

HF-PIN-Dioden-Abschwächer

PIN-Dioden verhalten sich bei Frequenzen oberhalb 1 MHz wie stromabhängige Widerstände. Das hier vorgestellte einstellbare Dämpfungsglied erlaubt bei 10 MHz eine maximale Signaldämpfung von >45 dB und bei 1,8 GHz von immer noch ca. 25 dB.

Allgemeines

Um die optimale Funktion eines Rundfunk- oder Fernsehempfängers sicherzustellen, müssen die angebotenen HF-Pegel innerhalb der vom Hersteller spezifizierten Grenzen liegen. Bei Übersteuerung des Eingangstuners kann der Pegel nicht mehr automatisch ausgeglichen werden, so daß erhebliche Empfangsstörungen die Folge sind.

Abhilfe schafft ein in die Antennenleitung eingeschleiftes HF-Dämpfungsglied, welches den Eingangspegel innerhalb der erlaubten Grenzen zurückführt.

Im Labor- oder Werkstattbetrieb werden zur Überprüfung der Eingangsempfindlichkeit eines Tuners häufig auch kontinuierlich einstellbare Dämpfungsglieder benötigt.

Die praktische Realisierung eines Dämpfungsgliedes für den Hochfrequenzbereich ist jedoch nicht ganz einfach. Parasitäre Eigenschaften selbst einfacher passiver Bauelemente (bei einigen hundert Megahertz sind die kapazitiven und induktiven Anteile selbst eines einfachen Widerstan-

des nicht mehr zu vernachlässigen) sowie die Signalausbreitung durch die Luft erfordern einiges Know-how bei der Konstruktion einer derartigen HF-Baugruppe. Umfangreiche Abschirmmaßnahmen sind nicht nur aus Gründen der elektromagnetischen Verträglichkeit erforderlich.

Besonders hochwertige und dennoch kostengünstige Hochfrequenz-Dämpfungsglieder sind mit PIN-Dioden realisierbar. Hierbei handelt es sich um spezielle Siliziumdioden, die aufgrund ihrer großen Verbreitung in Fernseh- und Satellitentunern keineswegs mehr als exotische Bauelemente zu betrachten sind.

PIN-Dioden verhalten sich oberhalb einer bestimmten Grenzfrequenz (je nach Typ 1 MHz bis 10 MHz) wie stromgesteuerte ohmsche Widerstände.

Der recht einfache Aufbau einer PIN-Diode ist in Abbildung 1 zu sehen. Zwischen den hochdotierten P- und N-Zonen ist eine relativ lange (100 µm) schwach dotierte eigenleitfähige (Intrinsic) Zone vorhanden. (Der Name PIN-Diode beruht im übrigen auch auf der zusätzlichen eigenleitfähigen Zone, P-Intrinsic-N.)

Unterhalb der Grenzfrequenz verhält sich

eine PIN-Diode wie eine gewöhnliche Siliziumdiode. Erst bei Frequenzen oberhalb der Grenzfrequenz kommt die charakteristische Eigenschaft der PIN-Diode zum Tragen. Aus der Siliziumdiode wird ein stromgesteuerter ohmscher Widerstand.

Die Lebensdauer der im Durchlaßbereich in die Intrinsic-Zone einströmenden Ladungsträger bestimmt die Grenzfrequenz.

Die lineare Steuerung des Widerstandswertes erfolgt durch einen Gleichstrom, wobei überlagerte Wechselströme oberhalb der Grenzfrequenz keinen Einfluß auf den Widerstandswert haben. Abbildung 2 zeigt den typischen Durchlaßwiderstand einer PIN-Diode in Abhängigkeit vom Steuerstrom.

Üblicherweise werden PIN-Dioden bei Arbeitsfrequenzen eingesetzt, die mindestens um den Faktor 50 oberhalb der Grenzfrequenz liegen. Innerhalb des Arbeitsbereiches ist der durch einen Steuerstrom in Durchlaßrichtung eingepreßte Widerstandswert relativ frequenzunabhängig.

