

Ein ZF-Nachsetzer, wie ihn die Industrie nicht baut (1)

Dipl.-Ing. WERNER SCHNORRENBURG – DC4KU

Die meisten kommerziellen Amateurfunktransceiver und -empfänger sind für den amerikanischen bzw. japanischen Markt konzipiert. Unter den Verhältnissen des europäischen Äthers kommen sie bisweilen ganz schön ins Schwitzen. Demgegenüber gelingt es im Amateurlabor, Empfängereingangsteile zu realisieren, die eine den hiesigen Verhältnissen adäquate Großsignalfestigkeit aufweisen.

Im folgenden stellt der Autor das ZF-Teil seines Eigenbautransceivers vor, wobei er insbesondere dem Problem der Regelspannungserzeugung für SSB-Empfang breiten Raum widmet.

Der Beitrag beschreibt Aufbau und Arbeitsweise eines regelbaren, dynamischen 9-MHz-ZF-Verstärkers mit Demodulatoren für SSB/CW, AM und FM. Dieser Empfangsnachsetzer kann beispielsweise hinter einem großsignalfesten HF-Eingangsteil, vorgestellt in [17], angeordnet werden. Die eigentliche Signalselektion geschieht durch ein oder mehrere 9-MHz-Quarzfilter im HF-Eingangsteil. Der regelbare ZF-Verstärker, die Regelschleife

Verstärkung und Einschwingverhalten genügen. Da in einem großsignalfesten HF-Eingangsteil praktisch keine Verstärkung stattfindet, ist eine hohe Eingangsempfindlichkeit des ZF-Zugs im Interesse einer insgesamt geringen Gesamttauschzahl unabdingbar.

Die Eingangsempfindlichkeit hat auf jeden Fall zu gewährleisten, daß die Rauschzahl des ZF-Verstärkers nicht überwiegt. Letzterer muß ferner über einen hohen

Forderungen an einen ZF-Nachsetzer

- Betriebsarten: SSB, CW, AM und FM
- Verstärkung bis Produktdetektor: > 70 dB
- Rauschzahl: < 3 dB
- Nomineller ZF-Ausgangspegel: -25 dBm für CW/SSB, -10 dBm für AM
- Verstärkung bis zum Ausgang der HF-Regelstufe: 100 dB
- Dynamikbereich: ≥ 120 dB
- IM-Abstand innerhalb der ZF: > 40 dBc
- Pegelbereich: -130...+10 dBm
- Unterdrückung von Störpulsissignalen
- Kurze AGC-Ansprechzeit
- Keine Überschwingen des Regelkreises
- Einstellbare Regelzeitkonstanten
- Hängeregulung für SSB/CW
- Kombinierte HF-/NF-Regelung
- Ein- und Ausgänge in 50-Ω-Technik

auf einen definierten NF-Pegel abgeregelt werden. Die demnach geforderten Eigenschaften eines 9-MHz-Empfangsnachsetzers faßt obenstehender Kasten noch einmal zusammen.

■ Aufbau der Gesamtschaltung

Meinen Empfangsnachsetzer habe ich, wie Bild 1 zeigt, verteilt in drei separaten, geschirmten Weißblechgehäusen mit den Abmessungen 145 mm × 35 mm × 30 mm auf Lochrasterplatten aufgebaut. Die HF-Verbindung zwischen den Baugruppen erfolgt mittels BNC-Steckern und -Buchsen. Der getrennte Aufbau der Schaltungen hat den Vorteil, daß die einzelnen Baugruppen unabhängig von der Gesamtschaltung aufgebaut, durchgemessen und optimiert werden können. Das Zusammenspiel der einzelnen Baugruppen geht ferner aus Bild 2 hervor.

Der ZF-Verstärker-Zug in der Mitte arbeitet breitbandig, in 50-Ω-Technik, mit viel Massefläche zwischen den Lötunkten. Selektionskreise sind bewußt weggelassen, um störende Signallauf- und Einschwingzeiten im Regelkreis zu minimieren. Lediglich am ZF-Ausgang vor dem Produktdetektor befindet sich ein Quarz-Dual zur Verminderung des Breitbandrauschens.

In einem zweiten Gehäuse gleicher Abmessung, links in Bild 1 zu erkennen, befinden sich der Regelspannungsverstärker mit Gleichrichtung und Regelzeiteinstellung sowie ein FM-ZF-Verstärker mit einem Quarz-Diskriminator.

Im dritten Gehäuse, rechts in Bild 1, sind die Demodulatoren für SSB/CW und AM sowie ein SSB-Modulator zur Generierung eines Sendesignals untergebracht.

■ Zur Auslegung der Regelung

Wir betrachten zunächst den Regelkreis eines AM-Empfängers etwas eingehender, da er dem eines SSB-Empfängers in vielen Punkten ähnlich ist.

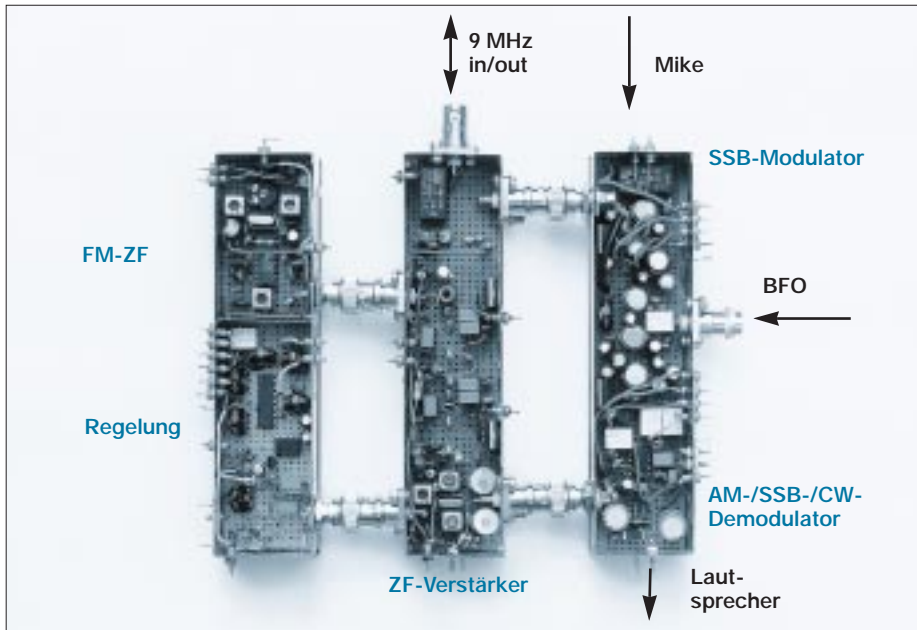


Bild 1: Die drei Einzelbaugruppen ZF-Verstärker, Regelspannungserzeugung und FM-ZF/Sendemodulator sind jeweils separat abgeschirmt. Foto: DC4KU

(AGC) und der Demodulator stellen sozusagen das Herz eines jeden Empfängers dar. Leider werden in vielen Schaltungsentwürfen durch ungünstig dimensionierte Verstärker- und Regelstufen die guten Eigenschaften des Empfängereingangs wieder zunichte gemacht.

Damit die Performance des HF-Eingangsteils erhalten bleibt, muß der nachfolgende ZF-Zug hohen Anforderungen in Bezug auf Linearität, Laufzeitverzerrungen,

Dynamikbereich verfügen und Eingangssignale von 0,1 µV bis 1 V möglichst linear verarbeiten können.

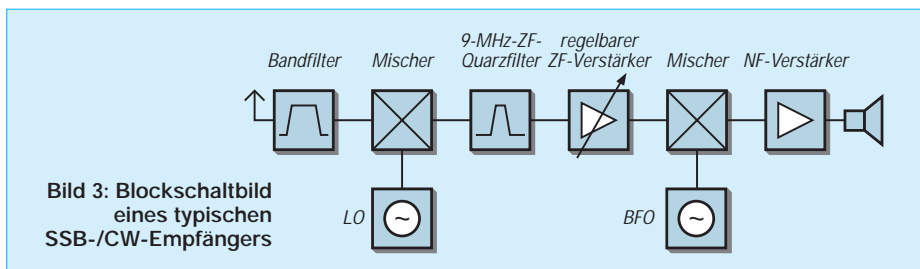
Das demodulierte Signal soll, unabhängig von seiner Größe, mit möglichst konstantem NF-Pegel zum Lautsprecher übertragen werden. Bei Empfang von SSB- und CW-Signalen ist ein sehr schnelles Ansprechen der AGC vonnöten, so daß auch starke Signale quasi augenblicklich und ohne Überschwingen der Regelschleife

Regelung bei AM

Die Demodulation von AM-Signalen wird in der einfachsten Form mit Hilfe einer Diode realisiert, die als Gleichrichter im Ausgang des ZF-Verstärkers die verstärkte, amplitudenmodulierte Hüllkurve demoduliert. Am Ausgang des Hüllkurven-Detektors in Bild 4 liegt ein RC-Tiefpaß mit einem Speicherkondensator C zur Glättung der gleichgerichteten Stromhalbwellen. Der Kondensator wird dabei nahezu auf die Größe der Wechselspannungswerte aufgeladen.

Die Spannung würde den Spitzenwert behalten, wenn nicht in der Sperrzeit der Diode durch R etwas Strom abfließen könnte. Dadurch nimmt die Spannung am Kondensator mit einer e-Funktion so lange ab, bis die Spannung am Eingang des Demodulators wieder größer geworden ist und den Kondensator wieder auflädt. Die Entladezeit ist von der Zeitkonstante $\tau = R \cdot C$ abhängig. Die Kapazität von C wird so groß gewählt, daß sie für die gleichzurichtende Hochfrequenz praktisch einen Kurzschluß bildet, aber für die höchste Modulationsfrequenzen noch einen Impedanzwert hat, der möglichst größer als der Verbraucherwiderstand R ist.

Andererseits soll bei der Demodulation die NF-Spannung möglichst getreu wiedergegeben werden, und die Zeitkonstante ist so zu wählen, daß die Spannung am Speicherkondensator der Modulations-

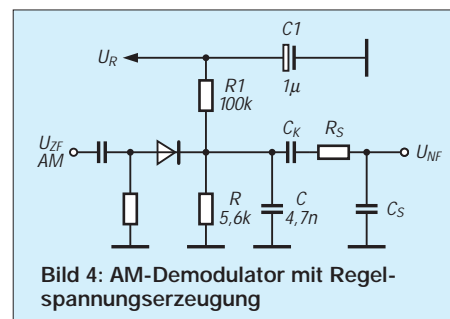


spannung folgen kann. Wählt man die Zeitkonstante zu groß, entstehen Verzerrungen bei hohen NF-Frequenzen und großen Modulationsgraden. Das RC-Glied berechnet sich bei 80% Modulationsfrequenz und 5 kHz als höchste Modulationsfrequenz zu $\tau = R \cdot C = 2 \cdot 10^{-5}$. Hinter dem Koppelkondensator C_k entsteht dann nur die NF-Spannung mit dem Rest überlagerter ZF-Spannung. Mit einem RC-Glied (R_s und C_s), das als Tiefpaß wirkt, werden die HF-Reste anschließend aus der NF-Spannung ausgesiebt und am Ausgang steht die reine demodulierte NF-Spannung zur Weiterverstärkung im NF-Verstärker zur Verfügung.

