

13 Monolithische, integrierte Mikrowellenschaltungen

Monolithische, integrierte Mikrowellenschaltungen (MMICs) und ähnliche Bauelemente werden in einer Vielzahl von Anwendungen eingesetzt. Diese Bauelemente können sehr breitbandig oder relativ schmalbandig arbeiten. Sehr breitbandige Verstärker haben einen Durchlassbereich von mehreren 100 Megahertz, oder mehr, der sich typisch von unterhalb des VLF-Bereichs bis an das untere Ende des Mikrowellenspektrums erstreckt. Üblich ist z.B. ein Bereich von 100 Kilohertz bis 1000 MHz (d. h. 1 GHz Bandbreite). Für diese Schaltungen gibt es viele praktische Anwendungen: Empfänger-Vorverstärker, Ausgangsverstärker für Signalgeneratoren, Pufferverstärker in HF-Messanordnungen, Verstärker in Kabelfernsehleitungen und zahlreiche andere in der Kommunikation und der Instrumentierung.

Breitband-Verstärker waren schwierig zu entwickeln und aufzubauen, bevor es monolithische, integrierte Mikrowellenschaltkreise (MMIC) gab. Mehrere Faktoren trugen dazu bei: Zum Beispiel, gibt es zu viele Streukapazitäten und Induktivitäten in einem typischen Schaltungslayout, und diese bilden Resonanzen und Filter, die den Frequenzgang verzerren und einschränken.

Wenn Sie je versucht haben, einen sehr breitbandigen Verstärker zu bauen, dann könnte das wahrscheinlich eine sehr enttäuschende Erfahrung gewesen sein. Dank der neuen, preiswerten, monolithischen, integrierten Silizium-Mikrowellenschaltungen (SMMICs) ist es jetzt jedoch möglich, Verstärker zu entwerfen und zu bauen, die das Spektrum von Gleichstrom bis ungefähr 2000 MHz abdecken und maximal sieben oder weniger Bauelemente benötigen. Diese Bauelemente bieten Verstärkungen von 13 bis 30 dB (siehe Tabelle 13.1) und liefern Ausgangsleistungen bis zu 40 mW (+16 dBm). Die Rauschzahlen reichen von 3,5 bis 7 dB. In diesem Kapitel werden wir als Beispiel die MAR-x-Reihe der MMICs von Mini-Circuits vorstellen.

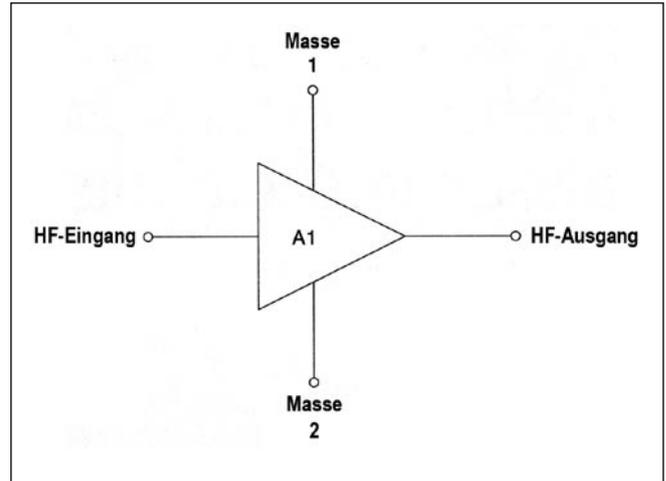


Abb. 13.1: Schaltungssymbol eines MMIC-Bauelements

Abbildung 13.1 zeigt das Schaltungssymbol der MAR-x-Verstärker. Beachten Sie, dass es sich dabei um ein sehr einfaches Bauelement handelt. Die einzigen Anschlüsse sind HF-Eingang, HF-Ausgang und zwei Masse-Pins. Die Verwendung von zwei Masseverbindungen reduziert die gesamte Induktivität und verbessert dadurch die Stabilität und die Frequenzcharakteristik. Die Betriebsspannung wird über ein externes Netzwerk an den Ausgangsanschluss gelegt.

Das Gehäuse der MAR-x-Bauelemente zeigt Abb. 13.2. Obwohl es sich um ein IC handelt, sieht das Bauelement wie ein kleiner UHF-/Mikrowellen-Transistor aus. Das Gehäuse besteht aus Plastik, und die Leitungen sind breite Metallstreifen anstelle von Drähten, um die Streuinduktivitäten zu reduzieren, die dünnere Anschlussdrähte aufweisen würden. Diese Bauelemente sind schon so klein, dass ihre Handhabung schwierig sein kann; daher emp-

Typenbezeichnung	Farbpunkt	Verstärkung bei 500 MHz (dB)	Max. Freq. (MHz)
MAR-1	Braun	17,5	1000
MAR-2	Rot	12,8	2000
MAR-3	Orange	12,8	2000
MAR-4	Gelb	8,2	1000
MAR-6	Weiß	19,0	2000
MAR-7	Violett	13,1	2000
MAR-8	Blau	28,0	1000

Tabelle 13.1

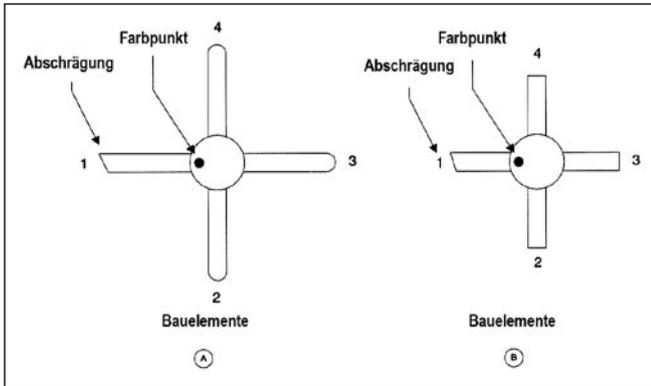


Abb. 13.2: MMIC-Bauelemente von Mini-Circuits

fehlt sich die Verwendung einer kleinen Pinzette, um das Bauelement auf einer gedruckten Schaltung zu platzieren. Ein Vergrößerungsglas oder eine Lupe sind zweckmäßig bei schlechter Sicht. Ein Farbpunkt und eine abgeschrägte Spitze an einer Leitung sind die Schlüssel zur Identifizierung eines Anschlusses. Blickt man von oben auf das Gehäuse erfolgt die Nummerierung (1, 2, 3, 4) entgegengesetzt zum Uhrzeigersinn, ausgehend vom gekennzeichneten Anschluss.

Interne Schaltung

Die Verstärker der Serie MAR-x sind intern bereits für 50 Ohm Impedanz am Ein- und Ausgang ausgelegt, ohne eine externe Schaltung zur Impedanztransformation. Das

macht sie generell für HF-Anwendungen hervorragend geeignet. Abbildung 13.3 zeigt den internen Schaltungsaufbau der MAR-x-Bauelemente. Es handelt sich um bipolare Silizium-ICs in einer Konfiguration mit zwei Transistoren als Darlington-Verstärker. Die Bauelemente wirken daher wie Transistoren mit sehr hoher Verstärkung. Da die Transistoren intern auf dem Chip ihre Vorspannung erhalten, liegen die Verstärkungen typisch im Bereich von 13 bis 33 dB, abhängig vom gewählten Bauelement und der Betriebsfrequenz. Externe Widerstände zur Vorspannungserzeugung sind nicht erforderlich, lediglich ein Kollektorlastwiderstand zu V_+ wird verwendet.

Die gute Anpassung an 50 Ohm sowohl bei der Eingangs- als auch der Ausgangsimpedanz (R) ist auf die Schaltungskonfiguration zurückzuführen und beträgt ungefähr:

$$(13.1) R = \sqrt{R_F R_E}$$

Wenn R_F ungefähr 500 Ohm und R_E ca. 5 Ohm ist, dann ergeben sich aus der Quadratwurzel ihres Produktes die gewünschten 50 Ohm.

