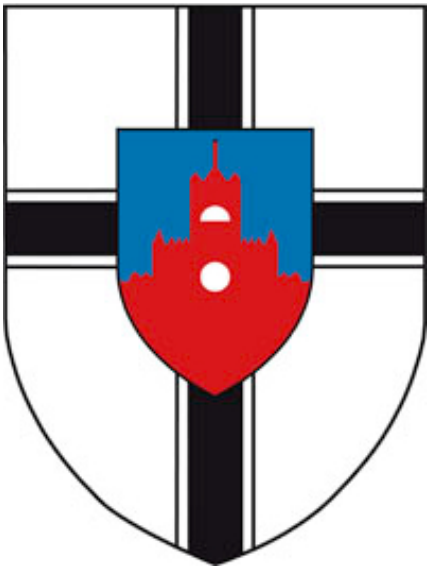
Elektroniker für Geräte und Systeme
Betrieblicher Auftrag 2015

DDS-Signalgenerator



Hendrik Lüth
Prüflingsnummer: 20050

Schleswiger Str. 21
24392 Süderbrarup

Ausbildungsbetrieb:
Ausbildungswerkstatt der Marine
Mürwiker Str. 203
24944 Flensburg
Tel.Nr: 046131355080

Projektbetreuer:
Bastian Kaul
Tel.Nr: 046131355081

Inhaltsverzeichnis

1 Arbeitsablaufplan

Pos.	Arbeitsschritt	Soll	Ist
1	Anfertigung eines Arbeitsablaufplans	1,0h	
2	Schreiben eines Lastenheftes für die Herstellung des Signalgenerators	2,5h	
3	Anfertigung eines Inbetriebnahmeprotokolls für den Signalgenerator	2,5h	
4	Schreiben eines Lastenheftes für die Herstellung des Gehäuses	2,0h	
5	Anfertigung eines Abnahmeprotokolls für das Gehäuse	0,5h	
6	Ausfüllen des Inbetriebnahmeprotokolls für den Signalgenerator	1,0h	
7	Ausfüllen des Abnahmeprotokolls des Gehäuses	1,0h	
8	Montage des Signalgenerators in das Gehäuse	0.5h	
9	Aufstellen einer Kostenübersicht des Projektes	3,0h	
		13,0h	

2 Lastenheft des betrieblichen Auftrages

2.1 Zielbestimmungen

Der Auszubildende soll für den Ausbildungsbetrieb einen DDS-basierten Signalgenerator herstellen, welcher über eine PC-Software unter Linux und Windows gesteuert werden kann. Die Software für Linux-Systeme ist in C++ geschrieben, die Software für Windows-Systeme in C#. Hierzu soll der Azubi anhand des vorgegebenen Schaltplanes den Signalgenerator herstellen und in ein Gehäuse montieren. Des weiteren soll der Azubi die Firmware für den verbauten Mikrocontroller schreiben.
Elektronische Eigenschaften des Signalgenerators:

- Signalform: Sinus, Dreieck, Rechteck
- Frequenzbereich: 1Hz bis 12MHz
- maximale Ausgangsspannung: $12V_{ss}$
- Offset-Spannung: ±6V
- USB-Anschluss: Mikro-USB
- Signalausgang: SMA-Reverse

2.2 funktionale Anforderungen

2.2.1 Gehäuse

Für den Signalgenerator soll ein möglichst kleines Gehäuse gewählt werden, nach Möglichkeit im „Hosentaschen-Format“. Das Material des Gehäuses soll schwarzer Kunststoff sein.

2.2.2 Platine & Layout

Die Platine ist den Innenmaßen des Gehäuses anzupassen. Die USB-Buchse und die SMA-Reverse-Buchse sollen in der Mitte der kürzeren Seite der Platine positioniert werden. Die Platine ist zu Bestücken, die Funktion und Einhaltung der Elektronischen Eigenschaften und Anforderungen ist zu überprüfen und zu dokumentieren.

2.2.3 Firmware

Für den Mikrocontroller ist eine Firmware zu schreiben, welche es dem Signalgenerator ermöglicht über USB mit dem Computer zu kommunizieren. Hierzu soll das LUFA-Framework[1] verwendet werden. Der Quellcode hierzu ist auf Github[2] einsehbar und kann auch von dort heruntergeladen werden. Die Kommunikation des Signalgenerators mit dem Computer ist im Kommunikationsprotokoll dokumentiert, welches im Anhang zu finden ist.

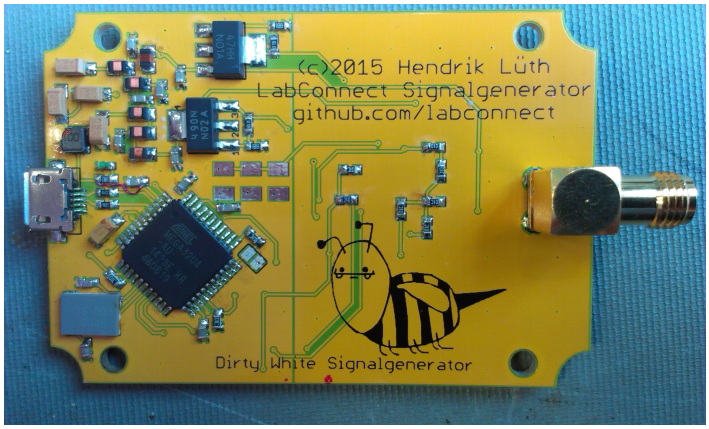
[1] http://www.fourwalledcubicle.com/files/LUFA/Doc/120730/html/index.html
[2] https://github.com/abcminiuser/lufa

3 Pflichtenheft des betrieblichen Auftrages

4 Datenblatt des DDS-Signalgenerators

4.1 Features

Der Signalgenerator basiert auf dem Prinzip der Direkten Digitalen Synthese (DDS) und ist in der Lage Ausgangs ein breites Spektrum an Frequenzen, Signalformen und Ausgangsspannungen zu erzeugen. Die Steuerung des Gerätes erfolgt ausschließlich über den Computer, ein autarker Betrieb ist möglich. Im Gerät können Hardware-spezifische Kalibrierungswerte gespeichert werden.



4.2 Eigenschaften

Parameter	Min	Typ	Max	Einheit	Testbedingungen
Betriebsspannung U_B	4,7	5	5,5	Volt	
Stromaufnahme $I_{ges.}$	30	50	100	mA	U_B=5V
Leistungsaufnahme P	0,14	0,25	0,55	W	

4.3 Absolut Maximum Ratings

Parameter	Max	Einheit
Betriebsspannung U_B	6	Volt
Spannung an D+ U_{D+}	3,6	Volt
Spannung an D- U_{D-}	3,6	Volt
Ausgangsstrom I_a	95	mA

5 Lastenheft zur Herstellung des Signalgenerators

5.1 Zielbestimmung

Es soll ein Signalgenerator angefertigt werden. Hierbei ist sich an den Schalplan und die dort verzeichneten Werte zu halten. Die verwendeten Bauteile sollen, soweit möglich, SMD-Bauteile sein.
Der Umfang des Auftrages umfasst:

- das Layouten und Herstellen der Platine
- Beschaffung der Bauteile
- das Bestücken der Platine
- das programmieren einer Software für den Mikrocontroller des Signalgenerators
- Erstellen einer Stückliste
- Mechanische und Optische Prüfung der Platine

5.2 Funktionale Anforderungen

5.2.1 Platine & Layout

Da ein bestimmtes Gehäuse verwendet werden soll darf die Platine des Signalgenerators nicht größer als die Innenbemaßung des Gehäuses sein. Eine Technische Zeichnung des Gehäuses ist dem Lastenheft beigefügt.
Des weiteren sollte das Layout so angefertigt werden, dass die Mikro-USB Buchse und die SMA-R Buchse gegenüber von einander an den kurzen Seite der Platine platziert werden. Die Platine soll Doublelayer sein und eine Dicke von 1,6mm haben.

5.2.2 Beschaffen der Bauteile

Die Bauteile sollen so günstig wie möglich beschafft werden.

5.2.3 Bestücken der Platine

Die Platine ist vollständig zu bestücken und optisch auf Kurzschlüsse zu prüfen.

