

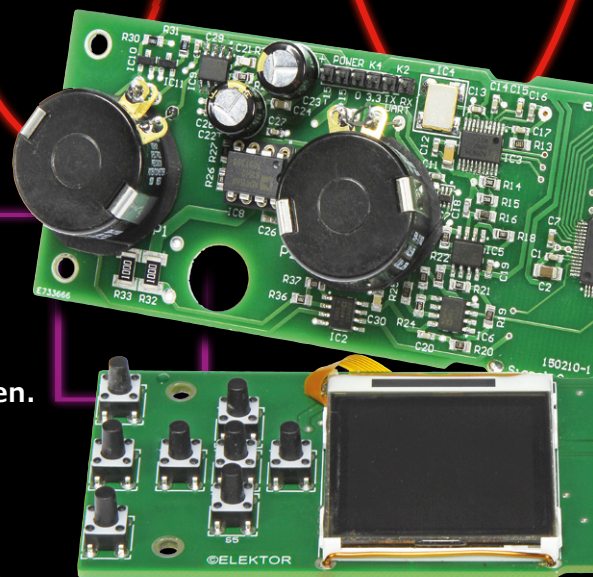
DDS-Funktionsgenerator

Sinus, Rechteck und Dreieck bis 10 MHz

Von **Theodorou Gerasimos** (Griechenland)

Überarbeitung des Designs: **Ton Giesberts** (Elektor-Labor)

DDS-Chips sind leicht erhältlich, so dass der Analogteil eines Weitbereichs-Funktionsgenerators viel einfacher ausfällt als früher. Man muss lediglich ein IC auswählen, eine geeignete Ausgangsschaltung und einen Mikrocontroller hinzufügen, sich eine Benutzeroberfläche ausdenken und ein wenig programmieren. Oder doch nicht?



Vor einigen Jahren brauchte ich einen Funktionsgenerator für mein Heimlabor. Auf der Arbeit hatte ich es mit einigen teuren kommerziellen Modellen zu tun, so dass mir die Idee kam, eines von ihnen zu kaufen. Doch keines war wirklich das, was ich wollte - zu komplex für einfache Anforderungen - und so entschied ich mich, einen eigenen Funktionsgenerator zu entwerfen und zu bauen. Das Gerät sollte auf DDS (Direct Digital Synthesis) basieren, aber nicht nur die Bauteilwahl stellte sich als ein Problem heraus.

Meine Bauteile, deine Bauteile?

Nachdem ich verschiedene Techniken verglichen hatte, ließ ich mich auf eine Architektur, basierend auf der Direkten Digitalen Synthese (DDS), für mein Projekt ein. DDS verwendet einen digitalen Oszillator mit Präzisionsquarz, um Sinuswellen zu erzeugen, hochpräzise und bis zu sehr hohen Frequenzen.

Es sollte ein Mikrocontroller von Analog Devices zum Einsatz kommen. Dieser Hersteller, der berühmt ist für seine Digitalen Signalprozessoren (DSP), bietet eine Familie von 32-bit-ARM-Controllern, die durch eine reichhaltige und lesbare Dokumentation unterstützt werden. Analog Devices ist auch spezialisiert auf DDS-

Chips, Operationsverstärker und andere analoge ICs, so dass schnell klar war, dass ich für das Projekt im Wesentlichen auf AD-Chips zurückgreifen würde. Der freundliche Labormuster-Service von AD hat mich schnell mit dem Nötigsten versorgt, ohne mir dafür eine Menge Geld aus der Tasche zu ziehen. Als **MCU** wählte ich den **ADuC7024BSTZ62**, ein Mitglied der Familie „Precision Analog Microcontroller“ in einem 64-poligen Gehäuse. Der Controller enthält einen ARM7TDMI-Core und läuft mit einem Takt von 44 MHz. Diese MCUs tragen die Bezeichnung „analog“, weil sie über analoge Ein- und Ausgänge (ADC und DAC) und einen Analog-Komparator verfügen. Natürlich sind auch PWM, Timer und serielle Schnittstellen (SPI, UART, I²C) vorhanden. Unser Mikrocontroller verfügt über 8 KB RAM und 62 KB Flash-Speicher, der in-circuit über eine serielle Schnittstelle programmiert werden kann. Einige MCUs dieser Familie verwenden I²C für die Programmierung des Flash-Speichers. Achten Sie deshalb darauf, dass Sie genau den angegebenen Typ bestellen und nicht einen mit einer etwas anderen Teilenummer. Der **DDS-Chip** für das Projekt ist der beliebte **AD9834**. Die maximale Frequenz des externen Oszillators beträgt 75 MHz,

so dass eine maximale Ausgangsfrequenz von 37,5 MHz (die Hälfte der Taktfrequenz) garantiert ist. Der Nachteil eines solch schnellen Taktsignals ist eine Frequenzauflösung von nur 0,28 Hz aufgrund des 28-bit-Integer-Frequenzteilers im Chip. Das klingt nicht nach einem gewaltigen Problem, aber hat doch einen Fehler von fast 0,6 % bei 20 Hz zur Folge. Um dies zu verbessern, kann die Taktfrequenz herabgesetzt werden, allerdings auf Kosten der maximal erreichbaren Ausgangsfrequenz. Bei 1 MHz Taktrate liegt die Auflösung bei 0,004 Hz, was einem Fehler von 0,005% bei 20 Hz entspricht. Als maximale Frequenz werden dann aber auch nur magere 500 kHz erreicht. In diesem Projekt soll die DDS-Taktfrequenz deshalb 75 MHz betragen, um ein relativ sauberes Signal bis zu 10 MHz zu gewährleisten.

