

PIN-Dioden als Dämpfungsglied und Schalter

Dipl.-Ing. MAX PERNER – DM2AUO

Der Gleichrichter- und Stabilisierungseffekt von Halbleiterdioden ist hinlänglich bekannt. Auch ihre Anwendung als Schalter ist nicht neu. Relativ wenig dagegen wird über die PIN-Diode geschrieben. Sie ist aber nicht nur im Amateurfunk ein preiswertes und effektiv einzusetzendes Bauelement mit Schalt- und Dämpfungscharakter.

Eine PIN-Diode besteht aus einer PN-Verbindung, in der sich zwischen einer Schicht hochdotiertem P und einer Schicht hochdotiertem N eine schwachdotierte eigenleitende Schicht Silizium befindet. Diese Zone „I“ bewirkt, daß sich die Ladungsträger in der Diode relativ langsam bewegen. Anders ausgedrückt, sie haben eine lange Lebenszeit. Ist sie länger als die Periodenzeit einer hochfrequenten Schwingung, so wirkt die Diode für die Hochfrequenz als Wechselstromwiderstand. Diese Eigenschaft der PIN-Diode ermöglicht die Beeinflussung eines hochfrequenten Stromkreises, sie kann als Schalter und Dämpfungsglied eingesetzt werden.

■ Ersatzschaltung

Liegt an der Diode eine Sperrspannung, so ist das Ersatzschaltbild einer PIN-Diode die Reihenschaltung einer Induktivität L mit einer Parallelschaltung ihres Sperrwiderstandes R_s und der inneren Kapazität C . Eine Gleichspannung in Durchlaßrichtung bewirkt einen Stromfluß durch die Diode, das Ersatzschaltbild ist dann die Reihenschaltung der Induktivität L und eines Durchlaßwiderstandes R_d , der durch den Strom veränderbar ist (Bild 1).

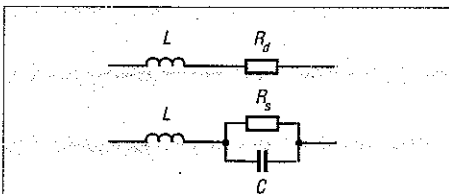


Bild 1: Ersatzschaltbild einer PIN-Diode im leitenden (oben) und gesperrten Zustand

Im ausgeschalteten Zustand liegt die Sperrschichtkapazität bei ca. 0,1 pF. Der Wechselstromwiderstand ist durch den Vorstrom steuerbar, bei 10 μ A kann man mit etwa 1 k Ω rechnen, bei 1 mA etwa 10 Ω , bei 100 mA ca. 0,5 Ω . Aufgrund ihres niedrigen Durchlaßwiderstands sowie der geringen Sperrschichtkapazität kann man sie daher sehr gut als Schaltdiode einsetzen. Speziell in niederohmigen Systemen (50- Ω -Technik) kann die PIN-Diode teure und -voluminöse Relais bzw. Schalter in Grenzen er-

