

Technischer Bericht Nr. 45

Über die Neutralisation von Halbleiter-Koppelpunkten
in Koppelfeldern der Fernsprech-Vermittlungstechnik

cand. ing. J. SOTSCHECK

Dipl.-Ing. W. BECKER

H 45

1 9 6 0

Ueber die Neutralisation von Halbleiter-Koppelpunkten in
Koppelfeldern der Fernsprech-Vermittlungstechnik

Zusammenfassung

Es wird die Brauchbarkeit von Halbleitern für Koppelpunkte der Fernsprech-Vermittlungstechnik untersucht, wobei Möglichkeiten beschrieben werden, durch Neutralisation die Sperreigenschaften der Schalterelemente zu verbessern. Die Untersuchungen beziehen sich auf ein- und zweidrähtige Koppelpunktanordnungen, die mit Transistoren, Germanium- oder Siliziumdioden ausgerüstet sind.

Es wurden bei der zweidrähtigen Koppelpunktanordnung folgende Ergebnisse erzielt: Für den nicht neutralisierten Transistor-Koppelpunkt ergab sich bei einer Meßfrequenz von 5 kHz eine Dämpfung in Sperrichtung von 13 N, während durch Neutralisationsmaßnahmen die Dämpfung auf 13,6 N stieg. Bei einem mit Germaniumdioden ausgerüsteten Koppelpunkt wurde im nicht neutralisierten Zustand ein Dämpfungsverhältnis (Sperrichtung: Durchlaßrichtung) von 110:1 (1000 Hz) bis 210:1 (5 kHz) ermittelt, während mit Neutralisation das Dämpfungsverhältnis auf 180:1 bis 290:1 anstieg. An einem mit Germanium-Golddrahtdioden bestückten Koppelpunkt wurde ohne Neutralisation ein Dämpfungsverhältnis von 130:1 bis 220:1 gemessen. Ein mit Siliziumdioden ausgerüsteter Koppelpunkt erwies sich ohne Neutralisationsmaßnahmen als unbrauchbar, während durch Neutralisation ein Dämpfungsverhältnis von 1200:1 bis 3000:1 erreicht werden konnte.

Für eindrähtige Koppelpunktanordnungen wurden ähnliche Ergebnisse ermittelt.

Heinrich-Hertz-Institut für Schwingungsforschung

Die Bearbeiter

gez. J. SOTSHECK

(cand.ing. J. SOTSHECK)

gez. W. BECKER

(Dipl.-Ing. W. BECKER)

Der Abteilungsleiter

gez. G. Rothert

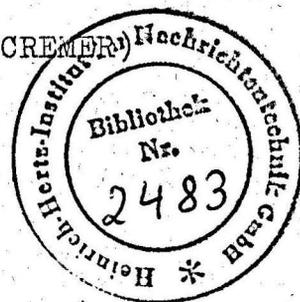
(Prof.Dr.-Ing.G. ROTHERT)

Der Institutsdirektor

gez. L. Cremer

(Prof.Dr.-Ing. L. CREMER)

Berlin-Charlottenburg, den 13. Dezember 1960



Verzeichnis der Abschnitte:

1. Einführung
2. Zweidrätiger Transistor-Koppelpunkt mit Transistoren OC 76
 - 2.1 Nicht neutralisierter Transistor-Koppelpunkt (OC 76)
 - 2.2 Neutralisierter Transistor-Koppelpunkt (OC 76)
3. Zweidrätiger Dioden-Koppelpunkt mit Germaniumdioden OA 85
 - 3.1 Nicht neutralisierter Koppelpunkt (OA 85)
 - 3.2 Neutralisierter Koppelpunkt (OA 85)
4. Zweidrätiger Dioden-Koppelpunkt mit Germanium-Golddrahtdioden OA 7
5. Zweidrätiger Dioden-Koppelpunkt mit Siliziumdioden OA 200
 - 5.1 Nicht neutralisierter Koppelpunkt (OA 200)
 - 5.2 Neutralisierter Koppelpunkt (OA 200)
6. Eindrätiger Dioden-Koppelpunkt
 - 6.1 Schaltung des Koppelpunktes und des Neutralisations-Zusatzes
 - 6.2 Eindrätiger Dioden-Koppelpunkt (OA 85)
 - 6.3 Eindrätiger Dioden-Koppelpunkt (OA 200)

1. Einführung

In der bisher üblichen Fernsprech-Vermittlungstechnik wird der Verbindungsaufbau durch elektromechanische Schaltglieder hergestellt. Viele Entwicklungsrichtungen haben das Ziel, an Stelle elektromechanischer Schaltglieder rein elektronische Schaltorgane einzusetzen.

In diesem Bericht werden Untersuchungen an mit Halbleitern bestückten Koppelpunkten beschrieben, die zur Verbesserung ihrer Eigenschaften mit Neutralisationsgliedern beschaltet wurden. Die Güte eines Koppelpunktes hängt in erster Linie von seinen Schaltereigenschaften ab, d.h. von seinem Widerstand in Durchlaß- und in Sperrichtung. Der Durchlaßwiderstand verursacht eine zusätzliche Dämpfung in der aufgebauten Verbindung; die durch den Widerstand in Sperrichtung hervorgerufene Dämpfung ist maßgebend für die Nebensprechdämpfung des gesamten Koppelfeldes und daher ebenso von großer Wichtigkeit für die Güte der aufgebauten Verbindung.

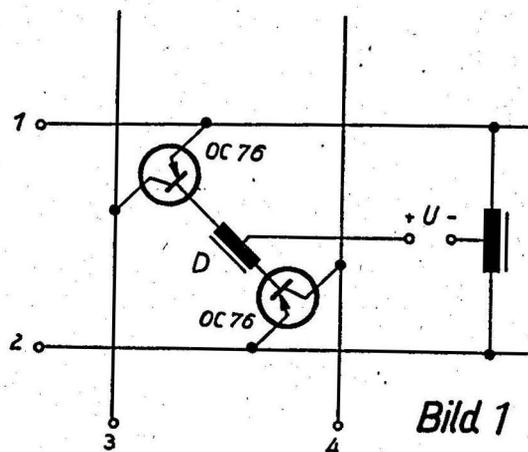
2. Zweidräftiger Transistor-Koppelpunkt mit Transistoren OC 76

2.1 Nicht neutralisierter Transistor-Koppelpunkt (OC 76)

Es wurde zunächst ein Koppelpunkt untersucht, wie er in dem im Institut aufgebauten elektronischen Versuchs-Amt (s. Techn. Bericht Nr. 27, 29, 31) eingesetzt wurde. Seine

Schaltung ist in Bild 1 dargestellt. Die Klemmen 1-2 und 3-4 liegen an den zu verbindenden oder zu trennenden Leitungspaaren. Durch die Vorspannung U in der gezeichneten Polarität werden die Emitter-Kollektor-Strecken der beiden Schalttransistoren gesperrt und dadurch beide Leitungs-

paare getrennt. Zur Untersuchung des Schaltverhaltens dieses Koppelpunktes wurde die in Bild 2 dargestellte Meß-



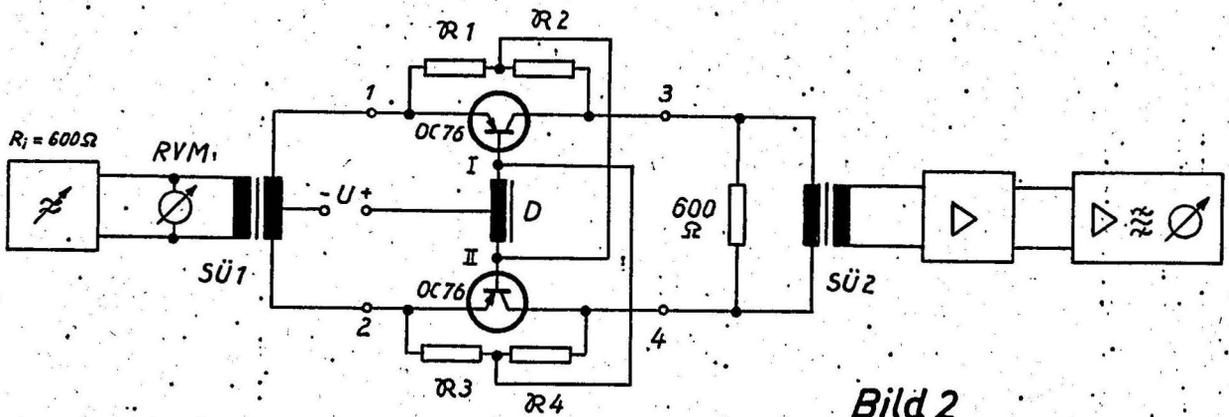


Bild 2

schaltung aufgebaut. Ein Tonfrequenzgenerator bildet die Sprechwechselspannung nach, die mit 0,775 V als Normalpegel über den Symmetrierübertrager Sü1 ($\dot{u} = 1:1$) in die Meßschaltung eingespeist wird. Die Spannung entspricht damit in ihrer Größenordnung etwa den in der Praxis am Koppelpunkt anliegenden Sprechwechselspannungen. Ueber einen weiteren Symmetrierübertrager Sü2 ($\dot{u} = 1:1$) wird über einen Vorverstärker ein selektives Röhrenvoltmeter angeschaltet, mit dem die an den Klemmen 3-4 anliegende Restspannung gemessen wird. Um die Leitungsverhältnisse nachzubilden, wurde der Ausgang der Meßschaltung mit 600Ω abgeschlossen; der Tonfrequenzgenerator besitzt einen Innenwiderstand von 600Ω . Die Widerstände $R1$ bis $R4$ dienen zur Neutralisation, die Wirkungsweise wird später erläutert.

Da das Schaltverhalten des Koppelpunktes sich als frequenzabhängig erwies, erstreckten sich die Untersuchungen auf den interessierenden Frequenzbereich 300...5000 Hz.

Die Messungen am nicht neutralisierten Koppelpunkt lieferten folgende Ergebnisse (Bild 3, Kurve a): Die Dämpfung in Sperrichtung hat bei 300 Hz einen Wert von 13,4 N, erreicht bei etwa 700 Hz ein Maximum von 14,7 N und fällt dann bis 5 kHz etwa linear ab bis auf den Wert 12,9 N. Dieser Abfall ist auf den steigenden Einfluß der Kapazität der Halbleiterschichten gegeneinander zurückzuführen. Bei etwa 900 Hz macht sich eine Resonanzerscheinung der Speisedrossel durch einen Einbruch auf 12,4 N bemerkbar, die sich durch andere Dimensionierung dieser Drossel beseitigen ließe. Die Er-

scheinung wurde daher nicht näher untersucht. Berücksichtigt man die Ergebnisse späterer Messungen, die an anderer Stelle diskutiert werden (s. Seite 1), so erhält man - abgesehen von der Resonanzerscheinung - allgemein einen linearen, zu höheren Frequenzen abfallenden Frequenzgang der Dämpfung in Sperrichtung, denn der gemessene Tiefenabfall (300 Hz bis etwa 750 Hz) ist auf einen bei allen Messungen konstanten Einfluß des Meßaufbaues zurückzuführen. Unter Berücksichtigung dieses Fehlers erhält man daher einen wirklichen Frequenzgang des Dämpfungsverhaltens des einzelnen zweidräftigen Koppelpunktes von etwa 14,4 N bei 300 Hz bis 12,9 N bei 5 kHz.

Die Kurve b, Bild 3, zeigt vergleichsweise den Frequenzgang der Dämpfung in Sperrichtung eines gleichen Koppelpunktes, der aber direkt in dem am Institut entwickelten elektronischen Versuchsaufbau gemessen wurde. Das Amt ist für 6 Teilnehmer ausgelegt und besitzt 2 Verbindungssätze. Die Kurve zeigt den gleichen Dämpfungsverlauf wie die für den einzelnen Koppelpunkt, verläuft aber wegen der Parallelschaltung mehrerer Koppelpunkte im Amt bei entsprechend kleineren Dämpfungswerten: Für 300 Hz etwa 13 N (extrapoliert), für 5 kHz 12,3 N.