Die Benutzerschnittstelle ist wichtiger Bestandteil eines jeden Messgeräts. Ich entschied mich für ein Grafik-**Display** und eine Reihe von Tastern, um einfach durch übersichtliche Menüs und Optionen navigieren zu können. Als Anzeige kommt ein billiges Ersatzdisplay für ein Handy des Typs Nokia 6100 zu Einsatz, das in der Open-source-Community gut dokumentiert ist. Leider existiert dieses Display in



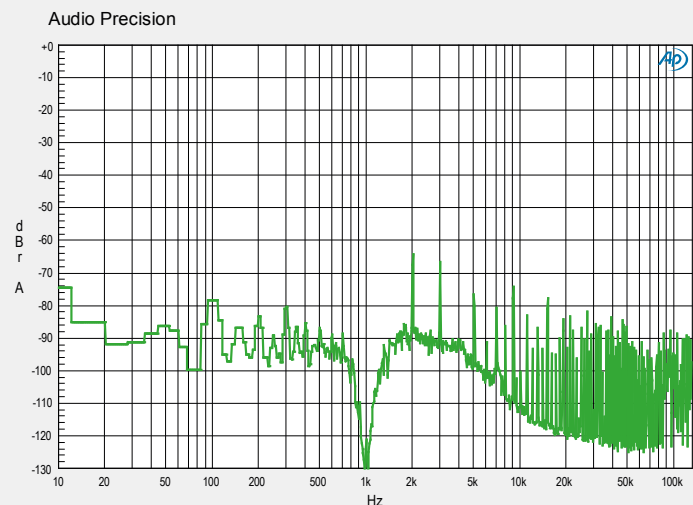
zwei Varianten (Epson und Philips), die nicht vollständig kompatibel sind. Noch ungünstiger ist es, dass man beim Kauf die beiden Typen erst einmal nicht unterscheiden kann. Um diese Misslichkeit zu

umgehen, habe ich zwei Softwarevarianten geschrieben, für jeden Displaytyp eine. Zwei Multiturn-Potentiometer sind für die schnelle, aber dennoch genaue Einstellung der Amplitude des Ausgangs-

signals und des DC-Offsets vorhanden. Natürlich spielt auch die Optik eine Rolle: Der Generator findet sein Zuhause in einem schönen Hammond-**Aluminium-Gehäuse**.

Eigenschaften

- Direkte Digitale Synthese (DDS) mit analogem Frontend
- Frequenzbereich: 1...10 MHz
- Frequenz-Auflösung: 0,28 Hz
- Ausgangsspannung: 0...15 V_{ss}
- THD+N (100 k Ω Last, B>500 kHz):
 - 1 V, 1 kHz: 0,12% (0,09% für B = 22 kHz)
 - 5 V, 1 kHz: 0,1% (0,09% für B = 22 kHz)
 - 1 V, 10 kHz: 0,1% (0,09% für B = 80 kHz)
 - 5 V, 10 kHz: 0,09% (0,08% für B = 80 kHz)
 - 1 V, 100 kHz: 0,1%
 - 5 V, 100 kHz: 0,08%
- S/N (bezogen auf 1 V): 72 dB
- Maximale Ausgangsspannung (10 M Ω Last):
 - Sinus: 16 V_{ss}
 - Dreieck: 16 V_{ss}
 - Rechteck: 18 V_{ss}
- DC-Offsetspannungsbereich: -10 bis +10 V
- Ausgangsimpedanz: 50 Ω
- Tastverhältnis (Rechteck): 1...99%
- Rise- und Fall-time (80%, Rechteck): 100 ns
- Sweep-Modus
- Leistungsaufnahme: 3 VA



Ein FFT-Schrieb eines 1-kHz-Sinussignals mit 1 V Spannung bis 130 kHz und unterdrückter Grundwelle. Die Verzerrungen (THD+N) werden vor allem von den Harmonischen des Signals verursacht. Einige Rückstände der Netzfrequenz (50 Hz) sind sichtbar.

Mehr Bilder und Diagramme auf
www.elektor-labs.com/150210

Die Schaltung

Bild 1 zeigt die Schaltung des DDS-Funktionsgenerators. Der Schaltungsteil, der für die Signalerzeugung zuständig ist, erscheint oben im Bild, unten sind der Mikrocontroller

und das User-Interface zu sehen. Die passiven Bauteile um den DDS-Chip IC3 werden wie vom Hersteller empfohlen eingesetzt. Das Ausgangssignal durchläuft zunächst das RC-Netzwerk R16/C18,

bevor es von IC5.A verstärkt wird. Der Tiefpass mag simpel erscheinen (und ist es auch), der Einsatz eines Filters höherer Ordnung erwies sich, wie wir später noch sehen werden, als nicht notwendig.

