



Hochfrequenz-Signalgenerator HFG 9300 Teil 2

Der große Frequenzbereich und der in weitem Bereich einstellbare Ausgangspegel sind die wesentlichen Leistungsmerkmale des HFG 9300. Dieser erzeugt Sinussignale im Bereich von 10 MHz bis 300 MHz und lässt eine Variation des Ausgangspegels von 0 dBm bis -60 dBm (typ.) zu. Die Möglichkeit der Amplituden- und Frequenzmodulation stellt weitere Features eines Hochfrequenz-Signalgenerators dar, der außerdem durch sein sehr gutes Preis-/Leistungsverhältnis besticht.

Allgemeines

Zur Inbetriebnahme, zum Test und bei der Reparatur von HF-Schaltungen ist der Einsatz eines HF-Signalgenerators im Allgemeinen unumgänglich. Meist lässt sich nur so die korrekte Funktion der Schaltung unabhängig von der Peripherie testen. Daher ist in jedem HF-Labor ein entsprechender Generator zu finden. Der HFG 9300 deckt mit seinem Frequenzbereich von 10 MHz bis 300 MHz einen Großteil technisch intensiv genutzten Spektrums ab. Im Folgenden wird die interessante Schaltungstechnik detailliert erläutert.

Schaltung

Signalerzeugung

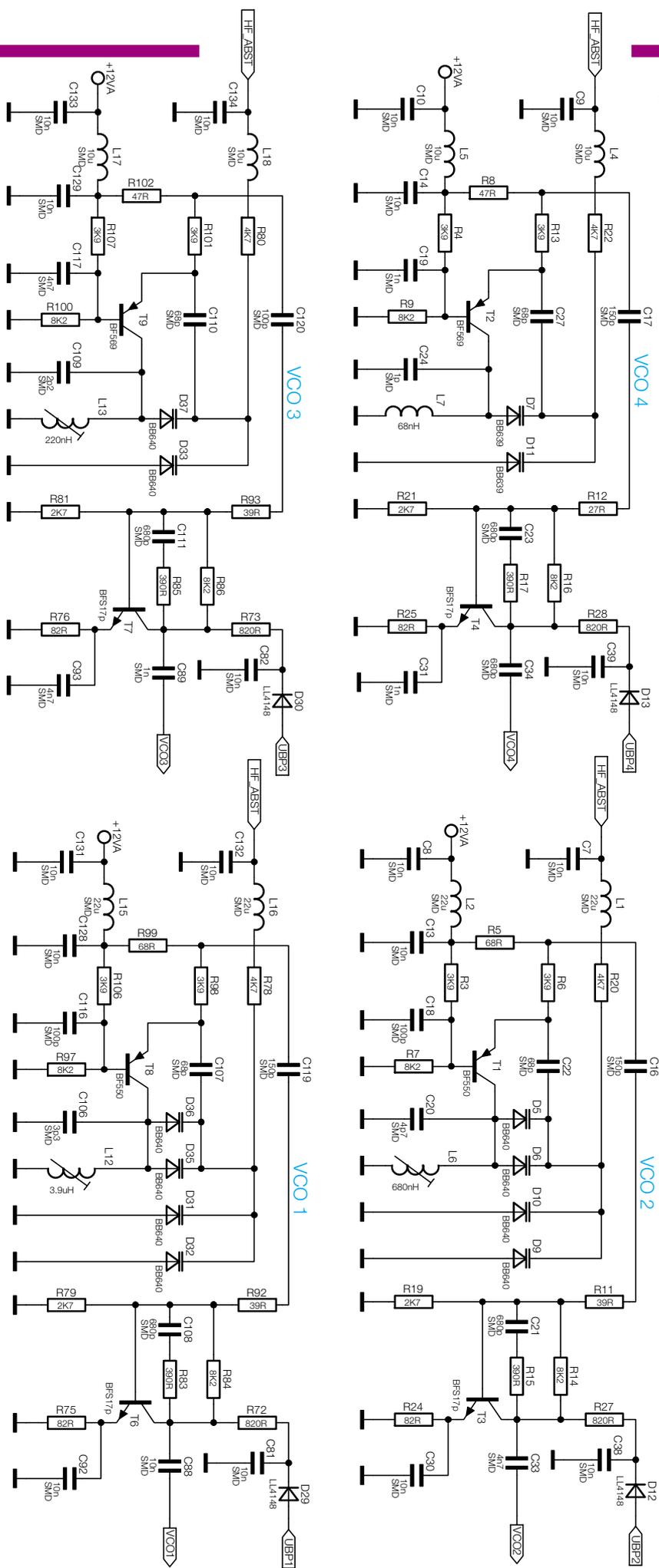
Der wichtigste Schaltungsteil in einem Sinusgenerator ist die in Abbildung 2 dargestellte Signalerzeugung. Um den Frequenzbereich von 10 MHz bis 300 MHz mit spannungsgesteuerten Oszillatoren (VCO) abdecken zu können, müssen vier VCOs aufgebaut werden. Die einzelnen Oszillatoren überschneiden sich ein wenig im Frequenzbereich, sodass der gesamte Frequenzbereich sicher ohne Unterbrechung abstimmbare ist. Die Aufteilung der

