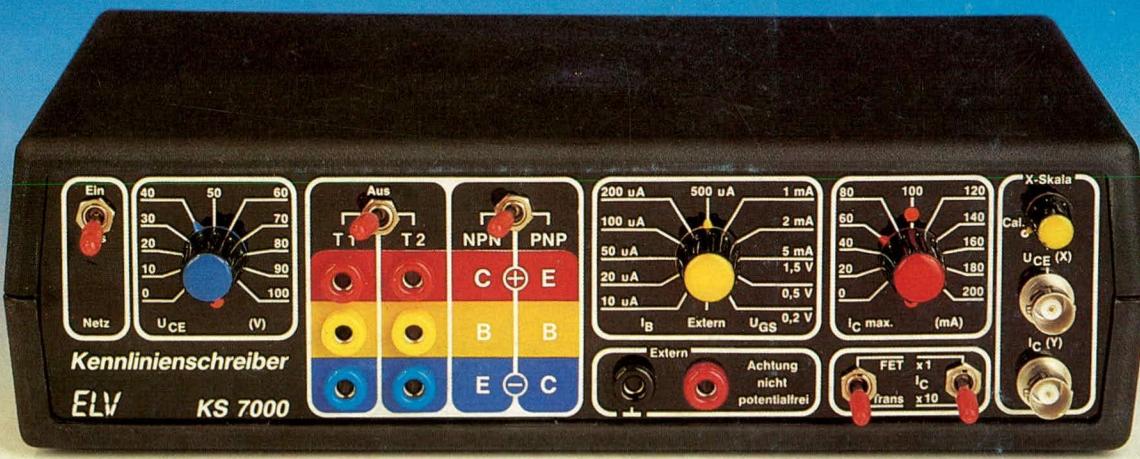
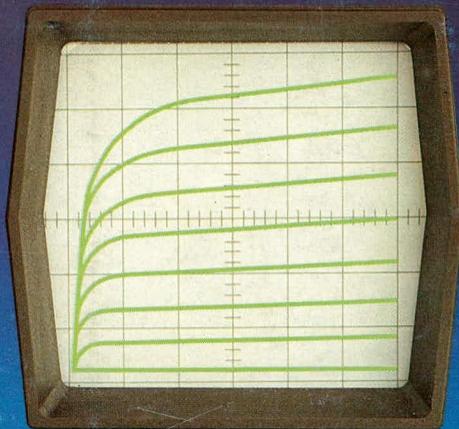


Fachmagazin der Amateure und Profis für angewandte Elektronik

DM 4,50

ELV Kennlinien- Schreiber KS 7000



In dieser Ausgabe:

ELV-Serie 7000:
Komfort-Wetterstation
WS 7000
Kennlinienschreiber KS 7000
Digital-NF-Stereo-
Leistungsmesser NFL 7000

ELV-Serie
Kfz-Elektronik:

Digitales Kfz-Außen-/
Innen-Thermometer
Garagenlicht-
Verzögerung

ELV-Grundlagen:
Gehör, Mikrofon,
Kopfhörer, Teil 2

Preiswertes elektronisches
Einfach-Echo
Universal-
Frequenzvervielfacher

ELV-Serie 7000

Kennlinienschreiber KS 7000

Teil 1



Mit dem ELV-Kennlinienschreiber KS 7000 können die für Transistoren und Dioden charakteristischen Kennlinien auf einem Oszilloskopbildschirm in übersichtlicher Form dargestellt werden.

Allgemeines

Auch im Zeitalter der hochintegrierten Schaltkreise sind Transistoren und Dioden aus dem Bereich der Elektronik nicht wegzudenken. Sie haben Röhren, von Ausnahmefällen einmal abgesehen, fast vollständig verdrängt. Daß die Transistoren und Dioden selbst ihrerseits nun durch die nächstfolgende Generation, den IC's, ersetzt werden, ist keineswegs zu erwarten, da auch langfristig gesehen für die unterschiedlichsten Bereiche in der Elektronik Einzelhalbleiter benötigt werden. Dies ist nicht allein auf Leistungstransistoren und Leistungsdioden beschränkt, sondern gilt für alle bekannten Arten der Halbleiterbauelemente. Da hierbei die Transistoren und Dioden den dominierenden Raum einnehmen (man schaue sich nur die anteiligen Umsatzzahlen der großen Halbleiterhersteller an) haben wir uns entschlossen, ein Gerät vorzustellen, das in Verbindung mit

einem Oszilloskop die markanten Daten und Kennlinien in übersichtlicher Form auf einem Bildschirm darstellt.

Bevor wir auf die detaillierte Beschreibung des ELV-Kennlinienschreibers KS 7000 eingehen, wollen wir im folgenden zunächst die theoretischen Hintergründe und die praktische Bedeutung von Dioden- und Transistorkennlinien betrachten. Hierbei wollen wir auch auf Feldeffekttransistoren und ihre Funktionsweise eingehen.

Grundlagen

Dioden

Beginnen wir bei unserem Abstecher in die Theorie zunächst mit den „normalen“ Dioden.

Hierbei handelt es sich um Bauelemente, die einen Strom in einer Richtung nahezu ungehindert passieren lassen, während sie ihn in der entgegengesetzten Rich-

tung absperren. So kann man mit Hilfe einer Diode und eines nachgeschalteten Siebkondensators, wie allgemein bekannt, aus einer Wechselspannung eine Gleichspannung erzeugen.

In Bild 1 sind die beiden gleichspannungsmäßigen Betriebszustände einer Diode aufgezeichnet. Links sieht man eine in Durchlaßrichtung betriebene Diode. Die an ihr abfallende Spannung U_D wird mit Flußspannung oder auch Durchlaßspannung bezeichnet. Bei einem Zehntel des maximal zulässigen Durchlaßstromes liegt die Höhe dieser Durchlaßspannung bei Germanium-Dioden im Bereich von 0,2 V bis 0,4 V und bei Silizium-Dioden zwischen 0,5 V und 0,8 V.

In Bild 1b sehen wir die gleiche Diode jetzt in Sperrrichtung betrieben. Im erlaubten Betriebsspannungsbereich liegen die Sperrströme von Kleinleistungsdioden bei Germanium im μA -Bereich und bei Silizium im

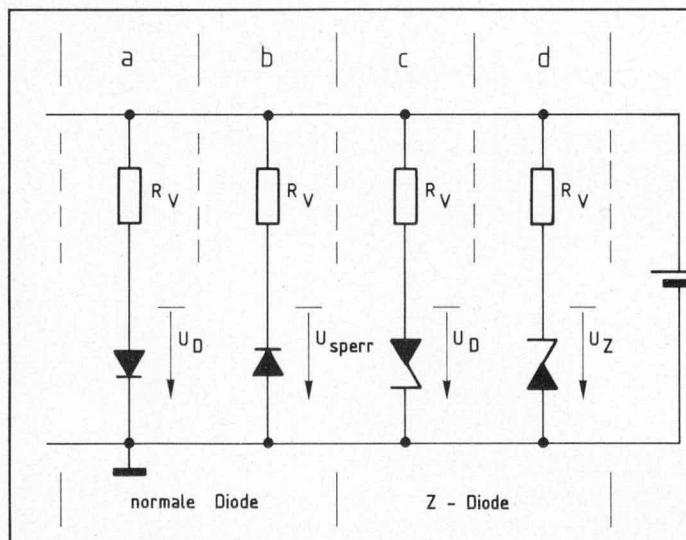


Bild 1: Gleichspannungsmäßige Betriebszustände von Dioden

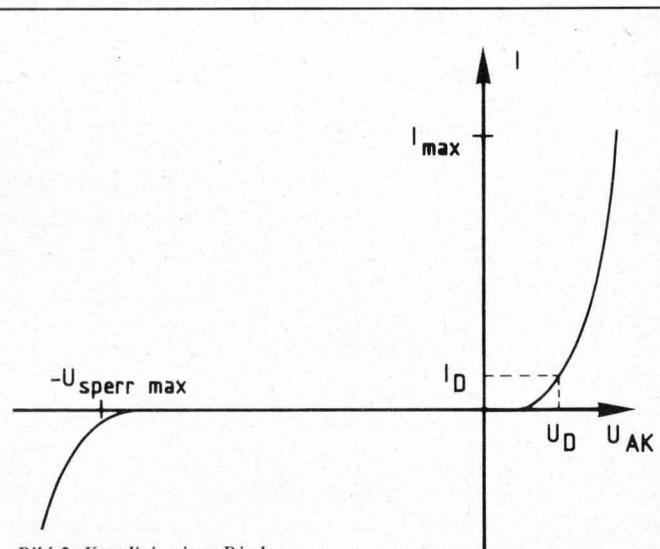


Bild 2: Kennlinie einer Diode

nA-Bereich. Überschreitet man die zulässige Sperrspannung, kann der durch die Diode hindurchfließende Sperrstrom auf Werte ansteigen, die in der Größenordnung des Durchlaßstromes liegen. Für „normale“ Dioden ist dies jedoch kein zulässiger Betriebszustand, da lokale Erwärmungen zur Zerstörung führen können.

Anders verhält es sich bei Z-Dioden. Hier teilt sich der Sperrstrom gleichmäßig auf den Halbleiter auf, so daß sie nicht zerstört werden, solange die Verlustleistung in Sperrrichtung nicht größer wird als die maximale Verlustleistung in Durchlaßrichtung. Das Erreichen der maximalen Sperrspannung zählt somit bei Z-Dioden zum „normalen“, d. h. zulässigen Betriebsfall. Die Spannung, bei der der Sperrstrom plötzlich stark ansteigt, heißt Z-Spannung (U_Z). In Bild 1c wird der Betrieb einer Z-Diode in Durchlaßrichtung gezeigt. Hierbei ist das Verhalten einer Z-Diode praktisch identisch mit dem einer „normalen“ Diode. In Bild 1d ist der normalerweise übliche Betrieb einer Z-Diode dargestellt. Bei ausreichend hoher Versorgungsspannung, die über einen entsprechenden Vorwiderstand R_V zugeführt wird, kann an der Z-Diode die Z-Spannung gemessen werden.

In Bild 2 ist die Kennlinie einer „normalen“ Diode und in Bild 3 diejenige einer Z-Diode zu sehen.

Um die vorstehend beschriebenen Kennlinien mit Hilfe des ELV-Kennlinienschreibers KS 7000 auf einem Oszilloskop-Bildschirm darstellen zu können, wird das betreffende Bauelement zwischen Kollektor und Emitter-Anschlußbuchse geschaltet, wobei zusätzlich ein Vorwiderstand entsprechend Bild 4 in Reihe zu schalten ist.

In der eingezeichneten Position der Z-Diode wird die linke Hälfte von Bild 3 aufgezeichnet, während die rechte Hälfte auf dem Oszilloskop abgebildet werden kann, sobald die Z-Diode gedreht wird. Der Vorwiderstand R_V bleibt nach wie vor an der Emitter-Anschlußbuchse angeklemmt, lediglich die Diode wird gedreht.