2.2 Neutralisierter Transistor-Koppelpunkt

Die beiden als Schalter in Sperrichtung betriebenen Transistoren des Koppelpunktes von Bild 1 stellen in Wirklichkeit nicht einen idealen Schalter mit unendlich großem Sperrwiderstand dar, weil die Emitter-Basis- und die Kollektor-Basis-Strecken auch im Sperrzustand des Transistors einen endlichen Widerstand aufweisen. Ziel der Untersuchungen war deshalb, durch geeignete Neutralisationsglieder die effektive Leitfähigkeit dieser Zwischenschichten im gesperrten Zustand zu verkleinern. Dies geschieht, wie in der Darstellung der Meßschaltung (Bild 2) angegeben, durch Einspeisung einer gegenphasigen Spannung über einen dem zu neutralisierenden Zwischenschicht-Widerstand entsprechenden Widerstand an der betreffenden Transistorelektrode. Die gegenphasige Spannung wird jeweils an dem der zu neutralisierenden Tran-

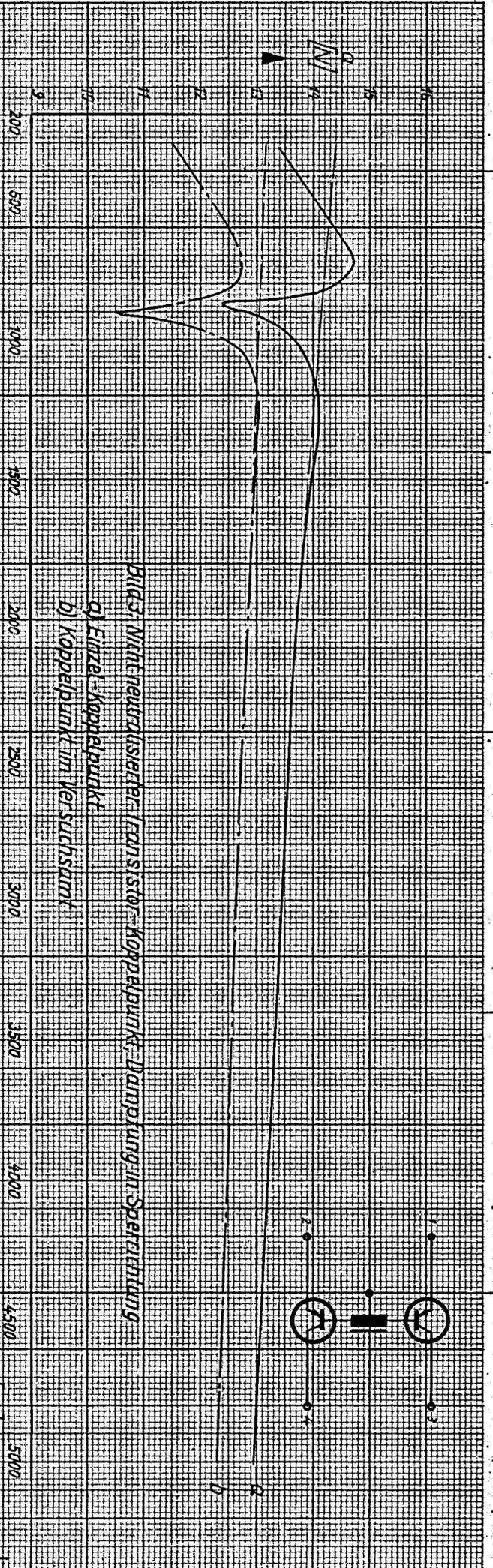


Bild 3: Nichtneutralisierter Transistor-Koppelpunkt-Dämpfung in Sperrichtung

- a) Einzel-Koppelpunkt
- b) Koppelpunkt im Versuchsaufbau

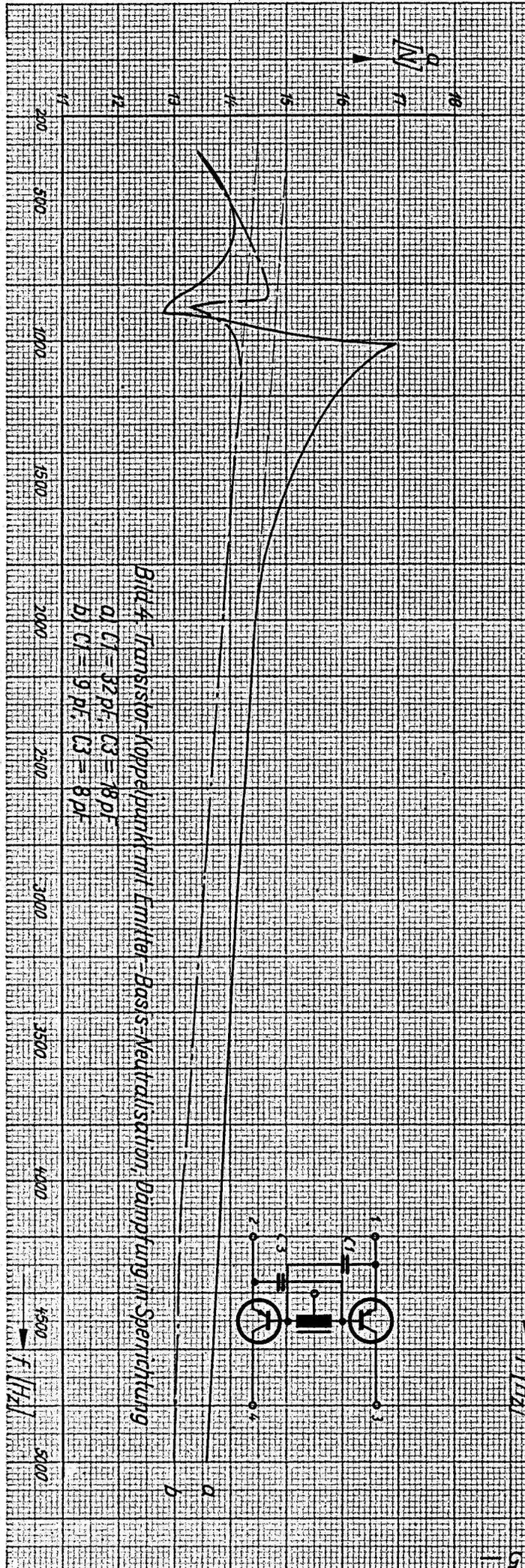
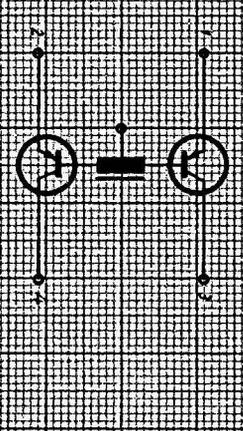
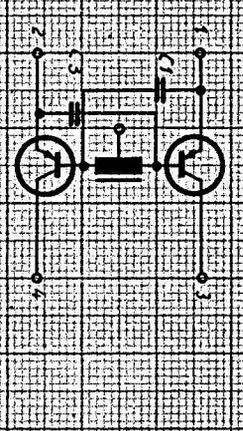


Bild 4: Transistor-Koppelpunkt mit Emittor-Basis-Neutralisation, Dämpfung in Sperrichtung

- a) $C1 = 32 \text{ pF}$, $C3 = 18 \text{ pF}$
- b) $C1 = 9 \text{ pF}$, $C3 = 8 \text{ pF}$



f [Hz]

$|H|$

sistorstrecke abgekehrten Ende der in der Mitte, angezapften Speisedrossel D abgegriffen, z.B. für den oberen Transistor des Bildes 2 an Punkt II der Speisedrossel D.

Das Ergebnis einer Neutralisation der Emitter-Basis-Strecken der beiden Transistoren ist in Bild 4 dargestellt. Die Neutralisation dieser beiden Strecken wurde durch zwei Kondensatoren vorgenommen, Eine rein ohmsche oder eine gemischt ohmisch-kapazitive Neutralisation führte zu keinem Erfolg. Die Größe des Neutralisationskondensators ist jeweils von der Frequenz abhängig, bei der die Neutralisation vorgenommen wurde. Im Versuch zu Kurve a, Bild 4, wurde bei $f=1000\text{Hz}$ neutralisiert, d.h. die Kondensatoren auf Dämpfungsmaximum des Koppelpunktes eingestellt. Die Kondensatoren waren dabei $C1 = 32 \text{ pF}$ (für $\mathcal{R}1$), $C3 = 18 \text{ pF}$ (für $\mathcal{R}3$). Es wurde damit eine starke Erhöhung der Resonanzspitze erzielt, während bei Frequenzen oberhalb 2 kHz, bei denen sich die Störung durch die Resonanzerscheinung nicht mehr bemerkbar macht, die Dämpfung des gesperrten Koppelpunktes Werte zwischen 14,5 N und 13,6 N erreicht. Durch andere Dimensionierung der Speisedrossel könnte man die Resonanzstörung beseitigen (gestrichelt eingezeichneter extrapolierter Kurvenverlauf) bzw. eventuell so an die untere Grenze des Sprachfrequenzbereichs legen, daß man die stark ansteigende Dämpfungsflanke ausnutzen könnte.

Die Kurve b des Bildes 4 zeigt den Verlauf der Dämpfung des gesperrten Koppelpunktes, wenn bei einer Frequenz von 800 Hz die Neutralisation vorgenommen wird, d.h. die Kondensatoren auf Dämpfungsmaximum abgeglichen werden. Man erreicht einen ähnlichen Dämpfungsverlauf wie bei Kurve a (Abgleich bei 1000 Hz), die Resonanzstörung ist jetzt nicht mehr so stark ausgeprägt.

Es wurden schließlich Versuche unternommen, durch Einschaltung von Widerständen in die Basisleitung, gemäß Bild 5, die Resonanzstörung zu beseitigen. Die Kurven des Bildes 5 zeigen das Ergebnis bei nicht neutralisiertem Koppelpunkt. In Kurve a ($R_d = 100 \text{ k}\Omega$) ist die Resonanzerscheinung etwas gemindert, jedoch ist die Dämpfung bei höheren Frequenzen un-

Bild 5. Nicht-neutralisierter Transistor-Koppelpunkt mit Dämpfungswiderstand R_d

Dämpfung in Sperrichtung

- a) $R_d = 100 \text{ k}\Omega$
- b) $R_d = 500 \text{ k}\Omega$
- c) $R_d = 1 \text{ M}\Omega$

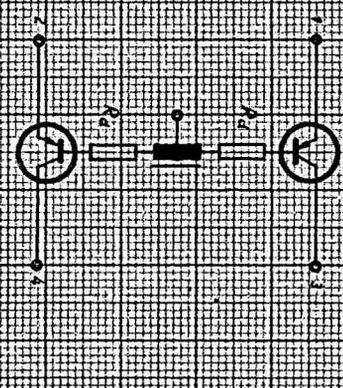
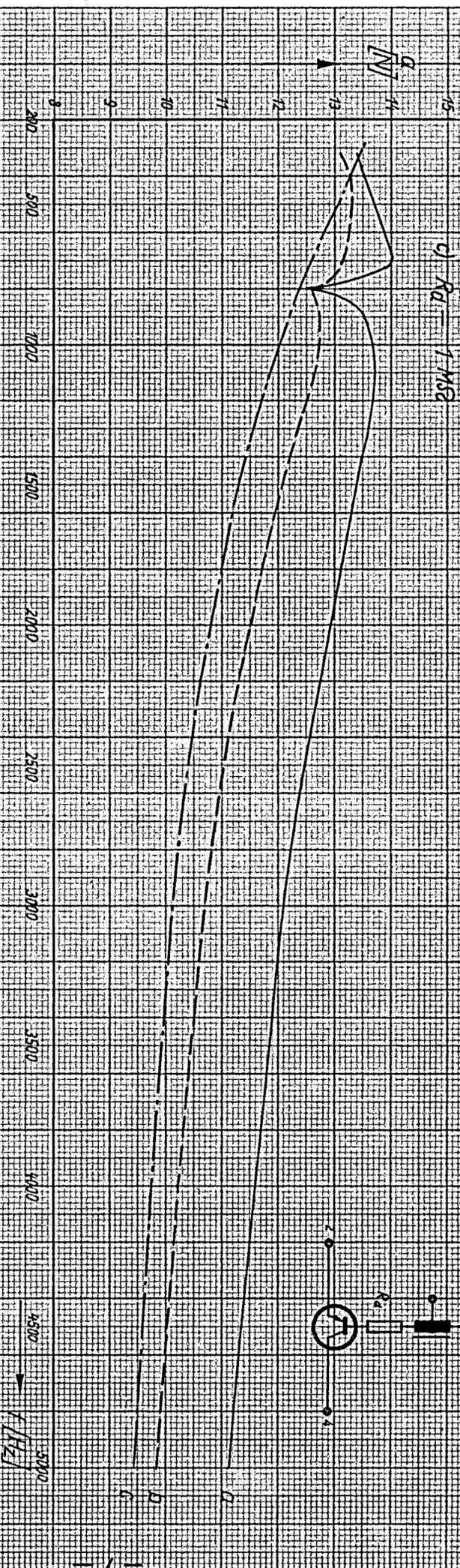
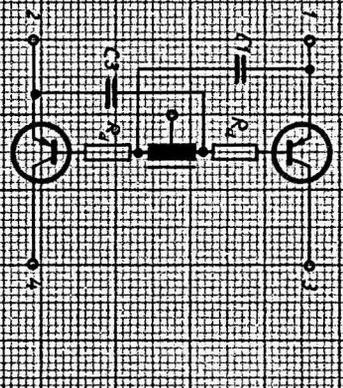
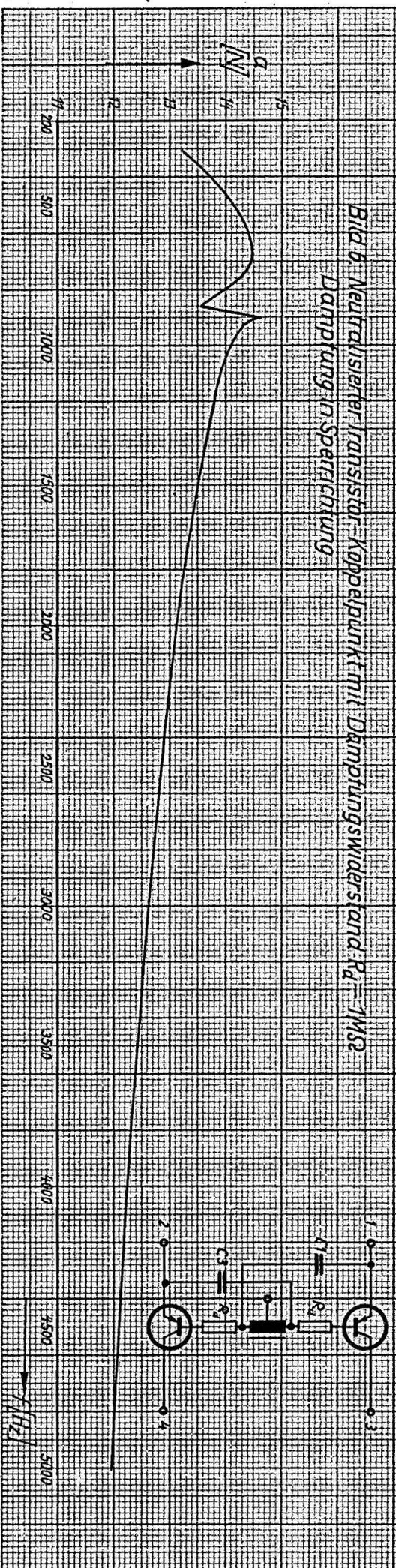


Bild 6. Neutralisierter Transistor-Koppelpunkt mit Dämpfungswiderstand $R_d = 1 \text{ M}\Omega$

Dämpfung in Sperrichtung



genügend (etwa 11 N bei 5 kHz). Bei einem Dämpfungswiderstand in der Basisleitung von 500 k Ω ist die Störung zwar weiter gemindert, dagegen ist die Dämpfung um etwa 1,5 N schlechter geworden (Kurve b). Bei Umschalten von 1 M Ω (Kurve c) tritt die Störung nicht mehr auf, dagegen hat sich der Dämpfungsverlauf weiter verschlechtert.

