

Bild 1

PC-Transistortester PC-TT 90

Teil 1

Mit diesem komfortablen, in Verbindung mit einem PC arbeitenden Testgerät können die für Transistoren, FETs, Dioden, LEDs, Z-Dioden, Triacs und Thyristoren charakteristischen Kennlinien auf einem PC-Bildschirm in übersichtlicher und repräsentativer Form dargestellt werden. Somit ist ein aussagekräftiger Test aller wesentlichen in der Elektronik vorkommenden diskreten Halbleiterbauelemente möglich.

Allgemeines

Diskrete Halbleiter und allen voran natürlich die Transistoren nehmen eine wichtige Stellung in der Elektronik ein. Zum besonders komfortablen und rationellen Testen dieser Bauelemente wurde von ELV der PC-Transistortester PC-TT 90 entwickelt, der in Verbindung mit einem IBM-PC-XT/AT oder dazu kompatiblen Rechner arbeitet. Das Gerät wurde in Anlehnung an den in großer Stückzahl verbreiteten ELV-PC-IC-Tester konzipiert, der in ELV journal Nr. 58 vorgestellt wurde.

Neben NPN- und PNP-Transistoren können mit diesem neuen Transistortester auf einfache Weise FETs, Dioden, LEDs, Z-Dioden, Triacs und Thyristoren geprüft werden. Ein kompletter Testdurchlauf benötigt hierbei nur rund eine Sekunde, und auf dem Bildschirm des PCs erscheint das komplette Kennlinienfeld (mit bis zu 10 repräsentativen Einzelkennlinien).

Alle erforderlichen Hardwarekomponenten des PC-TT 90 sind auf einer einzigen PC-Einsteckplatine untergebracht, die in einen freien Slot des PCs eingesteckt wird. Auf der Rückseite treten die 3 farbigen, ca. 1 m langen Prüfzuleitungen aus, an welche die zu testenden Transistoren oder anderen Halbleiterkomponenten anzuschließen sind. Zum schnellen und problemlosen Anschluß sind die Leitungsenden mit Meß-Krokodillen versehen.

Eine komfortable Anwendersoftware ermöglicht es auf höchst einfache Weise, sämtliche interessanten diskreten Halbleiterkomponenten umfassend zu prüfen. Die Tests sind besonders aussagekräftig, da z. B. bei Transistoren ein komplettes Kennlinienfeld mit bis zu 10 repräsentativen Einzelkennlinien aufgezeichnet wird. Der Meßablauf erfolgt hierbei vollautomatisch, d. h. Transistor anschließen, Typ (d. h. NPN oder PNP) anwählen, maximalen Kollektorstrom festlegen und Testablauf starten. Nach rund einer Sekunde erscheint auf dem

Bildschirm die Kurvenschar mit dem dazugehörigen Koordinatenkreuz. Alle weiteren Einstellungen, wie Auswahl des optimalen Meßbereichs und der korrekten Basisströme, Skalenfaktoren des Koordinatenkreuzes usw., werden vollautomatisch vorgenommen. Hierbei ist zuverlässig gewährleistet, daß die angeschlossenen Bauelemente nicht durch Überlastungen oder anderweitig zerstört werden.

Bei Transistoren wird z. B. der Kollektorstrom I_C (auf der Y-Achse) über der Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} (auf der X-Achse) in Abhängigkeit von 10 verschiedenen Basisströmen I_B dargestellt, wie dies auch in Abbildung 1 zu sehen ist.

Bevor wir auf die Bedienung und grundsätzliche Funktionsweise des PC-TT 90 im einzelnen eingehen, wollen wir uns zunächst mit einigen wichtigen Grundlagen der zu testenden Bauelemente befassen.

Grundlagen

Diskrete Halbleiterbauelemente gibt es in vielen verschiedenen Ausführungs- und Funktionsformen - mehr, als bisweilen angenommen wird. Neben den NPN- und PNP-Transistoren sind die Feldeffekt-Transistoren, kurz FETs genannt, inzwischen recht weit verbreitet. Diese Transistorart allein wird in 6 Grundtypen aufgeteilt - von den unterschiedlichen Leistungsstufen einmal ganz abgesehen. Dioden gibt es ebenfalls in zahlreichen Spezialausführungen - wie z. B. Kapazitäts-, Schottky-, Speicher-, Schalt-, PIN-, Tunnel-, Backward-, Feldeffekt-, Vierschicht-, Trigger- sowie die Standard-, Foto-, Laser- und Leuchtdioden. Weit verbreitet und mit dem PC-TT 90 ebenfalls testbar sind außerdem Thyristoren und Triacs.

Alle diskreten Halbleiterbauelemente zu beschreiben, würde den Rahmen dieses Artikels erheblich überschreiten, so daß wir uns im folgenden auf die am häufigsten eingesetzten diskreten Halbleiterbausteine konzentrieren wollen.

Dioden

Dioden sind Bauelemente, die einen Strom in der einen Richtung nahezu ungehindert passieren lassen, während sie ihn in der entgegengesetzten Richtung absperren. So kann mit Hilfe einer Diode und eines nachgeschalteten Siebkondensators, wie allgemein bekannt, aus einer Wechselspannung eine Gleichspannung erzeugt werden.

In Abbildung 2 sind die beiden gleichspannungsmäßigen Betriebszustände einer Diode aufgezeichnet. Links (2a) ist die in Durchlaßrichtung betriebene Diode zu sehen. Die an ihr abfallende Spannung U_D wird mit Flußspannung oder auch Durchlaßspannung bezeichnet. Bei einem Zehntel des jeweils maximal zulässigen Durch-

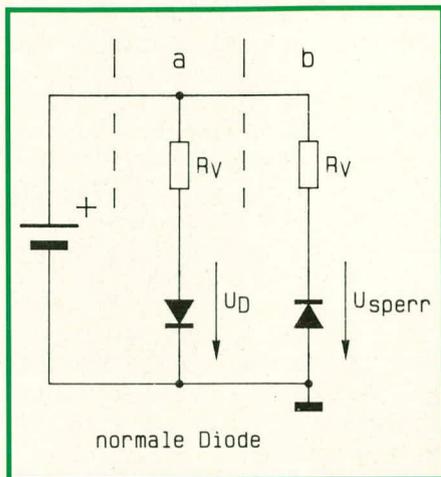


Bild 2: Gleichspannungsmäßige Betriebszustände einer Diode

laßstromes liegt die Höhe dieser Spannung 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 Abbildung 2b sehen wir die gleiche Diode, jetzt in Sperrrichtung betrieben. Im erlaubten Betriebsspannungsbereich liegen die Sperrströme (= in Sperrrichtung fließende Ströme) von Kleinleistungs-Dioden bei Germanium im μA -Bereich und bei Silizium im nA-Bereich. Wird die zulässige Sperrspannung überschritten, 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 zu Zerstörungen führen können.

In Abbildung 3 ist die Kennlinie einer „normalen“ Diode dargestellt.

Für den Test der Dioden mit Hilfe des PC-TT 90 werden nur die beiden Emitter-Kollektor-Meßleitungen benötigt, während die gelbe Basis-Meßleitung unbenutzt bleibt. Die Diode wird in Durchlaßrichtung angeklemt (rote Krokoklemme an die Anode und blaue Krokoklemme an die Katode der Diode) und der Meßvorgang bei vorheriger Festlegung des maximal zulässigen Stromes gestartet. Aufgezeichnet wird nun die Durchlaßkennlinie der Diode mit automatischer Begrenzung beim festgelegten Maximalstromwert.