Verstärker-Grundsaltung

Den Stromlaufplan für ein auf einem MAR-x-Bauelement basierenden Breitband-Verstärker-Projekt zeigt Abb.13.4. Die HF-Ein- und Ausgänge werden durch die Gleichspannungs-Abblockkondensatoren C1 und C2 geschützt. Für VLF- und MW-Anwendungen sollten keramische 0,01 μ F-Scheibenkondensatoren, und für HF und den unteren

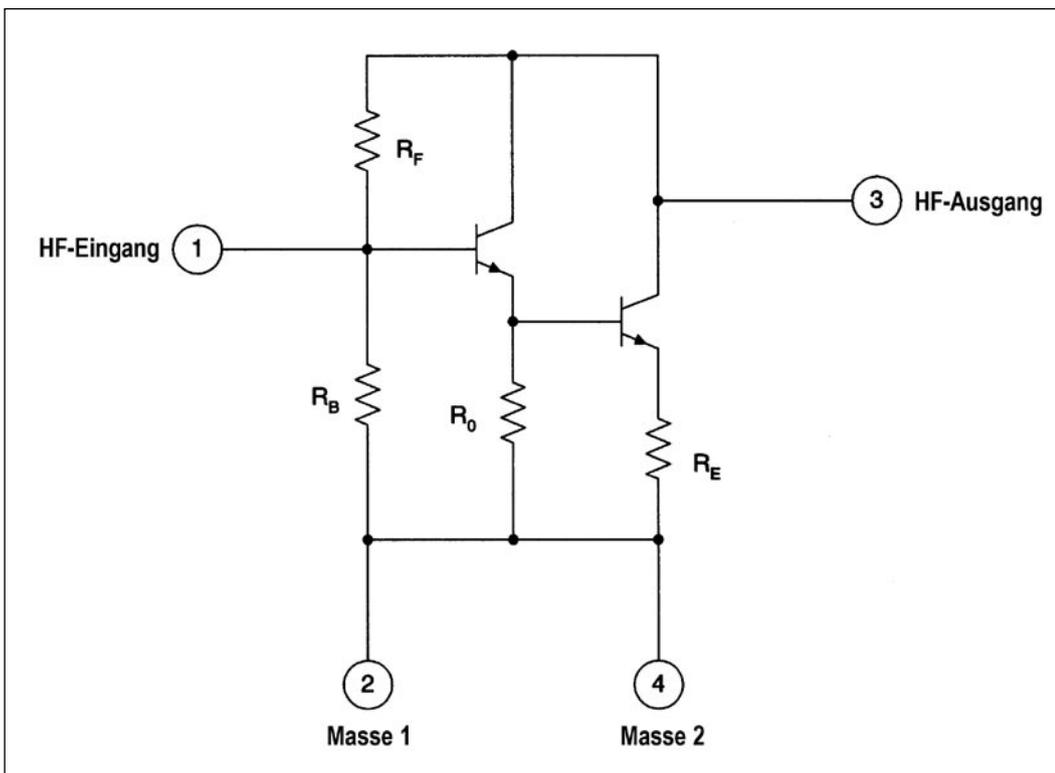


Abb. 13.3: Interne Schaltung eines MMIC-Bauelements

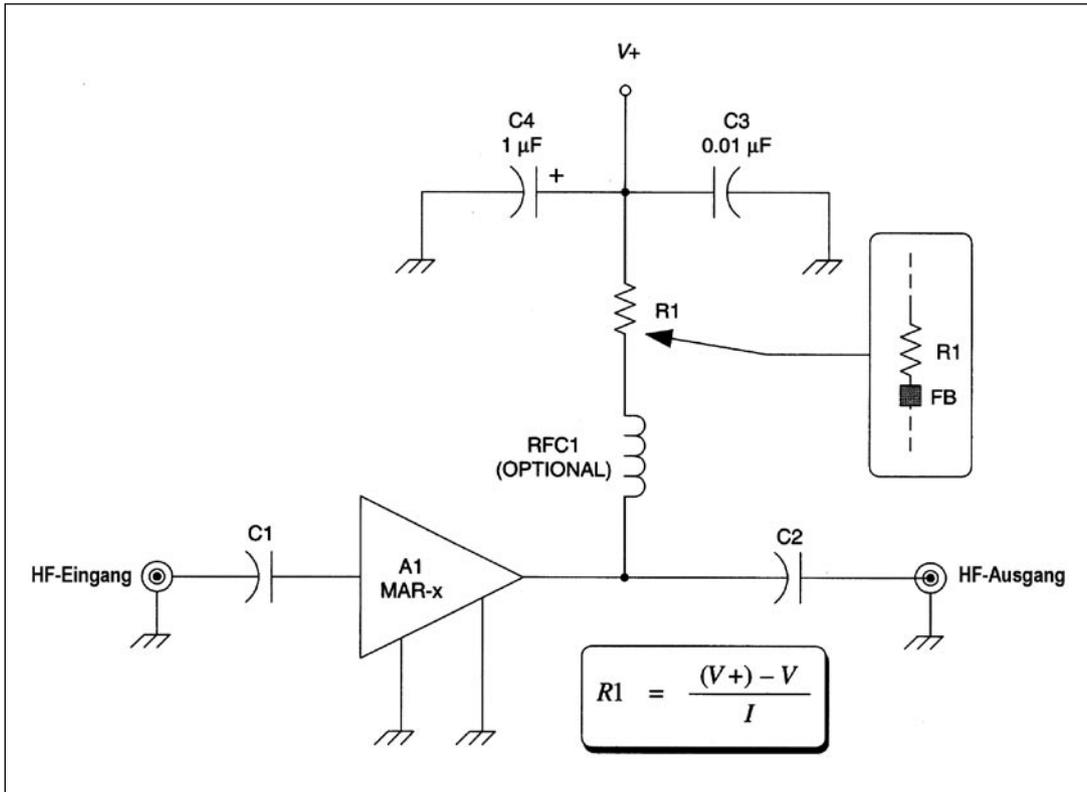


Abb. 13.4:
Schaltung eines
MMIC-Verstärkers

ren VHF-Bereich (≤ 100 MHz) entsprechende Ausführungen mit $0.001 \mu\text{F}$ verwendet werden. Soll der Verstärker von VHF bis zum Anfang des Mikrowellenbereichs (> 100 MHz bis 1000 MHz) arbeiten, sind 1000-pF -Chip-Kondensatoren zweckmäßig. Wenn keine tiefen Frequenzen verarbeitet werden müssen, können Kondensatoren im Bereich von 33 bis 100 pF verwendet werden.

Die für C1 und C2 verwendeten Kondensatoren sollten Chip-Ausführungen sein, sofern der Verstärker nicht ausschließlich bei tieferen Frequenzen eingesetzt wird (< 100 MHz). Chip-Kondensatoren können in der Verarbeitung ein bisschen mühsam sein, aber ihr Einsatz wird immer vorteilhafter, je höher die Betriebsfrequenz wird.

Kondensator C3 wird aus zwei Gründen eingesetzt: Er verhindert, dass HF-Signale in die Gleichstromversorgung und von dort in andere Schaltungen gelangen können. Er bewirkt außerdem, dass höherfrequente Signale und Störspannungsspitzen von außerhalb der Verstärkerschaltung nicht beeinträchtigen können. In einigen Fällen wird für C3 ein $0,001\text{-}\mu\text{F}$ -Chip-Kondensator vorgesehen, meist reicht jedoch ein keramischer $0,01\text{-}\mu\text{F}$ -Scheibenkondensator aus.

Der andere Kondensator an der Gleichspannungszuführung ist ein Tantal-Elko mit $1 \mu\text{F}$. Er dient zur Entkopplung niederfrequenter Signale sowie zur Glättung kurzzeitiger Schwankungen der Versorgungs-Gleichspannung. Höhere Werte als $1 \mu\text{F}$ können erforderlich werden, wenn der Verstärker in einer besonders gestörten Umgebung eingesetzt wird.

Gleichstrom wird dem Verstärker über einen Strombegrenzungswiderstand (R1) am Anschluss RF OUT des MAR-x (Pin Nr. 3) zugeführt. Die maximal zulässige Gleichspannung beträgt $+7.5$ V beim MAR-8, $+5$ V beim MAR-1 bis MAR-4, $+4$ V beim MAR-7 und $+3.5$ V beim MAR-6. Wenn die Mindestbetriebsspannung verwendet wird, d.h. $+5$ V beim MAR-1, dann sollte für R1 ein Widerstand mit 47 bis 100 Ohm vorgesehen werden. Geeignet sind nur nichtinduktive Widerstände, wie z.B. Kohle-Masse- oder Metallfilm-Typen mit $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{2}$ W Belastbarkeit. Sind höhere Spannungen für V+ erforderlich (z.B. $+9$ oder $+12$ V), muss auch R1 einen höheren Wert haben. Um den Wert von R1 zu bestimmen, entscheiden Sie sich für einen Stromwert (I), und setzen Sie die Werte in folgende Formel ein:

$$(13.2) \quad R1(\text{Ohm}) = \frac{V_+ - V_{\text{MMIC}}}{I}$$

In den meisten Fällen sind 15 mA ein guter Betriebswert für den populären MAR-1.