5.2.4 Firmware des Mikrocontrollers

Die Firmware für den Mikrocontroller soll in C geschrieben werden.
Zur Ansteuerung des USB-Controllers soll das LUFA Framework verwendet werden.
Der Mikrocontroller soll in der Lage sein Daten vom Computer über USB zu empfangen und diese an die entsprechende Peripherie weiterzugeben. Für die Peripherie sollen ebenfalls die in LUFA enthaltenen Bibliotheken benutzt werden.
Für die USB-Kommunikation soll der Mikrocontroller die VID 0x1209 und die PID 0x2222 benutzen und sich als Vendorspezifisches HID Gerät anmelden. Für die Kommunikation sollen nur HID-Reports verwendet werden. Der Mikrocontroller soll in der Lage sein bestimmte Daten zurück an den PC zu geben, um Fehleranalyse und Fehlererkennung auf der PC-Seite durchführen zu können. Auch hierzu ist der Aufbau der zu übertragenden Daten in der Angelegten Protokollspezifikation zu finden.

5.3 Anhang

5.3.1 Prüfungsvorgabe für die Platinen

Optische Kontrolle

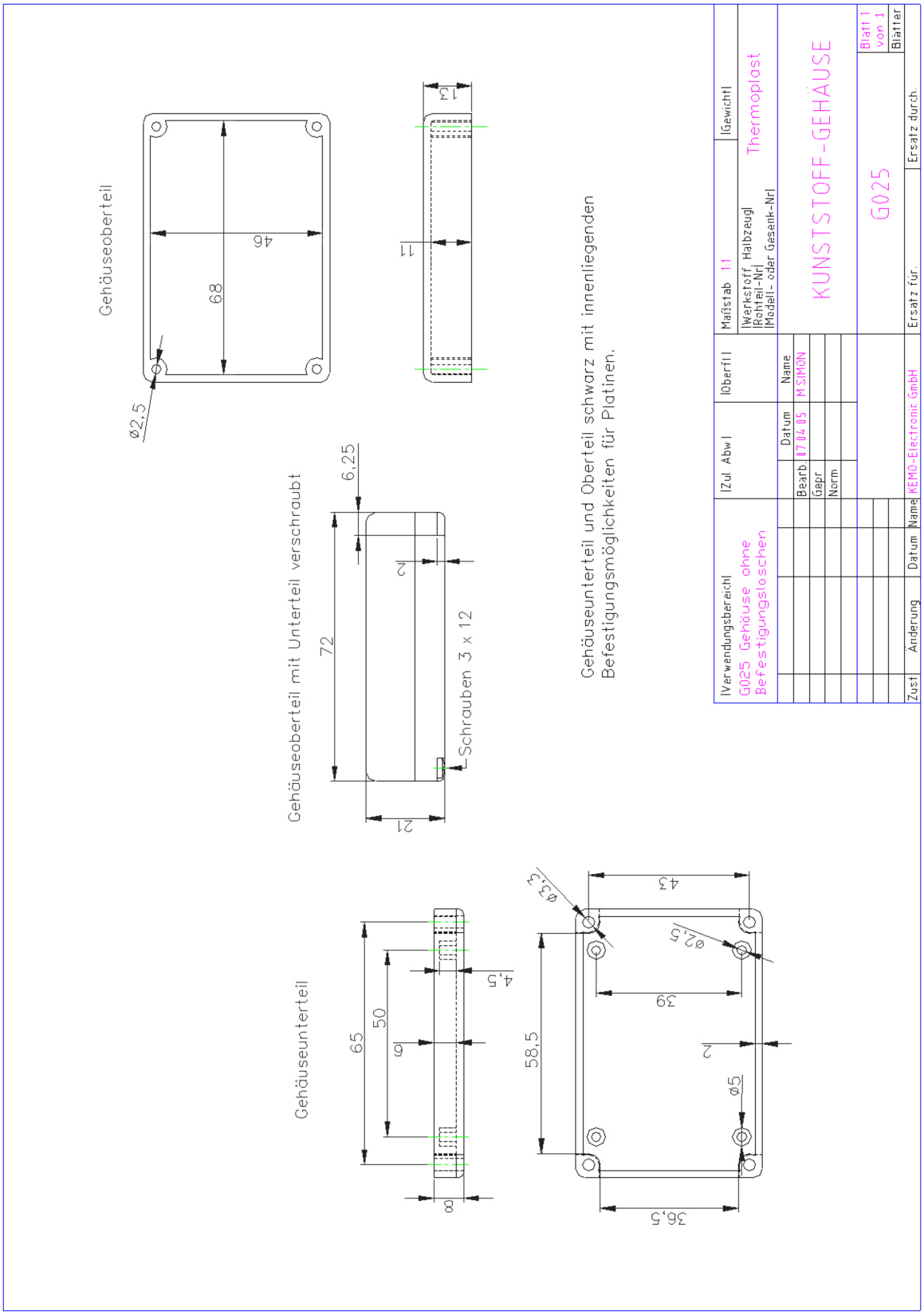
Nr.	Prüfauftrag	Ja	Nein
1	Sind alle Bauteile bestückt?		
2	Sind alle Bauteile fachgerecht gelötet?		
3	Sind IC-Beine miteinander verbunden, die nicht miteinander verbunden sein dürfen?		
4	der Fädeldraht zum aktivieren der USB-Schnittstelle des Mikrocontrollers ist eingelötet		
5	Der Lötjumper zum aktivieren des LT1615 ist gesetzt		

Elektrische Kontrolle

Die folgenden Messungen sind mit einem Digitalmultimeter durchzuführen. Sollte einer der Widerstände nicht den Anforderungen entsprechen, so darf die Platine unter keinen Umständen einer Funktionskontrolle unterzogen werden.

Nr.	Prüfauftrag	Ja	Nein	Wert
1	Messen des Widerstandes zwischen V_{cc} und GND. Ist der Wert größer als 900Ω?			
2	Messen des Widerstandes zwischen USB_{D+} und GND. Ist der Wert größer als 500kΩ?			
3	Messen des Widerstandes zwischen USB_{D-} und GND. Ist der Wert größer als 500kΩ?			
4	Messen des Widerstandes zwischen +12V und GND. Ist der Wert größer als 50kΩ?			
5	Messen des Widerstandes zwischen -12V und GND. Ist der Wert größer als 10kΩ?			
6	Messen des Widerstandes zwischen +3.3V und GND. Ist der Wert größer als 2kΩ?			
7	Messen des Widerstandes zwischen -3.3V und GND. Ist der Wert größer als 2kΩ?			
8	Messen Sie die Stromaufnahme des Signalgenerators. Ist der Strom kleiner gleich 100mA?			

