

ELV-Serie 7000

Kennlinienschreiber KS 7000

Teil 2



Im zweiten und letzten Teil dieses Artikels werden die Schaltung, der Nachbau sowie die Inbetriebnahme und Kalibrierung ausführlich beschrieben.

Zur Schaltung

Nachdem im vorangegangenen ersten Teil dieses zweiteiligen Artikels über den ELV-Kennlinienschreiber KS 7000, neben der ausführlichen Beschreibung der Grundlagen auch die Bedienung und Funktion sowie das Blockschaltbild vorgestellt wurden, wollen wir jetzt mit der detaillierten Erläuterung des Hauptschaltbildes fortfahren.

Im Hauptschaltbild finden wir die einzelnen Funktionsblöcke leicht wieder.

Der Dreieck-Generator besteht aus OP 3 und OP 4 mit Zusatzbeschaltung. OP 3 ist als Integrator geschaltet, dessen Schwellen über OP 4 in Verbindung mit R 27 bis R 29 sowie dem Trimmer R 92 festgelegt werden.

Die Gatter N 1, N 2 mit dem dazwischengeschalteten R/C-Glied R 26/C 14 dienen zur „sauberen“ Pegelanpassung sowie zum Ausgleich von Laufzeitunterschieden. Hierdurch werden die Schaltzeitpunkte zur Umschaltung der einzelnen Kennlinien exakt festgelegt und angepaßt.

Der Sollwert der Dreiecksspannung gelangt über R 21 und R 22 auf einen gemeinsamen Summenpunkt, in den auch der Ist-Wert der zu regelnden Ausgangsspannung über R 20 eingespeist wird. Mit R 20 wird gleichzeitig die Höhe der Ausgangsspannung U_{CE} festgelegt, mit der später die zu prüfenden Transistoren betrieben werden. Hierbei handelt es sich immer um eine Dreiecksspannung, die ihren Ursprung im Dreieck-Generator (OP 3/OP 4) findet.

Über R 3/R 19 gelangt diese Summenspannung, bestehend aus Soll- und Ist-Wert auf

den nichtinvertierenden (+) Eingang des OP 1 (Pin 5).

Der Ausgang des OP 1 stellt sich nun so ein, daß die Endstufentransistoren T 1/T 2 über R 1, R 2 gerade soviel Basisstrom zugeführt bekommen, daß sich die gewünschte dreieckförmige Ausgangsspannung (U_{CE}) an den Ausgangsbuchsen einstellt. Der überschüssige Basisstrom wird über die Leuchtdiode D 13 abgezogen.

Das Aufleuchten dieser Diode ist somit ein Signal für das Arbeiten des Spannungsregler-OP's.

Der Stromshunt, zur Begrenzung des maximalen Ausgangsstromes ist zweifach vorhanden, da zwei Endstufen-Transistoren zur besseren Aufteilung der zu verarbeitenden Ströme eingesetzt wurden. Bei den Stromshunts handelt es sich um die Widerstände R 9 und R 14 sowie um R 10 bis R 13. Letztgenannte 4 Widerstände reduzieren den Widerstandswert auf 1/10, wodurch der maximal einstellbare Strom verzehnfacht wird (wenn das Relais Re 1 anzieht). Dies geschieht durch Betätigen des Schalters S 2.

Der entsprechende Spannungsabfall an den Stromshunts gelangt über R 7, R 8 auf den invertierenden (-) Eingang des OP 2 (Pin 2), während der Vergleichswert mit R 17 eingestellt und auf den nichtinvertierenden (+) Eingang (Pin 3) gegeben wird (über R 93).

Sobald der in den angeschlossenen Prüftransistor hineinfließende Strom unzulässig hohe Werte annimmt, geht der Ausgang des OP 2 in Richtung negativer werdende Spannungen, so daß D 14 leitend wird und zusätzlichen Basisstrom abführt, wodurch

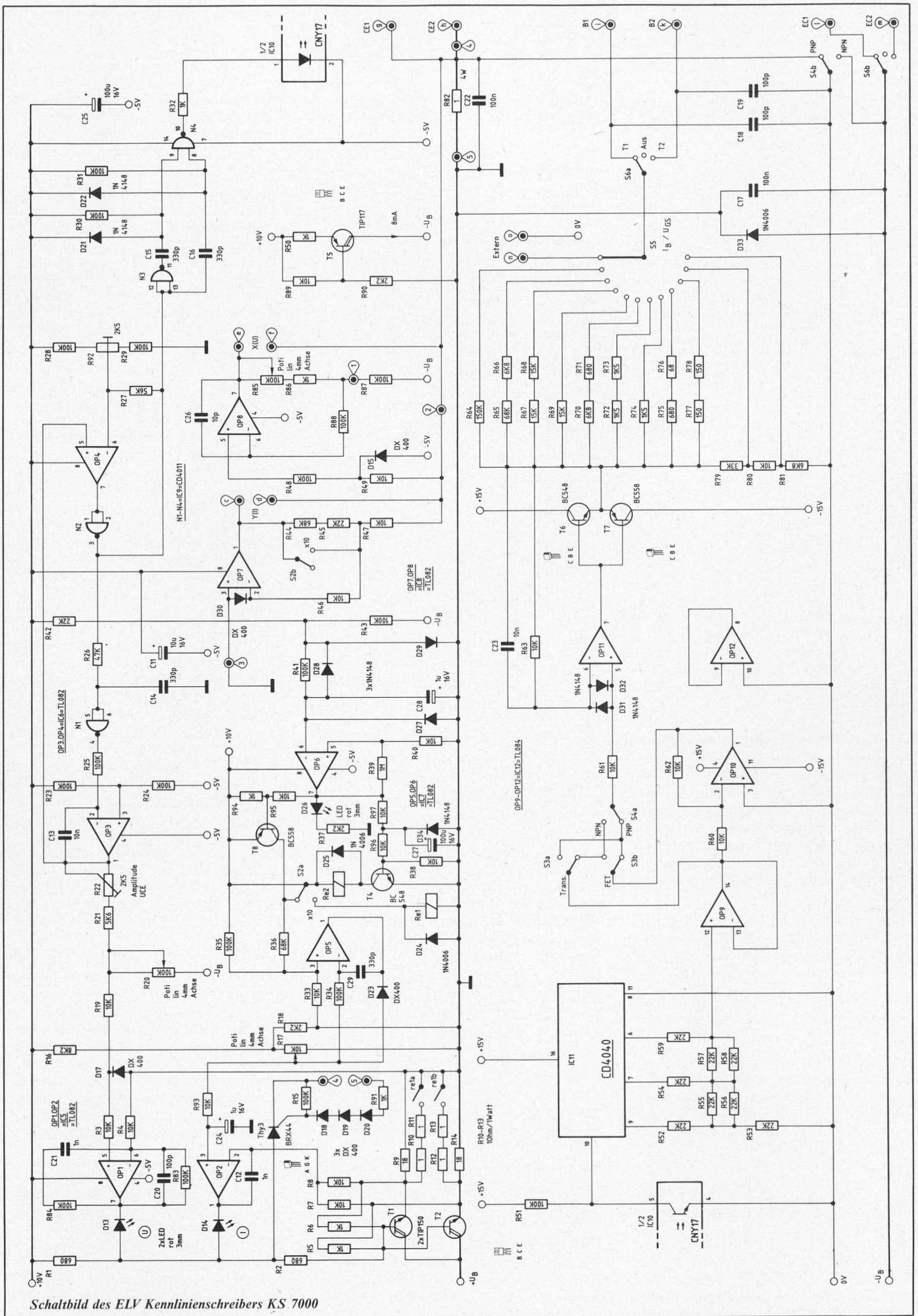
T 1 und T 2 sperren. Signalisiert wird dieser Vorgang durch Aufleuchten der entsprechenden LED D 14.