Die Schaltung in Abb. 13.4 zeigt eine Induktivität RFC1, die wahlweise vorgesehen werden kann. Sie hat zwei Aufgaben: Zunächst einmal verbessert sie die Entkopplung des Ausgangs des MAR-x von der Gleichspannungsversorgung, da sie HF-Signale abblockt. Zweitens wirkt sie als Drossel zur Anhebung der höheren Frequenzen im Durchlassbereich des Verstärkers. Diese Anhebung erfolgt, weil sich

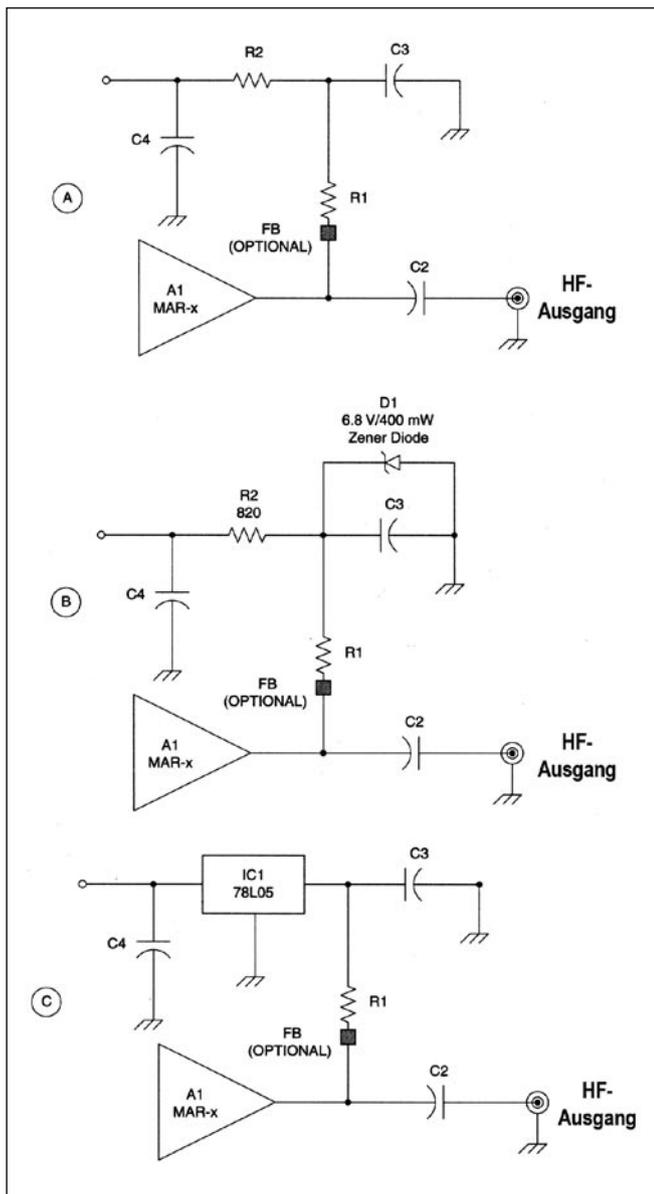


Abb. 13.5: (A) Ausgangsschaltung des MMIC-Verstärkers; (B) Zenerdiode zur Spannungsstabilisierung; (C) Spannungsstabilisierung mit integriertem Dreibein-Spannungsregler

die induktive Reaktanz (X_L) zum Widerstand R1 hinzuaddiert, so dass eine Lastimpedanz entsteht, die mit steigender Frequenz größer wird, da

$$X_L = 2\pi fL$$

ist. Passende Werte für die Induktivität reichen von weniger als 0,5 μH bis ungefähr 100 μH , abhängig von der Applikation und dem Frequenzbereich. Manchmal bildet die Spule auch die gesamte Lastimpedanz. In diesen Fällen wird ein Entkopplungs-Kondensator an der Verbindung von RFC1 und R1 vorgesehen.

Spulen sind allerdings nicht ohne Probleme in sehr breitbandigen Verstärkern, weil die Streukapazitäten zwischen den Spulenwindungen unerwünschte Eigenresonanzen mit der Induktivität bilden. Diese Resonanzen können den Frequenzgang beeinträchtigen und außerdem Selbsterregung bewirken. Eine übliche Lösung für dieses Problem besteht darin, eine kleine Ferritperle (FB in Abb. 13.4) vorzusehen. Sie wirkt als HF-Drossel mit geringer Induktivität. Diese Ferritperlen haben ein kleines Loch, so dass sie sich über den Anschlussdraht eines Viertel-Watt-Widerstandes schieben lassen.

Alternative Schaltungsvarianten zur Gleichspannungszuführung zeigt Abb. 13.5. Die Schaltung in Abb. 13.5A teilt den Lastwiderstand in zwei Widerstände R1 und R2. Der Wert von R1 entspricht dem größten Teil des erforderlichen Widerstandes, wobei R2 typisch 33 bis 100 Ohm ist. Die Schaltung arbeitet, wie die Grundschiung, sehr gut mit Spannungen von 7 bis 9 VDC, wird aber für höhere Versorgungsspannungen nicht empfohlen.

Schaltungen für Spannungen über 9 V zeigen Abb. 13.5B und 13.5C. Beide arbeiten mit Spannungsregelung, um die Versorgungsspannung der MAR-x zu stabilisieren.

Andere MAR-x-Schaltungen

Die einfache Schaltung gemäß Abb. 13.4 wird in den meisten Fällen gut arbeiten, besonders dort, wo die Eingangs- und Ausgangsimpedanzen ausreichend stabil sind. Wenn sich aber die Quell- oder Lastimpedanzen ändern, kann die Leistung des Verstärkers nachlassen oder er kann etwas instabil werden. Abhilfe ermöglichen ohmsche Dämpfungsglieder in den Ein- und Ausgangs-Signalwegen. Dämpfungsglieder in einer Verstärker-Schaltung? Ja, das ist richtig! Ein 1-dB- oder 2-dB-Dämpfungsglied in den Ein- und Ausgangsleitungen stabilisiert die vom Verstärker gesehenen Impedanzen, beeinflusst dabei die Gesamtverstärkung der Schaltung aber nur geringfügig.

Abbildung 13.6 zeigt die Schaltung aus Abb. 13.4, um die Verwendung einfacher, ohmscher Spannungsteiler zu verdeutlichen. Wenn 1-dB-Dämpfungsglieder verwendet werden, dann ist die Gesamtverstärkung der Schaltung um 2 dB geringer als die Verstärkung des MAR-x allein. Die für diese Abschwächer verwendeten Widerstände müssen nichtinduktive Ausführungen wie z.B. Kohlemasse- oder Metallfilm-Widerstände sein. Wird der Verstärker am oberen Ende seines Frequenzbereichs eingesetzt, sind Chip-Widerstände gewöhnlichen Widerständen mit axialen Anschlussleitungen vorzuziehen.