Die Spannung am Speicherkondensator C wird ebenfalls zur Regelung gebraucht. C1 dient in Verbindung mit R1 zur Siebung der Regelspannung und Einstellung der Regelzeitkonstante. Sie muß so groß sein, daß die tiefsten Modulationsfrequenzen nicht ausgeregelt werden und so klein bleiben, daß die schwundbedingte Pegeländerungen noch gut ausgeregelt wer-

den. Praktische Werte der Regelzeitkonstante liegen bei $\tau = R1 \cdot C1 \approx 0,1$ s. Das geglättete Regelsignal wird den Stellgliedern des regelbaren ZF-Verstärkers zugeführt. Damit ist der Regelkreis geschlossen. Die Regelung hat nicht nur die Aufgabe Übersteuerungen zu verhindern, sondern soll auch unabhängig von der Größe des Eingangssignals ein möglichst konstantes Ausgangssignal liefern. Deswegen bleiben kleine Signale von der Regelung unbeeinflusst, da letztere erst bei einer bestimmten Signalgröße verzögert einsetzt.

Bei AM steht die Regelspannung in unmittelbarem Zusammenhang mit der mo-



mentanen Größe des Trägers. Bleibt der Träger konstant, ändert sich auch die Regelspannung nicht. Als Gleichrichter-Dioden werden Germanium- oder vorgespannte Silizium-Dioden verwendet. Damit überhaupt eine Regelspannung erzeugt werden kann, muß die ZF-Spannung die Schwellenspannung der verwendeten Gleichrichter-Diode überschreiten, d.h., $U_{ZF} \geq 200 \text{ mV}_{\text{eff}}$. Zur Demodulation von AM-Signalen und Generierung der benötigten Regelspannung sind demnach verhältnismäßig hohe Leistungen erforderlich, weshalb die letzte ZF-Stufe mit Großsignalsteuerung arbeitet.

Regelung bei FM

FM-Signale bedürfen beim Passieren des ZF-Verstärkers keiner Regelung. Die Information eines frequenzmodulierten Träger-signals steckt ausschließlich in seiner Frequenz- bzw. Phasenänderung. Die Größe der Frequenzänderung – der sogenannte Frequenzhub – entspricht dem Modulationsgrad. Um das frequenzmodulierte Signal unempfindlich gegenüber Amplitudenstörungen zu machen, wird es im Empfänger scharf begrenzt. Deshalb kann man

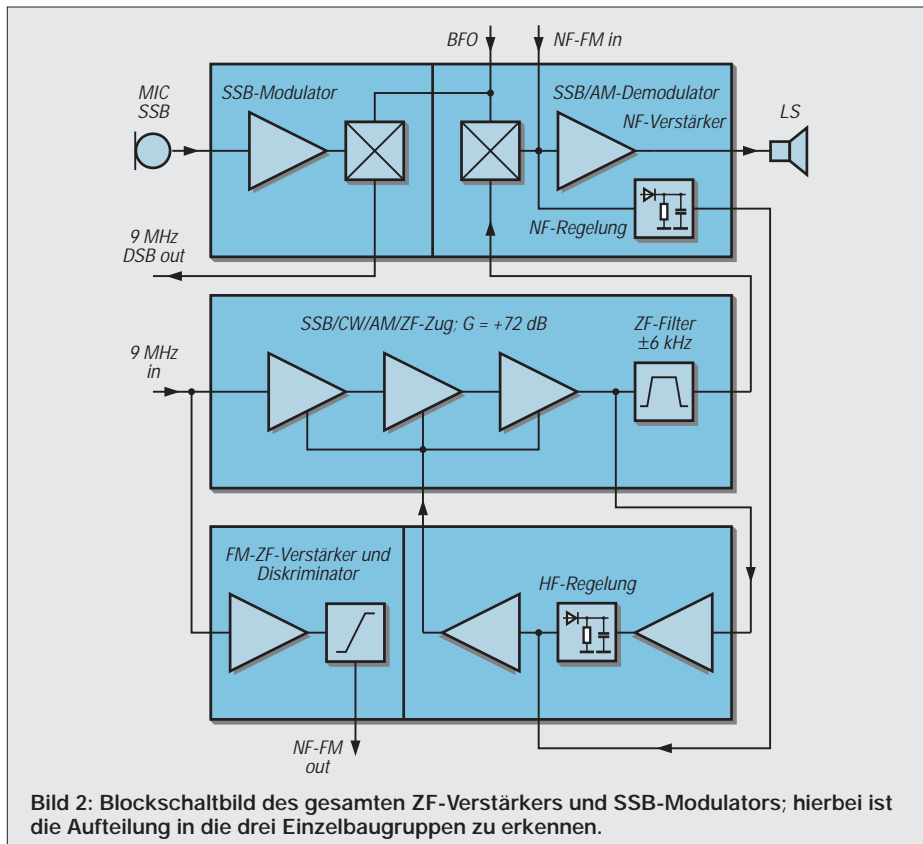
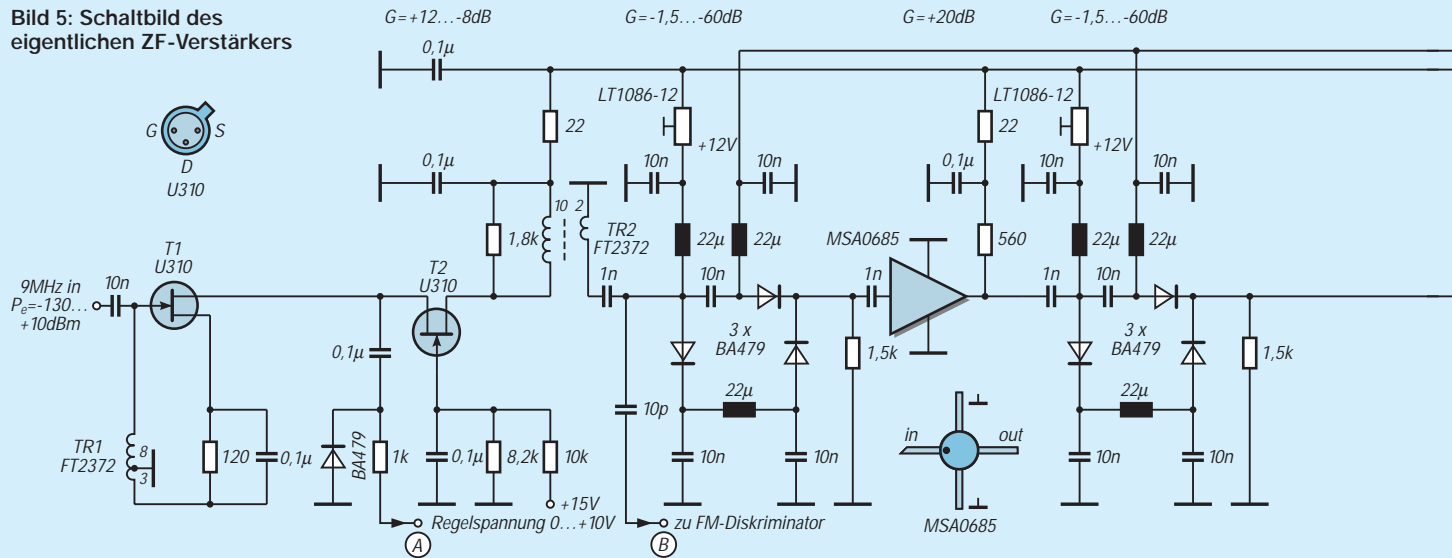


Bild 5: Schaltbild des eigentlichen ZF-Verstärkers



die typischen Eigenschaften eines ZF-Verstärkers für FM in seiner Begrenzereigenschaft sehen. Am Ausgang der ZF wird das amplitudenbegrenzte FM-Signal in der einfachsten Form einem Frequenzdiskriminator zugeführt, der eine Wandlung von FM in AM durchführt und das demodulierte Signal am Ausgang zur Verfügung stellt.

Regelung bei SSB und CW

SSB/CW-Signale sind ähnlich aufgebaut wie AM, allerdings fehlt ihnen der Träger und ein Seitenband. Erst durch nachträgliches Zufügen des aus dem BFO stammenden Trägersignals im Produktdetektor läßt sich das ursprüngliche NF-Signal wieder rekonstruieren.

Die Regelspannungserzeugung geschieht im Grunde genommen ähnlich wie bei AM, allerdings mit dem Unterschied, daß durch den fehlenden Träger in den Sprachpausen kein Regelsignal entstehen kann. Erst bei einsetzendem SSB-Sprachsignal wird aus den Spannungsspitzen der sich im Rhythmus der Sprachfrequenz in Amplitude und Frequenz ändernden Spektrallinien ein neues Regelsignal aufgebaut.

Die Regelabfallzeit folglich muß in den Sprachpausen um etwa 1 bis 2 s verzögert werden, damit der ZF-Verstärker bei kurzen Unterbrechungen des Nutzsignals nicht jedes Mal auf die volle Empfindlichkeit aufregelt und das störende Grundrauschen hörbar wird.

Im Gegensatz zu AM kommt es bei SSB-/CW-Signalen jedoch darauf an, mit welcher Geschwindigkeit (attack time) sich die Regelspannung aufbaut. Ist die Anstiegszeit zu langsam, fällt das NF-Signal mit einem lauten Knall ein, um erst nach einigen Millisekunden auf die eingestellte Lautstärke einzuregeln.

In fast allen Baubeschreibungen über regelbare ZF-Verstärker von SSB/CW-Empfängern findet eine sogenannte NF-gesteuerte Regelung Verwendung. Der Grund, warum dieses Verfahren so weit verbreitet ist, liegt darin, daß die Gewinnung des Regelsignals aus dem demodulierten ZF-Signal sehr leicht zu bewerkstelligen ist. Das vom Ausgang des Produktdetektors abgegebene NF-Signal wird verstärkt und – wie beim AM-Demodulator – einem Spitzenwertgleichrichter zugeführt, der je nach konstruktiver Ausführung des ZF-Verstärkers, eine negative oder positive Regelspannung abgibt.

Weil lediglich die Spannungsspitze der ersten Sinushalbwelle als Signalantwort für den Regelkreis übernommen wird, liegen für einen stabilen Regelkreis zu wenig Informationen vor. Das Abtast-Theorem besagt, daß zur Rekonstruktion einer Signalform mindestens zwei Abtastungen der höchsten vorkommenden Frequenz stattfinden müssen. Diese Forderung ist hierbei verletzt.

