



Technologie der Leistungselektronik

Heft 5

**Meßtechnik für leistungs-
elektronische Bauelemente
(Transistoren und Gleichrichterioden)**

Technologie der Leistungselektronik

Allgemeingültige Arbeitsunterlage für wissenschaftlich-technische Mitarbeiter im VEB MLS

H e f t 5

Messtechnik für leistungselektronische Bauelemente
(Transistoren und Gleichrichterdiolen)

Autoren:

Dipl.-Ing. Joachim Henning

Herausgegeben von:

Kammer der Technik

Betriebssektion

VEB Mikroelektronik "Karl Liebknecht" Stahnsdorf

Redaktion: Kommission für Weiterbildung der KDT-BS

Umschlag: Uwe Reuter

Druck:

Reg.-Nr.

1986

Nachdruck, auch auszugsweise nur mit Genehmigung des Herausgebers!

Alleinvertrieb: KDT-Betriebssektion im VEB MLS



Inhaltsverzeichnis	Seite
1. Aufgaben der Meßtechnik	1
2. Standardisierung	2
3. Kennwerte und Meßverfahren	3
3.1. Durchlaßeigenschaften	3
3.2. Sperreigenschaften	5
3.2.1. Statisches Sperrverhalten	5
3.2.2. Lawinenverhalten von Dioden	8
3.2.3. Spannungsfestigkeit von Transistoren	8
3.3. Steuerungseigenschaften	13
3.4. Schaltzeiten	16
3.4.1. Dioden	16
3.4.2. Transistoren	19
3.5. Thermisches Verhalten	22
3.5.1. Meßverfahren innerer Wärmewiderstand	23
3.5.2. Rationelles thermisches Prüfverfahren	25
3.6. Dynamische Kleinsignal-Kennwerte	26
3.6.1. Transitfrequenz	26
3.6.2. Kollektorkapazität	27
4. Prüftechnologie und Qualitätssicherung	28
4.1. Scheibenmessung	30
4.1.1. Chipmessung	30
4.1.2. Testfeldmessung	34
4.2. Zwischenmessung	35
4.3. Endmessung	35
4.4. Prüfungen zur Qualitätskontrolle (TKO)	38
5. Meßtechnische Geräte und Ausrüstungen	42
5.1. Handhabungseinrichtungen	42
5.2. Meßeinrichtungen	48
5.3. Informationsverarbeitung und Ausgabeeinrichtungen	52
5.4. Meßautomaten	56

1. Aufgaben der Meßtechnik

Der effektive Einsatz leistungselektronischer Bauelemente zum Stellen, Regeln und Steuern elektrischer Energie erfordert die optimale Ausnutzung ihrer elektrischen Leistungsfähigkeit. Dazu müssen die elektrischen Eigenschaften festgelegt und bekannt sein. Die vorrangige Aufgabe der Meßtechnik beim Bauelemente-Hersteller besteht deshalb darin, die elektrischen Kennwerte der Erzeugnisse zu messen und damit die Auslieferung datenhaltiger Bauelemente zu garantieren.

Die Meß- und Prüfprozesse haben somit eine qualitätssichernde Funktion. Diese besteht nicht nur in der Aussortierung unbrauchbarer Bauelemente, sondern auch darin, die in der Produktion anfallenden Meß- und Prüfergebnisse zielgerichtet für die Kontrolle der Fertigungsprozesse und deren Korrektur einzusetzen.

Insbesondere in der Massenproduktion gewinnt die Automatisierung der Meß- und Handhabungsvorgänge erhebliche ökonomische Bedeutung. Der Selbstkostensenkung beim Hersteller dienen auch jene Zielstellungen, die auf die Optisierung der Prüftechnologie und die Reduzierung der Prüfarbeitsgänge bei uneingeschränkter Qualitätssicherung gerichtet sind.

Die umfangreichen Prüf- und Meßprozesse zur Vorbereitung, Durchführung und Kontrolle der Bauelemente-Produktion erfordern speziell angepasste Meßverfahren und leistungsfähige Meßeinrichtungen, die dem Leistungsbereich und den besonderen Einsatzbedingungen der leistungselektronischen Bauelemente gerecht werden.

2. Standardisierung

Die Beschreibung der elektrischen Eigenschaften der Bauelemente setzt voraus, daß die bei der Messung angewendeten Einstellbedingungen, Meßverfahren und Prüfmethoden allgemeingültig vereinbart werden.

Den wesentlichen Informationsträger für die Eigenschaften und Qualitätsmerkmale der Bauelemente stellt der Erzeugnisstandard dar. In ihm sind die elektrischen Eigenschaften eines Bauelemente-Typs als Hauptkennwerte, Nebenkennwerte und Grenzwerte angegeben. Die Festlegungen des Erzeugnisstandards sind die rechtsverbindlichen Lieferbedingungen, deren Einhaltung der Bauelement-Hersteller mittels seiner in den Produktionsprozeß eingeordneten Prüf- und Meßprozesse sichert. Darüber hinaus dienen die vom Hersteller

herausgegebenen Informationsblätter zur näheren Beschreibung typischer Abhängigkeiten und Verläufe der elektrischen und thermischen Eigenschaften.

Die Vergleichbarkeit der Meßergebnisse erfordert außer der Festlegung der elektrischen und thermischen Meß- und Einstellbedingungen im Erzeugnisstandard auch die Anwendung einheitlicher Meßverfahren. In Meßverfahren-Standards /1/, /2/ sind dazu für die wesentlichen Kennwerte prinzipielle Meßschaltungen und Verfahrensweisen zur Meßdurchführung vorgeschrieben.

Die verbindlichen Vorschriften für die Durchführung der Prüfvorgänge zur Qualitätssicherung der ausgelieferten Erzeugnisse sind in den Standards "Allgemeine Technische Bedingungen" enthalten /3/, /4/. Diese Prüfungen sind durch die Kontrollorganisation TKO durchzuführen. Die elektrischen Kennwerte werden dabei zusätzlich als Beurteilungskriterium für das Ergebnis von mechanischen, klimatischen, thermischen und Zuverlässigkeitsprüfungen herangezogen.

Die nationalen Standards (TGL) befinden sich weitestgehend in Übereinstimmung mit entsprechenden internationalen Standardwerken (RGW-Standards, IEC-Festlegungen, DIN-Normen).

3. Kennwerte und Meßverfahren

Die leistungselektronischen Halbleiterbauelemente werden aus Gründen des Wirkungsgrades überwiegend als Schalter eingesetzt. Die elektrischen Kennwerte haben deshalb insbesondere die Eigenschaften der Bauelemente im Schalterbetrieb zu beschreiben.

Zur Darstellung des elektrischen Verhaltens werden vier Gruppen von Kennwerten nach den wesentlichen Schalter-Eigenschaften unterschieden:

- stationärer Ein- bzw. Ausschaltzustand (Durchlaß- und Sperrzustand)
- Steuerungseigenschaften
- dynamisches Verhalten (Schaltzeiten, Kurzzeit-Belastbarkeit)
- thermisches Verhalten.

Die in den Meßverfahrenstandards prinzipiell festgelegten Methoden bedürfen beim praktischen Einsatz jeweils einer speziellen technischen Anpassung unter Berücksichtigung der besonderen Erfordernisse der Bauelemente der Leistungselektronik, der Automatisierung der Meßprozesse sowie spezieller Anwendungsbedingungen der Bauelemente.

3.1. Durchlaßeigenschaften

Die im stationär eingeschalteten Betriebszustand auftretende Verlustleistung hängt direkt von dem dabei vorhandenen Restspannungsabfall über dem Bauelement ab. Die Durchlaßspannung U_F von Dioden und die Kollektor-Emitter-Sättigungsspannung U_{CEsat} von Transistoren werden deshalb bei einem für das Bauelement typischen Nennstrom (Dioden: mittlerer Durchlaßstrom $I_{F(AV)}$; Transistoren: Kollektor-Sättigungsstrom I_{Csat}) hinsichtlich der Einhaltung eines oberen Grenzwertes geprüft.

Bei Transistoren ist die Bestimmung der Restspannungen an den Sättigungszustand geknüpft, der definitiv durch die Bedingung $U_{CB} = 0$ festgelegt ist.

In der Meßpraxis wird der Sättigungsbereich durch Übersteuerung erreicht. Dazu werden dem Transistor Kollektor- und Basisströme in einem Verhältnis aufgeprägt, das um den Übersteuerungsfaktor m kleiner ist als das Kollektor-Basis-Stromverhältnis h_{21E} im aktiven Bereich bei gleichem Kollektorstrom.

$$\frac{I_C}{I_B} = \frac{1}{m} \cdot h_{21E} \quad (1)$$

Die Meßbedingungen werden so gewählt, daß für alle zu prüfenden Transistoren $m > 1$ ist, so daß mit Sicherheit im Sättigungsbereich gemessen wird.

Außer dem für den Laststromkreis relevanten Kennwert U_{CEsat} wird zu Orientierungszwecken auch die Basis-Emitter-Sättigungsspannung U_{BEsat} unter gleichen Strombedingungen gemessen. Da die Restspannungen temperaturabhängig sind, muß zur Gewinnung reproduzierbarer Meßergebnisse unter definierten Bedingungen für die Umgebungstemperatur und die Belastungsdauer gemessen werden.

Bei Belastungszeiten von 0,3 - 1 ms betragen die Sperrschicht-Temperaturerhöhungen in leistungselektronischen Bauelementen während der Durchlaßmessung einige Grad.

Die Meßverfahren für die Bestimmung der Durchlaßkennwerte beruhen generell darauf, daß mittels Konstantstromquellen die entsprechenden Ströme eingeprägt und die dazu gehörigen Spannungen gemessen werden. In Abb. 3.1. ist dieses Verfahren für die Messung der Sättigungsspannungen dargestellt.

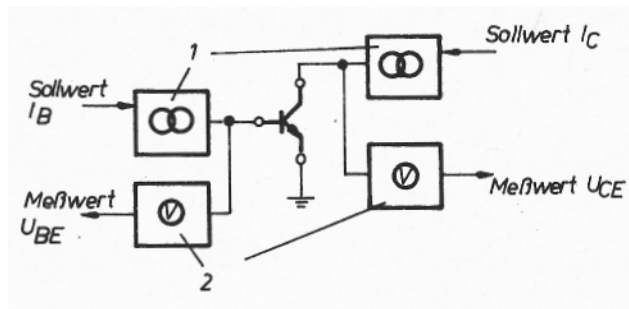


Abb. 3•1. Meßprinzip für Sättigungsspannungen

1 – Stromquellen, 2 - Impulsspannungsmeßeinrichtungen

An Gleichrichterdioden werden zusätzlich Belastungsprüfungen mit Stoßstrom I_{FSM} durchgeführt. Dabei werden dem Prüfling Einzelhalbwellen der Netzfrequenz mit einem Vielfachen des maximal zulässigen periodischen Spitzenstromes aufgeprägt.

Das Ergebnis der Belastung wird durch Kontrolle anderer Kennwerte, z. B. der Sperrwerte vor und nach der Belastung beurteilt.

3.2. Sperreigenschaften

3.2.1. Statisches Sperrverhalten

Die sperrseitige Spannungsbelastung der Bauelemente ist durch die Durchbruchspannung begrenzt, bei der der Sperrstrom durch Ladungsträgermultiplikation lawinenartig ansteigt (Lawinendurchbruch, erster Durchbruch).

Zur Kennzeichnung der Sperreigenschaften und der maximalen Sperrbelastbarkeit gibt der Hersteller Wertepaare von Sperrspannung und Sperrstrom an, bei denen die Bauelemente noch nicht in den Durchbruch gelangen. Bei typbestimmenden Sperrspannungswerten garantiert der Hersteller die Einhaltung eines oberen Sperrstromwertes bei definierter Sperrschichttemperatur (25 °C und/oder maximal zulässige Sperrschichttemperatur).

Die generelle Methodik der Fertigungsprüfung zur Bestimmung der Sperreigenschaften bedient sich folgender Schritte (Abb. 3.2.):

- Messung der Durchbruchspannung,
- Eingruppierung der Bauelemente in eine von mehreren möglichen Sperrspannungsklassen (Klassierung, Typisierung),
- Kontrollmessung des Sperrstromes bei der Klassenspannung.

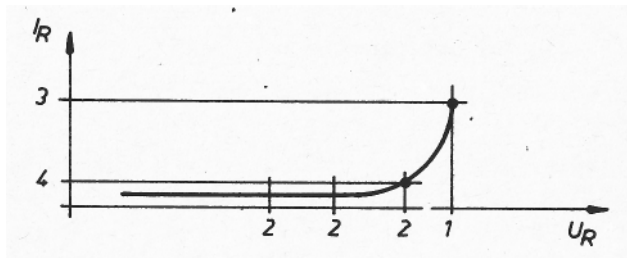


Abb. 3.2. Prinzip der Sperrklassierung

- 1 – Durchbruchspannung, 2 - Klassenspannung
- 3 - Sperrstrom zur Bestimmung der Durchbruchspannung
- 4 - Sperrstrom bei der Klassenspannung

Die elektrischen Meßverfahren zur Bestimmung von Durchbruchspannung und Sperrstrom sind für Dioden und Transistoren prinzipiell gleich.

Die Meßschaltungen (Abb. 3.3.) enthalten außer den Quellen für Strom oder Spannung und den Meßwandlern jeweils auch schnell ansprechende Begrenzerschaltungen für Strom oder Spannung, um die Prüflinge vor Überlastung oder Zerstörung zu schützen.

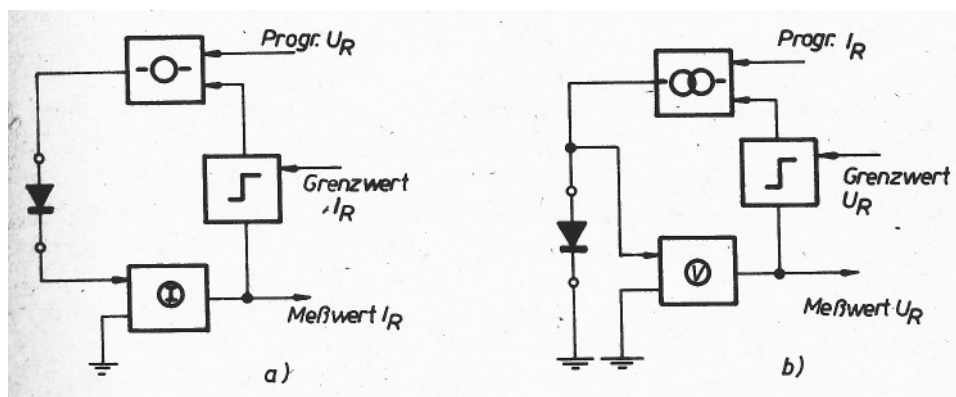


Abb. 3.3. Meßschaltungen für Sperrkenngrößen

- a) Sperrstrom
- b) Durchbruchspannung

Die Meßzeiten betragen im Automatenbetrieb mehrere Millisekunden. Die untere Zeitgrenze ist im Normalfall durch die Einschwingzeiten der elektronischen Einrichtungen vorgegeben. Bei extrem niedrigen Sperrströmen wird die Meßdauer durch die Aufladung der Sperrschichtkapazität des Prüflinge bestimmt. Die Prüfung der Sperreigenschaften bei erhöhter oder maximaler Sperrschichttemperatur erfordert erheblichen technischen und technologischen Aufwand. In technologisch vertretbaren Fällen wird in der Produktion von der generellen Warm-Prüfung Abstand genommen und unter Beachtung der Temperaturabhängigkeit des Sperrstromes nur bei Raumtemperatur geprüft.

