

# Antennediversitet ved 2.4 GHz

**Asbjørn Fossmark**

Master i elektronikk

Oppgaven levert: Juni 2008

Hovedveileder: Jon Anders Langen Aas, IET

Biveileder(e): Endre Rindalsholt, Nordic Semiconductors



# Oppgavetekst

Communication reliability has a direct impact on the quality of service experienced by users of wireless audio streaming products like wireless MP3/Mini Disk headsets, microphones, surround speakers etc., and is a key technical challenge facing designers of such products. Antenna-diversity offers designers a way to improve communication reliability by minimizing signal loss and mitigating the effects of multipath fading caused by complicated reflection and scattering processes in the operating environment.

The theoretical part of the assignment is to make an overview and give a summary of the technical features for the different antenna-diversity techniques known today. A small size, 2.4GHz printed antenna-diversity solution based on one or two of the discussed antenna-diversity techniques shall be analyzed and designed.

The theoretical study and design is to be followed by practical implementation of the designed 2.4GHz printed diversity antenna solution(s) on a standard FR4 substrate. The performance of the antenna solution(s) shall be tested.

This assignment is suitable for one student. In summary, the assignment comprises the following activities:

Theoretical study of antenna diversity techniques.  
Design of one or two small size, 2.4GHz printed antenna-diversity solution(s).  
Implementation of the designed antenna solution(s) on a FR4 substrate.  
Practical testing of antenna performance. \newline

Supervisor: \newline  
Assoc. Prof. Jon Anders Aas, jon.anders.aas@iet.ntnu.no \newline  
Endre Rindalsholt, Endre.Rindalsholt@nordicsemi.no, 72 89 89 84

Oppgaven gitt: 24. januar 2008  
Hovedveileder: Jon Anders Langen Aas, IET





## Antennedesign

# Diversitetsløsning for trykkretsantenner

Asbjørn Fossmark

Masteroppgave, våren 2008  
Veileder ved NTNU: Jon Anders Aas  
Ekstern veileder: Endre Rindalsholt

Norges Teknisk-Naturvitenskaplige Universitet  
Institutt for elektronikk og telekommunikasjon

## Oppgavetekst

### 2.4GHz Printed Antenna-Diversity Solutions

Communication reliability has a direct impact on the quality of service experienced by users of wireless audio streaming products like wireless MP3/Mini Disk headsets, microphones, surround speakers etc., and is a key technical challenge facing designers of such products. Antenna-diversity offers designers a way to improve communication reliability by minimizing signal loss and mitigating the effects of multipath fading caused by complicated reflection and scattering processes in the operating environment.

The theoretical part of the assignment is to make an overview and give a summary of the technical features for the different antenna-diversity techniques known today. A small size, 2.4GHz printed antenna-diversity solution based on one or two of the discussed antenna-diversity techniques shall be analyzed and designed.

The theoretical study and design is to be followed by practical implementation of the designed 2.4GHz printed diversity antenna solution(s) on a standard FR4 substrate. The performance of the antenna solution(s) shall be tested.

This assignment is suitable for one student. In summary, the assignment comprises the following activities:

Theoretical study of antenna diversity techniques. Design of one or two small size, 2.4GHz printed antenna-diversity solution(s). Implementation of the designed antenna solution(s) on a FR4 substrate. Practical testing of antenna performance.

Supervisor:

Assoc. Prof. Jon Anders Aas, jon.anders.aas@iet.ntnu.no

Endre Rindalsholt, Endre.Rindalsholt@nordicsemi.no, 72 89 89 84

## Sammendrag

De siste årene har det dukket opp stadig nye produkter som inkluderer trådløs bruk. Det er alt fra mobiltelefoner, trådløse hjemmenettverk, pulsmålere og sensorer. For at disse systemene skal bli benyttet er det viktig at den trådløse kommunikasjonen fungerer på en tillitsfull måte. Med så mange nye trådløse produkter som, ofte benytter seg av det samme frekvensområdet, kan det oppstå interferens mellom forskjellige apparater. Da er en måte å løse problemet på å benytte seg av diversitetsteknikker.

Denne oppgaven tar utgangspunkt i to spesifikke bruksområder for antenne-diversitet. En fjernkontroll og et trådløst tastatur som skal benytte seg av to antenner for å potensielt forbedre rekkevidden uten at det går ut over batterilevetid og økonomiske hensyn.

Kapittel 2 i denne oppgaven tar for seg teorien rundt antenner og diversitetsløsninger og kapittel 3 tar for seg hvordan simuleringene og målingen er gjennomført.

I kapitlene 4 og 5 tar oppgaven for seg resultatene fra simuleringene og målingene som har blitt gjort. Det er også diskutert hva som er årsaken til de resultatene målingene viser. Blant annet hvordan for liten avstand mellom to antenner i en romlig antenne-diversitet sørger for å forverre egenskapene til applikasjonen.

Opgaven har medført variert arbeid. Det er alt fra simuleringer, fremstilling av antenner, oppkopling i målesituasjoner og behandling av instrumenter og måledata. Det er brukt bilder for å illustrere måleoppsettene.

## Forord

Denne oppgaven har blitt gjennomført som siste del av mastergradstudiet i elektronikk ved Institutt for elektronikk og telekommunikasjon ved NTNU. Oppgaven og veiledningen har vært et samarbeidsprosjekt med Nordic Semiconductors ASA i Trondheim.

Oppgaven har gått ut på å finne frem til mulige antenne-diversitetstløsninger i to spesifikke bruksområder. Den ene delen har vært en del av utviklingen av en fjernkontroll til en dokkingstasjon for bærbare musikkavspillere. Ønsket var at antennen fra prosjektoppgaven [4] skulle benyttes i denne fjernkontrollen for å få en billig, men tilfredstillende antenneløsning.

Andre del av oppgaven har vært å finne en mulig antenne-diversitetstløsning for et trådløst tastatur. I denne delen var det friere med tanke på arealbruk, men målet var også her å forbedre egenskapene til antenneløsningen.

Jeg valgte denne oppgaven for å få bedre innsikt i diversitetsteknikker og mulige praktiske løsninger av denne typen problemstillinger. Det har vært en lærerikt prosess og jeg har en bedre oppfatning av hvordan praktiske løsninger kan fremstilles og hvordan få gjort målinger og dokumentasjon på en god måte.

Jeg vil gjerne takke min veileder Jon Anders Aas for hans vurderinger underveis og jeg vil takke Endre Rindalsholt ved Nordic Semiconductors for hans hjelp og veiledning. Jeg vil også takke avdelingsingeniør Terje Mathiesen, ved institutt for elektronikk og telekommunikasjon, for hans hjelp med fremstillingen av antennene.

Trondheim

19. juni 2008

---

Asbjørn Fossmark



# Contents

Oppgavetekst . . . . .	I
Sammendrag . . . . .	II
Forord . . . . .	III
Innhold . . . . .	IV
<b>1 Teori</b>	<b>1</b>
1.1 Sentrale antenneparameter . . . . .	1
1.1.1 Standbølgeforhold . . . . .	1
1.1.2 Båndbredde . . . . .	2
1.1.3 Direktivitet . . . . .	2
1.1.4 Vinning (Gain) . . . . .	2
1.1.5 Strålingseffektivitet . . . . .	3
1.1.6 Substrat . . . . .	3
1.2 Antennetyper . . . . .	3
1.3 Diversitet . . . . .	5
1.3.1 Antennediversitet . . . . .	6
<b>2 Metode</b>	<b>2</b>
2.1 Simuleringer i EMDS . . . . .	2
2.1.1 Fjernkontroll . . . . .	2
2.1.2 Simuleringsoppsett . . . . .	3
2.2 Tastatur . . . . .	3
2.2.1 Simuleringsoppsett . . . . .	4
2.3 Måleoppsett og antennehall . . . . .	4
<b>3 Resultat</b>	<b>1</b>
3.1 Fjernkontroll . . . . .	1
3.1.1 Simuleringsresultat fjernkontroll . . . . .	1
3.1.2 Måleresultat fjernkontroll . . . . .	1
3.2 Tastatur . . . . .	1

3.2.1	Simuleringsresultat tastatur . . . . .	4
3.2.2	Enkeltvis målte resultat av antennene til tastaturet . . .	6
3.2.3	Målte resultat med antennene innkapslet i tastaturet . .	6
<b>4</b>	<b>Diskusjon</b>	<b>1</b>
4.1	Fjernkontroll . . . . .	1
4.1.1	Diskusjon omkring simuleringsresultatene . . . . .	1
4.1.2	Diskusjon omkring måleresultatene . . . . .	1
4.2	Tastatur . . . . .	2
4.2.1	Diskusjon omkring simuleringsresultatene . . . . .	2
4.2.2	Diskusjon omkring måleresultatene . . . . .	2
<b>5</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>1</b>
<b>6</b>	<b>Vedlegg</b>	<b>1</b>
6.1	Fjernkontroll . . . . .	1
6.1.1	Simuleringsresultat fjernkontroll . . . . .	1
6.1.2	Måleresultat fjernkontroll . . . . .	1
6.2	Tastatur . . . . .	1
6.2.1	Simuleringsresultat singelantennen til tastaturet . . . .	1
6.2.2	Simuleringsresultat dobbelantennen til tastaturet . . . .	1
6.2.3	Målte resultater fra antennene til tastaturet . . . . .	1
6.2.4	Målte resultater inne i tastaturet . . . . .	1
Kilder	. . . . .	4
*Innhold		

# Chapter 1

## Teori

### 1.1 Sentrale antenneparameter

Innen elektronikken har komponentstørrelsen blitt redusert dramatisk de siste tiårene. Spådommen til Gordon E. Moore fra 1965 om at størrelsen på transistorene blir halvert hver attende måned holder mer eller mindre fortsatt stikk. Det har også ført til et større fokus på arealbruken til antennene i radiokretser. Antennene skal være så små som mulig, kunne tilpasses flere frekvenser og de skal aller helst ikke koste noen ting.

For å kunne evaluere egenskapene til antennene er det flere parameter som er vanlig å bruke for å avgjøre antennevalget. Den viktigste parameteren er frekvensen som antennen skal operere på siden den er omvendt proporsjonal med bølgelengden.

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (1.1)$$

der  $f$  er frekvensen,  $c = 2.99 \times 10^8$  m/s og  $\lambda$  er bølgelengden. Med frekvensen er altså bølgelengde også gitt og dermed er det avgjort hvor lang antennen, som skal brukes, må være. Lengden på antennen er avhengig av antennetypen og bølgelengden.

#### 1.1.1 Standbølgeforhold

Et annet viktig parameter er standbølgeforholdet til antennen. Standbølgeforholdet gir oss informasjon om hvor godt antennen og matelinje er impedansetilpasset. Standbølgeforholdet forkortes ofte til VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) og er gitt av

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (1.2)$$

der  $|\Gamma|$  er refleksjonskoeffisienten til antennen.  $|\Gamma|$  forteller hvor mye av innfallende bølge som blir reflektert på grunn av dårlig impedanstilpasning mellom matelinjen og antennen. Dersom  $|\Gamma| = 1$  blir signalet totalreflektert, mens ved  $|\Gamma| = 0$  blir det ingen refleksjon.

Det er også vanlig å oppgi refleksjonskoeffisienten i desiBel, omregningsformelen er

$$S_{11} = 20 \times \log|\Gamma| \quad (1.3)$$

### 1.1.2 Båndbredde

Til de fleste antenner er det vanlig å oppgi båndbredden som antennen er spesifisert til å jobbe innenfor. Det er et vanlig krav til det området som er definert som båndbredden at standbølgefórhóldet er minimum 2. Det vil si at en antenne som opererer innenfor den oppgitte båndbredden har en refleksjonskoeffisient  $S_{11} = -9.54\text{dB}$  eller bedre.

### 1.1.3 Direktivitet

Direktiviteten ( $D$ ) til en antenne er forhóldet mellom utstrált effekt i en gitt retning fra antennen og gjennomsnittlig utstrált effekt i alle retninger. Den gjennomsnittlige utstrálte effekten er lik den utstrálte effekten dividert på  $4\pi$ . Det generelle uttrykket for direktivitet er

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (1.4)$$

der  $U$  er strálingsintensiteten i en gitt retning,  $U_0$  er gjennomsnittlig strálingsintensitet og  $p_{rad}$  er totalt utstrált effekt fra antennen. I de tilfellene der direktiviteten ikke har spesifisert retning, er direktiviteten gitt i den retning med maksimalt strálingsintensitet.

$$D_{max} = D_0 = \frac{U|_{max}}{U_0} = \frac{U_{max}}{U : 0} = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}} \quad (1.5)$$

### 1.1.4 Vinning (Gain)

Antennens vinning (gain) er definert som forhóldet mellom strálingsintensiteten i en bestemt retning og strálingsintensiteten til en isotropisk strálcnde antenne. Formelen for beregning av vinning er gitt ved

$$G = \frac{4\pi U}{P_{in}} \quad (1.6)$$

der  $P_{in}$  er totalt levert effekt inn på antennen.

### 1.1.5 Strålingseffektivitet

Forholdet mellom antennens vinning og direktivitet er definert som antennens strålingseffektivitet  $e_{cd}$ . Det vil si at

$$e_{cd} = \frac{G_0}{D_0} = \frac{G}{D} \quad (1.7)$$

der  $D_0$  og  $G_0$  er henholdsvis direktiviteten og vinningen i den retningen med størst stålingsintensitet.

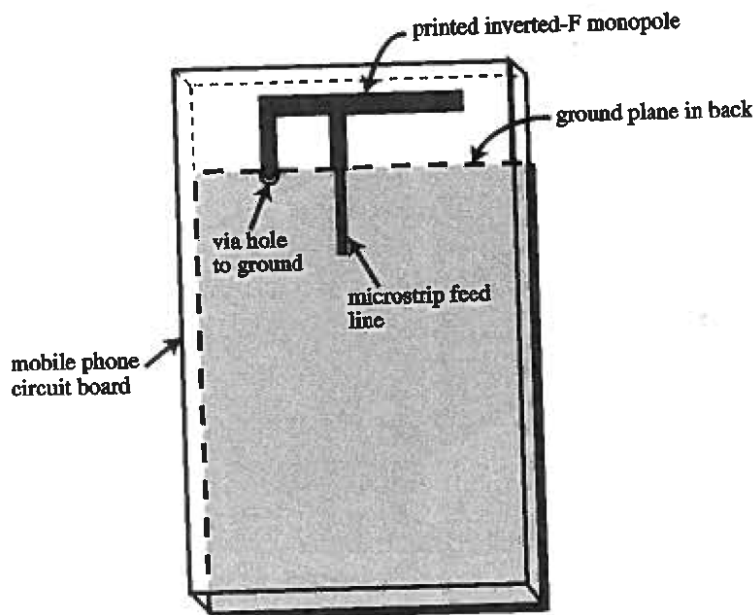
### 1.1.6 Substrat

Substrat er ikke et vanlig antenneparameter, men det er en type materialer som det er vanlig å benytte seg av for å produsere antenner og elektriske kretse på. Det finnes flere typer substrater som blir benyttet i radioteknologi og antennedesign, som for eksempel FR-2 og FR-4. FR er en forkortelse av det engelske uttrykket Flame Retardant. FR-2 består av av papir som er innsatt med bakelite, et herdeplastmaterial. Det er billig og vanlig å benytte seg av i små elektronikkprodukter. Ulempen med dette substratet er at det er sprøtt og kan lett få bruddskader ved støt og risting. Derfor er det vanligere å benytte seg av FR-4. Det er dyrere enn FR-2, men mer robust. FR-4 er et material som er vevd sammen av glass og epoxy. I denne oppgaven er det benyttet FR-4 substrat. Det har ved 2.4 GHz en relativ permittivitet  $\epsilon = 4.4$  og en elektrisk tapskonstant lik 0.01 [5].

