

10-MHz-DDS-Funktionsgenerator

Dieser als Platinenversion ausgeführte, programmierbare Funktionsgenerator DDS 10 arbeitet nach dem DDS-Prinzip (direct digital synthesis), bei dem ein Sinussignal auf digitale Weise generiert wird. Neben dem so erzeugten Sinus liefert das DDS 10 aber auch ein Dreieck- und ein Rechtecksignal. Die Ausgangsfrequenz lässt sich im Bereich von 0,1 Hz bis 10 MHz in 0,1-Hz-Schritten einstellen. Eine Wobbel- und eine Modulationsfunktion runden die Features ab.

Allgemeines

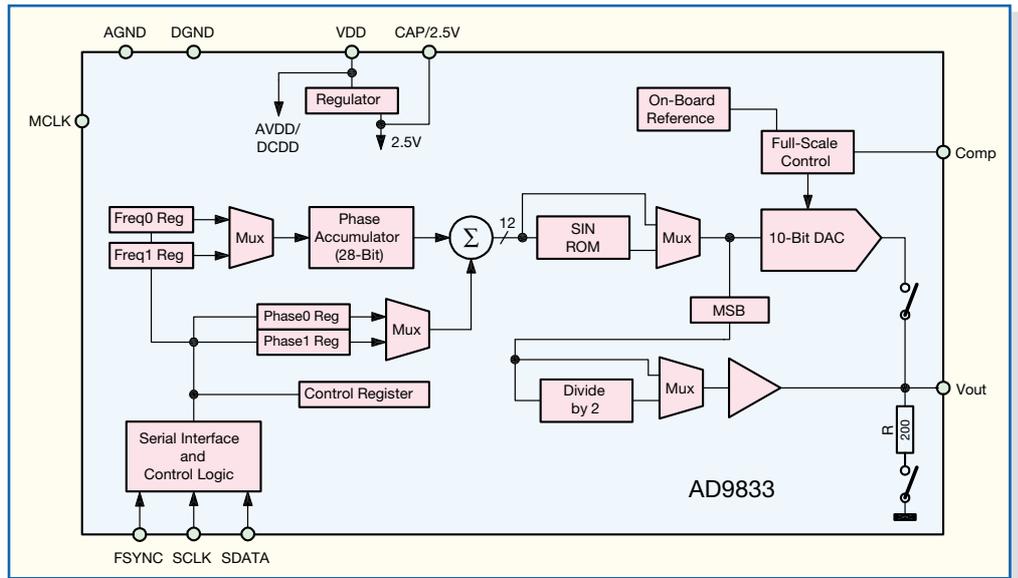
Neben Multimeter und Oszilloskop gehören Sinus- und Funktionsgeneratoren zu den wichtigsten Mess- und Prüfgeräten in einem Elektroniklabor. Die Spanne der verfügbaren Generatoren reicht von einfachen Platinenversionen mit einem Funktionsgeneratorbaustein à la XR 2206 bis hin zu Highend-Geräten mit Anschaffungskosten jenseits der 10.000 €.

In den letzten Jahren geht vor allem im Frequenzbereich bis 50 MHz der Trend vermehrt zu Geräten, die nach dem DDS-Prinzip arbeiten. Leider sind dies meist reine Sinusgeneratoren, die evtl. noch einen TTL-Ausgang besitzen. Das neue ELV-DDS-Board DDS 10 arbeitet mit einem DDS-Chip, der neben dem Sinussignal auch ein Dreieck und ein Rechteck als

Technische Daten: DDS 10

Frequenzbereich:	0,1 Hz bis 10 MHz
Schrittweite:	0,1 Hz
Genauigkeit:	25 ppm, kalibrierbar
Signalform:	Sinus, Rechteck, Dreieck
Signalausgang:	0 V _{ss} bis ca. 600 mV _{ss} @ 50 Ω
TTL-Ausgang:	TTL-Pegel
Modulationsarten:	FSK (Frequency Shift Keying), PSK (Phase Shift Keying)
Frequenz-/Phasenhub:	1 Hz bis 10 MHz/0° bis 359°
Modulationsfrequenz:	1 Hz bis 1 kHz
Modulationsquelle:	intern, extern
Wobbelbereich:	0,1 Hz bis 10 MHz
Wobbelfrequenz:	0,1 Hz bis 10 Hz
PLL-Faktor:	0 bis 1000
ZF-Korrektur:	-2 GHz bis 2 GHz
Speicher:	5
Spannungsversorgung:	+7 V bis 12 V/130 mA -7 V bis 12 V/20 mA
Abmessungen:	148 x 66 x 38 mm

Bild 1: Blockschaltbild AD 9833



Signalform anbietet und somit zum Funktionsgenerator wird. Aber nicht nur als Funktionsgenerator im Messlabor lässt sich das DDS-Board einsetzen; durch seine hohe Frequenzgenauigkeit und die kleinen Einstellschritte ist das Board auch sehr gut als Referenzoszillator für PLL-Systeme, z. B. in Kurzwellenempfängern, einsetzbar, wobei spezielle Konfigurationsmöglichkeiten dieses Einsatzgebiet explizit unterstützen.

Das Prinzip der direkten Sinussignal-erzeugung nach dem DDS-Verfahren ist schon seit Jahren verbreitet. Wesentliche Vorteile sind der große Abstimmbereich, der ohne irgendwelche Bereichsumschaltungen auskommt, in Verbindung mit sehr kleinen Einstellschritten. So überstreicht das DDS 10 einen Frequenzbereich von 0,1 Hz bis 10 MHz, wobei sich die Frequenz in Schritten von 0,1 Hz einstellen lässt.

Der grundlegende Unterschied des DDS-Verfahrens zur analogen Signalerzeugung besteht darin, dass die verschiedenen Signale nicht direkt durch „echte“ Schwingungen erzeugt werden. Stattdessen übernimmt ein Prozessor die Berechnung der Funktionswerte (Momentanwerte) und wandelt sie mit einem Digital-Analog-Wandler in die entsprechende Ausgangsspannung um. Abbildung 1 zeigt die interne Struktur des DDS-Bausteins AD 9833. Zentrale Elemente sind das „SIN ROM“, ein Speicher, in dem der „Kurvenverlauf“ eines Sinussignals abgelegt ist, der „Phase Accumulator“, ein Register, das definiert, welche Werte aus dem „SIN ROM“ ausgelesen werden sollen, und der „DAC“, ein 10-Bit-Digital-Analog-Wandler, der die aus dem „SIN ROM“ stammenden Werte in ein analoges Signal konvertiert.

Das genaue DDS-Funktionsprinzip wurde bereits im „ELVjournal“ 5/2002 ausführlich beschrieben. Weitergehende In-

formationen kann man auch auf der Internet-Seite des Herstellers „Analog Devices“ (<http://www.analog.com>) nachlesen.

Bedienung

Um eine möglichst komfortable Bedienung zu ermöglichen, besitzt das DDS-Board ein 4-zeiliges LC-Display. Hiermit kann sehr übersichtlich eine menügeführte Bedienung implementiert werden. Der Aufbau der Menüstruktur ist in Abbildung 2 zu sehen. Als Bedienelemente dienen die 3 Tasten, ein Drehimpulsgeber und ein Potentiometer.