Die Flußspannung einer PIN-Diode liegt in der Größenordnung von 0,3 - 0,4 V, während der maximal zulässige Steuerstrom üblicherweise in der Größenordnung von 10mA liegt.

PIN-Dioden können sowohl zur kontinuierlichen PegelEinstellung als auch zum Schalten von HF-Signalen eingesetzt werden. Im Schalterbetrieb sind nur die beiden Zustände maximaler Widerstand (kein Steuerstrom, Schalter offen) und minimaler

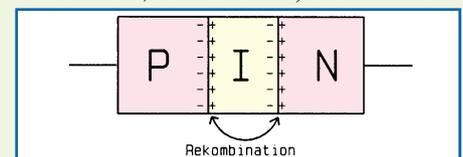


Bild 1: Aufbau einer PIN-Diode

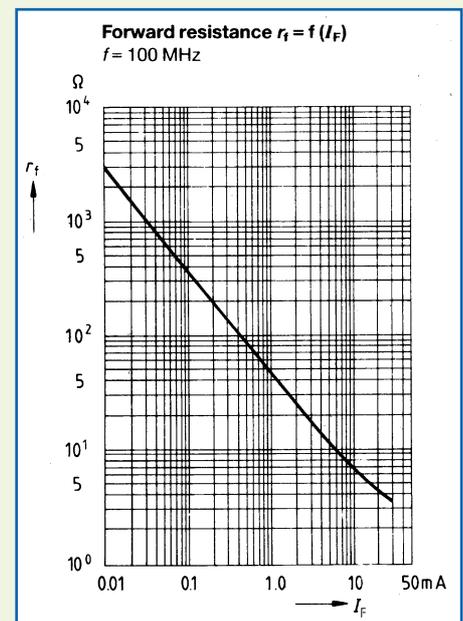


Bild 2: Typischer Durchlaßwiderstand einer PIN-Diode

Durchgangswiderstand (maximaler Steuerstrom, Schalter geschlossen) gefordert.

Da es keine idealen Bauteile gibt, sind auch bei PIN-Dioden die parasitären Eigenschaften zu berücksichtigen. Dazu betrachten wir zunächst das HF-Ersatzschaltbild einer realen PIN-Diode in Flußrichtung (Abbildung 3).

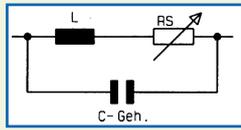


Bild 3: HF-Ersatzschaltbild einer realen PIN-Diode in Flußrichtung

Neben dem stromgesteuerten Widerstand ist auch eine parallelgeschaltete parasitäre Gehäusekapazität sowie die Induktivität der Zuleitungen vorhanden.

Das in Abbildung 4 dargestellte Ersatzschaltbild gilt für eine PIN-Diode in Sperrrichtung.

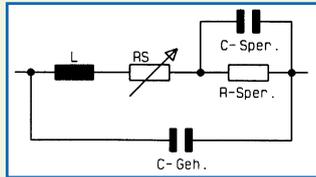


Bild 4: Ersatzschaltbild für eine PIN-Diode in Sperrrichtung

Während bei einer in Durchlaßrichtung betriebenen PIN-Diode in erster Linie die Anschlußinduktivität stört, beeinflussen bei einer in Sperrrichtung betriebenen Diode die parallelliegende Gehäusekapazität (C-Gen.) und die Kapazität der Intrinsic-Zone (C-Sper.) die Eigenschaften des Bauelements negativ. Mit steigender Übertragungsfrequenz wird der Einfluß der parasitären Kapazitäten größer, d. h. die Sperrwirkung der Diode geringer.

Die Hauptforderungen, die an eine PIN-Diode gestellt werden, sind im gesperrten Zustand eine möglichst geringe Kapazität und im Durchlaßbetrieb ein möglichst geringer Widerstand.

