



Teil 2

Bis 100 MHz

DDS-Funktionsgenerator DDS 8100

Infos zum Bausatz

im ELV-Web-Shop

#10003

Der DDS-Funktionsgenerator DDS 8100 führt die inzwischen umfangreiche Reihe der DDS-Funktionsgeneratoren, die bisher vom 30-MHz-Modell DDS(1)30 gekrönt wurde, fort. Der DDS 8100 stellt Sinus- und Rechtecksignale mit einer Frequenz von bis zu 100 MHz mit hoher Auflösung und Stabilität zur Verfügung. Eine fein abstufbare Wobbelfunktion erlaubt das automatische Durchlaufen genau definierbarer Frequenzbereiche. Die Bedienung des in einem 8000er-ELV-Gehäuse untergebrachten DDS 8100 gestaltet sich mit wenigen Bedienelementen und einem grafischen Display übersichtlich und einfach.

Schaltung (Fortsetzung von Teil 1)

DDS-Schaltung

Für die Signalerzeugung beim DDS 8100 wird der DDS-Schaltkreis AD9913 (IC202) verwendet (Bild 7). Über die vier Steuersignaleingänge SCLK, SDIO_W/R, CSB und IO_UPDATE können die internen Register vom Mikrocontroller IC100 beschrieben und ausgelesen werden. Zusätzlich werden noch für die Einstellung des Wobble-Modus die drei Signaleingänge PS0, PS1 und PS2 benötigt.

Für den Betrieb des AD9913 selbst werden nur wenige externe Bauteile benötigt. Die wichtigste externe Komponente ist der Quarzoszillator, der den Mastertakt zur Verfügung stellt. Um den maximalen Frequenzbereich, den der DDS-Chip zulässt, auszunutzen, verwendet der AD9913 eine interne PLL-Schaltung. Mit dieser internen Schaltung wird das von Q102 an den Takteingang REFCLK des DDS-Chips angelegte 10-MHz-Taktsignal auf die benötigten 250 MHz hochgesetzt. Da die Qualität des Taktsignals direkten Einfluss auf die Genauigkeit und Stabilität des Ausgangssignals des DDS-Bausteins hat,

kommt hier ein temperaturkompensierter Quarzoszillator (TCXO) zum Einsatz, der eine maximale Taktabweichung von ± 5 ppm (ppm = parts per million = 10^{-6}) im angegebenen Umgebungstemperaturbereich hat. Dennoch ist bei der Frequenzstabilität zu beachten, dass sich das Gerät erst auf Betriebstemperatur erwärmen muss. Daher ist im Einschaltmoment mit einer erhöhten Frequenzdrift zu rechnen. Nach ca. 5 min ist diese Drift jedoch schon unter 10 ppm gesunken.

Um die bei der Signalerzeugung im Inneren des AD9913 erzeugten Störungen zu minimieren, befinden sich die Kondensatoren C203 bis C209 zum Abblocken und zur Stabilisierung dicht am DDS-Chip. Zusätzlich sind alle Steuerleitungen über die beiden Filter-Bausteine F201 und F202 geführt.

Über den Pin AOUT und AOUTB steht ein differentielles Ausgangssignal des DDS-Bausteins IC202 zur Verfügung. Es handelt sich hierbei um Stromausgänge, die in Abhängigkeit vom Widerstand R203 jeweils einen maximalen Strom von 4,49 mA liefern können. Durch die an den Ausgängen befindlichen Leitungsabschlüsse R314 und R316 wird mit diesen Strömen



dann eine Spannung von max. 211 mV erzeugt. Hier wird auch das für den Komparator benötigte DDS-Signal „Signal_Pre_Out“ abgegriffen.

Nähere Informationen zur differentiellen Signalübertragung können im Kasten „Elektronikwissen“ nachgelesen werden.

Vorverstärker

Nachdem die Erzeugung der Signale behandelt wurde, widmen wir uns jetzt der Signalaufbereitung. Zunächst beschreiben wir den Vorverstärker, der in der Mitte von Bild 7 dargestellt ist.

Das vom DDS-Chip erzeugte differentielle Signal wird über die differentiellen Eingänge (Pin 3 und 6) auf den Verstärker gegeben. Der LMH6503 wandelt das ankommende differentielle Signal nun wieder in ein auf seine Masse bezogenes gleichspannungsfreies Signal um.

Der Operationsverstärker LMH6503 besitzt einen über die Widerstände R320 und R327 fest vorgegebenen maximalen Verstärkungsfaktor. Jedoch ist dieser Faktor über ein an Pin 2 zugeführtes Steuersignal „VG“ variabel einstellbar. Dieses Steuersignal wird durch eines der schon bekannten Sample-and-Hold-Glieder und einer nachgeschalteten Verstärkerschaltung erzeugt.