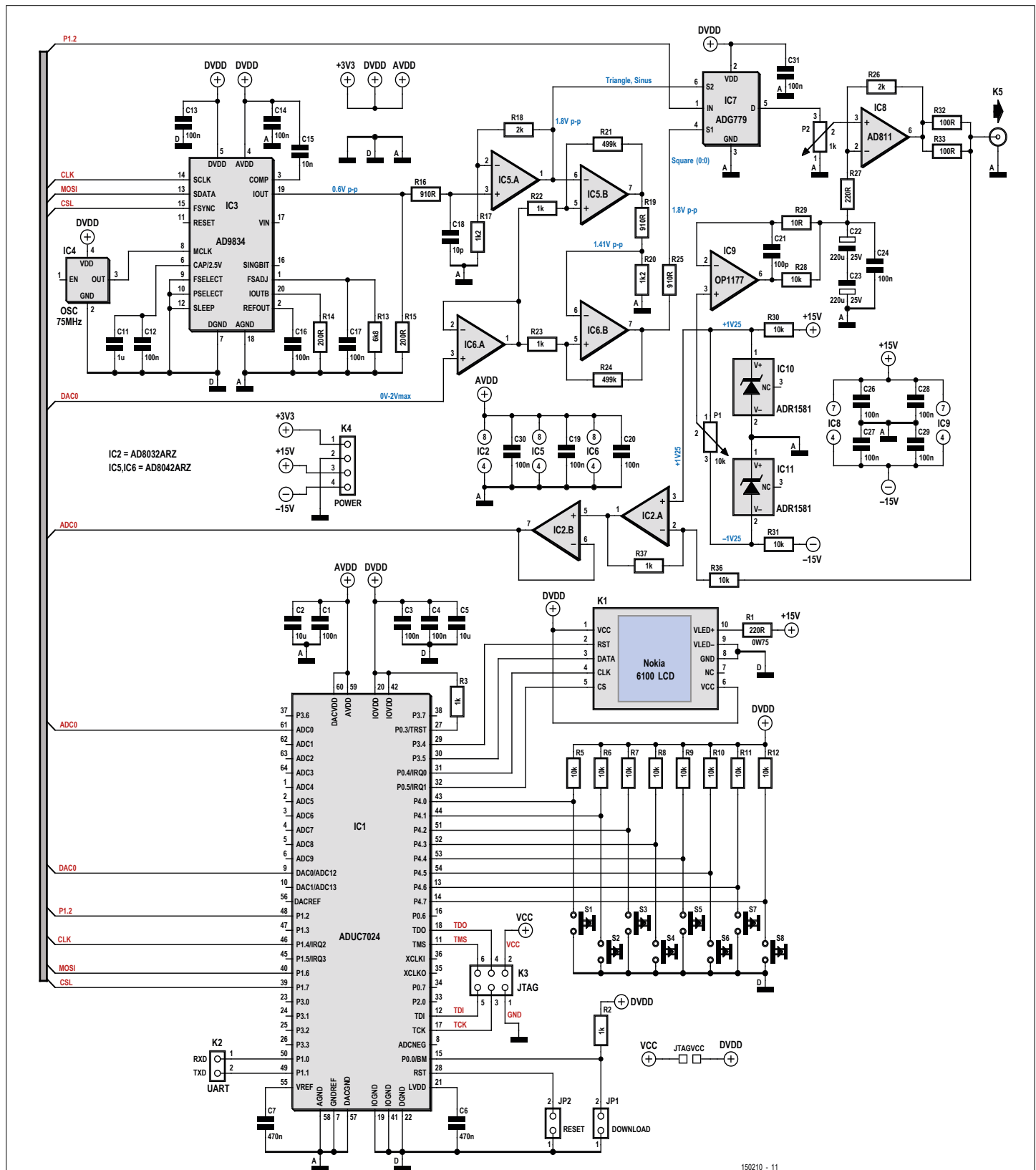


Bild 1. Die Hauptplatine des Funktionsgenerators enthält abgesehen vom Netzteil sämtliche Bauteile.

Das Ausgangssignal von IC5.A folgt zwei Pfaden. Der obere Pfad ist Sinus- und Dreiecksignalen vorbehalten (IC3 kann beides). Sie liegen an S2 von IC7, einem CMOS-Wechselschalter mit sehr guter Isolation zwischen seinen beiden Eingängen S1 und S2. Der untere Pfad wird von Rechtecksignalen verwendet. Sie gelangen an den anderen Eingang S1 von IC7. Das Rechtecksignal wird vom Dreieck abgeleitet. Dieses durchläuft IC5.B und IC6.B, die als recht schnelle Komparatoren (mit richtig bemessenen Hysteresen) geschaltet sind. Die Referenzspannung für die Komparatoren stammt von einem der Analogausgänge (DAC0) des Mikrocontrollers und wird von IC6.A gepuffert. Dies ermöglicht eine präzise Steuerung des Tastverhältnisses des Rechtecksignals. Am Ausgang des Wechselschalters ist das Abschwächer-Potentiometer P2 angeschlossen. Das Signal wird danach vom High-Speed-Video-Operationsverstärker IC8 verstärkt und liegt dann auf der Ausgangsbuchse. Dieser Verstärker ist schnell (2500 V/ms Anstiegsgeschwindigkeit) und auch in der Lage, niederohmige Lasten zu treiben. Der AD811 steckt übrigens nicht ohne Grund in einem DIP-Gehäuse: Nach einem tragischen Unfall im rauen Laboralltag (Überlastung) ist es viel leichter, ihn gegen einen neuen Opamp auszutauschen als dies bei einem SMD der Fall wäre.

Der Spitze-Spitze-Pegel oder die Amplitude des Ausgangssignals wird an P2 eingestellt. Aufgrund der parasitären Kapazitäten und Induktivitäten (die sich wie ein Tiefpassfilter auswirken) des Potentiometers ist die Qualität des Potis essentiell für die Qualität des Ausgangssignals. Die Grenzfrequenz des Potis ist abhängig von der Anzahl der Gänge und seinem Widerstand. Wenn der Generator vor allem für saubere Hochfrequenz-Sinuswellen verwendet wird, ist ein 10-Gang-Potentiometer mit einem Widerstand von 1 k Ω oder mehr eine gute Wahl. Sind Sie eher an Impulsen mit steilen Flanken interessiert, dann setzen Sie ein 5-Gang-Poti mit einem Widerstand von 200 Ω oder weniger ein (**Bild 2**).

Da wir schon einmal beim Thema parasitäre Filter sind, sollten Sie einen genauen Blick auf die Signalwege werfen. Alle Bauteile in den Signalwegen, beginnend am Ausgang von IC3, einschließlich der Platine und ihres Layouts, haben eine begrenzte Bandbreite und tragen zu einem gewissen Grad zur Tiefpassfilterung des Ausgangssignals bei. Deshalb

ist es in Ordnung, nur ein RC-Filter erster Ordnung (nämlich R16/C18) zu verwenden. Mit einem Filter hoher Ordnung wäre ein dritter Pfad für die Dreieckssignale erforderlich, was den Entwurf viel komplexer gestaltet hätte.

Die Offsetspannung des Ausgangssignals wird durch die beiden Spannungsreferenzen IC10 und IC11 erzeugt, an Potentiometer P1 eingestellt und vom High-precision-Opamp IC9 gepuffert. Diese Gleichspannung wird am invertierenden Eingang von Opamp IC8 dem Ausgangssignal hinzugefügt.

Das Ausgangssignal wird abgeschwächt und vom Gleichspannungsoffset befreit (IC2) auch einem der analogen Eingänge des Mikrocontrollers (ADC0) zugeführt, damit der Signalpegel überwacht und auf dem Display angezeigt werden kann (siehe [2] für Messungen).

Die Schaltung rund um den Mikrocontroller IC1 bedarf kaum einer Erklärung: acht Drucktaster, ein Grafik-LCD, ein paar Entkopplungskondensatoren und einige Stiftleisten, das ist alles. Der Mikrocon-

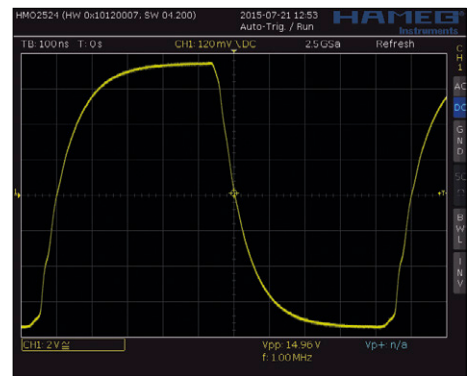


Bild 2. Eine Periode eines 1,00-MHz-Rechtecksignals mit einem Tastverhältnis von 50 %. Die Ausgangsspannung ist mit P2, einem 10-fach-Poti (1 k Ω), fast auf das Maximum eingestellt.

troller wird von seinem internen Oszillator getaktet.

