

Examensarbete

Mekatronikingenjör 180 hp

Elektroingenjör 180 hp



Combolt (Bluetooth Integrering)

Examensarbete 15 hp

Halmstad 2022-09-02

Najmeddin Mardini och Fadi Airout

Sammanfattning

Arbetet handlar om att utveckla en befintlig produkt på ett företag. Produkten är en AnyBus Communicator som används för att koppla upp två seriella enheter som har olika industriella nätverksgränssnitt. Utvecklingen innebär att kombinera befintliga produkten med en BLE-modul och en antenn.

Idag sker kommunikationen med en Ethernet-kabel. Målet med projektet är att designa en krets för BLE-modulen som skall integreras i produktens PCB. Målet omfattar också att呈现出 ett val av antenn och en plasttyp för antennkapsling som kan användas i framtida utvecklingen för produkten.

Arbetet inleddes med utvärdering av BLE-modulen, där ett kommunikationstest utfördes för att testa BLE-modulens egenskaper. Ett antal tester genomfördes med hjälp av nätverksanalysator för att kunna välja en lämplig antenn utav tre olika antenner. Antennerna testades med två olika plasttyper som är designade med hjälp av Solidworks, för att senare呈现出 ett val av plasttypen som skall användas under alla tester i utvecklingsprocessen. Att呈现出 ett elschema och PCB för den trådlösa AnyBus Communicator var ett mål för projektet. Eftersom det inte var möjligt att kombinera BLE-modulen med produkten i samma PCB, bestämdes det att designa egen krets för BLE-modulen som illustrerar hur den skall kopplas till produkten i framtiden.

Projektet resulterade i ett förslag både på en antenn och plasttyp. En prototypkrets har även designats för BLE-modulen.

Antennens och plasttypens val baserades på bästa värde vid mätning av returförlustvärdet. Plasttypen som valdes kommer inte att användas i den färdiga produkten, utan det är ett sätt att testa antennfunktionalitet mot 3D printade plast. Det anses vara en billigare lösning som ger ett liknande resultat jämfört med kapslingen som används i produkten. En färdig design på kretskortet har genomförts men kunde inte testas på grund av att företaget har en besvärlig situation att få in vanliga produktionskort i dagsläget. Därför kan slutsatsen dras att arbetet hade relevanta förslag och var ett steg i utvecklingsprocessen.

Abstract

The work is about developing an existing product in a company. The product is AnyBus Communicator used to connect two serial devices with different industrial network interfaces. The development involves combining the existing product with a BLE-module and an antenna. Wireless technology opens up various possibilities and plays a significant role in complex environments. Today, communication occurs through an Ethernet cable. The project's goal is to design a circuit for the BLE-module integrated into the product's PCB. The goal also includes presenting a choice of antenna and a plastic-type for antenna enclosure that can be used in future development of the product. The work began with the evaluation of the BLE-module, where a communication test was performed to test the BLE-module's properties. Several tests were performed using Network Analyzer to select a suitable antenna from three different antennas. The antennas were tested with two different types of plastic designed using Solidworks, to present a choice of the type of plastic to be used during all tests in the development process. Presenting an electrical schematic and PCB for the wireless AnyBus Communicator was a goal of the project. Since it was impossible to combine the BLE-module with the product in the same PCB, it was decided to design a separate circuit that illustrates how the BLE-module will be connected to the product in the future. The project resulted in a proposal for both an antenna and a plastic-type. A prototype circuit has also been designed for the BLE-module. The choice of antenna and plastic-type was based on the best value when measuring return loss values. The type of plastic chosen will not be used in the finished product but is a way to test antenna functionality against 3D printed plastics. This is considered to be a cheaper solution that gives a similar result compared to the enclosure used in the product. A finished design of the circuit board has been implemented. However, it could not be tested due to the company having a difficult situation to produce ordinary circuit. Therefore, it can be concluded that the work had relevant proposals and was a forward step in the development process.

Förord

Projektet har varit lärrikt på många sätt, dels för att vi fått känna på att praktiskt arbeta på ett företag och för att vi fått fördjupad kunskap inom vårt utbildningsområde. Vi vill tacka våra handledare Struan Gray, universitetslektor i Halmstad Högskola.

Vi vill också tacka Andreas Hast och Robert Grasserbauer, ingenjörer på HMS, för handledning under projektets gång. Ett stort tack till Erik Gredvall, Group Manager Hardware HMS, för stort engagemang och vägledning genom projektet. Dessutom vill vi tacka all övrig personal på HMS som hjälpt till på olika sätt och för att ni har fått oss att känna oss välkomna.

Innehållsförteckning

1. Introduktion	1
1.1 Projektbeskrivning.....	1
1.2 Syfte och mål.....	1
1.3 Arbetsplan	2
1.4 Avgränsning	2
1.5 Kravspecifikation	2
2. Bakgrund	3
2.1 Företag.....	3
2.2 Systemöversikt	3
2.3 Utvecklingskort	3
2.4 AnyBus Communicator.....	4
2.5 BLE-Modul BL654	4
2.6 Antennvarianter	5
2.7 Altium NEXUS	6
2.8 OrCad	6
2.9 nRF Connect.....	6
2.10 Liknande projekt.....	6
4. Teori	9
4.1 Bluetooth Low Energy	9
4.2 Seriella Kommunikationsprotokoll	10
4.3 Programmering	11
4.3.1 SmartBasic programmeringsspråk.....	11
4.3.2 AT kommando	11
4.4 Return Loss test (S11)	12
4.5 PCB Design	13
5. Metod	15
5.1 Metodbeskrivning.....	15
5.1.1 Förändringar i projektet	15
5.2 Utvärdering av BLE-modulen	15
5.2.1 Förstudie	16
5.2.2 Bluetooth-Kommunikationstest.....	16

5.2.3 Temperatursensorprogram	18
5.2.4 Simulering av kommunikationstest mot en trådlös sensor	18
5.4 Testning och verifiering av antennvalet	19
5.5 Val av seriellt protokoll	20
5.6 Elschema	20
5.7 Val av komponenter	21
5.8 Simulering av elschemat	22
5.9 PCB	23
6. Resultat.....	25
6.1 BLE test.....	26
6.1.1 Utvecklingskort anslutning	26
6.1.2 Mobiltelefonanslutning	26
6.1.3 Temperatursensorprogram	27
6.1.4 Simulering av kommunikationstest mot en trådlös sensor	28
6.2 Verifierings av antenn valet.....	29
6.2.1 Resultat av FlexNotch antenntest	29
6.2.2 Resultat av FlexPIFA antenntest	30
6.2.3 Resultat av Maglayers PCA antenn	31
6.2.4 Sammanställning av antenntester.....	31
6.3 BLE-Modulkretsen	31
6.3.1 Elschema.....	32
6.3.2 Simulering av elschemat.....	33
6.3.3 PCB design	36
7. Diskussion.....	39
7.1 Sociala, ekonomiska, miljö och säkerhetsaspekter.....	40
8. Slutsats	41
8.1 Förslag till vidare utveckling.....	41
9. Referenser	43
10. Bilagor	47

Tabelllista

Tabell 1: Utförd arbete	25
Tabell 2: Returförlustvärde för antenntester	31

Nyckelord

- UWterminalx – Inbyggda felsökningsfunktioner
- BLE – Bluetooth low energi
- UART – Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
- PCB – Printed Circuit Board
- MCU – Microcontroller unit
- RTC – Real-Time Clock
- I2C – Inter-Integrated Circuit
- SPI – Serial Peripheral Interfaces
- QSPI – Quad Serial Peripheral Interfaces
- AT Kommando – Attention Kommando
- SWR – Standing-Wave Ratio
- VSWR – Voltage Standing Wave Ratio

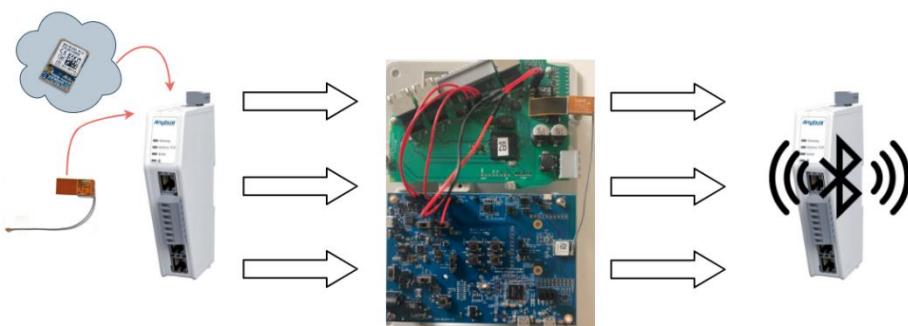
1. Introduktion

1.1 Projektbeskrivning

Projektet är en del av produktutveckling i ett företag som heter HMS. Företagets produkter möjliggör att hårdvara som robotar, motorstyrning, generatorer med mera, kan kommunicera med olika system och programvara. Produkten är AnyBus Communicator som kan konvertera nästan alla seriella protokoll såsom Modbus RTU, Modbus ASCII och även anpassade protokoll. Syftet är att koppla ihop seriella enheter med industriella nätverk. AnyBus Communicator har Ethernet-portar för att kunna överföra data genom en Ethernet-kabel. I behov av trådlösa teknologier som erbjuder bra lösningar vill HMS utveckla produkten genom att kombinera den med en radiochiplösning, för att kunna kommunicera trådlöst med industriella produkter och nätverk. Det är flertal undersökningar, studier och tester som ingår i utvecklingsprocessen innan en färdig produkt bestäms. Detta examensarbete utgår från ett modem och en antenn som ligger på ett utvecklingskort, det omfattar två delar, dels att utvärdera modemetts egenskaper för att det skall kunna integreras med produkten, dels att studera antennsignaler och testa dess funktionalitet mot olika plastkapslingar för att trådlös kommunikation sker på bästa möjliga sätt.

1.2 Syfte och mål

Syftet med arbetet är att bidra till utveckling av företagets produkt. Det kommer att gynna produkten då den skall kunna kommunicera trådlöst med industriella produkter och nätverk. Målet är att呈现出 ett elschema för modemkretsen och ett val av både antenn och plasttyp för att senare ta fram en prototyp på nya produkten. Figur 1 visar ett diagram över utvecklingsprocessen, där utvecklingskortet (nedersta kortet) visas tillsammans med AnyBus Communicator (översta kortet).



Figur 1: Utvecklingsprocess (Integrering av BLE-modul och antenn i AnyBus Communicator - Utvecklingsfast – AnyBus Communicator med Bluetooth-teknologi)

1.3 Arbetsplan

Planen har börjat med en undersökningsfas, då det är ett nytt område och nya material att bekanta sig med. En lösning hittades så att den bästa seriella kommunikationen mellan BLE-modulen och produkten kan användas för att integrera BLE-modulen i schemat av produkten. Projektet hade en programmeringsdel som användes för att utvärdera olika funktionalitet i BLE-modulen. Antenntester mot en plastkapsling utfördes för att skapa en bild om hur bra produkten kan kommunicera trådlös med andra enheter, och för att presentera ett val av både antennen och plasttypen.

Dessutom ett elschemaförslag av kopplingen presenterades som en bas för att gå vidare i produktutvecklingen. Till resurser så hade HMS ansvaret för nästan all utrustning och kostnader men möjligheten fanns också för att använda utrustning på högskolan. En avstämning av hur arbetet kunde genomföras i tid, samt delar som blev annullerade under projektgången visas på tidsplanen, se Bilaga H.

1.4 Avgränsning

Projektet hade en begränsad tid och begränsade resurser. Arbetet födröjdes innan introduktionen till materialet kunde utföras, då hårdvaruteamet har en begränsad tillgänglighet. Resurserna var begränsade till att omfatta hårdvarudelen, det är därför utvärdering av modemets och antennens egenskaper har varit huvudfokus i projektet.

1.5 Kravspecifikation

En BLE-modul från Laird Connectivity användes i detta examensarbete, dessutom undersöktes tre olika antenner. BLE-modulen och antennerna studerades för att användas i framtida utveckling. Ett elschema designades och en antenn valdes enligt kraven, se Bilaga A. Under projektgång hade vissa krav annullerats och en hel del ändringar bestämdes i projektet jämfört med projektplanen. Tanken var att skapa en lösning som skall integreras i AnyBus Communicators PCB. Men projektet begränsades så den omfattar en egen design av BLE-modulkretsen.

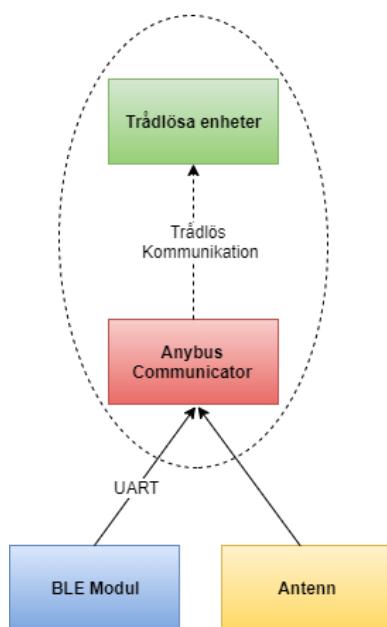
2. Bakgrund

2.1 Företag

HMS står för Hardware Meets Software [1]. Företagets produkter gör det möjligt för robotar, enheter, luftkonditioneringenheter eller sensorer att kommunicera. Deras data kan säkert nås, analyseras och visas i realtid, vilket låter användare övervaka, kontrollera och optimera industriell utrustning på ett säkert och enkelt sätt.

2.2 Systemöversikt

HMS vill ta fram en ny version av AnyBus Communicator. Tanken är att integrera produkten med Bluetooth-teknologi så den kommunicera trådlöst med andra seriella enheter. Systemet består av produkten AnyBus Communicator tillsammans med den integrerade BLE-modulen och antenn. Kombinationen erbjuder en trådlös hantering i industriella miljöer, se Figur 2.



Figur 2: Systemöversikt. Antennen och BLE-modulen kommer att integreras i produkten för att skapa trådlös kommunikation mot andra enheter.

2.3 Utvecklingskort

Projektet behöver flera undersökningar, BLE-modulen är monterad på ett utvecklingskort DVK-BL654 från Laird Connectivity [2]. Kortet tillhandahåller en plattform som syftar till att skapa trådlösa anslutningsprototyper mellan BLE-modulen och produkten.

Kortet är utformad så att den innehåller olika IC kretsar med olika funktioner och gränssnitt [3] exempelvis, en analog output temperatursensor, RTC med I2C gränssnitt och Atmel MCU. Det ger möjlighet att genomföra fler kommunikationstester.

2.4 AnyBus Communicator

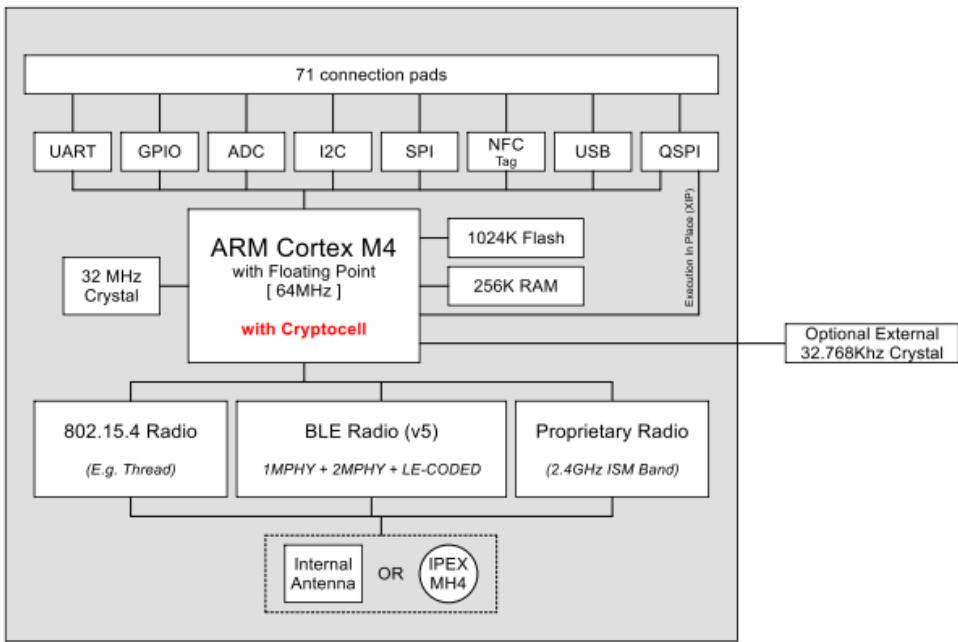
AnyBus Communicator är en av HMS produkter som används i att ansluta seriella enheter som till exempel drive, sensor eller streckkodsläsare till ett industriellt nätverk. AnyBus stödjer flera protokoll med en enda gateway, och nätverk som EtherNet/IP, Modbus TCP eller PROFINET (Modbus TCP förinstallerad) [4]. Genom att integrera Bluetooth i AnyBus Communicatorn och utveckla den till en produkt som kallas Combolt, kommer produkten att vara mer flexibelt i industriella nätverk. Med hjälp av AnyBus Communicator kan seriella RS232- eller RS485-baserade enheter integreras till ett industriellt kontrollsysteem utan programmering. Det finns andra versioner av AnyBus Communicator som företaget tillverkar, men detta projekt är inriktad mot AnyBus Communicator 2.0 som visas på Figur 3.