Abbildung 5 zeigt die einfachste zu realisierende Schaltungsvariante eines PIN-Dioden-Dämpfungsgliedes. Wesentlicher Nachteil dieser Schaltung ist allerdings der sich mit dem Steuerstrom ändernde Ein- und Ausgangswiderstand.

PIN-Dioden-Abschwächer in T- oder π -Schaltung stellen eine erheblich bessere Alternative dar, weil bei geschickter Schaltungsdimensionierung die Ein- und Aus-

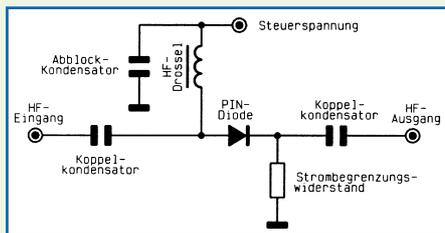


Bild 5: Einfachste zu realisierende Schaltungsvariante eines PIN-Dioden-Dämpfungsgliedes

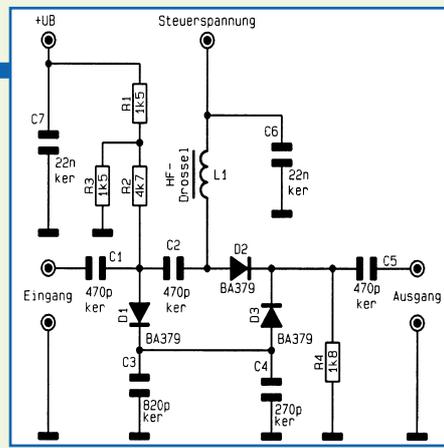


Bild 6: Dämpfungseinstellung in π -Schaltung

gangswiderstände (Anpassung) im Verhältnis immer gleich bleiben.

Eine praktische Dämpfungseinstellung in π -Schaltung ist in Abbildung 6 zu sehen. Die Dämpfung wird mit einer positiven Steuergleichspannung von 12 V bis 0 V über die breitbandige HF-Drosselspule L 1 gesteuert. Befindet sich die Steuergleichspannung am oberen Anschlag (+12 V), so fließt ein relativ großer Gleichstrom über L 1, D 2 sowie R 4 zur Schaltungsmasse. Hierdurch wird D 2 maximal niederohmig ($<5 \Omega$), und der HF-Signalweg wird über C 1, C 2, D 2 und C 5 freigegeben. Der hierbei an R 4 gleichzeitig auftretende Spannungsabfall sperrt die PIN-Dioden D 1 und D 3.

Durch Verringern der Steuergleichspannung wird der Stromfluß durch D 2 geringer, d. h., diese PIN-Diode wird langsam hochohmiger. Ungefähr bei halber Steuergleichspannung tritt zusätzlich ein Stromfluß über R 1, R 2, D 1, D 3 und R 4 auf. Dieser zusätzlich durch R 4 fließende Strom bewirkt einen ansteigenden Spannungsabfall, wodurch der Innenwiderstand von D 2 weiter ansteigt.

Gleichzeitig verringert sich der Innenwiderstand der PIN-Dioden D 1 und D 3 mit fallender Steuergleichspannung, wodurch das HF-Signal über die Kondensatoren C 3 und C 4 nach Masse kurzgeschlossen wird.

Bei maximaler Dämpfungseinstellung (0V-Steuergleichspannung) fließt ein relativ großer Gleichstrom über R 1, R 2, D 1, D 3 und R 4. Der jetzt an R 4 auftretende Spannungsabfall sperrt D 2, da an der Anode keine positive Gleichspannung mehr anliegt. Die maximale HF-Dämpfung ist erreicht.

