



HF-Verstärker RFA 401 Teil 2

Die interessante Schaltungstechnik und den Nachbau beschreiben wir im zweiten und zugleich abschließenden Teil dieses Artikels.

Schaltung

Der HF-Verstärker RFA 401 ist in 50 Ω -Technik aufgebaut und arbeitet über den weiten Frequenzbereich von 10 MHz bis 1,3 GHz (-3 dB) mit einer Verstärkung von typ. 26 dB. Die geringe Welligkeit im Frequenzgang und der maximale Ausgangspegel von +10 dBm (10 mW an 50 Ω) sind weitere Leistungsmerkmale, die die universelle Einsetzbarkeit dieses HF-Verstärkers gewährleisten.

Die Schaltung des kompakten HF-Verstärkers RFA 401 ist in Abbildung 2 dargestellt. Das Kernstück bildet das MMIC-Gain-Block-IC vom Typ INA 10386. Dieser Verstärker-Baustein beinhaltet, wie schon im ersten Teil des Artikels ausführlich beschrieben, neben den aktiven Stufen

auch alle Komponenten zur Arbeitspunktstabilisierung und für die breitbandige Anpassung, sowohl eingangsseitig als auch ausgangsseitig. Das IC ist intern auf 50 Ω -Ein- und Ausgangslast angepaßt.

Aufgrund dieser Komplexität des ICs sind für den Aufbau eines Verstärkers nur noch wenige externe Bauteile notwendig. Die Kondensatoren C 5 und C 6 sorgen für eine kapazitive Entkopplung des Einganges, während die Kapazitäten C 7 und C 8 dafür sorgen, daß die ausgangsseitig anliegende DC-Versorgungsspannung nicht auf den HF-Ausgang gelangt.

Das HF-Eingangssignal gelangt über die BNC-Eingangsbuchse BU 1 auf das Anschlußpad ST 3. Eine 50 Ω -Streifenleitung führt das anliegende HF-Signal über die Koppelkapazitäten auf den Eingang des HF-Gain-Blocks IC 2. Diese Verstärker-

stufe sorgt dann für die Signalanhebung um typ. 26 dB. Über die 50 Ω -Streifenleitungen, die Koppelkapazitäten und das Anschlußpad ST 6 wird dann das verstärkte Signal der HF-Ausgangsbuchse BU 2 zugeführt.

Die Koppelkapazitäten sind jeweils als Parallelschaltung zweier Kondensatoren ausgeführt, die im Layout so platziert sind, daß diese im eingebauten Zustand genau die Breite einer 50 Ω -Leiterbahn besitzen. So werden zusätzliche Stoßstellen im Signalweg vermieden, die unweigerlich schlechtere Ein- und Ausgangsreflexionsfaktoren nach sich ziehen. Weiterhin verringern sich durch diese Maßnahme die parasitären Eigenschaften der Kondensatoren.

