchnummerierung der einzelnen Bauteile ist als Unterscheidungsmerkmal ein „L“ für den linken Kanal bzw. ein „R“ für den rechten Kanal angefügt.

Zur Ansteuerung des EV 2000 können verschiedene Möglichkeiten genutzt werden:

1. Ansteuerung vom Lautsprecherausgang eines Vollverstärkers über dessen Endstufe. Die Ankopplung erfolgt über einen Lautsprecherstecker an der Lautsprecherbuchse des EV 2000. Das NF-Signal gelangt dann vom Platinenanschlusspunkt „s“ auf den Spannungsteiler R 70, 71. In seiner Amplitude um den Faktor

16 reduziert, gelangt dieses Signal auf den Wahlschalter S 2 auf der Gehäuserückseite.

2. Ansteuerung durch den Ausgang eines Vorverstärkers. Hierbei stehen 2 der gebräuchlichsten Anschlußbuchsen zur Verfügung:

- Cinch-Buchse für linken und rechten Kanal getrennt sowie
- DIN-Buchse, wobei hier eine Buchse zum Anschluß beider Kanäle dient.

Die entsprechenden Anschlußpins dieser Buchsen sind zusammengelegt und gemeinsam auf den zweiten Anschlußpunkt des Wahlschalters S 2 geführt.

Je nach Stellung von S 2 erfolgt die Ansteuerung entweder durch einen Vor- oder Vollverstärker (der Zusatz „a“ kennzeichnet diejenige Schalterhälfte, die den Signalweg für den linken Kanal umschaltet, während der Zusatz „b“ äquivalent die Schalterhälfte des rechten Kanals bezeichnet).

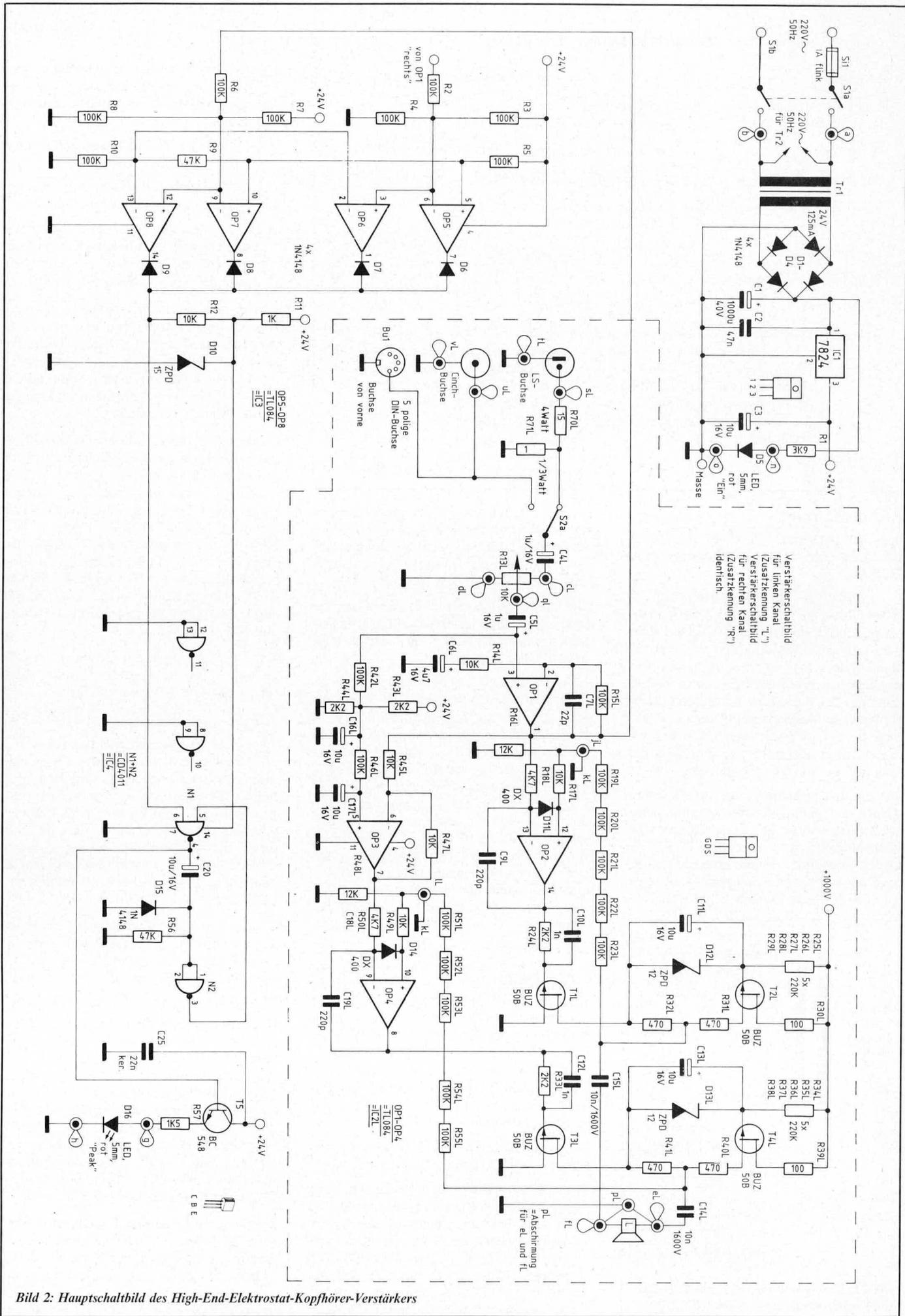
Das von S 2 über C 4 kommende NF-Eingangssignal gelangt auf das Stereo (Doppel-)Einstellpoti R 13, das zur Lautstärkeregelung dient. Vom Poti-Mittelabgriff wird das Signal über C 5 auf den nicht invertierenden (+) Eingang (Pin 3) des OP 1 geführt. Mit Hilfe des Spannungsteilers R 43, R 44 wird über R 42 der Gleichspannungs-Arbeitspunkt eingestellt (+ 12 V). Die Festlegung der Verstärkung dieser ersten Stufe erfolgt durch das Widerstandsverhältnis von R 14 und R 15 (hier 11fach).

Der Ausgang (Pin 1) des OP 1 arbeitet DC-gekoppelt über R 18 auf den invertierenden (-) Eingang (Pin 13) des nachfolgenden OP 2. Dieser steuert über R 24, C 10 das Gate des Hochspannungs-Power-MOS-FETs T 1 des Typs BUZ 50 B an. Hierbei handelt es sich um einen neuartigen, von der Firma Siemens entwickelten FET, dessen Besonderheit darin besteht, daß er auch bei Spannungen von 1000 V im Linearbetrieb definiert arbeiten kann. Diese Betriebsart ist allerdings nur bei verhältnismäßig geringen Strömen möglich, was im vorliegenden Fall den Anforderungen aber vollkommen entspricht.

Für die weitere Erläuterung der Funktionsweise wollen wir uns zunächst der Einfachheit halber den Widerstand R 32 durch eine Brücke ersetzt denken.