Moderne, kontinuierlich einstellbare HF-PIN-Dioden-Abschwächer arbeiten meist mit integrierten Dioden-Netzwerken in SMD-Technologie. Diese Bauelemente enthalten in der Regel 3 integrierte PIN-Dioden in T- oder π -Schaltung. Neben dem äußerst geringen Platzbedarf bietet die Integration Vorteile bei der Leiterbahnführung, und parasitäre Kapazitäten sowie Induktivitäten werden auf ein Mindestmaß beschränkt.

Schaltung

Zur praktischen Realisierung unseres kontinuierlich einstellbaren HF-PIN-Dioden-Abschwächers wurde das aus 3 PIN-Dioden in T-Schaltung bestehende PIN-Dioden-Netzwerk BAR60 (Abbildung 7) eingesetzt.

Die Funktionsweise des mit dem BAR60 aufgebauten Abschwächers ist ähnlich wie bei der π -Schaltung in Abbildung 6.

Befindet sich der Schleifer des Einstellpotis R 6 am oberen Anschlag (+10 V), so fließt der maximal mögliche Gleichstrom über R 3, R 5, die beiden im Signalweg geschalteten Dioden sowie R 4 und R 2 zur Schaltungsmasse. Die beiden zwischen Pin 3 und Pin 4 des Bauelements liegenden Dioden werden dadurch HF-mäßig maximal leitend ($<5 \Omega$), und das an BU 2 zugeführte HF-Signal kann somit über die beiden Kondensatoren C 7 und C 10 nahezu ungehindert zur Ausgangsbuchse BU 3 gelangen.

Über die mit der Katode an Pin 2 angeschlossene PIN-Diode fließt kein Strom, da diese Diode bei der maximalen Schleiferspannung in Sperrrichtung betrieben wird. Für das HF-Signal ist diese Diode somit maximal hochohmig ($>3 \text{ k}\Omega$).

Je weiter der Schleifer des Potis R 6 in Richtung Schaltungsmasse bewegt wird, desto geringer wird der Stromfluß durch die beiden in Längsrichtung liegenden PIN-Dioden, d. h., diese PIN-Dioden werden für das Signal langsam hochohmiger. Ungefähr bei Schleifermittelstellung tritt zusätzlich ein Stromfluß über die an Pin 2 angeschlossene PIN-Diode auf, so daß der HF-Innenwiderstand dieser Diode langsam sinkt. Das HF-Signal wird nun zusätzlich über C 9 nach Masse kurzgeschlossen.

