



Elektronische Last EL 7000

100 W Leistungsaufnahme, ein integriertes Lüfteraggregat, Strom- und Widerstandskennlinie, interne und externe Modulation, umfangreiche Schutzschaltungen - das sind die wesentlichen Merkmale dieser elektronischen Last, die speziell für den Test von Netzgeräten konzipiert ist, sich darüber hinaus aber auch zur Überprüfung von Akkus eignet.

Allgemeines

Elektronische Lasten kommen immer dann zum Einsatz, wenn es um die Leistungsprüfung von Spannungsquellen oder Netzteilen geht. Insbesondere bei der Optimierung der Regeleigenschaften von stabilisierten Netzgeräten ist eine elektronische Last unabdingbar. Genau für diese Anwendung wurde die EL 7000 entwickelt.

Bei der Konzeption des Gerätes stand nicht die maximal mögliche Verlustleistung allein im Vordergrund, sondern es wurde insbesondere großer Wert auf das dynamische Verhalten der Last im Impulsbetrieb gelegt. Weiterhin sollten verschiedene Schutzschaltungen die Handhabung vereinfachen und auch bei Fehlbedienung eine Überlastung ausschließen.

Neben der kontinuierlichen Belastung des Testobjektes bietet die EL 7000 den Pulsbetrieb zur Beurteilung der Quelle bei schnellen Laständerungen. Dabei ist ein unterer und ein oberer Widerstand/Strom einstellbar. So lassen sich z. B. die Regeleigenschaften eines Netzgerätes in Verbindung

mit einem Oszilloskop optimal darstellen.

Der Eingang „Mod.In“ ermöglicht darüber hinaus eine externe Steuerung der EL 7000, so daß die Quelle mit beliebigen Kurvenverläufen belastbar ist. Die Aufnahmeleistung beträgt 100 W, wobei umfangreiche Absicherungen das Gerät vor Überlast schützen. Die Abfuhr der großen Verlustleistung wird gehäuseintern durch das von ELV entwickelte Kompakt-Lüfteraggregat LK 40 erreicht. Durch eine

elektronische Regelung wird die Drehzahl des Lüfters der Kühlkörpertemperatur optimal angepaßt zur Minimierung der Geräuschentwicklung.

Die Bedienung des Gerätes erfolgt über Drehregler und Taster, wobei die jeweilige Funktion auf der übersichtlichen Frontplatte durch Leuchtdioden angezeigt wird.

Die an der elektronischen Last anliegende Spannung ist auf einem 3stelligen LED-Display mit einer Auflösung von 0,1 V

Tabelle 1: Technischen Daten EL 7000

Leistung:	100 Watt
I _{max} :	Dauer: 10 A, Impuls: 20 A
U _{max} :	40 V
R-Bereich:	1 Ω - 100 kΩ
Funktionen:	R/I _{min} , R/I _{max} , Pulsbetrieb, externe Modulation
Pulsfrequenz:	10 Hz-1 kHz stufenlos einstellbar
U-Anzeige:	3stellig, 0,1 V Auflösung
I-Anzeige:	4stellig, 10 mA Auflösung zwischen I _{min} , I _{max} , I _{mittel} umschaltbar
Schutzschaltungen:	Temperatur > 100 °C, P > 100 Watt, I-Dauer > 10 A
Betriebsspannung:	230 V ± 10 %, 50/60 Hz
Abmessungen:	272 x 215 x 99 mm
Gewicht:	ca. 1,7 kg

ablesbar. Auf der 4stelligen Stromanzeige wird der aktuell fließende Strom mit einer Auflösung von 10 mA angezeigt, wobei im Pulsbetrieb wahlweise der minimale, der maximale oder der Mittelwert des Laststromes ablesbar ist.

Durch Multiplikation der verschiedenen Ströme mit der angezeigten Spannung sind auf einfache Weise die resultierenden Leistungen berechenbar.

Die Spannungsversorgung der EL 7000 erfolgt in Verbindung mit dem integrierten Netzteil direkt aus dem 230 V-Netz. Die bemerkenswerten technischen Daten sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Bevor wir uns mit der Schaltung im Detail befassen, kommen wir zunächst zur Beschreibung der Bedienung und der Eigenschaften des Gerätes.

Bedienung und Funktion

Im linken unteren Bereich der Frontplatte befindet sich die Netz-Taste der EL 7000. Mit einer einmaligen Betätigung schaltet das Gerät ein, während eine weitere Betätigung zum Ausschalten dient.

Über der Netz-Taste ist die 3stellige, digitale Spannungsanzeige angeordnet. Hier wird die an den Eingangsbuchsen anliegende Spannung mit einer Auflösung von 0,1 V angezeigt.

Rechts neben der Spannungsanzeige ist die 4stellige Stromanzeige angeordnet. Sie verfügt über eine 10 mA-Auflösung. Ist die EL 7000 auf interne Modulation geschaltet, so können 3, die Modulation charakterisierende Ströme, auf dem Display angezeigt werden. Dabei handelt es sich um den Strommittelwert, den Spitzenstrom und den minimalen Strom.

Bei interner Modulation schaltet die elektronische Last mit der eingestellten Schaltfrequenz zwischen 2 unabhängig voneinander einstellbaren Lastgrößen um. Das intern generierte Umschaltsignal weist ein Impuls-Pausenverhältnis von 1 : 1 auf, d. h. beide Lastgrößen sind für die gleiche Zeit aktiv.

Neben der Anzeige des hieraus resultierenden Strommittelwertes kann, wie bereits erwähnt, auch der Spitzenstrom der oberen Lastgröße sowie der minimale Strom für die untere Lastgröße angezeigt werden.

Die Umschaltung der Stromanzeige selbst erfolgt durch den Taster im Bedienfeld „I-Anzeige“. Der jeweils aktive Anzeige-Modus wird durch die 3 links neben der Taste angeordneten LEDs signalisiert. Die freie Wahl des I-Anzeige-Modus ist nur bei aktivierter interner Modulation möglich. Bei kontinuierlicher Belastung oder bei externer Modulation wird der I-Anzeige-Modus von der Steuerlogik vorgegeben.

Links neben dem Bedienfeld „I-Anzei-

ge“ befindet sich das Bedienfeld „Kennlinie“. Mit dem entsprechenden Taster wird zwischen I- und R-Kennlinie gewählt. Im I-Betrieb arbeitet die EL 7000 als Konstant-Stromsenke, d. h. der Laststrom ist unabhängig von der am Eingang anliegenden Spannung. Im R-Betrieb besteht zwischen dem Laststrom und der Klemmenspannung am Eingang ein linearer Zusammenhang ($I = U / R$) gemäß dem ohmschen Gesetz.

Der von der EL 7000 nachgebildete Widerstand läßt sich im Bereich von 1 Ω bis 100 k Ω einstellen, während im I-Betrieb Impuls-Ströme bis zu 20 A möglich sind.

Die Vorgabe der Lastgrößen erfolgt analog über 2 getrennte Potentiometer. Je nachdem mit welcher Kennlinie die EL 7000 gerade arbeitet, entspricht die Einstellung hier dem Konstantstrom bzw. dem Belastungswiderstand.

Mit dem Regler „ I/R_{min} “ wird die untere Lastgröße und mit „ I/R_{max} “ die obere Lastgröße eingestellt. Aufgrund der internen Verknüpfung beider Regler empfiehlt es sich, zuerst die obere und anschließend die untere Lastgröße vorzuwählen.

Mit der Taste „Funktion“ sind 4 verschiedene Grundfunktionen auswählbar. Unmittelbar nach dem Einschalten des Gerätes ist die Funktion „ I/R_{max} “ aktiviert. Angezeigt wird dies durch die über dem zugehörigen Potentiometer befindliche LED.

Gleichzeitig ist im Bedienfeld „I-Anzeige“ die Anzeigefunktion „ I_{max} “ eingeschaltet. Mit dem Regler „ I/R_{max} “ kann nun die obere Lastgröße eingestellt werden, wobei gleichzeitig auf dem Strom-Display der fließende Laststrom ablesbar ist. In dieser Funktion stellt die EL 7000 eine kontinuierliche Belastung für die angeschlossene Quelle dar.

Mit einer Betätigung der Taste „Funktion“ wird auf „ I/R_{min} “ umgeschaltet. Entsprechend leuchtet nun die LED über dem Poti „ I/R_{min} “ und im Bedienfeld „I-Anzeige“ ist die Anzeigefunktion „ I_{min} “ aktiviert. Auch in dieser Funktion arbeitet das Gerät als kontinuierliche Last, wobei die Lastgröße mit „ I/R_{min} “ stufenlos einstellbar ist. Der maximalen Lastgröße entspricht hier der zuvor mit „ I/R_{max} “ eingestellte Wert.

Durch eine weitere Betätigung der Taste „Funktion“ wird auf interne Modulation umgeschaltet, d. h. die elektronische Last schaltet nun selbständig und kontinuierlich im Takt der eingestellten Frequenz zwischen oberer und unterer Lastgröße um.

Zur Kennzeichnung der Funktion ist die LED über den Poti „f/Hz“ eingeschaltet. Mit diesem Poti kann die Modulationsfrequenz im Bereich von 10 Hz bis 1 kHz eingestellt werden.

Wie bereits beschrieben, kann jetzt mit der Taste „I-Anzeige“ die Stromanzeige während der aktiven internen Modulation zwischen I_{mittel} , I_{max} und I_{min} umgeschaltet werden. Hierdurch sind komfortabel und definiert Korrekturen an der oberen bzw. an der unteren Lastgröße durchführbar, ohne dabei die Modulation unterbrechen zu müssen.

Mit der dritten Betätigung der Taste „Funktion“ wird auf externe Modulation umgeschaltet, was durch die nun aktive LED oberhalb der „Mod. In“-Buchse angezeigt wird. Der Laststrom wird nun durch die Spannung bestimmt, die an der „Mod. In“-Buchse anliegt.