5.3.2 Gehäuseplan

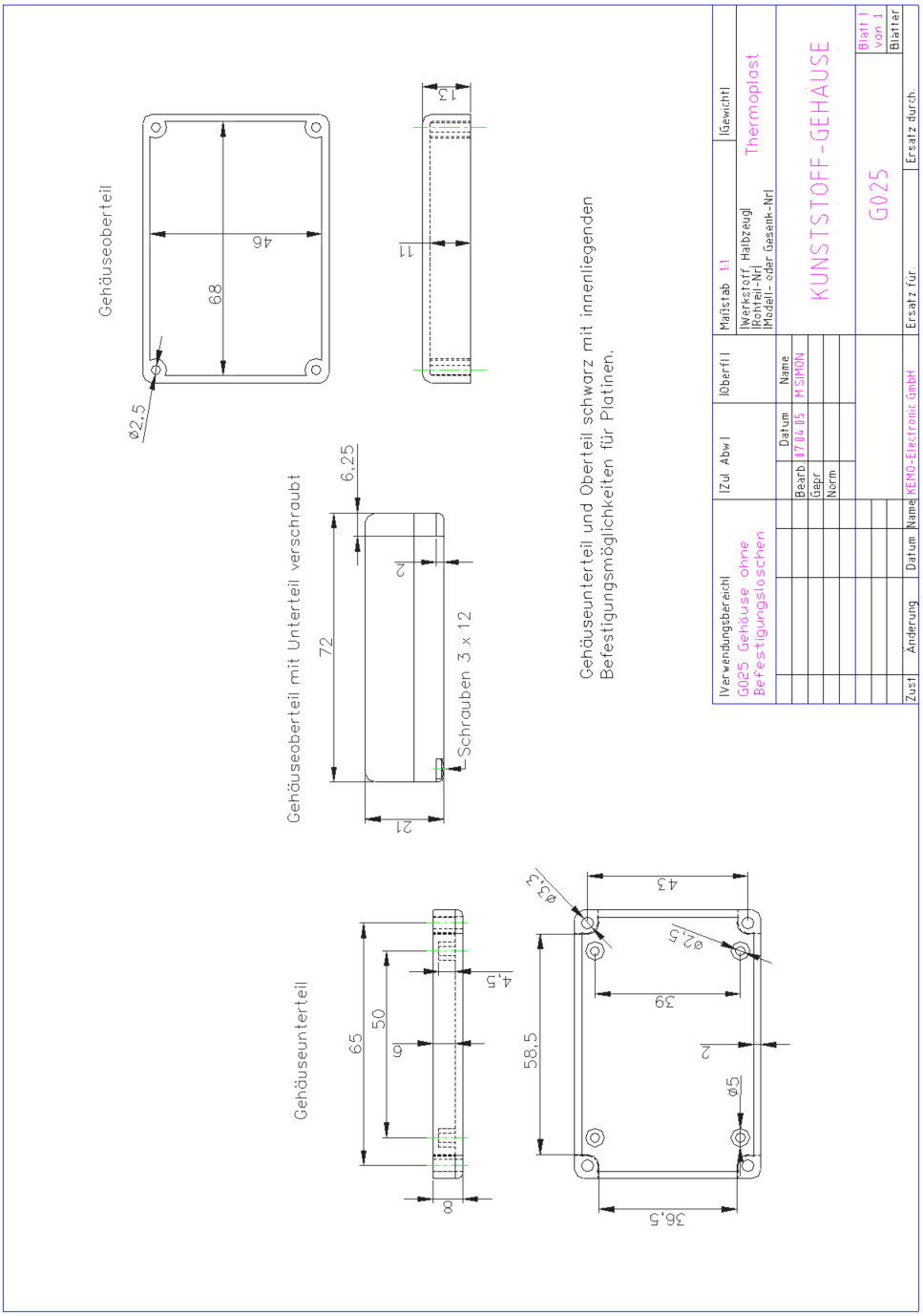


6 Lastenheft zur Herstellung eines Gehäuses

6.1 Auftrag

Es ist ein Gehäuse für den Signalgenerator herzustellen. Als Gehäuse wird ein Plastik-Gehäuse benutzt werden, welches bei dem Lieferanten Reichelt Elektronik[3] unter der Bestellnummer „GEH KS 21“ zu bestellen ist. Der Gehäuseplan liegt diesem Lastenheft bei. Ebenfalls liegt eine Zeichnung mit den nötigen Modifikationen bei.

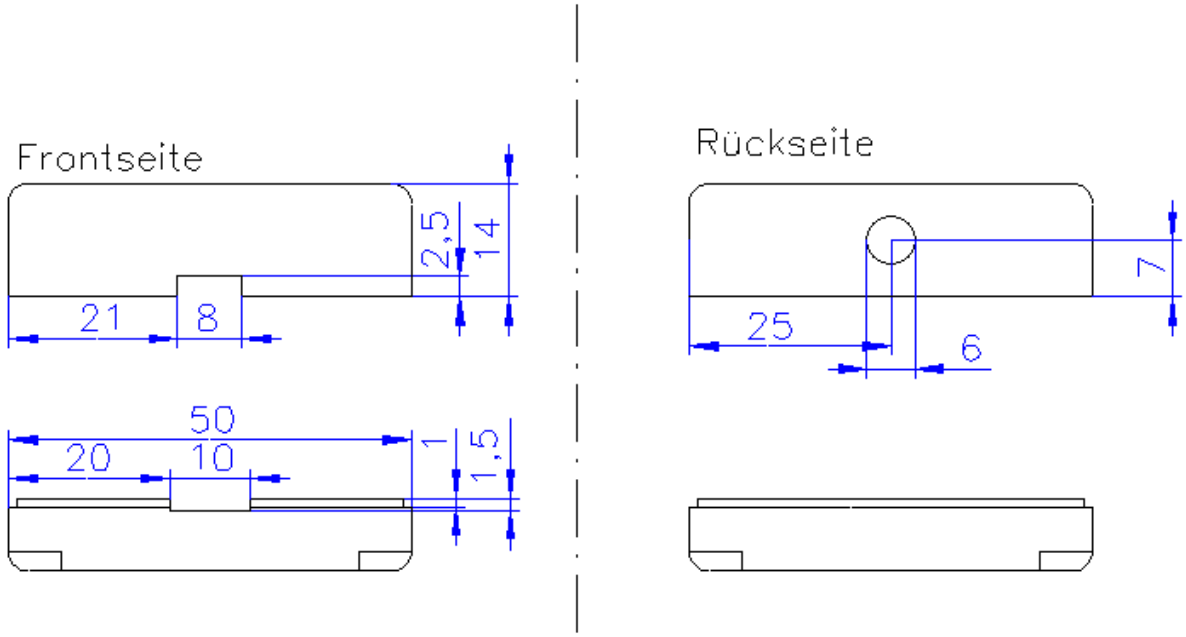
6.2 Gehäuseplan



[3] https://www.reichelt.de/

6.3 Änderungen am Gehäuse

Die Zeichnung bezieht sich auf die schmale Seite des Gehäusedeckels. Bei dem Gehäuse handelt es sich um das Gehäuse mit der Bestellnummer "GEH KS 21" von Reichelt.



7 Kostenübersicht
Projekt: Signalgenerator

In der folgenden Tabelle sind alle Kosten für die Herstellung des Signalgenerators zusammengestellt. In den Kostenpunkten für die Herstellung des Signalgenerators und für den Bau des Gehäuses sind neben den Materialkosten auch die Lohnkosten enthalten. Eine genaue Aufschlüsselung hierzu ist in den Angeboten auf den folgenden Seiten zu finden.

Pos.	Posten	Menge	Einzelpreis	Gesamtpreis
1	Herstellung des Signalgenerators	1	528,79€	528,79€
2	Herstellung des Gehäuses des Signalgenerators	1	15,00€	30,00€
3	Montagematerial für Montage des Signalgenerators	1	10,00€	10,00€
4	Arbeitszeit	20	15,00€	300,00€
			MwSt.:	138,71€
	Alle Preise inkl. 19% Gesetzl.MwSt.		Gesamt:	868,79€

Flensburg, 04.05.2015

Werkstatt 2
Ausbildungswerkstatt Flensburg
Mürwiker Str. 203
24944 Flensburg

Hendrik Lüth
Ausbildungswerkstatt Flensburg
Mürwiker Str. 203
24944 Flensburg

Angebot für die Herstellung des Signalgenerators

Sehr geehrter Herr Lüth,

ich übersende ihnen das Angebot zur Herstellung des Signalgenerators nach Ihrem Schaltplan und Wünschen.

Pos.	Posten	Menge/Zeit	Einzelpreis	Gesamtpreis
1	Anfertigung des Platinenlayoutes	10 Std.	30,00€	300,00€
2	Herstellung der Platine	1	14,84€	14,84€
3	Bauteilkosten	1	53,95€	53,95€
4	Beschaffung der Bauteile	2 Std.	20,00€	40,00€
5	Bestücken der Platine	3 Std.	35,00€	105,00€
6	Prüfen des Signalgenerators	0,5 Std.	30,00€	15,00€
			MwSt.:	100,47€
	Alle Preise inkl. 19% Gesetzl.MwSt.		Gesamt:	528,79€

Bitte melden Sie sich bei uns, wenn ihnen das Angebot zusagt, wir werden dann mit der Herstellung beginnen. Das Angebot besitzt eine Gültigkeit von 2 Wochen.

mit freundlichen Grüßen,

Max Mustermann

Flensburg, 04.05.2015

Werkstatt 1
Ausbildungswerkstatt Flensburg
Mürwiker Str. 203
24944 Flensburg

Hendrik Lüth
Ausbildungswerkstatt Flensburg
Mürwiker Str. 203
24944 Flensburg

Angebot für die Herstellung eines Gehäuses

Sehr geehrter Herr Lüth,

ich übersende ihnen das Angebot zur Herstellung zur Herstellung eines Gehäuses. Aufgrund des niedrigen Umfangs des Projektes ist es uns möglich Ihnen eine Pauschalpreis von 30,00€ anbieten zu können. Dieser beinhaltet Beschaffung und Anfertigung des Gehäuses.

