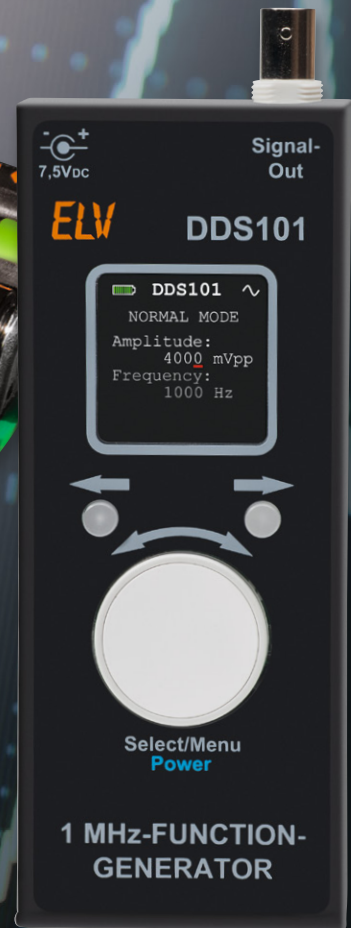
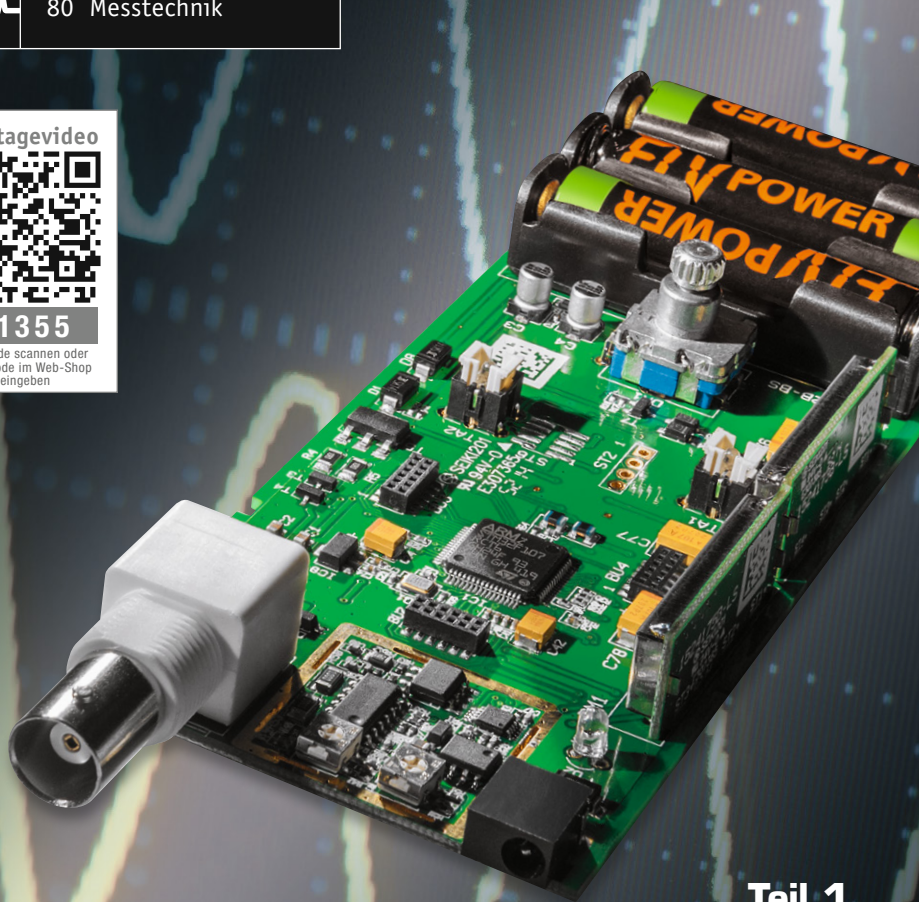




Montagevideo



#1355

QR-Code scannen oder
Web-Code im Web-Shop
eingeben

Teil 1

Mobiler Signallieferant

1-MHz-Funktionsgenerator DDS101

Infos zum Bausatz

im ELV-Web-Shop

#1349

Der mit wiederaufladbaren Akkus betriebene mobile Signalgenerator ergänzt die DDS-Signalgeneratorfamilie von ELV um ein vielseitig einsetzbares und dabei dank farbigem OLED-Display und Drehimpulsgeber besonders einfach bedienbares Gerät. Der Signalgenerator deckt mit Sinus-, Rechteck- und Dreieckssignalen den Frequenzbereich bis 1 MHz ab und verfügt zusätzlich über einen Wobbelgenerator mit frei einstellbaren Eckfrequenzen sowie eine einstellbare Ausgangsspannung.

Vielseitig

Der neue DDS101 besticht durch seine Kompaktheit und den möglichen Einsatz als mobiles Gerät. Zum Aufladen der Akkus verfügt der DDS101 über eine integrierte Ladeschaltung. Während des Ladens kann das Gerät weiterhin eingesetzt werden, also auch ein normaler Netzbetrieb stattfinden.

Durch den Einsatz des bewährten AD9833 [1] mit einem nachgeschalteten aktiven Filter für die Signalzeugung ist eine komfortable Konfiguration und Bedienung über ein Mikrocontroller-Interface möglich. Als Endstufe kommt ein steuerbarer Operationsverstärker zum Einsatz, so ist die Amplitude des Ausgangssignals in weiten Grenzen einstellbar. Sehr praktisch ist auch der integrierte Wobbelgenerator, der im gesamten Frequenzbereich und mit einer einstellbaren Wobbel-Frequenz einsetzbar ist.

Durch die einfache Bedienung mittels zweier Tasten und eines Inkrementalgebers mit Tastfunktion (Drehimpulsgeber) sowie eines übersichtlichen

OLED-Displays kann man die benötigten Einstellungen schnell und präzise vornehmen. Eine minimale Menüstruktur sichert dabei schnelle und übersichtliche Einstellabläufe.