Figur 3: AnyBus Communicator 2.0.

2.5 BLE-Modul BL654

Modulen är en BLE-modul med Bluetooth low energy (BLE) v5.1. Den är baserad på nRF52840-chipset [5]. BLE-modulen är vald och inköpt av HMS och den har många fördelar. Den är programmerbar med tre alternativ SamrtBasic, AT Kommando och Nordic (SDK). BL654 har ett brett utbud av konfigurerbara gränssnitt [2] såsom UART, ADS, I2C och SPI. Figur 4 visar BL654 blockdiagram.



Figur 4: BL654 Blockdiagram över inre struktur till BLE-modulen BL654

2.6 Antennvarianter

Antenn är ett instrument som används i trådlösa system, antennen kan bli påverkad på flera faktorer. Det är tre olika huvudkomponenter som spelar betydande roll på dess funktionalitet: en antennkabel, antennsytan och produkten som tar emot signalen. I detta projektarbete skall fokus läggas på tre riktantennor, se Figur 5:

- FlexPIFA Antenn
- FlexNotch
- Maglayers PCA

Antennerna ovan stödjer tre band med WLAN-applikationer, inkluderat 6 till 7,125 GHz bandet [6]. Med denna arbetsfrekvens har antenner 1,6:1 spänningstående vågförhållande och -2,2 strålningseffektivitet, samt 50 (ohms) nominell impedans [7].



Figur 5: Antenner från vänster (FlexPIFA, FlexNotch, Maglayers PCA)

2.7 Altium NEXUS

Altium är en programvara som erbjuder en plattform och en arbetsmiljö för design av elektroniska kretsar. Altium Nexus [8] används av HMS, den gör att alla företagets komponenter och design är kopplade till en server, då kan alla ingenjörer i företaget komma åt servern för att bidra till utveckling av produkter.

2.8 OrCad

OrCad är en programvara för professionell PCB design och kretssimulering [33]. Den erbjuder en designlösning för att designa och dokumentera elektriska kretsar. OrCad används i detta examensarbete för att simulera den designade kretsen under projektgången.

2.9 nRF Connect

”nRF connect” är en mobilapplikation som låter användare skanna och utforska Bluetooth-enheter runt omkring, med hjälp av applikationen kan kommunikationen ske mellan mobiltelefon och BLE-modulen, samt data kan överföras trådlöst.

2.10 Liknande projekt

Det långsiktiga syftet med projektet är att implementera trådlös teknologi i HMS produkter vilket erbjuder hållbara lösningar som sparar på både energi och resurser. Detta gynnar produkter och gör att de blir ett bättre val i komplexa och kompakta system. Ett projekt vid University of Brescia [9] gjordes för att demonstrera hur trådlösa teknologier, speciellt Bluetooth, kan erbjuda lågkostnads-, energibesparande- och kompakte lösningar. Projektet baserades på att bygga ett trådlöst, kompakt och kostnadseffektivt sensornätverk för industriella applikationer där sensorerna läses av via Bluetooth-tekniken.

Ett Projekt vid ETH i Schweiz [10] liknar i princip detta projekt. Det gjordes en Bluetooth baserad prototyp som är inriktad mot sensornätverk. Vid anslutning till sensorerna skall de kunna dela information trådlöst. En BLE-modul har integrerats i en sensornätverksnod, utvecklad i det europeiska forskningsprojekt Smart-Its. Projektet innefattar elschema planering, val av lämpliga komponenter, PCB planering och komponent-placering. Flera aspekter har diskuterats i projektet allt från energiförbrukning, kommunikationshastighet till hinder vid användning av Bluetooth. Begrepp såsom piconet och scatternet har också förklarats i projektet. Piconet är ett nätverk som skapas genom att ansluta flera trådlösa enheter med hjälp av Bluetooth teknologi, medan scatternet är ett nätverk som ansluter flera piconets med hjälp av Bluetooth teknologi [11].

Detta examensarbete handlar om att implementera en Bluetooth-enhet i AnyBus Communicator. Ett elschema och PCB som stödjer modemet skall skapas för att integrera lösningen i produkten. Ett liknande projekt inom Bluetooth-teknik gjordes vid Högskolan i Halmstad [12]. Det baserades på en av HMS produkter så kallad Netbiter EC350. En BLE-modul implementerades i produkten och en lokal hemsida har skapats och kopplats till Netbiter. I projektet utvärderades olika BLE-moduler enligt egenskaper såsom dataöverföring, energiförbrukning och kostnader. En BLE-modul som är kompatibel med produkten har valts och implementerats. Den lokala hemsidan har designats som ett användargränssnitt så att användaren kan kontrollera kommunikationen mot andra enheter. Metoden Nielsens Heuristics [13] användes för att mäta användarvänlighet och effektivitet för användargränssnittet. Trots att projektet är inriktat mot mjukvara, liknar det projektet på flera sätt då det också handlar om att implementera Bluetooth i en produkt för att demonstrera systemets funktionalitet.

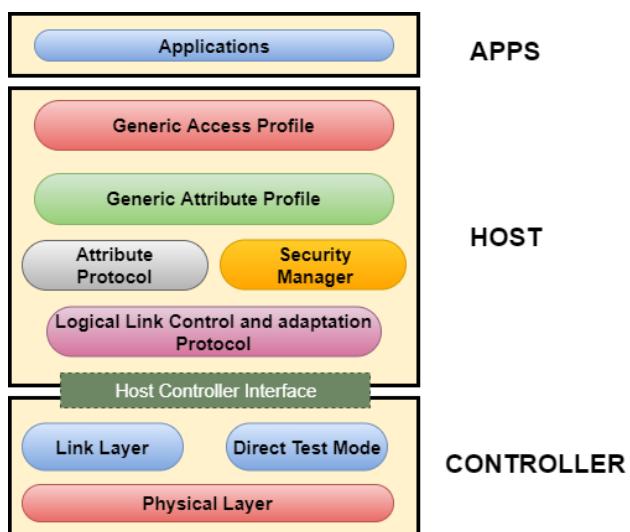
När det gäller utvärdering av antennegenskaper så har ett liknande projekt gjorts i Linköping University [14]. Projektet syftar på att välja en lämplig antenn för mätning av mikrovågläckage. Under projektet har fyra antenner utvärderats och ett antal mätningar för olika antenner gjorts med hjälp av nätverksanalysator. Alla tester genomfördes över ett visst frekvensområde 2,35–2,60 GHz. Arbetet redovisade utvärdering av båda kommersiella antenner med linjär polarisation och egendesignade antenner med cirkulär polarisation. I slutet redovisades mätresultat för antennerna som gjordes på mikrovågsugn, och examensarbete lede till ett val av en lämplig antenn för att mäta mikrovågläckage. Detta examensarbete handlade om utvärdering av tre linjära polarisationsantenner och undersökning av plastpåverkan på antennensignalen, för att senare ta fram en lämplig antenn som skall integreras med BLE-modulen i AnyBus Communicator.

4. Teori

4.1 Bluetooth Low Energy

Bluetooth är ett trådlöst kommunikationsprotokoll, den använder elektromagnetiska vågor för att skicka och ta emot data trådlöst. Den använder korta våglängder, Ultra Hög Frekvensvågor (UHF). Bluetooth Low Energy (BLE) introducerades först som Bluetooth 4.0, och användes i flesta applikationer som är drivna med låg strömförbrukning, där små mängder data överförs [15]. BLE och likaså Bluetooth Classic fungerar i samma frekvensband, nämligen 2.4 GHz i ISM (Industrial, Scientific and Medical) band. Till skillnad från Bluetooth Classic som driver 79 RF-kanaler, [15] BLE driver 40 RF-kanaler med 2 MHz bandbredd och 3 upptäckskanaler, vilket leder till en snabbare koppling jämfört med Bluetooth Classic. Det finns tre huvudblock i arkitekturen för BLE [15], se Figur 6:

- Applikation: är den högsta delen, och ansvarar för datahantering.
- Host: är lagret i mitten av diagrammet, i Host kontrolleras annonsering och skanning för att skapa förbindelser.
- Controller: den längsta lagret i arkitekturen, den ansvarar för radiodelen där data omvandlas i form av datapaket som skickas och tas emot.



Figur 6: Bluetooth-arkitektur

BLE enheter kan kommunicera antingen med **Broadcasting** (mellan Broadcaster och Observer) eller **Connection** (mellan Peripheral och Central) [16]:

Peripherla eller Broadcaster: en enhet som skickar ut radiopaket kallas för Broadcaster eller Peripheral. Till skillnad från Peripheral, tillåter Broadcaster inte anslutning mot en Centralenhets som Peripheral gör.

Central eller Observer: Central är en enhet som tar emot radiosignaler och skapar anslutning med en Peripheral enhet. Däremot kan Observer bara detektera Broadcaster enheter utan att initiera anslutning.

Broadcasting sker utan förbindelse och används i applikationer som har syftet att detektera enheternas existens. Broadcasting är inte lämplig för känslig information eftersom den inte har några säkerhet, medan Connection kräver förbindelse och anslutning är privat och kan skyddas.

4.2 Seriella Kommunikationsprotokoll

Seriell och parallell kommunikation är båda sätt att överföra data mellan en sändare och en mottagare. Data överförs i bitar och en seriell kommunikationsenhet skickar data i en kanal, en bit i taget. Däremot används flera kanaler i parallell kommunikation och alla bitar skickas samtidigt, en bit på varje kanal. Parallella enheter är snabbare men seriell kommunikation är lättare att implementera.

Seriellprotokoll används i projektet för att skapa en länk mellan BLE-modulen och produkten, den implementeras med mindre anslutningar än parallellprotokoll och data överförs i dubbelriktning. Den seriella kommunikationen där data överförs bit för bit kan vara synkront (Klock beroende signaler) eller asynkront (utan Klocksignal). BLE-modulen från Laird Connectivity har många alternativ av seriella gränssnitt för att skapa en länk med AnyBus Communicatorn exempelvis:

- **UART:** en krets som kan skapa ett seriellt gränssnitt till seriella enheter och tillhandhåller en datalänk RS-232C (Recommended Standard) mellan enheten och datorn [17]. Den kan vara synkront eller asynkront. Data överförs mellan Transmitter (Tx) och Receiver (Rx) [18].
- **SPI:** ett synkront gränssnitt, det möjliggör att flera enheter (slav) kan vara sammankopplade till en Masterenhets [19]. Fördelar med SPI är att kopplingen av flera enheter är tillåten.
- **I2C:** är tvålinjes kommunikation. Det är en halv duplex, synkront och multimaster buss [19]. I2C kräver två datasignaler [20], Data (SDA) och klocksignal (SCL) för att utföra dataöverföring och den använder adresserbar kommunikation.
- **QSPI:** ett synkront gränssnitt. Det är designat för kommunikation med minneskretsar [21] och används i applikationer med stor datamängd.

4.3 Programmering

4.3.1 SmartBasic programmeringsspråk

SmartBasic är ett programmeringsspråk som är baserad på C-språk. Det är designad för att både förenklar firmware-utveckling på trådlösa BLE-moduler och gör BLE (Bluetooth Low Energy) utveckling snabbare och enklare. Språket har en effektiv minnesanvändning vilket leder till ett billigt inbäddat system med begränsat RAM och minne [2]. Koden skrivas på ett Notepad++, som sedan kompileras på SmartBasic egen applikation som heter UWterminalx (inbyggda felsökningsfunktioner). Det finns tre olika alternativ läge att köra SmartBasic:

- Interaktivt läge: Kommando skickas via ett streaming-gränssnitt som är ofta via UART, och genomförs omedelbart.
- Programladdnings läge: Som används endast när plattform involverar kompilatorn i firmwarebilden.
- Körtid läge: använder programminnet för att läsa för-kompilerade SmartBasic-applikationer som hanteras på plats från flash (2, 22).

SmartBasic-modul använder två olika applikationstyper som körs vid olika tidpunkter:

- Autorun: \$autorun\$ är en applikation som körs vid start av SmartBasic modul om den hittas i modulen. Autorun-applikationer används för att skapa en trådlös anslutning, skapa ett komplett ansökningsprogram eller införa ett önskat tillstånd (2, 22).
- Nedladdningsapplikationer: Det är en applikation som körs vid användning av AT+RUN kommando eller programnamnet. Applikationen laddar in en SmartBasic modul som körs under kontroll av en extern process. Alla SmartBasic-moduler använder ett enkelt flash-filsystem för att spara data och applikationsfiler.

4.3.2 AT kommando

AT kommando står för Attention och dess kommando används för att kunna styra modemet. AT kommando är en mjukvara programverktyg som inleder med AT och avslutas med bokstäver a till r (ASCII-kod 0x0D) [22]. Det erbjuder gränssnitt som utför olika åtgärder såsom skicka/ta emot SMS, överföra data mellan olika enheter, hämta SIM-information som är ansluten till BLE-modulen och skanna efter tillgängliga nätverk. Figur 7 visar ett

exempel på AT kommando när ett textmeddelande skickas från en enhet till en annan.

```

1 //Rsetart module
2 AT+RST
3 //Check Version
4 AT+ GMR
5 //Check the SMS, Read SMS
6 AT+CMGL="ALL"
7 AT+CMGL=1 (Text mode)
8 //Send SMS
9 AT+CMGS="+4917677302346"
10
11

```

Figur 7: Användning av AT Kommando vid överföring av textmeddelande

4.4 Return Loss test (S_{11})

Returförlust är ett test för antennsignalen som visar hur mycket effekt som reflekteras från antennen. Den visar också hur väl effekten som läggs in i antennen stannar i antennen och ej reflekteras tillbaka från radion. Om $S_{11} = 0\text{dB}$ (decibel), det betyder att hela kraften har reflekterats från antennen och inget har utstrålat. Och om $S_{11} = -10\text{dB}$, det betyder att 3 dB har levererats till antennen och -7 dB har reflekterats. Det beskriver vilken del av effekten som reflekteras från antennen på grund av ööverstämmelse. Returförlust uttrycks som ett förhållande [23], se ekvation (1):

$$RL(\text{dB}) = 10 \log_{10} \frac{P_i}{P_r} \quad (1)$$

Returförlust beskriver hur bra kan båda enheter matcha med varandra. En hög returförlust är ett önskat värde och betyder en bra matchning. Returförlust är också relaterad för stående vågförhållande (VSWR) och reflektionskoefficient (Γ). Det vill säga att lägre SWR motsvarar ökande av returförlustvärde. Returförlust kan också definieras enligt förhållanden [24], se ekvation (2) och (3):

$$VSWR = \frac{1 + |S_{11}|}{1 - |S_{11}|} \quad (2)$$

$$Return LOSS = - |S_{11}| \quad (3)$$

4.5 PCB Design

PCB design är en kreativ och individuell process. Det finns regler som följs för att underlätta processen och ge en så effektiv design som möjligt. Varje design kommer att ha elektriska krav och genom att möta dessa krav kan elektriska prestanda hos designen förbättras. Det görs genom att följa olika regler inom följande aspekter [25]:

- Schema: PCB är en tillverkad version av schemat och därför påverkas den av schema och schematisk analys.
- Ledningar: Tjockleken på ledningar påverkar effektivitet, ledningar har resistans, induktans och kapacitans, och därför avleder de värme vid strömflödet.
- Komponentplacering: Det kan vara upp till 90% av arbetet [25]. Förutom att det underlättar koppling så kan komponentplacering vara en viktig del för elektrisk prestanda hos designen.
- Avstånd: För att undvika etsningsproblem och kortslutningar vid tillverkning. Vid högfrekvens kretsar kan problem såsom (Noise, crosstalk, ringing, signalreflektion, med mera) dyker upp på grund av otillräckligt Avstånd mellan ledarna.

Functional Building Blocks [25] är också en bra metod att följa när det gäller komponentplacering. Den innebär uppdelning av komponenter i grupper så att varje grupp tillhör samma delkrets så att man placerar och flyttar dem tillsammans som en komponent. Det gör designen mindre och utrymmeseffektiv.