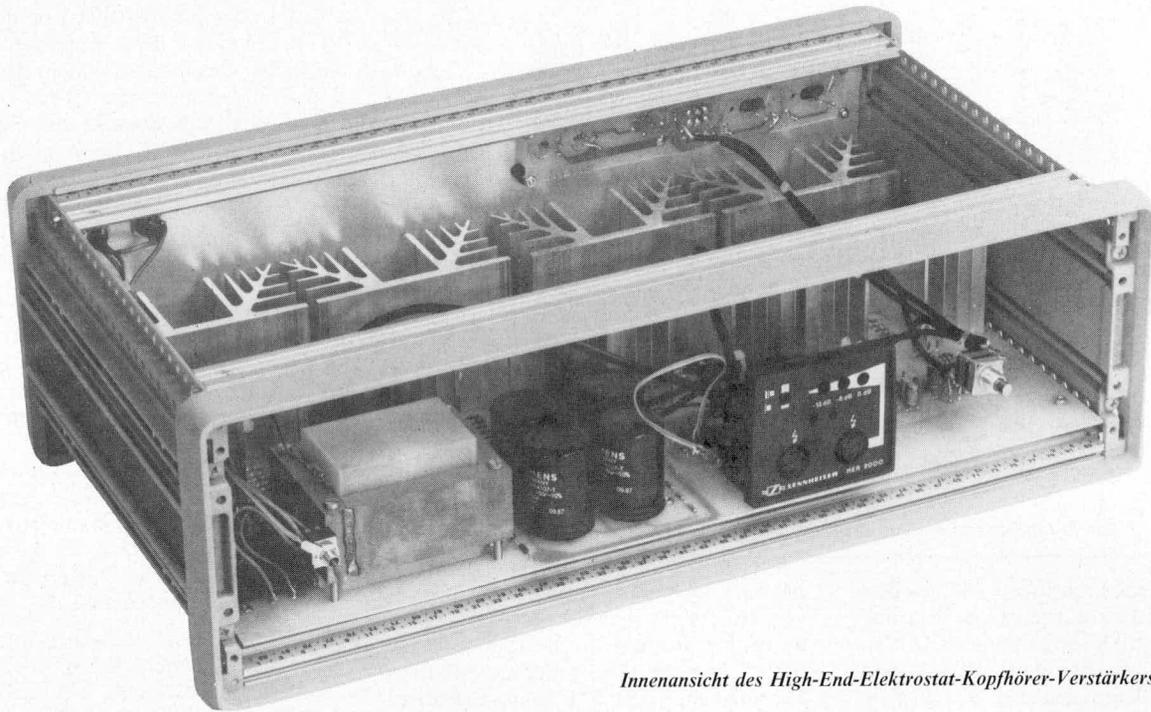
Vom Drain-Anschluß von T 1 erfolgt die Rückkopplung über den Spannungsteiler R 19 bis R 23 sowie R 16 auf den nicht invertierenden (+) Eingang (Pin 12) des OP 2. R 17, D 11 besitzen in diesem Zusammenhang lediglich eine Schutzfunktion. Die Verstärkung dieser zweiten Stufe beträgt, festgelegt durch die vorgenannten Widerstände, 43-fach. Hierdurch ergibt sich eine Gesamtverstärkung von 53 dB entsprechend 470fach, wobei die Gesamtverstärkung mit dem Poti R 13 einstellbar ist.

Ein weiterer Hochspannungs-Power-MOS-FET des Typs BUZ 50 B (T 2) stellt in seiner Zusatzbeschaltung (R 25 bis R 31, C 11, D 12) eine Konstantstromquelle dar, die einen positiven Strom von ca. 20 mA in die im A-Betrieb arbeitende mit T 1 aufgebaute



Verstärkerschaltbild für linken Kanal (Zusatzkennung „L“) Verstärkerschaltbild für rechten Kanal (Zusatzkennung „R“) identisch.

Bild 2: Hauptschaltbild des High-End-Elektrostat-Kopfhörer-Verstärkers



Innenansicht des High-End-Elektrostat-Kopfhörer-Verstärkers

Endstufe einspeist (R 32 überbrückt). Hierdurch arbeitet der eigentliche von der NF-Signalspannung angesteuerte Endstufen-transistor T 1 im reinen A-Betrieb, wodurch sich ein extrem klirr- und rauscharmes Ausgangssignal einstellt.

Die Gesamtstromaufnahme des EV 2000 ist durch den Brückenbetrieb für jeden Kanal doppelt so hoch, d. h. bei 2 Kanälen ergibt sich ein 4facher Strombedarf entsprechende 80 mA. Die daraus resultierende Verlustleistung beträgt somit allein in den Endstufen 80 W.

Durch einen schaltungstechnischen Kunstgriff konnte hier eine Halbierung auf jeweils 10 mA pro Endstufenzweig entsprechend einer Gesamtstromaufnahme von 40 mA erreicht werden. Hierzu dient R 32, der in Reihe zu R 31 eingefügt wurde. Die Rückkopplung sowie der Abgriff der Ausgangsspannung über C 15 ist am Mittelpunkt von R 31, R 32 abgenommen. Hierdurch ergibt sich eine genau definierte Steuerung der mit T 2 aufgebauten Stromquelle über die jetzt auftretende definierte Mitkopplung, ohne daß durch den halbierten Stromfluß dadurch eine Leistungsbeeinträchtigung auftritt.

Der Vergrößerung von R 32 und der damit verbundenen weiteren Reduzierung der Stromaufnahme sind jedoch Grenzen gesetzt, die aus Gründen der parasitären Kapazitäten unterhalb eines gewissen Mindeststromes zu Schwingneigungen der gesamten Anordnung führen. Mit der vorliegenden Dimensionierung befindet sich die Schaltung jedoch in einem ausgewogenen und stabilen Betriebszustand, der den Anforderungen in wohl optimaler Weise gerecht wird.

Über C 15 wird das mit einer Spitzenamplitude von 1000 V zur Verfügung stehende Ausgangssignal auf den Elektrostat-Kopfhörer gegeben. Da jedoch die doppelte Signalthöhe zur Vollaussteuerung erforderlich

ist, steht eine zweite, weitgehend identisch aufgebaute Endstufenhälfte zur Verfügung, die über C 14 mit dem zweiten Anschluß des Elektrostat-Kopfhörers verbunden wird.

Einziger jedoch wesentlicher Unterschied der zuerst beschriebenen Endstufenhälfte (bestehend aus OP 2, T 1, T 2 mit Zusatzbeschaltung) besteht in der um exakt 180° phasengedrehten Ansteuerung. Dies wird mit Hilfe des vorgeschalteten invertierenden Verstärkers OP 3 erreicht, dessen Verstärkungsfaktor exakt 1 beträgt bei gleichzeitiger Signalinvertierung.

Die hier vorliegende Brückenendstufe ist somit in der Lage, einen Elektrostat-Kopfhörer mit einer NF-Wechselspannung von ca. 700 V<sub>eff</sub> entsprechend ca. 2000 V<sub>ss</sub> anzu-steuern.