Bedienung

Durch den Einsatz des OLED-Displays, des Inkrementalgebers und der beiden weiteren Tasten ist die Bedienung sehr schnell und einfach gehalten. Nach dem Starten des DDS101 werden im „Normal Mode“ auf dem Bildschirm in zwei Zeilen die aktuelle Frequenz und der aktuelle Ausgangspegel am Signalausgang angezeigt (Bild 1). Im „Wobble Mode“ werden hier ebenfalls der aktuelle Ausgangspegel sowie die Parameter für den Wobbel-Betrieb angezeigt (Bild 1). Durch eine unterschiedliche Texthelligkeit auf dem Display wird die Zeile hervorgehoben, die momentan bearbeitet werden kann. Zusätzlich zeigt ein roter Cursor dabei explizit die zu verändernde Ziffernstelle an. Um zwischen den Eingabezeilen zu wechseln, ge-



nügt ein kurzer Tastendruck auf die Taste „Select/Menu“. Mit Hilfe des Drehimpulsgebers können die aktuellen Werte geändert werden. Durch Drehen nach rechts vergrößert sich der Wert, die Drehung nach links verringert den Wert. Mit den beiden Pfeiltasten kann die Position des Cursors auf eine andere Ziffernstelle geändert werden. Ist die höchstwertige Ziffernstelle erreicht, wird bei nochmaliger Betätigung der linken Pfeiltaste wieder bei der niedrigsten Ziffernstelle angefangen. Das Gleiche gilt für die rechte Pfeiltaste, wenn die niedrigste Ziffernstelle erreicht ist: Der Cursor springt dann zur höchstwertigen Ziffer. So ist es möglich, neue Werte schnell einzugeben.

Der einstellbare Spannungsbereich am Ausgang liegt dabei zwischen 0,1 und 4,0 V_{PP}. Die Ausgangsspannung wird in der Einheit V_{PP} mit zwei Nachkommastellen angegeben. Dadurch beträgt die Auflösung über den ganzen Wertebereich 10 mV_{PP}.

Durch einen langen Tastendruck auf die Taste „Select/Menu“ gelangt man in das Hauptmenü des DDS101. Die gerade aktive Zeile ist wie immer hervorgehoben und kann mit dem Drehimpulsgeber geändert werden. Ein kurzer Tastendruck führt die dem Menüpunkt zugeordnete Funktion aus.

Über den Menüpunkt „Waveform“ kann man zwischen den drei Ausgangssignal-Formen Sinus, Dreieck oder Rechteck auswählen. Per Menüpunkt „Mode“ kann zwischen dem normalen Modus und dem Wobbel-Modus gewechselt werden. Im normalen Modus bleibt das Ausgangssignal bei den eingestellten Werten, im Wobbel-Modus ändert sich die Ausgangsfrequenz innerhalb einer vorgegebenen Start- und Stopp-Frequenz. Der Punkt „Calibration“ umfasst drei Unterpunkte, die später bei der Inbetriebnahme des Geräts benötigt werden. Zudem befindet sich hier die Möglichkeit, das DDS101 auszuschalten.

In den Haupt- sowie den Untermenüs kann über einen langen Tastendruck der Taste „Select/Menu“ das Menü direkt verlassen werden. Alternativ kann man auch den Menüpunkt „Exit Menu“ verwenden. Außerhalb des Menüs können die Signalform und der Betriebsmodus auch direkt mit den Tasten TA1 und TA2 geändert werden. Durch einen langen Tastendruck der Taste TA1 (linke Taste) wird der Betriebsmodus geändert.

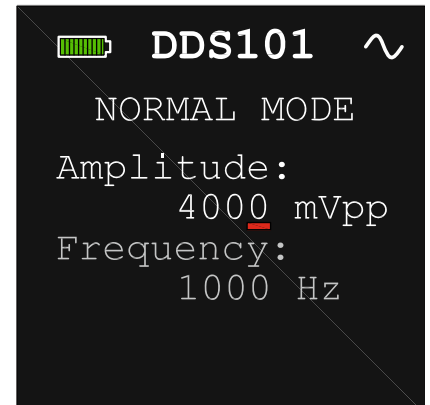


Bild 1: Einfache und übersichtliche Anzeige im Normalbetrieb

Ein langer Tastendruck der Taste TA2 (rechte Taste) ändert die Signalform.

Schaltungsbeschreibung

Beginnen wir mit der Beschreibung anhand der zur besseren Übersicht in fünf Teile gegliederten Schaltung. In Bild 2 und Bild 3 ist die komplette Schaltung der DDS101-Basisplatine dargestellt, Bild 4 zeigt das Schaltbild des OLED-Displaymoduls. In Bild 5 und Bild 6 sind schließlich die Schaltbilder der beiden Schaltreglerplatinen für die Spannungsversorgung zu sehen. Diese wollen wir auch zuerst betrachten.

Spannungsversorgung

Die Spannungsversorgung erfordert durch die Akkuvorsorgung, den kompakten Geräteaufbau mit begrenztem Platz für die Akkus sowie das einfache Bedienkonzept und das komplexe Schaltungsdesign einen gewissen Aufwand.

Die komplette Versorgung erfolgt entweder über die Buchse BU1, an die ein Steckernetzteil mit einem Hohlstecker (1,3 x 3,5 mm) anzuschließen ist, oder über die drei eingelegten Akkus. Als Spannungsversorgung über BU1 wird eine stabilisierte Spannungsquelle mit 7,5 V Ausgangsspannung und mindestens 500 mA Ausgangsstrom vorausgesetzt. Zur Absicherung des Geräts im Falle eines Kurzschlusses befindet sich direkt hinter den Eingang von BU1 und nach den Akkus ein PTC-Element, das den Strom dann im Bedarfsfall begrenzt.

Bei Versorgung über ein Steckernetzteil wird die Ladeschaltung direkt versorgt und beginnt automatisch mit dem Laden der Akkus oder sie startet die Erhaltungsladung. Die anliegenden 7,5 V gelangen auf den Eingang des Linearreglers IC2, der durch die Diode D10 im Massezweig eine Ausgangsspannung von ca. 4 V erzeugt. Die vom Steckernetzteil bereitgestellte Spannung von 7,5 V liegt in dieser Betriebsart ebenfalls an den Gate-Anschlüssen der drei MOSFETs T1, T3 und T4 an. Dadurch schaltet der N-Kanal-MOSFET T1 durch, und die beiden P-Kanal-MOSFETs T3 und T4 sperren. An dem Messpunkt MP4 liegen nun die von IC2 erzeugten 4 V an.

