

# PIN-Dioden-Umschalter SPDT 1800

***Dieser universell einsetzbare PIN-Dioden-Umschalter (single-pole, double-throw) ermöglicht das Zusammenführen von zwei HF-Signalen auf einen gemeinsamen Ausgang oder das Umschalten eines HF-Signales auf verschiedene Ausgänge in einem weiten Frequenzbereich von 10 MHz bis 1,8 GHz. Die kompakte Schaltung benötigt nur eine Betriebsspannung und läßt sich elektronisch über TTL-kompatible Steuereingänge ansteuern oder mit Hilfe von separaten Schaltern von Hand bedienen.***

## Allgemeines

Die Umschaltung von analogen Signalen gehört zu den grundlegenden Aktivitäten in der Schaltungstechnik. Im NF-Bereich bis ca. 1 MHz steht dem Anwender ein recht breites Spektrum von unterschiedlichen Schaltelementen zur Verfügung. Je höher aber die zu schaltende Frequenz wird,

desto kleiner wird auch die Auswahl an geeigneten Schaltelementen.

Vor allem im Hochfrequenzbereich ab einigen MHz kommt der Auswahl des geeigneten Schaltelementes eine besondere Bedeutung zu, um gute Schaltresultate zu erzielen. Die Anforderungen an eine Schaltstufe sind im allgemeinen eine kleine Durchgangsdämpfung im aktiven (durchgeschalteten) Signalweg und eine große

Isolationsdämpfung für den nicht aktiven (abgeschalteten) Eingang über den gesamten definierten Frequenzbereich. Je nach Anwendungsfall wird mehr Wert auf eine große Isolation oder auf eine kleine Einfügungsdämpfung gelegt.

Die in der NF-Technik noch funktionsfähigen Schalterkonstruktionen sind in der Hochfrequenztechnik nicht mehr verwendbar. Hier muß auch für die simpelsten

### Technische Daten:

Frequenzbereich .. 10MHz - 1,8GHz  
max. Signalpegel: ..... +13dBm  
(1V<sub>eff</sub> an 50 Ω)  
Wellenwiderstand ..... 50Ω  
Durchgangsdämpfung:  
≤ 1GHz : ..... ≤ 2,5dB  
f > 1GHz : ..... ≤ 4dB  
Isolationsdämpfung:  
f < 100MHz : ..... > 55dB  
f < 500 MHz : ..... > 40dB  
f < 1GHz : ..... > 30dB  
f < 1,8GHz : ..... > 20dB  
Spannungsversorgung: ..... 12V bis  
24V DC  
Stromaufnahme ..... ca. 20mA  
Anschlüsse:  
HF : ..... BNC-Buchsen  
DC : ..... Lötanschlüsse  
Abmessungen: ..... 110 x 94 mm

Schaltfunktionen ein korrekt aufgebautes und impedanzrichtiges Umschaltglied verwendet werden, da es sonst zu nicht unerheblichen Signalbeeinflussungen kommt.

Mit dem SPDT 1800 stellen wir dem Anwender einen Hochfrequenz-Umschalter zur Verfügung, der aufgrund seiner guten elektrischen Eigenschaften (siehe „Technische Daten“) und des kompakten mechanischen Aufbaus überall dort einsetzbar ist, wo Signale im Frequenzbereich 10 MHz bis 1800 MHz verarbeitet werden. So kann der in 50Ω-Technik aufgebaute PIN-Dioden Umschalter z. B. als Rx-Tx-Umschalter oder zur Signalumschaltung in Versuchsaufbauten dienen. Weiterhin sorgt seine universelle Ansteuerbarkeit für einen weiten Einsatzbereich (elektronisch mit TTL-Pegel-kompatiblen Signalen oder manuell durch separat anschließbare Low-Cost-Schalter).

Durch das vollständig geschlossene Abschirmgehäuse ist der SPDT 1800 sowohl zum nachträglichen Einbau in vorhandene Geräte geeignet als auch als separate, eigenständige Schaltung betreibbar.

Sollen mehr als zwei Signale verschaltet werden, so kann durch die Kombination mehrerer PIN-Dioden Umschalter ein dann erforderlicher Mehrfachumschalter (SPMT) realisiert werden.

Die in der HF-Technik gebräuchlichen Bezeichnungen für Schaltglieder wie SPST, SPDT, SPMT usw. ergeben sich aus den jeweiligen englischen Abkürzungen für die verschiedenen Schaltervarianten. Ein einpoliger Umschalter wird als SPDT (single-pole, double-throw), ein einfacher Ein-Aus-Schalter als SPST (single-pole, single-throw) und ein mehrfach Umschalter als SPMT (single-pole, multi-throw) bezeichnet.