5. Metod

5.1 Metodbeskrivning

Företaget hade för detta projekt två DVK-BL654 utvecklingskort från Laird Connectivity med inbäddad BLE-moduler BL654 och BL654PA, syftet är att kunna experimentera och bygga prototyper.

SmartBasic och AT Kommando användes i samband med UwTerminal för att skapa over-air koppling mellan två BLE-moduler, samt testa funktionalitet och programmeringsmetoder. Flera antenntester utfördes mot olika plasttyper för att kunna undersöka antennens egenskaper, samt ger ett rekommenderat val av antennen och plastkapsling.

Tanken är att undersöka BLE-modulen och demonstrera anslutningen med produkten, för att skapa preliminär bild på den nya produkten, då ett elschema och PCB skulle skapas och integreras i produkten.

5.1.1 Förändringar i projektet

En introduktion till företagets produkt och några andra hjälpmittel behövdes. På grund av den ökade vägen av Covid-19, jobbade företagets personal hemifrån, och då var det lite svårare att nå den delen av arbetet som var planerat. Därför bestämdes det att lägga fokusen på utvecklingskortet och BLE-modulen i stället för produkten.

Tanken är att specificera egenskaperna hos BLE-modulen, samla nyttig information som kan användas vidare i utvecklingen, samt ta fram en prototyp som presenterar den trådlösa lösningen i AnyBus Communicator. Den interna strukturen till produktprocessorn förhindrade integrering av modemkretsen i AnyBus Communicator. Det behövdes externa resurser, därför bestämdes det att designa ett eget kretskort som kan kopplas externt till AnyBus Communicator.

5.2 Utvärdering av BLE-modulen

Det bestämdes att utföra en bredd undersökning om Bluetooth och BLE-modulen BL654 eftersom tidigare erfarenheter saknades i detta område. Laird Connectivity som är tillverkaren till BLE-modulen har lagt ut omfattande dokumentation och applikationsanteckningar [6, 9, 22] som innehållar bland annat programmering, elektriska egenskaper och användarmanualer.

Företaget önskade att ett dokument skall skrivas för att samla all information som är relaterade till utvecklingen, och kan vara nyttig till framtida produkter.

Metoden utfördes för att skapa bättre bild om bland annat BL654, elektriska egenskaperna och programmering som har lagts i fokus i detta examensarbete, se Bilaga F som visar dokumentet.

Dessutom gjordes några experiment för att testa funktionaliteten hos BLE-modulen. Experimenten omfattade elektriska egenskaper, programmering, test av BLE-modulens pinnar och kommunikationstest. Nedan beskrivs vilka och hur experimenten gjordes.

5.2.1 Förstudie

Arbetet började med att försöka skapa en bakgrund över materialet, speciellt utvecklingskortet, samt vilka alternativ finns för att få i gång kortet och kommunicera med den.

Det visade sig att kommunikationen sker med SmartBasic, AT Kommando eller Nordic SDK. Programmering sker med UwTerminalx om man vill använda SmartBasic eller AT Kommando för att kommunicera med BLE-modulen.

5.2.2 Bluetooth-Kommunikationstest

Två test genomfördes för att skapa en Bluetooth-kommunikation mot andra enheter. Utvecklingskortet har kopplats till dator och matades via USB1, den ger tillgång till BL654 modulens fyra UART signaler (Tx, Rx, RTS, CTS). Kortet har konfigurerats på ett sätt som tillåter kommunikation mellan dator och BLE-modulens UART via UwTerminalx. Inställningarna gjordes på båda utvecklingskorten DVK-BL654 och DVK-BL654PA.

BL654 och BL654PA kördes på normalt läge. Det fanns två lägen att välja mellan [3] [5], ett normalt läge (1.7V – 3.6V) och ett högspännings läge (2.5 – 5.5V). Programmeringsspråk som användes är SmartBasic. Ett färdigt smartBasic program [2] användes från Laird hemsida som skapar AT Kommando-gränssnitt och gör att BLE-modulen kan interageras med AT Kommando.

Programmet har laddats på båda BLE-modulerna med hjälp av UwTerminal. Efter programladdning, skickades ett AT-kommando AT+LSCN [22] till ena BLE-modulen för att skanna och hitta adressen av den andra BLE-modulen. För att skapa kontakten mellan BLE-modulerna användes kommando som ATD med adressen till enheten som skall anslutas till, se Figur 8. När kontakten har skapats, kunde en text skickas från ena BLE-modulensterminal till den andra i en annan dator.



Figur 8: Kommunikationstest mellan två olika BLE-moduler. Ett textmeddelande skickades från ena enhet till den andra

En mobilapplikation ”nRF Connect” användes också för att skapa kontakt och skicka ett textmeddelande mellan telefonen och BLE-modulerna, se Figur 9. Denna test verifierar att programmet fungerar och att BLE-modulerna kan interagera.



Figur 9: Kommunikationstest mellan en enhet och nRF Connect mobilapplikation. Ett textmeddelande skickas från mobilen till en annan enhet

5.2.3 Temperatursensorprogram

En temperatursensor används i projektet för att säkerställa funktionalitet för pinnar på BLE-modulen. Sensorn läser av temperatur och skickar den till BLE-modulens analoga pinnar och en lysdiod tändes när temperaturen passerar en viss gräns. SmartBasic programmeringspråk används för att åstadkomma programmet, detta var också ett tillfälle för att skriva eget program som laddas i BLE-modulen, se Bilaga B.

5.2.4 Simulering av kommunikationstest mot en trådlös sensor

För att visualisera dataöverföring mellan BLE-modulen och produkten AnyBus Communicator, var det ett krav att simulera den trådlösa kommunikationen mot en trådlös sensor. En simulering till systemet som visas i Figur 2 har utförts med hjälp av en Arduino UNO och en LCD skärm. Simuleringen innefattar två BLE-moduler, den ena användes som en trådlös temperatursensor och den andra är kopplad till Arduino UNO, se Figur 10. Ett program skrevs för Arduino UNO som i sin tur spelar rollen som en masterenhets, och skickar AT kommando till BLE-modulen för att hantera kommunikationen mot den trådlösa temperatursensorn. Däremot, erbjuder LCD skärmen ett användargränssnitt som tillåter användaren att kontrollera kommunikationen.

På LCD skärmen visas en meny med tre val som är *Scan*, *Connect* och *Info*. Vid val av *Scan* skickar Arduino UNO ett AT kommandon ”AT+LSCN” som en textmeddelande till BLE-modulen, och då börjar BLE-modulen skanna tillgängliga Bluetoothenheter, de skannade enheterna läsas av Arduino UNO och presenteras på LCD skärmen. Vid val av en enhet skickar Arduino UNO kommandon ”ATD” med adressen av den valda enheten för att skapa kommunikationen. *Connect* valet används för direktanslutning till den trådlösa temperatursensorn, och *Info* ger information om BLE-modulens namn och adress. Se Bilaga C och Bilaga D.



Figur 10: Kommunikationstest mot en trådlös temperatursensor. Till vänster visas Arduino UNO och till höger är utvecklingskortet.

5.3 Design av antennenskaspling

En design skapats för att kunna undersöka plastpåverkan på antennsignalen, se Bilaga E. Designen är gjord med Solidworks [26] 3D-CAD program, och den består av två delar, översta- och nedre delen. Översta delen syftar att hålla antennen fast på nederdelen och har 2 mm tjocklek som är ett standardmått för liknande mätningar. Nederdelen har också 2 mm tjocklek och håller antennen liggande med 90° vinkel. Det används två plasttyper PLA och PETG för att printa ut designen, då ett val av plasttypen för antenntester ingår i kravspecifikationen, se Bilaga A. Konstruktionsarbetet genomfördes med Solidworks [26] 3D-CAD program-verktyg. Andra alternativ till Solidworks kunde ha varit Inventor [27] eller CATIA V5 [28], men valet blev Solidworks för detta examensarbete.

5.4 Testning och verifiering av antennvalet

Valet av antennen som skall användas utgår från kravspecifikationen som ställdes, se Bilaga A. Returförlustvärde mättes med nätverksanalysator för tre olika antenner, för att senare kunna välja en Antenn med bästa returförlustvärde bland andra antenner, se Figur 11. Under testerna har hänsyn tagits till materialtypen omkring antennen såsom tjockleken på ytan som antennen placeras på och antennens närhet till föremål. För att garantera att impedansen har samma matchning på alla antenner, användes samma kontakt för alla tre antenner. Detta säkerställer noggrannheten och begränsar störningar som kan uppkomma på antennsignalen.



Figur 11: Antennen som sitter i lådan testas med nätverksanalysator

5.5 Val av seriellt protokoll

För att kunna utföra dataöverföring mellan BLE-modulen och AnyBus Communicator, kommer en serieport att läggas i schemat av BLE-modulen. Flera alternativ fanns då BLE-modulen stödjer flera seriella gränssnitt, se 4.2 Seriella Kommunikationsprotokoll. En teoretisk undersökning på den seriella kommunikationen gjordes för att jämföra olika protokoll. Undersökningen gav bra resultat om viktigaste egenskaperna hos olika protokoll och då kunde vissa kriterier ställas upp för att styra valet, se kravspecifikation krav (12, 13 och 14).

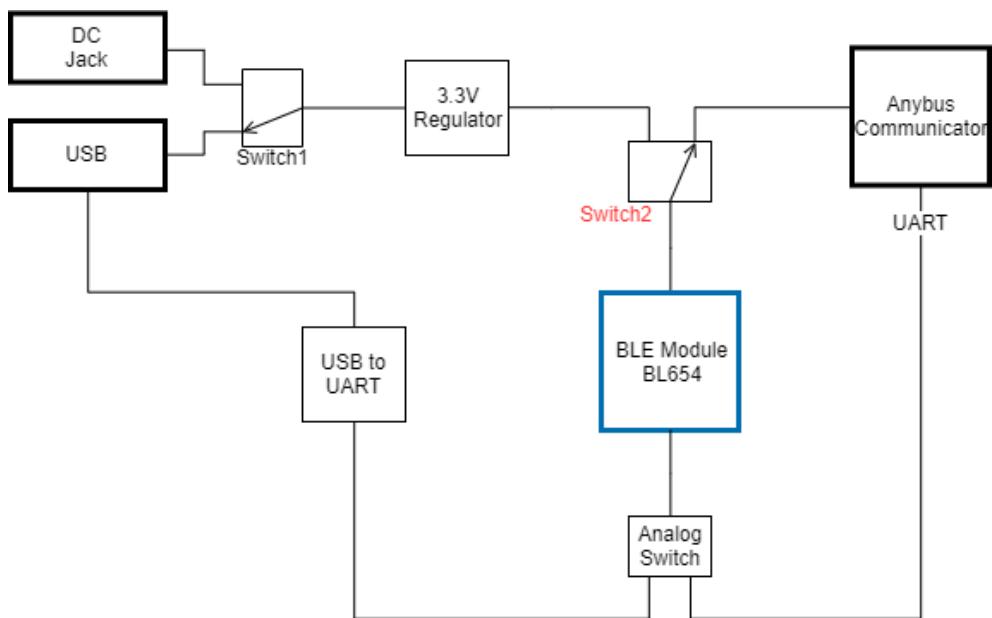
Alla alternativ i kapitel 4.2 jämfördes för att möta dessa kriterier. UART var det bästa alternativet enligt kriterierna ovan trots att undersökningen visade att SPI och QSPI var snabbast med överföringshastighet från 25Mbps upp till 60 Mbps [19], medan UART hade en hastighet runt 5Mbps. UART var i alla fall mer kompatibel med AnyBus Communicatorn.

Processorn på AnyBus Communicator är np40, den hade möjlighet att bara interagera genom UART porten vilket gjorde att den blev till det bästa alternativet trots att serieporten var redan upptagen.

5.6 Elschema

Processorn np40 på AnyBus Communicator är av typen System-on-Chip (SoC) [29]. Dess inre struktur kan ändras och seriella gränssnitt kan läggas till designen via VHDL [30], därför kan alla gränssnitt i kapitel 4.2 vara kompatibla till AnyBus Communicator. Projektet hade begränsade resurser och därför bestämde det att göra ett eget schema för BLE-modulen som kan kopplas till den upptagna UART porten på np40. Elschemat designades med hänsyn till att BLE-modulen skall kunna kopplas och försörjas av AnyBus Communicatorn. Syftet med detta är att demonstrera integrering av BLE-modulen i produktkretsen.

Elschemat delades i två olika delar enligt kraven i Bilaga A. Ena delen gör programmering av BLE-modulen möjligt genom USB. Samt genom USB kan BLE-modulen försörjas och data överföras. Andra delen är tillför koppling mot produkten. Här försörjas BLE-modulen av AnyBus Communicator. Detta ledde till att göra en tvålägeskrets. Växling mellan lägena sker genom en strömbrytare. Figur 12 visar kretsens funktionella block.



Figur 12: Tvålägeskrets med funktionella block till BLE-modulkretsen.

Switch 2 som är en mekanisk strömbrytare växlar mellan de två lägena, den högra delen är läge 2 och den illustrerar hur det är tänkt att BLE-modulen integreras i produktens PCB. När AnyBus Communicatorn kopplas till kretsen då funkar analogswitchen så att data överförs mellan BLE-modulen och AnyBus Communicatorn. Detta kan betraktas som om BLE-modulen sattes på produktens PCB. Den vänstra delen är läge 1 som ansluter BLE-modulen antingen till USB eller till extern DC spänning.

Andra serieportar har lagts till i schemat också för att göra det möjligt att testa andra seriella gränssnitt i framtida projekt. BLE-modulens input och output pinnar var också tillgängliga i kretsen.

5.7 Val av komponenter

För att underlätta arbetet och göra det snabbt och effektivt, valdes komponenter som redan finns på HMS-server i Altium Nexus, se kapitel 2.7, och även på HMS lager.

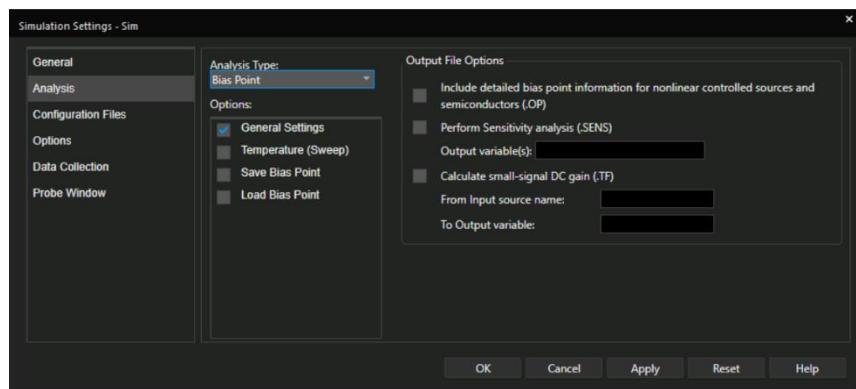
Komponentval hade följande kriterier:

- Komponentegenskaper skall kontrolleras så att den passar designen. Olika komponenter varierar i storleken, tolerans och klara olika signaler och effekter. Fokusen lades mest på storleken och effekten.
- Komponenten måste finnas på lagret och på HMS-server.
- Komponenten skall vara komplett och måste ha schemasymbol, footprint och 3D modell.

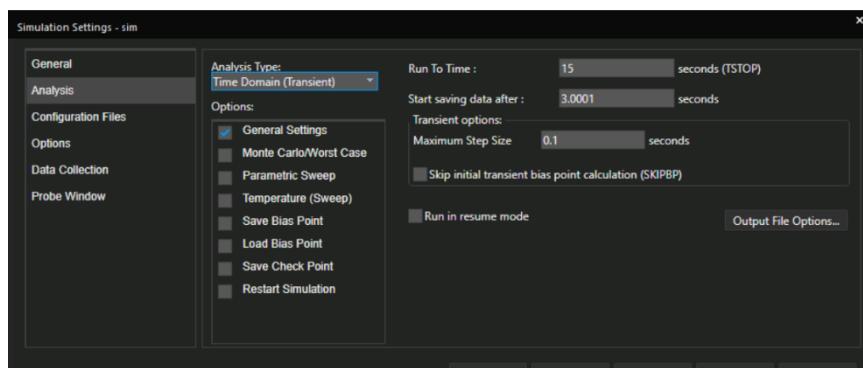
Vissa komponenter hittades inte och ersattes med liknande komponenter som fanns hos HMS, en linjär regulator användes i stället för en Buck-Boost omvandlare och fyra analoga strömbrytare användes i stället för en dual DPDT analog-strömbrytare. Däremot var några komponenter ej utbytbara mot komponenter från HMS såsom FTDI (USB-UART). FTDI som valdes var lättare att implementera i kompakta kretsar.