Weiterhin wird mißachtet, daß die ursprüngliche Modulationshüllkurve eines SSB-Signals keine Ähnlichkeit mit dem demodulierten NF-Signal hat, aus dem letztlich das Regelsignal entsteht. Das Re-

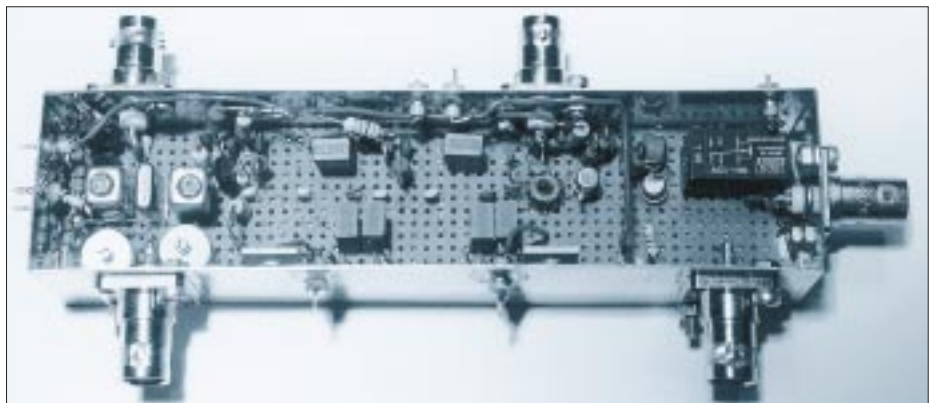
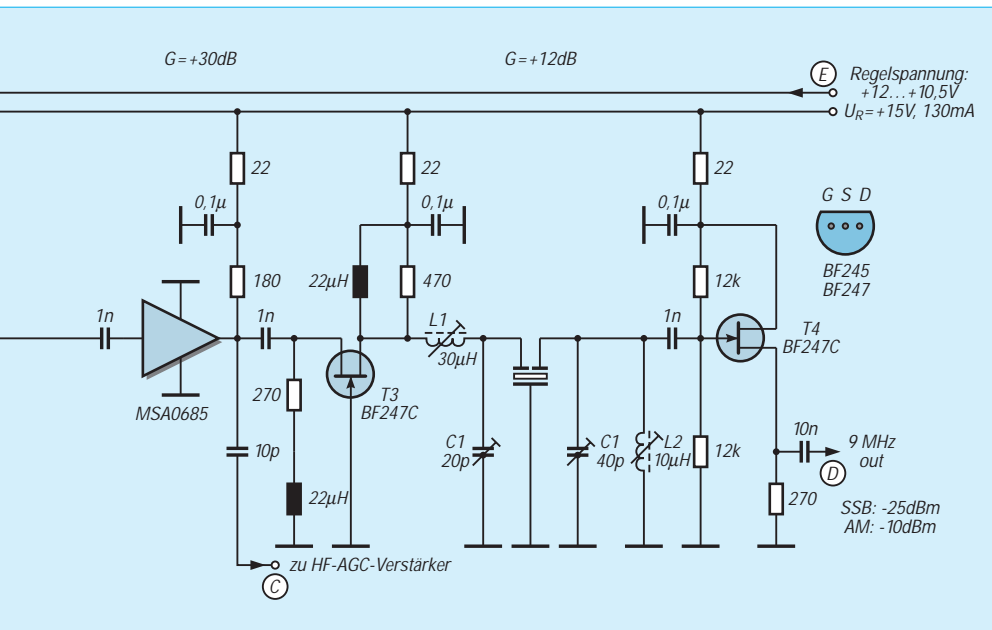


Bild 6: Ansicht der auf einer Lochrasterplatine aufgebauten ZF-Verstärker-Baugruppe

NF-gesteuerten Regelungen haften jedoch einige gravierende Nachteile an. Um auf die erforderliche schnelle Regelanstiegszeit bei einem plötzlichen, starken Signaleinfall zu kommen, versucht man schon beim Anstieg der ersten NF-Schwingungen, die notwendige Regelspannung aufzubauen. Dazu erfolgt die Speisung des Demodulators möglichst niederohmig, so daß der nachfolgende Speicherkondensator schon nach der ersten NF-Halbwelle auf deren Spitzenwert aufgeladen wird.

sultat hieraus ist, daß die Regelspannung in aller Wahrscheinlichkeit überschwingt und den Empfänger für einen kurzen Moment völlig zuregelt.

Beim Abhören von Nutzsignalen ist dies sehr unangenehm, da für einen kurzen Zeitraum Informationen verlorengehen. Abhilfe schafft man, indem ein Widerstand vor oder hinter die Gleichrichter-Diode geschaltet wird, der die Stromeinspeisung in den Kondensator begrenzt. Durch die verzögerte Aufladung entsteht allerdings der



Nachteil, daß die Regelanstiegszeit verlangsamt und das ZF-Signal für einen kurzen Moment in Begrenzung gefahren wird, wodurch das NF-Signal mit einem lauten Knall einsetzt. Die beste Einstellung ist empirisch zu ermitteln und stellt in jedem Fall einen Kompromiß dar.

Ein weiterer Nachteil von NF-gesteuerten Regelkreisen entsteht dadurch, daß die Regelanstiegszeit in direkter Abhängigkeit von der momentanen Überlagerungsfrequenz steht. Geht man davon aus, daß die Regelspannung nach Ablauf der ersten NF-Spannungsperiode aufgebaut ist, und beträgt der entstehende Überlagerungston 1 kHz, dann liegt die Regelspannung frühestens nach einer Millisekunde an. Bei 100 Hz Überlagerungsfrequenz dauert die Anstiegszeit 10 ms, bei 10 Hz schon 100 ms und bei 0 Hz – also bei Schwebungsnull – versagt die NF-gesteuerte Regelung total.

Unverständlich ist in diesem Zusammenhang auch, warum in vielen Baubeschreibungen das zur Regelspannung herangezogene NF-Signal vorher noch einen Bandpaß mit Hochpaßeigenschaft durchläuft, der das Regelverhalten bei tiefen NF-Frequenzen weiter verschlechtert. Ein zusätzliches, grundsätzliches Handikap liegt in den häufig verwendeten selektiven ZF-Verstärkerstufen. Die schmalbandigen Selektionskreise der einzelnen Stufenverstärker besitzen Ein- und Ausschwingzeiten und verursachen Laufzeiten, die sich insgesamt als Totzeit im Regelkreis bemerkbar machen. Die Bandbreite des ZF-Verstärkers sollte um ein Vielfaches größer sein als die des Quarzfilters im HF-Eingangsteil.

Resultierend läßt sich feststellen, daß NF-gesteuerte Regelverfahren nur für sehr einfache SSB/CW-Empfänger geeignet sind.

Die zuvor erläuterten Probleme lassen sich mit einer breitbandig arbeitenden ZF und einer HF-gesteuerten Regelung umgehen.

HF-gesteuerte Regelung

Hierbei verwendet man das 9- oder 10,7-MHz-ZF-Signal selbst als Steuersignal für den Regelkreis. Dies ist im Prinzip identisch mit der beschriebenen AM-Regelung. Damit man auf eine ausreichend große Regelspannung kommt, muß die ZF-Verstärkung für den Regelkreis etwa 100 dB betragen. Gute Abschirmmaßnahmen sind demnach zwingend erforderlich. Geht man davon aus, daß es z.B. zehn Schwingungsperioden des ZF-Signals bedarf, um ein stabiles Regelspannungssignal zu erzeugen, vergeht bei 9 MHz theoretisch eine Zeitspanne von nur 1,1 µs. Im Gegensatz dazu beläuft sich die Ansprechzeit einer NF-gesteuerten Regelung bei 1 kHz Überlagerungsfrequenz schon auf 10 ms.

■ Das SSB-/CW-/AM-ZF-Teil

Erste ZF-Verstärkerstufe

An die erste ZF-Verstärkerstufe eines Empfängers werden besonders hohe Anforderungen in bezug auf Empfindlichkeit und Linearität gestellt. Da im HF-Eingangsteil im Interesse eines hohen IP3 nur minimale Verstärkung stattfindet, beeinflussen Rauschzahl und Verstärkung des ersten ZF-Verstärkers die Gesamtrauschzahl des Systems wesentlich. Weiterhin muß die erste Stufe des ZF-Verstärkers regelbar sein, da Eingangspegel von bis zu +10 dBm (10 mW) linear verarbeitet werden sollen. Der Einsatz regelbarer Dual-Gate-MOS-FET scheidet bei diesen Anforderungen von vornherein aus. Diese erzeugen im abgeregelten Zustand durch Reduzierung ihres Drainstroms starke In-Band-Intermo-

duktionsverzerrungen. Letztere äußern sich als Klirrfaktor im demodulierten NF-Signal, und das Signal hört sich gepreßt und hart an. Als ein Richtwert sollten bei sämtlichen Eingangssignalen bis herauf zu +10 dBm alle IM-Verzerrungen innerhalb der ZF noch um 40 dBc unterdrückt sein, woraus ein NF-Klirrfaktor von 1 % resultiert.

Regelbare ZF-Verstärker-ICs, wie die oft eingesetzten MC1350, sind ebenfalls eine schlechte Wahl; sie haben nichtlineare Regelkurven, geringe IM-Festigkeit und rauschen besonders im abgeregelten Zustand sehr stark.

Der Eingang des in Bild 5 dargestellten ZF-Verstärkers weist eine Kaskoden-FET-Schaltung auf. Sie hat sehr gute Eigenschaften hinsichtlich Rauschen, Verstärkung, Stabilität und Linearität. Die Schaltung enthält zwei FETs, wovon der erste in empfindlicher Source- und der zweite in großsignalfester Drainschaltung arbeitet.

(wird fortgesetzt)

Literatur

- [1] Tietze, U.; Schenk, Ch.: Halbleiter-Schaltungstechnik. 11. Auflage, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg 1999
- [2] Hayward, W., W7ZOI: Radio Frequency Design. ARRL, Newington 1996
- [3] Hayward, W., W7ZOI; DeMaw, D., W1FB (Hrsg.): Solid State Design. ARRL, Newington 1986
- [4] Red, E. T.: Arbeitsbuch für den HF-Techniker. Franzis' Verlag, Pöding 1986
- [5] Schmitzer, D. E., DJ4BG: AM-Demodulation mit Silizium-Halbleitern. UKW-Berichte 10 (1970) H. 2, S. 75 – 77
- [6] Claar, A., DF9CP: Elektronisch schaltbare Dämpfungsglieder. UKW-Berichte 27 (1987) H. 2, S. 87 – 101
- [7] Krug, F. DJ3RV: ZF-Teil für 2-m-Empfänger und Nachsetzer. UKW-Berichte 22 (1982) H. 1, S. 238 – 251
- [8] Schneider, W., DJ8ES: SSB-Tranceiver für 50 MHz. UKW-Berichte 32 (1992) H. 1, S. 51 – 61
- [9] Otto, G., DC6HL: Mini-SSB-Tranceiver für das 2-m-Band. UKW-Berichte 22 (1982) H. 4, S. 211 – 216
- [10] Burchard, D.: Gleichrichtung kleiner Wechselspannungen mit Halbleiterdioden. UKW-Berichte 31 (1991) H. 1, S. 43 – 49
- [11] Schneider, W., DJ8ES: 4-Band-QRP-Kurzwellentranceiver. UKW-Berichte 38 (1998) H. 3, S. 145 – 159
- [12] Schneider, W., DJ8ES: SSB/CW-Tranceiver für 144 MHz. UKW-Berichte 39 (1999) H. 1, S. 9 – 30
- [13] Zenker, P., DL2FI: Mehrband-SSB/CW-Tranceiver. CQ DL 70 (1999) H. 8, S. 654 – 657, H. 9, S. 736 – 738,
- [14] Schnorrenberg, W., DC4KU: Messung nichtlinearer Verzerrungen. CQ DL 62 (1991) H. 5, S. 183 – 185
- [15] Schnorrenberg, W., DC4KU: Messung kritischer Spezifikationen eines Empfängers. CQ DL 64 (1993) H. 4, S. 128 – 130
- [16] Schnorrenberg, W., DC4KU: Homemade-KW-Tranceiver mit hochliegender ZF. CQ DL 64 (1993) H. 3, S. 162 – 167
- [17] Schnorrenberg, W., DC4KU: Großsignalfestes und empfindliches HF-Eingangsteil. CQ DL 71 (2000) H. 7, S. 482 – 485; H. 8, S. 578–579

Ein ZF-Nachsetzer, wie ihn die Industrie nicht baut (2)

Dipl.-Ing. WERNER SCHNORRENBURG – DC4KU

Der Autor stellt in dieser Beitragsfolge einen aus mehreren Baugruppen bestehenden ZF-Verstärkerkomplex vor, der sich durch Großsignalfestigkeit, hohen Dynamikumfang, Rauscharmut und den Modulationsarten optimal angepaßtes Regelverhalten auszeichnet. Dieses Mal geht es um Schaltungsdetails im eigentlichen ZF-Verstärker sowie um die Gewinnung der Regelspannung direkt aus der ZF.