Der JTAG-Steckverbinder wird zum Programmieren und Debuggen der Software benötigt. Die serielle Schnittstelle ist auch notwendig, wenn der MCU-Bootloader zum Programmieren verwendet werden muss. Wenn JP1 gesteckt ist, startet die

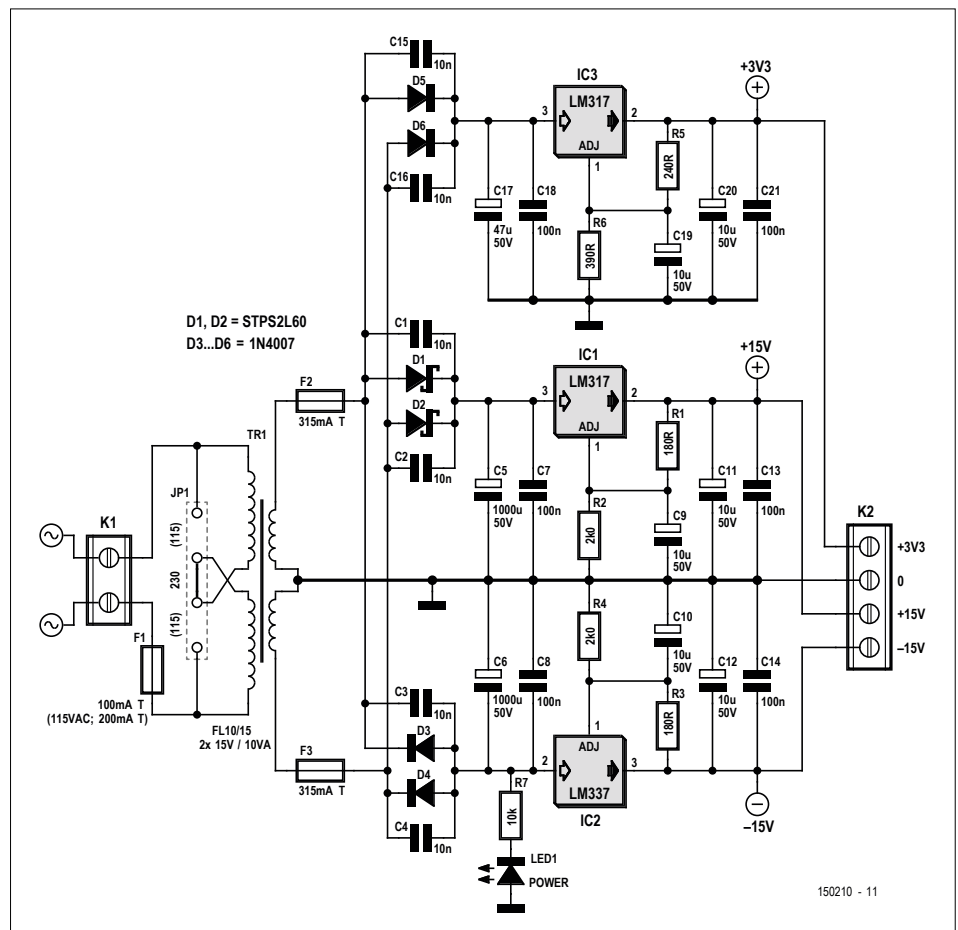


Bild 3. Das Netzteil für den Funktionsgenerator besteht aus einem Haufen LM3x7-Spannungsreglern. Mit einem Trick wurde die Stromaufnahme des 3,3-V-Teils reduziert.

MCU im Bootloader-Modus.

Die Stromversorgung (**Bild 3**) ist klassisch mit mehreren LM317 und einem LM337 aufgebaut. Zusammen bilden sie eine stabile $\pm 15\text{-V}$ -Versorgung für den Analogteil und liefern saubere $+3,3\text{ V}$ für den digitalen Rest der Schaltung. Im Gegensatz zu der Hauptplatine, die fast vollständig mit SMDs bestückt ist, sind alle Bauteile des Netzteils bedrahtet und stammen aus der Liste Elektor.Labs Preferred Parts (ELPP).

Der einzige Trafo besitzt zwei Sekundärwicklungen á $15\text{ V}/5\text{ VA}$. 10 VA sind völlig ausreichend für den Betrieb des Funktionsgenerators. Um den Leistungsverlust des $3,3\text{-V}$ -Reglers zu minimieren, wurde ein separater Gleichrichter (D5/D6) mit einem relativ kleinen Siebkondensator verwendet (C17/C18). Die relativ hohe Brummspannung reduziert die Verlustleistung in Regler IC3 ein wenig. Für D1 und D2 werden Schottky-Dioden verwendet. Bei maximaler Belastung wäre

der Spannungsabfall an „normalen“ Dioden so hoch, dass zusammen mit der Welligkeit über C5 die Eingangsspannung von IC1 gefährlich nahe an ihren erlaubten Minimalwert sinken könnte. Bei $0,5\text{ A}$ beträgt die Durchlassspannung der Schottky-Diode weniger als $0,45\text{ V}$, während über einer klassischen 1N4007 fast doppelt so viel abfällt. Die Hauptplatine wurde mit besonderer Sorgfalt entworfen. Das Ausgangssignal wird von jeglicher Beeinflussung durch digitale Hochge-

Stückliste Generator-Platine

Widerstände:

Alle 1% , $0,125\text{ W}$, SMD 0805
 R1 = $220\ \Omega$, 1% , $0,75\text{ W}$, SMD 2010
 R2, R22, R23, R37 = 1 k
 R3 = 1 k , 1% , $0,1\text{ W}$, SMD 0603
 R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11, R12, R30, R31, R36 = 10 k
 R13 = 6 k
 R14, R15 = $200\ \Omega$
 R16, R19, R25 = $910\ \Omega$
 R17, R20 = 1 k
 R18, R26 = 2 k
 R21, R24 = 499 k
 R27 = $220\ \Omega$
 R28 = $10\ \Omega$
 R29 = 10 k , 1% , $0,1\text{ W}$, SMD 0603
 R32, R33 = $100\ \Omega$, 1% , $0,75\text{ W}$, SMD 2010
 P1 = 10 k , 2 W , 10-fach Potentiometer
 P2 = 1 k , 2 W , 10-fach-Potentiometer

Kondensatoren:

Alle SMD 0603, wenn nicht anders angegeben
 C1, C3, C4, C12, C13, C14, C16, C17, C19, C20, C26, C27, C28, C29, C31 = 100 n , 50 V , X7R

C2, C5 = $10\ \mu$, 16 V , X7R, SMD 1206
 C6, C7 = 470 n , 25 V , X7R
 C11 = $1\ \mu$, 16 V , X7R, SMD 1206
 C15 = 10 n , 50 V , X7R
 C18 = 10 p , 50 V , COG/NP0
 C21 = 100 p , 100 V , COG/NP0, SMD 0805
 C22, C23 = $220\ \mu$, 25 V , radial, $3,5\text{ mm}$ Raster, Durchmesser 8 mm max.
 C24, C30 = 100 n , 50 V , X7R, SMD 0805

