

TN-System 4030 Raummultiplex – elektronisches Koppelfeld und übertragungstechnische Eigenschaften

Jürgen Glemser, Wilfried Kämpfer, Arthur Keßler,
Jürgen Dangel, Klaus Schlüter *)

Fernsprech-Nebenstellenanlagen mit vollelektronischem Koppelfeld werden von TN seit einigen Jahren mit dem TN-System 6030 Zeitmultiplex sehr erfolgreich eingesetzt. Es handelt sich dabei um eine unbegrenzt erweiterungsfähige Nebenstellenanlage der Baustufe III W mit einem Zeitmultiplex-Koppelfeld [1,2]

Auf kleinere Nebenstellenanlagen ist dieses bewährte Prinzip jedoch nicht ohne weiteres übertragbar, weil der entscheidende Vorteil der Zeitmultiplex-technik – eine hohe Zahl von Verbindungsmöglichkeiten pro Koppelpunkt – hier nicht ausgenutzt werden kann. Für solche Anlagen ist die Raumvielfachtechnik besser geeignet, weil sich dabei das Koppelfeld in kleinen, wirtschaftlichen Stufen der Zahl der Anschlüsse und dem Verkehrsaufkommen anpassen läßt. Deshalb wurden bei TN in umfangreichen Grundsatzarbeiten die verschiedenen Möglichkeiten der Sprechwegedurchschaltung über elektronische Koppelpunkte im Raumvielfach einschließlich der unterschiedlichen Koppelpunktprinzipien untersucht [3]. Die Erkenntnisse aus diesen Untersuchungen führten zum Koppelfeldprinzip des TN-Systems 4030 Raummultiplex und daraus abgeleitet zu einem elektronischen Koppelbaustein, der in enger Zusammenarbeit zwischen TN und AEG-Telefunken entwickelt wurde.

Systemkonzept des Sprechweges

Während bei herkömmlichen Anlagen mit metallischen Koppelpunkten außer den tonfrequenten Nutzsignalen zum Beispiel auch die Speise- und Rufströme über die Koppelpunkte übertragen werden, bietet sich bei einer vollelektronischen Durchschaltung eine Trennung zwischen den Sprachsignalen und den Steuerinformationen an. Dabei sind über die Sprechadern nur noch die relativ kleinen Nutzpegel zu übertragen, womit der Einsatz sogenannter „Schwachstrom-Koppelpunkte“ möglich ist. Dies führt zu einem Sprechwegekonzept mit Potentialtrennung, Rufstromeinkopplung und Schleifenstromspeisung in den Anschlußeinheiten, das dem bewährten Sprechwegekonzept des TN-Systems 6030 Zeitmultiplex entspricht. Die optimale Stufenzahl eines Koppelfeldes hängt ab von der Anzahl der Koppelfeldzugänge und der Kostenrelation zwischen Koppellelement und Wegesucheinrichtung. Bei mechanischen Koppelpunkten haben sich einstufige Koppler nur bis ca. 50 Nebenstellenanschlüsse als wirtschaftlich erwiesen, bei elektronischen Koppelpunkten

verschiebt sich diese Grenze nach oben, so daß für die gesamten mittleren Baustufen im TN-System 4030 Raummultiplex ein einstufiges Koppelfeld mit vollkommener Erreichbarkeit eingesetzt werden kann.

Ausgangsbasis für die übertragungstechnischen Festlegungen sind die Vorschriften der Deutschen Bundespost [11]. Die sich bereits abzeichnenden neuen Vorschriften und grundlegenden internationalen Forderungen wurden zusätzlich berücksichtigt. Aus den in [3] untersuchten Möglichkeiten wurde die symmetrische, passive, transparente Durchschaltung ausgewählt. Das bedeutet, daß die Koppelpunkte die Verbindung zweiadrig durchschalten, daß keine Verstärker oder negativen Widerstände im Sprechweg vorhanden sind und der Eingangswiderstand der Anlage in erster Linie vom jeweiligen Abschlußwiderstand bestimmt wird.

Forderungen an den elektronischen Koppelbaustein

Aus den vorgenannten Bedingungen für das gesamte Koppelfeld wurden für den einzelnen Koppelpunkt Forderungen abgeleitet, deren wichtigste im folgenden aufgeführt sind.

Übertragungstechnische Parameter

Aus der Forderung an die Einfügungsdämpfung läßt sich errechnen, daß im gesamten Sprechweg ohne Entdämpfung ein Längswiderstand von ca. 100 Ω zugelassen werden kann, wenn der Einfluß der Querwiderstände im Sprechweg klein gehalten wird. Rechnet man den Anteil der Übertrager in den Anschlußschaltungen ab, ergibt sich ein maximal zulässiger Durchlaßwiderstand von 40 Ω für beide Adern des Koppelpunktes.

Um die Forderungen für die Nebensprechdämpfung einzuhalten, müssen die Koppelkapazitäten zwischen verschiedenen Sprechwegen bei gesperrten Koppelpunkten kleiner als 0,5 pF sein, wobei vorausgesetzt wird, daß der Einfluß der Koppelwiderstände vernachlässigbar ist. Weiterhin darf der Koppelpunkt keine bemerkbaren Verzerrungen bzw. Klirr- und Intermodulationsprodukte oder Geräusche hervorrufen.

Systemparameter

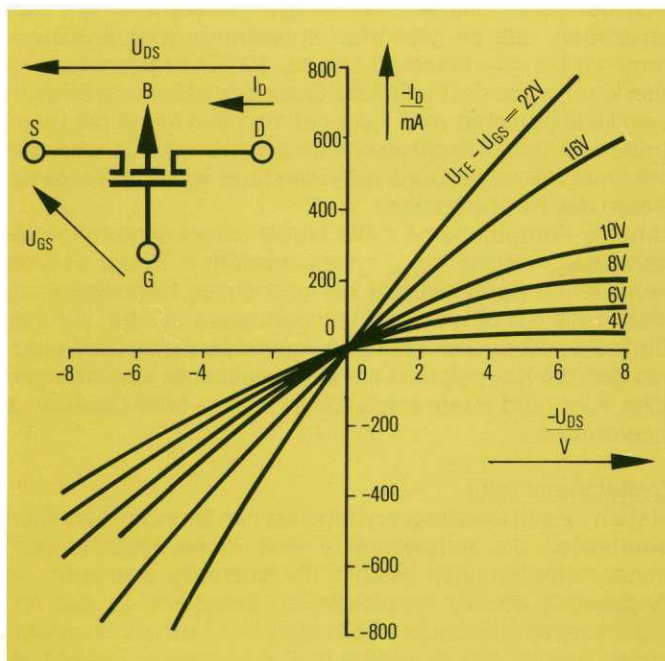
Neben diesen übertragungstechnischen Grundforderungen wurden an die Koppelpunkte eine Reihe systemtechnischer Anforderungen gestellt, die einerseits eine optimale Anpassung des zu entwickelnden Bausteins an das Anlagenkonzept [5], andererseits aber einen möglichst universellen Einsatz des Koppelbausteins gestatten. Daher soll-

*) Die Herren Dangel und Schlüter sind Mitarbeiter des Forschungsinstituts der AEG-Telefunken in Ulm.

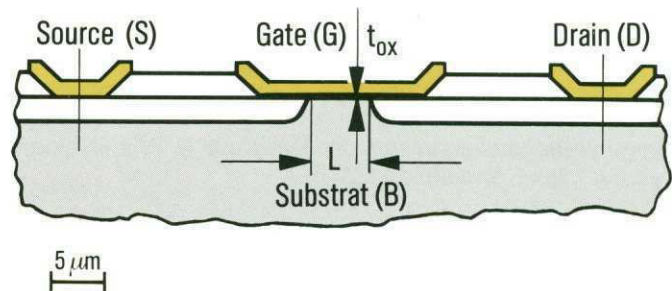
- 1 Typisches Kennlinienfeld eines PMOS-Schaltertransistors;
links oben: Definition der Anschlüsse und Bezugsgrößen
- 2 Querschnitt eines PMOS-Transistors in Metal-Gate-Technologie
- 3 Prinzip der Sprechwegdurchschaltung im Koppelbaustein U 145 M

ten die Sprechwege weder eine Vorspannung noch einen Ruhestrom benötigen, weil dies zusätzliche Bauelemente und besondere Maßnahmen beim Schalten erfordern würde. Außerdem sollte der Koppelbaustein bistabiles Verhalten zeigen, damit beim Einsatz einer zentralen Steuerung kein zusätzlicher Zwischenspeicher nötig wird. Die Ansteuerleistung läßt sich dadurch wesentlich verringern. Die Koppelfeld-Schaltbefehle müssen so ausgelegt werden, daß neben einer hohen Sicherheit gegen Fehlfunktion alle in einer Vermittlungseinrichtung erforderlichen Veränderungen des Koppelpunktzustands einfach ausgeführt werden können. Darüber hinaus müssen die Stellbefehle und Schaltbedingungen so gewählt werden, daß vom Koppelfeld möglichst wenig Rückwirkungen wie Takte oder Zeitbedingungen auf das Anlagekonzept entstehen.