## 1.2 Antennetyper

Det finnes idag en mengde antenneløsninger som er tilpasset forskjellige bruksområder, frekvenser og polarisasjoner. Det strekker seg i størrelse fra store hornantenner til lange dipolantenner og videre ned til små mikrostripantenner eller printkortantenner. De minste antennene er som regel trykket eller frest ut på et substrat som kan ha varierende tykkelse. Ved produksjon av antenner på printkort er vanlig å benytte seg av et design med et metallbelegg, veldig ofte kobber, som jordplan på den ene siden av substratet. Andre siden av substratet blir forbeholdt antennen. Det er også mulig å produsere antenner på printkort med jordplan og antennekonstruksjon på samme side av substratet. Printet invertert F-antenne, monopolantenner med manderstruktur og mikrostripantenner er vanlige strukturer for denne type antennedesign. De forskjellige strukturene har selvfølgelig sine ulike

Figure 1.1: Inverter F-antenne, fra [2]



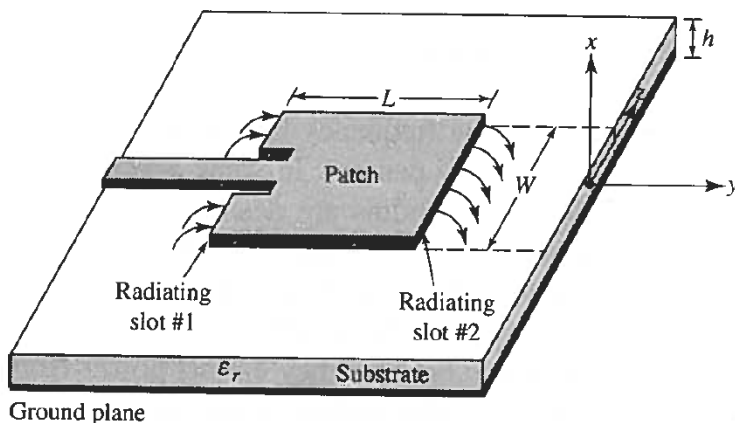
styrker og svakheter. I mobiltelefoner er det vanlig å benytte seg av invert-ert F-antennener.

De har en lav profil som gjør at de passer godt inn på siden i mobiltele- fonen og de har en rundtstrålende karakteristikk som er ønskelig i mobile apparater. Mikrostripantennener har også en lav profil og de kan legges ut på flater på for eksempel fly og satellitter.

Mikrostripantennener har tilnærmet rundtstrålende egenskaper utover fra jordplanet og de er smalbåndet. Årsaken til at du får lite stråling bakover med mikrostripantennener er måten de er designet på. Slike antenner består av et jordplan som ligger bakerst, men antenneelementet ligger på et dielek- trikum over jordplanet. Jordplanet bak fører til at det blir tilnærmet ingen stråling bakover. Denne oppgaven omhandler trykktrets monopolantennener med meanderstruktur som blir benyttet i en diversitetsløsning. På denne typen antenner ligger antennestrukturen i en gitt avstand fra jordplanet. Det betyr at trykktretsantennene som blir behandlet i denne oppgaven vil ha mere rundtstrålende egenskaper enn mikrostripantennener på grunn av at jordplanet ikke hindrer så mye stråling bakover fra antennen.

Antennene i denne oppgaven er frest ut på 1,6 mm FR-4 substrat. An- tennen ligger på samme side av substratet som jordplanet. Monopolantennener

Figure 1.2: Mikrostrip lappantenne, fra [1]

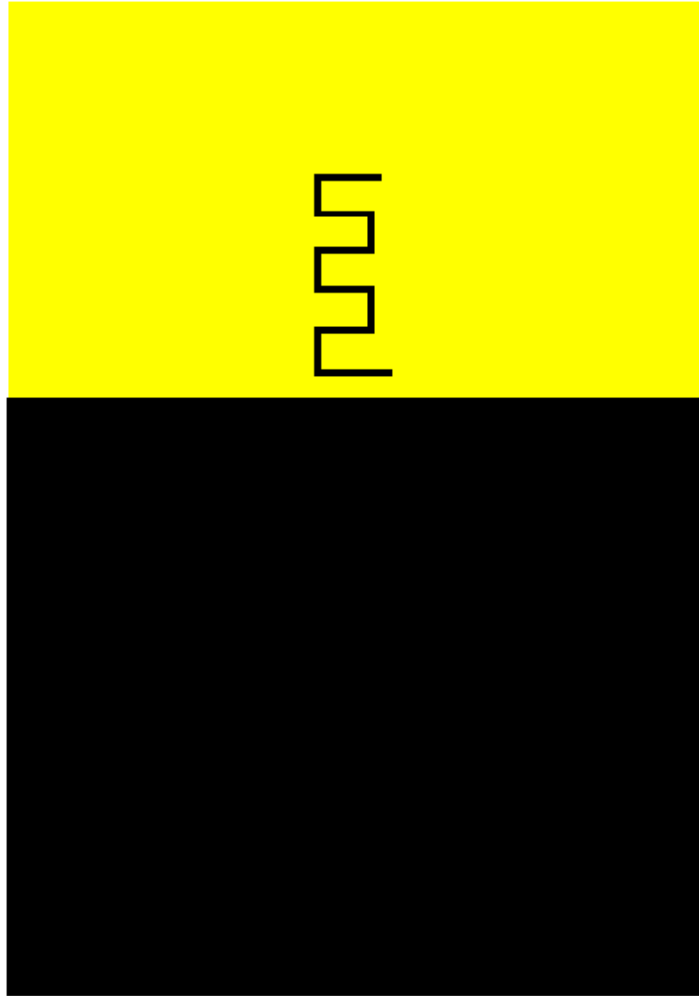


har tilnærmet rundtstrålende egenskaper i  $\theta$ -retning og nullpunkt i retningen  $\phi = 0$ , men strålingsegenskapene kan variere sterkt. Det er blant annet avhengig av størrelsen på jordplanet til antenne i forhold til bølgelengden ved senterfrekvensen til antennen [3].

### 1.3 Diversitet

For å gjøre radiosystemer bedre rustet mot interferens og støy er et alternativ å benytte seg av diversitetsteknikker. Det vil si at den samme informasjonen blir sendt via flere radiokanaler. Desto mer statistisk uavhengige radiokanaler er, desto bedre muligheter er det for at det vil gi en forbedring i radiosystemet. To diversitetsteknikker som ikke ansees som antennerdiversitet er frekvensdiversitet og tidsdiversitet. Frekvensdiversitet vil si at den samme informasjon blir overført på forskjellige frekvenser for å unngå informasjonstap. Det finnes etter hvert mange applikasjoner som benytter seg av ISM-båndet rundt 2,4 GHz. Det kan føre til interferens og informasjonstap på en kanal i frekvensbåndet. Derfor er det mulig å sende samme informasjonen via to eller flere kanaler for å hindre tapet. Et annet alternativ er å benytte seg av tidsdiversitet i kommunikasjonen. Det vil si at informasjonen blir sendt med en tidsdifferanse. De forskjellige transmisjonstidspunktene vil sørge for mindre informasjonstap, men det kan også resultere i lavere overføringshastighet på grunn av tidsforsinkelsen ved et eventuelt tap av informasjon ved første forsøk.

Figure 1.3: Monopol trykkretsantenne



### 1.3.1 Antennediversitet

Antennediversitet er teknikker for å bedre kommunikasjonen ved å tilpasse antennedesignet. Innen betegnelsen antennediversitet finnes det igjen tre forskjellige teknikker. Det er romlig-, polarisasjon- og vinkeldiversitet. Ved romlig antennediversitet er antenne separert i rommet. Det vil da være bedre muligheter for å få overført informasjonen til mottakeren ettersom det er større mulighet for at ikke alle antennene i diversitetsløsningen opplever



for stor dempning av signalet samtidig. En romlig diversitetsløsning er en enkel diversitetsteknikk å implementere, men den krever at antennene er separert i stor nok grad. Det vil si at denne løsningen krever større plass, på for eksempel kretskortet, for å kunne fungere. Avstanden mellom antenne bør være så stor at den gjensidige elektromagnetiske koplingen mellom antennene i diversitetsløsningen er minst mulig. Den gjensidige elektromagnetiske koplingen mellom antennene er bestemt av strålingsdiagrammene til antennene, avstanden mellom dem og hvordan antennene er vinklet i forhold til hverandre.

Figure 1.4: Figur som viser gjensidig kopling mellom to halvbølgedipoler [1]

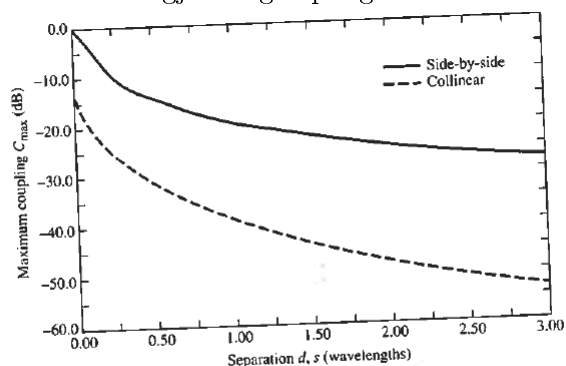


Figure 8.24 Maximum coupling for the two  $\lambda/2$  dipoles in side-by-side and collinear arrangements as a function of separation.

Figuren 1.4 viser innbyrdes kopling mellom to halvbølgedipoler som en funksjon av avstanden. Ved en halv bølgelengdes avstand er det cirka -30 dB kobling mellom de to antennene.

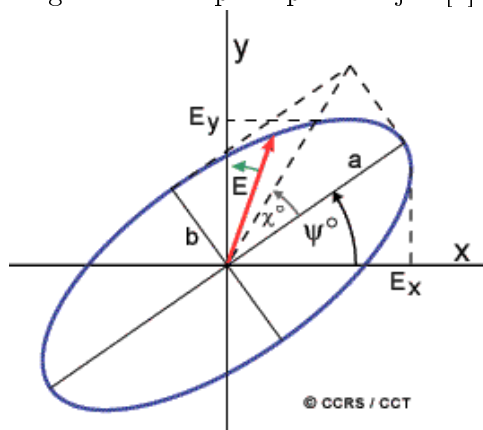
Den andre antennediversitetsløsningen er polarisasjonsdiversitet. Polarisasjon vil si retningen på vektoren til del elektrisk feltet. Ved forplantning av bølgen i z-retning vil det elektriske feltet til signalet være uttrykket ved formelen [6]

$$\vec{E} = (E_{0x}\hat{x} + E_{0y}\hat{y})e^{-jk_0z} \quad (1.8)$$

Dersom x- og y-komponenten bestemmer hvilken type polarisasjon bølgen har. Polarisasjonen kan i utgangspunktet sies å være elliptisk polarisert og at alle andre polarisasjonstyper er spesialtilfeller av den elliptiske polarisasjonen. At det elektriske feltet er elliptisk polarisert betyr at amplituden og fasen til x- og y-komponenten er forskjellig. Dersom fasen til x- og y-komponenten er i fase er feltet lineært polarisert og dersom amplituden til

x- og y-komponentene er like store, men faseforskjellen er 90 grader har vi et sirkulærpolarisert elektrisk felt.

Figure 1.5: Elliptisk polarisasjon [7]

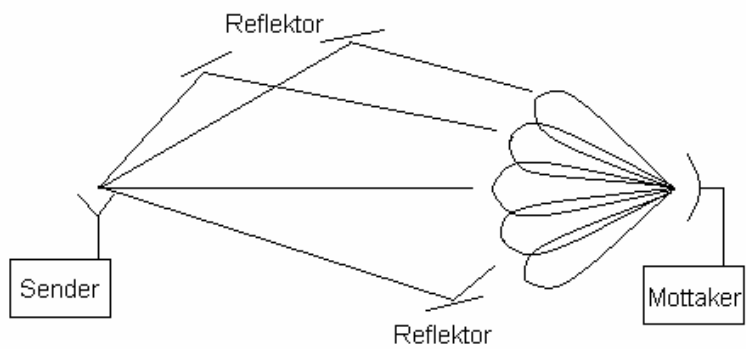


Ved en diversitetsløsning med polarisasjoner er det mulig å benytte seg av at det elektriske feltet har to komponenter. Det vanlige er å benytte seg av to lineærpolariserte antenner som er plassert vinkelrett på hverandre. Dersom antennene på sender og mottaker er mistilpasset med hensyn på polarisasjon vil det bety et polarisasjonstap på -3 dB [6]. Derfor er det ønskelig med to antenner som er plassert vinkelrett på hverandre, det vil bety at dersom den ene er mistilpasset en eventuell sender så vil den andre antennen i diversitetsløsningen være tilpasset senderen.

Ved å benytte seg av høyt direkte strålingslober til antenner er det mulig å benytte seg av signaler som har blitt reflektrert mellom sender og mottaker.

Denne teknikken kalles vinkeldiversitet og er vanlig å benytte seg av i basestasjoner til mobil kommunikasjon. Denne teknikken er anbefalt for bruk i bakkestasjoner på grunn av en god tilnærming til et onnidireksjonelt strålingsdiagram og høy vinning [8].

Figure 1.6: Vinkeldiversitet [8]



# Chapter 2

## Metode

### 2.1 Simuleringer i EMDS

For å gjøre simuleringer av antennene i denne oppgaven har programmet ElectroMagnetic Design System (EMDS) blitt benyttet. Programmet gjør simuleringer ved å benytte seg av endelig elementmetoden. Det vil si at programmet deler det området som skal simuleres opp i mindre deler. De mindre delene blir koplet sammen i et stort ligningesett. Løsningen på ligningesettet gir feltfordelingen i alle delene samtidig. Programmet er utviklet av Agilent Technologies. Selve fremgangsmåten og gjennomføringen i EMDS er behandlet i prosjektoppgaven [4].

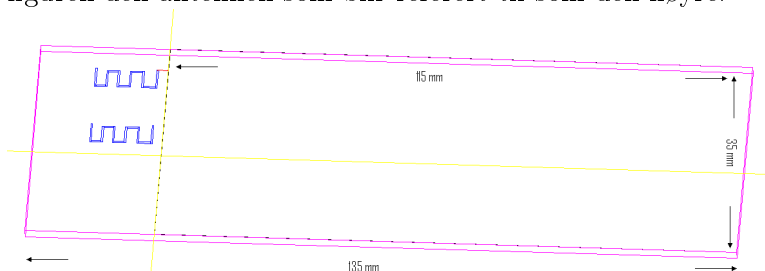
#### 2.1.1 Fjernkontroll

Denne oppgaven har vært todelt, det vil si at det skulle undersøkes hvordan antenndiversitet kunne benyttes i to forskjellige sammenhenger. Begge delene av oppgaven har hatt klare bruksområder og godt definerte mål.

I den første delen skulle det prøves ut om det er mulig å få til bedre rekkevidde og mindre nullpunkter i strålingsdiagrammet til en fjernkontroll. Fjernkontrollens utseende var fastlagt og hele kretskortet skulle være 13,5 ganger 3,5 cm stort. Jordplanet på denne kretsen skulle være 11,5 ganger 3,5 cm stort og ligger på den nedre delen av kortet.

I hjørnet øverst til høyre på kortet skulle det tilpasses en antenneløsning. Området som var tilegnet antenneløsningen var på 2,0 ganger 2,0 cm. Det har blitt benyttet samme antenne som ble simulert og brukt i prosjektoppgaven [4].

