

Analyse og måling av RFID-merking for videoprojektører

Erik Vee Grønvold

Master i elektronikk

Oppgaven levert: Juni 2007

Hovedveileder: Morten Olavsbråten, IET

Oppgavetekst

Denne oppgaven er gitt delvis sammen med projectiondesign AS, innenfor temaet RFID. Det er ønskelig å undersøke hvordan RFID-teknologi kan implementeres på produkter, og se hvilke fordeler og muligheter dette gir. RFID-teknologi gir nye muligheter innen varemerking som; individuelle serienumre, mulighet for å oppdatere innhold på RFID brikken, måling av data for fysisk påkjenning (temperatur og støt). Disse egenskapene vil blant annet gjøre det enkelt å registrere en enhets historikk (kvalitetskontroll, reparasjoner, shipping), lettere trekke tilbake produkter ved seriefeil, enklere feilsøking ved reparasjoner, etc.

Oppgaven vil i hovedtrekk bestå av å se hvilke muligheter teknologien vil gi, hvilken teknologi som skal benyttes (aktiv/passiv), valg av kobling (induktiv/elektromagnetisk) og frekvensområde. Ut fra valgt av teknologi, vil en kopi av antennen til en RFID-brikke vil bli laget for å kunne måle strålingsegenskaper, når antennen er montert på et produkt på forskjellige måter. Det vil også bli utført målinger med RFID-brikker og leser, for å måle reelle rekkevidder. RFID-brikkene og leser er utlånt av Nortura BA og SINTEF IKT.

Oppgaven gitt: 29. januar 2007
Hovedveileder: Morten Olavsbråten, IET

Forord

Denne rapporten dokumenterer masteroppgaven for undertegnede ved Radiosystemer ved Institutt for elektronikk og telekommunikasjon (IET), Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU), vårsemesteret 2007. Oppgaven er delvis definert av projectiondesign AS, som ønsker å se hvordan RFID kan benyttes til merking av deres produktportefølje.

Målsetningen ved oppgaven er å undersøke hvordan RFID-teknologi kan implementeres på projectiondesigns produkter, samt hvilke fordeler og muligheter dette gir fremfor den eksisterende merkingsmetoden. Ut fra resultatet kan projectiondesign avgjøre om de anser RFID som en aktuell metode å merke sine produkter.

Det rettes stor takk til de som har bidratt i prosessen frem til endt masteroppgave. I første rekke veileder Morten Olavsbråten som har bidratt med faglig hjelp, gode diskusjoner og opprettet kontakt mot eksterne samarbeidspartnere. Videre takkes Bård Myhre ved Sintef IKT for utlån av RFID-utstyr, og Geir Vevle ved Nortura AB for nyttig informasjon og utlån av ulike RFID-transpondere. Til slutt takkes Sture Berg, «Director of Operations» ved projectiondesign AS, som har kunnet svare på alle spørsmål angående produksjon og logistikk i bedriften og for utlån av prosjektør.

Erik Vee Grønvold

Trondheim, 18. juni 2007

Sammendrag

Projectiondesign AS utvikler og spesialtilpasser prosjektører for ulike markeder som, profesjonell simulering og visualisering, medisinsk bildebehandling, hjemmekino, forretningsbruk og andre utfordrende områder. Projectiondesign er en norsk bedrift som holder til i Fredrikstad, hvor utvikling og produksjon av prosjektørene finner sted. Herfra blir produktene sendt videre til et verdensomspennende marked. Den eksisterende merkingemetoden på produkt er i form av produktnummer og serienummer med tilhørende strekkode, dette er merket både på produkt og emballasje. Det var ønskelig å undersøke mulighetene for å implementere RFID-teknologi på projectiondesigns produkter, for å se hvilke fordeler og muligheter dette kan gi.

Et RFID-system består i sin helhet av en transponder som festes til objektet som skal identifiseres, og en leserenhet som kan registrere transpondere som befinner seg innenfor leserens rekkevidde. Kommunikasjonen mellom leser og transponder skjer trådløst med elektrisk, magnetisk eller elektromagnetisk kobling. Selv om teknologien har vært i kommersiell bruk i over 20 år, er det ikke før i de siste årene at teknologien har blitt mer konkurransedyktig og tatt markedsandeler. Dette er grunnet med kostnadseffektive produksjonsmetoder, nye og bedre standardiseringer og økt utbredelse av RFID-teknologi.

På forespørsel ble et ferdig emballert produkt mottatt fra projection design. Produktet viste seg å ha et metallchassis, og grunnet en antennes egenskaper nær et jordplan ble det ufordende å merke produktet med RFID. Ved å montere ekstra transpondere på emballasjen ble den begrensede rekkevidden for RFID i nærheten av metalliske materialer imøtekommet.