Der eigentliche HF-Signalweg ist somit schon komplett beschrieben, und wir wen-

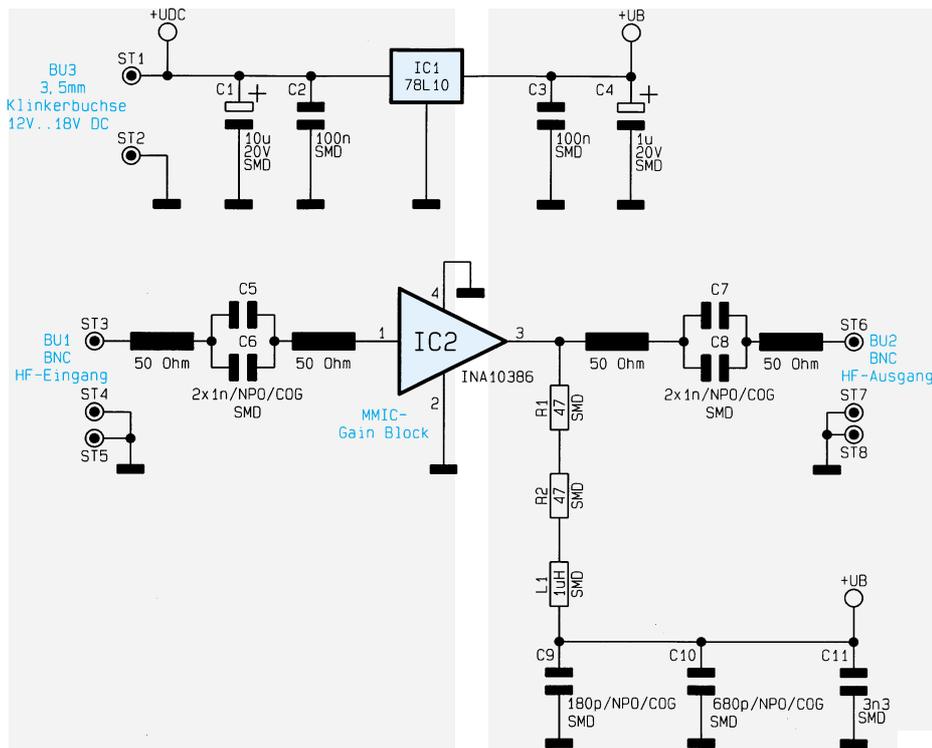


Bild 2: Schaltbild des HF-Verstärkers

den uns nun dem einfacheren Gleichspannungsteil des RFA 401 zu. Die Spannungsversorgung des Gerätes erfolgt über die 3,5mm-Klinkenbuchse. Die hier anstehende DC-Versorgungsspannung, die im Bereich von 12 V bis 16 V liegen muß, wird über die Lötösen ST 1 und ST 2 zugeführt, mit den Kondensatoren C 1 und C 2 gepuffert und gelangt dann auf den Spannungsregler IC 1. Die speisende Versorgungsspannung muß dabei mindestens einen Strom von 60 mA liefern können.

An seinem Ausgang Pin 1 stellt der Spannungsregler die auf 10 V stabilisierte Betriebsspannung U_B für die Stromversorgung des HF-Verstärker-ICs zur Verfügung, die hier wiederum mit C 3 und C 4 gepuffert wird.

Über die Drossel L 1 und die Widerstände R 1 und R 2 wird dem Verstärker IC 2 seine Betriebsspannung zugeführt. Mit Hilfe der Bias-Widerstände R 1, R 2 muß bei einem vorgeschriebenen Device-Strom des INA 10386 von $I_d = 45$ mA eine Device-Spannung von ca. 6 V am Gain-Block-Ausgang eingestellt werden. Der so ermittelte Widerstandswert ist hier auf

zwei Einzelwiderstände aufgeteilt, da die entstehende Verlustleistung nicht über einen einzelnen SMD-Widerstand abgeführt werden kann. Eine weitere Aufgabe dieser Widerstände und der Drossel ist die Entkopplung zwischen dem HF-Signalweg und dem Gleichspannungszweig.

Durch die breitbandige Blockung mit Hilfe der gestaffelten Kapazitätswerte C 9, C 10 und C 11 wird der DC-Zweig HF-mäßig nach Masse kurzgeschlossen. Somit wird

