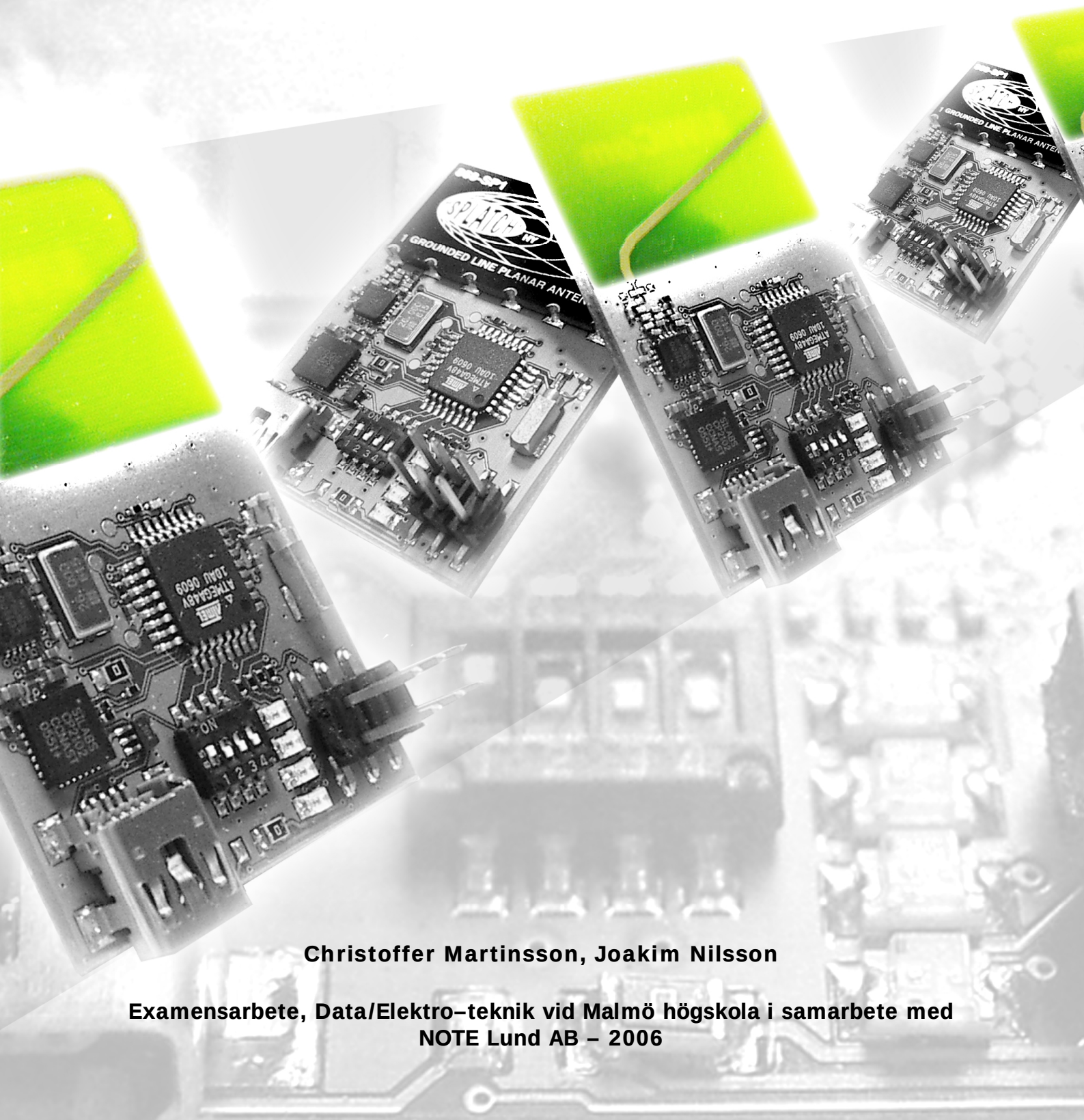


Project

SiWiCom

Simple Wireless Communication



Christoffer Martinsson, Joakim Nilsson

Examensarbete, Data/Elektro-teknik vid Malmö högskola i samarbete med
NOTE Lund AB – 2006

Copyright © Christoffer Martinsson, Joakim Nilsson 2006

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording, or by any information storage and retrieval system, without the prior permission of the copyright owner.

Abstract

The method of choice for communication used in society today is mainly based upon wireless communication technology. Wireless communication technology is a rapidly developing field ranging from the chip level to software implementation to the hubs and various transmitter / receiver modules. Electronic design engineers today should have the technical competence in this growing field since projects in wireless communication are imminent. The purpose of project SiWiCom is to give design engineers the competence required to be able to undertake a wireless communications project with confidence. This project consists of modulation theory, coding techniques, resonance chips and basic antenna theory. It also includes how to calculate and present radiation resistance, effective area, impedance implementation and transmitter power for an inverted-L PCB antenna.

The practical part of SiWiCom project includes constructing a prototype. The prototype must also conform to technical demands normally specified today. The software that is designed to control the unit must also be able to do a point-to-point check for data transmission and also be able to support other external devices.

The final prototype is presented and the entire project is evaluated through the result of the functionality and standard conformity of the prototype built. The prototype must also reflect and demonstrate the theoretical principles learned in the project.

Sammanfattning

Dagens samhälle består av en mängd förbindelser där datatrafik sker trådlöst mellan olika noder. Utvecklingen går snabbt framåt både vad gäller integrerade kretsar för radiokommunikation och olika typer av antenner. Som elektronikutvecklare bör man ha tillräckliga teoretiska kunskaper och känna till vilka komponenter som finns att tillgå då det är sannolikt att ett projekt med trådlös kommunikation väntar inom snar framtid. Projekt SiWiCom är utformat som ett utvecklingsprojekt med syfte att ge dessa kunskaper i form av en teoridel som behandlar modulation, kodningstekniker, resonanskretsar samt grundläggande antennteorin inkluderat en jämförelse mellan en mängd vanligen förekommande antenner. Avslutningsvis presenteras beräkningar för strålningsresistans, effektiv area, impedansanpassning och räckvidd vid en specifik sändareffekt för en inverterad-L, pcbantenn.

SiWiCom innehåller även en konstruktionsdel som beskriver arbetet med att utveckla ett laborationskort med stöd av ovan teori samt med krav på låg strömförbrukning, räckvidd och produktionsanpassad design. Mjukvaran som utvecklats skall förutom att kontrollera/styra transivern även utgöra ett punkt-till-punkt protokoll för dataöverföring samt möjliggöra kommunikation mellan labkortet och en extern enhet via usb.

Teoridelen testas mot verkligheten där prestanda jämförs mellan laborationskortens tre olika antenntyper i en enkel utvärdering.

Lund 06-06-29

Förmågan att samla in fakta och snabbt kunna sätta sig in i obekanta ämnen är kanske det viktigaste man som ingenjör lär sig under utbildningen. Att få praktisera denna förmåga samtidigt som man använder inhämtade kunskaper är ”pricken över i” då man knyter samman säcken i sin utbildning i form av ett examensarbete.

Men utan stöd i form av handledare, laborationsutrustning och ekonomisk hjälp hade det aldrig gått att genomföra ett projekt som SiWiCom. Vi vill därför med dessa inledande rader speciellt tacka NOTE Development och Jonas Öhrn för den utmärkta handledningen, NOTE Lab för framtagning av prototypkort samt Sveg Design Center AB för lån av mätinstrument. Slutligen vill vi också tacka all övrig personal på NOTE Lund AB som ställt upp för oss samt vår handledare/examinator på Malmö högskola.

Innehållsförteckning - teoridel

1	Inledning	6
2	Trådlös dataöverföring	8
2:1	Modulering	8
2:2	Demodulering	9
2:3	kodningstekniker	9
3	Radiosändare: regler och frekvensområden	10
3:1	Att tänka på vid val av sändare	11
4	Mottagare	12
4:1	Att tänka på vid val av mottagare	12
5	Resonanskretsar	14
5:1	Kristallresonatoren	14
5:2	Keramisk resonator	16
5:3	Kristalloscillatorn	16
5:4	Att tänka på vid val av resonanskrets	16
6	Antenner – grundprincip och utformning	18
6:1	Bandbredd	19
6:2	Riktverkan	19
6:3	Friis transmissionsformel	19
6:4	Effektiv area	20
6:5	Polarisation	21
6:6	EIRP	21
6:7	Antennens elektriska uppbyggnad	22
7	Olika typer av antenner	24
7:1	Halvvågsdipol	24
7:2	Vikt halvvågsdipol	25
7:3	Kvartsvågsmonopol	25
7:4	Stubbantenn	26
7:5	Inverterad-L antenn	26
7:6	Inverterad-F antenn	27
7:7	Spiralantenn	27
7:8	Små loopantenn	28
7:9	Chipantenn	29
8	Sammanfattning, klassificering av antenner	30
8:1	Antenner på pcb	30
8:2	”Små” antenner	31
9	Beräkning av inverterad-L, pcb antenn	32
10	Impedansanpassning	36
10:1	Smithdiagram	37
10:2	Exempel på impedansanpassning med Smithdiagram	38

Innehållsförteckning - konstruktionsdel

11	Kravspecifikation från kund	42
11:1	Uppbyggnad.....	42
11:2	Power supply	43
11:3	Prestanda.....	43
11:4	Protokoll	43
12	Tidplan.....	44
12:1	Milstolpar	45
13	Val av RF-teori.....	46
13:1	RF-länk.....	46
14	Val av antenn	48
15	Val av RF-krets	50
16	Val av kristall	52
17	Hårdvarudesign	54
15:1	Interface.....	54
15:2	Microprocessor	54
15:3	Power supply	54
15:4	I/O	54
18	Framtagning av layout	56
19	Impedansanpassning av pcb antenn	58
20	Mjukvarudesign.....	60
20:1	RF-kommunikation	62
20:2	PC (USB)-kommunikation	62
20:3	PC programvara för test av PC-länk	63
21	Test och utvärdering.....	64
21:1	Strömförbrukning.....	64
21:2	Räckvidd.....	64
21:3	Slutsats	66

Referenser

Referensdokument teori/konstruktionsdel.....	68
Datablad RF-chip	83

Bilagor

1	Milstolpar	
1a	MS 1: Val av RF-teori.....	70
1b	MS 2: Val av RF prototyp	71
1c	MS 3: Tillverkningsunderlag klart.....	72
1d	MS 4: Konstruktion klar.....	73
1e	MS 5: Projekt klart, sammanfattning	74
2	Rf-chip	
2a	Utvärderade chip.....	76
2b	Lämpliga chip	77
2c	Förteckning över datablad	83
3	Hårdvarudesign	
3a	Kretsschema SiWiCom modell 1.....	86
3b	Kretsschema SiWiCom modell 2	87
3c	Layout modell 1 & 2	88
4	Mjukvarudesign	
4a	Paketbeskrivning, RF-kommunikation	90
4b	Paketbeskrivning, PC-kommunikation	91
4c	Flödesschema, Master-program.....	92
4d	Flödesschema, Slav-program.....	93
5	Beräkningar.....	94
6	Förkortningar	96
7	Bomlista	
	7a Modell 1	98
	7b Modell 2.....	100
CD	Programkod	
	programkod/siwiCom.c	
	programkod/hardware.h	
	programkod/rfProtocol.h	
	programkod/cc1100.h	
	programkod/spi.h	
	programkod/pcProtocol.h	
	programkod/usart.h	
	Datablad (pdf)	
	Referensdokument (pdf)	

1. Inledning

Denna rapport är författad av Joakim Nilsson och Christoffer Martinsson och utgör redovisningen av vårt examensarbete på Malmö högskolas ingenjörsutbildning Data/elektroteknik. Projektet, som i den löpande texten kallas SiWiCom, är utformat som ett vanligen förekommande utvecklingsuppdrag i elektronikbranschen med fokus på kostnad, producerbarhet och dokumentation samt med tidsramar och delmål. De teoretiska kunskaperna och formler för beräkningar nödvändiga för projektet har till stor del inhämtats från ledande tillverkares produktdatablad och faktasidor över integrerade kretsar för radiokommunikation. Referenser för formler anges som [a, b] där a refererar till källan och b anger sidnummer. För figurer refereras endast källan och för övrigt textbaserad fakta gäller referenser upptagna i referenslistan i slutet av rapporten. Där finns även en ordlista som förklarar en del tekniska termer och förkortningar.

Syftet har varit att bidra till en kompetensförhöjning inom området radioteknik med trådlösa dataförbindelser med en teoretisk nivå som är relevant för en utvecklingsingenjör. Olika lösningar för sändare, mottagare och antenn jämförs mot varandra i en utvärdering som kan ligga till grund för framtida trådlösa produkter utvecklade av vår kund, Note Development i Lund. Denna rapport består därför av två delar; en teoridel som innefattar grundläggande teori nödvändig för projektet samt en konstruktionsdel som beskriver utvecklingen av hård/mjukvara inkluderat en slutttest och utvärdering av projektet.

2. Trådlös dataöverföring

För trådlös dataöverföring används ofta radiokommunikation som den trådlösa länken. För att överföra information i digital form finns en mängd olika etablerade standarder att tillgå.

2:1 Modulering

Modulering är en process som möjliggör att en bärvåg kan transportera data, vanligen i form av ettor och nollor. För detta ändamål finns det tre standardmetoder:

- ASK: Amplitude Shift Keying, även känt som On-Off Keying (OOK), är en enkel och billig lösning som bygger på att en etta och nolla representeras av bärvåg respektive ingen bärvåg.
- FSK: Frequency shift keying, innebär att bärvågen förändras inom ett bestämt intervall vid modulation.
- PSK: Phase shift keying, ändrar bärvågens fas så att olika faslägen representerar olika värde. BPSK (Binary PSK) ger en nolla eller etta beroende på fasläget. Ger betydligt bättre prestanda än ASK och FSK och används ofta eftersom det ger en effektiv modulering i förhållande till bandbredden det upptar.

Det finns en mängd utvecklingar och varianter av ovanstående metoder där några exempel är:

- GFSK är förfinade varianter av FSK där bandbredden reduceras i och med införandet av ett Gaussiskt filter innan modulering. Detta ger en ökning av antalet överförda bitar per Hertz.
- 2-FSK är likt FSK och benämns ofta som BFSK (Binär FSK) eftersom det bygger på principen att en "etta" motsvaras av grundfrekvensen + Δf och en "nolla" på grundfrekvensen – Δf .
- QPSK: I stället för två olika faslägen finns det fyra vilket gör det möjligt att koda ord som 00, 01, 10, 11.
- QAM: Om man kombinerar QPSK med ASK kan man koda ord upp till 64 bitar vilket dock kräver ett bra signal/brusförhållande för en godtagbar BER.
- GMSK: Gaussian minimum shift keying, är en populär variant av QPSK som i princip innebär FSK+PSK kombinerat med ett Gaussiskt LP-filter för att optimera bandbredden.

2:2 Demodulering

Det finns i huvudsak två tekniker för att kunna ta emot och demodulera en PSK modulerad signal. Vid så kallad "coherent mottagning" skapar man en referensbärvåg vilken den mottagna signalen blandas med för att avkoda informationen i fasskillnad och amplitud. Differentiell mottagning är en mottagningsmetod som bygger på att varje nytt fasläge jämförs med tidigare fas och då representerar ett ord beroende på förskjutningen i förhållande till denna.

2:3 Kodningstekniker

Den enklaste metoden att representera en "etta" eller "nolla" är NRZ (Non Return Zero) vilken vanligen används i låghastighetsöverföringar. Signalen blir här aldrig noll eftersom en nolla representeras av en låg nivå i förhållande till en etta. Om man till exempel har 5V att representera en 1:a måste en 0:a vara ett spänning mindre än 5V men större än 0V. Nackdelen är att ett avbrott i överföringen eller en lång rad av samma bitar försvårar återskapning av klocksignalen i mottagaren vilket kan leda till fel.

Vid Manchester-kodning, ibland benämnt Biphase-kodning, motsvaras en etta av ett nivåskifte från hög till låg och en nolla från låg till hög. Exempel:

En sekvens: " 0 1 1 1 1 0 0 1 " kodas till " 01 10 10 10 10 01 01 10"

Fördelen är att man mycket lätt kan återskapa klocksignalen som blir stabil i både tid och fas. Nackdelen är att Manchesterkodning upptar dubbla bandbredden.

3. Radiosändare: regler och frekvensområden

För vårt ändamål gäller att utsänd frekvens hamnar i det svenska ISM-bandet som är licensfritt under förutsättning att uppsatta regler efterföljs. Dock måste själva produkten typgodkännas och uppfylla emc-krav för bland annat fasbrus, störnivå från mottagare samt säkerhetsklassas för vilket ändamål den är avsedd. Detta är ett avsnitt för sig som bör göras i samråd med företag/personer som är specialister på området och har erforderliga mätmöjligheter och behandlas därför inte djupare här.

För vårt ändamål är följande frekvensområde intressant:

433,05 – 434,790 MHz

868,00 – 870,00 MHz

Det högre bandet är uppdelat i olika delband där vissa är bestämt avsedda för specifika ändamål som larmöverföring, telemetri och data. Vissa delband har begränsad sändareffekt tillåtenhet och vissa delband är starkt begränsade i bandbredd. Det är även skillnader i sändningscykel mellan de olika banden. Gemensamt för alla produkter som arbetar i ISM-bandet är att antennen måste vara integrerad då inga anslutningar för extern antenn får förekomma om inte kontakten är av speciell, ej vanligt förekommande modell. Tabell 1 är sammanställd efter Post och telestyrelsens författningssamling PTSFS 2004:8 [3] och ger en översikt för vad som gäller i Sverige.

Frekvens (MHz)	Uteffekt (mW) _{e.i.r.p}	Sändningscykel % av 1h	Bandbredd kHz	Ändamål
433,050-434,790	<25 _{e.i.r.p}	Obegränsad		Fritt
868,6000-868,7000	<25	<0,1	25	Larmöverföring
868,6125-869,2875	<25	<0,1	25	Larmöverföring
869,6625-869,6875	<25	<10	25	Larmöverföring
869,4000-869,6500	<500	<10	25	Radiostyrn, Telemetri, Data
869,4125-869,6375	<500	<10	25	Radiostyrn, Telemetri, Data
868,0000-868,6000	<25	<1	Valfri	Radiostyrn, Telemetri, Data
868,7000-869,2000	<25	<0,1	Valfri	Radiostyrn, Telemetri, Data
869,7000-870,0000	<5	Obegränsad	Valfri	Radiostyrn, Telemetri, Data

Tabell 1: Tabellsammanfattning av regler för frekvensområde 433 MHz respektive 868MHz

3:1 Att tänka på vid val av sändare

- Strömförbrukning

Säkerställ att angiven strömförbrukning är vid det frekvensband som valts för tillämpningen samt kontrollera dutycycle vid uppmätt värde.

- Uteffekt

För i databladet angiven effekt gäller att en last med exakt angiven impedans används.

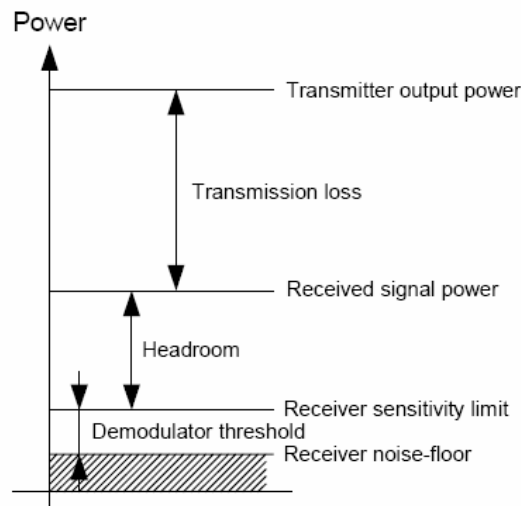
- Val av frekvensband

I synnerhet 433MHz bandet har dåligt ryckte och anses av många att vara fullt på grund av hög andel ASK modulering.

4 Mottagare

Mottagarens känslighet definierar minsta mottagen effekt vilken med korrekt demodulering resulterar i en godtagbar Bit Error Rate (BER). Bit Error Rate definieras som förhållandet mellan antalet felpaket och antalet korrekt mottagna paket och är vanligen i storleksordning 1×10^{-3} för samtal och 1×10^{-9} för data.

Skillnaden mellan mottagen effekt och känsligheten benämns på engelska som "headroom" och beror på en mängd faktorer som sändarsträcka, antenneffektivitet, bärvågsfrekvens och eventuella hinder i miljön. Headroom, som kan tolkas som marginal, är illustrerat i figur 1 nedan som visar vilka faktorer som påverkar.



Figur 1. Definition av headroom.

"Guidelines to low cost wireless system design" - Frank Karlsten, Nordic VLSI ASA. [1, 4]

4:1 Att tänka på vid val av mottagare

- Närliggande kanalselektivitet: ACS (Adjacent channel selectivity)
Definieras som förmågan att vid känslighetsgränsen kunna demodulera en signal trots närvaro av en betydligt starkare signal (sinus) centrerad i grannkanalen. Skillnaden, som anges i dB, är i verkligheten mindre än angivet då det vanligen inte är en sinuskomponent utan ett modulerat spektrum i grannkanalen. Man bör i databladet kontrollera att uppmätt värde verkligen är vid en frekvens som inte ligger längre ifrån än för kretsen angiven kanalseparation.
- Blockeringsegenskaper
Mottagarens förmåga att fungera bredvid en stark, närliggande frekvens som till exempel en 868MHz mottagare och en interfererande mobiltelefon på 900MHz. En bra uppskattning för att undvika problem är att undersöka eventuella närliggande, högeffektiva sändare och därefter kontrollera mottagarens blockeringsegenskaper vid dessa frekvenser.

- Samkanal: CCR (Co-channel rejection)
Förhållandet mellan två signaler på samma frekvens som mottagaren kan urskilja, typiskt värde på 10dB för godtagbar BER.
- Spegelfrekvensundertryckning: MIA (Mirror image attenuation)
Mottagarens förmåga att urskilja korrekt signal från en signal som orsakar samma mellanfrekvens efter blandaren.
- Dynamic Range
Maximala effektvariationen på mottagarkretsen vid korrekt demodulerad signal det vill säga känslighetsgränsen + dynamisk nivå.
- Känsligheten bör mätas och jämföras vid högsta baudrate!
- För tillämpningar med begränsade energiresurser gäller att mottagaren kan inta ett energisparläge. Viktigt är då att undersöka tiden för hur snabbt mottagaren går från vila till att lyssna.

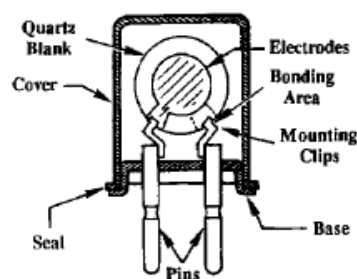
5 Resonanskretsar

För att skapa en stabil frekvensgenerator i sin RF-applikationer krävs en resonatorkrets. Beroende på hur höga krav konstruktionen kräver i form av bandbredd och frekvens krävs en viss inblick i hur resonatorkretsar fungerar och är uppbyggda.

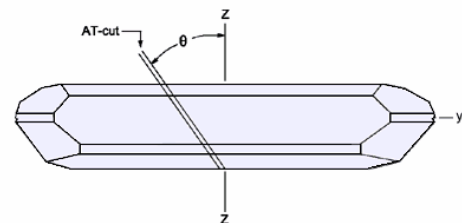
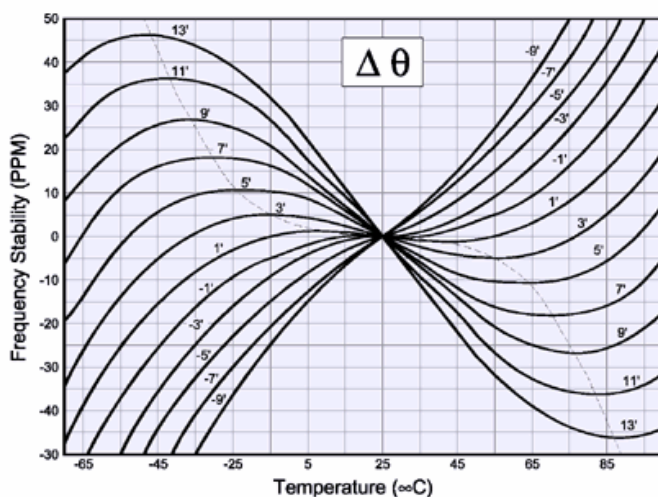
5:1 Kristallresonator

Kristallen, eller mer korrekt: kvartskristallen, kommer från bergsmineralen kiseldioxid (SiO_2). Denna kristall har goda piezoelektriska egenskaper och är lätt att tillverka med hög noggrannhet. Detta gör den till en vanlig typ av resonator för svängningskretsar inom elektronikindustrin. Tyvärr är kristallen inte helt ideal utan lider av olika svagheter så som temperaturkänslighet, vibrationskänslighet och åldrande.

Kristallresonatoren är uppbyggd av ett skikt kvartskristall med tillkopplade elektroder. På grund av känslighet mot partiklar monteras kristall och elektroder under vakuum i en hermetiskt tillsluten kapsel likt beskrivningen i figur 2. Kristallen kan tillverkas med olika temperaturegenskaper och toleransnivåer genom att ändra vinkeln vid slipningen, se figur 3. Vanligast är AT-slipning men slipningar benämnda, SC, BT, RT, LC och IT förekommer också.