spannungsgesteuerten LC-Oszillatoren ergibt sich wie in Tabelle 1 aufgelistet.

Prinzipiell sind alle vier Oszillatoren gleich aufgebaut. Die Unterschiede ergeben sich durch die dem jeweiligen Frequenzbereich angepassten Bauteilwerte. Zur Beschreibung der Funktion soll bei-

Tabelle 1: Aufteilung der VCOs

Oszillator	Abstimmbereich
VCO 1	9,9 MHz bis 27 MHz
VCO 2	26,5 MHz bis 64 MHz
VCO 3	63 MHz bis 150 MHz
VCO 4	145 MHz bis 305 MHz



spielhaft der Oszillator VCO 1 herangezogen werden, der in Abbildung 2 unten rechts dargestellt ist.

Der Transistor T 8 dient als aktives Element des Oszillators. In seinem Kollektorkreis befindet sich ein LC-Parallelschwingkreis als Resonanzelement, der den „Arbeitswiderstand“ darstellt. Bei der verwendeten Oszillatorschaltung handelt es sich um eine kapazitive Dreipunktschaltung, die sich auf einen Colpitts-Oszillator zurückführen lässt.

Der Transistor T 8 arbeitet in Basis-schaltung, die mit ihrem hohen Ausgangswiderstand den Resonanzkreis nur gering bedämpft. Der im Kollektorkreis befindliche LC-Parallelschwingkreis besteht aus der Induktivität L 12, dem Kondensator C 106 und den Kapazitätsdioden D 31, D 32, D 35 und D 36. Der Kondensator C 107 sorgt für die notwendige Mitkoppung, da er die Schwingung vom Ausgang phasenrichtig auf den Eingang (Emitter) zurückkoppelt und so die Bedingung für ein sicheres Schwingen herstellt. Außerdem entkoppelt C 107 die Abstimmspannung von der Arbeitspunkteinstellung des Transistors.

Die Abstimmung der VCOs erfolgt über die Kapazitätsdioden D 31, D 32, D 35 und D 36, die direkt die Schwingkreis-kapazität darstellen. Durch Verändern der Sperrspannung = Abstimmspannung an den Dioden wird die Sperrschichtkapazität variiert und somit die Resonanzfrequenz des Schwingkreises beeinflusst. Diese mit „HF_ABST“ bezeichnete Abstimmspannung liegt im Bereich von 1 V bis 28 V. Das Kapazitätsverhältnis zwischen den Kapazitätswerten bei 1 V und bei 28 V Abstimmspannung ist für den durchstimmbaren Frequenzbereich des Oszillators ausschlaggebend. Da trotz des Einsatzes von Kapazitätsdioden mit einem hyperabrupten Dotierungsprofil, die ein großes Kapazitätsverhältnis besitzen, die Kapazitätswerte noch nicht ausreichen, um den in dieser Anwendung benötigten großen Abstimmbereich zu erzeugen, sind in den Oszillatoren VCO 1 und VCO 2 jeweils zwei Dioden parallel geschaltet. Der zum Schwingkreis gehörende Kondensator C 106 engt die Resonanzfrequenz auf den

bis R 99 und R 106 legen daher den Arbeitspunkt fest.