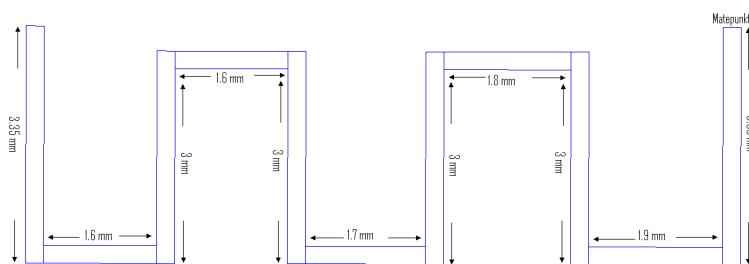
Figure 2.1: Fjernkontrollkretskortet, her er den øverste antennen på kretskortet på figuren den antennen som blir referert til som den høyre.



### 2.1.2 Simuleringsoppsett

Antennene har i simuleringene blitt eksitert med spenningskilder (voltage source). I denne oppgaven er det kun benyttet en ideel tilnærming av metall under simuleringene. Substratet har blitt tilegnet de verdier for relativ permittivitet og elektrisk tapskonstant som nevnt under teoridelen av denne rapporten. Delta-S-verdien har i disse simuleringene blitt satt til 0,01. Det betyr at dersom den største endringen mellom S-parameterne mellom to forskjellige iterasjoner er høyere enn 0,01, vil det bli foretatt enda en iterasjon.

Figure 2.2: Antennestrukturen [4]



## 2.2 Tastatur

Den andre delen av oppgaven gikk ut på å finne en diversitetsløsning for trådløst tastatur. I et tastatur er det god plass til kretskort sammenlignet med mange andre trådløse produkter. I denne oppgaven har diversitetsløsningen vært å benytte seg av to kretskort med antenner på. Fordi det da

er mulig å endre posisjonene til antennene for å se om det resulterer i mer omnidireksjonelle strålingsdiagram.

### 2.2.1 Simuleringsoppsett

På grunn av størrelsen på tastaturet har det ikke vært mulig å simulere hele tastaturet med to antenner på innsiden. Det har derfor blitt simulert på begge de to kretskortene som ble produsert for tastaturet hver for seg. Her har det vært ønskelig med så rundtstrålende antenner som mulig og ifølge [3] vil et jordplan som er større enn en kvart bølgelengde skape flere lober i strålingsdiagrammet. Begge antennenekortene som ble simulert og produsert tok derfor utgangspunkt i et så lite jordplan som mulig, uten at det gikk ut over de andre egenskapene til antennene i vesentlig grad. Det er som sagt derfor simulert og produsert to forskjellige kretskort med antenner på. Det ene har to monopoler med meanderstruktur med lik struktur og lengde som den antennen som ble brukt på fjernkontrollkretskortet. Dette kortet har et jordplan på 3,5 ganger 2,0 cm.

Det andre kretskortet har en singel monopol med meanderstruktur. Strukturen til denne monopolen ble endret i forhold til den antennen som ble brukt på de andre to kretskortene.

Det viste seg under simuleringene at et jordplan på 3,5 ganger 2,0 cm ble for lite og den totale lengden på antennen ble for kort til den tiltenkte senterfrekvensen. Derfor har denne single monopolen et jordplan på 3,5 ganger 3,0 cm.

## 2.3 Måleoppsett og antennehall

For å gjøre målinger på de produserte antennene har det vært brukt antennehallen til institutt for elektronikk og telekommunikasjon på NTNU. Den er satt opp med en nettverksanalysator av typen HP 82053D som blir brukt til å gjøre målingene. For å rotere antennen under målingene har de blitt montert opp på en mekanisk arm som står inne i antennehallen. Den blir styrt av programvaren som gjør målingene. Under alle målingene har det blitt brukt to ferritklosser for å dempe krepstrømmene langs kablene. Ifølge [9] vil ikke ferritene fjerne krepstrømmene, men de vil bli dempet.

Tilkoplingen til antennene har blitt gjort ved en SMA-kontakt som er loddet på fra undersiden av substratet. Denne metoden ble valgt på grunnlag av det da er mulig å gjøre målinger enkeltvis på antennene på de to kortene som har to antenner. Alternativet som ble vurdert var å legge matelinjer ned

Figure 2.3: Dobbeltantenne til tastaturmålingene. Den øverste antennen på figuren er den som blir referert til som den høyre antennen på dette kretskortet

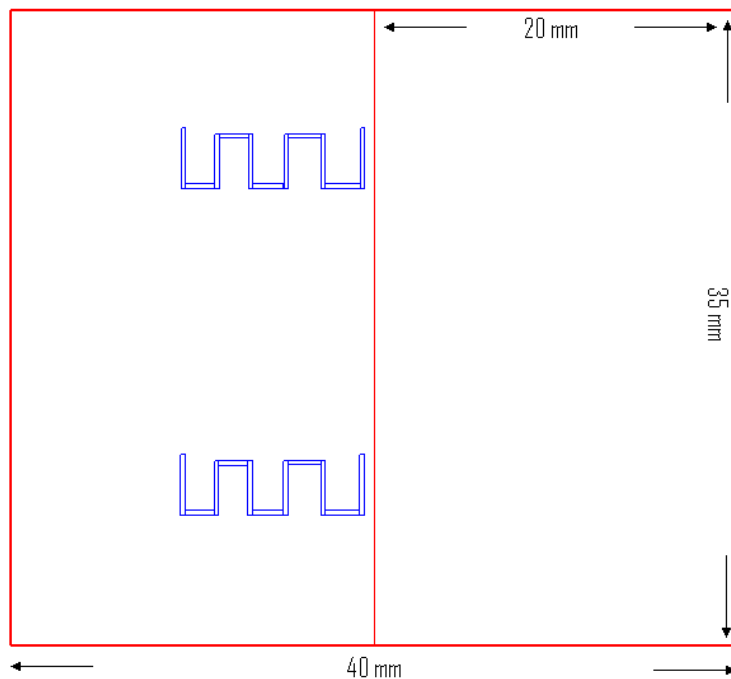
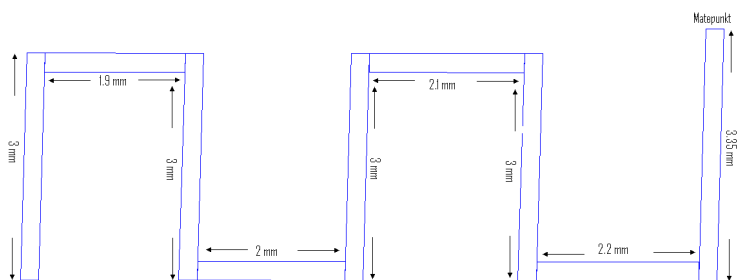
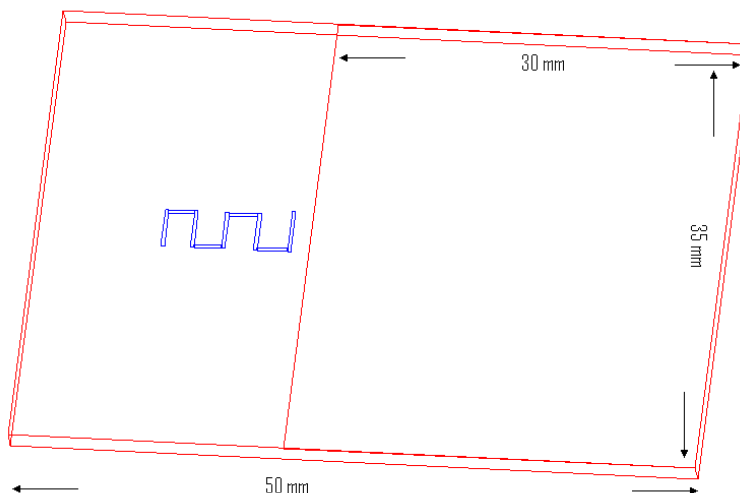


Figure 2.4: Strukturen og dimensjonen til singelantennen for tastaturmålingene



gjennom jordplanet for så å lodde på SMA-kontakten på kanten av kretskortet. Denne løsningen ble valgt bort fordi det ble vanskelig å dimensjonere antennen for riktig senterfrekvens. Disse antennene er så små og bølgeleng-

Figure 2.5: Singelantenne til tastaturmålingene



den på den ønskede senterfrekvensen er så liten at alt metall som ligger utenfor jordplanet vil fungere som antenne. Det viste seg også vanskelig å få simulert og tilpasset den todelte matlinjen til  $50 \Omega$ . Et annet argument mot matelinjene var det disse måtte vært like lange ut til kontaktpunktet for å unngå faseforskjeller i de mottatte signalene fra hver antenne.

Målingene i antennehallen skjer ved at antennene som blir målt blir matet fra en mateantenne med frekvens  $f = 2,4GHz$ . I disse målingene har det blitt brukt en lineærpolarisert hornantenne til mating. Matchornet er montert i et hull ca. 4,0 meter unna antennene som blir målt. Det vil si at antennene som blir målt befinner seg i fjernfeltet til matchornet ved 2,4 GHz. De antennene i denne oppgaven som har blitt koplet sammen for å gjøre målinger har blitt koplet sammen med en kombinerer. Den tar imot signalene fra begge antennen og sender summen av signalet videre til nettverksanalytoren. Det er gjort målinger med både vertikal og horisontal polarisasjon. I de figurene fra målingene som er angitt med matchorn dreid  $90^\circ$  vil det si at den er horisontalpolarisert. I de målingene der det ikke er spesifisert retning på matchornet er det stilt inn på vertikalpolarisasjon.

Det er gjort målinger på alle antennene enkeltvis i tre forskjellige plan med to forskjellig polarisasjonsretninger av matchornet. Figur 2.6 viser hvilke oppsett som ble brukt på å måle antennene. Figurene viser hvordan de antennene som skal måles er sett fra matchornet.



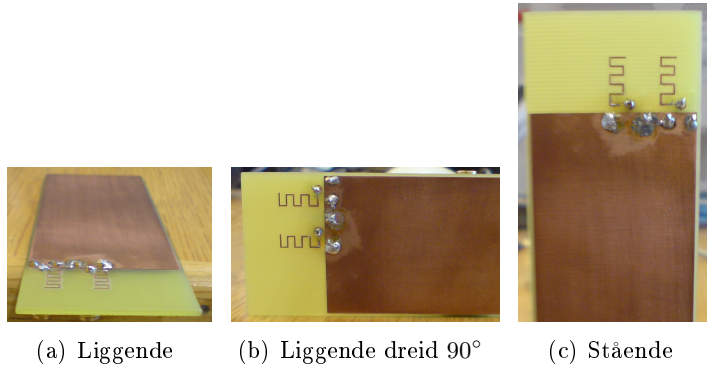


Figure 2.6: Måleposisjoner for antennene, sett fra matehorn

Kombineringsenheten som ble brukt til å kombinere mottatt signal fra to forskjellige antenner er en effektsplitter fra Weinschel Engineering model 1515.

# Chapter 3

## Resultat

### 3.1 Fjernkontroll

Her er resultatene fra simuleringene og målingene på fjernkontrollantennen. Det ble gjennomført 26 individuelle simuleringer av denne antennen.

#### 3.1.1 Simuleringsresultat fjernkontroll

Figur 3.1 viser den simulerte refleksjonskoeffisienten. De andre simuleringsresultatene er samlet i vedlegget. Det er som sagt gjort mange simuleringer, men bare resultatene fra det antennekortet som ble produsert er tatt med i rapporten.

#### 3.1.2 Måleresultat fjernkontroll

For å kunne sammenligne egenskapene mellom antennene på fjernkontrollkortet har det blitt gjennomført målinger på hver enkelt av antennene, samt på begge i fellesskap. Figur 3.2 til 3.4 viser de målte resultatene på fjernkontrollkortet. De resterende figurene av måleresultatene er lagt ved i vedlegget.

Figur 3.5 og 3.6 viser skjermbilder fra nettverksanalyseren. Figur 3.5 viser refleksjonskoeffisienten når begge antennene er kombinert og figur 3.6 viser  $S_{21}$  mellom de to antennene på fjernkontrollkortet.

### 3.2 Tastatur

Resultatene fra målingene på antennene, som er designet for å være en del av diversitetsløsningen for tastaturet, er målt på samme måte som fjernkontrollkortet.

Figure 3.1:  $S_{11}$  og  $S_{12}$  fra det simulerte fjernkontrollkortet

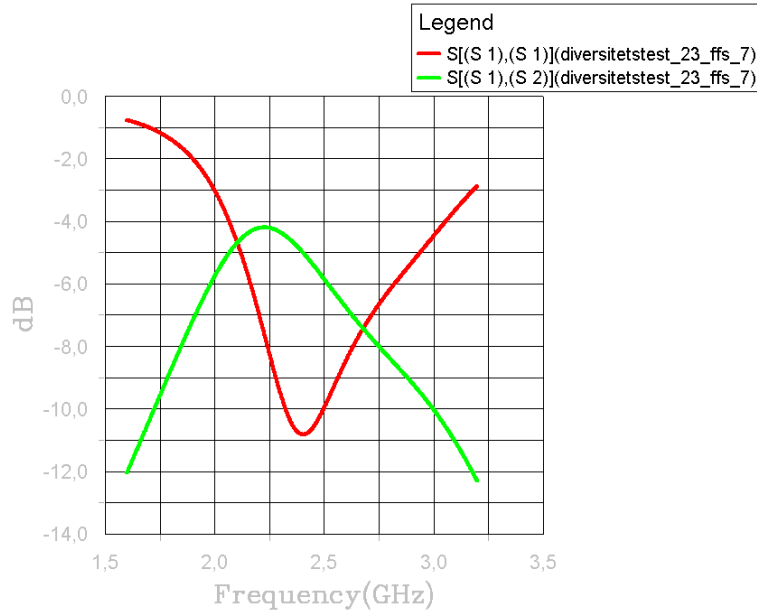


Figure 3.2: Fjernkontrollantennen, bare den venstre antennen blir målt liggende mot matchornet

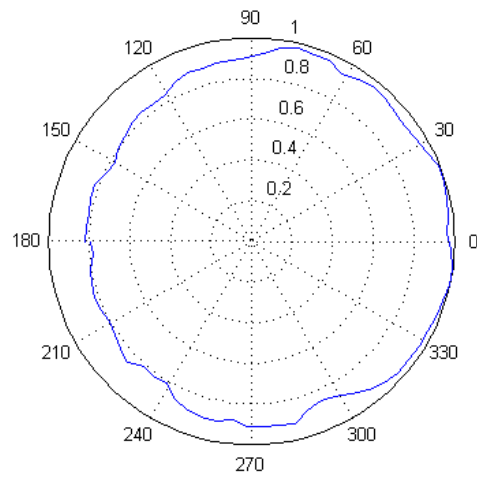


Figure 3.3: Fjernkontrollantennen, bare den høyre antennen blir målt liggende mot matehornet

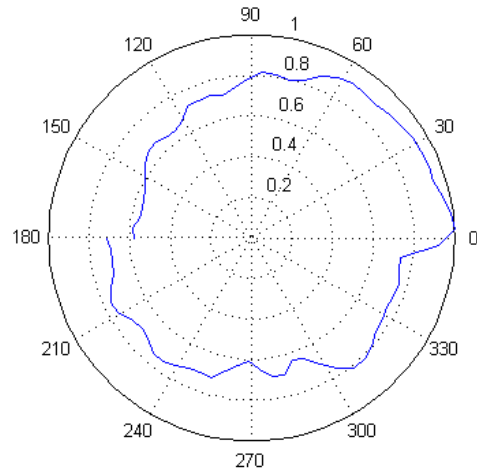


Figure 3.4: Fjernkontrollantennen, begge antennene sammen liggende mot matehornet