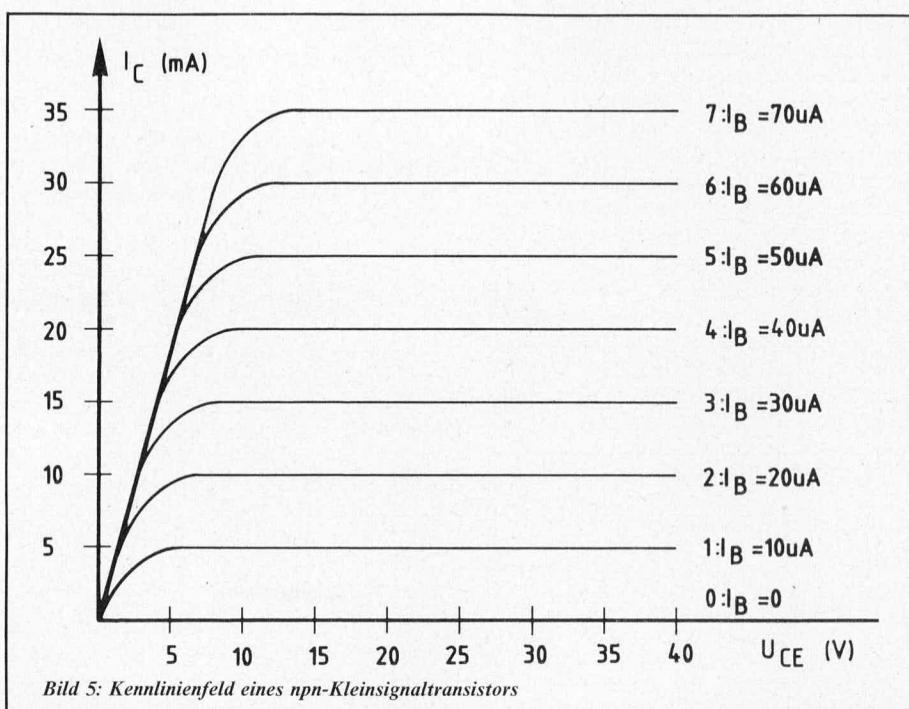


Bild 5: Kennlinienfeld eines npn-Kleinsignaltransistor

Auf die detaillierte Handhabung des ELV-Kennlinienschreibers KS 7000 wird unter dem Kapitel „Bedienung und Funktion“ im weiteren Verlauf dieses Artikels eingegangen.

Transistoren

Transistoren sind Halbleiterbauelemente mit 3 Elektroden, die zum Verstärken oder Schalten von elektrischen Signalen dienen. Zu Beginn der Halbleiterera standen die Germaniumtransistoren, die jedoch mit zunehmendem Entwicklungsstand weitgehend (jedoch nicht vollständig) von Siliziumtransistoren abgelöst wurden. Von beiden Typen gibt es sowohl pnp- als auch npn-Ausführungen.

Wesentliches Merkmal eines Transistors ist, daß ein in die Basis des Transistors hineinfließender Strom I_B mit einem bestimmten Faktor multipliziert den Kollektor-

strom I_C ergibt. Dividiert man den Kollektorstrom durch den Basisstrom, so erhält man die Stromverstärkung B . Da sich Transistoren bei verschiedenen Spannungen und Strömen unterschiedlich verhalten, ist es häufig sinnvoll, sie genauer zu beschreiben, indem ihre Kennlinienfelder dargestellt werden.

In Bild 5 ist als Beispiel das Kennlinienfeld eines npn-Kleinsignaltransistors aufgezeichnet. Auf der waagerechten Achse ist die Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} von 0 V bis 40 V aufgetragen, während die vertikale Achse den Kollektorstrom I_C zeigt. Die eingezeichneten Kennlinien 0 bis 7 beschreiben nun bei einem ganz bestimmten Basisstrom den Zusammenhang zwischen Kollektor-Emitter-Spannung und Kollektorstrom. Die Kurve 0 zeigt uns bei einem Basisstrom $I_B = 0$, daß über dem gesamten Kollektor-Emitter-Spannungsverlauf kein Kollektorstrom I_C fließt. Bei der Kurve 1,

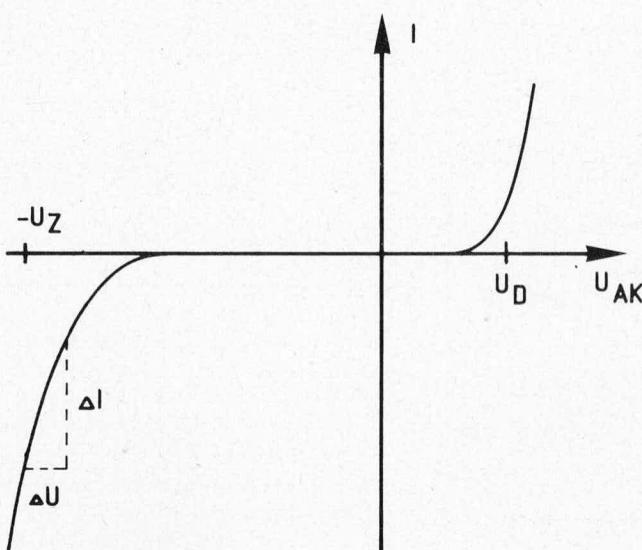


Bild 3: Kennlinie einer Z-Diode

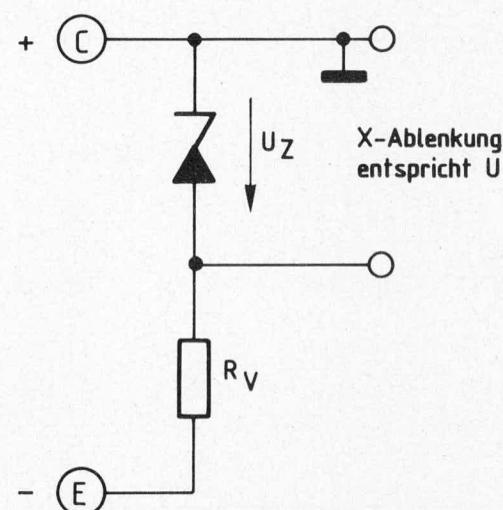


Bild 4: Anschlußschema einer Z-Diode

die einem konstanten Basisstrom I_B von $10 \mu\text{A}$ entspricht, fließt ein Kollektorstrom von ca. 5 mA im Bereich von 5 V bis 40 V , während er unterhalb 5 V in Richtung 0 abknickt. Je größer der eingeprägte Basisstrom wird, desto größere Werte nimmt auch der Kollektorstrom an. Wesentliches Merkmal ist hierbei, wie auch eingangs schon erwähnt, daß der Kollektorstrom ein bestimmtes Vielfaches vom Basisstrom ist. Bei konstantem Basisstrom ist also auch der Kollektorstrom in weiten Bereichen (ungefähr zwischen 5 V und Maximum) konstant. Lediglich bei sehr kleinen Spannungen sinkt auch der Basisstrom in Richtung 0 ab.

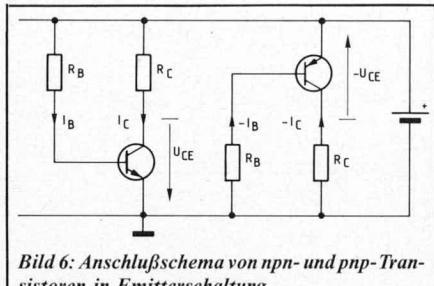


Bild 6: Anschlußschema von npn- und pnp-Transistoren in Emitterschaltung

In der linken Hälfte von Bild 6 ist ein npn-Transistor in Emitterschaltung zu sehen. Über den Vorwiderstand R_B wird ein konstanter Strom I_B in die Basis des Transistors eingespeist. Dieser Basisstrom, multipliziert mit dem Stromverstärkungsfaktor des betreffenden Transistors ergibt den Kollektorstrom I_C , der über den im Kollektorkreis liegenden Widerstand R_C in den Kollektor des Transistors fließt. Kollektor- und Basisstrom zusammen verlassen den Transistor gemeinsam am Emitteranschluß. Da die Stromverstärkungsfaktoren von Kleinsignaltransistoren im Bereich von 100 bis 1000 und von Leistungstransistoren immerhin noch um 50(-fach) liegen, kann man in den meisten Fällen bei der Berechnung des Emitterstromes den Basisstrom vernachlässigen und mit guter Näherung die Aussage machen:

Kollektorstrom $I_C = \text{Emitterstrom } I_E$.

Um das in Bild 5 gezeigte Kennlinienfeld auf einem Oszilloskop-Bildschirm darzustellen, wird ein konstanter Basisstrom in die Basis des zu prüfenden Transistors eingespeist und gleichzeitig die Kollektor-Emitter-Spannung von 0 auf Maximum (hier z. B. 40 V) heraufgefahren. Hierbei erhält man allerdings nur eine Kennlinie. Anschließend wird der Basisstrom erhöht und auf diesem erhöhten Wert konstant gehalten. Gleichzeitig wird die Kollektor-Emitter-Spannung erneut von 0 V beginnend bis auf Maximum gefahren. Hierdurch entsteht eine weitere Kennlinie. Diese Prozedur, durch schrittweises Erhöhen und Konstanthalten des Basisstromes bei gleichzeitiger Steuerung der Kollektor-Emitter-Spannung von jeweils 0 V bis Maximum, wird so oft wiederholt, bis die gewünschte Anzahl Kennlinien auf dem Oszilloskop-Bildschirm aufgezeichnet wurde.

Da im allgemeinen zur Aufzeichnung der Kennlinienfelder keine Speichermöglichkeiten zur Verfügung stehen, ist es erforderlich, die gesamte Kennlinienschar (in Bild 5 z. B. von 0 bis 7) mit fortlaufender Wiederholung auf den Bildschirm zu bringen. Einfache Kennlinienschreiber bedienen sich beim Schreiben der Kollektor-Emitter-Spannung einer einfachen, gleichgerichteten Sinushalbwellen, die brückengleichgerichtet eine Wiederholfrequenz von 100 Hz aufweist. Dies ist jedoch wenig komfortabel, da sich beim Schreiben von 8 Kennlinien lediglich eine Bildwiederholfrequenz von 100 Hz : $8 = 12,5$ pro Sekunde ergibt. Dies bedeutet ein starkes Flackern der Abbildung, das selbst unter Verwendung einer Oszilloskopröhre mit langer Nachleuchtdauer wenig augenschonend ist. Außerdem steigt und fällt eine Sinuskurve nicht linear, so daß sich darüber hinaus starke Helligkeitsunterschiede beim Kurvenverlauf ergeben. Für die Abbildung von Transistor-Kennlinienfeldern empfiehlt sich daher eine möglichst linear verlaufende Sägezahn- oder Dreiecksspannung mit einer Frequenz,

die eine Bildwiederholung von mindestens 50mal pro Sekunde erlaubt. Dies haben praktische Versuche im ELV-Labor ergeben. Bei der Darstellung von 8 Kurvenverläufen eines Kennlinienfeldes folgt daraus eine Taktfrequenz von 400 Hz . Deutlich höhere Frequenzen sollten vermieden werden, um Verfälschungen durch parasitäre Kapazitäten sowie durch dynamische Stör-einflüsse zu vermeiden.

In der rechten Hälfte von Bild 6 ist in Analogie zum npn-Transistor der Betrieb eines pnp-Transistors dargestellt. Hierbei tragen die einzelnen Spannungen und Ströme ein negatives Vorzeichen.

Feldeffekttransistoren

Im Gegensatz zu den „normalen“, bipolaren Transistoren sind Feldeffekttransistoren Halbleiter, die über ein elektrisches Feld leistungslos gesteuert werden. Ihre Arbeitsweise wird daher in diesem Punkt zu Recht häufig mit der Arbeitsweise von Röhren verglichen.