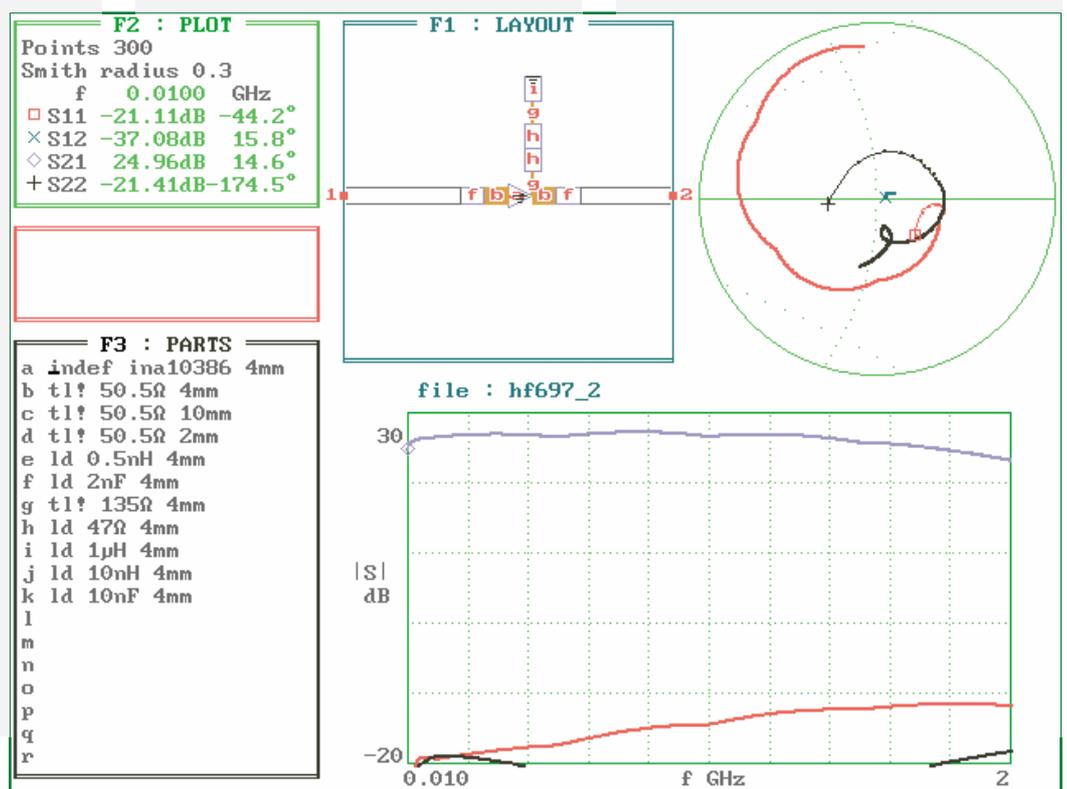
verhindert, daß die hochfrequenten Signale den Spannungsregler IC 1 beeinflussen und/oder über die DC-Versorgungsleitung abgestrahlt werden. Letzteres ist vor allem aus der Sicht der elektromagnetischen Verträglichkeit dieser Schaltung nicht zulässig.

Für die Betrachtung der Schaltung hinsichtlich ihrer HF-Eigenschaften kann das Kleinsignal-Ersatzschaltbild herangezogen werden. Für diese kompakte Schaltung bleibt, ideale Bauteile vorausgesetzt, nur der Verstärker-Baustein IC 2 als einziges Element des Ersatzschaltbildes über. Die Koppelkapazitäten werden als Kurzschluß betrachtet, und die Drossel L 1 kann als unendlicher Widerstand angesehen werden.

Theoretisch könnte das Verhalten der gesamten Verstärkerschaltung aufgrund der bekannten technischen Daten des INA 10386, die in der Hochfrequenztechnik durch die sog. Streuparameter beschrieben werden, exakt vorausbestimmt werden. Eine entsprechende Simulation mit idealen Bauteilen gibt dann auch einen entsprechend idealen Verlauf von Verstärkung und Rückflußdämpfung, den Bauteildaten entsprechend, wieder. Eine solche Simulation, die leider mit der Wirklichkeit nicht viel gemeinsam hat, ist in Abbildung 3 dargestellt.

Die Abweichungen zum tatsächlichen praktischen Aufbau treten vor allem aufgrund vieler parasitärer Einflüsse auf. So sind die Koppelkapazitäten nicht ideal, und vor allem die Drossel trägt ihren Namen ab ihrer Eigenresonanzfrequenz eigentlich zu unrecht, da sich hier dann die Wicklungskapazitäten stark auswirken.