3.2.2. Lawinenverhalten von Dioden

Speziell konstruierte Dioden sind im Durchbruchgebiet hoch belastbar. Derartige Lawinendioden werden mit kurzzeitigen Sperrimpulsen im Bereich mehrerer zehn Kilowatt geprüft. Der Grenzwert der periodischen Sperrverlustleistung P_{RRM} wird dabei durch zerstörende Prüfungen ermittelt. In der Serienprüfung der Produktion werden Prüfungen mit definierter Verlustleistung durchgeführt, wobei eine Sperrstrommessung nach der Belastung als Indikator für den Belastungsvorgang genutzt wird.

3.2.3. Spannungsfestigkeit von Transistoren

Die Sperreigenschaften der Kollektor-Basis-Strecke und der Kollektor-Emitter-Strecke von Transistoren sind abhängig von den elektrischen Bedingungen zwischen Basis und Emitter. Zur Kennzeichnung des Sperrverhaltens werden im wesentlichen folgende Kennwerte angewendet:

Durchbruchspannung/Reststrom	Bedingung
$U_{(BR)CBO}/I_{CBO}$	$I_E = 0$
$U_{(BR)CEO}/I_{CEO}$	$I_B = 0$
$U_{(BR)CES}/I_{CES}$	$U_{BE} = 0$
$U_{(BR)CER}/I_{CER}$	$R_{BE} \neq 0$
$U_{(BR)CEX}/I_{CEX}$	$U_{BE} < 0$

Die U_{CE} -Kennlinien weisen im Durchbruch einen Rückgang der Spannung (negativer Kennlinienverlauf) auf. Es ist deshalb zwischen der Durchbruchspannung bei kleinen und großen Strömen zu unterscheiden. Letztere wird auch als Haltespannung U_{CEaus} bezeichnet. Der bei der Prüfung erreichte Arbeitspunkt liegt außerhalb des für den statischen Betrieb zulässigen Kennlinienbereiches, so daß die Prüfung mit Impulsmethoden ($t_p = 50 \dots 200 \mu s$) durchzuführen ist.

Das allgemeine Prüfverfahren ist in Abb. 3.4. dargestellt.

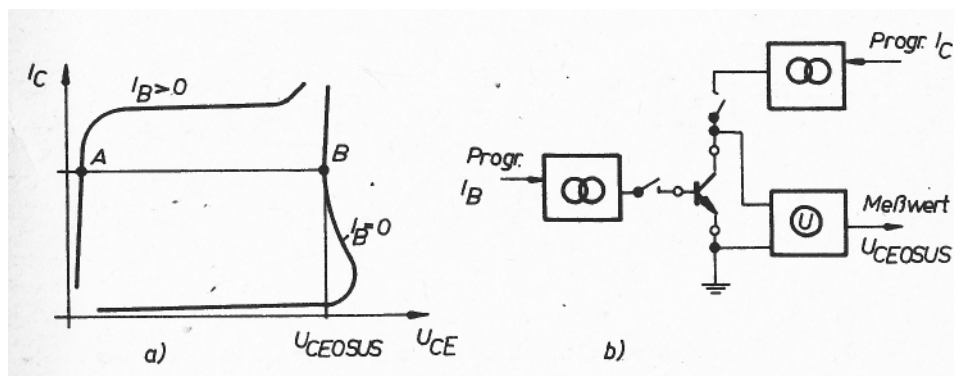


Abb. 3.4. Meßverfahren $U_{(BR)CEO}$ bei hohem Kollektorstrom

a) Meßablauf

b) Meßschaltung

Durch Einschalten der Konstantstromquellen für I_B und I_C stellt sich auf der Kennlinie für den programmierten Basisstrom der Arbeitspunkt A ein. Nach Abschalten der Basisstromquelle wird entlang der Kollektorstromgeraden der Arbeitspunkt B auf der Kennlinie für $I_B = 0$ erreicht. Die dabei mittels einer Impulsmeßeinrichtung (sample/hold-Schaltung) bestimmte Spannung ist die Haltespannung U_{CEOaus} .

In Serienprüfungen der Produktion ist es nicht immer notwendig, den exakten

Durchbruchwert zu erfassen. In diesem Fall wird eine Spannungsbegrenzung vorgesehen und nur deren Unterschreitung als Fehler angezeigt. Eine vielfach angewendete Meßmethode kann als Variante der grundsätzlichen Methodik betrachtet werden (Abb. 3.5.).

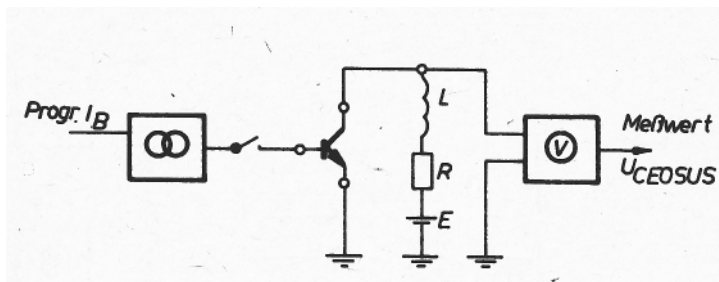


Abb. 3.5. $U_{(BR)CEO}$ -Meßverfahren mit induktivem Kollektorkreis

Hierbei bedient man sich an Stelle der schaltbaren Kollektorstromquelle mit hohem Spannungsvorrat eines Kollektorkreises aus Niederspannungsquelle E, Induktivität L und Strombegrenzungswiderstand R.

Der Spannungssprung A-B (Abb. 3.4. a) wird durch die Induktionsspannung beim Abschalten der Basisstromquelle erreicht.

Hohe elektrische Belastungen der Kollektor-Emitter-Strecke führen zum zweiten Durchbruch, der dadurch gekennzeichnet ist, daß die Kollektorspannung mit hoher Geschwindigkeit und irreversibel auf einen kleinen Wert zusammenbricht. Ursache für den zweiten Durchbruch sind hauptsächlich Heißfleckbildungen infolge von Stromeinschnüreffekten. Die thermische Trägheit des Transistorelementes bewirkt, daß der Einsatzpunkt des zweiten Durchbruchs sich zu höheren Leistungen verschiebt, wenn die Impulsbreite verringert wird.

Für den sicheren Arbeitsbereich im U_{CE}/I_C -Ausgangskennlinienfeld werden Grenzklinien angegeben, die den vom zweiten Durchbruch ungefährdeten Bereich einschließen /5/ (Abb. 3.6.).

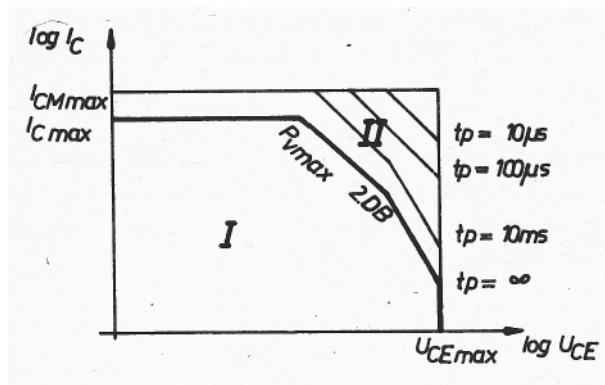


Abb. 3.6. Sicherer Arbeitsbereich

I Gleichstrombetrieb

II Impulsbetrieb

Zur Ermittlung der Grenzlinien und zur Kontrolle der produzierten Bauelemente sind Messungen und Prüfungen im durchbruchgefährdeten Arbeitsbereich II erforderlich. Die dazu notwendigen Meßeinrichtungen müssen außer der definierten Impulsbelastung auch den Schutz der Prüflinge vor Zerstörung realisieren. Da der zweite Durchbruch außerordentlich rasch abläuft, sind für die Erkennung des Einsatzbeginns des zweiten Durchbruchs sowie für die Abschaltung der belastenden Energie sehr schnell reagierende elektronische Einrichtungen notwendig /7/, /8/, /9/.

Zur Anzeige des beginnenden Durchbruchs (Heißfleckbildung) können temperaturabhängige Größen, wie die Basis-Emitter-Spannung, die Stromverstärkung, die Kollektor-Emitter-Spannung herangezogen werden /6/.

Entsprechend dem Einsatzzweck der Leistungstransistoren ist zu unterscheiden zwischen dem zweiten Durchbruch bei positiver Basisansteuerung (FBSOA = forward biased safety operating area) und bei gesperrter Basis-Emitter-Strecke (RBSOA = reverse biased safety operating area).

In einer Prüfschaltung für den thermischen Durchbruch mit positiver Basisansteuerung (Abb. 3.7.) wird der beginnende Durchbruch durch Messung des Emitterstromes erkannt und zur Abschaltung der Kollektorspannungsquelle benutzt.

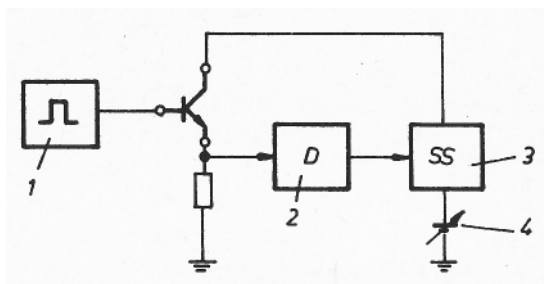


Abb. 3.7. Prinzip der Durchbruchprüfung mit positiver Basisansteuerung

1 Basis-Impulsgenerator, 2 Durchbruchdetektor, 3 Schutzschaltung,
4 Kollektorspannungsquelle

Bei der Prüfung mit gesperrter Basis (Abb. 3.8.) wird der Prüfling zunächst in die Sättigung und danach in den Sperrzustand gesteuert. Dabei entlädt sich die in der Induktivität L gespeicherte Energie durch den Transistor, wobei die Spannung entweder durch die Durchbruchspannung $U_{(BR)CEX}$ des Prüflings oder durch die Klemmspannung U_K begrenzt wird. Die Schutzschaltung reagiert auf einen schnellen Abfall der Kollektorspannung und übernimmt im zweiten Durchbruch die Energie der Spule.

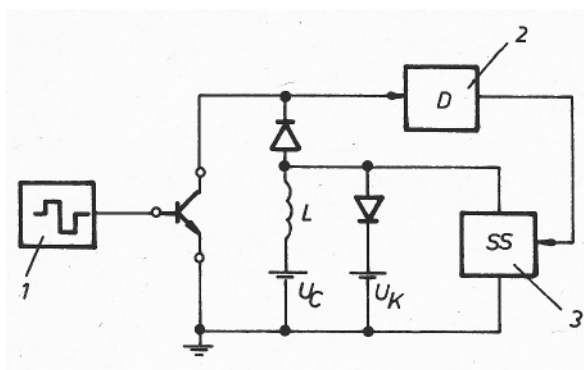


Abb. 3.8. Durchbruchprüfung mit gesperrter Basis

1 Basis-Impulsgenerator, 2 Durchbruchdetektor, 3 Schutzschaltung

3.3. Steuerungskenngrößen

Die Steuerungseigenschaften bipolarer Transistoren werden durch Basis-Emitter-Kennwerte beschrieben. Zu prüfen sind hauptsächlich die Durchbruchspannung der Basis-Emitter-Sperrschicht U_{EB0} , die Basis-Emitter-Sättigungsspannung U_{BEsat} und der zum Einschalten benötigte Basisstrom I_B .

Das Verhältnis von Kollektorstrom zu Basisstrom h_{21E} gibt insbesondere dem Hersteller Aufschluß über technologische Verfahrensschritte. Es wird deshalb bei unterschiedlichen Arbeitspunkten geprüft.

Das h_{21E} -Meßverfahren hat die Einhaltung der Arbeitspunkt-Parameter U_{CE} und I_C zu sichern und den dabei fließenden Basisstrom zu messen. Zur Realisierung des Verfahrens ist ein Regelkreis entsprechend Abb. 3.9. erforderlich.

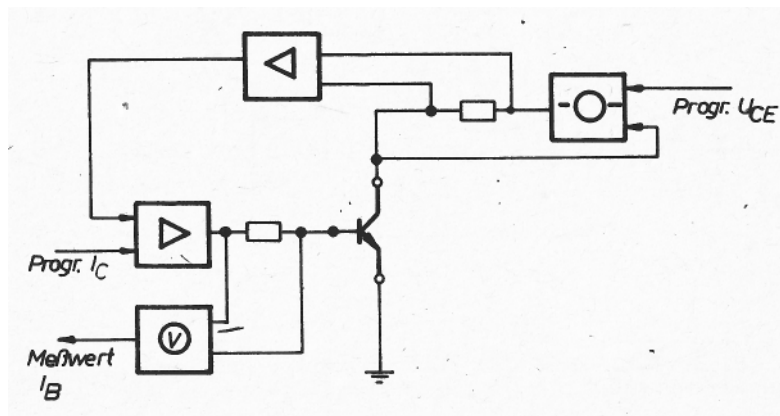


Abb. 3.9. h_{21E} -Meßverfahren

Darin wird die Kollektor-Emitter-Spannung auf einen Sollwert konstant gehalten und der Kollektorstrom über die Basis des Prüflings auf den Sollwert geregelt. Der Meßwert des Basisstromes kann direkt als Maß des h_{21E} bewertet oder durch eine Division mit dem Kollektorstrom-Sollwert errechnet werden.

$$h_{21E} = I_C / I_B \quad U_{CE} = \text{const.} \quad (2)$$

Dieses Meßprinzip ermöglicht die Bestimmung des Meßwertes in einem einzigen Prüfschritt. Die technische Ausführung des Regelungskreises ist jedoch kompliziert, da die Übertragungseigenschaften des Prüflings die Regelungsvorgänge beeinflussen. Universelle und automatische Prüfeinrichtungen führen lediglich Gut/Schlecht-Tests aus.

Die Abb. 3.10. stellt eine derartige Testmethode dar, bei der konstante Ströme in den Kollektor und in die Basis eingepreßt werden.