Die drei Tasten haben dabei folgende Funktionen:

- linke Taste „<“:
- „aufwärts“ oder „links“
- mittlere Taste „Enter“:
- „Auswahl“ oder „Enter“
- rechte Taste „>“:
- „abwärts“ oder „rechts“

Der Inkrementalgeber erfüllt im Prinzip auch die Funktion „aufwärts“ oder „abwärts“, je nach Drehrichtung. Grundsätzlich erfolgt das Manövrieren durch das Menü durch Anwählen des Menüpunktes mit Hilfe der Pfeiltasten: Mit der Enter-Taste wird der Menüpunkt angewählt bzw. das entsprechende Untermenü geöffnet. Über „zurück“ gelangt man in die nächsthöhere Menüebene zurück.

Die Einstellungen im entsprechenden

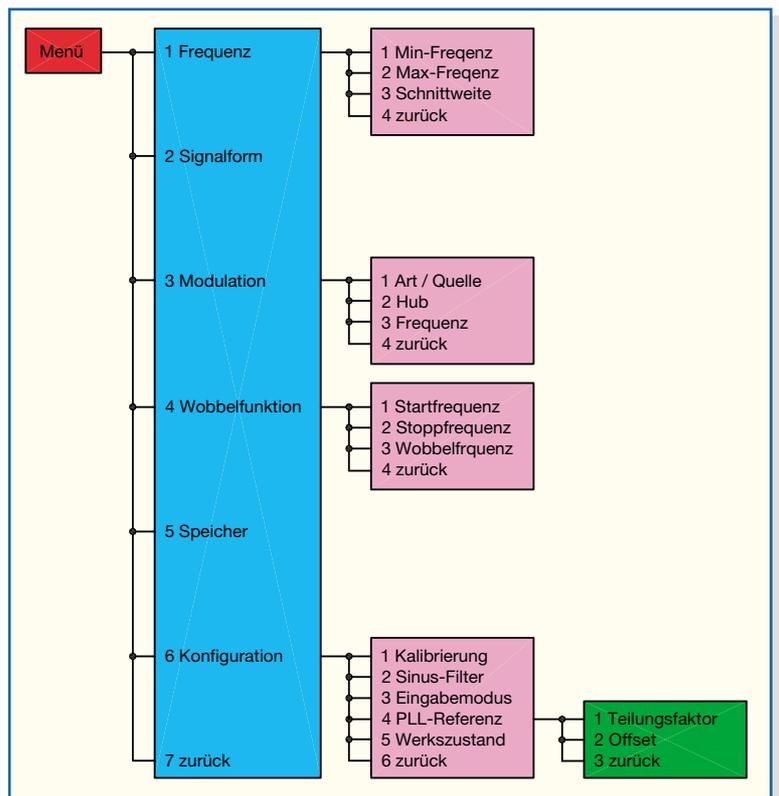


Bild 2: Bedien- und Menüstruktur

Menüpunkt erfolgen dann mit dem Drehimpulsgeber.

Grundanzeige

Der Aufruf der aktuell eingestellten Frequenz, die Aktivierung der Modulation und des Wobbelbetriebes mittels der „Buttons“ und der Aufruf des Menüs geschehen von der Grundanzeige aus. Auch hier wird mittels der Tasten manövriert.

In der oberen Zeile wird die aktuelle Ausgangsfrequenz angezeigt bzw. eingestellt. Defaultmäßig sind hier Werte von 0,1 Hz bis 10 MHz einstellbar, dies entspricht dem gesamten Frequenzbereich. Dieser Einstellbereich lässt sich allerdings auch einschränken (siehe „Frequenzeinstellung“), z. B. wenn beim Abstimmen via Drehimpulsgeber eine bestimmte Minimal- oder Maximalfrequenz nicht überschritten werden darf. Innerhalb des zugelassenen Abstimmbereiches erfolgt die Einstellung der Ausgangsfrequenz ziffernweise: Mit den Tasten „<“ und „>“ wird die Ziffer, die verändert werden soll, ausgewählt und mit Hilfe des Drehimpulsgebers dann verändert. Beim Überlauf erfolgt ein Übertrag in die nächsthöhere bzw. nächstniedere Stelle.

Bei der Frequenzeinstellung gibt es zwei Betriebsmodi, die sich im Menüpunkt „Konfiguration“ einstellen lassen:

1. Direkt-Mode: Jede Änderung wird direkt zum DDS-Chip übertragen (Normaler Betriebsmode)
2. Enter-Mode: Die Änderung des Sollwertes der Frequenz kann am Display vorgenommen werden, wie oben beschrieben. Ausgeführt (übertragen zum DDS-Chip) wird die Änderung erst nach Betätigen der Enter-Taste.

In der untersten Zeile befinden sich die drei Buttons „Mod“, „Wob“ und „Menu“. Fährt man den Button „Mod“ an und bestätigt mit „Enter“, wird die Modulation aktiviert. Der Schriftzug „Modulation“ zeigt dies an. Dabei werden die Parameter verwendet, die im Modulationsmenü definiert sind. Ein erneutes Anwählen von „Mod“ deaktiviert die Modulation wieder. Zum Starten der Wobbelfunktion ist entsprechend „Wob“ auszuwählen. Auch hier werden die Parameter des Wobbel funktionsmenüs verwendet. Die weiteren, eher selten benötigten Einstellungen des DDS-Boards sind in dem verzweigten Menü untergebracht, das über den Button „Menu“ geöffnet wird. Diese in Abbildung 2 gezeigte und im Folgenden genauer beschriebene Menüstruktur beherbergt die weiteren Funktionen.

Frequenzeinstellung

Sollen verschiedene Parameter zur Frequenzeinstellung verändert werden, so ist das „Menü“ mit dem Untermenü

„Frequenzeinstellung“ aufzurufen.

Folgende Parameter sind hier einstellbar:

Minimalfrequenz:

minimal einstellbare Ausgangsfrequenz

Maximalfrequenz:

maximal einstellbare Ausgangsfrequenz

Schrittweite:

Dieser Punkt definiert die Schrittweite der Frequenzeinstellung. Wird hier ein Wert ungleich 0,1 eingegeben, so erfolgt die Änderung der Frequenz bei jedem Impuls des Drehimpulsgebers nicht mehr nur um einen Wert der angewählten Ziffer, sondern genau um den eingegebenen Wert. Eine Schrittweite von 512 hat z. B. zur Folge, dass sich die Frequenz bei jedem Impuls um 512 Hz ändert.

Signalform

Hier erfolgt die Auswahl der Signalform. „Sinus“, „Dreieck“, „Rechteck“ oder Rechteck mit halber Signalfrequenz „Rechteck f/2“ lassen sich auswählen; das Kreuz in der ersten Spalte markiert die Auswahl.

In der Einstellung „Sinus“ wird automatisch das Sinusfilter zur Verbesserung der Signalqualität eingeschaltet. Es sei denn, dies wurde in der Konfiguration unter „Sinus-Filter“ ausdrücklich deaktiviert.

Modulation

Hier lassen sich FSK (Frequency Shift Keying) und PSK (Phase Shift Keying) auswählen. Bei aktivierter Modulation werden Frequenz bzw. Phasenlage um den unter Frequenzhub bzw. Phasenhub eingestellten Wert verändert. Mit „intern“ oder „extern“ lässt sich auswählen, ob der Wechsel zwischen den Frequenzen (bzw. den Phasenlagen) über das via „Mod“ eingespeiste externe Signal oder über einen internen Takt erfolgt, d. h. ob die Modulationsfrequenz intern oder extern erzeugt wird.