Bild 3: Simulation mit idealen Bauelementen



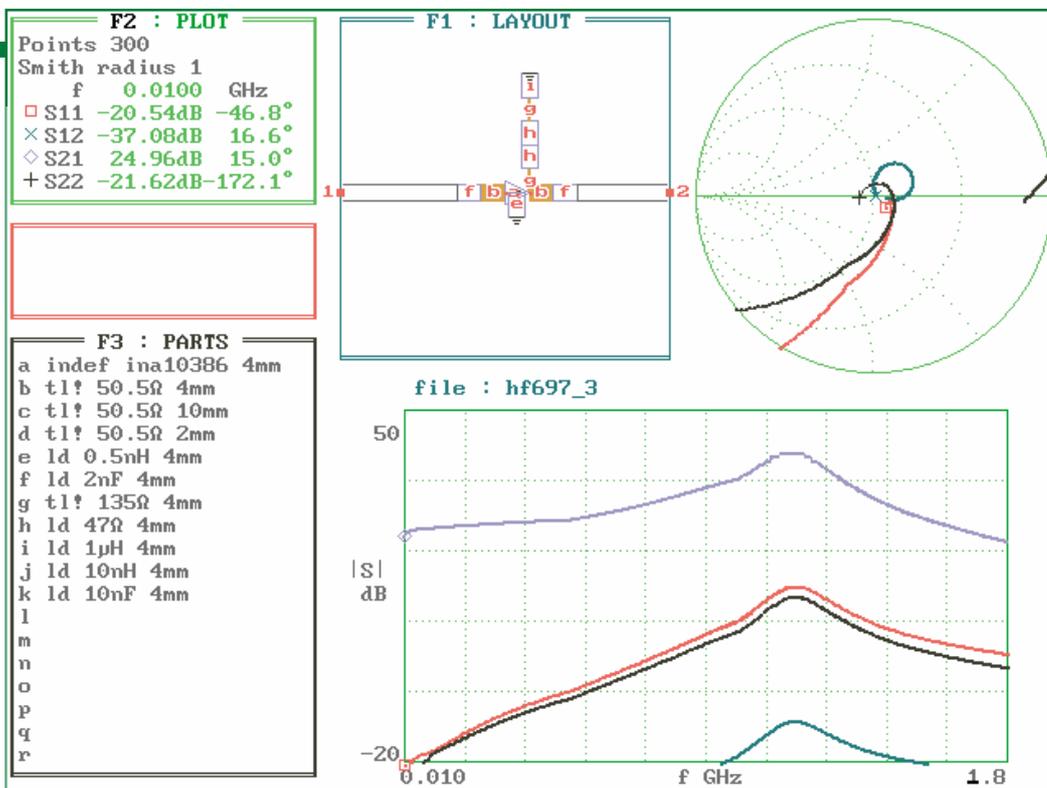


Bild 4: Simulation mit idealen Bauelementen und nicht idealen Durchkontaktierungen

tion und Aufbau gemacht werden, da alle zum Aufbau gehörenden Komponenten und Arbeitsschritte auch die Funktion beeinflussen. So sind hier die Leiterbahnen nicht als reine Verbindungsleitung zwischen Punkt A und Punkt B zu sehen, sondern die Leiterbahnen stellen als Streifenleitung ein Bauteil der Hochfrequenztechnik dar.

Die gesamte Schaltung des HF-Verstärkers RFA 401 findet auf der 47 mm x 50 mm messenden Platine Platz. Die ungewöhnliche Form dieser

doppelseitigen Platine ergibt sich aus der Form des verwendeten Alu-Druckguß-Gehäuses.

Alle Bauteile des HF-Verstärkers werden auf der Bestückungsseite montiert. Bei der Bestückung ist zu beachten, daß die Durchkontaktierungen, die keine Bauteile aufnehmen, nicht mit Lötzinn volllaufen, da hierdurch die Wirkung dieser Durchkontaktierung nicht mehr optimal ist.

Aber auch die als ideal angesehenen Masseverbindungen sind mit parasitären Effekten behaftet. So darf eine Durchkontaktierung von einem Masseanschluß auf der Platinenoberseite zur „Bezugsmasse“ auf der Unterseite nicht als ideale Verbindung angesehen werden. Vielmehr wirkt sich hier die Induktivität der Durchkontaktierung aus. Aus Erfahrung kann hier von einem Wert von ca. 0,5 nH pro Durchkontaktierung ausgegangen werden. Dieser Wert, der im ersten Augenblick recht unbedeutend wirkt, führt aber zu einer erheblichen Verschlechterung der Ein- und Ausgangsreflexionsfaktoren. In Abbildung 4 ist eine entsprechende Simulation dargestellt, die sich gegenüber der Simulation in Abbildung 3 (ideale Bauteile) nur durch die eingefügten „Durchkontaktierungen“ in Form von 0,5nH-Induktivitäten unterscheidet.