Z-Dioden

Beim Überschreiten der maximalen Sperrspannung steigt bei Dioden der Sperrstrom lawinenartig an. Diese Eigenschaft wird bei den Z-Dioden zur Spannungsstabilisierung in Verbindung mit einer Strombegrenzung (z. B. Vorwiderstand) genutzt. Der Sperrstrom teilt sich hierbei gleichmäßig auf den Halbleiterkristall auf, so daß keine partiellen Temperaturextreme auftreten, was zur Zerstörung führen könnte. Solange die in der Z-Diode entstehende

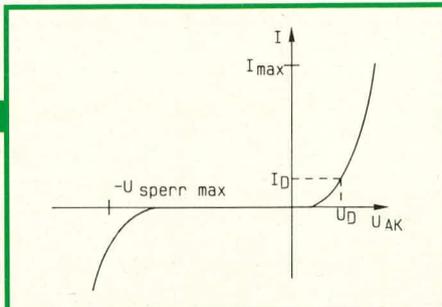


Bild 3: Kennlinie einer „normalen“ Diode

Verlustleistung bei einem Betrieb in Sperrrichtung nicht größer wird als die maximal zulässige Verlustleistung in Durchlaßrichtung, handelt es sich um einen erlaubten Betriebszustand. Die Spannung, bei welcher der Sperrstrom plötzlich stark ansteigt, heißt Z-Spannung U_z .

In Abbildung 4a wird der Betrieb einer Z-Diode in Durchlaßrichtung gezeigt. Hierbei ist das Verhalten praktisch identisch mit dem einer „normalen“ Diode. Abbildung 4b zeigt die übliche Betriebsart einer Z-Diode. Bei ausreichend hoher Versorgungsspannung, die über einen entsprechenden Vorwiderstand R_v zugeführt wird, kann an der Z-Diode die Z-Spannung gemessen werden. In Abbildung 5 ist die entsprechende Kennlinie zu sehen.

In Durchlaßrichtung können die Z-Dioden in gleicher Weise geprüft werden, wie dies unter dem Kapitel „Dioden“ bereits beschrieben wurde.

Für den Test der Stabilisierungsspannung

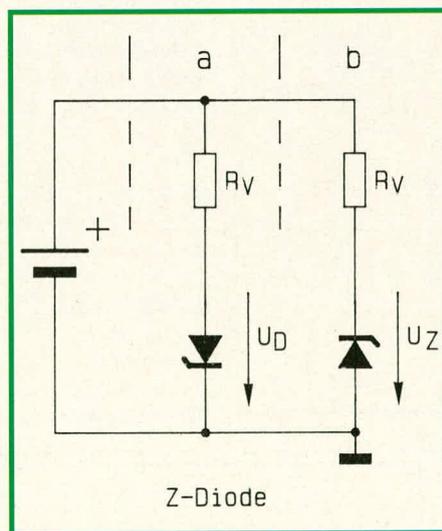


Bild 4: Gleichspannungs-Betriebszustände einer Z-Diode

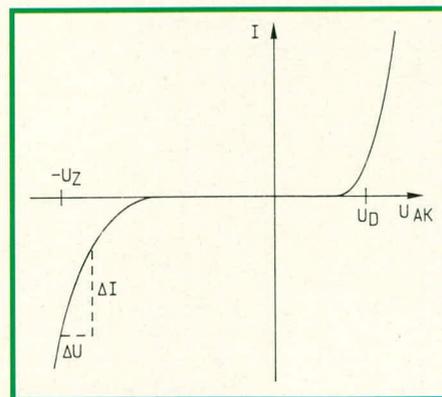


Bild 5: Kennlinie einer Z-Diode

U_z wird die Z-Diode in Sperrrichtung gepolt und angeschlossen, d. h. in ihrer vorgesehenen Betriebsweise. Zu beachten ist hierbei, daß die nun zulässige Strombelastbarkeit deutlich geringer sein kann als in Flußrichtung, so daß erforderlichenfalls eine neue Einstellung des Maximalstromes vorgenommen werden muß. (Während der Soll-Z-Strom i. a. spezifiziert ist (z. B. 5 mA), läßt sich der maximal zulässige Grenz-Z-Strom leicht ermitteln, indem die erlaubte Verlustleistung durch die Z-Spannung dividiert wird.) Nach Starten des Meßzyklus wird dann die Stabilisierungskennlinie der Z-Diode aufgezeichnet und dargestellt.

Besondere Schutzmaßnahmen, z. B. das Einfügen eines Vorwiderstandes, sind nicht erforderlich, zumal ein Vorwiderstand auch die Kennlinie verfälschen würde. Die Z-Diode wird also direkt zwischen die rote und die blaue Meßleitung geschaltet.

Transistoren

Wird die Bezeichnung „Transistor“ gebraucht, so ist damit üblicherweise ein Bipolar-Transistor gemeint. Spezielle Varianten wie Feldeffekt-Transistoren usw. werden im allgemeinen ausdrücklich als solche gekennzeichnet.

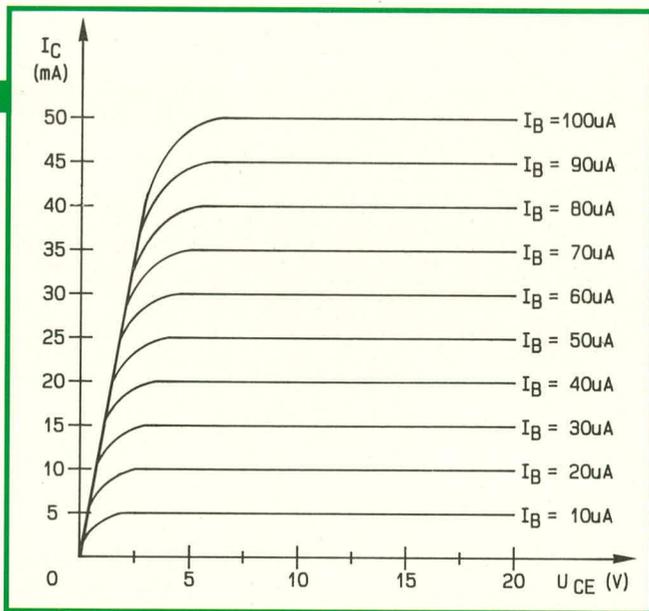
Transistoren sind Halbleiterbauelemente mit 3 Elektroden, die zum Verstärken oder Schalten von elektrischen Signalen dienen. Am Beginn der Halbleiterraera standen die Germanium-Transistoren, doch wurden diese mit zunehmendem Entwicklungsstand weitgehend (jedoch nicht vollständig) von Silizium-Transistoren abgelöst. Von beiden Typen gibt es sowohl PNP- als auch NPN-Ausführungen.

Wesentliches Merkmal eines Bipolar-Transistors ist sein stromverstärkendes Verhalten. Ein in die Basis hineinfließender Strom I_B wird intern mit dem Verstärkungsfaktor multipliziert und führt zum Kollektorstrom I_C . Die Stromverstärkung B ist also definiert als Verhältnis von Kollektorstrom zu Basisstrom.

Das Verhalten von Bipolar-Transistoren ist bei unterschiedlichen Spannungen und Strömen keineswegs linear, so daß es zur näheren Beschreibung sinnvoll ist, ihre Kennlinienfelder darzustellen.

In Abbildung 6 ist als Beispiel das typische Kennlinienfeld eine NPN-Kleinsignal-Transistors aufgezeichnet. Auf der waagerechten Achse ist die Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} von 0 V bis 20 V aufgetragen, während die Vertikalachse den Kollektorstrom I_C zeigt. Die abgebildeten Kennlinien 1 bis 10 beschreiben bei einem ganz bestimmten Basisstrom den Zusammenhang zwischen Kollektor-Emitter-Spannung und Kollektorstrom. Die erste Kurve läßt erkennen, daß bei einem konstanten Basisstrom von $I_B = 10 \mu\text{A}$ ein

Bild 6:
Kennlinienfeld
eines
Bipolar-Transistors



Kollektorstrom von 5 mA fließt, und zwar im Bereich von 2,5 V bis 20 V. Unterhalb 5 V fällt dieser Strom bis auf Null ab.