Mit den beiden Offsetsteuerspannungen DC-Off1 und DC-Off2 kann am LMH6503 eine Kompensation des Eingangs- bzw. des Ausgangsoffsets durchgeführt werden. Auf die dafür notwendige Vorgehensweise gehen wir später im Abschnitt „Kalibrierung“ ein.

In Abhängigkeit des eingespeisten Signals VG steht am Ausgang (Pin 10) nun das verstärkte Signal für die Einspeisung in das passive Filter zur Verfügung.

Filterstufe

Da es sich beim DDS-Verfahren im Prinzip um eine digitale Signalerzeugung mittels Digital-analog-Wandlung handelt, ist das Ausgangssignal mit entsprechenden „Rückständen“ des Taktsignals verunreinigt. Aus diesem Grund gelangt das vom Vorverstärker IC305 am Pin 10 bereitgestellte Signal direkt auf ein nachgeschaltetes passives Filter. Dieses besteht aus den Spulen L304 bis L306 und den Kondensatoren C352 bis C362. Es besitzt eine Grenzfrequenz von ca. 100 MHz und sorgt so für eine Filterung von ungewollten Signalanteilen aus dem Ausgangssignal. Nach dem Filter gelangt das Ausgangssignal über den Widerstand R336 auf den nicht invertierenden Eingang des Operationsverstärkers IC307.

Endstufe

Die Endstufe IC307 sorgt zum einen für die letzte Verstärkung des Signals auf die einstellbaren 5 Vss. Zum anderen wird hier mittels einer weiteren Gleichspannung DC-Off3 ein vom Benutzer einstellbarer Gleichspannungsanteil (Offset) dem Ausgangssignal überlagert.

Um das über das Filter ankommende Ausgangssignal des Vorverstärkers nach der Endstufe nicht negiert zu erhalten, ist dieser als Differenzverstärker bzw. Subtrahierverstärker aufgebaut. Das Signal wird