### PIN-Dioden

Für die Umschaltung von hochfrequenten Signalen gibt es nur wenige geeignete Bauelemente. Die Eigenschaften eines solchen Umschaltelementes sind im wesentlichen eine geringe Einfügungsdämpfung im eingeschalteten Zustand und eine hohe Übersprechdämpfung (Isolation) im ausgeschalteten Zustand.

Mit mechanischen Schaltern in Form von HF-Relais lassen sich diese Anforderungen über einen großen Frequenzbereich gut erfüllen. Diese speziellen Relais sind aber aufgrund ihres aufwendigen mechanischen Aufbaus recht teuer. Außerdem sind ihre Größe, der mechanische Verschleiß und die geringe Schaltgeschwindigkeit große Nachteile.

Ein elektronisches Schalten von HF-Signalen ermöglichen GaAs-Umschaltelemente und PIN-Dioden. In Systemen mit einer unteren Grenzfrequenz von  $\geq 1$  MHz und einer max. Signalfrequenz im unteren GHz-Bereich werden aufgrund des günstigeren Preises und der einfacheren Handhabung meist PIN-Dioden als HF-Schalter eingesetzt. Die Funktionsweise von PIN-Dioden wurde schon in vorherigen Artikeln ausführlich beschrieben (z. B. in „HF-PIN-Dioden-Abschwächer“ im „ELVjournal 5/95“) und soll uns daher nur kurz beschäftigen.

Eine PIN-Diode ist eine Silizium-Diode mit drei verschiedenen Dotierungszonen. Sie besteht aus einer jeweils hochdotierten P- und N-Zone und einer idealerweise undotierten eigenleitfähigen (Intrinsic) Zone. Aus diesem Aufbau ergibt sich auch der Name der PIN-Diode.

Unterhalb einer bestimmten Grenzfrequenz verhält sich die PIN-Diode wie eine normale Silizium-Diode. Oberhalb dieser

Grenzfrequenz, die i. a. im Bereich von 1 MHz bis 10 MHz liegt, kommen die charakteristischen Eigenschaften der PIN-Diode zum Tragen: Sie wird zum einstellbaren HF-Widerstand. Dieser Widerstand setzt sich aus verschiedenen Komponenten zusammen, kann vereinfacht jedoch mit einem einstellbaren ohmschen Widerstand verglichen werden, dessen Widerstandswert durch einen DC-Steuerstrom einstellbar ist. Der Einstellbereich des HF-Widerstandes erstreckt sich von kleiner 1Ω bis zu mehreren kΩ. Aufgrund dieses weiten Einstellbereiches läßt sich die PIN-Diode als HF-Schalter bzw. stromgesteuerter HF-Widerstand einsetzen.

Für eine PIN-Diode im Schalterbetrieb reduziert sich das sonst komplexe Ersatzschaltbild der Diode im Ein-Zustand, d. h. mit einem DC-Strom in Durchlaßrichtung, auf die Reihenschaltung des steuerbaren HF-Widerstandes  $r_s$  und der Längsinduktivität  $L$ , wobei sich die Auswirkung der Induktivität in dem hier betrachteten Frequenzbereich in Grenzen hält und man näherungsweise nur den HF-Widerstand betrachten darf.

Wird der Steuerstrom gleich Null, d. h. die Diode ist im gesperrten Zustand, wirkt die Parallelschaltung aus steuerbarem HF-Widerstand und Sperrschichtkapazität  $C_j$ . Mit steigender Frequenz vergrößert sich der Einfluß der parasitären Kapazität, und die Sperrwirkung der Diode für das HF-Signal läßt nach. Durch das Vorspannen der PIN-Diode in Sperrichtung verringert sich die wirksame Sperrschichtkapazität, sowie die Sperrwirkung der Diode wird verbessert. Für die Auswahl einer geeigneten PIN-Diode für den Schalterbetrieb sind kleiner HF-Widerstand im Durchlaßbetrieb und kleine Sperrschichtkapazität und großer HF-Widerstand im Sperrbetrieb besonders wichtig.