Je größer der eingepreßte Basisstrom wird, desto größere Werte nimmt auch der Kollektorstrom an. Wesentliches Merkmal ist hierbei, daß sich der Kollektorstrom als ein bestimmtes Vielfaches vom Basisstrom einstellt. Ein konstanter Basisstrom bewirkt somit auch einen Kollektorstrom, der in weiten Bereichen (ungefähr zwischen 5 V und Maximum) konstant ist. Lediglich bei

der Basisstrom im allgemeinen vernachlässigt werden, und es gilt mit guter Näherung:

Kollektorstrom $I_C =$ Emitter-Strom I_E . Das in Abbildung 6 gezeigte Kennlinienfeld wird erhalten, indem ein konstanter Strom in die Basis des zu prüfenden Transistors eingespeist und gleichzeitig die Kollektor-Emitter-Spannung von Null auf Maximum (hier: 20 V) innerhalb einer bestimmten Zeitspanne (hier: 100 ms) heraufgefahren wird. Gleichzeitig, während

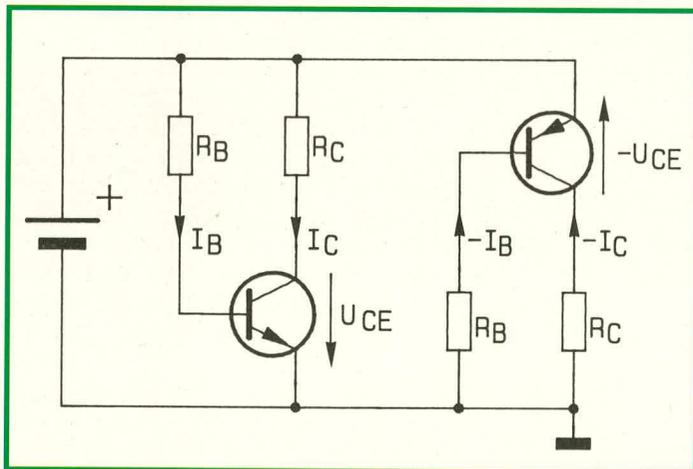


Bild 7:
Anschluß-
schema von
Transistoren
(links NPN,
rechts PNP)

Bild 8: Übersicht der 6
Feldeffekt-
Transistor-
Grundtypen

FET					
Sperrschichtfet		Mosfet			
n-Kanal	p-Kanal	Depletion Mosfet		Enhancement Mosfet	
		n-Kanal	p-Kanal	n-Kanal	p-Kanal
selbstleitende Fets			selbstsperrende Fets		

des Herauffahrens der Spannung, wird der Kollektorstrom gemessen und die daraus entstehende erste Kennlinie angezeigt. Anschließend wird der Basisstrom um eine Stufe erhöht und auf diesem erhöhten Wert wiederum konstant gehalten. Anschließend wird erneut die Kollektor-Emitter-Spannung wiederum von 0 V beginnend bis auf Maximum gefahren und der Kollektorstrom gemessen. Hierdurch entsteht eine weitere Kennlinie, usw.

Dieses Verfahren des schrittweise Erhöhen und Konstanthaltens des Basisstromes bei gleichzeitiger Steuerung der Kollektor-Emitter-Spannung von jeweils 0 V bis Maximum und Messens des Kollektorstromes wird so oft wiederholt, bis die gewünschte Anzahl der Kennlinien durchgeführt, aufgezeichnet und abgespeichert wurde. Ein wesentlicher Vorteil in Verbindung mit einem PC liegt hierbei in der Abspeicherung der aufgezeichneten Werte, so daß jede Kennlinie nur einmal zu durchfahren ist, wodurch sich die thermische Belastung des Transistors auf einen kurzen Zeitraum begrenzt und Kühlmaßnahmen im allgemeinen selbst bei Leistungs-transistoren beim Betrieb des PC-TT 90 nicht erforderlich sind.

Feldeffekt-Transistoren

Feldeffekt-Transistoren, auch kurz FETs genannt, sind aktive, diskrete Halbleiterbauelemente, die über ein elektrisches Feld leistungslos gesteuert werden. Ihre Arbeitsweise wird daher in diesem Punkt zu Recht häufig mit derjenigen von Röhren verglichen.

Insgesamt unterscheidet man 6 verschiedene Feldeffekt-Transistor-Grundtypen, deren Schaltsymbole in Abbildung 8 zusammengestellt sind. Das Gate (G) ist die Steuerelektrode, mit dem sich der Widerstand zwischen Drain (D) und Source (S) steuern läßt. Die Steuerspannung wird mit U_G

sehr kleinen Spannungen sinkt auch der Kollektorstrom in Richtung Null ab.

In Abbildung 7 ist das Anschlußschema von NPN- und PNP-Transistoren dargestellt. Die linke Hälfte zeigt einen NPN-Transistor in Emitter-Schaltung. Über den Vorwiderstand R_B wird ein konstanter Strom I_B in die Basis eingespeist. Dieser Basisstrom wird mit dem Stromverstärkungsfaktor des Transistors multipliziert, und es ergibt sich der 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 Emitter-Anschluß.

Die Stromverstärkungsfaktoren von Kleinsignal-Transistoren liegen im Bereich von 100 bis 1000 und von Leistungs-transistoren immerhin noch um 50. Bei der Berechnung des Emitter-Stromes kann daher

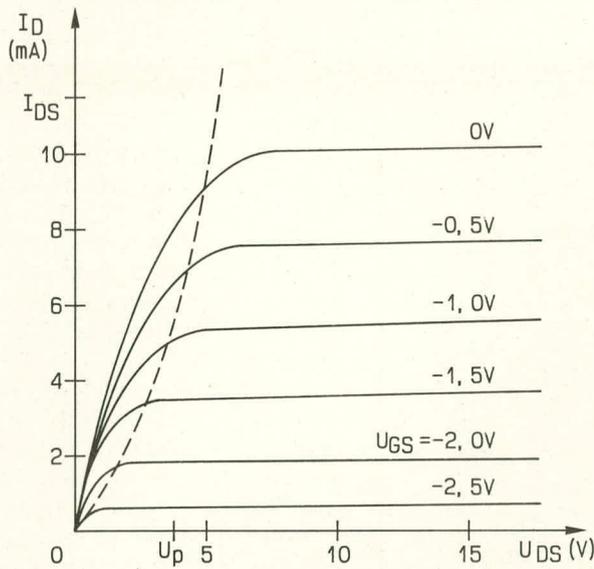


Bild 10:
Kennlinienfeld eines n-Kanal-Sperrschichtfets

tet, wobei der Drain-Anschluß gegenüber Source positiv ist. Bei p-Kanal-Typen sind die Spannungsverhältnisse genau umgekehrt, d. h. der Drain Anschluß ist gegenüber Source negativ, und es wird mit einer ebenfalls negativen Gate-Source-Spannung angesteuert. Daneben gibt es einige Sonderformen, die zwischen den Enhancement- und Depletion-Mosfets angesiedelt sind und z. B. bei $U_{GS} = 0\text{ V}$ einen mittleren Drainstrom fließen lassen, d. h. die Ansteuerspannung kann, bezogen auf den Source-Anschluß, je nach Betriebszustand sowohl positive als auch negative Werte annehmen.

Zu erwähnen ist bei Mosfets noch ein vierter Anschluß, der mit dem Substrat verbunden ist. In den meisten Fällen wird dieser Anschluß nicht separat herausgeführt und ist mit dem Source-Anschluß verbunden. Sofern als vierter Anschluß herausgeführt, besitzt diese Elektrode eine ähnlich steuernde Wirkung wie das Gate, ist jedoch nur durch eine Sperrschicht vom Drain-Source-Kanal isoliert. Bezeichnet wird der Anschluß mit S (Substrat) oder B (Bulk).

Abschließend wollen wir die Power-Mosfets, die zu den Enhancement-Typen zählen, noch näher betrachten.

Hierbei handelt es sich um Leistungs-Mosfets, die hohe Verlustleistungen verarbeiten können und in der Lage sind, hohe Spannungen und Ströme zu schalten - vergleichbar mit bipolaren Leistungstransistoren. Das Ansteuerverhalten entspricht jedoch dem von selbstsperrenden Mosfets.