Das zweite Kopfhörersystem wird, wie bereits erwähnt, von einer identischen Schaltung angesteuert, d. h. insgesamt besitzt der EV 2000 4 Endstufenhälften mit zusammen 8 Hochspannungs-Power-MOS-FETs des Typs BUZ 50 B. Die Verlustleistung aller 8 Transistoren beträgt zusammen 40 W, weshalb eine entsprechende Kühlung unbedingt erforderlich ist, die im vorliegenden Fall aus Sicherheitsgründen mit den 8 Leistungskühlkörpern recht großzügig dimensioniert ist.

Zur Erkennung von Übersteuerungseffekten ist eine Clipping-Peak-Anzeige vorgesehen, deren Arbeitsweise wie folgt abläuft:

Über R 6 gelangt das vom Ausgang des Vorstufen-OP 1 kommende NF-Signal auf eine Komparator-Schaltung, bestehend aus OP 7 und OP 8. R 7 und R 8 dienen in Verbindung mit R 6 zur Spannungsteilung, während R 5, R 9 und R 10 die Komparatoransprech-schwellen festlegen. Sobald das Endstufen-Ausgangssignal in die Nähe der oberen Aus-steuergrenze kommt, wechselt der Pegel am Ausgang (Pin 8) des OP 7 von „High“ nach „Low“, und das Monoflop, bestehend aus

N 1, 2 mit Zusatzbeschaltung, wird über D 8 getriggert. In gleicher Weise schaltet der Ausgang (Pin 14) des OP 8, sobald sich die Ausgangsspannung der Endstufen in die Nähe der unteren Aussteuergrenzen bewegt.

Das Abfragen der Endstufen-Ausgangs-spannungen müßte normalerweise direkt von den Endstufenausgängen über einen entsprechenden Spannungsteiler erfolgen. Dies ist jedoch nicht unbedingt erforderlich, da ein direkter genau definierter, linearer Zusammenhang zwischen der Endstufen-Ausgangsspannung und der Spannung am Ausgang (Pin 1) des OP 1 besteht. Dieses wird durch die Dimensionierung der Widerstände zur Festlegung der Komparator-schwellen berücksichtigt, wodurch sich auf elegante Weise eine Peak-Anzeige realisieren läßt.

Das mit N 1, N 2 und Zusatzbeschaltung aufgebaute Monoflop besitzt eine Monozeit von ca. 0,5 Sekunden. Hierdurch wird jeder noch so kurze Übersteuerungspeak durch Aufleuchten der entsprechenden LED „Peak“ (D 16) angezeigt. Der Emitterfolger T 5 dient dem Ausgang (Pin 4) des Gatters N 1 als Puffer, und R 57 legt den Dioden-strom fest.

Da das für das Monoflop eingesetzte CMOS-IC des Typs CD 4011 die Versorgungsspannung von 24 V nicht verarbeiten kann, wurde mittels R 11, R 12 und D 10 eine Begrenzung dieser Versorgungsspannung auf ca. 15 V vorgenommen.

### Zum Nachbau

Ein so außergewöhnliches Gerät wie der ELV-High-End-Elektrostat-Kopfhörer-Verstärker EV 2000 verlangt auch bei seiner Erstellung nach außergewöhnlichen Zuta-ten. Angefangen bei den neuartigen Hochspannungs-Power-MOS-FETs der Firma Siemens über besonders großzügig dimen-sionierte Kühlkörper mit extrem kapazitäts-armen und zugleich hochspannungsfesten

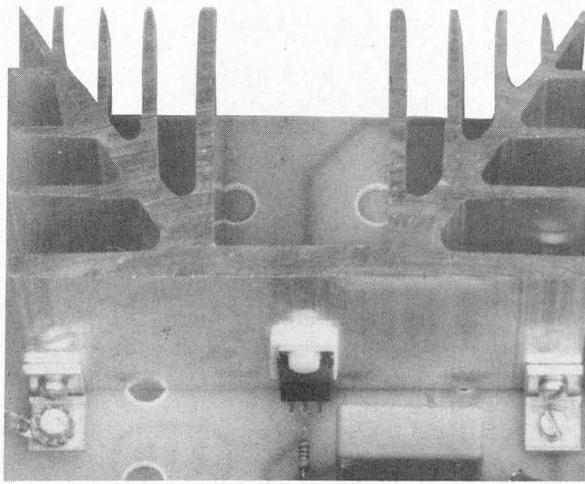


Bild 3: Einbau-Ansicht eines Alu-Leistungskühlkörpers

Siliziumoxid-Isolierscheiben, vollmetallgekapselte Lautstärkeinsteller, spezielle kapazitätsarme und hochspannungsfeste Ausgangsbuchsen bis hin zum soliden 19"-Gehäuse – alles Materialien nur vom Feinsten. Speziell dem Gehäuse kommt hierbei nicht zuletzt aus Stabilitätsgründen sowie aus Gründen der Abschirmung und des Berührungsschutzes eine wesentliche Bedeutung zu. 19"-Gehäuse ist hierbei nicht gleich 19"-Gehäuse. Zahlreiche auf dem Markt angebotene „Billigkonstruktionen“ kommen für dies edle Gerät selbstverständlich nicht in Frage. Die Ingenieure des ELV-Teams haben sich für eines der hochwertigsten auf dem Markt angebotenen, serienmäßig gefertigten 19"-Gehäuse eines der größten und bedeutendsten Gehäusehersteller entschieden.

Abgesehen vom ansprechenden Design zeichnet sich das Gehäuse durch einen sehr stabilen, massiven Front- und Rückrahmen mit dazwischen angeordneten ebenfalls sehr massiven Profilen aus. Die zwischen den seitlichen Gehäusewandungen oben und unten verlaufenden gelochten Tragschienen sind aus massiven Alu-Strangpreß-Profilen gezogen und geben der gesamten Konstruktion einen zusätzlichen sicheren Halt, der das Gehäuse auch extremen Belastungen standhalten läßt. Die Rückwand ist aus 3 mm starkem Aluminium mit Lüftungsschlitzen gefertigt.

Bei der Frontplatte handelt es sich um eine 3 mm starke rote Plexiglasscheibe, die von der Rückseite schwarz lackiert wurde und auf der Frontseite den lichtgrauen Informationsdruck trägt. Diese Druckkombination, die bei der ELV-Serie 7000 bereits seit vielen Jahren erfolgreich angewandt wird, ergibt eine fast schwarze, hochglänzende Frontplatte im Techniklook.

Doch kommen wir nun zum eigentlichen Nachbau des Gerätes.

Beginnen wir zunächst mit der Bestückung der Basisplatine. Zuerst werden die niedrigen Bauelemente (Brücken, Lötstifte, Widerstände, kleine Kondensatoren, ICs) auf die Platine gesetzt und auf der Leiterbahnseite verlötet. Es folgen der 24 V-Festspannungsregler, die größeren Kondensatoren einschließlich der Elkos sowie der kleine Netztransformator Tr 1.

Als nächstes sind an jeden der 8 Alu-Kühlkörper entsprechend der Abbildung 3 zunächst die beiden Alu-Befestigungswinkel mit 2 Schrauben M 3 x 8 mm und 2 Muttern M 3 anzuschrauben. Es folgt der Hochspannungs-Power-MOS-FET. Dieser wird unter Zwischenfügen einer Siliziumoxid-Isolierscheibe mit einer temperaturstabilen Kunststoffschraube M 3 x 15 mm sowie einer Kunststoffmutter M 3 an dem Kühlkörper befestigt. Hierzu wird der Transistor erst genau ausgerichtet und fest angedrückt. Die Kunststoffmutter ist gefühlvoll anzuziehen, damit das Gewinde nicht überdreht wird.