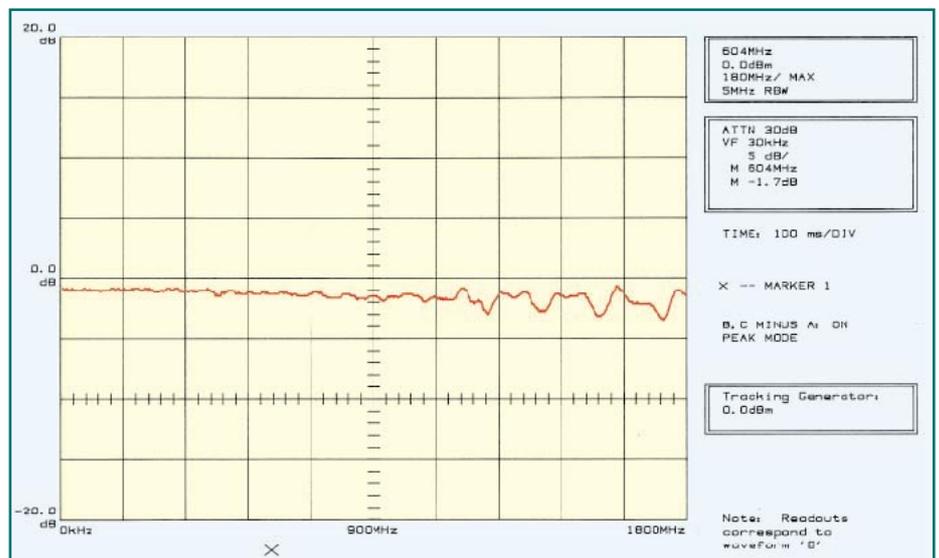


Bild 1: Durchgangsdämpfung des SPDT

974181301A

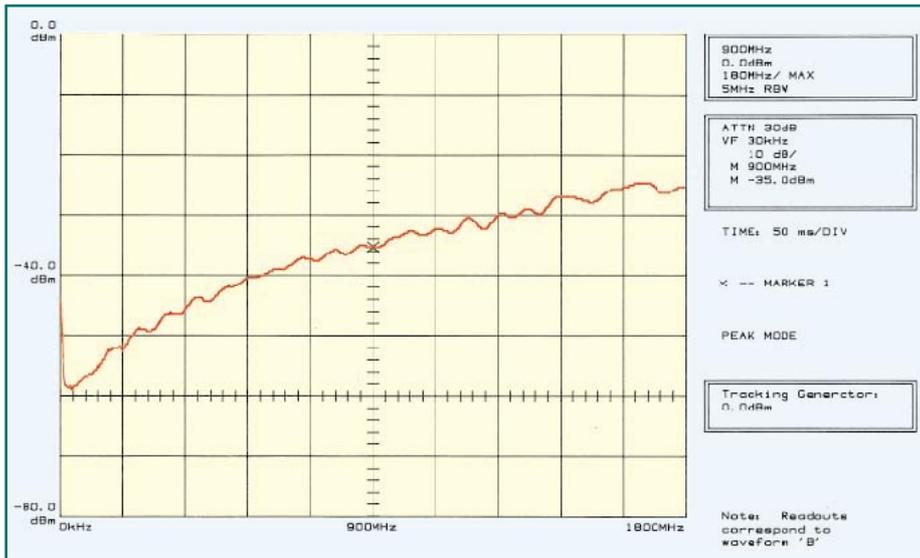


Bild 2: Isolationsdämpfung des SPDT

974181302A

### PIN-Dioden-Schalter Grundschaltungen

Mit PIN-Dioden lassen sich im Prinzip sämtliche Schaltervarianten der NF-Technik auch im HF-Bereich realisieren. Die verschiedenen Schalterarten besitzen unterschiedliche Eigenschaften, die sich aber in der HF-Technik im Gegensatz zur NF-Technik stark auf das zu schaltende Signal auswirken können. Um den Einfluß einer PIN-Diode auf das zu schaltende Signal zu analysieren, betrachten wir zunächst einen einfachen Ein-Aus-Schalter (SPST).

Für einen solchen Schalter gibt es zwei Realisierungen: Schalter in Reihe mit der Last (series switch) und den Schalter parallel zur Last (shunt switch). Beide Schaltungen haben bei idealen Schaltern die gleiche Wirkung. Beim Einsatz von PIN-Dioden als Schaltelemente wirken sich deren parasitäre Eigenschaften in den Schaltungsvarianten aber unterschiedlich aus.