Sobald das Steckernetzteil von der Schaltung getrennt wird, liegt an den Gate-Anschlüssen keine

Geräte-Kurzbezeichnung:	DDS101
Versorgungsspannung:	3x 1,2-V-NiMH-Akku (HR03/Micro/AAA) oder 7,5-V _{DC} -Netzteil
Stromaufnahme:	max. 500 mA/typ. 250 mA
Anzeige:	OLED-Farbdisplay mit 128 x 128 Bildpunkten
Bedienelemente:	2 Taster, 1 Inkrementalgeber mit zusätzlicher Tastfunktion
Signalformen:	Sinus, Dreieck, Rechteck
Frequenzbereich:	1 Hz bis 1 MHz
Frequenzgenauigkeit:	25 ppm, kalibrierbar
Schrittweite:	1 Hz
Signalausgang	
Ausgangswiderstand:	50 Ω
Ausgangsspannung:	0,1 V–4,0 V _{PP} (kalibriert)
Schrittweite:	0,001 V _{PP} (kalibriert)
Abweichung:	< ±1 dB (außer Wobbel-Betrieb)
Neben-/Oberwellenabstand:	besser als -30 dBc
Wobbel-Funktion	
Wobbel-Bereich:	1 Hz bis 1 MHz
Wobbel-Frequenz:	0,1–10 Hz
Leitungslänge an BU5:	max. 3 m
Schutzart:	IP20
Umgebungstemperatur:	5 bis 35 °C
Abmessungen (B x H x T):	58 x 159 x 23 mm
Gewicht:	178 g (inkl. Akkus)

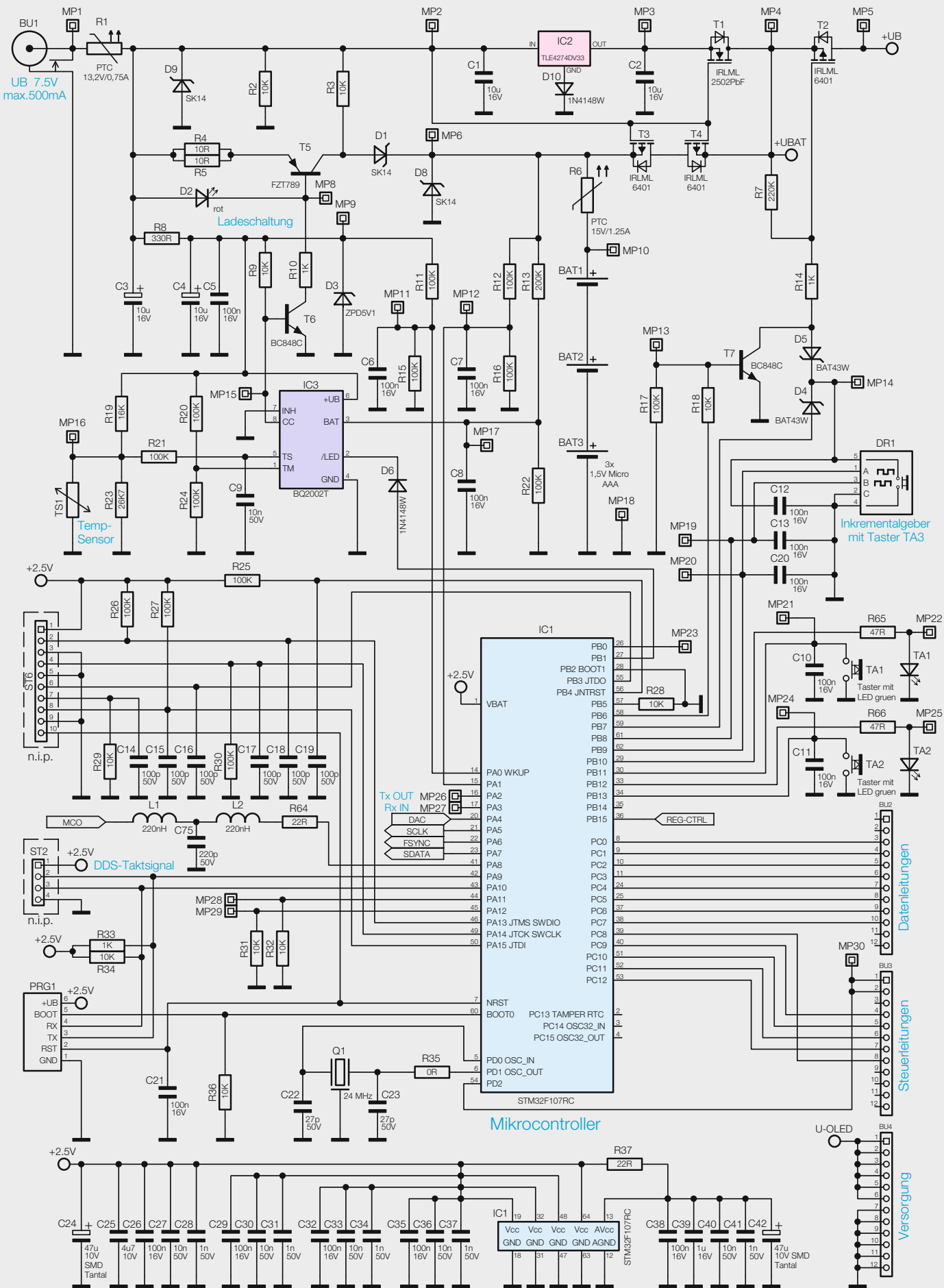


Bild 2: Schaltbild der Ladeschaltung und des Mikrokontrollerteils beim DDS101



Spannung mehr an und sie werden über den Widerstand R2 auf das Massepotential gezogen. Ab diesem Moment sind die Verhältnisse an den MOSFETs nun komplett umgekehrt: T1 sperrt, und die beiden Transistoren T3 und T4 schalten durch. Nun liegt am Messpunkt MP4 die Spannung der Akkus an.

Über den ebenfalls am Messpunkt MP4 anliegenden P-Kanal-MOSFET T2 wird die Versorgung des Linearreglers IC8 und die des Schaltreglermoduls PM2 komplett gesteuert. IC8 erzeugt die benötigten 2,5 V Betriebsspannung für den Mikrocontroller IC1 und den DDS-Chip IC4. Das Schaltreglermodul stellt die für das OLED-Display benötigten 13 V bereit. Damit der MOSFET durchschaltet, muss das anliegende Spannungspotential am Gate-Anschluss von T2 wenigstens 2 V geringer sein als die

anliegende Spannung +UBAT an MP4. Dies geschieht entweder durch die Betätigung des Tasters TA3 im Inkrementalgeber DR1 oder durch das Ansteuern des PNP-Transistors T7 über die Signalleitung des Mikrocontrollers IC1.