Das Schwingverhalten und die Ausgangssignalqualität eines VCOs werden u. a. auch von der Auskopplung des Ausgangssignales bestimmt. So wirkt sich eine ändernde Last des Oszillators auf Schwingungsamplitude, Oberwellenabstand und Schwingfrequenz aus. Um diese Rückwirkungen auf den Oszillator zu verringern, entkoppelt eine Pufferstufe den VCO von den folgenden Schaltungsteilen. Diese stellt das Oszillatorsignal rückwirkungsfrei an ihrem gut angepassten Ausgang zur Verfügung. Beim VCO 1 bildet der Transistor T 6 mit Beschaltung diesen Pufferverstärker.

Die Auskopplung des Sinussignales aus der Oszillatorstufe erfolgt zwischen den beiden Widerständen R 98 und R 99. Über das Koppelnetz C 119 und R 92 gelangt das Signal auf den Eingang der Verstärkerstufe. Vom Kollektor kapazitiv entkoppelt steht der Sinus dann am Kondensator C 88 zur Weiterverarbeitung zur Verfügung.

Um den Nebenwellenabstand des Generators zu verbessern, ist der Pufferverstärker des jeweiligen Oszillators immer nur dann aktiv, wenn dieser auch angewählt wurde. So werden die Signalanteile der nicht aktiven Oszillatoren, die aufgrund der nur endlichen Dämpfung des im Signalweg folgenden Umschaltgliedes stark gedämpft im Ausgangsspektrum auftauchen würden, noch weiter abgesenkt. Die eigentlichen Oszillatoren bleiben so ständig in Betrieb. Dies ist hinsichtlich der Temperaturdrift besonders wichtig, da die Ausgangsfrequenz eines Oszillators stark von der Betriebstemperatur abhängig ist. Diese Drift tritt somit nur während der Aufwärmphase des Gerätes, d. h. direkt nach dem Einschalten, auf. Nach ca. 10 Minuten sind die Oszillatorfrequenzen dann stabil.

Das Abschalten der Pufferverstärker erfolgt über deren Versorgungsspannung. Diese wird aus der Schaltspannung für den PIN-Diodenschalter abgeleitet, d. h. die Steuerspannung für den PIN-Diodenschalter ist gleichzeitig die Betriebsspannung („UBP1“) für die Pufferstufe. So arbeitet immer nur der zum gewählten VCO gehörende Pufferverstärker.

PIN-Diodenschalter SPMT

Die Aufgabe des HF-Umschaltgliedes ist es, die Ausgangssignale der vier spannungsgesteuerten Oszillatoren zusammenzuführen. Die Anforderungen an diesen Umschalter sind eine kleine Durchgangsdämpfung im aktiven Signalweg und eine große Isolationsdämpfung für die nicht aktiven VCO-Ausgangssignale über einen Frequenzbereich von 10 MHz bis 300 MHz.

Abbildung 3 zeigt die den Oszillatoren im Signalweg nachfolgenden Schaltungs-

teile vom SPMT bis zur Signalteilung. Das HF-Umschaltglied ist als PIN-Diodenschalter realisiert. Die eigentlichen Schaltelemente sind die Dioden D 17 bis D 26. Die Ansteuerung übernimmt IC 11. Der SPMT schaltet das Ausgangssignal des jeweils aktiven Oszillators auf seinen Ausgang durch. Die Ausgangssignale der nicht aktiven VCOs werden gesperrt.

Die eigentliche Signalumschaltung erfolgt in zwei Stufen. In der ersten Stufe werden jeweils zwei Eingänge, d. h. zwei Oszillatoren, zu einer Gruppe zusammengefasst. So führen die ersten Stufen die Oszillatoren VCO 1 und VCO 3 an der Anode von D 22 und VCO 2 und VCO 4 an D 21 zusammen. D 21 und D 22 bilden wiederum einen einfachen Signalumschalter, der zwischen den beiden Gruppen auswählt und das gewählte VCO-Signal am Ausgang des PIN-Diodenschalters (C 53, C 55) zur Verfügung stellt.