Mit einem Serien-Schalter (series switch) lassen sich relativ frequenzunabhängige Einfügungsdämpfungen im durchgesteuerten Zustand erreichen. Hier wirkt im Prinzip nur der kleine HF-Serienwiderstand der PIN-Diode. Im gesperrten Zustand wird dieser Widerstand hochohmig und das einlaufende HF-Signal so fast vollständig reflektiert (Reflexionsfaktor  $\Gamma \approx +1$ ). Mit steigender Frequenz wirkt sich jedoch die parasitäre Sperrschichtkapazität  $C_j$  aus und überbrückt den HF-Widerstand, der Reflexionsfaktor verkleinert sich und die Isolationsdämpfung nimmt ab.

Mit einem Kurzschluß-Schalter (shunt switch) erreicht man dagegen eine relativ frequenzunabhängige Isolationsdämpfung. Im Aus-Zustand wird dabei das HF-Signal über den niederohmigen HF-Widerstand der durchgesteuerten PIN-Diode parallel

zur Last kurzgeschlossen, und der Reflexionsfaktor ergibt sich zu  $\Gamma \approx -1$ . Ist der Schalter nicht aktiv, d. h. die Diode im gesperrten Zustand, wird das HF-Signal bei höheren Frequenzen durch die parasitäre Kapazität der Diode nach Masse kurzgeschlossen. Der Reflexionsfaktor nähert sich in diesem Zustand auch dem Kurzschlußpunkt, und die Einfügungsdämpfung steigt.

Bei beiden vorgestellten Schaltungskonzepten wird im Aus-Zustand des PIN-Dioden-Schalters die einlaufende Welle reflektiert. Beim shunt switch erfolgt die Reflexion am Kurzschluß und beim series switch am Leerlauf. Daher werden diese Schaltungen auch reflektierende Schalter (reflective switch) genannt.

Die Reflexion der einlaufenden Leistung kann bei einigen speisenden Quellen zu Problemen führen. Dann müssen sogenannte absorbierende Schalter (matched switch) eingesetzt werden.

Dies kann so realisiert werden, indem z. B. die Pin-Diode in einem shunt switch nicht direkt an Masse geschaltet wird, sondern über den Systemwellenwiderstand  $Z_0$ . Somit „sieht“ die speisende Quelle im Aus-Zustand weiterhin den Wellenwiderstand  $Z_0$ .

Da die mit der series oder shunt switch Variante erreichbaren Dämpfungswerte für die Isolationsdämpfung mit steigender Frequenz schnell abnehmen, sind solche einfache Schaltungsrealisierungen nur bedingt einsetzbar. So verwendet man in den meisten Anwendungen eine Kombination beider Schaltungen, um die Isolationsdämpfung zu vergrößern. Eine mögliche Variante der Kombination von shunt und series switch wird im PIN-Dioden-Umschalter SPDT 1800 verwendet und ist im oberen Teil des Schaltbildes in Abbildung 3 dargestellt.

Hier bilden die PIN-Dioden D 1 und D 2

bzw. D 3 und D 4 jeweils ein Schaltglied mit hoher Isolationsdämpfung. Im Ein-Zustand des jeweiligen HF-Schalters sind die PIN-Dioden D 2 und D 4 durchgesteuert, während durch die Dioden D 1 und D 3 kein Steuerstrom fließt, so daß diese PIN-Dioden für die HF hochohmig sind.