Wird ein mit einem derartigen Dämpfungswiderstand ausgerüsteter Koppelpunkt neutralisiert (Bild 6, $R_d = 1 \text{ M}\Omega$), so erhält man Dämpfungswerte, die bei tiefen Frequenzen denen eines nicht neutralisierten Koppelpunktes ohne Dämpfungswiderstände entsprechen (Bild 3a), bei höheren Frequenzen jedoch bis zu etwa 1 N schlechter sind. Die Resonanzstörung wird dabei nur unvollkommen beseitigt. Sie läßt sich nicht durch Dämpfungswiderstände beseitigen.

Es wurde weiter versucht, auch die Kollektor-Basis-Strecken der Transistoren des Koppelpunktes zu neutralisieren und dadurch die Dämpfung in Sperrichtung weiter zu erhöhen. Es brachte aber weder eine Neutralisation durch Kondensatoren noch durch Widerstände oder durch gemischt kapazitiv-ohmsche Neutralisationsglieder eine Verbesserung der Dämpfung.

3. Zweidrähtiger Dioden-Koppelpunkt mit Germaniumdioden OA 85

Nachdem die Brauchbarkeit von neutralisierten Transistoren als Koppellemente durch die oben beschriebenen Untersuchungen gezeigt worden ist, lag der Gedanke nahe, einen entsprechenden Koppelpunkt aus Halbleiterdioden aufzubauen und auf seine Brauchbarkeit zu prüfen. Die Untersuchungen erstreckten sich zunächst auf die Allzweck-Germanium-Spitzendiode OA 85.

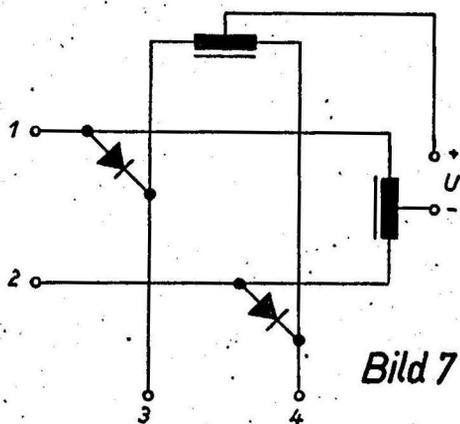


Bild 7

Das Schaltbild eines derartigen symmetrischen Zweidraht-Koppelpunktes zeigt Bild 7. Die über die beiden Speisedrosseln an die Dioden gelegte Vorspannung U sperrt in der gezeichneten Vorzeichenrichtung den Koppelpunkt. Um die geeignete Vorspannung zur Erzielung des höchsten Sperrwi-

Bild 8b.
 Sperrwiderstand 0A85
 $\text{Iugb} = 60^\circ\text{C}$
 Mittelwert
 Streuweite

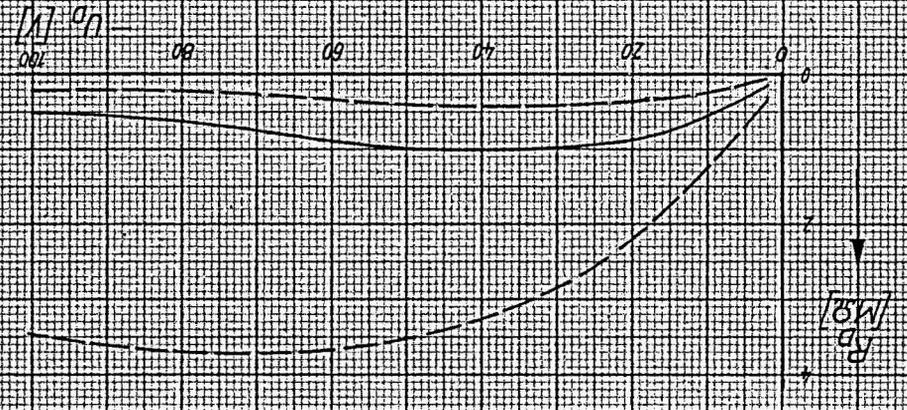
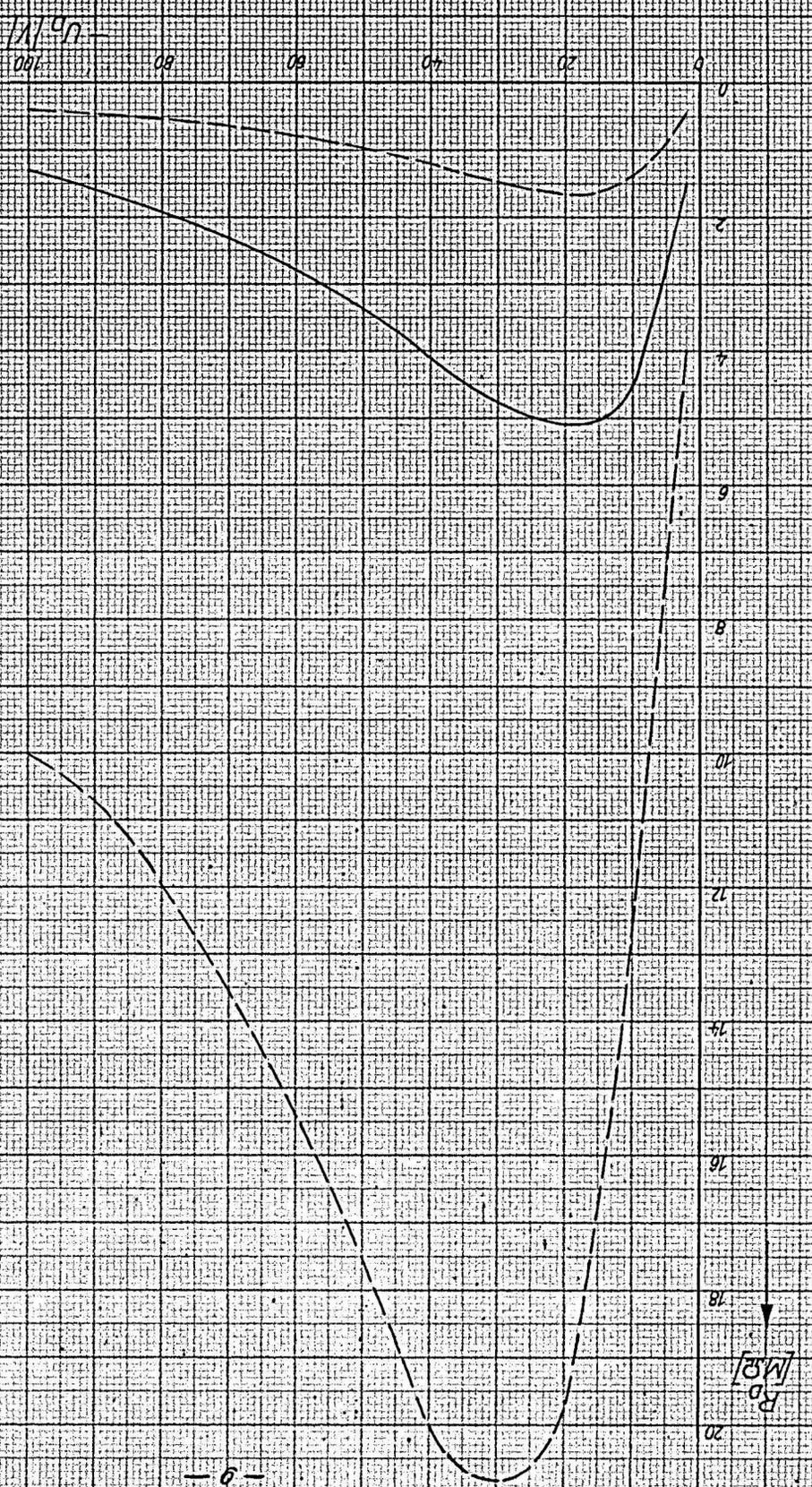


Bild 8a.
 Sperrwiderstand 0A85
 $\text{Iugb} = 25^\circ\text{C}$
 Mittelwert
 Streuweite



derstandes der Dioden zu ermitteln, wurde aus dem I_D/U_D -Kennlinienfeld für die Diode OA 85 (Valvo-Handbuch Halbleiter) ein Kennlinienfeld für den Widerstand in Sperrichtung R_D/U_D errechnet (Bild 8). Bild 8a gilt für eine Umgebungstemperatur von 25°C , Bild 8 b für eine Umgebungstemperatur von 60°C . Man erkennt die Ausbildung eines ausgeprägten Maximums des Sperrwiderstandes vor allem bei niedriger Umgebungstemperatur. Außerdem ist ein überaus starker Streubereich des Sperrwiderstandes für feste Werte der Vorspannung bei niedriger Temperatur festzustellen.

Die Meßschaltung zur Untersuchung des Schaltverhaltens des Dioden-Koppelpunktes ist entsprechend der für Transistoren aufgebaut. Sie ist in Bild 9 dargestellt. Die eingezeichneten

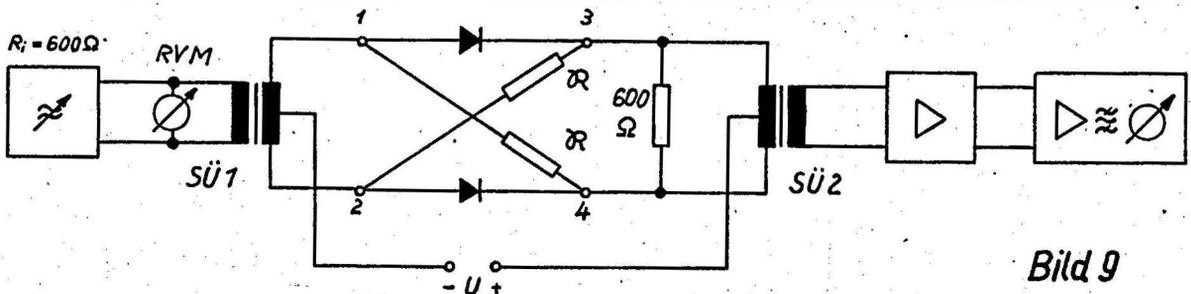


Bild 9

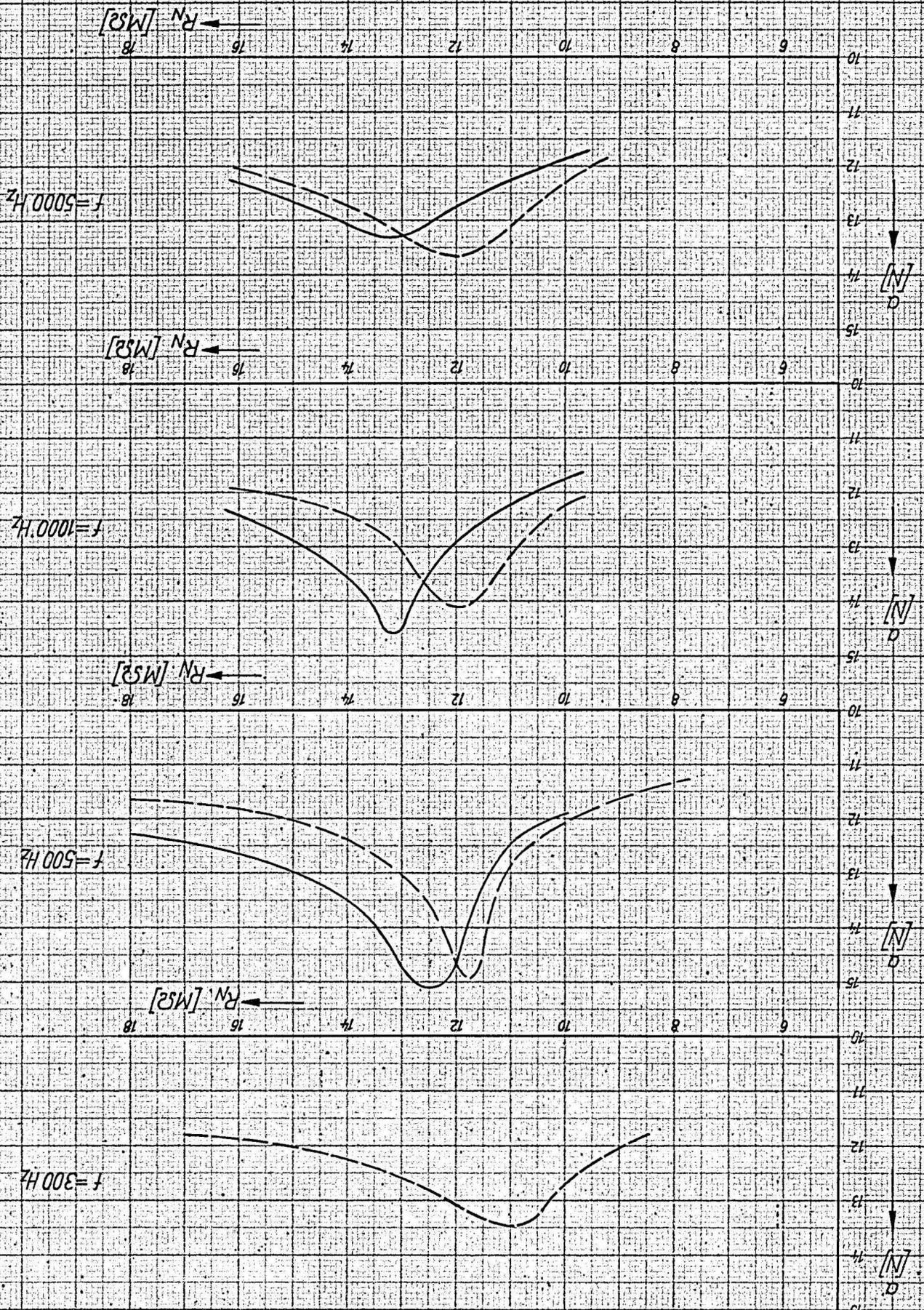
Widerstände R dienen zur Neutralisation und werden später erläutert.