Soll z. B. das Signal vom Oszillator VCO 1 zum Ausgang durchgeschaltet werden, generiert der Prozessor die Steuersignale entsprechend. Dabei erhält „STVCO1“ ein High-Signal, während die übrigen Steuerspannungen auf „low“ liegen. Dies bewirkt, dass die als Komparator geschalteten Operationsverstärker IC 11 A, B und D eine negative Schaltspannung erzeugen, während IC 11 C mit einer positiven Spannung die Dioden entsprechend durchsteuert. So gelangt das Eingangssignal „VCO 1“ über D 23 und D 22 auf den Signalweg zum Ausgang. Die Signale der übrigen VCOs werden durch entsprechende Steuerströme durch die PIN-Dioden gesperrt. Außerdem versorgt die positive Steuerspannung „UBP 1“ den Pufferverstärker von VCO 1 mit Betriebsspannung.

Pegelregelung

Im Signalweg zum Ausgang folgt dem PIN-Diodenumschalter das Stellglied der Pegelregelung. Um einen konstanten Ausgangspegel über den gesamten Frequenzbereich gewährleisten zu können, ist im HFG 9300 eine Amplitudenregelung implementiert. Diese regelt die Amplitudenschwankungen der HF-Oszillatoren über ihrem Abstimmbereich und die Pegelunterschiede zwischen den Oszillatoren aus.

Schaltungstechnisch besteht die Amplitudenregelung aus dem in Abbildung 3 dargestellten PIN-Diodennetzwerk D 8 und dem in Abbildung 5 unten abgebildeten Regler. Das Stellglied D 8 erhält über eine Drossel entkoppelt die Steuerspannung „UST“ vom eigentlichen Regler IC 5 D. Die Information über den derzeitigen Istwert bekommt die Regelung über einen Leistungsmesser, der im Wesentlichen aus der Detektordiode D 27 und dem Verstärker IC 7 mit Beschaltung besteht. Die Ausgangsspannung des Leistungsmessers an

Pin 6 von IC 7 ist proportional zur anliegenden HF-Leistung an „HF_MESS“. Der als Regler beschaltete Operationsverstärker IC 5 D führt einen Soll-Ist-Vergleich durch und verändert entsprechend die Stellgröße, d. h. die Steuerspannung „UST“. Hiermit wird die Dämpfung des PIN-Diodennetzwerkes dann so verändert, dass stets Soll- und Istwert übereinstimmen. Somit bleibt der HF-Pegel an „HF_AMP“ konstant. Alle Komponenten, die von hier aus gesehen noch im Signalweg bis zum HF-Ausgang liegen, sind allerdings nicht Teil der Regelschleife und haben somit einen direkten Einfluss auf die Pegelkonstanz.