Bei der Realisierung eines monolithisch integrierten Koppelbausteins sollten mehrere Koppelpunkte in einem Schaltkreis zusammengefaßt werden. Damit Erweiterungen nach den Bedürfnissen des Benutzers mit geringem „Verschnitt“ möglich sind, wurde eine Matrix von $5n \times m$ vorgegeben. Die Zuverlässigkeitsanforderungen an Vermittlungsanlagen sind so groß, daß für jedes Bauelement strenge Forderungen gestellt werden müssen. Für Koppelpunkte



1



2

gilt dies vermehrt, weil dieses Element durch seine große Anzahl und enge Verzahnung sehr stark in die Gesamtzuverlässigkeit des Systems eingeht.

Technologie des Koppelbausteins U 145 M

Um die zur Einhaltung der aufgeführten Bedingungen am besten geeignete Technologie zu ermitteln, wurden umfangreiche Voruntersuchungen durchgeführt. Dabei zeigten MOS-Schaltkreise die besten Ergebnisse, weil dabei die Ansteuerung praktisch galvanisch vom Signalweg getrennt ist, Drain und Source vertauschbar und damit der Übertragungsweg richtungsunabhängig ist und außerdem kein Ruhegleichstrom im Signalweg benötigt wird.

Von den bekannten MOS-Technologien ist die P-Kanal-Technologie mit Aluminium-Gate mit Abstand am ausgereiftesten und fertigungstechnisch sicher beherrschbar. Da beim Koppelbaustein in monolithisch integrierter Form eine Kombination aus digitaler Ansteuerschaltung und analogen Durchschaltungselementen realisiert werden mußte, erschien auch hierfür die problemlose P-Kanal-Al-Gate-Technologie am geeignetsten. Diese Technologie hat außer den oben erwähnten fertigungstechnischen Gesichtspunkten den Vorteil, daß mit ihr die für ein solches Bauelement geforderten Zuverlässigkeitswerte in der Serienproduktion bereits erzielt werden. Darüber hinaus werden mit dieser ausgereiften Technik Ausbeutewerte erreicht, die dem Baustein eine gute kostenmäßige Ausgangsposition für den Ersatz mechanischer Schalter geben. Außerdem erlaubt sie, mit Hilfe von Ionenimplantation Schwellenspannungen so einzustellen, daß Enhancement- und Depletion-Transistoren realisiert werden können. Dadurch wird eine direkte Ansteuerbarkeit aus TTL-Bausteinen möglich und aufgrund der Depletion-Lasttransistoren wird eine große Störsicherheit erreicht. Mit guter Ausbeute wurden bereits Schaltkreise mit Chipflächen bis zu 25 mm^2 realisiert; um ein kostenmäßiges Optimum zu erreichen, wurde jedoch eine obere Grenze von ca. 20 mm^2 für den Koppelbaustein vorgegeben.

MOS-Transistor als Durchschalteelement

Das beherrschende Element in einem Koppelbaustein sind die Durchschaltetransistoren, die eigentlichen Koppelpunkte. Ein MOS-Transistor wird am Gate angesteuert, wodurch der Signalweg zwischen Drain und Source durchgeschaltet bzw. gesperrt wird. Ein typisches Kennlinienfeld ist in Bild 1 dargestellt, die technologische Realisierung im Querschnitt zeigt Bild 2.

Allgemein gelten dabei folgende Gleichungen:

$$I_D = -\beta \cdot [(U_{GS} - U_{TE}) \cdot U_{DS} - \frac{1}{2} \cdot U_{DS}^2]$$

$$R_D = \left(\frac{dI_D}{dU_{DS}} \right)^{-1} = \frac{1}{-\beta \cdot [(U_{GS} - U_{TE}) - U_{DS}]}$$

mit U_{GS} = Gate-Source-Spannung
 U_{DS} = Drain-Source-Spannung
 U_{TE} = Schwellenspannung
 I_D = Drain-Strom
 R_D = differentieller Durchschaltewiderstand

Im Arbeitspunkt $U_{DS} = 0$ ergibt sich dann

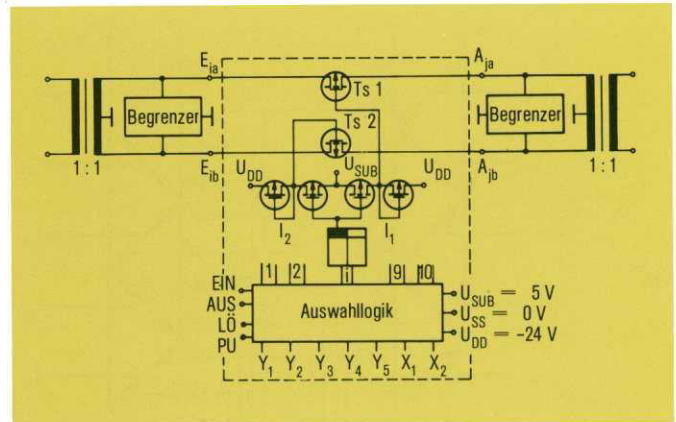
$$R_D = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{1}{|U_{GS} - U_{TE}|} \quad \text{mit } \beta = \frac{\epsilon_{ox} \cdot \mu_p}{t_{ox}} \cdot \frac{W}{L}$$

mit ϵ_{ox} = Dielektrizitäts-Konstante des Oxids
 μ_p = Beweglichkeit der Ladungsträger im Kanal
 t_{ox} = Dicke des Oxids
 W = Kanalweite
 L = Kanallänge

Der Widerstand wird also bestimmt durch technologische Parameter (ϵ_{ox} , μ_p , t_{ox}), geometrische Werte (W , L) und die extern angelegte Spannung ($U_{GS} - U_{TE}$). Da die technologischen Parameter bei einer fertigungsmäßig eingefahrenen Technologie vorgegeben sind, kann also allein über die Variation der Spannungen und der Geometrie der Durchlaßwiderstand verringert werden.

Die Schwellenspannung U_{TE} soll betragsmäßig möglichst klein sein. Sie wird aber nach unten hin begrenzt durch die Forderung nach einer TTL-kompatiblen Eingangsschaltung der Steuerlogik. Es wird vorteilhaft ein Wert von $U_{TE} = -1,7$ V eingestellt.

Die möglichst groß zu wählende Gate-Source-Spannung U_{GS} muß zusammen mit der Substratvorspannung U_{SUB} betrachtet werden. Die notwendige Substratvorspannung muß wegen der geforderten Aussteuerbreite auf +5 V festgelegt werden. Da die Ansteuerlogik den gesamten Spannungshub $U_{SUB} + |U_{GS}|$ zu verarbeiten hat, andererseits aber wegen technologischer Parameter dieser Wert 30 V nicht überschreiten darf, wurde $U_{GS} = -24$ V festgelegt.



3

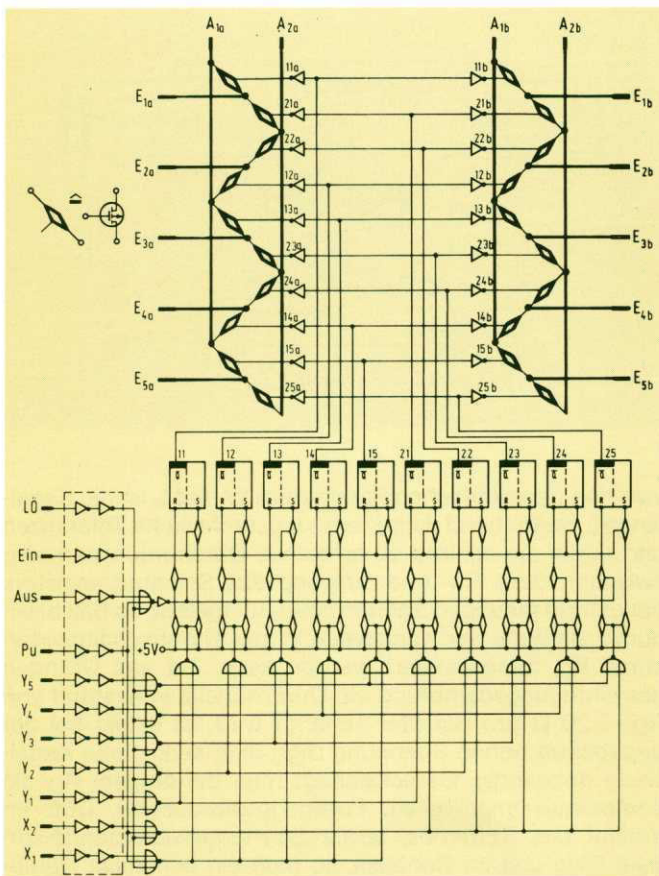
Von den geometrischen Parametern W und L ist die Kanallänge L weitgehend durch fertigungstechnische Toleranzen und durch die minimal zu fordernde Durchbruchspannung zwischen dem Ein- und Ausgang des Schaltertransistors bei extrem niedrigen Sperrströmen festgelegt, so daß allein durch die Wahl der Kanalweite W der Durchschaltewiderstand R_D dimensioniert werden kann. Da aus Gründen der Einfügungsdämpfung ein Durchschaltewiderstand von $R_D < 20 \Omega$ pro Schalter verlangt wird, ist selbst bei der gegebenen hohen Spannung U_{GS} eine sehr große Kanalweite notwendig. Berücksichtigt man bei obigem R_D die Temperaturabhängigkeit, Fertigungsstreuungen, Drift im Verlauf des Betriebes, sowie Zuleitungswiderstände auf dem Chip und im Gehäuse, so muß ein nominaler Durchschaltewiderstand des eigentlichen MOS-Transistors von 9Ω angestrebt werden. Damit errechnet sich aus der angegebenen Formel für R_D ein Verhältnis $\frac{W}{L} = 1200$. Ein Transistor dieses Verhältnisses nimmt den geringsten Flächenbedarf ein, wenn er mäanderförmig angeordnet wird. Dadurch läßt sich ein solcher Transistor auf einer Fläche von $0,33 \text{ mm}^2$ unterbringen.