Figur 2. Standardkapsling av kristallresonatoren HC49.
"Quartz frequency control devices" [16]



Figur 3. Temperaturegenskaper för olika AT-slipningar av kristallen.

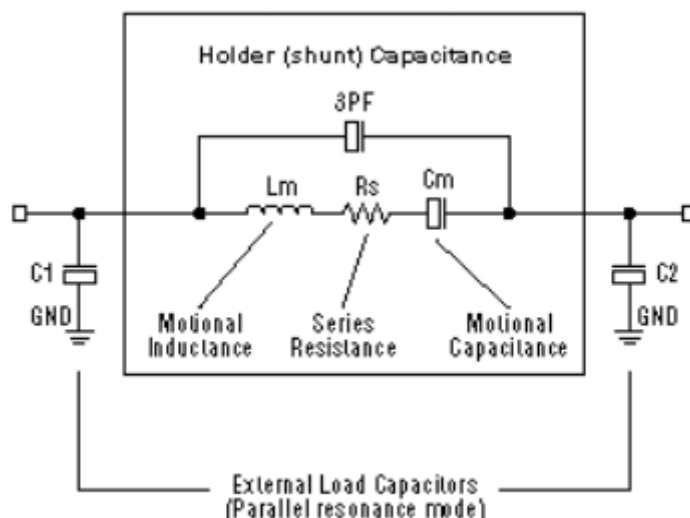
"Glossary of Terms for Crystals" [15]

Genom att lägga en spänning över kristallens elektroder uppstår en deformation av kristallskiktet. Detta fenomen bidrar till att kristallen får en resonansfrekvens som i sin tur används till att bland annat stabilisera oscillatorkretsar.

Kristallens frekvens anges normalt som dess grundton, men för kristaller över 30MHz blir kristallskiktet så pass tunt och svårbearbetat att tillverkarna istället kalibrerar kristallen efter dess överton. På så sätt kan högre frekvenser uppnås som dock kräver att oscillatoren, drivkretsen till kristallen, anpassas för övertonen och inte grundtonen.

Kopplingen mellan kristall och drivkrets kan göras på två sätt: med eller utan lastkondensatorer, märkta med C1 och C2 i figur 4 nedan. Utan lastkondensatorerna svänger kristallen i serieresonans och med lastkondensatorerna svänger kristallen i parallellresonans. Tillverkaren kan kalibrera kristallen för antingen serie eller parallellresonans varvid det är viktigt att välja den metod som drivkretsen är anpassad för.

ESR (Equivalent Series Resistance) illustreras också i figur 4 och är kristallens ekvivalenta resistans vid dess specificerade frekvens. Viktigt att tänka på är att oscillatorkretsar endast klarar av att driva en viss mängd serieresistans vilket normalt ligger mellan 25 och 100 ohm.



Figur 4. Ekvivalentschema för kvartskristallen
“Application note726, Specifying Quartz Crystals” [12]

Kristallen har ett mycket högt Q-värde vilket innebär hög noggrannhet. Tyvärr påverkas denna noggrannhet av yttre omständigheter så som temperatur, vibrationer och ålder. Tillsammans bestämmer detta toleransen på kristallen som delas upp i bland annat frekvens, temperatur och åldringstolerans. Med frekvenstolerans menas toleransen för den specificerade frekvens som tillverkaren uppgett. Temperaturtoleransen innebär hur mycket kristallens frekvens kommer att variera på grund av omgivande temperatur och slutligen åldringstoleransen som anger hur mycket frekvensen ändras på ett år. Tilläggas bör att även vibrationer och stötar kan få kristallen att ändra frekvens som kan hamna utanför angiven tolerans och i värsta fall förbli permanent.

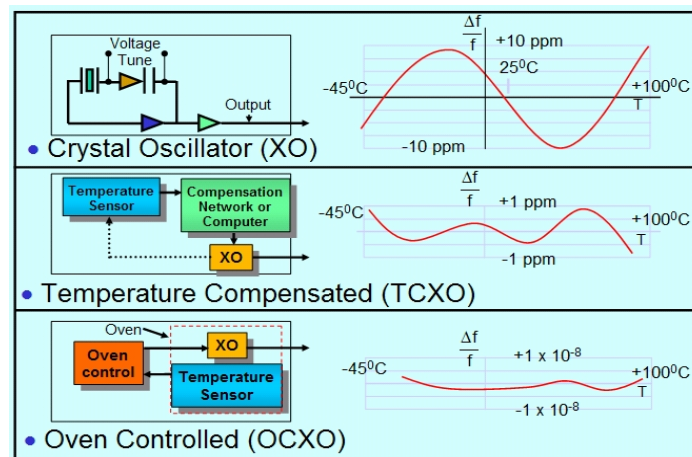
5:2 Keramisk resonator

Keramiska resonatorer används i applikationer där noggrannhet inte är ett krav. Detta eftersom toleransen hos en keramisk resonator ligger i storleksordning $0,3\%$ (3×10^{-3}) jämfört med kristallresonatorns 10ppm (1×10^{-5}). Fördelen med den keramiska resonatorn är att den kan tillverkas med små dimensioner och till ett lågt pris.

5:3 Kristalloscillatorn

Kristalloscillatorn är uppbyggd runt och kapslad tillsammans en kristall med tillhörande drivelektronik och används för ändamål där en ren klockpuls krävs. Även om kvartskristallens frekvens fastställs vid tillverkningsprocessen kan man genom att ändra lastkapacitansen på kristallen ändra dess frekvens. Detta utnyttjas och gör det möjligt att tillverka oscillatorer med mer eller mindre avancerad styreelektronik som därmed får olika egenskaper, se figur 5. Några typer av kristalloscillatorer är:

- VCXO (Voltage Controlled Xtal Oscillator): Ändrar sin frekvens beroende på spänningen.
- TCXO (Temperature Compensated Xtal Oscillator): Kalibrerar sig själv efter dess temperatur
- OVXO (Oven Controlled Xtal Oscillator): Har alla temperaturkänsliga komponenter inkapslade i en metallkapsel som likt en "ugn" värms upp och håller temperaturen stabil. Detta medför utmärkta temperaturegenskaper.



Figur 5. Oscillatorer med olika egenskaper
"Introduction to Quartz Frequency Standards" [13]

5:4 Att tänka på vid val av resonanskrets.

Säkerställ att kraven i databladet gäller för den bandbredd och frekvens som tillämpningen avser. Även om mottagaren har kompensering för frekvensdrift kommer kanalseparationen att påverkas då exempelvis en kristall med 30ppm i 868MHz bandet ger upphov till ($868\text{MHz} \times 0,000030 = 26\text{kHz}$)

Kristallkostnaden är även proportionell för dess temperaturstabilitet.

6. Antenner – grundprincip och utformning

En trådlös överföring är aldrig bättre än dess antenn! Med andra ord är antennen den klart viktigaste komponenten för hela projekt SiWiCom.

Principen för en sändande antenn kan enkelt beskrivas som en periodisk förtätning/förtunning av laddningar i en metall orsakat av en tillförd spänning. Den utstrålade effekten, som är en del av den tillförda aktiva effekten, svarar mot den resistiva del av antennens impedans som inte utgörs av ohmska förluster. Den så kallade strålningsresistansen skall vara så hög som möjligt och kan maximeras genom att se till att strömmen är så stor så möjligt genom hela arean för antennen. Ju längre sträcka man flyttar laddningar i, desto mindre laddningar måste flyttas i varje punkt för att uppnå samma elektromagnetiska strålning motsvarande en kort sträcka. Detta innebär att strålningsresistansen för små antenner är liten vilket medför låg effektivitet. Dimensionerna för en ”bra” antenn skall inte vara mycket mindre än våglängden för den aktuella frekvensen.

I en sändarantenn omvandlas en elektrisk signal till en elektromagnetisk våg genom att åstadkomma ett elektromagnetiskt fält kring en ledare. Beroende på om det är det magnetiska fältet eller det elektriska fältet som dominerar vid ledarens omedelbara närhet benämns antennen med olika namn. För antenner benämnda som elektriska antenner dominerar det elektriska fältet i det reaktiva närområdet och vid magnetiska antenner är det motsvarande magnetiska fältet som dominerar.

Man särskiljer på tre olika regioner där elektromagnetiska vågor framträder:

- **Reaktiva närfältet**
Variationer i de elektriska och magnetiska egenskaperna har stark inverkan på den elektriska antennens impedans. För en antenn avsedd för 868MHz är det reaktiva närfältet ett område med radie 5 cm runt antennen. Avståndet från antennen till gränsen för närfältet brukar vanligtvis anges som:

$$R_1 = \frac{l}{2 \times p} \quad [4, 3]$$

- **Närfält**
Mycket starkt elektromagnetiskt fält men närliggande föremål har liten inverkan på antennens impedans. Fjärrfältet beror av antennens fysiska storlek och har en diameter från antennen enligt nedanstående formel där D är största dimensionen av antennen:

$$R_2 = \frac{2 \times D^2}{l} \quad [4, 4]$$

Vanligtvis brukar man kunna bortse från närfältet om avståndet $R > \lambda$ vilket är cirka 35cm för en 868MHz antenn.

- **Fjärrfält**
Dominerar om avståndet är större än diametern för närfältet.
Fjärrfältet är det normala avståndet i praktiska tillämpningar och strålningsbilden är oberoende av avståndet fram till den yttre gränsen för sändarens räckvidd.

Reciprocitet gäller för antenner. Det innebär att känslighetsdiagrammet för en mottagarantenn överensstämmer med strålningsdiagrammet för samma antenn om den används som sändare.

6:1 Bandbredd

Antennens q -värde, förhållandet mellan induktiv och kapacitiv del, är avgörande för antennens bandbredd. En smal bandbredd hjälper till att undertrycka icke önskade frekvenser och ger god selektivitet åt antennen. Men en smal bandbredd medför stringenta krav på toleransnivån för både antennen och dess kringkomponenter varför man i antenssammanhang ofta eftersträvar lågt q -värde $\rightarrow$ hög bandbredd.

För en given storlek på en liten antenn kan man enbart öka bandbredden om man avsiktligt inför förluster, till exempel genom att minska q -värdet med hjälp av en resistor. Produkten på bandbredden och effektiviteten är konstant; om man vill öka den ena måste man minska den andra.

6:2 Riktverkan

En antenss riktverkan kan beskrivas med dess direktivitet, D , men även som dess förstärkning, G , där man tagit hänsyn till antennens effektivitetsfaktor η enligt:

$$G = \eta \times D \quad [6, 36]$$

Förstärkning, G , anger hur många gånger större effekttätheten är i en viss riktning jämfört med vad den skulle vara om det i samma riktning varit uppmätt från en ideal, rundstrålande antenn. För beräkning av η , se avsnitt "Antennens elektriska uppbyggnad".

Definitionen av en antenss direktivitet är:

$$D(q, f) = \frac{S(q, f)}{S_i} = \frac{4p \times r^2 \times S(q, f)}{P_{rad}} \quad [5, 464]$$

där $S(q, f)$ är maximal effekt i en viss riktning beskriven av vinklarna (q, f) och S_i strålningstätheten från en isotopisk antenn uppmätt på samma avstånd som S .

Riktverkan för ett par av de enklaste antennerna är: [5, 466]

- Elementardipol: $D=1,5$
- Halvvågsdipol, kvartsvågsmonopol: $D \approx 1,64$

6:3 Friis transmissionsformel

Uttryckt i termer av direktivitet för sändarantennen och effektiv arean för mottagarantennen är Friis transmissionsformel:

$$P_{Mottagare} = P_{Sändare} \frac{D_{Sändare} \times A_{E mottagare}}{4p \times r^2} \quad [5, 469]$$

Friis transmissionsformel beskriver effektöverföringen för en transmissionslänk med fri sikt och ligger till grund för uttrycket över förhållandet mellan antenneffektivitet och direktivitet.

6:4 Effektiv area

Kan ibland även kallas för absorptionsarea och är ett mått på effekten i en anpassad last i förhållande till effekttätheten på den infallande vågen. Förtydligat: Den yta antennen måste ha för att uppnå en given effekt i mottagarantennen.

Den effektiva arean (A_e) för en antenn beräknas enligt formel nedan som visar att storleken blir betydligt större än vad som är praktiskt möjligt vid kretskortsantenner. För en antenn i 868MHz området skulle den effektiva arean bli 100 cm^2 vid en direktivitet på $D=1$.

En mindre area ger dock effektförluster som man måste ta hänsyn till vid beräkning av räckvidden. Typiskt värde på förlusten i en loop antenn på kretskort i storleken $9,5\text{mm} \times 9,5\text{mm}$ är -20 till -25dB för 868MHz bandet.

$$A_E(q, f) = \frac{l^2}{4p} \times D(q, f) \quad [5, 470]$$

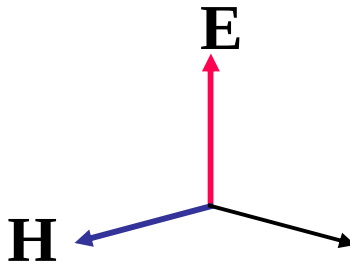
Mottagen effekt beror således på utsänd effekt, sändare & mottagarantennens förstärkning samt på avståndsförlusterna. Man inser lätt att även frekvensen är av stor betydelse för vilka förluster man får. Notera att en ökning av uteffekten eller förbättring av känsligheten med 6dB ger en teoretisk fördubblad räckvidd.

Förlusterna är också mycket beroende av omgivande miljö. Några riktvärden för dämpningen vid frekvenser runt 1 GHz är:

- Inomhusvägg 10-15dB
- Yttervägg 2-38dB (Andelen fönster är avgörande)
- Golv 12-27
- Fönster 2-30 (Metallarmerade fönster ger stora förluster)

6:5 Polarisation

En elektromagnetisk våg kan anses som en plan våg om man utgår från fjärrfältet. Då är vinkeln mellan vektorn för E-fältet och H-fältet ortogonala mot varandra samt till vågens utbredningsriktning, illustrerat i figur 6.



Figur 6. H & E fältets vektorriktning i förhållande till utbredningsriktningen.

Polarisationen beskriver ett tänkt mönster som E-fältets vektor orsakar under vågens utbredning. I de flesta fall rör sig spetsen på vektorn längs en elliptisk spiral, vilket ger en elliptisk polarisation. Vågen kallas för "right-hand-polarized" om den rör sig medurs och "left-hand-polarized" vid moturs rotation.

Om de två tänkta axlarna för ovanstående ellips är lika långa får man istället cirkulär polarisation. Skulle en av axlarna vara noll får vi linjär polarisation; vertikal om e-fältets vektor rör sig vinkelrät och horisontellt om det rör sig parallellt mot jordplanet.

Man får bäst prestanda i sin överföring om sändare och mottagare är rätt polariserade till varandra. Två linjärt polariserade antenner fast med 90° skillnad ger i teorin ingen överföring och cirkulär polarisation i ena ändan tillsammans med linjär i andra ger en förlust på 3dB. Det sistnämnda kan trots allt ibland vara önskvärt eftersom det förhindrar en total utsläckning av vågen som kan uppstå genom reflektion om den reflekterade vågen fasförskjuts 180°.

6:6 EIRP

Om man mäter strålningstätheten från ett givet avstånd på en viss antenn är den isotropiskt utstrålande effekten, EIRP, den effekt som man skulle behöva tillföra en isotropisk antenn för att få samma effekttäthet på samma avstånd. EIRP beskriver alltså strålningskapaciteten för en enhet inklusive dess antenn. Man kan med hjälp av denna räkna ut densiteten, D , för strålningen samt den elektriska fältstyrkan vid ett givet avstånd från en sändande isotropisk antenn enligt:

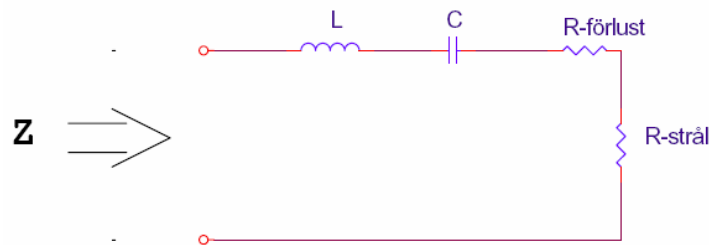
$$D = \frac{\text{EIRP}}{4\pi \times r^2} \quad [4, 5]$$

Elektrisk fältstyrka, E , vid vågimpedans $Z_0 = 377\Omega$:

$$E = \sqrt{\frac{\text{EIRP} \times \pi \times 120\Omega}{4 \times \pi \times r^2}} = \frac{1}{r} \times \sqrt{30\Omega \times \text{EIRP}} \quad [4, 5]$$

6:7 Antennens elektriska uppbyggnad

Ett ekvivalent schema över en antenn visas i figur 7.



Figur 7. Ekvivalent schema över en antenn

Spolens och kondensatorns värde bestäms utifrån antennens uppbyggnad och bildar tillsammans en resonanskrets med frekvensen:

$$f_{\text{resonans}} = \frac{1}{2\pi \times \sqrt{L \times C}} \quad [4, 7]$$

Förhållandet mellan L och C bestämmer antennens bandbredd vid en given strålnings och förlustresistans. Ett högre L/C värde betyder högre Q-värde och smalare bandbredd. Q-värdet beror även på strålnings och förlustresistansens del i antennens uppbyggnad och kan uttryckas som:

$$Q = \frac{\text{Antennens reaktans (förhållande mellan L/C)}}{\text{Antennens resistans}}$$

Antennens impedans, Z, är:

$$Z = R_{\text{strål}} + R_{\text{förlust}} + j \left(2\pi \times f \times L - \frac{1}{2\pi \times f \times C} \right) \quad [4, 7]$$

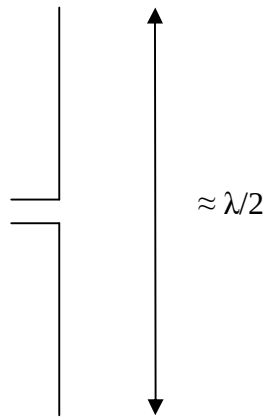
Vid resonansfrekvensen tar spolen respektive kondensatorns reaktans ut varandra och impedansen blir endast antennens resistiva del. Antennens effektivitet kan då beräknas som:

$$\eta = \frac{R_{\text{strål}}}{R_{\text{strål}} + R_{\text{förlust}}} \quad [4, 7]$$

7 Olika typer av antenner

Som en utgångspunkt för en jämförelse mellan olika antenner och dess egenskaper presenteras i kapitel 7 de vanligaste förekommande antenntyperna.

7:1 Halvvågsdipolen, figur 8



Figur 8. Halvvågsdipol

Används ofta som referensantenn vid mätningar av antennförstärkning och utstrålad energi. Den är en elektrisk antenn vilket innebär att dess karaktär och impedans ändras om material med en högre dielektrisk konstant än 1¹ finns inom det reaktiva närfältet.

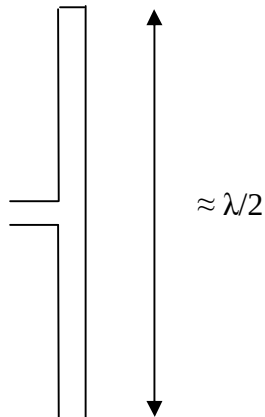
Strålningsresistansen är vid resonansfrekvens mellan 60-73 Ohm och beror på förhållandet mellan längd och diameter på antennen. Bandbredden för en halvvågsdipol är beroende av förhållandet mellan L och C; hög kapacitans och liten induktans ger en större bandbredd.

(Skillnaden mellan en tjock och smal tråd av samma längd) Polarisationen är linjär med vektorn för det elektriska fältet parallellt med axeln.(tråden)

Förstärkningen jämfört med en isotropisk antenn är 2,15dB vilket motsvarar en direktivitet på 1,64.

¹ Människokroppens dielektriska konstant är cirka 75

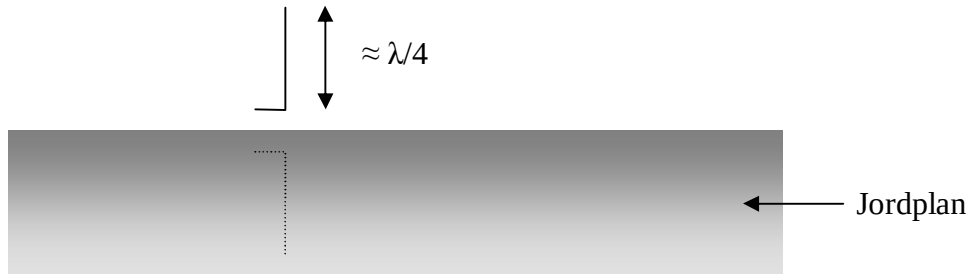
7:2 Vikt halvvågsdipol, figur 9



Figur 6. Vikt halvvågsdipol

En elektrisk antenn med samma riktverkan som halvvågsdipolen men kan anses som en förbättrad variant eftersom strålningsresistansen är fyra gånger högre. Är dock fortfarande ganska stor för praktisk implementation på PCB.

7:3 Kvartsvågsmonopol, figur 10



Figur 10. Kvartsvågsmonopol

Ena förgreningen i halvvågsdipolen är ersatt med ett jordplan vilket bidrar till en spegling och därmed halverad strålningsresistans jämfört med en vanlig dipol. Det finns dock fördelar som halverad antennstorlek och enkel matning istället för differentiell. Kvartsvågsmonopolen har samma strålningsmönster ovan jord som dipolen men eftersom all effekt blir koncentrerad här blir förstärkningen 3dB högre. Den har likt halvvågsdipolen linjär polarisation med vektorn för E-fältet parallellt med jordplanet. Det är även en elektrisk antenn vilket innebär att den är känslig för närliggande komponenters dielektriska konstant.

7:4 Stubbantenn

Om nödvändig plats för en kvartsvågmonopol inte finns tillgängligt på mönsterkortet kan man minska på längden till mindre än $\lambda/4$. Man kan då fortfarande likna det vid en kvartsvågmonopol fast med den skillnaden att man använder den vid en frekvens som är lägre än den egentliga resonansfrekvensen. Detta kan kompenseras genom att koppla en induktor i serie och man får en antenntyp som på engelska benämns som "loaded stub antenna". Vid design av en stubb eller monopolantenn skall själva sändarsprötet gå vinkelrät mot jordplanet samt vara så lång så möjligt för högsta strålningsresistans. Strålningsresistansen för en stubbantenn påverkas negativt vid avböjningar nära anslutningen och minskar med kortare längd. Approximationer för strålningsresistansen för en stubbantenn kan göras med hjälp av nedanstående formler:

$$R_{\text{stråln}} = 395\Omega \times \left(\frac{1}{\lambda}\right)^2 \quad \text{för } 0 < l < \left(\frac{\lambda}{8}\right) \quad [4, 14]$$

$$R_{\text{stråln}} = 1,22\text{k}\Omega \times \left(\frac{1}{\lambda}\right)^{2,5} \quad \text{för } \left(\frac{\lambda}{8}\right) < l < \left(\frac{\lambda}{4}\right) \quad [4, 14]$$

7:5 Inverterad-L antenn

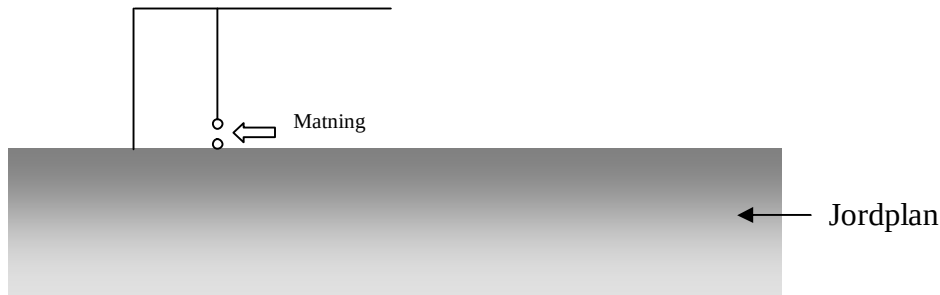
För att spara ytterligare plats kan man bocka en stubbantenn så att den inte löper vinkelrät mot jordplanet hela dess längd, enligt figur 11. Man kommer då att få något lägre strålningsresistans på grund av det minskade avståndet till jordplanet vilket medför lite kraftigare impedansanpassning med större förluster som följd.



Figur 11. Inverterad-L antenn

7:6 Inverterad-F antenn

Strömmen i en inverterad-L antenn är störst vid matningen och minskar ju längre mot ändan man kommer. Detta betyder att spänningen är låg vid matningen och ökar efter hand, det vill säga: impedansen ändras längs antennens väg! Man kan dra nytta av detta genom att mata antennen enligt figur 12 och på så vis få en impedansanpassning mot transmissionsledningen utan kringkomponenter. I praktiken krävs det dock avancerade simulatorer för elektromagnetism alternativt beräkningsprogram för antenner för att uppnå optimal layout med önskad impedans för inverterade-F antenner.

