

4. PIN-Dioden

4.1. Aufbau und Eigenschaften der PIN-Diode

Der Name P-I-N bedeutet P-intrinsic-N, entsprechend dem Dotierungsprofil dieser Dioden [11], siehe auch Bild 3. Bei PIN-Dioden befindet sich zwischen der P-Zone und der N-Zone eine extrem hochohmige, fast eigenleitende (= intrinsic) Schicht. Die P-Zone und die N-Zone sind hochdotiert (P^+ , N^+) und damit entsprechend niederohmig [20]. Das intrinsic-Verhalten der Mittelzone läßt sich nur angenähert erreichen, so daß auch diese Zone – wenn auch nur sehr schwach – dotiert ist. Vom Ausgangsmaterial her ist Silizium mit gleicher Dotierungskonzentration der P- bzw. N-Störstellen erhältlich. Da nun die Eigenschaften der PIN-Dioden vom spezifischen Widerstand der intrinsic-Zone und nicht von der Dotierungskonzentration abhängen, bei gleicher Dotierungskonzentration aber P-Material dreimal hochohmiger ist als N-Material, wird man zweckmäßig bei der Herstellung von PIN-Dioden von hochohmigem P-Silizium ausgehen.

Für PIN-Dioden gibt es zwei wichtige Anwendungen [21]:

Ist die intrinsic-Zone dick ($10 \dots 100 \mu\text{m}$), so hat man einen Gleichrichter hoher Sperrspannung mit kleinem Durchlaßspannungsabfall bei hohem Strom, also mit gutem Wirkungsgrad. Die kleine Durchlaßspannung ergibt sich wegen der Leitfähigkeitsmodulation der I-Zone durch die große Zahl der von der P- und der N-Zone injizierten Ladungsträger.

Die zweite Anwendung der PIN-Dioden liegt auf dem Hochfrequenzgebiet. Dabei macht man von der Tatsache Gebrauch, daß infolge der

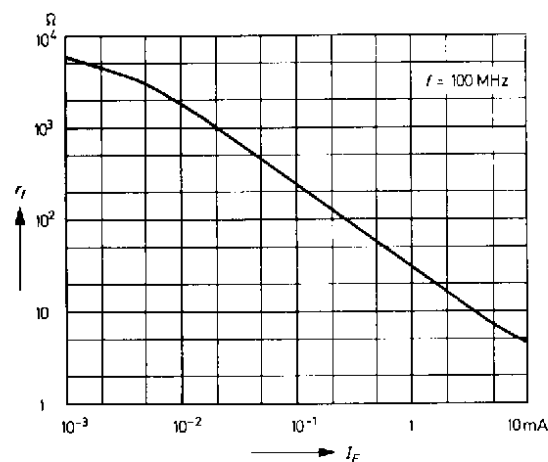


Bild 44: Durchlaßwiderstand in Abhängigkeit vom Durchlaßstrom

langen Trägerlebensdauer bei Frequenzen oberhalb etwa 10 MHz kein Gleichrichtereffekt mehr auftritt, sondern sich die PIN-Diode wie ein reeller Widerstand verhält, dessen Betrag vom fließenden Durchlaß-Gleichstrom abhängt, und der für beide Halbwellen des HF-Signals gleich wirksam ist. Aufgrund dieses Verhaltens läßt sich die PIN-Diode als Schalter oder als veränderbarer Widerstand für HF-Signale einsetzen. So läßt sich zum Beispiel ein HF-Signal mit Hilfe einer NF-gesteuerten PIN-Diode amplitudenmodulieren.

Als wichtige Anwendung hat sich in der letzten Zeit der Einsatz von PIN-Dioden in gleichstromgesteuerten Dämpfungsgliedern für Fernhetuner und Antennenverstärker durchgesetzt. Bild 44 zeigt die Abhängigkeit des reellen HF-Durchlaßwiderstandes r_f vom Durchlaßstrom I_F , gemessen bei 100 MHz.