Eine andere Lösung besteht darin, fertige, abgeschirmte 50-Ohm-HF-Dämpfungsglieder zu verwenden. Ein weiteres Produkt von Mini-Circuits sind die 1-dB-Dämpfungsglieder AT-1 und MAT-1; sie sind für diesen Zweck geeignet und passen zum Frequenzbereich der meisten MAR-x-Verstärker. Diese preiswerten Bauelemente sind ihnen in der Form ähnlich, bis auf die Abmessungen, und für Mon-

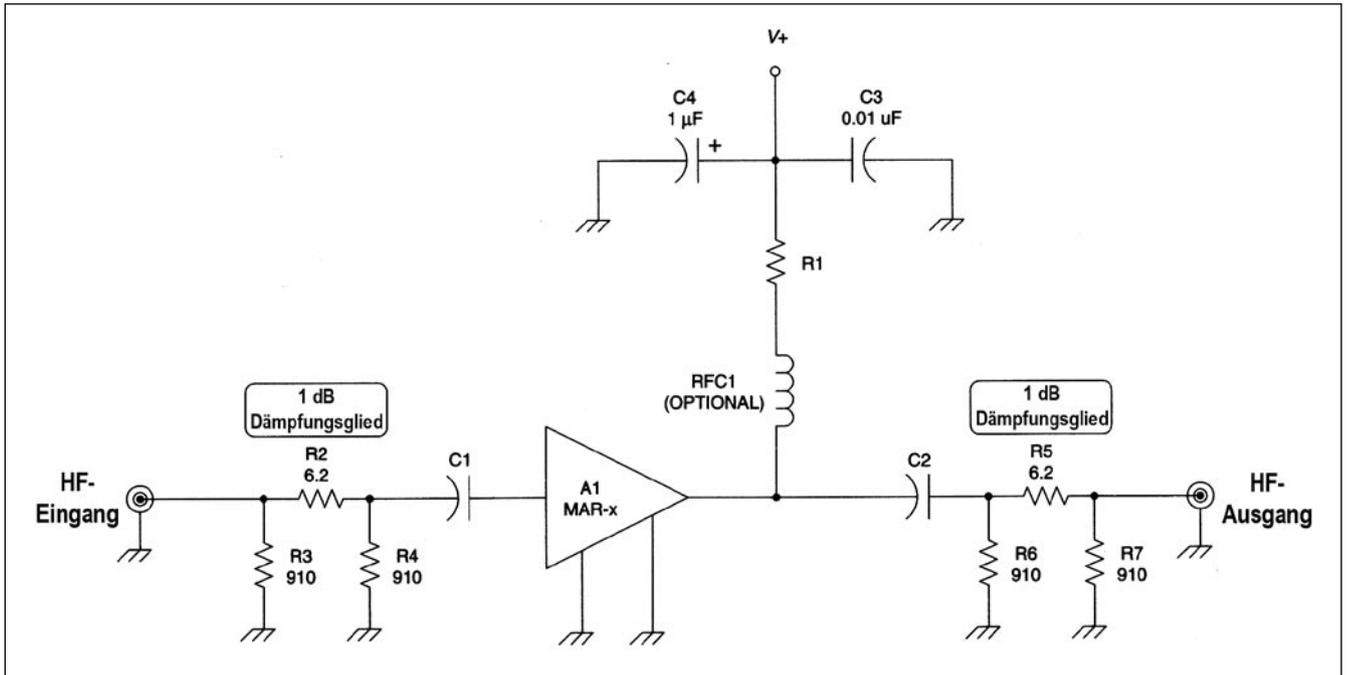


Abb. 13.6: 1-dB-Dämpfungsglieder im Ein- und Ausgang

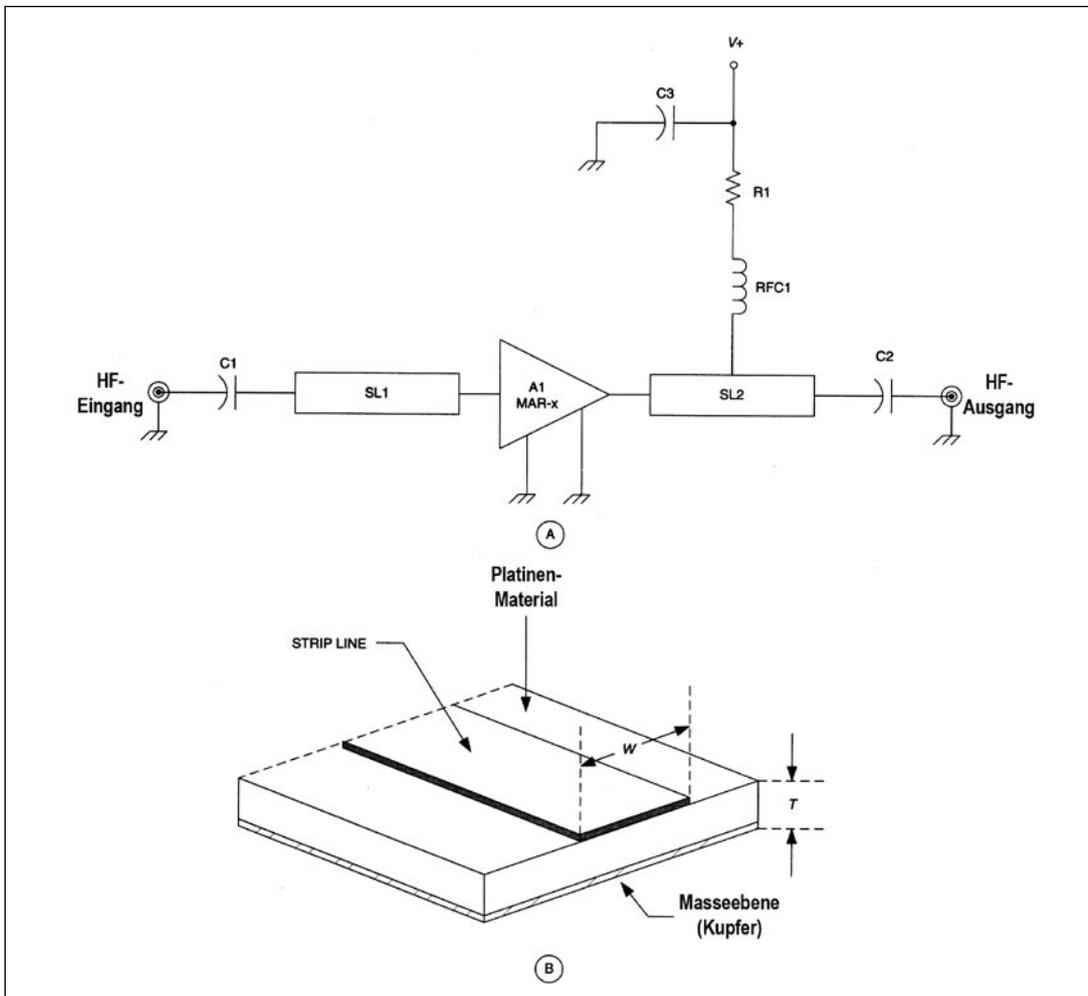


Abb. 13.7: (A) Streifenleitungs-Verstärker; (B) Dimensionierung der Streifenleitung

Monolithische, integrierte Mikrowellenschaltungen

Material	ϵ	T	W
G-10 Epoxy	4.8	1.58 mm	2.74 mm
PTFE	2.55	0.254 mm	0.635 mm
		0.787 mm	0.20 mm
		1.58 mm	4 mm