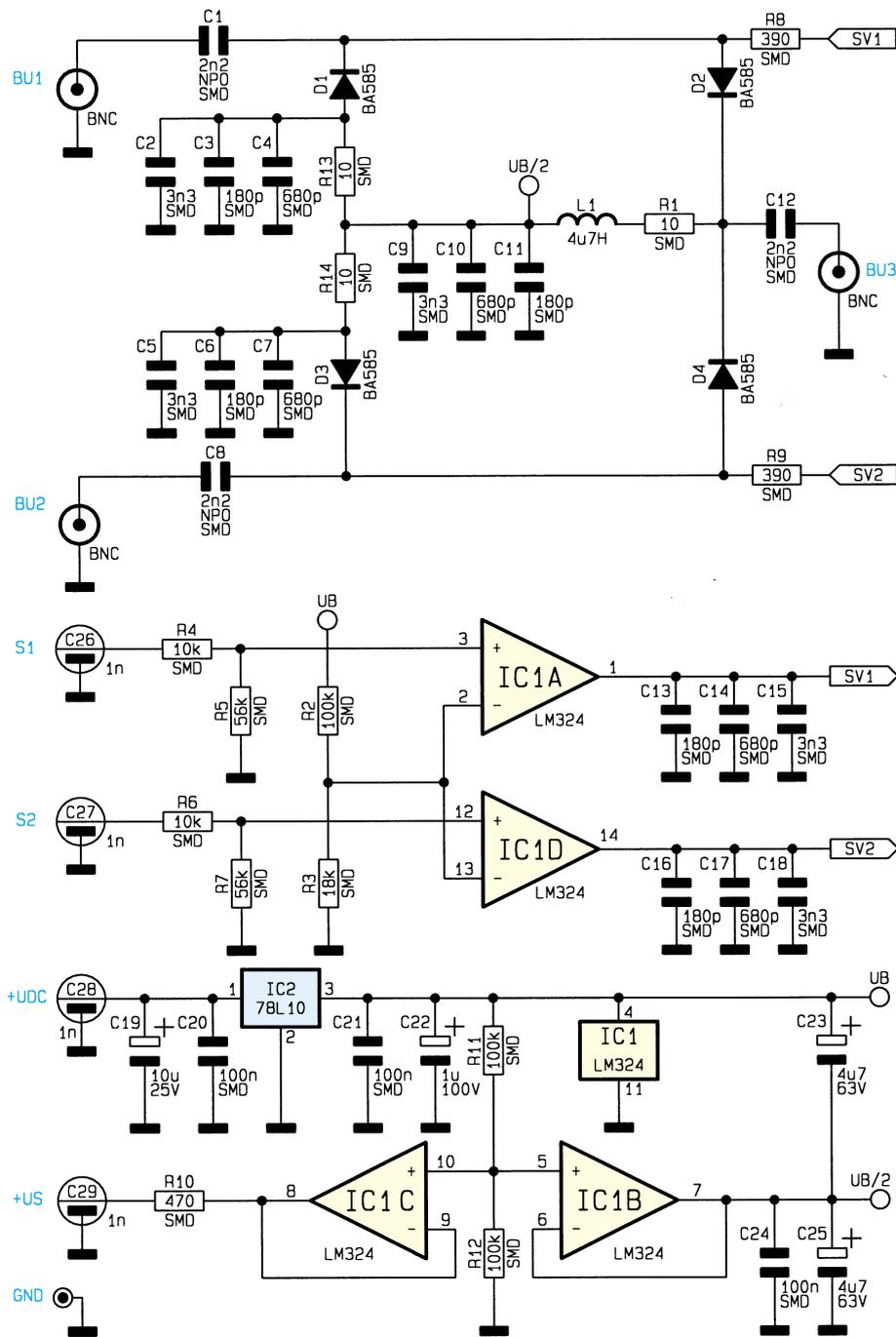
Das in diesem Zustand wirksame Dämpfungsverhalten ist in Abbildung 1 dargestellt. Im Frequenzbereich bis 1 GHz erkennt man einen relativ linearen Verlauf mit einer max. Dämpfung von ca. 2,5 dB. Oberhalb von 1 GHz ergibt sich eine größere „Welligkeit“ des Dämpfungsverlaufes. Diese ist auf verschiedene Resonanzerscheinungen zurückzuführen, wobei die max. Dämpfung von 4 dB jedoch nicht überschritten wird.

Um das HF-Signal abzuschalten, wird der Steuerstrom durch D 2 und D 4 gleich Null, womit deren Isolationsdämpfung wirksam wird. Zusätzlich schalten die PIN-Dioden D 1 und D 3 das HF-Signal über die Blockkondensatoren C 2 bis C 7 nach Masse und erhöhen somit die Isolationsdämpfung. Die wirksame Dämpfung ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Frequenzabhängigkeit der Isolationsdämpfung ergibt hier den für PIN-Dioden-Schalter charakteristischen Verlauf. Im Frequenzbereich bis 200 MHz wird eine Dämpfung von über 50 dB erreicht. Dieser Wert nimmt mit steigender Frequenz stetig ab, erreicht bei 1,8 GHz aber immerhin noch eine Isolation von über 20 dB.

### Schaltung

Die gesamte Schaltung des PIN-Dioden-Umschalters ist in Abbildung 3 dargestellt. Die eigentlichen Schaltstufen bestehen aus den PIN-Dioden D 1, D 2 und D 3, D 4. Das Signal von den HF-Eingangsbuchsen BU 1 und BU 2 gelangt über die Koppelkondensatoren C 1 und C 8 auf die Schaltstufen. Je nachdem, welche Schaltstufe gesperrt bzw. durchgeschaltet ist, ist entweder der Signalweg von der Eingangsbuchse BU 1 zum Ausgang BU 3 oder von BU 2 nach BU 3 durchgeschaltet. Der gesamte Signalweg ist auf der Platine als 50Ω-Streifenleitung ausgeführt.