Der Beitrag in der vorigen Ausgabe endete mit der Erwähnung der Kaskodestufe am Eingang des in Bild 5 dargestellten ZF-Verstärkers. Der zweite FET arbeitet, wie unschwer zu erkennen, in großsignalfester Gateschaltung.

Die Verstärkung der Kaskode wird durch die Steilheit der Sourceschaltung bestimmt und beträgt mit einem Drain-Widerstand von 1,8 kΩ 12 dB. Mit einem Source-Widerstand von 120 Ω stellt sich ein gemeinsamer Drainstrom um 12 mA ein. Die Rauschzahl der Schaltung liegt bei 0,8 dB. Mit den angegebenen Ferrit-

denstrom dämpft die Stufe maximal bei etwa 5 Ω Diodenwiderstand. Die Arbeitspunkte beider FETs werden durch den Regelvorgang nicht verändert. Der Regelumfang der Schaltung beträgt 25 dB.

Weitere Verstärker- und Regelstufen

Der ersten Verstärkerstufe folgt ein mit drei PIN-Dioden in π-Schaltung aufgebautes, stufenlos regelbares Dämpfungsglied. Bei einer Regelspannung von +12 V (Leerlauf) beträgt die Durchgangsdämpfung lediglich 1,2 dB. Wie sich Bild 9 entnehmen läßt, wird die maximale Dämp-

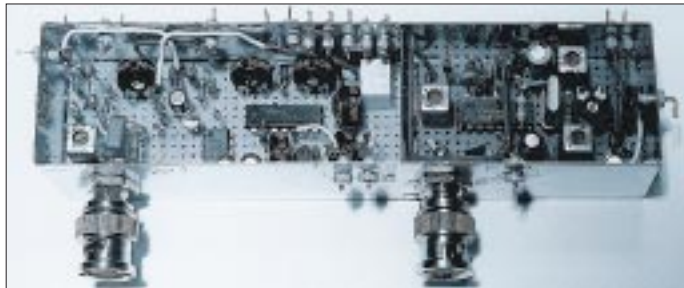


Bild 7: Der ZF-verstärker für die AGC-Gewinnung (I.) befindet sich zusammen mit dem FM-ZF-Verstärker in einem Gehäuse.

Breitbandübertragern und Wickeldata liegen Eingangs- und Ausgangswiderstand der Kaskode nahe bei 50 Ω, das EingangsvSWR beträgt 1,25 und der Frequenzbereich reicht von 0,1 bis 80 MHz.

Die verwendete Kaskodenschaltung erreicht einen IP3 von > 20 dBm, auch im abgeregelten Zustand. Den gemessenen IP3 der Kaskodenschaltung gibt Bild 10 wieder. Zwei Eingangssignale P_e von jeweils -6 dBm lassen am Ausgang des Verstärkers IM3-Produkte mit 55 dBc Abstand entstehen. Daraus folgt ein Intercept-Point dritter Ordnung von

$$IP3 = IM3/2 + P_e = (55 \text{ dBc}/2) - 6 \text{ dBm}$$

$$IP3 = 21,5 \text{ dBm.}$$

Die Regelung der Kaskodenschaltung übernimmt eine Pin-Diode BA479 zwischen Drain von T1 und Gate von T2, die ihren Durchgangswiderstand in Abhängigkeit des eingepprägten Regelstroms verändert (Bild 8). Ohne Regelstrom ist die Pin-Diode hochohmig (> 10 kΩ) und beeinflusst die Verstärkung nicht. Bei 10 mA Dio-

denstrom dämpft die Stufe maximal bei etwa 5 Ω Diodenwiderstand. Die Arbeitspunkte beider FETs werden durch den Regelvorgang nicht verändert. Der Regelumfang der Schaltung beträgt 25 dB.

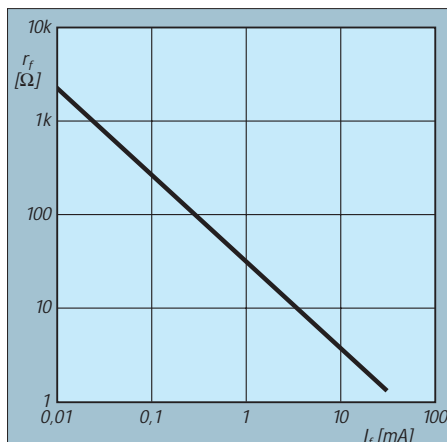


Bild 8: Durchgangswiderstand der PIN-Diode BA479 in Anhängigkeit vom Strom

sungen ergaben ein ausgezeichnetes IM3-Verhalten von 30 dBm ohne Regelung sowie 25 dBm im abgeregelten Zustand. Auf das PIN-Dioden-Dämpfungsglied folgt ein integrierter Breitband-Verstärker MSA0685 mit 20 dB Leistungsverstärkung und einer Rauschzahl von 2,8 dB. Am Eingang dieses MMICs liegen bei +10 dBm ZF-Eingangspegel und voller Abregelung der Vorstufen maximal -65 dBm an, so daß eine lineare Verstärkung in jedem Fall gewährleistet ist. Der MSA0685 besitzt einen IP3 von +15 dBm (bezogen auf den Ausgang). Diesem Ver-

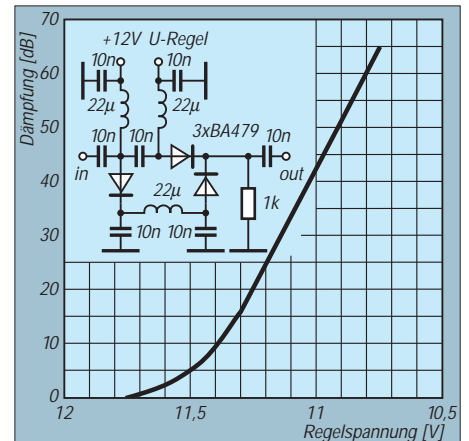


Bild 9: Dämpfung des aus drei PIN-Dioden bestehenden Dämpfungsgliedes

stärker folgt ein weiteres PIN-Dioden-Dämpfungsglied und jenem ein MSA0885 mit 30 dB Verstärkung (lies MSA0885 an entsprechender Stelle in Bild 5).

Bevor das Signal dem Produktdetektor zugeführt wird, muß es vom Breitbandrauschen, welches die Verstärker im Bereich 100 kHz bis 80 MHz erzeugen, befreit werden. Würde es an den AM-Hüllkurvenvergleichlicher gelangen, dann wäre dessen Arbeitsweise stark beeinträchtigt. Auf den SSB-Produkt-Detektor hat das Breitbandrauschen weniger Einfluß, denn solch ein Demodulator setzt breitbandiges Rauschen in Signale um, die oberhalb des Hörbereichs liegen und deshalb leicht auszufiltern sind, ohne daß sich das NF-Signal verschlechtert.

Zur Breitband-Rauschunterdrückung dient ein einfaches 9-MHz-Quarz-Dual (Noise Filter) der Bandbreite ±6 kHz zwischen T3 und T4. Genaugenommen müßten für alle vorkommenden ZF-Bandbreiten entsprechende Noise-Filter verwendet werden. Aus Kostengründen habe ich darauf verzichtet. Wer nur in SSB arbeitet, sollte ein 2,4-kHz-Filter verwenden. T3 transformiert das Signal mit Hilfe des Serienkreises L1 und C1 von 470 Ω auf 6 kΩ, die Eingangsimpedanz des Zweipolfilters im Durchlaßbereich. Am Ausgang des Filters wird L2 und C2 auf Parallelresonanz ab-

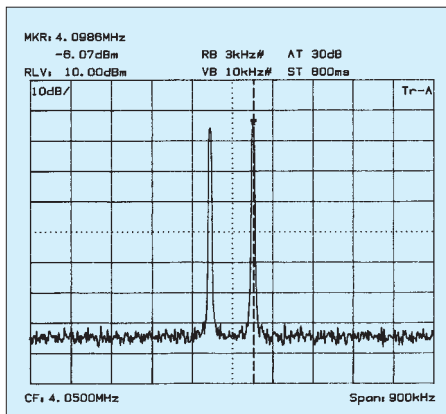


Bild 10: Zweiton-Eingangssignal mit zwei mal -6 dBm

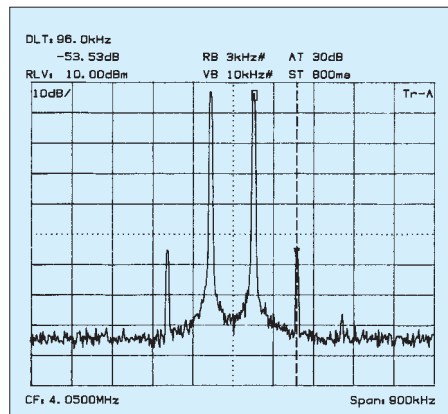


Bild 11: Entstehende Intermodulationsprodukte mit -55 dBc am Verstärkerausgang

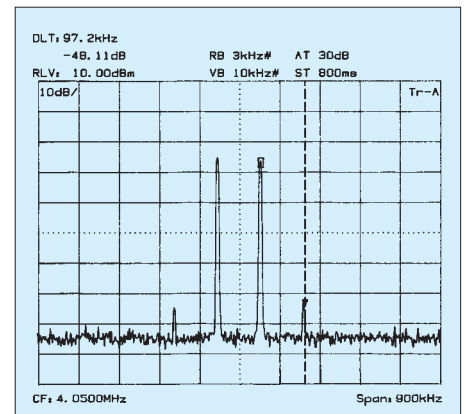


Bild 12: Intermodulationsprodukte mit -48 dBc im abgeregelten Zustand

geglichen und das ZF-Signal an Source von T4 niederohmig ausgekoppelt. Der ZF-Verstärker-Zug besitzt eine Gesamtverstärkung von 72 dB und mehr als 120 dB Regelumfang.

Frequenzgang des ZF-Verstärkers bis zum Demodulator

Das gemessene Rauschspektrum am Ausgang des ZF-Verstärkers zeigt Bild 13. Deutlich zu erkennen ist die Filterformkurve mit ihrer Durchlaßbandbreite von ± 6 kHz um die ZF-Mittenfrequenz von 9 MHz. In der Mitte des Filters ist ein Signal zu erkennen. Dieses wurde mit einem Pegel von -130 dBm ($0,07 \mu\text{V}$) an den Eingang des ZF-Verstärkers gelegt und erscheint mit einem Signal/Rauschabstand von 12 dB am Ausgang. Damit dürfte die oft gehörte Behauptung, daß breitbandige Verstärkung in ZF-Teilen die Empfindlichkeit verschlechtere, widerlegt sein. Das Grundrauschen im Durchlaßbereich des Filters beträgt -70 dBm bei 1 kHz Auflösungsbandbreite des Spektrumanalysators. Daraus errechnet sich die Rauschzahl des ZF-Verstärkers überschlägig zu 2 dB – den genauen Rechengang können Interessenten dem Kasten rechts unten entnehmen.