Halbleiter

IC1 = ADUC7024BSTZ62, LQFP-64, programmiert*
 IC2 = AD8032ARZ, SOIC-8
 IC3 = AD9834BRUZ, TSSOP-20
 IC4 = FXO-HC736R-75, $7 \times 5\text{ mm}$
 IC5, IC6 = AD8042ARZ, SOIC-8
 IC7 = ADG779BKSG-REEL7, 6-Lead SC-70
 IC8 = AD811ANZ, DIP-8
 IC9 = OP1177ARZ, SOIC-8
 IC10, IC11 = ADR1581ARTZ-REEL7, SOT-23-3

Sonstiges

K1 = Fassung, $0,5\text{ mm}$, Raster $1,5\text{ mm}$,

10-polig , DF23C-10DS-0.5V(51), Hirose (HRS)
 K2, JP1, JP2 = $1 \times 2\text{-poliger}$ Pfostenverbinder, gerade, Raster $0,1''$
 K3 = $2 \times 3\text{-poliger}$ Pfostenverbinder, gerade, Raster $0,1''$
 K4 = $1 \times 4\text{-poliger}$ Pfostenverbinder, gerade, Raster $0,1''$
 K5 = BNC-Buchse für Chassismontage, isoliert, gerade ($50\ \Omega$)
 S1-S8 = 6 mm taktile Taster, Stiftlänge $4,9\text{ mm}$, $24\text{ V}/0,05\text{ A}$, SPST-NO
 8-polige DIP-Fassung für IC8
 Grafisches LCD (Ersatzteil für Nokia 6100)

Aluminiumgehäuse, Hammond 1455T1601, $165 \times 160 \times 51,5\text{ mm}$
 Optional: EMI/EMC-Filter zum Einbau, IEC, $250\text{ VAC}/4\text{ A}$
 2 Knöpfe, schwarz, 16 mm , für $0,25''$ -Achse
 Platine 150210-1 v1.11 (www.elektor.de)

* Nicht erhältlich

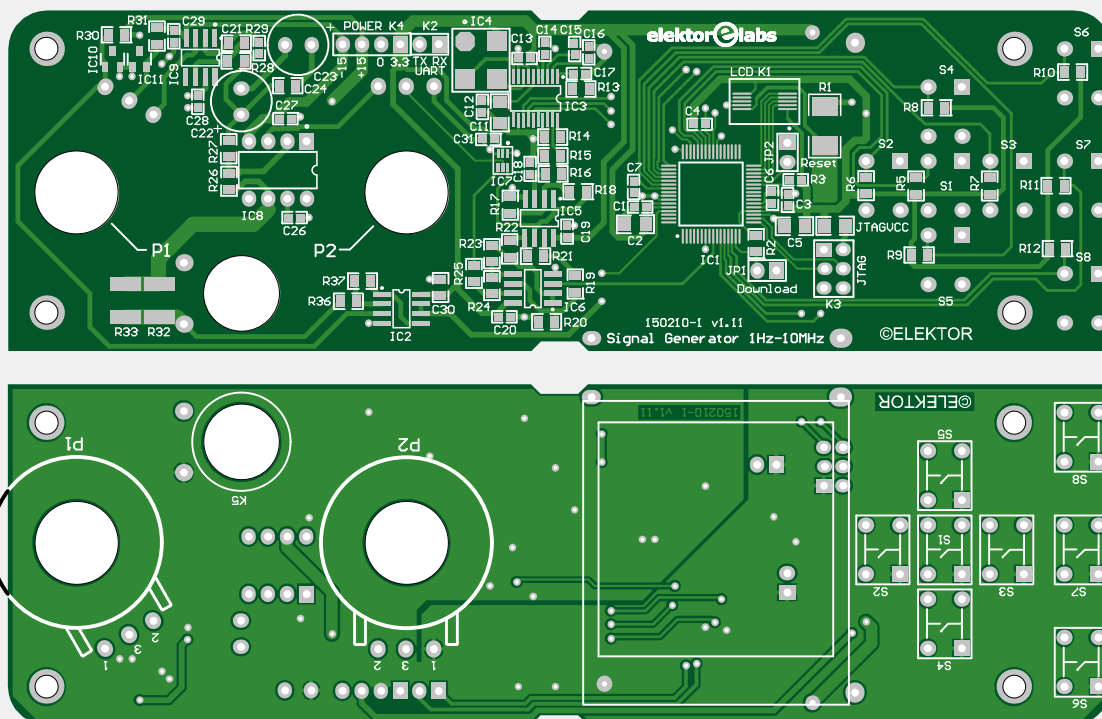


Bild 4a. Bestückungsseite der Generatorplatine (doppelseitig mit SMDs bestückt).

schwindigkeits-Steuersignale befreit. Die meisten Bauteile sind SMDs, aber dennoch sollte die Bestückung recht unproblematisch sein, wenn Sie bei den Lötarbeiten eine (Leucht-)Lupe verwenden.

Die Software

Der Quellcode wurde in C mit der bekannten µVision-IDE von Keil geschrieben. Ein Echtzeit-Betriebssystem (RTOS) wurde nicht verwendet, um die Dinge einfach zu halten.

Der Code besteht aus nur ein paar Dateien, einigen Header-Dateien mit Definitionen und Funktionsprototypen und anderen, die die Funktionen selbst enthalten. Zwei von ihnen unterstützen die beiden unterschiedlichen Grafik-LCDs. Die Datei „main.c“ enthält den gesamten Signalgenerator-Code. Die Datei „init.s“ ist in Assembler geschrieben und enthält die Funktionen, die den Mikrocontroller initialisieren.