Zur besseren Wärmeabfuhr kann eine hauchdünne Schicht Wärmeleitpaste auf beiden Seiten der Isolierscheibe vor dem Einbau aufgebracht werden.

Als dann werden die 8 Kühlkörper an die entsprechenden Positionen der Basisplatine gesetzt, wobei gleichzeitig die 3 Anschlußbeinchen der Endstufentransistoren durch die zugehörigen Bohrungen zu führen sind. Die Verschraubung der Kühlkörper erfolgt über die Alu-Befestigungswinkel in Verbindung mit insgesamt 16 Schrauben M 3 x 6 mm sowie 16 M 3 Muttern mit der Basisplatine. Damit sich eine sichere leitende Verbindung der Kühlkörper zu den Leiterbahnen der Schaltungsmasse ergibt, ist pro Kühlkörper je eine Zahnscheibe vor dem Aufsetzen der Mutter auf der Leiterbahnseite einzufügen. Erst jetzt sind die Anschlußbeinchen der Endstufentransistoren auf der Leiterbahnseite zu verlöten. Überstehende Drahtenden sind wie bei allen anderen Bauelementen auch hier abzukneifen.

Von der Oberseite des 70 VA-Netztransformators Tr 2 aus werden 4 Schrauben M 4 x 55 mm durch die Bohrungen des Blechpaketes geführt. Auf der Trafounterseite (Lötstiftseite) sind 4 15 mm lange Abstandshülsen darüberzusetzen. Nun wird der Trafo an der entsprechenden Stelle auf die Basisplatine gesetzt, wobei gleichzeitig die 4 Lötanschlüsse sowie die 4 Befestigungsschrauben durch die dafür vorgesehenen Bohrungen zu stecken sind. Mit 4 Muttern M 4 erfolgt die stabile mechanische Befestigung auf der Platinenunterseite. Erst jetzt ist der elektrische Kontakt durch Verlöten der 4 Trafoanschlußstifte auf der Leiterplattenunterseite vorzunehmen.

An die Ausgangsbuchsen für den Anschluß von 1 oder 2 Elektrostat-Kopfhörern werden besonders hohe Anforderungen hinsichtlich Spannungsfestigkeit und Kapazitätsarmut gestellt. Hier wurde vom Hause Sennheiser eine Sonderentwicklung vorgenommen, die diesen hohen Anforderungen gerecht wird. Bei den Elektrostat-Kopfhörern der Firma Sennheiser sind die entsprechenden Stecker selbstverständlich bereits werkseitig angebracht. Für die Ausgangsseite stehen die Buchsen in einer in einem Kunststoffgehäuse integrierten Form zur Verfügung, d. h. Einzelbuchsen sind nicht erhältlich. Freundlicherweise hat sich das Haus Sennheiser dazu bereiterklärt, entsprechende Kunststoff-Gehäuseteile an ELV zu liefern, in denen gleich 2 Buchsen integriert sind. Diese Kunststoffteile wurden von ELV so aufbereitet, daß sie zum direkten Einbau mittels zweier Schrauben M 3 x 6 mm sowie 2 Muttern M 3 an der dafür vorgesehenen Stelle auf die Basisplatine zu setzen und zu verschrauben sind.

Die 4 Anschlüsse der beiden Buchsen werden über 2 möglichst kurze, jeweils 2 adrige, isolierte, abgeschirmte Leitungsabschnitte miteinander verbunden, so daß sie parallel geschaltet sind (der rechte Anschluß von Buchse 1 wird mit dem rechten Anschluß von Buchse 2, der untere Anschluß von Buchse 1 wird mit dem unteren Anschluß von Buchse 2 ... verbunden).

Abbildung 4 zeigt die Anschlußbelegung der Ausgangsbuchsen von der Rückseite aus (Lötseite) gesehen. Mit einer ca. 250 mm langen 2 adrigen, isolierten abgeschirmten Zuleitung wird die linke Brückenendstufe (die Endstufe, die hinter den Netztrafos angeordnet ist) mit den Ausgangsbuchsen verbunden. Hierzu wird der Platinenanschlußpunkt „eL“ der Basisplatine über eine der beiden Innenadern mit Pin 3 der linken Ausgangsbuchse verbunden und der Anschlußpunkt „fL“ der Basisplatine über die zweite Innenader mit dem Anschluß 5 der linken Ausgangsbuchse (Ausgang 1). Die Abschirmung dieser Zuleitung im Bereich der Ausgangsbuchse ist möglichst kurz zu halten und mit der Abschirmung der Verbindungsleitung zwischen den beiden Ausgangsbuchsen zu verlöten. Am Ende des letztgenannten nur ca. 40 mm langen Leitungsabschnittes wird das Abschirmgeflecht bis zur Ummantelung entfernt und anschließend isoliert. Ein Lötanschluß der Abschirmung an dieser Stelle (im Bereich der rechten Ausgangsbuchse) erfolgt nicht. Die ein-

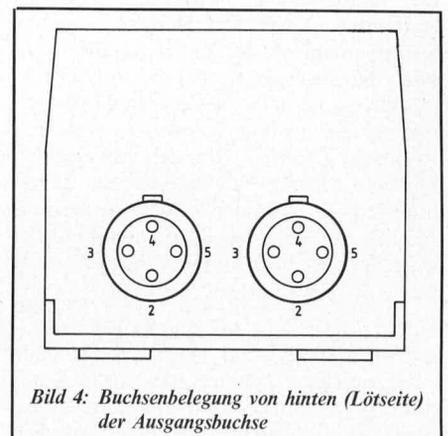


Bild 4: Buchsenbelegung von hinten (Lötseite) der Ausgangsbuchse

zige Stelle, an der die Abschirmung der Zuleitung für die linke Brückenendstufe mit der Schaltungsmasse verbunden wird, ist der Platinenanschlußpunkt „pL“. Dieser Anschlußpunkt befindet sich zwischen den Platinenanschlußpunkten „eL“ und „fL“.

Für die rechte Brückenendstufe dient eine ca. 200 mm lange 2adrige, isolierte, abgeschirmte Leitung, die in gleicher Weise die rechte Brückenendstufe mit den Ausgangsbuchsen verbindet, wie es bei der linken Brückenendstufe beschrieben wurde. Lediglich die Anschlußpunkte sind andere, d. h. der Platinenanschlußpunkt „eR“ ist mit dem Ausgangsbuchsenpunkt 4 und der Platinenanschlußpunkt „fR“ mit dem Ausgangsbuchsenpunkt 2 zu verbinden. Die Abschirmung im Bereich der Kühlkörper ist an den Punkt „pR“ auf der Basisplatine zu legen, während die Abschirmung dieser Zuleitung im Bereich der Ausgangsbuchse 2 mit der zugehörigen Abschirmung, welche die beiden Ausgangsbuchsen miteinander verbinden, zu verlöten ist. Auch hier wird die Abschirmung am Ende dieser ca. 40 mm langen Buchsenverbindungsleitung im Bereich der rechten Ausgangsbuchse bis zur Ummantelung entfernt und gut isoliert.

