



SpO₂-HB Reader

With Bluetooth functionality

Glenn Adriaensens & Lieselotte Verhulst

THOMAS
MORE

Voorwoord

In de keuze voor ons project werden we, in volle coronapandemie, geleid door berichten die ons sterk aangegrepen hebben.

Het huidige coronavirus was volledig nieuw en er bestond bijgevolg geen enkele medisch-wetenschappelijke kennis.

Vooral tijdens de beginfase van de pandemie, toen er nog geen diagnostische testing mogelijk was, werden spoedartsen vaak verrassend geconfronteerd met zeer ver gevorderde longaantasting bij de patiënten.

Eenzijds vond men zeer ernstige ziekte tekens op de longfoto's (CT-scan), maar anderzijds stelde men vast dat die patiënten bij opname een zeer laag zuurstofgehalte in hun bloed vertoonden, zonder dat ze tijdens de voorafgaande periode ziektesymptomen hadden opgemerkt.

In dit kader groeide bij ons het idee om te werken aan een project, waardoor meting van de zuurstofsaturatie in het bloed voor iedereen toegankelijk wordt.

Het was onze bedoeling dit meettoestel betaalbaar te maken voor het grote publiek, maar dit is moeilijker gebleken dan we gedacht hadden.

We weten dat de meting niet gebeurt met eenzelfde precisie als in ziekenhuizen, maar dergelijke vorm van zelfmonitoring / thuismonitoring helpt wel in de vroegtijdige preventie van longbeschadiging door dit virus.

Bij het debuggen van hardware en software hebben we wel wat moeilijkheden ondervonden.

We hebben veel geleerd uit dit project, en we vonden het bijzonder boeiend om op ontdekking te gaan in de wereld waar medische techniek en elektronica elkaar ontmoeten.

We zouden graag Mr. Wim Dams en Mr. Nick Steen willen bedanken om onze vragen te beantwoorden, evenals Mr. De Weerdt voor de hulp bij het bestukken van de PCB.

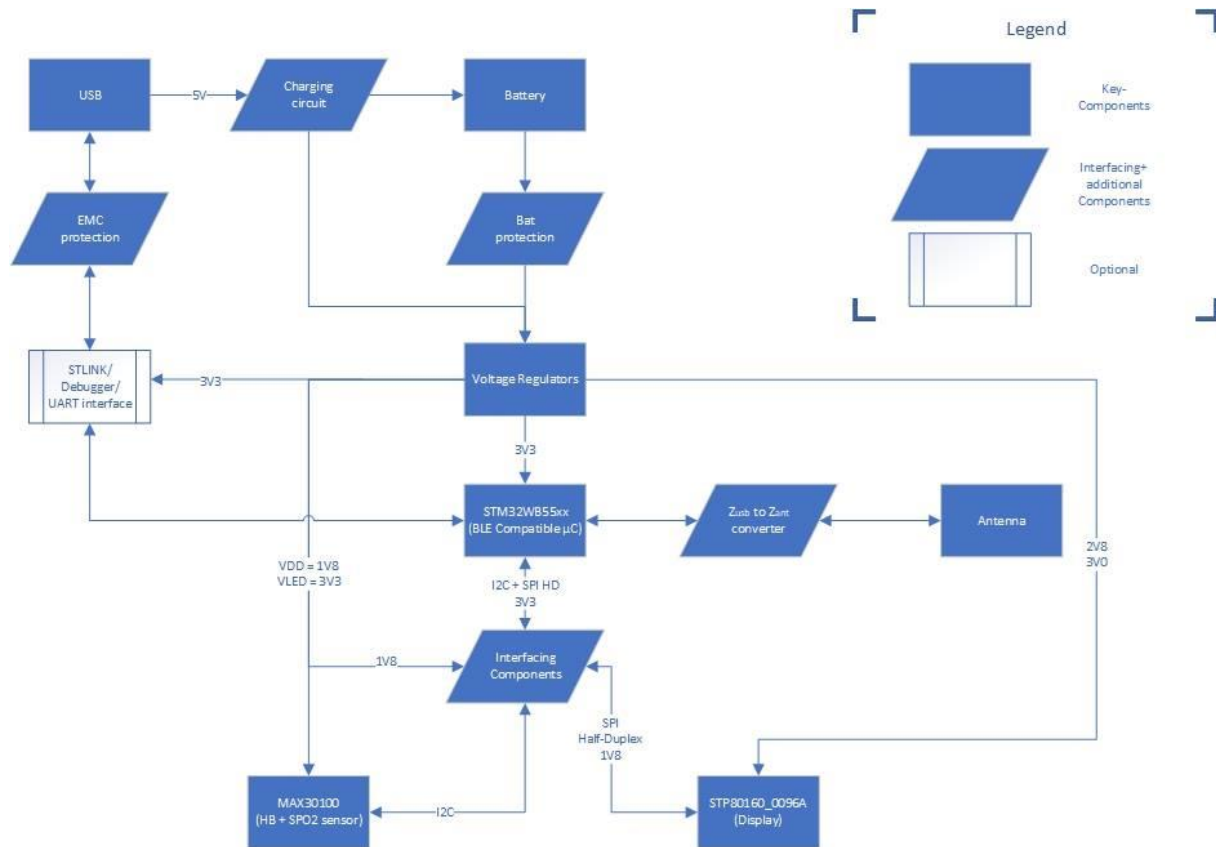
Inhoudsopgave

Voorwoord	2
Projectvoorstel/ Inleiding	4
Blokschema	4
Principe perifere O ₂ -Saturatiemeter	5
Componenten.....	6
STM32WB55CG	6
MAX8903A.....	6
LD39050PU33R.....	6
MIC5502-1.8YMT.....	6
MIC5502-2.8YMT.....	6
LFB182G45BG4D268	6
TXB0108PWR	6
MAX30102	6
Hardware.....	7
Schema's.....	7
Versie 1:.....	7
Versie 2:.....	9
Breakout board:.....	10
PCB.....	11
Versie 1:.....	11
Versie 2:.....	12
Breakout Board:	12
CAD	13
Software	14
SpO ₂ -Sensor.....	14
Interrupts MAX30102.....	15
OLED scherm	15
Bluetooth.....	16
BLE	16
Basis principes:	16
Kwaliteitscontrole	19
Problemen/Oplossingen:.....	19
Besluit.....	20
Bijlagen	21
Lijst afbeeldingen	21
Bronvermelding.....	22

Projectvoorstel/ Inleiding

Kort gezegd is het de bedoeling dat ons project de hartslag en de zuurstofsaturatie meet, deze dan toont op een OLED scherm, en via bluetooth doorstuurt naar de gsm.

Blokschema



Figuur 1: Uitgebreid blokschema

De USB is een micro-USB aansluiting om enerzijds het project op te laden en anderzijds de microcontroller te kunnen programmeren.

We gebruiken een oplaadbare batterij en hierbij voorzien we een galvanische scheiding en een voltage regulator.

STM32WB55 is de microcontroller.

De gemeten waarden worden via de microcontroller doorgestuurd naar het LCD, en eveneens naar de bluetooth module, zodat ze naar de gsm kunnen worden opgestuurd.

De sensor die we gebruiken is de MAX30102, deze meet de hartslag en zuurstofwaarde.

Voor het OLED gebruiken we een STP80160. Dit is een OLED scherm van 160x80 pixels.

Hierop worden uitsluitend de gemeten waarden van de hartslag en van de zuurstofsaturatie aangebracht.

Principe perifere O₂-Saturatiemeter

De perifere O₂-saturatiemeter (in combinatie met de hartslagmeter) is een medisch-technisch meetinstrument.

Zuurstofsaturatie:

Onze ademhalingsfunctie zorgt ervoor, dat voldoende zuurstof via de longen in ons bloed terecht komt, om vervolgens alle lichaamsorganen te kunnen bereiken.

In ons bloed wordt zuurstof getransporteerd door hemoglobine, een eiwit dat de O₂-moleculen aan zich bindt.

De zuurstofsaturatie (letterlijk: verzadiging) geeft de verhouding aan tussen het hemoglobinegehalte dat O₂-moleculen draagt, en het totale gehalte aan hemoglobine in het bloed.

$$\frac{\text{hemoglobine dat O}_2 \text{ draagt}}{\text{totaal hemoglobine}} \quad \text{OF} \quad \frac{\text{geoxygeneerd hemoglobine}}{\text{totaal hemoglobine}}$$

Die verhouding wordt uitgedrukt door een percentage %.

Nog even verduidelijken dat men de zuurstofsaturatie meet in het “perifeer” bloed. Dit wil zeggen dat men meet ter hoogte van de (kloppende) bloedvaatjes van een perifeer lichaamsdeel vb. een vingertop, een oorlel.