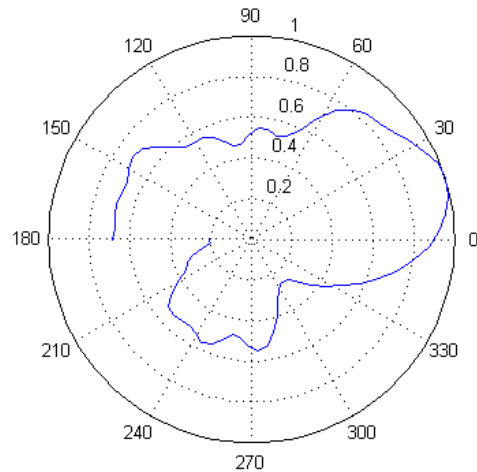


Figure 3.5:  $S_{11}$  for begge antennene på fjernkontrollkortet kombinert

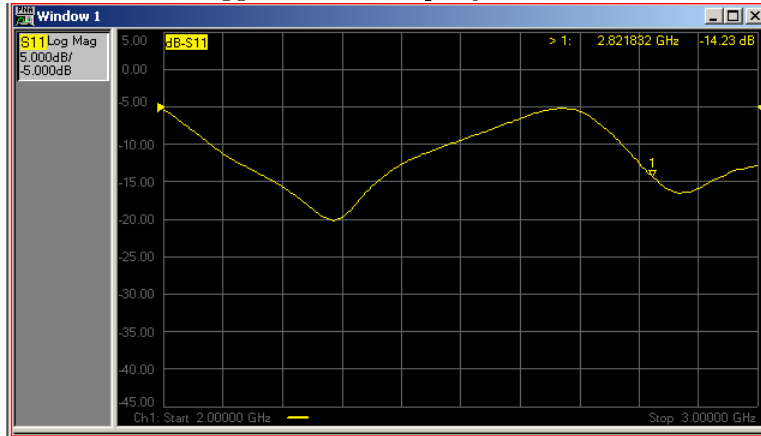
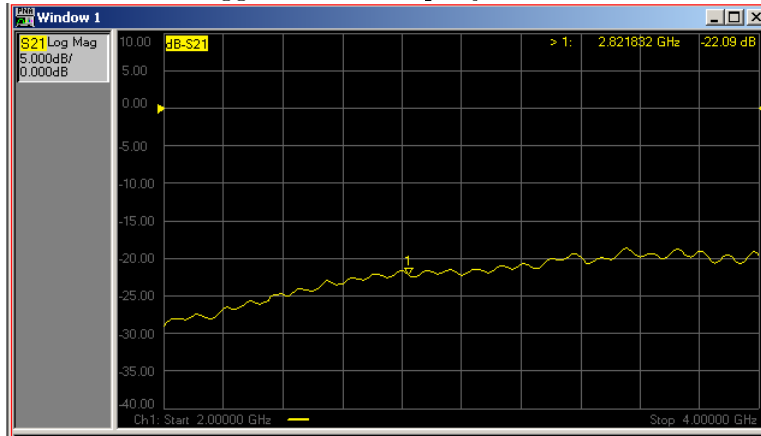


Figure 3.6:  $S_{21}$  for begge antennene på fjernkontrollkortet kombinert



Antennene er målte hver for seg og samlet til slutt. For å ha en bedre oversikt over resultatene er de fleste av målingene lagt til vedlegget.

### 3.2.1 Simuleringsresultat tastatur

Resultatene fra simuleringene av den single antennen til bruk i diversitet-løsningen i tastaturet er gjengitt først. I figur 3.7 er det gjengitt refleksjonskoeffisienten til den single antennen. Refleksjonskoeffisienten og transmisjonskoeffisienten til den doble antennen for tastaturet er gjengitt i figur 3.8.

Figure 3.7: Simulert  $S_{11}$  fra den single antennen til tastaturet

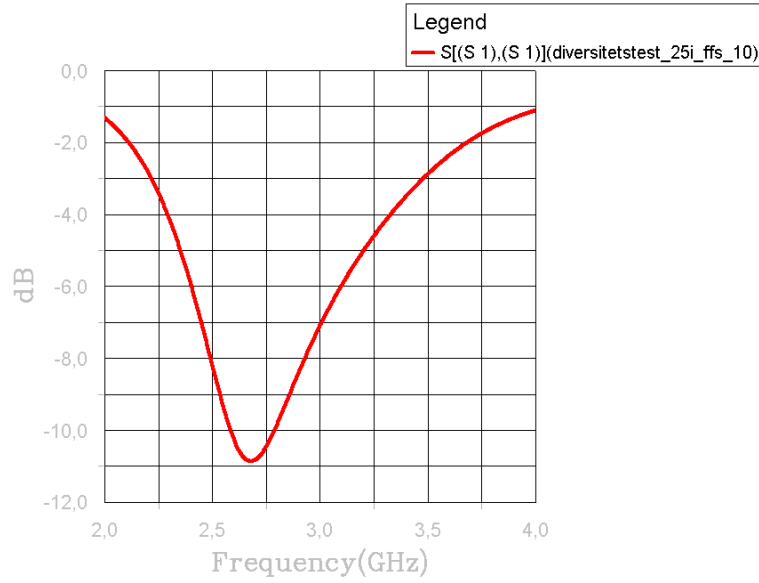
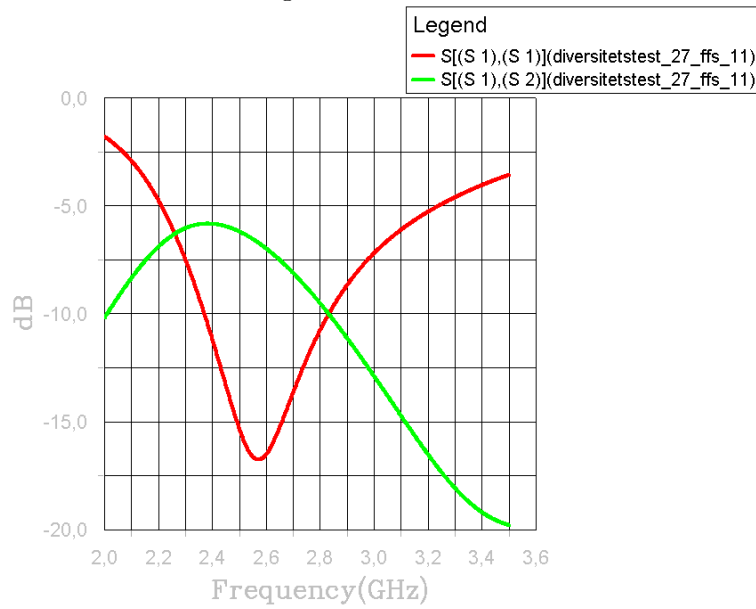


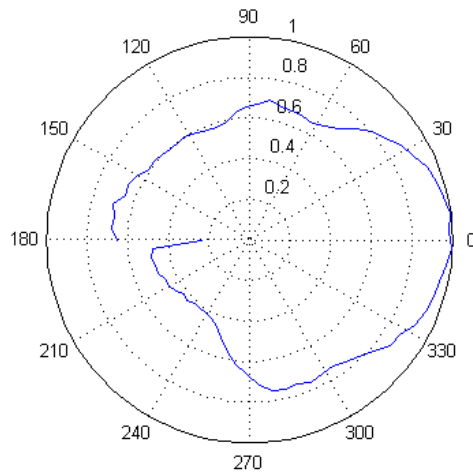
Figure 3.8: Simulert  $S_{11}$  og  $S_{12}$  fra den doble antennen til tastaturet



### 3.2.2 Enkeltvis målte resultat av antennene til tastaturet

Først av resultatene fra tastaturdiversitetsløsningen er det gjengitt målingene fra hver enkelt antennene. Figur 3.9 viser målingen av den single antennen liggende rett mot matehornet. Figur 3.10 til 3.12 viser resultatene fra målingene på det kortet med dobbel antenne til tastaturet.

Figure 3.9: Singelantennen til tastaturet liggende mot matehornet



### 3.2.3 Målte resultat med antennene innkapslet i tastaturet

Først er det gjengitt resultatene fra den single antennen inne i tastaturet. Figur 3.13 viser resultatet fra den single antennen liggende rett mot matehornet på venstre side av tastaturet. Figur 3.14 viser den samme antennen på høyre siden inne i tastaturet.

Figur 3.15 og 3.16 viser resultatet fra målingene med to antenner inne i tastaturet. Oppsett 1 har størst avstand mellom antennene, men oppsett 2 har nær halvparten av avstanden. Se figur 6.49 og 6.50 for oppsett 1 og oppsett 2.

Figurene 3.17 og 3.18 viser skjermbilder fra nettverkssanalysatoren. Figur 3.17 viser refleksjonskoeffisienten til de kombinerte antennene ved oppsett 2. Figur 3.18 viser transmisjonskoeffisienten ved samme oppsett.

Figure 3.10: Dobbeltantennen til tastaturet, bare den venstre antennen blir målt liggende mot matchornet

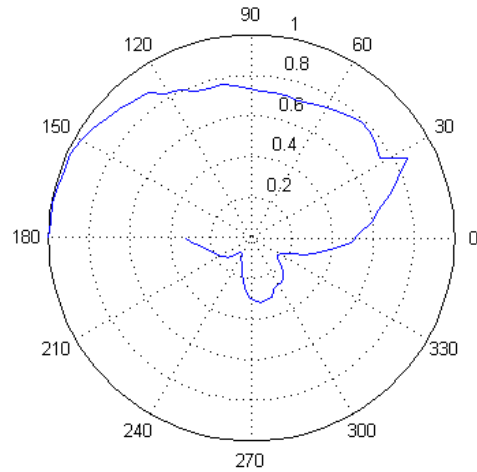


Figure 3.11: Dobbeltantennen til tastaturet, bare den høyre antennen blir målt liggende mot matchornet

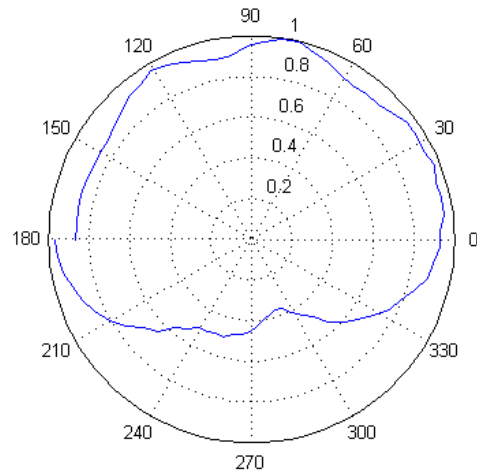




Figure 3.12: Dobbeltantennen til tastaturet, begge antennene samtidig liggende mot matehornet

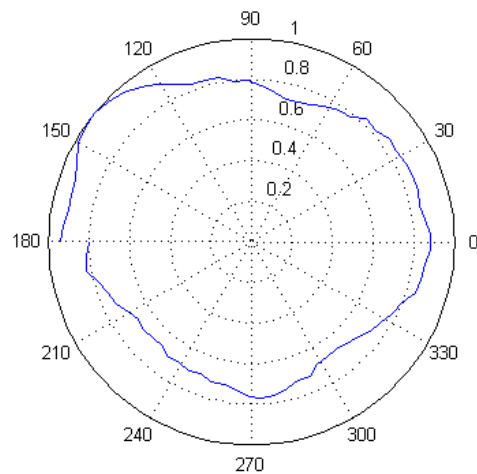


Figure 3.13: Singelantennen alene inni tastaturet på venstresiden liggende mot matehornet

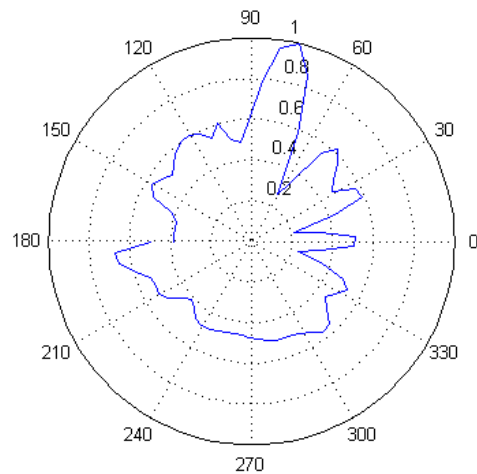


Figure 3.14: Singelantennen alene inni tastaturet på høyresiden liggende mot matehornet

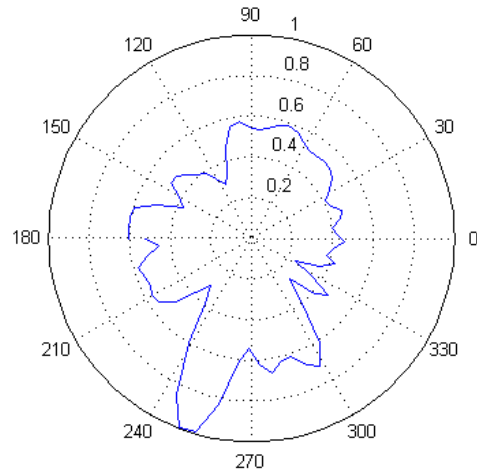


Figure 3.15: To antenner inne i tastaturet - oppsett 1, liggende mot matehornet

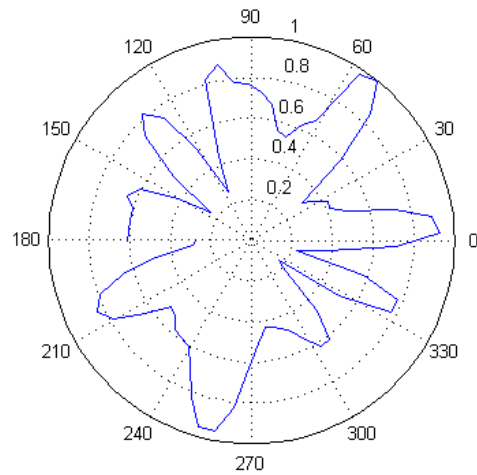


Figure 3.16: To antenner inne i tastaturet - oppsett 2, liggende mot matehornet

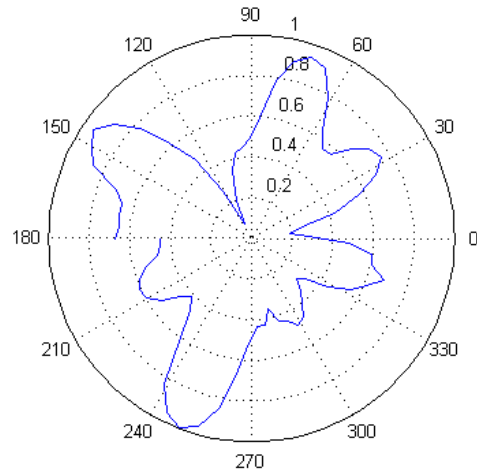


Figure 3.17:  $S_{11}$  for begge antennene i tastaturet kombinert

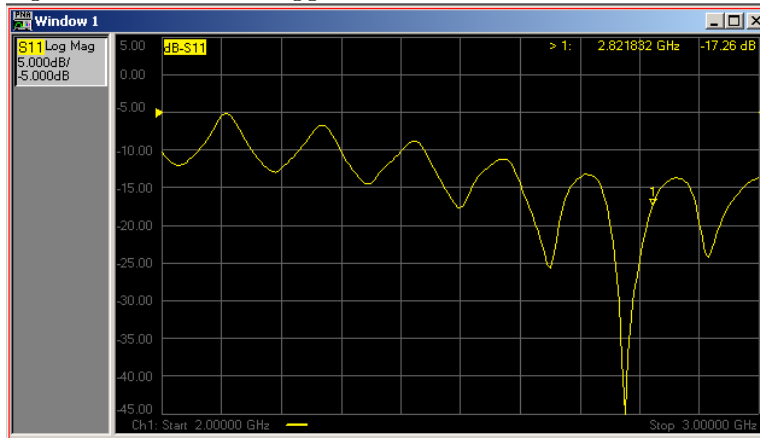
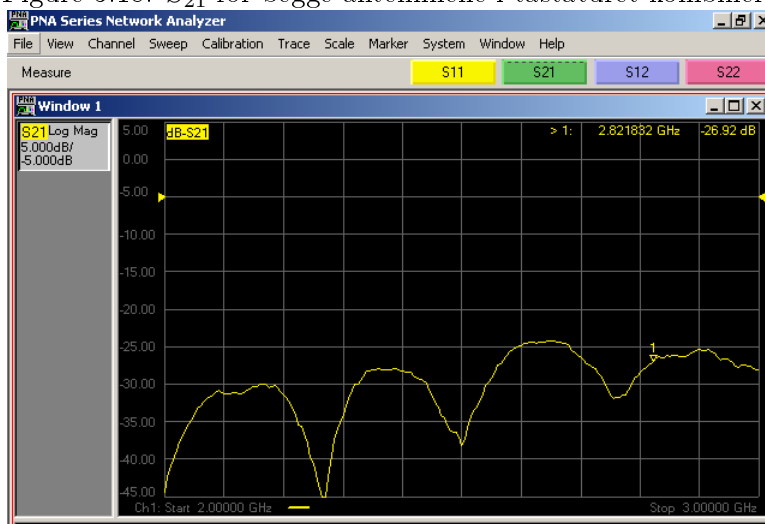