4.2. Anwendung der PIN-Diode zur Amplitudenregelung hochfrequenter Signale

In konventionellen, mit Transistoren bestückten Fernhetunern wird zur automatischen Verstärkungsregelung im allgemeinen der Emitterstrom des Vorstufentransistors geändert. Dabei wird ausgenutzt, daß der Vorstufentransistor bei einem bestimmten Emitterstrom seine maximale Verstärkung hat und diese sowohl bei Vergrößerung als auch bei Verkleinerung des Emitterstromes abnimmt. Da Aussteuerbarkeit und Kreuzmodulationsfestigkeit mit dem Emitterstrom steigen, hat sich in den letzten Jahren die sogenannte Aufwärtsregelung durchgesetzt, bei der zum Zweck der Verstärkungsreduzierung der Emitterstrom des Vorstufentransistors erhöht wird. Eine derart ausgelegte Vorstufe hat also die kleinste Kreuzmodulationsfestigkeit bei schwachem Sender und gerade einsetzender Regelung. Das wirkt sich dann besonders nachteilig aus, wenn ein bei Anwesenheit eines starken Ortssenders ein schwächerer Sender empfangen werden soll. Die unbefriedigenden Kreuzmodulationseigenschaften einer solchen Vorstufe treten mit der zunehmenden Bandbelegung in den Fernseh-Empfangsbereichen immer häufiger als Bildstörung in Erscheinung. Nachteilig wirkt sich auch die bei der Regelung auftretende Änderung der Transistorparameter aus, wodurch eingangsseitig die Anpassung an die Antenne und ausgangsseitig die Durchlaßkurve des HF-Bandfilters beeinflusst wird.

Um den geschilderten Nachteilen zu begegnen, geht man heute dazu über, die Vorstufe mit kreuzmodulationsfesten, aber nicht mehr regelbaren Hochstromtransistoren zu bestücken und die Regelung mit einem vorgeschalteten veränderbaren Dämpfungsglied vorzunehmen. Ein solches Dämpfungsglied muß im interessierenden Frequenzbereich frequenzunabhängig sein, eine kleine Minimal- und eine große Maximaldämpfung haben und, unabhängig von der eingestellten Dämpfung, Anpassung gewährleisten.

Die ersten beiden Forderungen werden durch die Eigenschaften der PIN-Dioden erfüllt, und die letzte Forderung läßt sich durch den Aufbau des PIN-Dioden-Reglers als π -Glied erfüllen, dessen Prinzipschaltung Bild 45

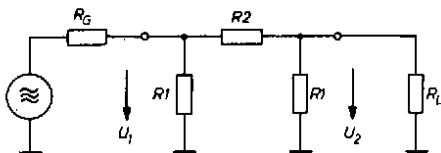


Bild 45: Prinzipschaltung eines Dämpfungsgliedes in π -Schaltung

zeigt. Für die Dämpfung eines angepaßten π -Gliedes gelten die Gleichungen

$$\frac{\alpha}{\text{dB}} = 20 \lg \frac{Z + R_2}{R_2 - Z} \quad (67)$$

$$\frac{\alpha}{\text{dB}} = 20 \lg \left(\frac{R_1}{Z} + \sqrt{\frac{R_1^2}{Z^2} + 1} \right) \quad (68)$$

Im Diagramm Bild 46 ist der Zusammenhang zwischen den Widerstandswerten R_1 und R_2 und dem Verhältnis zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung des π -Gliedes graphisch dargestellt. Bild 47 zeigt das Schaltbild des aus PIN-Dioden zusammengesetzten π -Gliedes, wie es praktisch ausgeführt wird. Der nach Bild 46 erforderliche Widerstandsverlauf wird durch Ändern des Steuerstromes I_{St} näherungsweise erreicht.

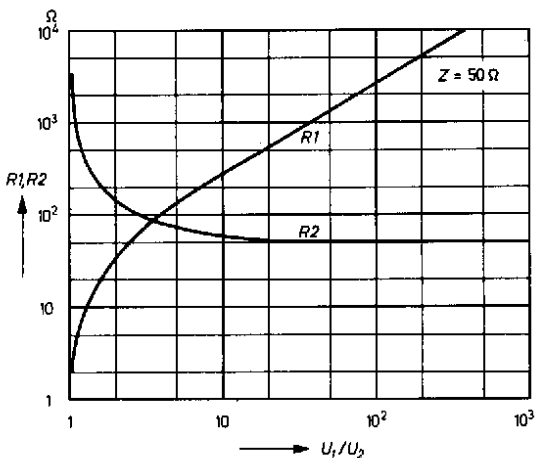


Bild 46: Widerstandswerte für R_1 und R_2 in Bild 45 in Abhängigkeit vom Verhältnis Eingangsspannung zu Ausgangsspannung

Ist der Steuerstrom I_{St} in der Schaltung Bild 47 gleich null, so treibt, da $R_1 = R_2$ und $R_3 = R_4$, die Hilfsspannung U_h einen gleichgroßen Durchlaßstrom durch die Dioden D_1 und D_3 . Die Spannungsabfälle an R_1 und R_2 sind gleichgroß, so daß kein Strom durch die Diode D_2 fließt. Diese ist daher hochohmig, während D_1 und D_3 niederohmig sind. Damit hat

das π -Glied seine maximale Dämpfung. Ein Steuerstrom I_{St} verkleinert die Durchlaßströme durch die Dioden D_1 und D_3 und läßt einen Durchlaßstrom durch D_2 fließen. Hat er seinen Maximalwert erreicht, so sind die Dioden D_1 und D_3 gesperrt, also hochohmig, und D_2 ist niederohmig. Damit hat dann das π -Glied seine kleinste Dämpfung.