Die Modulationsspannung darf im Bereich zwischen 0 bis 4 V liegen. Der maximal mögliche Spitzenstrom im Impulsbetrieb wird hier bei einer Modulationsspannung von 4 V erreicht, während bei Gleichspannungsansteuerung der zulässige maximale Strom von 10 A bei einer Modulationsspannung von 2 V erreicht ist. Die Stromanzeige wird in diesem Betriebsmodus automatisch auf „ I_{mittel} “ (I) geschaltet.

Wird nun die Taste „Funktion“ ein viertes mal betätigt, so befindet sich die EL 7000 wieder in der Ausgangsfunktion, wie sie auch unmittelbar nach dem Einschalten eingenommen wird.

Kommen wir als nächstes zu den Schutzfunktionen der EL 7000. Erreicht die Endstufe eine Temperatur von 100°C (z. B. durch erhöhte Umgebungstemperatur oder bei abgedeckten Lüftungsschlitzen), so wird automatisch die Belastung abgeschaltet, d. h. die Endstufe ist deaktiviert. Dieser Betriebszustand wird durch die LED „Temp“, rechts neben der Strom-Anzeige, signalisiert.

Sobald die Temperatur wieder unterhalb der Abschaltschwelle gesunken ist, schaltet die Endstufe automatisch wieder ein, und das Gerät nimmt den Betrieb mit den zuvor gewählten Einstellungen wieder auf.

Überschreitet der Mittelwert des Laststromes einen Wert von 10 A, so wird dies durch die LED „ $I > 10 A$ “ angezeigt. Bei Überschreitung des Grenzwertes regelt die EL 7000 automatisch den Laststrom zurück.

Die maximale Verlustleistung ist auf 100 W begrenzt.

Wird dieser Grenzwert überschritten, regelt auch hier die EL 7000 die Lastgröße zurück. Hierzu besitzt die Schaltung einen integrierten Multiplizierer, der den Strom mit der Spannung multipliziert und so die Leistung berechnet. Sobald die Leistungsbegrenzung aktiv ist, leuchtet die LED „ $P > 100 W$ “ auf.

Im rechten unteren Bereich der Frontplatte befinden sich die Eingangsbuchsen und links daneben die BNC-Meßbuchse.

Bei Rechteck-Modulation liegt die mitt-

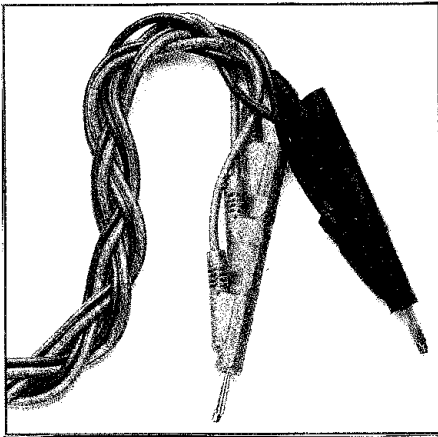


Bild 1: Handelsübliche Labor-Meßleitung zur Optimierung der Übertragungsqualität miteinander verflochten

lere Anstiegszeit bei ca. 10 μ s. Damit diese relativ hohe Anstiegszeit auch zum Prüfling übertragen wird, ist den Zuleitungen besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Insbesondere sollten die Zuleitungen so kurz als möglich gehalten werden und auch der Querschnitt groß ausgelegt sein.

Einen erheblichen Einfluß an der Signalübertragungsqualität hat die Induktivität der verwendeten Zuleitung. Hier sollten Hin- und Rückleiter möglichst dicht und parallel zueinandergeführt werden. Gute Ergebnisse lassen sich auch mit handelsüblichen Labor-Meßleitungen erzielen,

wenn diese, wie in Abbildung 1 gezeigt, miteinander verflochten sind.

Über die BNC-Meßbuchse „U_{meß}“ wird die am Shunt-Widerstand abfallende, zum Laststrom proportionale Spannung abgenommen. Insbesondere ist hierüber bei externer Modulation mit Hilfe eines Oszilloskops die korrekte Modulation überprüfbar. Für die Beurteilung der Regelqualität des Prüflings kann eine Messung an der Buchse „U_{meß}“ nicht herangezogen werden. Um hier eine Aussage treffen zu können, sollte immer direkt an den Klemmen des Prüflings gemessen werden, damit die dynamischen Eigenschaften der Zuleitung keinen Einfluß mehr haben.

Nach dieser ausführlichen Funktions- und Bedienungsbeschreibung wenden wir uns der Schaltungstechnik zu.

Schaltung

Zur guten Übersicht haben wir die Gesamtschaltung der elektronischen Last EL 7000 in 4 Einzelschaltbilder unterteilt. Folgende Funktionseinheiten sind dabei zusammengefaßt:

1. Leistungs-Endstufe mit Regler, Leistungs- und Strombegrenzung sowie Lüftersteuerung (Bild 2)
2. Steuerlogik mit Modulationssignal- Erzeugung (Bild 3)
3. U/I-Anzeige (Bild 4)
4. Netzteil (Bild 5)

Abbildung 2

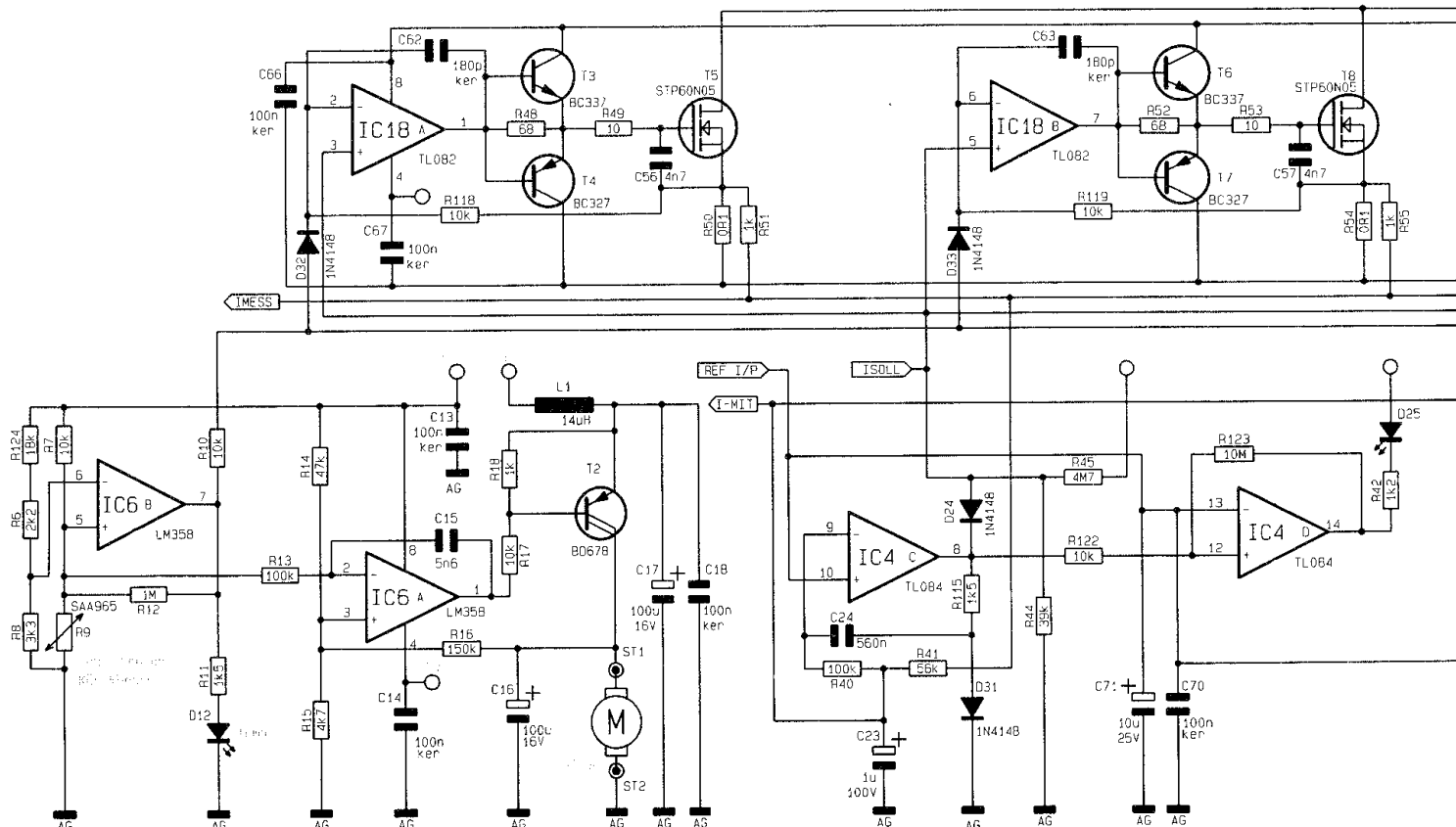
In der oberen Hälfte dieses Teilschaltbildes ist die Leistungsendstufe der EL 7000 dargestellt. Sie wird gebildet aus 4 parallelgeschalteten SIPMOS-Transistoren des Typs STP60N05 (T5, T8, T11, T14). Jedem Transistor ist ein Shunt-Widerstand (R 50, R 54, R 58, R 62) von jeweils 100 m Ω zugeordnet.

Aufgrund der thermischen Eigenschaften ist eine direkte Parallelschaltung der SIPMOS-Transistoren im linearen Betrieb nicht ohne weiteres möglich.

Aus diesem Grunde ist jedem Transistor eine Regelschaltung, bestehend aus einem Operationsverstärker mit nachgeschalteter Stromverstärkerstufe zugeordnet. Die Funktion dieser 4fach, identisch aufgebauten Schaltungseinheiten wollen wir nun anhand der Schaltung um T 14 näher betrachten.