Figure 3.18:  $S_{21}$  for begge antennene i tastaturet kombinert



# Chapter 4

## Diskusjon

### 4.1 Fjernkontroll

#### 4.1.1 Diskusjon omkring simuleringsresultatene

Simuleringene av fjernkontrollkortet ble som sagt gjennomført i programmet EMDS. For å eksitere antennene i simuleringene ble det brukt spenningskilder (voltage source). Denne typen eksitering er en enkel måte å få eksitert antennen uten å måtte tegne opp en port på hver antenne som skal simuleres. Ulempen med denne eksiteringsmetoden er ifølge [10] at spenningskildene skaper et sterkt felt rundt matepunktet som påvirker simuleringen av antennen. Resultatene fra simuleringene av fjernkontrolløsningen er gjengitt i figur 3.1 og 6.1 til 6.3. Av figur 3.1 ser man at  $S_{21}$  ved 2,25 GHz har en verdi på -4 dB. Det betyr at det er en elektromagnetisk kopling mellom antenne. Dette kommer av at arealet som var tilgjengelig for antenner på dette kretskortet var relativt lite og antennene dermed ble liggende med ca. en tiendedels bølgelengde fra hverandre. Strålingsdiagrammene i figur 6.2 og 6.3 viser forventede resultater for denne type antenneløsninger.

#### 4.1.2 Diskusjon omkring måleresultatene

Resultatene fra målingene av den produserte antenneløsningen for fjernkontrollkortet er gjengitt i figur 3.2 til 3.6 og i vedlegget på figur 6.4 til 6.18. Målingene på antennene enkeltvis viser få lobes i strålingsdiagrammene. På figurene 6.14 til 6.18 og på figur 3.4 er målingene med begge antennene på fjernkontrollkortet gjengitt. De viser at med denne diversitetsløsningen har dårligere resultater i strålingsdiagrammene enn det den enkelte antenne på kortet har hver for seg. Det oppstår flere lobes i strålingsdiagrammene fra

målingene på begge antennene kombinert. Ifølge [1] vil det oppstå flere lober i strålingsdiagrammet desto større den gjensidige koplingen mellom hver antenne i rekkeantennen er. Figur 3.6 viser den gjensidige koplingen mellom antennene ved å måle transmisjonskoeffisienten  $S_{21}$  mellom hver antenne på kretskortet i nettverksanalysatoren. Skjermbildet viser at den gjensidige koplingen ved 2.25 GHz er -25 dB og altså betydelig mindre enn det som kom fra simuleringen. Noe av forklaringen på denne forskjellen kan ligge i bruken av ideale ledere i simuleringene og bruken av spenningskilder til å eksitere antennene i EMDS.

## 4.2 Tastatur

### 4.2.1 Diskusjon omkring simuleringsresultatene

Figurene 3.7, 3.8 og 6.19 til 6.24 viser resultatene fra simuleringene av de to kretskortene som blir brukt i diversitetsløsningen til tastaturet. Grafene i figur 3.7 og 3.8 viser at de simulerte antennene på begge kretskortene hadde tilnærmet den samme simulerte senterfrekvensen, men at kortet med to antenner har en betydelig større båndbredde innenfor kravet om et VSWR på 2. Transmisjonskoeffisienten  $S_{21}$  mellom de to antennene på den ene kortet er også bedre enn tilsvarende verdi for antennene på fjernkontrollkortet. Det er den samme antennestrukturen som er benyttet på begge disse kretskortene, men avstanden mellom selve antennene er større på kretskortet som er produsert for diversitetsløsningen til tastaturet, i forhold til de to antennene på fjernkontrollkortet. Jordplanet til kretskortene til tastaturet er også redusert i stor grad i forhold til kretskortet til fjernkontrollen. Strukturen på selve antennen på det kretskortet med bare en antenne er som nevnt i metodedelen forskjellig fra den strukturen som har blitt benyttet på de andre kretskortene. Det er vanlig å benytte seg av antenner med lik struktur og karakteristikk ved diversitetsløsninger, men for å få denne ene antenne innenfor kravene måtte strukturen endres litt og jordplanet forstørres litt i forhold til kretskortet med to antenner til tastaturet.

### 4.2.2 Diskusjon omkring måleresultatene

På figurene 3.9 til 3.18 og 6.25 til 6.48 er resultatene fra målingene av de forskjellige antennene til diversitetsløsningen til tastaturet gjengitt. Det er målinger av antennene gjort både utenfor og inne i et tastatur. Vi ser på figurene fra målingene som er gjort utenfor tastaturet gir strålingsdiagram med få lober. Lobene er i de fleste tilfellene rettet forover og bort fra jord-

planet. De målingene som er gjort med antennene stående, og dermed mindre påvirket av jordplanet i planet mellom antennen og matehornet blir mere rundtstrålende som forventet. De målingene som har blitt gjennomført med antenner inne i tastaturet viser at hardplasten ødelegger de store lobene til antennene. Figurene fra disse målingene viser flere smalere lober og dermed flere nullpunkter. Ved de to forskjellige oppsettene med to separerte antenner inne i tastaturet viser figurene at det blir flere og smalere lober, men det gir en økning i strålingsdiagrammene mot jordplanet.

Figurene 3.17 og 3.18 viser skjermbilder fra nettverksanalyseren. Figur 3.17 viser  $S_{11}$  for to antenner inne i tastaturet kombinert. Grafen viser mer rippel og bedre tilpasning enn det resultatet fra simuleringen tilsier. Figur 3.18 viser transmisjonskoeffisienten  $S_{21}$  mellom de to antennene inne i tastaturet. Sammenlignet med  $S_{21}$  fra kretskortet til fjernkontrollen er den gjensidige koplingen mye mindre. Dette skyldes i hovedsak at antennene inne i tastaturet har mye større avstand mellom dem. Omtrent to bølgelengder ved oppsett 1 og ca en bølgelengde ved oppsett 2.

## Chapter 5

# Konklusjon

I denne oppgaven har det blitt sett på mulige diversitetsløsninger for en fjernkontroll og for et tastatur. Det har blitt gjennomført simuleringer av begge løsningene med gode simuleringsresultater. Simuleringene av denne typen kretskort krever mye tid. Måten som EMDS beregner seg frem til feltfordelingen er god, men den krever mye minneforbruk hos PCene. Det har ført til en del avbrutte simuleringer på grunn av for lite minne.

Når målingene ble gjennomført viste det seg at resultatene fra simuleringene stemte dårlig med de målte resultatene, men simuleringene ga ut riktig senterfrekvens for den simulerte antennestrukturen. Det gjorde produksjonen av selv antennene enklere.

Resultatene fra målingene viste at forsøket med en diversitetsløsning på kretskortet til fjernkontrollen fungerte dårlig. Det arealet som ble tilegnet antennene var for lite og det ble en for nær elektromagnetisk kopling mellom de to antennene på kretskortet. Det resulterte i dårligere strålingsdiagram for fjernkontrollen enn med bare en antenne på kretskortet.

For diversitetsløsningen til tastaturet var det mulig å få mer avstand mellom antennene. Det medførte at det ble mindre grad av gjensidig kopling mellom antennene i designet. Hardplasten som tastaturet er laget av medførte at strålingsdiagrammet ble bestående av flere og smalere løber i forhold til antennene utenfor tastaturet. Strålingsdiagrammene for antennene utenfor tastaturet viste at de strålte mer i retningen bort fra jordplanet. Når antennene ble koplet sammen i diversitetsløsningen var det tydelig en forbedring av strålingsdiagrammet i bakoverretning, altså mot jordplanet.

Det hadde vært interessant å undersøke videre om det hadde vært mulig å få til en forbedring av strålingsdiagrammet til fjernkontrollen ved litt større



frihet med hensyn på plasseringen av antennene. Det kunne også vært spennende å sett om det hadde blitt bedre resultat med tre antenner i tastaturet. Eventuelt prøvd en annen antennestruktur for de antennene som var tiltenkt tastaturet. Det er god plass inne i et slikt tastatur og det vil muligens gi utslag i bedre egenskaper ved bruk av andre antennetyper.

# Chapter 6

## Vedlegg

### **6.1 Fjernkontroll**

Her er de siste resultatene fra målingene på fjernkontrollantennene

#### **6.1.1 Simuleringsresultat fjernkontroll**

Figure 6.1: Smithdiagram fra det simulerte fjernkontrollkortet

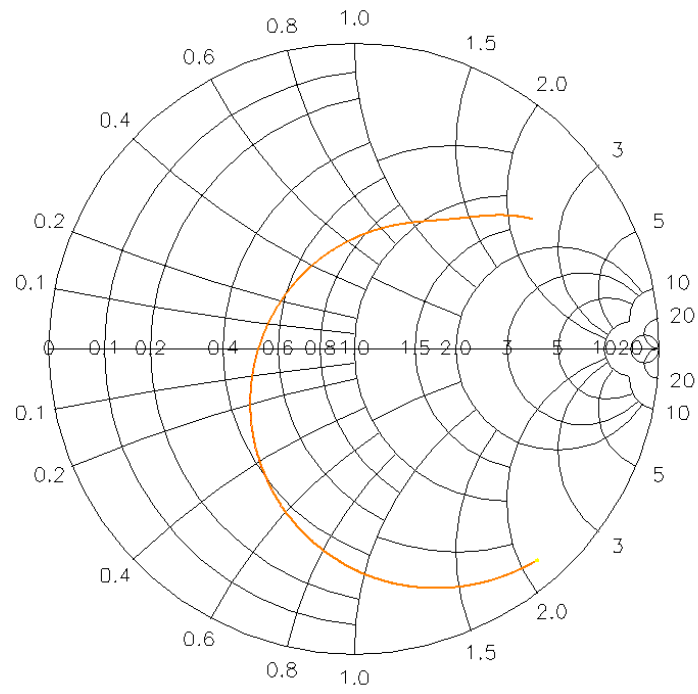


Figure 6.2: Strålingsdiagram for fjernkontrollsimulering i theta-retning

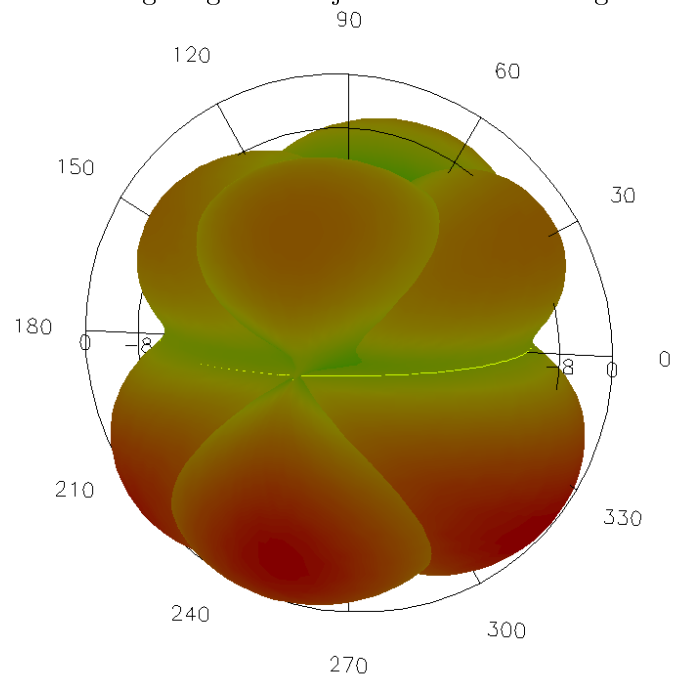
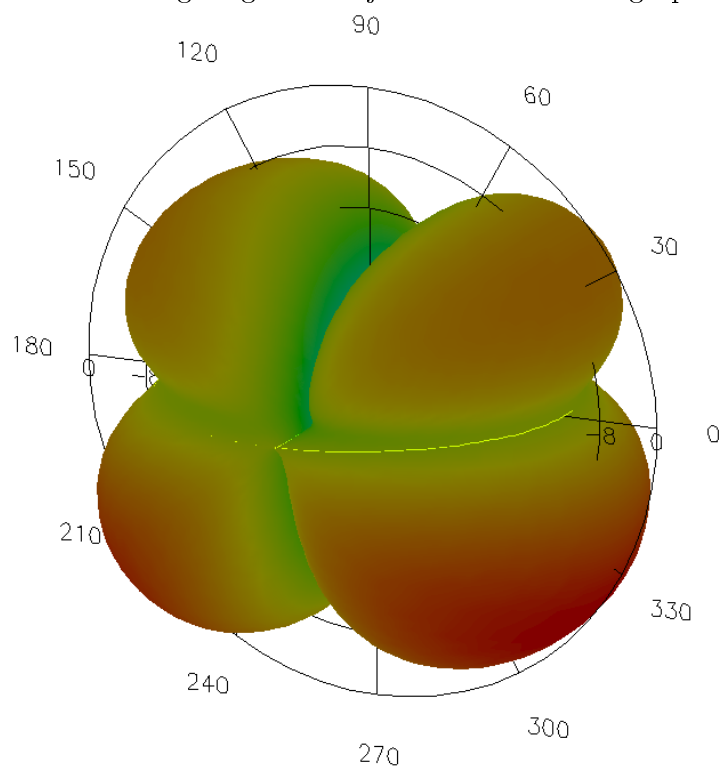


Figure 6.3: Strålingsdiagram for fjernkontrollsimulering i phi-retning



### **6.1.2 Måleresultat fjernkontroll**

Målinger på enkeltvis av antennene på fjernkontrollkortet

Figure 6.4: Fjernkontrollantennen, bare den venstre antennen blir målt liggende med antennehornet dreid 90°

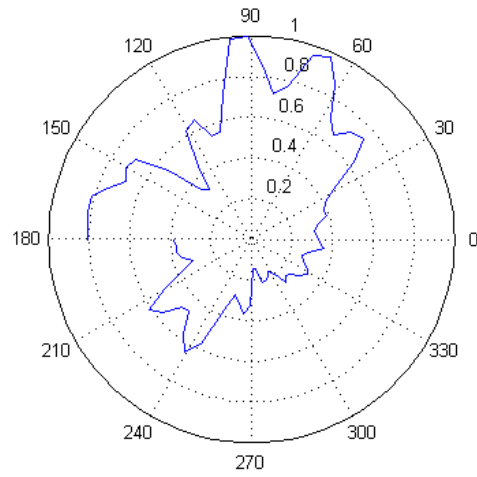


Figure 6.5: Fjernkontrollantennen, bare den venstre antennen blir målt liggende dreid 90°