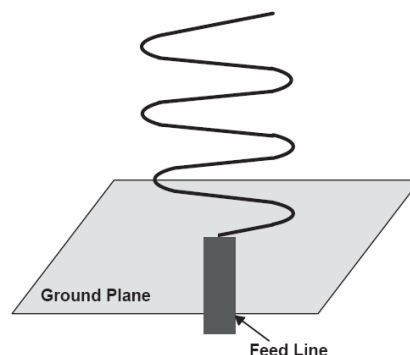


Figur 12. Inverterad-F antenn

7:7 Spiralantenn (Helixantenn)

En spiralantenn består av en virad tråd som löper vinkelrät mot ett jordplan enligt figur 13. Den kan fungera i två olika lägen beroende på omkretsen:

- Normalt läge: Strålmönster lik monopolantenn och producerar elliptisk polariserad strålning vinkelrät mot spiralens axel. Detta uppstår om omkretsen och avståndet mellan varven är litet i förhållande till våglängden, typiskt mindre än $0,1 \lambda$.
- Axialt läge: Cirkulärt polariserad med en strålningsriktning i spolens riktning. Omkrets och avstånd mellan varven skall vara i storleksordningen för våglängden för den aktuella frekvensen.



Figur 13. Spiralantenn på ett jordplan.

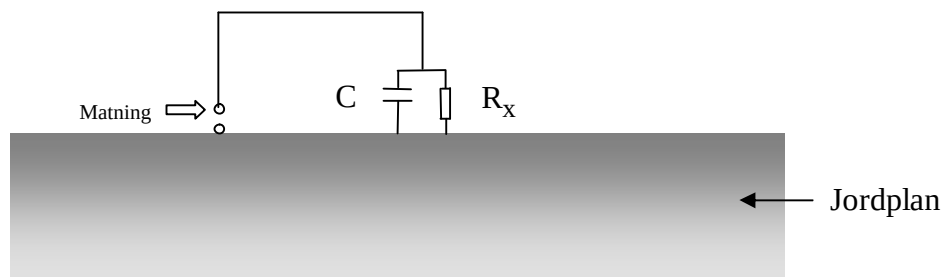
[4,17]

Det är svårare att beräkna en spiralantenn jämfört med dipol/monopol och man gör ofta empiriska försök med hjälp av vektoranalysator. Man startar med en tråd som är en halv våglängd lång som man lindar upp i en spiral. Denna klipps sedan lite i taget tills impedansen

i princip enbart är reell vilket innebär att antennen är i resonans med den inställda frekvensen. Finjustering kan göras genom att trycka ihop eller dra isär spiralen.

7:8 Små loop-antenn

Tillhör kategorin magnetiska antenner om dess omkrets är mindre än $1/10$ av våglängden. Detta innebär att de då inte är känsliga för dielektriska föremål i det reaktiva närfältet och används därför ofta i handburna eller kroppsnära apparater. Strålningsresistansen och effektiviteten för en loop-antenn är mycket liten vilket gör impedansanpassningen till en kritisk punkt i designarbetet. Då en standard loopantenn har differential matning brukar man använda jordplanet som en del av antennen enligt figur 14.



Figur 14. Loopantenn med enkel matning

Induktansen i tråden tillsammans med kondensatorn C utgör resonanskretsen. Resistansen, R_x , sitter monterad för att reducera de höga Q -värde som en loopantenn har. Detta för att minska antennens känslighet för toleranser i beräkningar och kringkomponenter. Effektiviteten för antennen blir klart sämre eftersom man inför förluster på grund av strömmen genom resistansen. Strålningsresistansen för en loopantenn är liten, normalt mindre än $1\ \Omega$ och den totala resistansen är, inklusive R_x , under $10\ \Omega$ vid matning enligt figur 14 (seriell matning). Om man istället jordar matningspunkten för antennen i figur 14 och matar via R_x får man parallell matning vilket ger en hög impedansen på flera kohm. Alternativet som vanligen används är att man inför en matningstapp likt inverterad-F antenn som beräknas så att optimal impedans erhålls. Dock kräver även detta en simuleringsmöjlighet med datorkraft och laborativa försök.

7:9 Chip-antenn

Den idag minsta antennen för montering på kretskort med mått från ca 16*3mm. En liten storlek med bibehållen effektivitet innebär dock en begränsning i bandbredd och jämfört med övriga antenner är en chipantenn mycket smalbandig. Den höga effektivitet som en chip-antenn har beror oftast på att den är tillverkad i ett keramiskt material med högre dielektrisk konstant än normalt FR4 kretskortsmaterial. Chipantennens impedans och karakteristik påverkas dock lätt av jordplanets utformning, chippets footprint och montering varvid tillverkarens anvisningar bör följas noga. Den kan även beroende på variant påverkas lätt av människans dielektriska konstant varvid vissa modeller inte kan anses lämplig för handhållna apparater. Två vanliga typer med lite olika egenskaper visas i figur 15 nedan. Splat- antennen från Linx är utformad för att passa i handhållna eller kroppsnära apparater men är betydligt större än chipantennen från Rainsun.



Figur 15. Två typer av chipantenn från Linx respektive Rainsun.

	Splat, Planar	CHP
Storlek (B, H, D), mm	28*1,6*14	16*1,7*3
Max Gain, dBi	-2	+0.5
Bandbredd, MHz	20	10
Impedans, Ohm	50	50

Tabell 2. Grundläggande data för två typer av chipantenn.

8 Sammanfattning, klassificering av antenner

Tabell 3 innehåller en grundläggande jämförelse av olika antenntyper vid frekvens 868MHz och visar dipol, monopol och stub-antennens längd i luft och på mönsterkort. Beräkningar är gjorda med formler enligt 8:1 där hänsyn tagits till mönsterkort FR4 med effektiv dielektrisk konstant, $\epsilon_{\text{eff}}=2,97$, laminattjocklek på 1,5mm samt med en ledarbredd på 1mm.

Typ av antenn	Egenskaper, normalt användningsområde	Effektivitet	Känslighet för yttre påverkan	I luft mm	I pcb mm
Dipol	Stor trådentenn; balanserad matning	Hög	Medel	173	100
Monopol	Stor trådentenn; enkel matning	Hög	Medel	86,5	50
Stubb	Kort tråd & PCB –antenn	Medel	Hög	-	<50
Spiral	Korta trådentenner	Medel	Hög	-	-
Liten loop	Handburna, kroppsnära	Låg	Låg	-	-
Rainsun	Utrymmesbrist	Medel	Hög	-	-
Linx	Handburen, kroppsnära	Medel	Låg	-	-

Tabell 3. Grundläggande jämförelse av antenntyper med delvis uträknade längder.

8:1 Antenner på PCB

Om antennen är byggd på ett kretskort måste man ta hänsyn till den dielektriska konstanten för PCB eftersom den, tillsammans med den omgivande luften, också påverkar antennens impedans. Med PCB's dielektriska konstant benämnd som ϵ_{pcb}^1 och bredd respektive höjd på dipolarmarna som w & h , blir den effektiva dielektriska konstanten:

$$\epsilon_{\text{eff}} = \frac{\epsilon_{\text{pcb}} + 1}{2} + \frac{\epsilon_{\text{pcb}} - 1}{2} \times \left[\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12 \times h}{w}}} + 0,04 \times \left(1 - \frac{w}{h} \right)^2 \right] \quad [4, 13]$$

Längden för en halvvågs dipolantenn på ett PCB med ovanstående effektiva dielektriska konstant ges av:

$$L_{\text{PCB dipol}} = \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} \quad [4, 13]$$

För det vanligen förekommande mönsterkortsmaterialet FR4 innebär det något kortare antenn jämfört med motsvarande trådentenn.

¹ Dielektrisk konstant för det vanligen använda kretskortsmaterialet FR4 är $\epsilon_{\text{pcb}}=4,2$.

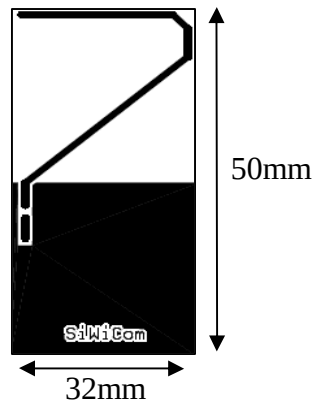
8:2 "Små" antenner

Loop respektive spiralantennerna ovan är presenterade och beräknade vid en omkrets på mindre än en tiondel av våglängden. Dessa tillsammans med kortare varianter av de övriga presenterade antennerna tillhör kategorin "små antenner" vilka har speciella egenskaper som man bör känna till.

- Små antenner är definierade som antenner vars maximala fysiska storlek är en bråkdel av våglängden; vanligen mindre än $1/10$ lambda.
- Är ofta inte självsvängande utan kompletteras med uträknade komponenter som spolar och kondensatorer. Jämför "loaded stubantenn"
- Låg strålningsresistans och hög reaktans kräver anpassning vilket ofta leder till förluster som försämrar den redan låga effektiviteten hos en liten antenn.

9 Beräkning av inverterad-L, pcb-antenn

Grundförutsättningarna är en vikt pcb-antenn med total längd 52mm etsad på ett kretskort med mått enligt figur 16. Beräkningarna gäller under ideala förhållanden och skall ses som riktvärden över vad som kan förväntas av den färdiga produkten eftersom beräkningarna grundar sig på en stubbantenn.



Figur 16. Vikt inverterad-L antenn med jordplan

Våglängden för en plan våg med frekvensen (868,0 MHz) är:

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{868 \times 10^6} = 0.35 \text{ m} \quad [5, 400]$$

Med antennlängd, $l=52\text{mm}$, permeabilitet för luft, $u_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ och konduktivitet för koppar, $\sigma = 5,7 \cdot 10^7$ blir en approximation över strålning och förlustresistansen:

$$R_{\text{strål}} = 1,22\text{k}\Omega \times \left(\frac{l}{\lambda}\right)^{2,5} = 1,22\text{k}\Omega \times \left(\frac{0,052}{0,35}\right)^{2,5} = 10,38 \Omega \quad [4, 14]$$

$$R_{\text{förlust}} = \frac{l}{2w} \times \sqrt{\frac{\pi \times f \times u_0}{\sigma}} = \frac{0,052}{2 \cdot 0,001} \times \sqrt{\frac{\pi \times 868 \cdot 10^6 \times 4\pi \cdot 10^{-7}}{5,7 \cdot 10^7}} = 0,194 \Omega \quad [6, 36]$$

Där l och w är antennens längd respektive bredd i meter.

Den teoretiska effektiviteten, η , och antennens Q-värde beräknas enligt:

$$\eta = \frac{R_{\text{strål}}}{R_{\text{strål}} + R_{\text{förlust}}} = \frac{10,38}{10,38 + 0,194} = 0,98 \quad [4, 7]$$

$$Q_{\text{monopol}} = \frac{7,9}{\pi^3 \cdot \left(\frac{d}{\lambda}\right)^3} = \frac{7,9}{\pi^3 \cdot (0,143)^3} = 83,13 \quad [9, 5]$$

där $\frac{d}{\lambda}$ representerar förhållandet mellan antennens verkliga längd, d , och våglängden.

Eftersom q-värdet är ganska lågt kan man förvänta sig en antenn med relativt stor bandbredd vilket är en fördel ur impedansanpassningssynpunkt.

Antennens maximala förstärkning, G_{Max} , kan beräknas med nedanstående formel [6, 38] om man känner till längden på den minsta radie som kan tänkas omsluta antennen. För antennen i figur 16 uppskattas denna radie till: $a=3$ cm eftersom antennen speglar sig i jordplanet.

Konstanten, $K = \frac{2\pi}{\lambda}$.

$$G_{\text{Max}} = (K \cdot a)^2 + 2K \cdot a = \left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot a\right)^2 + 2\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot a\right) = \left(\frac{2\pi}{0,35} \cdot 0,03\right)^2 + 2\left(\frac{2\pi}{0,35} \cdot 0,03\right) = 1,36$$

(Förstärkningen blir som förväntat negativ vilket beror på att antennens storlek är liten i förhållande till våglängden.)

Antennens direktivitet, D , är starkt knuten till dess förstärkning fast med hänsyn tagen till antennens teoretiska effektivitet enligt:

$$G = \eta \cdot D \Rightarrow \quad [6, 36]$$

$$\Rightarrow D = \frac{G}{\eta} = \frac{1,36}{0,978} = 1,4$$

Med en direktivitet enligt ovan skulle den effektiva arean, A_e , för antennen bli:

$$A_e = \frac{\lambda^2}{4\pi} \times D = \frac{0,35^2}{4\pi} \times 1,4 = 0,0136 \text{ m}^2 = 136 \text{ cm}^2 \quad [5, 470]$$

Den verkliga arean för pcb-antennen inklusive jordplan (på grund av spegling) blir:

$$A_{\text{pcb-ant}} = 3,2 \times 5 = 16 \text{ cm}^2$$

Räckvidden i maxriktning utan hinder för en antenn är beroende av förhållandet mellan mottagen och utsänd effekt enligt:

$$P_{\text{Mottagare}} = P_{\text{Sändare}} \times G_{\text{Sändare}} \times G_{\text{Mottagare}} \times \left(\frac{\lambda}{4\pi}\right)^2 \times \left(\frac{1}{d}\right)^2 \quad [4, 24]$$

Räckvidden vid sändareffekt 10mW för en pcb-antenn med ovan uträknade värden kan uppskattas genom en omskrivning av formel [4, 24]:

$$\frac{1}{d} = \sqrt{\frac{P_{\text{Mottagare}}}{P_{\text{Sändare}} \times G_{\text{Mott}} \times G_{\text{Sänd}} \times \left(\frac{\lambda}{4\pi}\right)^2}} = \sqrt{\frac{8,32 \cdot 10^{-11}}{10 \cdot 10^{-3} \times 1,36 \times 1,36 \times \left(\frac{0,35}{4\pi}\right)^2}}$$

$$d(10\text{mW}) = 415 \text{ m}$$

$$d(1\text{mW}) = 131 \text{ m}$$

$P_{\text{Mottagare}}$ är satt till känslighetsgränsen för en mottagare med känslighet -110dB men som på grund av liten effektiv area på antennen reduceras med:

$$\frac{A_{\text{pcb-ant}}}{A_e} = \frac{16}{136} = 0,12 = -9,2\text{dB}$$

Mottagarens känslighet blir:

$$P_{\text{Mottagare}} = -110\text{dB} + 9,2\text{dB} = 100,8\text{dB} = 8,32 \cdot 10^{-11} \text{ W}$$

10 Impedansanpassning

För att kunna överföra maximal effekt från transmissionsledning till antenn krävs en korrekt anpassning av impedanserna. Reflektionskoefficienten, Γ , ger ett mått på förhållandet mellan infallande/reflekterande –våg:

$$\Gamma = \frac{Z_{\text{antenn}} - Z_{\text{transm.ledn}}}{Z_{\text{antenn}} + Z_{\text{transm.ledn}}} \quad [6, 33]$$

Fasförhållandet mellan infallande och reflekterad våg är någonstans mellan 0 och 2π det vill säga, reflektionskoefficienten är av komplex storhet. Om impedansen för Z_{antenn} motsvarar konjugatet för $Z_{\text{transm.ledn}}$ kommer reflektionskoefficienten att vara noll vilket betyder att all energi mottagits av antennen. Förhållandet mellan effekten i den infallande vågen och effekten i den reflekterade benämns som returförlust (Eng: return loss) och anges i dB. (Hur många dB som den reflekterade vågen är mindre än infallande våg)

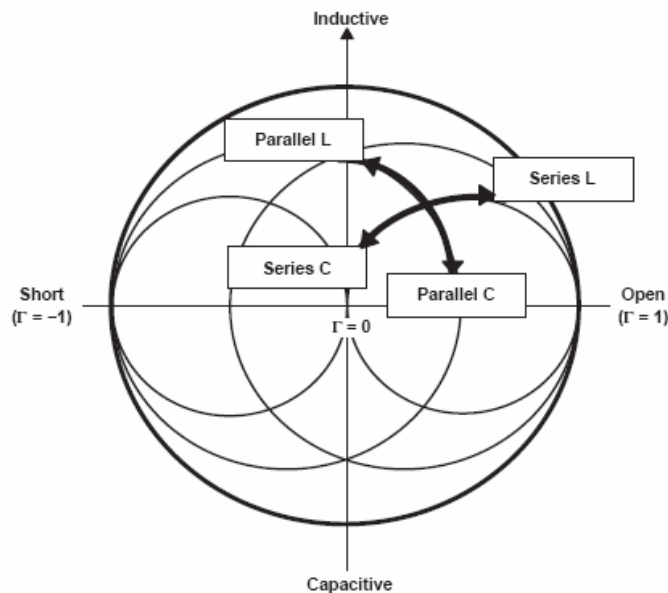
$$RL = 10 \times \log \frac{P_{\text{in}}}{P_{\text{reflekt}}} = -20 \times \log |\Gamma| \quad [4, 9]$$

En något kanske enklare uttryck för hur väl anpassningen är beskrivs av nedanstående uttryck för missanpassningsförlusten, ML: (Eng: mismatch loss)

$$ML = 10 \times \log \frac{P_{\text{in}}}{P_{\text{accept}}} = -10 \times \log(1 - |\Gamma|^2) \quad [4, 9]$$

10:1 Smithdiagram

Ett verktyg för att i teorin impedansanpassa en transmissionsledning eller ett RF-chip till en antenn är ett Smith-diagram. Detta diagram är ett sätt att åskådliggöra till exempel en antenns impedans i det komplexa talplanet. Det är sedan utformat så att man med hjälp av diagrammets cirklar kan räkna en komponents nödvändiga reaktans för att förändra impedansen genom att mäta den sträcka som förflyttningen kräver.



Figur 17. Serie/parallell kondensatorer och spolar i ett Smith diagram.
”Texas Instruments dokument SWRA046” [4, 10]

Principen bygger på att man med hjälp av parallellkopplade eller seriekopplade spolar och kondensatorer kan ändra antennens impedans i strävan att nå centrum där reflektionskoefficienten, $\Gamma=0$. En induktiv last ger en reflektionskoefficient i den övre halvan och en kapacitiv last i den nedre. Denna metod används i många program för antenndesign och kan användas om man inte får impedansanpassning genom antennens design som ur effektivitetssynpunkt är det bästa alternativet. Exempel på hur man använder Smith-diagram som hjälpmedel vid impedansanpassning finns i kapitel 10:2.

Nedanstående formler används sedan för att enkelt beräkna komponenternas värden. [18, 84]

För en kapacitiv seriekomponent:

$$C_{\text{Serie}} = \frac{1}{\omega X_N}$$

För en induktiv seriekomponent:

$$L_{\text{Serie}} = \frac{X_N}{\omega}$$

För en kapacitiv parallellkomponent:

$$C_{\text{Shunt}} = \frac{B}{\omega N}$$

För en induktiv parallellkomponent:

$$L_{\text{Shunt}} = \frac{N}{\omega B}$$

där:

$$\omega = 2\pi f$$

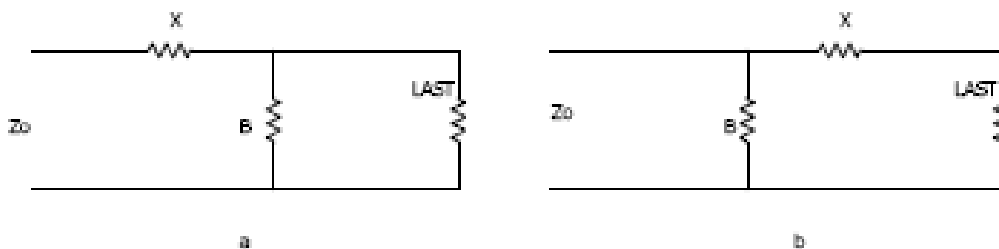
X = Den totala reaktans som krävs för en viss sträcka i Smith-diagrammet. (Undre halvan)

B = Den totala susceptans som krävs för en viss sträcka i Smith-diagrammet. (Övre halvan)

N = Faktorn som används vid normalisering av impedansen.

10:2 Exempel på impedansanpassning med Smithdiagram

Smithdiagram kan användas som hjälpmedel för att räkna ut vilka komponenter och värden som behövs för impedansanpassning till 50 Ohm. Beroende på utgångspunkten; var i Smith-diagrammet man befinner sig innan anpassning, blir det olika kopplingar i förhållande till lasten. Figur 18 visar de två typer som finns för den enklaste formen av anpassning, L-sektions anpassning. X respektive B är reaktanser respektive susceptans vilket representerar spolar och/eller kondensatorer beroende på utgångspunkten innan anpassning.

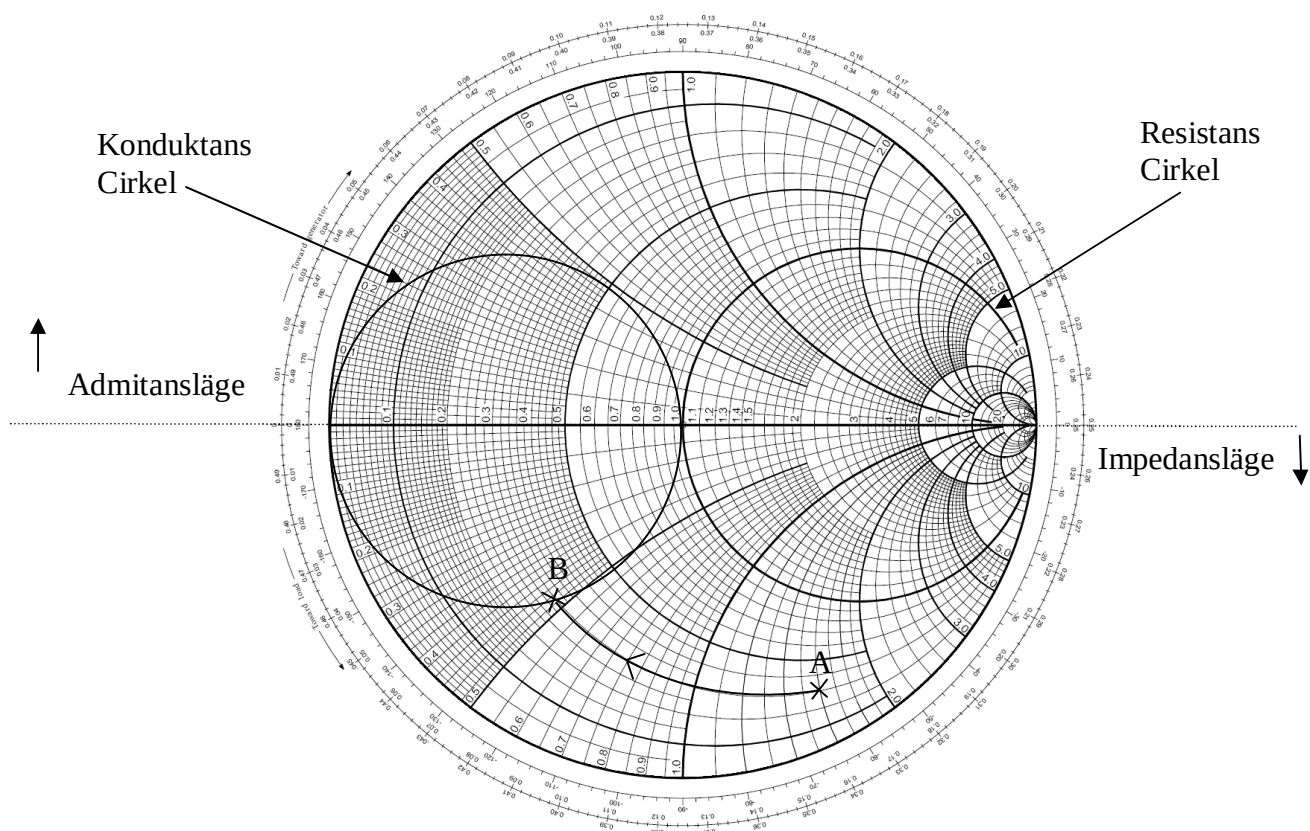


Figur 18. Två varianter av L-sektion anpassning

Utgångspunkten för pcb antennen i detta exempel låg i den undre halvan av Smith-diagrammet vilket betyder att den är kapacitiv vid mätfrekvensen. Om lastens resistiva del ligger innanför resistans cirkeln på Smith diagrammet (om den resistiva delen är större än källans resistiva del) är det variant a i figur 18 som skall användas. Det innebär att från lasten sett skall det vara en parallellkopplad komponent mot källan. Omvänt; om den resistiva delen i lasten är mindre än källans resistiva del skall koppling b i figur 18 användas. Så blir fallet för vald pcb-antenn eftersom dess storlek bidrar till en låg strålningsresistans i förhållande till 50 Ohm. Den exakta impedansen är ganska svår att mäta upp på grund av att jordplanet är så litet. Detta gör att mätningen fluktuerar varvid man får uppskatta ett medelvärde samt utföra en kontrollmätning efter den första uträknade komponenten för att se om man ligger rätt.

Uppmätt impedans¹ vid 868MHz för antennen i figur 13 är: 15 -j80 Ω det vill säga av komplex storhet. Denna utgångspunkt är normerad med 50 Ω och markerad med A i Figur 19.

¹ Mätutrustning: Rohde & Schwarz, ZVB8 Vector Network Analyser



Figur 19. Smithdiagram med resistans och konduktanscirklar samt två mätpunkter.