5.8 Simulering av elschemat

Simulering till den designade elschemat var ett sätt för att säkerställa BLE-modulkretsens funktionalitet. DC-signaler kontrollerades på de kritiska punkterna i elschemat, såsom input och output till regulator och punkter vid analoga strömbrytare. Programvaran Orcad användes för simuleringen, se kapitel 2.8. Två typer av simuleringar tillämpades, den ena är Bias Point och den andra var Time Domain, se Figur 13 och Figur 14. Vid Bias Point simulering kontrollerades alla strömmar och spänningar som går i kretsen, och vid Time Domain simulering kontrollerades input och output signaler vid de kritiska punkterna. Samt ett hierarkiskt schema till BLE-modul och FTDI chip genomfördes i syfte att addera en last för kretsen.



Figur 13: Simulering inställningar. Bias Point simulering på Orcad.



Figur 14: Simulering inställningar. Time Domain simulering på Orcad.

5.9 PCB

PCB är den tillverkade versionen av elschemat. Designen i detta projekt innehåller BLE-modulen och de komponenterna som stödjer kretsen. PCB designades för att illustrera anslutningen mellan BLE-modulen och AnyBus Communicator. Lösningen kommer inte att integreras i produktens PCB, eftersom externa resurser kommer att behövas för att ändra interna strukturen på AnyBus Communicatorn.

De regler och aspekter som är nämnda i kapitel 4.5 följdes för att nå bästa resultat och underlätta arbetsflödet. Nedan är punkter som togs i beaktande vid PCB design.

Metoden ”functional building blocks” [25] användes och kretsen delades i flera block exempelvis: strömförskjningskrets, USB to UART, analoga strömbrytare och BLE-modulen. Alla komponenter som tillhör till ett block placerades och flyttades tillsammans.

Tjockleken på ledningar är baserad på strömmen och värmens som ledningarna orsakar när de leder ström. Tjockleken valdes med hänsyn till temperaturökning [25], alltså kring 10 grader temperaturökning enligt tabellen i Bilaga G. Kretsen är energisnål och har låg strömförbrukning, enligt BLE-modulens datablad så drar den runt 15 mA maximumström. Regulatorn har låg strömförbrukning på 0.1 mA, och även FTDI drar runt 15 mA vid normal operation sammanlagt beräknats enligt Kirchoffs lag så skall inte strömmen överstiga (100) mA vid aktiv operation, därför kunde tjockleken väljas till 0.254mm. Vias valdes till v60h30 (diameter = 0.6mm och radie = 0.3mm).

Enligt anvisningar i datablad, placerades BLE-modulen vid kanten av PCB och en så kallad ”keepout area”, se kapitel 4.5 [25] skapats vid antennområdet så att koppar på PCB ska inte störa antennsignalen.

Hela PCB fylldes med koppar förutom antennens ”keepout area”, se kapitel 4.5. Koppar fyllning användes som jordplan och det underlättar anslutning till alla jordpinnar i alla komponenter.

6. Resultat

Tabellen visar arbetet som utfördes stegvis för separata delarna i projektet, och som spelar betydande roll i projektresultatet. Alla resultat byggde på de krav som ställdes enligt kravspecifikationen, se Bilaga A. Utvärdering av BLE-modulen utfördes och ett dokument skrevs med all relevant information. Ett val av både antenn och plasttyp presenterades, och ett elschemaförslag och PCB för BLE-modulen har också designats, se Tabell 1.

Tabell 1: Översikt av utfört arbete

Resultat		
Namn	Målet	Hänvisning
Syfte	Utvärdering av modemfunktionalitet	
Utvecklingskortanslutning	Uppnått	6.1.1
Mobiltelefonanslutning	Uppnått	6.1.2
Temperatursensorprogram	Uppnått	6.1.3
Syfte	Val av antenn	
FlexNotch antenntest	Genomfört	6.2.1
FlexPIFA antenntest	Genomfört	6.2.2
Maglayers PCA antenn	Genomfört	6.2.3
Val av plastkapsling	Uppnått	6.2.3
Syfte	Modemkretsen	
Elschema	Genomfört	6.3.1
PCB	Uppnått	6.3.2

6.1 BLE test

Resultatet visar olika kommunikationstester som utförts för att bekräfta funktionalitet för BLE-modulen. En kommunikation har skapats mellan två utvecklingskort, samt mellan en mobiltelefon och ett utvecklingskort med hjälp av applikationen ”nRF connect”.

6.1.1 Utvecklingskort anslutning

Ett textmeddelande ”Hej utvecklingskort” överfördes från ena datorn till den andra datorn med hjälp av anslutningen som har skett mellan två BLE-moduler. Se Figur 15 och Figur 16.

The image shows two windows of the UwTerminalX application. Both windows have a title bar 'UwTerminalX (v1.12a)' and a menu bar with 'Terminal', 'Config', 'Speed Test', 'Update', 'About', 'Logs', and 'Editor'. The left window (Figur 15) shows the following terminal output:

```
[COM6:115200,N,8,1,H][cr] Download Tx Left: 0 Tx | 357538 Rx | 24013 Last Rx: 03/03 @ 22:11:42
-- Finished downloading file --
00
at+dir
06 $autorun$
00
$autorun$
atd01C12710C617CA
CONNECT 0,01C12710C617CA,30000,720000,0
Hej utvecklingskort
```

The right window (Figur 16) shows the following terminal output:

```
[COM5:115200,N,8,1,H][cr] Download Tx Left: 0 Tx | 356495 Rx | 38722 Last Rx: 03/03 @ 22:07:40
AD1:3 032A7EEDE8FP60 -78 ""
AD1:0 0275D8C9D9BDAB -81 ""
AD1:3 03261EAD6E8976 -90 ""
AD1:2 026B2B2B0830B2 -90 ""
AD1:0 02727C0F77CC96 -68 ""
AD1:3 025382E25546D3 -37 ""

AD1:0 02447540FCD8BB -90 ""
AD1:0 0246AC2895ECDE -68 ""

AD1:3 0246AC2895ECDE -77 ""
OK

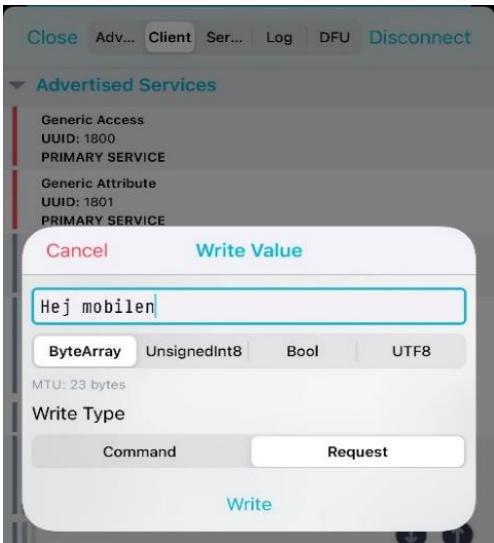
RING 026677792ED0C4,U
CONNECT 0,026677792ED0C4,30000,720000,0
Hej utvecklingskort
```

Figur 15: Den skickade texten från modul 1

Figur 16: Mottagen text från modul 2

6.1.2 Mobiltelefonanslutning

På samma sätt en kommunikation har skapats mellan ett utvecklingskort och applikationen ”nRF connect”. Figur 17 visar ett textmeddelande ”Hej mobilén” som skickades från mobilapplikationen och mottagits av utvecklingskortet, se Figur 18.



Figur 17: nRF connect

```

UwTerminalX (v1.12a)

Terminal Config Speed Test Update About Logs Editor
CTS DSR DCD RI RTS DTR BREAK LocalEcho LineMode Clear Close Port
[COM5:115200,N,8,1,H]{cr} Download Tx Left: 0 Tx 313460 Rx 35858 Last Rx: 03/03 @ 22:30:41 Cancel

AD1:3 0303AA008DD81F -42 ""
AD1:3 03149EA10D7657 -82 ""
AD1:3 025C254EFA5566 -74 ""

AD1:0 0249FA46578578 -80 ""
AD1:3 03149EA10D7657 -80 ""
AD1:3 033D7ACB5D4E65 -75 ""
AD1:3 0303AA008DD81F -43 ""
AD1:3 0263DBD7FC39E -34 ""
AD1:0 025EC15B7940BB -81 ""

OK

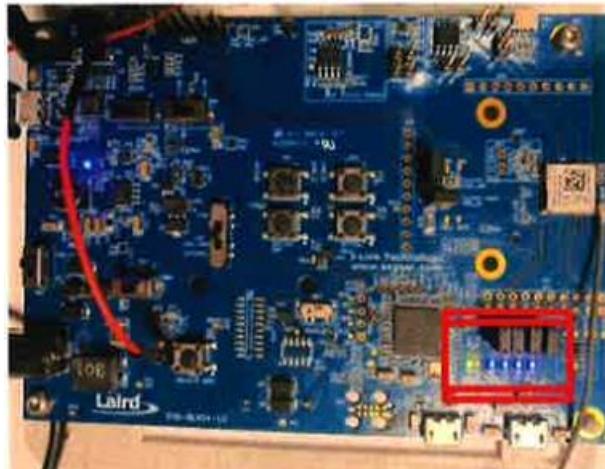
RING 0245D97B60FE59,U
CONNECT 0,0245D97B60FE59,30000,720000,0
Hej mobilen

```

Figur 18: Mottagen text av modulen

6.1.3 Temperatursensorprogram

För att kunna utvärdera analoga och digitala pinnar, så har ett program skrivits för temperatursensor. Temperaturen kunde avläsas i UwTerminalx, och en lysdiod tändes när temperaturen passerades den uppsatta gränsen, se Figur19. Figur 20 visar den kontinuerliga avläsningen av temperaturen i terminalen.



Figur 19: Lysdiod som tändes

```

UwTerminalX (v1.12a)

Terminal Config Speed Test Update About Logs Editor
CTS DSR DCD RI RTS DTR BREAK LocalEcho LineMode Clear Close Port
[COM5:115200,N,8,1,H]{cr} Download Tx Left: 0 Tx 2228 Rx 506 Last Rx: 03/03 @ 23:13:58 Cancel

10 4 01 C12710C617CA
00
10 0 BL654
00
10 13 0B52 5072
00

-- XCompile complete (878B) --
-- Finished downloading file --
realtemp
    the real Temp is: 290

```

Figur 20: Avläsning av temperaturen

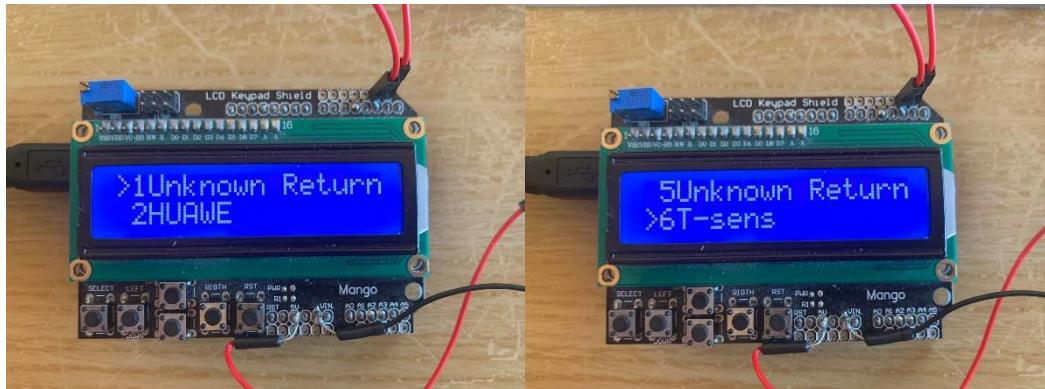
6.1.4 Simulering av kommunikationstest mot en trådlös sensor

Simulering av systemet i Figur 2 har utförts med en Arduino UNO, två BLE-moduler och en analog temperatursensor. Figur 21 visar startmeny till programmet med tre val som visas på LCD skärmen.



Figur 21: Startmeny som visas på LCD skärmen.

Vid val av Scan skickar Arduino UNO en AT kommando ”AT+LSCN”, och då börjar BLE-modulen skanna tillgängliga enheter, se Figur 22.



Figur 22: Listan över de skannade Bluetooth enheter.

Vid anslutning till temperatursensor, anslutas BLE-modulen till UUID för det attributet som skall läsas, temperaturvärdet hämtas och skickas vidare till Arduino som i sin tur presenterar dem på skärmen, se Figur 23.



Figur 23: Temperaturvärdet presenteras på LCD skärm

6.2 Verifierings av antenn valet

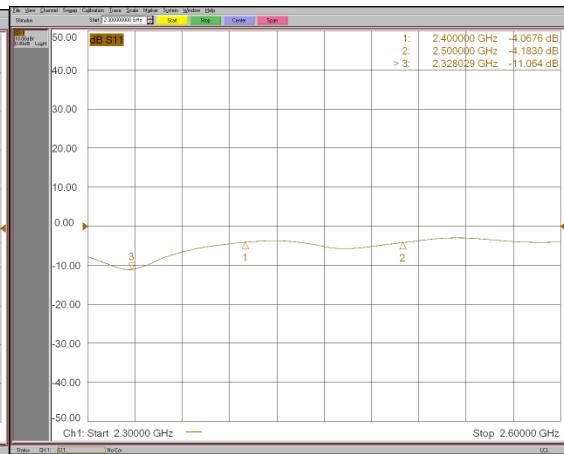
Resultat redovisas för de olika antennerna mot en plastkapsling som gjordes av två olika plasttyper PLA och PETG. Alla antenntester genomfördes med hjälp av nätverksanalysator över ett visst frekvensområde 2.4–2.5 GHz. Returförlustvärde motsvarar den lägsta dämpning som sker i frekvensområdet. Värdet på returförlusten visas på y-axeln och uttrycks i decibel (dB). Ett lågt returförlustvärde är alltid önskvärt och antenn med längsta värde kommer att väljas. Ett returförlustvärde på -20 dB anses som ett mycket effektivt, då 99% av strömmen överförs, och på andra system kan ett värde på -15 dB vara acceptalt [31], men detta examensarbete syftar till ett värde på minst -20 dB, se Bilaga A. Antennerna gav varierande resultat när det gäller returförlustvärde och effekten som reflekterar från antennen.

6.2.1 Resultat av FlexNotch antenntest

Testet på FlexNotch antennen för båda plasttyper visar att effekten som reflekteras är väldigt hög, och det är mycket energi som försvinner när signalen reflekteras från antennen. Däremot i detta fall är returförlustvärde lika med -9 dB vid användning av PLA plast och -11 vid användning av PETG plast, vilket i båda fall ligger värdet utanför önskade intervall enligt kravspecifikationen, se Bilaga A. Det visade sig också att antennsignalen är känslig för båda plasttyper vid testerna, vilket innebär antennen är inte rekommenderat i utvecklingsprocess. Se Figur 24 och Figur 25.



Figur 24: FlexNotch antenn med PLA plastkapsling



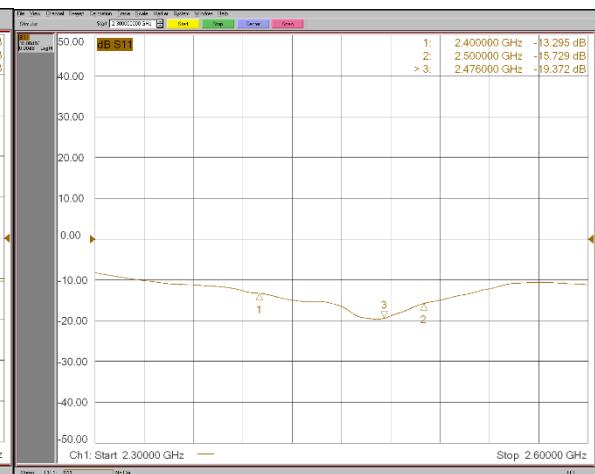
Figur 25: FlexNotch antenn med PETG plastkaspling

6.2.2 Resultat av FlexPIFA antenntest

Resultat för returförlusttestet på FlexPiFA antennen visar att det är både mindre effekt som reflekteras och mindre energi som försvinner när signalen reflekteras från antennen. Figur 27 visar att Returförlustvärde vid användning av PETG plast är lika med -20dB, som är mindre jämfört med PLA plast som får returförlustvärde lika med -18dB, se Figur 26. Antennen har därför bättre matchning vid användning med PETG plast. Detta visas tydligt vid jämförelse mellan returförlustvärde på båda figurerna nedan. Enligt kravspecifikationen ligger returförlustvärdet för PLA plast utanför önskade intervallet och för PETG ligger värdet på gränsen.