Durch den Vergleich beider Simulationen ist leicht zu erkennen, wie kritisch hier vor allem die Masseanbindung des Verstärkerbausteines IC 2 ist. Bei ungünstigem Layout sind hier vor allem Auswirkungen auf den Ein- und Ausgangsreflexionsfaktor zu erwarten, die so weit führen können, daß der Verstärker zu schwingen beginnt.

Bei der Ausführung des Layouts ist somit auf eine besonders gute Anbindung der Bauteilmasse geachtet worden, um Schwingneigungen des Verstärkers zu unterdrücken. Weiterhin unterbinden die getrennten Masseflächen auf der Platinenoberseite etwaige Mitkopplungen und somit weitere Schwingneigungen. Hierzu sind die Masse auf der Eingangsseite, die Masseanschlüsse des Verstärkers und die ausgangsseitige Masse getrennt ausgelegt.

Neben der „sauberen“ Masseanbindung ist auch eine optimale Signalzuführung zum Verstärker-IC wichtig, um sich dem angestrebten Idealbild aus der Simulation so gut wie möglich anzunähern. Die 50Ω-Streifenleitungen werden dazu keilförmig an den Ein- und Ausgangspin des ICs herangeführt. So lassen sich zusätzliche Stoßstellen, die zusätzliche Reflexionen nach sich ziehen, vermeiden.

Alle diese Designregeln, um die parasitären Effekte von Bauteilen und die Unzulänglichkeiten beim Aufbau zu minimieren, sind im Schaltbild nicht zu erkennen. Sie sind jedoch ein Hauptbestandteil der Entwicklung einer solchen Schaltung und finden sich hier im optimierten Layout und den speziellen Anweisungen beim Aufbau der Verstärkerstufe wieder.

Wie aus den Simulationsergebnissen in den Abbildungen 3 und 4 zu erkennen, werden die Funktion und die technischen Daten einer Schaltung für den Hochfrequenzbereich in wesentlicher Form durch die Ausführung des Aufbaus bestimmt, durch die Schaltung an sich sind nur die maximal erreichbaren technischen Daten vorgegeben. Diese können aber durch einen nicht durchdachten Aufbau nahezu beliebig verschlechtert werden.

Da die Besonderheiten des Platinenlayouts bereits in obiger Schaltungsbeschreibung mit eingeflossen sind, werden wir in der nun folgenden Nachbaubeschreibung hauptsächlich den eigentlichen Aufbau erläutern.

Nachbau

Bei einer solchen HF-Schaltung kann eigentlich keine Trennung zwischen Schal-

Stückliste: HF-Verstärker RFA 401

Widerstände:

47Ω/SMD R1, R2

Kondensatoren:

180pF/SMD/NPO/COG C9
680pF/SMD/NPO/COG C10
1nF/SMD/NPO/COG C5-C8
3,3nF/SMD C11
100nF/SMD C2, C3
1µF/16V/SMD C4
10µF/16V/SMD C1

Halbleiter:

78L10 IC1
INA10386 IC2

Sonstiges:

SMD-Induktivität, 1µH L1
1 Klinkenbuchse, 3,5 mm, Einbau, Lötanschluß
2 BNC-Einbaubuchsen, 50 Ω
1 Alu-Druckguß-Metallgehäuse, G104, bearbeitet und bedruckt
2 Masseanschlußbleche
3 cm Schalllitze, 0,22 mm², rot
3 cm Schalllitze, 0,22 mm², schwarz

Die Bestückungsarbeiten beginnen wir mit dem Einbau der Kondensatoren. Hier ist besonders sorgfältig vorzugehen, da diese keinen Wertaufdruck besitzen und anschließend nur durch explizites Ausmessen identifizierbar sind. Beim Einbau der SMD-Elektrolyt-Kondensatoren muß die richtige Polarität beachtet werden. Die Markierung auf dem Bauteil kennzeichnet dabei den Pluspol des Elkos.