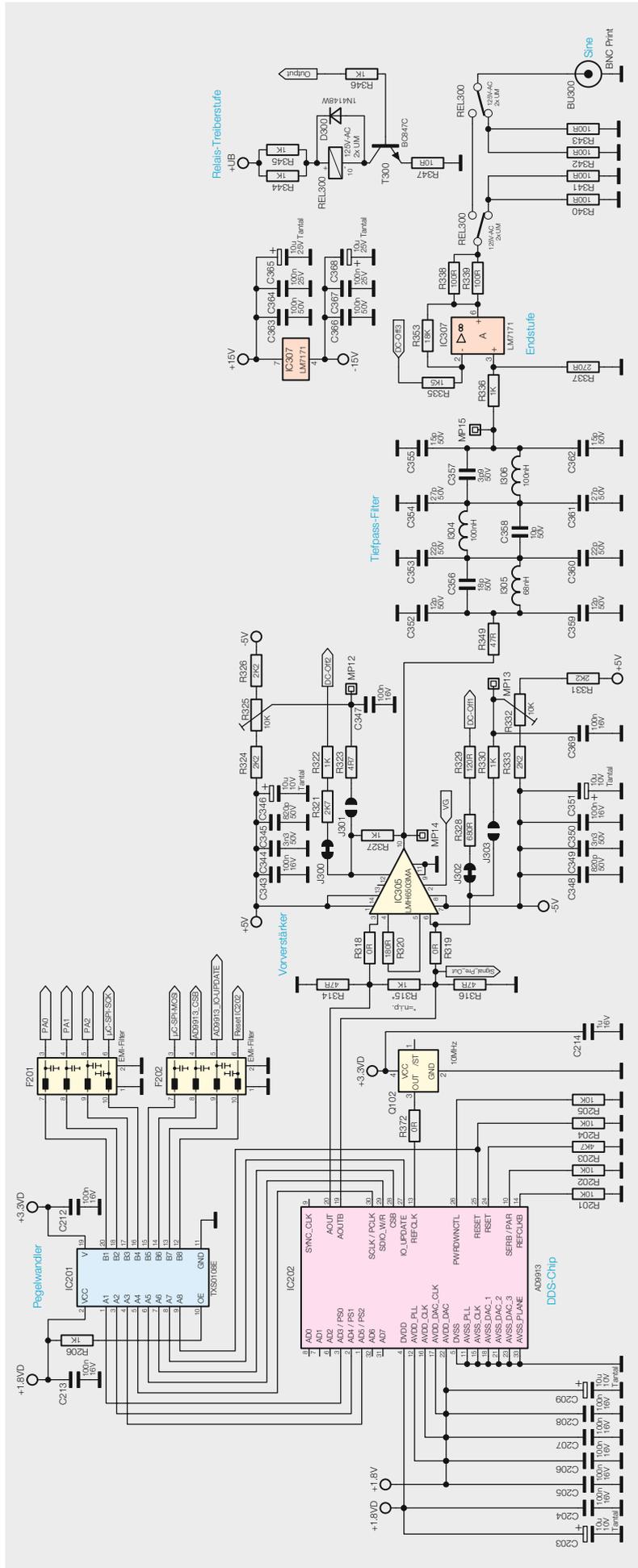


Bild 7: Schaltbild der DDS-Signalerzeugung mit dem Vorverstärker, dem Filter und der Endstufe

auf den nicht invertierenden Eingang der Endstufe geführt, die für den einstellbaren Offset erzeugte Gleichspannung DC-Off3 liegt am invertierenden Eingang an.

Durch die Wahl der Widerstände an den Eingängen des Operationsverstärkers wird für eine entsprechende Gewichtung der Signalquellen gesorgt. Folgende Formel zeigt den Zusammenhang zwischen den einzelnen Spannungen und Widerständen:

$$U_{\text{SignalOut}} = \frac{(R_{335} + R_{353}) * R_{337}}{(R_{336} + R_{337}) * R_{335}} * U_{\text{PreOut}} - \frac{R_{353}}{R_{335}} * U_{\text{DC-Off3}}$$

Durch das Einsetzen der Widerstandswerte ergibt sich eine vereinfachte Formel, die die Gewichtung der Eingänge gut darstellt:

$$U_{\text{SignalOut}} = \frac{(1,5 \text{ k}\Omega + 18 \text{ k}\Omega) * 270 \Omega}{(1 \text{ k}\Omega + 270 \Omega) * 1,5 \text{ k}\Omega} * U_{\text{PreOut}} - \frac{18 \text{ k}\Omega}{1,5 \text{ k}\Omega} * U_{\text{DC-Off3}}$$

$$U_{\text{SignalOut}} = 2,8 * U_{\text{PreOut}} - 12 * U_{\text{DC-Off3}}$$

Hier erkennt man nun, dass das eigentliche DDS-Signal mit dem Faktor 2,8 verstärkt wird und mit dem um Faktor 12 verstärkten Gleichnungssignal subtrahiert wird.

Um am Ausgang eine definierte Impedanz von 50 Ω zu erhalten, sind zwischen dem Ausgang Pin 6

von IC307 und der Buchse BU300 die beiden 100- Ω -Widerstände R338 und R339 parallel eingesetzt. Das mit dem Transistor T300 vom Mikrocontroller IC100 gesteuerte Relais REL300 schaltet das Ausgangssignal entweder auf die BNC-Buchse (aktiv) oder auf die 50- Ω -Nachbildung, bestehend aus R340 und R341. Gleichzeitig wird die BNC-Ausgangsbuchse über die Widerstände R342 und R343 definiert mit der Nennimpedanz von 50 Ω abgeschlossen (Zustand inaktiv).