Aus der notwendigen Fläche pro Durchschaltetransistor und der vorgegebenen maximalen Chipfläche ergibt sich nach Abzug des für Ansteuerlogik und Pads notwendigen Platzes, daß sicher 20 Schaltertransistoren realisiert werden können. Da jeder Koppelpunkt wegen der 2adrigen Durchschaltung 2 Schaltertransistoren benötigt, eine möglichst quadratische Chipform angestrebt wird, und eine Fünfteilung erwünscht ist, wurde zur Realisierung eine 5×2 -Matrix gewählt.

Baustein-Realisierung

Die prinzipielle Funktionsweise eines Koppelbausteines zeigt Bild 3. In dem durch Übertrager abgetrennten Sprechweg liegen die Durchschaltetransistoren $Ts1$ und $Ts2$ für a- und b-Ader. Jeder dieser Transistoren wird von einem Inverter $I1$ bzw. $I2$ angesteuert. Der Zustand „Eingeschaltet“ oder „Ausgeschaltet“ wird in Flipflops gespeichert, von denen für jeden Koppelpunkt eines vorhanden ist, insgesamt also 10 Stück. Welches dieser Flipflops ausgewählt und ob es gesetzt oder rückgesetzt wird, wird in einer Auswahllogik decodiert.

Das komplette Logikdiagramm des Bausteines ist in Bild 4 dargestellt. Man erkennt hier die fünf Eingänge E_j jeweils für die a- und b-Adern und die entsprechenden zwei Ausgänge A_j , sowie die zu jedem Transistor gehörigen Ansteuerinverter. Fünf Auswahlleitungen Y_j definieren entsprechend ihrem Index die Zeilen E_j , zwei Auswahlleitungen X_j definieren die Spalten A_j der Matrix, in der ein Koppel-



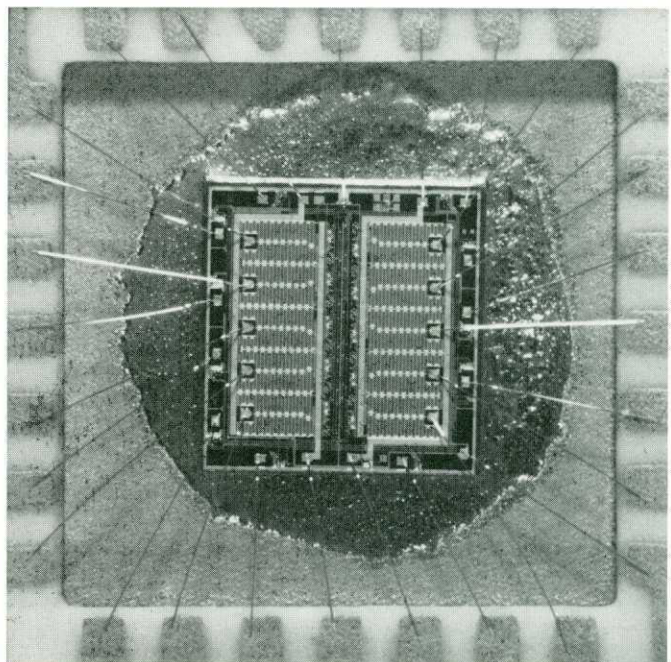
4

punkt geschaltet werden soll. In dieser Matrixansteuerung ermöglicht die Koinzidenz von Y_i und X_j , daß sich die Stellbefehle EIN oder AUS auf den Zustand eines der 10 Speicher-Flipflops auswirken können, die dann ihrerseits die Schaltertransistoren eines Koppelpunktes schalten und diese in dem gewünschten Zustand festhalten, bis sie wieder durch neue Steuerbefehle umgeschaltet werden. Zusätzlich zu den Stellbefehlen EIN und AUS wurde ein Löschbefehl LOE über eine Steuerleitung integriert, der es ermöglicht, ohne Aktivierung von X_j und Y_i alle Koppelpunkte des Bausteines gleichzeitig gemeinsam auszuschalten. Der weitere Steuerbefehl PU (Putzen) erlaubt das Ausschalten aller Koppelpunkte innerhalb einer durch Y_i ausgewählten Zeile des Koppelbausteines. Die Inverter am Eingang der Steuerleitungen bewirken eine Pegelwandlung, so daß der MOS-Baustein aus TTL-Gattern ansteuerbar ist.

In dem Bild 5 erkennt man die großen Durchschaltetransistoren auf dem Chip, mit den senkrecht verlaufenden Aluminium-Ausgangsleitungen A_{ja} und A_{jb} zur niederohmigen Verbindung der einzelnen Schaltertransistoren. Die gesamte Auswahllogik ist zwischen den Schaltertransistoren angeordnet, lediglich die Eingangspegelwandler und die nachfolgende Verknüpfung mit dem LOE-Befehl sind neben den entsprechenden Pads angeordnet. Die Gesamtfläche des Chips beträgt 16 mm^2 , wovon 50 % auf die Schaltertransistoren und 10 % auf die Ansteuerlogik entfallen. Die Pads mit den Pegelwandlern und der entsprechenden Verdrahtung beanspruchen 40 % der Fläche. Innerhalb der Schaltertransistoren erkennt man die Bondpads für die Eingänge E_i , so daß durch diese Art der Bondüberkreuzung über die A_j -Ausgangsleitungen die 5×2 -Matrix mit nur einer metallischen Verdrahtungsebene realisiert werden kann.

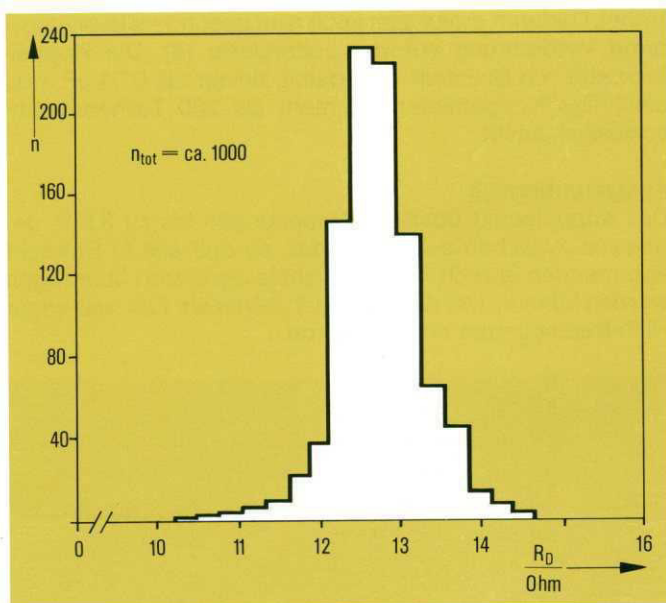
Das Chip wird in ein 28poliges Keramikgehäuse eingebaut. Von den 28 Anschlüssen werden 14 für die Sprechwege benötigt, insgesamt 7 für die Matrixansteuerung X_j und Y_i , 4 für die Steuerbefehle EIN, AUS, LOE, PU und 3 für die Betriebsspannungen 0, +5 V und -24 V. Die Verlustleistung bei diesen Spannungen beträgt typisch 150 mW je Baustein.

Es ist allgemein bekannt, daß MOS-Schaltungen wegen des hohen Eingangswiderstandes des Gates und wegen des dünnen Gateoxids empfindlich gegen Überspannungen sind. Einmal können beim „handling“ durch statische Aufladung Spannungen von einigen Kilovolt entstehen und außerdem können bei Wartungsarbeiten höhere Spannungen an den Baustein gelangen. Daher müssen für alle Ein- und Ausgänge Schutzschaltungen vorgesehen werden. Für die Logikeingänge konnten bekannte Schutzschaltungen aus Vorwiderständen und großflächigen Dioden integriert werden, die negative Stoßspannungen bis in die Größenordnung von 1 kV, positive Spannungen bis 2 kV ableiten. Um die Niederohmigkeit der Schaltertransistoren im Signalweg einzuhalten, ist hier ein Vorwiderstand nicht möglich, so daß die Schutzfunktion allein von Dioden, realisiert als Feldtransistoren, geleistet werden muß. Parallel dazu wirken sich hier jedoch noch zusätzlich



5

- 4 Logikplan des 5x2-Koppelbausteins für zweiadrige, erdsymmetrische Durchschaltung
- 5 5x2-Koppelbaustein; natürliche Größen des Chips ca. 4 x 4 mm (siehe auch Titelbild)
- 6 Häufigkeitsverteilung der Durchschaltewiderstände R_D von PMOS-Koppelbausteinen
- 7 Temperaturabhängigkeit des normierten Durchschaltewiderstandes R_D



6

die großflächigen Dioden der Drain- und Source-Diffusionen aus, so daß Zerstörungen durch Stoßspannungen im Sprechweg erst bei Werten von $> 4,8$ kV für beide Spannungspolaritäten beobachtet wurden.