Durch die Betätigung des Tasters TA3 wird der Messpunkt MP14 auf Masse gelegt. Über der Diode D5 bildet sich dann das typische Spannungspotential von 0,7 V, und die nun vorhandene Spannungsdifferenz lässt den Transistor T2 durchschalten. Diese Methode wird zum Einschalten des DDS101 verwendet. Sobald der Mikrocontroller IC1 arbeitet, sorgt dieser

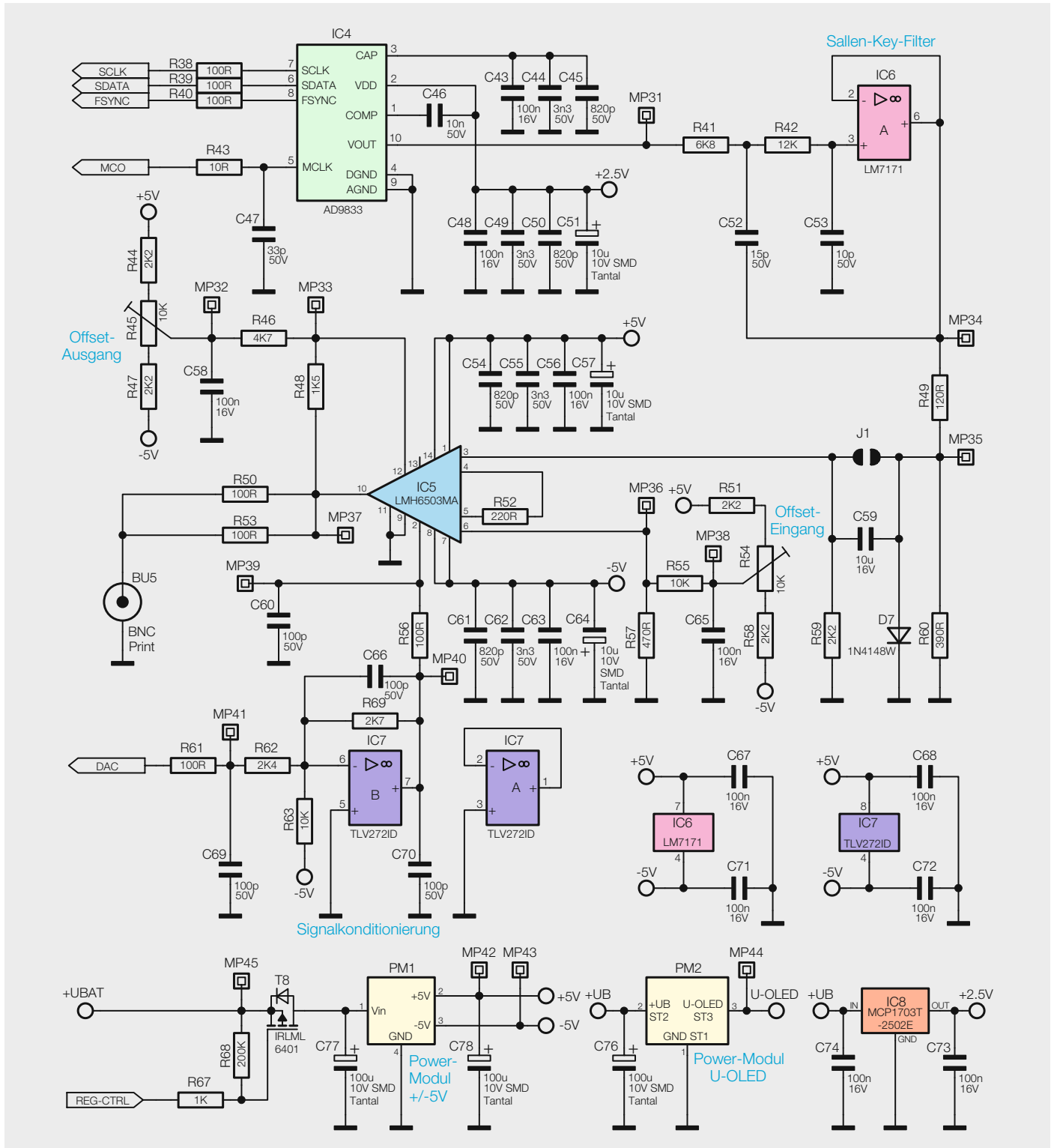


Bild 3: Schaltbild der Signalerzeugung per DDS-Chip und des Verstärkerteils

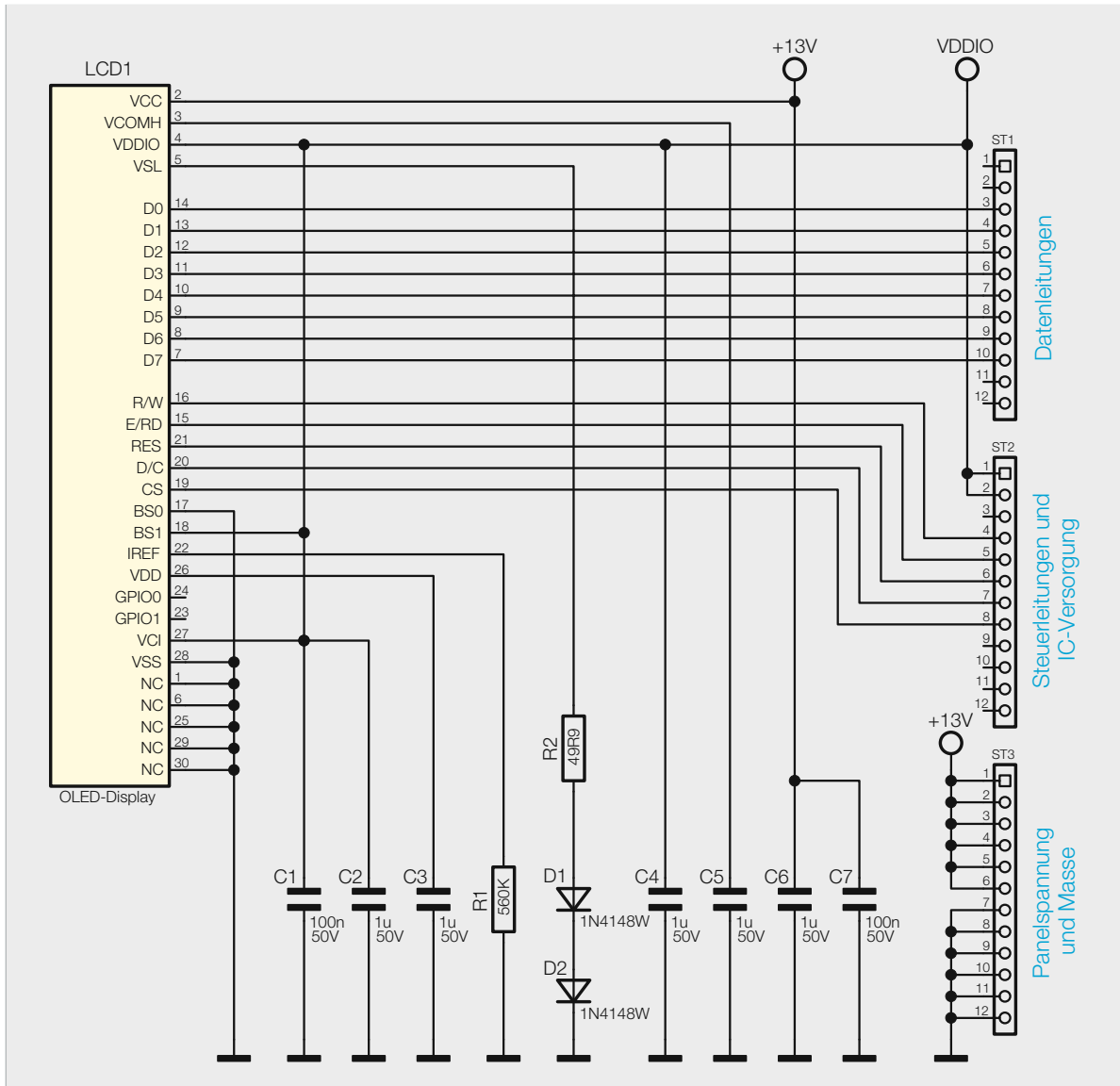


Bild 4: Schaltbild des OLED-Display-moduls

dafür, dass der Transistor T7 über die angeschlossene Signalleitung angesteuert wird und somit die Spannungsdifferenz am Gate von T2 aufrechterhält. Die Selbsthaltung ist damit aktiv.

Zum Schluss fehlt noch die Spannungsversorgung für die Filterschaltung und die Endstufenelemente. Die hierfür benötigten Spannungen von -5 und +5 V

werden von dem Schaltreglermodul PM1 erzeugt. Das Modul wird separat vom Mikrocontroller über die Signalleitung „REG-CTRL“ und dem dazugehörigen MOSFET T8 eingeschaltet.

Die Power-Module

Um Platz auf der Basisplatine zu sparen, wurden zwei Schaltreglerplatinen entwickelt, die als separate Module an die Basisplatine angelötet

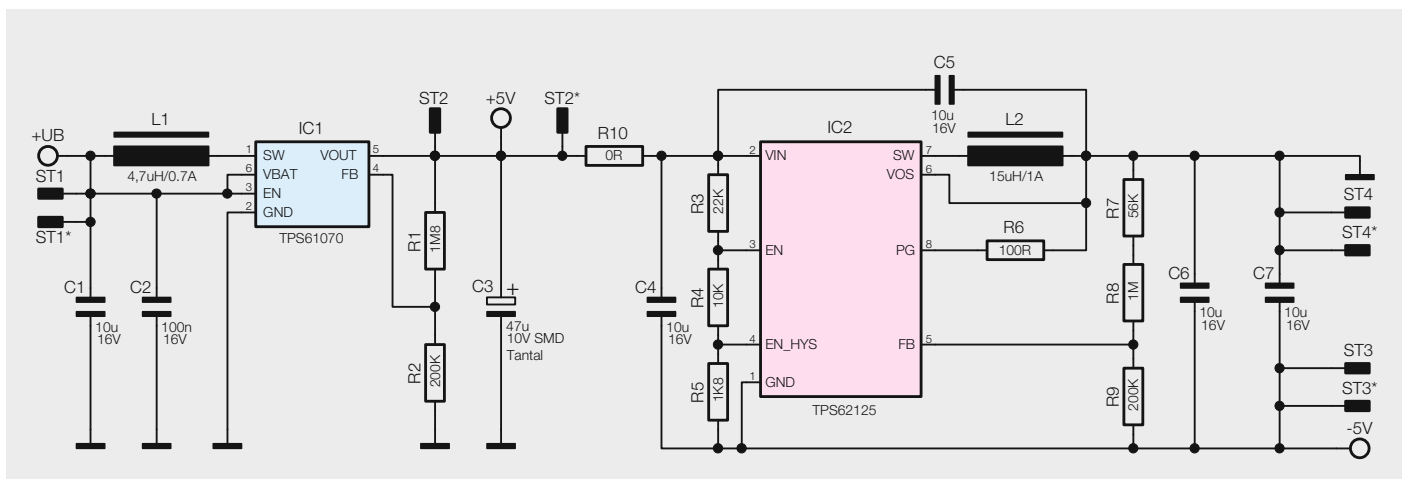


Bild 5: Schaltbild der Schaltreglerplatine PM1



werden. Dadurch konnte der in der Oberschale des Gehäuses vorhandene Raum sinnvoll genutzt werden. Wie schon erwähnt, erzeugen die beiden Schaltreglerplatinen die benötigten Spannungsebenen für die Filter- und Endstufenelemente und das OLED-Display.