Zur Vermeidung von Zerstörungen der Endstufentransistoren des KS 7000 bei sehr steilflankigen Stromsprüngen dient der Thyristor Thy 3. Dieser erhält über den Widerstand R 91 sowie die schnellen Schaltdioden D 18 bis D 20 einen Gatestrom, sobald der Ausgangsstrom des KS 7000 einen Wert von ca. 2,5 bis 3 A überschreitet. Daraufhin schaltet Thy 3 durch – die sehr schnell arbeitende zusätzliche Ausgangsstrombegrenzung hat angesprochen, d. h. die Basisanschlüsse der Endstufentransistoren T 1 und T 2 erhalten über R 2 keinen Basisstrom mehr zugeführt, da der gesamte über R 1 kommende Steuerstrom nun über Thy 3 nach Masse abfließt.

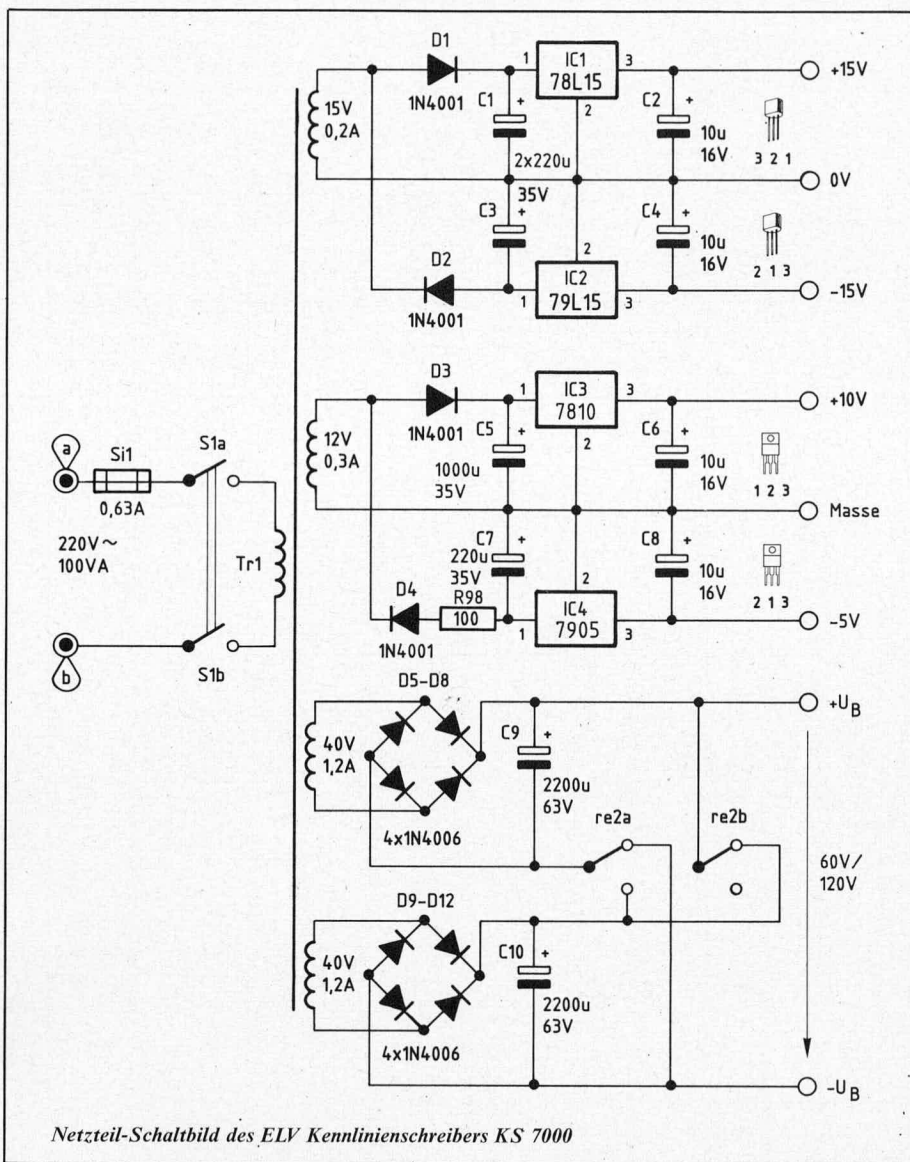
Hat die elektronische Sicherung erst einmal angesprochen, bleibt die Endstufe durch die Selbsthaltefunktion gesperrt. Nach Beseitigen des Kurzschlusses muß das Gerät zunächst für mehrere Sekunden ganz ausgeschaltet werden, um die Selbsthaltefunktion zu löschen. Nach dem Einschalten ist das Gerät wieder betriebsbereit.

Die Basisstromerzeugung erfolgt mit dem Treppenspannungsgenerator, bestehend aus IC 11 sowie R 52 bis R 59. Hierbei handelt es sich um eine 8stufige Treppenspannungserzeugung, die mit einem entsprechenden Widerstandsnetzwerk sehr präzise Spannungsstufen in 1,5 V-Schritten, bei 0 V beginnend, erzeugt.

Der nachgeschaltete OP 9 dient lediglich als Puffer, während OP 10 mit R 60, R 62 als Inverter arbeitet. OP 12 ist ohne Funktion.



Schaltbild des ELV Kennliniensreiber KS 7000



Netzteil-Schaltbild des ELV Kennlinienschreibers KS 7000

OP 11 dient mit seiner Zusatzbeschaltung einschließlich T 6 und T 7 als Leistungsverstärker. Je nachdem, ob die über R 61 zugeführte Treppenspannung vom Ausgang des OP 9 (Pin 14) oder vom Ausgang des OP 10 (Pin 1) zugeführt wird, ergibt sich eine von 0 an steigende oder fallende Treppenspannung.