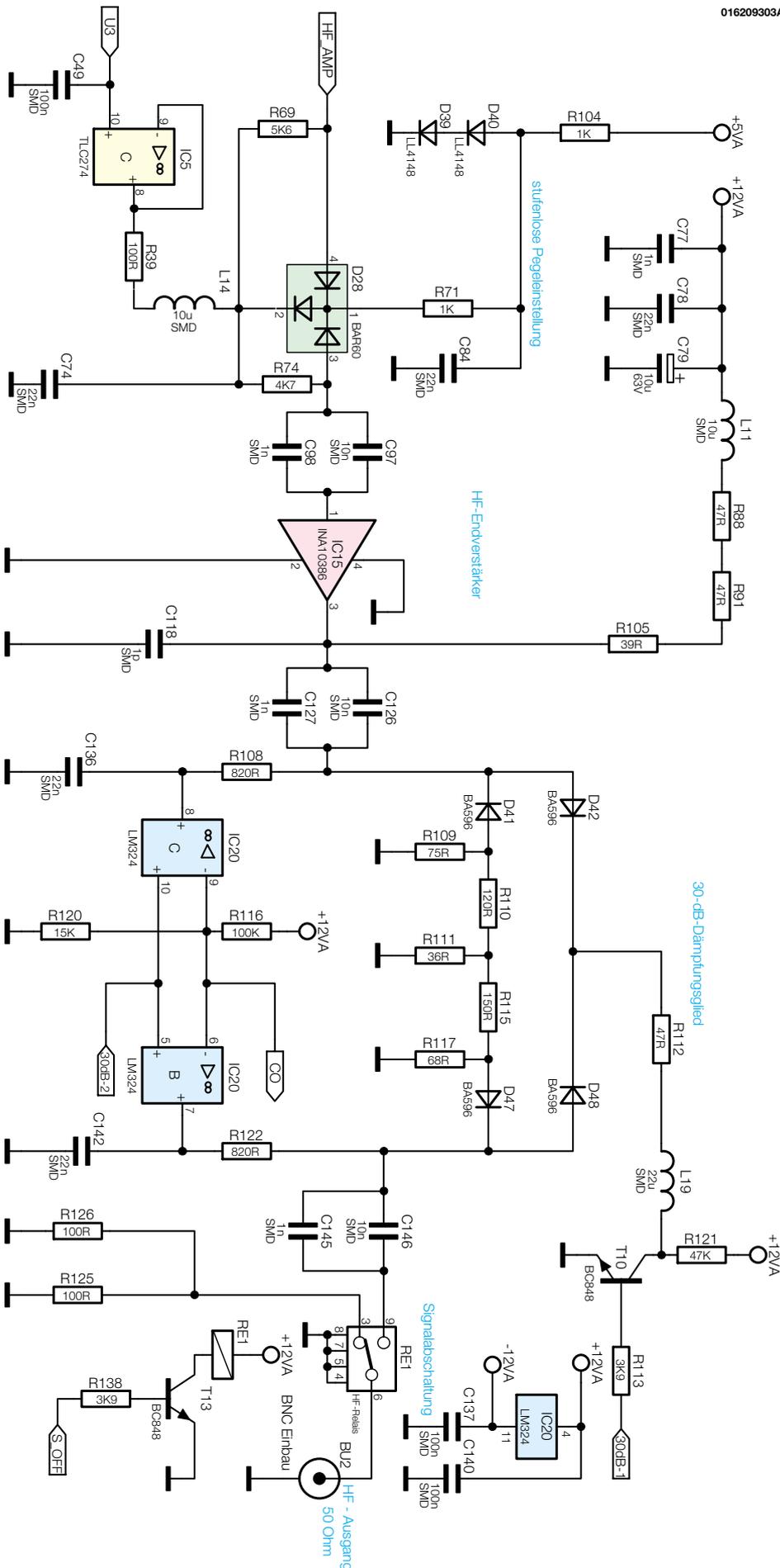
HF-Vorverstärker

Nachdem die Pegelregelung mit D 8 das HF-Signal auf einem konstanten Level gehalten hat, ist es notwendig, diesen HF-Pegel anzuheben. Hierzu kommt mit IC 3 ein integrierter HF-Verstärker zum Einsatz, der aufgrund seiner Innenbeschaltung bereits ein- und ausgangsseitig auf 50 Ω angepasst ist. Dies vereinfacht die Handhabung schon wesentlich. Der hier verwendete HF-Verstärker IC 3 ist ein MMIC (Monolithic Microwave IC) Gain-Block vom Typ INA10386. Dieser besitzt eine Verstärkung von 26 dB (typ.) über einen Frequenzbereich von DC bis 1,8 GHz (-3 dB). Als externe Beschaltung benötigt das IC nur die drei Widerstände R 1, R 2 und R 10 zur Betriebsspannungszuführung. Aufgrund der hohen Verlustleistung sind die Widerstände R 1 und R 2 in der Bauform 1206 ausgeführt. Dem Platinen-Layout gilt bei diesem Verstärker besondere Beachtung. Hier treten bei ungünstigem Aufbau vor allem Auswirkungen auf den Eingangs- und Ausgangsreflexionsfaktor auf, die dazu führen können, dass der Verstärker zu schwingen beginnt.