Der LCD-Treiber basiert zum Teil auf Open-Source-Code, den ich im Internet fand, zum Teil habe ich ihn auch selber geschrieben. Da das Display nicht an einen Hardware-SPI-Port angeschlossen ist, wird das Kommunikationsprotokoll emuliert und über GPIO-Pins „gebitbangt“. Die Funk-

tionen WriteLcdCommand und WriteLcdData kümmern sich darum. Die meiste Mühe machte der Entwurf zweier Schriften, einer großen und einer kleinen. Die Tastatur wird durch die Main-Endlosschleife abgefragt. Um den Code kurz und IDE-unabhängig zu halten, habe ich darauf verzichtet, mit Fließkomma-Arithmetik und Mathematik-Bibliotheken zu arbeiten. Alle Quelldateien wurden im sogenannten ARM-thumb-Code (16-bit-Code) kompiliert, nicht so sehr, um die Größe der Hex-Datei zu minimieren, sondern weil der Flash-Speicher des Mikrocontrollers 16 bit breit organisiert ist und ein 16-bit-

Code schneller ausgeführt werden kann. Die Gesamtgröße der Exe-Datei liegt bei 8 KB, dazu kommen 20 KB, um den Startbildschirm beim Einschalten zu erzeugen. Es waren keine Tricks nötig, um all dies in der MCU unterzubringen, der Flash-Speicher ist groß genug für den Zweck. Das Software-Archiv für dieses Projekt kann von [1] heruntergeladen werden.

Aufbau

Die beiden Platinen für dieses Projekt sind zusammen mit den Stücklisten in **Bild 4** zu sehen. Wie bereits erwähnt, ist die Montage der Hauptplatine nicht allzu

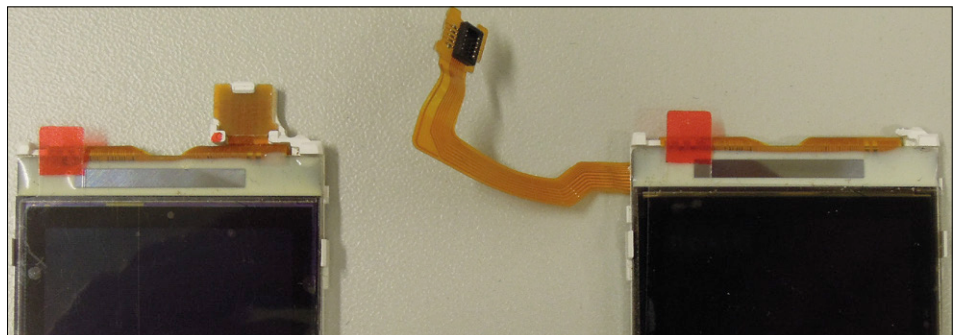


Bild 5. Links ein Display aus einem Handy einer bekannten skandinavischen Marke, rechts das gleiche Display, aber für die Montage in unserem Generator vorbereitet.

Stückliste Netzteil

Widerstände (1%, 0,6 W)

R1,R3 = 180 Ω
R2,R4 = 2,0 k
R5 = 240 Ω
R6 = 390 Ω
R7 = 10 k, 5%, 0,25 W

Kondensatoren

C1,C2,C3,C4,C15,C16 = 10 n, 50 V, Y5V, Raster 0,2"
C5 = 1000 µ, 50 V, Raster 5 mm oder 7,5 mm, Durchmesser 16 mm
C6 = 470 µ, 50 V, Raster 5 mm oder 7,5 mm, Durchmesser 13 mm
C7,C8,C13,C14,C18,C21 = 100 n, 50 V, X7R, Raster 0,2"
C9,C10,C11,C12,C19,C20 = 10 µ, 50 V, Raster 2 mm, Durchmesser 6,3 mm max.
C17 = 47 µF, 50 V, Raster 2,5 mm oder 3,5 mm, Durchmesser 8 mm max.

Halbleiter

D1,D2 = STPS2L60, DO-41-Gehäuse
D3,D4,D5,D6 = 1N4007, DO-41-Gehäuse
IC1,IC3 = LM317, TO-220-Gehäuse
IC2 = LM337, TO-220-Gehäuse
LED1 = LED, grün, 3 mm

Außerdem

K1 = 2-polige Platinenanschluss-

klemme, 7,5 mm, 500 V

K2 = 4-polige Platinenanschlussklemme, 5 mm, 250 V

TR1 = Trafo 2x115 V prim./2x15 V sek., 10VA, zum Beispiel Block FL 10/15

F1 = Sicherung, 100 mA träge, 250 V, 20x5mm

F2, F3 = Sicherung, 315 mA träge, 250 V,

20x5mm

Sicherungshalter für F1, F2, F3, 20x5mm, 500 V, 10 A

plus Abdeckungen für Sicherungshalter

JP1 = Drahtbrücke

Platine 150210-2 v1.1 (www.elektor.de)

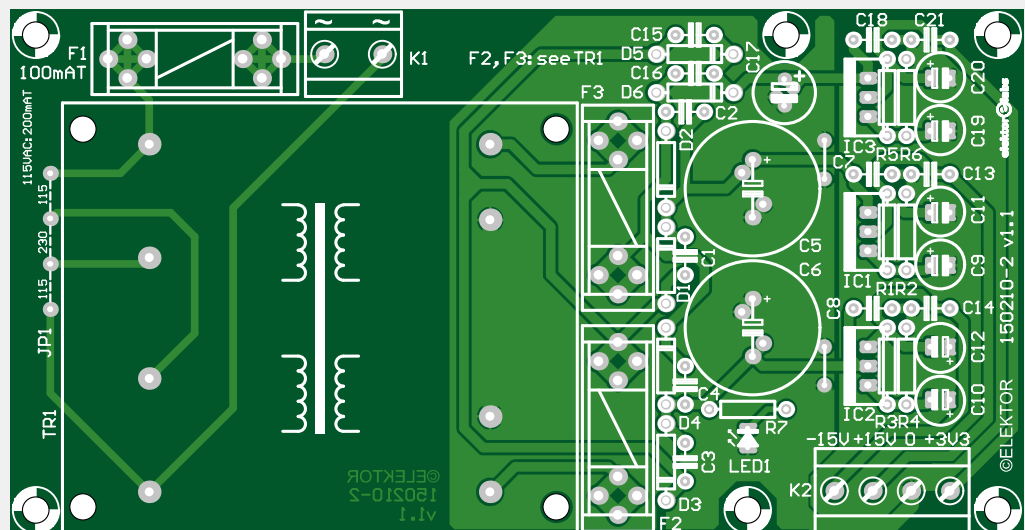


Bild 4b. Bestückungsseite des Netzteils (einseitig für bedrahtete Bauteile).