Pos.	Posten	Menge/Zeit	Einzelpreis	Gesamtpreis
1	Materialkosten Gehäuse	1	10,00€	10,00€
2	Herstellung des Gehäuses	0.25	20,00€	5,00€
			MwSt.:	2,34€
	Alle Preise inkl. 19% Gesetzl.MwSt.		Gesamt:	15,00€

Bitte melden Sie sich bei uns, wenn ihnen das Angebot zusagt, wir werden dann mit der Herstellung beginnen. Das Angebot besitzt eine Gültigkeit von 2 Wochen.

mit freundlichen Grüßen,

Max Mustermann

8 Inbetriebnahme-Protokoll für den Signalgenerator

Name des Prüfers:	
Prüfdatum:	
Seriennummer:	

8.1 Funktionskontrolle

Sollte einer der Widerstände in der elektrischen Kontrolle nicht den Anforderungen entsprechen, so darf die Platine unter keinen Umständen einer Funktionskontrolle unterzogen werden.
Starten Sie das Testprogramm am Computer und stecken Sie den Signalgenerator an.

Nr.	Prüfauftrag	Ja	Nein
1	Wird der Signalgenerator vom Computer erkannt?		
2	Starten sie den Software-Test. Ist der Test erfolgreich verlaufen?		
3	Messen sie den Master-Clock (MCLK) an Pin 5 des AD9833. Ist der Wert im 5% Rahmen von 25MHz?		

Tragen Sie die Frequenz des Master-Clock in das entsprechende Feld für Kalibrierungswerte ein. Starten Sie die Messung Nr.1 bis Nr.4 und folgen Sie den Anweisungen in der Software. Die enthalten auch die Einstellungen für das Oszilloskop. Vergleichen Sie das Bild auf dem Oszilloskop dem Bild der Beispielmessung. Sind die Bilder annähernd identisch? Toleranzen im Bereich von ±5% sind akzeptabel.

Nr.	Prüfauftrag	Ja	Nein
4	Messung Nr. 1		
5	Messung Nr. 2		
6	Messung Nr. 3		
7	Messung Nr. 4		
8	Messen sie die Ausgangsspannung an Pin 10 des AD9833. Liegt ihr Wert bei 700mV ±100mV?		

Tragen Sie die Ausgangsspannung in das entsprechende Feld für Kalibrierungswerte ein.

Nr.	Prüfauftrag	Ja	Nein
9	Führen Sie den Speichertest durch. War der Test erfolgreich?		
10	Führen Sie den Lesetest durch. War der Test erfolgreich?		

Wenn alle Tests erfolgreich waren tragen Sie die Seriennummer des Gerätes in das entsprechende Feld ein und schreiben Sie die Kalibrierungswerte auf den Signalgenerator.
Trennen Sie den Signalgenerator Ordnungsgemäß von der Software und vom Computer.

9 Übergabeprotokoll des Signalgenerators

Der Auftraggeber und der Auftragsnehmer bestätigen hiermit, dass der Auftrag abgeschlossen wurde. Folgende Dinge werden mit dem Abschluss dieses Projektes übergeben:

- Der Signalgenerator, eingebaut in ein Gehäuse
- Die Dokumentation des Signalgenerators
- Das Prüf- und Funktionsprotokoll des Signalgenerators
- Der Quellcode der Mikrocontroller-Firmware

Ich/Wir bestätige/n den Empfang und die Vollständigkeit, Funktion und Richtigkeit aller oben aufgelisteter Dinge.

Datum/Unterschrift

Ich/Wir bestätige/n die Übergabe und die Vollständigkeit, Funktion und Richtigkeit aller oben aufgelisteter Dinge.

Datum/Unterschrift

10 Anhang

10.1 Allgemeines

In diesem Dokument wird die Datenübertragung zwischen dem Mikrocontroller des Signalgenerators und eines Computers definiert. Die Daten werden über den USB-Bus übertragen. Die USB-Spezifikationen[4] enthalten alle nötigen Informationen, welche für Kommunikationen über den Bus nötig sind.
Der Signalgenerator wird als HID (Human Interface Device) am Computer angemeldet, wodurch keine Installation von zusätzlichen Treibern nötig ist. Die Übertragung der Daten erfolgt über HID-Reports. Zum aktuellen Zeitpunk benutzt LabConnect für den Signalgenerator die VID 0x1209 und die PID 0x2222, welche unter Linux als GenericHID-Gerät von InterBiometrics zu finden ist. Da es sich bei der VID um eine VID handelt, welche für OpenSource Projekte gedacht ist, ist es fraglich ob der Signalgenerator je richig angezeigt wird. Von dem Kauf einer eigenen VID für LabConnect wird derzeit abgesehen.

10.2 Aufbau einer Kommunikationseinheit

Eine Kommunikationseinheit, im folgenden als „Paket“ bezeichnet, besteht aus 13 Byte. Jedes Paket hat einen 1 Byte großen Header an seinem Anfang und einen 1 Byte großen Tail an seinem Ende. Der Header enthält die Paket-ID, an welcher sich Flussrichtung der Daten und Art der Daten erkennen lassen. Ist das 5. Bit des Headers gleich 0, so ist die Flussrichtung der Daten vom Computer zum Mikrocontroller, ist es gleich 1 vom Mikrocontroller zum Computer. An den unteren 4 Bit lässt sich der Typ des Paketes erkennen. In der folgenden Tabelle sind alle Befehle nach Paket-ID sortiert aufgelistet:

Paket-ID	Flussrichtung	Bezeichnung	Größe der Daten
0x00	PC→ μC	Config-Request	1 Byte
0x01	PC→ μC	Set-Command	12 Byte
0x02	PC→ μC	Data-Request	0 Byte
0x03	PC→ μC	Error/Status-Request	0 Byte
0x10	μC →PC	Config-Response	10 Byte
0x12	μC →PC	Data-Response	12 Byte
0x13	μC →PC	Error/Status-Response	5 Byte

10.3 Aufbau einzelner Befehle

In diesem Abschnitt wird der Aufbau einzelner Befehle erläutert. Ob ein Befehl vom Computer zum Signalgenerator geht ist an der Paket-ID zu erkennen. Dies ist im Abschnitt „Aufbau einer Kommunikationseinheit“beschrieben.

[4] http://www.usb.org/developers/docs/usb20_docs/usb_20_031815.zip

10.3.1 Datenübertragung vom Computer zum Signalgenerator

Config-Request

Der Config-Request steht am Anfang jeglicher Kommunikation zwischen Signalgenerator und Computer nach dem anstecken des Signalgenerators. Der Config-Request fragt beim Signalgenerator diverse Kalibrierungsdaten wie die Frequenz des Refferenztaktes oder die Boot-Daten an.

Byte	Wert	Beschreibung
0	0x00	Paket-ID
1	0x55	Prüfdaten, damit der Inhalt des Paketes nicht null ist. Der Wert ist auf 0x55 festgesetzt.

Set-Command

Mit dem Set-Command werden alle nötigen Informationen wie Frequenz, Registerwerte für die digitalen Potentiometer und Bootdaten übergeben. Die Folgende Tabelle zeigt den Aufbau:

Byte	Wert	Beschreibung
0	0x01	Paket-ID
1	*	Diese beiden Bytes enthalten die Daten für das
2	*	Kontrollregister des AD9833.
3	*	Diese vier Byte enthalten die Daten für das
4	*	Frequenzregister des AD9833. Die Berechnung
5	*	Dieser Werte ist im Verlauf dieses Dokumentes
6	*	erklärt.
7	*	In diesen beiden Bytes sind die Registerwerte
8	*	des Digi-Poti für die Ausgangsspannung enthalten.
9	*	In diesen beiden Bytes sind die Registerwerte
10	*	des Digi-Poti für die Offset-Spg. enthalten.
11	*	Multiplexer
12	*	Bootdaten

Data-Request

Nach einem Config-Request werden die Daten ausgewertet. Sollten die Bootdaten anzeigen, dass bereits beim einschalten des Signalgenerators die gespeicherte Konfiguration geladen wurde, so wird ein Data-Request gesendet, um herauszufinden wie die Konfiguration ist um sie später in der graphischen Oberfläche anzuzeigen. Dieses Paket hat keine Nutzdaten.