3.1 Nicht neutralisierter Koppelpunkt (OA 85)

Mit dem untersuchten Diodenpaar erreichte man in Sperrichtung mit einer Vorspannung von $-U_D=4\text{ V}$ (der günstigste Bereich der Sperr-Vorspannung lag hier bei $4\dots5\text{ V}$, wobei sich dieser Wert als nicht frequenzabhängig erwies) eine Dämpfung von $10,7\text{ N}$ (1000 Hz) bis $10,5\text{ N}$ (5 kHz). In Durchlaßrichtung ergaben sich bei Einstellung eines Dioden-Gleichstromes von $I_D = 20\text{ mA}$ je Diode Dämpfungswerte zwischen $0,095\text{ N}$ (1000 Hz) und $0,05\text{ N}$ (5 kHz).

Um eine einfache Vergleichsmöglichkeit mit anderen Koppelpunktsschaltungen zu schaffen, wird im folgenden zur Charakterisierung der Schaltereigenschaften eines Koppelpunktes das Verhältnis der in N gemessenen Dämpfungswerte in Sperr- und Durchlaßrichtung angegeben (später einfach als "Dämpfungsverhältnis" bezeichnet). Es beträgt im Falle des

Bild 10: Neutralisation des Dioden-Koppelpunktes (0A,85) mit Widerständen R_N ,
 Dämpfung in Sperrichtung, $-U_D = 4V$
 — Bauelemente warm
 — Bauelemente kalt

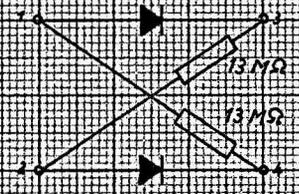


a
[N]



Bild 11: Mit Widerständen neutralisierter Dioden-Koppelpunkt (OA 85), Dämpfung in Sperrrichtung

$R_N = 13 M\Omega$
 $U_D = 4 V$



a
[N]

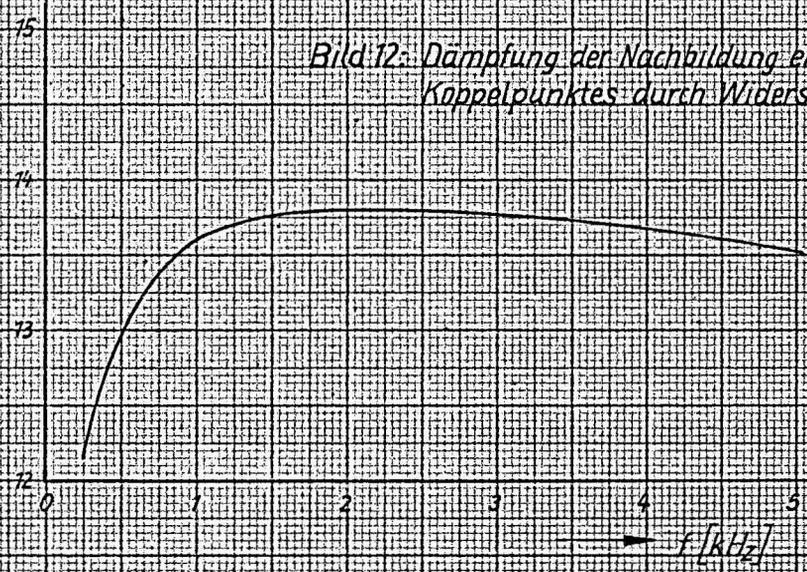
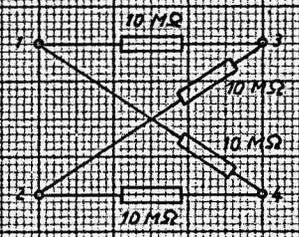


Bild 12: Dämpfung der Nachbildung eines neutralisierten Koppelpunktes durch Widerstände 10 MΩ



a
[N]

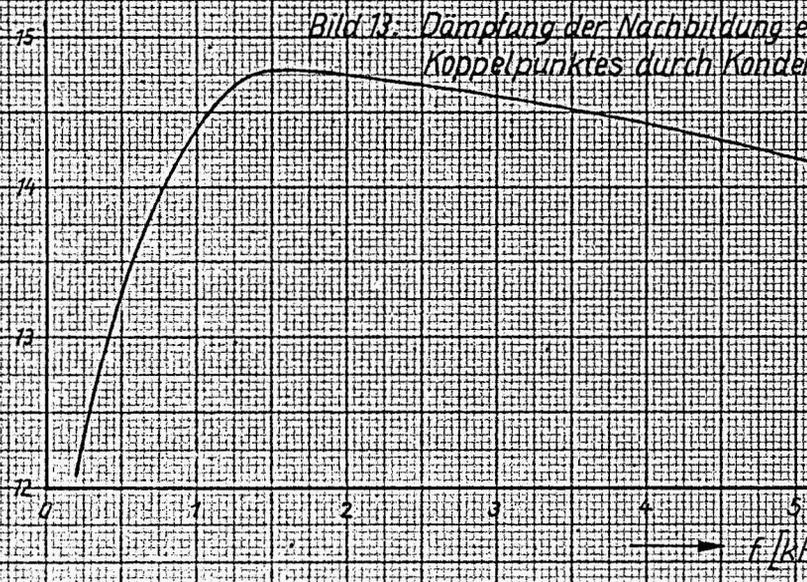
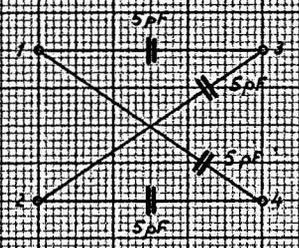


Bild 13: Dämpfung der Nachbildung eines neutralisierten Koppelpunktes durch Kondensatoren 5 pF



Dieser Einfluß wurde durch Kontrollmessungen bestätigt, bei denen die Dioden durch ohmsche Widerstände von je $10\text{ M}\Omega$ ersetzt wurden und eine Neutralisation ebenfalls durch $10\text{ M}\Omega$ -Widerstände vorgenommen wurde (Bild 12). Bei Gleichheit aller Widerstände müßte an den Klemmen 3-4 eine unendlich hohe Dämpfung gemessen werden. Die tatsächliche Dämpfung von etwa $13,5\text{ N}$ ist auf Unsymmetrien der Anordnung zurückzuführen, die teilweise auch kapazitiven Charakter haben, was der leichte Abfall der Kurve bei höheren Frequenzen beweist. Der starke Dämpfungsabfall bei Frequenzen $<1000\text{ Hz}$ - er hat den gleichen Verlauf wie beim Dioden-Koppelpunkt des Bildes 11 - wird also nicht durch die Eigenschaften der Dioden hervorgerufen, sondern stellt den Einfluß der Uebertrager der Meßanordnung dar.

Es wurde ein weiterer Kontrollversuch unternommen, bei dem die Dioden durch Kondensatoren 5 pF ersetzt wurden, die ihrerseits durch gleiche Kondensatoren neutralisiert wurden (Bild 13). Die Dämpfungskurve zeigt den gleichen Verlauf bei tiefen und bei höheren Frequenzen wie in dem vorherigen Versuch und bestätigt den Einfluß der Uebertrager der Meßanordnung.

Um die Beurteilung der Koppelpunktsschaltungen durch ihre Dämpfungskurven zu erleichtern, wurde deshalb der Dämpfungsverlauf bei den folgenden Bildern für tiefe Frequenzen durch sinngemäße Extrapolation korrigiert, während der original gemessene Verlauf der Kurve gestrichelt eingetragen ist.

Um den Einfluß und die Größe des kapazitiven Anteils des Sperrwiderstandes der Dioden zu untersuchen, wurden den Dioden des mit je $13\text{ M}\Omega$ neutralisierten Koppelpunktes von Bild 11 je ein Kondensator $2,5\text{ pF}$ parallelgeschaltet. Das Ergebnis ist in Bild 14 dargestellt. Der Dämpfungsmaßstab ist hier nicht, wie bisher, linear gewählt, sondern ist logarithmisch verzerrt, um den linearen Zusammenhang zwischen der an den Klemmen 3-4 gemessenen Restspannung U (linearer Ordinatenmaßstab) und dem frequenzabhängigen Widerstand der parallelgeschalteten Kondensatoren zu verdeutlichen. Wie zu erwarten war, verringert sich die Dämpfung mit steigender

Frequenz. Obwohl die parallelgeschalteten Kondensatoren nur eine sehr kleine Kapazität hatten, ist ein starker Dämpfungsrückgang von 13 N bei 500 Hz auf etwa 10,9 N bei 5 kHz zu beobachten. Das läßt den Schluß zu, daß der kapazitive Anteil des eigentlichen Sperrwiderstandes der Diode (Dämpfungsverlauf nach Bild 11, ohne Parallelschaltung einer Kapazität) sehr klein ist und die Größenordnung von Zehntel pF besitzt.

Als nächster Schritt wurde versucht, diesen kapazitiven Sperrwiderstandsanteil auch durch Neutralisation unwirksam zu machen. Da keine geeigneten Trimmerkondensatoren vorhanden waren, die einen Anfangswert von etwa $1/10$ pF besaßen, wurden die Dioden durch eine Parallelschaltung je eines Kondensators 2,5 pF künstlich kapazitiv verschlechtert, wobei dann die Summe aus der Zusatzkapazität und der Eigenkapazität der Diode durch einen kleinen Trimmerkondensator 0,8...6 pF neutralisiert wurde. Die Neutralisation der Wirkkomponente des Sperrwiderstandes der Diode durch je 13 M Ω wurde dabei beibehalten. Bild 15 zeigt die Koppelpunktsschaltung und das Meßergebnis. Die Dämpfung ist gegenüber dem nur mit Widerständen neutralisierten Koppelpunkt des Bildes 11 in Abhängigkeit von der Frequenz bis zu etwa 0,8 N gestiegen.

Durch Abgleich der ohmschen Neutralisationswiderstände mit Hilfe von Widerstandstrimmern läßt sich eine weitere Erhöhung der Dämpfung auf etwa 16 N erzielen (Bild 16). Es zeigte sich dabei, daß die Neutralisation frequenzabhängig ist in der Weise, daß sich unterschiedliche Frequenzgänge der Dämpfung einstellen ließen, je nachdem, bei welcher Frequenz die Neutralisation, d.h. Einstellen des Dämpfungsmaximums, vorgenommen wurde. In Bild 17 ist diese Neutralisationsfrequenz durch einen Pfeil bezeichnet. Der Koppelpunkt war dabei genauso aufgebaut wie zum vorhergehenden Versuch (Bild 16), bei dem bei etwa 3 kHz neutralisiert wurde.