Die Koppelkondensatoren C 5 und C 6, bzw. C 7 und C 8 sind so einzusetzen, daß beide Kondensatoren nebeneinander genau die Breite der 50Ω-Leiterbahn ausfüllen. Dazu sind die beiden parallel geschalteten Kondensatoren direkt nebeneinander zu plazieren und anschließend gemeinsam anzulöten.

Anschließend werden die Widerstände und die Drossel bestückt. Der im nächsten Arbeitsschritt einzubauende Spannungsregler IC 1 ist das einzige Bauteil in Nicht-SMD-Bauform und muß daher von der Platinenunterseite angelötet werden, genauso wie die beiden anschließend einzusetzenden Lötösen in die Bohrungen ST 1 und ST 2.

Den Abschluß der Bestückungsarbeiten bildet der Einbau des MMIC-Gain-Blocks IC 2, wobei die richtige Einbaulage zu beachten ist. Mit dem angeschrägten Pin und der Punktmarkierung auf dem Bauteil ist der Pin 1 gekennzeichnet. Diese Markierung muß mit der Markierung im Bestückungsdruck übereinstimmen. Beim Einbau des Verstärker-Bausteines ist besonders vorsichtig vorzugehen, da das IC aufgrund seiner Bauform nur eine kleine Wärmeableitfähigkeit besitzt und deshalb durch zu langes oder zu heißes Löten leicht zerstört werden kann.

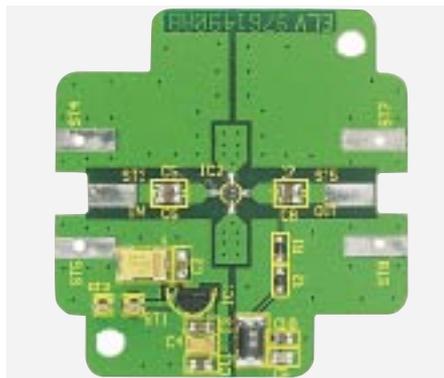
Ist die Platine soweit bestückt, sollte vor der nun folgenden Gehäusemontage die Platine auf Kurzschlüsse, Bestückungsfehler und kalte Lötstellen hin untersucht werden.

Gehäuseeinbau

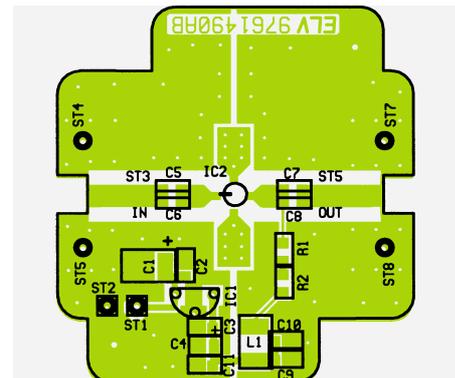
Die Platine ist für den Einbau in ein hochwertiges Alu-Druckguß-Metallgehäuse vorgesehen. Dieses robuste Gehäuse mit den Außenabmessungen 64 x 58 x 35 mm ist eines der neuen Alu-Druckguß-Metallgehäuse aus einer Serie von 8 verschiedenen Gehäusevarianten.

Für diese Anwendung ist das Alu-Druckguß-Gehäuse hervorragend geeignet, da die Verstärkerschaltung so auch für den rauen Laboreinsatz bestens ausgelegt ist.

Wir beginnen die Gehäusemontage mit dem Einbau der Platine. Diese wird ins Gehäuse eingesetzt, exakt über den Befestigungsbohrungen ausgerichtet und dann mit den Schrauben 3,5 x 6 mm und unter-



Fertig aufgebaute Platine mit zugehörigem Bestückungsplan



legten Fächerscheiben befestigt. Anschließend werden die BNC-Buchsen eingebaut.