Tillvägagångssätt:

Eftersom startvärdet ligger utanför resistanscirkeln blir den första komponenten från lasten sett en reaktans i serie enligt alternativ b i figur 18. Storleken på den erforderliga reaktansen bestäms genom att ta fram avståndet på sträckan som krävs tills man skär konduktanscirkeln markerad med B i figur 19.

$$-j1,6 + Z = -j0,48 \rightarrow Z = j1,6 - j0,48 = j1,12$$

Beloppet är positivt det vill säga seriereaktansen skall vara induktiv med värdet:

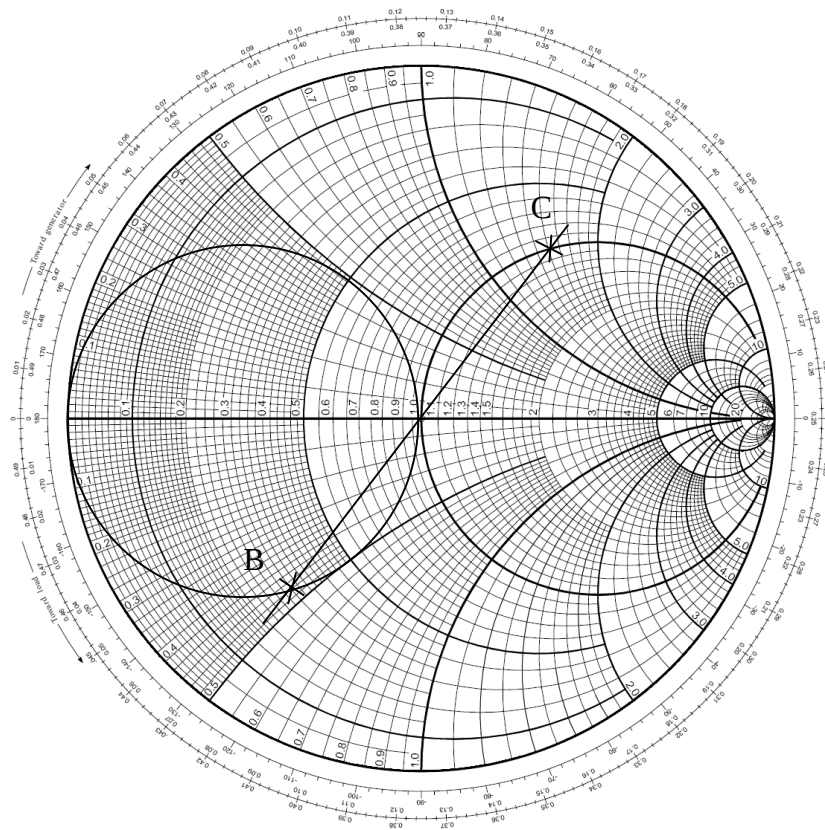
$$L_{\text{Serie}} = \frac{XN}{\omega} = \frac{1,12 \times 50}{2\pi \times 868 \cdot 10^6} = 10\text{nH}$$

Montera en lämplig drossel och kontrollmät för att verifiera att impedansen hamnat så nära punkt B som möjligt.

X = Normaliserad reaktans för en viss sträcka = Z (Denormalisering: $Z_{\text{Denom}} = Z \cdot N$)

N = Normaliseringsfaktorn = 50

Eftersom den andra komponenten är en shuntkomponent bör man skifta till admitansläge genom att dra en linje från punkt B genom centrum av Smithdiagrammet till skärningspunkten med resistanscirkeln enligt figur 20.



Figur 20. Från reaktans till admitansläge på ett Smithdiagram.

På liknande sätt som vid seriekomponent beräknar man sträckan på den del av cirkeln som sträcker sig till målet som i det här fallet är mittpunkten i Smithdiagrammet. Avståndet från C till mitten på Smithdiagrammet:

$$j1,5 + Y = 0 \rightarrow Y = -j1,5 \text{ S (Admitans, enhet Siemens)}$$

Motsvarande impedans blir:

$$Z = \frac{1}{Y} = \frac{1}{-j1,5} = j0,667$$

Eftersom beloppet på impedansen är positivt skall parallellreaktansen vara induktiv:

$$L_{\text{shunt}} = \frac{N}{\omega B} = \frac{50}{2\pi \cdot 868 \cdot 10^6 \times 1,5} = 6,1 \text{ nH}$$

B = Normaliserad susceptans för en viss sträcka = Y (Denormalisering: $Y_{\text{Denorm}} = \frac{Y}{N}$)

N = Normaliseringsfaktorn = 50

Motsvarande beräkningar kan även göras i datorbaserade program som i många fall bygger på samma teori med Smith-diagram som bas. Ett gratisprogram som fungerar bra är Motorolas impedansanpassningsprogram från 1991 (Dos) av Dan Moline. Resultatet vid en beräkning av ovanstående impedansanpassningskomponenter för lasten $15 -j80 \Omega$ blev 10.4nH för serie och 6nH för parallell –komponenten vilket visar att beräkningarna ovan är korrekt utförda.

11 Kravspecifikation från kund (NOTE Lund Development)

RF-modulen skall fungera som en trådlös kommunikationslänk för digital dataöverföring. Den skall kunna föra över data mellan två eller flera punkter med upp till 20 m avstånd inomhus. Frekvensbandet skall vara 433 eller 868 MHz med en dataöverföringshastighet upp till 9600 bit/s. Modulen skall ha ett intelligent interface mot omvärlden som innebär att avsändaren skall kunna begära att ett meddelande skall skickas och sedan få ett kvitto på att det är skickat och mottaget.

Enkelhet, låg strömförbrukning och lågt antal komponenter är områden som skall prioriteras.

11:1 Uppbyggnad

Modulen skall vara utrustad med mikroprocessor, interface, E2PROM, RF-krets och power supply, se bild 21. Den skall också innehålla en antenn på själva kretskortet och om möjligt även anpassas för en chipantenn.

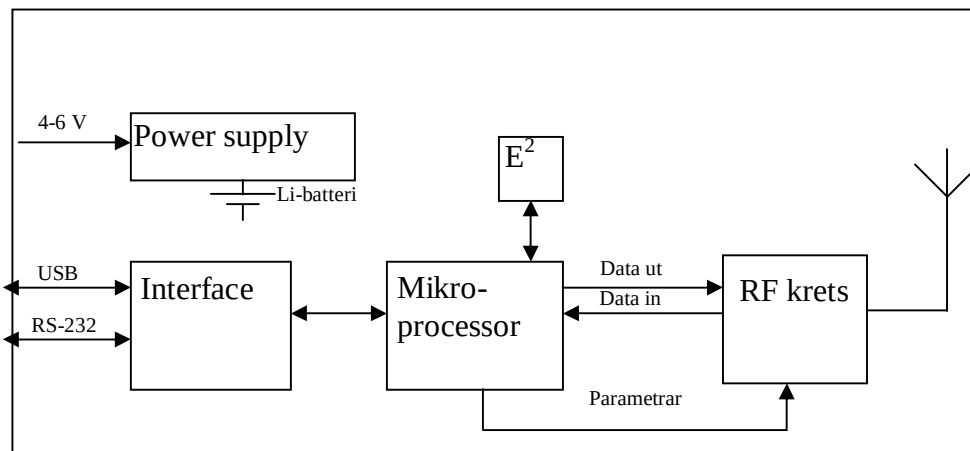


Bild 21. Blockschemat över önskad uppbyggnad

Modulen föreslås vara uppbyggd kring en ARM7 baserad mikroprocessor ifrån Philips Semiconductor då denna processor har använts i tidigare projekt och det finns utvecklingsverktyg och kompilatorer lättillgängliga.

Valet av RF-krets skall göras som en del inom exjobbet men skall vara en kombinerad sändare/mottagare för vilka det finns flera intressanta kretsar som är högt integrerade att välja mellan.

Vid designen av antennen på kretskortet skall så mycket information och designförslag som möjligt användas. Dock skall det finnas teoretiska resonemang bakom designen.

Strömförsörjningen skall konstrueras med tanke på att det finns RF delar på kretskortet. Stor vikt läggs vid batterimatning och låg standby förbrukning.

11:2 Power supply

Matning till modulen skall vara 4-6 V men själva elektroniken skall designas för 3,3 V. Regulator skall finnas på modulen men den skall även kunna köras på ett 3V Lithium batteri när det inte finns extern matning. Låg strömförbrukning under standby.

11:3 Prestanda

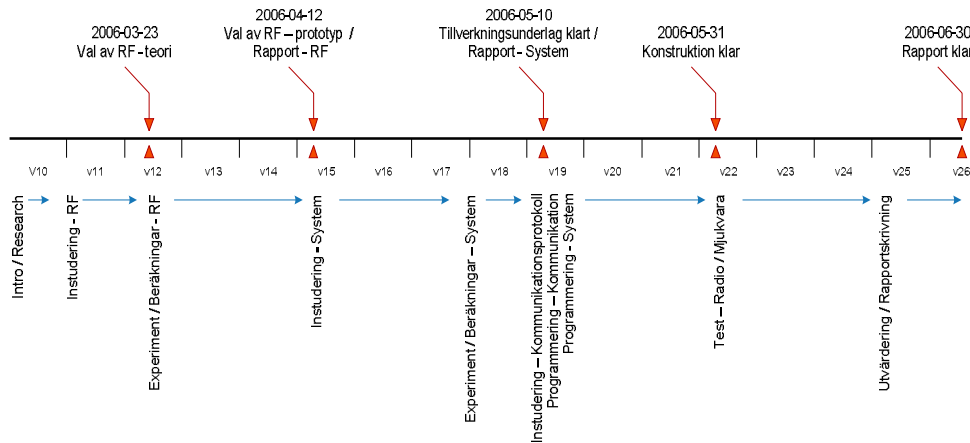
Räckvidd utomhus (öppet fält) min 100m. Räckvidd inomhus, (genom vägg) min 20m.

11:4 Protokoll

Egendesignat trådlöst protokoll av enkel typ men som innehåller unika identiteter, kvittenser och återutsändningar för punkt-till-punkt kommunikation.

12 Tidplan

Figur 22 beskriver den preliminära tidplan som gjordes utifrån kundens kravspecifikation och tillgänglig tid för projektet. Datum markerade med dubbla pilar är så kallade "milstolpar" för vilka det finns dokumenterade protokoll innehållande projektsammanfattning och status. (se bilaga 1a-e)



Figur 22. Preliminär tidplan för projekt SiWiCom

- V10** Intro / Research: Introduktion och installation på NOTE. Sökning efter källor med relevant fakta för vidare instudering.
- V11** Instudering RF : Instudering av fakta om relevanta radiomoduler och antenner.
- V12** Experiment / Beräkningar – RF: Experimentella försök och beräkningar av utvalda antenntyper och radiomoduler. Konstruktion och utprovning av antennprototyper.
- V15** Instudering – System: Instudering av fakta och komponentval för ARM processorn, PSU (Power Supply Unit), yttre interface (USB, RS232) samt EEPROM minne.
- V17** Experiment / Beräkningar – System: Experimentella försök och beräkningar av ARM processorn, PSU (Power Supply Unit), yttre interface (USB, RS232) och EEPROM minne. Konstruktion av tillverkningsunderlag (schema m.m.)
- V19**
- Instudering – Kommunikationsprotokoll: Instudering av lämpliga och befintliga kommunikationsprotokoll.
 - Programmering – Kommunikation: Konstruktion av kommunikationsmodul för ARM-processorn.
 - Programmering – System: Konstruktion av systemmoduler för ARM-processorn.
- V22** Test – Radio / Mjukvara: Test av slutkonstruktionen. Uppmätning med spektrumanalysator för kontroll av störningsnivåer och räckvidd.
- V25** Utvärdering / Rapportskrivning: Utvärdering av projektet. Sammanställning av slutrapport.

12:1 Milstolpar (se bilaga 1a-e)

- Val av RF-teori (06-03-23) Första urvalet av radiomoduler och antenner, baserat på instuderad fakta, för vilka vi avser studera djupare genom att tillverka enkla prototyper för praktiska tester och mätningar.
- Val av RF-prototyp / Rapport – RF (06-04-12) Andra urvalet av radiomoduler och antenner baserat på praktiska tester och mätningar. Utvalda lösningar till slutgiltig konstruktion. RF-delen av rapporten klar.
- Tillverkningsunderlag klart / Rapport – System (06-05-10) Underlag för tillverkning av mönsterkort/layout för slutgiltig konstruktion klart. System-delen av rapporten klar.
- Konstruktion klar (06-05-31) Slutgiltig konstruktion klar för test. (Mönsterkort klart) Programvara klar.
- Rapport klar (06-06-30) Slutrapport klar.

13 Val av RF-teori

Baserat på i teoridelen inhämtad kunskap sattes följande kriterier upp för projekt SiWiCom:

- Frekvensband: Hårdare restriktioner med begränsad uteffekt och duty-cycle anser vi bidra till mindre störningar och bättre dataöverföring. Begränsat utrymme på pcb gör att antennstorleken bör hållas liten. Valet blir därför någon eller några kanaler i 868MHz –bandet.
- Modulering: FSK då inga krav på snabb överföring finns alternativt GFSK-modulering för mindre bandbredd.
- Kodningsteknik: NRZ är tillräckligt för ändamålet men Manchesterkodning ger säkrare överföring och kan vara mer framtidskompatibelt.
- Bandbredd: Slutgiltigt val av RF-chip kommer att vara avgörande eftersom bandbredden beror på många samverkande faktorer (kristall, antenn etc.)

13:1 RF-länk

Som RF-länk kan man antingen bygga sin egna diskreta lösning eller också utnyttja små kompakta RF-transivers. Den senare lösningen är ofta att föredra då små fysiska mått och hög integration av komponenter minskar risken för missanpassning mellan komponenterna. Idag har de flesta stora elektroniktillverkarna någon typ av RF-transiver i sitt produktsortiment. Dessa har ofta liknande finesser men kan till exempel skilja sig i mängden filter och anpassningssteg som integrerats i kretsen och hur dessa konfigureras. Utöver de grundläggande radiobaserade finesserna skiljer sig de olika RF-transivers sig åt vid en jämförelse av hantering av datapaket, möjlighet till automatisk frekvenskompensering och interfacetyp mot yttre mikroprocessor för att nämna dom viktigaste.

Viktiga egenskaper för SiWiCom är:

- Låg strömförbrukning
- Låg kostnad
- Kan arbeta i 868MHz-bandet
- Litet antal externa komponenter
- Kunna kontrollera om bärvåg finns
- Möjlighet till frekvenskompensering vilket underlättar val av kristall
- Sändareffekt $\geq +10\text{dBm}$
- Mottagningskänslighet $\leq -100\text{dBm}$
- Bandbredd $\leq 600\text{kHz}$

Med hjälp av ovanstående kriterier analyserades 21st utvalda RF-chip (bilaga 2a) varav 9st ansågs vara lämpliga för SiWiCom.

14 Val av antenn

Antennen för projekt SiWiCom är inte avsedd för mobilt bruk eller för någon handhållen utrustning. Det bör vara en rundstrålande kretskortsantenn med så hög effektivitet som möjligt på en avgränsad yta om maximalt 1 kvadrat tum. Tillgången till mätinstrument för impedansmätning, så kallad vektoranalysator, är begränsad och inga simuleringsprogram för antenner finns som hjälpmedel varvid urvalet begränsas till en enkel konstruktion.

Av de i teoridelen behandlade antennerna anses följande 6 antenner mindre lämpliga för SiWiCom:

- Halvvågsdipol: Något riktningskänslig men framför allt till ytan en stor antenn.
- Kvartsvågsmonopol: Kräver ett jordplan lika stort som antennen i sig. (spegling)
- Kort stubbantenn: Antennens längd är alldeles för liten i förhållande till den aktuella våglängden vilket kräver kraftig impedansanpassning som ger förluster.
- Spiralantenn: Svår att beräkna. Utrymmeskrävande trådanter.
- Loopantenn: Låg effektivitet. Den magnetiska antennens fördelar ej av intresse om man inte eftersträvar en antenn som står emot yttre påverkan som i handhållna, kropps nära produkter.
- Inverterad-F antenn: Svår att beräkna utan avancerade simuleringsprogram.

Därför blir den slutgiltiga antennen någon form av vikt stubbantenn, så kallad inverterad-L samt en chipantenn som referens. De tidigare tillverkade testkortet med inverterade-L antenner utgör basen för konstruktionen med lärdom av hur man impedansanpassar med hjälp av vektoranalysator och Smith-diagram. Chipantennerna är impedansanpassade från fabrik och skall därmed vara möjliga att designa direkt in i slutkonstruktionen enligt tillverkarens specifikationer och regler. En chipantenn av typen planar (se figur 23) skall användas i designen samt en CHP antenn (figur 24) som jämförelse dom bägge emellan.



Figur 23. Chipantenn av typ planar.



Figur 24. CHP antenn.

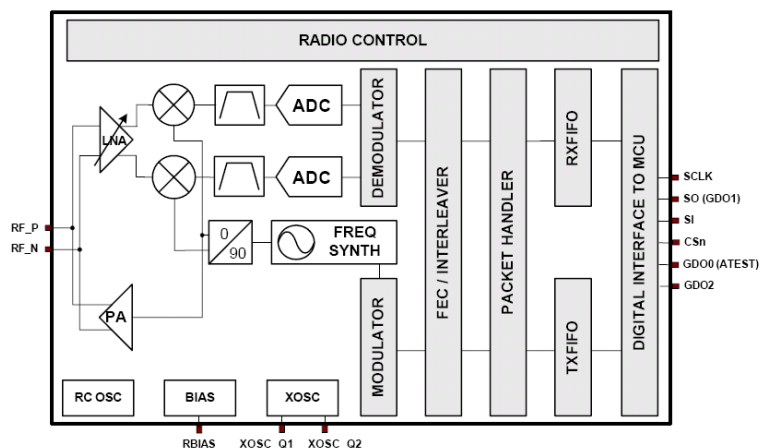
15 Val av RF-krets

Bortsett från antennen är RF-kretsen den viktigaste komponenten i konstruktionen. Många komponenttillverkare erbjuder så kallade "transivers" vilket är en kombinerad sändare/mottagare och därmed väl lämpad för SiWiCom. Bilaga 1 visar en förteckning över några av de främsta varianterna varav de som anses lämpliga för projektet presenteras i bilaga 2a-g.

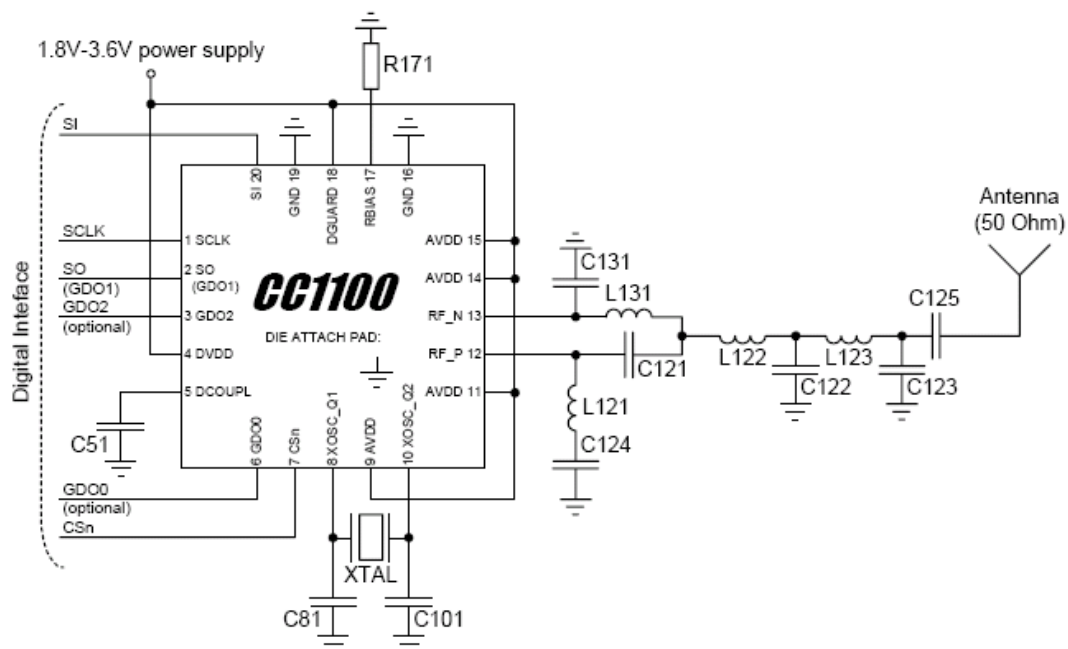
Valet av RF-chip gick efter noggrann jämförelse av olika chip till cc1100 från Chipcon främst på grund av nedanstående särskiljande egenskaper:

- Kraftfullt RF-chip som endast kräver några få externa komponenter.
- Låg kostnad (16,22 kr)
- Inbyggd pakethantering och 64-byte FIFO buffert.
- Bärvågsindikering (Carrier Sense)
- Möjlighet att gå från strömbesparingsläge till aktivt läge då kretsen tar emot ett datapaket. (Wake On Radio)
- Integrerad temperatursensor.
- All kommunikation sker seriellt via ett SPI interface vilket medför att endast fyra trådar krävs mellan mikroprocessor och RF-chip.
- Uteffekt på -30 till +10dBm vilket motsvarar 0,001 – 10mW samt en mottagningskänslighet på -110 dBm
- Låg strömförbrukningen i vila: endast 200 nA. Strömförbrukning vid max sändeffekt är 28,8 mA och vid mottagning cirka 15,6 mA.
- Klarar ner till 1,8 V i matningsspänning vilket är en viktig egenskap då slutprodukten kommer att matas via batteri (3V lithium).

Figur 26 och figur 27 visar blockschema respektive referensschema över cc1100.



Figur 26 – Blockshema över cc1100



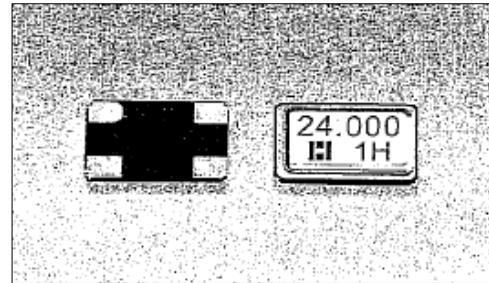
Figur 27 – Referensschema över cc1100

16 Val av kristall

Valet av kristallresonator för cc1100 grundades på kraven i databladet för cc1100 där det var specificerat max 40ppm (total tolerans) samt en maximum ESR på 100 ohm.

Kraven på kristallen för SiWiCom bestämdes till följande:

- max 40ppm total tolerans
- 26MHz fundamental frekvens
- ESR = max 100 ohm
- ytmonterad kapsel
- lågt pris



Figur 28. HCX-6SB

Efter rekommendationer från Kvantselektronik AB gick valet av kristall till HCX-6SB från HOSONIC. HCX-6SB har följandeegenskaper:

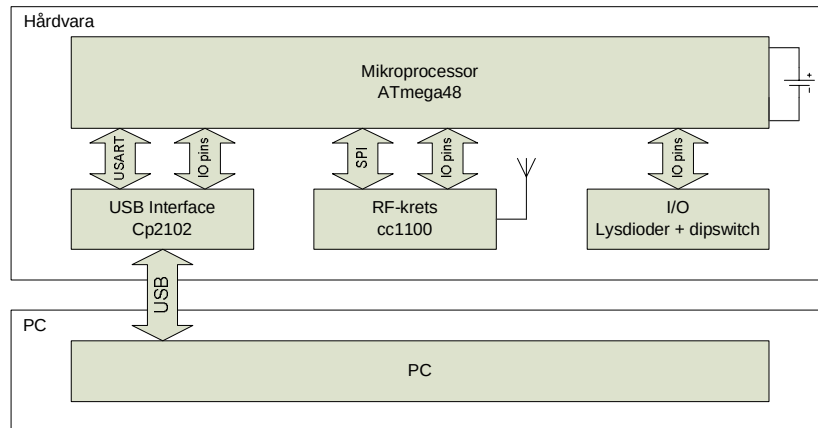
- 26MHz fundamental frekvens
- 25ppm total tolerans (10ppm frek, 10ppm temp, 5ppm åldring)
- Ytmonterad kapsel i storlek 6.0x3,5x1.0 mm, se figur 28 ovan.
- ESR = 40 ohm
- $C_L = 16\text{pf}$ (parallell)

Kostnad för kristallen är i skrivande stund 0,49 USD. (3,73 kr 06-06-12)

Mer information om kristallen finns i databladet [17] ”*Hosonic_HCX-6SB*” (se referenslista)

17 Hårdvarudesign

Den kompletta designen för SiWiCom har byggts upp med följande enheter i blockschemat i figur 25 vars komponenter valts med avseende på låg strömförbrukning och enkel lösning med få antal kringkomponenter.



Figur 25 – Blockschemat över SiWiCom (hårdvara)

15:1 Interface

Som interface valdes en "USB till COMport"-krets som erbjuds av några olika tillverkare, till exempel FTDI och Silicon Laboratories. Till SiWiCom valdes CP2102 från Silicon Laboratories på grund av dess förhållandevis låga pris och extrafunktioner som integrerad RC-oscillator. Tidigare användning av denna krets på NOTE underlättade också arbetet för schemadesignen och layout.