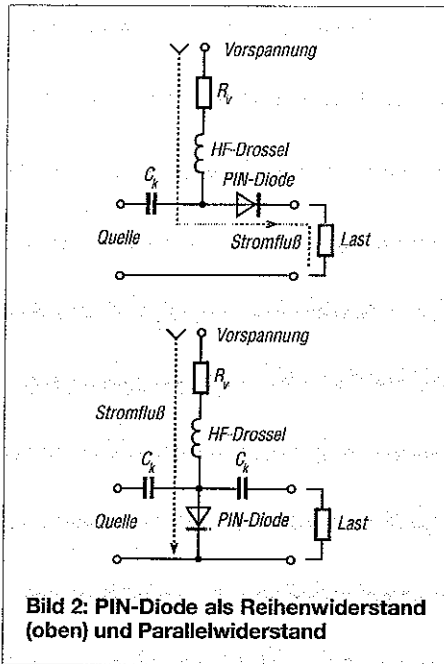


Bild 2: PIN-Diode als Reihenwiderstand (oben) und Parallelwiderstand

setzen. Allerdings verschlechtert sich beim Sendebetrieb die Oberschwingungsdämpfung allgemein auf ca. 40 dB für $2 \times f$ und $3 \times f$. Als Intermodulationsabstand ist im Empfangsbetrieb mit praktischen Werten von ca. 60 dB zu rechnen. Typische Vertreter der PIN-Dioden sind die BA 182, BA 282, BA 479, BA 482, BA 679 (SMD) mit einem Durchlaßstrom von 50 – 100 mA bei einem Durchlaßwiderstand von 0,3 – 0,5 Ω . Die maximale Verlustleistung P_v ist 1 – 2,5 W bei guter Wärmeabfuhrung.

■ PIN-Diode im Einsatz

Die einfachste Anwendung ist der Schalterbetrieb in Reihen- und in Parallelschaltung. Bild 2 zeigt beide Varianten. In der Reihenschaltung treibt die Vorspannung einen Strom durch R_v , die HF-Drossel sowie durch die PIN-Diode unter der Bedingung, daß die Last einen Gleichstromfluß zuläßt. Vorrangig werden hier Spulen eingesetzt. Im gesperrten Zustand wirkt die PIN-Diode als hochohmiger Widerstand bezogen auf die Last. Eine positive Vorspannung bewirkt die Verbindung von Quelle und Last. Auch in der Parallelschaltung wird die Diode durch den Strom entweder nieder- oder hochohmig sein. Hier wirkt die PIN-Diode

als Shunt zwischen beiden Koppel-Kondensatoren C_k . Bei positiver Vorspannung ist die HF-Übertragung zwischen Quelle und Last am geringsten, die Dämpfung am größten.

Es muß sichergestellt sein, daß die Diode für den Fall, daß sie sperren soll, auch wirklich eine negative Sperrspannung „sieht“, die zudem groß gegen die zu übertragende HF-Spannung sein muß. Ein Wegfall der positiven Vorspannung durch Öffnung eines Schaltkontakts oder Schaltertransistors allein ($U_v = 0$ V) gewährleistet insbesondere bei höheren HF-Amplituden keine sichere Sperrung der PIN-Diode!

In Bild 3 ist eine Kombination von Schalter und Dämpfungsglied dargestellt. Quelle und Last sollten niederohmig sein. D1 – D3 sind PIN-Dioden. Liegen am Punkt B 0 V (also Massepotential!) und an A +12 V, so ist ein Stromfluß über D1 und R2 möglich, der durch R2 auf 6 mA begrenzt wird. Da D1 leitet, kann die HF von der Quelle über C1, C2, C3 zur Last gelangen. Der Spannungsabfall über R2 wirkt an D2 sowie D3 als Sperrspannung. R2 ist mehr als zehnfach größer als die Impedanz von Quelle und Last (vorwiegend 50 Ω) und daher ausreichend hochohmig. Über Punkt A kann der Schalter somit ein- bzw. ausgeschaltet werden. Zusätzlich kann bei geschlossenem Schalter die Übertragung zwischen Quelle und Last gedämpft werden. An B wird dazu eine variable Gleichspannung 0 – +12 V eingespeist.

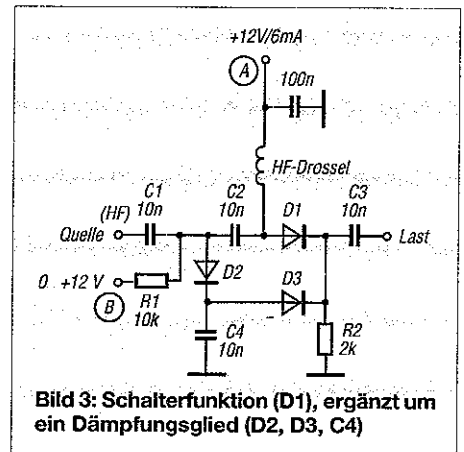


Bild 3: Schalterfunktion (D1), ergänzt um ein Dämpfungsglied (D2, D3, C4)

In diesem Fall fließt ein von der Höhe der an B liegenden Gleichspannung abhängiger Strom über R1, D2, D3 und R2. Je nach dessen Stärke verändert sich der Widerstand von D2, und ein Teil der HF zwischen C1 und C2 wird dadurch über C4 an Masse geleitet.