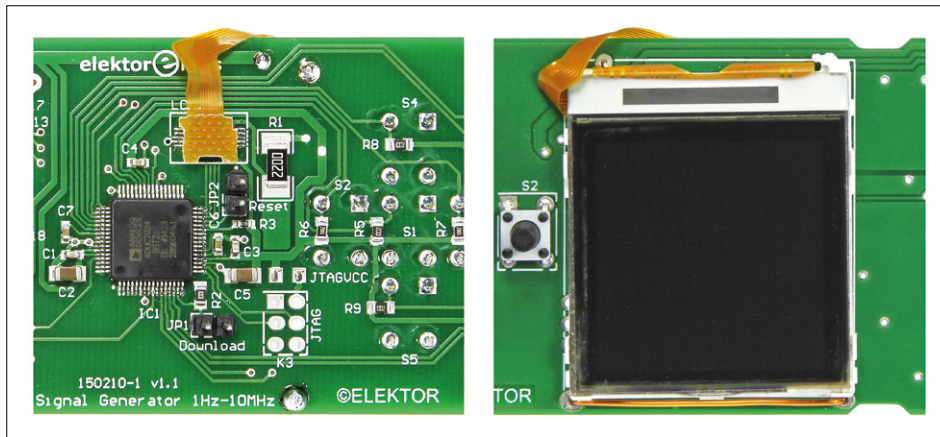


Bild 6. So wird das Display mit doppelseitigem Klebeband auf der Hauptplatine befestigt.

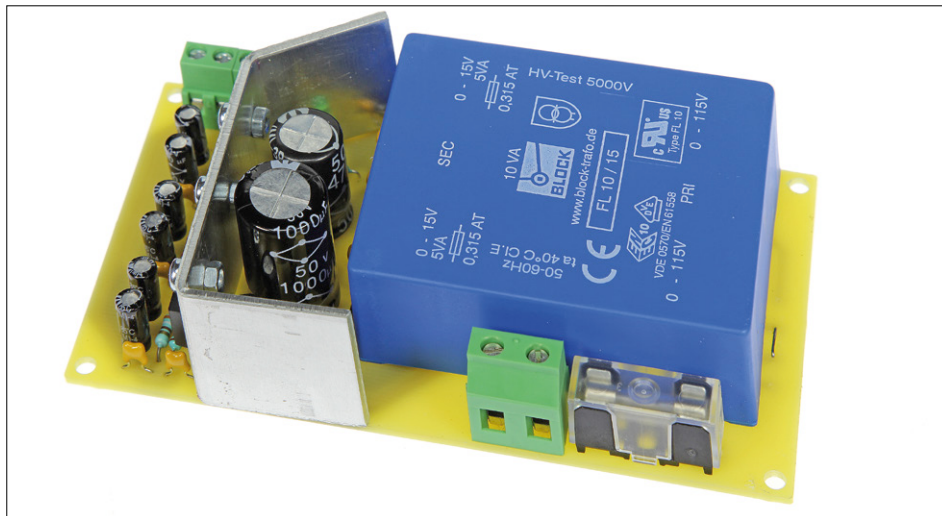


Bild 7. Die Netzteilplatine mit selbstgebasteltem Kühlkörper. Beachten Sie die Drahtverbindung rechts neben dem Trafo zur Auswahl der Netzspannung (230 V in diesem Fall).



Bild 8. Der Prototyp, den Jan Visser im Elektor-Labor mit einer 100.000-Euro-CNC-Fräse Bohrmaschine, Laubsäge, Präzision und Geduld hergestellt hat.

schwierig. Übrigens: Die Drucktaster und das LCD werden auf der Unterseite der Platine angebracht.

Beim LCD muss das flexible Flachbandkabel vorsichtig aus dem Kunststoffträger (**Bild 5**) gelöst und über den Rand der Platine gefaltet werden, damit es den Verbinder K1 erreichen kann (**Bild 6**). Das Display wird mit doppelseitigem Klebeband auf der Platinenrückseite fixiert. Die beiden Potentiometer werden so durch die Platine gesteckt, dass die Achse aus der Unterseite hervorragt. Im Elektor-Labor verwenden wir bei der Befestigung aus einem alten Fahrradschlauch selbstgemachte Gummischeiben, damit die Potis fest sitzen und nicht verrutschen können. 10 mm Lochdurchmesser und ein Außendurchmesser von etwas weniger als 22 mm sind ok. Bei P2 verhindert die Gummischeibe auch Schaden an einer Kupferbahn auf der Oberseite der Platine. Beim Netzteil haben wir einen Trafo mit zwei Primärwicklungen verwendet, damit unsere überseeischen Kollegen auch etwas von dem Funktionsgenerator haben. Bei 230 V ist deswegen eine Drahtbrücke bei JP1 (die mittlere der drei gestrichelten Linien) erforderlich, für 115 V Netzspannung werden zwei Drahtbrücken an den anderen Linien angebracht. Installieren Sie nie alle drei Drahtbrücken! Vergessen Sie auch nicht, die korrekte Primärsicherung einzusetzen: 100 mA (träge) für 230 VAC und 200 mA (träge) für 115 VAC.

Die drei Spannungsregler benötigen einen Kühlkörper, den wir aus einem 2 mm dicken Aluminiumblech (**Bild 7**) hergestellt haben. Vergessen Sie nicht die elektrische Isolierung (Glimmerscheibe und Kunststoffbuchse) der Regler. Die M3-Schrauben sollten etwa 6 mm lang sein. Eine U-Scheibe zwischen dem Kopf der Schraube und der Kunststoffbuchse wird empfohlen. Oft ist die Kunststoffbuchse ein bisschen zu lang, schneiden Sie sie mit einem scharfen Messer auf die richtige Länge, bevor Sie die Regler montieren.

Wenn Sie sich entscheiden, das gleiche Gehäuse wie wir (**Bild 8**) zu verwenden, dann können Sie eine Mechanik-Zeichnung von der Elektor-Website herunterladen [1], die Ihnen Details für das Fräsen der Front und Rückseite zeigt.

Die BNC-Buchse K5 ist isoliert und wird auf der Frontplatte montiert. Nach der Befestigung der Hauptplatine an der Frontplatte (wir haben die Schrauben an der Rückseite der Frontplatte einfach

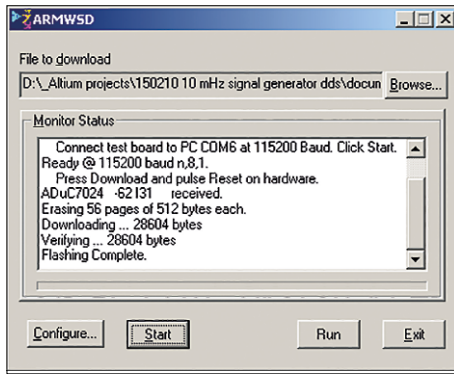


Bild 9. Der Screenshot zeigt das Firmware-Programmierungstool ARMWSD in Aktion.

festgeklebt) wird die BNC-Buchse mit kurzen Drähtchen mit der Platine verbunden.