15:2 Mikroprocessor

Den från början tilltänkta processorn LPC2119 (ARM-7) från Philips visade sig inte vara lämplig för projektet främst på grund av dess höga strömförbrukning och höga spänningsnivåer. Som ersättare valdes Atmega48 från Atmel, då denna processor endast drar 0.1uA i strömsparläge och kan drivas med spänning ned till 1,8V. Andra fördelar med Atmega48 är integrerat EEPROM och RC-oscillator samt hårdvaru SPI och USART. Minnesutrymmet i Atmega48 är dock betydligt mindre än i LPC2119 men bör vara tillräckligt för SiWiCom.

15:3 Power supply

Som spänningskälla används ett litium-batteri (CR2032) vilket ger en tillräckligt stabil 3V spänning. Utöver batteriet kan man även spänningsförsörja från USB-kretsens stabiliserade 3,3V utgång om kortet är anslutet till en dator. En enkel och slimmad batterihållare valdes på grund av platsbrist. För batteriövervakning kopplas matningsspänningen via en styrbar spänningsdelare till en av mikroprocessorns A/D ingång.

15:4 I/O

Som externa I/O enheter används fyra stycken lysdioder som ut-enhet och en fyrpolig dipswitch som in-enhet. Dessa används för indikering och konfigurering av mjukvaran.

18 Framtagning av layout

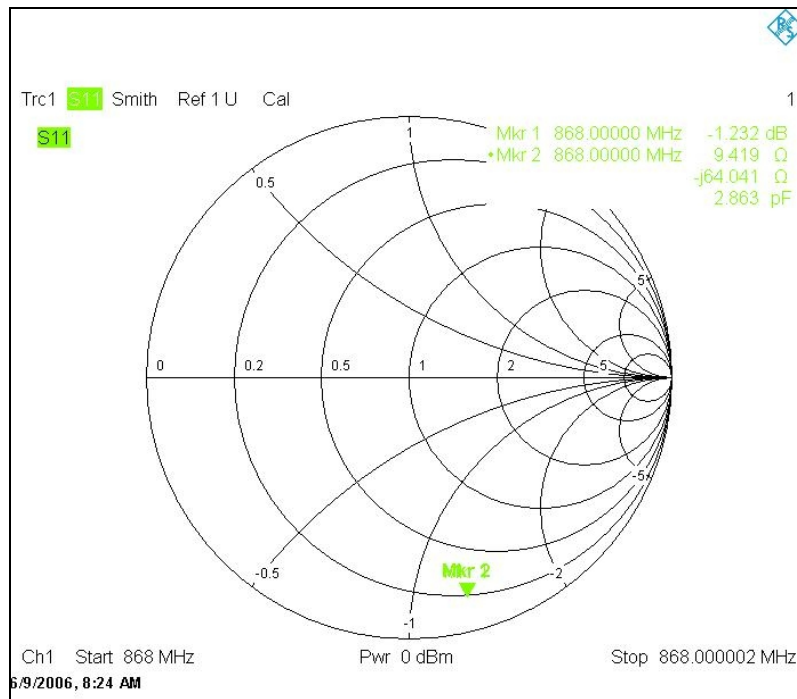
För layoutframtagning användes PADS från Mentor Graphics som CAD-verktyg där följande krav sattes upp inför arbetet:

- Produktionsanpassat: Konstruktionen skall vara enkel och billig att producera.
- 2 lagers mönsterkort för lågt pris.
- Små fysiska mått men tillräckligt stort för ett effektivt jordplan till antennen.
- 2 varianter: Pcb-antenn och chipantenn.

Kortens fysiska bredd bestämdes först och främst av den valda batterihållarens mått. Längden bestämdes därefter av övriga komponenters totala mått. Förutom optimerad ledningsdragning användes ett antal via-hål som koppling mellan topp och bottenlager för att skapa ett så stort jordplan som möjligt. Bilaga 3a-c visar kretsschema över modell 1 och 2 samt tillhörande layout.

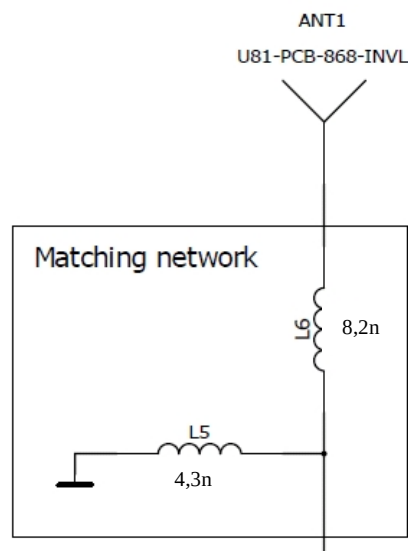
19 Impedansanpassning av pcb-antenn

Anpassningen av den inverterade-L antennen utfördes enligt i teoridelen beskrivet tillvägagångssätt. Figur 29 och figur 31 nedan visar Smithdiagram för lasten (antennen) oanpassad samt med komponenter för anpassning monterade.



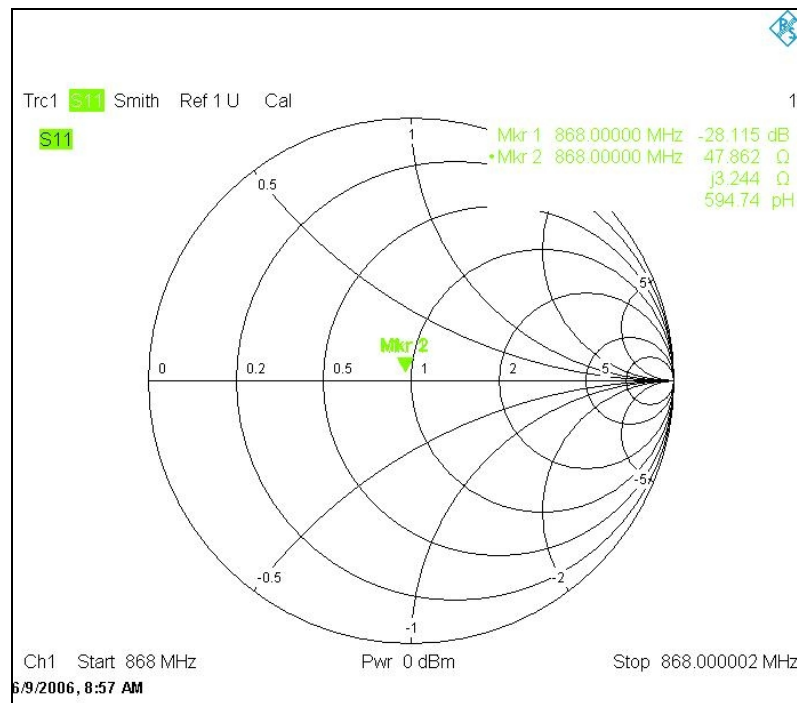
Figur 29. Oanpassad antenn: $9,4 - j64 \Omega$ vid 868MHz

Med utgångspunkt från uppmätta värden presenterade i figur 29 tillämpades ett L-sektion anpassningsnät enligt kap 10:2. Komponentvärdena beräknades till en parallell-induktor på $4,3\text{nH}$ och därefter en serie-induktor på $8,2\text{nH}$ (se figur 30).



Figur 30. L-sektion impedansanpassningsnät

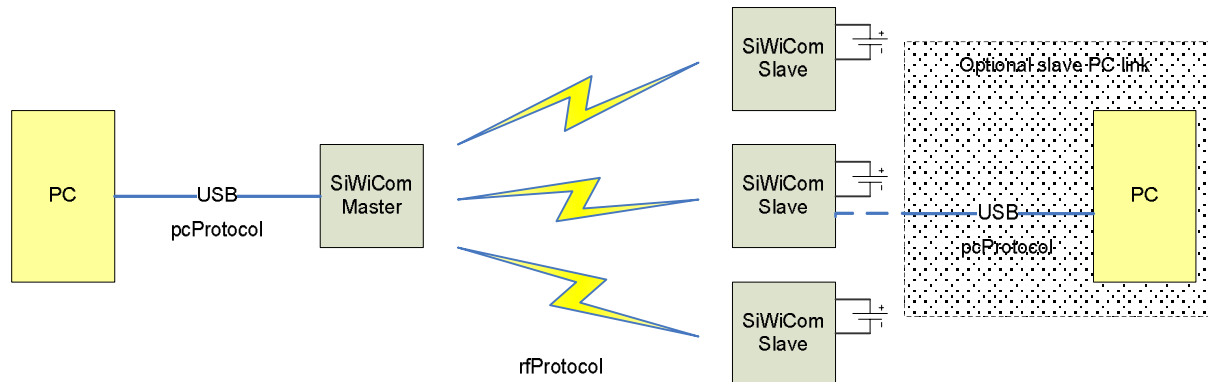
Verifiering av anpassningsnätet visade på god anpassning (47,4 Ohm) vilket kan ses i figur 31 nedan.



Figur 31. Anpassad antenn: 47,4 +j3,2 Ω vid 868MHz

20 SiWiCom – mjukvarudesign

Då SiWiCom-hårdvara är optimerad för radiokommunikation med låg strömförbrukning konstruerades en mjukvara för trådlöst sensornätverk med stöd för strömbesparande funktioner. Funktionsdiagram ges överskådligt i figur 32 nedan.



Figur 32. Funktionsdiagram över kommunikationsprotokollen.

Programmvaran innehåller följande programlägen som konfigureras via modulens dipswitch eller via kommando från PC-länken (0 = OFF, 1 = ON):

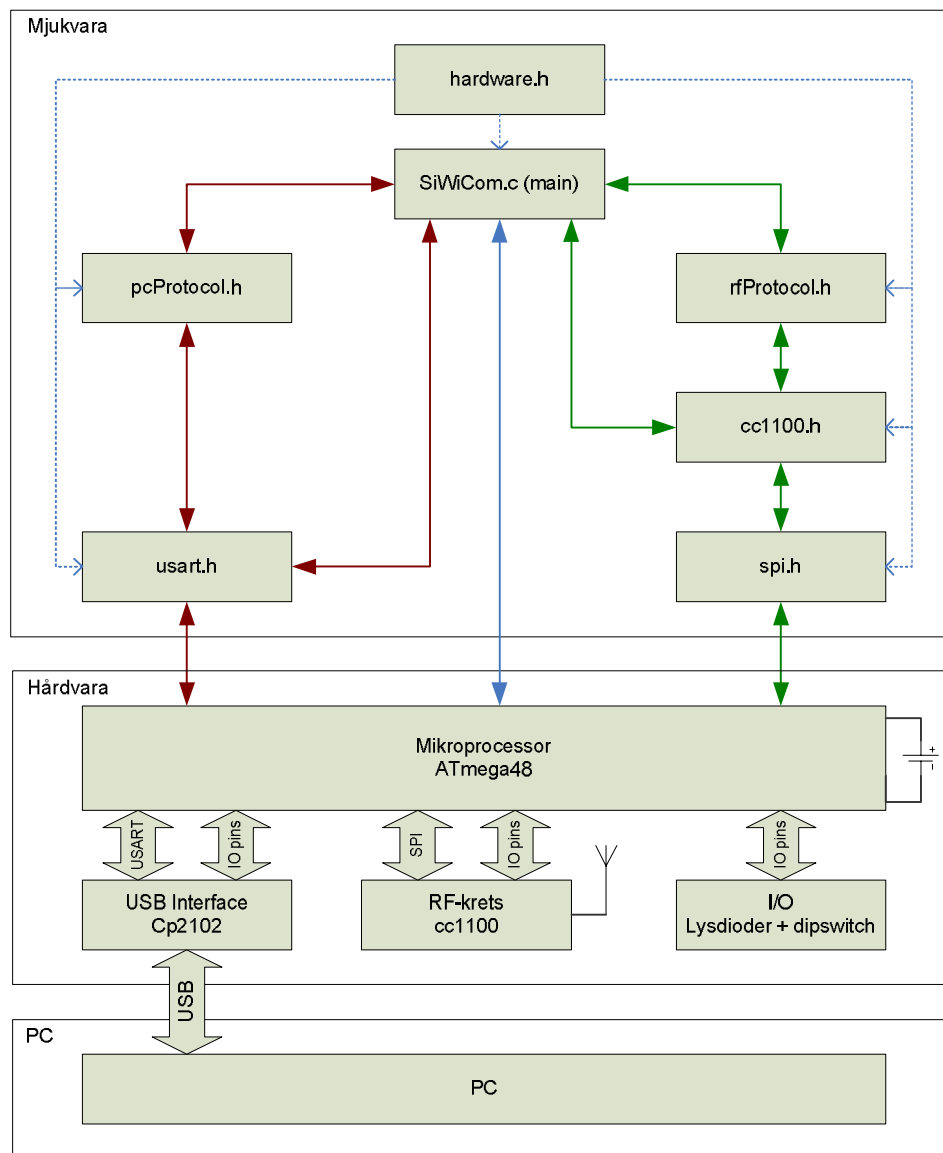
- **"IDLE"** - Modulen är avstängd (endast för test)
 - o Dipswitch: SW1 = 0, SW2 = 0
 - o PC-Länk: 0x0A 0x44 0xXX 0xXX 0xXX **0x01** 0x55 ChkSum
 - o Startindikation: Ingen startindikation.
- **"MASTER"** - Modulen fungerar som master i sensornätverket
 - o Dipswitch: SW1 = 0, SW2 = 1
 - o PC-Länk: 0x0A 0x44 0xXX 0xXX 0xXX **0x02** 0x55 ChkSum
 - o Startindikation: Grön lysdiod blinkar enhetens adress, därefter blinkar alla lysdioder två gånger.
- **"SLAVE"** – Modulen fungerar som slav i sensornätverket
 - o Dipswitch: SW1 = 1, SW2 = 0
 - o PC-Länk: 0x0A 0x44 0xXX 0xXX 0xXX **0x03** 0x55 ChkSum
 - o Startindikation: Grön lysdiod blinkar enhetens adress, gul lysdiod blinkar måladressen (mastern), därefter blinkar alla lysdioder en gång.
- **"NOICEMAKER"** – Modulen sänder ut slumpmässig data (endast för test)
 - o Dipswitch: SW1 = 1, SW2 = 1
 - o PC-Länk: 0x0A 0x44 0xXX 0xXX 0xXX **0x04** 0x55 ChkSum
 - o Startindikation: Konstant rinnande ljus.

Flödesschema för programläge “MASTER” och “SLAVE” finns bifogat bilaga 4c,d.

Modulens dipswitch (SW3, SW4) konfigurerar sändarens uteffekt enligt följande (0 = OFF, 1 = ON) :

- **0 dBm** - Dipswitch: SW3 = 0, SW2 = 0
- **5 dBm** - Dipswitch: SW3 = 0, SW2 = 1
- **7 dBm** - Dipswitch: SW3 = 1, SW2 = 0
- **10 dBm** - Dipswitch: SW3 = 1, SW2 = 1

SiWiCom mjukvaran använder separata moduler/drivrutiner (se figur 33) för intern kommunikation. Detta för att underlätta vid programmering samt öka flexibiliteten för framtida uppdateringar (programkod kan ses i bilaga 8a till 8g).



Figur 33 – Blockschema över SiWiCom (mjukvara kopplad till hårdvara)

20:1 RF-kommunikation

Som kommunikationsprotokoll för den trådlösa länken konstruerades ett relativt enkelt Master/Slav protokoll enligt följande princip:

Mastern är kopplad till en PC via ett USB-interface, och ligger normalt i lyssningsläge. Slavarna, som normalt ligger i strömbesparingsläge, vaknar upp med jämna mellanrum och lyssnar/kontrollerar att ingen annan enhet skickar. Därefter skickar den sin mätdata, inväntar ACK från Mastern och återgår därefter strömbesparingsläge. Vid utebliven ACK eller upptagen kanal genereras en ny slumpmässig tid på upp till en sekund innan nytt sändningsförsök sker. Tack vare hårdvarumässig avancerad pakethantering är protokollet reducerat på synk och crc kontroll då detta automatiskt implementeras av RF-chippet. Som indikation av paketstatus används grön lysdiod för mottaget paket, gul lysdiod för sänt paket och röd lysdiod för upptagen kanal eller utebliven ACK. Information angående paketuppbyggnaden av RF-kommunikationen finns bifogat i bilaga 4a.

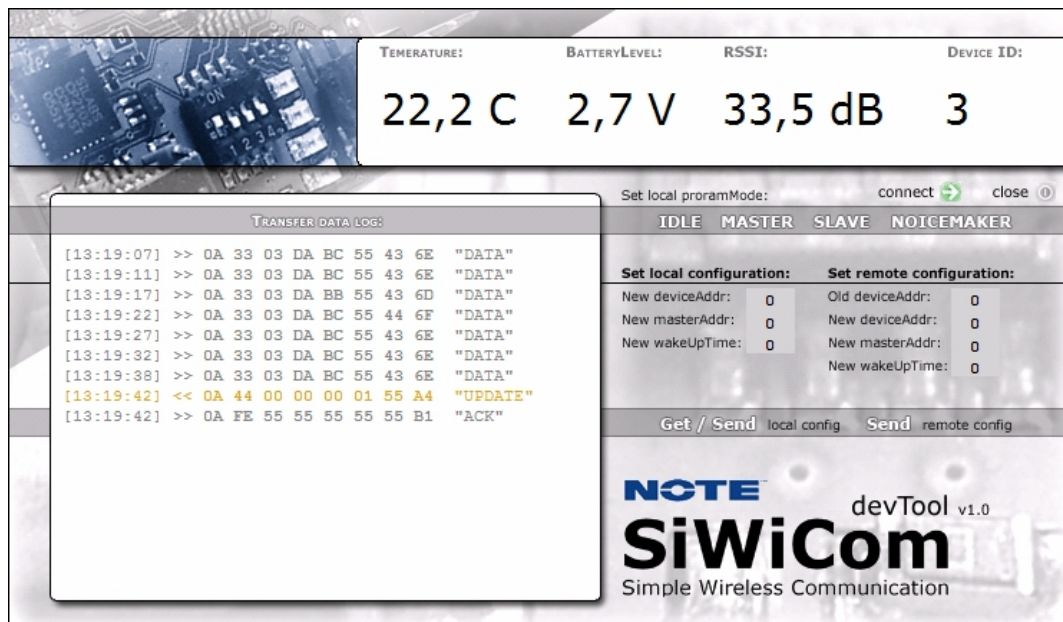
20:2 PC (USB) -kommunikation

Som kommunikationsprotokoll för PC-länken konstruerades även här ett relativt enkelt protokoll enligt följande princip:

PC:n är kopplad via ett USB-interface till SiWiCom-modulens seriella port och fungerar som en RS232-port. Om SiWiCom-modulen är konfigurerad som Master ligger den normalt i RF-lyssningsläge och vid mottaget paket från andra SiWiCom-moduler skickas data direkt vidare till PC:n. Protokollet stödjer även konfigureringskommandon av de externa modulerna genom att skicka kommandot `REMOTE_UPDATE`. För att ändra modulen inkopplad till PC:n skickas kommandot `LOCAL_UPDATE`. Via dessa kommando kan SiWiCom-modulernas master-adress, slav-adress och uppvakningstid ändras. Komplet lista över samtliga kommando finns i bilaga 4b. För indikation av paketstatus används övre gul lysdiod som blinkar vid aktivitet men som normalt är släckt. Som indikation att USB-länken är aktiv ges istället ett fast sken.

20:3 PC-programvara för test av PC-länk

För test och utveckling av PC-länken konstruerades en enkel PC-programvara (se figur 34 nedan) med namnet SiWiCom devTool. Programmet kommunicerar via den emulerade seriella-porten (USB till com-port) och presenterar inkommande datapaket i form av temperatur, batterinivå, RSSI-värde och paketets avsändare (deviceID). Via programmet kan även konfigurationsändringar skickas till såväl den inkopplade USB enheten som de externa enheterna. En datalogg möjliggör övervakning av dataöverföringen.



Figur 34. Skärmdump på SiWiCom devTool

21 Test och utvärdering

Beroende på vad produkten är avsedd för och i vilken miljö den skall användas i finns det många tänkbara tester som emc, fasbrus, bandbredd med flera. Då SiWiCom endast är en prototyp i laborativt syfte är många av dessa tester inte praktiskt genomförbara och utelämnas därför tills vidare.

21:1 Strömförbrukning

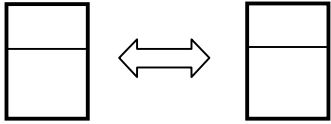
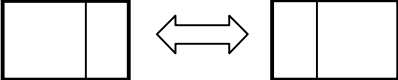
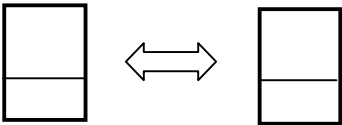
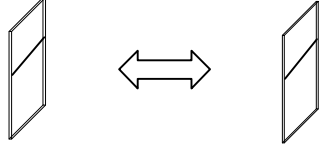
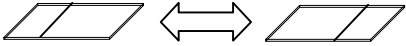
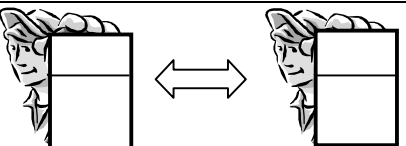
Total strömförbrukning för SiWiCom modul i dess olika tillstånd är uppmätt till¹:

- Sleep: 3,7uA
- Idle: 2,3mA
- RX: 18mA
- TX(0dBm): 19mA
- TX(5dBm): 22mA
- TX(7dBm): 29mA
- TX(10dBm): 34mA

21:2 Räckvidd

Då vi inte har möjlighet att mäta och göra strålningsdiagram över antennerna blev testen begränsad till en praktisk genomförbar räckviddstest varvid en sändareffekt på 1mW ansågs lämplig. För att skapa en bild över antennernas ungefärliga strålningsdiagram är räckvidden testad vid ett antal polarisationer som visas i tabell 4. Antennernas påverkan av människokroppens dielektiska konstant är även undersökt och framgår i slutet av tabellen. Alla förekommande beräkningar finns utförda i bilaga 5.

¹ Mätinstrument: Fluke 87, ID nr: MUL-048

Polarisation	Räckvidd (m) vid 0 dBm (1mW)			
	<u>Miljö</u>	<u>PCB</u>	<u>CHP</u>	<u>Splash</u>
	Ute	250	90	105
	Inne	50	35	45
	<u>Miljö</u>	<u>PCB</u>	<u>CHP</u>	<u>Splash</u>
	Ute	75	75	55
	Inne	25	10	35
	<u>Miljö</u>	<u>PCB</u>	<u>CHP</u>	<u>Splash</u>
	Ute	220	90	95
	Inne	50	30	40
	<u>Miljö</u>	<u>PCB</u>	<u>CHP</u>	<u>Splash</u>
	Ute	265	125	125
	Inne	40	40	40
	<u>Miljö</u>	<u>PCB</u>	<u>CHP</u>	<u>Splash</u>
	Ute	100	75	50
	Inne	40	25	30
	<u>Miljö</u>	<u>PCB</u>	<u>CHP</u>	<u>Splash</u>
	Ute	150	90	125
	Inne	40	25	40
Beräknad räckvidd. Utomhus, fri sikt. ¹		130	108	61
Ideal, rundstrålande antenn ²	96			

Tabell 4. Räckviddstest (m) vid olika polarisation: Öppet fält, inomhus, handhållen samt teoretisk räckvidd för en nästan ideal antenn.

Diskussion

Allmänt gäller att de uppmätta värdena är högre än de teoretiskt uträknade. Anledningen till detta ligger troligtvis i svårigheten att bedöma och avgöra antalet felpaket vid räckviddstesten. Reflektioner och gynnsam väderlek kan även ha bidragit till den ökade räckvidden. För säker dataöveföring bör sträckan därför ligga i nivå med den teoretiskt uträknade.

Som framgår av informationen i tabell 4 är pcb-antennen inte helt rundstrålande vilket stämmer med det i teoridelen uträknade värdet på direktiviteten för en stubbantenn. Om man jämför med räckvidden för en ideal rundstrålande antenn visar sig dock pcb-antennen vara betydligt mer riktningskänslig än beräknat. Orsaken till detta är sannolikt att beräkningarna är grundade på en icke vikt antenn då vår design av inverterad-L antenn troligtvis fått en högre förstärkning i en riktning.

¹ Beräkningar, se bilaga 5

² Beräkningar, se bilaga 5

21:3 Slutsats

Projekt SiWiCom är för oss ett mycket lyckat projekt. De tidsramar och delmål som var uppsatta hölls och konstruktionen byggdes upp utan större komplikationer. De i teoridelen uträknade värdena för strålningsresistans, direktivitet, räckvidd med flera visade sig stämma hyggligt bra överens med verkligheten då avikelserna kan förklaras enligt diskussionen tidigare i detta avsnitt. Vid en eventuell revision 2 bör dock följande förbättringar implementeras:

- Justera avstånd i layouten vid komponenterna för balun och impedansanpassning. Detta för att ge bättre möjlighet för maskinmontering av korten.
- Flytta USB-kontakten in mot kortet så att ingen sida sticker ut möjliggör montering av av korten på panel. (enklare -> billigare att producera)
- Förändra inkopplingen av R1. Skall vara mot jord istället för VCC.
- Processorns pin 32 skall kopplas till USB-chip pin 12 istället för 11 för användning av intern pull-up resistor istället för extern.
- LED 1 och R4 kan reduceras från layouten (led 1 bortplockad i schemadel) då ingen funktion för dessa finns implementerad.
- Dioder istället för lödjumper vid VCC-Selector för automatisk omslag till drift via USB istället för batteri.
- Antennen uppförd i dubbla lager med via-anslutningar emellan kanske ger ännu bättre prestanda.