Die Dämpfung des durchgeschalteten Koppelpunktes infolge des Diodenwiderstandes in Durchlaßrichtung ist naturgemäß abhängig vom Durchlaßstrom der Diode I_D . Der aus dem Kennlinienfeld für die OA 85 (Valvo-Handbuch Halbleiter) errechnete

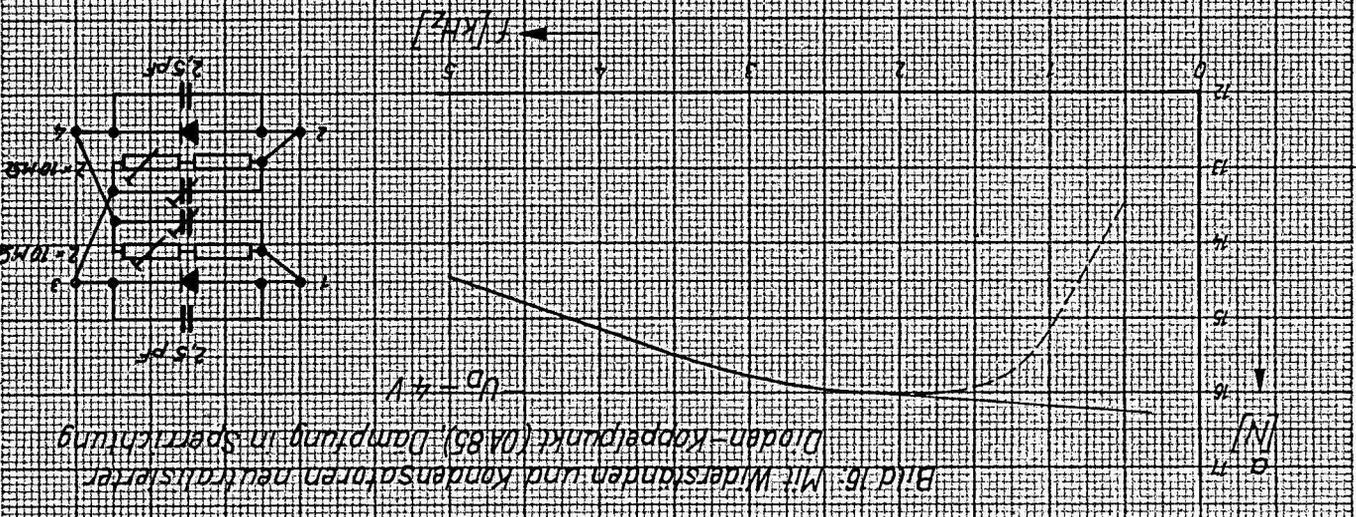
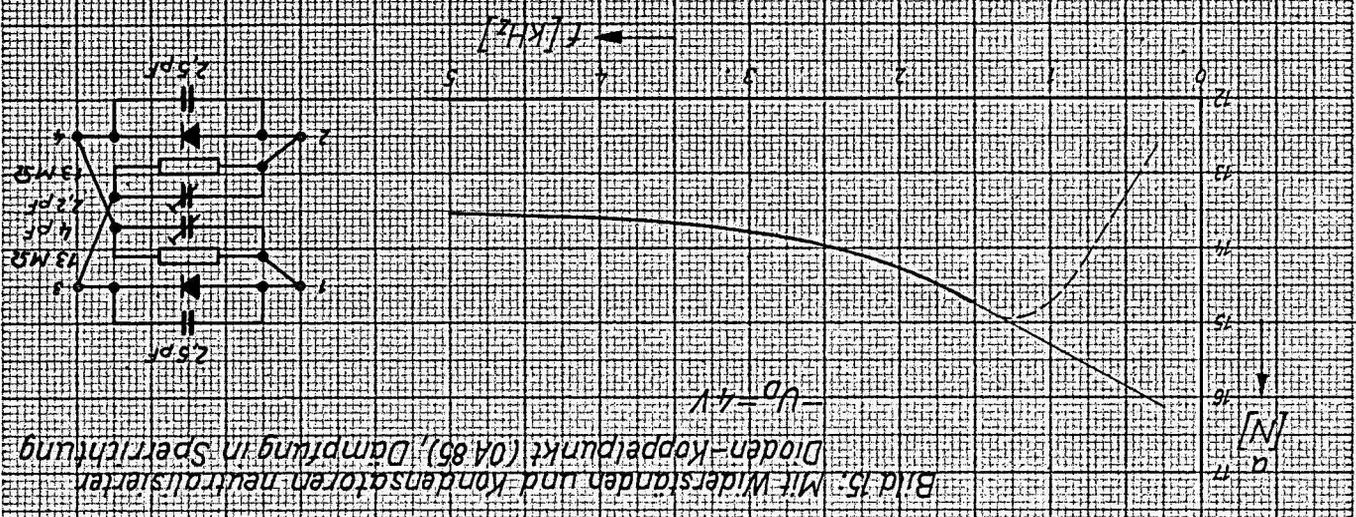
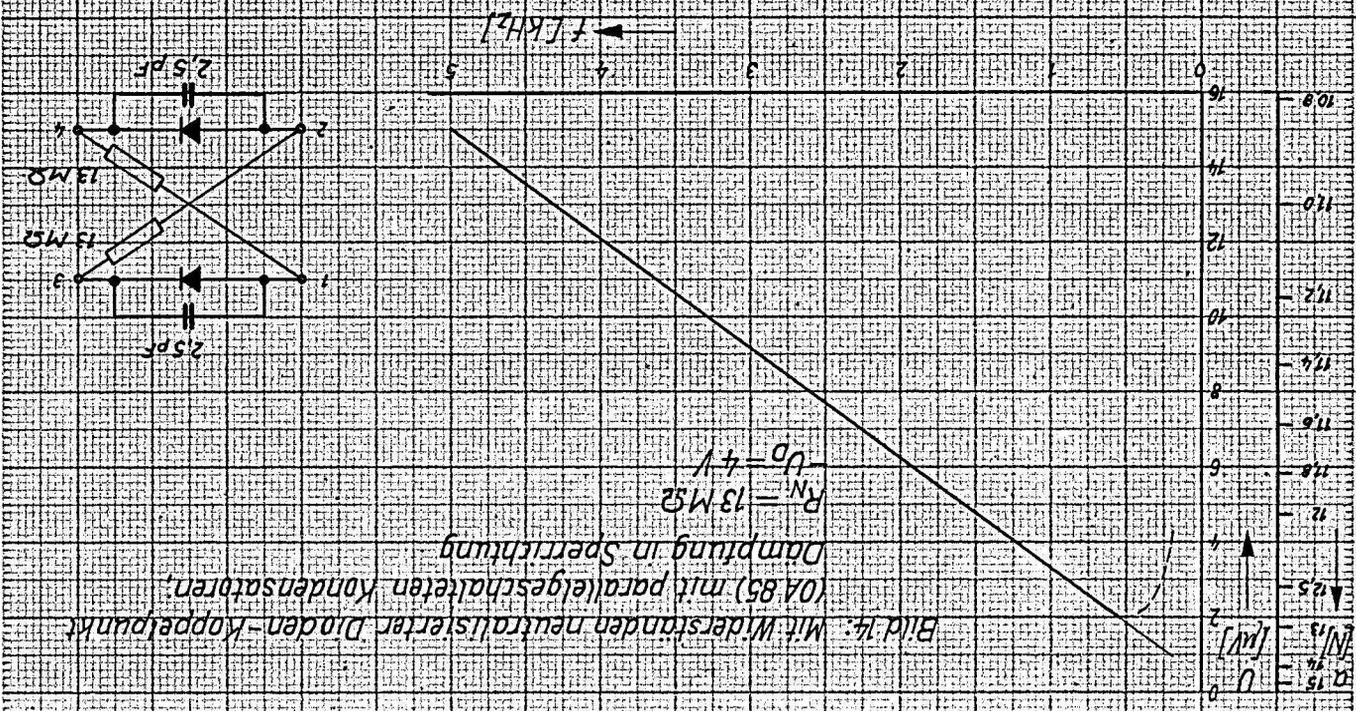


Bild 17: Mit Widerständen und Kondensatoren neutralisierter Dioden-Koppelpunkt (OA 85), Dämpfung in Sperrichtung

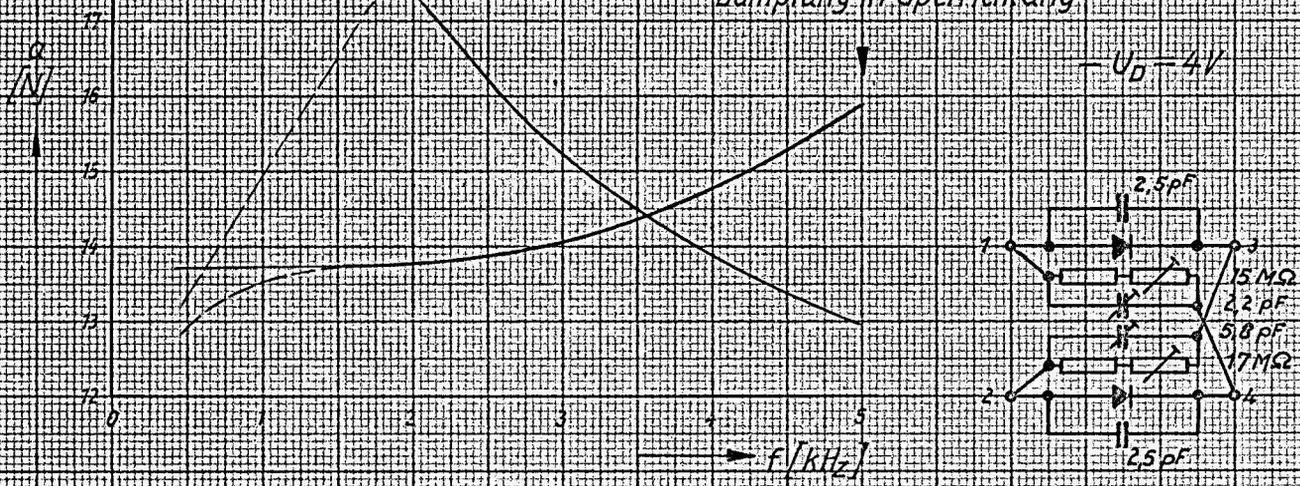


Bild 18: Durchlaßwiderstand OA 85
 $T_{amb} = 25^\circ C$
 — Mittelwert
 - - - Streuwerte

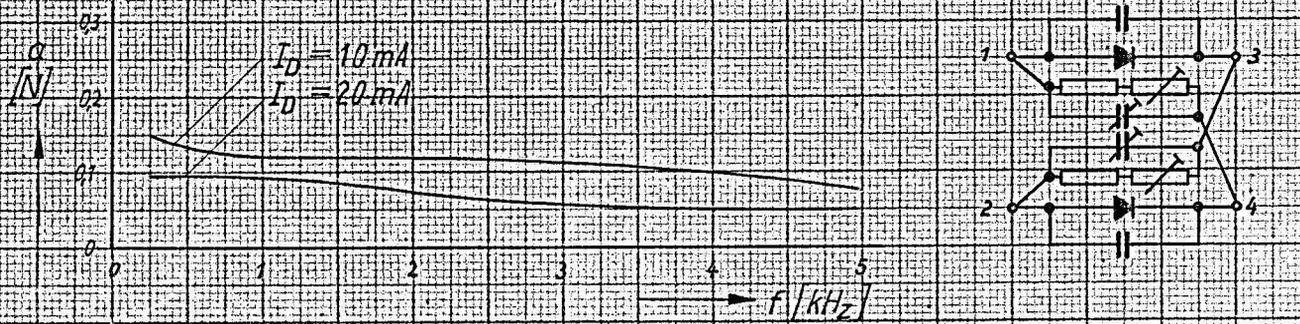
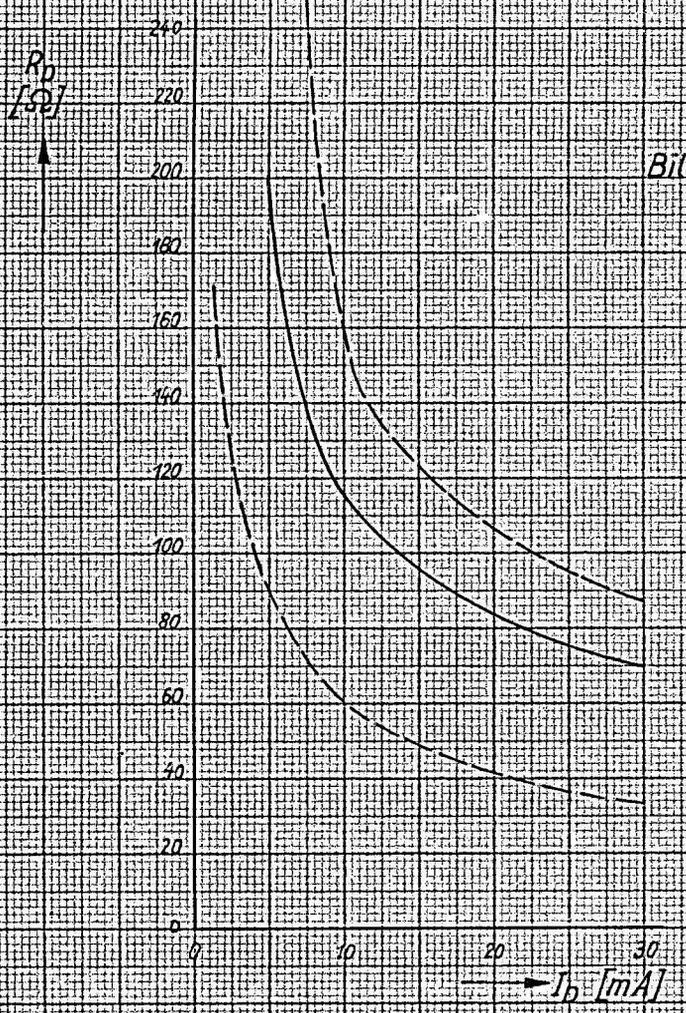


Bild 19: Mit Widerständen und Kondensatoren neutralisierter Dioden-Koppelpunkt (OA 85), Dämpfung in Durchlaßrichtung

Zusammenhang zwischen Durchlaßwiderstand R_D und Durchlaßstrom I_D ist in Bild 18 dargestellt. Die Kurven gelten für eine Umgebungstemperatur von $T_{\text{ugb}} = 25^\circ \text{C}$. Die für eine Umgebungstemperatur von $T_{\text{ugb}} = 60^\circ \text{C}$ ermittelten Werte haben den gleichen Verlauf wie die gezeichneten, der Diodenwiderstand ist aber jeweils um etwa 5Ω kleiner. Aus den Kurven des Bildes 18 folgt die bekannte Tatsache, daß mit steigendem Durchlaßstrom der Diodenwiderstand sinkt. Er erreicht bei einem Durchlaßstrom von 30 mA Werte um 60Ω .

Bild 19 stellt das Ergebnis der Messungen an einem neutralisierten Dioden-Koppelpunkt in Durchlaßrichtung dar. Parameter ist hierbei der Durchlaßstrom der Diode. Die Kurven für $I_D = 10 \text{ mA}$ und $I_D = 20 \text{ mA}$ haben etwa den gleichen Verlauf und erreichen die gleichen Werte wie bei Messungen am nicht neutralisierten Dioden-Koppelpunkt (Abschnitt 3.1).