Da es sich um insgesamt 8 Stufen einschließlich der Stufe 0 handelt, die jeweils um 1,5 V ansteigen bzw. abfallen, liegen die Maximalwerte bei +10,5 V bzw. -10,5 V.

Über die Widerstände R 64 bis R 78 wird daraus ein entsprechender Basisstrom hergeleitet (z. B. $10 \mu\text{A} = 1,5 \text{ V} : 150 \text{ k}\Omega$).

Zur Ansteuerung von Fets werden daraus drei verschiedene Steuerungsgrößen generiert und zwar 1,5 V (ohne Spannungsteiler direkt über R 77, R 78 abgreifbar), 0,5 V (Mittelpunkt zwischen R 79 und R 80) sowie 0,2 V (Mittelpunkt zwischen R 80 und R 81).

Da die Basisströme wahlweise entweder auf die positive oder aber auf die negative Dreieck-Ausgangsspannung geschaltet werden, war es erforderlich, daß dieser gesamte Schaltungsteil vollständig potentialfrei aufgebaut wurde. Als Netzteil steht deshalb auch eine galvanisch getrennte, vollkommen separate $\pm 15 \text{ V}$ Stromversorgung,

aufgebaut mit den IC's 1 und 2 mit Zusatzbeschaltung zur Verfügung.

Die Synchronisierung der Treppenspannungserzeugung mit der übrigen Schaltung, d. h. mit dem Dreieck-Generator, erfolgt über einen Optokoppler (IC 10). Nach Beendigung jeder Dreieck-Halbperiode wird über N 3, C 15, R 30 bzw. C 16, R 31 ein Impuls auf das Gatter N 4 gegeben, dessen Ausgang über R 32 den Eingang des Optokopplers treibt.

Der Ausgang des Optokopplers (Pin 5 des IC 10) steuert wiederum den Eingang (Pin 10) des IC 11, bei dem es sich um einen einfachen Zähler handelt.

Durch vorstehend beschriebene Schaltungstechnik konnte eine vollständige galvanische Trennung der Basisstromerzeugung erreicht werden, bei gleichzeitig synchronem Arbeiten zwischen Dreieck- und Treppenspannungserzeugung.

Die gesamte übrige Elektronik wird von einer zweiten Trafowicklung (12 V/0,3 A) in Verbindung mit den Festspannungsreglern IC 3 und IC 4 mit Zusatzbeschaltung versorgt.

Zwei weitere Wicklungen (jeweils 40 V/1,2 A) dienen zum Betrieb der eigentlichen Stromversorgung, an die später der Prüfling angeschlossen wird.

In der eingezeichneten Kontaktstellung des Relais Re 2 liegen beide Wicklungen parallel, so daß sie den doppelten Strom treiben können. Sobald die Ausgangsspannung mit dem Spannungseinstellpoti R 20 auf Werte größer als 50 V gebracht wird, registriert dies die Komparatorschaltung, bestehend aus OP 6 mit Zusatzbeschaltung und läßt über R 38, R 96, R 97, T 4 das Relais Re 2 anziehen.

Jetzt liegen beide 40 V/1,2 A Wicklungen in Reihe, wodurch sich die doppelte Spannung, jedoch bei einfachem Strom (1,2 A), ergibt.

Auf eine Besonderheit im Zusammenhang mit dem Stromeinstellpoti R 17, das zur Begrenzung des maximal möglichen Ausgangsstromes dient, wollen wir noch etwas näher eingehen.

Mit R 17 kann ein Spannungspotential, bezogen auf die Schaltungsmasse, zwischen 0 V und +1,8 V eingestellt werden. Dies entspricht einem maximal möglichen Ausgangsstrom von 200 mA (Kontakte re 1 a und re 1 b geöffnet ($1,8 \text{ V} : R 9 + 1,8 \text{ V} : R 14 = 200 \text{ mA}$), bzw. 2000 mA (re 1 a und re 1 b geschlossen). Um das Gerät (und zum Teil auch den Prüfling) vor unzulässig hohen Belastungen durch zu große Verlustleistungen zu schützen, wird der maximal mögliche Ausgangsstrom auf 1000 mA begrenzt, sobald die Ausgangsspannung 50 V überschreitet (LED 26 oberhalb des Kollektorstrom-Einstellpotis I_c leuchtet auf und Stromumschalter S 2 steht auf „ $I_{c, \text{max}} = x 10^4$ “). In vorstehend beschriebenem Betriebsfall befindet sich der Schaltkontakt S 2 a in der entgegengesetzten als der eingezeichneten Stellung und T 8 sperrt, da der Ausgang des OP 6 auf ca. +8 V liegt (T 4 ist durchgeschaltet und Re 2 ist angezogen). R 36 liegt nun nicht mehr über S 2 a bzw. T 8 an +10 V, so daß die Spannung am nicht invertierenden (+) Eingang (Pin 3) des OP 5 durch den Spannungsteiler R 33, R 35 bestimmt wird. An Pin 3 des OP 5 stehen somit 0,9 V an. Der Ausgang des OP 5 (Pin 1) stellt sich nun so ein, daß auch die Spannung an seinem invertierenden (-) Eingang (Pin 2) 0,9 V beträgt. Diese an Pin 2 des OP 5 anstehende Spannung wird über R 34 am Schleifer des Stromeinstellpotis R 17 abgefragt.

Solange die mit R 17 eingestellte Spannung unterhalb 0,9 V liegt, befindet sich der Ausgang (Pin 1) des OP 5 auf ca. +8 V und D 23 ist gesperrt. Im selben Moment, in dem mit R 17 Spannungswerte oberhalb 0,9 V eingestellt werden, geht der Ausgang (Pin 1) des OP 5 auf annähernd 0 V, wodurch D 23 leitet und die Spannung am Schleifer von R 17 auf 0,9 V begrenzt wird. Dies entspricht einer Ausgangsstrombegrenzung von maximal 1000 mA. LED 26 leuchtet auf.

Befindet sich der Stromumschalter S 2 a in der eingezeichneten Position (x 1) so leuchtet LED 26 ebenfalls bei Überschreiten der Ausgangsspannung von mehr als 50 V, jedoch kann mit dem Stromeinstellpoti R 17 selbstverständlich der gesamte Bereich von 0 bis 200 mA eingestellt und ausgenutzt werden (in Stellung „ $x 10^4$ “ jedoch nur bis 1000 mA).

Um der Endstufe T 1/T 2 eine gewisse Vorbelastung zu geben, damit sie immer im linearen Bereich arbeitet, wurde dem Ausgang eine Konstantstromquelle angefügt, bestehend aus T 5 sowie R 50, R 89 und R 90. Hier fließt ein Konstantstrom von ca. 8 mA.