N-Kanal-Typen werden, bezogen auf den Source-Anschluß, mit einer positiven Steuerspannung beaufschlagt, wobei der Drain-Anschluß gegenüber Source positiv ist. Die Höhe der Ansteuerspannung liegt im Bereich zwischen 0 bis 20 V je nach Betriebsfall. In Abbildung 11 ist ein entsprechendes Kennlinienfeld dargestellt.

Das Typenspektrum ist bei n-Kanal-Typen gegenüber den p-Kanal-Versionen umfang-

eines entsprechenden n-Kanal-Sperrschichtfets aufgezeichnet.

P-Kanal-Sperrschichtfets werden im Gegensatz zu den n-Kanal-Typen mit positiven Steuerspannungen, auf den Source-Anschluß bezogen, beaufschlagt. Wie aus Abbildung 9 ersichtlich, liegt hier Source an der positiven Versorgungsspannung, und der Drainanschluß ist darauf bezogen negativ.

Ein ähnliches Verhalten wie Sperrschichtfets zeigen die Depletion-Mosfets (Verarmungstypen). Wie bei Mosfets allgemein kennzeichnend, trennt eine dünne Isolierschicht, bestehend aus SiO_2 , das Gate vom Drain-Source-Kanal, woraus der extrem hohe Eingangswiderstand resultiert. Ansteuerverhalten und Kennlinienfelder sind direkt den Sperrschichtfets vergleichbar, wobei Depletion-Mosfets bevorzugt für besonders hochfrequente sowie digitale Anwendungen eingesetzt werden.

Enhancement-Mosfets hingegen (Anreicherungstypen), zu denen auch die Power-Mosfets zählen, sperren bei einer Gate-Source-Ansteuerspannung von 0 V. Sie werden daher auch als selbstsperrend bezeichnet. Bei n-Kanal-Enhancement-Mosfets fließt erst ein Drainstrom, wenn U_{GS} einen bestimmten positiven Wert überschrei-

Bild 9: Prinzipieller Anschluß von n-Kanal(links) und p-Kanal-FETs (rechts)

bezeichnet und zwischen Gate und Source angelegt. Die Eingangswiderstände der FETs sind extrem hoch und bewegen sich bei Sperrschichtfets im Bereich von 10^{10} bis $10^{13}\Omega$ und bei Mosfets von 10^{13} bis $10^{15}\Omega$.

Analog zu den NPN- und PNP-Transistoren unterscheiden wir n-Kanal- und p-Kanal-FETs. In Abbildung 9 ist der Betrieb von n-Kanal- (links) und p-Kanal-Sperrschichtfets (rechts) dargestellt. Diese Typen zeichnen sich unter anderem dadurch aus, daß sie bei $U_{GS} = 0\text{ V}$ leitend sind, d. h. zur Gruppe der selbstleitenden FETs zählen.

Am Beispiel des in Abbildung 9 links dargestellten n-Kanal-Sperrschichtfets, zu denen auch der Typ BF 245 zählt, soll die Funktionsweise näher betrachtet werden. Auch hier ist ähnlich wie bei einem Bipolar-Transistor der Drainstrom, entsprechend dem Kollektorstrom, oberhalb von ca. 5 V bis zum Maximum annähernd konstant. Angesteuert wird das Gate (entsprechend der Basis eines Bipolar-Transistors) hier jedoch nicht mit einem Steuerstrom, sondern mit einer Steuerspannung (U_{GS}), welche für die Größe des Drainstromes maßgebend ist. Eine Steuerspannung am Gate (bezogen auf Source) von 0 V steuert den n-Kanal-Sperrschichtfet voll durch. Je negativer die Steuerspannung wird, desto hochohmiger stellt sich der Drain-Source-Kanal dar, d. h. der Strom sinkt.

In Abbildung 10 ist das Kennlinienfeld

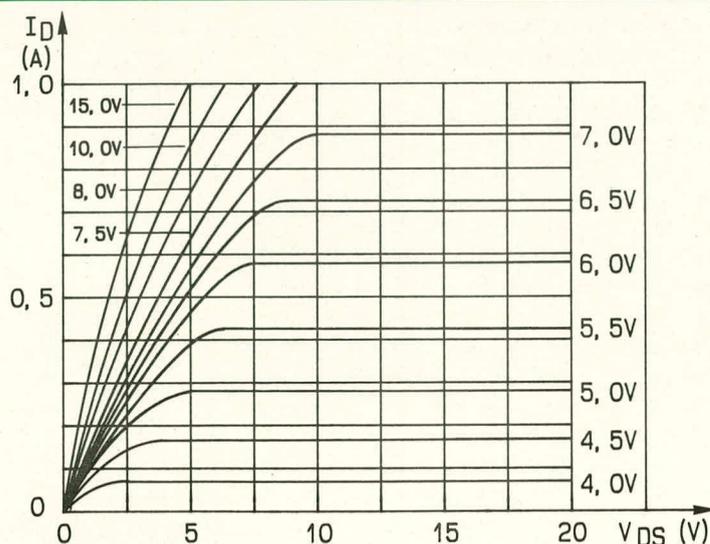


Bild 11:
Kennlinienfeld eines n-Kanal-Power-Mosfets

reicher. Die Ursache liegt an der physikalisch bedingten besseren Leitfähigkeit eines n-Kanals. Power-Mosfets gleicher Sperrspannung und Chipfläche weisen in der p-Kanal-Version einen doppelt so hohen Drain-Source-On-Widerstand auf wie entsprechende n-Kanal-Typen. Darüber hinaus steigt bei p-Kanal-Typen der Fertigungsaufwand an, wodurch sich das Preis-Leistungs-Verhältnis zu Gunsten des n-Kanal-Typs verschiebt.

Für den Test von Feldeffekt-Transistoren wird der betreffende Menüpunkt angewählt (z. B. n-Kanal-Sperrschichtfet/Depletion-Mosfet) und der maximale Drain-Source-Strom vorgegeben. Auf dem Bildschirm des PCs erscheint nun die Angabe über die Zuordnung der drei farbigen Meßleitungen zu den Anschlüssen des Fets (rot = Drain, blau = Source, gelb = Gate). Alle weiteren Einstellungen, selbstverständlich auch unter der Berücksichtigung, daß Fets mit Spannungen und nicht mit Strömen an ihrem Gate angesteuert werden, übernimmt der PC-TT 90 vollautomatisch.

Ist nicht bekannt, um welchen Fet-Typ es sich beim Test handelt, kann der Menüpunkt 7 „unbekannter FET“ angewählt werden. Nach der Eingabe des maximal zulässigen Drain-Source-Stromes erscheint auf dem Bildschirm wiederum die Zuordnung der Meßleitungen zu den Fet-Anschlüssen. Die gelbe Zuleitung wird an das Gate angeschlossen. Sind Drain und Source bekannt, erfolgt bei n-Kanal-Fets der Anschluß der roten Zuleitung an den Drain-Anschluß und der blauen an den Source-Anschluß. Bei p-Kanal-FETs ist die Anschlußfolge bei Drain und Source umgekehrt. Ist der Typ nicht bekannt, werden Drain und Source willkürlich angeklemt. Der Gateanschluß muß jedoch unbedingt von vornherein korrekt belegt werden.

Nach dem Start des Testzyklus begrenzt der PC-TT 90 den Drain-Source-Strom zunächst auf den niedrigsten verfügbaren Wert von 10 mA und tastet sich nun langsam bis zu positiven und negativen Steuerspannungen von 5 V an ein mögliches Kennlinienfeld heran. Sobald eine eindeutige Aussage über die Funktionsweise des Prüflings vorliegt, wird das komplette Kennlinienfeld unter Angabe des FET-Typs aufgezeichnet. Gelingt dies nicht, erscheint auf dem Bildschirm die Aufforderung, die Meßklemmen an den Drain-Source-Anschlüssen zu vertauschen und den Meßablauf erneut zu starten.