Regelspannungserzeugung für CW- und SSB-Signale

Zur Gewinnung der ZF-Regelspannung (AGC) zweigt das breitbandige ZF-Signal hinter dem zweiten MMIC auf einen gesonderten Regelspannungsverstärker ge-

mäß Bild 15 ab, der zur besseren Abschirmung in einem separaten Gehäuse untergebracht ist. Ein Dual-Gate-MOSFET und ein MSA0885 verstärken das ZF-Signal nochmals um 45 dB. Der Drain-Schwingkreis von T6 ist mit $1 \text{ k}\Omega$ bedämpft, so daß sich eine 3-dB-Bandbreite von etwa ± 2 MHz ergibt.

Das um insgesamt 98 dB verstärkte ZF-Signal wird vom Ausgang des MSA0885 den Spannungsverdoppler-Gleichrichtern d1, d2 niederohmig zugeführt. Auch ohne Eingangssignal entsteht am RC-Glied C3/R7 schon eine mittlere Richtspannung von ungefähr +0,6 V, verursacht durch den

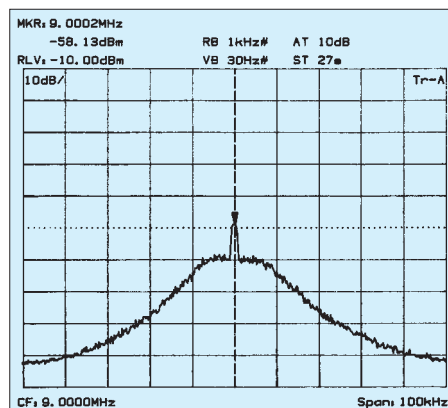


Bild 13: Rauschspektrum am Ausgang des ZF-Verstärkers

hohen Pegel des ZF-Grundrauschens. Dadurch arbeiten die Gleichrichterdioden bereits im Ruhezustand im B-Betrieb und müssen zur Empfindlichkeitssteigerung nicht vorgespannt werden.

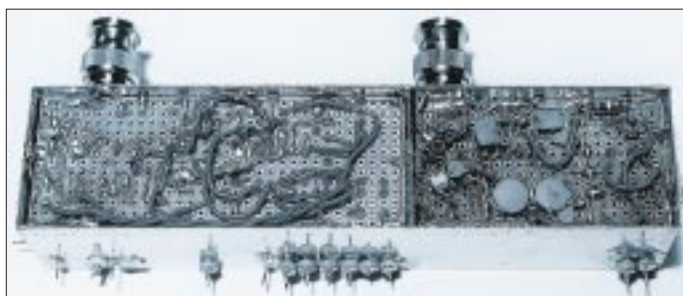


Bild 14: Die Unterseite der Baugruppe AGC-ZF- bzw. FM-ZF-Verstärker dient nicht nur zur Verdrahtung, sondern beherbergt auch weitere Bauelemente.

Das gleichgerichtete ZF-Signal gelangt an das hochohmige Gate von T7, der zur Linearisierung seiner Kennlinie in starker Gegenkopplung mit T8 arbeitet und das Regelsignal am Source-Anschluß bei einer mittleren Gleichspannung von +7 V abgibt. T8 dient lediglich als sehr hochohmiger, spannungsgesteuerter Widerstand.

Vom T7-Sourceanschluß werden zwei OV's angesteuert, deren Ausgänge mit den Trimmern R9 und R10 auf die erforderlichen Regelspannungseinsätze der PIN-Dioden-Regler zu bringen sind. Das Ausgangssignal des oberen TL082 stellt man im Ruhezustand auf +12 V, das des unteren TL082 auf 0 V Ausgangsspannung ein. Das Regelsignal für die erste ZF-Stufe ist leicht auf einen verzögerten Einsatz, z.B. ab -100 dBm, einzupegeln und erreicht eine maximale Regelspannung um 10 V. Das AGC-Signal für die PIN-Dioden- π -Glieder bedarf aufgrund der hohen Regelsteilheit keiner weiteren Gleichspannungsverstärkung, der obere TL082 arbeitet deshalb mit einer Spannungsverstärkung $V_u = 1$. Die den Emitterfolgern T9, T10 dienen der niederohmigen Auskopplung der beiden Regelspannungssignale.

Rauschzahl des ZF-Verstärkers – überschlägig berechnet

Empfindlichkeit
 = Rauschleistung - Verstärkung
 = -70 dBm - 72 dB
 = -142 dBm bei 1 kHz Bandbreite
 Bezogen auf 1 Hz Rauschbandbreite wird die Empfindlichkeit zu:
 -142 dBm/1 kHz - 30 dB
 = -172 dBm/Hz

Rauschzahl des ZF-Verstärkers
 = Empfindlichkeit - Grundrauschen
 = -174 dBm/Hz - (-172 dBm/Hz) = 2 dB, wobei -174 dBm/Hz das Grundrauschen eines 50- Ω -Widerstandes in 1-Hz-Rauschbandbreite bei Zimmertemperatur darstellt.

Hinweis: Bei der Berechnung wurde die Auflösungsbandbreite (-3 dB) des Spektrumanalysators der Rauschbandbreite von 1 kHz gleichgesetzt.

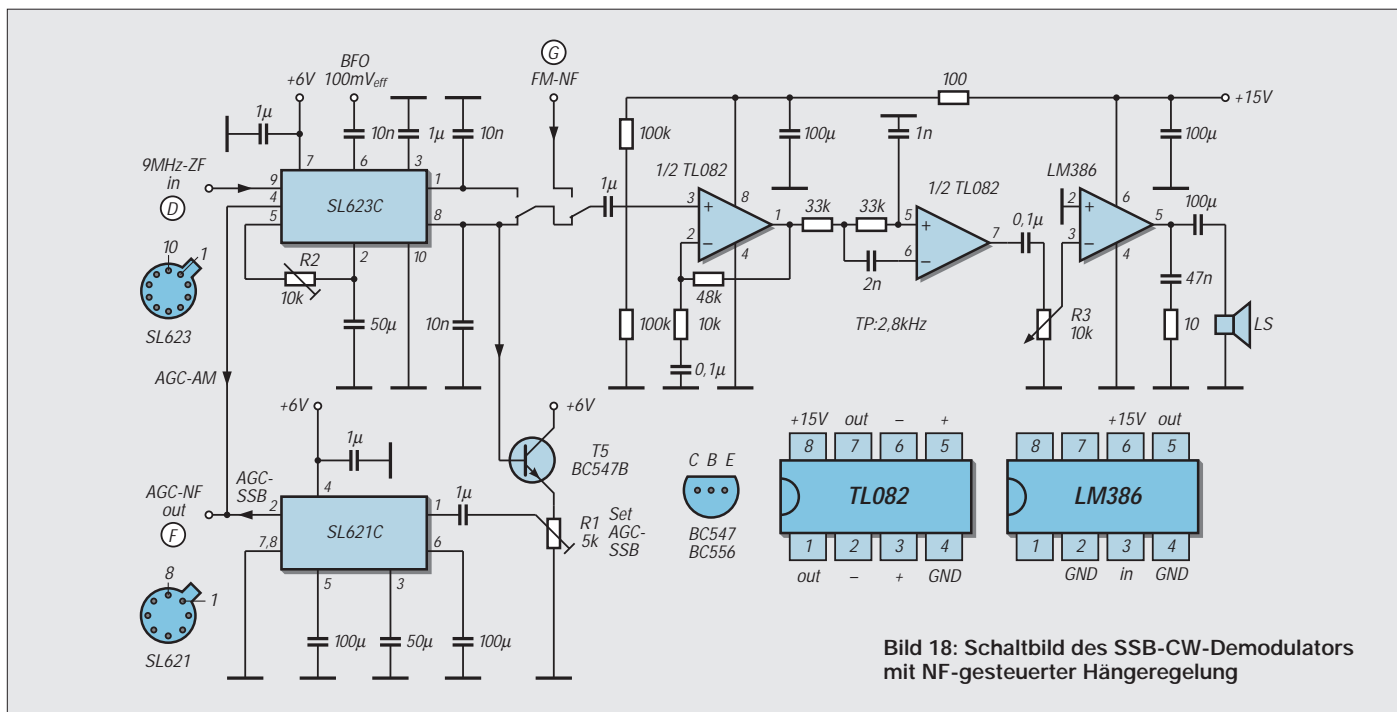


Bild 18: Schaltbild des SSB-CW-Demodulators mit NF-gesteuerter Hängeregulung

tern innerhalb der AGC-Schleife das transiente Verhalten des Systems, indem sie eine Regel-Totzeit verursachen, die sich in Überschwängen äußert. Nur wenn die Bandbreite des ZF-Zugs sehr viel größer als die der Quarzfilter im HF-Eingangsteil ist, vermag die Regelung den Einschwingvorgängen der Quarzfilter zu folgen. Im beschriebenen Konzept wird die Ansprechzeit der AGC lediglich durch die Kapazitäten und Induktivitäten (Siebglieder) an den PIN-Dioden begrenzt.

■ Austastung von Störimpulsen

Eine der Hauptursachen für schlechten Empfang bei vielen Empfängern sind die sogenannten zivilisationsbedingten Störungen, wie z.B. KFZ-Zündstörungen, die von der Antenne aufgenommen werden. Solche Störungen (impulse noise) treten im allgemeinen in Form sehr schmaler Impulse mit hoher Amplitude auf, die ein Quarzfilter zum Klingeln bringen. Wegen der hohen Güte der Filterquarze schwingt das Filter relativ langsam aus, wodurch die an sich kurzen Störungen un-

verhältnismäßig stark von einigen µs auf einige ms verlängert werden und das gewünschte Nutzsignal überdecken. Einzelne Störimpulse lassen die Regelung ansprechen und erscheinen nicht mehr als Knackstörung am Lautsprecherausgang. Gleichzeitig können sie dadurch schwache Nutzsignale zuregeln und deren Empfang einschränken.

Durch Einfügen eines Widerstands R_s (in Bild 15 eingeklammert) zwischen Demodulatorausgang und RC-Glied kann die AGC-Ansprechzeit künstlich so verlängert werden, daß einzelne Störimpulse die AGC weniger oder gar nicht mehr ansprechen lassen.

Aus diesen Betrachtungen läßt sich erkennen, daß auch eine schnelle Regelung nicht die Wirkung einer echten Störaustastung besitzen kann. Letztere muß die Störimpulse abfangen und austasten, bevor sie, vom Mischer kommend, das Quarzfilter erreichen. In einem späteren Beitrag will ich dieses Thema separat behandeln.

■ CW/SSB/AM-Demodulator, NF-Verstärker und Hängeregulung

Das Schaltbild des SSB/CW/AM-Demodulators, des NF-Verstärkers und eines (optionalen) Bausteins zur Erzeugung einer sehr effektiven SSB/CW-Hängeregulung gibt Bild 18 wieder. Die Baugruppe befindet sich zusammen mit einem SSB-Modulator ebenfalls in einem Weißblechgehäuse mit den Abmessungen 145 mm × 35 mm × 30mm. Ich gebe hier zunächst die von mir selbst präferierte Variante unter Verwendung von Plessey-ICs wieder, wohl wissend, daß diese praktisch nicht mehr verfügbar sind. Wer sich jedoch seit

Jahren mit dieser Thematik befaßt, hat davon bestimmt noch einige Exemplare in der Bastelkiste... Gleichwohl erfolgt weiter unten die Beschreibung einer Alternative mit marktüblichen Schaltkreisen.