Die Ansteuerung der Schaltstufen erfolgt über die Steuereingänge „S 1“ für BU 1 und „S 2“ für die Buchse BU 2 mit Hilfe der jeweils zuständigen Komparatoren IC 1 A und IC 1 D. Steuerspannungen an S 1 bzw. S 2 von >2 V bis 5 V schalten den zugehörige HF-Eingang zum Ausgang durch, während bei Spannungen von 0 V bis 1,4 V der Signalweg zwischen den entsprechenden Buchsen unterbrochen wird. So ist die Ansteuerung des Umschalters über die Steuereingänge S 1 und S 2 mit Hilfe von TTL-Pegel-kompatiblen Steuersignalen möglich.



**Bild 3: Schaltbild des PIN-Dioden-Umschalters**

974181303A

Um aber auch eine einfache Bedienung von Hand zu ermöglichen, wird mit Hilfe von IC 1 C eine Speisespannung erzeugt, die am Ausgangspin „US“ zur Verfügung steht und direkt auf die Steuereingänge S 1 und S 2 gegeben werden darf. So ermöglicht ein einfacher Umschalter, der den jeweiligen Steuerpin S 1 oder S 2 zwischen US und Masse („GND“) umschaltet, eine Ansteuerung des SPDT 1800.

Die über den Anschluß „UDC“ zugeführte Betriebsspannung wird intern mit Hilfe des Spannungsreglers IC 2 auf 10 V stabilisiert. Um den PIN-Dioden-Umschalter mit einer einzigen Betriebsspannung betreiben zu können, ist es notwendig, mit dem Operationsverstärker IC 1 B und den

Widerständen R 11 und R 12 die Bezugsspannung „UB/2“ zu erzeugen.

Die Ansteuerung der Schaltstufen geschieht über die Operationsverstärker IC 1 A und IC 1 D, die als Komparator geschaltet sind. Ein Sperren der entsprechenden Schaltstufe aus D 1, D 2 oder D 3, D 4 wird mit einer Steuerspannung von ca. 1 V erreicht, während eine Steuerspannung von ca. 9 V an den Punkten „SV 1“ bzw. „SV 2“ den HF-Schalter in den Ein-Zustand versetzt.

Die Komparatoren treiben einen DC-Steuerstrom von ca. 7 mA über die Widerstände R 8 und R 9 durch die entsprechenden PIN-Dioden und bringen diese so in den niederohmigen Durchlaßzustand für

das anliegende HF-Signal. Außerdem wird durch den Spannungsfall an den durchgeschalteten Dioden die zugehörige gesperrte PIN-Diode mit einer negativen Vorspannung versehen, so daß sich ihre parasitäre Sperrschichtkapazität verringert.

Um eine gute Isolationsdämpfung zu erhalten, ist es äußerst wichtig, daß die Anoden der PIN-Dioden D 1 und D 3 HF-mäßig auf Massepotential liegen. Um dies über den gesamten Frequenzbereich von 10 MHz bis 1,8 GHz gewährleisten zu können, ist die gestaffelte Blockung mit C 2 bis C 7 notwendig.

## Nachbau

Die gesamte Schaltung findet auf einer 81x 81 mm messenden doppelseitigen Platine Platz. Die Bestückung erfolgt anhand des Bestückungsdruckes und der Stückliste, wobei auch das abgebildete Platinenfoto hilfreiche Zusatzinformationen liefern kann. Die Schaltung ist zum größten Teil in SMD-Technik aufgebaut, was sich vor allem bei der Signalführung im HF-Bereich positiv auswirkt.