Übertragungstechnische Kennwerte des U 145 M

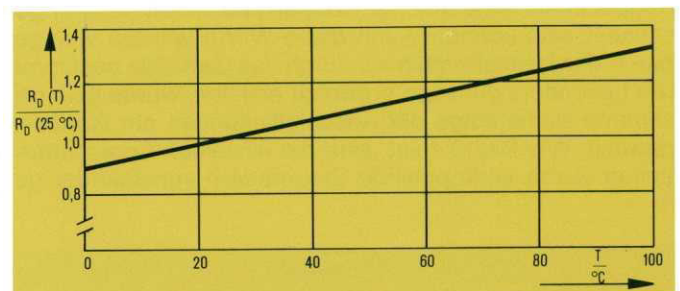
Durchschaltewiderstand R_D

Der realisierte Koppelbaustein zeigt Meßwerte, die mit den vorausgerechneten Werten gut übereinstimmen. Für den Durchschaltewiderstand des Schaltertransistors allein wurde $R_D = 9 \Omega$ angesetzt. Dazu kommen noch Widerstände für die Aluminium-Zuleitungen auf dem Chip, die Widerstände der Bonddrähte sowie die Widerstände der Siebdruckbahnen im Multilayer-Keramikgehäuse. Für diese zusätzlichen Widerstände wurde ein Wert von ca. 4Ω berechnet. Allerdings schwankt dieser Wert je nach Lage der Gehäusezuleitung und der Lage des Schaltertransistors. Als Mittelwert über die Schaltertransistoren wurde 13Ω gemessen. Wie gut reproduzierbar dieser Widerstandswert über eine große Anzahl von Bausteinen realisiert werden kann, zeigt Bild 6, in dem eine Häufigkeitsverteilung von R_D bei insgesamt 1000 Elementen aufgetragen ist. Die Standardabweichung vom Mittelwert beträgt nur 7 %. Auch die Symmetrie zwischen den Schaltern der a- und b-Adern ist sehr gut. Die Streubreite der Widerstandsdifferenz $\Delta R_D = R_{Da} - R_{Db}$ zwischen a- und b-Ader des

gleichen Sprechweges auf einem Chip beträgt etwa $\pm 0,4 \Omega$. Die gemessenen Mittelwerte ΔR_D der verschiedenen Koppelpunkte liegen bedingt durch die geometrische Anordnung und Layout-Ausführung zwischen $0,2 \Omega$ und 1Ω . Mit diesen Widerstandswerten kann also die Systemforderung von $R_D < 20 \Omega$ mit ausreichender Sicherheit eingehalten werden. Auch innerhalb des zu tolerierenden Spannungsbereiches von $\pm 5 \%$ des angegebenen Wertes ergibt sich für den Widerstand nur eine vernachlässigbare Änderung des Mittelwertes von 4 %.

Der Einfluß der Temperatur auf R_D ist im Bereich von 0°C bis 100°C in normierter Form in Bild 7 dargestellt. Der Verlauf kann als linear betrachtet werden. Der ermittelte Temperaturkoeffizient von $\alpha = 4,1 \cdot 10^{-3}/^\circ \text{C}$ ist für die vorliegenden Anwendungen unkritisch. Die Ursache für diese Temperaturabhängigkeit beruht auf der Änderung der Ladungsträgerbeweglichkeit μ_p im Kanal.

Durch die prinzipiellen physikalischen Eigenschaften der MOS-Schaltertransistoren ist die Ableitung vernachlässigbar gering, der Ableitwiderstand ist größer als $10 \text{ M}\Omega$.



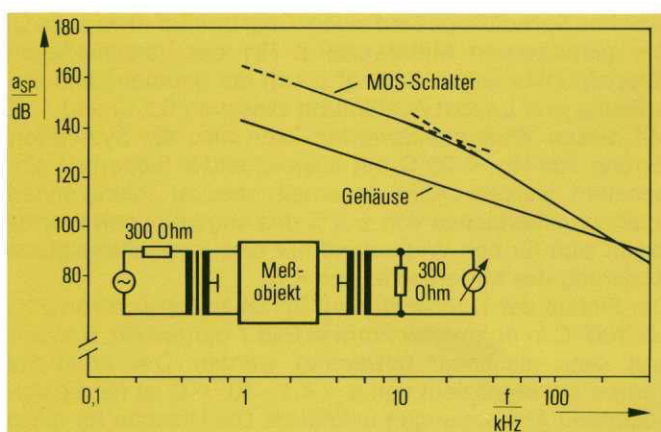
7

Sperrdämpfung

Die Sperrdämpfung eines nicht durchgeschalteten Koppelpunktes wird in erster Linie von der Sperrkapazität bestimmt, der ohmsche Anteil ist mit $> 1000 \text{ M}\Omega$ verschwindend gering. In Bild 8 ist der Frequenzverlauf der Sperrdämpfung für den Halbleiter-Koppelpunkt allein und für das Gehäuse ohne Chip aufgezeigt. Man erkennt daraus, daß die Werte für den kompletten Baustein fast vollständig vom Gehäuse bestimmt werden. Der eigentliche Schalter hat bei $3,4 \text{ kHz}$ einen typischen Wert von $a_{sp} = 153 \text{ dB}$, was einer Sperrkapazität von $0,007 \text{ pF}$ entspricht! Eingebaut im Gehäuse liegt dieser Wert immer noch unter $0,15 \text{ pF}$.

Nebensprechen

Das Nebensprechen wird nicht nur durch die Sperrdämpfung sondern auch durch die Koppelkapazität zwischen



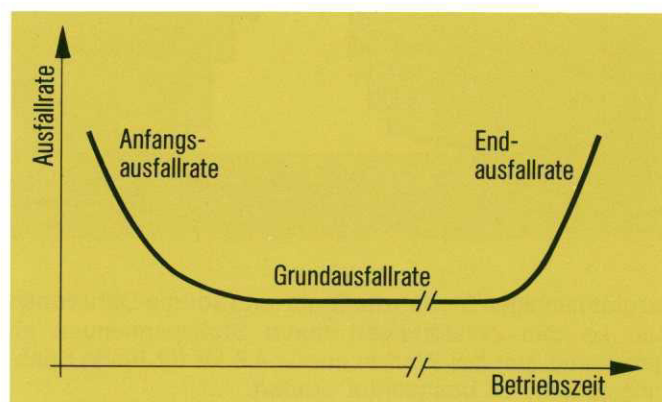
8

verschiedenen Sprechwegeanschlüssen innerhalb eines Koppelbausteins bestimmt. Diese Kopplungen müssen besonders klein sein, weil in Abhängigkeit von der Größe des Koppelfeldes viele solcher Koppelkapazitäten parallel geschaltet sein können. Auch diese Werte werden weniger durch das Halbleiterchip als durch das Gehäuse bestimmt. Um besonders günstige Werte zu erzielen, wurde eine bestimmte Reihenfolge der Anschlußleitungen am Gehäuse gewählt. Wie Bild 9 zeigt, sind die einzelnen Sprechadern immer durch entkoppelnde Steueradern voneinander ge-

trennt. Dadurch ergibt sich auch eine besonders kopplungsarme Verdrahtung auf der Leiterplatte [4]. Die Koppelkapazität pro Baustein wird damit kleiner als 0,04 pF, was einstufige Koppelfelder mit mehr als 200 Teilnehmeranschlüssen zuläßt.

Aussteuerbereich

Der Koppelpunkt überträgt Spannungen bis zu 3,5 V, gemessen zwischen a- und b-Ader, so daß alle in Betracht kommenden Sprech- und Tonsignale unverzerrt übertragen werden können. Der Klirrfaktor ist kleiner als 1⁰/₁₀₀, was sogar Hi-Fi-Bedingungen erfüllen würde.



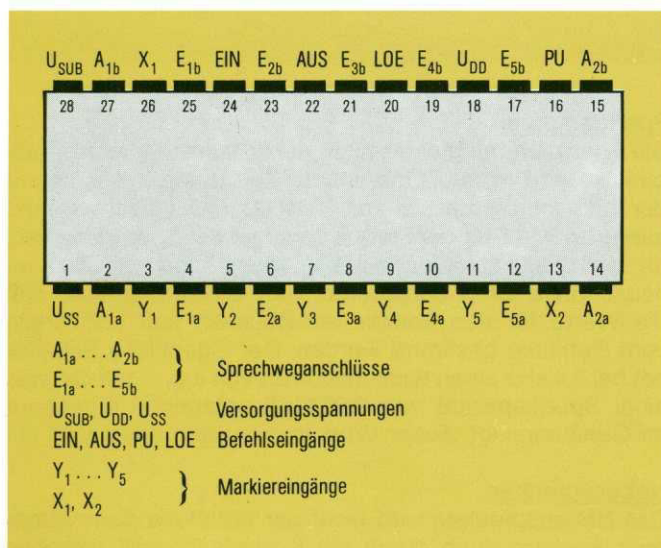
10

Die Übersteuerungsgrenze von 6,2 V gibt die Spannung an, die vom Koppelpunkt noch sicher gesperrt wird. Bei größeren Werten kann der gesperrte Schalter vom Signal angesteuert werden.