Bild 20: Meßaufbau des ZF-Nachsetzers im Shack des Autors

Das vom Breitbandrauschen befreite ZF-Signal wird dem Eingang eines SL623C zugeführt. Dieser Baustein verfügt über einen einfach balancierten SSB/CW-Demodulator, einen AM-Hüllkurven-Detektor sowie einen integrierten AM-Regelspannungsverstärker. Wer den AM-Betrieb nicht braucht, kann anstelle des SL623C auch einen SL640C oder NE612 einsetzen.

Zur Demodulation von AM-Signalen wird der BFO abgeschaltet und das demodulierte AM-Signal an Pin 1 des SL623C abgegriffen. Ein AM-Signal mit 125 mV_{eff} Trägersignal, 80 % Modulation und 1 kHz Modulationsfrequenz erzeugt ein demoduliertes NF-Signal von 55 mV_{eff}. Bei AM liefert der Hüllkurven-Detektor an Pin 4 zusätzlich ein von der Trägeramplitude gesteuertes AGC-Regelsignal von 0 bis 4,6 V. R2 wird so eingestellt, daß bei 125 mV_{eff} Trägersignal 2 V Regelspannung an Pin 4 anstehen.

(wird fortgesetzt)

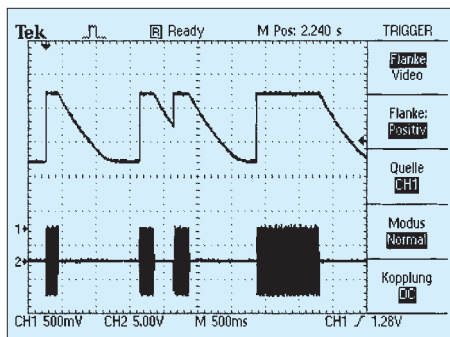


Bild 19: Anstieg und Abfall der Regelspannung

Ein ZF-Nachsetzer, wie ihn die Industrie nicht baut (3)

Dipl.-Ing. WERNER SCHNORRENBURG – DC4KU

In dieser Folge geht es weiter mit der Beschreibung der Hängeregulung, einem „Sahnehäubchen“ des vorgestellten Baugruppensystems. Des weiteren kommen Besonderheiten des FM-Demodulators zur Sprache.

Das AM-AGC-Signal wird über R5 und die Entkopplungsdiode D3 dem Gate von T7 als Regelspannung direkt zugeführt, vgl. Bild 15 (FA 11/00). Damit bei Auftreten eines Signals die viel schnellere und empfindlichere SSB-Regelung nicht einschreitet, ist bei AM-Betrieb der HF-Regelspannungsverstärker von der Versorgungsspannung abgetrennt und somit inaktiv.

Dem Ausgang der Detektoren folgt ein aktives NF-Bandpaßfilter mit etwa fünffacher Spannungsverstärkung. Bild 21 zeigt die Schaltung und Bild 23 den Frequenzgang des NF-Bandpasses, entwickelt mit der weit verbreiteten CAD-Software PSpice [18]. Ein nachfolgender LM386 verstärkt das NF-Signal auf Lautsprecherpegel.

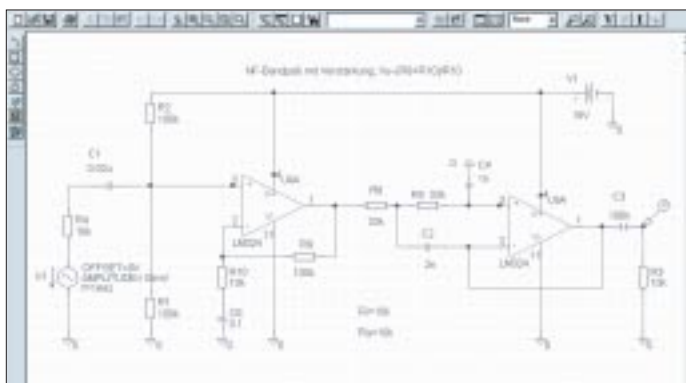


Bild 21: Screenshot der Simulation des NF-Bandpasses mit PSpice



Bild 23: Simulierter Frequenzgang des NF-Bandpasses

Bei SSB-Betrieb wird über Pin 6 das BFO-Signal mit 50 bis 100 mV_{eff} eingespeist und an Pin 8 das NF-Signal ausgekoppelt. Das NF-Ausgangssignal ist zwischen den beiden Detektoren umzuschalten. Ein SSB-Signal mit 20 mV_{eff} an Pin 9 erzeugt ein NF-Ausgangssignal um 30 mV_{eff}.

Hinweis: Besonders muß darauf geachtet werden, daß das BFO-Signal nicht über irgendwelche Umwege an den Eingang des ZF-Verstärkers gelangt. Es würde verstärkt und vom HF-Regelverstärker wie ein HF-Eingangssignal behandelt werden, was die Regelung ansprechen ließe. Gute Abschirmung und kurze Verbindung zwischen BFO-Signal und Produktdetektor sind unabdingbar.

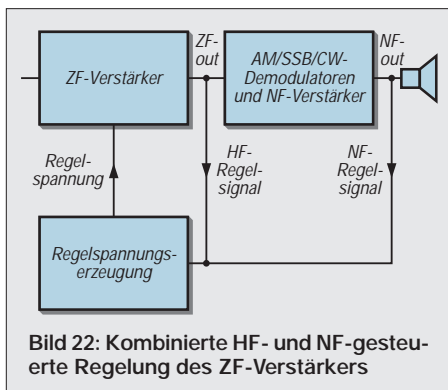


Bild 22: Kombinierte HF- und NF-gesteuerte Regelung des ZF-Verstärkers

Hängeregulung

Nun zur optionalen Hängeregulung für CW/SSB, sozusagen dem Sahnehäubchen der Schaltung. Hierzu findet der integrierte Regelspannungsgenerator SL621C Verwendung, der ursprünglich als NF-gesteuerter AGC-Generator für CW/SSB-Receiver entwickelt wurde.

Würde ausschließlich der SL621C zur Regelspannungserzeugung bei SSB-Empfang verwendet, entstünden die weiter oben beschriebenen Probleme. Deswegen dient der Baustein in meinem Konzept lediglich zur Erzeugung der verzögernd abfallenden Regelspannung.

Der SL623C gewinnt die Regelspannung aus der zwischen 7 und 11 mV liegenden NF-Spannung und gibt sie an Pin 2 als gleichgerichtete Regelspannung zwischen 0 und 4,6 V ab. Die Regel-Ausgänge von SL621C und SL623C verhalten sich, wenn sie außer Betrieb sind, hochohmig, so daß man beide gleichzeitig an die Regelleitung

anschließen kann, ohne daß sie sich gegenseitig beeinflussen.

Funktion des SL621C: Das Regelsignal wird bei Auftreten eines Eingangssignals innerhalb von 20 ms aufgebaut und folgt langsamen Feldstärkeänderungen im Sinne einer Schwundregelung. Die Schaltung speichert jedoch den letzten Regelspannungswert, wenn das Eingangssignal in den Sprechpausen plötzlich zu Null wird, bis zum erneuten Wiedereintreffen des Signals. Überschreitet die Pause aber einen bestimmten Wert, so geht die Regelspannung schlagartig auf Null zurück.

Das NF-gesteuerte AGC-Signal wird über R5 in Bild 10 und der Entkopplungsdiode d3 dem Gate von T7 zugeführt. Mit R5 wird der Einsatz der NF-Regelung so eingestellt, daß die NF-Regelspannung am Gate von T7 einen etwas höheren Wert erreicht als die der HF-Regelspannung. Bei Eintreffen eines Eingangssignals baut sich der HF-gesteuerte Regelkreis sehr viel schneller auf als der NF-Regelkreis. Die NF-gesteuerte Regelung erreicht erst nach 20 ms den

erforderlichen Spannungswert und übernimmt dann die Steuerung des Systems. Der ZF-Verstärker arbeitet jetzt mit kombinierter HF- und NF-gesteuerter Regelung nach Bild 22.

Verwendet man den SL621C wie beschrieben zur Hängeregulung, entfällt das zeitverzögernde RC-Glied R8/C4 in Bild 15. Eine sehr wichtige Funktion des SL621C ist das zuvor erwähnte Ausregeln von Schwund bis zu 20 dB/s. Das Regelsignal folgt also Feldstärkeschwankungen (Fading). Wenn dagegen das Eingangssignal schneller fällt oder – wie in Sprechpausen – ganz ausbleibt, verharrt die Regelspannung zunächst auf ihrem letzten Wert, um erst nach einer definierten Haltezeit schnell abzufallen. Die Haltezeit der Hängeregulung wird durch C3 bestimmt, mit 100 µF ergibt sich 1 s. Die interne Triggerung des SL621C ist so bemessen, daß bei kurzen Signalen oder Pulsstörungen die Haltefunktion nicht anspricht.

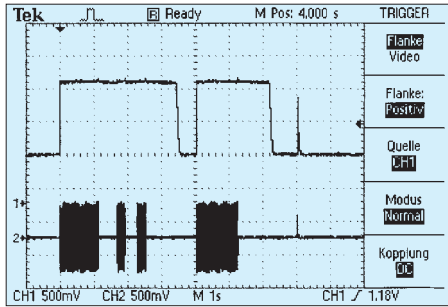


Bild 24: Regelverhalten mit aktiver Hängeregelung, oben U_{AGC} , unten U_E

Bild 24 zeigt das Regelverhalten mit aktivierter Hängeregelung über einen Zeitraum von 10 s. Kurze Unterbrechungen des Eingangssignals gleicht die Hängeregelung komplett aus. Wenn das HF-Eingangssignal aber länger als 1 s ausbleibt, geht die NF-AGC-Spannung schnell auf 0 V zurück. Der kurze Störpuls nach etwa 8 s wird allein durch die HF-Regelung ausgeregelt.

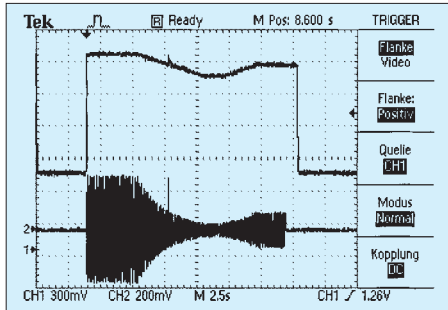


Bild 25: Aktive Schwundregelung im SSB-Regelkreis

Die Funktion der Schwundregelung verdeutlicht das Bild 25. Das Eingangssignal springt zunächst von Null auf -55 dBm, sinkt über einen Zeitraum von 3 s langsam auf -75 dBm und wächst wieder an auf -65 dBm. Die Regelspannung folgt diesem Schwund.