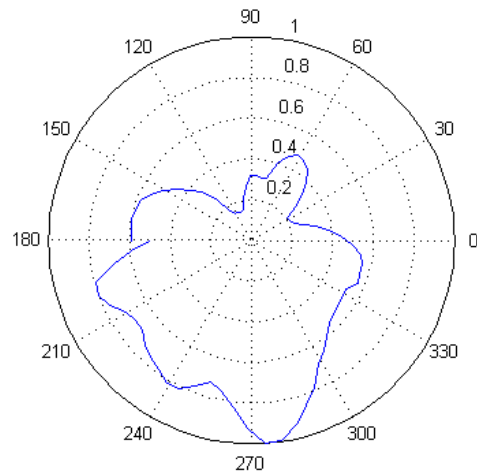


Figure 6.6: Fjernkontrollantennen, bare den venstre antennen blir målt liggende dreid 90° med antennehornet dreid 90°

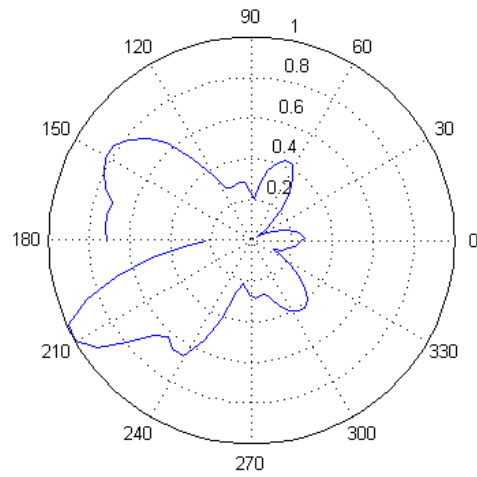


Figure 6.7: Fjernkontrollantennen, bare den venstre antennen blir målt stående

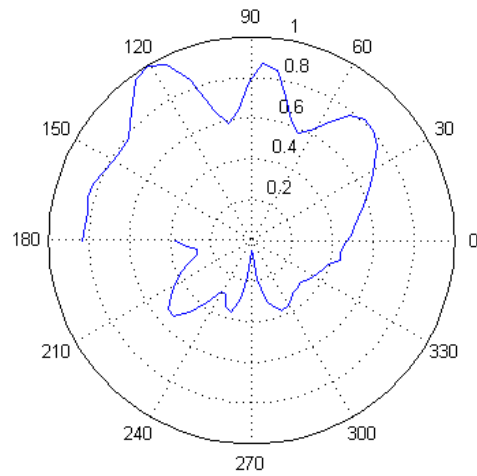




Figure 6.8: Fjernkontrollantennen, bare den venstre antennen blir målt stående med antennehornet dreid 90°

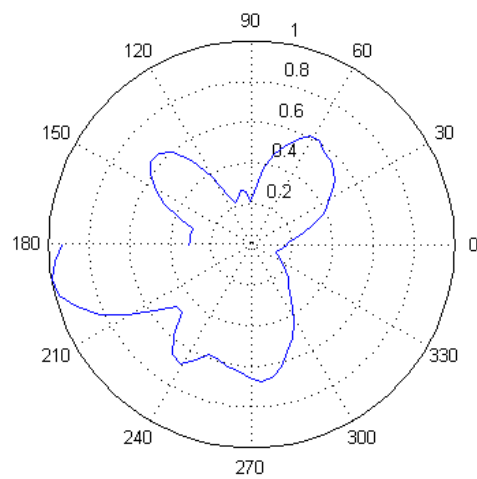


Figure 6.9: Fjernkontrollantennen, bare den høyre antennen blir målt liggende med antennehornet dreid 90°

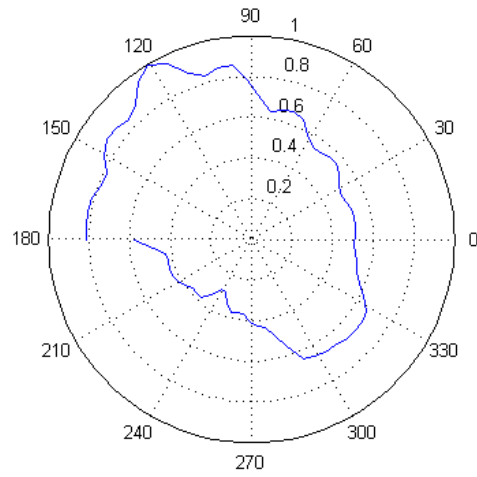


Figure 6.10: Fjernkontrollantennen, bare den høyre antennen blir målt liggende dreid 90°

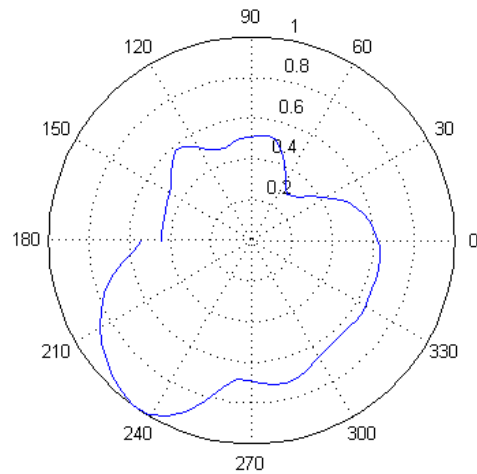


Figure 6.11: Fjernkontrollantennen, bare den høye antennen blir målt liggende dreid  $90^\circ$  med antennehornet dreid  $90^\circ$

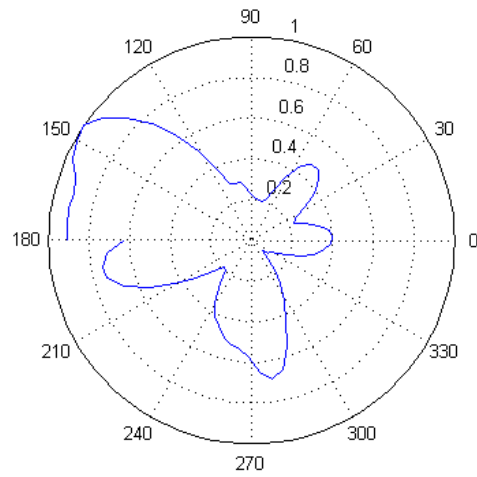


Figure 6.12: Fjernkontrollantennen, bare den høye antennen blir målt stående

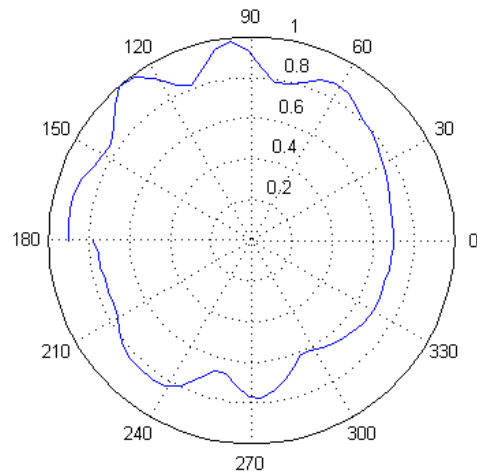


Figure 6.13: Fjernkontrollantennen, bare den høyre antennen blir målt stående med antennehornet dreid 90°

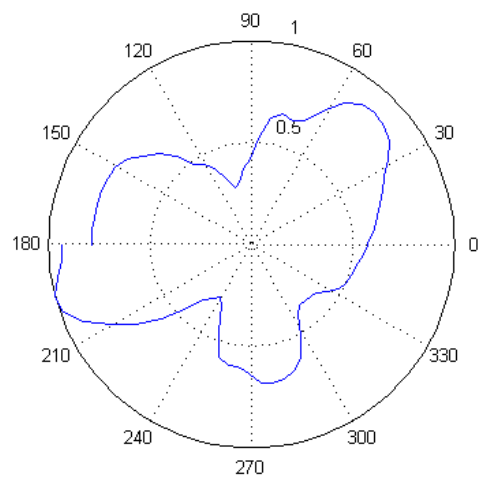


Figure 6.14: Fjernkontrollantennen, begge antennene koplet sammen. Liggende med matchhorn dreid  $90^\circ$

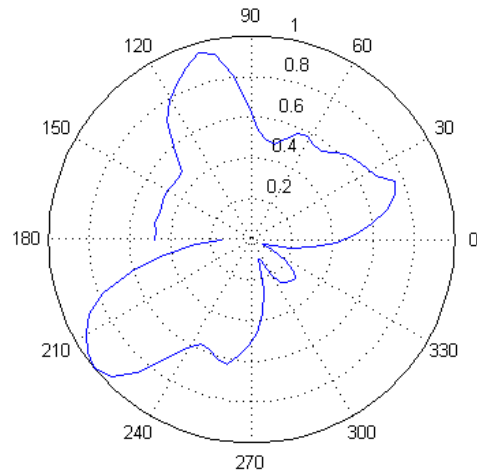


Figure 6.15: Fjernkontrollantennen, begge antennene koplet sammen. Liggende dreid  $90^\circ$

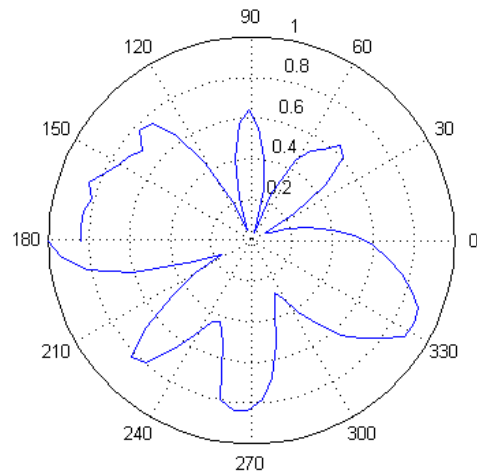


Figure 6.16: Fjernkontrollantennen, begge antennene koplet sammen. Liggende dreid  $90^\circ$  med matehorn dreid  $90^\circ$

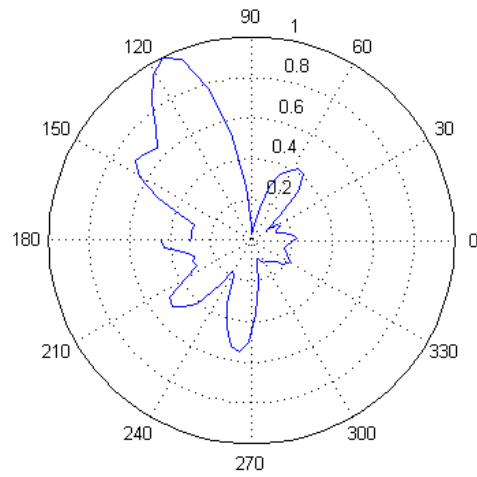


Figure 6.17: Fjernkontrollantennen, begge antennene koplet sammen. Stående

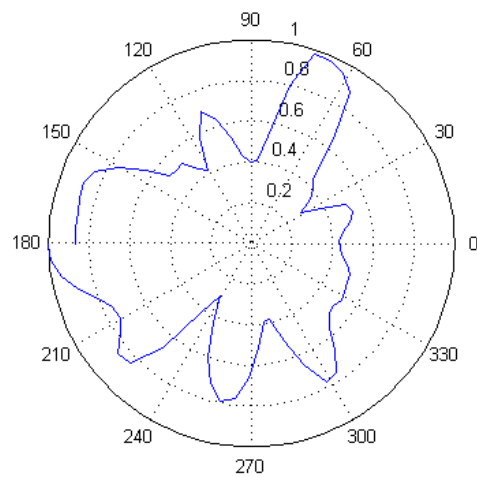
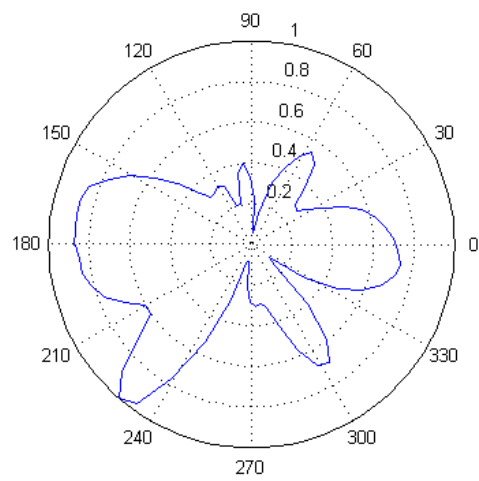


Figure 6.18: Fjernkontrollantennen, begge antennene koplet sammen. Stående med matehorn dreid 90°



## 6.2 Tastatur

### 6.2.1 Simuleringsresultat singelantennen til tastaturet

Figure 6.19: Smithdiagram fra simuleringen av singelantenne til tastaturet

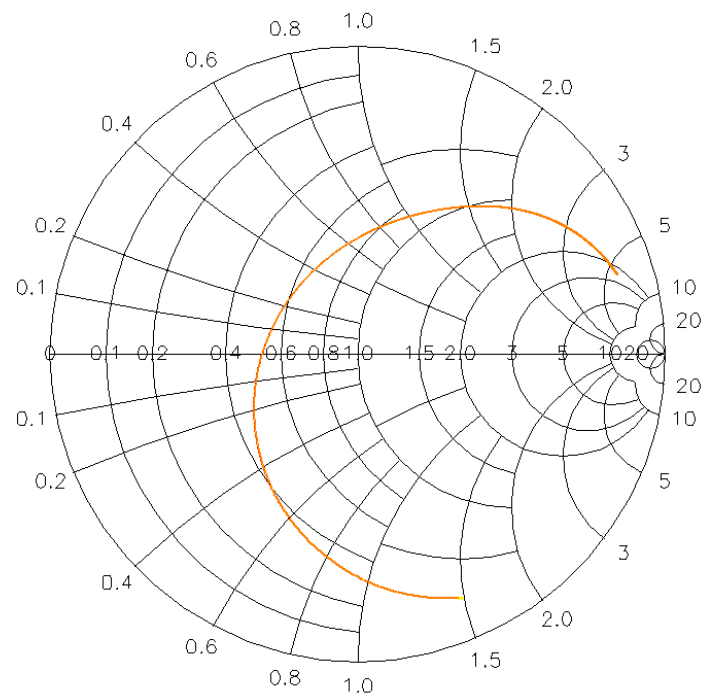




Figure 6.20: Strålingsdiagram fra simuleringen av singelantenne til tastaturet i theta-retning