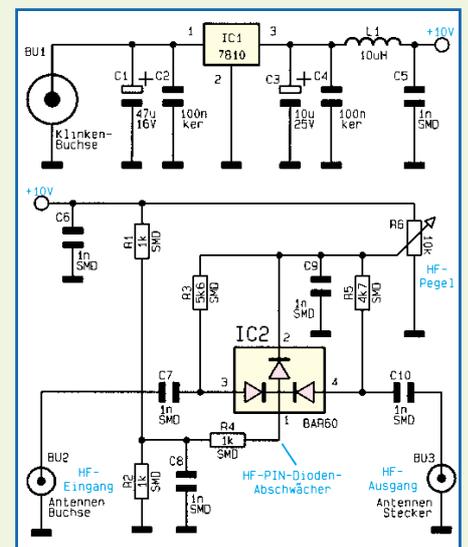


Bild 7: PIN-Dioden-Dämpfungsglied mit SMD-Dioden-Netzwerk in T-Schaltung

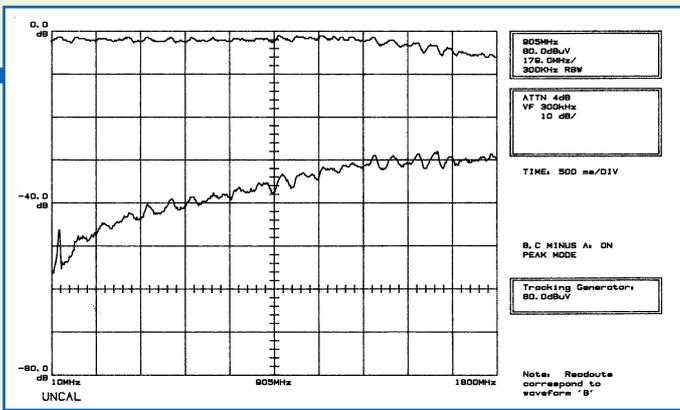


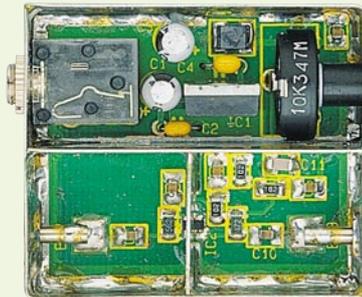
Bild 8: Dämpfungsverlauf des ELV-HF-PIN-Dioden-Abschwächers bei Min.- und Max.-Dämpfungseinstellung

Der Schleifer des Einstellpotis R 6 befindet sich bei maximaler HF-Dämpfung am Masseanschluß. Die beiden im Signalweg liegenden PIN-Dioden sind jetzt für das HF-Signal maximal hochohmig, und über die an Pin 2 des IC 2 angeschlossene PIN-Diode fließt nun der maximal mögliche Strom. Die größtmögliche HF-Dämpfung ist jetzt bei unserer T-Schaltung erreicht.

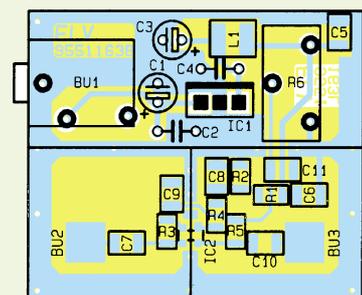
Abbildung 8 zeigt die Dämpfungsverläufe des ELV-HF-PIN-Dioden-Abschwächers bei minimaler und maximaler Dämpfungseinstellung in einem Frequenzbereich zwischen 10 MHz und 1,8 GHz.

Zur Spannungsversorgung der Schaltung kann ein unstabiles 12V-Steckernetzteil dienen. Ausgehend von der Klinkenbuchse BU 1 gelangt die unstabilierte Betriebsspannung auf Pin1 des Spannungsreglers IC 1 und auf den zur Pufferung dienenden Elko C 1. Ausgangsseitig (Pin 3) steht zur Versorgung eine stabilisierte Betriebsspannung von +10V zur Verfügung.

Während C 3 zur Pufferung und zur Schwingneigungsunterdrückung dient, übernehmen C 4, C 5 und L 1 die HF-Unterdrückung im Netzteil.



Ansicht der fertig aufgebauten Leiterplatte



Bestückungsplan des HF-PIN-Dioden-Abschwächers

Nachbau

Gerade bei hochfrequenten Signalen sind die praktische Ausführung und der Aufbau der Schaltung besonders wichtig, da schon eine einzige ungünstige Leiterbahnführung die Funktion der Schaltung in Frage stellen kann. Beim ELV-PIN-Dioden-Abschwächer wurde besonders viel Wert auf die praktische Ausführung und die Nachbausicherheit gelegt.

Sämtliche Bauelemente finden auf der Oberseite einer doppelseitig durchkontaktierten Leiterplatte mit den Abmessungen 45 x 38 mm Platz, wobei durch den Einsatz von SMD-Bauelementen parasitäre Kapazitäten und Induktivitäten auf ein Mindestmaß reduziert wurden. Beim Nachbau halten wir uns genau an die Stückliste und den Bestückungsplan!

Zuerst sind die SMD-Widerstände und Kondensatoren mit einer feinen SMD-Lötspitze an der Lötseite der Platine aufzulöten.

Dann wird das integrierte PIN-Dioden-Netzwerk aufgelötet, wobei Pin 1 durch ein breites Anschlußbeinchen gekennzeichnet ist.