Zuverlässigkeitswerte des U 145 M

Zuverlässigkeitsparameter bei MOS-Technologie

Während die Ausfallrate eines Relais u. a. von der Anzahl der Schaltspiele abhängig ist, hat die Schalthäufigkeit bei Halbleiterschaltungen praktisch keinen Einfluß. Die wesentlichen Faktoren, die die Lebensdauer von Halbleiterbauelementen beeinflussen, sind die an den Baustein angelegten Spannungen, die Umgebungstemperatur sowie die Betriebsstundenzahl. Die bei Halbleiterbauelementen geltende Abhängigkeit der Ausfallrate von der Betriebszeit folgt der sogenannten „Badewannenkurve“ gemäß Bild 10 [6], die sich in die drei Bereiche „Anfangsausfallrate“, „Grundausfallrate“ und „Endausfallrate“ unterteilen läßt. Die Anfangsausfälle resultieren üblicherweise aus Her-



- 8 Frequenzverlauf der Sperrdämpfung; unten: Meßanordnung
- 9 Anschlußbelegung des Koppelbausteins U 145 M
- 10 Abhängigkeit der Ausfallrate von der Betriebszeit bei Halbleiterbauelementen

stellungsfehlern, die bei der Endmessung beim Bauelementehersteller noch nicht zum Ausfall führen, sondern sich erst nach einigen zehn bis hundert Betriebsstunden als Fehler bemerkbar machen. Die nachfolgend etwa gleichbleibende Ausfallrate wird durch die grundsätzliche technologische und schaltungstechnische Qualität bestimmt. Die zunehmende Endausfallrate tritt auf, wenn die Bauelemente „altersschwach“ geworden sind.

In der MOS-Technologie können folgende Effekte als Ausfallursachen auftreten:

- Ladungsverschiebungen im Oxid verursachen eine Drift der Schwellenspannungen, die zu Fehlfunktionen der Schaltung führen können.
- Risse und Einschnürungen der Aluminium-Leiterbahnen an Oxidstufen oder durch Lackfehler führen zu einer überhöhten Stromdichte und bewirken durch den „electromigration“-Effekt Leiterbahnunterbrechungen.
- Oxidfehler führen zu Durchbrüchen beim Auftreten hoher Feldstärken und bewirken dadurch Kurzschlüsse zwischen Al-Leiterbahnen und diffundierten Zonen.
- Nicht hermetisch dichte Gehäuse ermöglichen das Eindringen von Fremdionen oder aggressiver Atmosphäre und führen zur Zerstörung des Bausteins.

Aus der Kenntnis dieser Ursachen lassen sich einige Maßnahmen ergreifen, um die Ausfallursachen wesentlich zu verringern. Dazu gehören einmal eine sorgfältige Auslegung der Schaltung, die die regelmäßigen, physikalisch bedingten Driftbewegungen ohne Fehlfunktionen verkraftet, und weiterhin eine Layout-Gestaltung, die genügend Freiheitsgrade für Ätz- und Justiertoleranzen enthält. Darüber hinaus ist eine sorgfältige technologische Prozeßführung von außerordentlicher Bedeutung. Eine systematische Qualitätskontrolle bei den technologischen Einzelschritten sorgt für „Sauberkeit“ und Reproduzierbarkeit. Das Problem undichter Gehäuse kann durch die Verwendung von hermetisch dichten Keramikgehäusen weitgehend entschärft werden. Nach dem Auflöten des Deckels wird durch standardmäßig durchgeführte Temperaturzyklen und anschließende Leckprüfungen die Dichtigkeit gewährleistet. Eine Anwendung der wesentlich preisgünstigeren Plastikgehäuse kann nach dem derzeitigen Erfahrungsstand besonders bei hohen Langzeitanforderungen noch nicht vertreten werden. [7, 8, 9].

Lebensdauer-Versuch

Über diese vorbeugenden Maßnahmen hinaus wurden mit dem 5x2-PMOS-Koppelbaustein umfangreiche Zuverlässigkeitstests durchgeführt, um bereits vor dem Einsatz die von dem Baustein geforderte Qualität nachzuweisen.

Dadurch wurde einerseits sichergestellt, daß der Baustein keine bei der Entwicklung unentdeckten Schwachstellen bezüglich der Schaltungs- und Layout-Auslegung mehr enthält. Weiterhin wurden Verbesserungen des technologischen Prozesses eingeführt, die den besonderen Bedingungen und übertragungstechnischen Anforderungen dieses neuartigen Schaltkreises gerecht werden.

Da die in der Praxis vorliegenden Einsatzbedingungen der Koppelbausteine in Vermittlungsanlagen unter vertretbarem Schaltungs- und Zeitaufwand in derartigen Zuverlässigkeitstests nicht nachgebildet werden können, wurden unter dem Aspekt der absoluten Qualitätssicherung diejenigen Belastungen als statische Einsatzbedingungen gewählt, die die Ausfallmechanismen des Bausteins am meisten begünstigen. Dazu wurden im Test die analogen Schaltertransistoren permanent unter maximalen Spannungen betrieben. Dies entspricht dem eingeschalteten Zustand, der nach verkehrstheoretischen Gesichtspunkten nur zu einem geringen Prozentsatz des durchschnittlichen Betriebszustandes auftritt. Weiterhin wurde eine Temperatur von $T = 70^\circ\text{C}$ gewählt, die die üblicherweise vorkommende Betriebstemperatur von $T = 50^\circ\text{C}$ erheblich überschreitet. Durch diese worst-case-Randbedingungen werden die Ausfallmechanismen zusätzlich wesentlich beschleunigt. Der Beschleunigungsfaktor errechnet sich nach folgender Beziehung:

$$b = \exp \left[\frac{E_A}{k} \cdot \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \right]$$

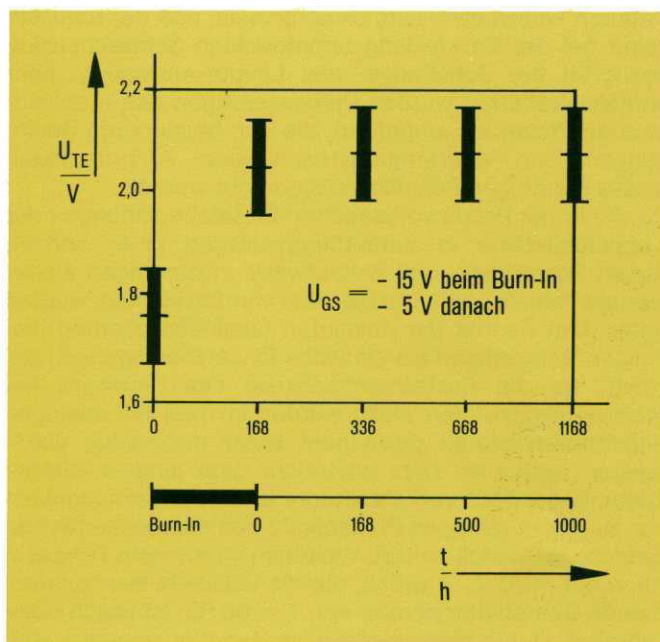
mit T_1, T_2 = Temperatur in K

k = Boltzmann-Konstante ($8,63 \cdot 10^5$ eV/K)

E_A = Aktivierungsenergie

Die Aktivierungsenergie E_A ist für jede Fehlerursache unterschiedlich, in [10] werden dafür einige Werte angegeben. Sie umfassen den Bereich von 0,3 eV (Oxid-Durchbrüche) bis 1,4 eV (Driftbewegungen). Setzt man als Mittelwert $E_A = 1,0$ eV an, so ergibt sich für die Temperaturdifferenz $70^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C}$ der Beschleunigungsfaktor $b = 8$.

Der Lebensdauer-Versuch wurde mit ca. 1000 Bausteinen durchgeführt. Diese wurden zunächst einem sogenannten Burn-In von 168 h bei 100°C ausgesetzt, um die Frühausfälle zu ermitteln. Danach wurden die Bausteine 10 000 h unter den oben erwähnten worst-case-Bedingungen betrieben, wobei nach 168 h, 500 h, 1000 h, 2000 h und 4000 h Zwischenmessungen durchgeführt wurden. Die Testergebnisse zeigen, daß die spätere Ausfallrate durch den Burn-In erheblich verringert werden kann. Deshalb wurde dieser Burn-In auch als fester Bestandteil in die Serienproduktion übernommen. Gleichzeitig ergibt sich, daß die