Folgende Parameter sind einstellbar:

Art/Quelle:

Als Quelle sind „FSK“ oder „PSK“ wählbar. Wird bei der Einstellung der Quelle „extern“ gewählt, erfolgt die Modulation über das an „Mod“ eingespeiste Signal, bei „intern“ über das unter „Frequenz“ festgelegte Signal.

Hub:

Dies definiert den Frequenzhub (bei FSK) oder den Phasenhub (bei PSK). Bei FSK liegt der Einstellbereich zwischen 1 Hz und 10 MHz. Bei negativen Werten ist die 2. Frequenz kleiner, bei positiven Werten größer als die eingestellte Ausgangsfrequenz. Zu beachten ist dabei der generelle Einstellbereich der Frequenz von 0,1 Hz bis 10 MHz. Ein Frequenzhub, der diese Grenzen überschreitet, ist nicht einstellbar. Bei

PSK liegt der Bereich des Phasenhubs zwischen 1° und 359°.

Frequenz:

Bei gewählter interner Modulationsquelle ist hier die Modulationsfrequenz einzustellen.

Wobbeln

Im Betriebsmode „Wobbeln“ wird der Frequenzbereich zwischen Start- und Stoppfrequenz mit der unter „Wobbelfrequenz“ abgelegten Frequenz „abgefahren“. Beim Erreichen der Stoppfrequenz wird wieder bei der Startfrequenz begonnen. Zu beachten ist dabei, dass das Wobbeln hier „digital“ erfolgt, d. h. die Frequenz in festen Schritten geändert wird. Die Schrittweite hängt dabei vom eingestellten Wobbelbereich und von der Wobbelfrequenz ab. Je kleiner der überstrichene Bereich und je langsamer die Wobbelfrequenz, desto kleiner sind auch die Schritte der Frequenzänderung.

Folgende Parameter sind einstellbar:

Startfrequenz:

Einstellbereich von 0,1 Hz bis 10 MHz

Stoppfrequenz:

Einstellbereich von 0,1 Hz bis 10 MHz

Wobbelfrequenz:

0,01 Hz bis 10 Hz

Bei jedem Start des Wobbelvorgangs an der Startfrequenz wird am Ausgang „SYNC“ ein kurzer High-Impuls ausgegeben.

Speicherbetrieb

Es besteht die Möglichkeit, 5 Konfigurationen dauerhaft abzuspeichern. Wählt man den entsprechenden Speicherplatz an, so wird entweder die aktuelle Konfiguration in diesen Speicher hineingeschrieben (Menüpunkt „Speichern“), oder die bereits abgelegten Einstellungen des DDS-Boards werden ausgelesen (Menüpunkt „Auslesen“).

Konfiguration

Der Anwender kann das DDS-Board über verschiedene Konfigurationen für seinen speziellen Einsatzbereich anpassen. Im Menüpunkt „Konfiguration“ lassen sich folgende Einstellungen vornehmen:

Kalibrierung: Die Frequenzgenauigkeit, die standardmäßig bei ± 25 ppm liegt, kann durch eine Kalibrierung verbessert werden. Abgelegt ist hier die Oszillatorfrequenz des Masterclock-Signals für den DDS-Chip. Der Wert ist defaultmäßig mit 25 MHz angegeben. Bei einer Kalibrierung muss zunächst die Frequenz des Oszillators, wie im Abschnitt „Inbetriebnahme und Kalibrierung“ beschrieben, genau ausgemessen bzw. berechnet werden. Nach Eingabe der exakten Oszillatorfrequenz rechnet der Mikrocontroller auf der Basis dieses neuen Wertes die Aus-

gangsfrequenz um. Die dann erreichbare Genauigkeit hängt dabei nur von der Genauigkeit der Ermittlung der Oszillatorfrequenz ab und kann durchaus im Bereich von einigen wenigen ppm liegen.

Sinus-Filter: Um die Signalqualität des Sinussignals zu verbessern, ist ein Tiefpassfilter implementiert, das z. B. die Anteile des Mastertaktes ausfiltert. Dieses Filter ist aktiv, wenn die Signalform „Sinus“ gewählt wurde. Soll in diesem Modus das ungefilterte Signal auf den Ausgang gelangen, kann das Filter mit „Aus“ deaktiviert werden.

Eingabemodus: Hier erfolgt die Auswahl zwischen den beiden bereits beschriebenen Einstellmodi zur Frequenzeinstellung „Direkt“ und „Enter“.

PLL-Referenz: Wie bereits erwähnt, kann das DDS-Board auch als Zeitbasis für PLL-Systeme oder Empfänger dienen, gerade in Verbindung mit Selbstbauprojekten. Dies sei an einem Beispiel erläutert: Ein Doppel-Superhet-Kurzwellenempfänger soll im Frequenzbereich von 0 bis 30 MHz empfangen, die Zwischenfrequenzen betragen 45 MHz und 455 kHz. Um den genannten Empfangsbereich zu gewährleisten, muss der erste Lokaloszillator einen Frequenzbereich von 45 MHz bis 75 MHz überstreichen (45 MHz - 45 MHz = 0 MHz, 75 MHz - 45 MHz = 30 MHz). Der dem VCO nachgeschaltete Frequenzteiler habe ein Teilerverhältnis von 8, womit die Zeitbasis (DDS-Board) im Frequenzbereich von 5,625 MHz bis 9,375 MHz arbeiten muss. Somit ergibt sich für einen derartigen Empfänger als kleinster Frequenz-Einstellschritt 0,8 Hz (0,1 Hz • 8 = DDS-Board-Auflösung • PLL-Faktor). Damit nun auf dem Display des DDS-Boards die Empfangsfrequenz angezeigt wird und nicht die eigentliche Ausgangsfrequenz, können der Teilungsfaktor und der Frequenzoffset (durch die ZF) eingegeben werden. Gemäß des Beispiels sind dann folgende Parameter zu programmieren: Teilungsfaktor: 8; Offset: -45 MHz.

Die angezeigte Frequenz wird somit vom Mikrocontroller wie folgt umgerechnet:

$$f_{\text{Anzeige}} =$$

$$(f_{\text{Ausgang}} \cdot \text{Teilungsfaktor}) + \text{ZF-Offset}$$

Folgende Parameter, die dafür sorgen, dass die ausgegebene Frequenz gegenüber der angezeigten Frequenz über einen Offset und einen Multiplikationsfaktor verändert ist, sind somit einstellbar:

Teilungsfaktor: Hier ist der Faktor einzugeben, um den der VCO höher schwingt. Im Allgemeinen ist hier der Teilungsfaktor des Teilers zwischen VCO und PLL-Schaltung einzustellen.

Offset: Die hier angegebene Frequenz im Bereich von -2 GHz bis +2 GHz ist ein konstanter „Frequenzversatz“ und entspricht im Allgemeinen der ZF-Frequenz.