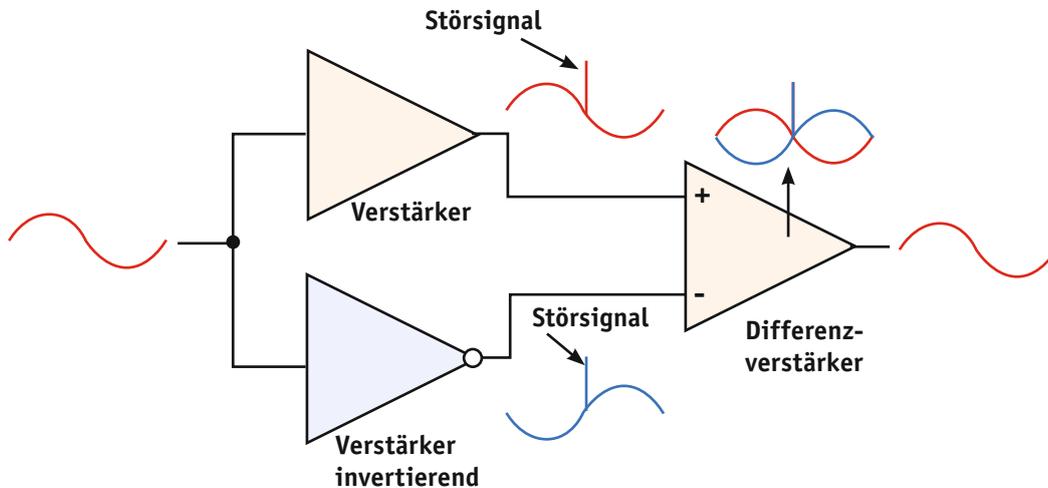
TTL-Ausgangsstufe

Bild 8 zeigt die für die Erzeugung eines TTL-Signals zuständige Komparator- und Treiberstufe. Das am Komparatoreingang +IN A anliegende Signal „Signal_Pre_Out“, welches direkt vom DDS-Chip stammt, wird mit einem von Mikrocontroller eingestellten Gleichnungssignal am Eingang -IN A verglichen. Durch Vergleich des jeweiligen Signalpegels mit dem am Komparator anliegenden Gleichnungssignal wird ein in der Frequenz entsprechendes Rechtecksignal erzeugt, dessen Tastverhältnis über die eingestellte Gleichnung des zuständigen Sample-and-Hold-Glieds beeinflussbar ist.

Das am Ausgang OUT A des Komparators erzeugte Rechtecksignal wird anschließend noch über die TTL-Treiberstufe geschickt und steht dann an der BNC-Buchse BU301 zur Verfügung.

Anzeige- und Bedienelemente

Über vier 14-polige Flachbandkabel ist die Frontplatine mit der Basisplatine verbunden. Die entsprechenden Schaltbilder der Frontplatine und der Steckverbinder sind in Bild 9 und 10 zu sehen. Auf



Differentielle Signalübertragung

Besonders bei der Übertragung von Signalen mit geringen Pegeln auf einfachen unsymmetrischen, auch geschirmten Leitungen können äußere Störsignale schnell das Nutzsignal überlagern und so zu einer Verfälschung des Nutzsignals führen.

Setzt man hingegen eine symmetrische Signalübertragung ein, werden auftretende Störungen eliminiert. Dabei wird auf einer Leitung das normale Nutzsignal übertragen und auf einer genau gleich langen zweiten Leitung das invertierte Nutzsignal. Auf der Empfangsseite der Leitungen wird die Differenz beider Signale gebildet und so wieder das ursprüngliche Nutzsignal generiert. Wirkt nun auf die Leitungen, die auf Platinen eng beieinanderliegen bzw. bei Leitungen als Leitungspaare insgesamt verdreht werden, eine Störung ein, tritt diese in beiden Signalen identisch auf (Gleichtakt). Also nicht als invertierte Störung im

invertierten Nutzsignal. Bei der anschließenden Pegeldifferenzbildung am Empfänger (Differenzverstärker) wird dieses gleichphasige Störsignal folglich eliminiert und so eine störungsfreie Übertragung realisiert.

Wichtig für die symmetrische Leitungsführung sind tatsächlich gleich lange und örtlich dicht beieinanderliegende Leitungen. Kommt es nämlich zu einer unterschiedlichen Störsignaleinstrahlung aufgrund unterschiedlicher Pegel auf beiden Leitungen oder zu unterschiedlichen Einstrahlungsstellen aufgrund ungleich langer Leitungen, kann der pegel- oder zeitversetzte Störsignalanteil nicht kompensiert werden und bleibt ganz oder teilweise im Signal erhalten.