Daarom spreken we over de SpO₂-meting (in tegenstelling tot de SaO₂-meting, die men in ziekenhuizen uitvoert door het rechtstreeks aanprikken van een slagader).

Werkingsprincipe van het meetinstrument :

De werking van de saturatiemeter is gebaseerd op fotometrie.

Een lichtbundel wordt aan één zijde van vb. de vingertop geplaatst, zodat deze doorheen de perifere bloedvaatjes gezonden wordt.

Men gebruikt een rode LED met een golflengte van 660nm en een infrarode LED met een golflengte van 940nm.

Licht van deze beide golflengten wordt anders geabsorbeerd door geoxygeneerd bloed dan door niet-geoxygeneerd bloed:

geoxygeneerd hemoglobine absorbeert meer IR licht en laat meer rood licht door, terwijl het net omgekeerd is voor niet-geoxygeneerd bloed.

Een fotodiode detecteert het deel van de lichtbundel, dat niet ter hoogte van de bloedvaatjes werd geabsorbeerd.

De verhouding tussen de uitgezonden lichtbundel, en de lichtbundel die niet geabsorbeerd werd en dus gedetecteerd door de fotodiode, kan dan omgerekend worden naar de zuurstofsaturatie.

Hartslagmeter :

De hartslag kan tegelijkertijd gemeten worden omdat het lichtsignaal de variatie van de hartslag volgt: bij elke hartslag stroomt er immers een groot debiet (pulse) doorheen de bloedvaatjes.

De combinatie van de perifere zuurstofsaturatiemeter en de hartslagmeter wordt dan ook de pulsoxymeter genoemd.

Componenten

STM32WB55CG

48-pin Bluetooth-compatible chip
1Mbyte flash
256K RAM

MAX8903A

28-pin battery management chip
Overvoltage protection
USB input -> No reverse voltage
Battery charge current and SYS output current limit are independently set

LD39050PU33R

6-pin 500mA voltage regulator
Input 1V5 -> 5V5
Max 500mA output -> 1.65W [3V3 x 0.5A]

MIC5502-1.8YMT

4-pin 300mA voltage regulator
Input 1V8 -> 5V5
Max 300mA output -> 0.54W [1V8 x 0.3A]

MIC5502-2.8YMT

4-pin 300mA voltage regulator
Input 2V8 -> 5V5
Max 300mA output -> 0.84W [2V8 x 0.3A]

LFB182G45BG4D268

6-pin Balance matching bandpass filter
2450.00MHz \pm 50.00 MHz

TXB0108PWR

20-pin 8-bit Bidirectional voltage-level translator
1V2 to 3V6 on A-port and 1V65 to 5V5 on B-port
 V_{CCA} mag niet hoger zijn dan V_{CCB}

MAX30102

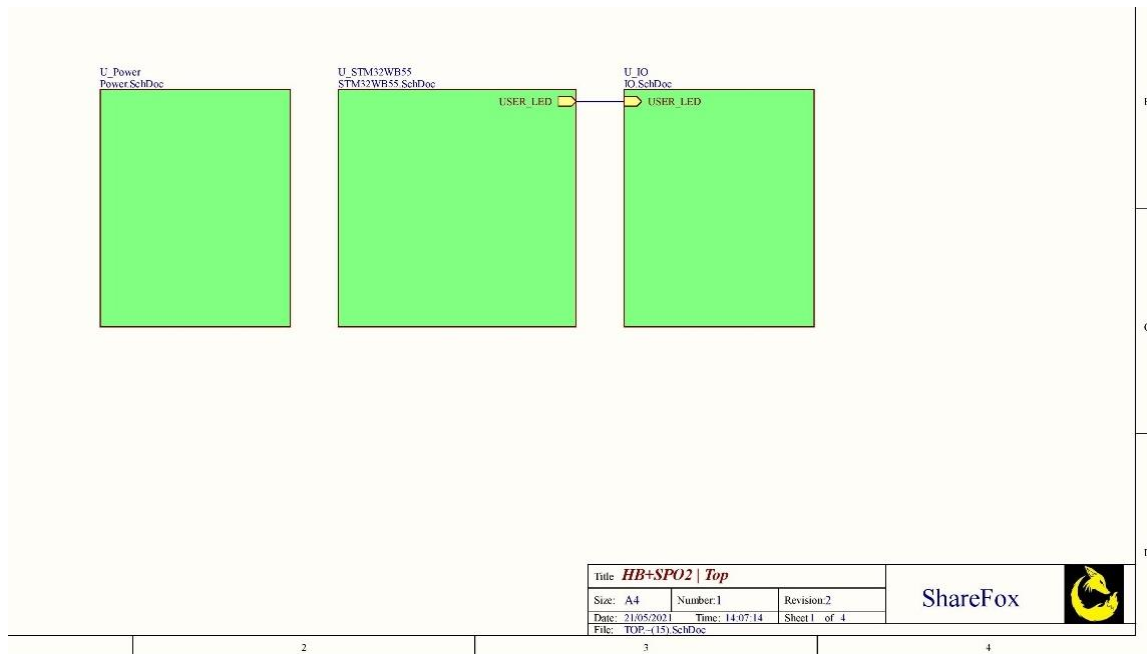
14-pin Pulse oximeter and heart-rate sensor

Hardware

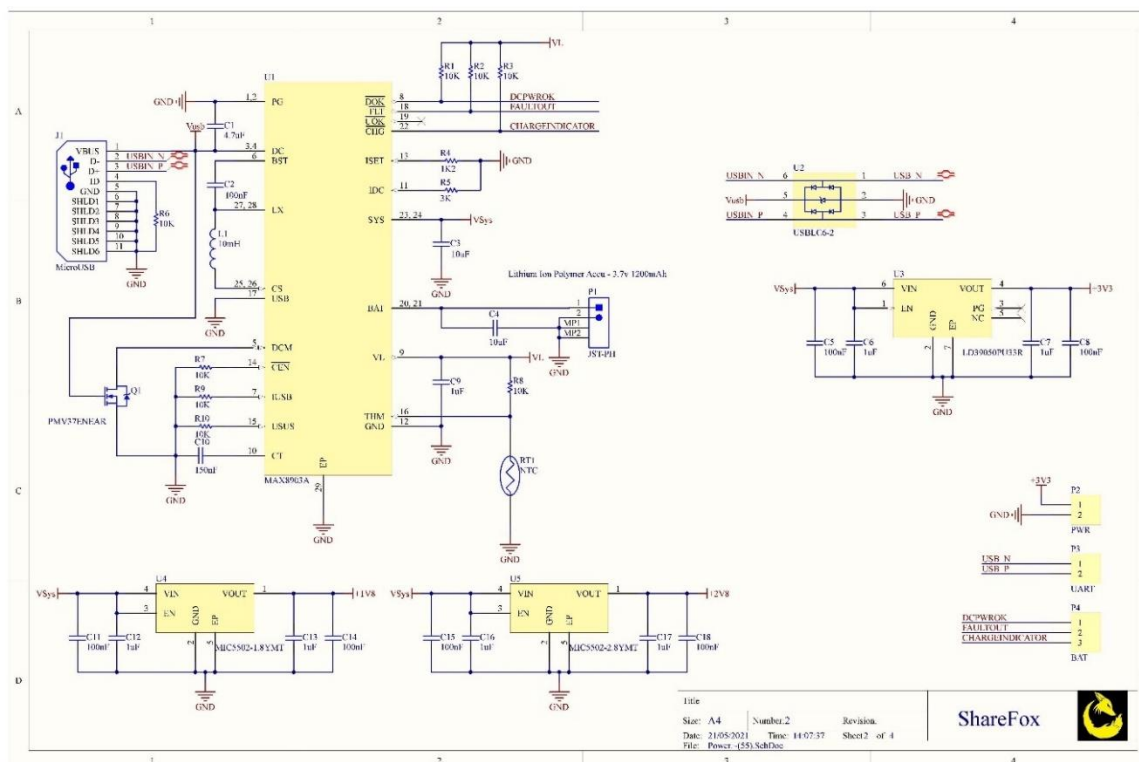
Schema's

Versie 1:

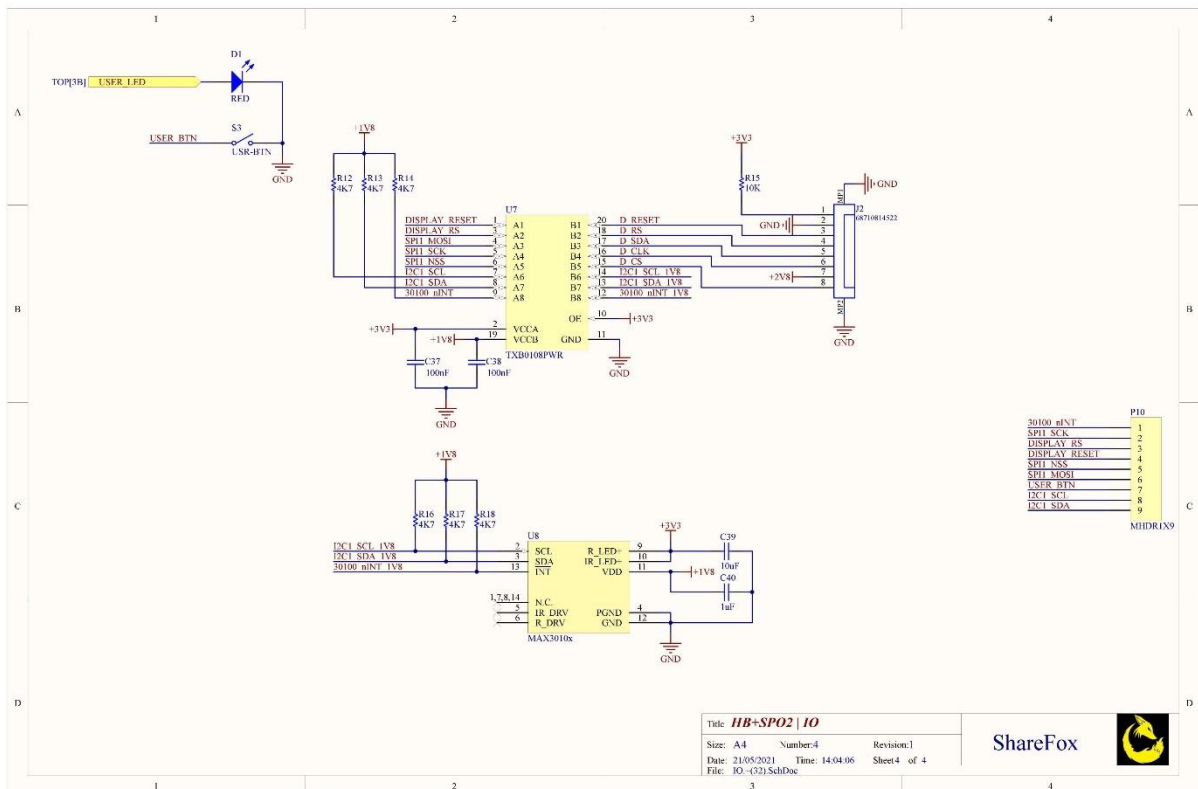
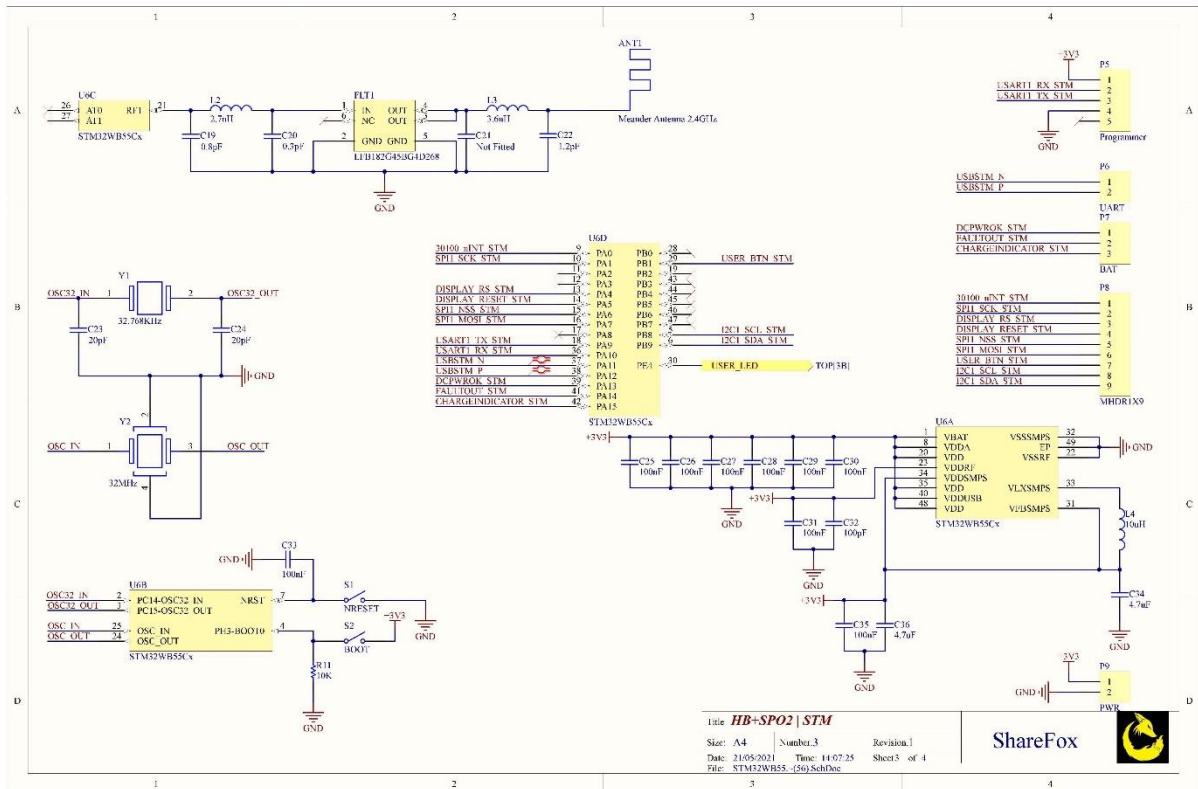
Dit was de eerste versie voor ons project. Al gauw bleek dat verschillende aanpassingen nodig waren, deze zijn uitgevoerd in versie 2.



Figuur 3: Versie 1 TOP schema



Figuur 2: Versie 1 POWER schema

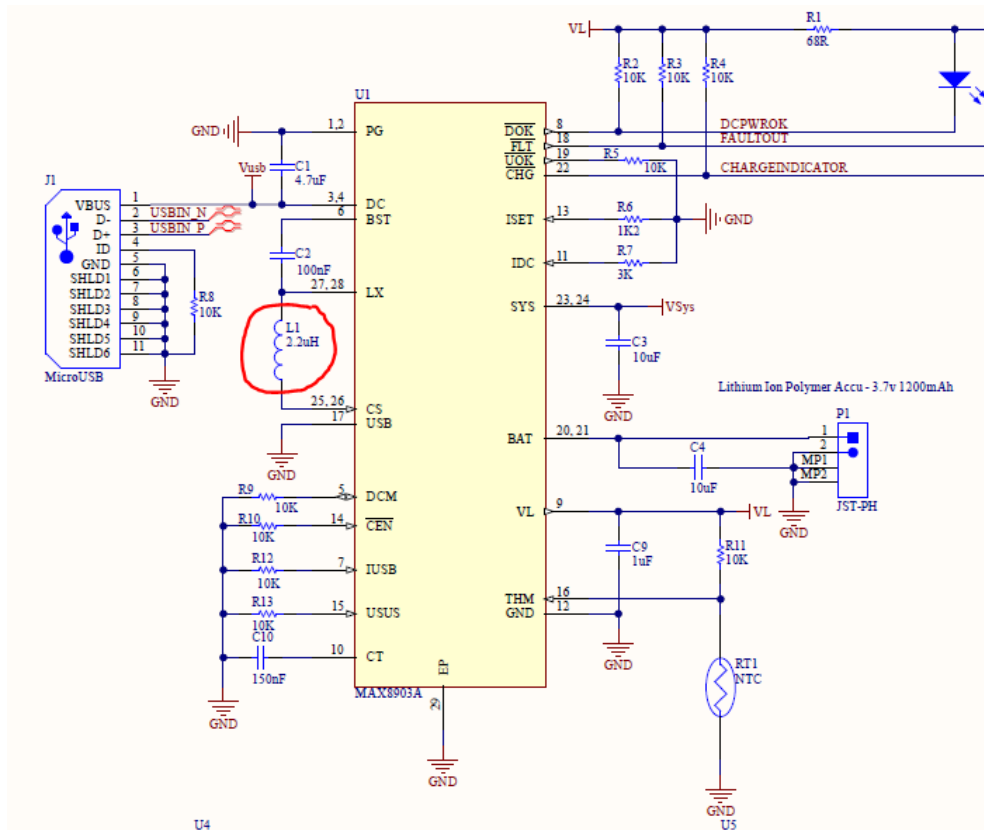


Versie 2:

Dit is de huidige versie, door tijdsredenen hebben we deze PCB niet kunnen laten fabriceren. We hebben een breakout board gemaakt om de tests te kunnen uitvoeren en om een demo te geven. Volgende aanpassingen hebben we doorgevoerd (zie pagina “HB+SPO2 | Power”):

- Spoel “L1” is veranderd van 10mH naar 2.2μH. De standwaarde was niet aangepast.
- De N-channel MOSFET werd aangepast naar een pulldown weerstand.