Byte	Wert	Beschreibung
0	0x02	Paket-ID

Error/Status-Request

Ein Error/Status-Request kann zu jedem Zeitpunk, z.B. nach einer Datenübertragung gestellt werden um den Status des Systems zu prüfen. Dieses Paket enthält keine Nutzdaten.

Byte	Wert	Beschreibung
0	0x03	Paket-ID

10.3.2 Datenübertragung vom Signalgenerator zum Computer

Config-Response

Byte	Wert	Beschreibung
0	0x10	Paket-ID
1	*	Seriennummer
2	*	Bootdaten
3	*	Kalibrierungs-Daten des DDS-IC
4	*	Frequenz des MCLK in Hz
5	*	
6	*	
7	*	Kalibrierungs-Daten für das Digi-Poti
8	*	Multiplikatoren für Berechnung
9	*	Wert der Ausgangsspannung in mV_{ss}
10	*	

Data-Response

Dieses Paket ist die Antwort auf einen Data-Request. Es enthält die selben Daten wie ein Set-Command. Die Daten müssen vom Host dann in Frequenzen und Spannungen umgerechnet werden.

Byte	Wert	Beschreibung
0	0x01	Paket-ID
1	*	Diese beiden Bytes enthalten die Daten für das
2	*	Kontrollregister des AD9833.
3	*	Diese vier Byte enthalten die Daten für das
4	*	Frequenzregister des AD9833. Die Berechnung
5	*	Dieser Werte ist im Verlauf dieses Dokumentes
6	*	erklärt.
7	*	In diesen beiden Bytes sind die Registerwerte
8	*	des Digi-Poti für die Ausgangsspannung enthalten.
9	*	In diesen beiden Bytes sind die Registerwerte
10	*	des Digi-Poti für die Offset-Spg. enthalten.
11	*	Multiplexer
12	*	Bootdaten

Error/Status-Response

Der Error/Status-Response enthält alle Error/Status-Meldungen die angefallen sind.

Byte	Wert	Beschreibung
0	0x13	Paket-ID
1	*	
2	*	
3	*	Error-Codes, bis zu 5 Stück.
4	*	
5	*	

10.4 Berechnung der Registerwerte

In dieser Sektion ist aufgelistet, wie die Registerwerte für den Signalgenerator berechnet werde. Es ist sich zwingend an die Formeln zu halten, da der Signalgenerator sonst nicht die gewünschten Ausgangssignale liefert.

10.4.1 Frequenz

Die Frequenzregister sind die Register, welche die Frequenz des Ausgangssignals kontrollieren. Mit einer Formel muss in Abhängigkeit vom Referenztakt und der gewünschten Frequenz des Ausgangssignals der Wert für dieses Register errechnet werden. Hier die allgemeine Formel:

$$Registerwert = F_{out} \div \frac{F_{MCL}}{2^{28}}$$

Und hier ein Beispiel für die Werte $F_{MCLK} = 25MHz$ und $F_{out} = 7,325MHz$:

$$Registerwert = F_{out} \div \frac{F_{MCL}}{2^{28}} = 7,325MHz \div \frac{25MHz}{2^{28}}$$
$$Registerwert = 78651588,61 \approx 78651589$$

In diesem Fall ist es möglich zu runden, da ein Bit nur c.a. 0,093Hz entsprechen. Nun muss der Wert noch in Binär umgerechnet werden:

Dec"78651589"=Bin"100 1011 0000 0010 0000 1100 0101"

Um den Wert in das Frequenzregister zu schreiben wird der binäre Wert in LSBs und MSBs aufgeteilt und hängen die Adressierung des Registers "01ünd die fehlenden Nullen, um auf 28Bit zu kommen, davor:

MSBs: 0101 0010 1100 0000
LSBs: 0110 0000 1100 0101

Dies ist ein Beispielcode in C++, in dem die entsprechenden Register berechnet werden:

```
float mclk = 25000000, register_size = 268435456;
float teiler = mclk / register_size;
int f_regwert = frequenz / teiler;
//block1=lsb Block4=msb
unsigned char block1, block2, block3, block4;

block1 = f_regwert;
f_regwert = f_regwert >> 8;
block2 = f_regwert;
block2 = (block2 | 0x40) & (~0x80);
f_regwert = f_regwert >> 6;
block3 = f_regwert;
f_regwert = f_regwert >> 8;
block4 = f_regwert;
block4 = (block4 | 0x40) & (~0x80);
```

10.4.2 Signalform

Für das Register der Signalform gibt es nicht viel zu berechnen, da es nur drei Signalformen gibt. Die 2 Byte, mit denen die Signalform gesteuert wird können folgende Werte annehmen:

Wert	Signalform
0x2000	Sinus
0x2002	Dreieck
0x0000	Rechteck

Es ist hierbei darauf zu achten, dass auch der Zustand des Multiplexers angepasst wird, da es ansonsten zu unerwünschten Ausgangsspannungen kommen kann.

10.4.3 Spitzenspannung

Die Amplitude des Ausgangsignals lässt sich über den Multiplexer und das Digitalpotentiometer einstellen. Hierzu wird die Ausgangsspannung des DDS-IC als Berechnungsgrundlage hinzu gezogen. Mit dem Multiplexer kann man auswählen, ob das Signal direkt auf den Verstärker gegeben wird oder ob eine Teilung von 5:1 bzw eine Verstärkung von ungefähr 3 stattfinden soll, bevor das Signal auf den Verstärker gegeben wird. Welchen Wert das entsprechende Byte annehmen muss ist unter SSonstige Registerïm Unterabschnitt Multiplexernachzulesen. Die Registerwerte des Digitalpotentiometers werden wie folgt berechnet:

$$Registerwert_{gesamt} = (\frac{100k\Omega}{\frac{U_{Ausgang}}{U_{Eingang}} - 1} - 2,2k\Omega) \div \frac{200k\Omega}{512}$$

Hier ein Beispiel für die Werte $U_{Ausgang} = 7,5V_{ss}$ und $U_{Eingang} = 1V_{ss}$:

$$Registerwert_{gesamt} = (\frac{100k\Omega}{\frac{7,5V_{ss}}{1V_{ss}} - 1} - 2,2k\Omega) \div \frac{200k\Omega}{512}$$

$$Registerwert_{gesamt} \approx 13184,61 \div 390,625$$

$$Registerwert_{gesamt} \approx 34$$

Da der Registerwert für zwei in Reihe geschaltete Widerstände gilt muss dieser Wert noch auf beide Register aufgeteilt werden. Sollte das Ergebnis eine ungerade Bit-Zahl annehmen so erhält eines der Register einfach ein Bit mehr. Daraus ergibt sich, dass beide Register den dezimalen Werte "17"haben bzw 0x11 in Hexadezimal.
Der Folgende Beispielcode ist in C# geschrieben und berechnet den Gesamtwert beider Register.

```
int umax = 12000, bits = 512, register1, register2;
int ergebnis = u_amplitude_mv / (umax / bits);

if (510 < ergebnis)
{
  ergebnis = 510;
}

if (ergebnis%2==0)
{
  register1 = 255 - ergebnis / 2;
  register2 = 255 - ergebnis / 2;
}
else
{
  ergebnis = ergebnis- 1;
  register1 = 255-((ergebnis / 2) + 1);
  register2 = 255 - ergebnis / 2;
}
```