Der Soll-Wert für den zu liefernden Strom wird dem Operationsverstärker IC 19 B an seinem nicht-invertierenden Eingang Pin 5 zugeführt. Die Ist-Größe gelangt vom Shunt-Widerstand R 62 über R 121 auf den invertierenden Eingang des OPs.

Je nach Differenz zwischen Soll- und Ist-Spannung steuert der OP IC 19 B nun über seinen Ausgang (Pin 7) die Basen der komplementären Emitterfolger T 12 und T 13 an. Durch den Widerstand R 60 werden Übernahmeverzerrungen, bedingt



durch die endliche Slew-Rate des OPs reduziert. Über den Widerstand R 61 wird das Gate des Endstufentransistors angesteuert.

Der Kondensator C 59 dient der hochfrequenten Schwingneigungsunterdrückung für die Endstufe. Die Stabilisierung des Reglers wird durch C 65 im Gegenkopplungsweig in Verbindung mit R 121 erreicht.

Im linken unteren Bereich des Schaltbildes ist die Temperaturschutzschaltung sowie die Lüftersteuerung dargestellt. Der Temperatursensor R 9 ist direkt am Lüfteraggregat montiert. Überschreitet hier die Temperatur den Wert von 100°C, so ist die durch R 6, R 124 und R 8 festgelegte Schaltschwelle des IC 6 B erreicht und der Ausgang Pin 7 des OPs wechselt von Low- auf High-Pegel.

Über den Widerstand R 10 und die Entkoppeldioden sind nun die Enstufen gesperrt. Dieser Betriebszustand wird durch die Leuchtdiode „Temp.“ angezeigt.

Die am Temperatursensor anliegende Spannung gelangt weiterhin über R 13 auf den invertierenden Eingang des als Regler geschalteten OP IC 6 A. Die am Sensor anliegende Spannung stellt für den Lüfter-Regler die Soll-Größe dar. Als Ist-Größe wird die am Lüfter anliegende Spannung über R 16 dem IC 6 A an seinem nichtinvertierenden Eingang zugeführt.

Entsprechend der Eingangs-Größensteu-

ert IC 6 A nun direkt den Basis-Spannungsteiler des Längstransistors T 2 an, womit der Regelkreis geschlossen ist.

Für die Begrenzung des Laststromes auf einen Mittelwert von 10 A dient eine mit dem OP IC 4 C aufgebaute Regelschaltung. Hierzu wird über den Tiefpaß R 41 und C 23 zunächst der Mittelwert, der an den Shunt-Widerständen abfallenden, dem Laststrom proportionalen Spannung, gebildet und über R 40 dem als Regler arbeitenden OP IC 4 C an seinem invertierenden Eingang zugeführt. Überschreitet der Ist-Wert die am nicht invertierenden Eingang anliegende Referenz-Größe, so wird der Regler aktiv und wirkt über die zur Entkopplung dienende Diode D 24 auf den Laststrom ein.

Eine weitere Begrenzungsregelung überwacht die an der EL 7000 anliegende Verlustleistung. Für eine korrekte Erfassung sorgt der Analog-Multiplizierer IC 14 des Typs AD633. Hier wird die anliegende Eingangsspannung mit dem Mittelwert der Lastspannung multipliziert.

Das Produkt aus dieser Rechenoperation gelangt über R 74 und R 75 als Ist-Größe auf den invertierenden Eingang des OPIC 9 A, der wiederum als Begrenzungsregler arbeitet.

Überschreitet die Verlustleistung den Grenzwert von 100 W, so wird über die Entkoppeldiode D 27 der Laststrom heruntergeregt. Angezeigt wird dieser Betriebs-

zustand von der Leuchtdiode D 26. Die Ansteuerung übernimmt der Komparator OP IC 9 B.

Die Eingangsgrößen für Spannung und Laststrom können nicht direkt auf die Eingänge des Multiplizierers gegeben werden. Mit IC 13 erfolgt daher eine Verstärkung der an C 23 anstehenden Strom-Meßgröße. Die Klemmenspannung wird mit dem Spannungsteiler R 78 / R 77 heruntergeteilt und über R 73 dem Multiplizierer zugeführt.

Damit ist das in Abbildung 2 dargestellte Schaltbild soweit erläutert und wir wenden uns der Schaltung in Abbildung 3 zu.

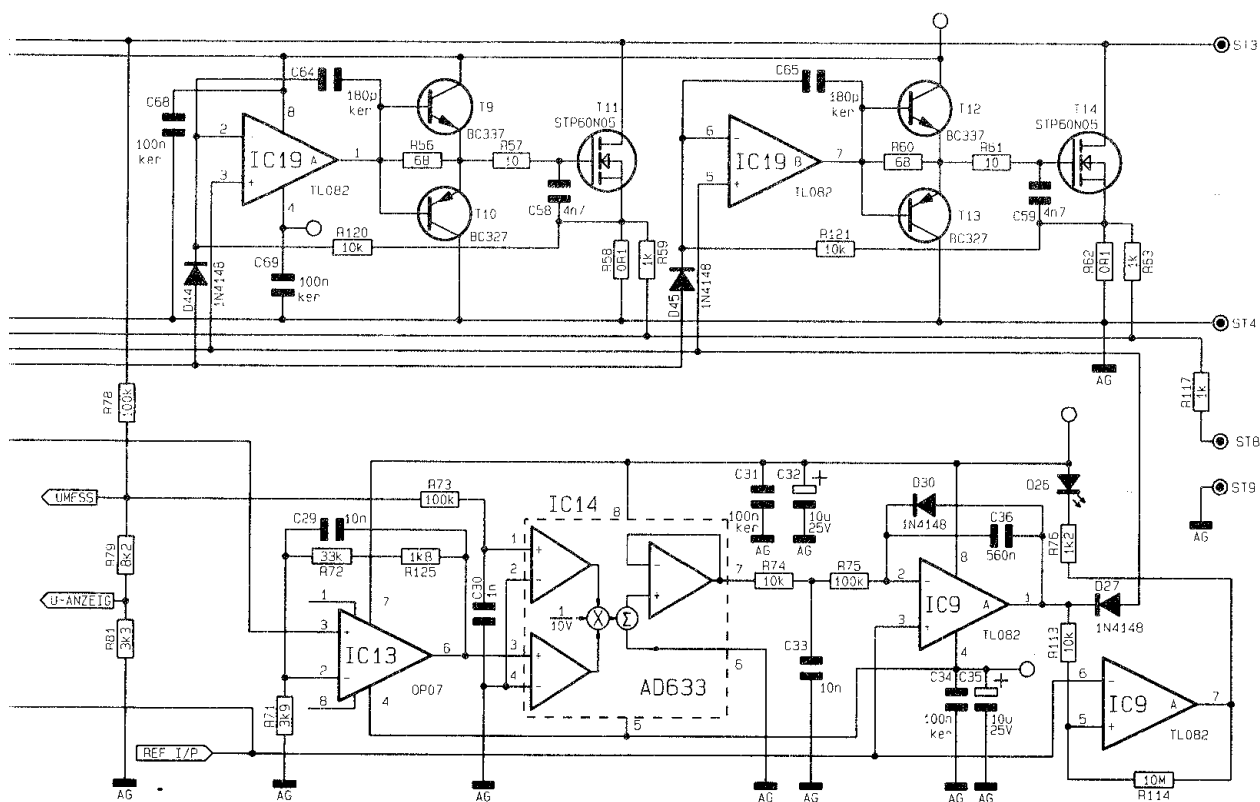
Abbildung 3

Zentrales Bauelement dieses Schaltbildes ist der programmierbare Logikbaustein IC 7.

Bis auf die Steuerung der Last-Kennlinie (über die Taster TA 3 und IC 12 B) ist hier die gesamte Bedienlogik implementiert.

Die Taster für „Funktion“ und „Anzeige“ sind direkt über R 21 und R 22 mit den Eingängen des GAL-Bausteins verbunden. Die weitere hier angeordnete externe Beschaltung sorgt für definierte und saubere Tastersignale.

Die Ansteuerung der CMOS-Schalter IC 5, IC 8 und IC 11 erfolgt direkt über die Ausgänge (Pin 12 bis Pin 16) des Logik-Bausteins. Auch werden hierüber die



Leuchtdioden D 13 sowie D 16 bis D 19 direkt angesteuert.

Mit dem Operationsverstärker IC 10 mit Zusatzbeschaltung ist der Oszillator für die interne Modulation realisiert. Der Frequenzbereich beträgt 20 Hz bis 2 kHz. Zur Einstellung der Frequenz dient R 68. Das nachgeschaltete D-Flip-Flop nimmt eine Frequenzteilung vor und erzeugt ein Impuls-Pausenverhältnis von 1 : 1, so daß an den Ausgängen Q und $\bar{Q}$ der erforderliche Frequenzbereich von 10 Hz bis 1 kHz zur Verfügung steht.

Mit dem CMOS-Schalter IC 11 ist die Umschaltung und die entsprechende An-

steuerung der Strom-Anzeige realisiert. Im oberen Schaltbildbereich sind mit R 1 und R 2 die Potentiometer zur Einstellung der Last-Größe eingezeichnet. Die Operationsverstärker IC 4 A, B dienen hierbei zur Entkopplung und verhindern so eine gegenseitige Beeinflussung.

Am Ausgang des CMOS-Schalters IC 5 (Pin 15) liegt mit „I_{soll}“ die Soll-Größe für den Laststrom an (siehe auch Abbildung 2). IC 5 nimmt die Umschaltung der gewünschten Soll-Größe für den Laststrom vor.