Legt man die Ergebnisse der Messungen des gemäß Bild 16 neutralisierten Koppelpunktes und die gemäß Bild 19 bei einem Durchlaßstrom von 20 mA je Diode erhaltenen Messungen zugrunde, so läßt sich daraus ein Dämpfungsverhältnis von $180:1$ bei 1000 Hz und von $290:1$ bei 5 kHz errechnen (vgl. dazu das Dämpfungsverhältnis des nicht neutralisierten Koppelpunktes, Abschnitt 3.1).

4. Zweidräftiger Dioden-Koppelpunkt mit Germanium-Golddrahtdioden OA 7

Nachdem mit der Allzweck-Diode OA 85 umfangreiche und ausführliche Versuche ausgeführt wurden, sollte nun versucht werden, ob durch Verwendung spezieller Schalterdioden die Schaltereigenschaften des Koppelpunktes verbessert werden können, indem die Dämpfung in Sperrichtung nach Möglichkeit vergrößert, vor allem aber die Dämpfung in Durchlaßrichtung vermindert wird. Dazu wurde zunächst ein Koppelpunkt gemäß Bild 7 mit der Germanium-Golddrahtdiode OA 7 untersucht. Es zeigte sich auch hier, daß sich bei einer bestimmten negativen Dioden-Vorspannung ein maximaler Sperrwiderstand einstellte, oberhalb derer sich der Sperrwiderstand wieder ver-

Bild 20: Nicht-neutralisierter Dioden-Koppelpunkt (OA 7),
Dämpfung in Sperrichtung

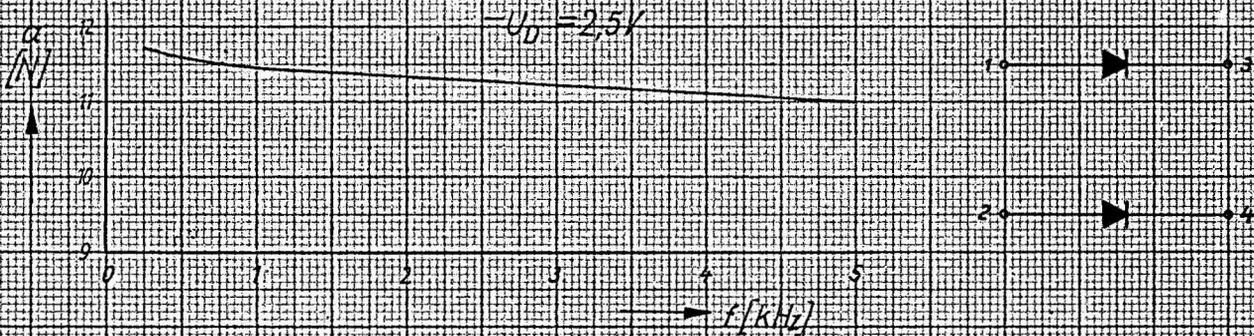


Bild 21: Nicht-neutralisierter Dioden-Koppelpunkt (OA 7),
Dämpfung in Durchlaßrichtung

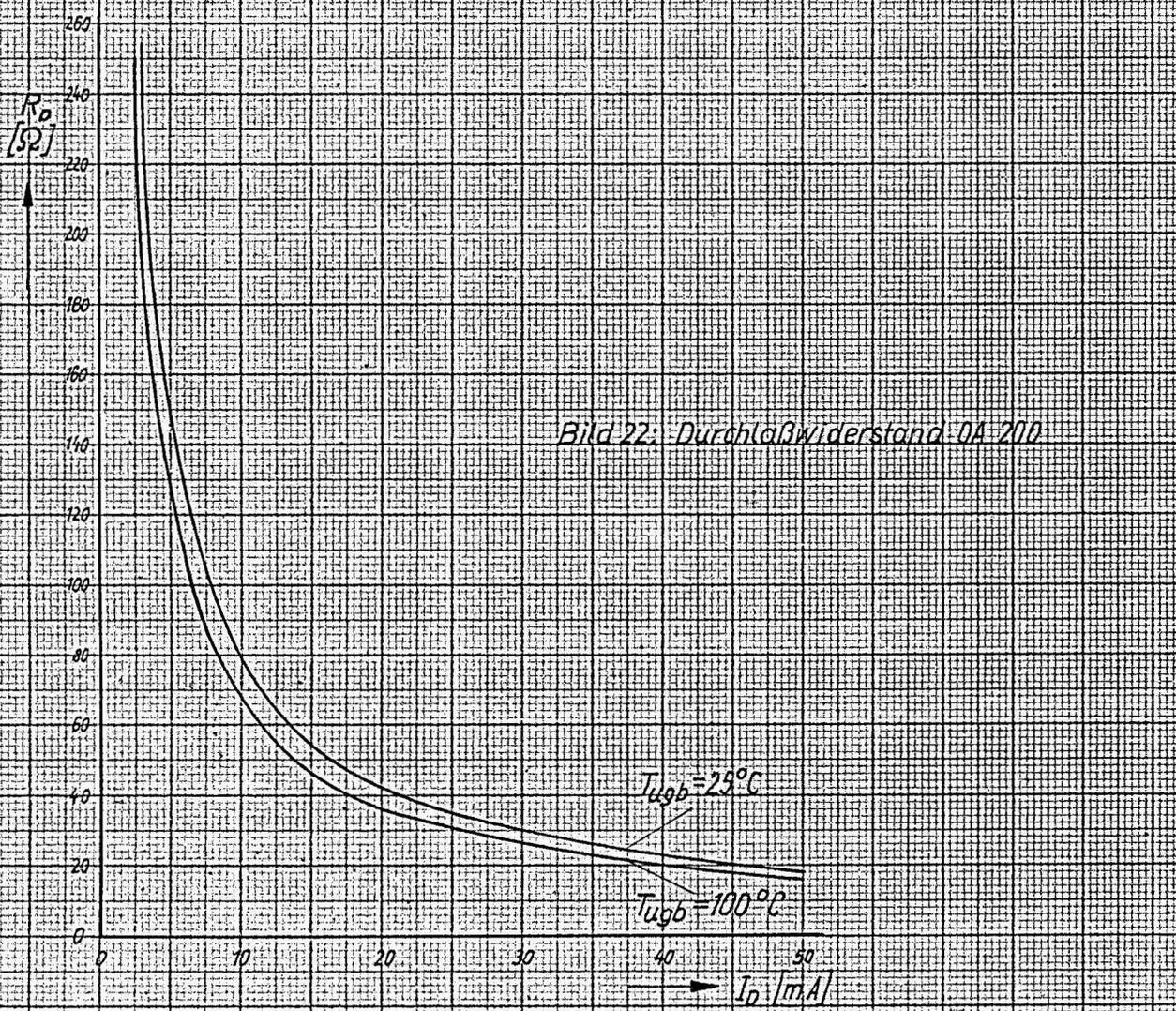
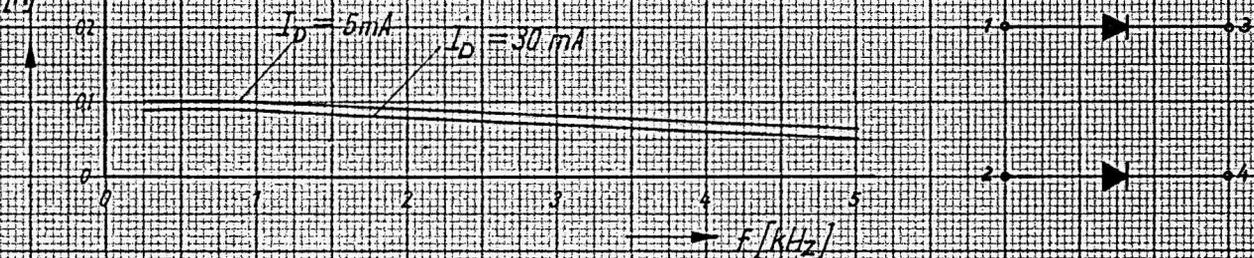


Bild 22: Durchlaßwiderstand OA 200

kleinerte. Diese günstigste Vorspannung lag bei den untersuchten Dioden zwischen -2 und -3 V. Die Messungen wurden deshalb bei $U_D = -2,5$ V ausgeführt. Die Ergebnisse der Messungen am nicht neutralisierten Koppelpunkt - sie sind in Bild 20 für das Dämpfungsverhalten in Sperrichtung und in Bild 21 für das Dämpfungsverhalten in Durchlaßrichtung dargestellt - zeigen keine wesentliche Verbesserung der Koppelpunkteigenschaften gegenüber dem bisher untersuchten nicht neutralisierten, mit der Diode OA 85 bestückten Koppelpunkt (Abschnitt 3.1). Das Dämpfungsverhältnis des OA 7-Koppelpunktes läßt sich nach den Bildern 20 und 21 unter Zugrundelegung eines Durchlaßstromes von $I_D = 30$ mA zu 130:1 bei 1000 Hz und 220:1 bei 5 kHz berechnen.

Es war nicht zu erwarten, daß durch Neutralisation der Dioden wesentlich bessere Dämpfungswerte für die Sperrichtung zu erreichen waren, als an dem mit der Diode OA 85 bestückten neutralisierten Koppelpunkt gemessen wurden. Andererseits läßt sich das Dämpfungsverhältnis des Koppelpunktes nur durch Verkleinerung der Dämpfung in Durchlaßrichtung wirkungsvoll verbessern, und eine Neutralisation der Dioden bleibt in dieser Beziehung ohne Wirkung, da sie nur den Koppelpunktswiderstand in Sperrichtung meßbar beeinflußt. Es wurden daher an diesem Koppelpunkt keine Untersuchungen bezüglich der Neutralisation der Dioden durchgeführt.

5. Zweidräftiger Dioden-Koppelpunkt mit Siliziumdioden OA 200

Die Verwendung der Silizium-Flächendiode OA 200 versprach wegen ihres verhältnismäßig kleinen Widerstandes in Durchlaßrichtung (Bild 22, errechnet aus I_D/U_D -Kennlinienfeld, Valvo-Handbuch Halbleiter) günstige Dämpfungswerte des Koppelpunktes in Durchlaßrichtung zu liefern.