22 Referenser

- [1] Guidelines to low cost wireless system design, Karlsen Frank, Nordic VLSI ASA, http://www.nordicsemi.no/files/Product/white_paper/RF_Guidelines_article.pdf, (2006-04-13)
- [2] Application note - Adaptive modulation QPSK QAM, Intel <http://www.intel.com/netcomms/technologies/wimax/303788.pdf>, (2006-04-13)
- [3] Post- och telestyrelsens författningssamling PTSFS 2004:8, Utgivare: Eva Liljefors http://www.pts.se/Archive/Documents/SE/Undantagsforeskriften_2004-8.pdf, (2006-04-13)
- [4] ISM-Band and Short Range Device Antennas, Matthew Loy / Iboun Sylla, Texas Instrument. <http://focus.ti.com/lit/an/swra046/swra046.pdf>, (2006-03-16)
- [5] Popovic, Zoya – Introductory Electromagnetics, 1999, Prentice Hall, ISBN 0-201-32678-7
- [6] Foundations of Antenna Theory and techniques, 2005, Prentice Hall, ISBN 0-130-26267-6
- [7] ERC decision of 12 March 2001 of non specific short range devices (ERC/DEC/(01)04) <http://www.ero.dk/documentation/docs/doc98/official/pdf/DEC0104.PDF>, (2006-04-13)
<http://www.ero.dk/>, (2006-04-13)
- [8] Basic Wireless Communication for Microcontrollers, www.rocket-roar.com
<http://rocket-roar.com/BWCM/900MHz/ant2.html>, (2006-03-16)
- [9] Application note AN003 – SRD antennas, M Evjen / G.E Jonsrud, Chipcon products
http://www.chipcon.com/files/AN_003_Antennas_1_2.pdf, (2006-03-16)
<http://focus.ti.com/lit/an/swra088/swra088.pdf>, (2006-03-16)
- [10] Compact integrated antennas AN2731, Freescale semiconductors. Rev.1,3 01-2006
http://www.freescale.com/files/rf_if/doc/app_note/AN2731.pdf, (2006-03-16)
- [11] Antenna Factor - Amerikansk tillverkare av antenner.
<http://www.antennafactor.com/>, (2006-04-13)
- [12] Application note726, Specifying Quartz Crystals - Dallas/Maxim (2006-03-20)
<http://pdfserv.maxim-ic.com/en/an/AppNote726.pdf>
- [13] Introduction to Quartz Frequency Standards - US Army Communications-Electronics Command (2006-03-21)
http://www.ieee-uffc.org/freqcontrol/tutorials/FCS%20Tutorials%2000/Vig-tutorial-60%20min_files/frame.htm
- [14] Crystals vs. Oscillators - Which Are More Cost - Effective in Wireless Designs? - Fox Electronics - ECN, 5/1/2002 (2006-03-21)
<http://www.ecnmag.com/article/CA214530.html>
- [15] Glossary of Terms for Crystals - www.ecliptek.com (2006-03-21)
<http://www.ecliptek.com/crystals/glossary.html>

[16] Quartz Frequency Control Devices - Oscilent Corporation (2006-03-23)

<http://www.oscilent.com/esupport/TechSupport/ReviewPapers/QuartzControl/fcdevices.PDF>

[17] Hosonic_HCX-6SB – datablad – Kvartselektronik AB

<http://www.kve.se/pdf/specs/supplier/Hosonic/Hosonic%20HCX-6SB.pdf> (2006-04-13)

[18] Bowick, Chris – RF Circuit Design, 1982, Newnes, ISBN 0-7506-9946-9

[19] SRD regulations for licence free transiver operation – Chipcon application note AN001

http://www.chipcon.com/files/AN_001_SRD_Regulations_2_01.pdf

Bilaga 1a – Milstolpe 1 (2006-03-22)

Projektsammanfattning

Projektet startades onsdagen den 8:e Mars med introduktion och installation i konferensrum 3 på Note AB i Lund. Arbetet med projektet startades omgående genom att lite ostrukturerat söka information om diverse tillverkare av RF-chip och antenner för att få en överblick om vad som finns att tillgå.

Snabbt stod det klart vilka begrepp och termer som vi behövde behärska och därmed vilka områden vi var tvungna att fördjupa oss i.

Arbetet delades upp i två områden där Christoffer ansvarade för informationssökning i datablad från en mängd tillverkare med understöd av Joakim som fördjupade sig inom radioområdet och regler för användandet av ISM-bandet. Detta för att kunna sätta upp kriterier för valet av RF-chip och det kommande arbetet med beräkningar av antenner och anpassningar.

Första urvalet av RF-chip har gjorts där totalt 21st varianter från olika tillverkare har bedömts. Av dessa är 9st utvalda och av oss ansedda som för ändamålet bra chip. En förteckning över chipen med information om kapseltyp, modell och fabrikat lämnades till inköpsavdelning den 16 Mars för prisframtagning.

Arbetet med projektet har integrerats med noggrann dokumentation med avsikt att vara en del av slutrapporten. Två möten med Jonas Öhrn har genomförts där vi tillsammans har diskuterat det löpande arbetet och kriterierna för projektet.

Val av RF-teori

- Frekvensband: Hårdare restriktioner med begränsad uteffekt och duty-cycle anser vi bidra till mindre störningar och bättre dataöverföring. Valet blir därför någon eller några kanaler i 868MHz –bandet.
- Modulering: FKS alternativt GFSK-modulering, då inga krav på snabb överföring finns. Ger även möjlighet till smal bandbredd.
- Kodningsteknik: NRZ är tillräckligt för ändamålet men Manchesterkodning ger säkrare överföring och kan vara mer framtidskompatibelt.
- Bandbredd: Slutgiltigt val av RF-chip kommer att vara avgörande eftersom bandbredden beror på många samverkande faktorer (kristall, antenn etc.)
- Uteffekt: Kretsberoende men ofta justerbar. Praktiska tester får sätta nivån eftersom låg strömförbrukning även är ett krav för den färdiga produkten.
- Antenn: Beräkningar av verkningsgrad, impedansanpassningar och pris får bli avgörande för valet av antenn. (Olika typer av PCB-antenn, chipantenn)

Eftersom vi parallellt med projektet SiWiCom har en del icke avslutade kurser har vi gjort en uppdelning av tiden mellan Note och Malmö högskola. Inkluderat helgarbete har den effektiva tiden för projektet sedan starten blivit 60h för Christoffer och 68h för Joakim.



Joakim Nilsson



Christoffer Martinsson

Bilaga 1b – Milstolpe 2 (2006-04-18)

Projektsammanfattning

Projektet har sedan milstolpe 1 fortlöpt med en uppdelning där Christoffer fortsatt med jämförelsen av utvalda RF-chip samt teori om resonanskretsar. Joakim har fördjupat sig konstruktion och beräkningar av antenner vilket bland annat har lett till 3 prototyper av pcb-antennerna samt att vi fått ett gratisprov på en chip-antenn av planartyp från Embedded antenna design ltd, England. Rapporten för RF-delen är sammansatt men ej så fullständig som tänkt enligt tidsplan. Följande delar saknas eller behöver kompletteras:

- RF-länk: en beskrivning över vad som finns på marknaden och vilka funktioner som finns att tillgå inom radiokommunikation för ISM-bandet.
- Fullständiga beräkningar av utvald antenn med avseende på effektivitet och räckvidd.
- Begränsad tillgång till mätinstrument har gjort att vi inte kunnat mäta upp de framtagna pcbantenn prototyperna.

Även en presentation av projektet har genomförts för ingenjörerna på utvecklingsavdelningen. Detta för att presentera oss och projektet SiWiCom samtidigt som vi ville få in synpunkter på vårt arbete samt val av komponenter.

Val av RF-prototyp

- RF-chip: Pris i förhållande till prestanda och ett fåtal kringkomponenter bidrog till vårt val som blev CC1100 från Chipcon.
- Kristall: Våra krav på en ytmonterad, billig komponent tillsammans med Chipcons rekommendation för CC1100-chippet gjorde att valet blev HCX-6SB från HOSONIC.
- PCB-antenn: Avsaknad av beräkningsprogram för antenner gör att vi begränsas till en stubb-antenn som vi valt att vika för att maximera längden. Beroende på utfallet av våra experimentkort kan det även bli aktuellt med en inverterad-F antenn.
- Chip-antenn: Ett samplat prov på en chipantenn av planartyp får utgöra en referens till vår pcb-antenn.

Parallellt med projektet SiWiCom har tid ägnats åt projektledningen i RoboCon-06 samt rapportskrivning och avslutande arbete av kursen Elektronikbyggsätt. Inkluderat helgarbete har den effektiva tiden för SiWiCom sedan förra milstolpen blivit 64h för Christoffer och 93h för Joakim. (Totalttid: Christoffer 124h, Joakim 161h)



Joakim Nilsson



Christoffer Martinsson

Bilaga 1c – Milstolpe 3 (2006-05-11)

Projektsammanfattning

Projektet fortskrider enligt tidplanen och de delar som var försenade i förra milstolpen (RF-länk, fullständiga beräkningar och praktiska uppmätningar) är nu i princip färdiga då endast en liten del av dokumentationsarbetet återstår.

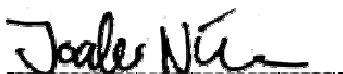
Vi har studerat cad-verktyg för schema/mönsterkortstillverkning, simuleringsprogram för impedansanpassning samt handhavande av vectoranalysator. Men det praktiska arbetet och därmed en fördjupning av ovanstående har delats upp där Christoffer ansvarat för Schema/layout delen samt i samråd med andra valt ut övriga kringkomponenter till projektet. Joakim har gjort beräkningar av pcb-antennens egenskaper och av impedansanpassningskomponenter där även ett datorprogram använts som referens. Beräkningarna har kontrollerats vid praktiska försök med hjälp av inlånat mätinstrument; så kallad "Vector Network Analysator". Ytterligare 3 antennprototyper av typen inverterad-F har tillverkats för praktiska experiment.

Vi har även installerat utvecklingsmiljön för Atmels processorer och dragit upp riktlinjer för mjukvaran i SiWiCom som är nästa etapp i projektet. Innan arbetet med layouten startade hade vi ett konstruktionsmöte med övriga utvecklingsingenjörer där vi tog in synpunkter och förslag till konstruktionsförbättringar.

Tillverkningsunderlag klart:

- Kravet på pcb-antennens yta fick justeras något då den på grund av batterihållarens storlek blev aningen större än en "kvadrat tum". Med detta ökar såväl antennens längd som jordplanets yta vilket bör ge positiva fördelar i den slutgiltiga konstruktionen.
- Optimerad ledardragning bidrog till ett 2-lagerskort med jordplan på båda sidor.
- Två varianter: Integrerad pcb-antenn med komponenter för impedansanpassning till 50 Ohm samt en anpassad variant av chipantenn (Splatch 868 antenna)
- Bomlista och övrig dokumentation för framtagning av kretskort. Underlag inlämnat till Note Lab 8 Maj 2006.
- En annan, till storleken mindre, typ av chipantenn har blivit beställd från en nytilkommen leverantör. Denna antenn av fabrikat Rainsun kommer även att monteras och testas mot de övriga antenntyperna trots att den troligen inte är optimerad mot vår design.

Bifogade bilagor (3) visar den slutliga konstruktionen för de bägge korten. Den effektiva arbetstiden för SiWiCom sedan förra milstolpen har blivit 130h för Christoffer och 119h för Joakim. (Totalttid: Christoffer 254h, Joakim 280h)



Joakim Nilsson



Christoffer Martinsson

Bilaga 1d – Milstolpe 4 (2006-06-02)

Projektsammanfattning

Utvecklingen av mjukvaran har fortsatt enligt plan och vi har samtliga drivrutiner klara. Vi har även utvecklat programvara för kommunikationsprotokoll för trådlös överföring mellan modulerna samt till pc via usb-anslutning.

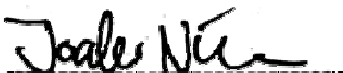
Då mönsterkortet anlände från PrintLine visade det sig att det blivit för litet avstånd mellan padsen för komponenterna i "balunen" vid rf-chippet. Detta innebär att det inte som planerat gick att maskinmontera kortet varvid vi blev tvungna att handmontera 6st kort med våra tre antenntyper.

Konstruktion klar med följande undantag:

- Kort nummer 6 ej komplett pga brist på 1st 26MHz kristall. Beräknad leveranstid cirka 3 veckor.
- Huvudprogrammet för rf-chippet ej helt klart. (siwicom.c)
- Slutgiltig uppmätning av impedans samt beräkning av anpassningskomponenter för konstruktionen med pcb-antenn.
- Rapportdelen (som i stort skulle behandla mjukvaran) ej i fas med tidsplanen men uppskattas till endast någon dags arbete.

Uppskattningsvis ligger vi 2-3 dagar efter tidsplanen. Vi skall dessutom, utöver grundplanen, även ta fram programvara för att med pc och usb-anslutning köra mastermoduler och presentera data. Detta innebär att vi totalt sett ligger cirka en vecka back med projektet men en effektiv disponering av den återstående tiden kommer att hjälpa oss i slutspurten då målet är att vara klar på utsatt tid.

Den effektiva arbetstiden för SiWiCom sedan förra milstolpen har blivit 93h för Christoffer och 88h för Joakim. (Totalttid: Christoffer 347h, Joakim 368h)



Joakim Nilsson



Christoffer Martinsson

Bilaga 1e – Milstolpe 5 (2006-06-30)

Projekt klart, sammanfattning

Vi har under 17 veckors tid jobbat hårt med SiWiCom då vi hade som mål att prestera ett så bra examensarbete som möjligt. Tiden har gått otroligt fort och när vi nu sitter i projektets sista milstolpsmöte och skall sammanfatta det hela känns det som vi nyss startat. Vi minns den tröga starten då vi inte riktigt visste i vilken ände vi skulle starta och prestationsångesten växte i takt med att kunden ville se framsteg. Men snart började hjulet rulla på snabbare och allt kändes lättare när vi lärt känna övriga medarbetare och NOTE som företag.

Vi har i stora drag lyckats med bedriften att hålla oss till tidplanen trots att vår "kund" infört presentationer, möten och tekniska genomgångar. Detta har varit nyttigt och helt klart ökat förståelsen för hur ett lyckat projekt byggs upp även om det inneburit en högre arbetsbelastning och stundvis stressig tillvaro. Vi har trots detta haft hård disciplin och fullföljt planen vad gäller rapportskrivningen som endast krävde ett par dagars justering för att bli klar.

Sammanfattningsvis är vi mycket nöjda och tacksamma för att vi fick möjligheten att göra vårt examensarbete på NOTE Lund AB. Det har varit den mest intressanta och lärorika tiden i vår ingenjörsutbildning.

Den effektiva arbetstiden för SiWiCom sedan förra milstolpen har blivit 120h för Christoffer och 109h för Joakim. (Totalttid: Christoffer 467h, Joakim 477h) . Applikation "SiWiCom devTool" ej inkluderat i tidsredovisningen då denna ligger utanför projektets kravspec.



Joakim Nilsson



Christoffer Martinsson

Bilaga 2a – Utvärderade chip

Nedanstående RF-chip är utvärderade med hjälp av dokumentation från tillverkaren.

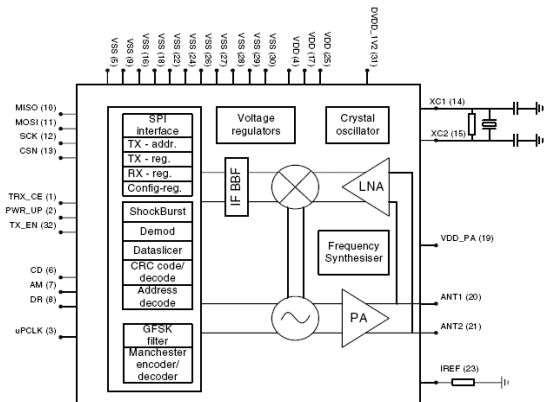
Bedömning "OK" innebär att kretsen lämpar sig för projektet och är sammanfattningsvis presenterade i bilaga 2b-g.

Modell	Fabrikat	Datablad	Bedömning
nRF905	Nordic semiconductor	[1] 2005-12-06	OK
nRF9E5	Nordic semiconductor	[2] 2005-01-21	Innehåller 8051 MCU
cc400	Chipcon / Texas	[3] 2005-05-25	Utgående modell
cc900	Chipcon / Texas	[4] 2003	Utgående modell
cc1000	Chipcon / Texas	[5] Augusti 2005	OK
cc1010	Chipcon / Texas	[6] 2004-12-17	Innehåller 8051 MCU
cc1020	Chipcon / Texas	[7] Januari 2006	OK (kräver extern RF-switch)
cc1021	Chipcon / Texas	[8] Januari 2006	Kräver extern RF-switch, Snarlik 1021 men med sämre kanalseparation
cc1100	Chipcon / Texas	[9] 2005-04-25	OK
cc1110	Chipcon / Texas	[10] 2006-01-04	Innehåller 8051 MCU
max7030	Maxim	[11] Maj 2005	Ej önskvärd av kund / Endast en frekvens
max7032	Maxim	[12] Maj 2005	Ej önskvärd av kund
TH7122	Melexis	[13] Februari 2006	OK (stort antal kringkomponenter)
TH71221	Melexis	[14] Februari 2006	Identisk med TH7122 förutom kapseltyp
ADF7020	Analog Device	[15] Juni 2005	OK
ADF7020-1	Analog Device	[16] December 2005	Stödjer ej 868Mhz bandet
AT86RF211S	Atmel	[17] Maj 2005	Kräver externa filter
ATA5428	Atmel	[18] Oktober 2005	OK
ZL70100	Zarlink	[19] Maj 2005	Stödjer ej 868Mhz-bandet. Mer lämpad för tillämpningar inom medicinska implantat
XE1202A	Semtech	[20] Januari 2006	OK
XE1205	Semtech	[21] September 2005	OK

Bilaga 2b - lämpliga RF-chip

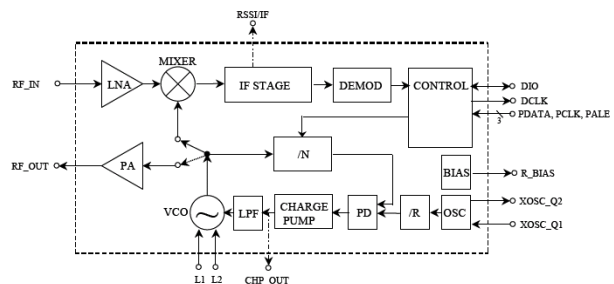
Nordic semiconductor nRF905

Kräver få externa komponenter och har avancerad pakethantering i hårdvaran vilket minskar belastningen på mikroprocessorn. Transivern har funktioner som "Carrier Detect" vilket innebär att man får signal när bärvåg för vald kanal är närvarande och "Adress Match" som signalerar att ett paket med rätt id-nummer mottagits. Den har även en "Data Ready" signal som indikerar att data mottagits eller att kretsen är redo att skicka nästa paket med data. Kretsen sköter all sin kommunikation via ett SPI interface.



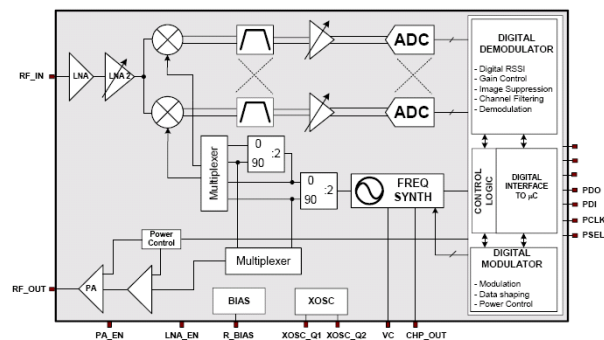
Chipcon cc1000

En relativt enkel RF-krets som saknar inbyggd pakethantering. Kretsen kommunicerar via en kombinerad sändar/mottagar pinne och konfigureras via ett separat 3-tråds seriellt interface. En RSSI (Received Signal Strength Indicator) utgång möjliggör detektion av bärvåg.



Chipcon cc1020

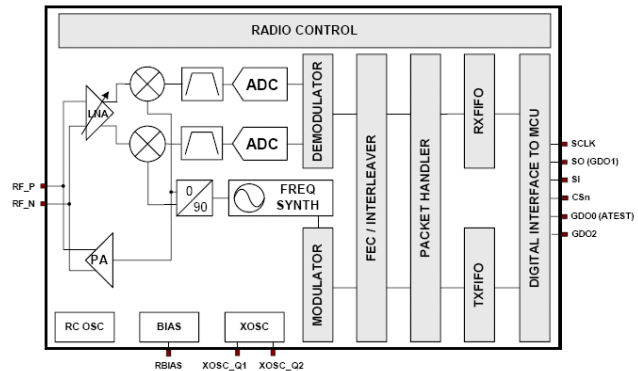
Speciellt anpassad för smalbandiga system och har finesser som RSSI och AFC. AFC (Automatic Frequency Compensation) ser till att kalibrera mottagaren efter sändarens eventuella frekvensdrift vilket innebär att en kristall med sämre tolerans kan användas (billigare). Kretsen kommunicerar via en kombinerad sändar/mottagar pinne och konfigureras via ett separat 4-tråds seriellt interface. Cc1020 kräver en extern RF-switch.



Lämpliga RF-chip

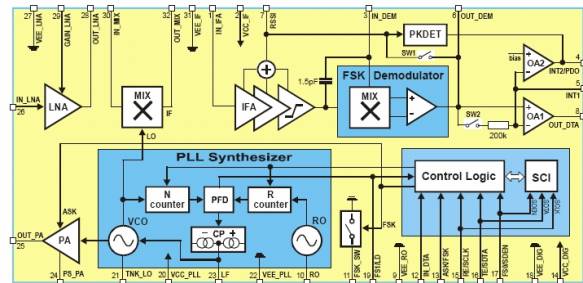
Chipcon cc1100

Är en kraftfullt krets som endast kräver några få externa komponenter. Den har inbyggd pakethantering och 64-byte FIFO buffert. Några finesser hos denna krets är RSSI, AFC, Carrier Sense, Link Quality Indicator, WOR (Wake On Radio) och integrerad temperatursensor. All kommunikation sker via ett SPI interface och över lag är denna krets den mest kompetenta av alla kretsar i listan.



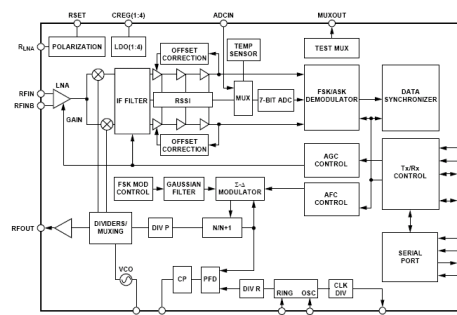
Melexis TH7122

Denna transiver kräver ett stort antal externa komponenter och saknar inbyggd pakethantering. Kommunikationen sker via en DI-ingång och en DO-utgång samt konfigureras via ett separat 3-tråds seriellt interface.



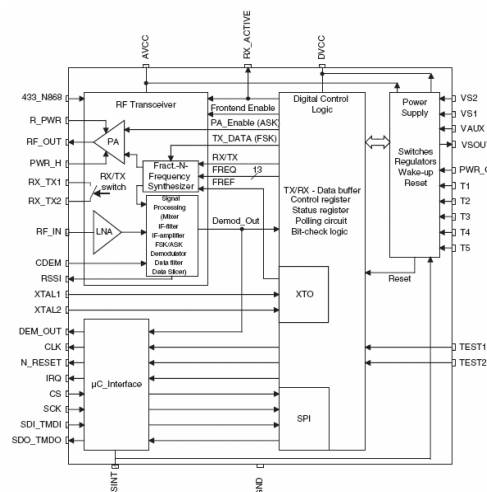
Analog device ADF7020

Något begränsade konfigureringsmöjligheter av kanalseparation är det som skiljer ADF7020 från andra liknande kretsar. Kommunikationen sker via en kombinerad sändar/mottagar pinne och konfigureras via ett separat 3-tråds seriellt interface. Kretsen har finesser som RSSI , AFC och integrerad temperatur och batteriövervakning.



Atmel ATA5428

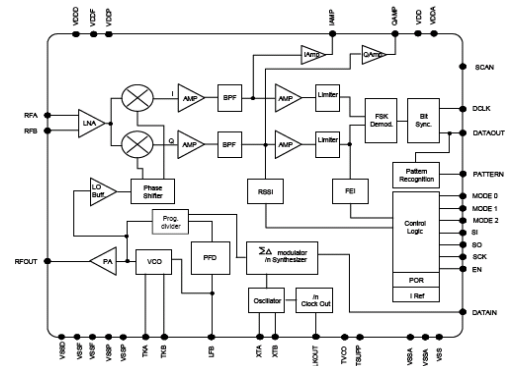
ATA5428 har inbyggd pakethantering med FIFO buffert samt RSSI. En integrerad spänningsregulator möjliggör matningsspänning upp till 6,6V.