Zu beachten ist im Zusammenhang mit den Ausgangsbuchsenanschlüssen, daß hier Spitzenspannungen von rund 2000 V<sub>ss</sub> auftreten und die Verbindungen deshalb gerade auch im Bereich der Buchsenanschlüsse sehr sorgfältig auszuführen sind. Die Abisolierungen der anzulötenden isolierten Leitungen sind so kurz als irgend möglich vorzunehmen, um die Gefahr von Spannungsüberschlägen in diesem Bereich zu minimieren.

Die Ausführung der besonders kritischen Rückkopplungsleitungen vom Ausgang der Endstufen über die Widerstände R 19 bis R 23 zurück zum Eingang der entsprechenden Verstärkerstufe ist ebenfalls über abgeschirmte Zuleitungen vorzunehmen. Der Platinenanschlußpunkt „jL“ im Bereich des Kühlkörpers der linken Brückenendstufe wird über eine ca. 300 mm lange 1 adrige isolierte, abgeschirmte Zuleitung mit dem Platinenanschlußpunkt „jL“ im Bereich der Operationsverstärker verbunden, d. h. die beiden Punkte gleicher Bezeichnung sind über die Innenader dieser Zuleitung gekoppelt. Die Abschirmung wird nur an einer Seite, und zwar an der Operationsverstärkerseite an den Platinenanschlußpunkt „kL“ angelötet, während die Abschirmung im Bereich der Kühlkörper entfernt und gut isoliert wird.

Die Verbindung der zweiten Brückenendstufenhälfte des linken Kanals erfolgt über eine ca. 200 mm lange 1 adrige isolierte, abgeschirmte Zuleitung in gleicher Weise, wobei die Platinenanschlußpunkte „lL“ miteinander zu verbinden sind. Der Anschluß der Abschirmung erfolgt in diesem Fall am selben Platinenanschlußpunkt „kL“ im Bereich der Operationsverstärker.

Für die Verkabelung der beiden Endstufenhälften des rechten Kanals geht man in gleicher Weise vor, wobei hier die Leitungslängen 120 mm bzw. 60 mm betragen und die Platinenanschlußpunkte anstelle des Zusatzes „L“ „R“ tragen.

Wesentliche Voraussetzung für die einwandfreie Funktion der Schaltung ist die

Verwendung von besonders hochwertigen, spannungsfesten und vor allen Dingen kapazitätsarmen Zuleitungen, da bereits wenige pF an zusätzlicher Kapazität den Frequenzgang beeinträchtigen können.

Ist die Basisplatine soweit fertiggestellt und nochmals sorgfältig kontrolliert, kann der Einbau ins 19“-Gehäuse erfolgen.

Durch die entsprechenden 9 Bohrungen der Basisplatine werden von der Bestückungsseite aus Schrauben M 3 x 15 mm gesteckt, mit 10 mm langen Kunststoffabstandshülsen auf der Leiterbahnseite versehen und durch die entsprechenden Bohrungen der Alu-Tragschienen in der Gehäuseunterseite gesteckt. Die mechanische Verbindung erfolgt über 9 Muttern M 3, die von der Gehäuseunterseite aus aufzuschrauben und festzuziehen sind. Damit die Stirnflächen der Abstandshülsen plan und vollflächig anliegen, sind sie an den Seiten bei Bedarf leicht anzuschrägen. Der Abstand zwischen Leiterbahnseite und Tragschienen beträgt somit 10 mm. Durch die Lagerung an 9 Punkten ergibt sich eine sichere und stabile Befestigung im Gehäuse.

Als nächstes können die beiden Leuchtdioden von der Frontplattenrückseite aus eingesetzt und verklebt werden. Es folgt das Einsetzen und Festschrauben des Netzschalters sowie des Stereo-Lautstärke-Einstellpotis, dessen Achse zuvor auf ca. 10 mm Länge zu kürzen ist. Die Einbaulage sollte so vorgenommen werden, daß die Anschlußstifte nach links weisen (zu den Ausgangsbuchsen hin). An die Anschlußstifte des Potis sind 2 ca. 100 mm lange 1 adrige, isolierte, abgeschirmte Zuleitungen anzulöten, wobei die Abschirmungen jeweils an den oberen Anschluß, und die Innenader an den mittleren Potianschluß zu legen ist. Der vordere Potiteil für die Regelung des linken Kanals wird später mit den Platinenanschlußpunkten „qL“ sowie „dL“ (Abschirmung) verbunden. Der hintere Potiteil zur Einstellung der Lautstärke des rechten Kanals wird in äquivalenter Weise mit den Platinenanschlußpunkten der Basisplatine verbunden („qR“: Innenader, „dR“: Abschirmung). Bevor diese Verbindungen auf der Basisplatine erfolgen, sollten jedoch die weiteren Anschlüsse der Bauelemente auf der Frontplatte in folgender Weise vorgenommen werden:

An die Leuchtdiode D 16 („Peak“) wird eine 2adrige isolierte Zuleitung mit einer Länge von 150 mm angelötet. Die Kontroll-LED D 5 (Ein) wird mit einer ca. 100 mm langen 2adrigen isolierten Zuleitung versehen.

Jetzt wird die 3adrige Netz-zuleitung vorsichtig auf ca. 350 mm von der äußeren Ummantelung befreit, wobei sorgfältig darauf zu achten ist, daß die inneren Isolierungen keinesfalls beschädigt werden. Von der braunen und blauen Ader sind 2 50 mm lange Leitungstücke abzutrennen und an die beiden

Mittelschlüsse des Netzschalters (Kippschalter S 1) zu löten. Vom gelbgrünen Schutzleiter der Netz-zuleitung ist ein 250 mm langes Leitungstück abzutrennen und auf einer Seite mit der Lötöse zu verbinden, die auf der Frontplatteninnenseite am Kippschalterhals angeschraubt wurde. Ein weiteres ebenfalls 250 mm langes Leitungstück wird von der braunen Ader der Netz-zuleitung abgetrennt und mit einem der beiden unteren Netzschalteranschlüsse verlötet. Die soweit vorbereitete Frontplatte wird zunächst zur Seite gelegt, und wir wenden uns der Buchsenplatine und der Montage der Rückwand zu.

Zunächst werden die beiden Cinch-Buchsen von der Außenseite in die Gehäuserückwand gesetzt und auf der Innenseite mit je einer Mutter fest verschraubt unter Zwischenfügen einer Lötöse. Die Befestigung der beiden Lautsprecherbuchsen erfolgt mit je 2 Schrauben M 3 x 10 mm und 2 Muttern M 3, wobei die Buchsen selbst von der Innenseite an die Rückwand zu setzen sind.

Die Buchsenplatine ist mit den 4 Widerständen R 70 L, R 71 L, R 70 R, R 71 R sowie den beiden Elkos C 4 L und C 4 R zu bestücken. Es folgen die Brücken sowie der Kippschalter und die DIN-Buchse. Die Lötstifte sind von der Leiterbahnseite aus einzusetzen.