Im Anschluß hieran ist sorgfältig die

Stückliste: HF-PIN-Dioden-Abschwächer

Widerstände:

1kΩ/SMD	R1, R2, R4
4,7kΩ/SMD	R5
5,6kΩ/SMD	R3
PT15, stehend, 10kΩ	R6

Kondensatoren:

1nF/SMD	C5-C10
100nF/ker	C2, C4
10µF/25V	C3
47µF/16V	C1

Halbleiter:

7810	IC1
BAR60	IC2

Sonstiges:

Spule, 10µH, SMD	L1
Klinkenbuchse, 3,5mm, mono	BU1
Koax-Einbaubuchse	BU2
Koax-Einbaustecker	BU3
1 Kunststoffachse, 6mm Ø	
1 Abschirmgehäuse	
4cm Schalt Draht, blank, versilbert	

10µH-SMD-Spule aufzulöten. Die Anschlußbeinchen der bedrahteten Keramik-kondensatoren C 2 und C 4 sowie der Elkos C 1 und C 3 sind vor dem Festsetzen so weit wie möglich durch die zugehörigen Bohrungen der Platine zu führen. Das gleiche gilt auch für den Stabilisator IC 1.

Nach dem Einlöten der 3,5mm-Klinkenbuchse und des PT 15 Einstellpotis R 6 sind die Bestückungsarbeiten abgeschlossen.

Da es sich beim PIN-Dioden-Abschwächer um eine Schaltung zur Verarbeitung von Hochfrequenz-Signalen handelt, ist eine komplette Abschirmung schon aus Funktionsgründen dringend erforderlich.

Aus einem vorgefertigten Weißblechstreifen wird gemäß dem Platinenfoto ein rechteckiger Gehäuserahmen gebogen, der an den Stoßkanten zu verlöten ist.

An die Stirnseite mit der Bohrung für die 3,5mm-Klinkenbuchse wird von außen die Eingangsbuchse und an die Stirnseite mit der Bohrung für die Potiachse, ebenfalls von außen, der Ausgangsstecker angesetzt und jeweils auf der Innenseite ringsum verlötet.

Danach sind die Lötflächen der Platine zum Anschluß der HF-Buchse und des HF-Steckers mit ca. 1,5 cm langen Silberdrahtabschnitten zu bestücken.

Dann wird die so weit vorbereitete Leiterplattenkonstruktion von der Unterseite aus in den Gehäuserahmen eingesetzt und mit der Rändelmutter der 3,5mm-Klinkenbuchse festgesetzt.

Alsdann erfolgt das Festlöten der Leiterplatte ringsherum mit der Gehäuseinnenwandung unter Zugabe von reichlich Lötzinn.

Die Silberdrahtabschnitte der Leiterplatte werden sorgfältig an die inneren Kontaktstifte der Eingangsbuchse und des Ausgangssteckers angelötet, wobei überstehende Drahtenden so kurz wie möglich abzuschneiden sind.

Danach werden entsprechend dem Platinenfoto 2 vorgefertigte Abschirmstreifen eingelötet. Hierbei ist es besonders wichtig, daß die Weißblechstreifen sowohl auf der Leiterplatte als auch an den Wandungen des Gehäuses auf der gesamten Länge verlötet werden.

Als nächstes ist die 6mm-Achse bis zum sicheren Einrasten in die Mittelbohrung des PT15 Einstellpotis zu pressen.

Ist der Aufbau nochmals sorgfältig überprüft, kann ein erster Testbetrieb erfolgen. Ohne Abdeckplatten wird evtl. nicht die maximale Dämpfung erreicht.

Nach erfolgreichem Testbetrieb sind die passenden Weißblech-Abdeckplatten oben und unten bündig auf den Gehäuserahmen zu legen und ringherum „HF-dicht“ zu verlöten. Der HF-PIN-Dioden-Abschwächer ist nun einsatzbereit und kann seinem bestimmungsgemäßen Einsatz zugeführt werden.