Auf diese Weise besteht die Möglichkeit, auch unbekannte FETs und die eingangs erwähnten Misch-Typen umfassend zu testen, wobei nach dem ersten Test mit minimalem Strom anschließend das komplette Kennlinienfeld bis hin zu dem vom Anwender eingegebenen maximalen Drain-Source-Strom aufgezeichnet wird.

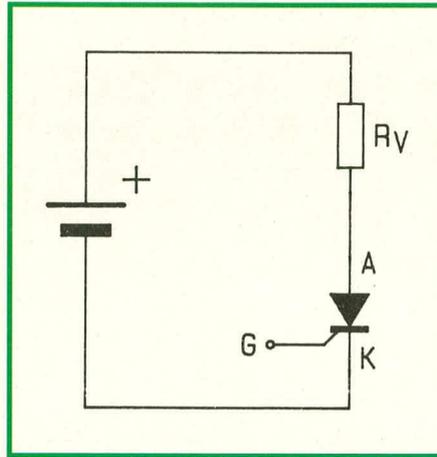


Bild 12: Gleichspannungsanschluß eines Thyristors

Thyristoren

In Abbildung 12 ist das Schaltsymbol eines Thyristors dargestellt. Im Ruhezustand ist die Anoden-Katoden-Strecke gesperrt, und durch den Vorwiderstand R_v kann kein Strom fließen. Wird an den Gate-Anschluß (G) eine positive Spannung U_{GK} angelegt, die in der Größenordnung von 1 V liegt, fließt ein Strom über die Gate-Katoden-Strecke. Dieser Gatestrom wird auch mit Zündstrom I_z bezeichnet und ist sowohl von der Anoden-Spannung als auch von den auftretenden Anodenströmen unabhängig. Sobald I_z einen bestimmten Wert überschreitet, zündet der Thyristor, und die Anoden-Katoden-Strecke wird leitend. Dieser Zustand bleibt erhalten, auch wenn kein Zündstrom mehr fließt. Voraussetzung dafür ist allerdings, daß der Anoden-Haltestrom I_H nicht unterschritten wird. In Abbildung 13 ist eine Transistorschaltung wiedergegeben, die recht gut der Wirkungsweise eines Thyristors entspricht.

In Sperrichtung verhält sich ein Thyristor wie eine ebenfalls in Sperrichtung

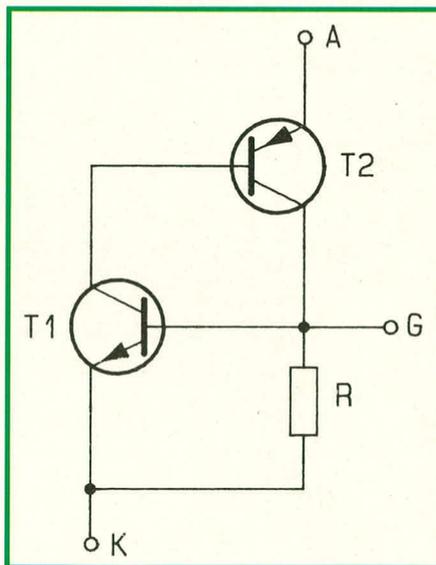


Bild 13: Transistorschaltung als Ersatz für einen Thyristor

gepolte Gleichrichterdiode.

Neben der maximal zulässigen Sperrspannung, die bei Thyristoren im allgemeinen recht hoch liegt und mit dem PC-TT 90 deshalb nicht erfassbar ist, sind als markante Bauteildaten die Durchlaßkennlinie und insbesondere der Zündstrom von Bedeutung.

Die rote Meßklemme wird mit der Anode und die blaue Meßklemme mit dem Katoden-Anschluß des Thyristors verbunden. Die gelbe Klemme ist mit dem Gate-Anschluß zu verbinden. Der PC-TT 90 fährt nun die Anoden-Katoden-Spannung herauf und erhöht bei jedem Durchlauf den Zündstrom um eine Stufe. Sobald der Thyristor zündet, wird die betreffende Durchlaßkennlinie aufgezeichnet und der Zündstrom angegeben. Da es sich hierbei um den kleinsten Ansteuerstrom handelt, bei dem der Thyristor zündet, sollte in der Praxis selbstverständlich ein hinreichender Sicherheitszuschlag für den Betrieb dieses Bauteils gewählt werden, damit auch bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen (Temperaturen usw.) ein sicheres Zünden gewährleistet ist. In der Praxis stellt der doppelte Wert ein Minimum dar, während das 5fache sicherlich sinnvoll ist, sofern der laut Datenblatt maximal zulässige Zündstrom nicht überschritten wird.

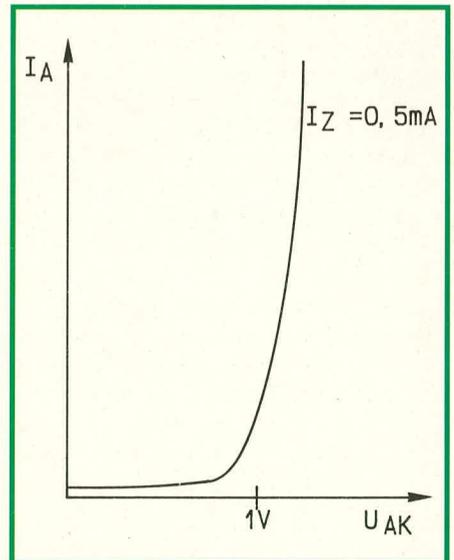


Bild 14: Durchlaßkennlinie eines Thyristors

Der Triac

Bei einem Triac handelt es sich um 2 antiparallel geschaltete Thyristoren, allerdings mit nur einem Steueranschluß. Das Schaltsymbol des Triacs ist in Abbildung 15 gezeigt.

Bei einer positiven Anodenspannung (bezogen auf die Katode) kann der Triac genau wie der Thyristor mit einem positiven Gatestrom gezündet werden. Auch hier wird die Zündspannung zwischen Gate und Katode angelegt. Im Gegensatz zum Thy-

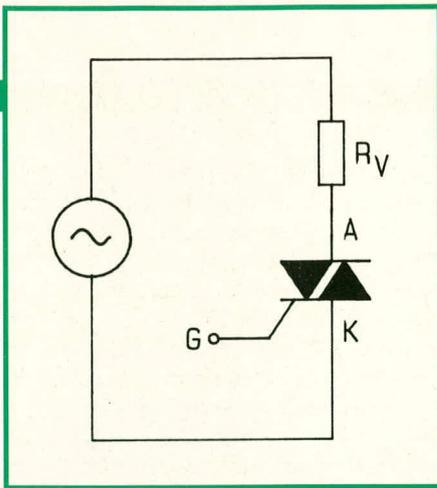


Bild 15: Prinzipielles Anschlußschema eines Triacs

ristor kann bei einem Triac der Zündvorgang auch mit einer negativen Gatespannung ausgelöst werden. Weist die Betriebsspannung ein umgekehrtes Vorzeichen auf, d. h. ist die Anode, bezogen auf die Katode, negativ gepolt, kann der Triac auch hier sowohl mit einer negativen als auch mit einer positiven Gatespannung gezündet werden. Ein Triac ist somit als Wechselspannungsschalter einsetzbar, und Ansteuerimpulse, die in allen 4 Quadranten angesiedelt sein können, lösen den Zündvorgang aus. Häufig benötigen Triacs dann ihren geringsten Zündstrom, wenn die Gate-Spannung das gleiche Vorzeichen aufweist wie die Anoden-Spannung, während sich der ungünstigste Fall (erhöhter Zündstrombedarf) dann einstellt, wenn die Gate-Spannung positiv und die Anoden-Spannung negativ ist. Daraus folgt, daß bei einem Wechselspannungsbetrieb und Gleichstrom-Impulsansteuerung diese Impulse, bezogen auf die Katode, negativ gerichtet sein sollten, damit man mit möglichst geringen Zündströmen auskommt.