Amplitudenmodulation

Der HFG 9300 ermöglicht eine Amplitudenmodulation über den gesamten Frequenzbereich. Realisiert wird diese mittels des PIN-Diodennetzwerkes D 14. Die Dämpfung dieses Netzwerkes wird über den mit dem Treiber IC 5 B zugeführten Steuerstrom verändert. Der Treiber IC 5 B erhält an seinem Signaleingang das Modulationssignal für die AM „MOD_AM“. Somit wird die Dämpfung im Sinne der hier anliegenden NF variiert, was letztlich einer Variation der HF-Amplitude im Sinne der NF entspricht.

Ist die Amplitudenmodulation ausgeschaltet, so liegt zum einen an „MOD_AM“ kein NF-Signal an, zum anderen sorgt die Schaltspannung „AM“ dann dafür, dass der Treiberausgang an die positive Betriebsspannungsgrenze fährt. So stellt sich am PIN-Diodennetzwerk eine minimale Dämpfung ein.



016209303A

Bild 4: Signalweg von der Pegel-einstellung bis zur Ausgangsbuchse

Leistungs-teiler

Der im Signalweg folgende Leistungs-teiler, bestehend aus R 45, R 46, R 52, R 53, R 56 bis R 59 und R 67/68, splittet das HF-Signal auf. Das Signal „HF_MESS“ dient als Eingangssignal für die Pegelregelung, mit „HF_ZAHL“ wird der Frequenzzähler angesteuert und „HF_AMP“ geht in Richtung HF-Ausgang und dabei zunächst auf die in Abbildung 4 dargestellte Pegel-einstellung.

Pegeleinstellung

Die Einstellung des Ausgangspegels ist in zwei Stufen aufgeteilt. Im ersten Schritt erfolgt die stufenlose Einstellung des Pegels. Dies geschieht mit dem PIN-Dioden-netzwerk D 28. Hier wird der Steuerstrom, der die Dämpfung für den HF-Zweig ver-ändert, mit Hilfe des Treibers IC 5 C auf-gebracht. Diesen Steuerstrom gibt die am Eingang „U3“ anliegende Gleichspannung, die vom Amplitudensteller „Level“ von der Frontplatte kommt, vor. Mit einem solchen Dämpfungsteller lassen sich Dämp-fungswerte von mehr als 30 dB erreichen und dies bei stufenloser Einstellbarkeit.

Der zweite Teil der Pegeleinstellung besteht aus einem Festdämpfungsglied, das signaltechnisch hinter dem HF-Endver-stärker angeordnet ist. Dieses Dämpfungsglied ist in Doppel-π-Schaltung ausgeführt und mit den Widerständen R 109 bis R 111, R 115 und R 117 realisiert. Ein- und aus-geschaltet wird dieses Dämpfungsglied über die PIN-Dioden D 41, D 42, D 47 und D 48. Die entsprechende Ansteuerung überneh-men die Treiberbausteine IC 20 B und C sowie die Transistorstufe T 10. Mit den Schaltsignalen „30 dB-1“ und „30 dB-2“, die vom Prozessor generiert werden, er-folgt die Steuerung.

Sind beide Signale auf „high“, sind auch die beiden PIN-Dioden D 42 und D 48 für das hochfrequente Signal durchgeschaltet, das Dämpfungsglied ist überbrückt. Bei einem Low-Pegel werden diese gesperrt und stattdessen D 41 und D 47 durchge-steuert. Damit liegt dann das 30-dB-Fest-dämpfungsglied im Signalweg. Nimmt man beide Stufen zusammen, d. h. betrachtet die stufenlose Dämpfung und das Fest-