Tabelle 13.2: Werte für 50Ω

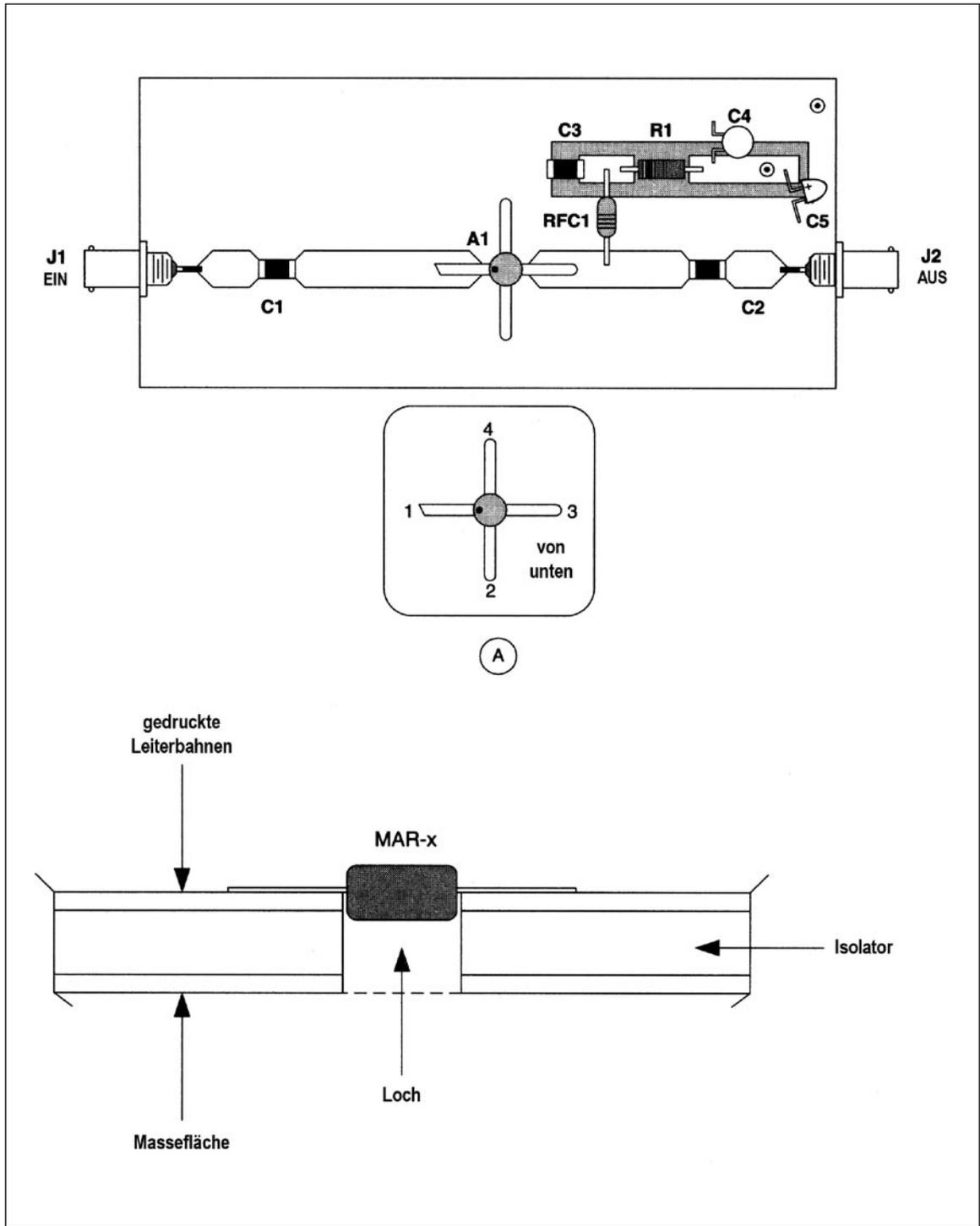


Abb. 13.8:
 (A) Platinen-
 Layout für
 den MMIC-
 Verstärker;
 (B) Befes-
 tigung des
 MMIC-Bau-
 elements

tage auf gedruckten Leiterplatten vorgesehen. Denken Sie aber daran, dass die Verwendung von Abschwächern nicht ohne negative Folgen ist. Die ohmschen Dämpfungsglieder reduzieren die Verstärkung (wie bereits erwähnt) zwar nur gering, erhöhen aber die Rauschzahl um die Dämpfung des Eingangsabschwächers.

In Verstärkern für den VHF- und UHF-Bereich bzw. das untere Ende des Mikrowellenbereichs kann es zweckmäßig sein, eine gedruckte Übertragungsleitung für die Ein- und Ausgangsschaltungen zu vorzusehen. Abbildung 13.7A zeigt eine derartige Schaltung mit Streifenleitungen am Eingang (SL1) und Ausgang (SL2), während Abb. 13.7B im Detail verdeutlicht, wie diese Leitungen angefertigt werden.

Die charakteristische Impedanz (Z_0) der Leitung ist eine Funktion der relativen Dielektrizitätskonstante des Materials der gedruckten Schaltung (ϵ), der Dicke des Materials (T), und der Breite (W) der Streifenleitung. Übliches G-10-Epoxydharzmaterial ($\epsilon = 4,8$) ist bis zu 1000 MHz nutzbar und bis ungefähr 300 MHz sehr gut verwendbar. Über 300 MHz nehmen die Verluste deutlich zu. PTFE-Glasfaser-Boards ($\epsilon = 2,55$) arbeiten einwandfrei bis über 2000 MHz, was über der oberen Frequenzgrenze der MAR-x-Verstärker liegt. Die für 50-Ohm-Streifenleitungen bei verschiedenen Platinenmaterialien erforderlichen Leitungsbreiten sind Tabelle 13.2 zu entnehmen.

Abbildung 13.8A zeigt das Schaltungslayout einer typischen Platine für einen Breitband-Verstärker mit einem MAR-x. Die Platine sollte doppelseitig kaschiert sein, d. h. auf beiden Seiten eine Kupferfläche haben. Die Streifen-Leitungen am Ein- und Ausgang werden aus der Be-

stückungsseite des Materials geätzt, nicht aus der Unterseite, wie es bei Projekten für tiefere Frequenzen üblich ist. Der Grund dafür ist, dass die Induktivitäten der Zuleitungen zum MAR-x-Verstärker so gering wie möglich gehalten werden müssen.

Die Streifenleitungen am Eingang und Ausgang dürfen keine plötzlichen Änderungen im Verlauf aufweisen, da sonst die parasitären Verluste zunehmen. Es ist jedoch allgemeine Praxis, die Leitung über ein kurzes Stück von der Breite der Streifenleitung auf die Breite der Anschlussleitungen des MAR-x direkt am Gehäuse zu verschmälern.

Eine weitere Taktik, um die Streuinduktivität der Zuleitungen auf ein Minimum zu reduzieren, besteht darin, eine kleine Bohrung in der gedruckten Schaltung vorzusehen, in die das Gehäuse des MAR-x (Abb. 13.8B) hineinpasst. Der Durchmesser des MAR-x-Gehäuses beträgt 2,15 mm, und das Loch sollte daher ein bisschen größer sein.

Die Kondensatoren am Ein- und Ausgang sowie der Entkopplungs-Kondensator an der Verbindung von RFC1 und R1 sind Chip-Kondensatoren. Die erforderliche Unterbrechung der Streifenleitung sollte daher gerade breit genug sein, um die Anschluss-Kontakte an beiden Enden des Kondensatorkörpers voneinander zu trennen. Für die 1000-pF-Chip-Kondensatoren, die ich zur Erstellung eines Modells als Vorbereitung für dieses Kapitel verwendete, hatte der isolierte Mittelbereich der Kondensatoren zwischen den Anschlusskontaktfächen eine durchschnittliche Länge von 2,3 mm, gemessen mit einer Schieblehre.

Es ist wichtig, die Masseleitungen so kurz wie möglich zu halten, speziell wenn der Verstärker am oberen Ende