Interessant für die Darstellung von Triac-Kennlinien ist nun zum einen die Durchlaßkennlinie und zum anderen die Information, bei welchem Gate-Zündstrom der Triac durchschaltet. In Abbildung 16 ist eine entsprechende Darstellungsform gezeigt.

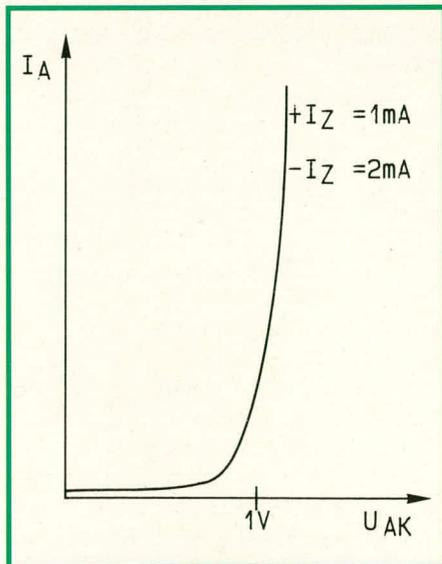


Bild 16: Durchlaßkennlinie eines Triacs

Die rote Meßklemme wird mit der Anode und die blaue Meßklemme mit der Katode des Triacs verbunden. Die gelbe Klemme wird an den Gate-Anschluß gesetzt. Der PC-TT 90 fährt nun die Versorgungsspannung langsam hoch bei schrittweiser Erhöhung des Zündstromes. Sobald der Triac zündet, wird die Durchlaßkennlinie aufgezeichnet und der dafür erforderliche Zündstrom angezeigt. Anschließend wiederholt sich der Vorgang mit umgekehrter Polarität des Zündstromes, wobei eine erneute Aufzeichnung nicht erfolgt, da die Kennlinien im gezündeten Zustand identisch sind. Lediglich der nun erforderliche Zündstrom wird als zusätzliche Information angezeigt.

Wird auch das Verhalten bei umgekehrter Polarität von Anode und Katode gewünscht, so sind die beiden Meßleitungen zu vertauschen, und der Vorgang ist zu wiederholen. Auf dem PC-Bildschirm können somit aussagekräftige Eckdaten in Verbindung mit der Durchlaßkennlinie des Triacs abgelesen werden.

Nachdem wir uns ausführlich mit den wesentlichen diskreten Halbleiterbauelementen, deren Funktionsweise und Testmöglichkeiten befaßt haben, wollen wir im folgenden Kapitel auf die höchst einfache Bedienung des PC-Transistortesters PC-TT 90 eingehen.

Bedienung

Wie eingangs bereits erwähnt, ist die Bedienung des PC-TT 90 denkbar einfach, da der Testablauf in Verbindung mit der komfortablen Anwendersoftware weitgehend automatisch abläuft. Zunächst muß das Testgerät im PC installiert werden.

Hardware-Installation

Alle Hardware-Komponenten sind auf einer einzigen doppelseitigen, durchkontaktierten Leiterplatte untergebracht, die mit ihrer Kontakteiste in einen freien Slot des PCs eingesteckt wird. Grundsätzlich können alle Rechner des Typs IBM-PC-XT/AT und dazu Kompatible für den Betrieb mit dem PC-TT 90 eingesetzt werden, wobei natürlich ein AT, zudem mit Festplatte ausgerüstet, Vorteile bietet.

Die ca. 1 m langen Testleitungen werden auf der Geräterückseite herausgeführt und die an den Leitungsenden angeordneten Meß-Krokoklemmen gut zugänglich platziert, damit die Prüfobjekte (Transistoren, Dioden...) leicht angeklemt werden können.

Software-Installation

Die umfangreiche Anwendersoftware besteht aus mehreren Dateien und wird auf einer 5 1/4"-360 k-Standard-Diskette geliefert. Lauffähig sind die Programme auf allen Standardkarten, wie z. B. Hercules,

EGA oder VGA. Beim Start des Programms sucht die Software automatisch die installierte Karte heraus, so daß sich der Anwender darum nicht zu kümmern braucht.

In diesem Zusammenhang ist anzumerken, daß auch die Software des Transistortesters zusätzlich mit dem Verwaltungsmenü „ELV-DOSBATCH“ geliefert wird, d. h. die verschiedenen abgespeicherten Programme können durch Aufrufen des Menüs und Eingeben einer Ziffer auf höchst komfortable Weise gestartet werden, ohne daß weitere Prozeduren durchgeführt werden müssen.

Zunächst wird die Programmdiskette in Laufwerk A eingeschoben.

Steht keine Festplatte zur Verfügung oder soll ein Kopieren auf die Festplatte nicht erfolgen, wird jetzt das Verwaltungsmenü durch Eingeben der Tastenfolge <DOSBATCH> aufgerufen. Das Verwaltungsmenü startet und erscheint auf dem Bildschirm. Unter dem ersten Menüpunkt ist das Programm des Transistortesters hinterlegt. Durch Eingeben der Ziffer <1> und <RETURN> wird das Programm aufgerufen, und unmittelbar darauf bietet der PC-TT 90 dem Anwender seine Dienste an. Auf dem Bildschirm erscheint ein Menübalken, der die Eingabe verschiedener Eckdaten erlaubt. Hierzu mehr im weiteren Verlauf dieses Artikels unter dem Kapitel „Testablauf“.

Kommen wir jetzt noch zur Beschreibung der Installation auf der Festplatte.

Nach Einlegen der Programmdiskette in Laufwerk A wird die Tastenfolge <INSTALL> eingegeben und mit <RETURN> bestätigt. Danach sind nur noch die Fragen des Programms nach der Sprache (englisch, französisch, deutsch) und dem Unterverzeichnis zu beantworten. Werden die Defaultwerte bestätigt, legt das Programm auf der Festplatte C ein Unterverzeichnis „ELV“ an und richtet DOSBATCH dort ein. Auch alle anderen ELV-Programme werden in dieses Unterverzeichnis kopiert. Nach Abschluß dieser Prozedur erscheint das Menü DOSBATCH auf dem Bildschirm. Der weitere Ablauf erfolgt, wie vorstehend bereits beschrieben, durch Eingabe von <1> und <RETURN>, wodurch das Programm des Transistortesters aufgerufen wird.

Programmaufruf

Wurde die Anwendersoftware des Transistortesters in Verbindung mit dem Programm ELV-DOSBATCH in der vorstehend beschriebenen Weise auf die Festplatte C kopiert, ist der Start besonders einfach und läuft wie folgt ab:

Nach Einschalten des Rechners wird zunächst das Verwaltungsprogramm durch Eingabe <DOSBATCH> und <RETURN> aufgerufen. Es erscheint das Auswahlmenü auf dem Bildschirm. Unter dem ersten

Menüpunkt ist die Anwendersoftware des Transistortesters hinterlegt. Durch Eingabe von <1> und <RETURN> wird dieses Programm aufgerufen, das sich mit dem Erscheinen des Menübalkens für die Eingabe der verschiedenen Eckdaten meldet. Jetzt kann mit dem Test der diskreten Halbleiterbauelemente, wie im folgenden Kapitel näher beschrieben, begonnen werden.

Der Testvorgang

Nachdem das Programm aufgerufen wurde und sich mit dem Erscheinen des Menübalkens auf dem Bildschirm gemeldet hat, können die Dienste des PC-TT 90 in Anspruch genommen werden (Abbildung 17).

Der in der oberen Bildhälfte erscheinende Menübalken zeigt 10 verschiedene grundsätzliche Testmöglichkeiten an, beginnend mit dem Punkt 0, „NPN-Transistor“, bis hin zu Punkt 9, „Triac“. Die Auswahl kann entweder über die Cursortasten > und < erfolgen, bei Abschluß mit <RETURN>, oder durch direkte Anwahl mit Eingabe einer der Ziffern 0 bis 9 (ohne Abschluß mit <RETURN>). Unmittelbar darauf wird die betreffende Testfunktion farblich markiert (bei einem Farbbildschirm) oder durch Hinterlegung (bei einem monochromen Bildschirm).