Vom Kippschalterhals wird die erste Mutter (Rändelmutter) abgeschraubt und die zweite Mutter so weit in Richtung Knauf gedreht, daß sie sich in der gleichen Höhe wie die Vorderseite der DIN-Buchse befindet (ungefähr in der Mitte des Gewindehalses).

Von der Außenseite der Gehäuserückwand sind 4 Schrauben M 3 x 25 mm durch die entsprechenden Bohrungen zu stecken, von der Innenseite mit 4 15 mm langen Abstandröllchen zu versehen, um anschließend durch die zugehörigen Bohrungen der Buchsenplatine gesteckt zu werden. Die Verschraubung erfolgt mit 4 Muttern M 3 von der Leiterbahnseite der Buchsenplatine aus. Als zusätzliche mechanische Befestigung dient die Rändelmutter des Kippschalters, die nun von der Außenseite der Gehäuserückwand aufzuschrauben ist. Die äußere sowie innere Befestigungsmutter des Kippschalters sind so festzuziehen, daß die Buchsenplatine möglichst nicht durchgebogen wird.

Der Anschluß der Buchsen an die Buchsenplatine ist aus Abbildung 5 ersichtlich und wird mit möglichst kurzen Silberdrahtabschnitten vorgenommen. Die Verbindung zum Lautstärke-Einstellpoti erfolgt über 2 ca. 250 mm lange 1 adrige isolierte, abgeschirmte Zuleitungen. Die Innenader der Zuleitungen wird an die Platinenanschlußpunkte „cL“ und „cR“ und die Abschirmung an die zugehörigen Platinenanschlußpunkte „dL“ und „dR“ der Buchsenplatine gelötet. Der Anschluß ans Potentiometer erfolgt zu einem späteren Zeitpunkt, nachdem Front-

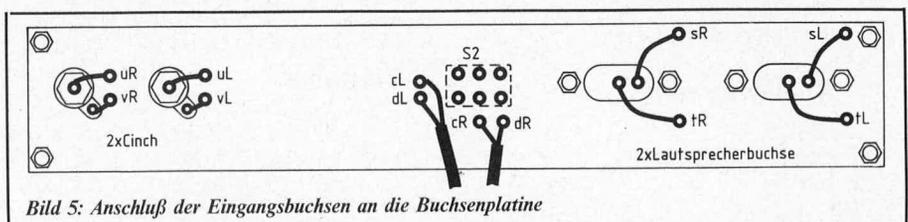


Bild 5: Anschluß der Eingangsbuchsen an die Buchsenplatine

und Rückplatte ans Gehäuse geschraubt wurden.

Zunächst sind jetzt der Sicherungshalter sowie die Netzkabeldurchführung mit Zugentlastung und Knickschutztülle in die entsprechenden Bohrungen der Gehäuserückwand zu setzen und zu verschrauben. Ist dies erfolgt, kann die Gehäuserückwand am Gehäuse angeschraubt werden.

Die in weiter vorstehend beschriebener Weise bearbeitete 3adrige Netzzuleitung wird durch die Netzkabeldurchführung gesteckt, wobei sie zur leichteren Montage zunächst weiter als später erforderlich durchgesteckt werden kann. Ein Festziehen der Zugentlastung erfolgt daher zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht.

Die ca. 300 mm lange blaue Ader der Netzzuleitung wird auf 250 mm gekürzt und an den zweiten noch freien unteren Anschluß des Netzschalters S 1 angelötet.

Nun erfolgt der Einbau der Frontplatte, d. h. sie wird mittels 4 Schrauben M 4 x 8 mm an der Gehäusevorderseite festgeschraubt.

Die Netzzuleitung ist in die endgültige Position zu bringen, d. h. sie wird so weit zurückgezogen, daß ungefähr 20 mm von der äußeren Ummantelung ins Gehäuseinnere ragen. Wesentlich ist in jedem Fall, daß keine der Leitungen unter mechanischer Beanspruchung steht. Danach wird die Zugentlastung festgezogen. Die vom Netzschalter kommende braune Ader wird am äußeren Anschluß der Einbausicherung angelötet, während der innere Pol des Sicherungshalters direkt mit dem noch ca. 50 mm langen braunen Leitungsende der Netzzuleitung direkt zu verbinden ist.

Unmittelbar hinter dem Eintritt der Netzzuleitung ins Gehäuse an der oberen Alu-Befestigungsschiene wird an der nach unten weisenden Seite eine 3 mm Lötöse mit einer Schraube M 3 x 8 mm und einer Mutter M 3

befestigt. An diese Lötöse wird der noch ca. 100 mm lange gelbgrüne Schutzleiter der Netzzuleitung sowie der ca. 250 mm lange, vom Kippshalter kommende, gelbgrüne Schutzleiter angelötet.

An der im Bereich der Frontplatte verlaufenden oberen Alu-Befestigungsschiene wird ebenfalls, ca. 20 mm vom linken Profilende entfernt, in gleicher Weise eine Lötöse angeschraubt. Über eine flexible isolierte Leitung mit einem Querschnitt von mindestens 0,75 mm<sup>2</sup> wird diese Lötöse mit der zuvor genannten mit dem Schutzleiter verbundene Lötöse gekoppelt. Beide oberen Alu-Befestigungsschienen sind jetzt galvanisch mit dem Schutzleiter gekoppelt. Auf besonders sorgfältige Lötungen ist zu achten.

Eine weitere ca. 120 mm lange flexible, isolierte Leitung führt von der mit dem Schutzleiter der Netzzuleitung verbundenen Lötöse zu einer in der Nähe liegenden Lötöse, die unter einer Schraube zur Kühlkörperbefestigung liegt und dadurch mit der Schaltungsmasse verbunden ist. Die Schaltungsmasse des EV 2000 ist jetzt direkt mit dem Schutzleiter der Netzzuleitung gekoppelt.

Alle Metallteile des „19“-Gehäuses müssen miteinander in leitender Verbindung stehen. Aus diesem Grund ist im Bereich der Verschraubungen von den Seitenteilen zu den Aluprofilen sowie zur Front- und Rückplatte die Lackierung sorgfältig zu entfernen, um sichere elektrische Verbindungen zu gewährleisten.

Die beiden von der Kontroll-LED D 5 kommenden Leitungsenden sind an die Platinenanschlußpunkte „n“ und „o“ und die beiden von D 16 („Peak“) kommenden Leitungsenden an die Platinenanschlußpunkte „g“ und „h“ zu löten.

Die innere Ader der 1 adrigen isolierten abgeschirmten Zuleitung, die vom Platinenanschlußpunkt „cL“ der Buchsenplatine kommt, ist an den unteren Potianschluß der

vorderen Potihälfte zu legen, während die Abschirmung mit dem oberen Potianschluß derselben Potihälfte zu verbinden ist. In gleicher Weise wird die Innenader vom Platinenanschlußpunkt „cR“ der Basisplatine mit dem unteren Anschluß der hinteren Potihälfte verbunden und die zugehörige Abschirmung an den oberen hinteren Potianschlußpunkt gelegt.

Damit ist die Verkabelung soweit abgeschlossen. Nach dem Aufsetzen und Verschrauben von Gehäuseober- und Gehäuseunterteil steht dem Einsatz dieser interessanten Schaltung nichts mehr im Wege.