Werkzustand: Die Wiederherstellung des Auslieferungszustandes erfolgt über diesen Menüpunkt. Folgende Grundeinstellung ist im Gerät hinterlegt:

- Frequenzeinstellung: 1 kHz
 - Startfrequenz: 0,1 Hz
 - Stoppfrequenz: 10 MHz
 - Schrittweite: 1 kHz
- Signalform: Sinus
- Modulation: aus
 - Art/Quelle: FSK/intern
 - Hub: 100 kHz
 - Frequenz: 1 kHz
- Wobbelfunktion: aus
 - Startfrequenz: 0,1 Hz
 - Stoppfrequenz: 10 MHz
 - Wobelfrequenz: 10 Hz
- Speicherbetrieb:
 - alle Speicher gelöscht
- Konfiguration
 - Kalibrierung: 25 MHz
 - Sinusfilter: ein
 - Eingabemodus: direkt
 - PLL-Referenz
 - Teilungsfaktor: 1
 - Offset: 0 Hz

Pegeleinstellung/DC-Offset

Die Einstellung des Ausgangspegels am „Signal Ausgang“ geschieht über das Potenziometer. Im normalen Auslieferungszustand liegt die untere Grenzfrequenz des Signalzweiges bei 0 Hz, da der Widerstand R 13 die kapazitive Entkopplung überbrückt. In diesem Zustand ist dem Ausgangssignal ein DC-Offset von einigen 100 mV überlagert, der sich auch bei einer Amplitudeneinstellung mit ändert.

Soll das Ausgangssignal quasi offsetfrei, d. h. mit einer um die Nulllinie symmetrischen Aussteuerung ausgegeben werden, so muss der Widerstand R 13 ausgelötet werden. In diesem Fall ist jedoch zu beachten, dass der Signalweg so eine untere Grenzfrequenz von ca. 15 Hz erhält und Signale unterhalb dieser Frequenz nur noch stark gedämpft am Ausgang erscheinen.

Schaltung

Die Schaltung des DDS-Boards ist in Abbildung 3 dargestellt. Zentrales Bauelement ist hier der DDS-Schaltkreis IC 2 vom Typ AD 9833. Dieses IC benötigt für seinen Betrieb nur wenige externe Bauteile und lässt sich über nur 3 Steuerleitungen programmieren. Die wichtigste externe Komponente ist der Quarzoszillator, der den Mastertakt zur Verfügung stellt. Um den maximalen Frequenzbereich, den der DDS-Chip zulässt, auszunutzen, ist eine Taktfrequenz von 25 MHz notwendig. Da

die Qualität des Taktsignals direkten Einfluss auf die Genauigkeit und Stabilität des Ausgangssignals des DDS-Bausteins hat, wird hier ein integrierter Quarzoszillator Q 2 verwendet, der eine maximale Toleranz von ±25 ppm (ppm = parts per million = 10⁻⁶) und auch eine Temperaturstabilität von ±25 ppm besitzt. Bei der Frequenzstabilität ist noch zu bedenken, dass sich das Gerät bzw. der Oszillator erst auf Betriebstemperatur erwärmen muss. Daher ist im Einschaltmoment mit einer erhöhten Frequenzdrift zu rechnen. Abbildung 4 zeigt den Frequenzverlauf bzw. die Drift in der Einschaltphase. Nach ca. 3 Minuten ist die Drift jedoch schon unter 10 ppm gesunken.

Über das nachgeschaltete Filter aus R 9 und C 15 gelangt das 25-MHz-Taktsignal auf den Takteingang des DDS-Chips. Weitere externe Komponenten sind die Kondensatoren C 7 bis C 14. Diese dienen alle zur Entkopplung bzw. zur Blockung der Betriebs- und Referenzspannungen. Der Betriebsspannungsanschluss Pin 2 und der nach außen geführte Referenzspannungsanschluss Pin 3 sind mit einer Staffelfblockung aus verschiedenen Kapazitätswerten beschaltet, um die elektromagnetischen Abstrahlungen des DDS-Chips zu verringern.

Gesteuert wird der AD 9833 über seine drei Steuersignal-Eingänge „FSYNC“, „SDATA“ und „SCLK“. Das FSYNC-Signal ist dabei eine so genannte Frame-Synchronisation. Liegt das Signal auf „low“, signalisiert dies dem DDS-Chip, dass über die Leitungen „SDATA“ und „SCLK“ ein neues Datenwort zur Einstellung von Frequenz, Phase etc. eingelesen werden muss. Diese Steuerung übernimmt der Mikrocontroller IC 1.

Das Ausgangssignal des DDS-Bausteins IC 2 steht an „VOUT“ (Pin 10) zur Verfügung. Dieses Signal geht zum einen in den Signalzweig, der den analogen Ausgang ST 1 speist, und zum anderen in den Schaltungsteil, der den rein digitalen Ausgang ST 3 bereitstellt.

Als Ausgangssignal steht am AD 9833 je nach Einstellung via Mikrocontroller entweder ein Sinussignal, ein Dreieck- oder ein Rechtecksignal an. Der analoge Ausgang ist eigentlich nur für die Signalformen „Sinus“ und „Dreieck“ gedacht, da das Rechtecksignal am digitalen Ausgang ST 3 abgenommen werden kann. Als Ausgangsstufe für diesen digitalen Ausgang dienen die parallel geschalteten NAND-Gatter mit Schmitt-Trigger-Eingängen in IC 6. Um Ausgleichsströme zwischen den einzelnen Gatterendstufen zu begrenzen, erfolgt die Zusammenschaltung der Ausgänge über entsprechende Widerstände (R 18 bis R 20).