10.4.4 Offsetspannung

10.4.5 Sonstige Register

Bootdaten

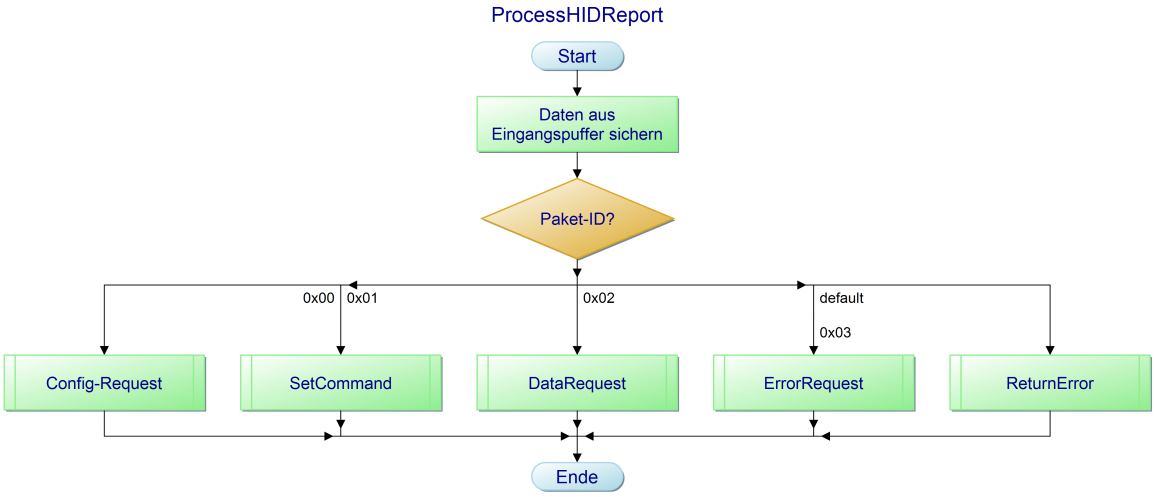
Bootdaten	Beim Boot laden	Werte Speichern
0x00	Nein	Nein
0x01	Nein	Ja
0x10	Ja	Nein
0x11	Ja	Ja

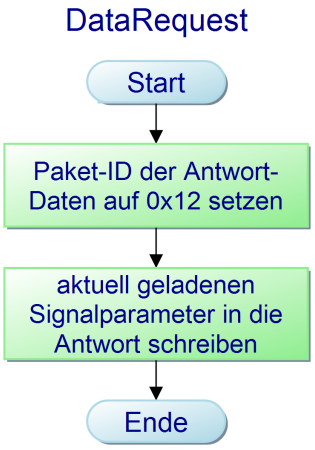
Multiplexer

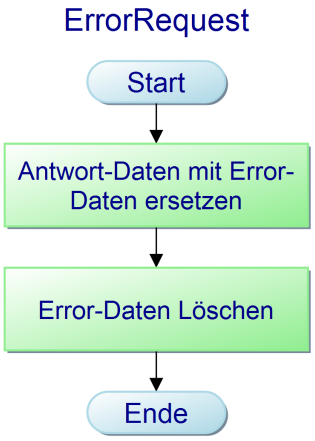
10.5 Errorcodes

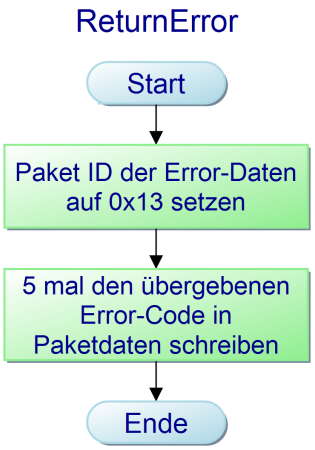
Fehlercode	Beschreibung des Fehlers
0x00	Kein Fehler
0x01	Keine gültige Package-ID
0x02	Transportdaten des Config-Requests sind falsch
0x03	Digitalpotentiometer ist nicht erreichbar
0x04	
0x05	
0x06	
0x07	

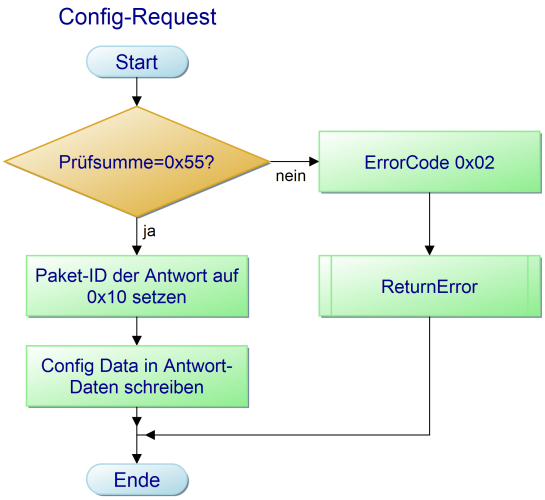
10.6 Programmablaufplan der Firmware

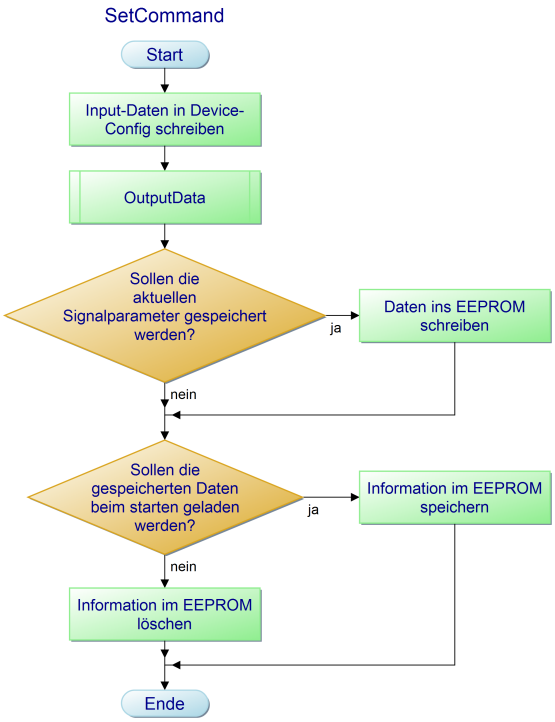


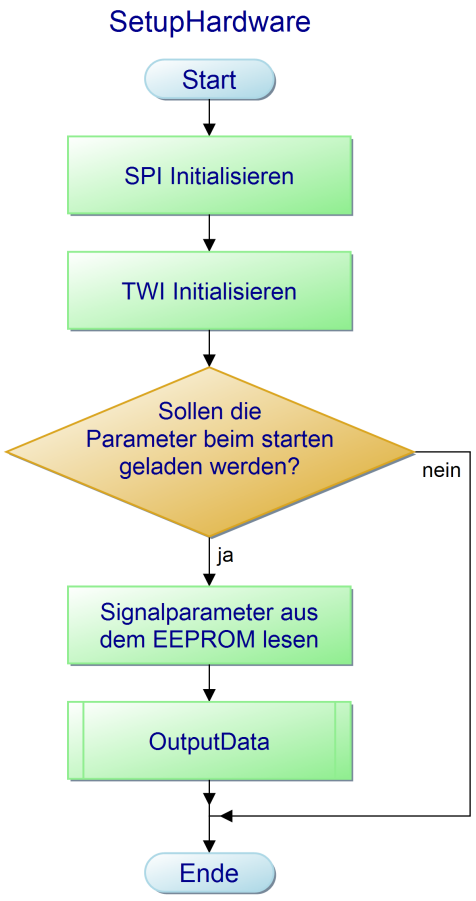


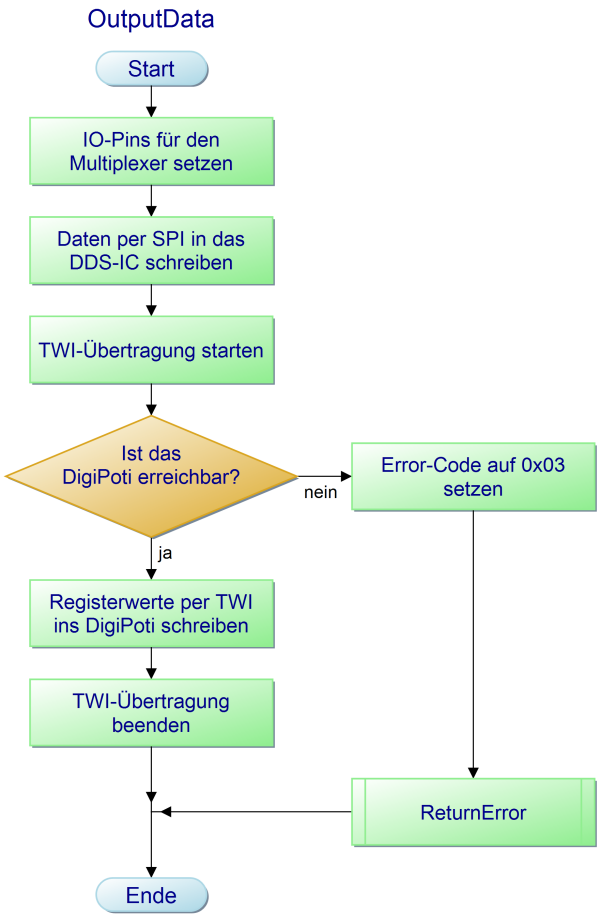





Config-Request
Start
Prüfsumme=0x55?
nein
ja
ErrorCode 0x02
Paket-ID der Antwort auf 0x10 setzen
ReturnError
Config Data in Antwort-Daten schreiben
Ende