Dazu müssen zuerst die im Inneren des Gehäuses befindlichen Teile der BNC-Buchsen vor der entsprechenden Bohrung positioniert werden. Anschließend wird dann von außen die BNC-Buchse eingeführt und angeschraubt. Die innen liegenden Teile sind in der Reihenfolge Masseanschlußblech, Zahnscheibe, Mutter zu positionieren. Das Masseanschlußblech muß dabei so montiert werden, daß die breite Seite des Bleches zum Gehäusedeckel zeigt. Alsdann wird die BNC-Buchse von außen durch die Bohrung, das Masseanschlußblech und die Zahnscheibe geführt und dann in die Mutter eingedreht. Beim Festziehen der Buchse muß darauf geachtet werden, daß das Masseanschlußblech horizontal ausgerichtet ist, da sonst die Verbindung zur Platine nicht ordnungsgemäß erfolgen kann.

Bevor der Masseanschluß der Buchsen hergestellt wird, sind die mittig auf den entsprechenden Pads aufliegenden „heißen“ Anschlüsse (Mittenkontakte) der BNC-Buchsen anzulöten. Die Masseverbindungen zwischen den BNC-Buchsen und der Platine werden durch die Masseanschlußbleche hergestellt. Dazu sind die seitlichen Laschen dieser Bleche so um 90° abzuwickeln, daß diese an die mit ST 4, ST 5, ST 7 und ST 8 bezeichneten Löt pads angelötet werden können. Die Masseanschlußbleche sind unter Zugabe von ausreichend Lötzinn sorgfältig zu verlöten, da sich die Masseverbindung BNC-Buchse - Platine unmittelbar auf den Frequenzgang und die Ein- und Ausgangsreflexionsfaktoren auswirkt.

Nachdem die kritischen HF-Verbindungen fertiggestellt sind, wird die 3,5mm-Klinkenbuchse zur Spannungsversorgung eingesetzt. Zuvor müssen hier aber noch die Verbindungsleitungen zur Platine angelötet werden. Dazu wird die Buchse so auf die Arbeitsunterlage gelegt, daß sich die Lötanschlüsse seitlich und oben befinden, d. h. der Abgreif-Flansch unten ist. Jetzt wird an den, von hinten gesehen, linken Lötanschluß die schwarze 0,22mm²-

Leitung angelötet und an den rechten Lötflansch die rote Leitung. Anschließend ist die Buchse in die entsprechende Bohrung im Alu-Druckguß-Metallgehäuse einzubauen. Die Verbindung zur Platine wird durch das Anlöten der roten Leitung an die Lötöse ST 1 und der schwarzen Leitung an ST 2 hergestellt. Somit ist der Gehäuseeinbau abgeschlossen, und die Schaltung kann in Betrieb genommen werden.

Inbetriebnahme / Bedienung

Zur Inbetriebnahme des HF-Verstärkers RFA 401 wird an der Klinkenbuchse, dem Versorgungsspannungseingang, eine Gleichspannung im Bereich von 12 V bis 16 V angeschlossen. Anschließend sollte mit einem Multimeter die +10V-Ausgangsspannung des Spannungsreglers kontrolliert werden. Durch eine weitere Messung an Pin 3 des Verstärkers IC 2 kann noch die Device-Spannung geprüft werden, die in einem Bereich von 6 V ± 0,5 V liegen sollte. Stehen diese Spannungen ordnungsgemäß an, so kann im allgemeinen davon ausgegangen werden, daß der HF-Verstärker ordnungsgemäß arbeitet, einen fehlerfreien Aufbau vorausgesetzt.

Anschließend wird der Gehäusedeckel festgeschraubt. In die Nut im Deckel ist zuvor das Dichtungsband einzulegen und entsprechend zu kürzen. Mit Hilfe der vier M4-Senkkopfschrauben wird dann der Gehäusedeckel endgültig angeschraubt.

Wenn entsprechendes Meßequipment zur Verfügung steht, kann anschließend zur Endkontrolle der Frequenzgang der Schaltung aufgenommen und die Verstärkung geprüft werden.

Das am BNC-Eingang BU 1 eingespeiste Signal erscheint um 23 dB verstärkt an der Ausgangsbuchse BU 2. Wobei der Frequenzgang ähnlich wie in Abbildung 1 („ELVjournal“ 6/97) dargestellt aussehen sollte. Kleine Abweichungen sind hier aufgrund der individuellen Aufbauweise möglich. Somit ist der HF-Verstärker RFA 401 fertig aufgebaut und kann in einem seiner vielen Einsatzgebiete Anwendung finden.