Wie bereits erwähnt, ist die Umschaltung der Laststromkennlinie mit dem D-Flip-

Flop IC 12 B realisiert. Die eigentliche Umschaltung nimmt dabei der CMOS-Umschalter IC 8 C vor. In der eingezeichneten Schalterstellung gelangt die über den Widerstandsteiler R 37 bis R 39 heruntergeteilte konstante Spannung auf die Regler zur Einstellung der Last-Größe, wodurch die EL 7000 als Konstantstromsenke arbeitet.

Schaltet IC 8 C um, so ist die aus der Eingangsspannung erzeugte Meßgröße „U_{meß}“ (siehe auch Abbildung 2) mit der Schaltung um R 1 und R 2 veränderbar.

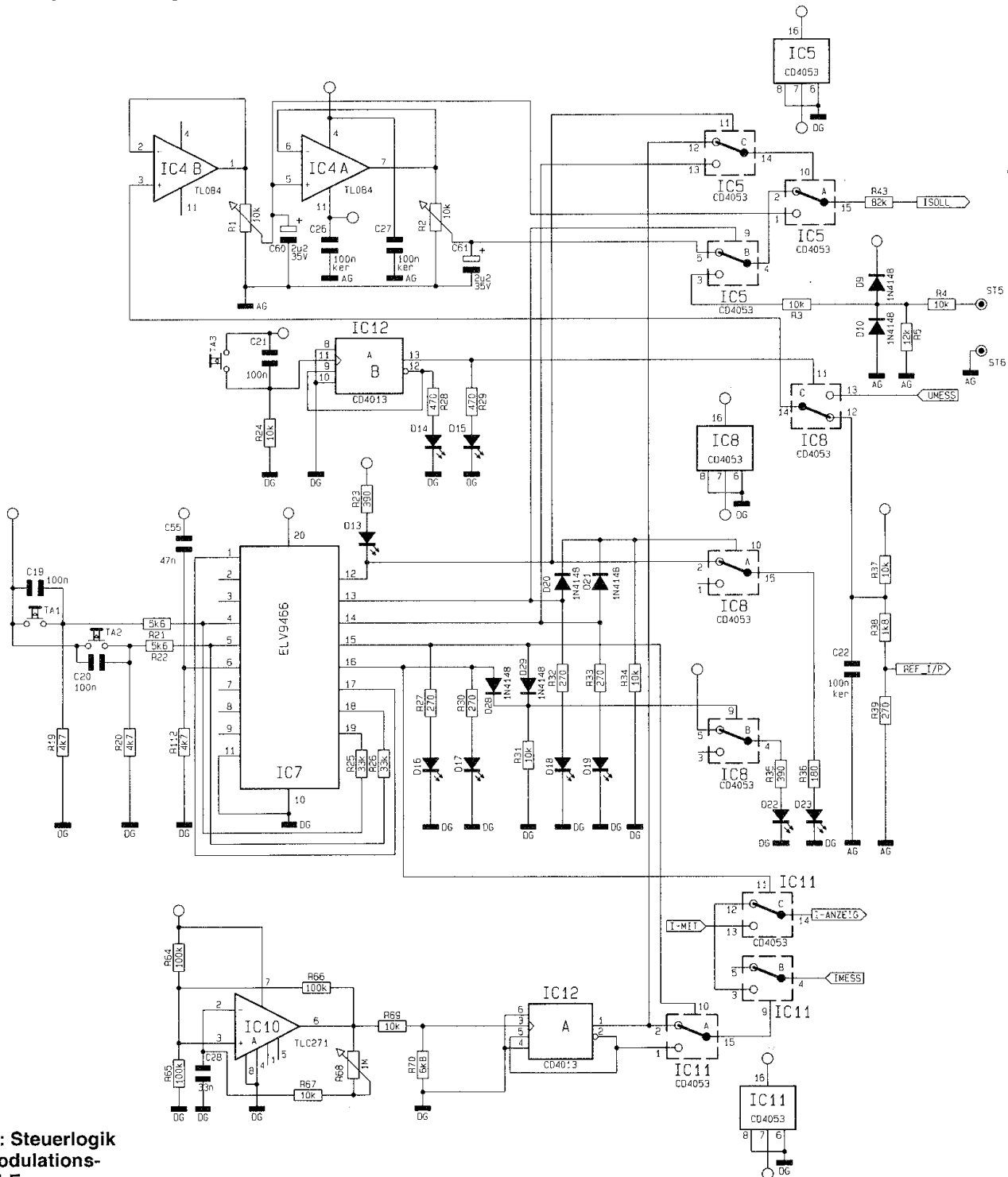


Bild 3: Steuerlogik mit Modulations-signal-Erzeugung

Bild 4: Strom- und Spannungsanzeige der EL 7000

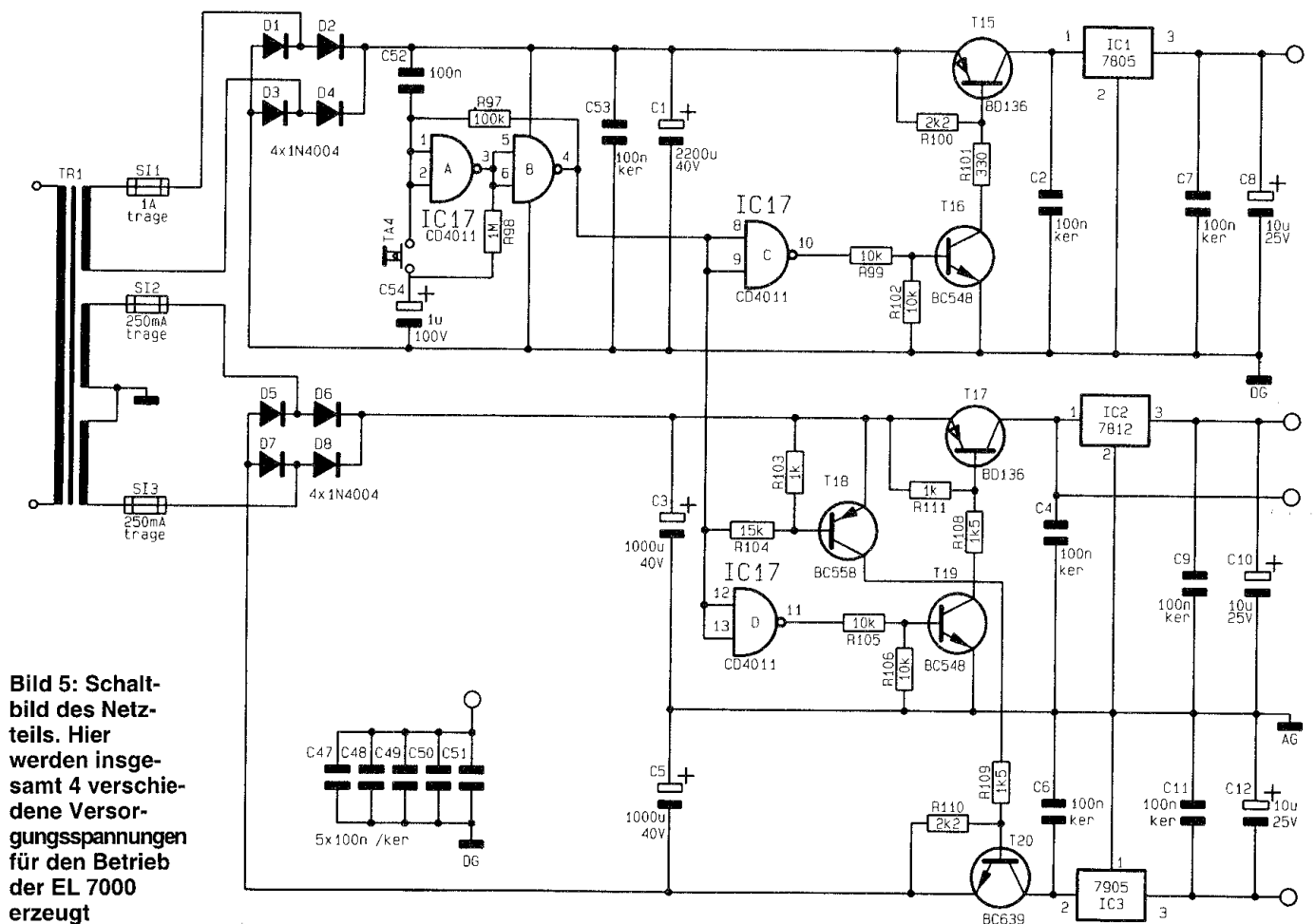
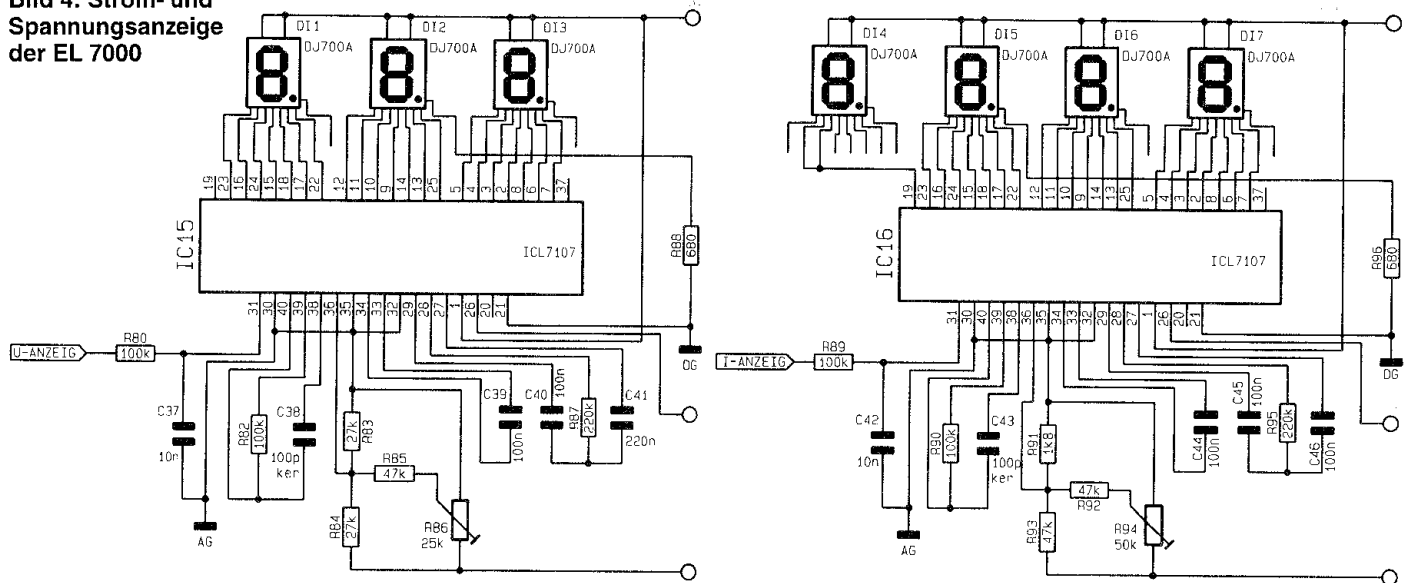