Insgesamt unterscheidet man 6 verschiedene Feldeffekttransistor-Typen, deren Schaltsymbole in Bild 7 zusammengestellt sind. Als Einzeltransistoren am weitesten verbreitet sind hierbei die Sperrschieltfets, die sowohl als n-Kanal als auch p-Kanal-Typ erhältlich sind. Die Steuerelektrode ist das Gate (G) mit dem sich der Widerstand zwischen Drain (D) und Source (S) steuert lässt. Mit Steuerspannung U_{GS} wird die Spannung zwischen Gate und Source bezeichnet. Die Eingangswiderstände sind extrem hochohmig und bewegen sich bei Sperrschieltfets im Bereich von 10^{10} bis $10^{13} \Omega$ und bei Mosfets von 10^{13} bis $10^{15} \Omega$.

Da die Schaltsymbole bei Fetts manchmal nicht ganz einheitlich gezeichnet werden, haben wir in Bild 8 die am meist verbreitetsten Symbole für n- und p-Kanal-Sperrschieltfets aufgezeichnet. Nach unserer Meinung ist die rechte „Schreibweise“ einprägsamer, da sie mit entsprechenden bipolaren Transistoren vergleichbar ist (beim npn-Transistor weist der Emitterpfeil vom Basisanschluß fort in Stromrichtung, genau wie beim n-Kanal-Sperrschieltfet –analog dazu pnp-Transistor und p-Kanal-Sperrschieltfet).

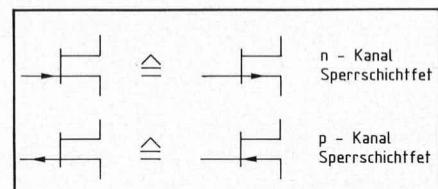
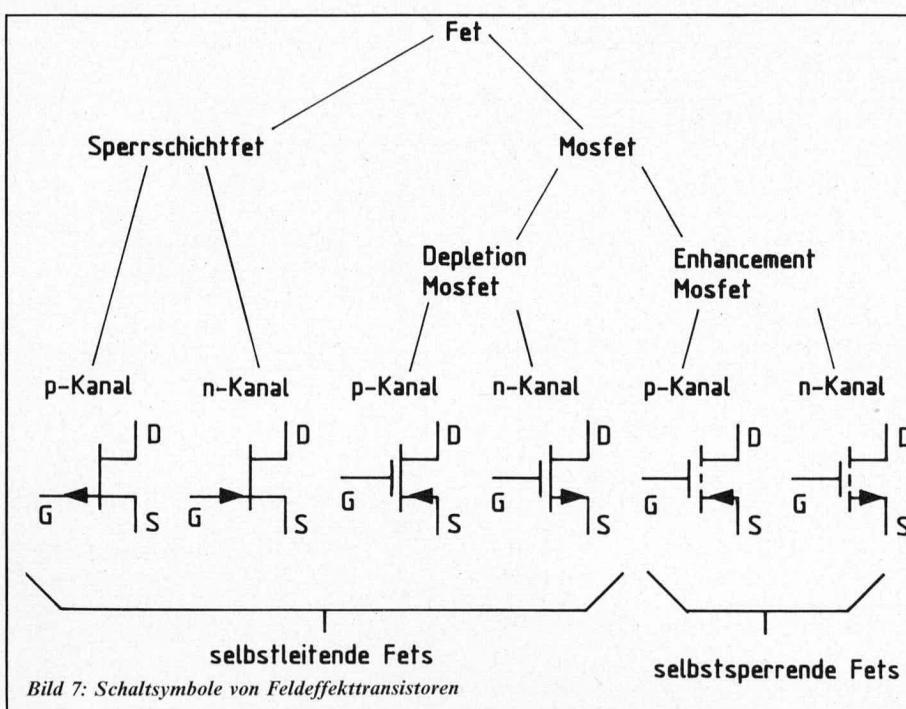


Bild 8: Schaltsymbole für n- und p-Kanal-Sperrschieltfets



In Bild 9 ist der Betrieb von n-Kanal-(links) und p-Kanal-Sperrschieltfets (rechts) dargestellt. Diese Fet-Typen zeichnen sich u. a. dadurch aus, daß sie bei $U_{GS} = 0 \text{ V}$ leitend sind, d. h. sie zählen zur Gruppe der selbstleitenden Fets.

Am Beispiel des in Bild 9 links abgebildeten n-Kanal-Sperrschieltfets (z. B. BF 245) wollen wir die Arbeitsweise näher erläutern. Auch hier ist ähnlich wie bei einem „normalen“ bipolaren Transistor der Drainstrom (entsprechend dem Kollektorstrom)

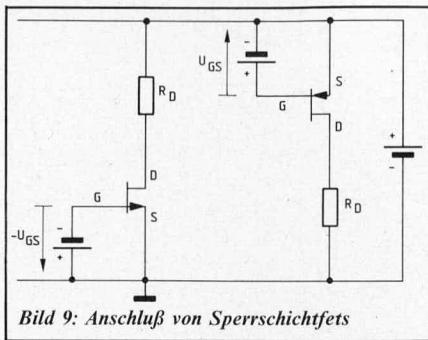


Bild 9: Anschluß von Sperrschichtfets

oberhalb von ca. 5 V bis zum Maximum annähernd konstant. Als wesentlicher Unterschied ist hier jedoch nicht der Steuерstrom, sondern die Steuerspannung (U_{GS}) für die Größe des Drainstromes maßgebend.

Der ELV-Kennlinienschreiber KS 7000 besitzt daher neben 9 fest einstellbaren Basisströmen zusätzlich 3 fest einstellbare Gate-Source-Spannungen, die in Schritten von 0,2 V, 0,5 V sowie 1,5 V schaltbar sind.

Wird zum Beispiel die Abstufung von 0,5 V gewählt, so beginnt die Darstellung des Kennlinienfeldes mit dem Schreiben der Kennlinie für $U_{GS} = 0$ V. Als nächstes wird eine Spannung von $U_{GS} = -0,5$ V auf das Gate des Fets gegeben. Hierbei ist das Gate 0,5 V negativer als der Sourceanschluß. Für das Schreiben der nächsten Kennlinie wird das Gate auf -1,0 V gebracht, dann auf -1,5 V... bis -3,5 V, um anschließend die nächste Kennlinienschar, wiederum beginnend bei $U_{GS} = 0$ V zu schreiben. Ist der zu testende Fet z. B. bereits ab -3,0 V vollständig gesperrt, so werden die Kennlinien für -3,0 V und -3,5 V übereinander auf der waagerechten Achse (entsprechend 0 mA) geschrieben (Bild 10). Entsprechend der Emitterschaltung beim „normalen“ Transistor werden die Fets hierbei in Sourceschaltung betrieben.

Da Mosfets im allgemeinen in IC's, d. h. in integrierter Form eingesetzt werden und darüber hinaus noch vielschichtiger in ihren Anwendungen sind (selbstsperrende und selbstleitende Typen), wollen wir darauf an dieser Stelle nicht näher eingehen, um den Rahmen dieses Artikels nicht zu sprengen. Nur soviel sei noch gesagt: Aufgrund des noch höheren Eingangswiderstandes sind Mosfets in ungeschützter Form (ohne Eingangsschutzschaltung) extrem empfindlich gegen statische Aufladungen usw. und sollten daher nur von Fachleuten unter Berücksichtigung entsprechender Vorsichtsmaßnahmen eingebaut werden.

Bedienung und Funktion

Mit dem ELV-Kennlinienschreiber KS 7000 können komplette Kennlinienfelder, bestehend aus jeweils 8 Einzelkennlinien sowohl von bipolar Transistoren als auch von Feldeffekttransistoren auf einem Oszilloskopbildschirm in übersichtlicher Form dargestellt werden. Darüber hinaus sind Einzelkennlinien von Dioden und Z-Dioden abzubilden.

Beginnen wollen wir mit der Beschreibung zur Aufzeichnung von Dioden- und Z-Dioden-Kennlinien.

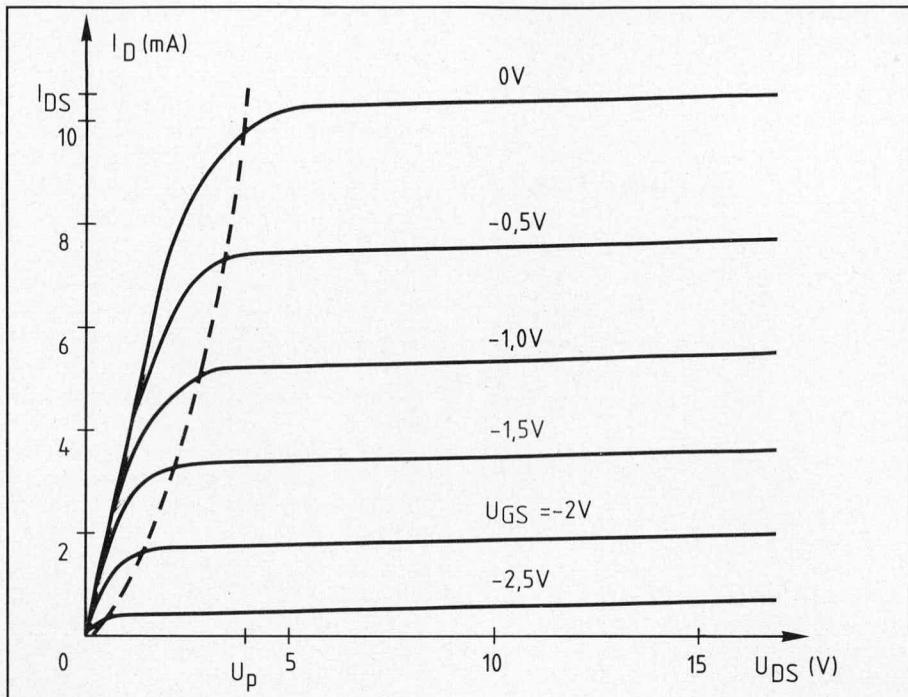


Bild 10: Kennlinienfeld eines Sperrschichtfets

Dioden-, Z-Dioden-Kennlinien

Mit dem Netzschatz links oben auf der Frontplatte wird das Gerät eingeschaltet.

Rechts daneben befindet sich das Spannungseinstellpoti U_{CE} zur Vorwahl der maximal zwischen Kollektor und Emitter abfallenden Spannung. Diese Spannung wird automatisch in Form einer Dreieckspannung von 0 bis zum eingestellten Maximum und wieder zurück gesteuert und zwar so, daß sich eine Bildfolgefrequenz von 75 Hz bei einer Darstellung von 8 Kennlinien pro Abbildung ergibt. Da bei der Darstellung von Diodenkennlinien jeweils nur ein Kurvenverlauf auf dem Bildschirm erscheint, gilt hierfür eine 8fach höhere Bildfolgefrequenz von 600 Hz (Taktfrequenz), d. h. die Kennlinie wird 600 mal pro Sekunde auf den Bildschirm geschrieben.

Der rechts neben dem Spannungseinsteller angebrachte Kippschalter dient zur wahlweisen Einschaltung von Transistor 1 bzw. Transistor 2, wobei zusätzlich eine Mittelstellung vorgesehen ist, in der keiner der beiden Transistoren eingeschaltet und damit belastet wird. Dieser Schalter wird zur hier beschriebenen Ausmessung von Dioden zunächst in Mittelstellung und bei Meßbeginn in Stellung „1“ gebracht.