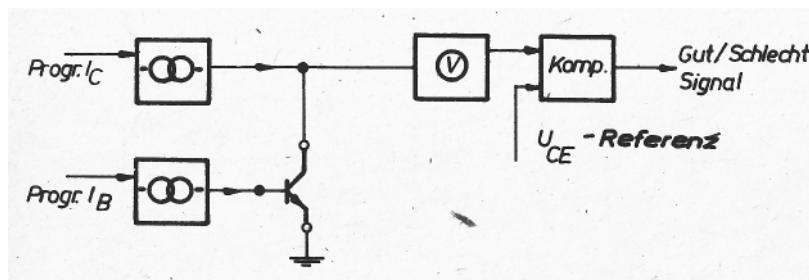


Abb. 3.10. Testschaltung für h_{21E}

Dabei stellt sich entsprechend der realen Stromverstärkung des Prüflings eine Kollektor-Emitter-Spannung ein, die zwischen der Sättigungsspannung und der Leerlaufspannung der Kollektorstromquelle liegen kann. Im Vergleich mit einem Sollwert entscheidet ein Komparator, ob das Stromverhältnis des Prüflings größer oder kleiner als das eingepreßte Stromverhältnis I_C/I_B ist. Ein derartiger Gut/Schlecht-Test reicht in vielen Fällen für Prüfprozesse in der Produktion aus.

Rechnergestützte Testeinrichtungen ermitteln den exakten h_{21E} -Wert durch rechnerische Annäherung innerhalb mehrerer Tests, wobei die Basisstromwerte in jedem Test programmgesteuert so lange verändert werden, bis der Meßwert der Kollektor-Emitter-Spannung dem Sollwert genau genug angenähert worden ist.

3.4. Schaltzeiten

Die elektrischen Verluste beim Umschalten vom Durchlaß- in den Sperrzustand und umgekehrt werden wesentlich durch die dabei erreichbare Schaltgeschwindigkeit bestimmt. Ladungsträger-Trägheitsmechanismen in den Halbleiter-Bauelementen setzen der Schaltgeschwindigkeit physikalische und konstruktionsbedingte Grenzen.

Die Schaltzeiten stellen die Kenngrößen für die dynamischen Bauelementeigenschaften dar.

3.4.1. Dioden

Die Schaltzeiten charakterisieren jeweils die Zeit, in welcher die Diode ihren stationären Durchlaß- oder Sperrzustand erreicht hat. Für das Umschalten in den Sperrzustand ist die Sperrerholungszeit t_{rr} definieren, t (Abb. 3.11.).

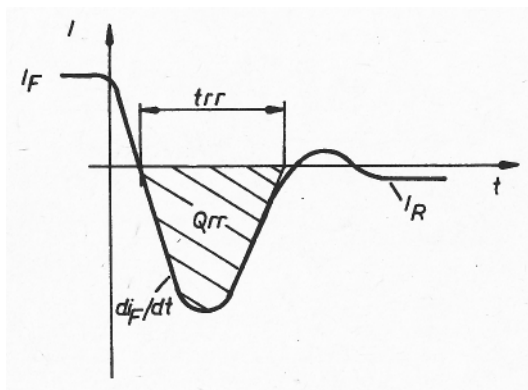


Abb. 3.11. Definition von Sperrerholungszeit und Sperrerholladung

Bei der Kommutierung von einem Durchlaßstrom I_F auf die Sperrspannung U_R tritt eine Stromspitze in Sperrrichtung auf, deren Höhe von der im Bauelement gespeicherten Ladung und der Steilheit des abkommutierenden Stromes di_F/dt abhängt. Der Tangentenschnittpunkt mit der Abszisse als t_{rr} -Definitionspunkt ist nur bei oszilloskopischen Messungen anwendbar. Bei automatischen Messungen muß ein vereinbarter Wert auf der abklingenden Sperrstromkurve als Bewertungspunkt angewendet werden. Die Fläche

unter der Sperrstromkurve wird als Sperrerholladung Q_{rr} bezeichnet.

$$Q_{rr} = \int_0^{t_{rr}} i_R dt \quad (3)$$

Das Meßprinzip nach Abb. 3.12. verwendet zum Zuschalten der Sperrspannungsquelle einen Leistungs-Feldeffekttransistor. Dieses Schalter-Bauelement bietet außer einer hohen Schaltgeschwindigkeit die Möglichkeit, die Stromsteilheit di_F/dt in einfacher Weise einzustellen, indem die Gatekapazität des Transistors durch den Steuerstrom linear aufgeladen wird.

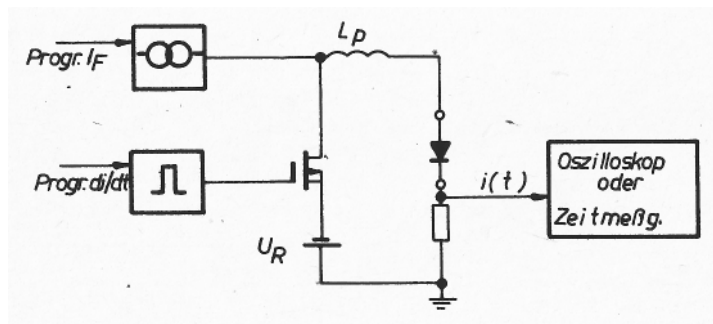


Abb. 3.12. Meßprinzip Sperrerholungszeit

Die induktiven Komponenten des zu prüfenden Bauelementes und des Meßstromkreises bilden zusammen mit parasitären Kapazitäten ein schwingungsfähiges Gebilde, so daß der Sperrstrom oszillierend oder überschwingend auf den stationären Wert abklingt. Um vergleichbare Meßergebnisse zu erhalten, ist es sinnvoll, die Induktivität L_p des Meßkreises auf einen definierten Wert festzulegen und mit den Meßbedingungen anzugeben /10/.

Die Auswertung der Stromfunktion $i(t)$ erfolgt mittels Oszillografen oder in automatischen Prüfeinrichtungen durch Kurzzeitmeßgeräte.

Das Einschalten einer Diode in den Durchlaßzustand ist mit einer Überhöhung der Durchlaßspannung verbunden, wenn mit rasch ansteigendem Strom geschaltet wird. Die Definition des Kennwertes Durchlaßerholungszeit t_{rr} ist in Abb. 3.13a. dargestellt. Die Anstiegsgeschwindigkeit di_F/dt und die Höhe des Durchlaßstromes sind neben der Sperrschichttemperatur die bestimmenden Meßbedingungen.

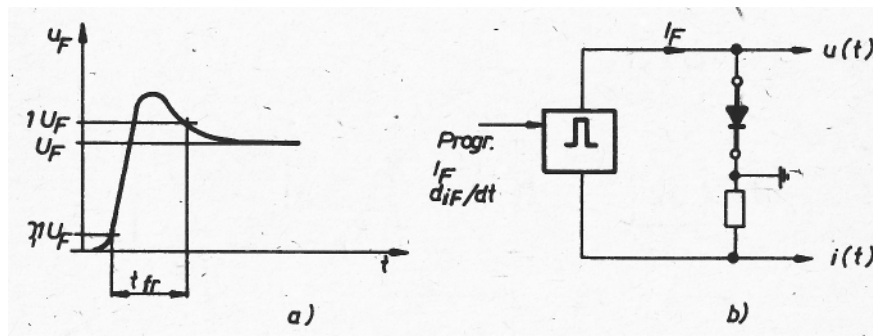


Abb. 3.13. Durchlaßerholungszeit

a) Verlauf von Strom und Spannung.

b) Meßschaltung

Für die Meßschaltung (Abb. 3.13b.) gelten insbesondere hinsichtlich der induktiven Schaltungskomponenten ähnliche Bedingungen wie bei der Messung der Sperrerrholungszeit.

3.4.2. Transistoren

Zur Charakterisierung des Schaltverhaltens wird der Verlauf des Kollektorstromes und/oder der Kollektorspannung in bezug auf einen schaltenden Basisstromimpuls bewertet. Die Definition der Schaltzeiten und des Standard-Meßverfahrens zeigt Abb. 3.14.

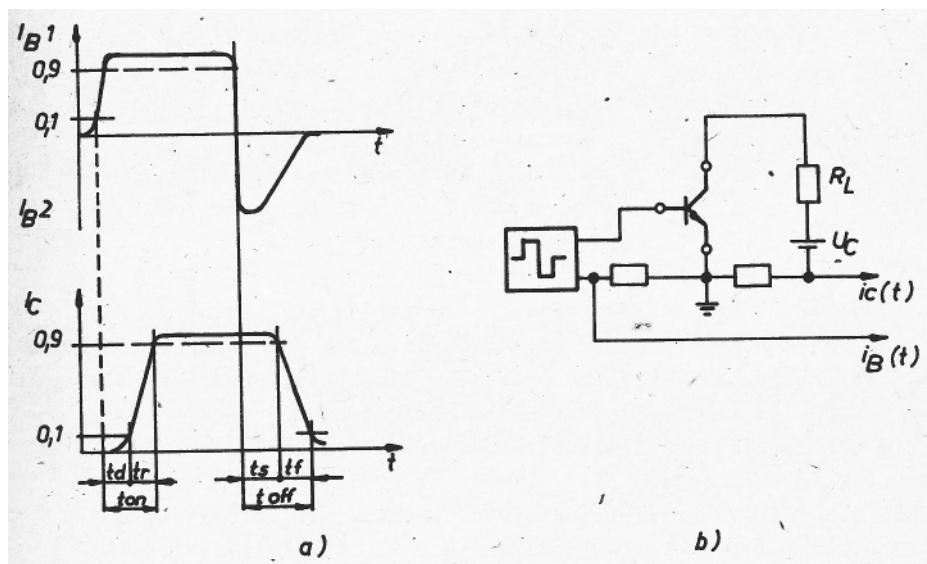


Abb. 3.14. Schaltzeiten von Transistoren, Standardverfahren

a) Zeitverlauf von Basis- und Kollektorstrom

b) Meßschaltung

Die Schaltzeiten in Abb. 3.14a. führen folgende Bezeichnungen:

- t_d - Verzögerungszeit
- t_r - Anstiegszeit
- t_{on} - Einschaltzeit
- t_s - Speicherzeit
- t_f - Abfallzeit
- t_{off} - Ausschaltzeit.

Bei der Messung sind durch die Prüfschaltung folgende Bedingungen zu realisieren:

- induktionsarmer Kollektorkreis
- Kollektorstrom: festgelegter Wert in der Größenordnung I_{Csat}
- Kollektorspannung: festgelegter Wert in der Größe $0,4 \dots 1 U_{(BR)CEO}$
- Basisansteuerung: $I_{B1} = 0,1 \dots 0,2 I_C$ (Sättigung), $I_{B1} = - I_{B2}$,
Anstiegs- und Abfallzeiten des Basisstromes: $0,2 \dots 0,3 t_{min}$
(minimal zu messende Schaltzeit).

Abweichend vom Standard-Meßverfahren werden in besonderen Fällen Schaltzeiten mittels anderer, der speziellen Anwendung der Bauelemente angepaßter Verfahren gemessen. Für Hochspannungstransistoren (SU 160) ist im Erzeugnisstandard die Prüfschaltung festgelegt, die den speziellen Schaltungs- und Belastungsbedingungen der TV-Zeilenendstufe entspricht.

Leistungsschalttransistoren für den Einsatz in Motorsteuerungen arbeiten mit überwiegend induktiven Kollektor-Lastkreisen. Eine für diese Betriebsweise angepaßte Meßmethode ist in Abb. 3.15. dargestellt.

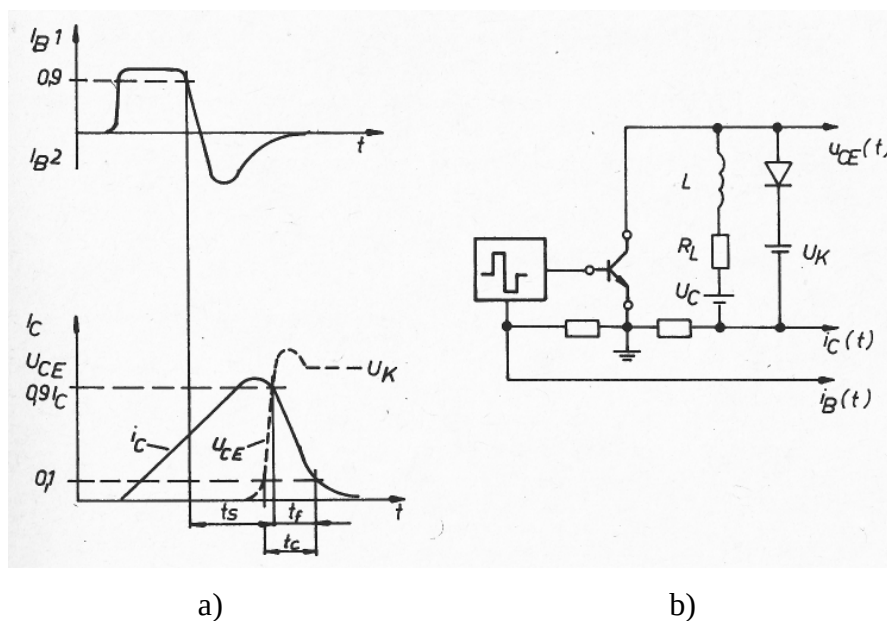


Abb. 3.15. Schaltzeitenmessung mit induktivem Kollektorkreis

a) Zeitverlauf von Strom und Spannung

b) Prüfschaltung

Im eingeschalteten Zustand des Transistors steigt der Kollektorstrom bis auf seinen Maximalwert $I_{CM} = U_{CC}/R_L$ an. Der nach Ablauf der Speicherzeit einsetzende Abfall des Kollektorstromes läßt die Induktionsspannung über der Spule L sprunghaft auf einen hohen Wert ansteigen. Zum Schutz der Prüflinge wird diese Spannung mittels einer Klemmschaltung (D_1 , U_K) auf die maximal zulässige Kollektor-Emitterspannung begrenzt.

Der wesentliche Unterschied zum Standard-Meßverfahren mit reellem Kollektorkreis besteht darin, daß Strom und Spannung beim Abschalten nicht in Phase sind.

Das induktive Voreilen der Spannung bewirkt eine Beschleunigung des Abfallvorganges, aber auch eine wesentlich höhere Belastung des Transistors. Zur Beschreibung des Abfallvorganges ist deshalb zusätzlich die crossover - Zeit t_c definiert worden, die sowohl Stromabfall als auch Spannungsanstieg beim induktiven Abschaltvorgang einschließt.