Bei den Ausgangsverstärkern zur Ansteuerung des Oszilloskops handelt es sich um zwei Gleichspannungsverstärker, die mit den OP's 7 und 8 mit Zusatzbeschaltung aufgebaut wurden.

Die wesentlichen Funktionsmerkmale der Schaltung, die auch im Blockschaltbild wiederzufinden sind, haben wir damit besprochen. Wir wollen nun zur Beschreibung des Nachbaus übergehen.

Zum Nachbau

Bevor man sich an den Nachbau dieses interessanten und hochwertigen Kennlinienschreibers heranwagt, sollte man bereits einige Erfahrungen im Aufbau von elektronischen Schaltungen gesammelt haben und vor allem mit den einschlägigen VDE- und Sicherheitsbestimmungen hinreichend vertraut sein.

Zunächst wird die Bestückung der Basisplatine in gewohnter Weise vorgenommen. Die niedrigen Bauelemente werden als erstes auf die Leiterplatte gesetzt und verlötet, um anschließend mit den höheren Bauelementen fortzufahren. Der Transformator sollte erst ganz zum Schluß eingebaut werden.

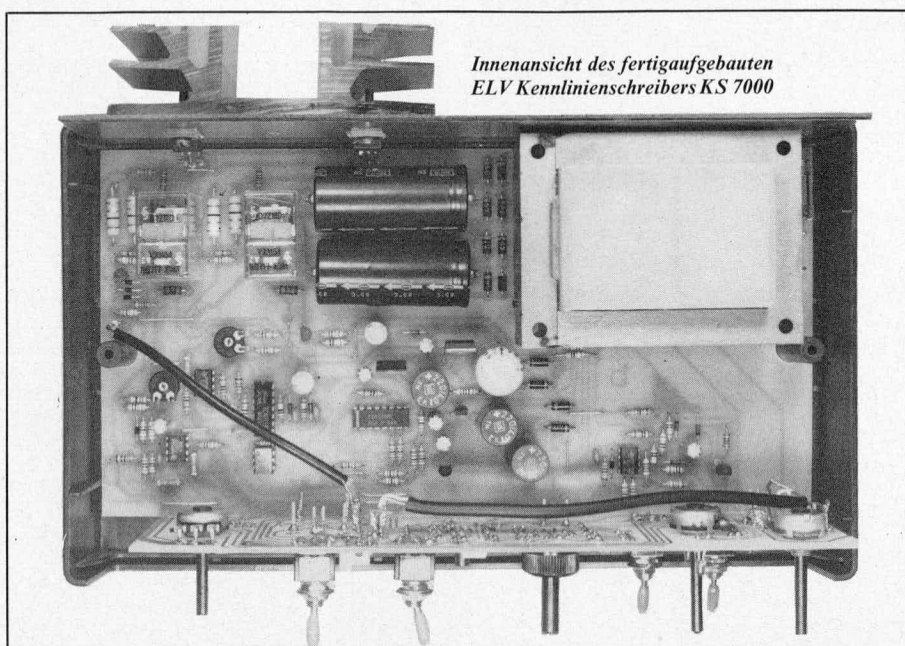
Als nächstes wird die Anzeigenplatine in gleicher Weise bestückt.

Nachdem die Bestückung beider Leiterplatten noch einmal sorgfältig überprüft wurde, kann die Anzeigenplatine im rechten Winkel vor die Basisplatine gesetzt werden und zwar so, daß die Unterkante der Anzeigenplatine ca. 1,5 mm unterhalb der Leiterbahnseite der Basisplatine hervorsteht.

Jetzt werden die entsprechenden Leiterbahnverbindungen zwischen den beiden Platinen zusammengelötet. Sorgfältig sollte man darauf achten, daß sich keine Lötzinnbrücken zwischen den einzelnen Leiterbahnen ergeben.

Auf der Frontplatine sind drei Platinenanschlußpunkte-Paare über flexible isolierte Leitungen miteinander zu verbinden, d. h. die mit gleichen Buchstaben bezeichneten Punkte werden jeweils zusammengelegt. Hierzu verwenden wir eine 2adrige isolierte Leitung mit Abschirmung. Die Abschirmung verbindet die beiden Platinenanschlußpunkte „2“, während der eine Mittelleiter die beiden Platinenanschlußpunkte „3“ und der andere die Punkte „1“ zusammenlegt. Die verwendete Leitung sollte nicht unnötig lang sein (ca. 16 cm).

Damit alle flexiblen isolierten Zuleitungen sauber an die entsprechenden Platinenanschlußpunkte gelötet werden können, empfiehlt es sich, an den auf der Frontplatine befindlichen Punkten „c“ bis „o“ auf der Leiterbahnseite Lötstifte zu setzen, während die auf der Basisplatine angeordneten Punkte „a“ und „b“ auf der Bestückungsseite mit zwei Lötstiften besetzt werden.



Innenansicht des fertig aufgebauten ELV Kennlinienschreibers KS 7000

Zusätzlich sind noch die beiden Punkte „4“ sowie „5“ miteinander zu verbinden, von denen jeweils einer auf der Front- und einer auf der Basisplatine liegt, d. h. Punkt „4“ auf der Frontplatine wird mit Punkt „4“ auf der Basisplatine verbunden usw.

Der Transformator wird mit 4 Schrauben M 4 x 55 mm mit der Platine verschraubt. Hierzu werden die Schrauben von der Leiterbahnseite her durch die Platine gesteckt und auf der Bestückungsseite mit je einer Mutter fest verschraubt. Vier weitere Muttern werden soweit auf die Gewinde der Schrauben gedreht, daß der anschließend darübergesetzte Transformator sowohl mit seiner Unterseite auf der Bestückungsseite der Platine aufliegt als auch mit seinem Blechpaket an die Muttern stößt. Anschließend wird mit 4 weiteren Schrauben der Transformator von oben festgezogen, wobei als letztes die Verlötlung der Trafoanschlüsse auf der Platinenunterseite vorzunehmen ist.

Das 3adrige Netzkabel wird mit seinen beiden spannungsführenden Adern direkt mit dem Netzschalter verbunden, um von dort anschließend an die beiden Platinenanschlußpunkte „a“ und „b“ zu gelangen. Die Netzleitung vom Netz-Kippschalter zur Platine sollte in die Nähe der Gehäuserückwand verlegt werden, um die empfindliche Elektronik vor Störungen zu schützen.

Der Schutzleiter des Netzkabels ist mit sämtlichen von außen berührbaren Metallteilen zu verbinden (Alu-Rückwand, Schrauben, Muttern, Kippschaltherhäse usw.).