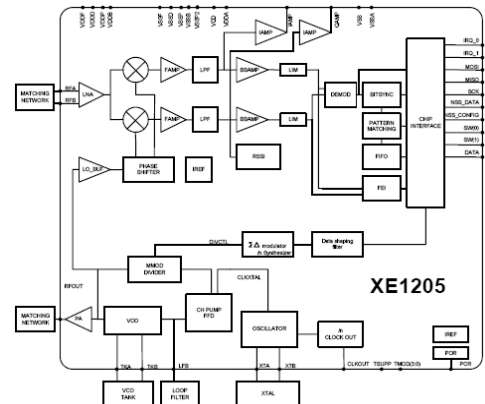
Lämpliga RF-chip

Semtech XE1202A

Detta är en smalbandig tranceiver som kan leverera en mycket hög uteffekt för den här typen av kretsar. Finesser som RSSI-utgång och FEI (Frequency Error Indication). Kommunikationen mot mikroprocessor sker via en DI-ingång och en DO-utgång och konfigureras via ett separat 3-tråds seriellt interface. Kretsen kräver extern RF-switch.

Semtech XE1205

Som XE1002 fast med SPI interface för kommunikation och inbyggd pakethantering med 16-byte FIFO buffert.



Lämpliga RF-chip

Modellbeteckning (pris enligt 2006-04):

Modell	Fabrikat	PartNr	Kapsel	Pris SEK (lev)	
nRF905	Nordic semiconductor	nRF905	QFN32L	-	
cc1000	Chipcon / Texas	CC1000	TSSOP28	33,31	(Arrow)
cc1020	Chipcon / Texas	CC1020-RTB1	QFN32	39	(Arrow)
cc1100	Chipcon / Texas	CC1100-RTY1	QLP20	16,22	(Arrow)
TH7122	Melexis	TH7122	LQFP32	17,50	(5A)
TH71221	Melexis	TH71221	QFN32	17,50	(5A)
ADF7020	Analog Device	ADF7020BCPZ	LFCSP48	18	(Arrow)
ATA5428	Atmel	ATA5428-PLQW	QFN48	22,75	(Arrow)
XE1202A	Semtech	XE1202AI027TRLF	LQFP44	37,0	(Future)
XE1205	Semtech	XE1205I074TRLF	VQFN48	38,50	(Future)

Generellt:

Modell	Vdd (V)	I StdBy (nA)	Interface	Features
nRF905	1,9 – 3,6	2500	SPI	Carrier Detect, Address Match, Data Ready
cc1000	2,1 – 3,6	200 – 1000	3-wire serial + DIO	RSSI
cc1020	2,3 – 3,6	200 – 1800	4-wire serial + DIO	RSSI, Carrier Sense, AFC
cc1100	1,8 – 3,6	200 – 1000	SPI	RSSI, Carrier Sense, Link Quality Indicator, Clear Channel Assessment, AFC, FIFO buffer
TH7122	2,2 – 5,5	50 – 100	3-wire serial + DI, DO	RSSI
ADF7020	2,3 – 3,6	100 – 1000	3-wire serial + DIO	AFC, RSSI
ATA5428	2,4 – 3,6 / 4,4 – 6,6	10	SPI	RSSI, FIFO buffer
XE1202A	2,4 – 3,6	200 – 1000	3-wire serial + DI, DO	RSSI, FEI
XE1205	2,4 – 3,6	200 – 1000	SPI	RSSI, FEI, FIFO buffer

Mottagaregenskaper:

Modell	I Rx (mA)	P Rx (dBm)	ACS (dB)	CCR (dB)	MIA (dB)
nRF905	12,5	-100	-7	13	-36
cc1000	7,4	-110 (2,4kbps)	-	-	-
cc1020	19,9	-116	32	-11	52
cc1100	15,6	-110 (1,2kbps)	23		29
TH7122	8	-105	-	-	-
ADF7020	21	-119,2 (1kbps)	27	-7	30
ATA5428	10,5	-109,5 (2,4kbps)	-30	-	30
XE1202A	16,5	-116	48	-10	-
XE1205	16,5	-116	20	-10	-

Lämpliga RF-chip

Sändaregenskaper:

Modell	I Tx (mA)	P Tx (dBm)	
nRF905	30	-14 – 11	(0,0398 - 12,6mW)
cc1000	26,7	-20 – 10	(0,01 - 10mW)
cc1020	25,1	-20 – 5	(0,01 – 3,123mW)
cc1100	28,8	-30 – 10	(0,001 - 10mW)
TH7122	26,6	-7 – 10	(0,1995 - 10mW)
ADF7020	28,5 (10dBm)	-20 – 13	(0,01 - 20mW)
ATA5428	15,8	0 – 10	(1 - 10mW)
XE1202A	75	0 – 15	(1 – 31.62mW)
XE1205	75	0 – 15	(1 – 31.62mW)

Frekvenssegenskaper:

Modell	Arbetsområde (MHz)	Kanalsep. (kHz)	Bandbredd (kHz)
nRF905	433 / 868 / 915	100 (433MHz) 200 (868MHz)	173 (-16dBc)
cc1000	300 – 1000	0 – 307,5	175
cc1020	402 – 470 / 804 – 940	0 – 216 (868MHz)	9,6 – 307,2
cc1100	400 – 464 / 800 – 928	25,39 – 405,456	58 - 650
TH7122	300 – 930	-	-
ADF7020	431 – 478 / 862 - 956	100	100 - 200
ATA5428	431,5 – 436,5 / 862 – 872		185
XE1202A	433 / 868 / 915	0,5	10/20/40/200
XE1205	433 / 868 / 915	0,5	10/20/40/200

Lämpliga RF-chip

Radioegenskaper:

Modell	Modulation	Kristall (MHz)	Utgångsimpedans (ohm)
nRF905	GFSK	4 – 20 (+-30ppm)	300 + j100 (433MHz) 255 + j210 (900MHz)
cc1000	FSK/OOK	3 – 16 (+-25ppm)	140 (433MHz) 80 (868MHz)
cc1020	OOK/FSK/GFSK	4,9152 – 19,6680 (+-2,8ppm)	54 + j44 (433MHz) 15 + j24 (868MHz)
cc1100	GFSK/2-FSK/OOK/ ASK/MSK	26 – 27 (+-40ppm)	-
TH7122	FSK/ASK	3 – 12 (+-20ppm)	-
ADF7020	FSK/GFSK/ASK/ OOK/GOOK	3,625 - 24 (+-25ppm)	48 + j54 (868MHz)
ATA5428	FSK/ASK	13,25311 (433MHz) 13,41191 (868MHz)	32 – j169 (433MHz) 21 – j78 (868MHz)
XE1202A	2-FSK	39 (+-10ppm)	66 – j5 (433MHz) 66 + j14 (868MHz)
XE1205	2-FSK	39 (+-10ppm)	89 – j19 (433MHz) 80 + j17 (868MHz)

Omlsagstider:

Modell	StdBy > Idle	Idle > TX//RX	RX > TX	TX > RX
nRF905	3ms	650us / 650us	550us	550us
cc1000	2ms	470us / 450us	270us	250us
cc1020	-	-	640us	640us
cc1100	-	809us / 809us (cal)	9,6us	21,5us
TH7122	=>	1 – 1,5ms	1ms	1ms
ADF7020	=>	3ms	150us + (5*Tbitrate)	
ATA5428	0,3ms	0,4ms / 1,39ms	-	-
XE1202A	=>	600us / 1,2ms	100us	500us
XE1205	1ms	250us / 700us	100us	500us

Bilaga 2c – Förteckning över datablad

- [1] nRF905 – datablad – Nordic Semiconductor
http://www.nordicsemi.no/files/Product/data_sheet/nRF905_rev1_3.pdf (2006-03-16)
- [2] nRF9E5 – datablad – Nordic semiconductor
http://www.nordicsemi.no/files/Product/data_sheet/nRF9E5rev1_2.pdf (2006-03-16)
- [3] cc400 – datablad – Chipcon/Texas
http://www.chipcon.com/files/CC400_datasheet_rev_3_2.pdf (2006-03-16)
- [4] cc900 – datablad – Chipcon/Texas
http://www.chipcon.com/files/CC900_datasheet_2_0.pdf (2006-03-16)
- [5] cc1000 – datablad – Chipcon/Texas
http://www.chipcon.com/files/CC1000_Data_Sheet_2_3.pdf (2006-03-16)
- [6] cc1010 – datablad – Chipcon/Texas
http://www.chipcon.com/files/CC1010_Data_Sheet_1_3.pdf (2006-03-16)
- [7] cc1020 – datablad – Chipcon/Texas
http://www.chipcon.com/files/CC1020_Data_Sheet_1_8.pdf (2006-03-16)
- [8] cc1021 – datablad – Chipcon/Texas
http://www.chipcon.com/files/CC1021_Data_Sheet_1_3.pdf (2006-03-16)
- [9] cc1100 – datablad – Chipcon/Texas
http://www.chipcon.com/files/CC1100_data_sheet_1_0.pdf (2006-03-16)
- [10] cc1110 – datablad – Chipcon/Texas
http://www.chipcon.com/files/CC1110_Data_Sheet_rev1p00.pdf (2006-03-16)
- [11] max7030 – datablad – Dallas/Maxim
<http://pdfserv.maxim-ic.com/en/ds/MAX7030.pdf> (2006-03-16)
- [12] max7032 – datablad – Dallas/Maxim
<http://pdfserv.maxim-ic.com/en/ds/MAX7032.pdf> (2006-03-16)
- [13] TH7122 – datablad – Melexis
<http://www.mlxsemi.com/Asset.aspx?nID=4798&sCmd=download> (2006-03-16)
- [14] TH71221 – datablad – Melexis
<http://www.mlxsemi.com/Asset.aspx?nID=4799&sCmd=download> (2006-03-16)
- [15] ADF7020 – datablad – Analog Devices
http://www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/203493453ADF7020_0.pdf
(2006-03-16)

[16] ADF7020-1 – datablad – Analog Devices

http://www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/557884481ADF7020_1_0.pdf

(2006-03-16)

[17] AT86RF211S – datablad – Atmel

http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc5348.pdf (2006-03-16)

[18] ATA5428 – datablad – Atmel

http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc4841.pdf (2006-03-16)

[19] ZL70100 – datablad – Zarlink

http://assets.zarlink.com/DS/zarlink_ZL70100_MAY_05.pdf (2006-03-16)

[20] XE1202A – datablad – Semtech

<http://www.semtech.com/pc/downloadDocument.do?navId=H0,C193,C194,P2613&id=792>

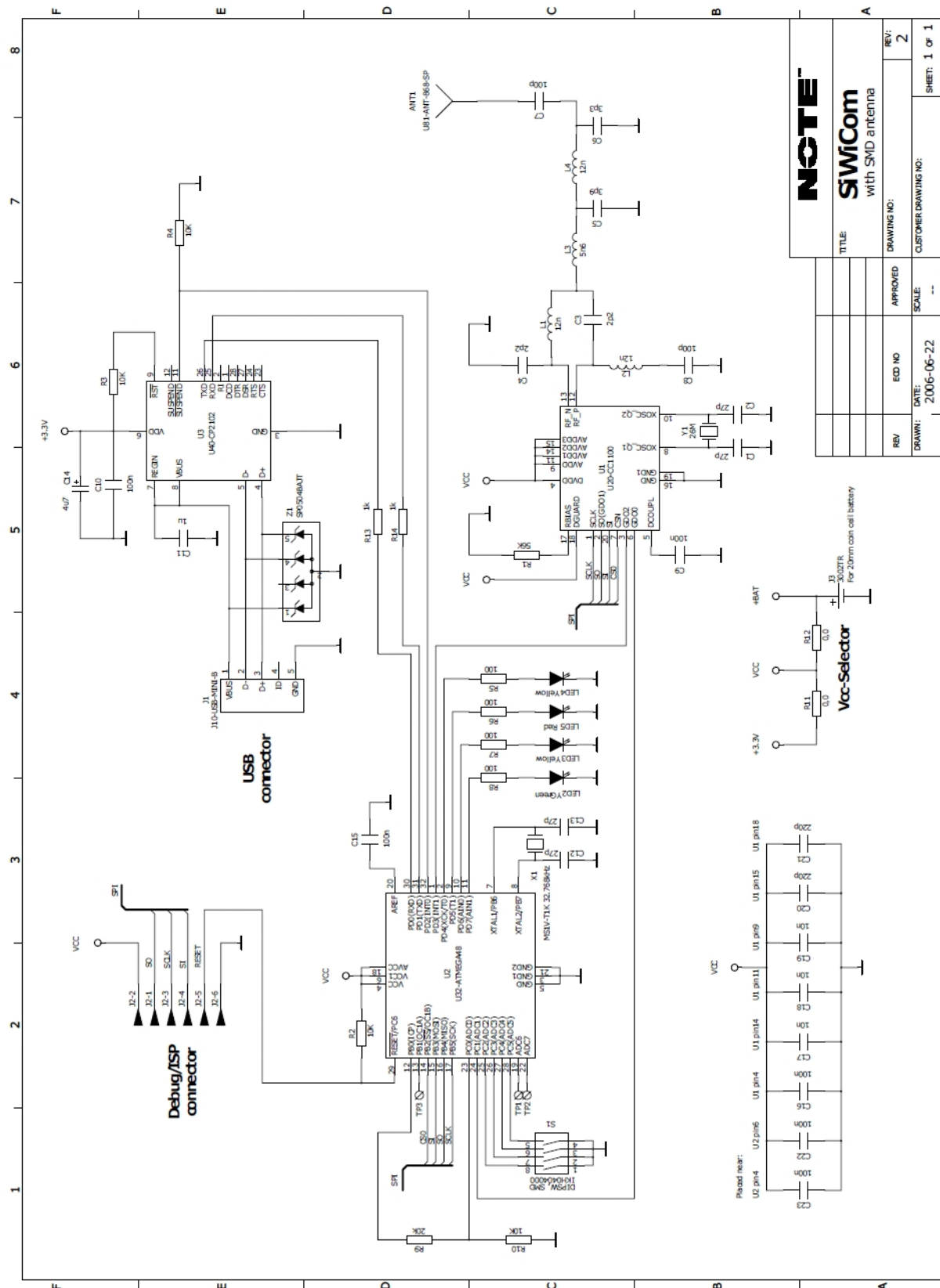
(2006-03-16)

[21] XE1205 – datablad – Semtech

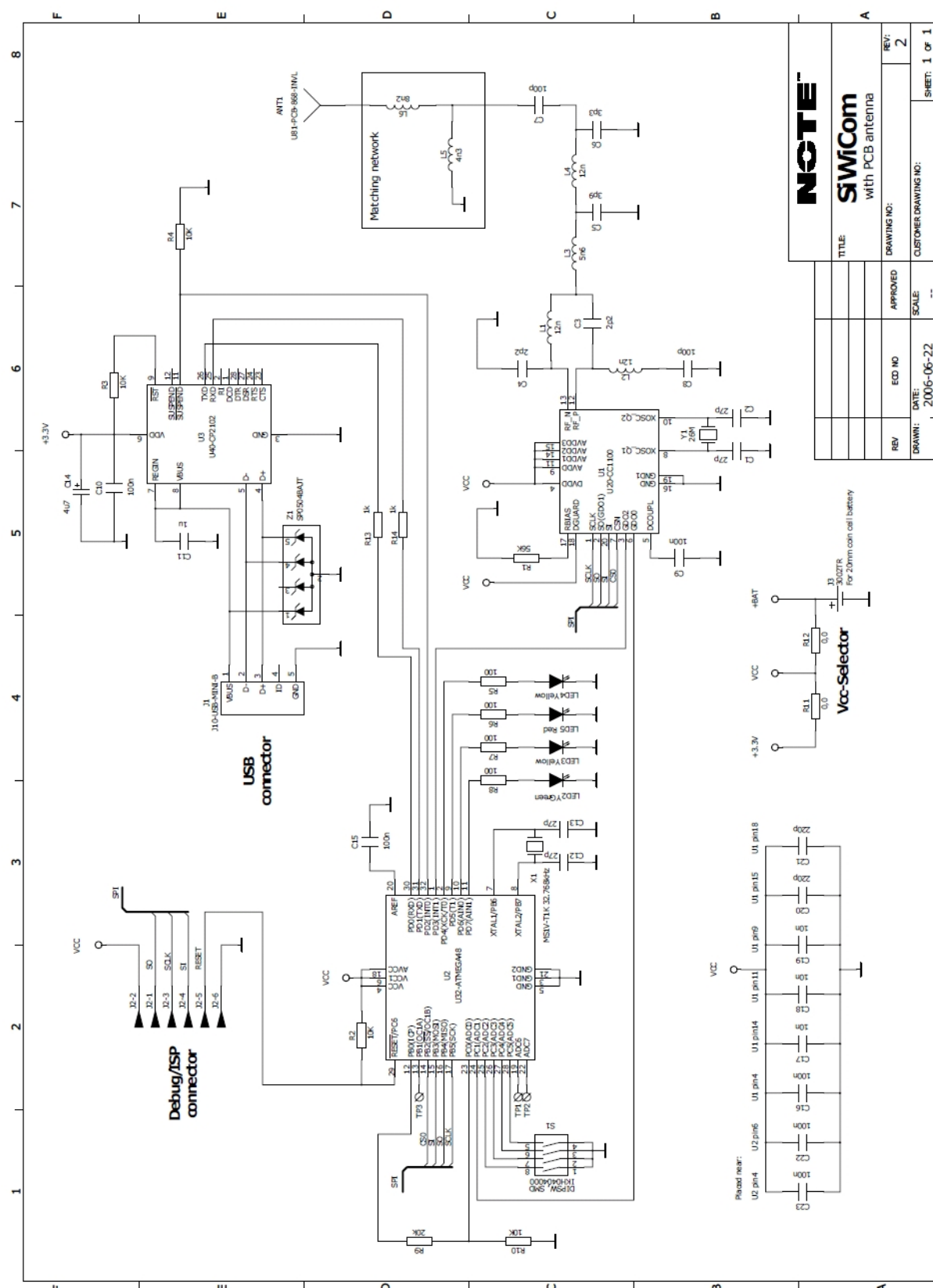
<http://www.semtech.com/pc/downloadDocument.do?navId=H0,C193,C194,P2615&id=769>

(2006-03-16)

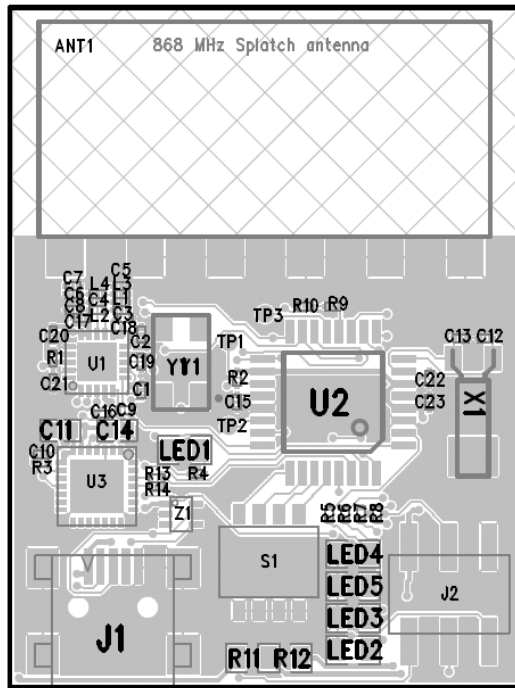
Bilaga 3a – Schema över SiWiCom modell 1



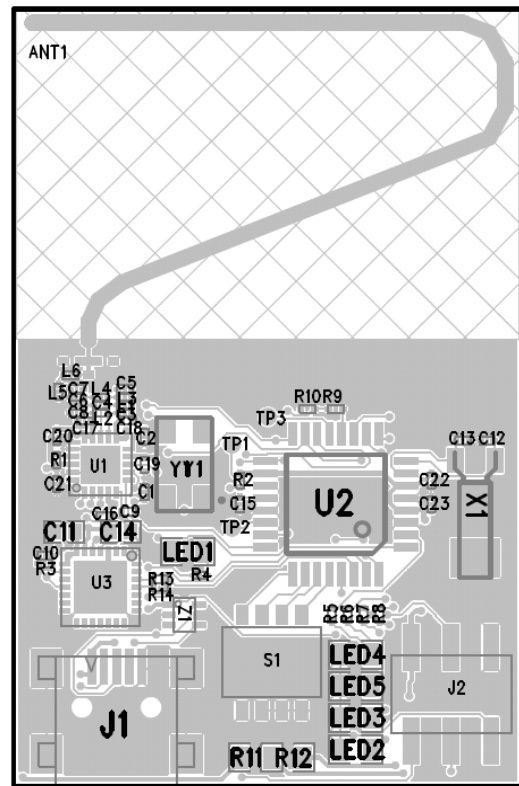
Bilaga 3b – Schema över SiWiCom modell 2



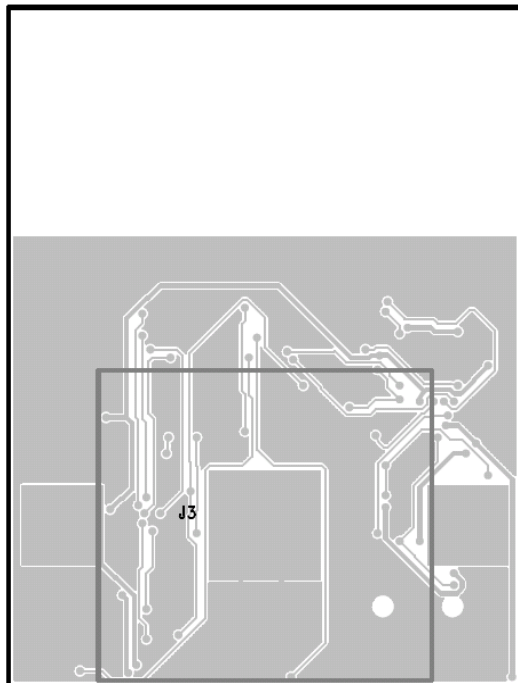
Bilaga 3c – Layout



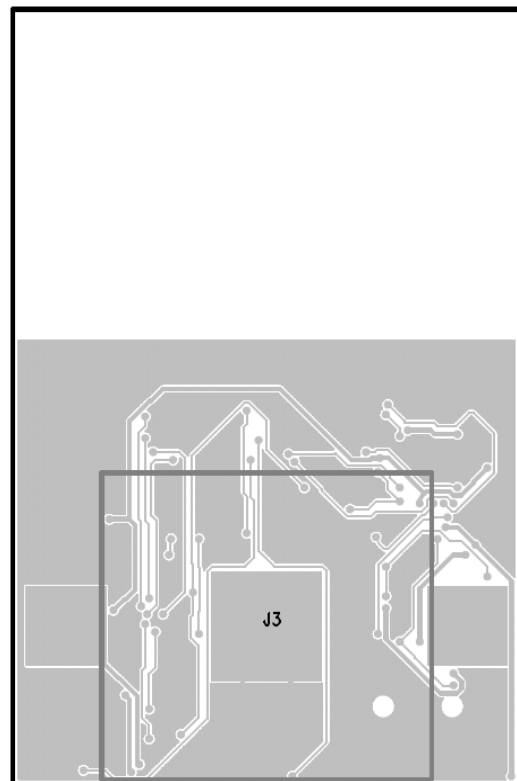
SiWiCom MODEL1 (top)
(43,2 x 32,4 mm)



SiWiCom MODEL2 (top)
(49,9 x 32,4 mm)

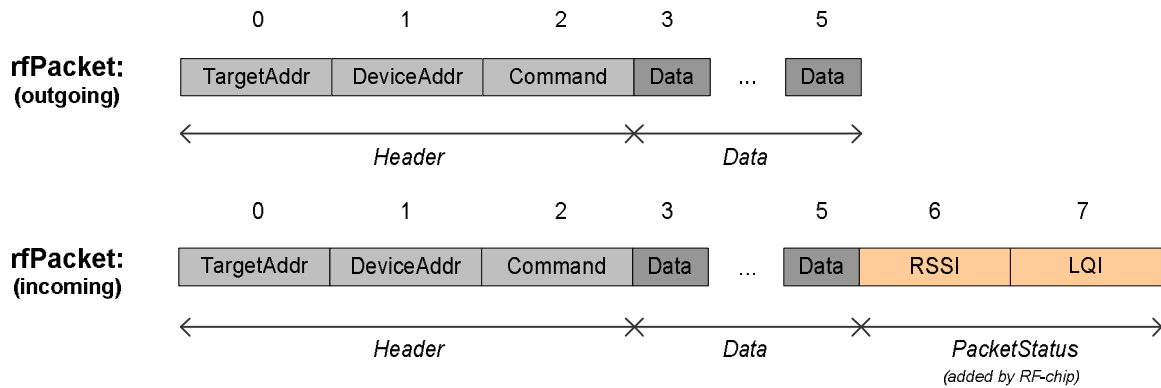


SiWiCom MODEL1 (bottom)
(43,2 x 32,4 mm)