3.5. Thermischen Verhalten

Die Belastbarkeit eines Bauelements mit elektrischer Verlustleistung ist durch die maximal zulässige Sperrschichttemperatur einerseits und andererseits durch das Ableitvermögen der im Halbleiterelement entstehenden Wärme bestimmt. Für das Wärmeableitungsvermögen ist der thermische Widerstand R_{thja} definiert. Er gibt an, welche Temperaturdifferenz zwischen Sperrschicht und Umgebung auftritt, wenn dem Bauelement eine Verlustleistung P_v zugeführt wird.

$$R_{thja} = \frac{\vartheta_j - \vartheta_a}{P_v} \quad (4)$$

Sollen allein die Eigenschaften des Bauelementes charakterisiert werden, dann wird der innere Wärmewiderstand R_{thjc} angegeben, der sich auf die Temperaturdifferenz zwischen Sperrschicht und Gehäuse bezieht.

$$R_{thjc} = \frac{\vartheta_j - \vartheta_c}{P_v} \quad (5)$$

Der durch die Konstruktion des Bauelements angezielte Wert des Wärmewiderstandes wird insbesondere durch alle technologischen Prozeßschritte der Kontaktierung des Elementes auf dem wärmeableitenden Gehäuseteil realisiert, so daß die Prüfung des Wärmewiderstandes beim Hersteller Aufschluß über die Qualität dieser Verfahrensschritte geben kann.

3.5.1. Meßverfahren innerer Wärmewiderstand

Entsprechend (5) sind zur Bestimmung des R_{thjc} die Gehäusetemperatur d_c , die Sperrschichttemperatur d_j und die Verlustleistung P_v zu messen.

Während die Gehäusetemperatur durch äußere Sensoren meßbar ist, muß d_j indirekt ermittelt werden. Die bei Transistoren und Dioden vorwiegend dazu benutzten temperaturabhängigen Kenngrößen sind:

- Basis-Emitter-Spannung U_{BE}
- Basis-Kollektor-Spannung U_{BC}
- Durchlaßspannung (Diode) U_F .

Diese Kenngrößen weisen bei kleinen Meßströmen einen im interessierenden Temperaturbereich konstanten Temperaturkoeffizienten von

$$D_T = 1,8 \dots 2,5 \text{ mV/K auf.}$$

Der genaue D_T -Wert ist jeweils durch Aufnahme der Spannungs-Temperatur-Kennlinie zu bestimmen. Bei Serienmessungen des Wärmewiderstandes wird davon ausgegangen, daß die Exemplarstreuungen des D_T -Wertes für Bauelemente gleichen Typs genügend klein sind.

In einem Standard-Meßverfahren für R_{thjc} von Transistoren (Abb. 3.16.) werden folgende Prüfbedingungen realisiert:

- Messen der Basis-Emitter-Spannung U_{BE1}
- Belastung durch Einschalten der Kollektor- und Emitterquellen mit der Verlustleistung:
$$P_v = I_C U_{CB} + I_E U_{BE} \quad (6),$$
- Messen der Basis-Emitter-Spannung U_{BE2} unmittelbar nach dem Abschalten der Belastung,
- Messen der Gehäusetemperaturen $d_c(t_1)$ und $d_c(t_2)$.

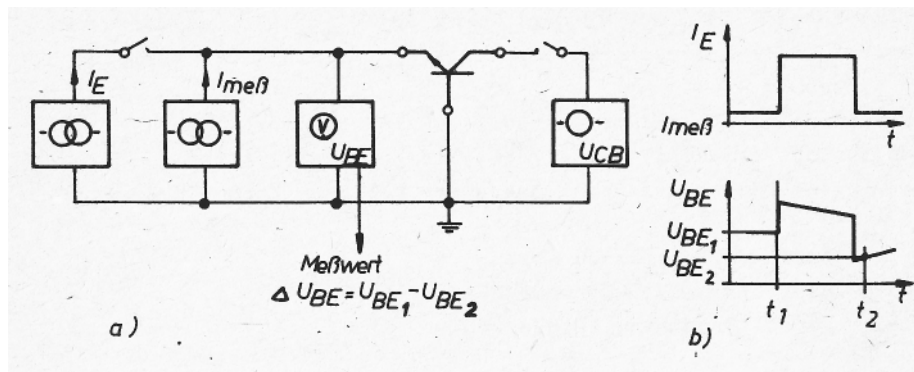


Abb. 3:16. Meßprinzip für inneren Wärmewiderstand

a) Meßschaltung

b) Verlauf vom Emitterstrom und Basis-Emitter-Spannung

Mit der Definition des Temperaturkoeffizienten

$$D_T = \frac{U_{BE1} - U_{BE2}}{\vartheta_j(t_2) - \vartheta_j(t_1)} = \frac{\Delta U_{BE}}{\vartheta_j(t_2) - \vartheta_j(t_1)} \quad (7)$$

berechnet sich der innere Wärmewiderstand nach /11/ aus Gleichung (8)

$$R_{thjc} = \frac{\frac{1}{D_T} \Delta U_{BE} + \vartheta_c(t_1) - \vartheta_c(t_2)}{P_v} \quad (8).$$

Die exakte Bestimmung des inneren Wärmewiderstandes nach dem Standardverfahren erfordert insbesondere zur Einhaltung der jeweiligen thermischen Gleichgewichtsbedingungen sehr viel Zeit. Zur Prüfung der thermischen Eigenschaften im Produktionsablauf werden deshalb abgewandelte Schnellmethoden angewendet /11/.

3.5.2. Rationelles thermisches Prüfverfahren

Vorrangiges Ziel der Prüfungen im Produktionsprozeß ist die Erkennung von Kontaktierungsfehlern und die Aussonderung unbrauchbarer Bauelemente. Die exakte Bestimmung des inneren Wärmewiderstandes kann dann zur Qualitätskontrolle auf Stichprobenprüfungen beschränkt werden. Schnellmethoden zur Beurteilung des Wärmeleitvermögens gehen davon aus, daß Kontaktierungsfehler sich in unmittelbarer Nähe der im Halbleiterelement lokalisierten Wärmequelle befinden.

Die elektrische Belastung braucht deshalb nur so lange anzudauern, bis die kritischen Kontaktierungsschichten des Bauelements vom Wärmestrom erfaßt sind. Andere Bauteile, insbesondere das Gehäuse, bleiben dabei weit unter ihren stationären Temperatur-Endwerten.

Die transiente Wärmeimpedanz Z_{thjc} stellt die Sprungantwort der Sperrschichttemperatur auf die Einspeisung eines Belastungsimpulses P_V dar.

$$Z_{thjc} = \frac{\vartheta_j(t) - \vartheta_c}{P_V} \quad (9)$$

Das Meßverfahren für Z_{thjc} entspricht dem der R_{thjc} -Messung (Abb. 3.16.).

Bei Anwendung der Z_{th} -Methode zur Schnellerkennung von Kontaktierungsfehlern werden die Höhe und die Dauer des Belastungsimpulses nach empirischen Ermittlungen eingestellt. Unter Vernachlässigung der bei dieser Belastung auftretenden Veränderung der Gehäusetemperatur kann entsprechend Gleichung (8) die Differenz der Basis-Emitter-Spannungen vor und nach der Belastung $\Delta U_{BE} = U_{BE1} - U_{BE2}$ als Maß für das Wärmeleitungsvermögen im Inneren des Bauelements genutzt werden. Die bei diesem auch als ΔU_{BE} -Methode bezeichneten Verfahren benötigten Belastungszeiten liegen für Bauelemente mittlerer Leistung in der Größenordnung von 0,1 s. Ähnliche Verfahren werden mit der temperaturabhängigen Durchlaßspannung für Dioden angewendet.

3.6. Dynamische Kleinsignal-Kennwerte

Obwohl für die Beschreibung leistungselektronischer Bauelemente von untergeordneter Bedeutung, werden in den Kenndaten von Leistungstransistoren Kleinsignalparameter, insbesondere die Transitfrequenz f_T und die Kollektor-Basis-Kapazität C_{CBO} angegeben.

3.6.1. Transitfrequenz

Die Leistungsgrenzen von Transistoren bei hohen Frequenzen können durch ein Verstärkungsbandbreite-Produkt gekennzeichnet werden.

Die Transitfrequenz f_T stellt das Produkt aus dem Betrag der Kleinsignalstromverstärkung in Emitterschaltung $|h_{21e}|$ und einer Meßfrequenz f_m dar.

$$f_T = |h_{21e}| \cdot f_m \quad (10)$$

Über der Frequenz fällt $|h_{21e}|$ in einen Bereich $5 \text{ fg} < f < f_1$ umgekehrt proportional zu f ab (6dB je Oktave). Wird die Meßfrequenz in diesen Bereich gelegt (Abb. 3.17a.), so ist f_T eine relativ einfach meßbare Äquivalenzgröße für die Grenzfrequenz

$$f_1 \text{ } (/h_{21e}| = 1).$$

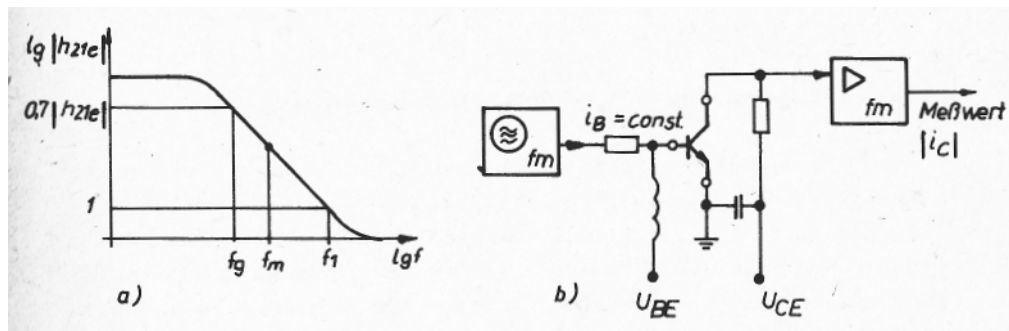


Abb. 3. 17. Messung Transitfrequenz f_T

a) Festlegung der Grenzfrequenzen von $|h_{21c}|$

b) f_T -Meßprinzip

Zur Messung (Abb. 3.17b.) wird in die Basis des Prüflings ein Wechselstrom der Meßfrequenz f_m eingeprägt (Konstantstrom) und der Kollektorstrom mittels eines für f_m selektiven Verstärkers gemessen. Es ist dann entsprechend (11)

$$\frac{|i_C|}{|i_B|} \cdot f_m = f_T = \text{const.} / |i_C| \quad (11)$$

der gemessene Kollektorstrom ein direktes Maß für f_T .

3.6.2. Kollektorkapazität

Die standardisierte Meßmethode beruht auf der Bestimmung der Kapazität zwischen Kollektor und Basis bei wechselstrommäßig offenem Emitter. Die so gemessene Kapazität enthält außer dem Sperrschicht- und dem Diffusionsanteil der Kollektor-Basis-Sperrschicht auch die äußere Kapazität der Bauelementanschlüsse.

Die Kollektorkapazität ist vom Arbeitspunkt und von der Meßfrequenz abhängig. Zum Messen werden Verfahren und Geräte für die Bestimmung komplexer Leitwerte oder Substitutionsmethoden am Resonanzkreis angewendet, wobei die Resonanzverstimmung durch die Prüflingskapazität ausgewertet wird.

4. Prüftechnologie und Qualitätssicherung

Der Begriff Qualität umfaßt alle wesentlichen elektrischen und mechanischen Eigenschaften der Bauelemente einschließlich der Zuverlässigkeit. Unter Qualitätssicherung sind alle Maßnahmen zu verstehen, die der Einhaltung der in den Erzeugnisstandards festgelegten Qualitätsmerkmale dienen. Diese Maßnahmen beginnen bereits beim Konstruktionsentwurf des Bauelements und erstrecken sich über die Gestaltung der technologischen Verfahren, der Kontrolle des Materialeinsatzes, der Überwachung der Produktionsdurchführung bis zur Auslieferung der Erzeugnisse. Eine wichtige Komponente im System der Qualitätssicherung stellen die im Herstellungsprozeß durchgeführten Meß- und Prüfvorgänge dar. Neben der Sicherung der Datenhaltigkeit der ausgelieferten Erzeugnisse bestehen für die Meßprozesse in der Produktion folgende Aufgaben:

- Erkennung und Aussortierung unbrauchbarer Elemente,
- Sortierung der Gut-Bauelemente anhand ihrer elektrischen Meßwerte im Rahmen einer Typenreihe,
- Gewinnung von Informationen über Verlauf und Qualität der vorhergehenden Herstellungsprozesse.

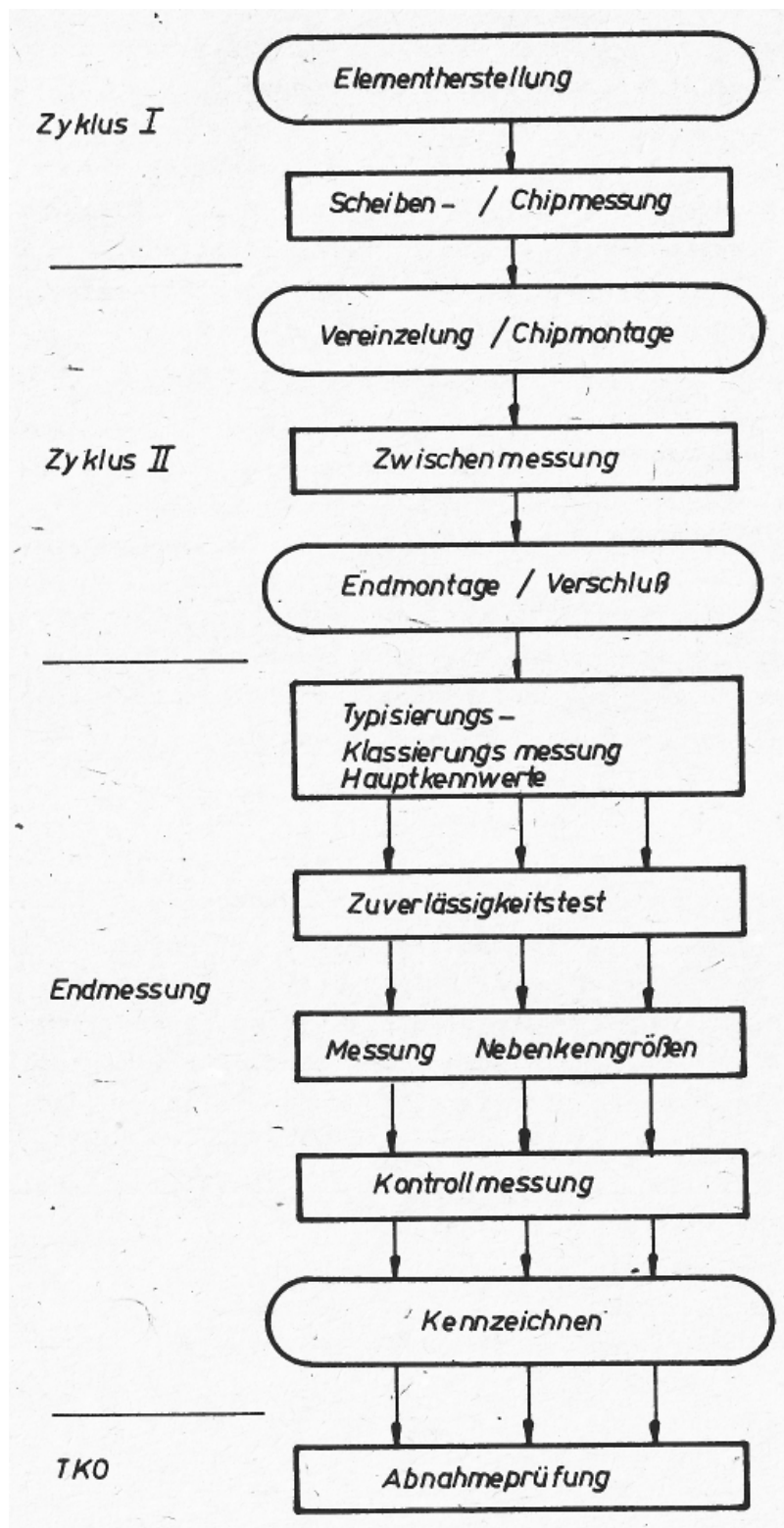


Abb. 4.1. Meßprozesse im Fertigungsablauf

Die generelle Einordnung der Meß- und Prüfprozesse in den Fertigungsablauf leistungselektronischer Bauelemente ist in Abb. 4.1. dargestellt.