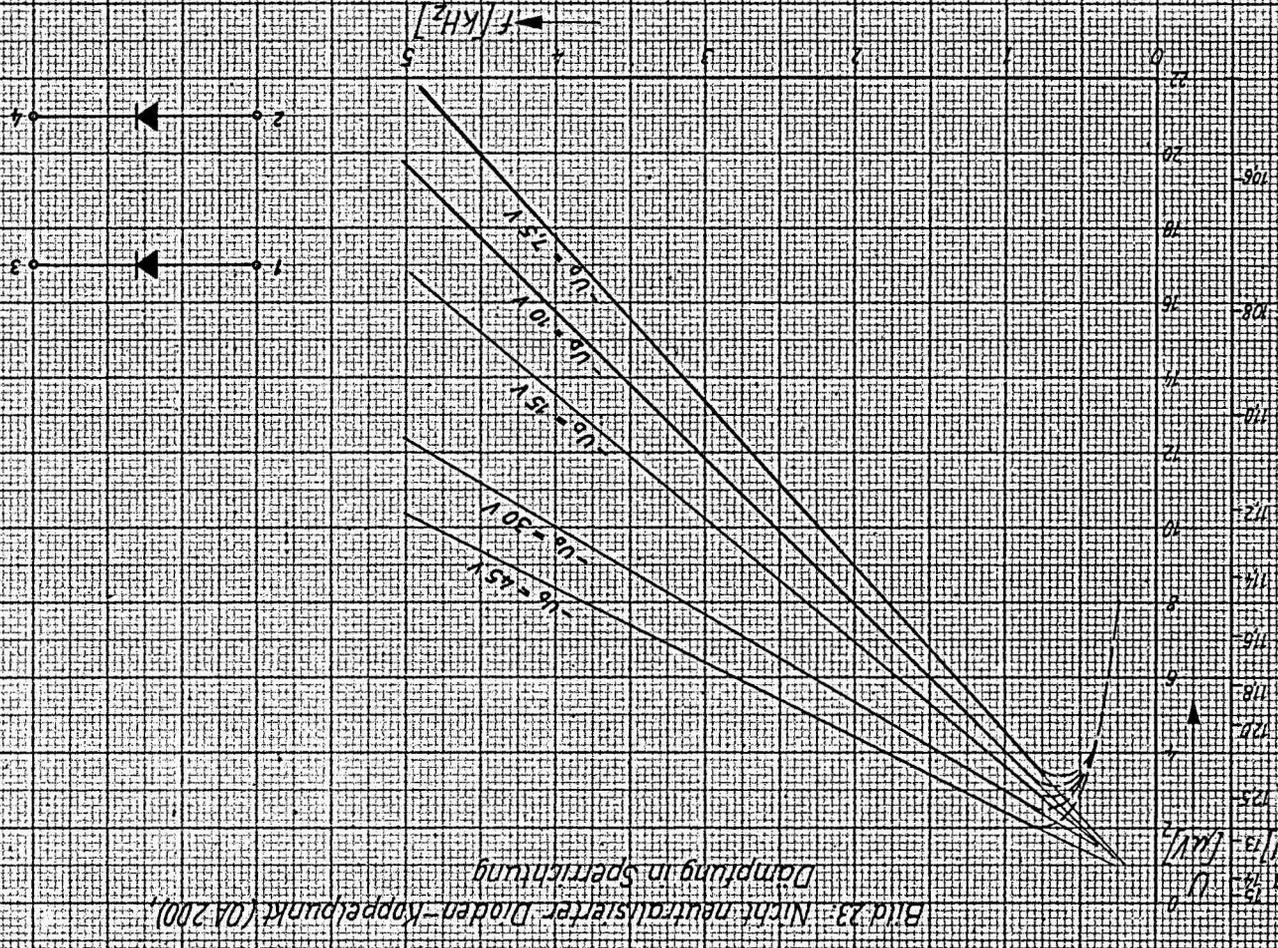
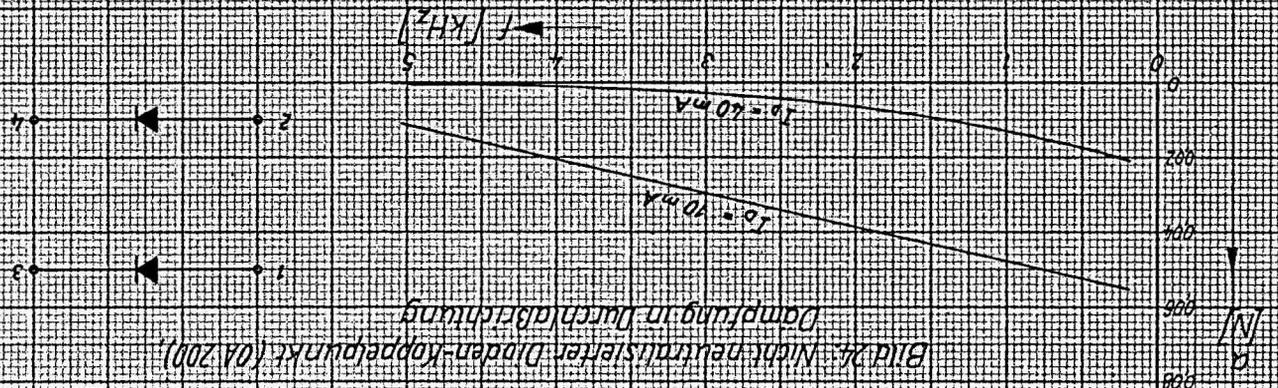
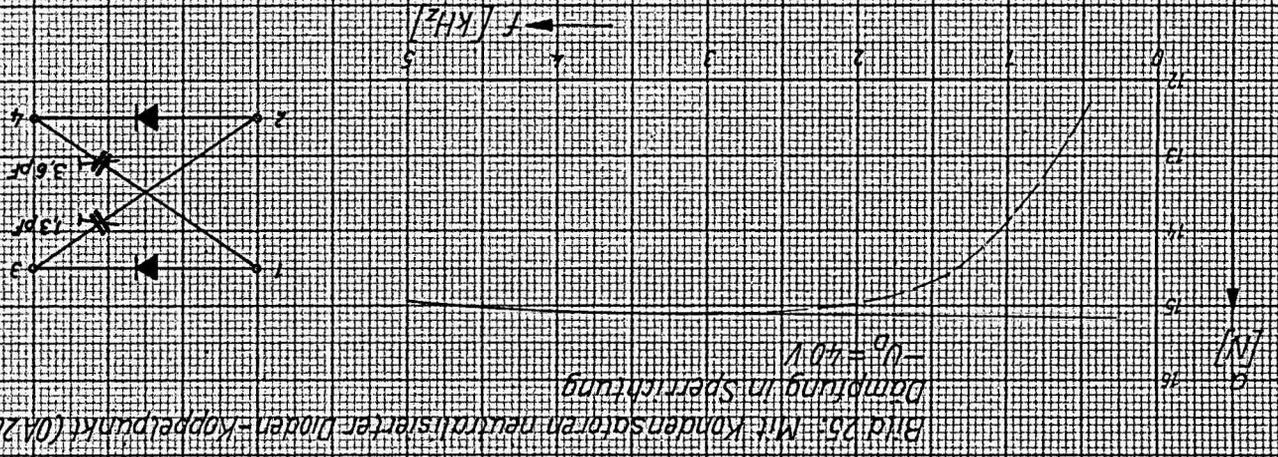
5.1 Nicht neutralisierter Koppelpunkt (OA 200)

Zunächst wurden die Eigenschaften eines Koppelpunktes gemäß Bild 7 ohne Neutralisation der Diodenstrecken untersucht. Bild 23 zeigt die Meßergebnisse für den gesperrten Koppelpunkt, Parameter ist die negative Vorspannung der

Dioden. Auffällig an den Kurven dieses Bildes ist der sehr starke Dämpfungsabfall bei steigender Frequenz, ähnlich den Messungen an einem Koppelpunkt nach Bild 14. Auch in Bild 23 wurde, wie in Bild 14, zur Verdeutlichung des linearen Zusammenhanges zwischen Meßfrequenz und der an den Klemmen 3-4 gemessenen Restspannung die Ordinatenachse im linearen Spannungsmaßstab gezeichnet, d.h. der Dämpfungsmaßstab entsprechend logarithmisch verzerrt. Der starke Abfall bei steigender Frequenz hat auch hier wieder (Bild 23) seine Ursache in der hohen kapazitiven Komponente des Sperrwiderstandes, die sich infolge des Aufbaues der hier verwendeten Flächendiode anstelle der bisher untersuchten Spitzendioden ergibt. Man kann aus den Diagrammen des Bildes 23 außerdem noch entnehmen, daß sich die kapazitive Komponente des Sperrwiderstandes mit steigender negativer Vorspannung der Diode verringert, da sich der Dämpfungsabfall mit steigender Frequenz dabei verkleinert. Eine Verwendung dieser Flächendioden in nicht neutralisierten Koppelpunkten erscheint aber trotzdem wegen der zu kleinen Dämpfung bei höheren Frequenzen als nicht zweckmäßig. Ein Bereich günstigster negativer Vorspannung, bei der die Dioden einen maximalen Sperrwiderstand (Bild 8) aufweisen, wie es bei den untersuchten Spitzendioden beobachtet wurde, konnte bei dieser Flächendiode nicht festgestellt werden. Bei der maximal zulässigen Vorspannung wurde die höchste Dämpfung in Sperrichtung gemessen.

In Bild 24 ist das Verhalten des Koppelpunktes in Durchlaßrichtung dargestellt, Parameter ist der Durchlaßstrom durch die Diode. Arbeitet man mit einem Durchlaßstrom dicht unter der zulässigen Grenze von 50 mA je Diode, so ergibt sich nur bei niedrigen Frequenzen eine meßbare Dämpfung in Durchlaßrichtung, bei höheren Frequenzen war die Dämpfung so klein, daß die Meßgenauigkeit der benutzten Anordnung nicht mehr ausreichte.

Eine Angabe des Dämpfungsverhältnisses führt wegen der starken Abnahme der Dämpfung in Sperrichtung für höhere Frequenzen, verbunden mit den sehr kleinen und nicht genau erfaßbaren Dämpfungswerten für die Durchlaßrichtung in die-



sem Frequenzgebiet, zu falschen Schlüssen.

5.2 Neutralisierter Koppelpunkt (OA 200)

Die Meßergebnisse nach Bild 23 zeigten vor allem den starken kapazitiven Anteil des Sperrwiderstandes der Dioden. Es war daher zu vermuten, daß sich durch eine rein kapazitive Neutralisation der Diodenstrecken der Abfall der Dämpfung bei höheren Frequenzen in Sperrichtung beseitigen läßt. Diese Annahme wurde durch Messungen voll bestätigt (Bild 25). Durch die Neutralisation ergab sich eine Dämpfung des Koppelpunktes in der Größenordnung von 15 N, wobei der Kurvenverlauf etwa frequenzgerade ist. Es war hier auch ohne Einfluß auf den Kurvenverlauf, bei welcher Frequenz die Neutralisation vorgenommen wurde, was bei den untersuchten Spitzendioden von Bedeutung war. Dagegen ist wegen der Abhängigkeit der Eigenkapazität der Dioden von ihrer Vorspannung die Größe des Neutralisationskondensators mit dieser Vorspannung veränderlich.

Zur Kontrolle wurde die Möglichkeit einer Neutralisation mit rein ohmschen Widerständen untersucht. Die Messungen wurden bei zwei Frequenzen durchgeführt (750 Hz und 3 kHz). Wie Bild 26 zeigt, in dem der Dämpfungsverlauf über den verwendeten Neutralisationswiderständen aufgetragen ist (Parameter ist die Meßfrequenz), ergibt sich für keinen Neutralisationswiderstand ein Dämpfungsmaximum, bei Widerständen $>100 \text{ M}\Omega$ werden genau die Dämpfungswerte erreicht, die auch ohne Neutralisation gemessen wurden.

Auch eine gemischt kapazitiv-ohmsche Neutralisation führte, wie Bild 27 zeigt, zu keinem besseren Ergebnis. Die Messungen wurden hier bei 3 kHz durchgeführt, aufgetragen ist wieder die Dämpfung des Koppelpunktes über den verwendeten Neutralisationswiderständen, Parameter ist die Kapazität des Neutralisationskondensators.

Legt man die Ergebnisse der Messungen nach Bild 24 ($I_D=40 \text{ mA}$) und Bild 25 zugrunde (für die Messung der Dämpfung in Durchlaßrichtung ist es praktisch gleichgültig, ob der Koppelpunkt neutralisiert ist oder nicht), so erhält man für die-

Bild 27: Mit Widerständen R_N und Kondensatoren C_N neutralisierter Dioden-Koppelpunkt (0A 200), Dämpfung in Sperrichtung
 $-U_D = 40V$
 $f = 3kHz$

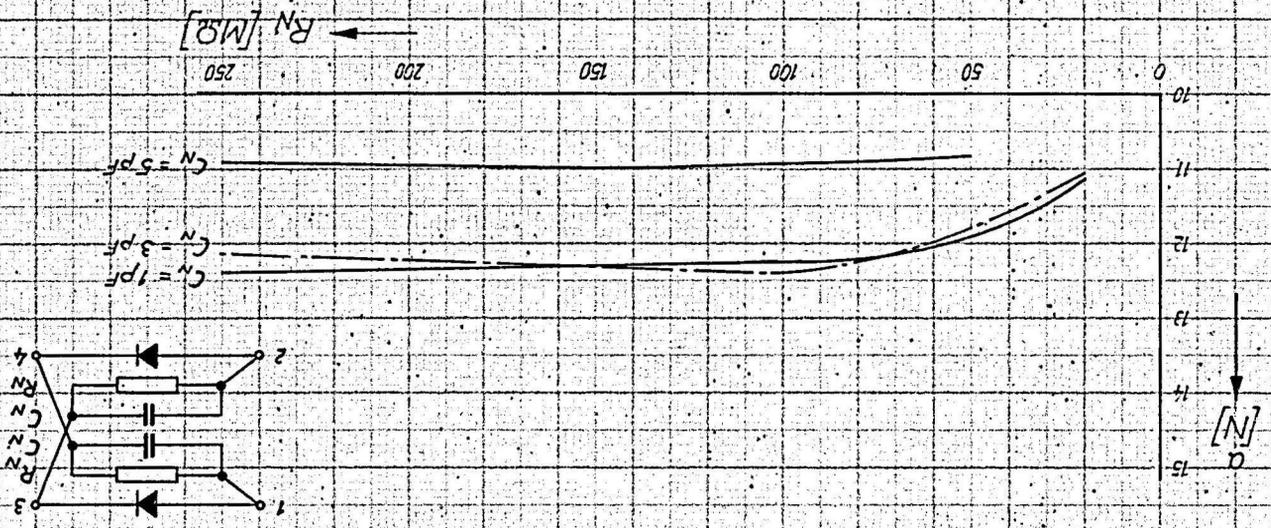
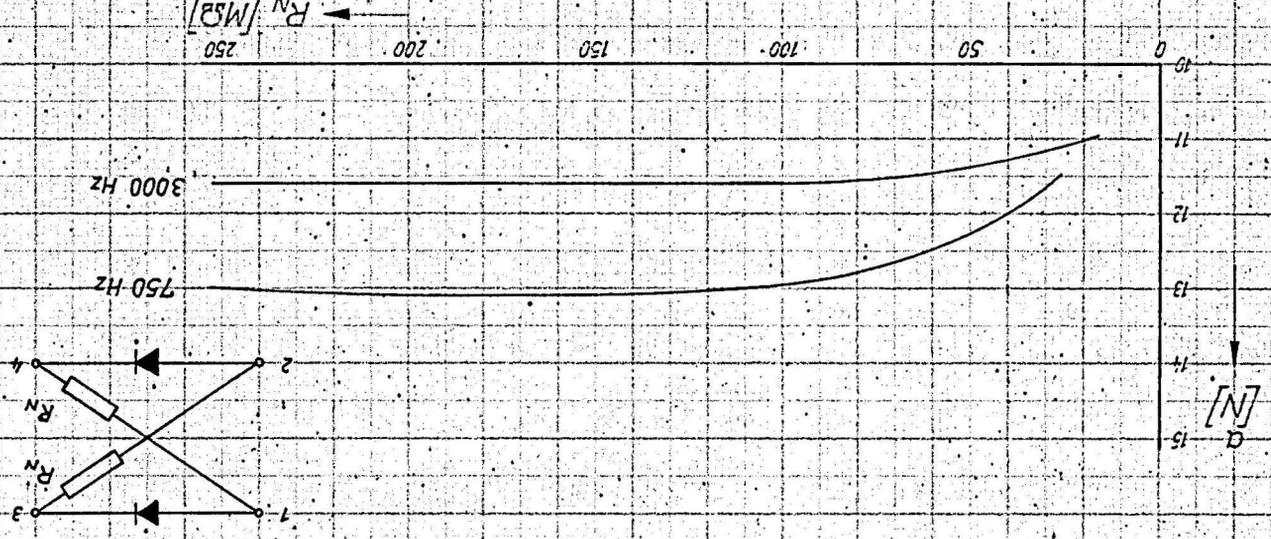


Bild 26: Mit Widerständen R_N neutralisierter Dioden-Koppelpunkt (0A 200), Dämpfung in Sperrichtung
 $-U_D = 40V$
 $f = 750 Hz$ und $3kHz$



sen mit Kondensatoren neutralisierten Koppelpunkt ein Dämpfungsverhältnis von etwa 1200:1 bei 1000 Hz und einen Wert von >3000:1 bei 5 kHz (wegen der sehr kleinen, nicht mehr genau meßbaren Dämpfungswerte für die Durchlaßrichtung läßt sich das Verhältnis nicht genau berechnen).