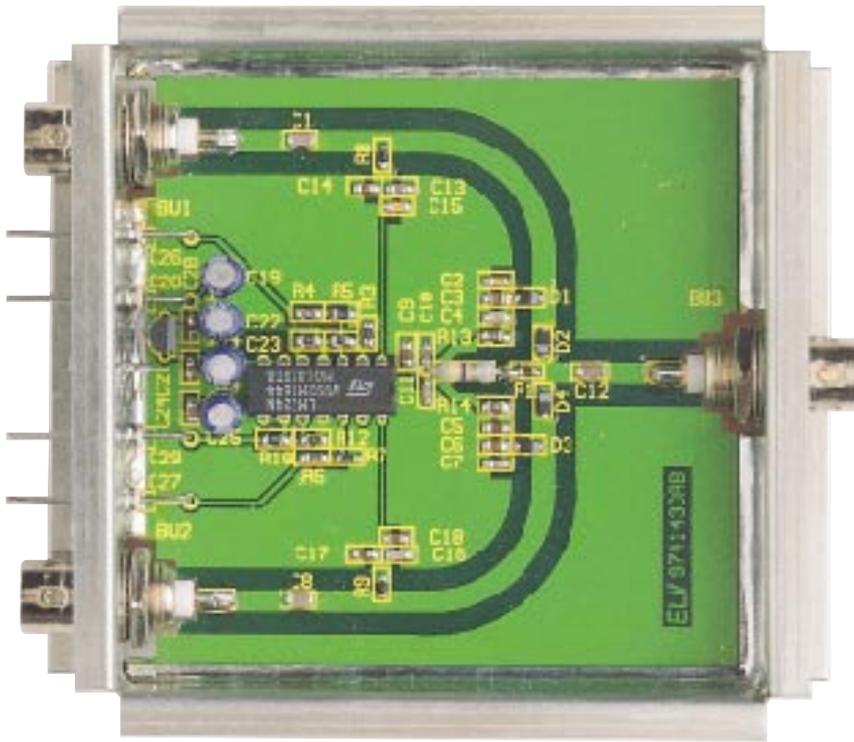
Da der PIN-Dioden-Umschalter bis in den GHz-Bereich arbeitet, muß beim Aufbau unbedingt auf einwandfreie Lötungen geachtet werden. Vor allem sollte man beim Einlöten der Bauteile darauf achten, daß die Durchkontaktierungen, die keine Bauteile aufnehmen, nicht mit Lötzinn „vollaufen“.

Wir beginnen bei der Bestückung mit dem Einbau der SMD-Kondensatoren und SMD-Widerstände. Als dann können die PIN-Dioden D 1 bis D 4 bestückt werden, wobei hier auf die richtige Polarität geachtet werden muß. Als Orientierungshilfe dient hierzu der Kathodenring des Bauteils, der mit der entsprechenden Markierung im Bestückungsdruck übereinstimmen muß. Anschließend werden die Elkos und die beiden ICs eingebaut, auch hier ist die richtige Einbaulage zu beachten.

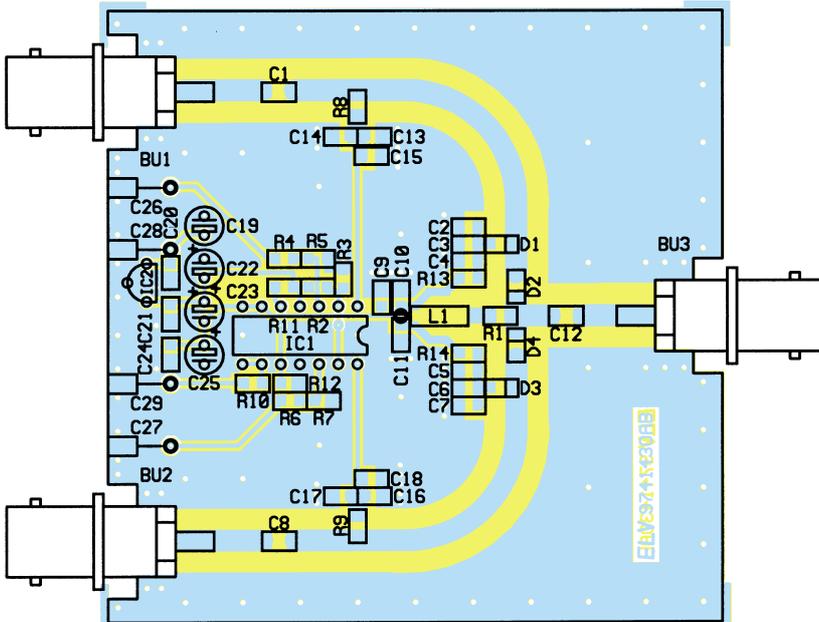
Beim Einbau der bedrahteten Drossel L 1 ergibt sich eine Besonderheit, da dieses Bauteil einseitig auf einem SMD-Pad anzulöten ist. Die Anschlußbeine der Drossel sind direkt am Drosselkörper um 90° abzuwinkeln, und ein Anschlußbein ist so zu kürzen, daß der Drosselkörper auf der Platine aufliegt und der gekürzte Anschluß das SMD-Lötpad berührt.