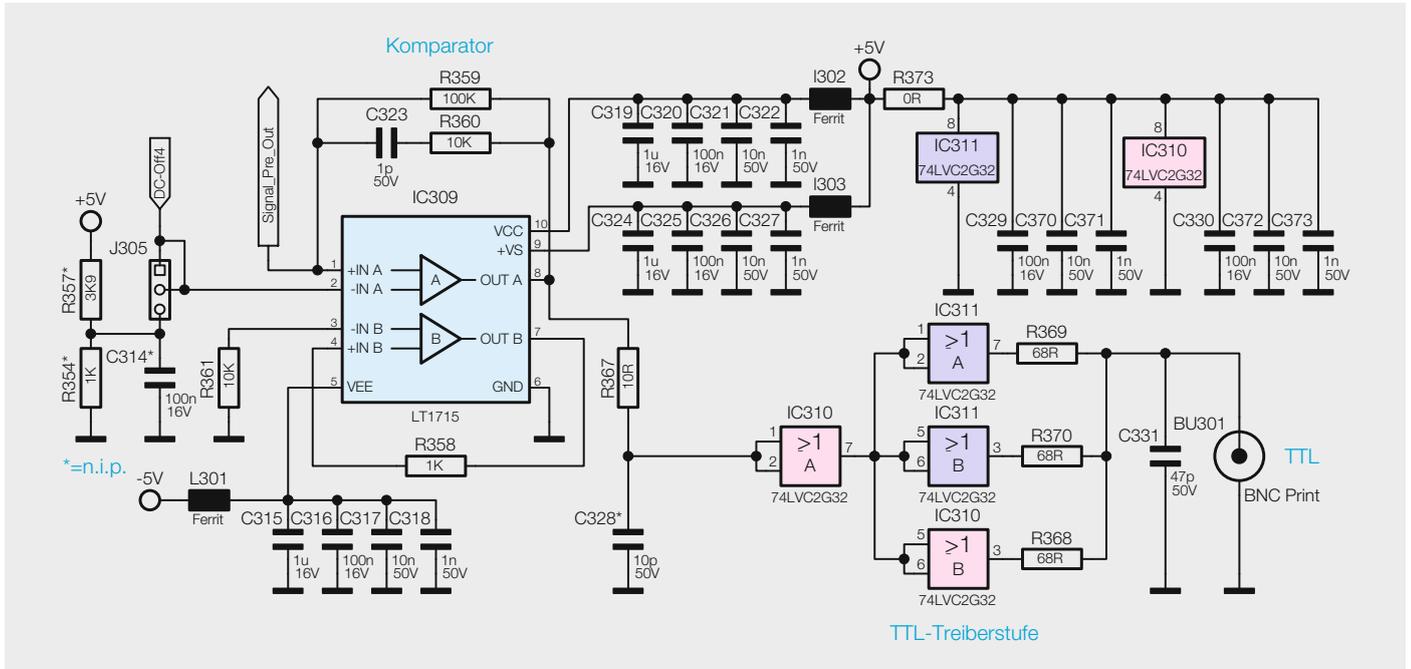


Bild 8: Der Komparator mit der TTL-Treiberstufe

der Frontplatte befinden sich alle Anzeige- und Bedienelemente des DDS 8100.

Beim DDS 8100 wird als Anzeige ein großes, monochromes Grafikdisplay mit einer Auflösung von 192 x 64 Bildpunkten eingesetzt, bei dem auch noch aus größerer Entfernung ein Ablesen der Werte möglich ist. Das Display LCD1 wird als fertiges Modul eingesetzt und über zwei Anschlüsse mit der Frontplatte verbunden. Für den Betrieb werden zwei Versorgungsspannungen benötigt, zum einen eine Spannung von +3,3 V für den Display-Chip, zum anderen eine Spannung von +5 V für die LED der Display-Hinterleuchtung. Durch den Vorwiderstand R13 wird der Strom für die Hintergrundbeleuchtung auf ca. 45 mA eingestellt. Mit den Kondensatoren C1 bis C8 und C10 erzeugt die Display-Elektronik über interne Ladungspumpen die zusätzlich benötigten Kontrastspannungen von bis zu 13,2 V selbst.

Für die Kommunikation zwischen Mikrocontroller und Display werden die fünf Steuerleitungen DP-CHIP-ENABLE, DP-R/W, DP-E, DP-RST, DP-DATA/CMD und die acht Datenleitungen D0 bis D7 benötigt.

Neben dem großen Display befinden sich auf der Frontplatte zusätzlich sieben blaue LEDs, die über Lichtleiter in der Frontplatte zu erkennen sind. Diese LEDs sind einigen der Tasten zugeordnet und ermöglichen damit, schnell den aktuellen Betriebsmodus zu erkennen. Die Steuerung der sieben LEDs D1 bis D7 erfolgt über das auf der Basisplatte befindliche Schieberegister IC103 und den auf der Frontplatte sitzenden Low-Side-Treiber IC1 vom Typ ULN2003. Je nachdem ob an den entsprechenden Schieberegisterausgängen ein Low- oder High-Pegel ausgegeben wird, schaltet der nachgeschaltete Low-Side-Treiber seinen Ausgang auf Massepotential oder er befindet sich im hochohmigen Zustand. Wenn ein Ausgang auf Massepotential liegt, beginnt die daran angeschlossene LED zu leuchten. Die in Reihe zu den LEDs liegenden Widerstände R1 bis R7 dienen dabei jeweils als Vorwiderstand.