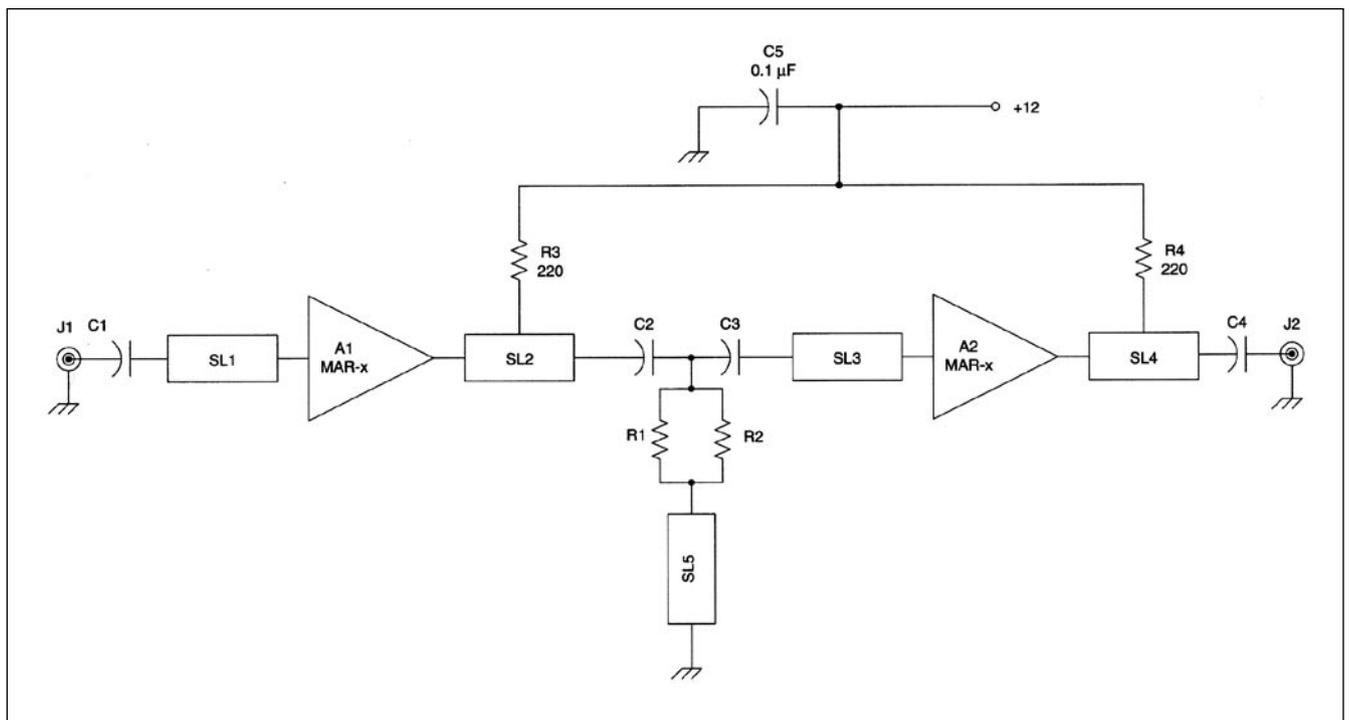


Abb. 13.9: Streifenleitungs-Verstärker in Kaskadenschaltung

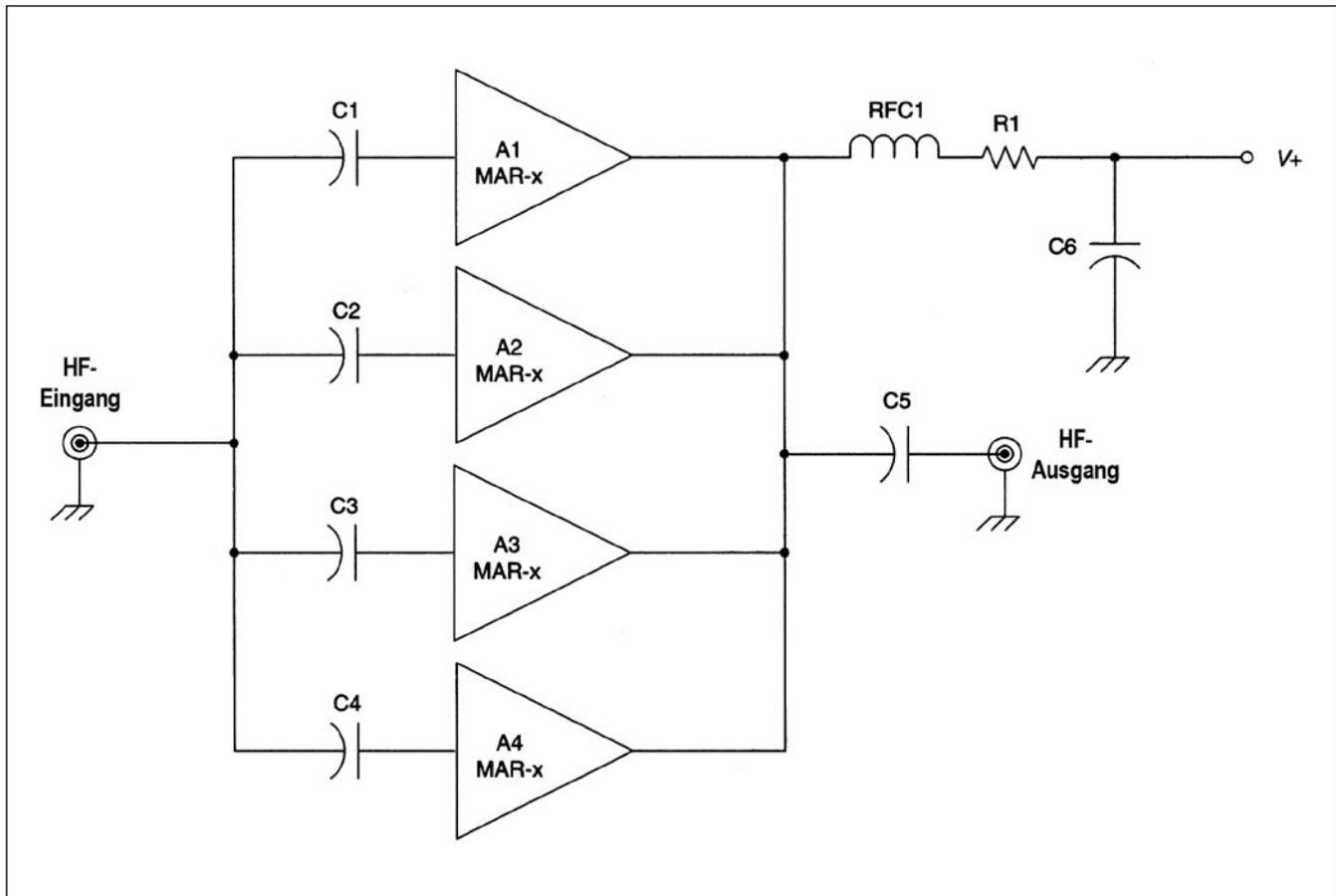


Abb. 13.10: Parallelschaltung erhöht die Ausgangsleistung

seines Frequenzbereiches arbeitet. Wenn Sie die Erdungsfläche als Masserrückleitung für den Gleichstrom und die Signale verwenden, sind Durchkontaktierungen zwischen den beiden Seiten des Boards erforderlich. Sie müssen direkt unter den Masseanschlüssen der MAR-x-Verstärker vorgesehen werden.

Schaltungen mit mehreren Verstärkern

Die MAR-x-Verstärker können in Kaskade, parallel oder im Gegentakt angeordnet werden. Die Kaskadenschaltung erhöht die Gesamtverstärkung, während die Parallel- oder Gegentaktschaltung die vorhandene Ausgangsleistung vergrößern.

Das einfachste Schema für die Kaskadenschaltung besteht darin, zwei Stufen wie in Abb. 13.4 so in Reihe zu schalten, dass der Ausgangskondensator der ersten Stufe der Eingangskondensator der zweiten Stufe wird. Abbildung 13.9 zeigt eine etwas bessere Lösung. Diese Schaltung verwendet Anpassschaltungen in Streifenleitungstechnik an den Eingängen und Ausgängen und zwischen den einzelnen Stufen. Tabelle 13.3 enthält die Abmessungen die-

ser Leitungen für zwei verschiedene Fälle: Fall A gilt für einen Verstärker von 100 bis 500 MHz, Fall B für einen Verstärker von 500 bis 2000 MHz. In beiden Fällen wird ein MAR-8 als aktives Bauelement verwendet.

Die Parallelschaltung zeigt Abb. 13.10. Die MAR-x können zur Erhöhung der Ausgangsleistung direkt parallel verbunden werden. In Abb. 13.10 sind vier MAR-x parallelgeschaltet; dadurch erhält man die vierfache Leistung eines einzelnen Bauelements. Andere Kombinationen sind ebenfalls möglich. Ich baute eine Version mit zwei Verstärkern als Ausgangstufe für einen Signalgenerator.

Leider betragen die Ein- und Ausgangsimpedanzen bei Parallelschaltung nicht mehr 50 Ohm sondern vielmehr $50/N$, wobei N die Anzahl der parallelgeschalteten Bauelemente ist. In Abb. 13.10 betragen die Ein- und Ausgangsimpedanzen $50/4$ bzw. 12,5 Ohm. Daher muss eine Maßnahme zur Impedanzanpassung vorgesehen werden, um die Impedanzen auf die standardmäßigen 50 Ohm in HF-Systemen zu transformieren. Da die meisten Bauelemente zur Impedanz-Transformation jedoch nicht die selbe große Bandbreite wie die MAR-x-Verstärker haben, gibt es insgesamt eine Verringerung der Bandbreite der gesamten Schaltung.

Die Konfiguration des Gegentakt-Verstärkers zeigt Abb.