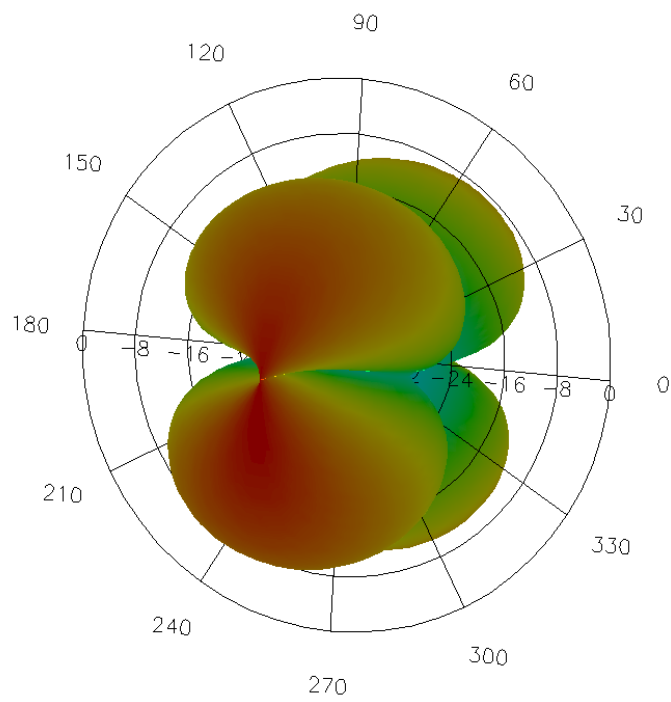
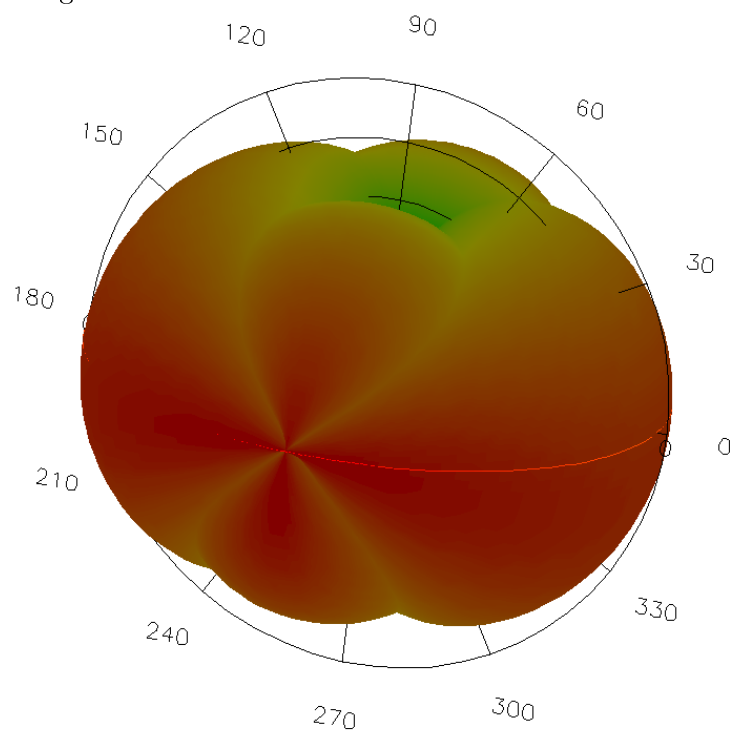


Figure 6.21: Strålingsdiagram fra simuleringen av singelantenne til tastaturet i theta-retning



## 6.2.2 Simuleringsresultat dobbelantennen til tastaturet

Figure 6.22: Smithdiagram fra simuleringen av dobbelantennen til tastaturet

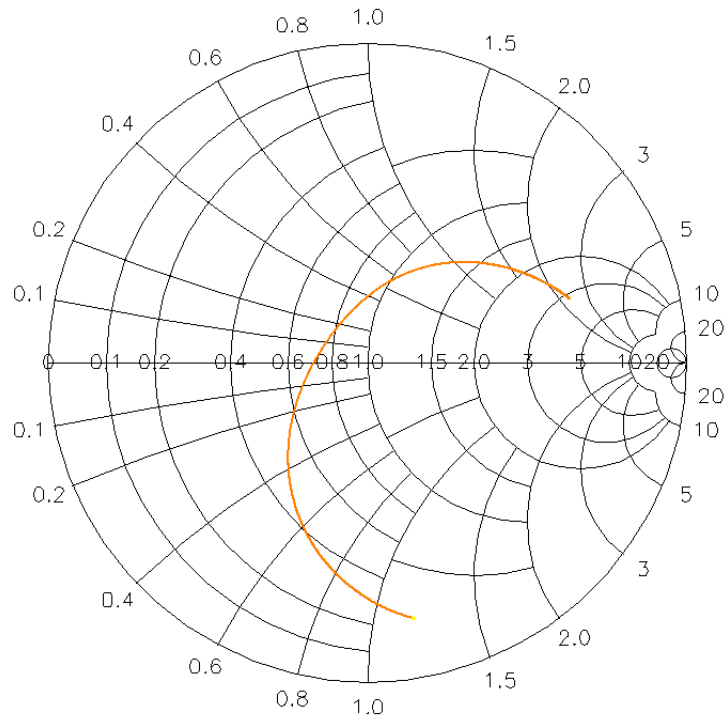


Figure 6.23: Strålingsdiagram fra simuleringen av singelantennen til tastaturet i theta-retning

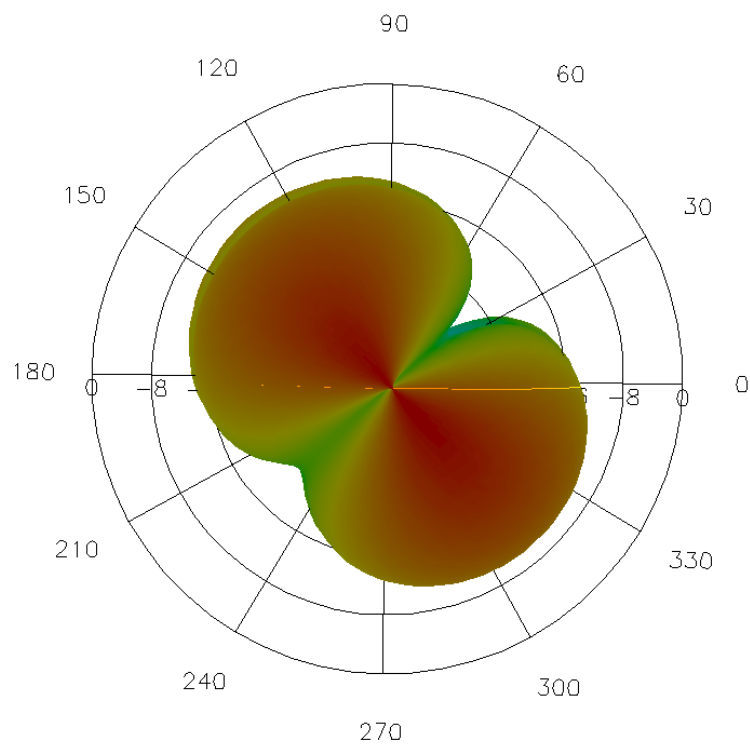
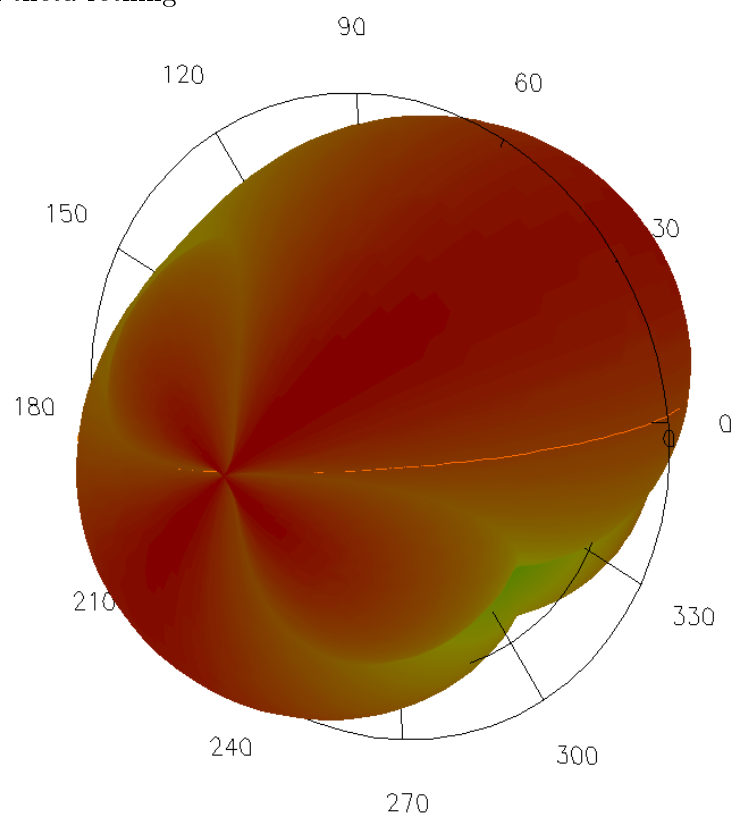


Figure 6.24: Strålingsdiagram fra simuleringen av dobbelantennen til tastaturet i theta-retning



### 6.2.3 Målte resultater fra antennene til tastaturet

Figure 6.25: Singelantennen til tastaturet, liggende med matehorn dreid 90°

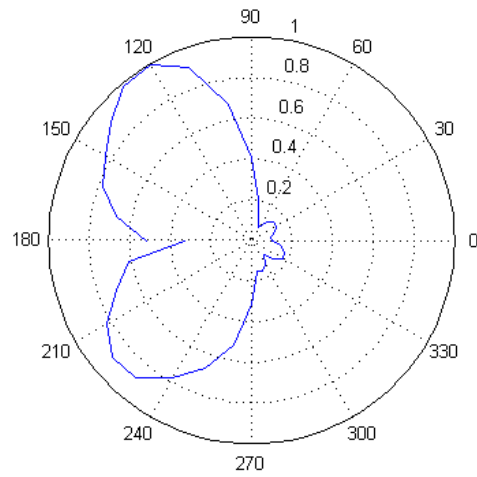


Figure 6.26: Singelantennen til tastaturet, liggende dreid 90°

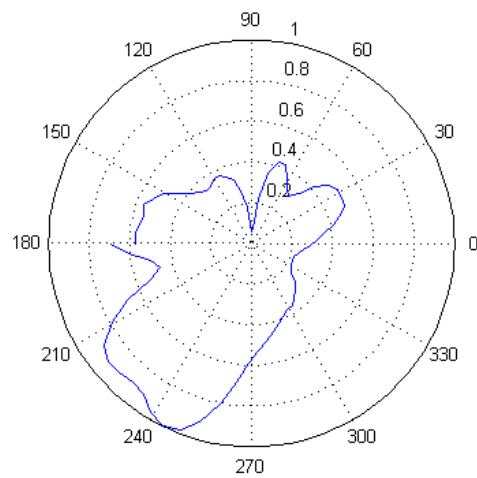


Figure 6.27: Singelantennen til tastaturet, liggende dreid  $90^\circ$  med matehorn dreid  $90^\circ$

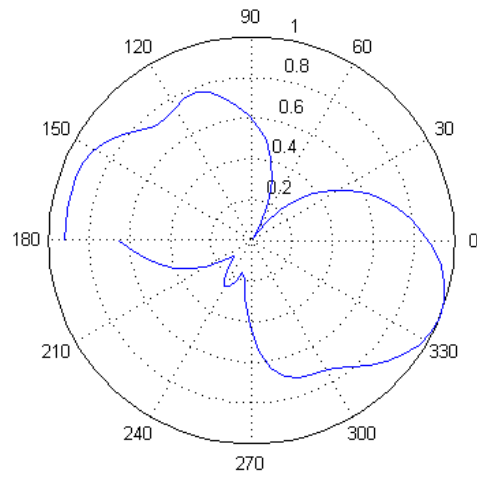


Figure 6.28: Singelantennen til tastaturet, stående

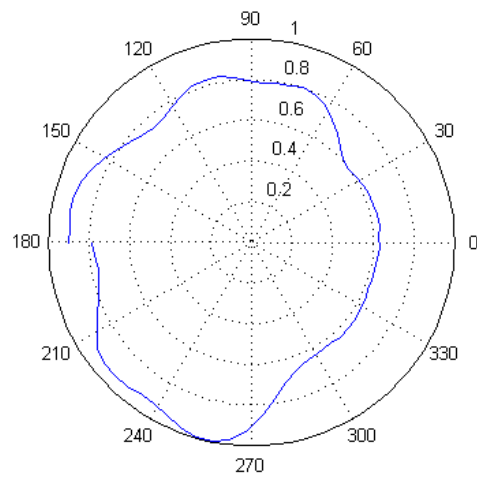
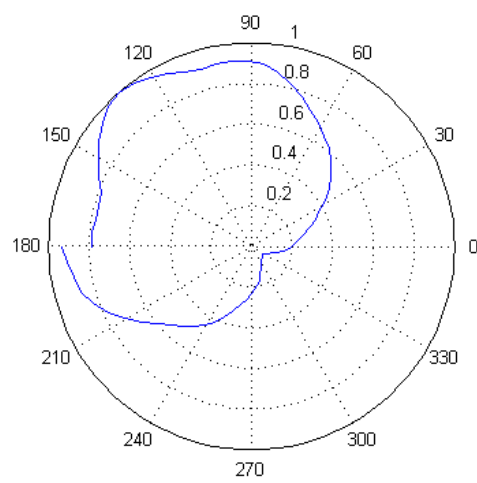




Figure 6.29: Singelantennen til tastaturet, stående med matchhorn dreid 90°



Målinger på den doble antennen. Målingene er først gjort enkeltvis på antennene, deretter begge antennene sammen.

Figure 6.30: Dobbeltantennen til tastaturet, venstre antennen blir målt liggende med matchhorn dreid 90°

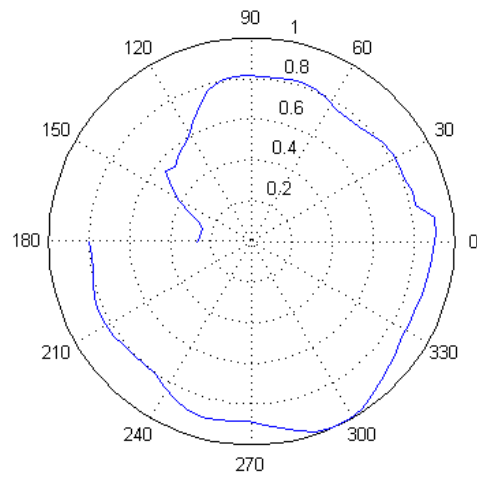


Figure 6.31: Dobbeltantennen til tastaturet, venstre antennen blir målt liggende dreid 90°

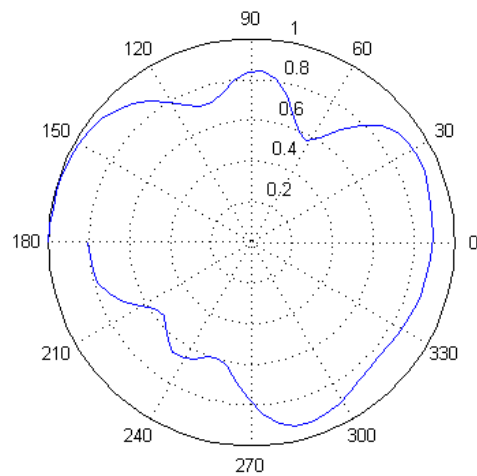


Figure 6.32: Dobbeltantennen til tastaturet, venstre antennen blir målt liggende dreid  $90^\circ$  med matchorn dreid  $90^\circ$