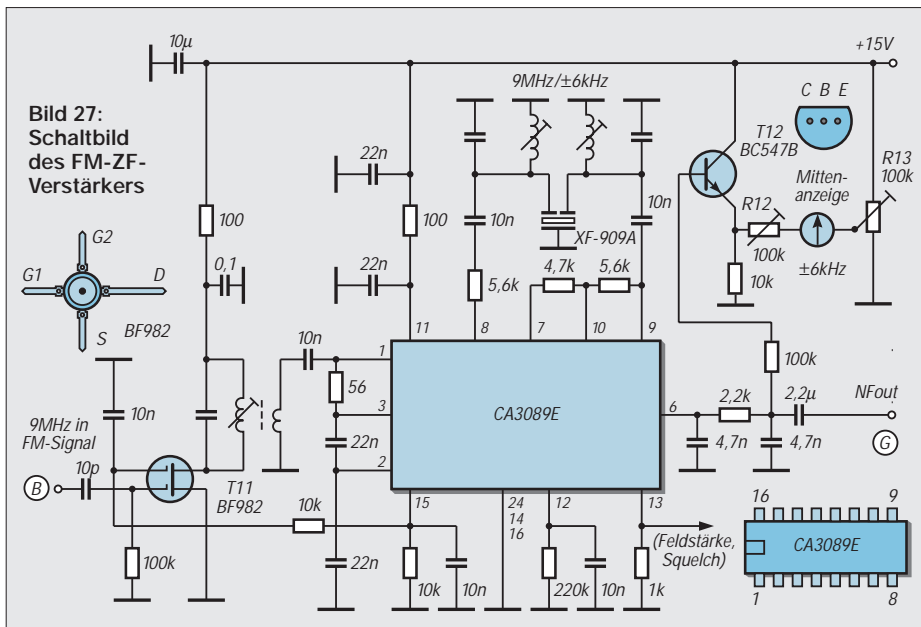


Bild 27: Schaltbild des FM-ZF-Verstärkers

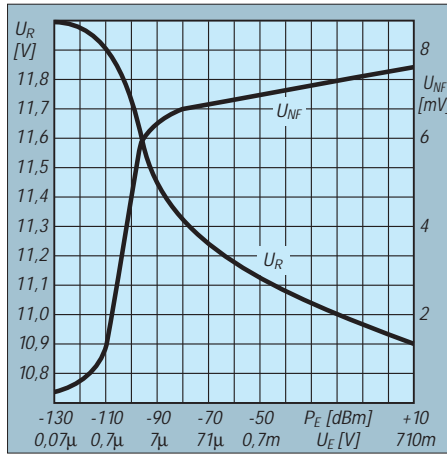


Bild 26: NF-Ausgangsspannung U_{NF} und Regelspannung U_R als Funktion von Eingangsleistung P_E bzw. Eingangsspannung U_E

Das Abhören von SSB-Sprachsignalen mit solchen Regeleigenschaften, ist – verglichen mit einfachen Regeleinrichtungen – ein besonderer Genuß.

Bild 26 zeigt die resultierende NF-Spannung U_a am Ausgang des Produktdetektors in Abhängigkeit vom ZF-Eingangspegel P_e . Die Regelung beginnt bei -110 dBm ($0,7\mu V$) und regelt bis $+10$ dBm ($0,7 V$) auf nahezu konstante NF-Ausgangsspannung von 7 mV. Bei Eingangspegeln von -90 bis $+10$ dBm ändert sich die NF-Ausgangsspannung um weniger als 3 dB.

■ Weitere Baugruppen

Der freie Platz in den Gehäusen der bisher beschriebenen Baugruppen ließ es zu, noch weitere Funktionen zu integrieren.

SSB-Modulator

Im Gehäuse des Demodulators und NF-Verstärkers fand der SSB-Modulator Platz, den ich mit den Plessey-IC SL622 und SL640 aufgebaut habe. Da es sich hierbei

um reine Standardapplikationen handelt, soll hier nicht detaillierter darauf eingegangen werden.

FM-ZF-Verstärker

Der FM-ZF-Verstärker gemäß Bild 27 befindet sich im Gehäuse des HF-Regelspannungsverstärkers. Das FM-Signal wird im ZF-Zug hinter der ersten Verstärkerstufe ausgekoppelt und dem DG-MOS FET T11 zugeführt, der das Signal um etwa 15 dB verstärkt.

Sein Ausgang steuert den ZF-Verstärker/Demodulator CA3089 niederohmig an. Dessen Demodulatorteil stellt einen Quarzdiskriminator dar, der als frequenz- bzw. phasenbestimmendes Glied ein monolithisches Quarz-Dual in Verbindung mit zwei Schwingkreisen benutzt.

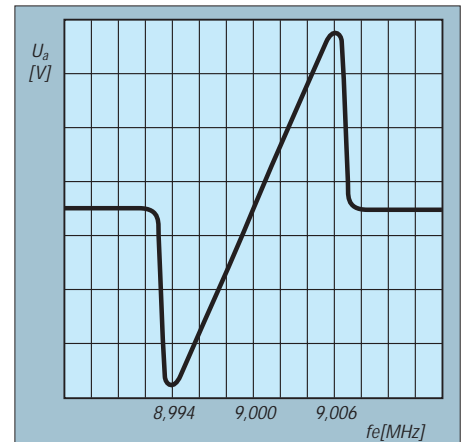


Bild 28: Phasenkurve der Quadraturdemodulation mit ± 6 kHz Höckerabstand

Der Vorteil des Quarzdiskriminators liegt in seiner hohen Schwingkreisgüte und damit Steilheit der Demodulatorkennlinie, so daß zur Demodulation nicht auf eine tiefere Frequenz, wie 455 kHz, heruntergemischt werden muß.

Die beiden Diskriminatorkreise gleicht man wechselseitig auf geringste Verzerrung, d.h. auf beste Symmetrie und Linearität, ab. Die resultierende Demodulatorkennlinie ist in Bild 28 abgebildet. Eine FM-Mittenanzeige wird aus dem überlagerten DC-Pegel des NF-Ausgangssignals entnommen und einem Zeigerinstrument mit Mittenanzeige (± 6 kHz) zugeführt.

Pin 15 gibt eine Regelspannung für T11 ab, die von nominell $+4 V$ auf $0 V$ bei 50 mV Eingangsspannung absinkt. Der Regelspannungskreis für SSB/AM und die daraus abgeleitete S-Meter-Anzeige bleibt während der Betriebsart FM eingeschaltet. Dafür blieb der zusätzliche Feldstärkeausgang an Pin 13 des CA3089 einstweilen ungenutzt. (wird fortgesetzt)

Literatur

[18] Hennig, R., DD6AE: E1 – das interaktive Elektronik-Programm Version 2.0. FUNKAMATEUR 49 (2000) H. 10, S. 1083–1084

Ein ZF-Nachsetzer, wie ihn die Industrie nicht baut (4)

Dipl.-Ing. WERNER SCHNORRENBURG – DC4KU

Wesentliches Element des vorgestellten ZF-Nachsetzers ist die Hängeregelung, die im Mustergerät mit einem Plessey-IC SL-621 realisiert wurde. Wie dieses leider obsolete Bauelement durch eine diskret aufgebaute Schaltung zu ersetzen ist, zeigt diese abschließende Folge. Darüber hinaus gibt es Tips zum Ersatz weiterer, schlecht verfügbarer Bauelemente.

Die Schaltung des SSB-ZF-Demodulators, der SSB-Hängeregelung und des SSB-ZF-Modulators wurden mit Plessey-ICs der Serie SL 600 aufgebaut. Bedauerlicherweise werden diese nicht mehr gefertigt. Für alle Nachbauer, die solche Schaltkreise nicht in der Bastelkiste haben oder beschaffen können, habe ich auf Bitten der Redaktion FUNKAMATEUR nachfolgende, funktionell gleichwertige Ersatzschaltungen mit handelsüblichen Bauelementen entwickelt.

■ SSB-Demodulator und NF-Verstärker

Als SSB-Demodulator kommt ein NE612 zum Einsatz (Bild 29). Das niederohmige ZF-Ausgangssignal gelangt direkt über Pin 1 an den Eingang des NE612. Die oft verwendete Aufwärtstransformation am Eingang des SL 612 ist weder erforderlich

noch zweckmäßig. Das eingespeiste BFO-Signal an Pin 6 sollte $100\text{ mV}_{\text{eff}}$ nicht überschreiten. An Pin 4, dem Ausgang des Produktdetektors, steht das NF-Signal zur Verfügung. Mit Hilfe eines TL082 wird es verstärkt, in seiner Bandbreite auf 300 bis 2800 Hz begrenzt und dem Eingang des NF-Ausgangsverstärkers LM386 zugeleitet, der mit einer Spannungsverstärkung von $v_u = 20$ arbeitet.

■ Die Hängeregelung für SSB/CW

Die Gewinnung der Regelspannung für die SSB-Hängeregelung erfolgt aus dem NF-Signal. Dazu gelangt das Ausgangssignal des Produktdetektors zum Eingang eines weiteren LM386, der mit einer Spannungsverstärkung von $v_u = 200$ arbeitet. Sein Ausgang steuert wiederum zwei getrennte Gleichrichterschaltungen an, die unterschiedliche Richtspannungen erzeugen.

D1 dient der Gewinnung positiver Halbwellen. Die mit C1 geglättete Richtspannung liegt am Eingang des Darlington-Transistors T2/T3 an und erscheint am Emitter von T3 als Regelspannung, über das Potentiometer R5 abgreifbar.

Damit bei einem Signaleinfall kein Überspringen auftritt, wird die Aufladung von C1 durch den Serienwiderstand R2 verlangsamt. Der Eingangswiderstand des Darlington-Transistors ist sehr hoch, so daß die momentane Ladung von C1 nicht abfließen kann.

Parallel dazu produziert die Spannungverdoppler-Schaltung D3/D4 in Verbindung mit C2 eine negative Richtspannung. Infolge der Verdopplung wird schon bei einer NF-Spannung von 40 mV_{ss} (entsprechend einem HF-Eingangssignal von -100 dBm) am Ausgang des Produktdetektors eine Richtspannung von -6 V im geschlossenen Regelkreis erzeugt, wie Bild 30 verdeutlicht.

Diese negative Spannung steuert den Durchlaßwiderstand der Drain-Source-Strecke des FET T3. Gate-Source-Spannungen oberhalb etwa -4 V überschreiten die Abschnürspannung (Pinch-off-Spannung) und bewirken eine Sperrung des FET T4, so daß sich C1 nicht über R4 entladen kann. Fällt das NF-Signal ab, entlädt sich die hohe negative Spannung an C2 langsam über R3. Wenn die Spannung dann nach ungefähr 1 s die Abschnürspannung des FET unterschreitet, kommt es zu