Bild 5: Schaltbild des Netzteils. Hier werden insgesamt 4 verschiedene Versorgungsspannungen für den Betrieb der EL 7000 erzeugt

Hierdurch ist der Laststrom linear mit der Eingangsspannung verknüpft und die EL 7000 verhält sich wie ein ohmscher Widerstand. Dabei darf allerdings die Spannung nicht verpolt werden, was auch für den Konstantstrom-Betrieb gilt.

Abbildung 4

In Abbildung 4 sind die beiden Teil-

schaltungen der digitalen Strom- und Spannungsanzeige zu sehen. Obwohl die Stromanzeige 4stellig ausgeführt ist, sind beide Teilschaltungen weitgehend identisch aufgebaut.

Die verwendeten AD-Wandler des Typs ICL7107 setzen die an ihren Eingangspins 30, 31 anliegende Meßspannung in einen digitalen Anzeigewert um, wobei die 7-

Segment-LED-Anzeigen direkt angesteuert werden.

Abbildung 5

Das Netzteil der elektronischen Last zeigt Abbildung 5.

Insgesamt stehen 4 verschiedene Betriebsspannungen zur Verfügung, wovon 3 stabilisiert sind. Zur Stabilisierung dient

jeweils ein Spannungsregler mit Zusatzbeschaltung.

Der verwendete Netztransformator TR 1 ist auf der Primärseite direkt mit der Netzschnur versehen, so daß die Ein- und Ausschaltfunktion auf der Sekundärseite realisiert ist. Der Vorteil dieser Aufbauweise besteht darin, daß keinerlei gefährliche Spannungen innerhalb des Gerätes berührbar sind, da die lebensgefährliche Netzwechselspannung innerhalb des vergossenen Netztransformators verbleibt und die zugängliche Sekundärseite galvanisch davon getrennt ist.

Als Schaltelemente dienen in den 3 Betriebsspannungszweigen jeweils Bipolartransistoren (T 15, T 17, T 20). Die Ansteuerung erfolgt über je einen Treibertransistor, wobei für die positiven Zweige (T 15 und T 17) nochmals eine Invertierung durch die Gatter IC 17 C, D vorhanden ist.

Die eigentliche Toggle-Schaltfunktion für den Taster TA 4 (Netz)

ist mit den Gattern IC 17 A, B realisiert. Ein definierter Schaltzustand (EL 7000 ausgeschaltet), nach dem Einstecken des Netzsteckers, wird durch den Kondensator C 52 gewährleistet.

Im zweiten Teil dieses Artikels wenden wir uns dem Nachbau dieses interessanten und nützlichen Laborgerätes zu.

Nachbau

Die komplexe Schaltungstechnik der elektronischen Last EL 7000 wird auf zwei übersichtlich gestalteten Leiterplatten aufgebaut.

Der größte Teil der Elektronik, bestehend aus der Leistungsstufe einschließlich Kompakt-Lüfteraggregat LK 40, dem Netzteil mit Netztransformator sowie der Regelelektronik befindet sich auf der 260 x 128 mm großen Basisplatine.

Auch die 246 mm x 64 mm messende Frontplatine ist reichlich mit Elektronik bestückt. Neben den beiden AD-Wandlern zur Ansteuerung der 7-Segment-Anzeigen und den Displays selbst sind hier alle Bedienelemente und auch noch einige Teile der Steuerlogik untergebracht.

Aufgrund der relativ hohen Packungsdichte sind beide Leiterplatten doppelseitig ausgeführt, wodurch in den EL 7000 keine einzige Drahtbrücke erforderlich ist.

Wir beginnen den Nachbau mit dem Bestücken der beiden Platinen. In gewohnter Weise wird zunächst die Basisplatine, beginnend mit den niedrigen Bauelementen bestückt, gefolgt von den höheren Komponenten.

Die Leistungstransistoren T 5, T 8, T 9 und T 14 sowie der Spannungsregler IC 1 und auch der Temperatursensor R 9 sind zunächst noch von der Bestückung ausgenommen. Ihre Montage erfolgt zum Schluß zusammen mit dem Lüfter-Aggregat.

Die Anschlußpunkte für die angesprochenen Leistungstransistoren und für den Spannungsregler IC 1 werden mit den beiliegenden 1 mm-Lötstiften versehen. Der Temperatursensor R 9 wird später mit einer Metallschelle am Kühlkörper befestigt, wobei die elektrische Verbindung zur Basisplatine über entsprechende Leitungsabschnitte erfolgt. Aus diesem Grunde sind die Anschlußpunkte für den Temperatursensor sowie die Lötstützpunkte ST 1, 2, 5, 6, 9 mit entsprechenden Lötösen zu versehen.

Die Shunt-Widerstände R 50, R 54, R 58 und R 62 sind so tief wie möglich in die

Die Anschlußleitungen des Lüfters sollten zum rechten Platinenrand zeigen. Das hintere Ende des Kühlkörpers muß bündig mit der Platinenrückkante abschließen, bevor die 4 Befestigungsschrauben angezogen werden. Abschließend wird die rote Anschlußleitung des Lüfters an den Lötstützpunkt ST 1 und die schwarze Leitung an ST 2 angelötet.

Wenden wir uns nun der Montage der Halbleiter am Kühlkörper-Aggregat zu. Sämtliche Transistoren sowie der Spannungsregler IC 1 müssen zur elektrischen Isolation mit entsprechenden Glimmerscheiben und zugehörigen Isolierbuchsen montiert werden. Um die thermische Kopplung zu optimieren, sind die Glimmerscheiben auf beiden Seiten mit etwas Wärmeleitpaste zu bestreichen.

In die oberen Nuten der rechts und links

befindlichen Befestigungsflächen des LK 40 wird jeweils die entsprechende Anzahl von Muttern zur Befesti-

gung der Halbleiter eingeschoben. Wenn alle Halbleiter oberhalb ihrer Anschlußpunkte festgeschraubt sind (mit M 3 x 6 mm-Zylinderkopfschrauben), sind ihre Anschlußbeine mit den Lötstiften der Basisplatine zu verbinden.

Abschließend wird der Temperatursensor am Kühlkörper montiert. Die Montage erfolgt mit der beiliegenden Metallschelle und einer M 3 x 5 mm Zylinderkopfschraube an der Mutter, die sich zwischen T 11 und T 14 befindet. Um ein Lösen der Verschraubung zu verhindern, ist zwischen Schraubenkopf und Metallschelle eine Fächerscheibe einzulegen.

Die flache Seite des Temperatursensors ist mit Wärmeleitpaste zu bestreichen und muß direkt am Kühlkörper anliegen. Die Metallschelle sollte genau mittig zwischen den beiden Transistoren positioniert sein, so daß die Anschlüsse des Sensors auf der Seite des Transistors T 14 zur Platine führen.

Als dann sind die Anschlußbeine des Sensors auf 8 mm Länge zu kürzen und über je einen 50 mm langen Leitungsabschnitt mit den entsprechenden Lötösen der Platine zu verbinden.

Im nächsten Arbeitsschritt ist der Netztransformator zu montieren. Nachdem dieser in die Leiterplatte eingesetzt wurde und mit 4 M 3 x 6 mm-Zylinderkopfschrauben und zugehörigen Muttern verschraubt ist, werden die Anschlußpunkte verlötet.

Mit dem Einlöten der Zuleitungen für die Eingangsbuchsen sowie für die BNC-Meßbuchse und den BNC-Modulations-eingang sind die Bestückungsarbeiten im Bereich der Basisplatine so weit abge-

Leiterplatte einzusetzen, wobei der Widerstandskörper direkt auf der Leiterplatte aufliegen muß.