Die Endstufentransistoren T 1 und T 2 werden über Glimmerscheiben, Isoliernippel und Befestigungsschrauben so an die Rückwand gesetzt, daß sich ihre Wärme optimal auf den dahinterliegenden Kühlkörper verteilt. Die genaue Position ist aus dem entsprechenden Foto ersichtlich. Die Länge der Anschlußbeinchen, d. h. der Abstand des Transistorgehäuses zur Leiterplatte muß gegebenenfalls noch etwas korrigiert werden, damit die Leiterplatte ein-

wandfrei im Gehäuse liegt und sich keine Verspannungen der Transistoranschlußbeinchen aufgrund der Befestigung an der Rückwand ergeben. Die Isolierung zwischen Transistorgehäuse und Alu-Rückwand ist sehr wesentlich für die einwandfreie Funktion des Gerätes, da die Alu-Rückwand über den Schutzleiter der Netzzuleitung geerdet wird und somit nicht mehr potentialfrei ist, die Kollektoren der Endstufentransistoren jedoch potentialfrei sein müssen, damit das Gerät später einwandfrei arbeiten kann.

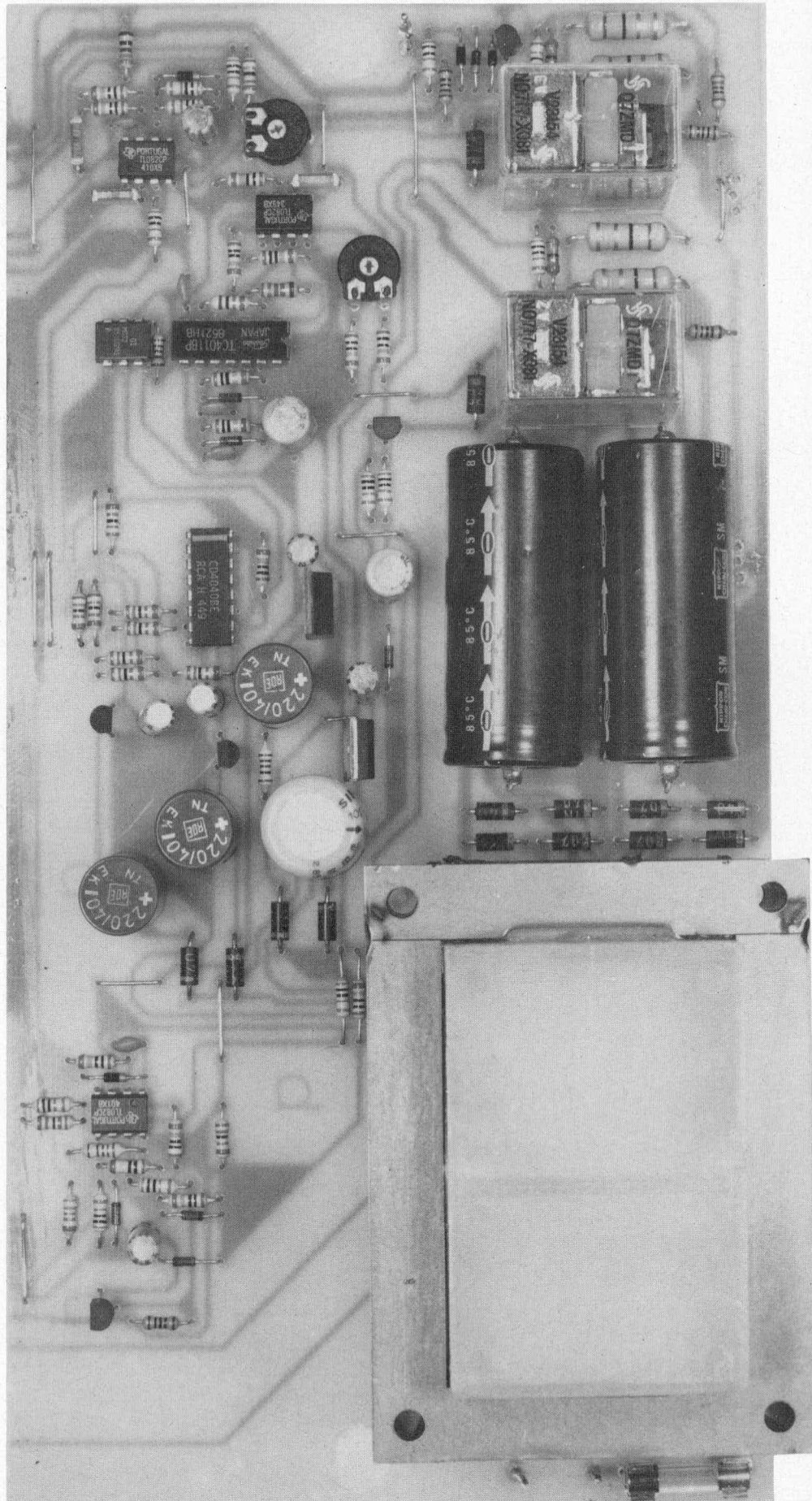
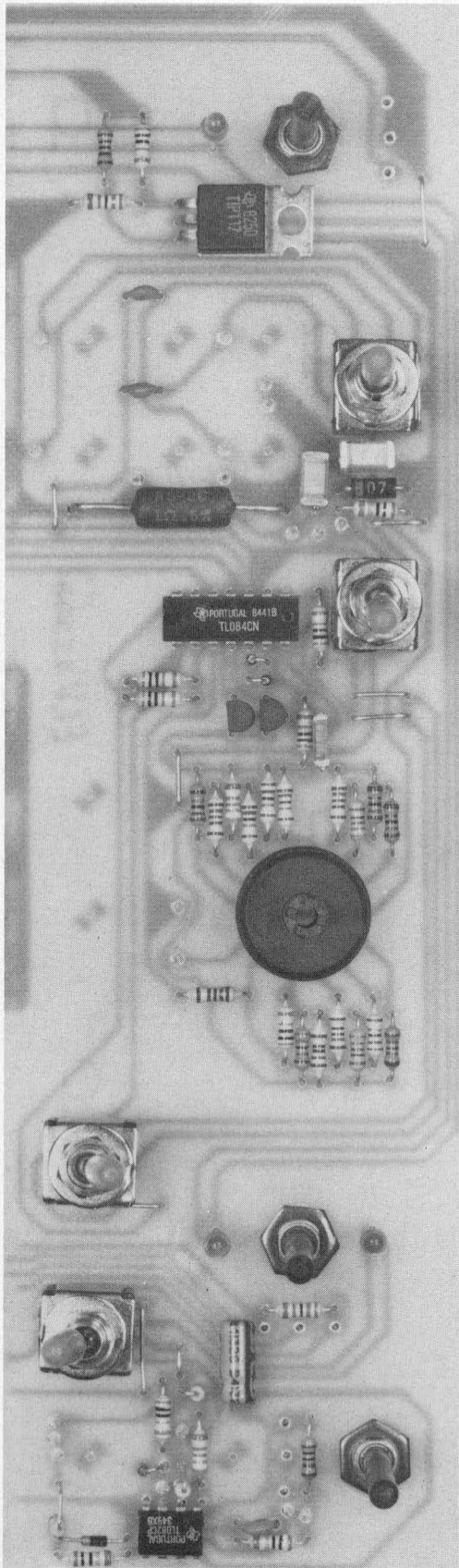
Die Prüf- und Eingangsbuchsen werden mit der Frontplatte verschraubt und anschließend über kurze flexible isolierte Leitungen mit den entsprechenden Punkten der Platinen verbunden.