Das Schaltbild des Moduls PM1 ist in **Bild 5** dargestellt. Dieses Modul erzeugt mittels zweier Schaltregler-ICs zwei separate Ausgangsspannungen. Es wird über den Lötanschluss ST1 versorgt und erhält entweder die vom Linearregler IC2 erzeugten 4 V oder die Akku-Spannung. Die erste Schaltreglerstufe besteht aus einem Step-up-Wandler, der eine Ausgangsspannung von +5 V erzeugt. Über die beiden am Feedback-Pin angeschlossenen Widerstände R1 und R2 wird die Ausgangsspannung definiert und am Lötanschluss ST2 bereitgestellt. Der Kondensator C3 sorgt für eine geringe Rippel-Spannung und kann auch kurze Stromspitzen gut kompensieren.

Die zweite Stufe arbeitet mit einem Step-down-Schaltregler, der eine Ausgangsspannung von -5 V erzeugt und diese am Lötanschluss ST3 bereitstellt. Ähnlich wie bei der ersten Stufe wird die Ausgangsspannung über das Verhältnis der Widerstände R7 bis R9 am Pin 5 eingestellt. Als Eingangsspannung wird die in der ersten Schaltregler-Stufe erzeugte Ausgangsspannung von +5 V verwendet.

Mit den Widerständen R3 bis R5 wird das Start- und Stopp-Verhalten des Schaltreglers in Abhängigkeit von der Eingangsspannung definiert. Dadurch ist gewährleistet, dass der Regler sicher startet, da eine minimale Spannung am Eingang vorausgesetzt wird. Zusätzlich stützt der Kondensator C4 die anliegende Spannung.

Bild 6 zeigt das Schaltbild des zweiten Power-Moduls. Der hier eingesetzte Step-up-Wandler stellt an seinem Ausgang (ST3) eine Spannung von ca. 13 V bereit. Auch hier bestimmen wieder die Verhältnisse der Widerstände am Feedback-Pin (R1 und R2), welche Ausgangsspannung eingestellt ist. Versorgt wird das Modul ebenfalls mit den vom Linearregler IC2 erzeugten 4 V oder der vorhandenen Akkuspannung, welche am Lötanschluss ST2 anliegt.