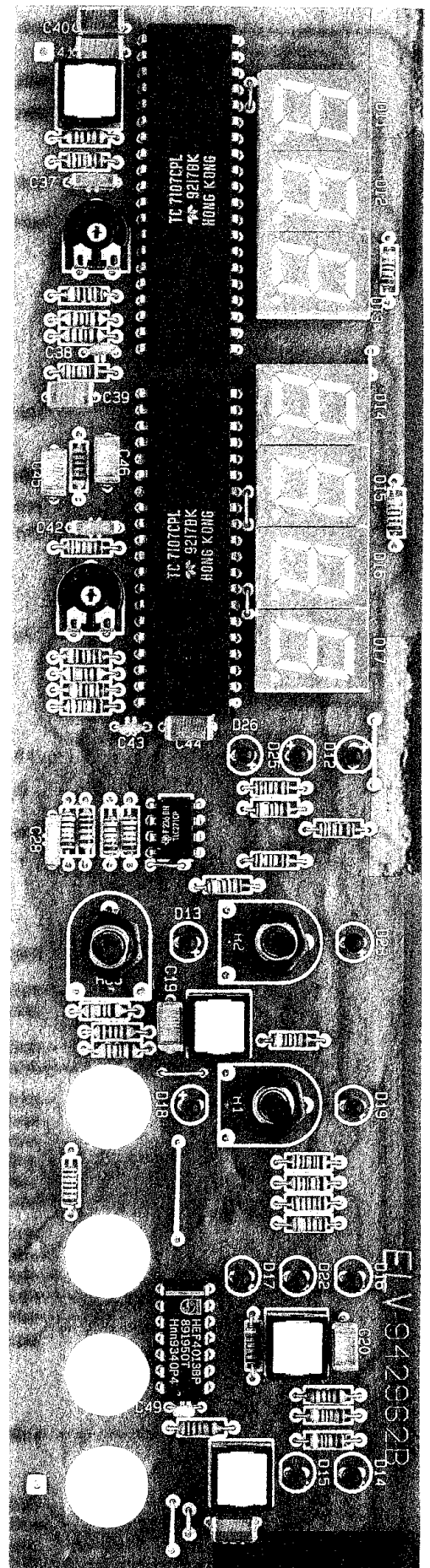
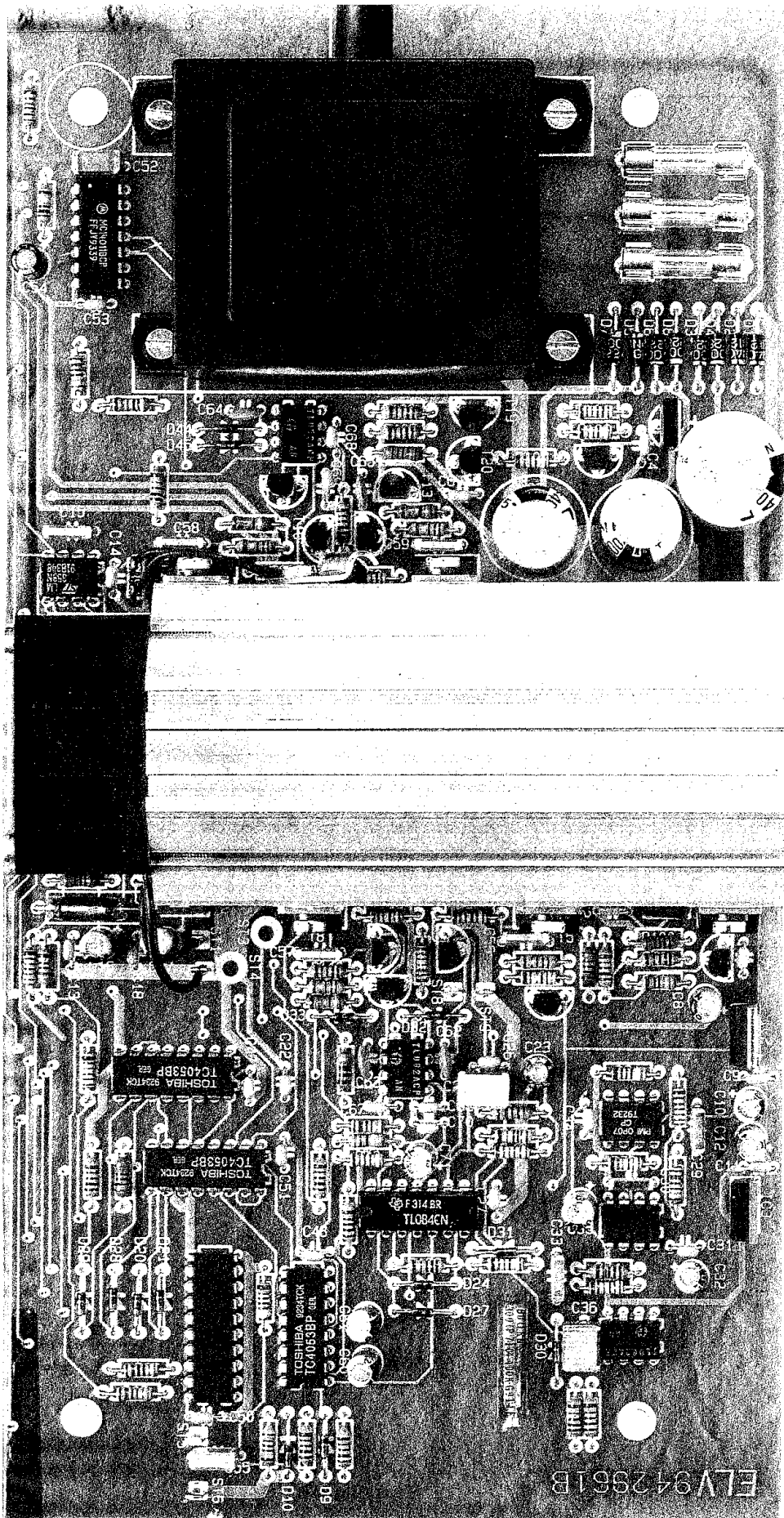
Nachdem die Bestückung so weit fortgeschritten ist, kann der Lüfter-Kühlkörper für den Einbau vorbereitet werden. Zuerst sind die beiden Profilhälften mittels der Schwalbenschwanzführung zusammenzuschieben und mit der Öffnung nach oben auf die Arbeitsunterlage zu stellen, wobei eine der Nahtstellen zum Betrachter weisen sollte.

Der 40 mm-Lüfter wird nun oben auf das Kühlkörper-Profil gelegt, und zwar so, daß das Typenschild des Lüfters zum Kühlkörper weist und das Zuleitungspaar nach rechts zeigt.

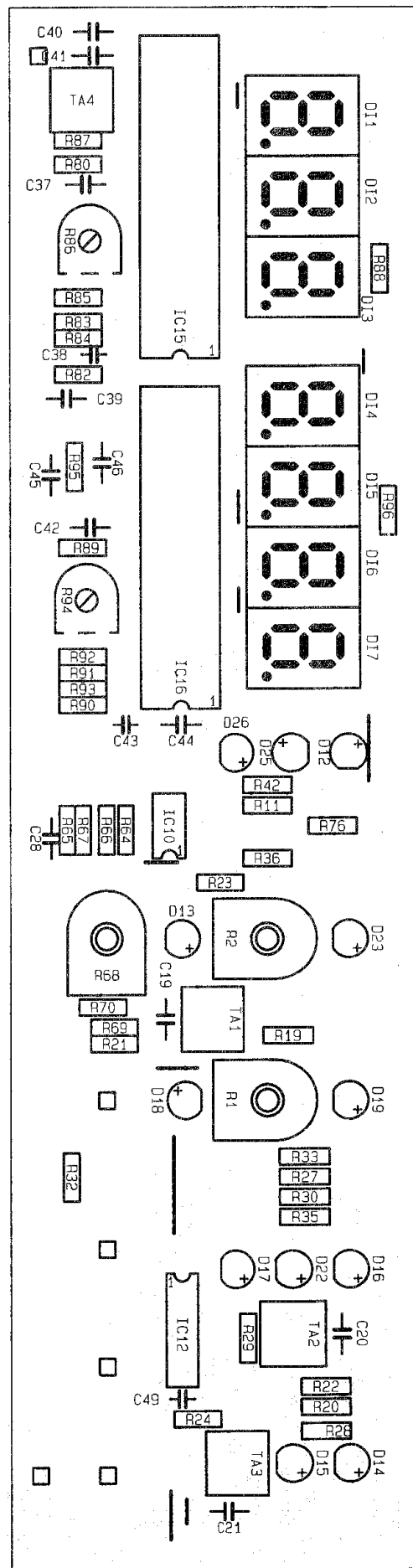
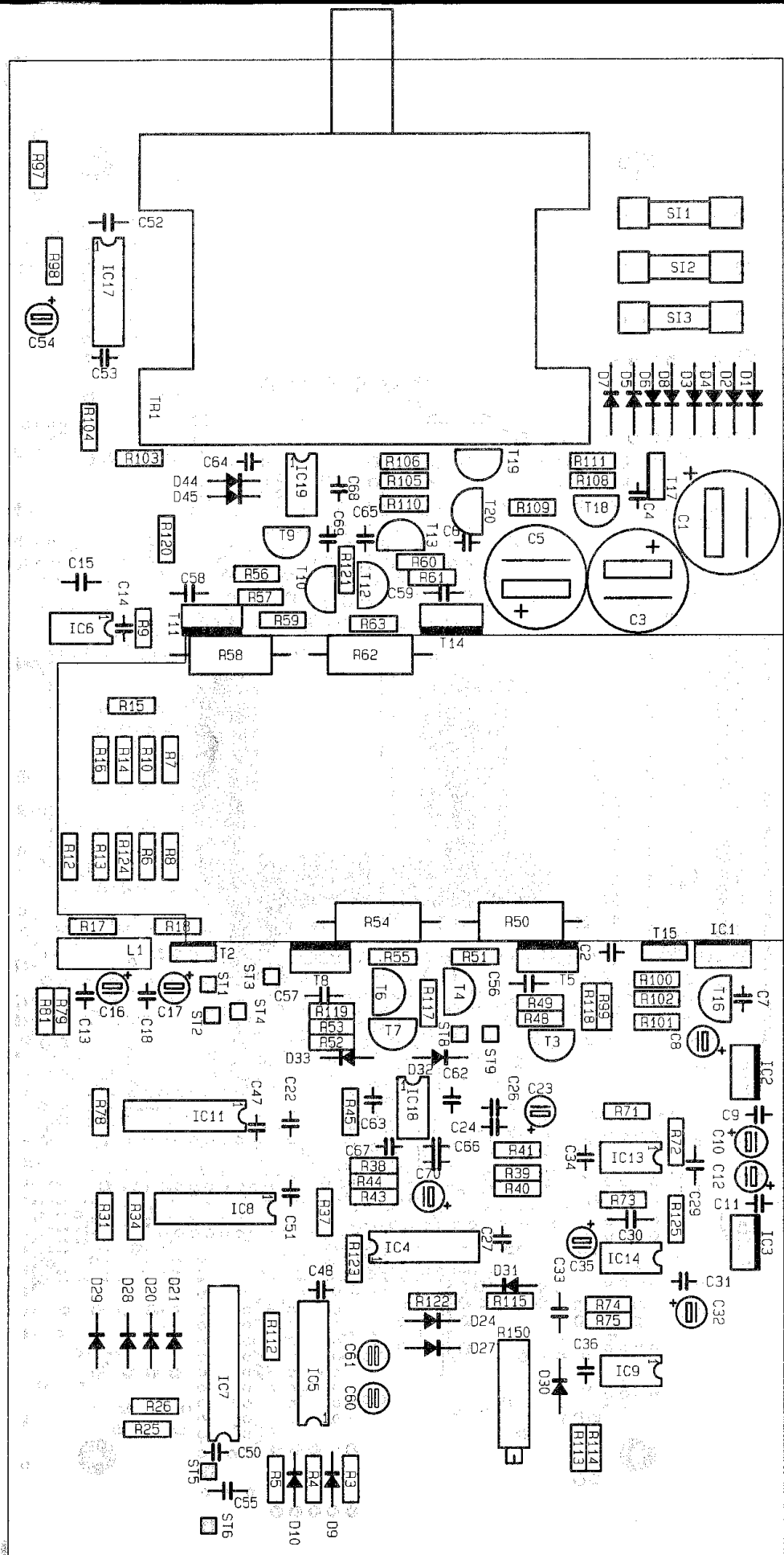
Für die Lüftermontage dienen 4 M 3 x 30 mm Zylinderkopfschrauben, die durch die entsprechenden Bohrungen des Lüfters geführt und in die Rundnuten des Kühlkörperprofils eingedreht werden.