Mit den PIN-Dioden können problemlos Dämpfungswerte von 20 dB erreicht werden, sogar bis zu 30 dB bei sorgfältigem Aufbau der gesamten Baugruppe. Die Durchgangsverluste liegen unter 0,2 dB.

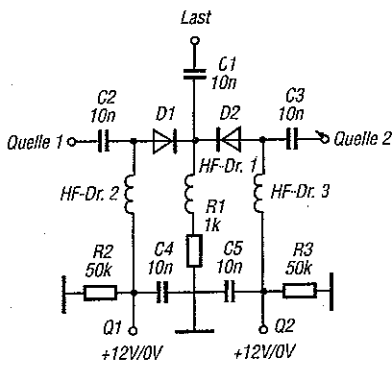


Bild 4:
Signalumschaltung
zwischen zwei Quellen
Q1 und Q2

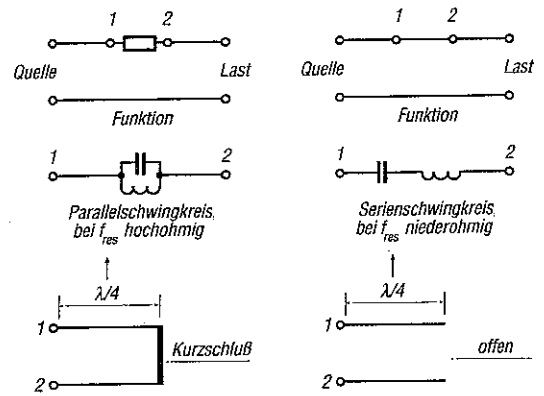


Bild 5:
Geschlossene und
offene $\lambda/4$ -Leitung
mit Ersatzschaltbild,
als Schalter eingesetzt

Eine einfache Umschaltung zweier HF-Quellen ist in Bild 4 dargestellt. Beim Einsatz dieser Baugruppe für die Umschaltung von Filtersektionen, Mischern usw. ist zu beachten, daß von den Schaltspannungen +12 V/Q1 bzw. +12 V/Q2 nur jeweils eine vorhanden sein darf und die andere Massepotential führen muß. Der Wert von R1 ist je nach PIN-Dioden zu bemessen.

■ Sende-/Empfangsumschaltung

PIN-Dioden können auch das Antennenumschaltrelais für Empfang und Senden ersetzen. Üblicherweise wird hier ein $\lambda/4$ -Netzwerk zwischen Senderaus- und Empfänger-eingang installiert. Die Antenne liegt auf der Senderseite „ λ “ weist auf Frequenzabhängigkeit hin – somit ist ggf. pro Band ein separates Netzwerk vorzusehen. Das $\lambda/4$ -Netzwerk kann im VHF/UHF-Bereich sinnvoll als Zweidrahtleitung oder als Koaxkabel ausgeführt werden.

Bild 5 zeigt die Verhältnisse an solchen Leitungen, wenn ihr Ende geschlossen oder offen ist. Der Kurzschluß einer $\lambda/4$ -Leitung an ihrem Ende bewirkt, daß sich der Eingang (die Punkte 1 und 2) als Parallelschwingkreis darstellt. Dieser wirkt in der Reihenschaltung zwischen Quelle und Last als hochohmiger Widerstand. Öffnet man den Kurzschluß am Ende der $\lambda/4$ -Leitung, so stellt sich der Eingang als Serienschwingkreis dar, der auf der Resonanzfrequenz (theoretisch) einen Kurzschluß bildet.