11

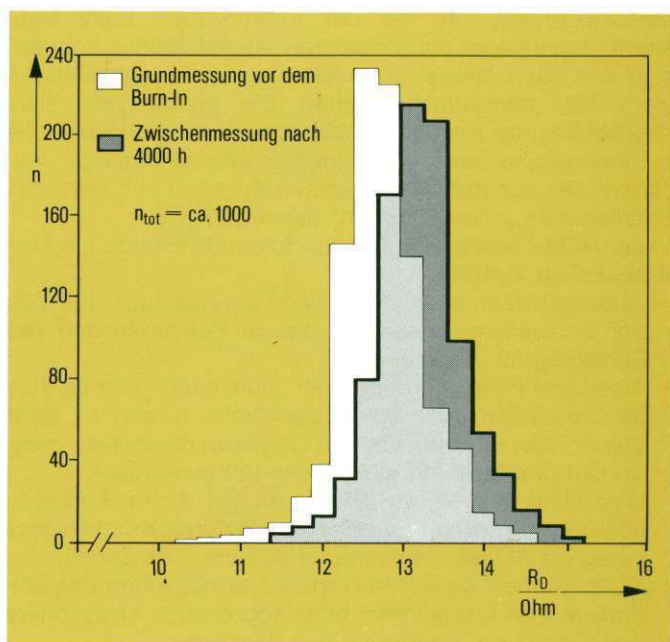
Driftbewegung der verschiedenen Parameter nach dem Burn-In bereits den Sättigungswert erreicht hat, so daß die Werte während der folgenden Zeit nahezu konstant bleiben. Bild 11 zeigt diesen Verlauf am Beispiel der Enhancement-Schwellenspannung. Durch den Burn-In und den nachfolgenden Lebensdauertest wurde die Form der Verteilungskurven nicht wesentlich verändert, wie Bild 12 am Beispiel des Durchschaltewiderstandes R_D zeigt. Zwar wird wie erwartet die Verteilungskurve in ihren Absolutwerten durch Schwellenspannungsdriften zu höheren Werten hin leicht verschoben, die Form der Verteilung bleibt jedoch ziemlich genau erhalten. Das beweist, daß die Drift durch eindeutig kalkulierbare physikalische Ursachen hervorgerufen wird.

Die beim Test nach 10 000 h ermittelte Ausfallrate war bei 70 °C und 60 % Vertrauensintervall besser als 10^{-6} (1/h) pro Baustein. Rechnet man den Beschleunigungsfaktor b ein, ergibt sich für 50 °C

$$\lambda \text{ (IC)} = 1,3 \cdot 10^{-7} \text{ (1/h)}$$

Für eine Anlage mit 50 Teilnehmern und 10 Verbindungsätzen ergibt sich daraus für das Koppelfeld ein mittlerer Ausfallabstand

$$\text{MTBF} = 153\,800 \text{ h} \approx 17\frac{1}{2} \text{ Jahre}$$



12

Übertragungstechnische Eigenschaften der Fernsprech-Nebenstellenanlage TN-System 4030 Raummultiplex

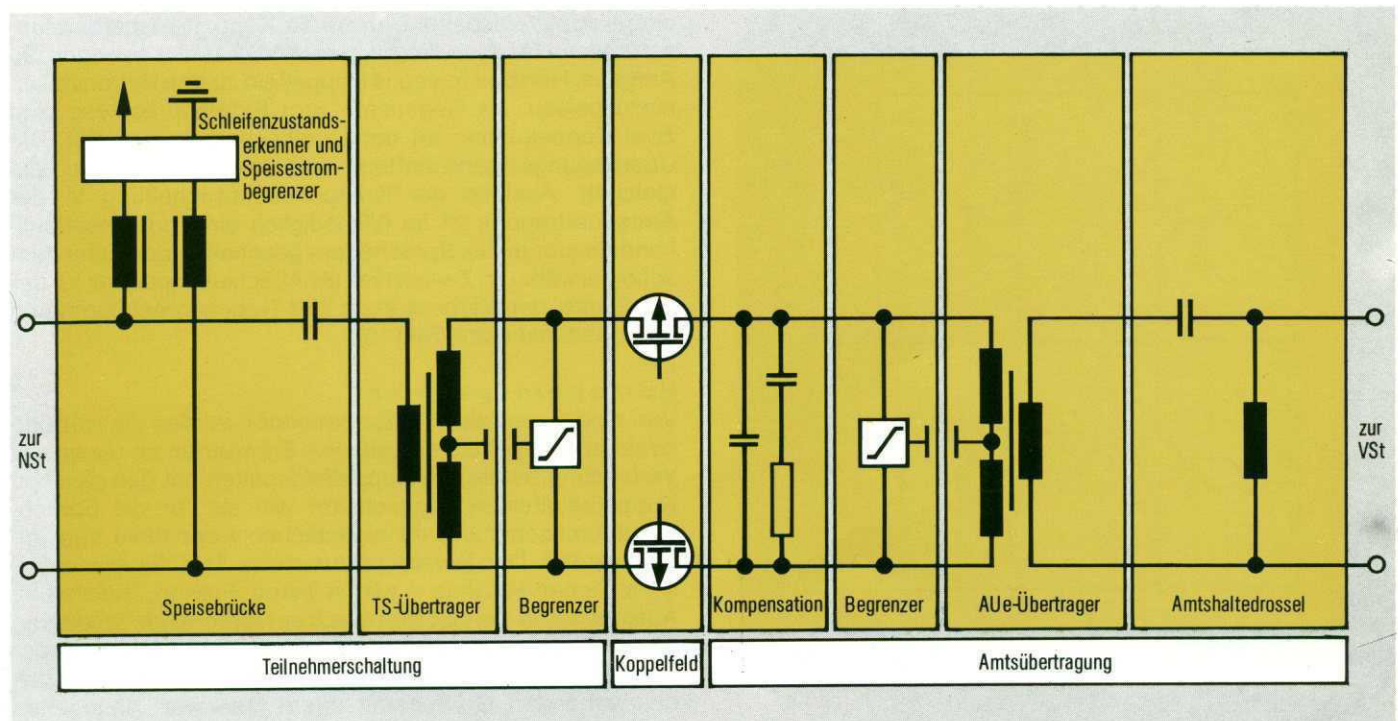
Aufbau des Sprechweges

In einem einstufigen Koppelfeld ist es möglich, Verbindungen zwischen Zeilen und Spalten über einen und zwischen Zeilen bzw. zwischen Spalten über zwei Koppelpunkte durchzuschalten. Die Organisation des Sprechwegenetzes, d. h. die Anschaltung der peripheren Baugruppen an die Koppelfeldzeilen und -spalten ist in [5] beschrieben. Demnach werden alle Verbindungen zum öffentlichen Fernsprechnet mit minimaler Dämpfung über nur einen Koppelpunkt, Verbindungen innerhalb der Nebenstellenanlage über zwei Koppelpunkte durchgeschaltet.

Externsprechweg

Die an einem Externsprechweg im Gesprächszustand beteiligten Bauelemente zeigt Bild 13. Sie bestimmen zusammen mit dem Koppelfeld die übertragungstechnischen Eigenschaften dieses Sprechwegabschnittes. Die baugleichen Übertrager in Teilnehmerschaltung und Amtsübertragung stellen für die zu übertragenden tonfrequenten Nutzsignale das verbindende Element zwischen den angeschlossenen Leitungen und dem Koppelfeld dar, wobei Speisegleichströme durch die zugehörigen Koppelfonden-

- 11 Enhancement-Schwellenspannungsdrift eines spannungsbelasteten Transistors; Balkenhöhe entspricht der Streubreite
- 12 Drift der Häufigkeitsverteilung der Durchschaltewiderstände R_D vom Beginn des Burn-In bis zur Zwischenmessung nach 4000 Stunden
- 13 Externsprechweg im TN-System 4030 Raummultiplex



13

satoren von den Übertragern ferngehalten werden. Andererseits schließen diese Übertrager das Koppelfeld nach außen hin ab und schützen es weitgehend gegen leitungsbedingte Störeinflüsse wie z.B. Längsspannungen. Das Übersetzungsverhältnis der Übertragerwicklungen Leitungsseite zu Koppelfeldseite beträgt 1 : 1. Wegen des Einflusses auf die Einfügungsdämpfung haben die Übertrager relativ kleine Kupferwiderstände von jeweils ca. 30 Ω .

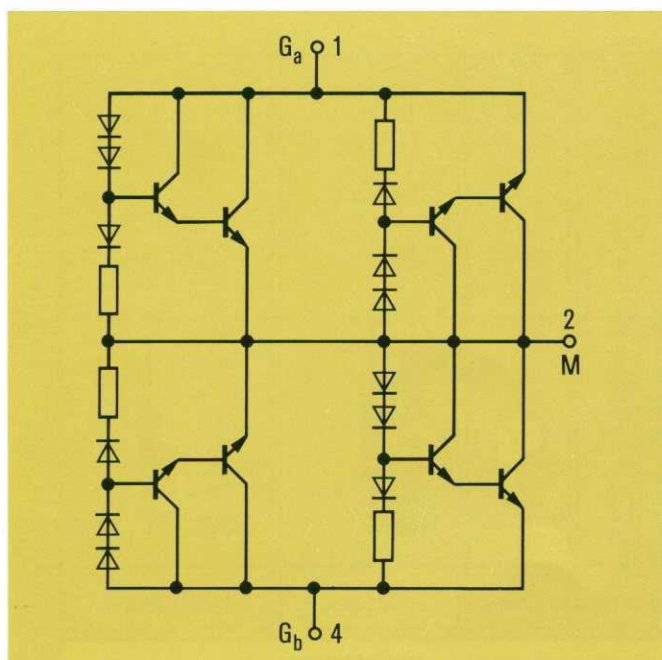
Der Speisegleichstrom für die Sprechstelle wird der Nebenanschlußleitung über eine symmetrisch aufgeteilte Drossel zugeführt, wodurch die geforderte erdsymmetrische Anschaltung an die Leitung sichergestellt wird. Ebenso wird durch die Induktivität der Speisedrossel der Sprechweg wechselstrommäßig von der Speisespannung entkoppelt, um den Einfluß auf Einfügungsdämpfung und Rückflußdämpfung klein zu halten. Im Speiseweig ist weiterhin eine Strombegrenzungsanordnung vorgesehen, die bei kurzen Nebenanschlußleitungen und beim Erdtastendruck verhindert, daß der Speisestrom unerwünscht hohe Werte annimmt. Vorteilhaft hierbei ist, daß die Speisedrossel auch nur für eine geringe Gleichstromvormagnetisierung dimensioniert sein muß und dementsprechend kleinvolumiger

ausgeführt sein kann. Durch den geringen Speisestrom von ca. 35 mA wird außerdem die Sendebezugsdämpfung bei Verwendung von Kohlemikrofonen den Speiseverhältnissen beim Hauptanschluß angenähert, wodurch in gewünschter Weise die Rückhörbezugsdämpfung zusätzlich verbessert wird.