Die zu prüfende Diode selbst wird mit ihrem Anodenanschluß an die obere Buchse von T 1 angeschlossen. Dies entspricht dem Plusanschluß bzw. dem Kollektoranschluß bei npn und dem Emitteranschluß bei pnp-Transistoren (rotes Feld). Der Kathodenanschluß der Diode (Ring bzw. Pfeilspitze) wird über einen Vorwiderstand R_V an die untere Buchse von T 1 (entsprechend minus) angeschlossen (blaues Feld).

Der Vorwiderstand R_V berechnet sich aus der maximal an ihm abfallenden Spannung, dividiert durch den maximal fließenden Strom nach der Formel:

$$R_V = \frac{U_{CE} - U_D}{I_{max}}$$

Da die Diodenflußspannung im allgemeinen kleiner als 1 V ist, kann sie für die Ausmessung normaler Dioden praktisch vernachlässigt werden. Bei einer eingestellten Spannung $U_{CE} = 20$ V muß daher der Vorwiderstand 1 kΩ betragen, möchte man einen maximalen Strom von 20 mA nicht überschreiten ($R_V = U_{CE}/I_{max} = 20$ V / 20 mA = 1 kΩ).

Die maximale Belastung $P_{V, max}$ errechnet sich nährungsweise zu:

$$P_{V, max} = \frac{U_{CE} \times I_{max}}{4}$$

Für unseren Fall bedeutet dies eine Verlustleistung von 0,1 Watt.

Die Stellung des Schalters „NPN/PNP“, des Schalters „Transistor/FET“ sowie des Schalters I_B ist bei der Abbildung von Dioden-Kennlinien egal.

Vor der Inbetriebnahme ist mit dem Einsteller „ I_C, max “ der maximal mögliche Strom einzustellen, bei dem die interne elektronische Strombegrenzung des KS 7000 einzutreten soll. Dieser Wert ist geringfügig höher einzustellen als der voraussichtlich auftretende, erlaubte Wert.

Steht der Schalter „ $I_C \times 1/x 10$ “ in Stellung „x 1“, so kann mit dem Einstellpoti „ I_C, max “ der Einsatz der internen Strombegrenzung zwischen 0 mA und 200 mA gewählt werden, während in Stellung „x 10“ der Einsatz der Strombegrenzung zwischen 0 und 2000 mA vorzugeben ist.

Auf eine Besonderheit soll in diesem Zusammenhang noch hingewiesen werden: Sobald die eingestellte Maximalspannung „ U_{CE} “ größer als 50 V wird, schaltet automatisch ein Relais die Trafowicklungen um, wobei gleichzeitig der maximal einstellbare Strom auf 1000 mA begrenzt wird. Auch wenn der Regler „ I_C, max “ auf Werte oberhalb 1000 mA eingestellt wird, bleibt

dies wirkungslos und die Strombegrenzung setzt bereits bei 1000 mA ein. Signalisiert wird dieser Betriebszustand zusätzlich durch Aufleuchten einer LED oberhalb des Stromeinsteigers.

Kommen wir nun zum Anschluß des Oszilloskops an den ELV-Kennlinienschreiber KS 7000.

Der Y-Eingang des zur Darstellung der Kennlinienfelder eingesetzten Oszilloskops wird an den entsprechenden Ausgang des ELV-Kennlinienschreibers KS 7000 angeschlossen. Hierbei handelt es sich um die ebenfalls mit „Y“ bezeichnete BNC-Buchse, die rechts unten auf der Frontplatte angeordnet ist.

An dieser Buchse steht eine Spannung an, die dem Strom durch den angeschlossenen, zu testenden Prüfling exakt proportional ist. In Stromschalterstellung „x 1“ beträgt die Spannung exakt 1 V pro 100 mA Strom (durch den Prüfling). In Stromschalterstellung „x 10“ hingegen liegt die Spannung bei 1 V pro 1 A, d. h. daß bei einem Strom von 0,5 A (durch die angeschlossene Diode) eine Spannung von 0,5 V an der Y-Buchse ansteht. Bei 1 A erhöht sich die Spannung auf 1,0 V usw., und zwar in linearem Zusammenhang. Aufgrund dieser eindeutigen Kalibrierung des Gerätes kann auf einem entsprechenden Oszilloskop genau der in den Prüfling hineinfließende Strom bestimmt werden.

Der X-Eingang (Horizontal- bzw. Zeit-Ablenkung) des Oszilloskops wird über einen entsprechenden Tastkopf an den Verbindungspunkt zwischen Diode und Vorwiderstand angeklemmt. Der Masseanschluß kann frei bleiben, da das Oszilloskop das Masse-Potential bereits über die Y-BNC-Buchse zugeführt bekommt. Zu beachten ist allerdings die korrekte Verbindung zwischen Y-Ausgangsbuchse des KS 7000 und der Y-Eingangsbuchse des Oszilloskops, d. h. daß der Mittelanschluß der einen Buchse auch mit dem Mittelanschluß der anderen Buchse verbunden sein muß und hier keine Vertauschung zwischen Abschirmung und Mittelleiter auftreten darf, da sonst ein Signalweg kurzgeschlossen wäre.

Da der KS 7000 zur Ausmessung von Dioden-Kennlinien keine separate Regelung der X-Ablenkspannung besitzt, ist hierfür ein Zweikanal-Oszilloskop erforderlich, bei dem die Höhe der Ablenkspannung mit dem Empfindlichkeitseinsteller des zweiten Kanals, der dann zur X-Ablenkung dient, eingestellt werden kann.

Die Abbildung von Transistor- und Fet-Kennlinien ist auch mit einem Einkanal-Oszilloskop möglich, das lediglich über einen Anschluß zur externen X-Ablenkung verfügen muß (wie zum Beispiel das ELV-Uniscop).

Die Sperrkennlinie einer „normalen“ Diode (Bild 1b) kann selbstverständlich nicht abgebildet werden, da dies automatisch zur Zerstörung des betreffenden Prüflings führen könnte. Bis zur erlaubten maximalen Betriebsspannung kann die Diode auch in Sperrrichtung betrieben werden, wobei sich dann allerdings lediglich ein waagerechter Strich auf dem Oszilloskop-Bildschirm

zeigt, da der in Sperrrichtung fließende Strom praktisch in der vorliegenden Form nicht meßbar ist.

Kommen wir nun zur Darstellung der Kennlinien von Z-Dioden.

In Flußrichtung ergibt sich keine Änderung gegenüber der Abbildung äquivalenter Kennlinien „normaler“ Dioden.

Wird die Z-Diode jedoch in Sperrrichtung geschaltet, wie dies auch in Bild 4 angegeben ist, zeigt sich der typische Kennlinienknick bei der Z-Spannung entsprechend der linken Hälfte von Bild 3.

Abschließend ist bei den Diodenmessungen noch anzumerken, daß die Abbildung der Ströme immer in positiver Richtung erfolgt, d. h. der Kurvenverlauf ist von der Null-Linie beginnend nach oben ansteigend.

Als nächstes wollen wir jetzt den wohl am häufigsten auftretenden Anwendungsfall des ELV-Kennlinienschreibers KS 7000 beschreiben: die Darstellung von Transistor-Kennlinienfeldern.

Transistor-Kennlinienfelder

Die Handhabung des ELV-Kennlinienschreibers KS 7000 ist zur Aufzeichnung von Transistor-Kennlinienfeldern denkbar einfach.

Der Y-Eingang des Oszilloskops wird an die BNC-Y-Ausgangsbuchse des KS 7000 angeschlossen. In Stromschalterstellung „x 1“ beträgt die dort anliegende Spannung 1 V pro 100 mA Kollektorstrom, während in Stromschalterstellung „x 10“ an dieser Buchse 1 V pro 1000 mA Kollektorstrom anliegen. Bei einem maximal fließenden Kollektorstrom durch den angeschlossenen Prüfling von 2000 mA bedeutet dies eine maximale Spannung in Stromschalterstellung „x 10“ von 2,0 V.

Der externe X-Eingang (Horizontal- bzw. Zeit-Ablenkung) des Oszilloskops wird an die entsprechende BNC-X-Ausgangsbuchse des KS 7000 angeschlossen, die ebenfalls rechts auf der Frontplatte angeordnet ist.

Da die Spannungseinstellung des ELV-Kennlinienschreibers KS 7000 einen sehr großen Bereich überschreitet, befindet sich über der X-Ausgangsbuchse am KS 7000 ein Poti zur Pegelanpassung an die X-Ablenkung des Oszilloskops. Auf diese Weise kann fast jedes Oszilloskop, das eine externe X-Ablenkung ermöglicht, über den KS 7000 zur Kennlinienschreibung von Transistoren und Fets eingesetzt werden, auch wenn es sich lediglich um ein Einkanal-Oszilloskop handelt.

Beim Oszilloskop selbst sind jetzt mit den Eingangswahlschaltern die entsprechenden Empfindlichkeitsstufen zu wählen, wobei die maximal auftretenden Spannungen sowohl an der X- als auch an der Y-Ausgangsbuchse des KS 7000 10 V nicht überschreiten. Auch bei Fehlanpassungen kann dem Oszilloskop somit normalerweise kein Schaden zugefügt werden.

Die X-Ablenkung des angeschlossenen Oszilloskops ist auf „extern“ zu schalten.

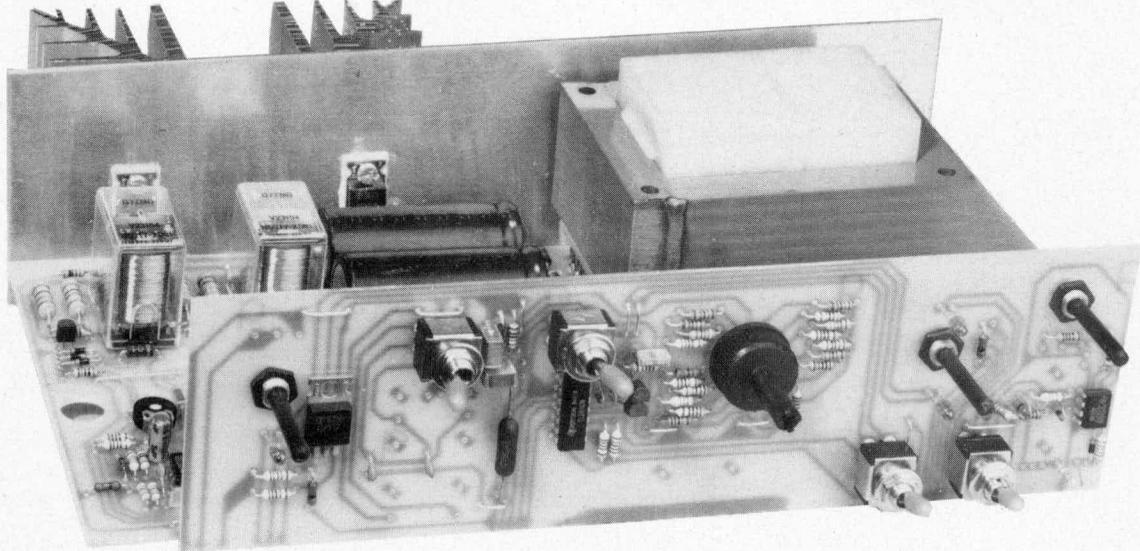
Bevor der ELV-Kennlinienschreiber KS 7000 in Betrieb genommen wird, sind fol-

gende Einstellungen sorgfältig vorzunehmen:

1. Netzschatzer einschalten.
2. Mit dem Spannungseinstellpoti U_{CE} die maximal zwischen Kollektor und Emitter des Prüflings abfallende Spannung zwischen 0 V und 100 V vorwählen. Hierbei ist zu beachten, daß der Prüfling die auftretende Verlustleistung verarbeiten können muß.
3. Wahlschalter T 1/T 2 in Mittelstellung bringen (aus).
4. Mit dem Wahlschalter „NPN/PNP“ die gewünschte Transistorart einstellen.
5. Mit dem Wahlschalter „ I_B “ den gewünschten Basisstrom einstellen. Hierbei ist zu beachten, daß der an den einzelnen Schalterstellungen aufgezeichnete Strom von 0 beginnend 8mal um diesen Betrag erhöht wird, d. h. daß in Basisstromeinstellung „ $I_B = 10 \mu A$ “ die erste Kennlinie mit 0 μA , die zweite Kennlinie mit 10 μA , die dritte mit 20 μA bis zur siebten Kennlinie mit 70 μA geschrieben wird. In Maximalstellung „ $I_B = 5 mA$ “ bedeutet dies einen maximalen Basisstrom von $5 mA \times 7 = 35 mA$.
6. Ist man sich über die Daten des zu prüfenden Transistors nicht im klaren, beginnt man zweckmäßigerweise grundsätzlich mit der Basisstromeinstellung „ $I_B = 10 \mu A$ “ (kleinste Einstellung).
7. Mit dem Strombegrenzungseinsteller „ I_C, max “ wird der Einsatzpunkt der internen elektronischen Strombegrenzung vorge wählt. Dieser Wert sollte geringfügig oberhalb des maximal zu erwartenden Stromes liegen, damit die interne Strombegrenzung im Normalfall nicht einzusetzen braucht.
8. Sie dient lediglich zu Schutzzwecken sowohl für den Kennlinienschreiber selbst als auch für den angeschlossenen Prüfling.
9. Mit dem Schalter „Transistor/FET“ kann zwischen „normalem“ bipolaren Transistor und Fet gewählt werden.
10. Der rechts daneben angeordnete Stromumschalter dient zur Festlegung der darüber angeordneten Strombegrenzungsskala (I_C, max). In Stellung „x 1“ reicht die Skala von 0 bis 200 mA, während sie in Stellung „x 10“ von 0 bis 2000 mA reicht. Oberhalb einer eingestellten Kollektor-Emitter-Spannung von $U_{CE} = 50 V$ wird der maximal mögliche Kollektorstrom automatisch auf 1000 mA begrenzt. Zur Erkennung dieser Betriebsart leuchtet oberhalb des Stromeinstellpotis eine zusätzliche LED auf.

Wie eingangs bereits erwähnt, wird mit dem Stromumschalter „x 1/x 10“ gleichzeitig der Skalenfaktor des Y-Ausgangs umgeschaltet.

Sind alle vorstehenden Einstellungen sorgfältig vorgenommen, kann der Prüfling an die drei linken unter der Bezeichnung „T 1“ angeordneten Prüfbuchsen angeschlossen werden. Handelt es sich um einen npn-Transistor, wird der Kollektor an die obere und der Emitter an die untere Prüfbuchse gelegt. Bei einem pnp-Transistor hingegen liegt der Emitter an der oberen und der Kollektor an der unteren Buchse. Der Basisan-



Ansicht des fertig aufgebauten ELV-Kennlinienschreibers KS 7000 vor dem Einbau ins Gehäuse

schluß wird in jedem Fall mit der mittleren Buchse verbunden.

Die vorstehende Art der Buchsenlegung hat den Vorteil, daß die obere Buchse grundsätzlich positives Potential und die untere Buchse negatives Potential führt.

Achtung:

Aufgrund des großen Spannungsbereiches des ELV-Kennlinienschreibers KS 7000 kann das Potential an den Prüfbuchsen bis zu 100 V und damit lebensgefährliche Werte annehmen. Das Gerät darf daher ausschließlich von sachkundigen Fachleuten, die mit den einschlägigen Sicherheitsbestimmungen eingehend vertraut sind, unter Laborbedingungen in Betrieb genommen werden. Auf absolute Berührungssicherheit in eingeschaltetem Zustand sowie auf die Einhaltung der VDE-Bestimmungen und der einschlägigen Sicherheitsbestimmungen ist großer Wert zu legen.

Nachdem der Transistor berührungssicher und korrekt angeschlossen wurde, kann der Schalter „T 1/T 2“ in Stellung „T 1“ gebracht werden.

Mit Hilfe der X- und Y-Einsteller können am Oszilloskop die Pegel soweit verschoben werden, bis sich ein einwandfreies Bild auf dem Oszilloskopschirm ergibt. Durch Verändern von Basisstrom bzw. Kollektorspannung kann der angeschlossene Transistor in seinen unterschiedlichsten Betriebszuständen getestet werden.

Durch Anschluß eines zweiten Transistors sowie durch direkte Umschaltmöglichkeit am Gerät selbst können darüber hinaus zwei Transistoren miteinander verglichen werden. Dies ist besonders wichtig für Anwendungsfälle, in denen das Aussuchen von Transistorpaaren gewünscht wird.

Durch die Mittelstellung des Schalters „T 1/T 2“ besteht außerdem die Möglichkeit, bei der Verarbeitung von größeren Verlustleistungen die Transistoren jeweils nur kurzzeitig einzuschalten, um diese nicht zu überhitzen.

Unterhalb des Basisstrom-Einstellers „ I_B “ befinden sich zwei Buchsen zur externen Einspeisung eines Basisstromes. Auch an diesen Buchsen können bis zu 100 V Spannungen anliegen und sind somit nicht potentialfrei. Für eine separate Stromquelle, die zur externen Basisstromeinspeisung dient, bedeutet dies die Notwendigkeit der Potentialfreiheit. Im allgemeinen wird diese Forderung von Netzgeräten erfüllt, muß jedoch sicherheitshalber vorher eindeutig festgestellt werden, um Schäden an den Geräten zu vermeiden. Durch die Möglichkeit der externen Basisstromzuführung können zusätzlich beliebige Einzelkennlinien bei den unterschiedlichen extern eingespeisten Basisströmen mit Hilfe des KS 7000 auf einem Oszilloskop-Bildschirm dargestellt werden. Im allgemeinen wird jedoch der große zur Verfügung stehende einstellbare Basisstrombereich die gewünschten Betriebsbereiche abdecken, so daß die vorstehend beschriebene externe Basisstromeinspeisung nur für Sonderfälle in Frage kommt.

Fet-Kennlinienfelder

Bei der Darstellung von Kennlinienfeldern von Feldeffekttransistoren geht man sinngemäß genauso vor, wie bei der Darstellung von Transistor-Kennlinienfeldern. Auf die ausführliche Beschreibung wollen wir daher an dieser Stelle verzichten und lediglich auf die Unterschiede hinweisen.

Der Basisstromeinsteller „ I_B “ wird in Stellung 1,5 V (gleiche Stellung wie 5 mA) gebracht, wobei jetzt besonderes Augenmerk auf die Strombegrenzung zu legen ist, um eine Überlastung durch Falscheinstellung zu vermeiden. Gegebenenfalls kann die Stromeinstellung nachträglich noch etwas höher gedreht werden. Das Einsetzen der Strombegrenzung ist auf dem Oszilloskop-Bildschirm deutlich durch helle Punkte zu sehen, die an den Stellen auftreten, an denen die Strombegrenzung bereits einsetzt.

Der Schalter „Transistor/FET“ wird in Stellung „FET“ gebracht.

Der Prüfling selbst wird mit seinem Gate-Anschluß an die Basis-Prüfbuchse angelegt. Im Falle, daß es sich um einen n-Kanal-Fet handelt, wird der Schalter „NPN/PNP“ in Stellung „NPN“ gebracht und der Drain-Anschluß oben (+) und der Source-Anschluß unten (-) an die Prüfbuchsen angeklemmt. Soll hingegen ein p-Kanal-Fet getestet werden, wird der entsprechende Schalter in Stellung „PNP“ gebracht, wobei dann der Source-Anschluß oben (+) und der Drain-Anschluß unten (-) anzulegen ist.

Befindet sich das rechts auf der Frontplatte oberhalb der X-Ausgangsbuchse angeordnete Poti auf Links-Anschlag (im Uhrzeigersinn gedreht — cal), so ist der Ausgangsspannungshub der X-BNC-Ausgangsbuchse um den Faktor 100 kleiner als die mit dem Poti „ U_{CE} “ eingestellte Spannung (100 V entsprechen also 1 V), während bei Rechtsanschlag die Umsetzung 1:1 erfolgt ($U_{CE} = 10$ V entspricht ebenfalls 10 V X-Ablenkspannung). Beliebige Zwischenstufen sind einstellbar. Die maximal auftretende Ausgangsspannung sowohl an der X- als auch an der Y-Buchse beträgt 10 V, wodurch eine Übersteuerung eines angeschlossenen Oszilloskops normalerweise wirksam vermieden wird.

Zur Schaltung

Nachdem sowohl die Theorie als auch die Praxis im Umgang mit dem ELV-Kennlinienschreiber KS 7000 vorstehend ausführlich erläutert wurde, wollen wir nun zur Beschreibung der eigentlichen Schaltung des KS 7000 kommen.

Im Blockschaltbild 11 ist die prinzipielle Funktionsweise des ELV-Kennlinienschreibers KS 7000 dargestellt.

Ein Dreieck-Generator erzeugt eine Soll-Steuerspannung, die auf einen elektronischen Regler zur Endstufenansteuerung gegeben wird. Den Ist-Ausgangsspannungswert erhält der Regler von der negativen Ausgangsspannung. Beide Werte werden im Regler miteinander verglichen, der daraufhin seinen Endstufen-Steuerstrom so einstellt, daß die Ausgangsspannung der

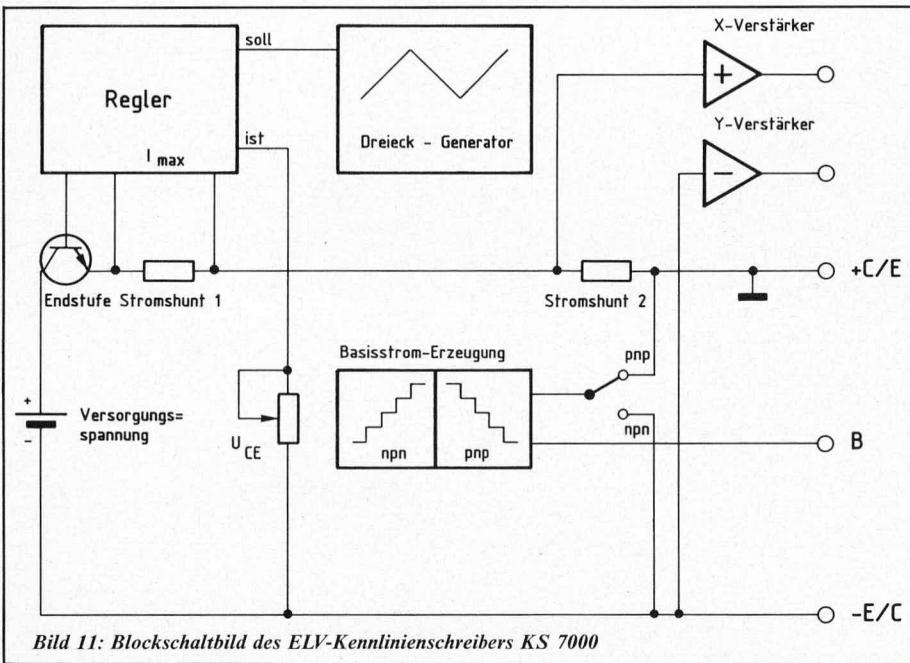


Bild 11: Blockschaltbild des ELV-Kennlinienschreibers KS 7000

Steuerspannung des Dreieck-Generators entspricht. Durch das Spannungseinstellpoti kann ein Multiplikator gewählt werden, damit die Ausgangsspannung in ihrer Höhe einstellbar ist, in ihrem Kurvenverlauf jedoch immer einer Dreieck-Spannung entspricht. Zusätzlich greift der Regler am Stromshunt einen Wert zur maximalen Ausgangsstrombegrenzung ab, der ebenfalls über ein Poti einstellbar ist (hier nicht eingezeichnet).