Unterhalb des Menübalkens erscheint die Abfrage nach dem maximal zulässigen Stromfluß (bei Transistoren: I_c). Hier kann in 7 Bereichen von 10mA bis 1000 mA gewählt werden (10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000 mA). Die Auswahl erfolgt entweder über die Cursortasten ↑ und ↓ bei Abschluß mit <Return> oder durch direkte Eingabe der Auswahlziffer (ohne Abschluß

mit <Return>).

In der unteren Bildschirmhälfte erscheint nun eine Informationszeile, welche die Zuordnung der 3 Meßleitungen (Rot, Blau, Gelb) zu den Anschlüssen des zu testenden Halbleiters angibt. Bei einem NPN-Transistor würde folgende Zuordnung gelten:

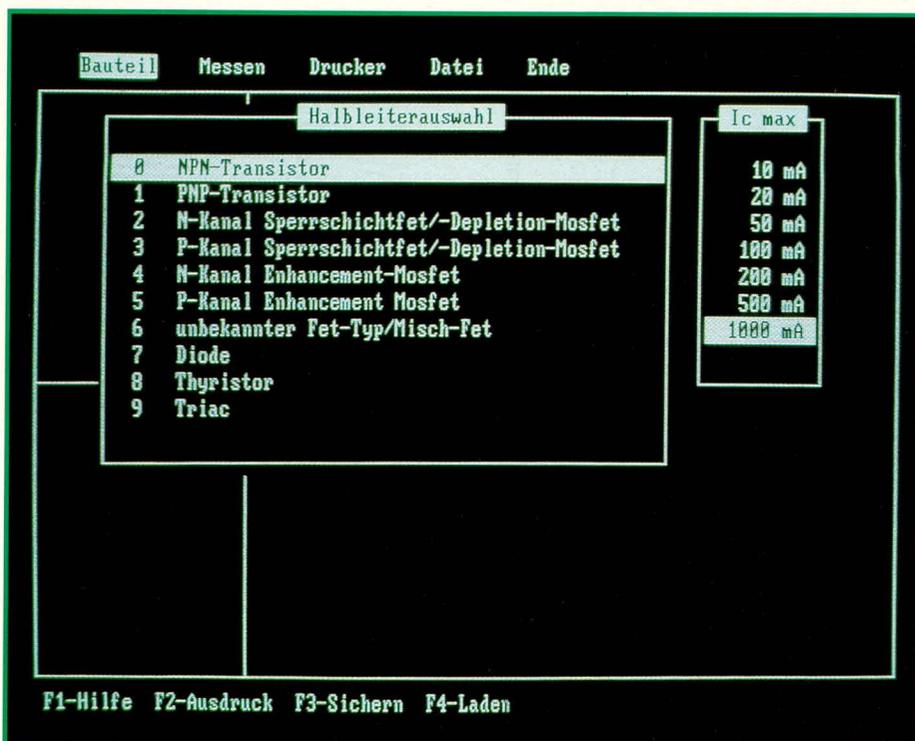
- Blau: Emitter
- Gelb: Basis
- Rot: Kollektor

Grundsätzlich steht an der roten Meßleitung eine positive Spannung gegenüber der blauen Meßleitung an, während die gelbe Zuleitung als Steuerleitung dient und verschiedene Polaritäten bei unterschiedlichen Bezugspunkten aufweisen kann. Dies wird jedoch grundsätzlich auf dem Bildschirm angezeigt.

Sobald das zu testende Bauteil (z. B. NPN-Transistor) entsprechend den Bildschirmvorgaben angeschlossen wurde, kann durch Betätigen der Leerschritt-Taste der Meßvorgang gestartet werden. Nach rund einer Sekunde erscheint dann das komplette Kennlinienfeld des zu prüfenden Transistors in optimierter Darstellung auf dem Bildschirm mit sämtlichen dazugehörigen relevanten Parametern.

Über die komfortable Ablaufsteuerung wird dabei vollautomatisch das optimale Koordinatenkreuz mit den Skalenfaktoren gewählt, werden die Basisströme zu dem jeweiligen Transistor unter Berücksichtigung des maximalen Kollektorstromes aus- gesucht usw. Der maximale Basisstrom ist auf 10 % vom zulässigen Kollektorstrom

Bild 17:
Bildschirmdarstellung des Auswahlmenüs zum PC-TT90



festgelegt und die Kollektor-Emitter-Spannung auf 20 V begrenzt. Sollen hier kleinere Werte vorgegeben werden, so ist vor dem Start des Meßvorgangs (durch Betätigung der Leerschritt-Taste) zunächst die Taste <RETURN> zu betätigen, und es wird ein Untermenü eingeblendet, das die Maximalwerte für Basisstrom und Kollektor-Emitter-Spannung abfragt. Dies wird jedoch nur in Ausnahmefällen erforderlich sein, wobei der anschließende Test auch hier mit der Leerschritt-Taste gestartet wird.

Auf dem Bildschirm erscheint eine Kennlinienschar, die aus bis zu 10 Einzelkennlinien besteht, wobei eine vollautomatische Optimierung der Kennlinienaufteilung in Verbindung mit Ansteuer-Basisströmen und maximalem Kollektorstrom erfolgt. Daraus ergibt sich, daß je nach Schwankung der Verstärkungsfaktoren einzelner Transistortypen grundsätzlich auch weniger Kennlinien dargestellt werden, nämlich dann, wenn z. B. der kleinste sinnvoll meßbare Kollektorstrom bei einem Basisstrom von 1 mA auftritt und der maximale Kollektorstrom bereits bei einem Steuerstrom von 6 mA erreicht wird. In diesem Fall wären lediglich sechs Kennlinien auf dem Bildschirm darstellbar (mit den Basisströmen 1, 2, 3, 4, 5, 6 mA als Parameter). Grundsätzlich können folgende Basisstromendwerte mit jeweils 10facher Unterteilung eingespeist werden:

10, 20, 50, 100, 200, 500 μ A sowie 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100 mA, d. h. der kleinste Bereich überstreicht 1 μ A, 2 μ A, 3 μ A, 4 μ A... bis 10 μ A, während der nächste Bereich bei 2 μ A beginnt und bei 20 μ A endet usw. .

Sobald ein Testablauf abgeschlossen wurde, kann die Kennlinienschar prinzipiell beliebig lange auf dem Bildschirm erhalten bleiben, ohne daß der Testhalbleiter angeschaltet bleiben muß. Soll die Messung wiederholt oder ein weiterer Halbleiter des gleichen Typs getestet werden, ist lediglich die Leerschritt-Taste erneut zu betätigen.

Der kürzestmögliche Abstand zwischen 2 Messungen beträgt hierbei 4 s. Bei Leistungshalbleitern ist zusätzlich darauf zu achten, daß bei Mehrfachmessungen keine Überhitzung des zu testenden Bauteils auftritt und im Bedarfsfall eine längere Pause von z. B. 10 s (oder mehr) einzulegen ist.

Soll ein anderer Halbleitertyp geprüft werden, d. h. sind andere Grundeinstell- daten erforderlich, ist die Taste <ESC> zu betätigen, womit das Hauptmenü auf dem Bildschirm erscheint, und in eingangs beschriebener Weise zu verfahren.