Der Signalweg zum analogen Ausgang benötigt auch eine entsprechend analoge

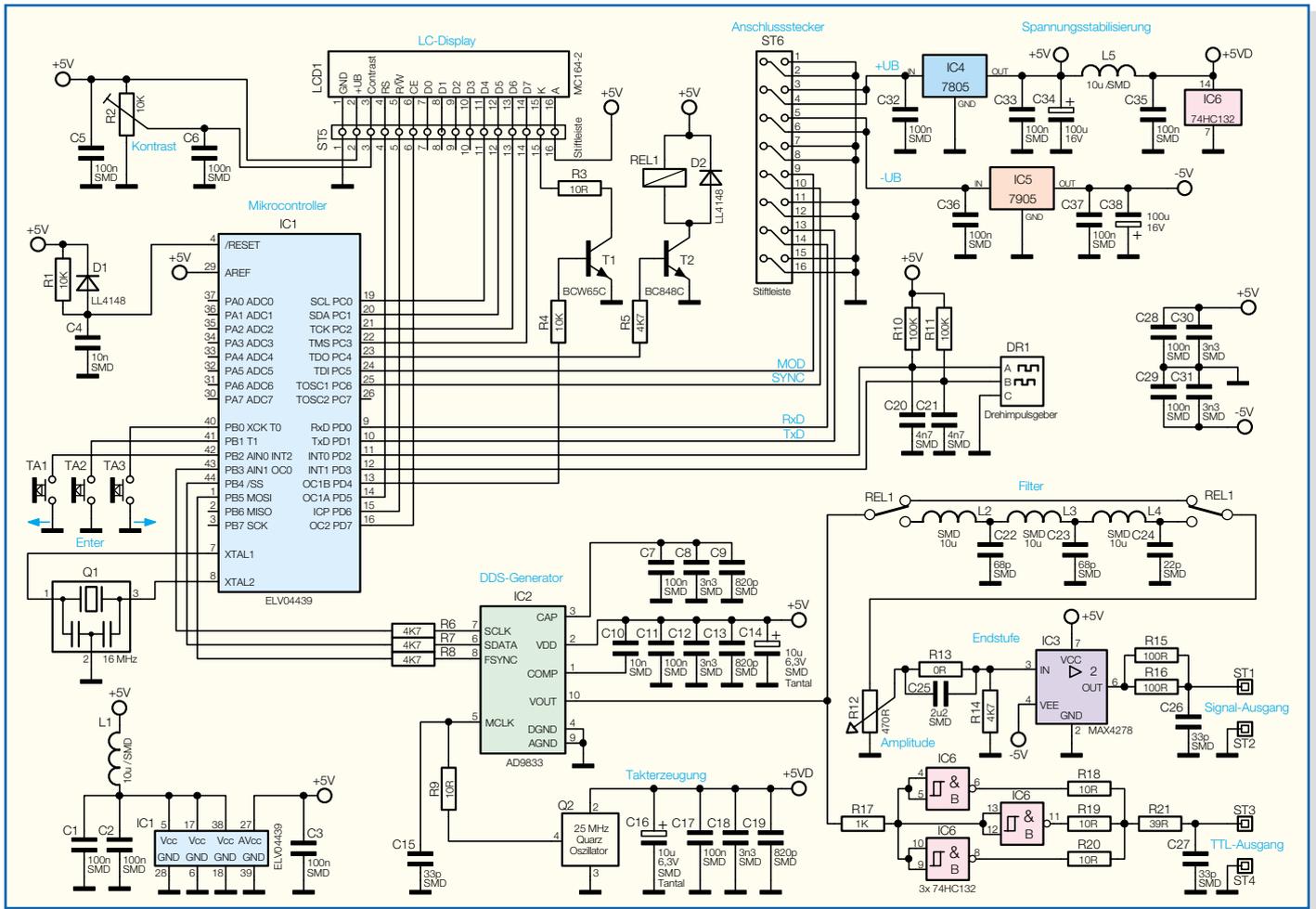


Bild 3: Schaltbild

Endstufe. Hier kommt der eigentlich als Video-Endstufe deklarierte Verstärker IC 3 vom Typ MAX 4278 zum Einsatz. Dieser integrierte Verstärker ist intern auf einen Verstärkungsfaktor von 2 programmiert, wodurch der Aufwand an externer Beschaltung gering ist. Mit seiner Leistungsbandbreite von 250 MHz gewährleistet er eine gute Signalübertragungsqualität.

Der Endstufe vorgeschaltet ist die Pegel-einstellung mit dem Potenziometer R 12. Hier wird das Ausgangssignal des DDS-Bausteins direkt in der Amplitude verändert. In der Eingangsbeschaltung des Verstärkerbausteins kann ausgewählt werden, ob das Ausgangssignal mit einem DC-Offset versehen sein soll oder als reines AC-Signal anliegen soll. Der Widerstand R 13 entscheidet hier über die Art des Ausgangssignals. Ist der Widerstand bestückt, hat das Ausgangssignal einen DC-Offset, allerdings kann dann der gesamte Frequenzbereich bis hinunter zu 0,1 Hz genutzt werden. Dies ist auch der Default-Zustand. Entfernt man den Widerstand R 13, so gelangt das Signal via C 25 kapazitiv entkoppelt auf die Endstufe. Dabei wird dann der DC-Anteil eliminiert; den Preis, den man dafür zahlen muss, ist die untere Grenzfrequenz von ca. 15 Hz, d. h. Signale mit einer Frequenz unter 15 Hz

werden entsprechend gedämpft.

Zwischen dem Endstufen-IC IC 3 und dem DDS-Baustein IC 2 ist im analogen Signalweg noch ein Filter implementiert. Dieses Filter, aufgebaut mit L 2, C 22, L 3, C 23, L 4, C 24, dient dazu, „ungewollte“ Signalanteile aus dem Ausgangssignal des DDS-Bausteins herauszufiltern. Da es sich

beim DDS-Verfahren im Prinzip um eine digitale Signalerzeugung mittels Digital-Analog-Wandlung handelt, ist das Ausgangssignal beispielsweise mit entsprechenden „Rückständen“ des Taktsignals verunreinigt. Damit dieses Filter bei einem angelegten Sinussignal auch korrekt arbeitet, liegt die Grenzfrequenz bei ca. 11 MHz.

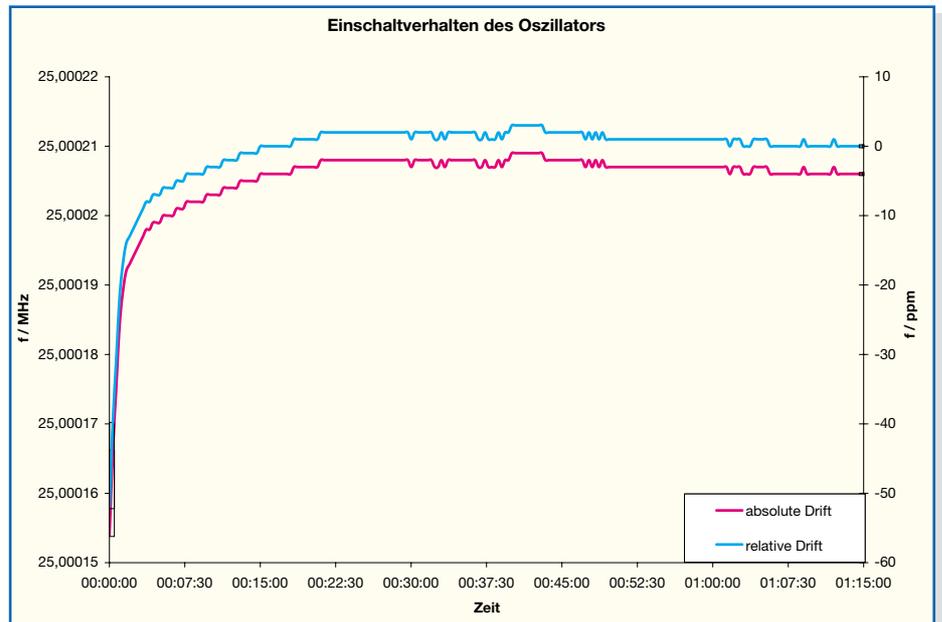
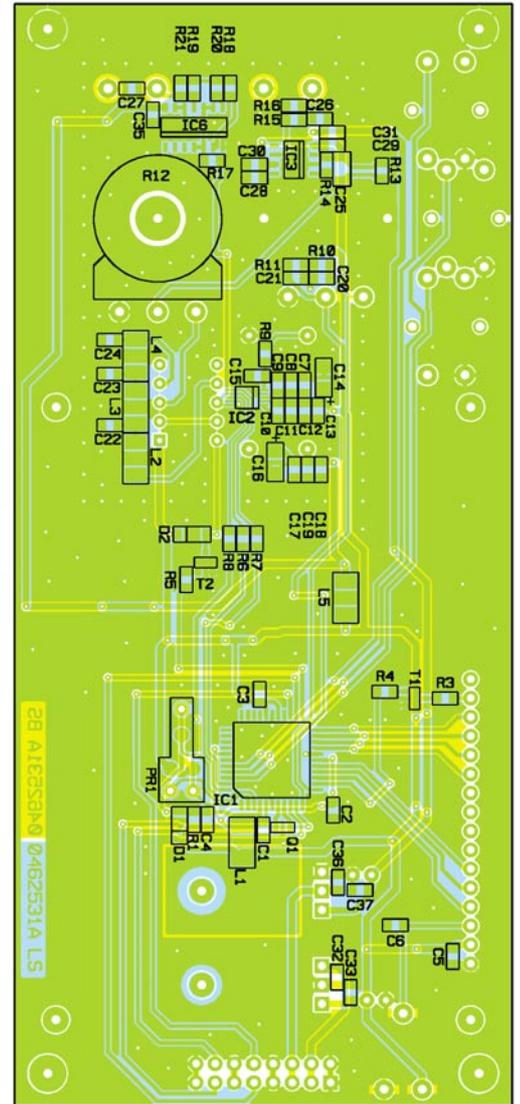
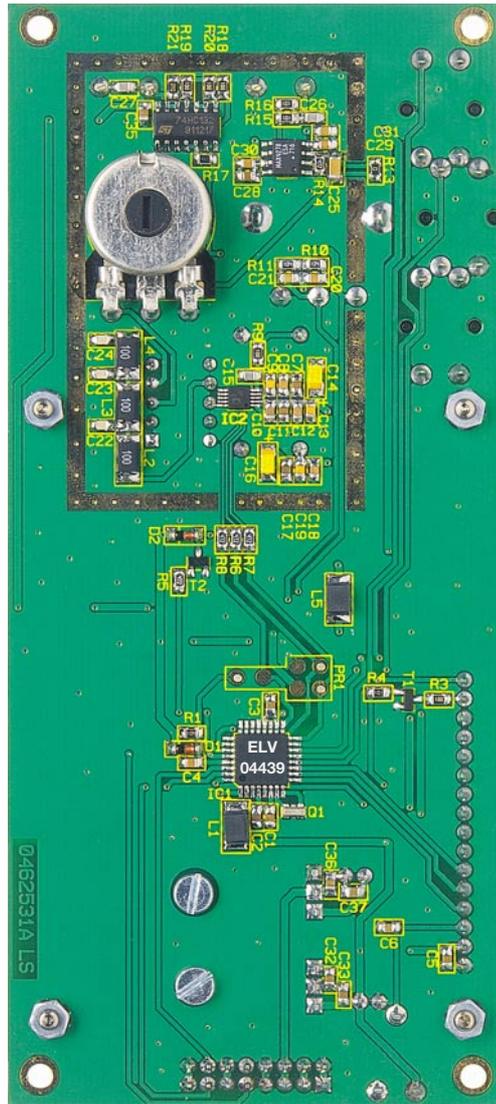