Die Basisstrom-Erzeugung arbeitet mit einem Treppenstromgenerator, der sowohl eine von 0 an in positive Richtungen steigende Spannung (npn) als auch eine von 0 an fallende Spannung (pnp) bereitstellen kann. Über einen Schalter („PNP oder NPN“) wird der entsprechende Basisstrom entweder an die positive oder an die negative Seite der Versorgungsspannung gelegt, um auf diese Weise immer den Basisstrom über die Basis-Emitterstrecke des zu prüfenden Transistors fließen zu lassen (bei pnp-Transistoren liegt der Emitter an

$+U_B$, während er bei npn-Transistoren an $-U_B$ angeschlossen wird).

Der X-Verstärker zur Horizontal-Ablenkung greift eine Spannung am Stromshunt 2 ab, die dem Kollektorstrom direkt proportional ist, der in den angeschlossenen Prüfling hineinfließt.

Der Y-Verstärker erhält seine Spannung vom negativen Ausgangsspannungsanschluß, wobei der Bezugspunkt für beide Verstärker der positive Ausgangsspannungsanschluß ist.

Auf eine Besonderheit des ELV-Kennlinienschreibers KS 7000 wollen wir in diesem Zusammenhang noch hinweisen: In Bild 12 ist der zeitliche Verlauf zur Darstellung einer kompletten Kennlinienschar, bestehend aus 8 Einzelkennlinien eines Transistors auf einem Oszilloskop-Bildschirm aufgezeichnet. Wie wir daraus entnehmen können, beginnt die Kollektorstromspannung U_{CE} (Bild 12b) bei 0 und steigt innerhalb von ca. 1,7 msec linear auf ihren Maximal-

wert an. In der gleichen Zeit liegt der Basisstrom (Bild 12a) bei 0 μA . Demzufolge ist auch kein Kollektorstrom vorhanden (Bild 12c).

Nach 1,7 msec beginnt die Kollektorstromspannung U_{CE} linear zu fallen, bis sie nach weiteren 1,7 msec, also insgesamt nach 3,4 msec wieder bei ihrem Ausgangswert von ca. 0 V angelangt ist. In dieser zuletzt beschriebenen Zeitspanne hat der Basisstrom inzwischen seine erste Stufe (z. B. 10 μA) angenommen, so daß ein entsprechender Kollektorstrom (Bild 12c, Kurve 1) fließt. Diese Kurve beginnt beim Maximum und fällt erst im letzten Moment bei Erreichen der 3,4 msec-Zeitmarke auf 0 ab und zwar gerade in dem Moment, in dem auch die Kollektorstromspannung U_{CE} wieder auf 0 angelangt ist.

Vorgenanntes Verhalten resultiert aus der Tatsache, daß die in der Zeitspanne zwischen 1,7 msec und 3,4 msec geschriebene Kurve auf die Kollektorstromspannung bezogen nicht bei 0 V beginnt, sondern in umgekehrte Richtung läuft und zwar bei ihrem Spannungsmaximum anfängt, um bei 0 V zu enden.

Die nächste, mit „2“ bezeichnete Kurve läuft wieder von $U_{CE} = 0$ V bis Maximum, so daß auch die entsprechende Kurve des Kollektorstromes I_C (Bild 12c) bei 0 beginnt, verhältnismäßig steil ansteigt, um anschließend nahezu waagerecht weiterzulaufen (der Kollektorstrom ist über weite Bereiche der Kollektor-Emitter-Spannung konstant).

Die darauf folgende mit „3“ bezeichnete Kurve beginnt wieder beim Maximum von U_{CE} und endet bei $U_{CE} = 0$ V, so daß auch der Kollektorstrom I_C in der Phase „3“ waagerecht mit seinem maximalen Wert beginnt, um erst kurz bevor U_{CE} in Richtung 0 V geht, ebenfalls nach unten abzuknicken.

Auch die weiteren Kurven 4 bis 7 werden wechselweise bei steigender und bei fallender Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} geschrieben.

Auf diese Weise erhält man den ganz entscheidenden Vorteil, daß der Strahlrücklauf des Oszilloskops nicht sichtbar ist, da er ganz offiziell zum Schreiben einer Kurve herangezogen wird. Lediglich ganz am Anfang der Kennlinienfelder sowie am Ende (rechte Bildseite) können schwache Strahlsprünge sichtbar werden, nämlich immer dann, wenn der Strahl von einer Kennlinie zur nächsten springt. Da dies jedoch an den einzelnen Kennlinien-Endpunkten erfolgt und außerdem mit deutlich verminderter Helligkeit (sehr schneller Sprung) stellt sich das Bild der Kennlinienschar, bestehend aus jeweils 8 Einzelkennlinien, insgesamt ruhig, ausgeglichen und mit guter und gleichmäßiger Helligkeit dar, wobei die vorstehend erwähnten Strahlsprünge von untergeordneter Bedeutung, kaum bemerkbar und damit praktisch nicht störend sind.

In der kommenden Ausgabe des „ELV journal“ stellen wir Ihnen im 2. und letzten Teil dieses Artikels das Gesamtschaltbild sowie den Nachbau des ELV-Kennlinienschreibers KS 7000 vor.

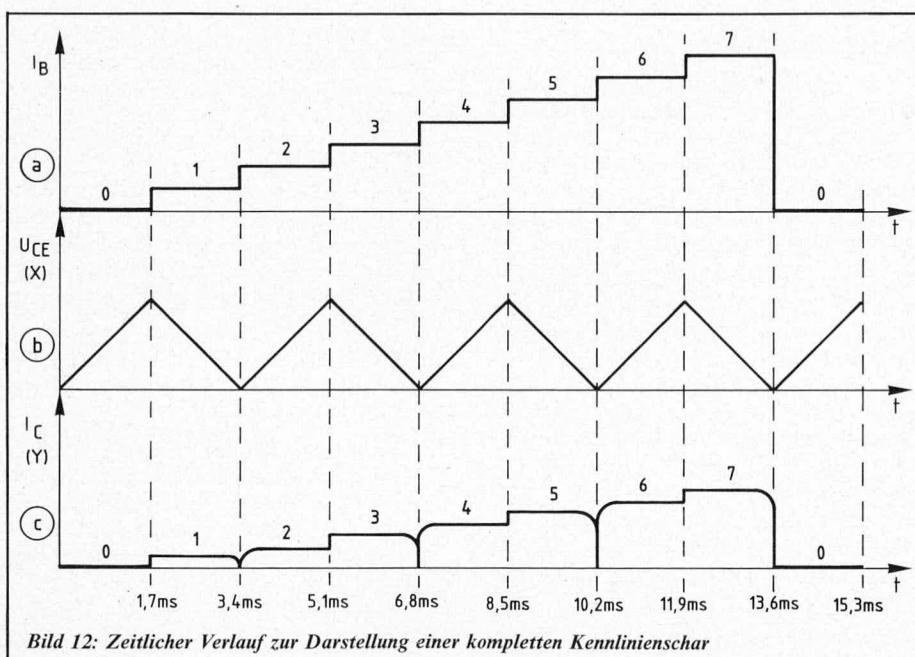
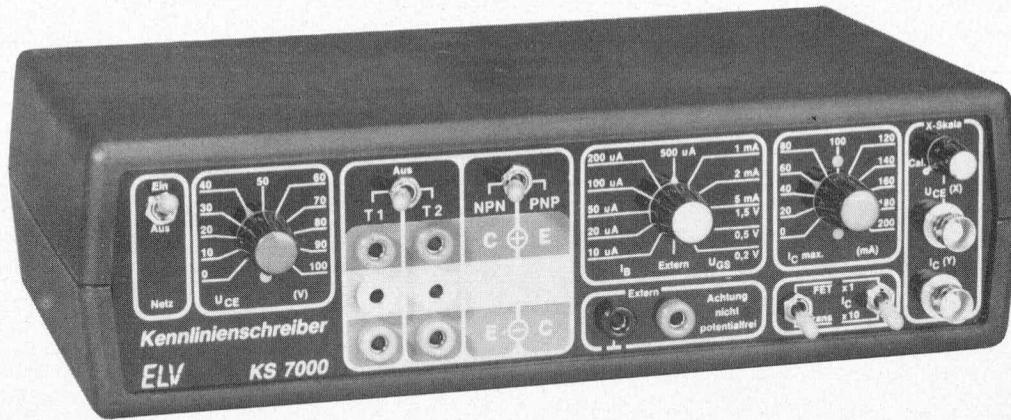


Bild 12: Zeitlicher Verlauf zur Darstellung einer kompletten Kennlinienschar

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 Schaltschwellen 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 dazwischen geschalteten 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 Dreieckspannung 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 Dreieckspannung, 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 Ausgangstromes ist zweifach vorhanden, da zwei Endstufentransistoren 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