Praktisch ohne Einfluß auf die Übertragungseigenschaften des Sprechweges ist der Schleifenzustandserkennung, von dem Schließen und Öffnen der Gleichstromschleife durch die Nebenstelle beim Gesprächsauf- und -abbau, der Erdtastendruck sowie das Aussenden der gewählten Ziffern bei Impulswahl aufgenommen und zur weiteren Auswertung der Steuerung zugeleitet werden. Als Schleifenindikatoren dienen Optokoppler, womit eine galvanische Trennung zwischen den leitungsbezogenen Stromkreisen und den Auswerteschaltungen gewährleistet ist.

In der Amtsübertragung erfüllen die Bauelemente im Sprechweg z.T. dieselben Aufgaben wie in der Teilnehmerschaltung. Das trifft zu für den das Koppelfeld abschließenden Übertrager, den Koppelkondensator und den Begrenzer, dessen Aufgabe weiter unten erläutert ist. An die Stelle der Speisebrücke tritt hier die Amtshaltedrossel. Zusätzlich kann in

- 14 Monolithisch integrierter Begrenzerbaustein U 225 B von AEG-Telefunken
- 15 Internsprechweg im TN-System 4030 Raummultiplex
- 16 Hörtoneinspeisung in das Koppelfeld
- 17 Einfügungsdämpfung eines Externsprechweges; typische Werte
- 18 Rückflußdämpfung eines Externsprechweges, gemessen an 600 Ohm; typische Werte
- 19 Nebensprechdämpfung zwischen benachbarten Externsprechwegen; typische Werte.



14

gewohnter Weise eine Gebührenweiche Bestandteil des Sprechweges sein. Weiterhin enthält der Sprechweg auf der Koppelfeldseite des Übertragers parallel zu den Sprechadern eine Kompensationsschaltung. Diese Anordnung bewirkt eine bessere Anpassung an den frequenzabhängigen Scheinwiderstand der Anschlußleitungen und erhöht damit die Rückhörbezugsdämpfung bei der Nebenstelle im Externverkehr.

Die bereits erwähnten Begrenzer sollen einerseits Störspannungen vom elektronischen Koppelfeld fernhalten, die eine bestimmte Schwelle überschreiten, andererseits den Aussteuerbereich für die Nutzsignale jedoch nicht nachteilig beeinflussen. Derartige Störspannungen treten zum Teil im normalen Betrieb auf z.B. bei Impulswahl und Rufanschaltung. Zusammen mit anderen Maßnahmen gewährleisten die Begrenzer zusätzlich einen ausreichenden Überspannungsschutz – z. B. bei Blitzeinwirkung – für das elektronische Koppelfeld. Bild 14 zeigt die Schaltung des monolithisch integrierten Begrenzers U 225 B.

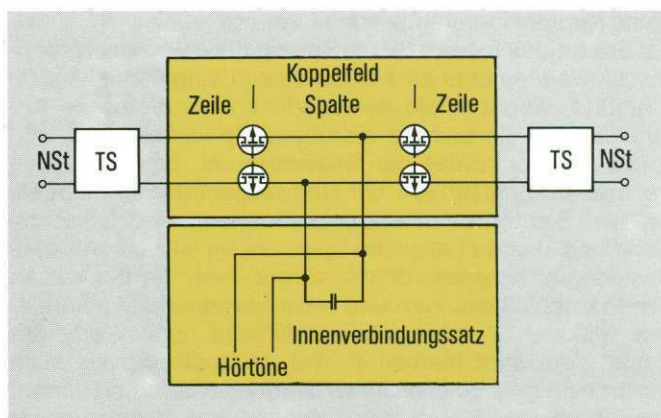
Internsprechweg

Der Internsprechweg ergibt sich aus der Verbindung zweier Teilnehmerschaltungen über zwei Koppelfeldzeilen und

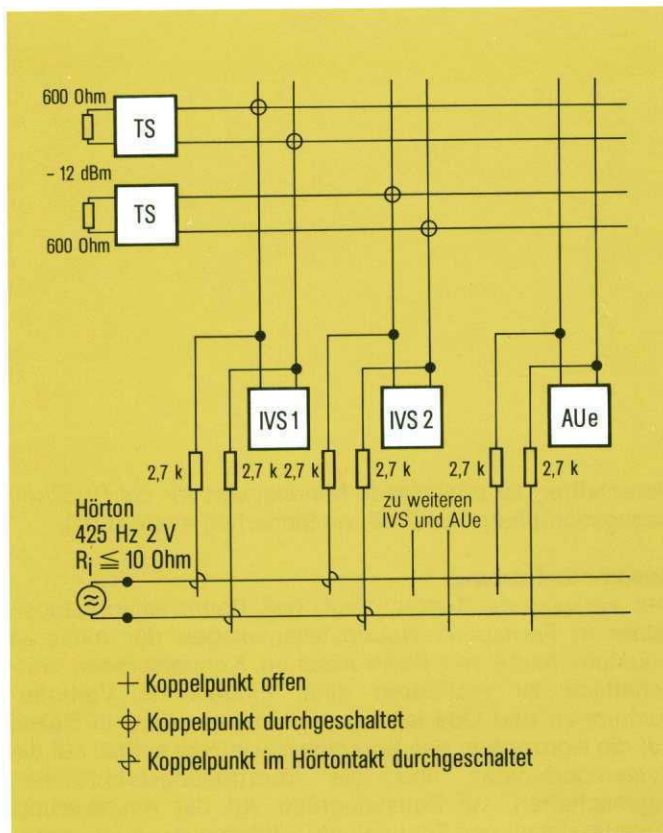
eine Koppelfeldspalte. Der an die Koppelfeldspalte angeschlossene Innenverbindungssatz IVS hat hier nur noch die Aufgabe, Höröne über das Koppelfeld zu den Nebenstellen einzuspeisen. Im Gegensatz zum Externsprechweg sind zwei Koppelpunkte an der Durchschaltung beteiligt. Die Übertragungseigenschaften sind trotzdem nahezu die gleichen. Anstelle der Kompensationsschaltung in der Amtsübertragung ist im IVS lediglich ein Kompensationskondensator an die Sprechadern geschaltet, der außer dem schon erwähnten Zweck hier als Abschlußimpedanz an der IVS-Spalte der Verbesserung der Nebensprechdämpfung im Koppelfeld dient (Bild 15).

Hörtoneinspeisung

Von einem zentralen Hörongenerator werden die Höröne direkt im Koppelfeld eingespeist. Sie werden an die an der Verbindung beteiligten Koppelfeldspalten mit den gleichen Koppelbausteinen angeschaltet wie sie für die Sprechwegedurchschaltung im eigentlichen Koppelfeld verwendet werden. Der jeweils erforderliche Takt für die unterschiedlichen Höröne – z.B. Wählton, Freiton, Besetztton, Aufschalteton – ergibt sich durch entsprechende Steuerung dieser Koppelpunkte. Bild 16 zeigt die Einspeisung der Höröne an den Koppelfeldspalten, wobei auch die pegelbestimmenden Größen mit ihrem Nennwert angegeben sind. Bei gleichzeitigem Anschalten mehrerer Sprechwege an den Hörongenerator ist während gemeinsamer Tonphasen die gegenseitige Entkoppelung durch den Generatorinnenwiderstand und die jeweiligen Längswiderstände im Anschalteweg, die außerdem der Pegelanpassung dienen, sichergestellt. Die Höröne werden symmetrisch eingespeist, so daß eine Störbeeinflussung unbeteiligter Sprechkreise durch Höröne vermieden wird.