Hierzu wird an jede Buchse ein ca. 2 cm langes Stück Leitung gelötet, das durch die entsprechende Bohrung der Frontplatine geführt und an den jeweiligen Lötstellen auf der Leiterbahnseite der Frontplatine gelötet wird.

Die Kippschalter S 2, S 3, S 4 und S 6 werden, ebenso wie der 12polige Drehschalter S 5, direkt auf die Frontplatine gesetzt und auf der Leiterbahnseite verlötet. Für die Kippschalter sind die Bohrungen in der Frontplatine etwas größer, da es sich um Universal-Lötanschlüsse handelt, die etwas breiter sind als Lötstippen, die ausschließlich für Printmontage gedacht sind.

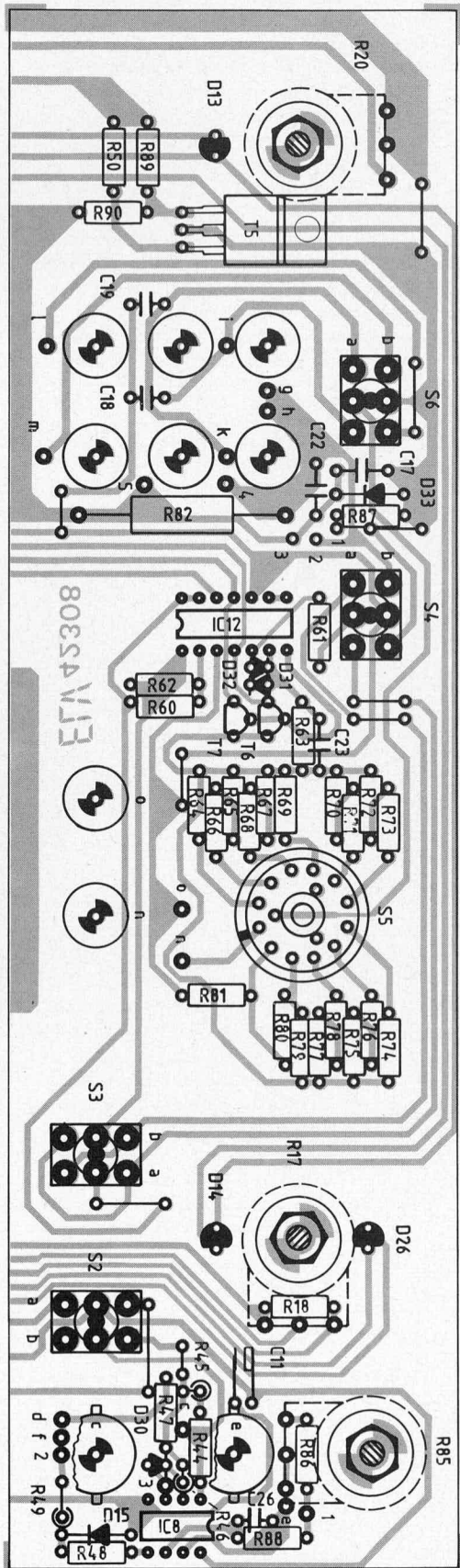
Beim Einsetzen des 12stelligen Drehschalters S 5 ist auf die richtige Einbaulage zu achten. Hierzu wird der Drehschalter vor dem Einbau auf Rechtsanschlag gebracht (Lötanschlüsse mit der einen Hand festhalten und mit der anderen Hand die Achse entgegen dem Uhrzeigersinn bis zum Anschlag drehen). Danach wird der Drehschalter so in die Bohrungen der Frontplatine eingesetzt, daß die kleine „Nase“ auf der Oberseite des Schalters senkrecht nach unten weist (in Richtung Basisplatine).

Damit ist der Nachbau dieses interessanten Gerätes bereits beendet und wir können uns dem verhältnismäßig einfach auszuführenden Abgleich zuwenden.