Das DDS 8100 verfügt insgesamt über zehn Bedientasten, wovon sich eine im Inkrementalgeber befindet. Die Abfrage der Tasten erfolgt im Multiplexbetrieb, sodass insgesamt nur sieben Portpins des Mikrocontrollers belegt werden (PB5 bis PB7 und PB12 bis PB15). An den Treiberleitungen KS-1 bis KS-3 wird zyklisch immer eine Leitung auf Low-Pegel gelegt. Die drei Dioden D10 bis D12 dienen dabei zur Entkopplung. Während sich eine Treiberleitung auf Low-Pegel befindet, kann der Mikrocontroller über die vier Prüflinien CHECK-KS-1 bis CHECK-KS-4 den Zustand des Tasters am Kreuzungspunkt von CHECK-KS-X und KS-X

abfragen. Es ist hierbei nur zu beachten, dass in dieser Matrixanordnung niemals mehr als zwei Taster gleichzeitig sicher erkannt werden können. Dies wird aber für die Bedienung des DDS 8100 auch nicht benötigt.

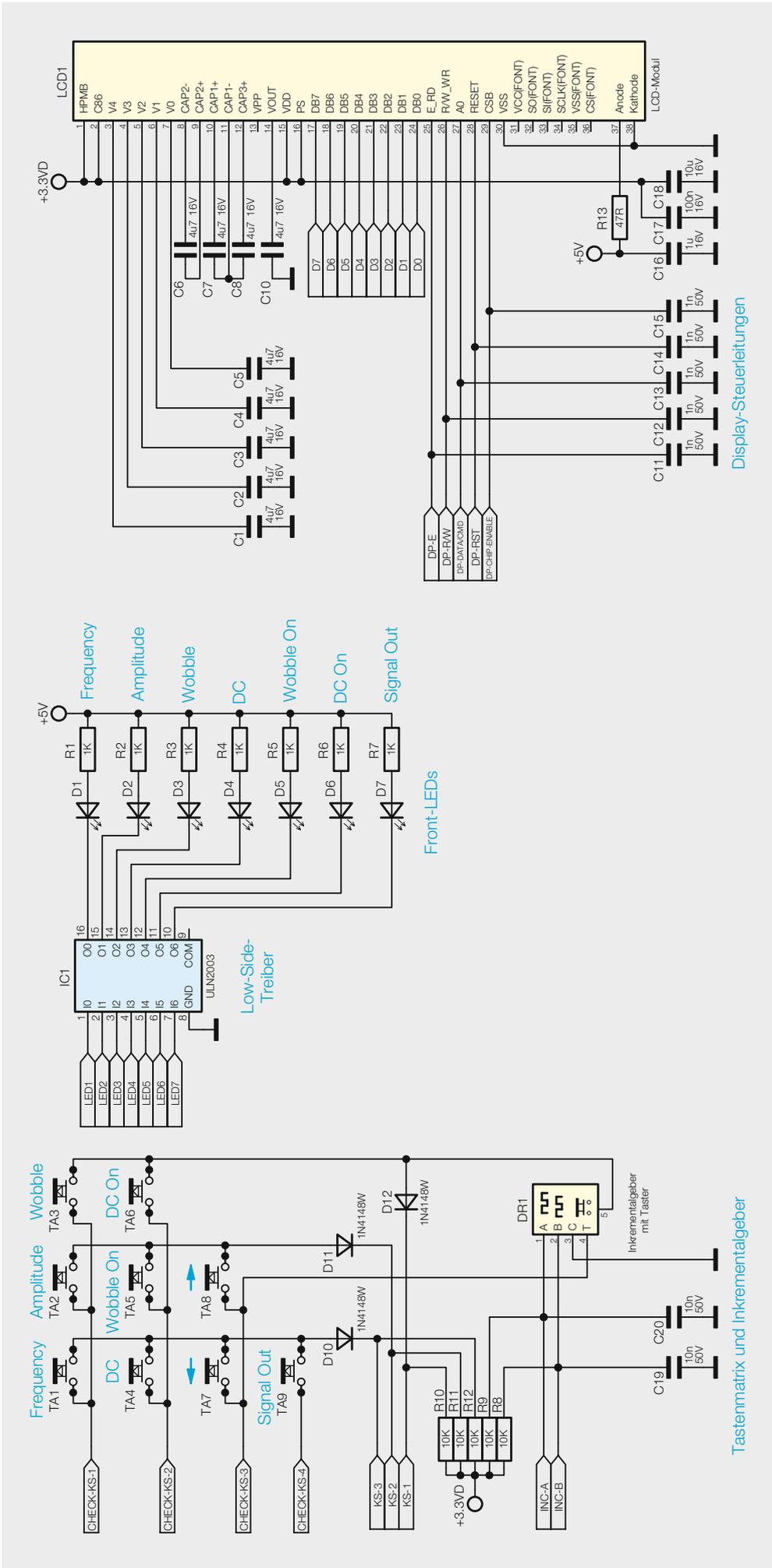
Neben den zehn Bedientastern befindet sich auf der Frontplatte auch der Inkrementalgeber DR1. Durch eine hohe Abtastrate der beiden Signalleitungen INC-A und INC-B und einer geschickten Signalauswertung in der Firmware wird der aktuelle Pinzustand ständig überprüft und eine Änderung sofort erkannt. Der Vorteil des Inkrementalgebers ist, dass die Drehrichtung ebenfalls erkannt wird und sich dieses Bauteil deshalb ideal für Einstellaufgaben eignet. Das Prinzip des Inkrementalgebers beruht auf zwei um 90° gegeneinander phasenverschobenen Ausgangssignalen. Je nachdem, in welche Richtung gedreht wird, ändert sich bei den beiden Ausgangssignalen entweder zuerst INC-A oder INC-B. Nähere Informationen zur Funktionsweise des Inkrementalgebers oder dem Einsatz von einer Tastenmatrix können online in den Elektronikwissen-Artikeln unter [2] und [3] nachgelesen werden.