Der hohe Anteil der Prüfkosten an den gesamten Herstellungskosten erfordert jeweils spezielle Festlegungen zu den einzelnen Meßprozessen. Insbesondere wird unter Berücksichtigung von Erfahrungswerten über die technologische Treffsicherheit entschieden, welche Messungen in Stückprüfung durchzuführen sind oder in welchem System Stichprobenprüfungen ausreichend sind.

4.1. Scheibenmessung

4.1.1. Chipmessung

Ein Grundsatz der Prüftechnologie ist es, die Kennwerte des Fertigerzeugnisses in einem möglichst frühen Stadium des Herstellungsprozesses zu messen, um fehlerhafte Elemente zu eliminieren und um Informationen über das Ergebnis der durchgeführten Fertigungsschritte zu erhalten.

Hochspannungsbaulemente besitzen ihre funktionellen Kennwerte, wenn die Herstellung des Halbleiterelementes einschließlich der Passivierung der Spannung tragenden Randzonen des Elementes abgeschlossen ist. Weitere Voraussetzungen für Messungen am Element (Chip) bestehen darin, daß die in der gemeinsamen Halbleiterscheibe hergestellten Elemente elektrisch voneinander isoliert und ihre elektrischen Anschlüsse zugänglich sind. Für eine rationelle Chipmessung ist deshalb die eingesetzte Herstellungs- und Passivierungstechnologie von wesentlicher Bedeutung. Nach der Art der Passivierung lassen sich für Hochspannungsbaulemente folgende Herstellungsverfahren unterscheiden

- Planartechnologie
- Glaspassivierung
- Passivierung durch kautschukähnliche Stoffe.

Bei Einsatz der ersten beiden Techniken liegen elektrisch isolierte und passivierte Elemente im mechanischen Verband der Halbleiterscheibe vor.

In diesem Falle kann ökonomisch vorteilhaft die aus der Produktion anderer Halbleiterbaulemente bekannte automatische Scheibenmessung (Wafertest) angewendet werden. Dabei werden die auf einer Scheibe befindlichen Elemente an ihren Bondinseln der Vorderseite mittels Meßnadeln und an der Rückseitenmetallisierung großflächig kontaktiert.

Aufgrund der hohen Genauigkeit der Scheibengeometrie kann der Transport der Scheibe zur Meßposition des Einzelelementes in einfacher Weise automatisiert werden.

Die Passivierungstechnik durch Abdecken der Elemente-Randzonen mit Silikonkautschuk setzt voraus, daß die Elemente vor dem Abdecken mechanisch vereinzelt werden. Die meßfähigen Elemente liegen dann einzeln oder in einem Verband des Abdeckstoffes vor. Eine exakte geometrische Anordnung der Elemente einer Scheibe geht damit verloren, so daß bei der Messung jedes Element einzeln in der Meßposition justiert und kontaktiert werden muß. Gegenüber der automatischen Scheibenmessung erfordert diese Meßtechnik entsprechend größeren Zeitaufwand und höhere Konzentration der Bedienungskräfte. Das Meßprogramm enthält alle Meßgrößen, Einstellbedingungen und Bewertungsgrenzen, die im automatischen Ablauf durch das Meßsystem je Chip abzuarbeiten sind.

Tabelle 1 zeigt das Beispiel einen Meßprogrammes der Typenreihe SU 186-190.

Test-Nr./Meßgröße		1 U_{BEF}	2 U_{EBO}	3 I_{EBO}	4 h_{21E}	5 h_{21E}	6 U_{CBO}	7 U_{CBO}			
Einstellbedingungen		$I_{BEF}=0,5A$	$I_{EBO}=10mA$	$U_{EBO}=5V$	$U_{CE}=5V$ $I_C=0,5A$	$U_{CE}=5V$ $I_C=30mA$	$I_{CBO}=1mA$	$I_{CBO}=10\mu A$			
BE-Typ	Klasse (BIN)	Bewertungsgrenzen									
SU 190	1	0,4-1,0V	10,2-20,0 V	100 μA	7,5	5	1030 V	721 V			
SU 189L	2						980 V	686 V			
SU 189	3						880 V	616 V			
SU 188	5						420 V	300 V			
SU 187	7						350 V	245 V			
SU 186	8		7,2-20,0V				230 V	161 V			
Fehlerklassen	10 (A)	Sperrspannungsfehler									
	11 (B)	Fehler Emitter-Basis-Strecke und h_{21E}									
	12 (C)	Kontaktfehler									
	15 (F)	Sperrkennlinieninstabilität									

Tab. 1 Übersicht zum Scheibenmeßprogramm SU 186...190

Gemessen werden vorrangig die Strom/Spannungskenngrößen im Spannungsbereich bis 2000 V und im Strombereich bis 1 A. Es gelingt so, die Sperrkennwerte der Elemente in vollem Umfang zu bestimmen.

Die Übertragung größerer Ströme über die Meßnadeln auf die Metallisierung der Elemente stößt auf technische Grenzen, die sich durch Beschädigung oder Zerstörung der Metallisierung auswirken oder die Standzeit der Nadeln unvermeidbar reduzieren.

Die Hochstromeigenschaften können endgültig erst nach den Montageprozessen am fertigen Bauelement bestimmt werden. Die Messung von Durchlaßkenngrößen am

Element bei kleinen Strömen läßt jedoch in bestimmter, durch Erfahrung gewonnene Genauigkeit Schlüsse auf das Hochstromverhalten zu.

Im Ergebnis des Chipmeßvorganges liegt je Element ein Satz von Meßdaten vor, dessen Auswertung entsprechend Programm die Zuordnung zu einer "Gut"-Klasse (BIN 1...8) oder zu einer Fehlerklasse (BIN A...F) ergibt. Zu den Fehlerklassen werden außer Grenzwertüberschreitungen (BIN A, B) auch Kontaktfehler und schnelle Veränderungen der Sperrkennwerte als Instabilitäten erfaßt.

Die klassische Technologie in der Massenfertigung von Halbleiterbauelementen kleiner Leistung sieht vor, aus den Meßergebnissen eine Gut/Schlecht-Information abzuleiten und Ausfallelemente automatisch mit einem Tintenpunkt zu kennzeichnen (Inken).

Nach der mechanischen Trennung der Elemente erfolgt die automatische Chip-Kontaktierung. Die dazu eingesetzten automatischen Chipbonder erkennen auf optischem Wege die gekennzeichneten Ausschußelemente und schließen sie von der Weiterbearbeitung aus. In der Produktion leistungselektronischer Bauelemente bestehen weitergehende Anforderungen durch den Bedarf an Elementen mit möglichst gleichen elektronischen Eigenschaften. Dieser Bedarf tritt ein, wenn aus wirtschaftlichen Gründen ausschließlich Bauelemente eines ganz bestimmten Typs zielgerichtet produziert werden sollen, oder wenn mehrere Chips in einem gemeinsamen Bauelement-Gehäuse (Modul-Bauelemente) angeordnet werden, müssen.

Die "Gut"-Elemente sind dazu anhand ihrer elektrischen Meßwerte zu sortieren. Die Klasseninformation wird dazu von der Meßanlage im geometrischen Muster der Elemente ausgedruckt. Mit einem derartigen Scheibenspiegel (Abb. 4.2.)



	A	1	2	4	1	
A	1	2	1	2	1	8
2	1	3	A	5	2	5
8	2	1		1	2	A
5	1	1	2	2	1	8
A	A	1	1	8	3	A
	A	B	A	8	3	

Abb. 4.2. Scheibenspiegel

besteht die Möglichkeit, die Elemente nach der mechanischen Vereinzelung manuell zu sortieren. Bei der Automatisierung des Verfahrens werden die Vereinzelungs- und Sortierautomaten (oder automatische Chipbonder) durch die auf entsprechenden Datenträgern (Lochband, Magnetband, Magnetscheibe) gespeicherten Klasseninformationen der Chipmessung gesteuert.

4.1.2. Testfeldmessung

Zur Testfeldmessung ist auf der Halbleiterscheibe ein speziell strukturiertes Element (Testfeld) angeordnet, in welchem durch entsprechende Markierung und Metallisierung Halbleiterbereiche der verschiedenen Diffusionszonen zugänglich gemacht wurden.

Das Ausmessen der Widerstandswerte der Testfeldbereiche gibt Aufschluß über die Diffusionsparameter und damit über die elektrischen Eigenschaften der in der Scheibe enthaltenen Elemente.

Die Testfeldmessung ist ein zusätzlicher Meßschritt im technologischen Ablauf und es wird für jeden Bauelement-Typ bereits im Entwicklungszeitraum entschieden, ob der technisch/technologische Aufwand durch den erreichbaren Informationsgewinn gerechtfertigt ist.

4.2. Zwischenmessung

Bei der Trennung und Vereinzelung der Elemente sowie im Montageprozeß (Zyklus II) können Fehler auftreten, die die elektrischen und thermischen Eigenschaften der Bauelemente entscheidend beeinträchtigen, so daß sie die Endkontrolle nicht bestehen würden.

Im Zyklus II werden deshalb Messungen durchgeführt, um möglichst alle fehlerhaften Bauelemente zu eliminieren. Insbesondere in Bauelement-Fertigungen mit material- und montageaufwendigen Bauformen (z. B. Modul-Bauelemente) führen Zwischenmessungen zu erheblichen Kostensenkungen durch Einsparung nachfolgender Arbeitsgänge und durch die Möglichkeit, teure Bauteile zurückzugewinnen.

Am unverschlossenen Bauelement werden hauptsächlich zur Kontrolle der Chipkontaktierungsprozesse Messungen des thermischen Übergangswiderstandes (ΔU_{BE} , oder Z_{th}) durchgeführt. Darüber hinaus kann es in aufwendigen Fertigungen wirtschaftlich sein, weitere elektrische Kenngrößen im Stück- oder Stichprobenverfahren vor dem Verschluß oder am vereinzelt Chip zu prüfen. Die Meßergebnisse führen zur sofortigen Aussonderung fehlerhafter Bauelemente und die statistische Auswertung der Ergebnisse gibt Aufschluß über den ordnungsgemäßen Verlauf der kontrollierten Fertigungsprozesse.

4.3. Endmessung

Nach Abschluß aller Montageprozesse erfolgt in der Endmessung die Prüfung des gesamten Kenndatensatzes. Die elektrischen Eigenschaften eines Bauelement-Typs oder einer Typenreihe sind im Erzeugnisstandard durch die Angabe von Haupt- und Nebenkennwerten verbindlich festgelegt. Unter Hauptkenngrößen versteht man entsprechend /13/ Kenngrößen, die für die Anwendung des Bauelementes von grundlegender Bedeutung sind. Nebenkenngrößen spielen für die Anwendung eine untergeordnete Rolle, sie sind durch die Herstellungstechnologie ausreichend gesichert.

Für die Produktionspraxis sind die Haupt- und Nebenkennwerte sowie ihre Grenz- und Einstellbedingungen in der Prüf- und Abnahmevorschrift PAV tabellarisch zusammengefaßt (Tab. 2).

Diese Prüfkriterien sind für die Prüfungen der TKO verbindlich. (s. Pkt. 4.4.)

Die Bewertungsgrenzen der Produktionsendmessung sind gegenüber den a-Werten um einen Sicherheitsabstand verschärft, um Meßgerätetoleranzen und andere Meßunsicherheiten auszugleichen. Eine allgemein gültige Prüftechnologie in der Endmessung leistungselektronischer Bauelemente kann durch drei Prüfschritte gekennzeichnet werden:

1. Prüfschritt: 100 %-Messung aller Hauptkenngrößen
Typisierung, Klassierung und Sortierung der Bauelemente in Typen oder Klassen
2. Prüfschritt: Prüfung der Nebenkenngrößen überwiegend im Stichprobenverfahren, nur wenn die Stichprobe Grenzwertüberschreitungen aufweist wird das betreffende Fertigungslos 100%ig geprüft
3. Prüfschritt: Kontrollmessen der Hauptkennwerte zur Sicherung der Auslieferungsqualität, Eliminierung von Bauelementen mit fehlgemessenen oder instabilen Kennwerten

Dieser prinzipielle Ablauf der Endmessungen wird bauelementespezifisch variiert. Insbesondere im Umfang und in den Bedingungen der Kontrollmessung gibt es technologie- und qualitätsbedingte Abweichungen vom grundsätzlichen Ablauf.