Bild 4: Einschalt drift des Oszillators

Ansicht der fertig bestückten Platine des DDS-Boards mit zugehörigem Bestückungsplan von der Lötseite (ohne Abschirmgehäuse)



Dies würde bei den gewählten Signalformen Dreieck und Rechteck aber zu nicht unerheblichen Signalverzerrungen führen. Daher wird das Filter bei diesen Signalformen mit Hilfe des Relais REL 1 überbrückt. Die Ansteuerung des Relais übernimmt dabei der Mikrocontroller, der automatisch bei aktiviertem Sinussignal mittels Transistor T 2 das Relais einschaltet.

Neben der Steuerung des DDS-Bausteins übernimmt der Mikrocontroller IC 1 auch alle Bedien-, Steuerungs- und Kontrollaufgaben. Für seinen Betrieb benötigt dieser zunächst den Quarz Q 1 zur Takterzeugung und die Reset-Schaltung aus R 1, D 1 und C 4.

Neben dem DDS-Chip steuert der Mikrocontroller auch das LC-Display an und ist für die Abfrage der Bedienelemente zuständig. Auf dem 4-zeiligen LC-Display werden alle Informationen zum Status und zur Bedienung des DDS-Boards dargestellt. Die Prozessor-Ports „PC0“ bis „PC3“ und „PD5“ bis „PD7“ bilden das Interface zum LC-Display. Die abschaltbare Hintergrundbeleuchtung steuert der Prozessor mit Hilfe des Ports „PD4“ an. Da dieser Port

aber nicht den entsprechenden Strom liefern kann, ist mit T 1 und dessen Beschaltung eine Treiberstufe nachgeschaltet. Der Widerstandstrimmer R 2 dient zur Kontrosteinstellung.

Die Bedienung des DDS-Boards erfolgt mit Hilfe der 3 Tasten und des Drehimpulsgebers DR 1, die alle direkt mit dem Mikrocontroller verbunden sind. Auch die beiden Datenleitungen „TxD“ und „RxD“ der externen Schnittstelle, die am Anschlussstecker ST 6 an den Pins 13 („TxD“) und 14 („RxD“) zugänglich sind, werden direkt vom Controller ausgewertet. Und auch der externe Modulationseingang „Mod“ an Pin 9 wird dem Controller direkt zugeführt.

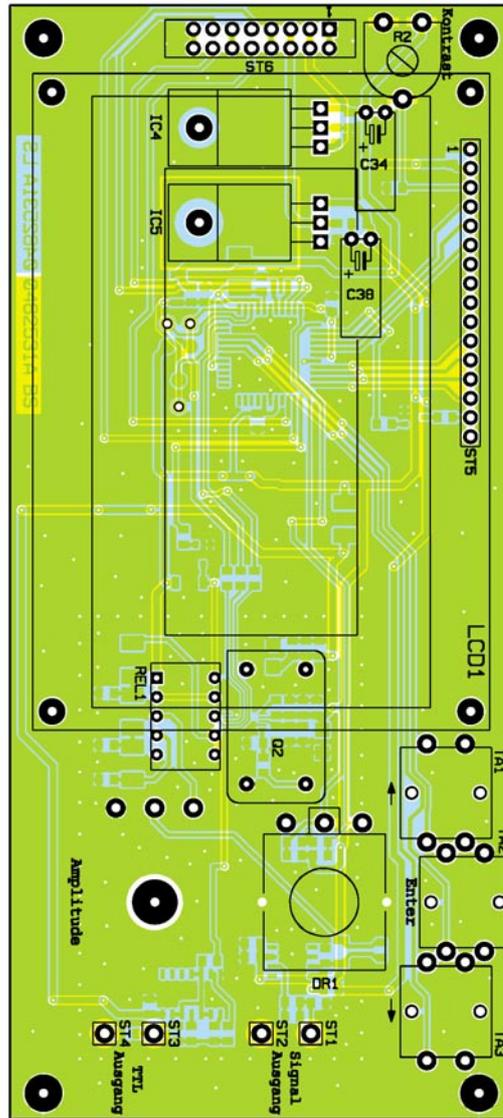
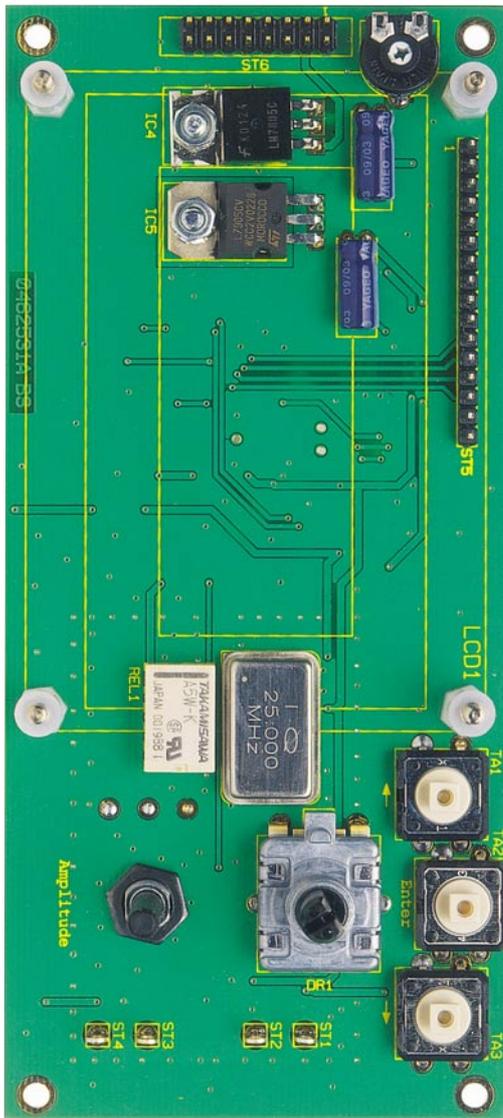
Zur Versorgung der gesamten Schaltung werden zwei stabilisierte Spannungen benötigt: +5 V und -5 V. Beide Spannungen werden über die entsprechenden Spannungsregler (IC 4 und IC 5) generiert. Um die Störungen, die der Quarzoszillator auf seiner Versorgungsspannung („+5V“) verursacht, zu minimieren, ist mit Hilfe der Spule L 5 eine Entkopplung zur +5-V-Betriebsspannung realisiert. Auch die Ver-