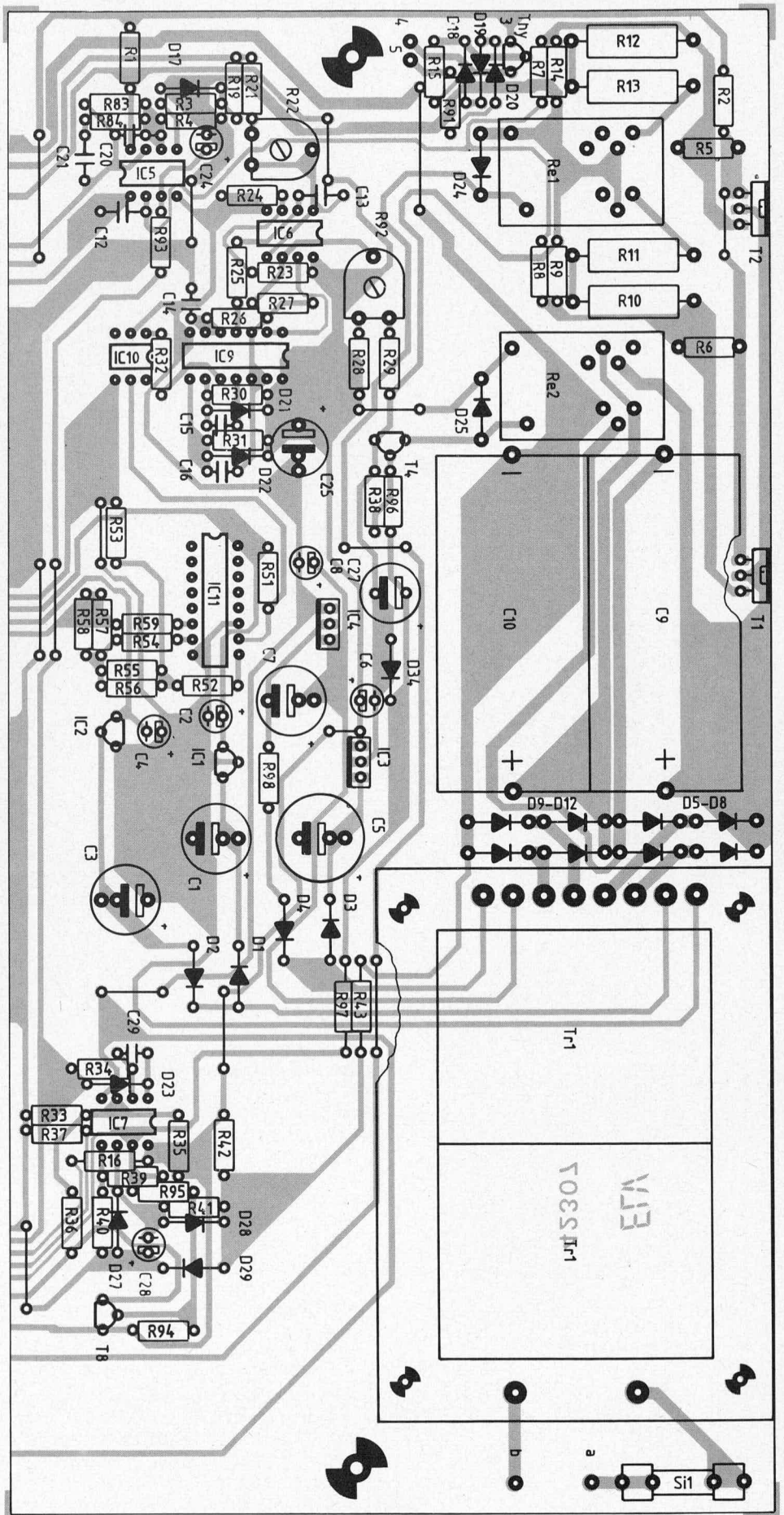


Ansicht der fertig bestückten Frontplatine des ELV Kennlinienschreibers KS 7000

Ansicht der fertig bestückten Basisplatine des ELV Kennlinienschreibers KS 7000



Bestückungsseite der Frontplatine des ELV Kennlinienschreibers KS 7000



Bestückungsseite der Basisplatine des ELV Kennlinienschreibers KS 7000

Stückliste:
Kennlinienschreiber KS 7000
Halbleiter

IC 1	.....	µA 78 L 15
IC 2	.....	µA 79 L 15
IC 3	.....	µA 7810
IC 4	.....	µA 7905
IC 5-IC 8	.....	TL 082
IC 9	.....	CD 4011
IC 10	.....	CNY 17
IC 11	.....	CD 4040
IC 12	.....	TL 084
T 1, T 2	.....	TIP 150
Thy 3	.....	BRX 44
T 4, T 6	.....	BC 548
T 5	.....	TIP 117
T 7, T 8	.....	BC 558
D 1-D 4	.....	1 N 4001
D 5-D 12	.....	1 N 4006
D 13, D 14, D 26	.....	LED 3 mm rot
D 15, D 17-D 20	.....	DX 400
D 21, D 22, D 27-D 29	.....	1 N 4148
D 23, D 30	.....	DX 400
D 24, D 25, D 33	.....	1 N 4006
D 31, D 32, D 34	.....	1 N 4148

Kondensatoren

C 1, C 3, C 7	.....	220 µF/35 V
C 2, C 4, C 6, C 8	.....	10 µF/16 V
C 5	.....	1000 µF/35 V
C 9, C 10	.....	2200 µF/63 V
C 11	.....	10 µF/16 V
C 12, C 21	.....	1 nF
C 13, C 23	.....	10 nF
C 14-C 16, C 29	.....	330 pF
C 18-C 20	.....	100 pF
C 17, C 22	.....	100 nF
C 24, C 28	.....	1 µF/16 V
C 25, C 27	.....	100 µF/16 V
C 26	.....	10 pF

Widerstände

R 1, R 2, R 71, R 75	.....	680 Ω
R 3, R 4, R 7, R 8, R 19	.....	10 kΩ
R 5, R 6, R 32	.....	1 kΩ
R 9, R 14	.....	18 Ω
R 10-R 13	.....	1 Ω/1 Watt
R 15	.....	100 kΩ
R 16	.....	8,2 kΩ
R 17	.....	10 kΩ, Poti 4 mm, lin
R 18, R 90	.....	2,2 kΩ
R 20, R 85	.....	100 kΩ, Poti 4 mm, lin
R 21	.....	5,6 kΩ
R 22	.....	2,5 kΩ, Trimmer, liegend
R 23-R 25, R 28-R 31	.....	100 kΩ
R 26	.....	47 kΩ
R 27	.....	56 kΩ
R 33, R 38, R 40	.....	10 kΩ
R 34, R 35, R 41	.....	100 kΩ
R 36, R 44	.....	68 kΩ
R 37	.....	2,2 kΩ
R 39	.....	1 MΩ
R 42, R 45, R 52-R 59	.....	22 kΩ
R 43, R 48, R 51	.....	100 kΩ
R 46, R 47, R 49	.....	10 kΩ
R 50, R 86, R 91, R 94	.....	1 kΩ
R 60-R 63, R 80	.....	10 kΩ
R 64	.....	150 kΩ
R 65	.....	68 kΩ
R 66, R 70, R 81	.....	6,8 kΩ
R 67-R 69	.....	15 kΩ
R 76	.....	68 Ω
R 72-R 74	.....	1,5 kΩ
R 77, R 78	.....	150 Ω
R 79	.....	33 kΩ
R 82	.....	1 Ω/4 Watt
R 83, R 84, R 87, R 88	.....	100 kΩ
R 89, R 95, R 93, R 96, R 97	.....	10 kΩ
R 90	.....	2,2 Ω
R 91	.....	1 kΩ
R 92	.....	2,5 kΩ, Trimmer, liegend
R 96-97	.....	10 kΩ
R 98	.....	100 Ω

Sonstiges

S 1-S 4	.....	Schalter 2 x um
S 5	.....	Präzisionsdrehgeber 12,1 S
S 6	.....	Schalter 2 x um +0
Tr 1	.....	Trafo prim: 220 V/100 VA sek: 15 V/0,2 A 12 V/0,3 A 2 x 40 V/1,2 A
2 Kammrelais, 2 x um, 4 A		
1 Leistungskühlkörper SK 88		
2 Glimmerscheiben		
2 Isoliernippel		
20 cm 2adrig abgeschirmte Leitung		
15 cm 2adrig flexible Leitung		
1 Lötfläche 3,2 mm		
5 Lötflächen 6,2 mm		
26 Lötstifte		
40 cm Silberdraht		
4 Schrauben M 4 x 55		
2 Schrauben M 3 x 16		
1 Schraube M 3 x 6		
12 Muttern M 4		
3 Muttern M 3		
1 Platinensicherungshalter		
1 Sicherung 0,63 A		

Zum Abgleich

Aufgrund der ausgereiften Konstruktion beschränkt sich der Abgleich im wesentlichen auf die Einstellung der maximalen Ausgangsspannung.