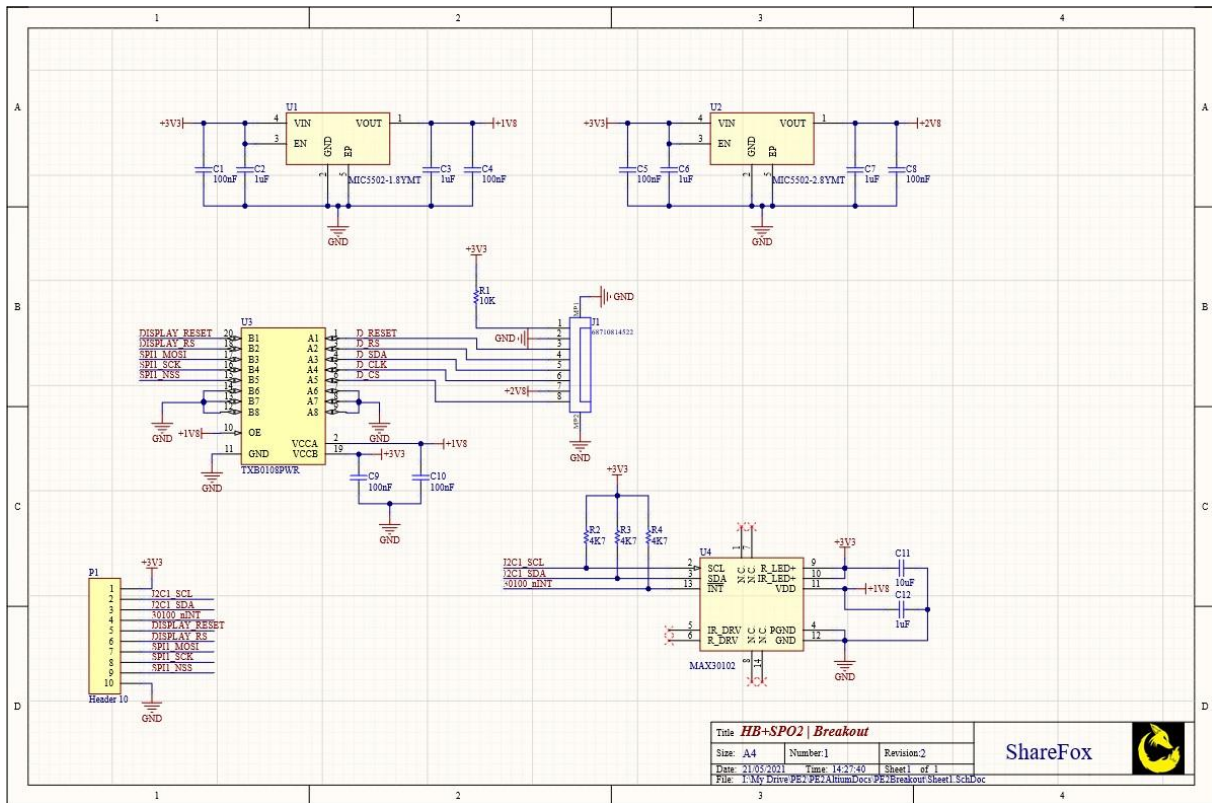
Verder diende de level translator “U7” te worden aangepast (zie pagina “HB+SPO2 | IO”): in Versie 1 was $V_{CCA} > V_{CCB}$, maar de datasheet vereist $V_{CCA} \leq V_{CCB}$.



Figuur 6: L1 aanpassing

Breakout board:

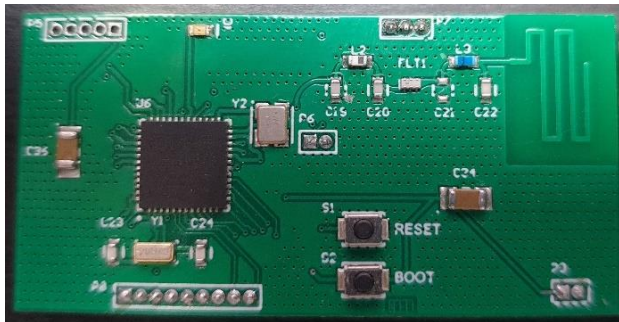
Op het breakout board, dat we voorzien hebben wegens tijdsgebrek, staat uitsluitend de randapparatuur; deze wordt aangestuurd door een P-NUCLEO-WB55 bord.



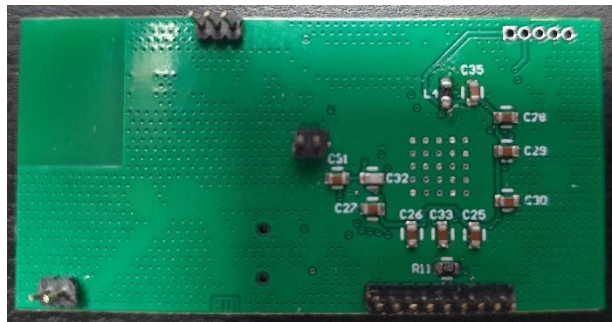
Figuur 7: Breakout Board Schema

PCB

Versie 1:



Figuur 12 PCB Bovenkant, voorkant



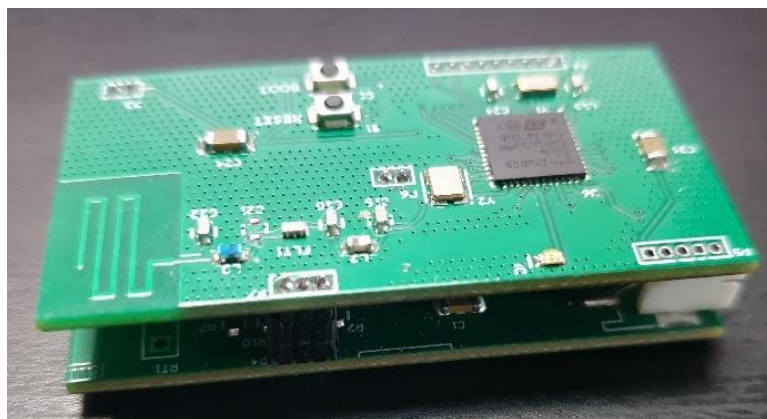
Figuur 11 PCB Bovenkant, achterkant



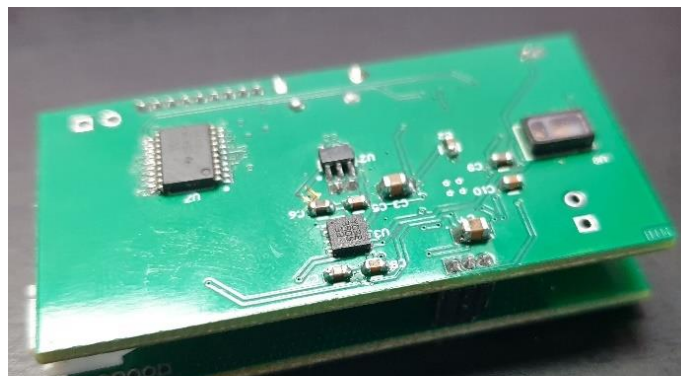
Figuur 10 PCB Onderkant, voorkant



Figuur 8 PCB Onderkant, achterkant

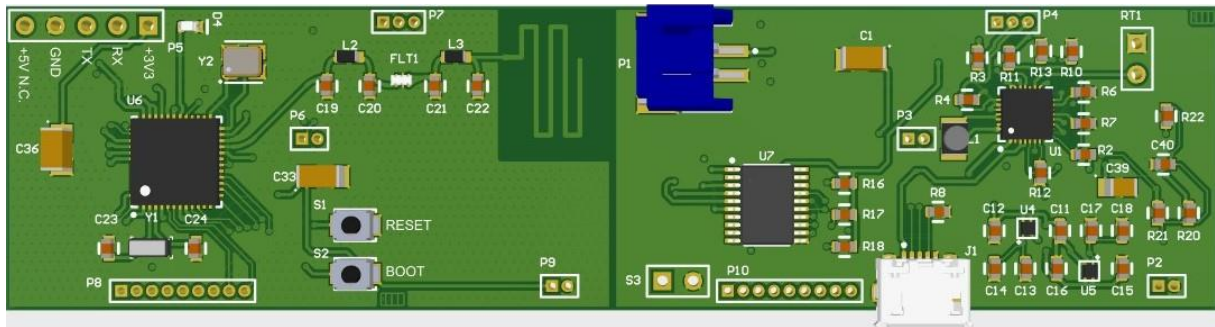


Figuur 9 Gehele PCB bovenkant

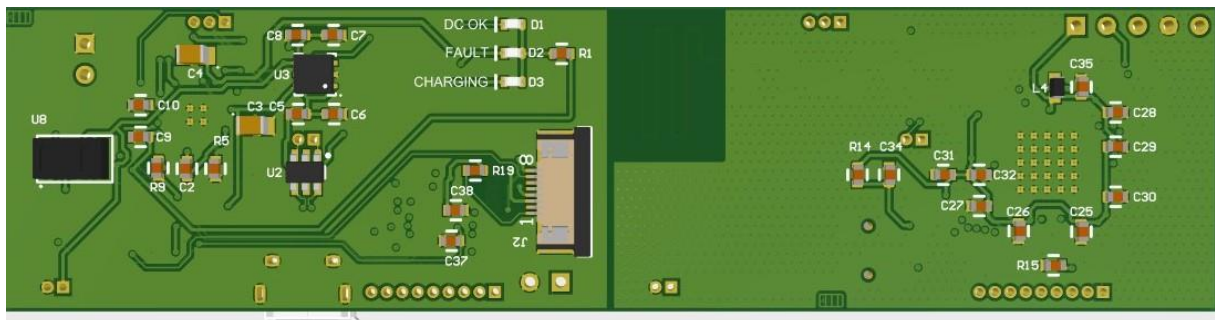


Figuur 13 Gehele PCB onderkant

Versie 2:

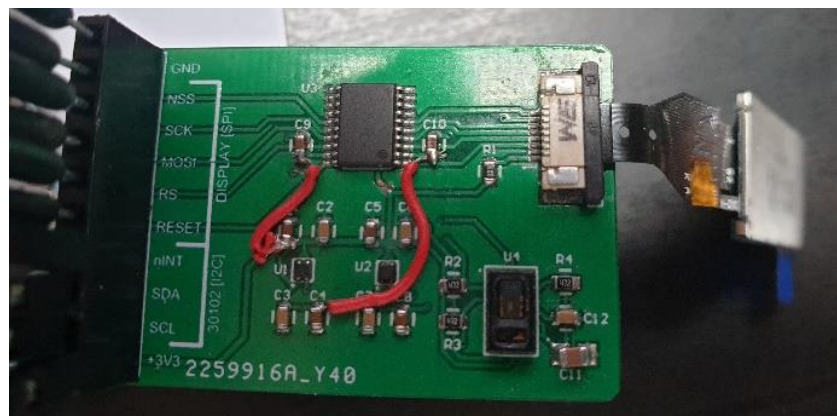


Figuur 14: Versie 2 PCB Design Voorkant

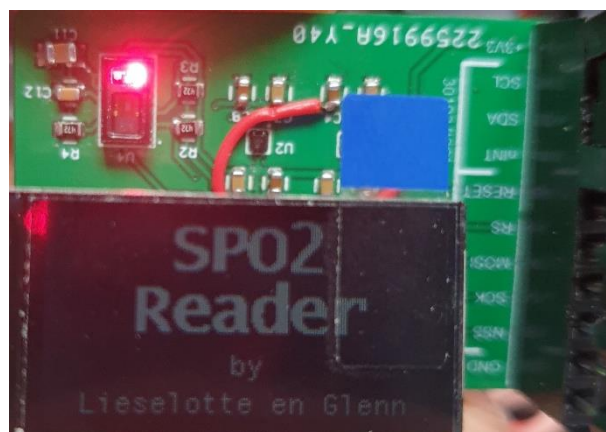


Figuur 15: Versie 2 PCB design Achterkant

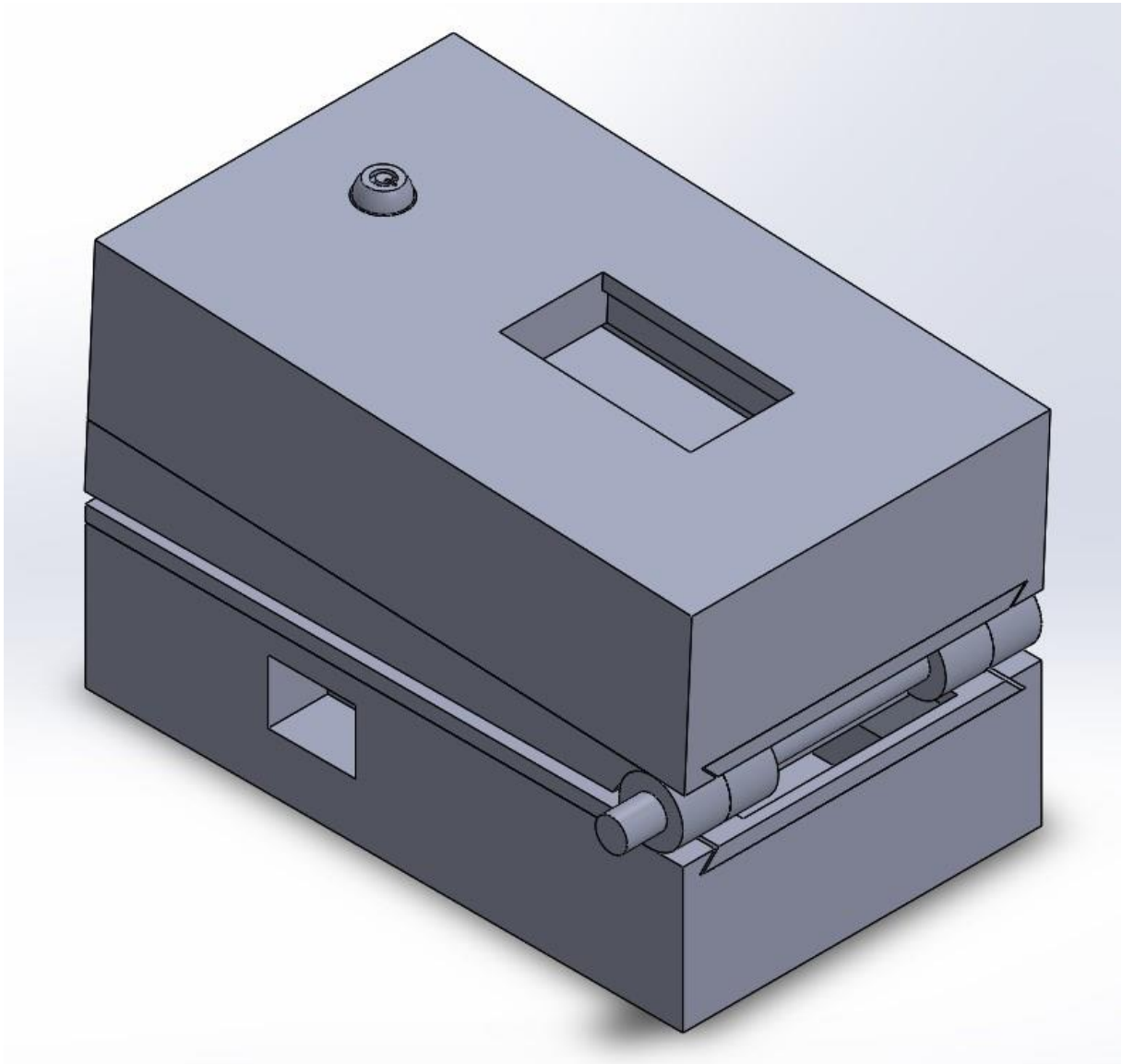
Breakout Board:



Figuur 16: PCB Breakout Board



Figuur 17: Breakout Board met werkend OLED en MAX30102



Figuur 18: Behuizing CAD

Software

SpO₂-Sensor

De “MAX30102-sensor” is een chip, waarmee men de hartslag en het O₂-saturatiegehalte kan meten, en dit door middel van een IR en RED led.

In de software voeren we verschillende configuraties uit voor de chip.

Vooreerst dienen de interrupts, die we wensen te gebruiken, ingeschakeld te worden, omdat deze standaard uitgeschakeld staan.

Vervolgens starten we de sensor op, hierbij wissen we alle informatie die zich in de FIFO registers bevindt; hiertoe behoren: FIFO write pointer, FIFO read pointer, FIFO overflow en FIFO data.

Als laatste stap van de configuratie, stellen we de waarden in waarmee we de chip willen gebruiken.

Voor onze toepassing geldt:

Sample Average	8
Mode	SPO ₂
ADC RGE	4096
SPO2 sample rate	400
Led Puls width	118
Led Amplitude	0x7F = ...mA
Temp_en	enable

Hieruit volgt dat we 50 samples per seconde zullen inlezen.

$$\text{SpO}_2 \text{ sample rate} / \text{Sample Average} = \text{sample per seconde}$$

Tenslotte wachten we nog op eventueel binnenkomende interrupts.

Omdat we de modus SpO₂ gebruiken (en dus niet enkel de hartslag), moeten we de temperatuur van de chip kennen.