Bedienung

Durch den Einsatz des Grafik-Displays, des Drehimpulsgebers und der Tasten ist die Bedienung sehr einfach gehalten. Im Folgenden betrachten wir die einzelnen Einstellmöglichkeiten näher.

Nach dem Einschalten des DDS 8100 führt das Gerät einen Selbsttest durch, bei dem alle Bildpunkte im Grafikdisplay aktiv sind und die einzelnen Leuchtdioden aufleuchten. Nach diesem Selbsttest startet das Gerät in der Betriebsart „Frequency“.

Vorab noch ein genereller Bedienhinweis: Um die Einstellung von größeren Werteänderungen zu vereinfachen, kann man die einzelnen Ziffern des zu ändernden Werts mithilfe der beiden Pfeiltasten TA7 und TA8 und eines unterhalb der Ziffern dargestell-



ten Cursors auf dem Display auswählen. Eine so markierte Stelle ist mit dem Inkrementalgeber direkt einstellbar.

Während des Einstellens eines Werts, z. B. der Amplitude, werden immer der Name des einzustellenden Parameters und der aktuelle Wert im Display angezeigt. Dies ist die sogenannte Einstellungsanzeige. Erfolgt innerhalb von 4 s keine weitere Betätigung, wechselt die Darstellung des DDS 8100 in die Übersichtsanzeige. In diesem Modus werden die momentanen Parameter in einer kompakten Form auf dem Display angezeigt, wie das Beispiel in Bild 11 zeigt.

Erst nach dem Wechsel von der Einstellungsanzeige in die Übersichtsanzeige werden die geänderten Parameter auf Änderung geprüft, um sie dann gegebenenfalls im Mikrocontroller zu speichern. Durch diese Methode wird der Speicherzugriff auf den internen persistenten Speicherbereich deutlich minimiert. Der DDS 8100 stellt dann die gespeicherten Einstellungen beim Start wieder bereit.

Frequenzeinstellung

Die Frequenzeinstellung des DDS 8100 wird über einen Tastendruck der Taste „Frequency“ (TA1) gestartet. Das Display zeigt in der oberen Zeile nun das Wort „Frequency“ an. In der unteren Zeile ist die aktuelle Ausgabefrequenz dargestellt. Mittels Pfeiltasten und Inkrementalgeber ist nun die gewünschte Frequenz einstellbar.