Mikrocontroller

Wie in heutigen elektronischen Schaltungen üblich, übernimmt ein Mikrocontroller (IC1) die Steuerung und Überwachung der Schaltung. Beim DDS101 kommt für diese Aufgabe ein leistungsfähiger ARM-32-Bit-Cortex-M3-Controller vom Typ STM32F107RC der Firma ST zum Einsatz, der durch seine vielfältigen Möglichkeiten, die kompakte Bauform und seinen geringen Preis besticht. Wie schon erwähnt, wird diese Komponente mit +2,5 V versorgt. Über den externen 24-MHz-Quarz Q1 wird der Grundtakt für den Controller bereitgestellt. Aus diesen 24 MHz erzeugt der Mikrocontroller dann intern seine Arbeitstaktfrequenz von 72 MHz mittels PLL.

Die Anbindung des Controllers an den DDS-Chip IC4 erfolgt in Form einer SPI-Schnittstelle, die über die Datenleitungen SCLK, FSYNC und SDATA realisiert ist. Neben der Steuerung des DDS-Bausteins über-

nimmt der Mikrocontroller auch die Steuerung des OLED-Displays und die Auswertung der Taster sowie des Inkrementalgebers. Ebenfalls obliegt dem Mikrocontroller die Steuerung des Verstärkungsfaktors bei der Endstufe IC5. Dazu wird der interne D/A-Wandler genutzt, der am Pin 20 eine Steuerspannung auf der Signalleitung DAC einstellt. Zur Bildung des DDS-Takt-Signals steht der intern vorhandene 24-MHz-Grundtakt am Pin 41 des Mikrocontrollers bereit. Mit dem dahinter folgenden passiven Filter werden die hochfrequenten Signalanteile, die oberhalb von 32 MHz liegen, gedämpft und die Störaussendung damit minimiert.

Der Laderegler

Das Laden der Akkus erfolgt parallel zum Netzbetrieb mit dem externen Steckernetzteil. Der Transistor T5 bildet eine Stromquelle, die einen konstanten Ladestrom von ca. 200 mA erzeugt. Der Ladestrom fließt über die Diode D1 zu den Akkus. Die beiden Transistoren T3 und T4 sind bei angeschlossenem Netzteil nicht leitend. Die Stabilisierung des Ladestroms geschieht mit der Leuchtdiode D2, die gleichzeitig zur optischen Ladekontrolle dient. Im Fall, dass über den Widerstand R10 ein Strom fließt, fällt über D2 eine Spannung von ca. 2 V ab. Bekanntermaßen weisen LEDs eine ähnliche Kennlinie wie Z-Dioden auf, so dass der Spannungsabfall über einer LED, unabhängig vom Strom, relativ stabil bleibt. Über den fließenden Basisstrom von T5 wird dieser Transistor leitend, und es kann ein Strom über D1 in die Akkus fließen. Die Spannung über den parallel liegenden Widerständen R4 und R5 ergibt sich aus der LED-Spannung minus der Basis-Emitter-Spannung von T5. Das Interessante hierbei ist, dass der Strom durch diese beiden Widerstände konstant bleibt, da die LED-Spannung für eine Stabilisierung sorgt. Diese Schaltungstechnik wird als Konstantstromquelle bezeichnet.

Die Steuerung des Ladevorgangs übernimmt der spezielle Laderegler IC3 vom Typ BQ2002T. Über den Anschluss CC (Pin 8) wird der Widerstand R10 gegen Masse geschaltet. Die Stromquelle kann also nur ein- und ausgeschaltet werden. Der Laderegler IC3 hat zwei Überwachungsfunktionen. Zum einen wird während des Ladens die Akkuspannung gemessen und bei Erreichen einer bestimmten Akkuspannung der Ladevorgang abgebrochen und zum anderen die Tem-

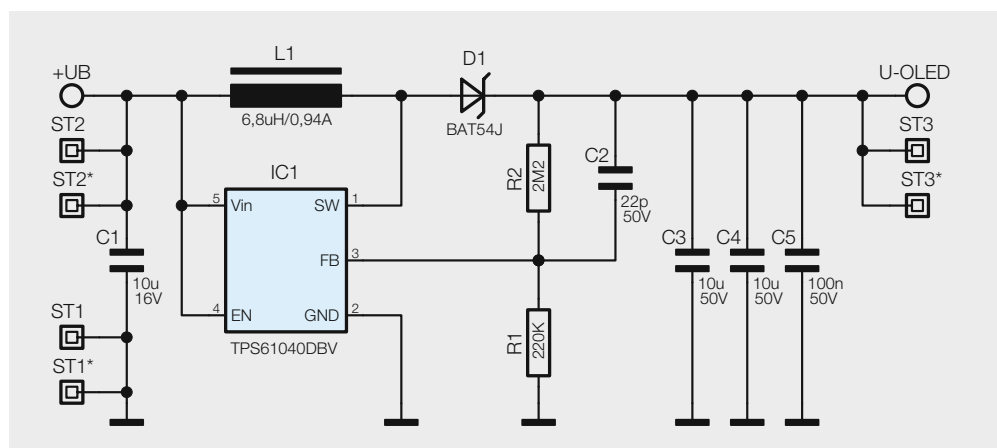


Bild 6: Schaltbild der Schaltreglerplatine PM2

peratur der Akkus überwacht. Der Temperaturfühler TS1 befindet sich in der Nähe der Akkus, besser gesagt direkt darunter. Steigt die Temperatur an, wird ebenfalls der Ladevorgang abgebrochen. Der Schaltausgang "/>LED" ist normalerweise für eine LED vorgesehen, die zur Ladekontrolle dient. In unserem Fall wird dem Mikrocontroller über die Diode D6 der momentane Ladezustand mitgeteilt. Nach dem Abbruch des Ladevorgangs aktiviert der Controller den sogenannten „Trickle Mode“, der kurzzeitig die Stromquelle aktiviert. Hierdurch wird der Ladezustand aufrechterhalten und eine Selbstentladung vermieden. Nähere Informationen finden sich auch im Datenblatt des BQ2002T [2]. Über den Spannungsteiler R12/R16 wird die Akkuspannung dem Mikrocontroller zugeführt, der die aktuelle Akkuspannung misst und den Ladestatus im Display anzeigt.