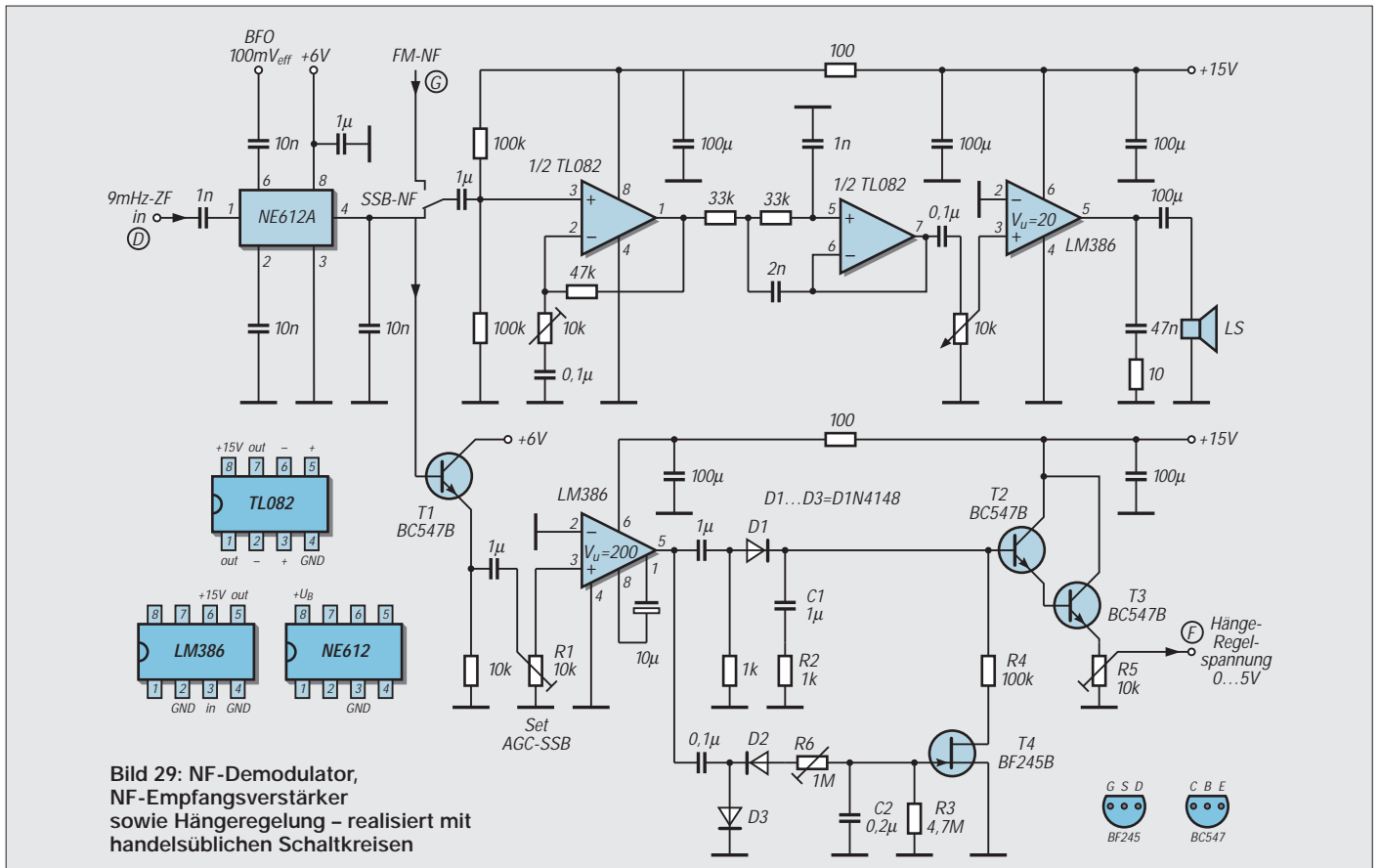


Bild 29: NF-Demodulator, NF-Empfangsverstärker sowie Hängeregelung – realisiert mit handelsüblichen Schaltkreisen

einer schlagartigen Entladung von C1 über R4 und die niederohmig gewordene Drain-Source-Strecke, so daß die volle ZF-Verstärkung zurückkehrt. Durch Vergrößern oder Verkleinern von R3 läßt sich die Haltezeit beeinflussen.

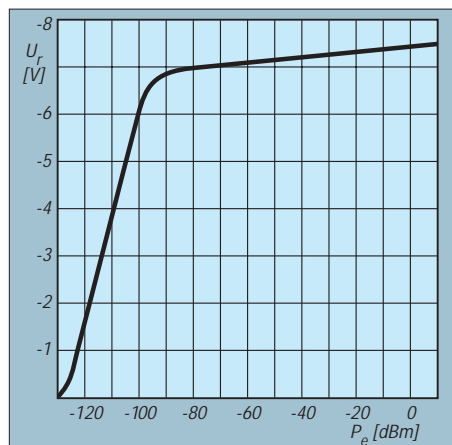


Bild 30: NF-generierte Regelspannung in Abhängigkeit vom Eingangssignal des ZF-Verstärkers

Eine wesentliche Rolle spielt das Potentiometer R1 – mit ihm werden Empfindlichkeit und Einsatzpunkt der Hängeregelung eingestellt, z.B. auf einen Einsatz ab -100 dBm ZF-Verstärker-Eingangsspegel. R5 legt die Ausgangsspannung der NF-gesteuerten Regelung im Zusammenspiel mit der HF-gesteuerten AGC fest. R5 ist so einzustellen, daß bei einem eintreffenden Signal die aus der NF gewonnene Regelspannung etwas höher liegt als die aus der HF gewonnene. Dadurch ist gewährleistet, daß die NF-Regelspannung im eingeschwungenen Zustand die Steuerung des gesamten Regelkreises übernimmt. R6 (nomineller Wert 250 kΩ) ist für die verzögerte Aufladung von C2 verantwortlich, damit die Hängeregelung bei kurzen HF-Störsignalen, wie z.B. Knackstörungen, nicht anspricht. Kurze Signale können dadurch C2 nicht aufladen, so daß die Abschnürspannung des FETs nicht erreicht

wird und bei kurzen Signalen die Entladung von C1 schnell über R4 stattfindet. Durch Variation von R6 ist eine individuelle Einstellung der verzögert einsetzenden Hängeregelung möglich.

■ Mikrofonverstärker und SSB-Modulator

Bild 31 zeigt den Mikrofonverstärker. Ein TL082 verstärkt das Mikrofonsignal und begrenzt die NF-Bandbreite auf den Bereich von 300 bis 2800 Hz. Mit dem Regler R_L wird die NF-Ausgangsspannung auf $\leq 1 V_{ss}$ eingestellt und dem Eingang des Mischers NE612 zugeführt. An Pin 6 des NE612 liegt das BFO-Signal mit etwa $100 mV_{eff}$ an. Das DSB-Signal steht am Ausgang Pin 4 zur Verfügung.

■ Weitere Bauelemente

Bei den in Bild 5 auf S. 1116 eingezeichneten Bauelementen LT1086-12 handelt es sich um Low-Drop-Stabilisatoren. Sie setzen die Betriebsspannung von 15 V auf 12 V herab. Die hier verfügbare geringe Differenz von $\leq 3 V$ erfordert Spannungsregler mit niedriger Verlustspannung (*Low-Drop*). Erhältlich sind diese z.B. bei Conrad Electronic unter den Artikelnummern 14 82 53-88 bzw. 17 43 78-88 oder bei Reichelt Elektronik als LT1086CT-12. Abschließend noch einige prinzipielle Bemerkungen zu Leitungsübertragern, wie sie hier im ZF-Trakt Bild 5, aber mehr noch im zugehörigen HF-Eingangsteil [17], anzutreffen sind. Ringkerne der T-Serie von Amidon sind Karbonyleisen-Ringkerne mit niedrigen A_L -Werten und sehr hohen Güten über 200. Sie finden oft in Resonanzkreisen Verwendung, wie z.B. am Ausgang von T6 in Bild 15. Prinzipiell sind T-Kerne auch als Breitbandübertrager geeignet, jedoch ist dann zu beachten, daß keine Resonanzen auftreten.

Für Breitbandübertrager bevorzugt man deswegen Ferritkerne mit hoher Anfangspermeabilität und hohem Induktivitätsfak-

Um lästiges Blättern in Nachlesen zu ersparen, hier noch einmal wichtige Korrekturen:

- Bild 5: Die PIN-Diode zwischen T1 und T2 muß in Durchlaßrichtung gepolt sein, und der an sie heranführende Regelspannungsanschluß (A) ist als Eingang aufzufassen. Der vor T3 befindliche IC ist ein MSA 0885. Die zugeführte Betriebsspannung 15 V/130 mA heißt U_B .
- S. 1117: Im letzten Satz des ersten Teils muß es richtig heißen, daß der zweite FET in großsignalfester Gateschaltung arbeitet.
- S. 1235: Im Kasten rechts unten ergibt sich das Rauschmaß von 2 dB aus $-172 dBm/Hz - (-174 dBm/Hz)$.
- S. 1237: In Bild 18 sind Pin 6 und 7 des TL082 zu verbinden.

tor A_L . Mit solchen Ringkernen lassen sich periodische, d.h. resonanzfreie Übertrager nach dem Transformator- oder Leitungsprinzip aufbauen. Ersteres erlaubt Bandbreiten von 5 Oktaven, während nach dem Leitungsprinzip (2-Draht-Lecher-Leitung) bis zu 9 Oktaven erreichbar sind.

Verwendete Meßgeräte

- Spektrumanalysator Anritsu MS2663S und MS 2711
- Spektrumanalysator TEK 492P
- Digitales Speicher-Scope TEK TDS 220
- SWR-Brücke R&S ZRB-2
- Sweep Synthesizer ELCOM SS1200

Die Katalogangaben des Frequenzbereichs für Ringkerne, hier Ferritkerne, beziehen sich immer auf hochwertige Resonanzkreise, d.h. Schwingkreise. Für Breitbandanwendungen mit Ferritkernen kann man vom 10- bis 50fachen Wert ausgehen! Das Material 72 eignet sich somit für Breitbandübertrager von 1...50 MHz, Material 43 im Bereich von 20...300MHz. Der Wellenwiderstand der 2-Draht-Leitung in Leitungsübertragern sollte sich am geometrischen Mittel von R_{in} und R_{out} orientieren. Aus $R_{in} = 200 \Omega$ und $R_{out} = 50 \Omega$ resultiert beispielsweise $Z = 100 \Omega$. Da 100-Ω-Leitung zum Bewickeln von kleinen Ringkernen schlecht verfügbar ist, nimmt man einfach zwei CuL-Drähte mit 0,3 mm Durchmesser, verdreht diese und wickelt sechs Windungen durch den Kern. 1:1-Übertrager für $Z = 50 \Omega$ erfordern Leitungsdurchmesser von 0,5 mm. Ein Nogramm zur Realisierung von Lecher-Leitungen gewünschter Impedanz findet sich z. B. in [19], [20].

Literatur/Bezugsquellen

- [19] Red, E. T.: Arbeitsbuch für den HF-Techniker. Franzis' Verlag, Poing 1986
- [20] Red, E. T.: Funkempfänger-Schaltungstechnik praxisorientiert. Beam-Verlag, Marburg 1993 (Bezug: FA-Leserservice)
- [21] Profi-Elektronik GmbH, Färberstraße 33, 48369 Saerbeck, Tel. (0 25 74) 98 37-55, Fax -53, E-Mail: profielectronic@t-online.de; www.amidon.de

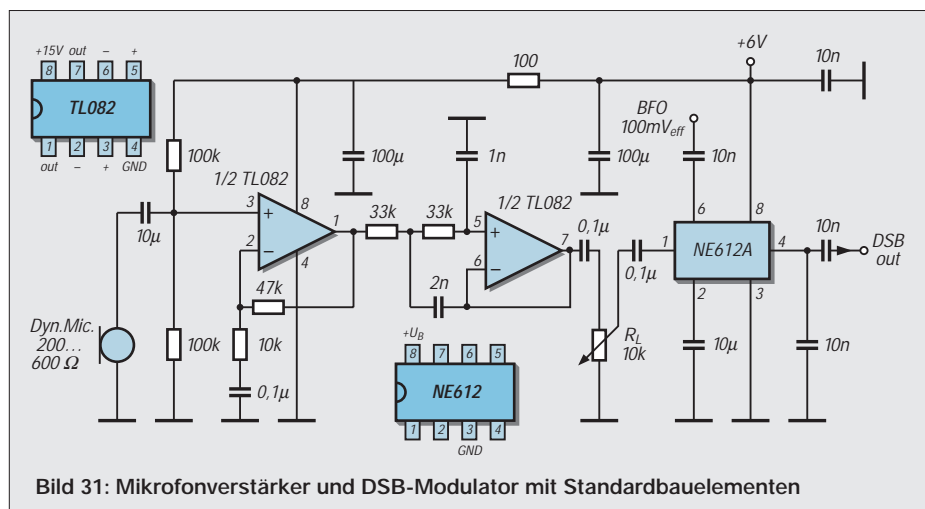


Bild 31: Mikrofonverstärker und DSB-Modulator mit Standardbauelementen