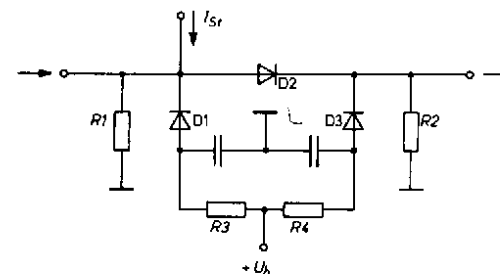


Bild 47: PIN-Dioden- π -Glied

Um die Maximaldämpfung des π -Gliedes zu erhöhen, kann man die beiden Querdioden, D_1 und D_3 , niederohmiger als den Wellenwiderstand Z dimensionieren, was dann allerdings zu einer verringerten Reflexionsdämpfung führt. Läßt man z. B. über den gesamten Regelbereich eine Reflexionsdämpfung von etwa 7 dB zu, so ist eine Maximaldämpfung von 25 bis 30 dB im UHF-Bereich erzielbar. Für diesen relativ ungünstigen Wert sind die Serieninduktivitäten der Querdioden und die Parallelkapazitäten der Längsdiode verantwortlich. Eine bessere Dämpfung ermöglicht das im nächsten Abschnitt beschriebene integrierte π -Glied.

4.3. TDA 1053 – ein PIN-Dioden- π -Glied für Fernsehtuner

Als optimale Lösung eines PIN-Dioden-Reglers für Fernsehtuner entwickelte INTERMETALL das integrierte π -Glied TDA 1053. Dieses enthält in einem Kunststoffgehäuse 50 B4 drei zu einem π -Glied zusammengeschaltete Silizium-Planar-PIN-Dioden (Bild 48) und dient zur elektronischen Amplitudenregelung der Eingangssignale von Fernsehtunern und Antennenverstärkern im Frequenzbereich 40...1000 MHz. Die Eingangs- und die Ausgangsimpedanz sind konstant über den Regelbereich.

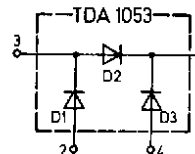


Bild 48: Innenschaltung des TDA 1053

Der TDA 1053 wird normalerweise mit abgewinkelten Anschlußbahnen geliefert, Bild 49a, Zusatz „A“ zur Typenbezeichnung. Auf besonderen Wunsch ist der TDA 1053 jedoch auch mit flachliegenden Anschlußbahnen

lieferbar, Bild 49b, Zusatz „B“ zur Typenbezeichnung. Die angegebenen Kennwerte gelten für abgebogene Anschlüsse.

Grenzwerte der Einzeldioden

Sperrspannung	U_R	30	V
Durchlaßstrom bei $T_U = 25^\circ\text{C}$	I_F	50	mA
Sperrschichttemperatur	T_j	125	$^\circ\text{C}$
Lagerungstemperaturbereich	T_S	-55 ... +125	$^\circ\text{C}$

Grenzwerte des π -Gliedes

Umgebungstemperaturbereich bei Betrieb in der Schaltung Bild 50	T_U	100	$^\circ\text{C}$
---	-------	-----	------------------

Kennwerte der Einzeldioden bei $T_U = 25^\circ\text{C}$

Durchlaßspannung bei $I_F = 50\text{ mA}$	U_F	< 1,2	V
Sperrstrom bei $U_R = 15\text{ V}$	I_R	< 500	nA
differentieller Durchlaßwiderstand bei $I_F = 10\text{ mA}$, $f = 100\text{ MHz}$	r_f	5	Ω
bei $I_F = 10\ \mu\text{A}$, $f = 100\text{ MHz}$	r_f	1,4	k Ω