SetCommand
Start
Input-Daten in Device-Config schreiben
OutputData
Sollen die aktuellen Signalparameter gespeichert werden?
ja
Daten ins EEPROM schreiben
nein
Sollen die gespeicherten Daten beim starten geladen werden?
ja
Information im EEPROM speichern
nein
Information im EEPROM löschen
Ende


SetupHardware
Start
SPI Initialisieren
TWI Initialisieren
Sollen die Parameter beim starten geladen werden?
nein
ja
Signalparameter aus dem EEPROM lesen
OutputData
Ende


OutputData
Start
IO-Pins für den Multiplexer setzen
Daten per SPI in das DDS-IC schreiben
TWI-Übertragung starten
Ist das DigiPoti erreichbar?
nein
Error-Code auf 0x03 setzen
ja
Registerwerte per TWI ins DigiPoti schreiben
TWI-Übertragung beenden
ReturnError
Ende

10.7 Firmware des Mikrocontrollers

```
/*
             LUFA Library
     Copyright (C) Dean Camera, 2014.

  dean [at] fourwalledcubicle [dot] com
           www.lufa-lib.org
*/

/*
  Copyright 2014  Dean Camera (dean [at] fourwalledcubicle [dot] com)

  Permission to use, copy, modify, distribute, and sell this
  software and its documentation for any purpose is hereby granted
  without fee, provided that the above copyright notice appear in
  all copies and that both that the copyright notice and this
  permission notice and warranty disclaimer appear in supporting
  documentation, and that the name of the author not be used in
  advertising or publicity pertaining to distribution of the
  software without specific, written prior permission.

  The author disclaims all warranties with regard to this
  software, including all implied warranties of merchantability
  and fitness.  In no event shall the author be liable for any
  special, indirect or consequential damages or any damages
  whatsoever resulting from loss of use, data or profits, whether
  in an action of contract, negligence or other tortious action,
  arising out of or in connection with the use or performance of
  this software.
*/

#include "Sgen-Firmware.h"

#define DigiPoti 0x12
#define ConfigSize 12
#define EEPROM_CONFIG_OFFSET 20
#define EEPROM_CAL_OFFSET 10
#define EEPROM_BOOT_VALUES 5

/** Buffer to hold the previously generated HID report, for comparison
    purposes inside the HID class driver. */
static uint8_t PrevHIDReportBuffer[GENERIC_REPORT_SIZE];

//contains the Deviceconfiguration Data
uint8_t DeviceConfig[ConfigSize] = {0x20, 0x00, 0x40, 0x00, 0x69, 0xf1, 0
    x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x18, 0x11};

uint8_t Response_Data[ConfigSize] = {};
uint8_t Error_Data[6] = {};

uint8_t input_data[14] = {};
uint8_t Config_Data[10] = {0x01, 0x01, 0x01, 0x7d, 0x78, 0x40, 0x00, 0x00,
    0x02, 0xee};

//Indicates weather the digipoti is respondig for error feedback to the
    computer
bool StatusDigiPoti = false;
```

```
53
54 /** LUFA HID Class driver interface configuration and state information.
       This structure is
55  *  passed to all HID Class driver functions, so that multiple instances of
        the same class
56  *  within a device can be differentiated from one another.
57  */
58 USB_ClassInfo_HID_Device_t Generic_HID_Interface =
59     {
60         .Config =
61             {
62                 .InterfaceNumber              = INTERFACE_ID_GenericHID,
63                 .ReportINEndpoint             =
64                     {
65                         .Address              = GENERIC_IN_EPADDR,
66                         .Size                 = GENERIC_EPSIZE,
67                         .Banks                = 1,
68                     },
69                 .PrevReportINBuffer           = PrevHIDReportBuffer,
70                 .PrevReportINBufferSize       = sizeof(PrevHIDReportBuffer)
       ,
71             },
72     };
73
74 int main(void)
75 {
76     SetupHardware();
77
78     GlobalInterruptEnable();
79
80     for (;;)
81     {
82         HID_Device_USBTask(&Generic_HID_Interface);
83         USB_USBTask();
84     }
85
86 }
87
88 void SetupHardware(void)
89 {
90
91     /* Disable watchdog if enabled by bootloader/fuses */
92     MCUSR &= ~(1 << WDRF);
93     wdt_disable();
94
95     /* Disable clock division */
96     clock_prescale_set(clock_div_1);
97
98     /* Hardware Initialization */
99     USB_Init();
100
101    // http://avrbeginners.net/architecture/spi/spi.html
102    SPI_Init(SPI_SPEED_FCPU_DIV_32 | SPI_SCK_LEAD_FALLING |
       SPI_SAMPLE_LEADING | SPI_ORDER_MSB_FIRST | SPI_MODE_MASTER);
103
104    //initialize TWI-Bus
105    TWI_Init(TWI_BIT_PRESCALE_1, TWI_BITLENGTH_FROM_FREQ(1, 200000));
106
```