Im folgenden Arbeitsschritt ist durch die 4 Lüfteraggregat-Montagebohrungen der Basisplatine von unten je eine M 3 x 6 mm-Zylinderkopfschraube zu stecken. Zwischen Schraubenkopf und Leiterplatte wird jeweils eine Fächerscheibe eingelegt.

Auf der Oberseite der Basisplatine folgt nun die zur Isolierung dienende 0,5 mm dicke 30 mm x 100 mm messende Epoxydplatte und auf jede Schraube eine M 3-Mutter, die zunächst jedoch nur lose aufgeschraubt wird. Mit dem Lüfter voran ist anschließend das Kühlkörper-Aggregat von der Platinenrückseite her aufzuschieben, wobei je 2 Muttern in jede der beiden Führungsnuten der Kühlkörperelemente „eintauchen“.



Ansicht der fertig aufgebauten Basis- und Frontplatine



Bestückungsplan der Basis- und Frontplatte der EL 70000

schlossen. Für die Verkabelung der Eingangsbuchsen ist die rote und schwarze 2,5 mm²-Leitung vorgesehen, während die BNC-Buchsen über abgeschirmte Leitungen anzuschließen sind.

Die Leitungen werden gemäß den Erfordernissen gekürzt und zunächst lediglich auf einer Seite befestigt, d. h. in die Bohrungen der Basisplatine eingesteckt und verlötet bzw. an die entsprechenden Lötösen angelötet.

Kommen wir nun zur Bestückung der Frontplatine. Zuerst sind hier die 7-Segment-Anzeigen und die Taster T 1 bis T 4 einzusetzen. Alle weiteren Bauelemente wie Kondensatoren und LEDs dürfen maximal eine Einbautiefe von 8 mm, entspre-

chend der Bauhöhe der 7-Segment-Anzeigen, sowie der Taster-Grundkörper aufweisen.

Die Potentiometer R 1, R 2, und R 68 werden von der Rückseite her montiert. Hierzu sind zunächst die Anschlußpins der Potentiometer zur Achse hin direkt am Potentiometergehäuse abzuwinkeln. Im Anschluß daran sind sie in der Frontplatte einzuschrauben und zu verlöten.

Nachdem nun beide Leiterplatten fertiggestellt sind, erfolgt die Verbindung der Platinen miteinander.

Die Basisplatine wird mit ihrer Hinterkante auf die Arbeitsplatte gestellt, wodurch ein optimales Anlöten der Frontplatine möglich ist.

An der linken und rechten Seite der Frontplatine befinden sich zwei 1,3 mm Bohrungen, durch die jeweils von der Bestückungsseite her 2 Lötstifte mit der langen Seite voran einzustecken sind.

Diese Lötstifte erleichtern die nun anschließende Positionierung der Frontplatine. Bei korrekter Ausrichtung liegen die betreffenden Lötstifte in ganzer Länge auf der Basisplatine auf.

Ist dies erreicht, d. h. beide Platinen bilden einen rechten Winkel zueinander und die zusammengehörenden Leiterbahnpaare fluchten miteinander, wird auf jeder Seite eine Punktlötung vorgenommen.

Nach zufriedenstellender Positionierung werden anschließend sämtliche Leiterbahn-

Stückliste: EL 7000

Widerstände:

0,1Ω	R50, R54, R58, R62
10Ω	R49, R53, R57, R61
68Ω	R48, R52, R56, R60
180Ω	R36
270Ω	R27, R30, R32, R33, R39
330Ω	R101
390Ω	R23, R35
470Ω	R28, R29
680Ω	R88, R96
1kΩ	R18, R51, R55, R59, R63, R103, R111
1,2kΩ	R42, R76
1,5kΩ	R11, R108, R109, R115
1,8kΩ	R38, R91, R125
2,2kΩ	R6, R100, R110
3,3kΩ	R8, R81
3,9kΩ	R71
4,7kΩ	R15, R19, R20, R112
5,6kΩ	R21, R22
6,8kΩ	R70
8,2kΩ	R5, R79
10kΩ	R3, R4, R7, R10, R17, R24, R31, R34, R37, R67, R69, R74, R99, R102, R105, R106, R113, R117 - R122
15kΩ	R104
18kΩ	R124
27kΩ	R83, R84
33kΩ	R25, R26, R72
39kΩ	R44
47kΩ	R14, R85, R92, R93
56kΩ	R41
82kΩ	R43
100kΩ	R13, R40, R64 - R66, R73, R75, R78, R80, R82, R89, R90, R97
150kΩ	R16
220kΩ	R87, R95
1MΩ	R12, R98
10MΩ	R114, R123
20MΩ	R45
PT10, liegend, 25kΩ	R86
PT10, liegend, 50kΩ	R94
Spindeltrimmer, 100kΩ	R 150

P06, 10kΩ	R1, R2
P06, 1MΩ	R68

Kondensatoren:

100pF	C38, C43
180pF	C62 - C65
1nF	C30
4,7nF	C56 - C59
5,6nF	C15
10nF	C29, C33, C37, C42
33nF	C28
47nF	C55
100nF/ker	C2, C4, C6, C7, C9, C11, C13, C14, C18, C22, C26, C27, C31, C34, C47 - C51, C53, C66 - C70
100nF	C19 - C21, C39, C40, C44 - C46, C52
220nF	C41
560nF	C24, C36
1µF/100V	C23, C54
2,2µF/35V	C60, C61
10µF/25V	C8, C10, C12, C32, C35, C71
100µF/16V	C16, C17
1000µF/40V	C3, C5
2200µF/40V	C1

Halbleiter:

ELV9466	IC7
ICL7107	IC15, IC16
AD633	IC14
OP07	IC13
LM358	IC6
TL082	IC9, IC18, IC19
TL084	IC4
TLC271	IC10
CD4011	IC17
CD4013	IC12
CD4053	IC5, IC8, IC11
7805	IC1
7812	IC2
7905	IC3
BC327	T4, T7, T10, T13
BC337	T3, T6, T9, T12
BC548	T16, T19

BC558	T18
BD136	T15, T17
BD639	T20
BD678	T2
STP60N05	T5, T8, T11, T14
1N4004	D1 - D8
1N4148	D9, D10, D20, D21, D24, D27 - D33, D44, D45
LED, 3mm, rot	D12-D19, D22, D23, D25, D26
DJ700A	DI1 - DI7

Sonstiges:

Spule, 14µH	L1
Temperatursensor, SAA965	R9
Print-Taster, weiß	TA1 - TA4
Trafo, 1 x 8V/1,05A	
2 x 12V/0,23A	TR 1
Sicherungen, 250mA, träge	SI2, SI3
Sicherung, 1A, träge	SI1
3 Platinensicherungshalter (2 Hälften)	
15 Lötstifte, 1mm	
2 Lötstifte, 1,3mm	
8 Lötstifte mit Lötöse	
1 Hirschmann-Polklemme, rot	
1 Hirschmann-Polklemme, schwarz	
2 BNC-Einbaubuchsen	
2 Kühlkörper-Profilhälften, LK40	
5 Isolierrippel	
5 Glimmerscheiben,	
1 Befestigungsschelle	
13 Zylinderkopfschrauben, M3 x 6mm	
1 Zylinderkopfschraube, M3 x 5mm	
4 Zylinderkopfschrauben, M3 x 30mm	
14 Muttern, M3	
5 Zahnscheiben	
1 Tube Wärmeleitpaste	
1 Isolierplatte, 30 x 100mm	
2 Lötösen, 3,2mm	
1 Papst-Lüfter, 40 x 40mm	
20cm flexible Leitung, ST1, 2,5mm ² , rot	
20cm flexible Leitung, ST1, 2,5mm ² , schwarz	
40cm einadrig, abgeschirmte Leitung, 0,22mm ²	
12cm flexible Leitung, ST1, 0,22mm ²	

paare unter Zugabe von reichlich Lötzinn miteinander verbunden.