Kenngröße	Einheit	Haupt- kenngröße a-Wert K-Wert		Neben- kenngröße a-Wert	Prüf- bedingungen
Periodischer Spitzen- Sperrstrom I_{RRM}	μA			50	$\vartheta_C = 25^\circ C-5K$ U_{RRM} = Klassenspan- nung 50 V, 100 V, 150 V, 200 V
	mA	0,6	0,8		$\vartheta_C = 100^\circ C-5K$ U_{RRM} = Klassenspan- nung 50 V, 100 V, 150 V, 200 V
Durchlaß- spannung U_{FM}	V	1,30	1,43		$\vartheta_C = 25^\circ C-5K$ $I_{FM} = 20A$
	V			0,85	$\vartheta_C = 100^\circ C-5K$ $I_{FM} = 5 A$
Sperr- erholungs- zeit t_{rr}	ns	35	50		$I_F = 1 A, U_R = 30 V$ $\vartheta_C = 25^\circ C-5K$ $-di/dt = 50 A/\mu s$
Innerer Wärmewider- stand R_{thjc}	K/W			2,7	$P_{F(AV)} = 5 W$
Gesamt- wärmewider- stand R_{thja}	K/W			60	$P_{F(AV)} = 1 W$
Binschalt- scheitel- spannung U_{FP}	V			1,0	$I_F = 1 A$ $di/dt = 10 A/\mu s$ $\vartheta_C = 25^\circ C-5K$

Tab. 2 Prüftabelle zur PAV SY 710

In den Prüfablauf der Endmessung sind außer den Kenndatenmessungen auch die Maßnahmen zur Sicherung der Prüfzuverlässigkeit eingeordnet. Die Kontrolle der Prüfzuverlässigkeit obliegt der TKO, die mit Hilfe von elektrischen und thermischen Dauer- und Wechselbelastungen das Ausfallverhalten feststellt. Da diese Zuverlässigkeitsprüfungen in größeren Zeitabständen im Rahmen der periodischen TKO-Prüfungen durchgeführt werden, sind zur Sicherung der Qualität regelmäßige Prüfungen in der Endmessung der Produktion notwendig. Die dazu eingesetzten Methoden werden bereits bei der Entwicklung des Bauelementes festgelegt und erprobt. Eine der Methoden besteht darin, das gesamte Fertigungslos einer mehrstündigen elektrischen Belastung nach anwendungsnahen oder anderen Grenzwertbedingungen zu unterziehen. Dieses

ausrüstungs- und arbeitszeitaufwendige Verfahren ermöglicht neben einer künstlichen Voralterung (burn-in) der gesamten Produktion auch die sichere Eliminierung von Frühausfällen.

In einem anderen Verfahren wird lediglich eine Stichprobe aus einem Fertigungslos verschiedenen Belastungsprüfungen unterzogen. Die Dauerlastprüfungen erfolgen vor der Endmessung und die Belastung dauert bis zu einigen hundert Stunden. Abhängig vom Ergebnis der Dauerlastprüfungen wird das gesamte Fertigungslos zur Endmessung freigegeben, oder es werden operativ Maßnahmen zur Verschärfung der Endmeßbedingungen getroffen. Erst wenn Meßbedingungen gefunden worden sind, bei denen die Zuverlässigkeitsprüfung oder Stichprobe positiv verlaufen ist, kann das ganze Fertigungslos zur Weiterbearbeitung freigegeben werden.

4.4. Prüfungen zur Qualitätskontrolle (TKO)

Die TKO des Herstellerbetriebes führt Prüfungen der konstruktiven, mechanischen, klimatischen, elektrischen und Zuverlässigkeitseigenschaften durch, deren Modalitäten in entsprechenden Standards /3/, /4/ vorgeschrieben sind. Neben den technischen Anforderungen an die Eigenschaften der Bauelemente enthalten diese Standards Festlegungen über die anzuwendenden Prüfverfahren und über die Abnahmeregeln.

Die konkreten Prüfbedingungen (Grenzwerte und Einstellparameter) sind im Erzeugnisstandard des Bauelementes und in der Prüf- und Abnahmevorschrift (PAV) festgelegt.

Als Beurteilungskriterien für die elektrischen Prüfungen gelten die in der Prüftabelle der PAV angegebenen Grenzwerte (a- und k-Werte) der Haupt- und Nebenkenngrößen.

Ein Bauelement gilt als standardgerecht, wenn es die a-Werte der Haupt- und Nebenkenngrößen nicht überschreitet. Die Werte der Hauptkenngrößen dürfen sich bis zum k-Wert (kritischer Fehler) ändern, insbesondere dann, wenn die elektrische Prüfung zur Beurteilung vorangegangener anderer Prüfungen herangezogen wird.

Ein Bauelement-Posten ist standardgerecht, wenn ein im Standard als AQL-Wert (annehmbare Qualitätslage) festgelegter Prozentsatz fehlerhafter Bauelemente im Prüflös nicht überschritten wird.

Generell werden von der TKO Prüfungen folgender Kategorien durchgeführt:

- Abnahmeprüfungen (A)
- Periodische Prüfungen (B)
- Typprüfungen (Q).

Die besondere Rolle der elektrischen Messungen im gesamten Prüfsystem ist aus Abb. 4.2. zu erkennen.

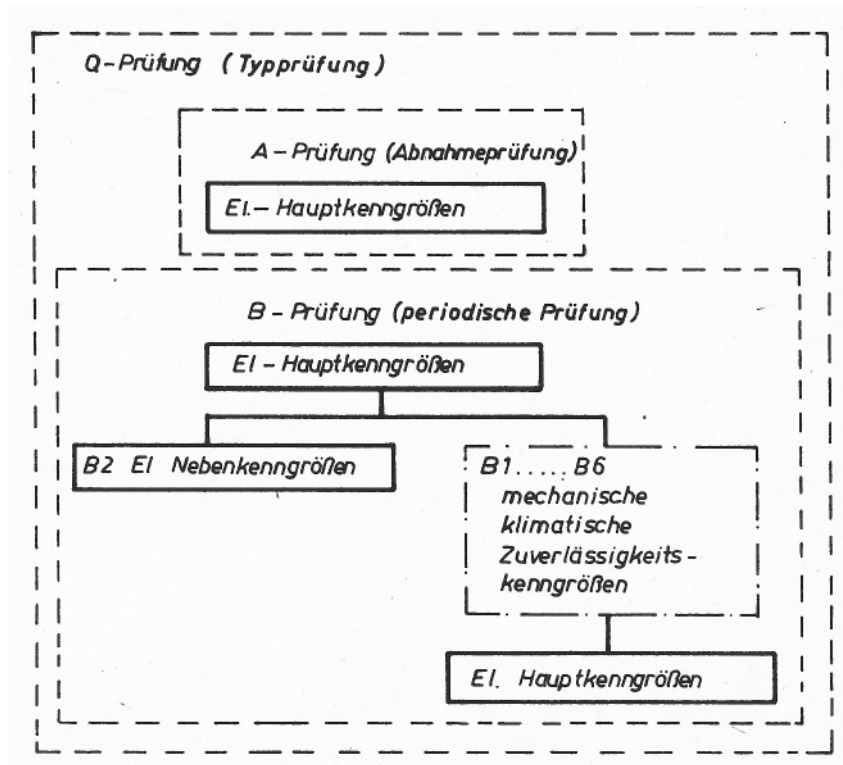


Abb. 4.2. Elektrische Prüfungen im Prüfsystem der TKO

Der Abnahmeprüfung werden alle zur Auslieferung vorgesehenen Bauelemente unterzogen. Die TKO zieht dazu aus Produktionslosen von maximal 35 000 Stück Stichproben und prüft neben anderen Eigenschaften die elektrischen Hauptkennwerte. Die Stichprobengröße und die maximal zulässige Fehlerzahl ist in AQL-Tabellen festgelegt.

Fertigungsposten, die in der Stichprobenkontrolle verworfen wurden, müssen 100%ig gemessen und erneut einer Abnahmeprüfung unterzogen werden.

Die periodische Prüfung wird bei gleichbleibender Konstruktion und Technologie in Zeitabständen von 3-bis 6 Monaten durchgeführt. Basis für die Erkennung von Schädigungen oder Fehlern nach einer der verschiedenen mechanischen und klimatischen Prüfungen (B1 - B6) ist die Anfangsmessung der elektrischen Hauptkenngrößen und die Nachmessung während und nach den Belastungsprüfungen.

Die elektrischen Nebenkenngrößen werden in der B2-Prüfung vor und nach Belastung mit trockener Wärme und niedriger Temperatur gemessen. Bei negativen Ergebnissen ist die periodische Prüfung vollständig oder teilweise unter verschärften Bedingungen zu wiederholen.

Die Typprüfung setzt sich aus Abnahme- und periodischer Prüfung zusammen und wird durchgeführt bei entscheidenden Veränderungen der Konstruktion, der Technologie oder anderer Produktionsbedingungen.

5. Meßtechnische Geräte und Ausrüstungen

Die Struktur von meßtechnischen Ausrüstungen kann allgemein durch drei Bestandteile beschrieben werden (Abb. 5.1.).

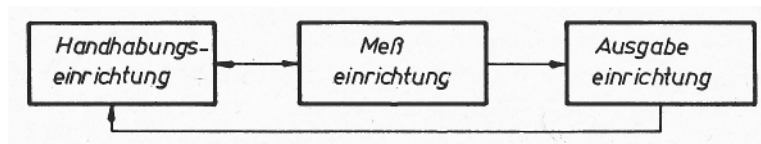


Abb. 5.1. Struktur meßtechnischer Einrichtungen

Je nach Einsatzzweck und den Anforderungen an den Automatisierungsgrad in der Produktion, im Labor oder im Prüffeld ergeben sich unterschiedliche Konfigurationen der Ausrüstung. Während in der Serienmessung der Produktion hochproduktive und spezialisierte Automaten mit möglichst einfachen Bedienungsmöglichkeiten einzusetzen sind, werden in Prüffeldern universell und variabel einstellbare Geräte und Anlagen mit gut auswertbarer Ergebnisdarstellung bevorzugt.

5.1. Handhabungseinrichtungen

Unter Handhabungseinrichtungen werden alle Einrichtungen verstanden, die die mechanischen Vorgänge der Messung realisieren:

- Kontaktierung
- Transport zu und von einer oder mehreren Meßpositionen
- Sortierung
- Einhaltung der thermischen Prüfbedingungen.

Diese Einrichtungen sind immer den geometrischen Formen der Prüflinge speziell angepaßt (Einzelelemente, Scheiben, Gehäuse des Fertig-Bauelementes).

Im einfachsten Fall werden Handmeßfassungen eingesetzt, bei denen alle Vorgänge manuell ausgeführt werden müssen. Die Gehäusetemperatur des Prüflings (Kühlung oder Aufheizung) wird mittels flüssigkeitsdurchströmter Bodenplatten in der Meßfassung konstant gehalten. Zur Aufheizung werden auch geregelte Widerstandsheizungen oder Wärmeschränke eingesetzt. Bei einigen Bauelement-Typen kann erhöhte Sperrschichttemperatur durch innere Aufheizung mittels Verlustleistung erreicht werden.

Hochspannungsmessungen erfordern Schutzmaßnahmen, die durch Klappen und damit gekoppelte doppelte Trenn-Stromkreise (direkte Abschaltung und Eingriff in das angeschlossene Meßgerät) realisiert werden.

Handmeßfassungen werden außer zu Labormessungen auch zu Stichproben- und Kleinserienmessungen in der Produktion eingesetzt bis zu Stückzahlen von etwa 500 TBE/Jahr. Automaten verfügen über eine 10fach höhere Kapazität und sind demzufolge erst bei größeren Serien effektiv einsetzbar.

Teilmechanisierungen von Handmeßeinrichtungen ermöglichen Arbeitserleichterung und Erhöhung der Arbeitsgeschwindigkeit. Eine derartige Lösung besteht darin, daß die Kontaktierungs- und Transportvorgänge für die in einem Magazin angeordneten Prüflinge durch Hilfsenergie (elektromechanisch oder pneumatisch) mechanisiert sind.

Handhabungsautomaten für Bauelemente werden als Handler bezeichnet. Hier laufen alle Vorgänge der Förderung, der Kontaktierung und der Sortierung automatisch ab. Prinzipiell sind dazu die in Abb. 5.2. dargestellten Einrichtungen notwendig.

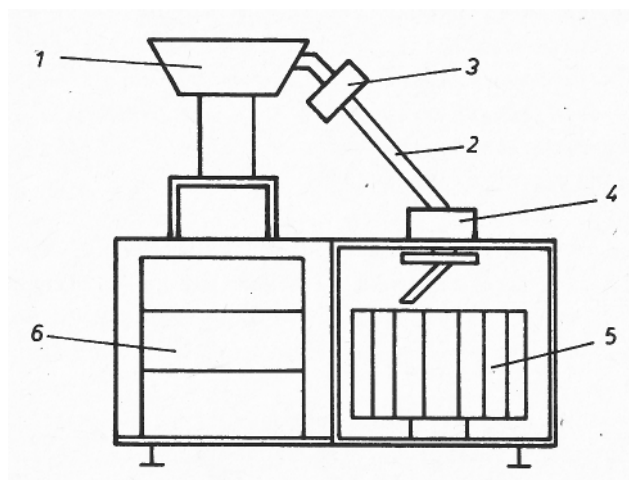


Abb. 5.2. Handler, Prinzipaufbau

1 Vibrationsförderer, 2 Vorratsstrecke, 3 Drahtrichter, 4 Kontaktiereinrichtung, 5 Sortiereinrichtung, 6 Steuerungselektronik

Der Vibrationsförderer ist ein elektromagnetisch in Schwingungen versetzter Topf, an dessen Wand die Bauelemente in spiralförmigen Steigbahnen emporsteigen und von dort in die Vorratsstrecke fallen. Am Beginn der Vorratsstrecke ist eine Richteinrichtung für deformierte Anschlußelemente angeordnet. In speziell konstruierten Handlern für Messungen im Temperaturbereich $-70\text{ °C} \dots +150\text{ °C}$ ist die Vorratsstrecke als Heiz- und/oder Kühltunnel ausgebildet. In diesem Fall ist die Vorratsstrecke größer und mit Zwangsförderung für die Prüflinge ausgebildet.

Aus der Vorratsstrecke gelangen die Prüflinge mittels eines Vereinzelungsmechanismus in die Kontaktiereinrichtung und werden dort an ihren Anschlüssen doppelt kontaktiert (Kelvin-Kontaktierung). Alle Bewegungsvorgänge werden elektromagnetisch oder pneumatisch ausgeführt.

Abhängig vom Einsatzzweck verfügen Handler über eine oder mehrere Kontaktierpositionen, die von den Prüflingen nacheinander passiert werden. Handler mit mehreren Kontaktierstellen sind besonders geeignet, wenn mehrere unterschiedliche Meßeinrichtungen angeschlossen werden sollen, bei denen sich Umschaltvorgänge aus meßtechnischen Gründen verbieten oder wo elektronische Meßeinrichtungen in unmittelbarer Nähe der Kontaktiereinrichtung angebracht werden müssen (Messung dynamischer Kenngrößen).

Die elektrische Kontaktierung des Prüflinge erfolgt durch elektromechanisch oder pneumatisch betätigte Kontakt-Paare, von denen jeweils ein Kontakt mit dem Quellen- oder Leistungsteil der angeschlossenen Meßeinrichtung (force-Leitungen) und der andere mit dem Meßteil (sense-Leitungen) verbunden ist. Die Doppelkontaktierung (Kelvin-Kontaktierung) ist insbesondere bei der Messung mit großen Strömen zur Eliminierung des Einflusses der Kontakt-Übergangswiderstände erforderlich.

Um große Fehlkontaktierungen auszuschließen, wird vor jedem Meßvorgang eine Durchgangsprüfung über die force- und sense-Kontakte eingeschaltet (Abb. 5.3.).