### **Achtung! Wichtiger Hinweis**

Der Aufbau dieses Gerätes darf ausschließlich von versierten Fachleuten vorgenommen werden, die aufgrund ihrer Ausbildung dazu befugt sind und bestens mit den einschlägigen Sicherheits- und VDE-Bestimmungen vertraut sind.

Im Gehäuseinneren treten Spannungen von rund 2000 V auf, die in höchstem Maße lebensgefährlich sind, da sie sehr stabil sind und größere Leistungen und Ströme liefern können, d. h. die Spannungen brechen bei einer Berührung nicht in einer Weise zusammen, wie man es zum Teil aus dem Bereich des Hochspannungstrafos in der Fernsehtechnik gewohnt ist.

Das Gerät darf ausschließlich mit der Netzspannung verbunden werden, wenn es sich in einem geschlossenen mit Schutzleiter verbundenen Metallgehäuse befindet. Auch nach dem Ziehen des Netzsteckers muß mindestens eine Zeitspanne von 10 Minuten abgewartet werden, bevor das Gehäuse geöffnet werden darf, damit die großen Ladekondensatoren Zeit zum Abbau der lebensgefährlichen Spannungen haben.

Bei unsachgemäßer Behandlung besteht größte Lebensgefahr!!!

## **High-End-Elektrostat-Köpfungerverstärker EV 2000**

### **Widerstände**

1 Ω	..... R 71rl
15 Ω/4 W	..... R 70rl
100 Ω	..... R 30rl, R 39rl
470 Ω	... R 31rl, R 32rl, R 40rl, R 41rl
1 kΩ	..... R 11
1,5 kΩ	..... R 57
2,2 kΩ	... R 24rl, R 33rl, R 43rl, R 44rl
3,9 kΩ	..... R 1
4,7 kΩ	..... R 18rl, R 50rl
10 kΩ	... R 12, R 14rl, R 17rl, R 45rl, R 47rl, R 49rl
12 kΩ	..... R 16rl, R 48rl
47 kΩ	..... R 9, R 56
100 kΩ	... R 2-R 8, R 10, R 15rl, R 19rl-R 23rl, R 42rl, R 46rl, R 51rl-R 55rl
220 kΩ	..... R 25rl-R 29rl, R 34rl-R 38rl
1 MΩ	..... R 58-R 69
10 kΩ, Poti, 6 mm, Stereo	..... R 13rl

### **Kondensatoren**

22 pF	..... C 7rl
220 pF	..... C 9rl, C 19rl
1 nF	..... C 10rl, C 12rl

10 nF/1600 V	..... C 14rl, C 15rl
22 nF/Keramik	..... C 25
47 nF	..... C 2
1 µF/16 V	..... C 4rl, C 5rl
4,7 µF/16 V	..... C 6rl
10 µF/16 V	..... C 3, C 11rl, C 13rl, C 16rl, C 17rl, C 20
100 µF/350 V	..... C 21-C 24
1000 µF/40 V	..... C 1

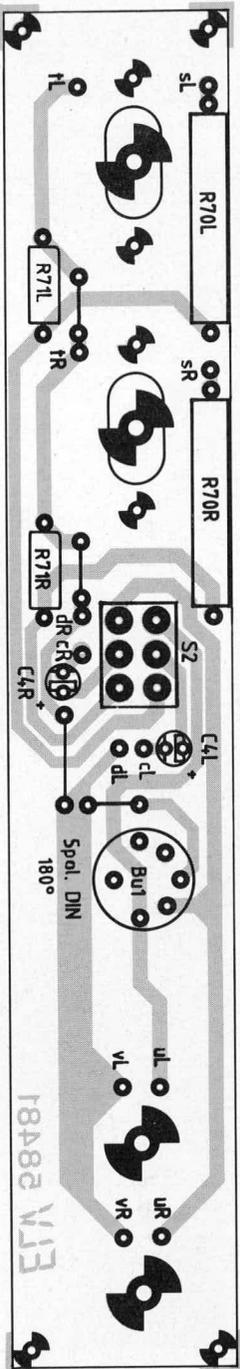
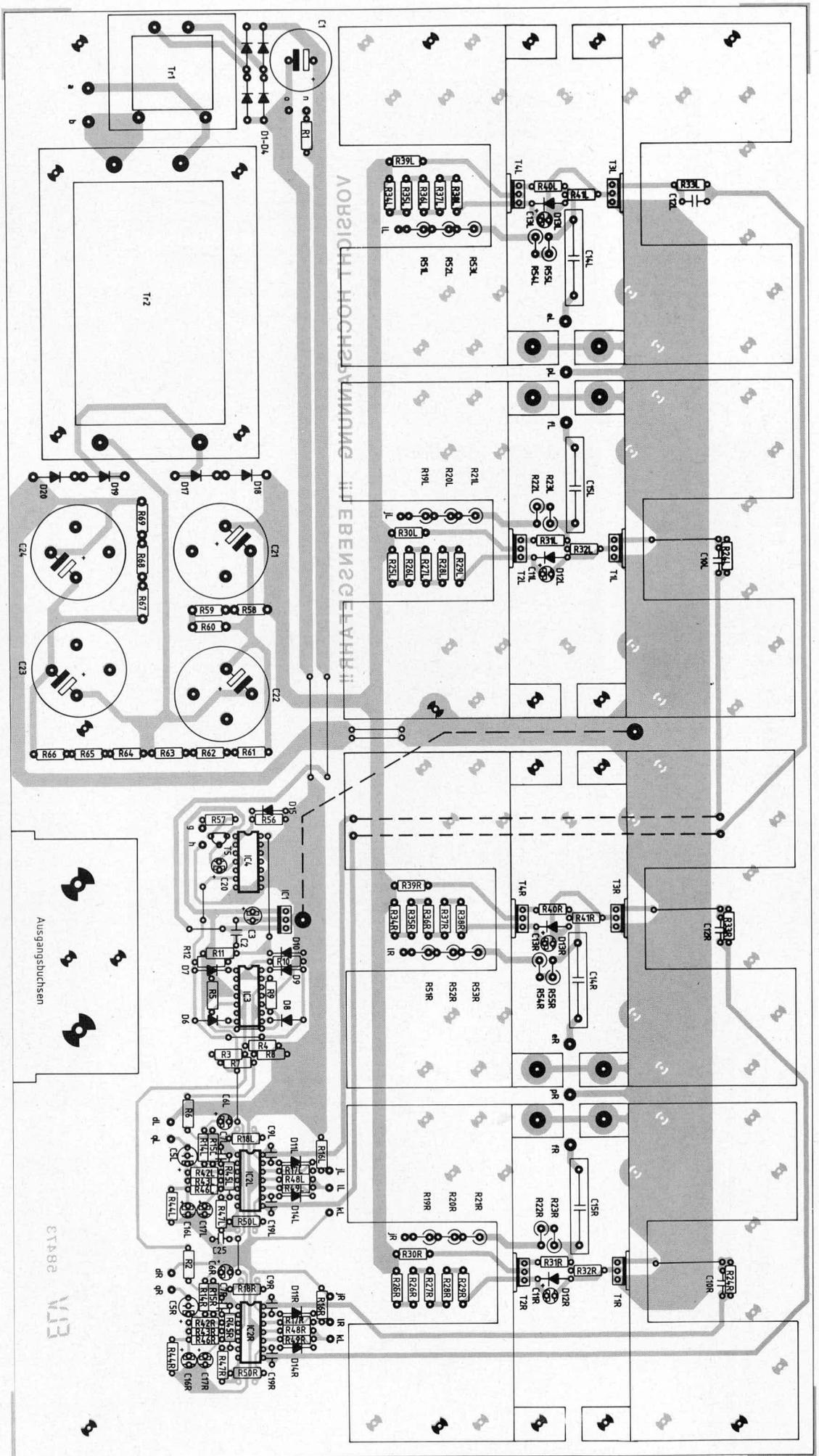
### **Halbleiter**