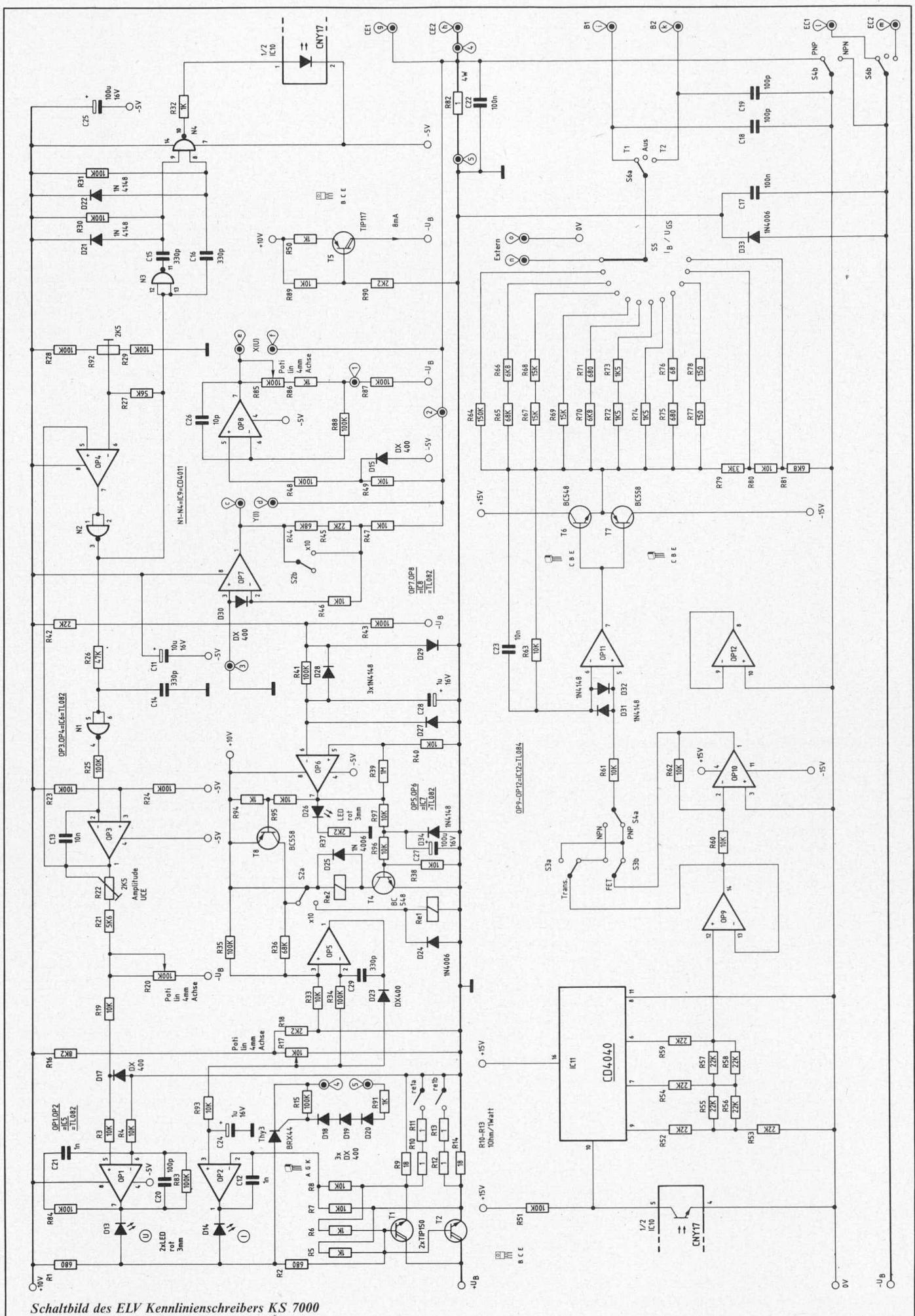
T 1 und T 2 sperren. Signaliert wird dieser Vorgang durch Aufleuchten der entsprechenden LED D 14.

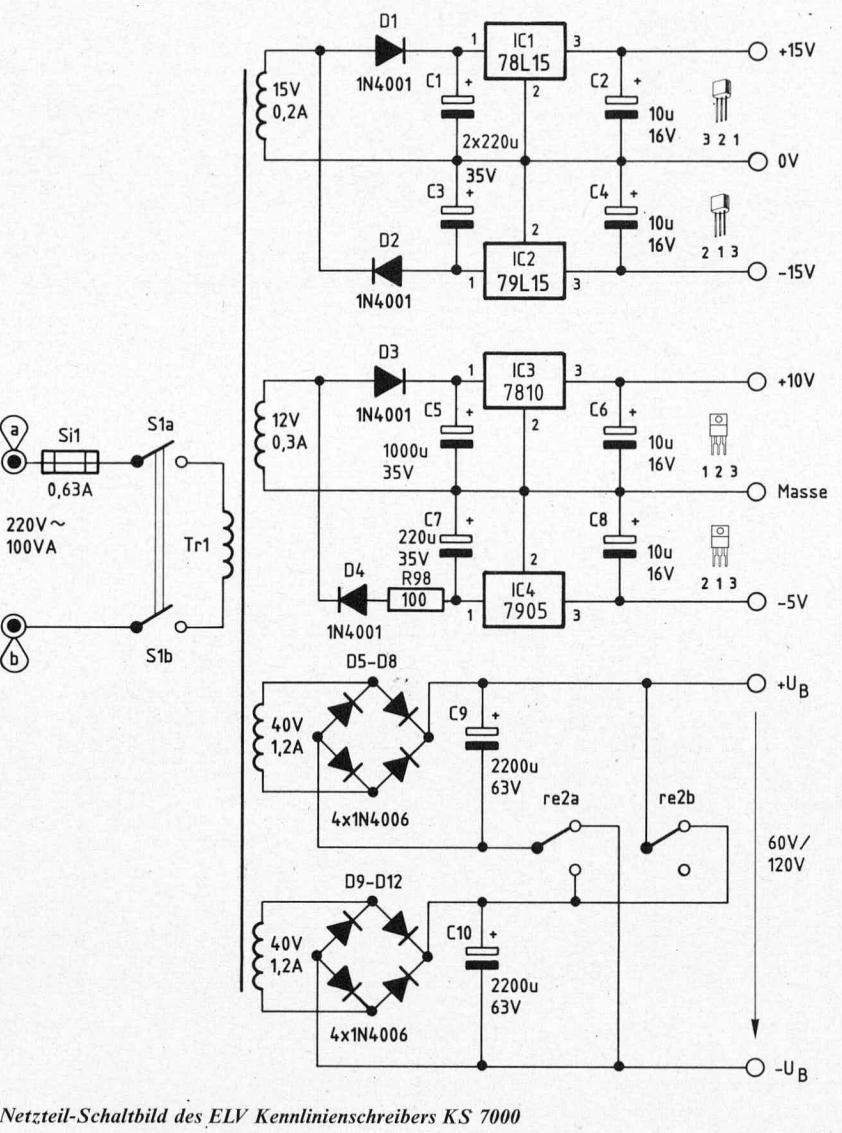
Zur Vermeidung von Zerstörungen der Endstufentransistoren des KS 7000 bei sehr steilflankigen Stromsprüngen dient der Thyristor Thy 3. Dieser erhält über den Widerstand R 91 sowie die schnellen Schaltdioden D 18 bis D 20 einen Gatestrom, sobald der Ausgangsstrom des KS 7000 einen Wert von ca. 2,5 bis 3 A überschreitet. Daraufhin schaltet Thy 3 durch – die sehr schnell arbeitende zusätzliche Ausgangstrombegrenzung 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 Selbstthaltefunktion gesperrt. Nach Beiseitigen des Kurzschlusses muß das Gerät zunächst für mehrere Sekunden ganz ausgeschaltet werden, um die Selbstthaltefunktion 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.





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 Steuerspannungsgrößen 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 Treppenspannungs erzeugung 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 Treppenspannungs erzeugung.

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 einfacherem 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 V : R 9 + 1,8 V : R 14 = 200 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 Ic leuchtet auf und Stromumschalter S 2 steht auf „ $I_{C,\max} = x 10^3$ “). 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 „ $x 10^3$ “ 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.

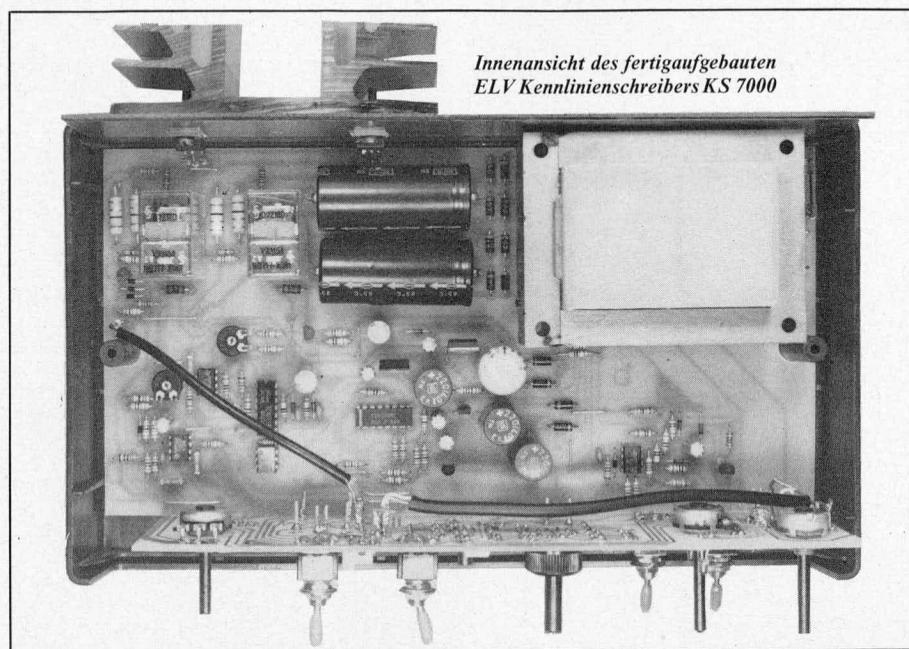
Als nächstes wird die Anzeigplatine in gleicher Weise bestückt.

Nachdem die Bestückung beider Leiterplatten noch einmal sorgfältig überprüft wurde, kann die Anzeigplatine im rechten Winkel vor die Basisplatine gesetzt werden und zwar so, daß die Unterkante der Anzeigplatine 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 Platinenanschußpunkte-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 Platinenanschußpunkte „2“, während der eine Mittelleiter die beiden Platinenanschußpunkte „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 Platinenanschußpunkte 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 Verlötung 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 Platinenanschußpunkte „a“ und „b“ zu gelangen. Die Netzeleitung 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, Kippschalterhälse 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 Transistoranschußbeinchen 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.