sorgungsspannung des Prozessors IC 1 ist mit Hilfe der Spule L 1 entkoppelt.

Durch die auf dem Board integrierte Spannungsstabilisierung können über die Stiftleiste ST 6 unstabilisierte Gleichspannungen im Bereich von +7 V DC bis +12 V DC an Pin 3 und 4 für die positive Spannung bzw. von -7 V bis -12 V DC an Pin 5 und 6 für die negative Versorgungsspannung zugeführt werden. Damit ist die Schaltungsbeschreibung abgeschlossen und es folgt die Beschreibung des Nachbaus.

Nachbau

Das DDS-10-Board ist in Mischbestückung mit bedrahteten und oberflächenmontierten (SMD-) Bauteilen ausgeführt. Die Bestückung erfolgt anhand des Bestückungsdruckes und der Stückliste, wobei aber auch die dargestellten Platinenfotos hilfreiche Zusatzinformationen liefern. Grundsätzlich sind alle bedrahteten Bauteile, mit Ausnahme des Potenziometers R 12, auf der Bestückungsseite angeordnet. Die SMD-Bauteile und R 12 befinden sich auf der Lötseite.



Ansicht der fertig bestückten Platine des DDS-Bords mit zugehörigem Bestückungsplan von der Bestückungsseite

Der Aufbau ist mit der Bestückung der SMD-Komponenten zu beginnen. Hier sind zunächst die SMD-Widerstände, SMD-Induktivitäten und SMD-Kondensatoren auf der Lötseite zu bestücken. Bei den SMD-Tantal-Kondensatoren ist die korrekte Polung sicherzustellen. Die Markierung auf dem Bauteil kennzeichnet hier den Pluspol. Anschließend folgen die Dioden und Transistoren. Auch hier ist bei beiden Komponenten die korrekte Einbaulage zu beachten, um eine Verpolung auszuschließen. Die Dioden sind auf dem Bauteil mit dem so genannten Katodenring gekennzeichnet, der sich auch im Bestückungsdruck wiederfinden lässt. Bei den Transistoren gibt die Anordnung der Pads bzw. der Anschlussbeine die korrekte Polung vor.

Auch bei den integrierten Schaltkreisen muss die Polarität beachtet werden. Diese ist hier durch die abgeschrägte Kante des IC-Gehäuses gegeben, die im Bestückungsdruck mit einer zusätzlichen Linie im Symbol gekennzeichnet ist. Bei einigen ICs (z. B. beim Prozessor IC 1) ist der Pin 1 durch einen Punkt auf dem Bau-

teil und durch eine abgeschrägte Gehäuseecke gekennzeichnet. Diese Kennzeichnung findet sich auch im Bestückungsdruck wieder. Beim Einbau des DDS-ICs IC 2 ist dabei besondere Vorsicht geboten, da der Pinabstand mit 0,5 mm hier besonders klein ist.

Sind die SMD-Bauteile so weit bestückt, folgt der Einbau der bedrahteten Bauelemente auf der Bestückungsseite. Hier wird mit dem Einbau der Kondensatoren begonnen. Dabei ist neben der korrekten Polung der Elektrolyt-Typen vor allem darauf zu achten, dass die Bauteile in liegender Position eingesetzt sind, bevor sie verlötet werden.

Anschließend sind noch der Widerstandstrimmer R 2, der Quarz Q 2 und das Relais zu bestücken. Zum Einbau der Spannungsregler IC 4 und IC 5 werden zunächst die Anschlusspins in ca. 2,5 mm Abstand zum IC-Gehäuse um 90° nach hinten abgewinkelt. Nach dem Einsetzen der ICs erfolgt die mechanische Befestigung mit M3x8-mm-Zylinderkopfschrauben, Zahnscheiben und Muttern, wie auf den Platinenfotos dargestellt – anschließend sind

die elektrischen Verbindungen mit dem Anlöten der Anschlusspins auszuführen.

Als dann werden die Stiftleisten ST 6 und ST 5 sowie alle Lötstifte mit Öse eingesetzt und sorgfältig verlötet. Nach dem Einbau des Drehimpulsgebers DR 1 und der 3 Taster folgt die Montage des Potenziometers R 12. Dieses ist von der Lötseite her einzusetzen. Zur Vorbereitung sind zunächst die Anschlusspins direkt am Bauteil um 90° nach vorne abzuwinkeln. Anschließend wird das Potenziometer von der Lötseite (!) eingesetzt und auf der Bestückungsseite mit der zugehörigen Mutter fixiert. Nach dem Anlöten der Anschlusspins sind Potenziometer und Drehimpulsgeber mit den entsprechenden Knöpfen zu versehen und auf die Taster sind die Stößel aufzusetzen.