TL 084	..... IC 2rl, IC 3
CD 4011	..... IC 4
7824	..... IC 1
BUZ 50 B	..... T 1rl-T 4rl
BC 548	..... T 5
ZPD 12	..... D 12rl, D 13rl
ZPD 15	..... D 10
DX 400	..... D 11rl, D 14rl
1N4007	..... D 17-D 20
1N4148	... D 1-D 4, D 6-D 9, D 15rl
LED, 5 mm, rot	..... D 5, D 16

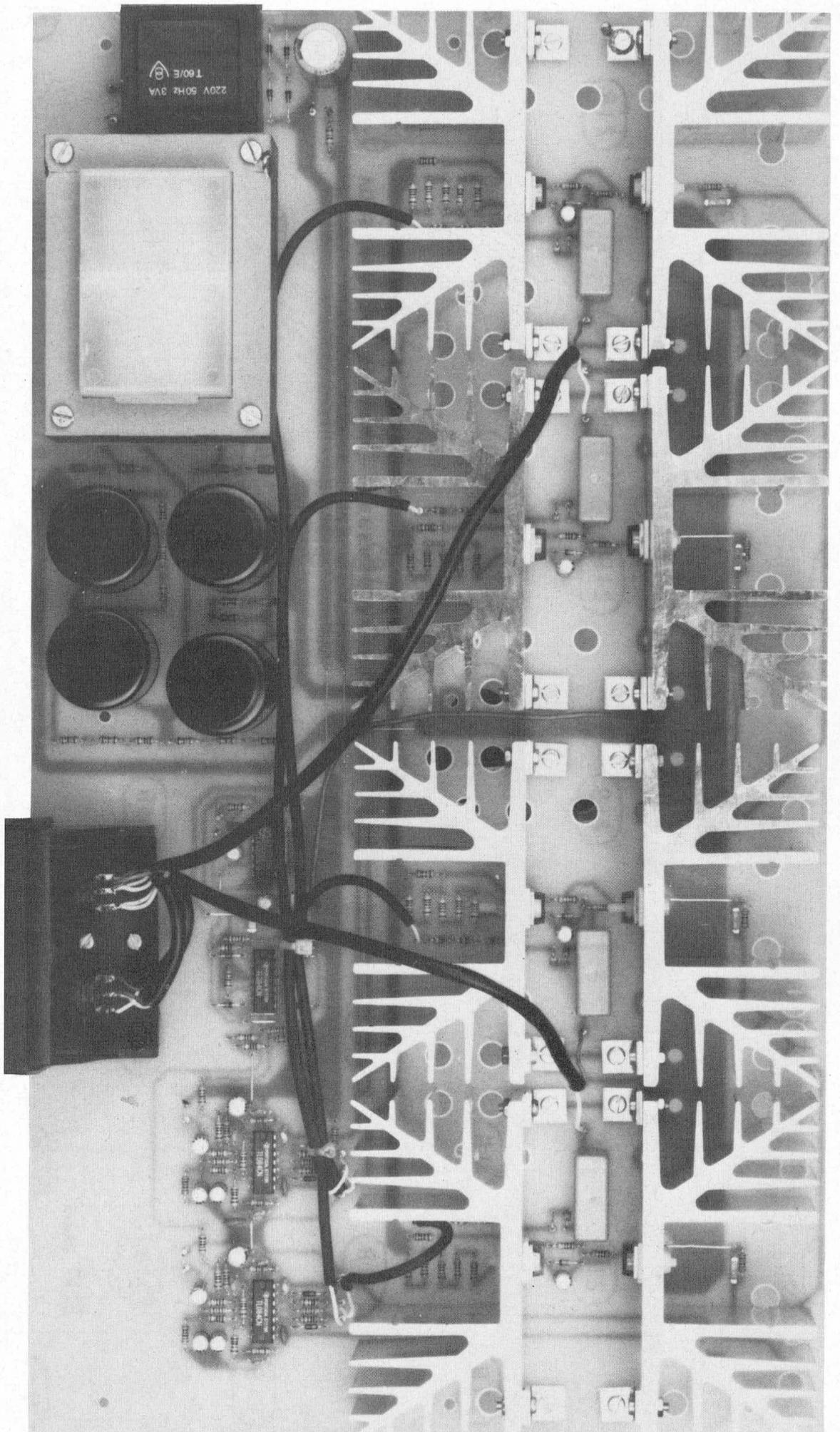
### **Sonstiges**

Trafo prim.: 220 V/3 VA	
sec.: 24 V/125 mA	..... Tr 1
Trafo prim.: 220 V/70 VA	
sek.: 350 V/200 mA	..... Tr 2

Kippshalter 2 x um	..... S1, S 2
18 Schrauben M 3 x 6	
21 Schrauben M 3 x 8	
9 Schrauben M 3 x 15	
4 Schrauben M 3 x 25	
4 Schrauben M 4 x 55	
8 Kunststoffschrauben M 3 x 15	
8 Kunststoffmutter M 3	
49 Mutter M 3	
4 Mutter M 4	
3 Lötösen 3,2 mm	
1 Lötöse 6,2 mm	
8 Zahnscheiben für M 3	
9 Abstandsröllchen 10 mm	
8 Abstandsröllchen 15 mm	
1 5 pol Einbaubuchse	
2 Lautsprecherbuchsen	
2 Cinchbuchsen	
1 Einbausicherungshalter	
1 Sicherung 1 A, flink	
35 Lötstifte	
1 Netzkabeldurchführung mit Knickschutz	
8 Kühlkörper SK 88	
16 Aluwinkel	
8 Siliziumoxid-Isolierscheiben	
140 cm 1adrige abgeschirmte Leitung	
50 cm 2adrige abgeschirmte Leitung	
40 cm flexible Leitung 0,75 mm <sup>2</sup>	



oben: Bestückungsplan der Basisplatte des High-End-Elektrostat-Kopf-  
 hörer-Verstärkers (Originalgröße: 430 mm x 240 mm)  
 links: Bestückungsplan der Buchsenplatte des High-End-Elektrostat-  
 Kopfhörer-Verstärkers (Originalgröße)



oben: Ansicht der fertig bestückten Basisplatte des High-End-Electrostar-Kopfhörer-Verstärkers (Originalgröße: 430 mm x 240 mm)  
 links: Ansicht der fertig bestückten Buchsenplatte des High-End-Electrostar-Kopfhörer-Verstärkers (Originalgröße)