15



16

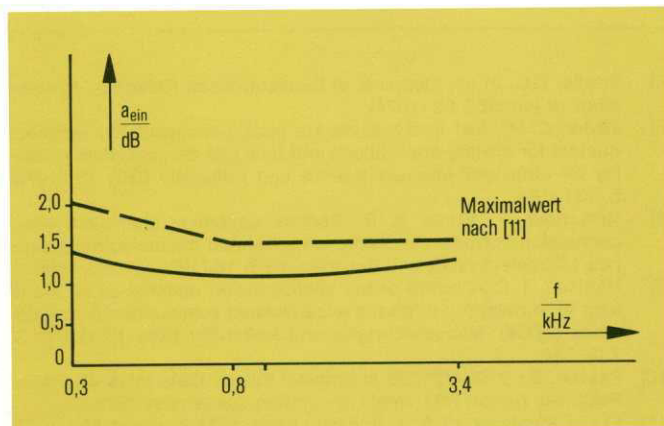
Meßergebnisse

Einfügdämpfung

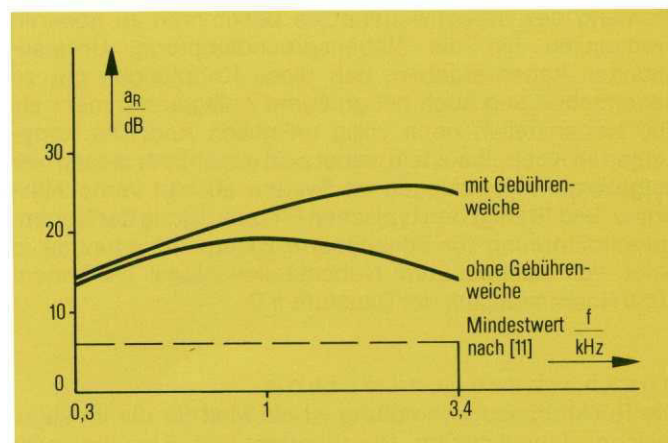
Den typischen Verlauf der Einfügdämpfung eines Externsprechweges zeigt Bild 17. Sie wird überwiegend von den Längswiderständen in den Sprechadern verursacht. Dieser Längswiderstand setzt sich im wesentlichen aus den Kupferwiderständen der Übertrager und dem Koppelpunkt-widerstand zusammen. Hierzu kommt noch ein kleinerer Anteil durch die Kernverluste der im Sprechweg liegenden Übertrager und Drosseln sowie die frequenzabhängige Zunahme der Einfügdämpfung an den Grenzen des Sprachbandes.

Rückflußdämpfung

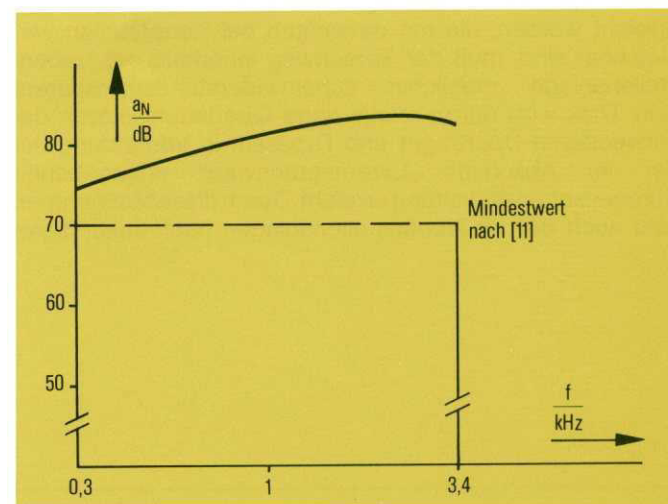
Für den gleichen Sprechweg zeigt Bild 18 ebenfalls typische Werte für den Eingangswiderstand von der Vermittlungs-stelle aus gesehen, wobei die Nebenstelle durch 600 Ω ersetzt ist. Wie meist üblich, ist in dieser Darstellung die gegen 600 Ω gemessene Rückflußdämpfung angegeben.



17



18



19

Nebensprechdämpfung

Die Nebensprechdämpfung zwischen zwei räumlich be-nachbarten Sprechwegen ist bei tiefen Frequenzen vor-wiegend durch induktive Kopplungen zwischen Über-tragern und Drosseln der peripheren Baugruppen gegeben. Diese Art der Kopplung kann durch konstruktive Maß-nahmen, wie z.B. zweckmäßige geometrische Anord-nung der Bauteile auf der Leiterplatte und durch die Wahl geeigneter Bauformen beherrscht werden. Sie ist bei gleichen Konstruktionsprinzipien unabhängig von der Größe der Nebenstellenanlage.

Die kapazitiven Kopplungen im Koppelfeld und in der Ver-

drahtung des Sprechwegenetzes bestimmen zu höheren Frequenzen hin die Nebensprechdämpfung. Untersuchungen haben ergeben, daß diese Kopplungen gut zu beherrschen und auch bei größeren Anlagen mit mehr als 200 Nebenstellen noch völlig unkritisch sind. Die Kopplungen im Koppelbaustein selbst sind gegenüber diesen hier aufgezeigten Kopplungen im System absolut vernachlässigbar. Bild 19 zeigt den typischen Frequenzgang der Nebensprechdämpfung für benachbarte Externverbindungen in einer voll ausgebauten Nebenstellenanlage TN-System 4030 Raummultiplex der Baustufe II D.

Rückhörbezugsdämpfung

Die Rückhörbezugsdämpfung ist ein Maß für die im allgemeinen unerwünschte Übertragung von Sprache oder Raumgeräuschen vom Mikrofon zur eigenen Hörkapsel. Damit bei Nebenstellenapparaten Rückhördämpfungen erreicht werden, die mit derjenigen bei Hauptstellen vergleichbar sind, muß der Sprechweg innerhalb der Nebenstellenanlage möglichst scheinwiderstandstransparent sein. Dies wird durch relativ hohe Querinduktivitäten der verwendeten Übertrager und Drosseln in Verbindung mit der im Abschnitt „Externsprechweg“ angegebenen Kompensationsschaltung erreicht. Durch diese Maßnahmen wird auch der für Nebenstellenanlagen nach zukünftigen

Vorschriften zu erwartende Mindestwert für die Rückhörbezugsdämpfung von 9 dB mit Sicherheit erreicht [11].

Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag zeigt, daß Raumvielfachkoppelfelder in Fernsprech-Nebenstellenanlagen der mittleren Baustufe heute mit elektronischen Koppelpunkten wirtschaftlich zu realisieren sind. Eingehende Voruntersuchungen und Überlegungen – insbesondere in Bezug auf die Konzeption des Sprechwegkopplers selbst, auf die Systemparameter und die übertragungstechnischen Eigenschaften, auf Bausteingröße, Art der Ansteuerung, Zuverlässigkeit und Technologie – führten zu einem monolithisch integrierten Halbleiter-Koppelbaustein mit einer Matrix aus 5 x 2 zweiadrig durchschaltenden Koppelpunkten, der in enger Zusammenarbeit zwischen TN und AEG-Telefunken entwickelt wurde.

Aufgrund der hohen Anforderungen an die Ausfallsicherheit wurde eine ausgereifte, in der Fertigung erprobte PMOS-Technologie mit Aluminium-Gate gewählt. Hohe Packungsdichte, bistabiles Verhalten und dadurch geringer Leistungsbedarf sind weitere Merkmale des elektronischen Koppelbausteins. Bei sorgfältigen Erprobungen, Zuverlässigkeitstest und Messungen der übertragungstechnischen Kennwerten wurden alle Forderungen und Erwartungen an den Baustein voll erfüllt.

Literatur

- [1] Göller, M.: TN-System 6030 Zeitmultiplex – ein Vermittlungssystem für Sprache und Daten. TN-Nachrichten (1975) 76, S. 7–13.
- [2] Dietze, K.; Silber, M.: TN-System 6030 Zeitmultiplex 6030 – ein Vermittlungssystem für 100 bis 10000 Teilnehmer. TN-Nachrichten (1976) 77, S. 17–22.
- [3] Keßler, A.; Reitz, E.; Schickling, B.: Sprechwegedurchschaltung über elektronische Koppelpunkte im Raumvielfach. TN-Fachbericht 1/1978. (in Vorbereitung).
- [4] Glemser, J.; Keßler, A.; Rall, B.: Anordnung von Nutzsignal- und Steuersignalleitungen zum kopplungsarmen Verdrahten von Halbleitern. Deutsche Offenlegungsschrift 2 616 975 vom 27. Oktober 1977.
- [5] Cezanne, L.; Resch, W.; Schott, W.: TN-System 4030 Raummultiplex – eine vollelektronische Fernsprech-Nebenstellenanlage der mittleren Baustufe. TN-Nachrichten (1978) 79.
- [6] Prattie, C.G. et al.: Elements of Semiconductor Reliability. Proceedings of the IEEE 62 (1974) 2.
- [7] Taylor, C. H.: Just how reliable are plastic encapsulated semiconductors for military applications and how can the maximum reliability be obtained? Microelectronics and Reliability (GB) 15 (1976) S. 131–134.
- [8] Neighbour, F.; White, B. R.: Factors governing aluminium interconnection corrosion in plastic encapsulated microelectronic devices. Microelectronics and Reliability (GB) 16 (1977) S. 161–164.
- [9] Harrison, J. C.: Control of the encapsulation material as an aid to long term reliability in plastic encapsulated semiconductor components (PEDs). Microelectronics and Reliability (GB) 16 (1977) S. 233–244.
- [10] Pascoe, B.: 2107A/2107B N-Channel Silicon Gate MOS 4K RAMs. Reliability Report RR7. Intel Corporation. September 1975.
- [11] FTZ – Richtlinie 12 R 4. Ausgabe März 1971/Ausgabe Mai 1977.