Het is belangrijk dat we deze waarde kennen omdat de temperatuur invloed heeft op de golflengte van de rode LED, en bijgevolg ook op de door ons ingelezen data.

Omdat we Temp_en hebben ingeschakeld in de configuratie, zal de chip de temperatuur meten en een interrupt sturen wanneer de data klaar zijn om uit gelezen te worden.

De temperatuur wordt opgeslagen in 2 registers. Het eerste register bevat het geheel getal (INT) en het tweede register bevat het kommagetal (FRAC). We voegen deze 2 waarden bij elkaar door de formule uit de datasheet.

$$T_{\text{gemeten}} = \text{INT} + \text{FRAC} * 0.0625$$

De data van de MAX30102 worden opgeslagen in een FIFO register. Dit register is 6 bytes diep en kan 32 samples opslaan. Wanneer we dit register willen lezen, moeten we eerst weten hoeveel samples er aanwezig zijn. We kijken daarom naar het adres dat de Read pointer en de Write pointer aanwijzen.

$$\text{Aantal leesbare samples} = \text{WritePtr} - \text{ReadPtr}$$

De lezing van 1 sample vergt 6x lezing op dezelfde plaats in het register. De Read pointer bij dit register wordt verhoogd bij elke eerste byte die wordt gelezen van de 6.

De data, die we op deze manier uit de chip lezen, plaatsen we vervolgens in een buffer, zodat we ze erna kunnen gebruiken voor de berekeningen.

Vooreerst gaan we 4 seconden data, zijnde 200 samples, analyseren. Zo wordt er een signaal range vastgesteld, waar we de volgende berekeningen zich op baseren. Vervolgens wordt om de seconde een nieuwe berekening uitgevoerd.

Interrupts MAX30102

Er zijn 5 verschillende interrupts die kunnen worden opgeroepen, deze zijn onderverdeeld in 2 registers. In de datasheet is terug te vinden welke interrupts waar staan. De chip trekt de interruptlijn laag, waarna men de registers gaat lezen om te zien welke interrupt hier voor heeft gezorgd.

1. A_FULL, dit is de FIFO Almost Full Flag.
Op het ogenblik dat in de FIFO nog maar een bepaald aantal vrije plaatsen over blijven voor samples, wordt deze interrupt opgeroepen. Men kan zelf instellen vanaf welk aantal vrij overblijvende plaatsen de interrupt wordt opgeroepen (in FIFO_A_FULL[3:0]).
2. PPG_RDY
Deze interrupt staat voor New FIFO Data Ready.
Telkens wanneer een nieuwe sample aanwezig is wordt deze interrupt gezet.
3. ALC_OVF
Deze interrupt staat voor Ambient Light Cancellation Overflow.
Dit wordt getoond vanaf het ogenblik waarop te veel licht de output van de ADC beïnvloedt.
4. PWR_RDY
Bij opstarten en bij een brownout conditie wordt deze interrupt aangezet vanaf het ogenblik waarop we opnieuw data kunnen lezen.
5. DIE_TEMP_RDY
Deze interrupt staat voor Internal Temperature Ready Flag.
Wanneer de temperatuur is gemeten en kan worden uitgelezen, zal deze interrupt gezet worden.

Al deze interrupts worden gecleared wanneer het register van de interrupt gelezen wordt.

OLED scherm

We gebruiken een OLED scherm met een ST7735S driver.

Wanneer we het OLED scherm willen gebruiken moeten we het scherm aanzetten, initialiseren en aangeven op welke coördinaten we data naar het scherm willen schrijven. We hebben het scherm ingedeeld in aparte vakjes, zodat we niet altijd het gehele scherm moeten overschrijven, maar uitsluitend de delen die veranderen.

Bluetooth

We maken gebruik van BLE oftewel Bluetooth Low Energy.

Allereerst moet er verbinding gemaakt worden tussen de app en de PCB. Wanneer dit gelukt is zal er om de minuut een update van de hartslag & saturatie gestuurd worden naar de app. Deze app houdt dan de data bij.

We gebruiken de sequencer om dit uit te voeren. Zo zorgen we dat er geen data verloren gaat en dat het programma efficiënter kan functioneren.

Elke minuut wordt er data van de μ C naar de app gestuurd.

Er worden 4 bytes naar de app gestuurd, 2 bytes voor de timestamp en dan 2 bytes voor de waarde van Hartslag en de Saturatiewaarde.

BLE

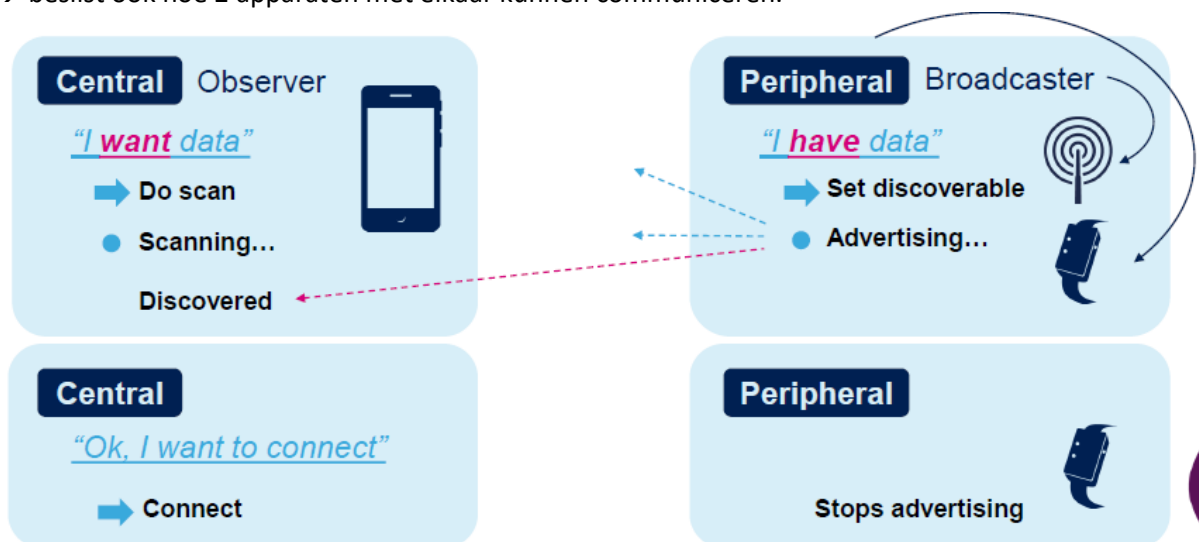
Bluetooth Low Energy is een wireless streaming van data.

Basis principes:

GAP layer

→ controleert 'advertising' en 'connections', dit zorgt er voor dat het apparaat zichtbaar is voor de buitenwereld.

→ beslist ook hoe 2 apparaten met elkaar kunnen communiceren.

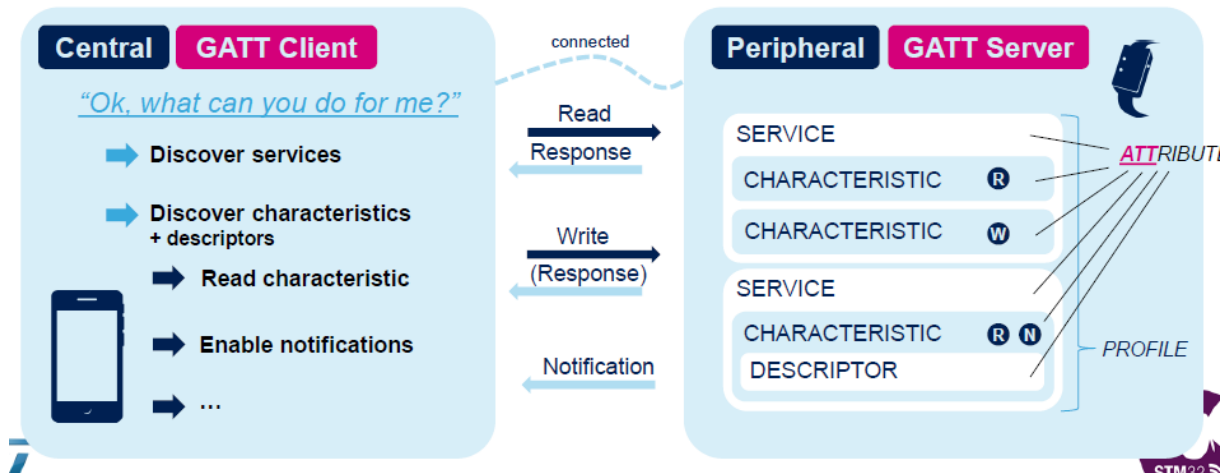


Figuur 19: GAP Layer

GATT:

Generic Attribute Profile

→ definieert hoe 2 BLE apparaten met elkaar data uitwisselen.