In Bild 6 ist die Praxis der Sende/Empfangsumschaltung dargestellt. Zunächst ist die offene Zweidrahtleitung der Länge $\lambda/4 \times V$ (Verkürzungsfaktor) ersetzt. Im Ruhezustand, also Schaltspannung negativ, sperren D1 und D2; sie sind gegenüber dem Senderausgang als auch dem Empfänger-eingang hochohmig. Die Koaxleitung wirkt als Serienschwingkreis, also Schalter geschlossen. Damit kann die HF von der Antenne über C3, das Koaxkabelstück und C2 zum Empfänger-eingang gelangen.

Das ändert sich, wenn die Schaltspannung auf +12 V steigt. Nun ist D1 leitend und damit niederohmig, die HF des Senders gelangt über C1 und C3 zur Antenne. Der Gleichstrom fließt aber auch durch die Seele des Koaxkabels zu D2, die nun einen niederohmigen Widerstand darstellt. Das entspricht einem Kurzschluß der $\lambda/4$ -Leitung an ihrem Ende, am Eingang ist sie somit hochohmig. C2 sperrt den Gleichstromweg. Die leitende Diode D2 schützt zusätzlich den Empfänger-eingang gegen restliche HF, die noch durch das Netzwerk hindurchgereicht wird. D2 ist unmittelbar am Ausgang des Netzwerks (also am Kabel oder am benachbarten C) anzulöten, um Zuleitungsinduktivitäten zu minimieren.

Gemäß Bild 6 kann man das Koaxkabel durch ein C-L-C-Glied (π -Glied) ersetzen. Mit Z in Ω , f in MHz, L in μH , C in pF gilt

$$L = \frac{Z_0}{(2 \cdot \pi \cdot f_0)} \quad (1)$$

und

$$C = \frac{1\,000\,000}{(2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot Z_0)} \quad (2)$$

Bei 28 MHz Betriebsfrequenz sowie 50 Ω Impedanz ergeben sich für L 0,28 μH und für beide C jeweils 113,7 pF. Die Verlustleistung errechnet sich zu

$$P_v = \frac{(P_{\text{out}} \times R_d)}{R_{\text{Last}}} \quad (3)$$

20 W HF-Leistung an 50 Ω ergeben bei 0,5 Ω Durchlaßwiderstand $(20\text{ W} \times 0,5\ \Omega) / 50\ \Omega = 0,2\text{ W}$ Verlustleistung. Ist das Stehwellenverhältnis s am Ausgang merklich größer als 1, so kann man rechnen:

$$P_{v\text{max}} = \frac{P_{\text{out}} \cdot R_d}{Z_0} \left(\frac{2 \cdot s}{s + 1} \right)^2 \quad (4)$$

Für das obige Beispiel wäre bei s = 3 eine Verlustleistung von 0,45 W zu erwarten. QRP-Sender kann man also durchaus mit handelsüblichen PIN-Dioden umschalten. Das Ganze wird kleiner, billiger und vor allem schneller beim Übergang Empfang/Senden.

Die notwendige negative Schaltspannung läßt sich mit modernen Spannungswandlerschaltkreisen leicht bereitstellen. Mit nur 0 V Schaltspannung im Empfangsfall würden starke Eingangssignale Intermodulationseffekte an D2 hervorrufen.

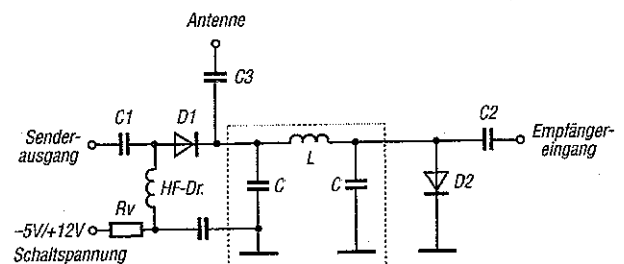


Bild 6:
Sende-/Empfangsumschaltung mit konzentrierten Bauelementen (oben) und mit Koaxkabel; sichere Sperrung der Dioden D1 und D2 im Empfangsfall erfordert eine negative Schaltspannung.