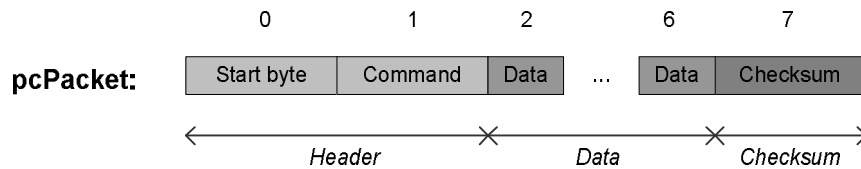
SiWiCom MODEL2 (bottom)
(49,9 x 32,4 mm)

Bilaga 4a – Paketbestrivning, RF-kommunikation



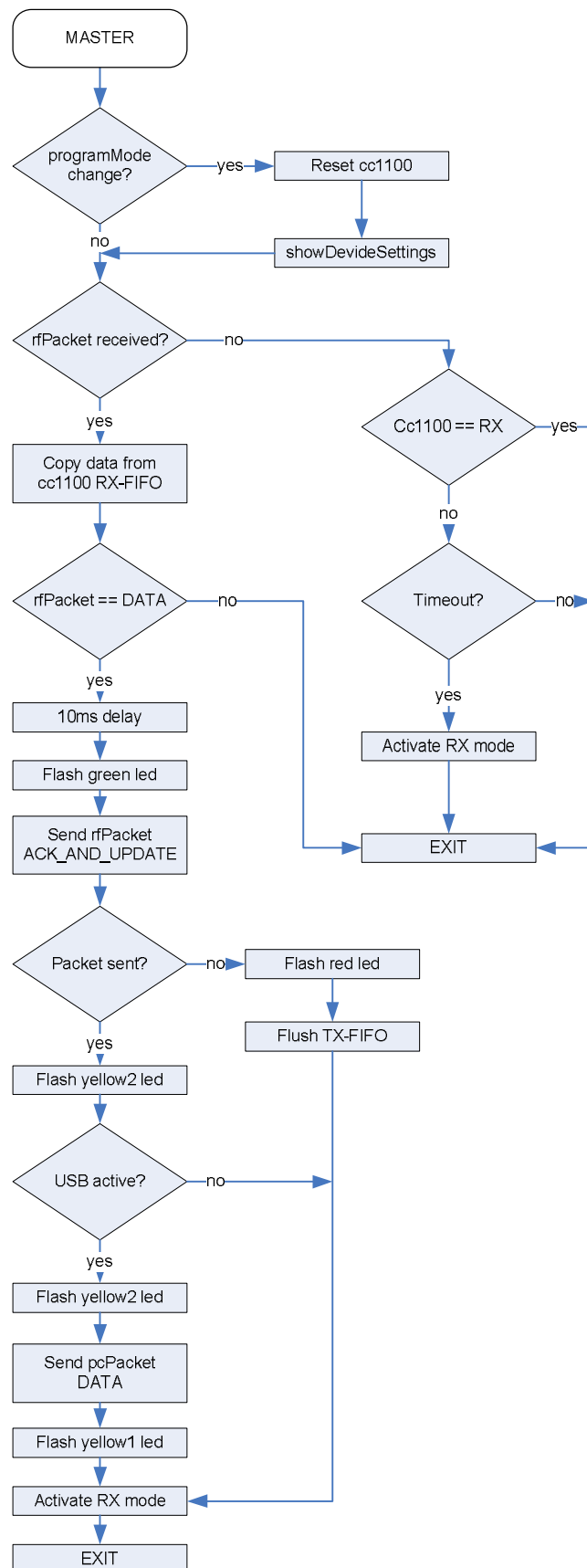
Name	NrOfByte	Description	Master	Slave
TargetAddr	1	Target address	R/W	R/W
DeviceAddr	1	Device address	R/W	R/W
Command	1	0x11 – DATA 0xFA – ACK + UPDATE 0xFE – ACK	R W R/W	W R R/W
Data	3	Value for the specified command above. DATA: Byte0 – data[0] Byte1 – data[1] Byte2 – data[2] ACK + UPDATE: Byte0 – New master address (0x00 = no change) Byte1 – New device address (0x00 = no change) Byte2 – New wakeup time (0x00 = no change) ACK: Byte0 – 0x55 Byte1 – 0x55 Byte2 – 0x55	R/W	R/W
RSSI	1	RSSI value for received packet	R	-
LQI	1	LQI and CRC_OK value for received packet	R	-

Bilaga 4b – Paketbestrivning, PC kommunikation

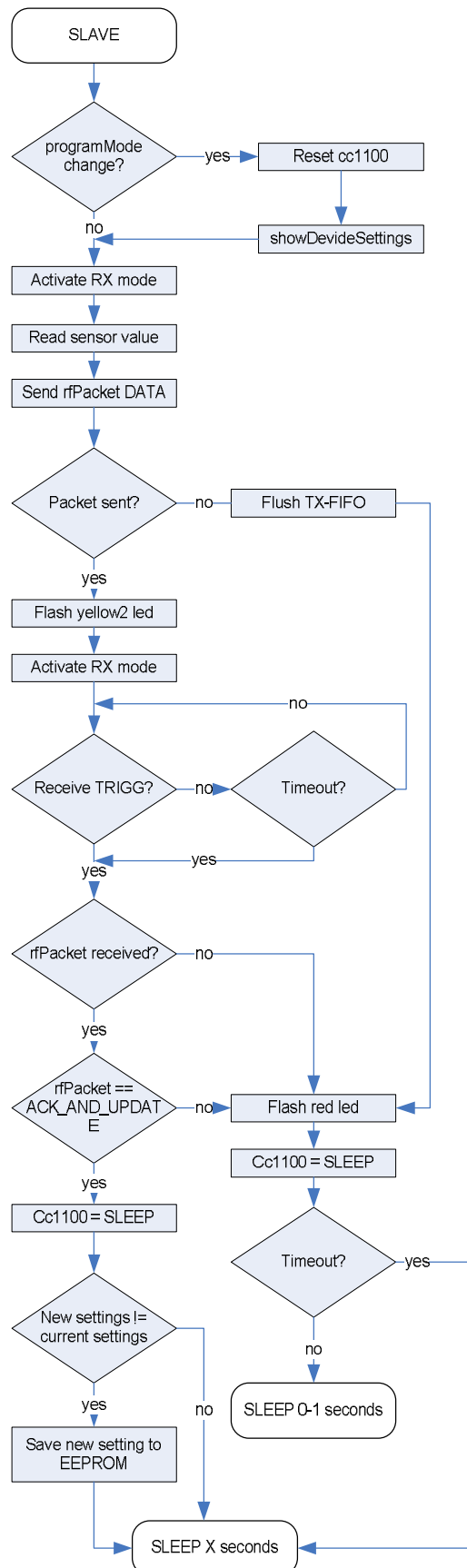


Name	NrOfByte	Description	PC	SiWiCom
Start byte	1	0x0A	R/W	R/W
Command	1	0x11 – GET_LOCAL_DATA 0x22 – LOCAL_DATA 0x33 – REMOTE_DATA 0x44 – LOCAL_UPDATE 0x55 – REMOTE_UPDATE 0xFE – ACK	W R R W W R/W	R W W R R R/W
Data	5	Value for the specified command above. GET_LOCAL_DATA Byte0 – 0x55 Byte1 – 0x55 Byte2 – 0x55 Byte3 – 0x55 Byte4 – 0x55 LOCAL_DATA: Byte0 – Device address Byte1 – Temp value Byte2 – Battery value Byte3 – AUX vaule Byte4 – 0x00 (not used) REMOTE_DATA: Byte0 – Device address Byte1 – Temp value Byte2 – Battery value Byte3 – AUX vaule Byte4 – RSSI value LOCAL_UPDATE: Byte0 – New master address (0x00 = no change) Byte1 – New device address (0x00 = no change) Byte2 – New wakeup time (0x00 = no change) Byte3 – ProgramMode 0x00 = no change 0x01 = IDLE 0x02 = MASTER 0x03 = SLAVE 0x04 = NOICEMAKER Byte4 – 0x55 (not used) REMOTE_UPDATE: Byte0 – New master address (0x00 = no change) Byte1 – New device address (0x00 = no change) Byte2 – New wakeup time (0x00 = no change) Byte3 – 0x55 (not used) Byte4 – 0x55 (not used) ACK: Byte0 – 0x55 Byte1 – 0x55 Byte2 – 0x55 Byte3 – 0x55 Byte4 – 0x55	R/W	R/W
Checksum	1	Sum of the previous byte in the packet.	R/W	R/W

Bilaga 4c – Flödesschema, Master-program



Bilaga 4d – Flödesschema, Slav-program



Bilaga 5 – Beräkningar

Räckviddsberäkningar vid 1mW sändareffekt och med grundformel enligt F1:

$$\frac{1}{d} = \sqrt{\frac{P_{\text{Mottagare}}}{P_{\text{Sändare}} \times G_{\text{Mott}} \times G_{\text{Sänd}} \times \left(\frac{\lambda}{4\pi}\right)^2}}$$

F1. Grundformel för räckviddsberäkning. [4,24]

Isotropisk antenn, G=1

Ideal sändare och mottagare fast med en effektiv area som är reducerad med faktor 0,12 (-9dB) för att kunna jämföras med de övriga antennerna.

$$P_{\text{Mottagare}} = \text{känslighetsgränsen för mottagaren} = -110-9 = -101\text{dB} = 8,32 \times 10^{-11}$$

$$\frac{1}{d} = \sqrt{\frac{8,32 \cdot 10^{-11}}{1 \cdot 10^{-3} \times 1,00 \times 1,00 \times \left(\frac{0,35}{4\pi}\right)^2}} \Rightarrow d = 96\text{m}$$

CHP-antenn, G = + 0,5dBi

$10^{\frac{0,5}{10}} = 1,12$ vilket innebär att denna antenn har en förstärkning på 1,12 ggr i en specifik riktning. Teoretisk räckvidd blir: $1,12 \times 96\text{m} = 108\text{m}$

Splatch-antenn, G= -2dBi

$10^{\frac{-2}{10}} = 0,63$ vilket innebär att denna antenn har en dämpning på 0,63 ggr jämfört med en ideal rundstrålande antenn. Teoretisk räckvidd blir: $0,63 \times 96\text{m} = 61\text{m}$

Bilaga 6 – förkortningar

AFC Automatic Frequency Compensation	SRD Short Range Device
E.R.P Effective radiated power	UHF Ultra High Frequency
E.I.R.P Effective isotropisk radiated power	VCO Voltage Controlled Oscillator
FEI Frequency Error Indication	VGA Variable Gain Amplifier
FIFO First In First Out	WOR Wake On Radio
ISM Industrial Scientific Medical	
NRZ Non Return to Zero	
OOK On-Off Keying	
PA Power Amplifier	
PD Phase Detector / Power Down	
PER Packet Error Rate	
PN9 Pseudo-random Bit Sequence (9-bit)	
PLL Phase Locked Loop	
RSSI Received Signal Strength Indicator	
SPI Serial Peripheral Interface	

Bilaga 7a – BOMlista över SiWiCom MODEL1

Partlist										Rev	Page	
Product name / Project name:										0	1(2)	
SiWiCom modell1-SMD-ANT										Created by SiWiCom		
Product name / Project name:										Date 200606/06/2		
Product no / Project no:										2		
Customer										NOTE		
LN	QTY	REF	PARTNUMBER	TYPE	VALUE / NAME	TOL	MISC.DATA	MECH.DATA	MFG / SUPPLIER	Rev:	Date – ECO No:	Approved:
1	1	ANT1	U81-ANT-868-SP	Chip Antenna	ANT-868-SP				Antenna Factor			
2	4	C1-2 C12-13	C8-27P	CAP, CER	27p	5%	NPO	0402				
3	2	C3-4	C8-2P2	CAP, CER	2p2	10%	NPO	0402				
4	1	C5	C8-3P9	CAP, CER	3p9	5%	NPO	0402				
5	1	C6	C8-3P3	CAP, CER	3p3	5%	NPO	0402				
6	2	C7-8	C8-100P	CAP, CER	100p	5%	NPO	0402				
7	6	C9-10 C15-16 C22-23	C8-100N	CAP, CER	100n	10%	X5R	0402				
8	1	C11	C9-1U	CAP, CER	1u	10%		0603	NOTE Lager: 122-74733			
9	1	C14	C09-4U7	CAP, T,AN	4u7			0603	NOTE Lager: 122-C10-009-1,F			
10	3	C17-19	C8-10N	CAP, CER	10n	10%	6V, X7R	0402				
11	2	C20-21	C8-220P	CAP, CER	220p	10%	6V,NP0	0402	ACON			
12	1	J1	J10-USB-MINI-B	CON, USB MINI-B	MINC20-5K5L10		5p, Receptacle	SMD				
13	1	J2	J23-SL11SMD06206Z	CON, HEADER, SMD	SL11SMD06206Z		6p					
14	1	J3	E30-PN3002	Coin cell holder SMD	3002TR		For 20mm coin cell battery	L=19,7 B= 30,7 H=4 (mm)	Keystone, Elfa: 69-525-27			
15	3	L1-2 L4	L08-12N	IND	12n	5%	Monolithic	0402	Farnell: 3837750			
16	1	L3	L08-5N6	IND	5n6	5%	Monolithic	0402	Farnell: 3898386			
17	2	LED2	D40-EL-17-21SYGC-YGREEN	LED	EL-17-21SYGC/S530-EI		YGreen	0805	NOTE Lager: 0500-D10-002			
18	2	LED3-4	D40-EL-17-21UYC-YELLOW	LED	EL-17-21UYC		Yellow	0805	NOTE Lager: 010-D10-001			
19	1	LED5	D40-EL-17-21USRC-RED	LED	EL-17-21USRC/S530-A2		Red	0805	NOTE Lager: 3800-D10-001			
20	1	R1	R08-56K	RES	56K	1%	0.063W	0402				
21	3	R2-4 R10	R08-10K	RES	10K	1%	0.063W	0402				
22	5	R3-8	R08-100	RES	100	1%	0.063W	0402				
23	1	R9	R08-20K	RES	20k	1%	0.063W	0402				
24	2	R11-12	R10-0R0	RES	0.0	1%	0.1W	0805				*
25	2	R13-14	R08-1K	RES	1k	1%	0.063W	0402				
26	1	S1	S20-1KH0404000	DIPSW, SMD	IKH0404000		4p	L=6,31 B=7,4 H=1,5 (mm)	APEM, Elfa: 35-398-48			
27	3	TP1-3										
28	1	U1	U20-CC1100	RFchip	CC1100-RTY1			QLP20	Chipcon			*
29	1	U2	U32-ATmega48V	8bit CMOS MCU	ATmega48V-10MU			TQFP32	Atmel			Har 15st
30	1	U3	U40-CP2102	USB Device	CP2102GM			MLP-28	Silicon Labs			
31	1	X1	X10-32768KSMD2	CRYSTAL	MS1V-T1K	30 ppm	12.5pF	SMD	Micro Crystal			
REMARK:										* Not Mounted		
NOTE												
THE BOM STARTS HERE												

SiWiCom_BOM_MODEL1.doc

Partlist Product name / Project name:		Reg no:	Created by SiWiCom	Rev 0	Page 2(2)
				Date 200606/06/2	
SiWiCom modell-SMD-ANT		Product no / Project no:	Customer NOTE		

LN	QTY	REF	PARTNUMBER	TYPE	VALUE / NAME	TOL	MISC.DATA	MECH.DATA	MFG / SUPPLIER	REMARK
32	1	Y1	X10-HCX-6SB-26M	OSC	32.768kHz 26M	10ppm, 10ppm, 5ppm	KVE			Har 5st
33	1	Z1	Z55-SP0504BAJT	Transient Voltage Suppressor Array	SP0504BAJT		For USB 1.1	SC70-5	Littlefuse	

REMARK:

* Not Mounted



Bilaga 7b – BOMlista över SiWiCom MODEL2

Partlist

Product name / Project name:

SiWiCom model2-PCB-ANT

Reg no:

SiWiCom

Product no / Project no:

NOTE

Created by

Date

200606/06/2
2

Rev

0

Page

1(2)

Rev:

Date – ECO No:

Approved:

LN	QTY	REF	PARTNUMBER	TYPE	VALUE / NAME	TOL	MISC.DATA	MECH.DATA	MFG / SUPPLIER	REMARK
1	1		ANTI							
2	4	C1-2	C12-13	CAP, CER	27p	5%	PCB antenna 868MHz inv.L	0402		
3	2	C3-4	C8-2P2	CAP, CER	2p2	10%	NPO	0402		
4	1	C5	C8-3P9	CAP, CER	3p9	5%	NPO	0402		
5	1	C6	C8-3P3	CAP, CER	3p3	5%	NPO	0402		
6	2	C7-8	C8-100P	CAP, CER	100p	5%	NPO	0402		
7	6	C9-10	C15-16 C22-23	CAP, CER	100n	10%	X5R	0402		
8	1	C11	C9-1U	CAP, CER	1u			0603		
9	1	C14	C09-4U7	CAP, TAN	4u7			0603		
10	3	C17-19	C8-10N	CAP, CER	10n	10%	6V, X7R	0402		
11	2	C20-21	C8-220P	CAP, CER	220p	10%	6V,NPO	0402		
12	1	J1	J10-USB-MINI-B	CON, USB MINI-B	MNC20-5K5L10		5p, Receptacle	SMD	ACON	
13	1	J2	J23-SL11SMD06206Z	CON, HEADER, SMD	SL11SMD06206Z		For 20mm coin cell battery	L=19,7 B= 30,7 H=4 (mm)	Keystone, Elfa: 69-525-27	
14	1	J3	E30-PN3002	Coin cell holder SMD	3002TR					
15	3	L1-2	L4	IND	12n	5%	Monolithic	0402	Farnell: 3837750	
16	1	L3	L08-5N6	IND	5n6	5%	Monolithic	0402	Farnell: 3898386	
17	2	L5-6	L08-12N	IND	TBD	5%	Monolithic	0402	Farnell: 3837750	
18	2	LED2	D40-EL-17-21SYGC-	LED	EL-17-		YGreen	0805	NOTE Lager: 0500-D10-002	
19	2	LED3-4	YGREEN	LED	21SYGC/S530-EI					
20	1	LED5	D40-EL-17-21UYC-YELLOW	LED	EL-17-21UYC		Yellow	0805	NOTE Lager: 010-D10-001	
21	1	R1	D40-EL-17-21USRC-RED	LED	EL-17-21USRC/S530-A2		Red	0805	NOTE Lager: 3800-D10-001	
22	3	R2-4	R08-56K	RES	56K	1%	0.063W	0402		
23	5	R5-8	R08-10K	RES	10K	1%	0.063W	0402		
24	1	R9	R08-100	RES	100	1%	0.063W	0402		
25	2	R10-20K	R08-20K	RES	20k	1%	0.063W	0402		
26	2	R11-12	R10-0R0	RES	0,0	1%	0,1W	0805		
27	1	R13-14	R08-1K	RES	1k	1%	0.063W	0402		
28	3	TP1-3	S20-IKH0404000	DIPSW, SMD	IKH0404000		L=6,31 B=7,4 H=1,5 (mm)		APEM, Elfa: 35-398-48	
29	1	U1	U20-CC1100	RFchip	CC1100-RTY1				Chipcom	
30	1	U2	U32-ATmega48V	8bit CMOS MCU	ATmega48V-10MU		AVR-MCU with AD Plastic	TQFP32	Atmel	
31	1	U3	U40-CP2102	USB Device	CP2102GM			MLP-28	Silicon Labs	

REMARK: * Not Mounted

NOTE

SiWiCom BOM MODEL2.doc

Partlist		Rev: 0		Page: 2(2)	
		Reg no:		Created by: SiWiCom	
Product name / Project name:		Product no / Project no:		Date: 200606/06/2	
SiWiCom model2-PCB-ANT		Customer:		2	
		NOTE			

LN	QTY	REF	PARINUMBER	TYPE	VALUE / NAME	TOL	MISC.DATA	MECH.DATA	MFG / SUPPLIER	REMARK
32	1	X1	X10-32768KSMID2	CRYSTAL	MS1V-T1K 32.768KHz 26M	30 ppm	12.5pF	SMD	Micro Crystal	
33	1	Y1	X10-HCX-6SB-26M	OSC		10ppm, 10ppm, 5ppm			KVE	Har 5st
34	1	Z1	Z55-SP0504BAJT	Transient Voltage Suppresser Array	SP0504BAJT		For USB 1.1	SC70-5	Littlefuse	

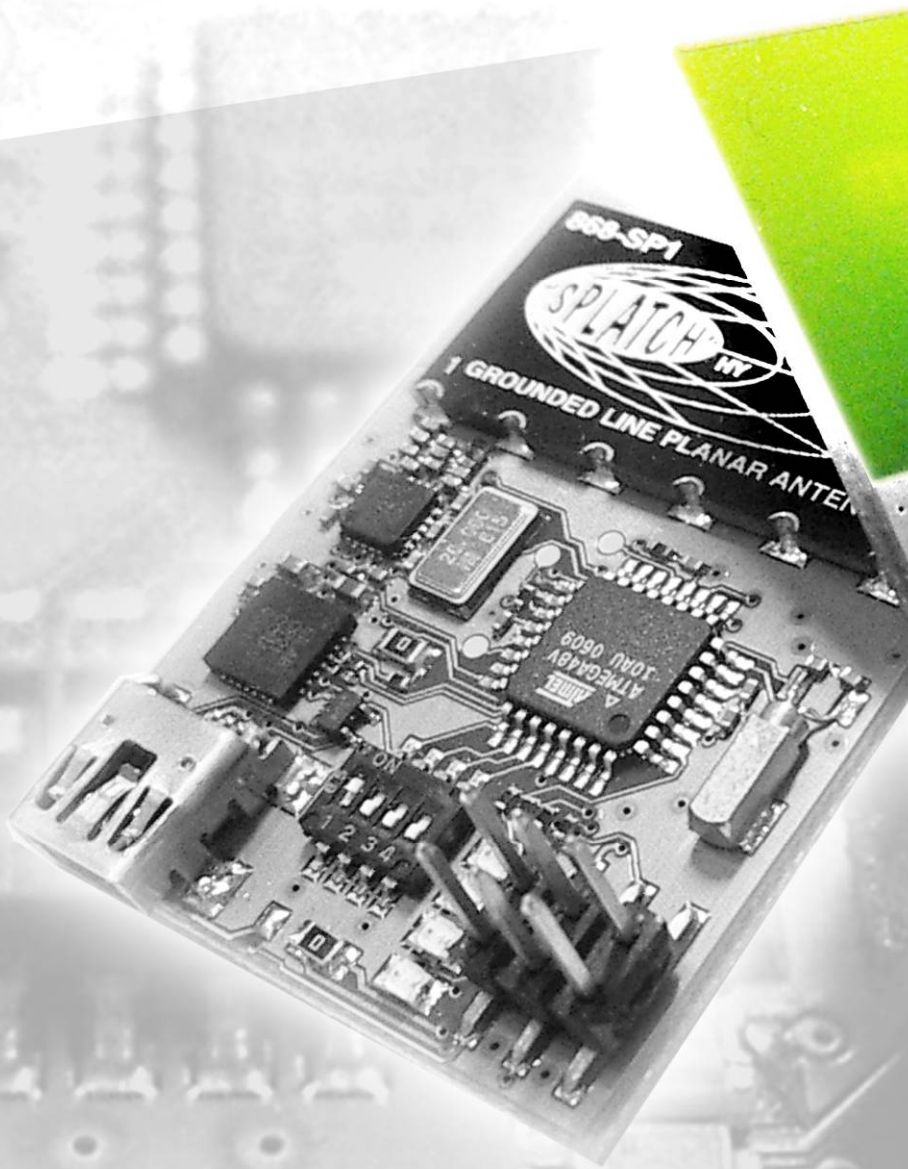
REMARK: * Not Mounted

NOTE
THESE ARE NOT MOUNTED

Dagens samhälle består av en mängd förbindelser där datatrafik sker trådlöst mellan olika noder. Utvecklingen går snabbt framåt både vad gäller integrerade kretsar för radiokommunikation och olika typer av antenner. Som elektronikutvecklare bör man ha tillräckliga teoretiska kunskaper och känna till vilka komponenter som finns att tillgå då det är sannolikt att ett projekt med trådlös kommunikation väntar inom snar framtid. Projekt SiWiCom är utformat som ett utvecklingsprojekt med syfte att ge dessa kunskaper i form av en teoridel som behandlar modulation, kodningstekniker, resonanskretsar samt grundläggande antennteorin inkluderat en jämförelse mellan en mängd vanliga förekommande antenner. Avslutningsvis presenteras beräkningar för strålningsresistans, effektiv area, impedansanpassning och räckvidd vid en specifik sändareffekt för en inverterad-L, pcbantenn.

SiWiCom innehåller även en konstruktionsdel som beskriver arbetet med att utveckla ett laborationskort med stöd av ovan teori samt med krav på låg strömförbrukning, räckvidd och produktionsanpassad design. Mjukvaran som utvecklats skall förutom att kontrollera/styra transivern även utgöra ett punkt-till-punkt protokoll för dataöverföring samt möjliggöra kommunikation mellan labkortet och en extern enhet via usb.

Teoridelen testas mot verkligheten där prestanda jämförs mellan laborationskortets tre olika antenntyper i en enkel utvärdering.



MALMÖ UNIVERSITY

NOTE™