Monolithische, integrierte Mikrowellenschaltungen

Bauelement	Fall A	Fall B
R1	124 Ω	69.1 Ω
R2	69.8 Ω	69.1 Ω
C1, C4	470 pF	68 pF
C2	1.5 pF	2 pF
C3	7.5 pF	2 pF

Kondensatoren sind Chip-Typen; Widerstände sind 1% Chipausführungen

	W x L	
SL1	2.54 x 2.54 mm	1.02 x 2.54 mm
SL2	2.54 x 1.27 mm	1.02 x 2.54 mm
SL3	2.54 x 5.08 mm	1.02 x 2.54 mm
SL4	2.54 x 2.54 mm	1.02 x 2.54 mm
SL5	1.27 x 5.08 mm	1.27 x 5.08 mm

Tabelle 13.3

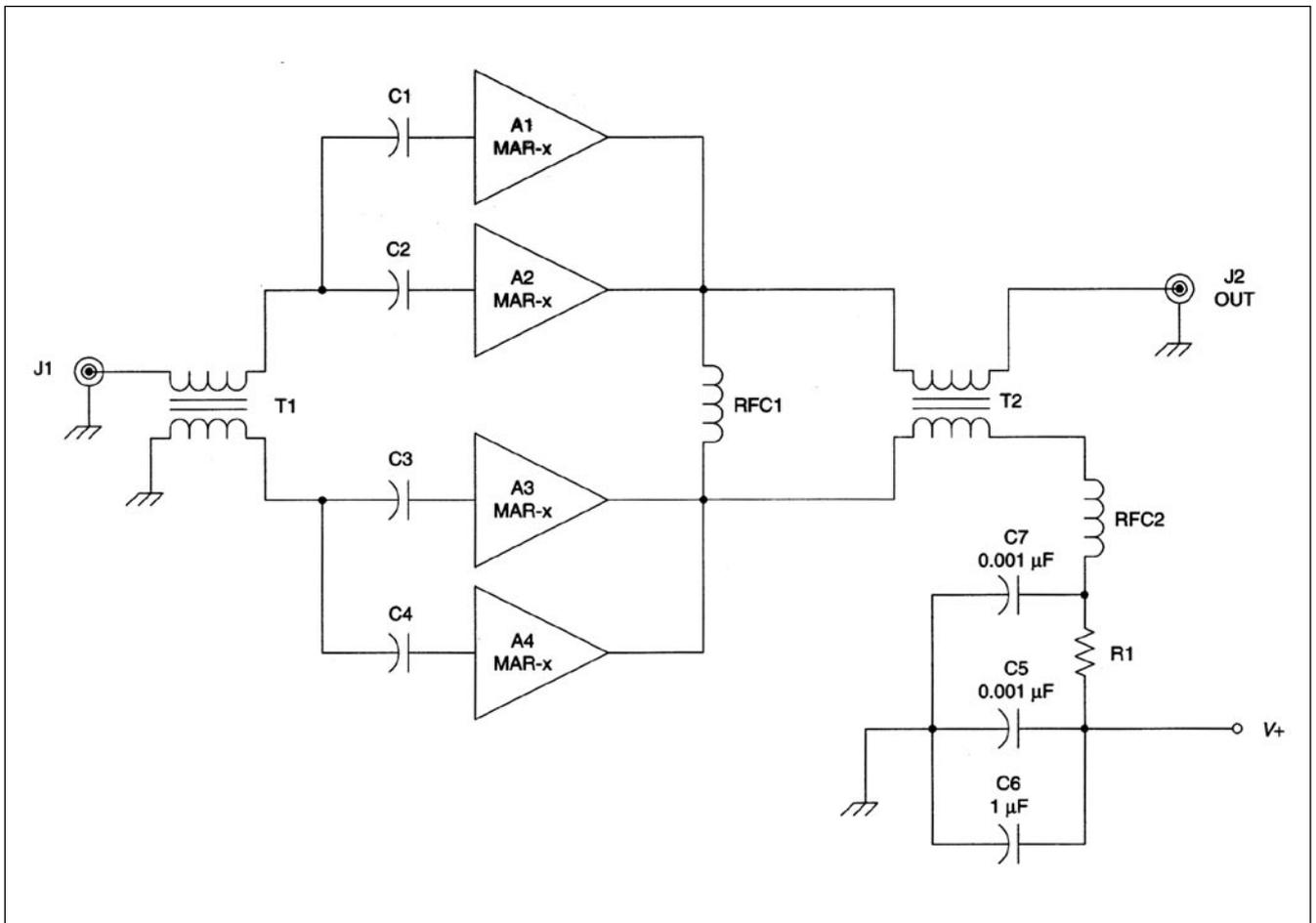


Abb. 13.11: Gegentakt-Anordnung

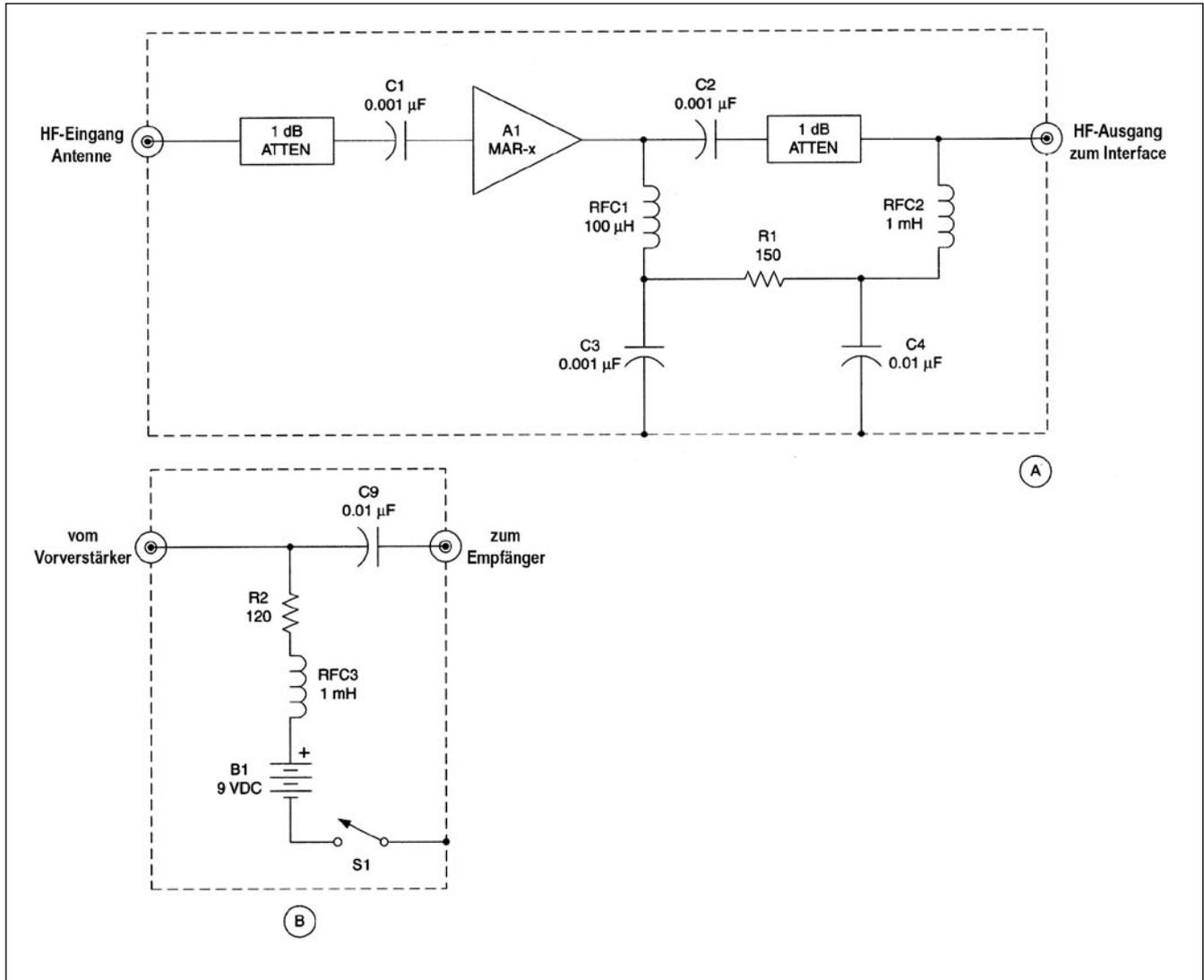


Abb. 13.12: (A) Geschirmter MMIC-Verstärker für Mastmontage; (B) Gleichstromversorgung für Mastverstärker.