Figur 26: FlexPIFA antenn med PLA plastkapsling



Figur 27: FlexPIFA antenn med PETG plastkaspling

6.2.3 Resultat av Maglayers PCA antenn

Resultat för returförlusttestet på Maglayers PCA antenn visar att både effekten som reflekteras och energin som försvisser i luften är minst jämfört med andra antenner. Figur 28 visar att $S_{11} = -20$ dB när en PLA plastkapsling används. Däremot Figur 29 visar att $S_{11} = -28$ dB när en PETG plastkapsling används.



Figur 28: Maglayers PCA antenn med PLA plastkapsling



Figur 29: Maglayers PCA antenn med PETG plastkaspling

6.2.4 Sammanställning av antenntester

Vid jämförelse av returförlustvärde med alla antenner och med PLA och PETG plastkapsling, se tabell 2, som presenterar returförlustvärde för alla antenntester. Det konstaterades att Maglayers PCA antenn och PETG plastkapsling är lämpligaste val för antenntester och dess returförlustvärde uppfyller kravspecifikationen, se Bilaga A. Därför rekommenderades att antennen Maglayers PCA med PETG plast skall användas i utvecklingsprocessen gällande antenntester för att uppnå kraven som ställts.

Tabell 2: Returförlustvärde för antenntester över 2.4–2.5 frekvensområde.

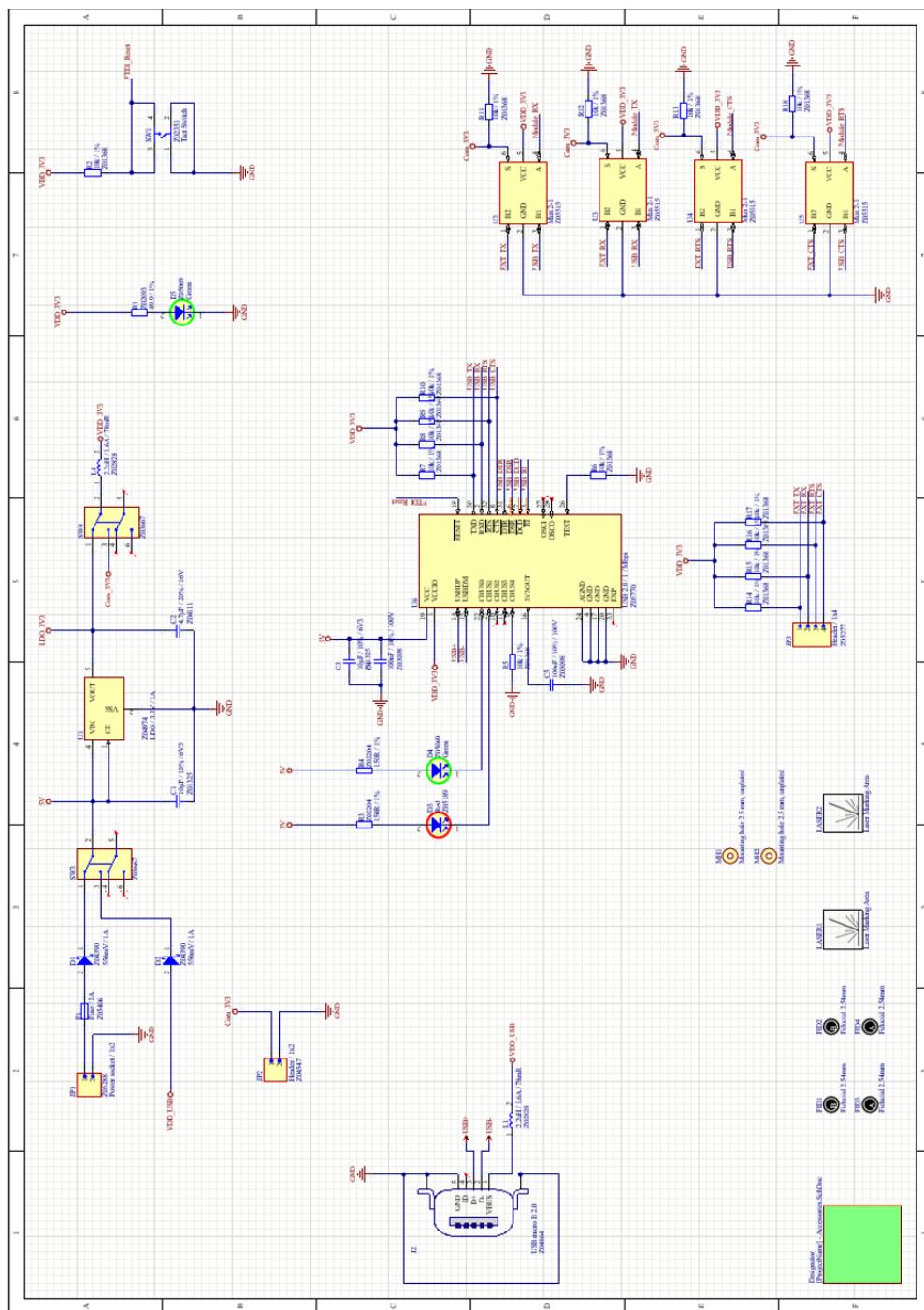
Plasttyp	FlexNotch	FlexPIFA	Maglayers PCA
PLA	-9 dB	-18 dB	-20 dB
PETG	-12 dB	-20 dB	-28 dB

6.3 BLE-Modulkretsen

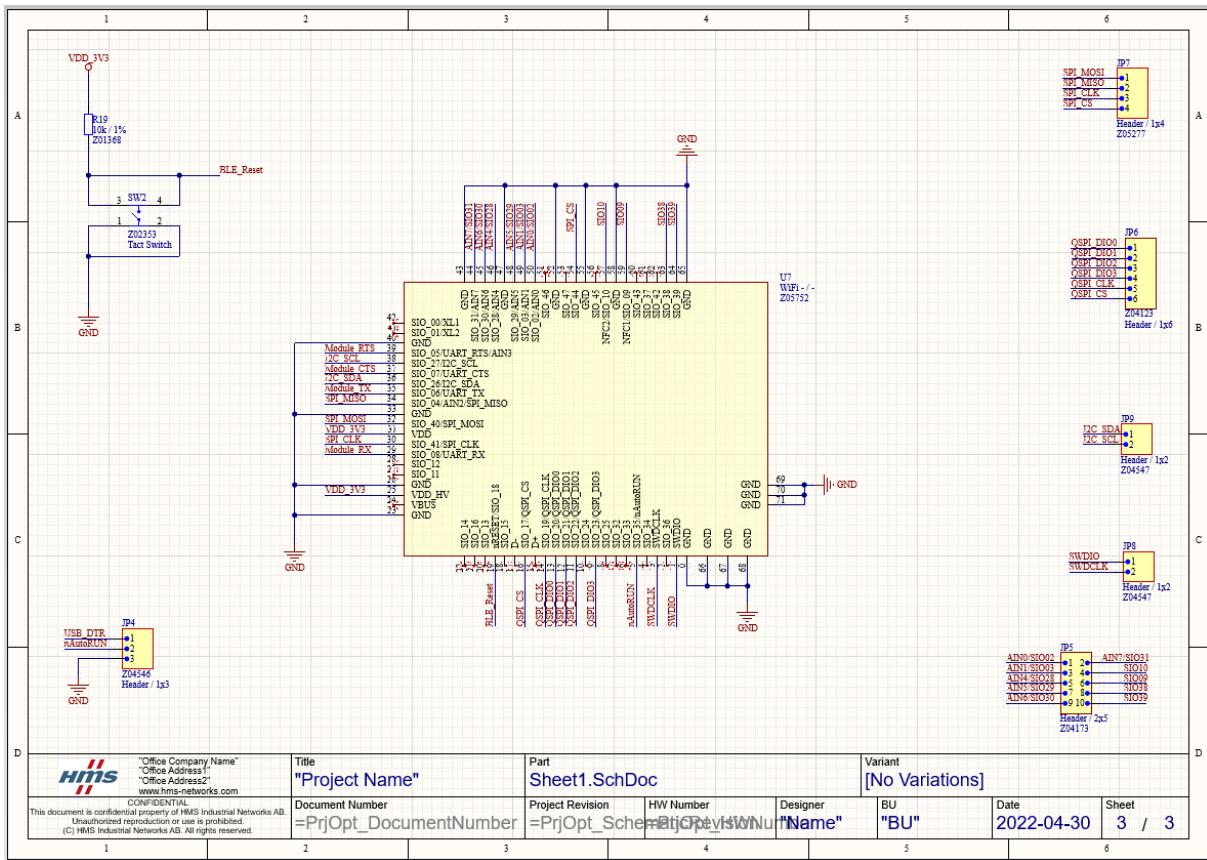
Här redovisas elschemat och PCB till BLE-modulkretsen, vilket är en prototyp som presenterar ett förslag på hur BLE-modulen kan integreras i schemat och PCB av AnyBus Communicator. Designen som utfördes på Altium Nexus anslutas externt till produkten och har egenskaper så att den uppfyller kraven i Bilaga A.

6.3.1 Elschema

Elschemat till BLE-modulkretsen genomfördes enligt den ställda planen, se kapitel 5.6. Den innehåller komponenter som stödjer BLE-modulen och gör det möjligt att programmera och ansluta till produkten, se kapitel 5.6 kretsens funktionella block. Figur 30 och Figur 31 nedan visar Elschemat av BLE-modulkretsen.



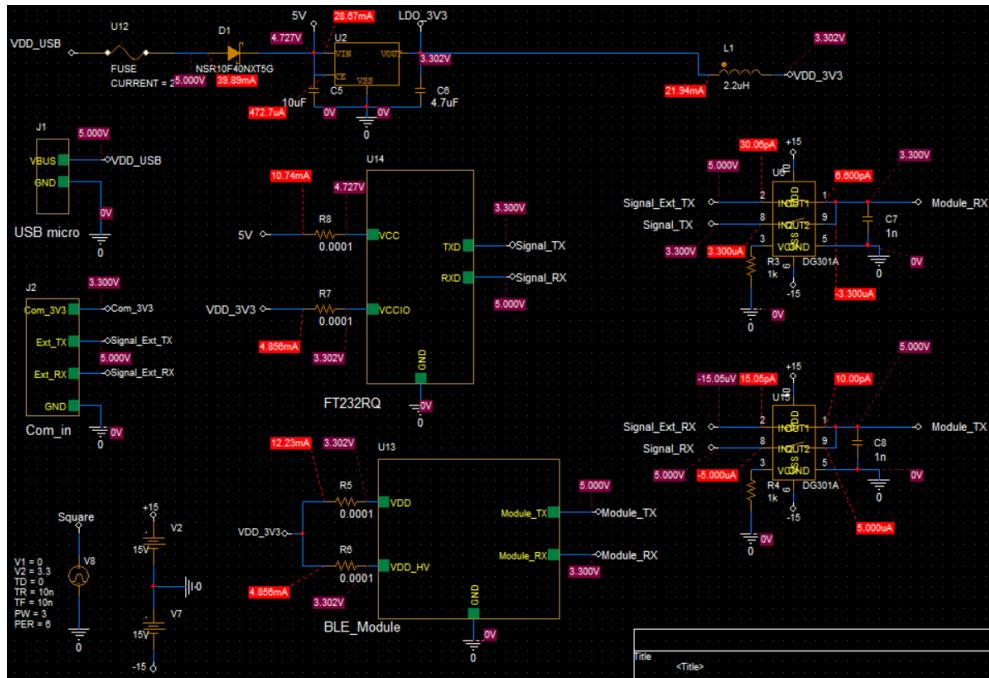
Figur 30: Elchema på BLE-modulkretsen, del1. Till vänster spänningsskrets, i mitten FTDI chip och höger upp analoga switchar



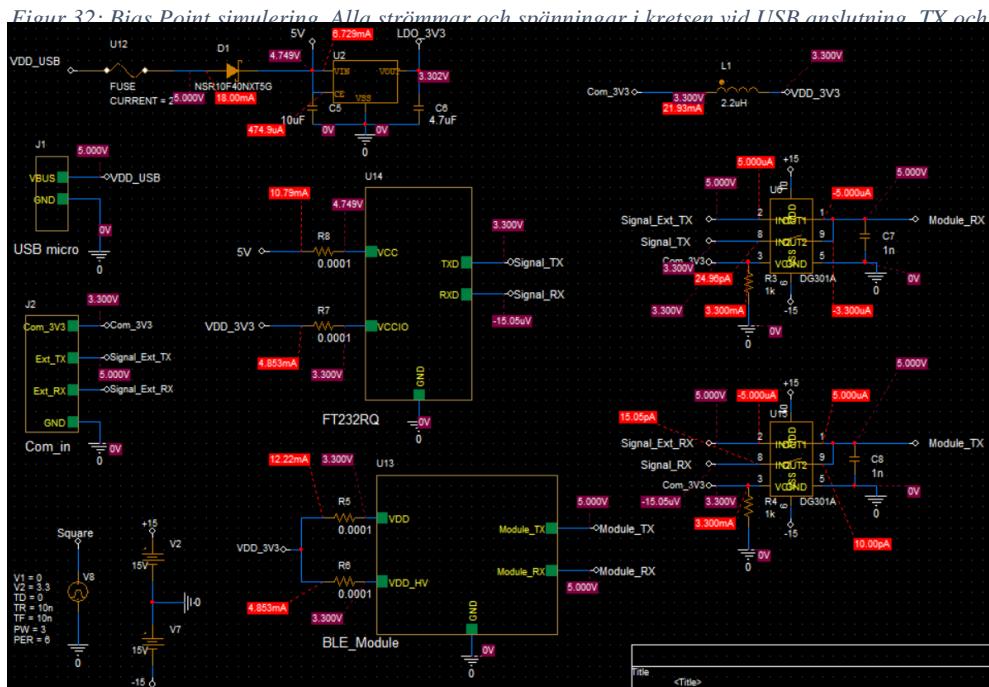
Figur 31: Elschema på BLE-modulkretsen, del2. BLE-modulen i mitten.

6.3.2 Simulering av elschemat

Simuleringen gav en bättre bild över elschemat och dess funktionalitet, då alla strömmar och spänningar i kretsen kontrollerades. Resultatet av simuleringen visade en fungerande prototyp av kretsen med en strömförbrukning på 40mA, se Figur 32 och Figur 33.

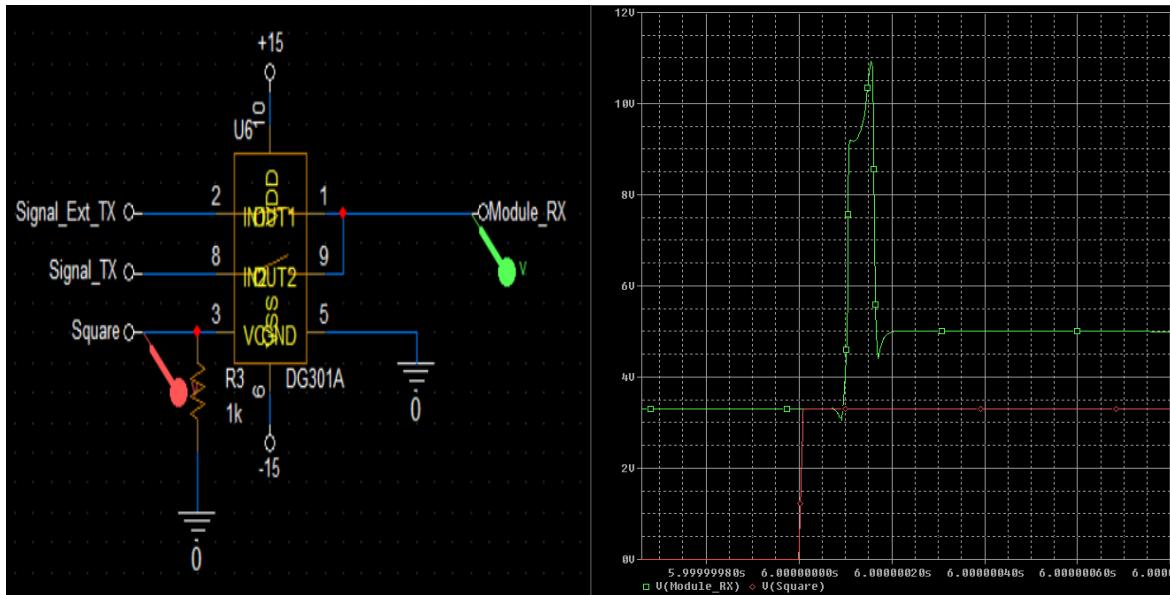


Figur 32: Bias Point simulering. Alla strömmar och spänningar i kretsen vid USB anslutning. TX och RX signaler av USB är kopplade till BLE-modulens TX och RX.