An allen wichtigen Stellen des Programms besteht die Möglichkeit, durch die Betätigung der Taste <F1> ein Hilfemenü auf den Bildschirm zu rufen. Hier sind zu den verschiedenen Schritten weitere Informa-

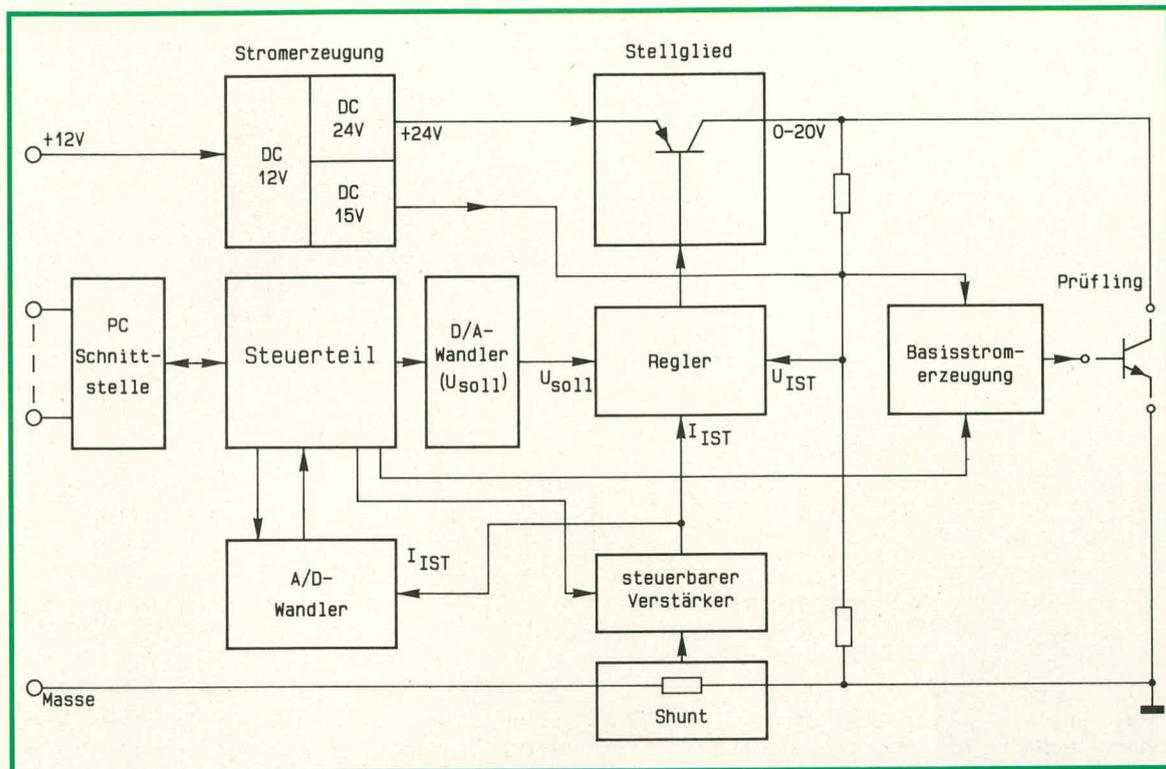


Bild 18:
Blockschaltbild
des Komfort-
Transistortesters
PC-TT 90

tionen hinterlegt, wodurch sich eine besonders komfortable und einfache Bedienung ergibt. Durch Betätigung der Taste <ESC> kehrt das Programm in den zuvor verlassen Status zurück.

Zum Verlassen des Programms wird die Taste <ESC> 2 x hintereinander betätigt, womit wir uns im Hauptmenü „DOS-BATCH“ befinden.

Bildschirmausdruck/Speicherung

Als besonderes Feature besteht die Möglichkeit, die auf dem Bildschirm angezeigten Kennlinien auf einem Epson-Standard-Matrix-Drucker auszugeben. Hierzu ist lediglich die Taste <F2> zu betätigen.

In manchen Fällen kann es sinnvoll sein, eine vorliegende Kennlinie auf Diskette abzuspeichern. Hierzu wird die Taste <F3> betätigt, und auf dem Bildschirm erscheint die Anfrage nach dem gewünschten Dateinamen, unter dem diese Kennlinien abgespeichert werden sollen. Ist die Eingabe erfolgt und mit <RETURN> abgeschlossen, erfolgt die Abspeicherung des Bildschirm-inhaltes.

Ein späteres Lesen der betreffenden Datei erfolgt durch Betätigung der Taste <F4>, und auf dem Bildschirm erscheint wiederum die Frage nach dem Dateinamen. Sobald dieser erfaßt und mit <RETURN> abgeschlossen wurde, erscheint die zuvor abgespeicherte Datei auf dem Bildschirm.

I/O-Basisadresse

Standardmäßig ist die I/O-Basisadresse für den PC-TT 90 auf 300 H festgelegt. Soll die PC-Einsteckkarte in einem anderen Bereich angesprochen werden, so ist

das Programm mit <TRTEST Adresse> und <CR> aufzurufen. Die Adresse ist hier in hexadezimaler Form einzugeben, wobei die betreffende Änderung auf der PC-Karte selbst hardwaremäßig über die Codierbrücken erfolgen muß. Näheres dazu ist unter der Datei <README> hinterlegt.

Das Blockschaltbild

Abbildung 18 zeigt das Blockschaltbild der Hardware des PC-Transistortesters PC-TT 90.

Zunächst wird aus der positiven 12 V-Versorgungsspannung des PC-Netzteils mit Hilfe eines Schaltreglers die Haupt-Versorgungsspannung des Transistortesters von 24 V gewonnen, deren Belastbarkeit ca. 1,2 A beträgt. Es schließt sich ein Stellglied in Form eines Längstransistors an, das, gesteuert von einem Regler, daraus die Kollektor-Emitter-Spannung der Prüflinge von 0 bis 20 V generiert. Die Ist-Spannung wird über den Spannungsteiler dem Regler zugeführt, während die Soll-Spannung von einem D/A-Wandler kommt, der seine digitale Steuerinformation über PC-Slot-Schnittstelle und Steuerteil direkt vom PC erhält. Auf diese Weise kann vom PC vorgegeben die Kollektor-Emitter-Spannung für die verschiedenen Testabläufe exakt den jeweiligen Erfordernissen entsprechend hochgefahren werden.

Der Kollektorstrom wird über einen Shunt-Widerstand erfaßt, verstärkt und dem A/D-Wandler zugeführt, der in Verbindung mit dem Steuerteil seine Informationen an den PC weitergibt. Es steht somit die Information „Kollektor-Emitter-Spannung“ in

Verbindung mit dem Kollektorstrom an jedem beliebigen Punkt der Kennlinie zur Verfügung.

Der für die Spannungseinstellung zuständige Regler besitzt neben seiner Aufgabe der Spannungsteuerung und -regelung zusätzlich die Funktion der Überstromabschaltung. Sobald die Information des Sollstromes I_{IST} einen bestimmten Wert überschreitet, wird das Stellglied der Endstufe gesperrt, d.h. die Abschaltung erfolgt hardwaremäßig extrem schnell, so daß angeschlossene Prüflinge normalerweise keinen Schaden nehmen können. Bei welchem Strom die Abschaltung erfolgt, wird über den Steuerteil in Verbindung mit dem steuerbaren Verstärker, welcher der Stromerfassung nachgeschaltet ist, festgelegt.

Was jetzt noch fehlt, ist die Basisstromerzeugung. Hierzu besitzt der integrierte Schaltregler eine separate, galvanisch getrennte Wicklung, die in Verbindung mit der nachgeschalteten Regelelektronik eine potentialfreie 15 V-Betriebsspannung erzeugt. Diese Spannung wird dem Schaltungsteil der Basisstromerzeugung zugeführt, indem die zusätzlichen vom Steuerteil kommenden Informationen verarbeitet und in die betreffenden Basis-Steuerströme umgesetzt werden.

Alles in allem findet die recht übersichtliche Gesamtschaltung auf einer einzigen doppelseitigen, durchkontaktierten Platine Platz, die in einen Slot des PCs eingesteckt wird.

In der kommenden Ausgabe des ELV journal stellen wir Ihnen die detaillierte Schaltung, gefolgt von Nachbau und Inbetriebnahme, ausführlich vor.