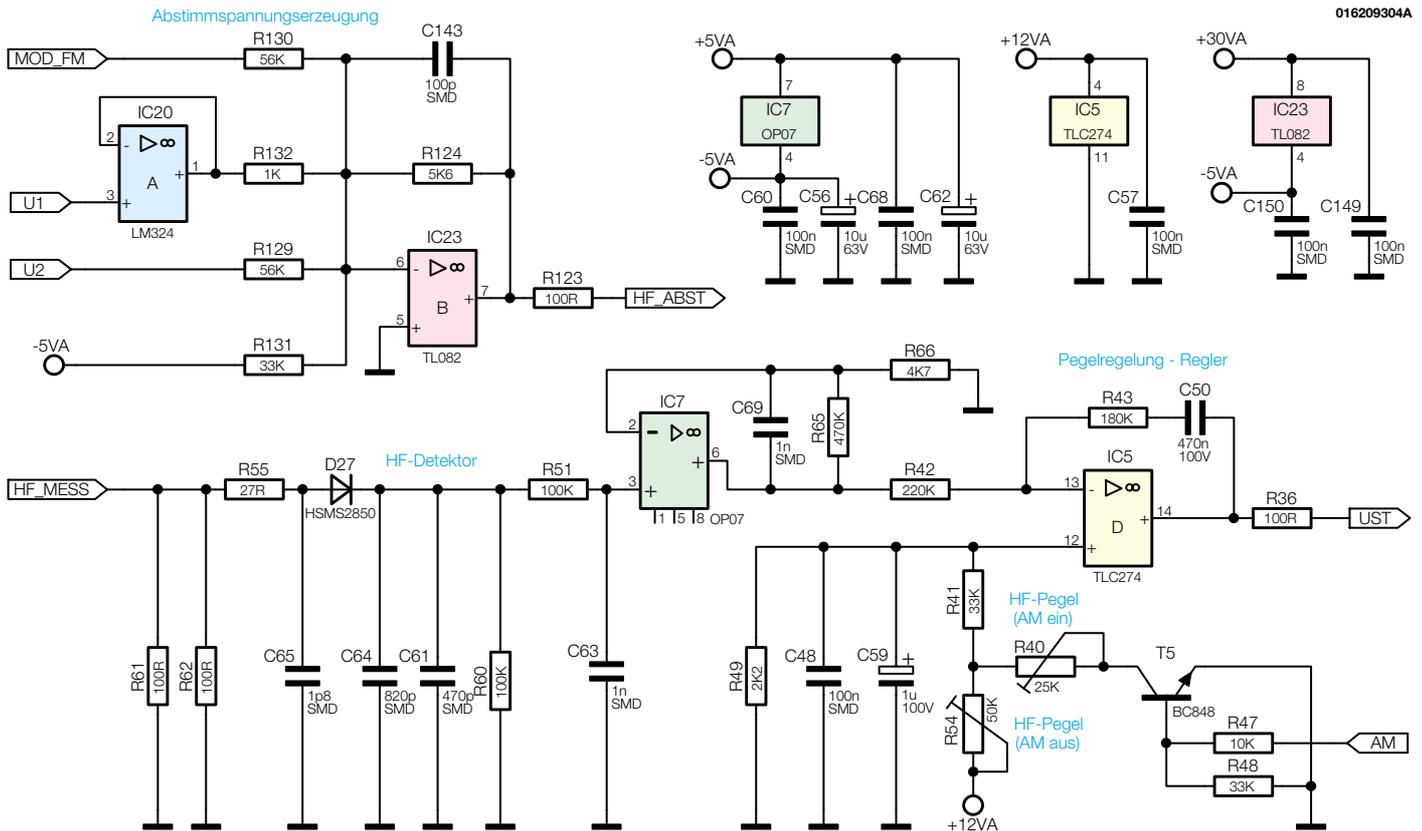


Bild 5: Schaltungsteile, Amplitudenregelung mit HF-Detektor und Abstimmspannungserzeugung

dämpfungsglied zusammen, so lässt sich insgesamt eine Pegeldifferenz von 60 dB erreichen.