Im letzten Schritt ist das Display zu montieren. Dazu ist zunächst auf der Lötseite der Displayplatine die Buchsenleiste einzulöten. Befestigt wird das Display dann mit den 4 Abstandsbolzen. Diese werden an den 4 Ecken mit Fächerscheibe und Mutter am Display befestigt und dann mit

Stückliste: 10-MHz-DDS-Board DDS 10

Widerstände:

0 Ω/SMD	R13
10 Ω/SMD	R3, R9, R18–R20
39 Ω/SMD	R21
100 Ω/SMD	R15, R16
1 kΩ/SMD	R17
4,7 kΩ/SMD	R5–R8, R14
10 kΩ/SMD	R1, R4
100 kΩ/SMD	R10, R11
PT10, liegend, 10 kΩ	R2
Poti, 4 mm, 470 Ω	R12

Kondensatoren:

22 pF/SMD	C24
33 pF/SMD	C15, C26, C27
68 pF/SMD	C22, C23
820 pF/SMD	C9, C13, C19
3,3 nF/SMD	C8, C12, C18, C30, C31
4,7 nF/SMD	C20, C21
10 nF/SMD	C4, C10
100 nF/SMD	C1–C3, C5–C7, C11, C17, C28, C29, C32, C33, C35–C37
2,2 µF/SMD/Bauform 1206	C25
10 µF/6,3 V/tantal/SMD	C14, C16
100 µF/16 V	C34, C38

Halbleiter:

ELV04439/SMD	IC1
AD9833/SMD	IC2
MAX4278ESA/SMD	IC3
7805	IC4
7905	IC5
74HC132/SMD/SGS	IC6
BCW65C/SMD	T1
BC848C	T2

LL4148	D1, D2
LCD MBC16406B, 4 x 16 Zeichen	LCD1

Sonstiges:

Keramikschwinger, 16 MHz, SMD	Q1
Quarzoszillator, 25 MHz	Q2
SMD-Induktivität, 10 µH	L1, L5
SMD-Induktivität, 10 µH	L2–L4
Inkrementalgeber	DR1
Subminiatur-Relais, 2 x um, 5 V	REL1
Mini-Drucktaster, B3F-4050, 1 x ein	TA1–TA3
Buchsenleiste, 1 x 16-polig, print, gerade	LCD1
Stiftleiste, 1 x 16-polig, gerade, print	ST5
Stiftleiste, 2 x 8-polig, gerade, print	ST6
Lötstift mit Lötöse	ST1–ST4
1 Drehknopf mit 4 mm Innendurch- messer, 12 mm, Grau	
3 Tastknöpfe, 18 mm	
1 Drehknopf, 12 mm, Grau	
2 Knopfkapfen, 12 mm, Grau	
2 Pfeilscheiben, 12 mm, Grau	
2 Gewindestifte mit Spitze, M3 x 4 mm	
2 Zylinderkopfschrauben, M3 x 8 mm	
8 Muttern, M2,5	
2 Muttern, M3	
8 Fächerscheiben, M2,5	
2 Fächerscheiben, M3	
4 Abstandsbolzen mit Gewinde, 12 mm, 2 x M2,5	
1 Abschirmgehäuse, bearbeitet	

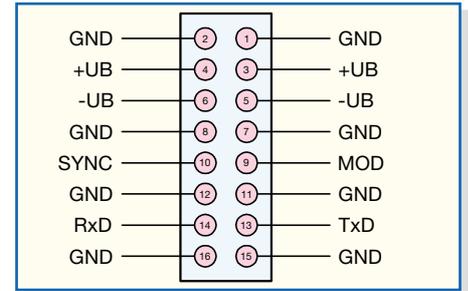


Bild 5: Anschlussbelegung des Steckers ST 6

2. Direkte Messung der Oszillatorfrequenz
 - Messung der Frequenz am Pin 4 von Q 2

Der so ermittelte Werte für die Oszillatorfrequenz muss dann, wie im Punkt „Kalibrierung“ im Abschnitt „Bedienung“ beschrieben, eingegeben werden. Zu bedenken ist, dass die Genauigkeit des Frequenzzählers auf jeden Fall besser 25 ppm sein muss, damit auch eine wirkliche Verbesserung eintritt – der Erfolg der Kalibrierung steht und fällt mit der Genauigkeit des Frequenzzählers.

Endmontage, Anschluss und Einbau

Arbeitet das Gerät korrekt, muss im letzten Schritt das Abschirmgehäuse aufgelötet werden. Nach der exakten Positionierung ist das Gehäuse rundherum sorgfältig zu verlöten, wobei darauf zu achten ist, dass keine Kurzschlüsse zu benachbarten Pads entstehen.

Damit sind die Aufbauarbeiten endgültig abgeschlossen und das Gerät kann entsprechend eingesetzt werden. Die Anschlussbelegung des Steckers ST 5, über den alle Versorgungs- und Steueranschlüsse geführt sind, ist in Abbildung 5 dargestellt. Zu beachten ist, dass die Länge der hier angeschlossenen Leitung aus Gründen der elektromagnetischen Verträglichkeit 30 cm nicht überschreiten darf. Auch die Länge der an den beiden Ausgängen angeschlossenen Leitungen ist begrenzt, hier liegt die Obergrenze bei 3 m. Angeschlossen werden dürfen hier nur entsprechend geschirmte Koaxialleitungen wie z. B. eine Standardleitung vom Typ RG 58. Am Signalausgang ST 1 steht je nach Einstellung das Sinus-, Dreieck- oder Rechtecksignal zur Verfügung, ST 2 stellt den zugehörigen GND-Pin dar. An ST 3 liegt das zugehörige TTL-Signal an, hier ist ST 4 als Masse zu verwenden. Soll das DDS-Board in ein Gerät eingebaut werden, so kann die Befestigung mit Hilfe der vier 3,2-mm-Bohrungen in den Ecken der Platine erfolgen. So ist mit wenig Aufwand ein kompletter und vor allem kompakter Funktionsgenerator aufgebaut. **ELV**

der Basisplatine des DDS-Boards verschraubt. Beim Aufsetzen des Displays muss darauf geachtet werden, dass die Stiftleiste korrekt in die Buchsenleiste einfüdt. Damit ist der Aufbau abgeschlossen, das Auflöten des Abschirmgehäuses erfolgt nach der nun folgenden ersten Inbetriebnahme.

Inbetriebnahme und Kalibrierung

Zur ersten Inbetriebnahme wird das Gerät wie vorgesehen an eine entsprechende Spannungsversorgung angeschlossen. Im ersten Schritt ist der Displaykontrast mittels R 2 einzustellen (vom Linksanschlag langsam rechtsherum drehen, bis die Zeichen gut lesbar erscheinen). Zeigt das Display korrekt an, sollten alle Funktionen kurz ausprobiert werden. Wichtig dabei ist die korrekte Umschaltung zwischen den unterschiedlichen Kurvenformen und der Einstellbereich der Ausgangsfrequenz.

Bei Bedarf kann nun die Kalibrierung der Ausgangsfrequenz erfolgen. Reicht die

ohne Kalibrierung erreichte Genauigkeit von 25 ppm aus, kann der folgende Absatz übersprungen werden. Die Kalibrierung ist dann sinnvoll, wenn die standardmäßige Frequenzgenauigkeit für die Anwendung nicht ausreicht.

Durch genaue Eingabe der Oszillatorfrequenz lässt sich die Frequenzgenauigkeit steigern, wobei es zur Ermittlung der Oszillatorfrequenz von Q 2 zwei Möglichkeiten gibt:

1. Berechnung der Oszillatorfrequenz:
 - Einstellen einer beliebigen Frequenz z. B. $f_{\text{soll}} = 10 \text{ MHz}$
 - Messen der Ausgangsfrequenz, z. B. $f_{\text{ist}} = 9,999950 \text{ MHz}$
 - Berechnung des Korrekturfaktors

$$a = \frac{f_{\text{ist}}}{f_{\text{soll}}} = \frac{9,999950 \text{ MHz}}{10 \text{ MHz}} = 0,999995$$

- Berechnung der korrekten Oszillatorfrequenz von Q 2

$$f_{Q2} = 25 \text{ MHz} \cdot a = 25 \text{ MHz} \cdot 0,999995 = 24,999875 \text{ MHz}$$