Figuur 20: GATT Layer

Voegt een data model en hiërarchie toe op de ATT

GATT service is een container voor logische gerelateerde data items.

GATT characteristics zijn logisch gerelateerde data items binnen in 1 service.

ATT:

Attribute Protocol

Cliënt/server protocol, vormt de basis van de data uitwisseling in BLE applicaties.

De server biedt data aan op request van de cliënt.

De server data worden opgeslagen in de 'attribute table', deze bevat een serie van records van verschillende types. De belangrijkste zijn 'services' en 'characteristics'

ATTRIBUTE =

- 16-bit **handle**, an identifier used to access the attribute
- 16-bit or 128-bit **UUID** which defines the attribute **type and nature of the data** in the value
- **value** of a certain **length** (bytes)
- permissions (read, write,...)

For ATT just an array of bytes stored in a table, data logic and hierarchy given by GATT and app layer

Figuur 21: Attribute

De naam van de server, in dit geval onze microcontroller, kunnen we zelf instellen. Hier is de naam "98-NODE". Dit is de naam waarmee we verbinding moeten maken op de gsm.

Voor de BLE gebruiken we de sequencer/ scheduler als een basic task manager.

De AD structuur van het BlueST Protocol:

Dit heeft een bepaalde formatting die we moeten respecteren.

Length	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	4 bytes	6 bytes
Name	Length	Type	Protocol Version	Device Id	Feature Mask	Device MAC (optional)
Value	0x07/0xD	0xFF	0x01	0XX	0XXXXXXXX	0XXXXXXXXXXXXX

Figuur 22: AD structuur BlueST Protocol

Wanneer je hier een custom bord gebruikt, moet je een device ID gebruiken, die nog niet aangewezen is.

Feature mask geeft informatie over de aard van de data die door het bord worden uitgestuurd.

De STM heeft er hier 32 voorgeprogrammeerd. Wij gebruiken de 'temperature' feature mask, omdat die manier waarop data gestuurd worden het meest aansluit bij ons project.

Temperature/second temperature

Default characteristic: 0x00040000-0001-11e1-ac36-0002a5d5c51b/0x00010000-0001-11e1-ac36-0002a5d5c51b

Feature mask bit: 18/16

Description: get the temperature

Table 47. Temperature data format

Bytes	Description
0	Timestamp
1	
2	Temperature*10
3	

Figuur 23: Feature Mask

De CubeMX genereert reeds de meeste code voor de BLE. Wij moeten wel nog onze eigen applicatie hieraan toevoegen. (onze eigen applicatie dient hier nog aan toegevoegd.)

We voegen dus zelf een GATT toe. Hierin geven we aan welke soort data we willen sturen/ontvangen.

We voegen een scheduler task toe en registreren die onder een bepaalde prioriteit. Zo ook is er een timer, die er voor zorgt dat de gestuurde data slechts om de minuut worden gestuurd. D

Deze timer is ingesteld op 1 minuut, dit vereenvoudigd het testen.

Kwaliteitscontrole

Problemen/Oplossingen:

Probleem:	Oplossing:
Batterij wordt kortgesloten als men probeert op te laden.	Tijdelijk: 5V Trace naar batterij management chip doorgesneden.
STM32WB55 kan niet consistent geprogrammeerd worden (componenten kunnen hierdoor niet getest worden)	Tijdelijk: Breakout board voor randapparatuur gemaakt.
De level shifter gaf geen signaal door.	VCCA en VCCB moesten gewisseld worden → Level shifter werkt.

Besluit

Het was een interessant maar moeilijk project. Enigszins hebben we veel bijgeleerd, zeker over PCB design, bestukken en de medische wereld in de elektronica. De moeilijkheid lag bij ons bij time Management. We waren op tijd begonnen en vonden dat we goed op schema zaten maar dan hebben we een paar tegenslagen tegengekomen met de hardware waardoor we eigenlijk pas heel laat de code hebben kunnen testen en daar bleek dan ook nog vanalles fout te gaan.

We vonden het beiden wel een aangename samenwerking omdat we over de gehele lijn toch op dezelfde golflengte zaten.

We onthouden voor de volgende projecten om sneller een plan B achter de hand te houden.

Bijlagen

Lijst afbeeldingen

Figuur 1: Uitgebreid blokschema	4
Figuur 2: Versie 1 POWER schema	7
Figuur 3: Versie 1 TOP schema	7
Figuur 4: Versie 1 IO Schema	8
Figuur 5: Versie 1 STM schema	8
Figuur 6: L1 aanpassing	9
Figuur 7: Breakout Board Schema	10
Figuur 8 PCB Onderkant, achterkant	11
Figuur 9 Gehele PCB bovenkant	11
Figuur 10 PCB Onderkant, voorkant	11
Figuur 11 PCB Bovenkant, achterkant	11
Figuur 12 PCB Bovenkant, voorkant	11
Figuur 13 Gehele PCB onderkant	11
Figuur 14: Versie 2 PCB Design Voorkant	12
Figuur 15: Versie 2 PCB design Achterkant	12
Figuur 16: PCB Breakout Board	12
Figuur 17: Breakout Board met werkend OLED en MAX30102	12
Figuur 18: Behuizing CAD	13
Figuur 19: GAP Layer	16
Figuur 20: GATT Layer	17
Figuur 21: Attribute	17
Figuur 22: AD structuur BlueST Protocol	18
Figuur 23: Feature Mask	18

Bronvermelding

MCU:

<https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32wb55cg.pdf>

Battery management chip:

<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX8903-MAX8903Y.pdf>

+3V3 voltage regulator:

<https://www.st.com/resource/en/datasheet/ld39050.pdf>

+1V8 & +2V8 voltage regulator:

<https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/MIC5501-02-03-04-300mA-Single-Output-LDO-in-Small-Packages-DS20006006B.pdf>

Band-pass filter:

<https://www.murata.com/en-global/api/pdfdownloadapi?cate=luLCBalancedFilter&partno=LFB182G45BG4D268>