13.11. In dieser Schaltung gibt es zwei Gruppen von jeweils zwei MAR-x. Die beiden Gruppen werden im Gegentakt verbunden. Der Verstärker hat den Leistungspegel und die Verstärkung der Parallelschaltung, jedoch werden die Verzerrungen der zweiten Oberwelle verringert, die bei manchen parallelen Konfigurationen auftreten. Gegentakt-Verstärker reduzieren aufgrund ihres Prinzips die ungeradzahigen Oberwellen.

Die Eingangs- und Ausgangstransformatoren (T1 und T2) der Schaltung in Abb. 13.11 sind Balun-Typen und sorgen für eine 180-Grad-Phasenverschiebung der Signale für die beiden Hälften des Verstärkers. Die Balun-Transformatoren werden üblicherweise mit CuL-Draht mit einer Stärke von 0,4 mm oder weniger auf Ferrit-Ringkerne gewickelt. Weil die Balun-Transformatoren im Hinblick auf ihren Frequenzgang beschränkt sind, wird diese Schaltung typisch für Mittel- und Kurzwellen-Anwendungen verwendet. Die Transformatoren werden üblicherweise mit sechs

oder sieben Windungen bifilar auf einen Ringkern gewickelt. Die Kupferlackdrähte sollten zuvor miteinander verdreht werden (ca. 2 Umdrehungen pro cm).

Breitband-Vorverstärker für Mastmontage

Dieses Projekt beschreibt einen Vorverstärker auf der Basis des ICs MAR-1, der abgesetzt betrieben werden kann und direkt über sein eigenes Koaxkabel gespeist wird.

Abbildung 13.12A zeigt die Schaltung des abgesetzten Teils. Er besteht aus einem Standard-MAR-1-Baustein aber mit optionalen 1-dB-Abschwächern in Serie mit den Ein- und Ausgängen. Die Dämpfungsglieder werden zur Erhöhung der Stabilität eingesetzt, aber nicht jeder wird sie verwenden wollen. Wenn Sie Eigenschwingungen riskieren wollen und die zusätzlichen 2 dB Verstärkung benö-

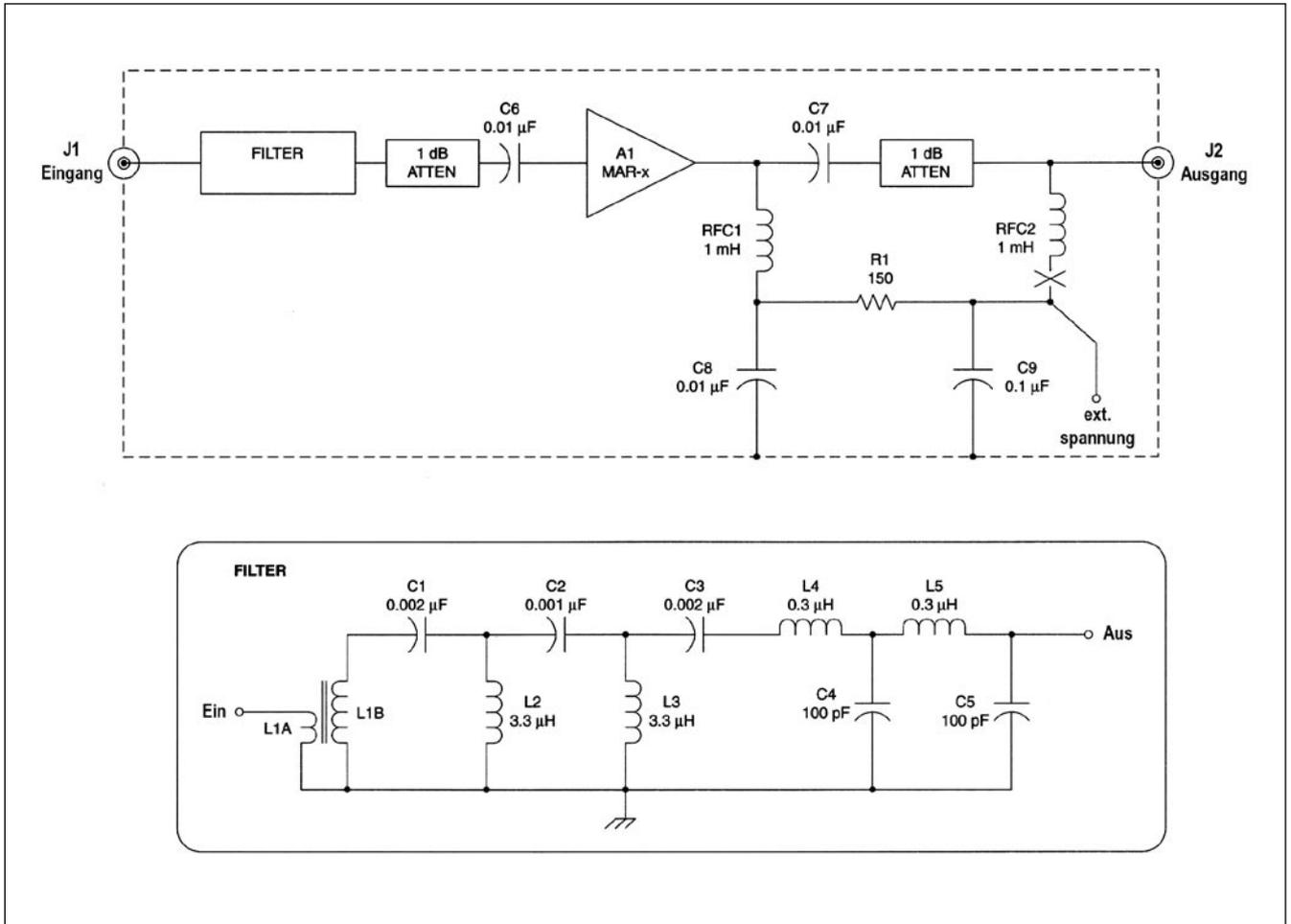


Abb. 13.13: Eingangsfiter in der Schaltung

tigen, dann lassen Sie die Abschwächer weg.

Beachten Sie, dass der Anschluss des Widerstands R1, der sonst mit der Versorgungsspannung verbunden ist, hier am Koaxialsteckverbinder J2 liegt. Eine 1-mH-HF-Drossel (RFC2) entkoppelt den Gleichstrompfad von dem in Koaxialkabel übertragenen HF-Signal. In ähnlicher Weise isoliert ein Abblock-Kondensator (C5) den MAR-1 und das Dämpfungsglied von der Gleichspannung auf der Koaxleitung.

Die gesamte Schaltung muss in einem abgeschirmten, wetterfesten Gehäuse eingebaut werden. Wenn Sie kein passendes Gehäuse haben, dann verwenden Sie ein einfaches Aluminiumgehäuse und dichten Sie es mit Silikon oder etwas Ähnlichem ab.

Am empfängerseitigen Ende des Koaxialkabels wird ein geeignetes Interface zur Einspeisung der Gleichspannung benötigt. Eine dafür brauchbare Schaltung zeigt Abb. 13.12B. Zur Gleichstromversorgung wird eine 9-V-Batterie verwendet. Auch hier isoliert eine HF-Drossel die Gleichstromversorgung von der HF in der Schaltung, während ein Gleichspannungs-Abblockkondensator (C9) dazu dient, die Spannung vom Empfängereingang fernzuhalten.

Breitband-HF-Verstärker

Abbildung 13.13 zeigt die Verwendung eines MAR-1 in einem Breitbandvorverstärker für das Frequenzband von 3 bis 30 MHz. Wie die vorherige Schaltung ist auch dieser Verstärker für Mastmontage vorgesehen, er kann aber, wenn die Stromversorgung am Punkt „X“ unterbrochen wird, auch anders verwendet werden. Die Stromversorgung kann über die in Abb. 13.12B gezeigte Schaltung erfolgen.

Der wichtigste Unterschied zwischen dieser Schaltung und der vorherigen ist das Bandpass-Filter am Eingang. Es besteht aus einem 1600-kHz-Hochpass gefolgt von einem 32-MHz-Tiefpass. Die Schaltung verhindert, dass starke, außerhalb dieses Bereichs liegende Signale, den Betrieb des Vorverstärkers zu stören. Da der MAR-1 ein sehr breitbandiges Bauelement ist, spricht er nämlich auch auf alle AM- und FM-Rundfunksignale an seinem Eingang an.