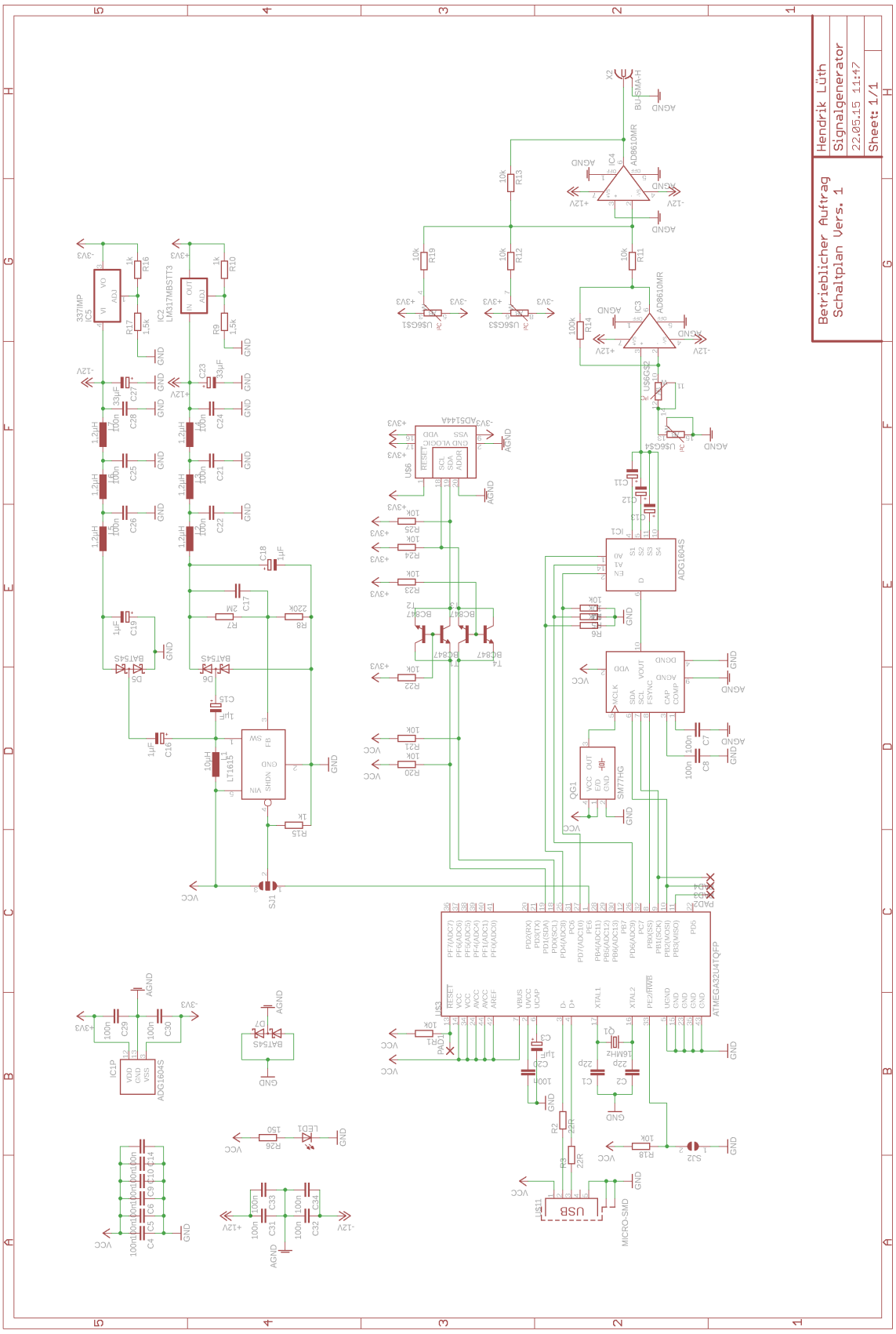
```
107
108     //check wether to load data at boot and do it
109     if (eeprom_read_byte((uint8_t*)EEPROM_BOOT_VALUES) == 0x10 )
110     {
111         for (int i = 0; i < ConfigSize; i++)
112         {
113             uint8_t eeprom_addr = EEPROM_CONFIG_OFFSET + i;
114             DeviceConfig[i] = eeprom_read_byte((uint8_t*)eeprom_addr);
115         }
116
117         Output_data();
118     }
119
120 }
121
122 /** Event handler for the library USB Connection event. */
123 void EVENT_USB_Device_Connect(void)
124 {
125
126 }
127
128 /** Event handler for the library USB Disconnection event. */
129 void EVENT_USB_Device_Disconnect(void)
130 {
131
132 }
133
134 /** Event handler for the library USB Configuration Changed event. */
135 void EVENT_USB_Device_ConfigurationChanged(void)
136 {
137     bool ConfigSuccess = true;
138
139     ConfigSuccess &= HID_Device_ConfigureEndpoints(&Generic_HID_Interface);
140
141     USB_Device_EnableSOFEvents();
142
143 }
144
145 /** Event handler for the library USB Control Request reception event. */
146 void EVENT_USB_Device_ControlRequest(void)
147 {
148     HID_Device_ProcessControlRequest(&Generic_HID_Interface);
149 }
150
151 /** Event handler for the USB device Start Of Frame event. */
152 void EVENT_USB_Device_StartOfFrame(void)
153 {
154     HID_Device_MillisecondElapsed(&Generic_HID_Interface);
155 }
156
157 /** HID class driver callback function for the creation of HID reports to
    the host.
158  *
159  *  \param[in]     HIDInterfaceInfo  Pointer to the HID class interface
    configuration structure being referenced
160  *  \param[in,out] ReportID    Report ID requested by the host if non-zero,
     otherwise callback should set to the generated report ID
```

```
161  *  \param[in]     ReportType  Type of the report to create, either
       HID_REPORT_ITEM_In or HID_REPORT_ITEM_Feature
162  *  \param[out]    ReportData  Pointer to a buffer where the created report
       should be stored
163  *  \param[out]    ReportSize  Number of bytes written in the report (or
       zero if no report is to be sent)
164  *
165  *  \return Boolean \c true to force the sending of the report, \c false to
       let the library determine if it needs to be sent
166  */
167 bool CALLBACK_HID_Device_CreateHIDReport(USB_ClassInfo_HID_Device_t* const
       HIDInterfaceInfo,
168                                          uint8_t* const ReportID,
169                                          const uint8_t ReportType,
170                                          void* ReportData,
171                                          uint16_t* const ReportSize)
172 {
173     uint8_t* Data        = (uint8_t*)ReportData;
174
175
176     *ReportSize = GENERIC_REPORT_SIZE;
177
178     return false;
179 }
180
181 /** HID class driver callback function for the processing of HID reports
       from the host.
182  *
183  *  \param[in] HIDInterfaceInfo  Pointer to the HID class interface
       configuration structure being referenced
184  *  \param[in] ReportID    Report ID of the received report from the host
185  *  \param[in] ReportType  The type of report that the host has sent,
       either HID_REPORT_ITEM_Out or HID_REPORT_ITEM_Feature
186  *  \param[in] ReportData  Pointer to a buffer where the received report
       has been stored
187  *  \param[in] ReportSize  Size in bytes of the received HID report
188  */
189 void CALLBACK_HID_Device_ProcessHIDReport(USB_ClassInfo_HID_Device_t* const
       HIDInterfaceInfo,
190                                           const uint8_t ReportID,
191                                           const uint8_t ReportType,
192                                           const void* ReportData,
193                                           const uint16_t ReportSize)
194 {
195     uint8_t* Data        = (uint8_t*)ReportData;
196
197     for (int i=0; i<ConfigSize; i++)
198     {
199         input_data[i] = Data[i];
200     }
201
202     switch(input_data[0])
203     {
204         case 0x00: ConfigRequest(); break;
205         case 0x01: SetCommand(); break;
206         case 0x02: DataRequest(); break;
207         case 0x03: ErrorRequest(); break;
208         default: ReturnError(0x01); break;
```

```
209     }
210
211
212     return;
213 }
214
215 /************************************************************
216 here starts the sections for the functions called by the usb code
217 ************************************************************/
218
219 void ConfigRequest()
220 {
221     if (input_data[1] != 0x55)
222     {
223         ReturnError(0x02);
224         return;
225     }
226
227     Response_Data[0] = 0x10;
228
229     for (int i = 0; i < 10; i++)
230     {
231         Response_Data[i+1] = Config_Data[i];
232     }
233
234     return;
235 }
236
237 void SetCommand()
238 {
239
240     for (int i = 0; i < 13; i++)
241     {
242         DeviceConfig[i] = input_data[i+1];
243     }
244
245     Output_data();
246
247     if ((DeviceConfig[12] & 0x01) == 0x01)
248     {
249         for (int i = 0; i < 12; i++)
250         {
251             uint8_t eeprom_addr = EEPROM_CONFIG_OFFSET + i;
252             eeprom_update_byte((uint8_t*)eeprom_addr, DeviceConfig[i]);
253         }
254     }
255
256     if ((DeviceConfig[12] & 0x10) == 0x10)
257     {
258         eeprom_update_byte((uint8_t*)EEPROM_BOOT_VALUES, 0x10);
259     }
260     else
261     {
262         eeprom_update_byte((uint8_t*)EEPROM_BOOT_VALUES, 0x00);
263     }
264
265     return;
266 }
```

```
267
268 void DataRequest()
269 {
270     Response_Data[0] = 0x12; //send dataresponse
271
272     for (int i = 0; i < 10; i++)
273     {
274         Response_Data[i+1] = DeviceConfig[i];
275     }
276
277     return;
278 }
279
280 void ErrorRequest()
281 {
282     for (int i = 0; i < 6; i++)
283     {
284         Response_Data[i] = Error_Data[i];
285         Error_Data[i] = 0x00;
286     }
287
288     return;
289 }
290
291
292 /*******************************************************
293 Here starts the code called by the requests or commands
294 *******************************************************/
295
296 void Output_data()
297 {
298     //Set the IO-Pins for the analog Multiplexer
299     PORTD = DeviceConfig[10];
300
301     //Send the frequency and formdata to the AD9833
302     SPI_Send2Byte(DeviceConfig[0], DeviceConfig[1]);
303     SPI_Send2Byte(DeviceConfig[2], DeviceConfig[3]);
304     SPI_Send2Byte(DeviceConfig[4], DeviceConfig[5]);
305
306     //Send the TWI-Data, but only if device is responding.
307     if (TWI_StartTransmission(DigiPoti, 1) == 0)
308     {
309         for (int i = 0; i < 4; i++)
310         {
311             int PotiWert = i + 6;
312
313             TWI_SendByte(0x10 | i);
314             TWI_SendByte(DeviceConfig[PotiWert]);
315         }
316
317         TWI_SendByte(0x78);
318         TWI_SendByte(0x01);
319         TWI_StopTransmission();
320     }
321     else
322     {
323         ReturnError(0x03);
324     }
```

```
325     return;
326 }
327
328 void ReturnError(uint8_t ErrorType)
329 {
330     Error_Data[0] = 0x13;
331     for (int i = 1; i < 6; i++)
332     {
333         Error_Data[i] = ErrorType;
334     }
335     return;
336 }
```


Hendrik Lüth
Signalgenerator
22.05.15 11:47
Sheet: 1/1
Betrieblicher Auftrag
Schaltplan Vers. 1