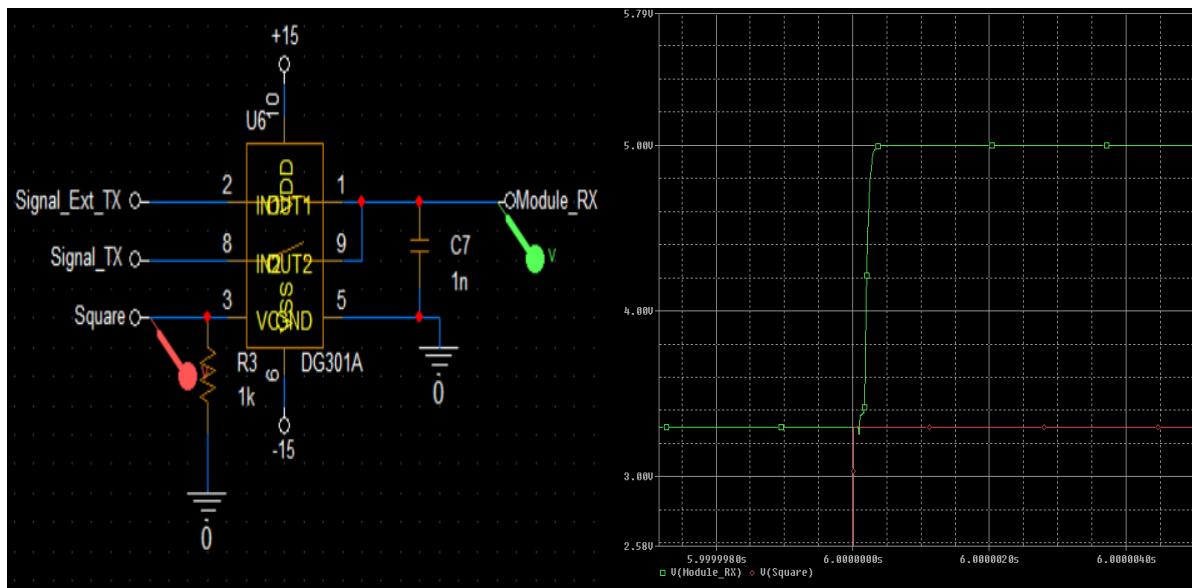


Figur 32: Bias Point simulering. Alla strömmar och spänningar i kretsen vid anslutning av AnyBus Communicator. TX och RX från AnyBus Communicator är kopplade till BLE-modulens TX och RX.

Signalmätningen visade spänningsspikar som inträffar vid den analoga strömbrytaren, när den byter läget mellan USB och AnyBus Communicator, se Figur 34. En kondensator på 1nF har lagts till vid strömbrytarens utgång för att filtrera bort de förekommande spänningsspikarna, se Figur 35.



Figur 34: Spänningsspik vid analoga strömbrytaren.

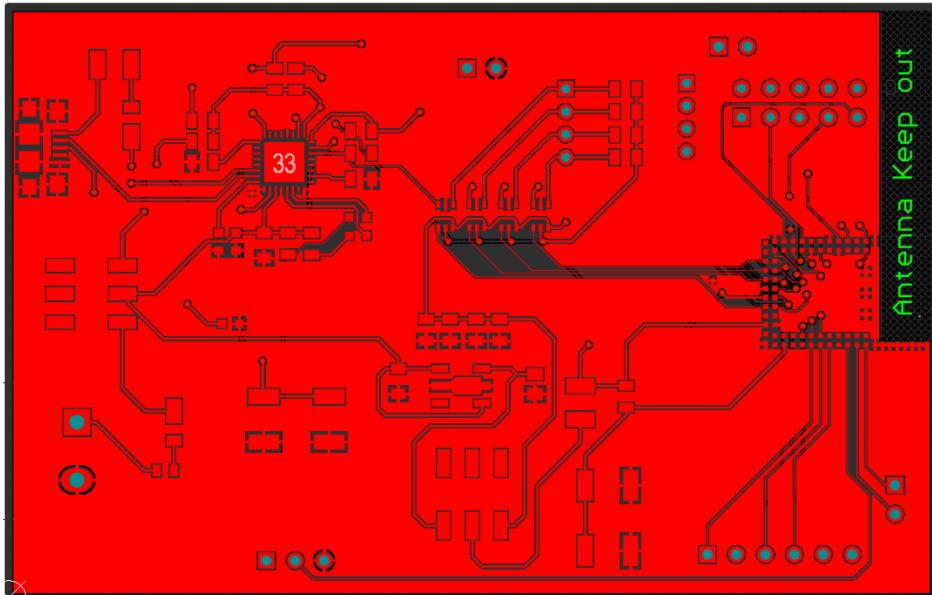


Figur 35: Signalen efter användning av 1nF kondensator

6.3.3 PCB design

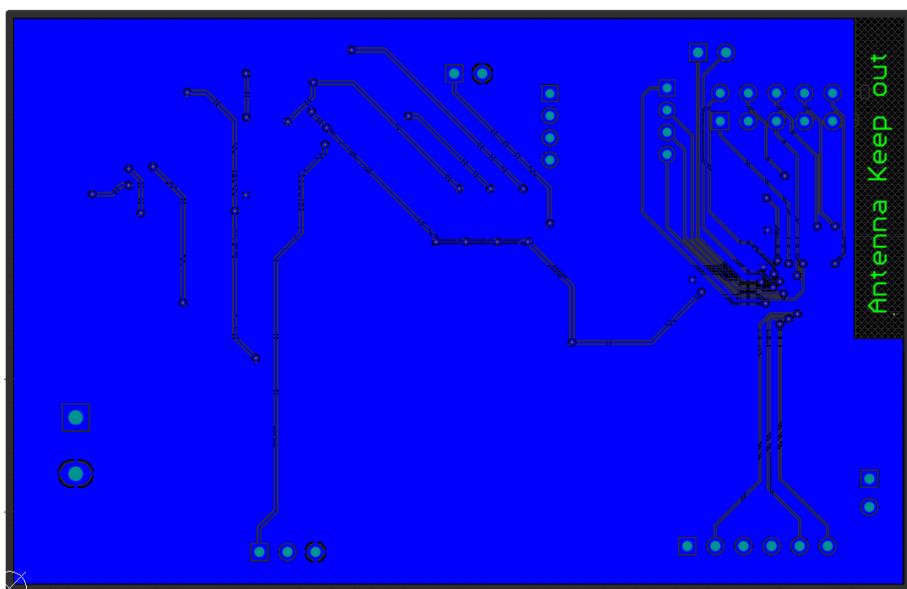
Resultatet av PCB designen var ett tvålagskretskort. Prototypen består av tre huvuddelar: USB och USB-UART chip för programmering och anslutning mot datorn, DC kontakt för extern strömförskjning och modulen BL654.

Alla komponenter placerades på topplagret och BLE-modulen placerades på kanten med antennens ”keepout area”, se kapitel 4.5, för bästa prestanda. Topplagret fylldes med koppar som användes till jordplan, se Figur 36.



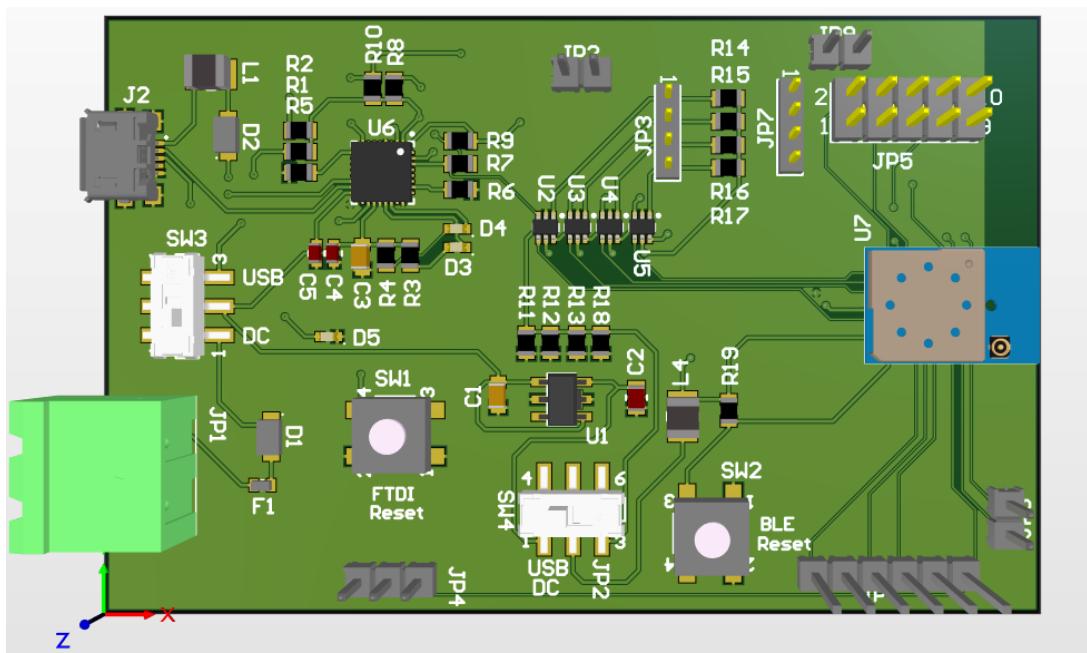
Figur 36: Topplagret på PCB med keepout area till höger och jordplan.

Bottenlagret användes för att underlätta anslutningen mellan komponenter, där den också fylldes med koppar som användes till jordplan, se Figur 37.



Figur 37: Bottenlagret på PCB med keepout area till höger och jordplan.

Figur 38 visar en 3D modell på hela PCB.



Figur 38: 3D modell på PCB. Vänster upp finns det FTDI-krets U6. I mitten finns analoga strömbrytare U2-U5 och reset-knappar SW1 och SW2. Till höger är BLE-modulen U7 och kontakter för att komma åt modulens olika funktioner.

7. Diskussion

Uppgiften i detta projekt är att implementera ett trådlöst protokoll i produkten AnyBus Communicator för att bygga en trådlös kommunikationsprototyp av produkten och demonstrera dess funktionalitet. Projektet visade sig vara svårare än förväntat, dels tog det lite tid innan att komma igång med Bluetooth-teknologin, dels undersökningsfasen krävde mycket resurser innan hårdvaran kunde förstås.

Kraven ställdes så att både BLE-modulen och antennen ska kunna integreras i PCB-layouten. Undersökningen av produkten och utvärderingen av BLE-teknik och BLE-modul ägde rum i början av arbetet. Mycket information inhämtades. Vissa var mycket relevanta och vissa andra användes inte i projektet, därför tog utvärdering längre tid än förväntat. Elschemat och PCB som designades var anpassade till AnyBus Communicator. Det utgör ett förslag som demonstrerar systemet utifrån ett hårdvarumässigt perspektiv. Prototypen som presenterades vid ETH i Schweiz, se kapitel 2.9, använder en ATMega 103L (mikrokontroller) för att hantera applikationen till BLE-modulen. Men i detta exams-arbete var tanken att np40 processorn på AnyBus Communicatorn skall vara masterenheten för att hantera applikationen till det trådlösa systemet.

Kretsen som designades är energisnål och visade att integrering av BLE-modulen i produkten inte har så stor påverkan på strömförbrukning, se kapitel 6.3.2, då BLE-modul drar runt 15 mA [5]. Projektet som gjordes på Netbiter EC350 på HMS, se kapitel 2.9, presenterade en modell på hur fjärhantering av maskiner kan styras med Netbiter. Fokus har lagts på mjukvarudelen för att visa hur användaren kan fjärrhantera enheterna genom en lokal hemsida. I detta dokument har fokus lagts mer på hårdvaran och BLE-modulens egenskaper, medan programmeringsmetoder användes med syfte för att skapa mer förståelse om BLE-modulen och verifiera dess funktionalitet. Elschemaförslag blev en prototyp som kan anslutas till produkten för att visualisera integrering i den färdiga produkten. PCB som designades innehåller kontakter för att komma åt BLE-modulens olika gränssnitt. Nackdelen är att den inte ger en riktig illustration på utseendet av produkten som skall utvecklas.

Ett flertal tester gjordes för att analysera antennens egenskaper och ett val av plastkapsling bestämdes för antenntester till produktutveckling. Valet av antennen baserades på alla tester som utfördes och Maglayers PCA antenn med PETG plastkapsling bedöms vara lämpliga för försatta produktutveckling. Arbetet ”Framtagning av antenn för mätning av mikrovågläckage ” som gjordes i Linköping universitet [14], se kapitel 2.9,

ledde till lämpliga antenner för mätning av mikrovågsläckage. Antennvalen i båda projekten baserades på returförlust antenntester och de som har minsta returförlustvärde valdes.

7.1 Sociala, ekonomiska, miljö och säkerhetsaspekter

Efter utvärdering av Bluetooth-teknologi, går det att resonera kring Bluetooth utifrån socialt, ekonomiskt och även miljöperspektiv. Bluetooth teknologi erbjuder bra lösningar i komplexa industriella miljöer, då den tillåter fjärhantering av maskiner och andra enheter vilket erbjuder bättre omständigheter i arbetsplatsen, dessutom underlättar problemfelsökning för medarbetare.

Bluetooth-teknologi är relativt billig teknologi och ger lösningar med bra kvalité, samt den är lätt att implementeras i produkter, därför anses den att vara bra utav ekonomisk aspekt.

Trådlös teknologi minskar antal trådar och ersätter sladdar vilket gynnar miljön genom att spara på resurser såsom koppar och gummi.

Prestanda som framställs om Bluetooth-teknologi i detta examensarbete visar att Bluetooth anses som ett framsteg och har fördelar utav sociala, ekonomiska och miljöaspekter.

Bluetooth är en teknik som använder fasta enhetsadresser vid kommunikation mellan enheter. Även om Bluetooth är en teknik som erbjuder bra lösningar i olika aspekter, anses den idag som en oskyddad och öppen teknik [32]. I detta examensarbete var inte säkerheten i fokus, utan att skapa kommunikation mellan enheter är huvudfokusområdet.

8. Slutsats

Verifiering av BLE-modulen gav resultat som visade att kommunikationen och dataöverföring mellan BLE-modulen och andra enheter lyckades, samt eget program skrevs för att kommunicera med BLE-modulens pinnar, och kraven uppfylldes.

Ett krav i projektet var att välja en lämplig antenn till produkten som skall utvecklas. Antennvalet baserades på flera tester som utfördes med hjälp av nätverksanalysator. Resultatet visade att Maglayers PCA tillsammans med PETG plastkapsling gav den bästa prestanda vid mätning av returförlustsvärde vilket var -28 dB i detta fall, därav valet. Se tabell 2.

En egen krets för BLE-modulen skapades och den var anpassad till produkten. Det behövdes inte många komponenter för att stödja BLE-modulens krets inför anslutning mot produkten, vilket visar att det är relativt lätt att implementera Bluetooth-teknologi i applikationer med mindre räckvidd. Dessutom är den strömsnål och effektivare i sådana applikationer jämfört med Wifi eller LTE (4G).

Baserat på resultatet av detta arbete, kan slutsatsen dras att arbetet hade relevanta förslag, se kapitel 8.1, och var ett framsteg i utvecklingsprocessen av AnyBus Communicator.

8.1 Förslag till vidare utveckling

Projektet resulterade några förslag som skall driva utvecklingsprocessen av AnyBus Communicator framåt.

- Strukturen på np40 (processorn på AnyBus Communicator) behöver ändras med hjälp av VHDL [30] så att den har en lämplig serieport, då UART som användes var redan upptaget av en annan enhet i produkten.
- SPI och QSPI kan användas i framtiden för kommunikation mellan BLE-modulen och produkten.
- Testet kan omfatta större utbud av antenner.
- Testerna kan ske med olika tjocklek på plastkapsling. Testerna i detta examensarbete utgår från liknande tjocklek på HMS produkter.