Kennwerte in der Meßschaltung Bild 50 bei $T_U = 25^\circ\text{C}$

Störspannung für 1% Kreuzmodulation	U_{st}	1	V
Dämpfung im Bereich 40 ... 1000 MHz bei $U_{reg} = 1\text{ V}$ (0 ... 2 V)	α_{max}	45 (> 40)	dB
bei $U_{reg} = 5\text{ V}$ (4 ... 5 V)	α_{min}	1,5 (< 2)	dB
Reflexionsdämpfung im Bereich 40 ... 1000 MHz, über den ganzen Regelbereich, abhängig von der Schaltungsauslegung	α_{refl}	20 (> 16)	dB

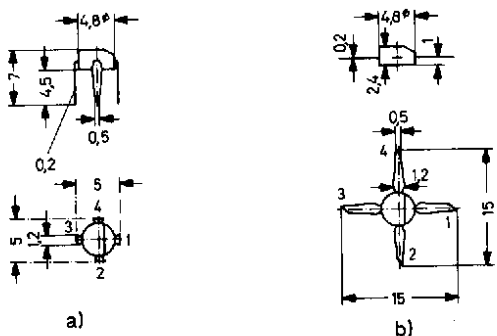


Bild 49: TDA 1053 im Kunststoffgehäuse 50 B 4 nach DIN 41 867
 a) mit abgewinkelten Anschlußfahnen
 b) mit flach liegenden Anschlußfahnen
 Gewicht ca. 0,1 g, Maße in mm

Wie aus den Daten zu ersehen ist, ermöglicht der kompakte Aufbau der drei PIN-Dioden im gemeinsamen Kunststoffgehäuse 50 B 4 sehr günstige Werte für minimale und maximale Dämpfung sowie für die Reflexionsdämpfung. Die Meß- und Anwendungsschaltung Bild 50 enthält auch den Verstärkertransistor für das Regelsignal. Den typischen Verlauf von Dämpfung und Reflexionsdämpfung dieser Schaltung zeigt Bild 51 in Abhängigkeit von der Regelspannung U_R . Bild 52 zeigt die Dämpfung bei verschiedenen Regelspannungen in Abhängigkeit von der Frequenz.

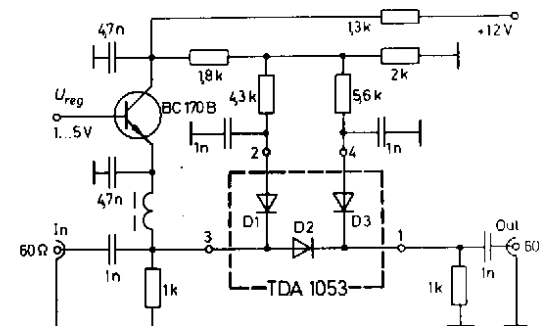


Bild 50: Meß- und Anwendungsschaltung für den TDA 1053

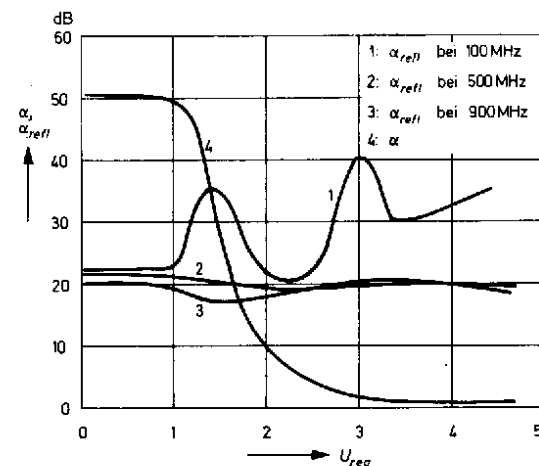


Bild 51: Dämpfung und Reflexionsdämpfung in Abhängigkeit von der Regelspannung

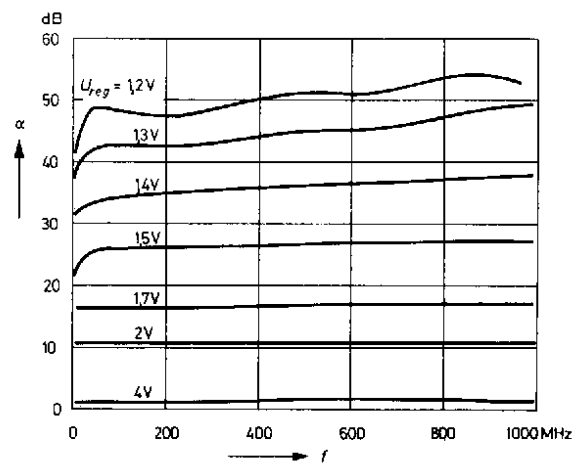


Bild 52: Dämpfung in Abhängigkeit von der Frequenz