Bild 9: Schaltbild der DDS-8100-Frontplatte

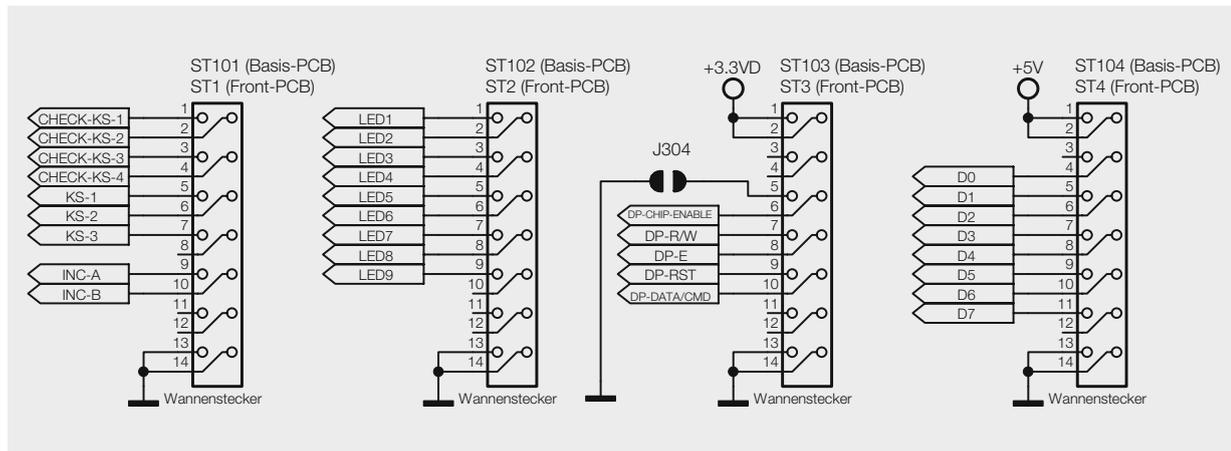


Bild 10: Belegung der Steckverbinder zwischen Basis- und Frontplatine

Amplitudeneinstellung

Die Einstellung der Amplitude erfolgt ähnlich wie die Frequenzeinstellung. Zunächst wird per Tastendruck der Taste „Amplitude“ (TA2) der Eingabemodus gestartet. Das Display zeigt in der oberen Zeile „Amplitude“ an und in der unteren Zeile den momentan eingestellten Wert. Auch hier kann der Wert direkt geändert werden.

Wobbeln

Für die Funktion des Wobbelns, also der periodischen Änderung der Ausgabefrequenz, werden bestimmte Parameter benötigt: Start- und Stopffrequenz, die Wobbelfrequenz und der Wobbelmodus. Die Auswahl dieser Parameter erfolgt über die Taste „Wobble“ (TA3). Wie gewohnt wird in der oberen Zeile der Name des einzustellenden Parameters angezeigt und in der unteren Zeile der aktuelle Einstellungswert.

Durch weitere Betätigung der Taste „Wobble“ (TA3) erreicht man jeweils den nächsten Parameter. Zum Aktivieren ist eine explizite Freigabe des Wobbel-Modes notwendig. Erst durch Betätigung der Taste „Wobble On“ (TA5), quittiert durch gleichzeitiges Aufleuchten der zugehörigen LED (D3), ist der Wobbel-Betrieb aktiviert.

DC-Offset

Kommen wir nun zur Einstellung der Offset-Spannung. Dazu ist die Taste „DC“ (TA4) zu betätigen. Das Display zeigt in der oberen Zeile nun „DC-Offset“ an und in der darunter liegenden Zeile den momentan verwendeten Wert. Um einen eingestellten Gleichspannungsanteil dem Ausgangssignal zu überlagern, muss dieser über die Taste „DC On“ (TA6) zugeschaltet werden. Solange dieser nicht zugeschaltet ist, werden die aus der später auszuführenden Offset-Kalibrierung ermittelten Werte genutzt. Die zugehörige LED (D6) zeigt den jeweils aktuellen Status an.

Für den Signalausgang TTL steht die zusätzliche Einstelloption „Duty Cycle“ zur Verfügung, die durch einen weiteren Tastendruck der Taste „DC“ (TA4) erreicht wird. Auch jetzt werden im Display der Name des einzustellenden Parameters und der aktuelle Wert angezeigt.

```
F: 067 108 864.0 Hz
A:      2.300 VSS
O:      -1.250 V
D:      50 %
```

Bild 11: Anzeigebeispiel für die übersichtliche Anzeige der aktuellen Daten

Ausgang aktivieren

Damit das im DDS 8100 erzeugte Signal auf die BNC-Buchse „Sine“ gelegt wird, muss das Relais REL300 den Signalweg freigeben. Dies geschieht durch Drücken der Taste „Signal Out“ (TA9). Gleichzeitig zeigt die dazugehörige LED D7 den momentanen Status des Ausgangs an. Eine leuchtende LED weist auf einen aktivierten Ausgang hin.

Aufruf des Gerätemenüs

Durch einen langen Tastendruck auf die Taste „Menu“ öffnet sich das Gerätemenü des DDS 8100. Durch das Drehen des Drehimpulsgebers kann nun die gewünschte Zeile ausgewählt werden und die dazugehörige Funktion mittels eines Drucks auf den Geber genutzt werden. Um das Gerätemenü wieder zu verlassen, kann man entweder die Taste „Menu“ erneut lang drücken oder die Zeile „Exit“ im Menü ansteuern und mit einem kurzen Tastendruck am Drehgeber bestätigen.

Im nächsten Teil des Artikels geht es um die Kalibrierung des DDS 8100, den Nachbau und die Inbetriebnahme. 



Weitere Infos:

[2] www.elv.de/elektronikwissen/inkrementalgeber.html

[3] www.elv.de/elektronikwissen/tastenmatrix-an-mikrocontrollern.html