Bedien- und Anzeigeelemente

Über die Buchsenleisten BU2 bis BU4 sind alle notwendigen Daten- und Steuerleitungen zum Betrieb des OLED-Displays direkt mit dem Mikrocontroller IC1 verbunden. Auch die Spannungsversorgung erfolgt über die Buchsenleisten. Neben den 2,5 V für den Displaycontroller, welche über die Pins 1 und 2 der Buchsenleiste BU3 zugeführt werden, benötigt das OLED-Display eine zusätzliche 13-V-Spannung für das Panel. Diese „Panel-Spannung“ wird dem Display über die Pins 1 bis 6 der Buchsenleiste BU4 zur Verfügung gestellt.

Auf der Displayplatine befinden sich lediglich die zum Betrieb des OLEDs benötigten Bauteile sowie die drei Stiftleisten, die die Verbindung zur Basisplatine herstellen. Das Schaltbild ist in Bild 4 zu sehen. Damit das Display nicht schief auf der Platine befestigt wird, ist es mittels eines Displayrahmens und mit Rastnasen exakt ausgerichtet.

Als Eingabelemente stehen zum einen die separaten Taster TA1 und TA2 zur Verfügung, zum anderen ist ein Inkrementalgeber DR1 angeschlossen, der über einen weiteren Taster TA3 verfügt. Die Kondensatoren C10 bis C13 und C20 unterdrücken dabei eventuelle Signalstörungen. Die beiden Taster TA1 und TA2 sind mit den im Tastergehäuse vorhandenen LEDs beleuchtbar.

DDS-Generator

In Bild 3 ist oben links der Schaltungsabschnitt dargestellt, der für die eigentliche Signalerzeugung verantwortlich ist. Der im DDS101 eingesetzte DDS-Signalgenerator vom Typ AD9833 wurde bereits in mehreren Projekten eingesetzt.

Um die dem DDS-Generator AD9833 innewohnenden Funktionen kurz zu betrachten, muss man einen Blick in sein Innenleben werfen, dargestellt in Bild 7. Hier erkennt man auf Anhieb, dass die Signalerzeugung nicht durch eine analog generierte Sinusschwingung erfolgt. Stattdessen übernimmt ein per Datenbus gesteuerter Prozessor die Berechnung der Funktionswerte und wandelt sie über einen leistungsfähigen D/A-Wandler in ein analoges Signal um. Zentrale Elemente sind hier der SIN-ROM, ein Speicher, in dem der „Kurvenverlauf“ des zu erzeugenden 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 digitalen Werte in ein analoges Signal konvertiert und es am Signalausgang Vout ausgibt. Der DDS-Generator wird im DDS101 mit einer Betriebsspannung von 2,5 V betrieben.

Sallen-Key-Filter

Da es sich beim DDS-Verfahren im Prinzip um eine digitale Signalerzeugung mittels Digital-Analog-Wandlung handelt, ist das über Pin 10 vom DDS-Chip ausgegebene Ausgangssignal mit entsprechenden „Rückständen“ des Taktsignals verunreinigt.

Das nachgeschaltete aktive elektronische Filter, das aus einem Operationsverstärker und mehreren Widerständen und Kondensatoren besteht, besitzt eine Grenzfrequenz von ca. 1,1 MHz und sorgt so für eine Filterung von „ungewollten“ Signalanteilen aus dem Ausgangssignal Vout. Es handelt sich hierbei um ein sogenanntes Sallen-Key-Filter.

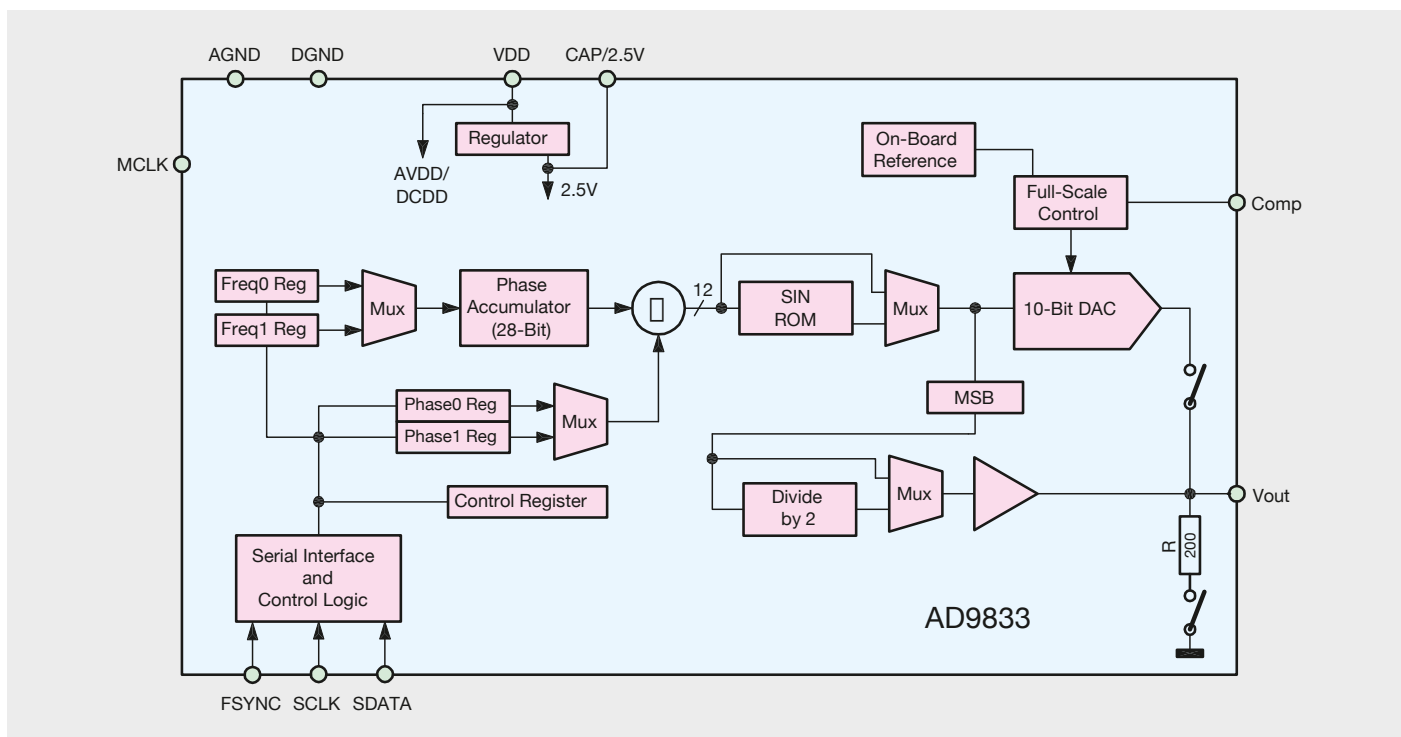


Bild 7: Blockschaltbild des AD9833



Mehr zu dem Thema aktive Filter bzw. Sallen-Key-Filter ist dem separaten Abschnitt „Elektronikwissen“ zu entnehmen.