Programmierung

Bevor der Funktionsgenerator funktionieren kann, muss er natürlich mit der richtigen Firmware programmiert werden. Wegen der beiden möglichen LCD-Konfigurationen gibt es auch zwei Firmware-Versionen auf unserer Website [1]. Da man nicht vorhersagen kann, um welchen Anzeigentyp es sich handelt, muss

Produkte im ELEKTOR-Shop

- 150210-1 – Hauptplatine, unbestückt
- 150210-2 – Netzteilplatine, unbestückt
- 150210-91 – Hauptplatine, bestückt

Den Mikrocontroller IC1 können wir leider weder leer noch programmiert liefern!

man es halt ausprobieren.

Es gibt zwei Möglichkeiten zur Programmierung der MCU: JTAG oder Bootloader. Bei der ersten Option ist ein JTAG-Adapter erforderlich, dafür erhalten Sie auch direkt ein Debug-Interface. Bekannte JTAG-Adapter sind J-Link von Segger und ULINK von Keil. Die Standard-JTAG-Schnittstelle besitzt 20 Pins, aber sie funktioniert auch mit nur sechs Pins (K3).

Die zweite Option ist die serielle Portschnittstelle (K2), allerdings ausschließlich zum Programmieren. Debugging ist über diese Schnittstelle nicht möglich. Ein passendes Kabel kann von Analog Devices bezogen werden, aber es ist sehr einfach, ein serielles TTL-to-USB-Kabel selbst zu machen.

Ein serielles Software-Programmierungstool (ARMWSD.exe) steht kostenlos auf der

Website von Analog Devices zur Verfügung. Wählen Sie zunächst den entsprechenden seriellen USB-Port und laden Sie die Hex-Datei. Das Programm befiehlt dann „Press Download and pulse Reset on hardware“ (**Bild 9**). Aus diesem Grund tragen die beiden Jumper JP1 und JP2 auf der Platine die Labels „Download“ und „Reset“. Wenn ein Jumper beim Einschalten auf „Download“ steckt, arbeitet der Mikrocontroller im Bootloader-Modus und das Display bleibt dunkel. Vergessen Sie also nicht, den Jumper nach der Programmierung zu entfernen.

(150210)

Weblinks

[1] www.elektormagazine.de/150210

[2] www.elektor-labs.com/150210

Benutzerhandbuch

PB	Funktion	PB	Funktion
S1	Setzen	S5	–Minus
S2	Rechts	S6	Modus
S3	Links	S7	Sweep
S4	+Plus	S8	Kalibrierung

- **Wellenform** – *Modus* drücken, um zwischen Sinus, Rechteck und Dreieck umzuschalten.
- **Tastverhältnisse** – Das Tastverhältnis kann nur beim Rechteck geändert werden. Dazu *Modus* drücken, um das Rechtecksignal zu wählen. Das Tastverhältnis wird unten im Display angezeigt und kann mit *Plus* und *Minus* eingestellt werden. Die Digits dürfen dabei **nicht** blinken!
- **Frequenz** – *Setzen* drücken. Eine Ziffer beginnt zu blinken. Mit den Tasten *Plus* und *Minus* wird der gewünschte Wert eingestellt. Mit *Links* und *Rechts* navigiert man zwischen den Ziffern. Wenn eine Ziffer richtig eingestellt ist, drückt man *Setzen*.
- **Amplitude** – Einstellen an P2. Beachten Sie, dass das Einstellen der Amplitude Auswirkungen auf die Offsetspannung hat. Ziehen Sie [2] für detaillierte Messungen zu Rate.
- **DC-Offset** – Einstellen an P1.
- **Frequenz-Sweep** – *Sweep* drücken, um das Menü zu öffnen. Die niedrigste Ziffer der Startfrequenz blinkt. Mit den Tasten *Plus* und *Minus* wird der gewünschte Wert der blinkenden Ziffer eingestellt. Mit *Links* und *Rechts* navigiert man zwischen den Ziffern. Wenn eine Ziffer richtig eingestellt ist, drückt man *Setzen*. Auf ähnliche Weise bestimmt man die Stoppfrequenz, die Sweep-Zeit („msec“) und den Sweep-Modus (logarithmisch oder linear).

Mit einem Druck auf *Setzen* startet man das Sweep-Signal, was durch „sweep run“ angezeigt wird. *Set* erneut drücken, um das Sweepen zu beenden. Jetzt kann man neue Werte einstellen oder durch einen Druck auf *Setzen* das Sweep-Menü verlassen.

- **Kontrast** – Auf *Kalibrieren* drücken, um das Menü zu öffnen, in dem der Kontrast des LCDs eingestellt wird. Mit *Setzen* navigiert man zu der Kontrast-Option, mit *Plus* und *Minus* stellt man den gewünschten Wert ein. Um in das Hauptmenü zurückzukehren, drückt man erneut *Kalibrieren*.
- **Kalibrieren der Spannungspegel** – Schließen Sie ein Oszilloskop am Generator-Ausgang an und stellen Sie dessen Ausgangspegel auf $5 V_{SS}$ ein. Mit einem Druck auf *Kalibrierung* wird das Menü geöffnet, mit *Measurements* der Kalibriervorgang gestartet. Wenn Sie sich jetzt vertippen, ist die einzige Möglichkeit, den Netzstecker zu ziehen. Drehen Sie an P1, um das Ausgangssignal auf das Minimum von 0,00 V einzustellen und drücken Sie dann *Setzen*. Dann stellen Sie mit P1 den maximalen Pegel von 12,00 V ein und drücken erneut auf *Setzen*. Eine Mitteilung erscheint, dass die Kalibrierung vollständig ist und mit einem erneuten Druck auf *Kalibrierung* abgeschlossen werden kann.
- **Kalibrieren der Frequenz** – Schließen Sie ein genaues Frequenzmeter am Generator-Ausgang an. Mit einem Druck auf *Kalibrierung* wird das Kalibrierungs-Menü geöffnet, mit *Frequency* der Kalibriervorgang gestartet. Wenn Sie sich jetzt vertippen, müssen Sie wieder den Netzstecker ziehen. Stellen Sie die Ausgangsfrequenz mit den Tasten *Plus* und *Minus* so ein, dass die Ausgangsfrequenz 100.000 Hz beträgt und drücken Sie dann *Setzen*. Eine Mitteilung erscheint, dass die Kalibrierung vollständig ist und mit einem erneuten Druck auf *Kalibrierung* abgeschlossen werden kann.