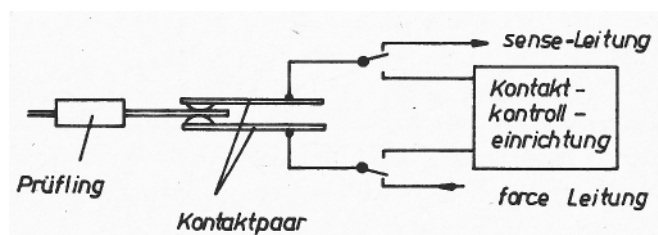


Abb. 5.3. Kontaktierungseinrichtung und Kontaktkontrolle

Eine als fehlerhaft festgestellte Kontaktierung führt entweder zur automatischen Wiederholung des Kontaktiervorganges oder zur Aussortierung des Prüflings.

Aus der Kontaktierungsposition gelangen die Prüflinge in die Sortiereinrichtung, für deren Konstruktion sehr unterschiedliche Lösungswege zu finden sind. Die für Bauelemente mittlerer Leistung (Bauformen TO3, TO220, SOT32) gebräuchlichste Konstruktion bedient sich eines rotierenden Sortierrüssels, der durch einen Schrittmotor angetrieben wird.

Die Steuerungselektronik des Schrittmotors optimiert jeweils, ob die Sortierposition in Links- oder Rechtsrichtung erreicht werden soll. Der ordnungsmäßige Lauf der Prüflinge durch den Automaten vom Vibrationsförderer bis zum richtigen Sortierfach wird durch mehrere Sensoren (induktive oder optische Signalgeber) kontrolliert. Die Steuerungselektronik steuert mit Hilfe der Sensor-Signale den Bauelementefluß und blockiert den Automaten im Fehlerfall.

Die Arbeitsgeschwindigkeit der Handhabungsautomaten hängt von den Förderungsmechanismen sowie von Bauform und Größe des Prüfgutes ab. Übliche Konstruktionen, bei denen die Prüflinge vorwiegend durch Schwerkraft beschleunigt werden, erreichen Taktzeiten von 0,5 ... 1,5 Sekunden.

Zur automatischen Messung von Halbleiterelementen im Verband der Scheibe werden Automatische Vielfachsondentaster (AVT) eingesetzt. Die wesentlichen Bestandteile derartiger Ausrüstungen sind in Abb. 5.4. dargestellt.

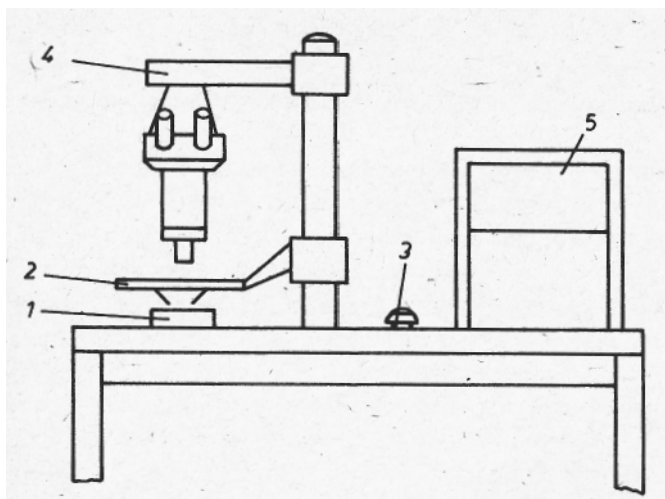


Abb. 5.4. Prinzipaufbau Automatischer Vielfachsondentaster (AVT)

1 Scheibenauflage, 2 Sondenrahmen, 3 Manipulator, 4 Mikroskop, 5 Steuerungseinrichtungen

Bei der Messung liegt die Halbleiterscheibe auf der Scheibenauflage, welche mittels Schrittmotoren in programmierbaren Schrittweiten in x- und y-Richtung bewegt werden kann.

Über der Scheibenauflage ist ein Sondenrahmen angeordnet, der die Meßnadeln und die

Kennzeichnungseinrichtungen (Inker) trägt. Mittels eines Manipulator-Griffes wird zu Beginn des Meßvorganges die Lage der Halbleiterscheibe hinsichtlich der Position der Meßnadeln justiert. Nach Umschalten auf den Automatikbetrieb tastet die Einrichtung alle Elemente der Scheibe zeilenweise ab. Die Kontaktierung der Elemente durch die Meßnadeln wird durch automatisches Anheben der Scheibenauflage während der Meßphase erreicht. Der elektronische Steuerungsteil steuert die Schrittweite und den Bewegungsablauf der Scheibenaufgabe und stellt die elektrischen Anschlußbedingungen zur Meßeinrichtung her. Vollautomatische AVT führen auch das Auflegen der Scheiben aus einem Magazin und die Justierungsvorgänge selbsttätig aus.

5.2. Meßeinrichtungen

Die Meßeinrichtung umfaßt alle elektronischen Einrichtungen zur

- Erzeugung der elektrischen Meßbedingungen
- Erfassung der Meßgröße
- Steuerung des Meßablaufes.

Im einfachsten Fall dient die Meßeinrichtung zur Prüfung einer einzigen Meßgröße.

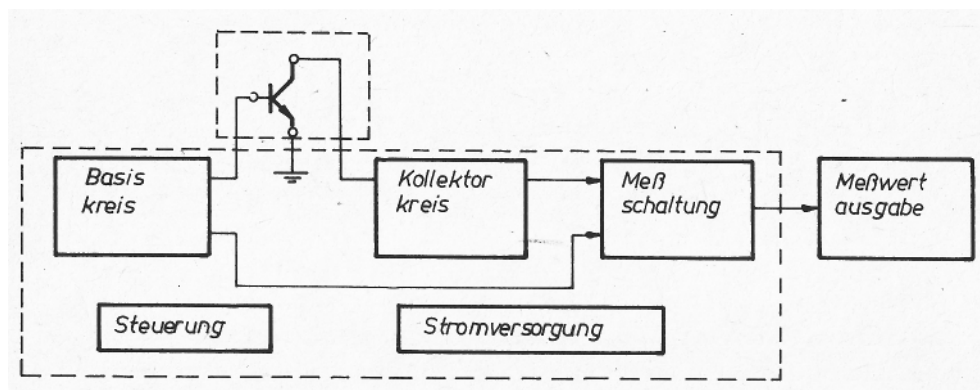


Abb. 5.5. Blockschaltbild eines Schaltzeiten-Meßgerätes

Im Beispiel Abb. 5.5. werden die für die Schaltzeitenmessung vorgeschriebenen Meßbedingungen und Zeitverläufe durch die Basis- und Kollektorstromkreise festgelegt. Sie enthalten einstellbare Impulsgeneratoren, Lastkreise sowie Begrenzungs- und Schutzschaltungen. In der Meßschaltung erfolgt die Bewertung der Strom- und Spannungsverläufe durch Stromwandler und Komparatoren sowie die Signalanpassung an die elektrischen Bedingungen der Ergebnisdarstellung.

Die Steuerungseinrichtung steuert die Zeitfolge des Meßablaufes und stellt den Signalaustausch mit der Handhabungs- und Ausgabeeinrichtung her. Steuerungseinrichtungen

werden zunehmend in Bus-Struktur durch EPROM-programmierte Mikroprozessoren anstelle festverdrahteter Logikeinrichtungen realisiert.

Komplexe Meßeinrichtungen werden überwiegend durch Rechner gesteuert. Derartige als Tester bezeichnete Anlagen sind in der Lage, mehrere Meßgrößen zu messen, verfügen über komfortable Daten-Auswertungsmöglichkeiten, sind flexibel programmierbar und können simultan mehrere Meßprogramme an verschiedenen Handhabungsstationen abarbeiten (Multiplexbetrieb). In der Hardware-Struktur lassen sich zwei Konzepte unterscheiden.

Ein Tester-Aufbau für die Messung der statischen Strom/Spannungs-Kenngrößen ist in Abb. 5.6. dargestellt.

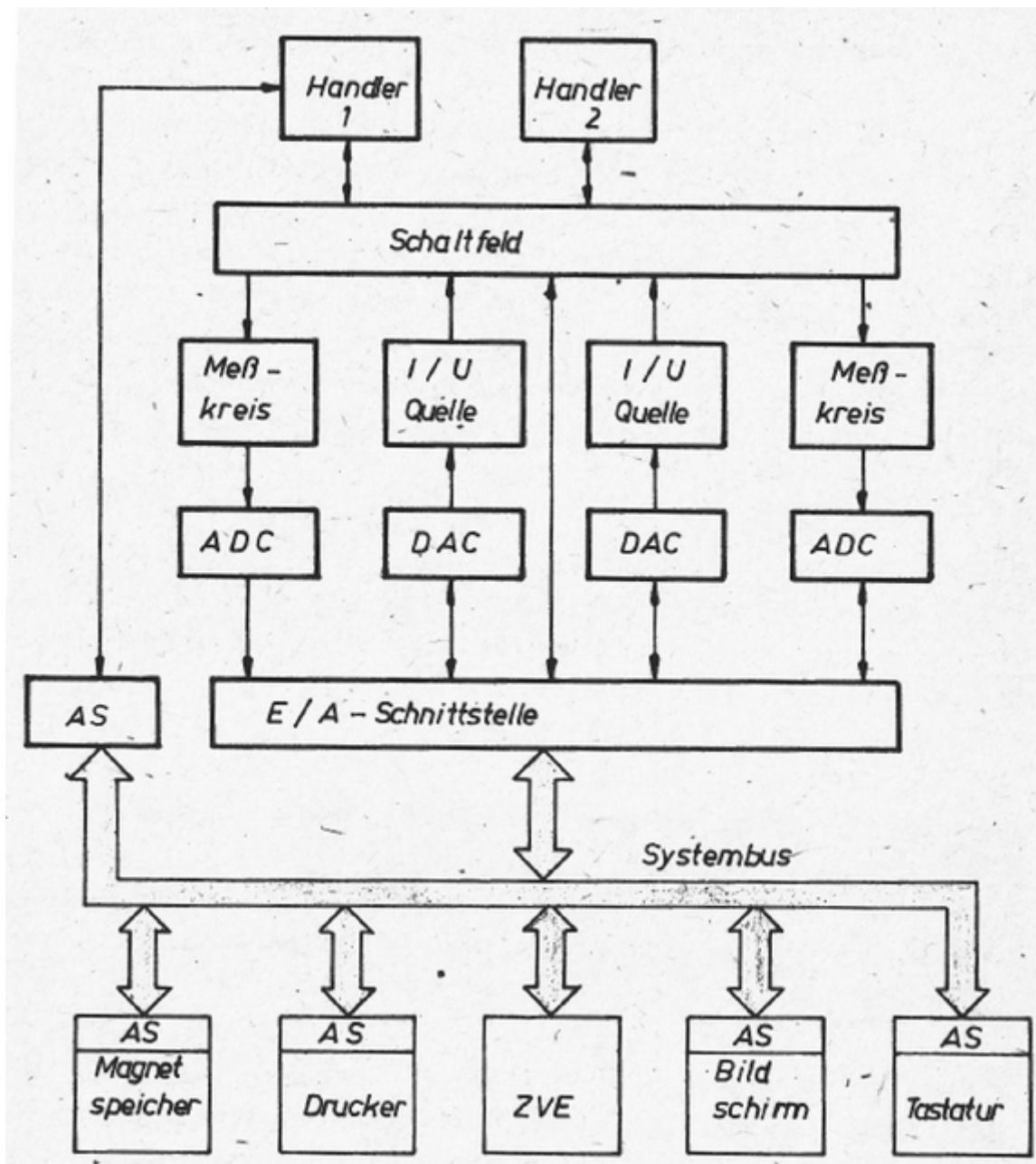


Abb. 5.6. Hardware-Struktur eines Testers für statische Kenngrößen

Der Analogteil der Anlage besteht aus mehreren programmierbaren Strom/Spannungs-Quellen und Meßkreisen, die über ein Schaltfeld mit den in der Handhabungseinrichtung befindlichen force- bzw. sense-Kontakten verbunden werden können. Das Schaltfeld erfüllt im Wesentlichen zwei Aufgaben:

- Zusammenschaltung der für den aktuellen Test erforderlichen Quellen und Meßkreise,
- Anwahl der aktuell zu bedienenden Handhabungseinrichtungen (Multiplexbetrieb).

Den Quellen und Meßkreisen sind Digital/Analog- bzw. Analog/Digital-Wandler zugeordnet, welche die digitalen Programmierungssignale sowie die analogen Meßsignale konvertieren.

Der Anschluß an den Signalfluß auf dem Rechner-Systembus stellt eine Ein/Ausgabe-Schnittstelle her. Diese Signalebene enthält alle Einrichtungen zur Adressdekodierung sowie die Daten- und Steuerungsregister, die zur Übertragung und Zwischenspeicherung der Meßdaten-, Einstell- und Steuerungsinformationen erforderlich sind.

Der Datenverkehr zwischen der Zentraleinheit des Rechners und der Datenperipherie (Bildschirmeinheit, Drucker, Lochband- und Magnet-Speichereinheiten) erfolgt über den Systembus und entsprechende Anschlußsteuerungen.

Eine alternative Testerstruktur (Abb. 5.7.) wird angewendet, wenn die zu messenden Kenngrößen sehr unterschiedliche elektronische Einrichtungen erfordern (Schaltzeiten, thermische Kenngrößen).

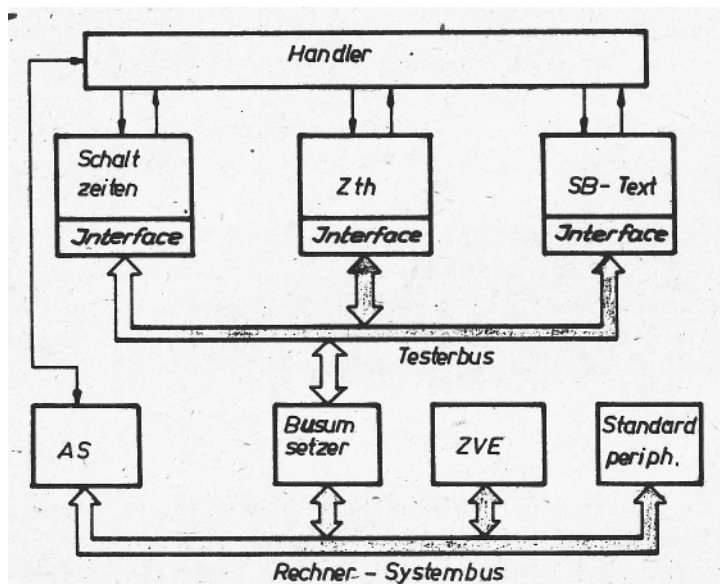


Abb. 5.7. Testerstruktur mit autonomen Meßgeräte-Moduln

Die Hardware besteht in dieser Struktur aus autonomen Geräte-Moduln mit eigenem Steuerungssystem, die alle Einrichtungen zur

- Herstellung der Meßbedingungen zur Meßwerterfassung, zur

- Analog/Digital-Wandlung und zur
- Zeitablaufsteuerung sowie
- ein Interface zum Anschluß an die Rechnerperipherie enthalten.