6. Eindrächtiger Dioden-Koppelpunkt

6.1 Schaltung des Koppelpunktes und des Neutralisations-Zusatzes

Der im folgenden untersuchte Koppelpunkt dient als Koppelglied eines eindrähtig gegen Erde arbeitenden Systems (Bild 28). Zur Neutralisation des Rest-Leitwertes der gesperrten Diodenstrecke[†]) wird durch eine mittengezapfte Phasenumkehrdrossel Dr eine der an der Diodenstrecke liegenden Wechselspannung um 180° phasenverschobene Spannung erzeugt und über den Neutralisationswiderstand R an der entgegengesetzten Diodenseite eingespeist (Bild 29). Die Drossel ist so ausgelegt, daß die halbe Wicklung bei 300 Hz etwa eine Impedanz von 600 Ω besitzt. Sie wurde in einen Valvo-Schalenkern Ferroxcube S 18/12-00 gewickelt.

6.2 Eindrächtiger Dioden-Koppelpunkt mit Germaniumdiode OA 85

Es wurden zunächst Dämpfungsmessungen in Sperrichtung am eindrähtigen nicht neutralisierten Koppelpunkt vorgenommen (Meßschaltung Bild 30). Ihre Ergebnisse (Bild 31) zeigen keine wesentlichen Abweichungen gegenüber denen, die aus Messungen am zweidrähtigen nicht neutralisierten Koppelpunkt mit den Dioden OA 85 erhalten wurden. Die Dämpfung in Sperrichtung beträgt etwa 10,8...10,2 N.

Wie am Zweidrahtsystem, war auch bei Neutralisation des Eindrähtsystems mit ohmschen Widerständen der Verlauf der Dämpfungskurve des Koppelpunktes von der Frequenz, bei der die Neutralisation vorgenommen wurde, abhängig. Bild 32 zeigt das Ergebnis der Neutralisation mit ohmschen Widerständen,

[†]) Patentanmeldung W. B e c k e r am 12.5.1960 Deutsches Patentamt München

Bild 31: Unsymmetrischer Dioden-Koppelpunkt (0A 85), nicht neutralisiert
 $-U_p = 4V$
 Dämpfung in Sperrichtung

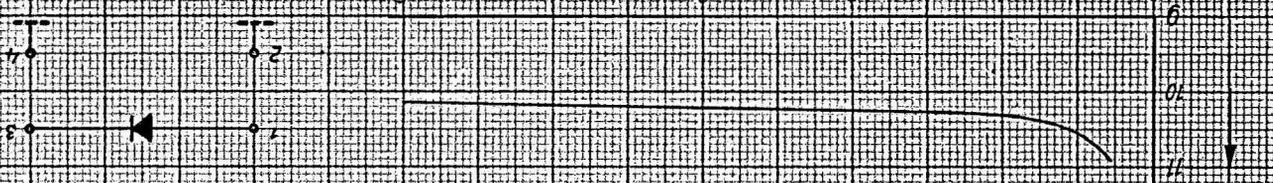


Bild 32: Mit Widerständen R_N neutralisierter unsymmetrischer
 Dioden-Koppelpunkt (0A 85), Dämpfung in Sperrichtung
 $-U_p = 4V$
 $R_N = 15M\Omega$
 $R_N = 13M\Omega$
 $R_N = 17M\Omega$

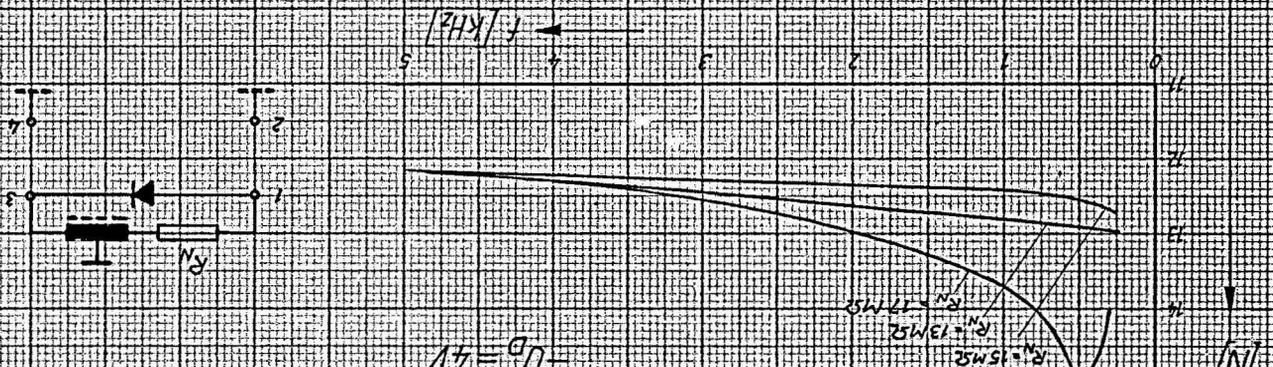


Bild 33: Mit Widerstand $15M\Omega$ neutralisierter unsymmetrischer
 Dioden-Koppelpunkt (0A 85), Dämpfung in Durchrichtung
 $I_p = 20mA$

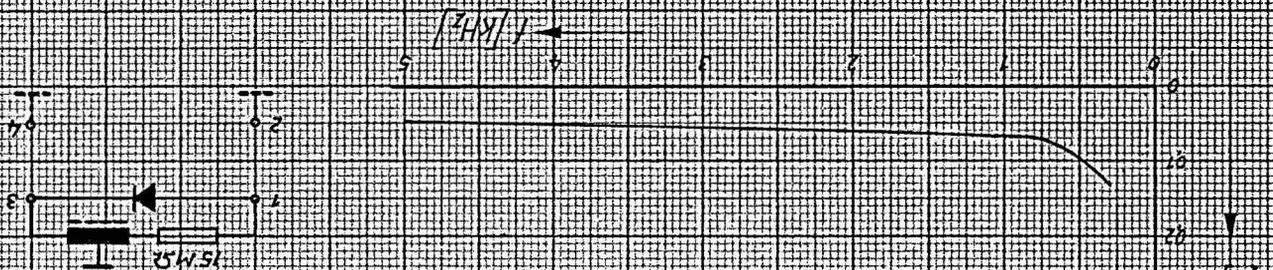
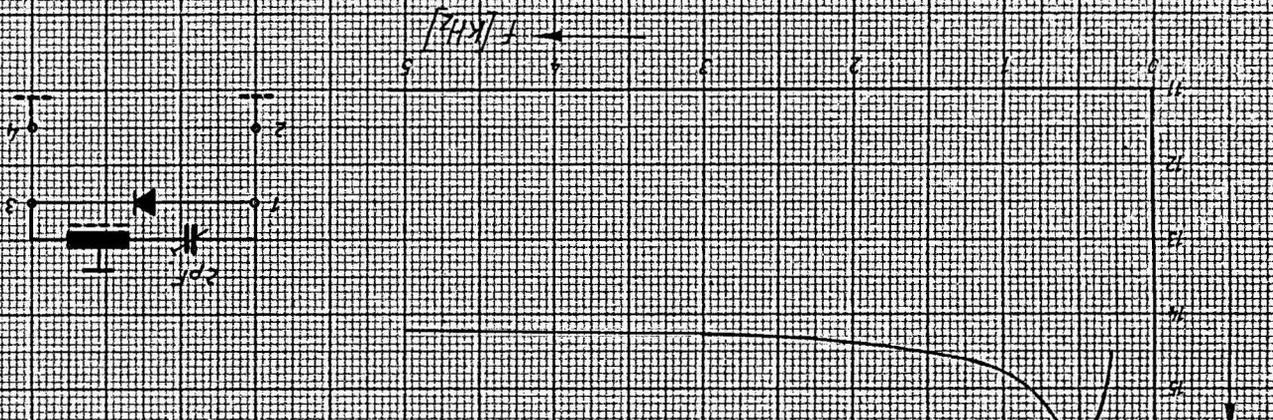


Bild 34: Mit Kondensator neutralisierter unsymmetrischer
 Dioden-Koppelpunkt (0A 200), Dämpfung in Sperrichtung
 $-U_p = 40V$



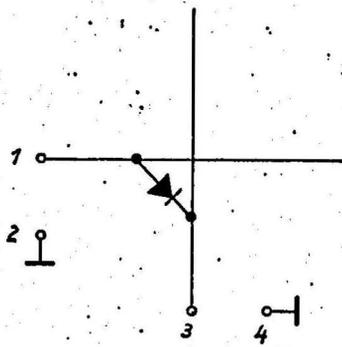


Bild 28

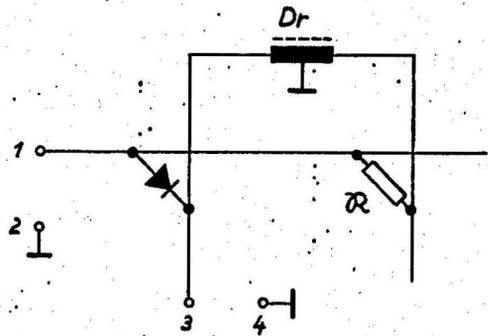


Bild 29

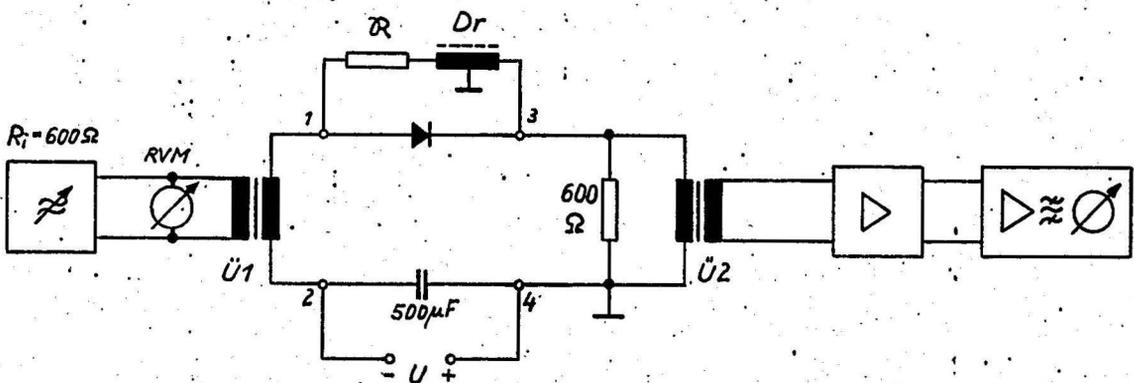


Bild 30

die als Parameter in die Darstellung eingeführt wurden. Es wurden etwa die gleichen Dämpfungswerte erreicht, wie sie auch beim Zweidrahtsystem mit Widerstands-Neutralisation gemessen wurden.

Das Durchlaßverhalten des mit $15 \text{ M}\Omega$ neutralisierten Eindraht-Koppelpunktes ist in Bild 33 dargestellt. Es entspricht etwa dem des Zweidraht-Koppelpunktes.

Eine gemischt kapazitiv-ohmsche Neutralisation führte beim Eindraht-Koppelpunkt, im Gegensatz zum zweidrähtigen Koppelpunkt, nicht zu höheren Werten der Dämpfung in Sperrichtung.

6.3 Eindrähtiger Dioden-Koppelpunkt mit Siliziumdiode OA 200

Auch bei dieser Diode entsprachen die Ergebnisse der Messungen am nicht neutralisierten Koppelpunkt etwa denen des Zweidraht-Koppelpunktes mit der OA 200.

Eine rein ohmsche Neutralisation war auch am Eindraht-Koppelpunkt nicht durchzuführen, sie ergab bei genügend hohen Widerständen ($> 100 \text{ M}\Omega$) etwa gleiche Werte für die Dämpfung in Sperrichtung wie der nicht neutralisierte Koppelpunkt.

Eine Neutralisation mit Kondensatoren führte zu ähnlich guten Ergebnissen wie beim Zweidraht-Koppelpunkt, die Dämpfungskurve für die Sperrichtung ist in Bild 34 dargestellt. In Durchlaßrichtung ergab sich für den gesamten untersuchten Frequenzbereich von 300 bis 5000 Hz bei einem Dioden-Durchlaßstrom von $I_D = 40 \text{ mA}$ keine meßbare Dämpfung. Aus diesem Grunde läßt sich auch hier eine Berechnung des Dämpfungsverhältnisses nicht durchführen.

Ergebnis der Untersuchungen:

Es konnte gezeigt werden, daß es möglich ist, mit geringem Aufwand Halbleiterkontakte aufzubauen, die durch Mittel der Neutralisation bezüglich des Verhaltens in Sperrichtung ähnliche Eigenschaften aufweisen wie Kontakte in der üblichen elektromechanischen Vermittlungstechnik.