Ist die Bestückung der Platine soweit abgeschlossen, wird das Abschirmgehäuse für die Montage vorbereitet. Dazu sind zuerst die BNC-Buchsen in die entsprechenden Löcher der beiden Abschirmgehäuseeinteile einzuschrauben. (Hinweis: Die Seiten mit den bereits abgewinkelten Kanten stellen jeweils die Außenseiten des Abschirmgehäuses dar.)

Anschließend sind die 4 Durchführungs-



**Oben: Ansicht der fertig aufgebauten Platine**  
**Unten: Bestückungsplan der PIN-Diode**



kondensatoren (Dukos) und der Lötstift mit Öse von außen in die dafür vorgesehenen Bohrungen zu stecken und auf der Innenseite sorgfältig mit dem Gehäuse zu verlöten. Alsdann können die Abschirmgehäuseteile an den perforierten Biegekanten um 90° abgewinkelt werden.

Da nun die Platine und das Abschirmgehäuse soweit fertiggestellt sind, kann die Endmontage erfolgen. Dazu sind die Anschlußdrähte der Durchführungskondensatoren auf der Gehäuseinnenseite in ca. 8 mm Abstand vom Abschirmgehäuse um 90° nach unten abzuwinkeln.

Es ist zuerst das Gehäuseteil mit den beiden BNC-Buchsen BU1 und BU2 zu befestigen. Dazu wird das Abschirmgehäuse so an die Platine gesetzt, daß die

Anschlußdrähte der Dukos in die entsprechenden Bohrungen fassen und die „heißen“ Anschlüsse (Mittenkontakte) der BNC-Buchsen plan auf der Platine aufliegen. Durch zwei Punktlötungen ist dann das Abschirmgehäuse provisorisch an der Platine zu befestigen. Danach wird das zweite Abschirmblech auf die gleiche Weise montiert.

Nachdem die wichtige ordnungsgemäße Einbaulage der BNC-Buchsen nochmals überprüft wurde, ist die Platine auf der Bestückungsseite rundherum mit dem Abschirmgehäuse unter Zugabe von reichlich Lötzinn zu verlöten. Anschließend werden die „heißen“ Anschlüsse der BNC-Buchsen und die Anschlußleitungen der Dukos sorgfältig angelötet. Nachdem der

### Stückliste: PIN-Dioden-Umschalter

#### Widerstände:

10Ω/SMD .....	R1, R13, R14
390Ω/SMD .....	R8, R9
470Ω/SMD .....	R10
10kΩ/SMD .....	R4, R6
18kΩ/SMD .....	R3
56kΩ/SMD .....	R5, R7
100kΩ/SMD .....	R2, R11, R12

#### Kondensatoren:

180pF/SMD .....	C3, C6, C11, C13, C16
680pF/SMD .....	C4, C7, C10, C14, C17
2,2nF/NPO/SMD .....	C1, C8, C12
3,3nF/SMD ...	C2, C5, C9, C15, C18
100nF/SMD .....	C20, C21, C24
1µF/100V .....	C22
4,7µF/63V .....	C23, C25
10µF/25V .....	C19
Durchführungs- kondensator, 1nF .....	C26-C29

#### Halbleiter:

LM324 .....	IC1
78L10 .....	IC2
BA585 .....	D1-D4

#### Sonstiges:

- Festinduktivität, 4,7µH .....
- BNC-Einbaubuchse .....
- 1 Lötstift mit Lötöse
- 1 Abschirmblech, komplett
- 34 cm Profilschiene für Abschirmgehäuse

Aufbau soweit fortgeschritten ist, sollte die Platine auf etwaige Bestückungsfehler und Lötzinnbrücken hin überprüft werden.

Abschließend ist noch der Abschirmgehäuse-Deckel zu befestigen. Dazu muß die Kunststoff-Profilschiene in zwei 80 mm und zwei 90 mm lange Stücke aufgeteilt werden. Die Befestigung des Deckels geschieht mit Hilfe der über die abgewinkelten Kanten der Seitenteile und das Deckelblech zu schiebenden Profilschienenstücke.

Somit ist der Nachbau abgeschlossen, und der PIN-Dioden-Umschalter kann in Betrieb genommen werden. Dazu muß am Versorgungsspannungsanschluß „UDC“ eine Spannung im Bereich von 12 V bis 24 V angelegt werden. Über eine entsprechende Ansteuerung der Steuereingänge „S 1“ und „S 2“ können dann die HF-Signale an den BNC-Buchsen mit diesem PIN-Dioden-Umschalter verarbeitet werden.