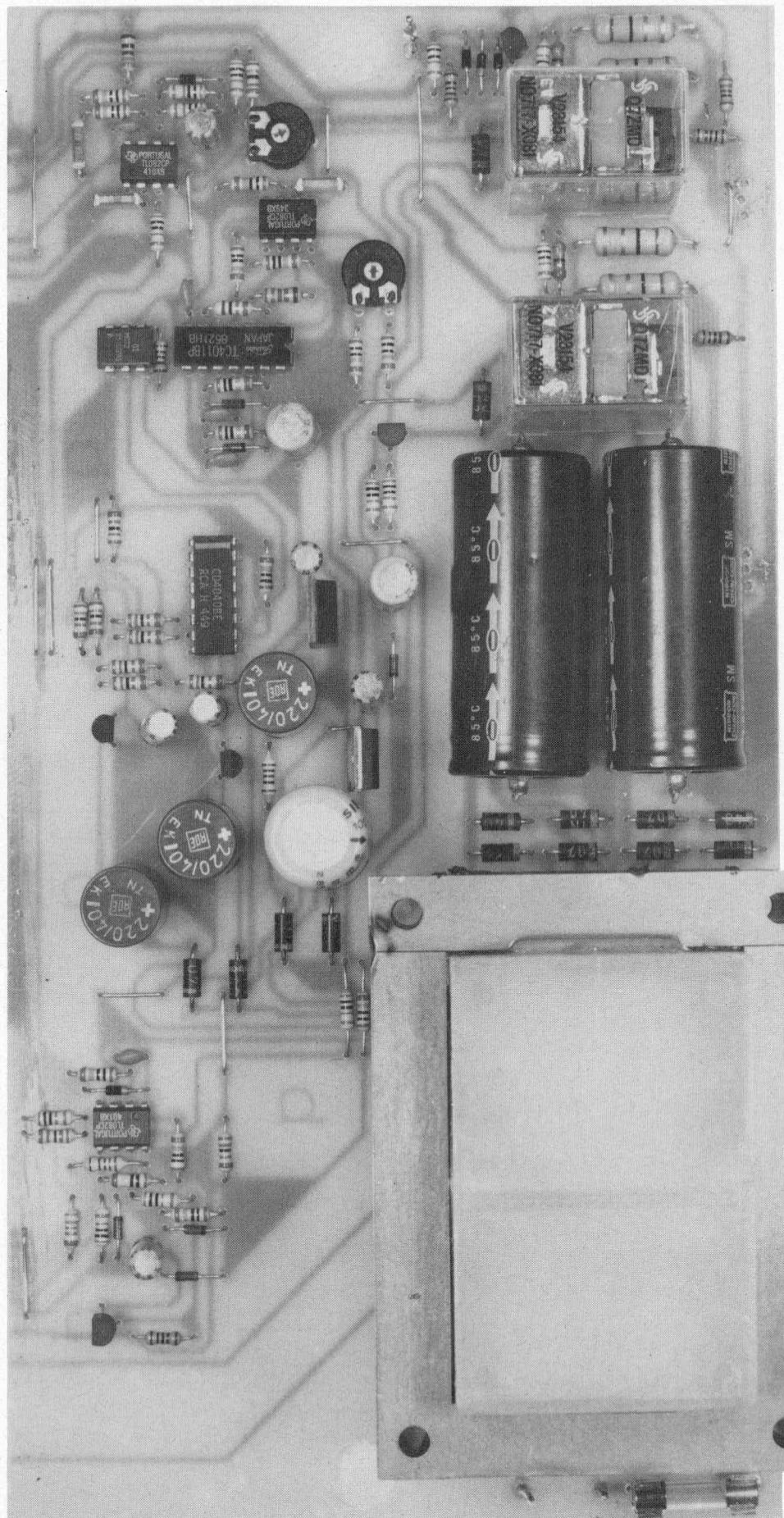
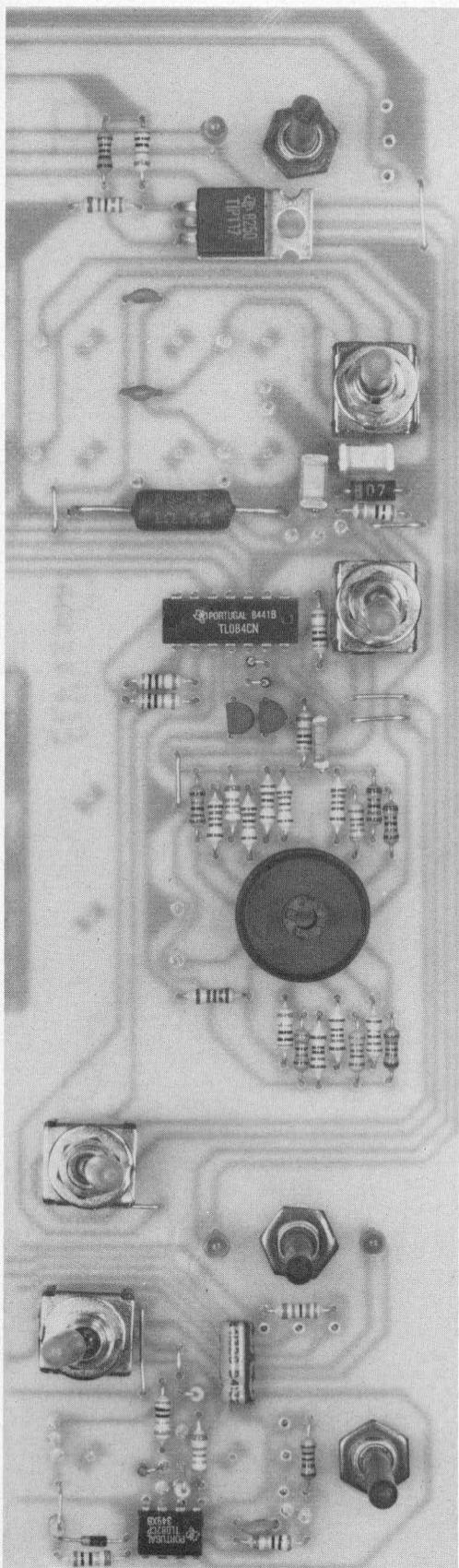
Die Prüf- und Eingangsbuchsen werden mit der Frontplatte verschraubt und anschließend über kurze flexible isolierte Leitungen mit den entsprechenden Punkten der Platinen verbunden.

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 Lötschwerter, die ausschließlich für Printmontage gedacht sind.

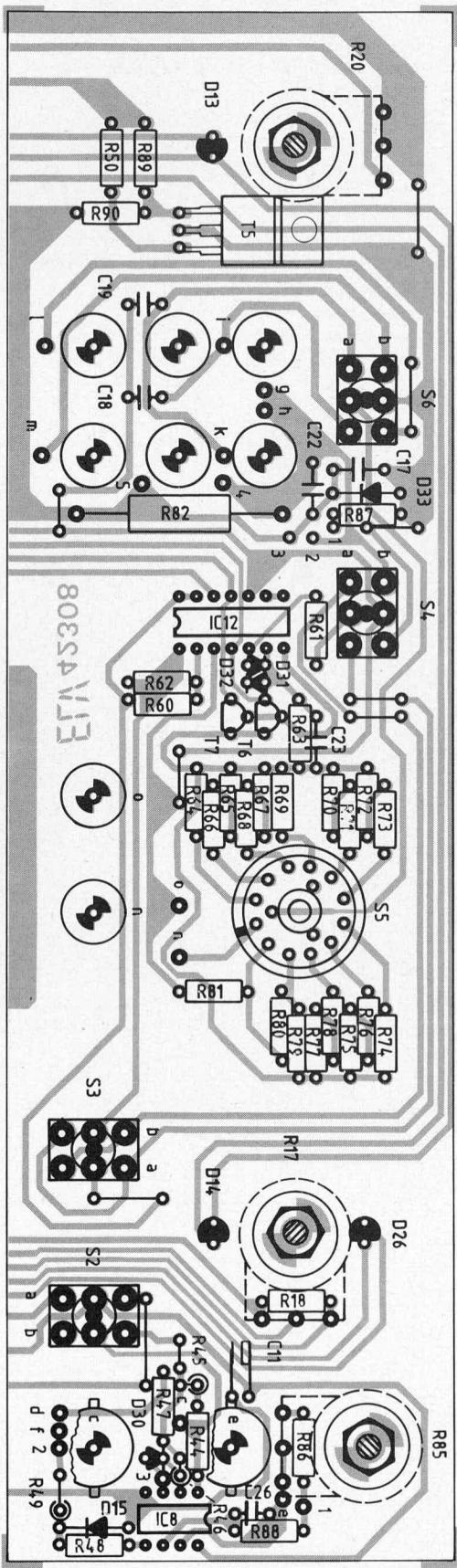
Beim Einsetzen des 12stelligen Drehschalters S 5 ist auf die richtige Einbaulage zu achten. Hierzu wird der Drehschalter vor dem Einbau auf Rechtsanschlag gebracht (Lötanschlüsse mit der einen Hand festhalten und mit der anderen Hand die Achse entgegen dem Uhrzeigersinn bis zum Anschlag drehen). Danach 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.

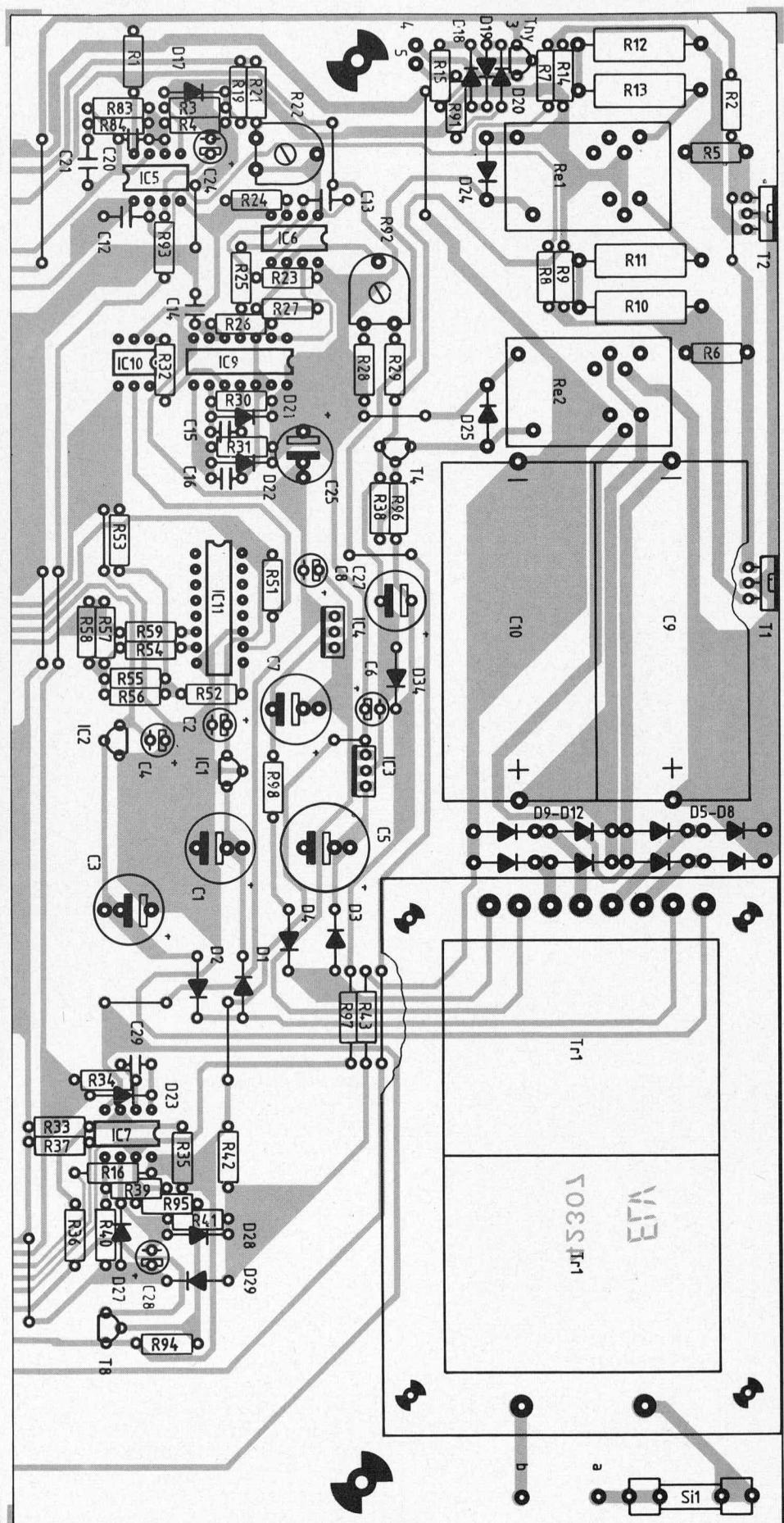


Ansicht der fertig bestückten Frontplatine des ELV Kennlinienschreibers KS 7000

Ansicht der fertig bestückten Basisplatine des ELV Kennlinienschreibers KS 7000



Bestückungsseite der Fröntplatine 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	Präzisionsdrehschalter 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 Isolierrippen	
20 cm Zadrig abgeschirmte Leitung	
15 cm Zadrig flexible Leitung	
1 Lötähnle 3,2 mm	
5 Lötähnle 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 Spannungs-erzeugung überprüfen (richtige Einbaulage der Gleichrichterdioden 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 angeklemmt werden.

Anschließend kann das Spannungseinstellpoti langsam aufgedreht werden, wobei man zweckmäßigigerweise 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 Ausgangs-Dreieckspannung 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 Hauptversorgungs- spannungen 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 Schaltschwellen 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 Ausgangsdreieckspannung 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 Überschwingen 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 Ausgangs-Dreieckspannungen (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 Strahlhlnlauf (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 werden den 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 beieinander geschrieben, 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 Sperrschiessfets muß jetzt der Schalter „FET/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.