9. Referenser

1. HMS Networks. Quick facts about HMS. [Online]. [cited 2022 03 23]. Available from: <https://www.hms-networks.com/about>.
2. Laird Connectivity. BL654 Series Bluetooth module with NFC. [Online]. [cited 2022 03 23]. Available from: <https://www.lairdconnect.com/wireless-modules/bluetooth-modules/bluetooth-5-modules/bl654-series-bluetooth-module-nfc>.
3. Laird Connectivity. User Guide BL654 Development Kit Version 1.3. [Online]. [cited 2022 01 25]. Available from: <https://www.lairdconnect.com/documentation/user-guide-quick-start-guide-bl654-dvk>.
4. HMS Networks. Anybus Communicator - Common Ethernet. [Online]. [cited 2022 02 10]. Available from: <https://www.anybus.com/products/gateway-index/anybus-communicator/detail/anybus-communicator-common-ethernet-gen2>.
5. Laird Connectivity. Datasheet BL654 Series Version 2.5. [Online]. [cited 2022 02 14]. Available from: <https://www.lairdconnect.com/documentation/datasheet-bl654>.
6. Laird Connectivity. FlexPIFA 2-dBi Antenna with U. FL Cable 2.4 GHz. [Online]. [cited 2022 02 14]. Available from: <https://www.lairdconnect.com/documentation/datasheet-24-ghz-flexpifa>.
7. Induo. ANTENNER-EN GUIDE! [Online]. [cited 2022 02 16]. Available from: <https://www.induo.com/produkt/antennkabel/>.
8. Altium. Altium NEXUS Documentation. [Online]. [cited 2022 04 15]. Available from: <https://www.altium.com/documentation/altium-nexus>.
9. Ferrari P, Flammini A, Marioli D, Sisinni E, Taroni A. A Bluetooth-based sensor network with Web interface. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 2005; 54(6): 2359 - 2363.
10. Kasten O, Langheinrich M. First experiences with bluetooth in the smart-its distributed sensor network. Workshop on Ubiquitous Computing and Communications. 2001; 1.

11. Tutorials point. [Online].; 2021 [cited 2022 08 10]. Available from: <https://www.tutorialspoint.com/differentiate-between-piconet-and-scatternet>.
12. Alfredsson, E. & Bengtsson, M. Bluetooth implementation för Netbiter EC350 [Kandidatuppsats]. Halmstad:; 2014.
13. Usability first. [Online].; 2014 [cited 2022 08 10]. Available from: <https://www.usabilityfirst.com/usability-methods/heuristic-evaluation/>.
14. Nilsson, A. Framtagning av antenn för mätning av mikrovågläckage [Kandidatuppsats]. Linköping:; 2005.
15. Afaneh, M. Intro to Bluetooth Low Energy: The Easiest Way to Learn BLE Fishers: Novel Bits; 2018.
16. Tosi J, Taffoni F, Santacatterina M, Sannino R, Formica D. Performance evaluation of bluetooth low energy: A systematic review. Sensors. 2017; 17(12): 8-12.
17. Priyadarshan, P., & Mundari, B. R. Serial communication using uart [PhD uppsats]. Rourkela :; 2008.
18. Gupta AK, Raman A, Kumar N, Ranjan R. Design and Implementation of High-Speed Universal Asynchronous Receiver and Transmitter (UART). In 2020 7th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN); 2020; Noida.
19. Patrick, J. Serial protocols compared. Havelock:; 2002.
20. Ramesh K, Ponnammal P. Study of I2C Communication Protocol Using Nuvoton Microcontroller Device. International Journal of Applied Engineering Research. 2015; 10(7).
21. Jan, N. Design of QSPI master interface [Master uppsats]. Prague:; 2020.
22. Jayantilal SH. Interfacing of AT Command based HC-05 Serial Bluetooth Module with minicom in Linux. International Journal for Scientific Research & Development. 2014; 2(03): 329-332.
23. Bird TS. Definition and Misuse of Return Loss. IEEE Antennas and Propagation Magazine. 2009; 51(2): 166-167.
24. Hiebel, M. Fundamentals of Vector Network Analysis Munchen: Rohde & Schwarz; 2007.
25. Jones DL. PCB Design Tutorial. 2004; 25(3).

26. SolidWorks. SolidWorks Desktop 3D CAD. [Online]. [cited 2022 04 16. Available from: <https://www.solidworks.com/>.
27. Inventor. Cad-programmering för solidmodellering. [Online]. [cited 2022 04 16. Available from: <https://www.autodesk.se/products/inventor/features>.
28. Catia V5. The only solution you need to deliver any design. [Online]. [cited 2022 04 16. Available from: <https://www.3ds.com/products-services/catia>.
29. Martin G, Chang H. System-on-Chip design. In 2001 4th International Conference on ASIC Proceedings; 2001; Shanghai.
30. Chen, J. VHDL Introduction and overview. Burlington:; 2010.
31. Anritus. Understanding Cable and Antenna Analysis. [Online]. [cited 2022 06 01. Available from: <https://www.anritsu.com/en-us/test-measurement/solutions/en-us/understanding-cable-and-antenna-analysis>.
32. Svensson, R. & Stenebo R. Trådlösa nät, ett osäkert ansvar. Halmstad:; 2014.
33. Nordcad. Real-time design med OrCad. [Online]. [cited 2022 08 17. Available from: <https://www.nordcad.se>

10. Bilagor

A. Kravspecifikation

Kravnummer	Krav	Status
1	Utvärdera olika funktionalitet i BLE-modulen (skapa kommunikation mellan två enheter, test av analogapinnar)	Original
2	Val av en lämplig antenn med lägsta returförlustvärde bland alla antenner och på minst -20 dB	Original
3	Val av en lämplig plastkapsling för antenntester	Original
4	Ett Elschema för BLE-modulen skall skapas och integreras i shcemat av produkten.	Annulerad
5	PCB layout för BLE-modulkretsen skall läggas i PCB av produkten	Annulerad
6	Ett trådlöstest skall utföras data måste hämtas av BLE-modulen och skickas vidare till AnyBus Communicator	Original

7	Modulkretsen skall innehålla två lägen. Första läget är tillför programmering av BLE-modulen och anslutning till dator. Andra läget är för anslutning till AnyBus Communicatorn.	Tillagd (2022-02-03)
8	BLE-modulen skall vara programmerbar genom USB	Tillagd (2022-02-03)
9	Anslutning till AnyBus Communicator skall vara möjligt	Tillagd (2022-02-03)
10	BLE-modulen skall kunna försörjas från AnyBus Communicatorn	Tillagd (2022-02-03)
11	Kretsen skall kunna matas med en extern spänningskälla	Tillagd (2022-04-01)
12	Dataöverföring önskas vara så snabb som möjlig.	Original
13	Protokollet önskas vara kompatibel med AnyBus Communicator.	Original
14	Protokollet önskas vara lätt att implementera.	Original

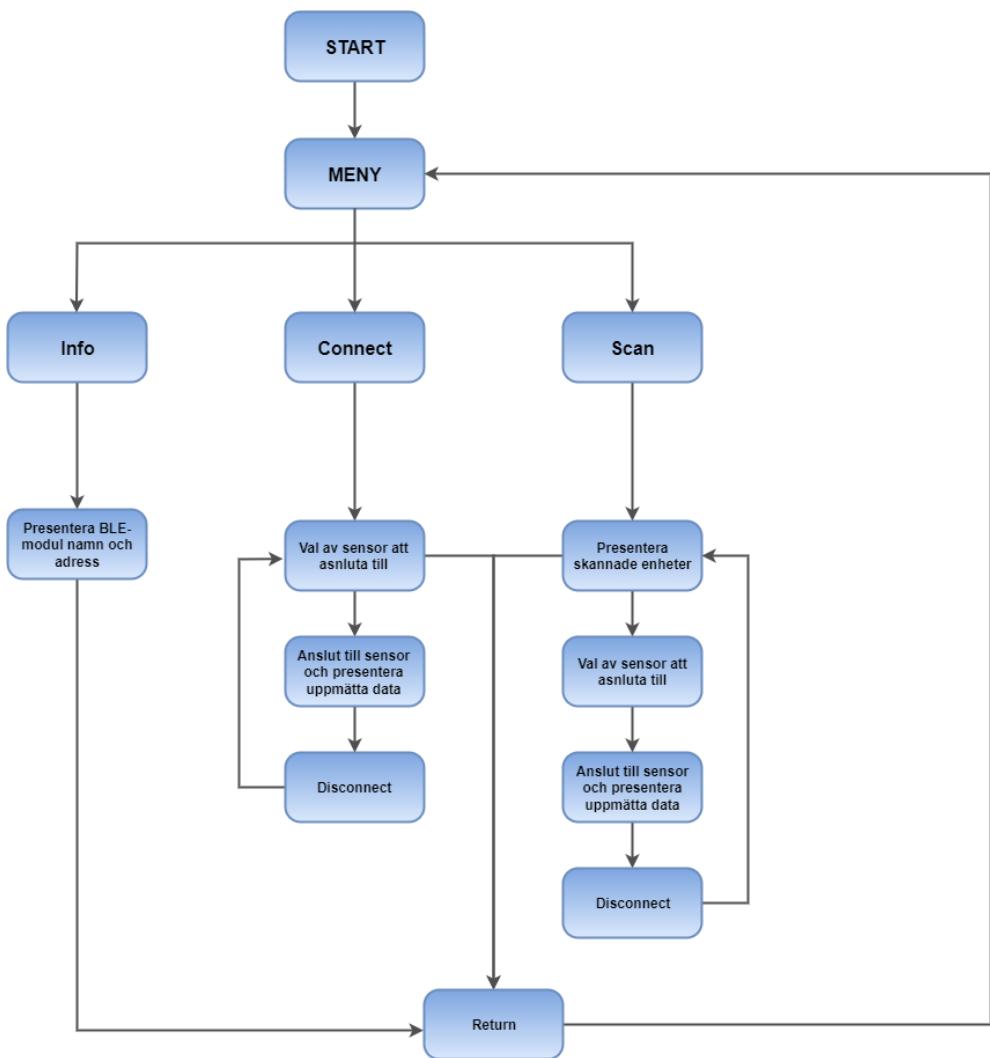
B. Testprogram

```

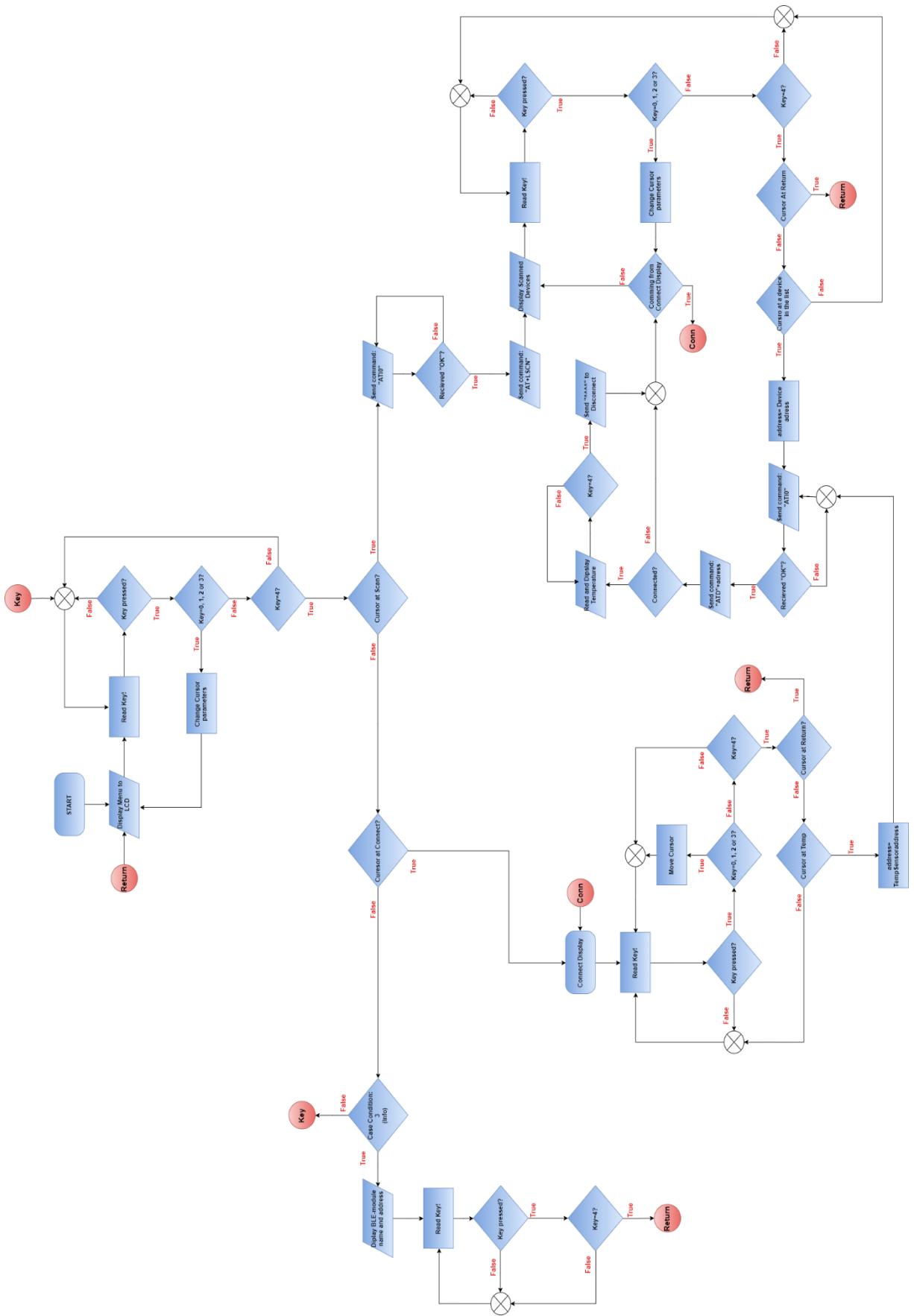
1 #define GPIO_TEMP_SENS 3
2 #define led4 16 //sio 16
3 #define button1 11 // sio 11
4
5 dim rc, adc, mv, mv1, ec, switch, status, i, mv2, temperatureN, j
6
7 //Start timer to read temperature sensor
8 TimerStart(0,1000,1)
9 //Remove resistor
10 rc = GpioSetFunc(GPIO_TEMP_SENS, 1, 2)
11 //Analogue in
12 rc = GpioSetFunc(GPIO_TEMP_SENS, 3, 0)
13
14 ec=gpiofunc(button1,1,2)// button 1 at sio 11 is input
15 ec=gpiofunc(16,2,0)// led 4 at sio 16 is output
16 status=0
17
18
19
20
21 FUNCTION Adc2Mvadc)
22
23     //10-bit resolution
24     adc = (adc*225)/64
25     | PRINT "\nRaw Temperature Sensor Reading: ";adc
26 ENDFUNC adc
27
28
29 function realTemperature(temperatureN)
30     temperatureN=adc*10
31     temperatureN=temperatureN-18583
32     temperatureN=temperatureN/(-117)*2
33     // temperatureN = (((adc*10) - 18583) / (-117))
34     if(temperatureN>310) then
35         gpiowrite(led4,1)
36         endif
37     j=0
38     while(j<100000)
39         j=j+1
40         endwhile
41     temperatureN=temperatureN
42     if(temperatureN<=300)then
43         gpiowrite(led4,0)
44         endif
45     PRINT "\tthe real Temp is: ";temperatureN
46 ENDFUNC temperatureN
47
48
49
50 FUNCTION ledonof(temperatureN)
51
52
53 ENDFUNC 1
54
55
56
57 FUNCTION HandlerTimer0()
58     //Read the ADC
59     adc = GpioRead(GPIO_TEMP_SENS)
60     mv=Adc2Mv(adc)
61     mv1=realTemperature(temperatureN)
62     mv2=ledonof(mv1)
63     //PRINT "\nRaw Temperature Sensor Reading: ";adc
64     //(adc*225) / 64      10bit
65 ENDFUNC 1
66
67
68 OnEvent EVTMR0 call HandlerTimer0
69 WAITEVENT
70