Bevor das Gerät jedoch erstmalig in Betrieb genommen wird, sollte man zunächst den gesamten Aufbau nochmals sorgfältig kontrollieren und besonders den Bereich der Endstufentransistoren und Spannungserzeugung überprüfen (richtige Einbaulage der Gleichrichterdiode und Siebelkos usw.).

Sind alle Überprüfungen zur Zufriedenheit verlaufen, kann das Gerät eingeschaltet werden. Sicherheitshalber dreht man den Spannungsregler U_{CE} (R 20) in Nullstellung und überprüft die verschiedenen Versorgungsspannungen. Hierbei sind die unterschiedlichen Bezugspunkte (Massepotentiale) zu beachten, d. h., der Masseanschluß (Minuspol) des Voltmeters bzw. Oszilloskops muß an den Masseanschluß des entsprechenden Spannungsregler-IC's angeklemt werden.

Anschließend kann das Spannungseinstellpoti langsam aufgedreht werden, wobei man zweckmäßigerweise über ein Oszilloskop die Ausgangsspannung überprüft. Treten keine Unregelmäßigkeiten und Schwingungen auf, kann das Poti bis auf Rechtsanschlag gebracht werden.

Mit dem Trimmer R 22 wird jetzt die maximale Ausgangsspannung auf 100 V gebracht, d. h. das Maximum der Ausgangsdreiecksspannung beträgt 100 V. Sollte der Einstellbereich von R 22 nicht ausreichen, kann R 21 gegebenenfalls etwas verkleinert oder vergrößert werden.

Sobald die Ausgangsspannung über 50 V ansteigt, muß OP 6 schalten und Re 2 anziehen, wodurch die Hauptversorgungsspannungen in Reihe geschaltet werden.

Mit einer Hysterese von ca. 2 V muß Re 2 wieder abfallen, d. h. also 2 V unterhalb der Spannung bei der Re 2 anzog. Die Schwellen können ohne weiteres um 2 bis 3 V schwanken.

Abschließend wird mit dem Trimmer R 92 die Ausgangsspannung so eingestellt, daß das Spannungsminimum (Fußpunkt der Dreieck-Ausgangsspannung) ungefähr bei 0 V liegt (ca. ± 1 V) bei einer eingestellten Ausgangsdreiecksspannung von 30 bis 50 V. Letztgenannte Einstellung des Trimmers R 92 sollte jedoch nochmals korrigiert werden, wenn auf dem Oszilloskop-Bildschirm die Kennlinienfelder von Transistoren dargestellt werden. Bei falscher Einstellung findet entweder im 0-Punkt ein Überspringen statt oder aber ein Teil der Kennlinien ist im Bereich des linken Bildrandes nicht mehr sichtbar.

Speziell bei sehr hohen Ausgangsspannungen ist es ohne Bedeutung, wenn am linken Bildrand die senkrechten Linien verschwinden. Hervorgerufen wird dies durch das sehr steile Ansteigen des Kollektorstromes innerhalb kurzer Zeit, so daß bei U_{CE} = 2 V bei manchen Transistoren der Anstieg auf maximalen Kollektorstrom bereits vollzogen wurde. Übertragen auf eine maximale Ausgangsspannung von 100 V bedeutet dies einen Anteil von gerade 2%, der dann teilweise nicht mehr im linken

Bildrand sichtbar ist. Bei kleinen Ausgangsdreiecksspannungen (U_{CE}) muß der Spannungsverlauf aus dem 0-Punkt heraus einsetzen.

Abschließend wollen wir noch kurz darauf hinweisen, daß bei Transistoren mit verhältnismäßig hoher Eigenkapazität gewisse Kurvenformverzerrungen auftreten können, die sich darin ausdrücken, daß die Kennlinien nicht ganz gleichmäßig gezeichnet werden. Diese Unterschiede beruhen darauf, daß beim Strahlhinlauf (U_{CE} wird größer) parasitäre Kapazitäten aufgeladen und beim Strahlrücklauf (U_{CE} wird kleiner) die gleichen Kapazitäten entladen werden müssen. Dies ergibt eine geringe Verschiebung des Stromhaushaltes im Referenzwiderstand R 82. Bei größer werdenden Strömen ist dieses Phänomen nicht mehr sichtbar, da dann die Lade- und Entladeströme der parasitären Kapazitäten praktisch ohne Einfluß sind.

Vorgenannte Erscheinungen treten jedoch nur in Grenzfällen auf und lassen zusätzliche detaillierte Schlüsse auf die zu prüfenden Transistoren zu, was durch die hohe Auflösung des ELV-Kennlinienschreibers KS 7000 ermöglicht wird.

Power-MOSFET's

Zur Vervollständigung der Anwendungsmöglichkeiten wollen wir noch kurz auf die in jüngster Vergangenheit entwickelten Power-MOSFET's eingehen.

Hierbei handelt es sich um MOSFET's mit hohen Verlust- und Schaltleistungen, die hinsichtlich der zu verarbeitenden Spannungen und Ströme den bekannten Leistungstransistoren vergleichbar sind, in ihrer Ansteuerung jedoch in den meisten Fällen selbstsperrenden MOSFET's entsprechen. Bei einer Gate-Source-Spannung von 0 V ist die Drain-Source-Strecke gesperrt. Bei n-Kanal Power-MOSFET's ist eine positive Gate-Source-Spannung und bei p-Kanal Power-MOSFET's ist eine negative Gate-Source-Spannung zum Durchsteuern erforderlich, deren Höhe in der Größenordnung von 0 bis 20 Volt liegt.

Da der Kennlinienverlauf verhältnismäßig steil ist, werden auf dem Oszilloskopbildschirm meist einige Kennlinien beinandergeschrieben, so daß nicht die volle Anzahl unterschiedlicher Kurvenverläufe sichtbar wird. Die grundsätzliche Funktionsweise der Prüflinge kann jedoch mit dem KS 7000 sichtbar gemacht werden.

Der Anschluß von Power-MOSFET's ist wie folgt vorzunehmen:

Der Drain-Anschluß wird an die Kollektorbuchse und der Source-Anschluß an die Emitter-Buchse angeschlossen, wobei das Gate der Basis entspricht.

Bei n-Kanal-Typen wird der Schalter „NPN/PNP“ auf „NPN“ gestellt — bei p-Kanal-Typen entsprechend auf „PNP“.

Anders als bei den schon beschriebenen Sperrschichtfets muß jetzt der Schalter „FET/Transistor“ in Schalterstellung „Transistor“ stehen, da die angesprochenen Power-MOSFET's, wie bereits erwähnt, im allgemeinen selbstsperrend sind.

Sicherheitshalber sollte die eingestellte Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} 20 V nicht überschreiten.