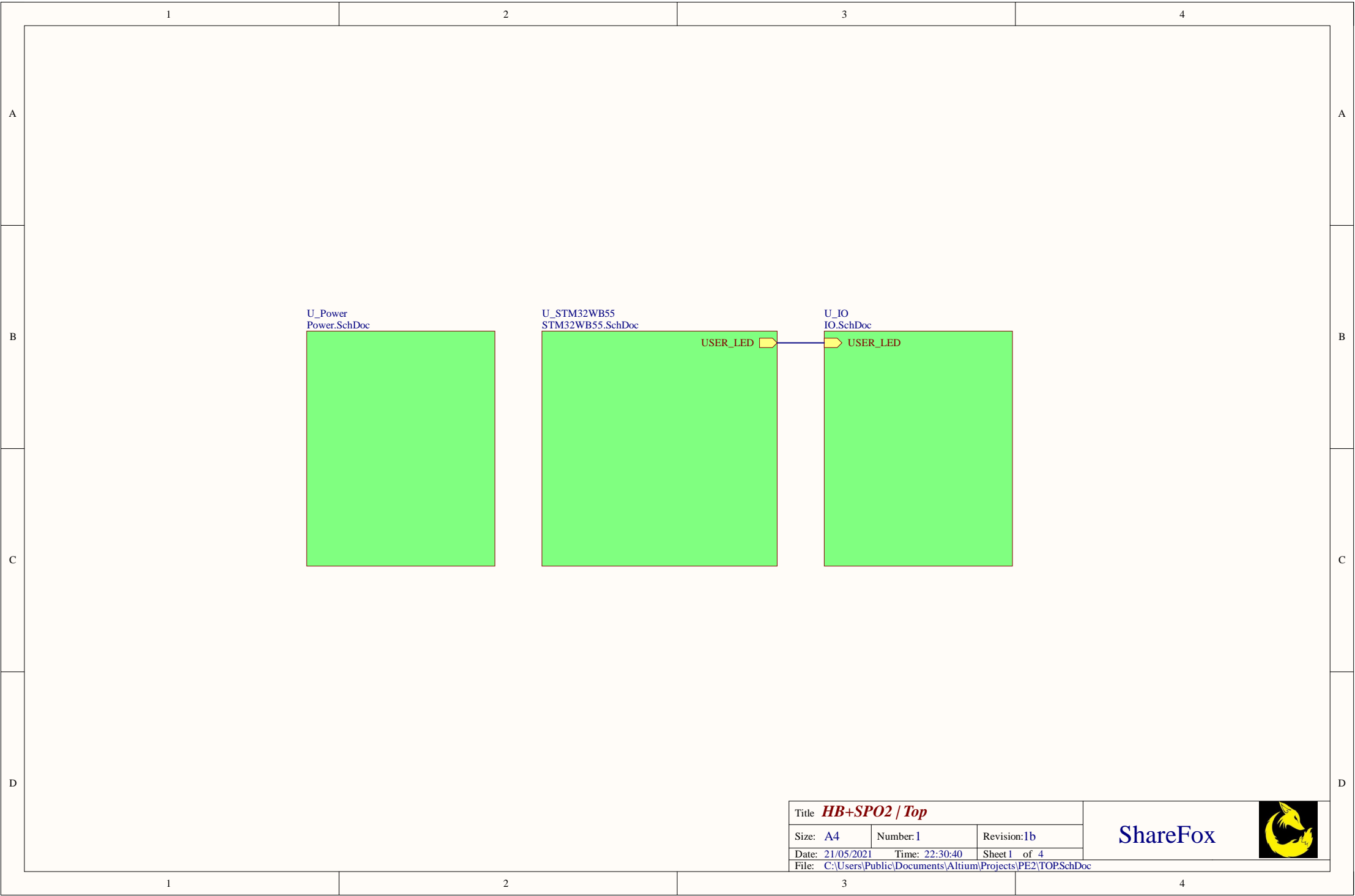
Voltage level shifter

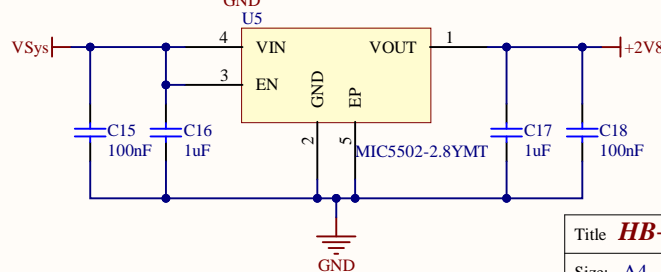
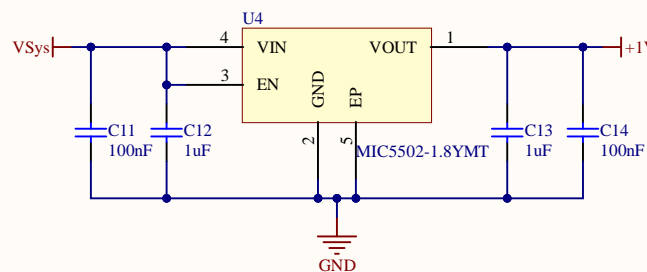
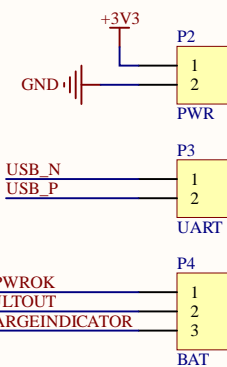
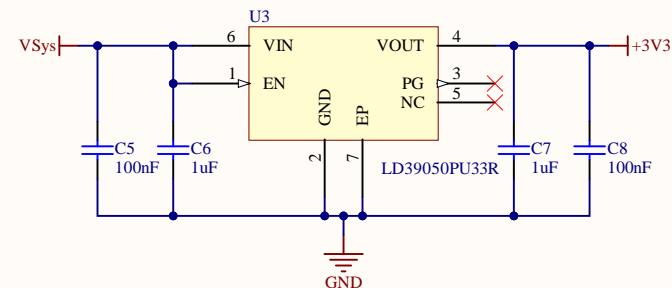
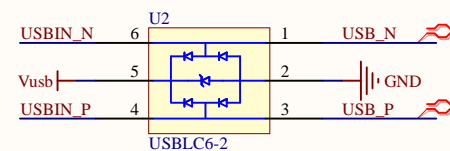
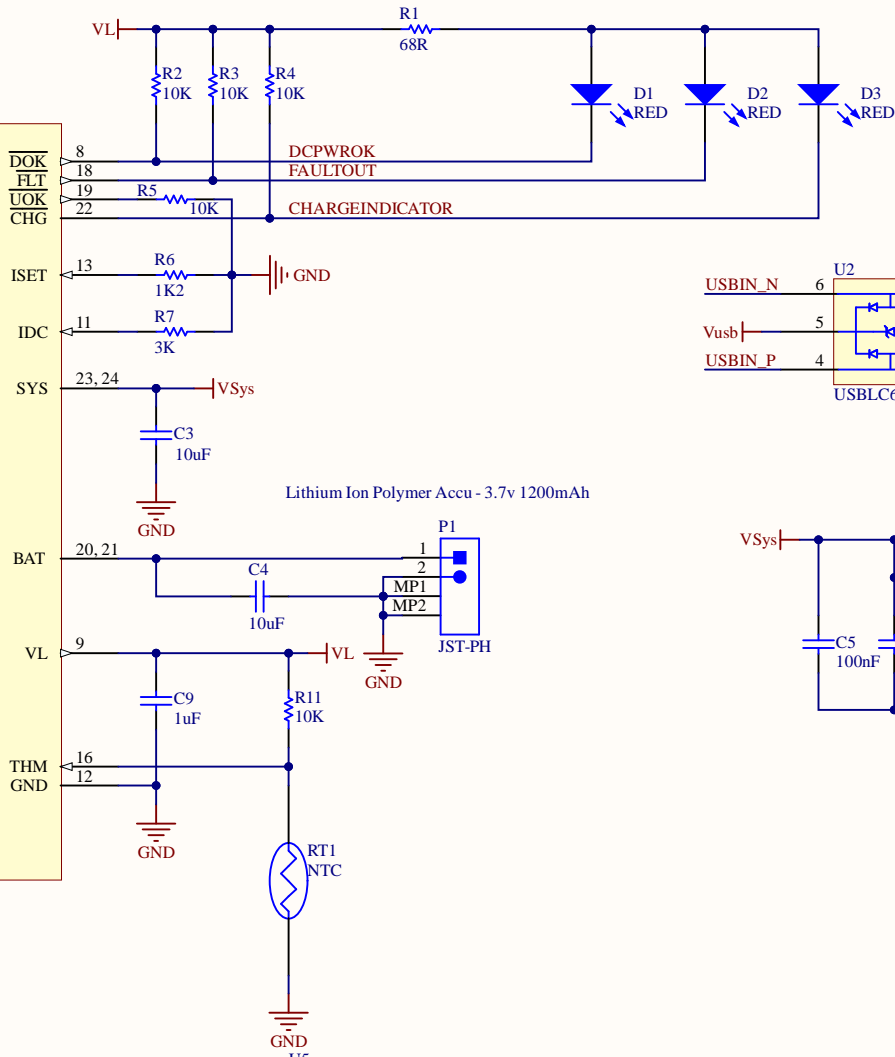
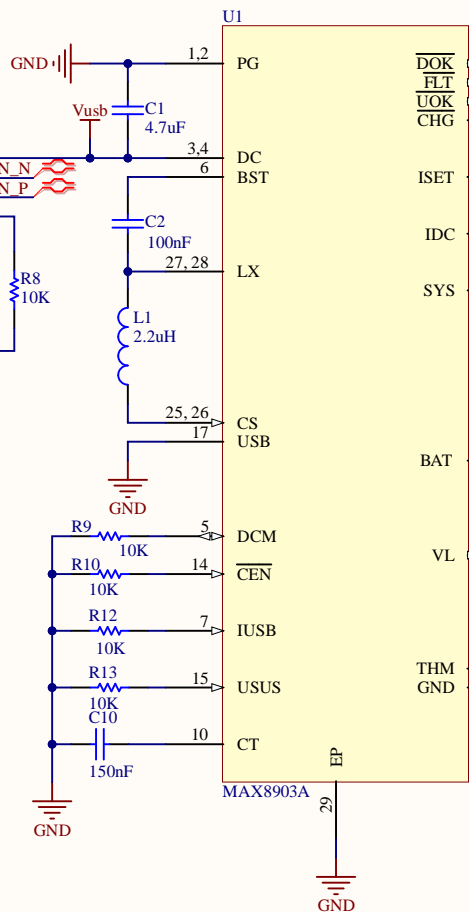
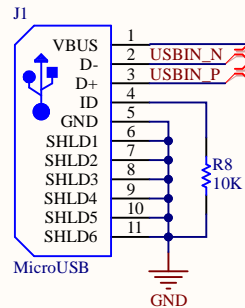
<https://www.ti.com/lit/gpn/TXB0108>

Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor:

<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX30102.pdf>

https://www.st.com/resource/en/user_manual/dm00550659-getting-started-with-the-bluest-protocol-and-sdk-stmicroelectronics.pdf





Title HB+SPO2 / Power		
Size: A4	Number: 2	Revision: 2
Date: 21/05/2021	Time: 22:30:40	Sheet 2 of 4
File: C:\Users\Public\Documents\Altium\Projects\PE2\Power.SchDoc		

ShareFox