HF-Endverstärker

Der maximale Ausgangspegel des Hochfrequenz-Generators liegt bei 0 dBm. Um diesen Pegel über den gesamten Frequenzbereich sicher erreichen zu können, ist ein HF-Endverstärker notwendig, der neben einer entsprechenden Verstärkung auch den maximalen Ausgangspegel ohne Verzerrungen aufbringen können muss. Der hier eingesetzte integrierte Verstärker IC 15 ist genauso wie der HF-Vorverstärker ein MMIC Gain Block. Der verwendete Typ INA 10386 verfügt mit seiner Verstärkung von 26 dB und seinem 1-dB-Kompressionspunkt von 10 dBm für ausreichende Leistungsreserven, um diese Vorgaben realisieren zu können. Auch hier sind als externe Beschaltung im Prinzip nur die drei Widerstände R 88, R 91 und R 105 notwendig.

Signalabschaltung

Ein bei jedem guten HF-Signalgenerator anzutreffendes Feature ist eine schnelle Signalabschaltung. Um das Ausgangssignal mit einem Tastendruck von der Ausgangsbuchse trennen zu können, ist im HFG 9300 die Signalabschaltung mit dem HF-Relais RE 1 aufgebaut. Im Normalbetrieb wird das Ausgangssignal durch die

Einfügungsdämpfung des Relais von $a_{\text{ein}} \leq 0,2 \text{ dB}$ kaum beeinflusst. Soll das Ausgangssignal abgeschaltet werden, so trennt das Relais die Ausgangsbuchse vom internen Signalweg und schließt den Ausgang mit 50Ω ab. Die interne Signalquelle des Hochfrequenz-Generators läuft so im Leerlauf, während eine an der Ausgangsbuchse angeschlossene Schaltung immer noch einen $50\text{-}\Omega$ -Widerstand sieht.

Dieser Abschlusswiderstand, der mit den beiden Widerständen R 125 und R 126 realisiert ist, darf maximal mit einer Verlustleistung von 250 mW - entsprechend $24 \text{ dBm} \approx 3,5 \text{ V}$ an 50Ω - beaufschlagt werden.

Die Ansteuerung des Relais RE 1 erfolgt über den Treibertransistor T 13, den der Prozessor über die Steuerspannung „S_OFF“ anspricht. Um die Dämpfung des internen HF-Signales bei Signalabschaltung noch weiter zu erhöhen, wird in dieser Einstellung das 30-dB-Dämpfungsglied zusätzlich eingeschaltet. Dies gewährleistet eine maximale Unterdrückung des Quellensignales.

Abstimmspannungserzeugung

Um die VCOs über ihren Frequenzbereich abstimmen zu können, ist eine Abstimmspannung im Bereich von 1 V bis 28 V erforderlich. Die Operationsverstärkerschaltungen mit IC 23 B und IC 20 A, die in Abbildung 5 oben dargestellt sind,

generieren die Abstimmspannung. Der Operationsverstärker IC 23 B arbeitet als invertierender Summationsverstärker. Hier werden die von den beiden Einstellreglern „Fine“ und „Coarse“ kommenden Signale mit unterschiedlicher Gewichtung addiert. Die Widerstände R 132 und R 129 geben die Gewichtung vor. Da das Signal des Coarse-Potentiometers („U 1“) einen größeren Einfluss auf die Abstimmspannung haben muss als das des Fine-Reglers („U 2“), sind auch die Verstärkungsfaktoren für diese Spannungen unterschiedlich.

Über R 131 und der Festspannung „-5VA“ wird der 1 V Offset erzeugt, während über R 130 die Zuführung des NF-Signales für die Frequenzmodulation erfolgt. Ist die FM eingeschaltet, addiert die Stufe das an „MOD_FM“ anliegende NF-Signal zur Abstimmspannung hinzu. Somit besteht die Abstimmspannung aus einem DC-Anteil, festgelegt durch die Frequenzeinsteller „Coarse“ und „Fine“, und der überlagerten NF. Die Oszillatoren ändern so im Sinne der NF ihre Schwingfrequenz und erzeugen damit ein in der Frequenz moduliertes Sinussignal. Bei abgeschalteter FM liegt am Eingang „MOD_FM“ kein NF-Signal an.

Damit ist der erste Teil der Schaltungsbeschreibung abgeschlossen. Der folgende Artikel beschäftigt sich dann mit der Modulationssignalaufbereitung, dem Digitalteil und dem Netzteil des HFG 9300.