```

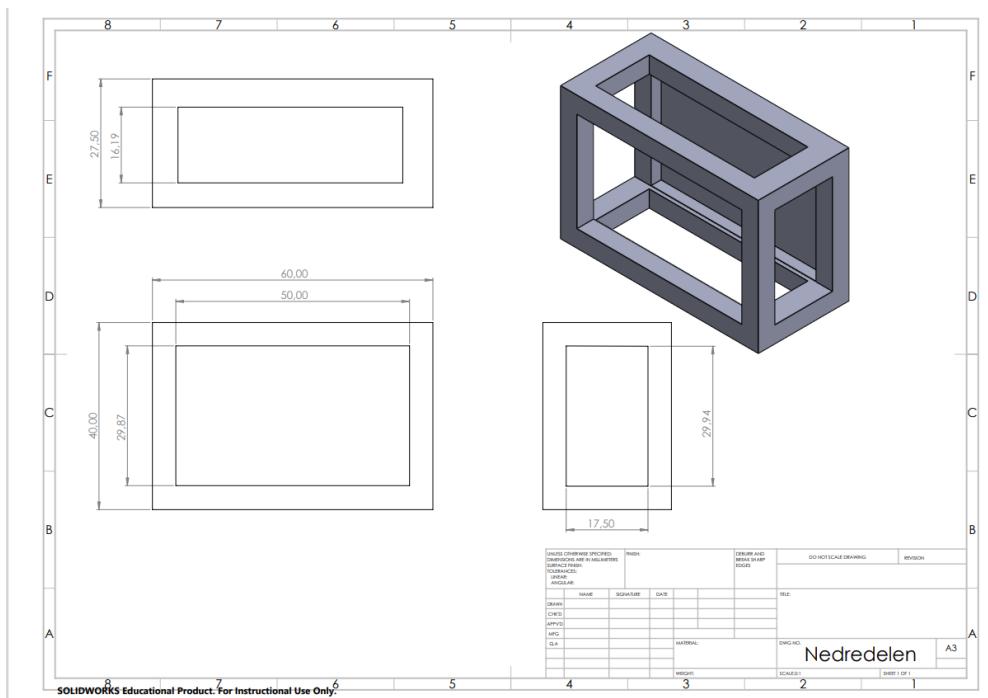
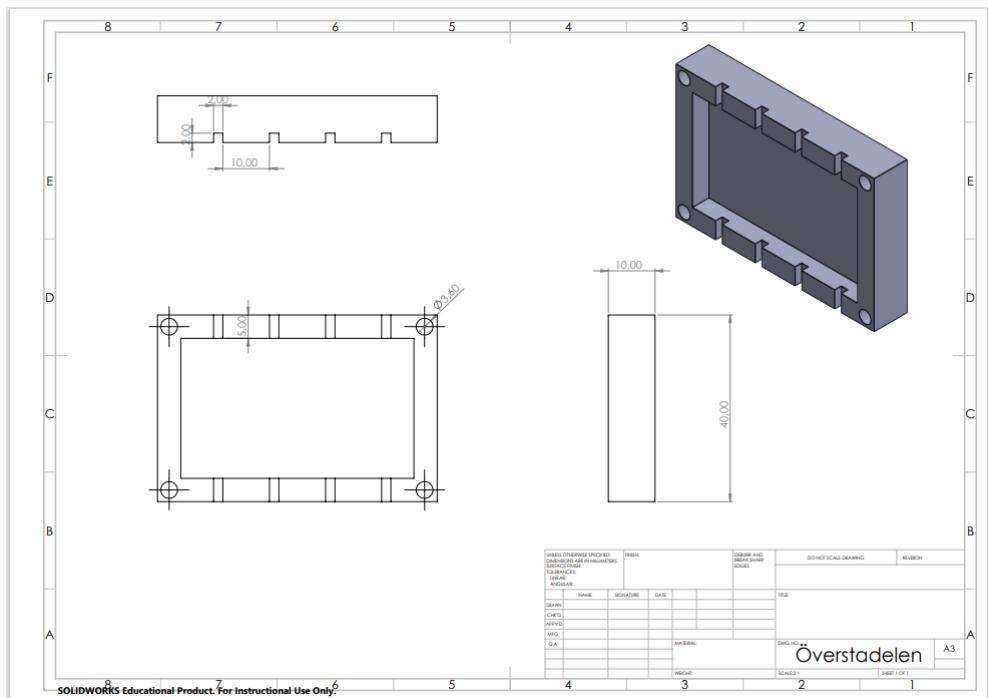
C. Flödesschema av användargränssnitt



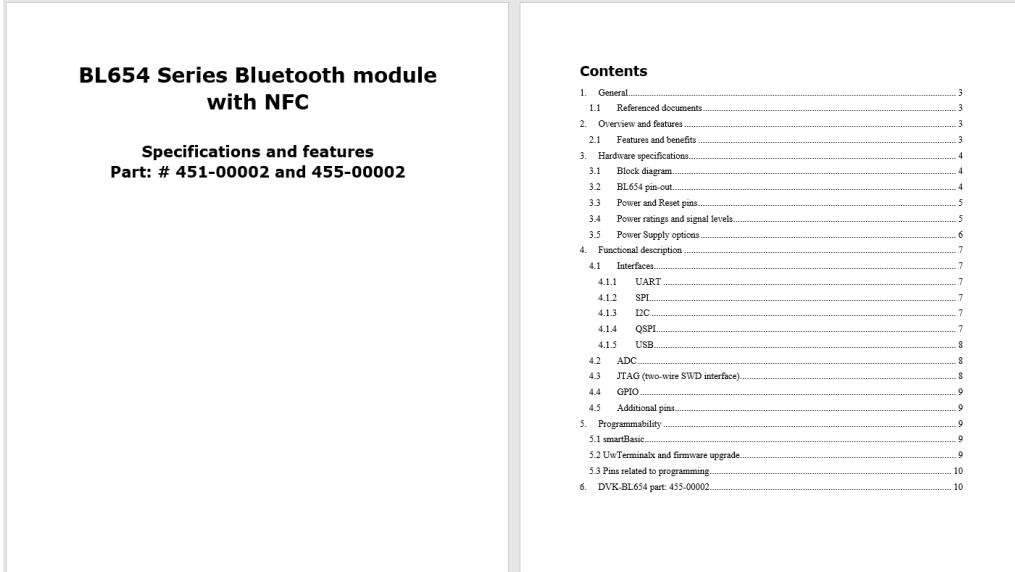
D. Flödesschema av Arduino applikation



E. CAD-ritning för antennhuset



F. BLE-modulspecifikation



1. General

1.1 Referenced documents

Document name	Author	Version
Datasheet BL654 Series	Laird connectivity	2.5
User Guide BL654 Development Kit	Laird connectivity	1.3
Schematics-dk-bl654	Laird connectivity	1.0
AT interface smartBasic Application Quick Start Guide	Laird connectivity	1.3
Using of Running Applications with UwTerminals	Laird connectivity	1.1
User Guide BL654 AT Interface Application	Laird connectivity	4.2
Upgrading BL654 Connects via UART	Laird connectivity	1.0

2. Overview and features

This document is a general description to the BL654 Bluetooth module from Laird connectivity, which is a recommended part to be integrated in the Argus® communicator to achieve wireless communication. The document describes the important features that can be used in the Argus® communicator project. Otherwise, more information and features can be found in the referenced documents.

2.1 Features and benefits

BL654 series module provides Bluetooth Low Energy (BLE) v5.1. The design is based on Nordic semiconductor nRF52840 chipset and provides various features which allow different possibility and programming flexibility. Some important features are listed below.

- Bluetooth Low Energy v5.1
- 802.15.4 (Thread) radio support
- External or internal antennas
- Multiple programming options
 - smartBasic
 - AT command
 - Nordic SDK in C
- Multiple interfaces and peripherals: UART, I²C, SPI, QSPI, USB, I²S, PWM, PDM, ADC, GPIO, FREQ output
- NFC

- Temperature range (-40° C to +85° C)

3. Hardware specifications

3.1 Block diagram

3.2 BL654 pin-out

3.3 Power and Reset pins

Pin name	Pin number	Description
VDD_4V	27	2.4V to 5.5V supply range for high voltage power supply
VDD	31	1.7V to 5.5V supply range for normal power supply
VBUS	24	4.35V to 5.5V supply range for powering USB_BL654 module must still powered through VDD or VDD_HV
RESET/HV₁₈	19	HV reset (active low), 100ns for the BL654 to reset
GND	0, 23, 26, 33, 40, 43, 45, 46, 50 and 55 to 71	17 GND pins

3.4 Power ratings and signal levels

Pin name	Min	Max
VDD pin	-0.3V	3.9V
VDD_HV pin	-0.3V	5.5V
VBUS	-0.3V	5.5V
SIO pins (at VDD = 3.3V)	-0.3V	VDD+0.3V
SIO (at VDD = 3.0V)	-0.3V	3.9V
GND pins	0V	0V

Parameter	Min	Type	Max
V _{IH} (Input High)	0.7 x VDD		VDD
V _{IL} (Input Low)	VSS		0.3 x VDD
V _{OH} (Output High)	VDD-0.4		VDD
V _{OL} (Output Low)	VSS		VSS+0.4
V _{OL} Current at VSS = 0.4V			
<u>Output</u> , 0.5mA	1mA		4mA
<u>Hold</u> , 3mA	3mA		-
<u>Release</u> , 5mA	6mA		15mA
V _{OL} Current at VDD = 0.4V			
<u>Output</u> , 0.5mA	1mA		4mA
<u>Hold</u> , 3mA	3mA		-
<u>Release</u> , 5mA	6mA		14

Note: For VDD₂=1.7V, The firmware supports high drive (3 mA, as well as standard drive). For VDD₂=2.7V, The firmware supports high drive (5 mA (since VDD₂=2.7V), as well as standard drive).

3.5 Power Supply options

There are two supply voltage modes: normal or high voltage mode.

- Option 1: Normal voltage mode. Achieved when VDD and VDD_HV are equally connected to external supply voltage within range (1.7V to 3.6V).
- Option 2: High voltage mode. Achieved when only VDD_HV connected to external supply voltage within range (2.5V to 5.5V). VDD pin left unconnected, and it becomes an output in this case. In high voltage mode VDD output voltage is configurable from 1.8V to 3.3V.

"AT1REG0=X" can be used to set the VDD output voltage where X used to specify the voltage by:

- 0: 1.8v
- 1: 2.1v
- 2: 2.4v
- 3: 2.7v
- 4: 3.0v
- 5: 3.3v

"AT1I2026" can be used to read the voltage level.

Note: The "REGOUT0" register can only be written once so if a new value is required the BL654 needs to be erased and reprogrammed with a recent firmware image.

4. Functional description

4.1 Interfaces

4.1.1 UART

Full duplex asynchronous serial data port with handshaking (Tx, Rx, RTS, CTS). Signals level are 0V and 3.3V. Data rates up to 1 Mbps.

Pin name	Alternate function	Pin number
UART_Tx	SIO_06	35
UART_Rx	SIO_08	29
UART_RTS	SIO_29AIN0	39
UART_CTS	SIO_07	37

4.1.2 SPI

Full duplex synchronous. It supports a 3-wire bidirectional bus (MOSI, MISO, SCK) and individual chip select signal (CS) which can be any spare SIO digital output pin. SIO_44 (pin 54) used as (SPI_CS) on DVK-BL654. Data rates up to 4 Mbps

Pin name	Alternate function	Pin number
SPI_MOSI	SIO_40	32
SPI_MISO	SIO_04AIN0	54
SPI_SCK	SIO_41	30
SPI_CS or (any SIO)	SIO_44	54

4.1.3 I2C

2-wire bi-directional interface (SCL, SDA). It supports data rates 100 kbps and 400 kbps

Pin name	Alternate function	Pin number
I2C_SDA	SIO_29	36
I2C_SCL	SIO_27	38

4.1.4 QSPI

32-MHz QSPI interface, it supports (DIO [0-3], CLK, CS).

Pin name	Alternate function	Pin number
QSPI_DIO0	SIO_20	13
QSPI_DIO1	SIO_21	12
QSPI_DIO2	SIO_22	11

QSP _L _DIO3	SIO_23	9
QSP _L _CLK	SIO_19	14
QSP _L _CS	SIO_17	15

4.1.5 USB

USB 2.0 FS (Full Speed, 12 Mbps)

Pin name	Alternate function	Pin number
D+	D+	15
D-	D-	17
VBUS	VBUS	24

Note: Using VBUS pin a 4.7uF capacitor must connect to ground. The BL654 module must powered through OPTION 1 or OPTION 2 as described in section 3.4.

4.2 ADC

This interface is an alternate function on each pin, configurable by smartBASIC. AIN configuration selected using **ADSConfig** function.

Configurable 8, 10, 12-bit resolution.
Configurable voltage scaling 4, 2, 1.1, 1/3, 1/4, 1/5 (default).
Configurable acquisition time 3uS, 5uS, 10uS (default), 15uS, 20uS, 40uS. Full scale input range (VDD)

Pin name	Alternate function	Pin number
AIN0	SIO_30 (VSP)	50
AIN1	SIO_31	49
AIN2	SIO_04AIN0	54
AIN3	SIO_29UART_RTS	39
AIN4	SIO_28	48
AIN5	SIO_29	48
AIN6	SIO_30	45
AIN7	SIO_31	44

4.3 JTAG (two-wire SWD interface)

Nordic SDK applications can only be loaded using JTAG. It is recommended also to handle future BL654 module smartBasic firmware upgrades.

Pin name	Alternate function	Pin number
SWDIO	-	1
SWDCLK	-	3

4.4 GPIO

There are additional 20 SIO pins other than pins specified in this document. 19 of them are configurable and one is reserved, see note below:

Note: SIO_38 (pin 63). Reserved for future use do not connect!

4.5 Additional pins

Pin name	Alternate function	Pin number	Description
XL1	SIO_30	42	Used for optional 32.768 kHz crystal
XL2	SIO_31	41	
NFC1	SIO_39	59	For NFC usages
NFC2	SIO_10	57	

5. Programmability

BL654 has multiple programming options. It is programmable via Laird Connectivity's smartBasic language or Nordic's software development kit (SDK).

5.1 smartBasic

For smartBasic programmability, Laird Connectivity provides many smartBasic application scripts. They are found in application folder on Github https://github.com/LairdConnectivity/BL654_Applications. The smartBasic application offers Santorini5 AT interface BL654_sb that provides AT command interface.

There are two operating modes: Self-contained Run mode (nAutoRUN pin held at 0V) and Interact-to-Development mode (nAutoRUN pin held at VDD). Scripts named Santorini5 will be automatically executed when self-contained Run mode nAutoRUN pin can be controlled with UwTerminalX through DTR output line (If nAutoRUN connected to DTR and DTR checkbox in UwTerminalX is selected this means self-contained Run mode). For pin description see section 5.3.

5.2 UwTerminalX and firmware upgrade

UwTerminalX is a development terminal that used to download the smartBasic application. It can be downloaded from the product page.

To start with UwTerminalX:

- Download UwTerminalX and source code. GitHub link: <https://github.com/LairdConnectivity/UwTerminalX/releases>
- Download firmware files (Right version) from the product page.
- Create a folder in the UwTerminalX folder you downloaded, call it "compilers" and Copy "XCcomp_BL654_0B32_5072.exe" from firmware folder into it. (This is used as local XCCompiler. UwTerminalX, however, provides the option for using an online XCCompiler)

Use "BL654xUwTerminalUpgrade.exe" from firmware folder to upgrade. (SIO_35 (pin5) must be connected to DTR in development kit). Refer to "Upgrading BL654 Firmware via UART" in section 1.1 referenced documents.

For further information on using UwTerminal refer to section 1.1 referenced documents. See documents "AT interface smartBasic Application Quick Start Guide", "Loading and Running Applications with UwTerminalX" and "User Guide BL654x AT Interface Application".

5.3 Pins related to programming

Pin name	Alternate function	Pin number	Description
nAutoRUN	SIO_35	5	<ul style="list-style-type: none"> • If Low (0V) Self-contained mode. Runs Santorini5 application automatically if it exists • If High (VDD) Interactive (Development mode). Application runs via AT&RTT (Re name)
SIO_02 (VSP)	AIN0	50	Virtual Serial port mode and Over-The-Air app download. Must be pulled high to enable VSP (Virtual Serial port) which allows Ota (Over-The-Air), this makes it possible to download smartBasic applications over the air.

Note: When SIO_02 is high, ensure that SIO_35 (nAutoRun) is NOT high at same time, otherwise you cannot load the smartBasic application script.

6. DVK-BL654 part: 455-00002

The Laird BL654 development kit provides multiple options. It is supported with different components and items to make it possible to create wireless communications and to be able to prototype and test different features that the BLE module provides.

The development kit has various switches and jumpers to allow multiple configurations, it has 3 USB connectors which provides access to BLE module by different interfaces. It can also be powered externally by adapter or battery. It contains different devices to interact with the module with different interfaces. It has devices like temperature sensor, RTC chip, EEPROM, push buttons, LEDs, QSPI flash IC and NFC connector. The kit contains also Atmel MCU (ATSAM3U2CA-CU) which can be connected to the module if required.

For further information refer to the referenced documents in section 1.1, see documents "User Guide BL654 Development Kit" and "Schematics-dvk-bl654".

6.1 Power options

USB1 USB type micro-B connector – If it requires the FTDI USB1-UART (BL654) path
USB2 USB type micro-B connector – If it requires the Atmel USB2-SWD (BL654) path
USB3 USB type micro-B connector – If it requires the USB3 to USB (BL654) path

External DC supply (2.5V-5.5VV), into DC jack connector (CON1),
AAA batteries – Three AAA (4.5V) battery holder (J25) fitted on underside of development board

G. Tjockleken på ledningar

Track Width Reference Table (for 10deg C temp rise). Track Width is in Thous (mils)			
Current (Amps)	Width for 1oz	Width for 2 oz	milli Ohms/inch
1	10	5	52
2	30	15	17.2
3	50	25	10.3
4	80	40	6.4
5	110	55	4.7
6	150	75	3.4
7	180	90	2.9
8	220	110	2.3
9	260	130	2.0
10	300	150	1.7

H. Tidsplan