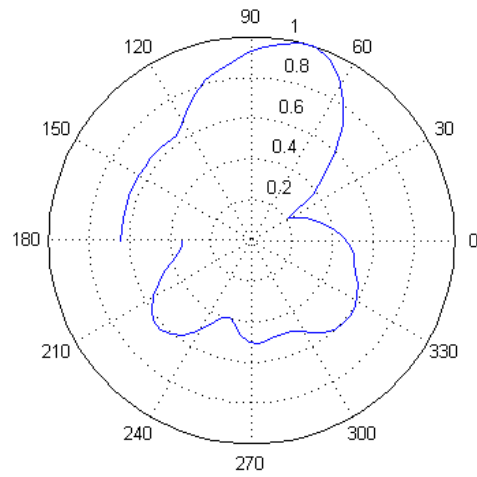


Figure 6.33: Dobbeltantennen til tastaturet, venstre antennen blir målt stående

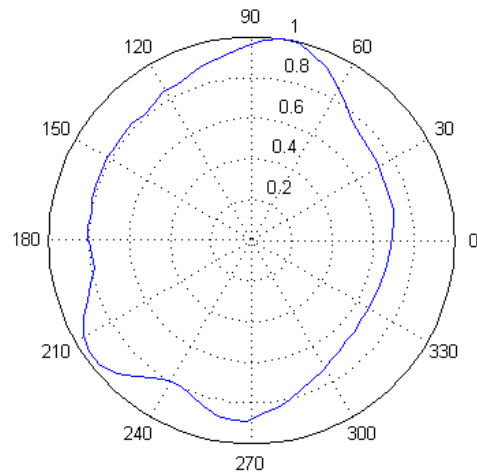


Figure 6.34: Dobbeltantennen til tastaturet, venstre antennen blir målt stående med matchhorn dreid 90°

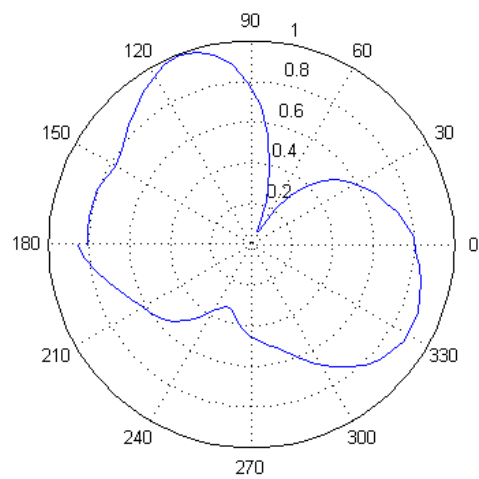


Figure 6.35: Dobbeltantennen til tastaturet, høyre antennen blir målt liggende med matchhorn dreid 90°

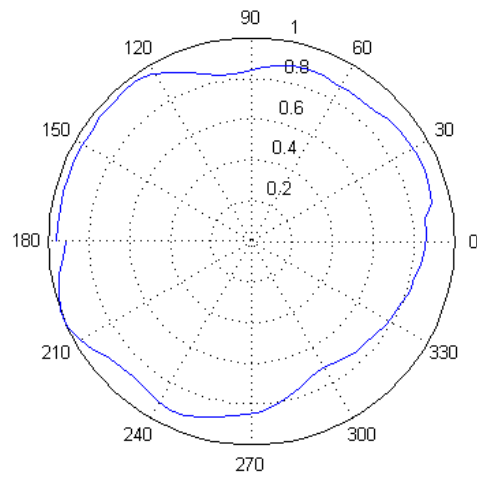


Figure 6.36: Dobbeltantennen til tastaturet, høyre antennen blir målt liggende dreid 90°

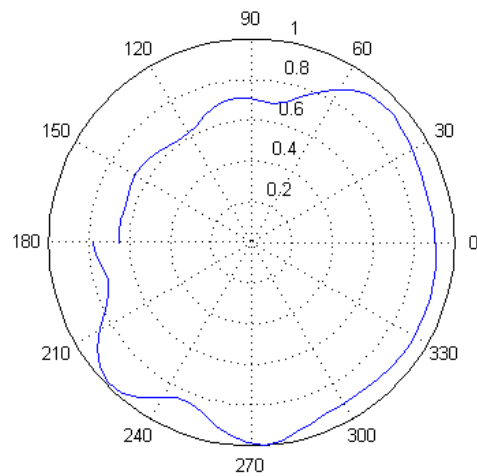


Figure 6.37: Dobbeltantennen til tastaturet, høyre antennen blir målt liggende dreid  $90^\circ$  med matehorn dreid  $90^\circ$

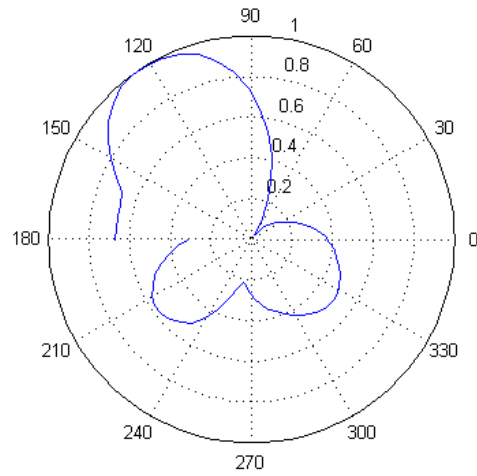


Figure 6.38: Dobbeltantennen til tastaturet, høyre antennen blir målt stående

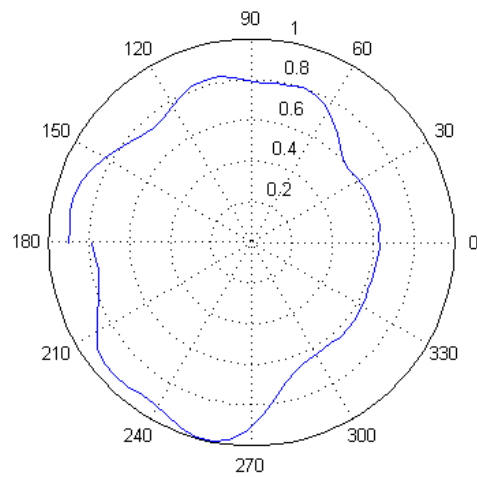


Figure 6.39: Dobbelantennen til tastaturet, høyre antennen blir målt stående med matchhorn dreid 90°

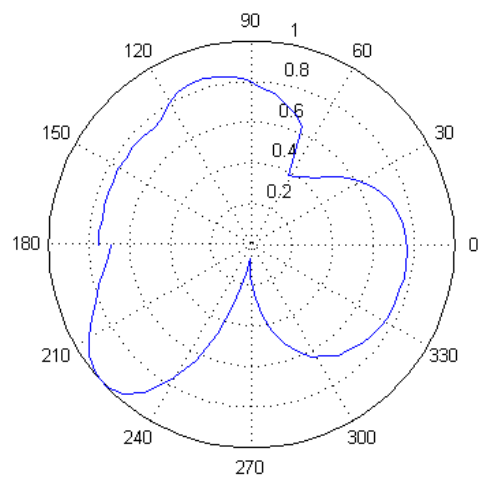




Figure 6.40: Dobbelantennen til tastaturet, begge antennene målt samtidig, liggende med matchorn dreid 90°

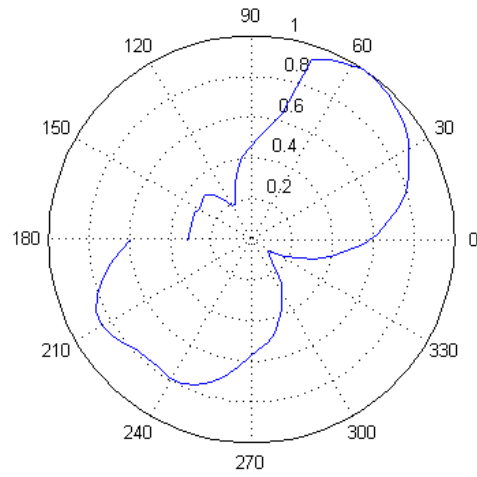


Figure 6.41: Dobbelantennen til tastaturet, begge antennene målt samtidig, liggende dreid 90°

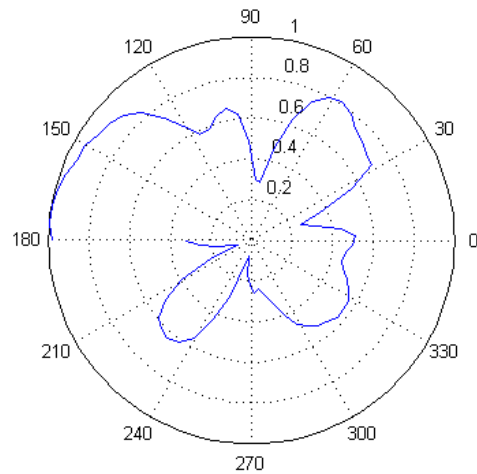


Figure 6.42: Dobbeltantennen til tastaturet, begge antennene målt samtidig, liggende dreid  $90^\circ$  med matehorn dreid  $90^\circ$

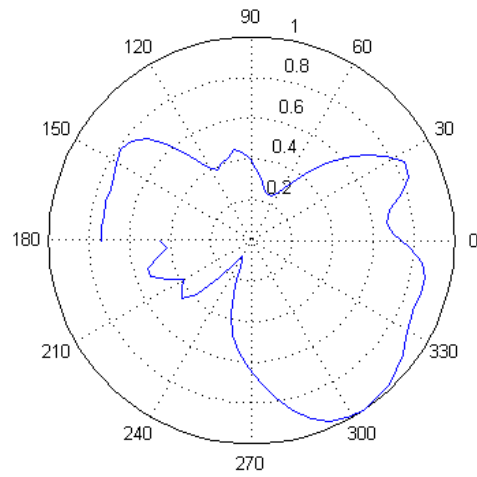


Figure 6.43: Dobbeltantennen til tastaturet, begge antennene målt samtidig, stående

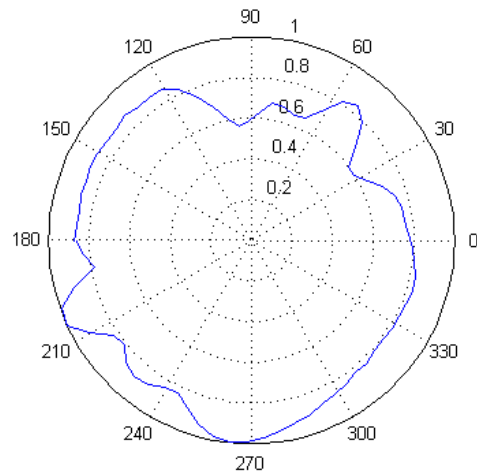
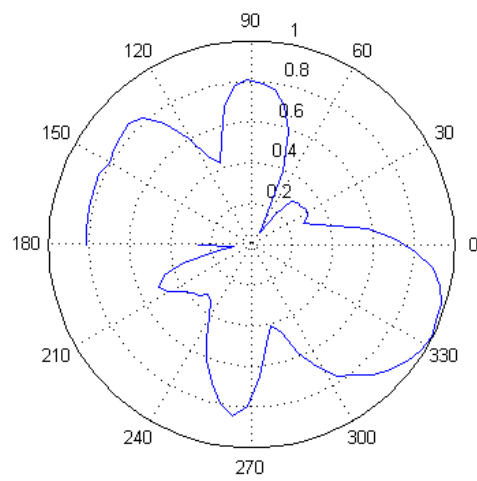


Figure 6.44: Dobbelantennen til tastaturet, begge antennene målt samtidig, stående med matchorn dreid 90°



### 6.2.4 Målte resultater inne i tastaturet

Figure 6.45: Singelantennen alene inni tastaturet på venstresiden, matchorn dreid 90°

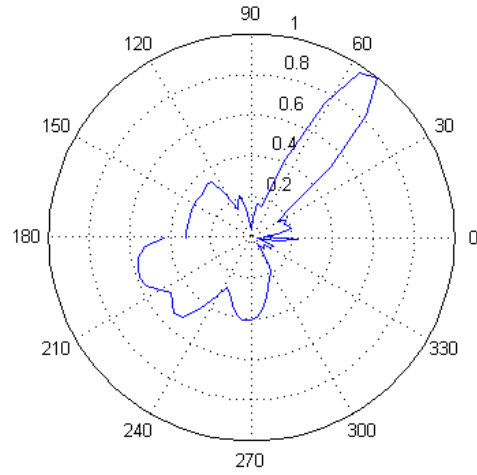


Figure 6.46: Singelantennen alene inni tastaturet på høyresiden, matehorn dreid 90°

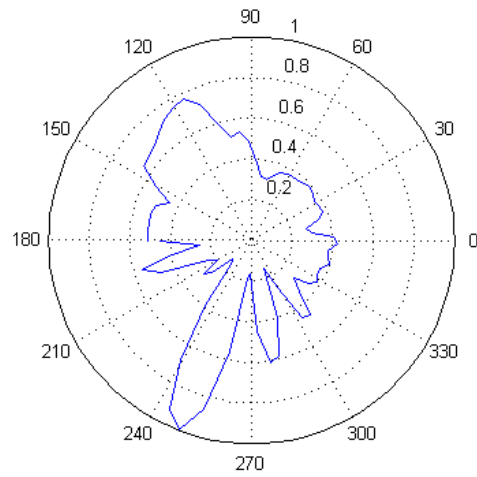


Figure 6.47: To antenner inne i tastaturet, oppsett 1, matehorn dreid 90°

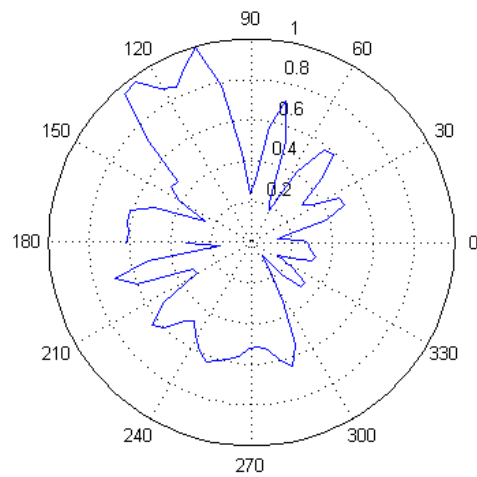


Figure 6.48: To antenner inne i tastaturet, oppsett 2, matchorn dreid 90°

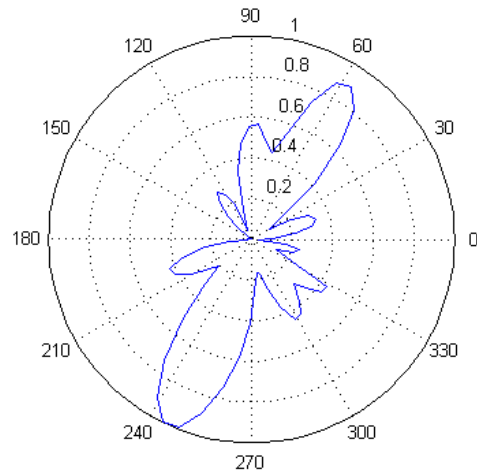


Figure 6.49: Oppsett 1 for målingene i tastaturet



Figure 6.50: Oppsett 2 for målingene i tastaturet



# Bibliography

- [1] Constantine A. Balanis: *Antenna Theory, Analysis and design*, third edition, Wiley 2005,
- [2] Kin-Lu Wong: *Planar Antennas for Wireless Communications*, Wiley 2003,
- [3] Ludvig Harper Hjelmås: *Antennediversitet i trådløse hodetelefoner*, NTNU 2006
- [4] Asbjørn Fossmark: *2,4 GHz trykt meanderlinjeantenne for kortholds kommunikasjon*, NTNU 2007
- [5] Wikipedia: <http://Wikipedia.org>, 2008
- [6] David M. Pozar: *Microwave and RF design of wireless systems*, Wiley 2000
- [7] Natural Resources Canada: <http://cct.rncan.gc.ca>
- [8] Magne Nesvold og Ludvig H. Hjelmås: *Antennediversitetsløsninger med 2,4 GHz trykkretsantenner*, NTNU 2005
- [9] Clemens Icheln, Joonas Krogerus and Pertti Vainikainen: *Use of balun chokes in small-antenna radiation measurements*, 2004
- [10] Audun L. Andersen, *Konstruksjon av RF fjernkontrollsystem*, NTNU 2005