Nach dem Filter gelangt das Signal über den Spannungsteiler, bestehend aus R49 und R60, auf den Eingang des Operationsverstärkers IC5. Die Diode D7 schützt den Eingang des Operationsverstärkers vor Spannungen über 720 mV, der Kondensator C59 entfernt den vorhandenen Gleichspannungsanteil.

Die Endstufe

Damit die an der Buchse BU5 benötigten Spannungspegel erreicht werden, muss das vom Filter kommende Signal über die Endstufe IC5 noch verstärkt werden. Der hier zum Einsatz kommende Operationsverstärker vom Typ LMH6503 besitzt einen variabel einstellbaren Verstärkungsfaktor, mit dem es sehr einfach ist, den Pegel des Ausgangssignals zu verändern. Diesen Faktor stellt der Mikrocontroller über eine an Pin 2 zugeführte Steuerspannung ein. Diese Steuerspannung wird in dem internen D/A-Wandler vom Mikrocontroller IC1 generiert und in der darauf folgenden Operationsverstärkerschaltung so weit konditioniert, dass sie mindestens in einem Bereich von -1,1 bis +1,1 V einstellbar ist. Erst

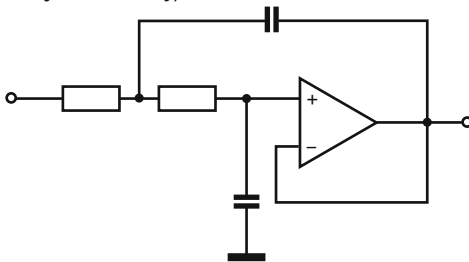
mit diesem Steuersignal erreicht man den gesamten Verstärkungsbereich des Operationsverstärkers IC5.

Mit den beiden Widerstandstrimmern R45 und R54 und den Spannungsteilern R46, R48 bzw. R55, R57 kann am LMH6503 eine Offset-Kompensation durchgeführt werden. Hierbei kompensiert der Widerstands-trimmer R45 den Offset der Ausgangsstufe. Entsprechend kompensiert der Trimmer R54 den Offset der Eingangsstufe. Wie die Offset-Kompensation korrekt durchgeführt wird, wird im Abschnitt „Inbetriebnahme und Kalibrierung“ beschrieben.

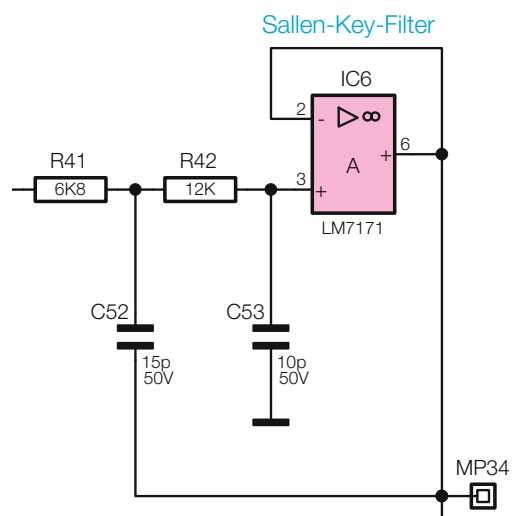
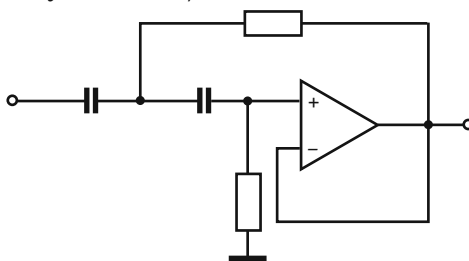
Um eine definierte Ausgangsimpedanz von 50 Ω zu erhalten, befinden sich zwischen dem Ausgang von IC5 (Pin 10) und der Buchse BU5 die beiden parallel geschalteten 100- Ω -Widerstände R50 und R53. Damit ist die Schaltungsbeschreibung abgeschlossen.

Im nächsten Teil wird der Nachbau des 1-MHz-Funktionsgenerators sowie die Inbetriebnahme und Kalibrierung beschrieben. **ELV**

Sallen-Key-Filter als Tiefpass



Sallen-Key-Filter als Hochpass



Sallen-Key-Filter als Tiefpass im DDS101

Aktive Filter – Sallen-Key-Filter

Im Gegensatz zu passiven Filtern, die mehrere passive Bauteile wie Widerstände, Induktivitäten und/oder Kapazitäten zu einem Filterzweig oder Filternetzwerk zusammenfassen, sind aktive Filter mit aktiven Bauteilen wie Operationsverstärkern oder Transistoren aufgebaut. Vorteile sind neben der möglichen Kompensation von Induktivitäten eine hohe erreichbare Güte und eine einfach realisierbare Signalverstärkung.

Bei passiven Filtern, die sich im Gegensatz zu aktiven Filtern für den Einsatz bei höheren Leistungen eignen, z. B. als Lautsprecherweichen, ist die Güte, also die Steilflankigkeit an den Frequenzgrenzen der Filter, vor allem beim Einsatz von Induktivitäten begrenzt. Eine hohe Güte ist hier nur mit eng tolerierten, hochwertigen Bauteilen bzw. Alternativen zu Induktivitäten, wie Piezofiltern in der HF-Technik, zu erreichen. Hingegen ergibt sich beim aktiven Filter eine weitaus einfachere Realisierbarkeit einer hohen Filtergüte, jedoch hängen hier der Frequenzbereich und die Linearität des Filters wesentlich von den Eigenschaften des aktiven Bauelements ab.

Das Sallen-Key-Filter, wie es beim DDS101 zum Einsatz kommt, ist eine nach seinen Erfindern R. P. Sallen und E. L. Key benannte aktive Filteranordnung zweiter Ordnung (12 dB/Oktave, Dämpfung oberhalb/unterhalb der Grenzfrequenz des Filters) mit besonders geringem Aufwand, mit der sich sehr einfach Band-, Tief- und Hochpässe aufbauen lassen. Dazu kommt, dass man keine speziell tolerierten Bauteile benötigt.

Der einfache Aufbau mit leicht verfügbaren Bauteilen führt allerdings auch gegenüber anderen, aufwendigeren Filterdesigns zu einer relativ geringen Filtergüte. Dies muss man anhand des konkreten Einsatzzwecks abwägen.

Die benötigten Bauteilwerte lassen sich heute einfach über Online-Kalkulationsprogramme ermitteln, z. B.

http://www.changpuak.ch/electronics/calc_08.php/sim.okawa-denshi.jp/en/OPseikiLowkeisan.htm