Damit anschließend die Endmontage der EL 7000 erfolgen kann, sind zuvor Inbetriebnahme und Abgleich durchzuführen.

Inbetriebnahme und Abgleich

Bevor das Gerät zum ersten Mal mit der Netzwechselspannung beaufschlagt wird, empfiehlt es sich, nochmals die korrekte Bestückung der Leiterplatten zu prüfen. Insbesondere gilt dies für die Polung der Elektrolytkondensatoren und der Dioden.

Mit Hilfe eines Multimeters werden unmittelbar nach dem Einschalten der EL 7000 alle wichtigen Betriebsspannungen gemessen und mit den Angaben im Schaltbild verglichen. Sind alle Messungen zufriedenstellend ausgefallen, beginnen wir mit dem Abgleich, während ansonsten das Gerät unverzüglich außer Betrieb zu nehmen und auf Fehler zu untersuchen ist.

Für den Abgleich sind zunächst alle Einstelltrimmer in Mittelstellung und die Potentiometer für die untere und die obere Lastgröße (R 1 und R 2) an ihren Linksanschlag (entgegen dem Uhrzeigersinn) zu drehen.

Nun wird die EL 7000 an eine externe Spannungsquelle angeschlossen und mit einer Spannung von ca. 10 V beaufschlagt. Der Trimmer R 86 ist so einzustellen, daß die Spannungsanzeige der EL 7000 exakt die anliegende Spannung anzeigt. Als dann wird die Lastgröße so eingestellt, daß ein kontinuierlicher, möglichst großer Strom bis zu 10 A fließt (je nach Möglichkeit des Speisernetzteils).

Zur Messung des Stromes ist ein möglichst genaues, ausreichend belastbares Amperemeter zwischenzuschalten. Der Trimmer R 94 ist so einzustellen, daß die Stromanzeige der EL 7000 genau dem gemessenen Wert entspricht.

Zur Erzielung einer höheren Genauigkeit im R-Betrieb wurde die Endstufe mit der vorgeschalteten Regelelektronik um

einen Offset-Einsteller erweitert. Die Einstellung erfolgt über einen Spindeltrimmer, der die Bezeichnung R 150 trägt.

Für diesen letzten Abgleichpunkt sind die Potentiometer für die Lastgrößen (R 1 und R 2) wieder an ihren Linksanschlag zu bringen.

Der Spindeltrimmer R 150 ist zunächst so einzustellen, daß ein Laststrom von ca. 100 mA vorliegt. Im zweiten Schritt wird nun mit Hilfe des Spindeltrimmers R 150 der Laststrom langsam so weit reduziert, daß die Stromanzeige der EL 7000 gerade 0,00 A anzeigt.

Um eine größere Genauigkeit für diesen Abgleich zu erzielen, kann ein entsprechend höher auflösender Amperemeter zwischengeschaltet werden.

Bei einer Eingangsspannung von 10 V, ergibt sich aufgrund des nun vorliegenden Eingangswiderstandes der EL 7000 von ca. 111,5 k Ω ein minimaler Laststrom von ca. 89,7 μ A, an den es sich langsam von höheren Strömen her kommend anzunähern gilt. Ist der Abgleich wie beschrieben durchgeführt, empfiehlt es sich, die verschiedenen Funktionen des Gerätes zu überprüfen, bevor mit der Montage der EL 7000 begonnen wird.

Endmontage

Zunächst sind die BNC-Buchsen und die Eingangs-Polklemmen in die Frontplatte einzuschrauben. Im Anschluß hieran sind die Buchsen mit den zugehörigen Leitungen von der Basisplatte zu verbinden. Der Anschluß der Polklemmen erfolgt über die beiliegenden Lötösen.

Als dann ist ca. 100 mm vom Netztransformator entfernt die Zugentlastung mit Hilfe einer geeigneten Zange (z. B. Kombi- oder Flachzange) „aufzuquetschen“ und diese dann in die Nut der Rückwand einzuklemmen.

Im nächsten Arbeitsschritt werden die 4 Gehäusebefestigungsschrauben M 4 x 70 mm von unten durch eine der beiden Ge-

häusehalbschalen gesteckt. Die so vorbereitete Bodeneinheit wird mit dem Lüftungsgitter nach vorne weisend auf die Arbeitsplatte gestellt und auf jede der herausragenden Schrauben eine 1,5 mm dicke Polyamid-Scheibe aufgesteckt.

Es folgt das Einsetzen des kompletten Chassis der EL 7000 einschließlich Front- und Rückplatte von oben über die Schrauben in die untere Gehäusehalbschale. Auf jede der Befestigungsschrauben folgt ein 60 mm-Abstandsrollchen.

Nun wird die obere Gehäusehalbschale aufgesetzt und die M 4-Muttern von außen eingelegt.

Das Anziehen der Montageschrauben erfolgt von unten, wozu das Gerät jeweils einseitig über die Tischkante hervorgezogen wird (Schraube darf nicht herausfallen), um dann die jeweilige Schraube festzuziehen.

Im Anschluß daran sind die Fuß- und Abdeckmodule einzusetzen (Gummifüße zuvor in die Fußmodule einsetzen; Abdeckmodule nur bestücken, wenn kein weiteres Gerät der 7000er-Serie aufgesetzt werden soll).

Mit dem Kürzen der herausragenden Potentiometerachsen auf eine Länge von 7 mm und dem Anbringen der 10 mm-Spannzangendrehknoöpfe (Pfeilscheibe zuvor auf Drehknopf aufdrücken) ist der Nachbau der EL 7000 abgeschlossen, und das Gerät kann seiner Bestimmung übergeben werden.

Wichtig: Abschließend noch eine Anmerkung zur Geräteaufstellung:

Die Kühlung der elektronischen Last EL 7000 kann nur dann einwandfrei arbeiten, wenn die zugehörigen Öffnungen nicht verschlossen oder verstellt sind.

Es dürfen auf gar keinen Fall die Luftschlitze des Gehäuses abgedeckt werden. Der Lüfter muß mindestens 10 cm frei nach hinten ausblasen können.

Weiterhin sollte durch die Aufstellung sichergestellt sein, daß die Luft auch tatsächlich abströmen kann und es nicht zu einer Luftzirkulation kommt.

Hinweisblatt zur Elektronischen Last EL 7000

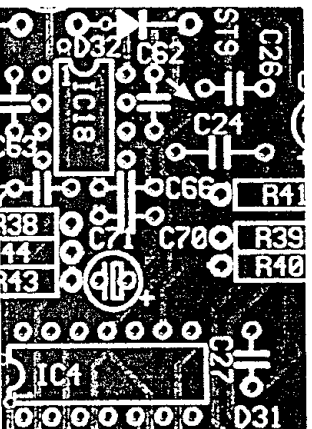
Achtung!

Auf der Platine Nr. 942961 kann die Leiterbahn zwischen C 26 und IC 4 Pin 11 unterbrochen sein.

Prüfen Sie diese Verbindung bitte noch vor der Leiterplattenbestückung mit einem Durchgangsprüfer oder Multimeter.

Liegt eine Unterbrechung vor, sollte die Platine folgendermaßen modifiziert werden:

- Entfernen Sie den Lötstopfack der Leiterbahn (von IC 4 Pin 11) unmittelbar in der Nähe von C 26. Für diese Arbeit eignet sich z. B. ein kleiner Schlitzschraubendreher.
- Lassen Sie bei dieser Modifikation die nötige Vorsicht walten, um die Leiterplatte nicht an anderer Stelle zu beschädigen.
- Nach vollendeter Leiterplattenbestückung läßt sich recht einfach die fehlende Verbindung zu C 26, durch Einlöten eines kleinen Drahtabschnitts, herstellen.



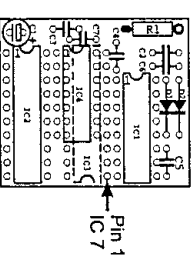
Hinweisblatt zur Elektronischen Last EL 7000 (Bestell-Nr.: 149-07)

Im Zuge einer Überarbeitung wurde das IC7 (ELV 9466) durch die Zusatzplatine 9551155L ersetzt. Die Bestückung der EL 7000 erfolgt gemäß der beiliegenden Bauanleitung, lediglich IC7 entfällt. Anstelle von IC 7 wird ein 20-poliger IC-Sockel bestückt.

Die Bestückung der Zusatzplatine erfolgt entsprechend der Stückliste sowie dem Bestückungsplan. Alle Bauteile der Zusatzplatine werden auf der Bestückungsseite montiert. Eine Ausnahme bildet die 20-polige Kontaktleiste, die zunächst in die zwei erforderlichen 10-poligen Leisten aufzuteilen ist. Die eigentliche Bestückung erfolgt auf der Lötseite in der Position IC 3. Beachten Sie bitte, dass die dünneren Kontaktschäfte für den späteren Einsatz in den IC-Sockel (IC 7) der Basisplatine vorgesehen sind.

Auf einigen Zusatzplatten ist die Einbaulage falsch symbolisiert. Beim Einsetzen der Zusatzplatine (Kontaktleiste IC 3) in die EL 7000 (Sockel IC 7) ist daher unbedingt die korrekte Einbaulage wie im Bestückungsdruck unten dargestellt zu beachten.

Stückliste: EL 7000 – Zusatzplatine	
Widerstände:	
10kΩ	R1
Kondensatoren:	
470pF/ker	C6
820pF/ker	C4, C5
100nF/ker	C2, C3, C7
10µF/25V	C1
Halbleiter:	
ELV9623	IC2
CD4520	IC1
74HC04	IC4
1N4148	D1, D2
Sonstiges:	
1 Kontaktleiste SPL20, einreihig	



Bestückungsdruck
der Zusatzplatine

Schaltbild der Zusatzplatine