Zum Datenaustausch zwischen Rechner und Gerätemoduln sind Anpassungseinrichtungen an den Systembus des Rechners erforderlich. Diese Struktur ermöglicht in einfacher Weise den Austausch von Moduln oder eine Erweiterung des Systems durch Moduln mit gleichem Interface.

Die Programmierung rechnergestützter Tester erfolgt über eine alphanumerische Tastatur mit Bildschirmkontrolle oder über eine Bedienschreibmaschine. Tester für Produktionszwecke verfügen über fest programmierte Menüprogramme, in denen nur Einstell-, Grenz- und Sortierwerte variabel sind und im Frage/Antwort-Verkehr programmiert werden.

Universelle Testsysteme gestatten auch den Eingriff in die Meß-Hardware mit Hilfe maschinenorientierter Assembler-Programmierung. Fertige Programme können auf Lochstreifen oder Magnetspeichereinrichtungen ausgelagert werden und stehen somit bei Bedarf sofort bereit.

Zur Kontrolle der ordnungsmäßigen Funktion und der Genauigkeit des Meßsystems dienen spezielle Diagnose- und Eichprogramme.

5.3. Informationsverarbeitung und Ausgabeeinrichtungen

Für die Art der Ergebnisdarstellung existieren eine Reihe unterschiedlicher Möglichkeiten, die entsprechend dem Zweck der Messung in Labor und Produktion eingesetzt werden.

Zur Darstellung diskreter Meßwerte dienen analog oder digital anzeigende Geräte (Zeigerinstrumente, Digitalvoltmeter, Digitalzähler). Kurzzeitige oder flüchtige Meßergebnisse werden in analogen (sample/hold-Schaltungen) oder digitalen Speichereinrichtungen (Register) für die Dauer des Meßvorganges zwischengespeichert. Besonderen meßtechnischen Aufwand erfordert die genaue Erfassung sehr kurzer Zeitabstände zur Messung von Schaltzeiten unter $0,1\mu\text{s}$. Zweckmäßig werden dann oszilloskopische Meßverfahren angewendet.

Oszilloskope werden in der Meßtechnik an leistungselektronischen Bauelementen sowohl zur Darstellung von Strom/Spannungskennlinien (Kennlinienschreiber) als auch von Zeitfunktionen eingesetzt. Abb. 5.8. zeigt typische Oszilloskopbilder für diese Darstellungsformen. .

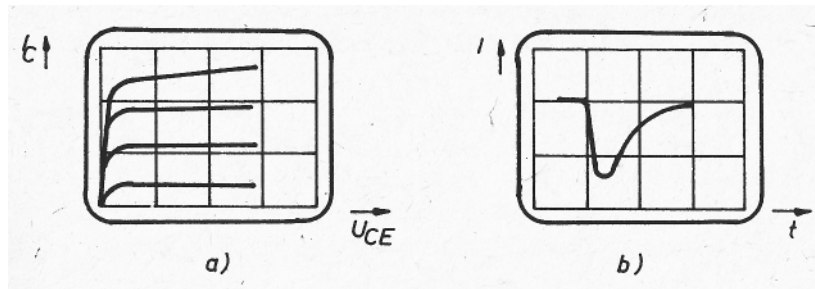


Abb. 5.8. Oszilloskopbilder

a) I_C / U_{CE} -Kennlinienfeld b) Strom-Zeit-Verlauf der t_{tr} -Messung

Im Kennlinienschreiber-Betrieb wird der Elektronenstrahl des Oszilloskops impulsweise durch Strom- und Spannungswerte in X- und Y-Richtung angesteuert.

Kennlinienfelder, wie in Abb. 5.8a., können dargestellt werden, indem abwechselnd I/U-Kurven mit unterschiedlicher Basisansteuerung des Prüftransistors geschrieben werden.

Zur Darstellung von Zeitverläufen (Abb. 5.8b.) wird die X-Achse mit geeichter Zeitbasis ausgelenkt. Mit Hilfe eines Markierungsrasters vor dem Bildschirm oder mittels eingblendeter Eichmarken können Einzelwerte, Verläufe oder Anstiege der Kennlinien abgelesen und bewertet werden.

Der Vorteil der oszilloskopischen Messung besteht in der übersichtlichen Darstellung der elektrischen Vorgänge sowie in der Möglichkeit, sehr schnelle Vorgänge zu erfassen. Nachteilig sind der relativ große Ablesefehler sowie der Zeitaufwand bei Serienmessungen. Zur Messung einmaliger Vorgänge werden Speicheroszilloskope eingesetzt, die das elektrische Ereignis nachleuchtend auf dem Bildschirm oder in digitalisierter Form in Halbleiterspeichern festhalten.

Für Serienmessungen in der Massenproduktion ist die Darstellung diskreter Meßwerte oder Verläufe nicht effektiv. Häufig genügt eine Ergebnisdarstellung in Form eines Gut/Schlechtsignals oder einer Sortierinformation für eine von mehreren Gruppen. Zur Bildung dieser Informationen wird der in der Meßeinrichtung gewonnene Meßwert mittels Komparatoren mit entsprechend eingestellten oder programmierten Referenz- oder Grenzwerten verglichen. Die Sortierinformationen steuern entweder einen Handler oder werden in manuell bedienten Meßplätzen der Bedienkraft mitgeteilt.

Rechnergestützte Meßeinrichtungen verfügen neben der Ausgabe von Sortierinformationen über vielfältige Möglichkeiten der Datenaufzeichnung und -verarbeitung. Die Datenausgabe erfolgt über Geräte der Rechnerperipherie in direkt lesbarer Form (Bildschirmdisplay oder

Drucker) oder zur maschinenlesbaren Speicherung auf Lochstreifen oder magnetische Speichermedien (Bandkassetten oder Disketten). Die konkreten Datenausgabebedingungen und Darstellungsformate werden vom Hersteller oder vom Anwender der Meßanlagen programmiert. In der Meßtechnik an leistungselektronischen Bauelementen haben sich folgende Datenerfassungs- und -verarbeitungsmöglichkeiten bewährt:

- Auflistung aller Meßwerte jedes oder jedes n-ten Prüflings,
- zusammengefaßte Prüfergebnisse einer Produktionscharge oder einer Schichtproduktion.

Dazu gehören die Darstellung des Klassierungsergebnisses (Typen- oder Klassenanfall im Prüflös) einer Ausfallübersicht (Zuordnung der Anzahl der Ausfallbauelemente zum jeweiligen Test, der zum Ausfall geführt hat) und Verteilungsfunktionen in den einzelnen Tests.

Die Ausgabe der Informationen kann in Listenform oder übersichtlicher als Histogramm erfolgen. Diese Ausgabeform ist in Abb. 5.9. am Beispiel einer Verteilungsfunktion für den Meßparameter U_{CEsat} dargestellt.

N = 250

Zeile	Wert	Anzahl
1	090	0
2	096	10 *****
3	102	8 ****
4	108	12 *****
5	114	44 *****
6	120	31 *****
7	126	41 *****
8	132	31 *****
9	138	29 *****
10	144	22 *****
11	150	19 *****
12	156	3 **

Abb. 5.9. Grafische Darstellung einer Meßwertverteilung

Statistische Berechnungsergebnisse werden ebenfalls zur Charakterisierung der Verteilungsfunktion der einzelnen Meßgrößen an einem ausgewählten Prüflös durchgeführt.

Statistische Kenngrößen wie:

- Minimalwert
- Maximalwert
- Median
- 10%-Wert
- 15,9%-Wert
- 84,1%-Wert

- 90%-Wert
- Mittelwert
- Standardabweichung

werden je Meßparameter in Tabellenform ausgegeben.

5.4. Meßautomaten

Der Einsatz von Automaten ist in der Massenproduktion effektiv, wo die Leistungsfähigkeit (Kapazität 5 ... 10 Mio/Jahr) derartig aufwendiger Anlagen wirtschaftlich genutzt werden kann. Optimal aufgebaute Automaten bestehen aus einem Tester, der mit mehreren Handhabungsautomaten (Handler oder Waferprober) im Zeitmultiplexbetrieb zusammen arbeitet. Die Anzahl der einsetzbaren Handhabungsautomaten hängt von dem Verhältnis zwischen Meßzeit des Testers und dem Zeitbedarf für die Bewegungsvorgänge der Handhabungsautomaten ab. Unter der Voraussetzung, daß die längste Meßzeit kleiner als die kleinste Bewegungszeit ist, ergibt sich die Automatentaktzeit aus der Summe der Bewegungszeiten. In Abb. 5.10. ist das Zeitregime für einen Automaten mit zwei Handlern unterschiedlicher Bewegungszeit dargestellt.

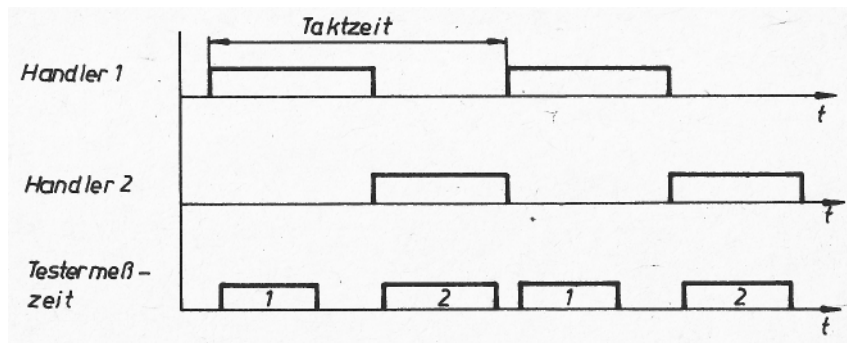


Abb. 5.10. Zeitdiagramm eines Meßautomaten

In ähnlicher Weise ist auch die Zeitbilanz von Automaten für die Scheibenmessung darstellbar.

Weitergehende Automatisierungen ergeben sich, wenn Meßautomaten mit vorhergehenden oder nachfolgenden technologischen Prozessen mechanisch und steuerungstechnisch verkettet werden (Vereinzelung, Kennzeichnung, Verpackung).

Auf der Datenseite führt die Verkopplung von Meßautomaten mit übergeordneten EDV-Systemen (über Datenträger oder on-line) zur Einbeziehung der Prüfergebnisse in umfassende CAM-Lösungen.

Literaturverzeichnis

- / 1/ TGL 200-8317 Meßverfahren für Transistoren
- / 2/ TGL 200-8295 Meßverfahren für Halbleiterdioden
- / 3/ TGL 24247 Allgemeine Technische Bedingungen, Transistoren
- / 4/ TGL 5097 Allgemeine technische Bedingungen, Halbleiterdioden
- / 5/ Kunert, M., Schröder, R.: Sicherer Arbeitsbereich (SOAR) für Leistungstransistoren,
rfe 27 (1978) 2
- / 6/ Schiff, P., Wilson, R. L.: Detection techniques for nondestructive Second-Breakdown
testing, IEEE transactions on electron devices 13 (1966) 11
- / 7/ Colens, A.: An automatic analyser for the safe operating area of a power transistor,
Journal of physics 10 (1977)
- / 8/ Palouda, H.: A nondestructive safe operating area tester,
Fairchild camera and instrumentation Bd. 6, Heft 5
- / 9/ Berning, D.: Use of vacuum tubes in test instrumentations for measuring characteristics
of fast-high-voltage semiconductor devices,
IEEE Transactions, 30 (1981) 3, S. 226
- / 10/ Fast recovery rectifier diodes, Druckschrift, Thomaon CSF 1982
- / 11/ Hildebrandt, B.: Dissertation, TU Dresden, 1981
- / 12/ Paul, R.: Transistor-Meßtechnik, Verlag Technik, 1966
- / 13/ TGL 32377/01, Bauelemente der Elektronik, Allgemeine Begriffe
- / 14/ Paul, R.: Transistoren und Thyristoren, Verlag Technik, 1977
- / 15/ Richter, W.: Grundlagen der elektrischen Meßtechnik, Verlag Technik, 1985
- / 16/ Fritzsche, W.: Prozeßrechentechnik, Verlag Technik, 1984
- / 17/ Kuske, H., Schäfer, F., Zabel, B.: Umfassender Test von Leistungshalbleitern,
Elektronik (1983), S. 63 - 67
- / 18/ Lappe, R., Fischer, F.: Leistungselektronik-Meßtechnik, Verlag Technik, 1982

Bisher sind in der Schriftenreihe folgende Hefte erschienen:

Heft 1 - Technologie der Leistungselektronik Zyklus I

spezielle Merkmale der Si-Leistungsbau-elemente-Technologie, verschiedene Grundtechnologien, Hauptverfahrensabschnitte, Probleme der Einheitstechnologie, Kontrollmessung Zyklus I

Heft 2 - Technologische Spezialausrüstungen für Zyklus I

TSA zur naßchemischen Bearbeitung, TSA zur Herstellung von pn-Übergängen, TSA zur Metallisierung, TSA zur Fotolithografie, TSA zur mechanischen Oberflächenbearbeitung, Reine Räume

Heft 3 - Technologie der Leistungselektronik Zyklus II

Aufgaben des Zyklus II, Darstellung der angewendeten Grundtechnologien, Gehäuse für leistungselektronische Bauelemente, technologische Hauptschritte (Vereinzeln, Passivieren, Kontaktieren, Zweitabdeckung, Verschluß), Weiterentwicklung

Heft 4 - Technologische Spezialausrüstungen für Zyklus II und III

TSA zum Vereinzeln, TSA zur Oberflächenpassivierung (ohne Glaspassivierung), Ausrüstungen zur Chipkontaktierung, Ausrüstungen für Bauelementeverschuß, Ausrüstungen für die Endfertigung (ohne Meßtechnik), einschließlich Verpackung

Heft 5 - Meßtechnik für leistungselektronische Bauelemente

(Transistoren und Gleichrichterioden) Aufgaben der Meßtechnik, Standardisierung, Kennwerte und Meßverfahren, Prüftechnologie und Qualitätssicherung, meßtechnische Geräte und Ausrüstungen

Heft 6 - Überwachung des Produktionsprozesses

Produktionsprozeß als Teil des betrieblichen erweiterten Reproduktionsprozesses, Qualität und Qualitätssicherungssystem, Prozeßkontrolle und -analyse, mathematisch-statistische Grundlagen, statistische Hilfsmittel, Prozeßinformationen, Weiterentwicklung zur rechnergestützten Produktion