Med grunnlag i undersøkelser gjort av RFID-teori og tilgang på RFID-utstyr, ble det besluttet å gjøre undersøkelser på passiv UHF-teknologi av type «Gen2», som er en utbredt og kostnadseffektiv teknologi med global kompatibilitet. Transponderentypen av type «Rafsec UHF PE IMT» [Tillegg B] og «Intermec ILS00150» [Tillegg E] ble valgt for montering på henholdsvis produkt og emballasje. Måleresultater av rekkevidden for transponder montert på prosjektør er sammenlignet med strålingsegenskapene for antennen, som er målt for en antennemodell av transponderen. Måling av rekkevidde for transponder montert på emballasje er gjort for å imøtekomme den begrensede leseavstanden for transponder montert på prosjektør, og er ikke sammenlignet med analytiske målinger.

Innhold

1	Innledning	1
2	RFID teori	3
2.1	RFID et historisk perspektiv	3
2.2	Fundamental virkemåte for RFID	4
2.3	Prinsipielt om radiokommunikasjon	5
2.3.1	Polarisering	6
2.3.2	Frekvens	6
2.4	Komponenter i et RFID-system	9
2.4.1	Transponder	9
2.4.2	Leser	14
2.5	Operasjonsprinsipper for RFID	17
2.5.1	Nærfelt og fjernfelt	17
2.5.2	Induktiv Kobling	19
2.5.3	Elektromagnetisk kobling	28
2.5.4	Datatransmisjon	37
3	Systembeskrivelse	41
3.1	Eksisterende merkingsmetode	41
3.2	Problembeskrivelse	42
3.3	Problemløsning	44
3.3.1	Dielektrisk materiale	45
3.3.2	Materiale med høy permeabilitet	46
3.3.3	Dielektrisk og absorberende materiale	46
3.4	Valg av spesifikasjoner	46
3.4.1	Koblingsmetode	46
3.4.2	Operasjonsfrekvens	47
3.4.3	Standardisering og klassifisering	47
3.4.4	Leser og transponder	47
3.4.5	Dielektrisk materiale	48
3.4.6	Materiale med høy permeabilitet	48
4	Praktiske målinger	49

4.1	Målemetoder	49
4.1.1	Avstandsmåling	50
4.1.2	Strålingsdiagram	53
4.2	Måleresultater	57
4.2.1	Avstandsmåling	57
4.2.2	Strålingsdiagram	62
5	Diskusjon	69
5.1	Avstandsmålinger	70
5.1.1	Transponder på prosjektør	70
5.1.2	Transponder på emballasje	71
5.2	Strålingsdiagrammer	71
5.3	Sammenligning av måleresultater	72
6	Konklusjon	73
	Referanser	76
A	Utregning av H_{min}	77
B	Rafsec UHF PE IMT	79
C	Intermec IF4 Reader	83
D	Intermec IA36A Antenna	87
E	Intermec Gen2 Excalibur	91
F	ECCOSORB®SOLVER KIT	93

Kapittel 1

Innledning

Slik samfunnet har utviklet seg i det 20. århundre med et stadig økende forbruk, har det fulgt med et behov for effektivisering innenfor logistikk og varemerking. Bedre varemerkingmetoder gir logistikkfordeler som færre ledd, raskere distribusjon og en bedre helhetlig kontroll. En metode som revolusjonerte varemerkingen er strekkoden, hvor den mest anvendte standarden EAN koden (European Article Number) ble designet spesielt for å innfri varehandleres krav på midten av 1970-tallet. Strekkoden dannet et godt fotfeste innen varemerking på 1980-tallet, den har vært bortimot enerådende frem til i dag, og kommer til å være det i mange år fremover. Med stadig høyere krav til blant annet effektivisering og sikkerhet kommer strekkoden begrensninger frem, i form av krav til optisk rekkevidde, begrensning i antall unike ID, og at data i koden ikke kan redigeres etter at de er skrevet på etiketten. Bruk av RFID-teknologi (Radio Frekvens Identifisering) imøtekommer begrensningene til strekkoden, og har utover dette, egenskaper som muliggjør svært høye rekkevidder, måling og logging av eksterne data som temperatur, trykk og støt. Dersom brikken inneholder sensitive data, eller det ikke er ønskelig at andre enn utstederen av produktet skal kunne lese innholdet, kan innholdet kodes eller tilgang til brikken begrenses. De egenskapene som RFID har til fordel for andre merkingsmetoder har ført til at den har tatt markedsandeler. Denne utviklingen har skjedd gradvis, men i økende grad ettersom teknologien blir mer kostnadseffektiv, standardisert og tilgjengelig. RFID fører også med seg nye markeder, det finnes et utall av applikasjoner å benytte teknologien på, og det kommer stadig til nye innovative måter å benytte RFID-teknologi på.

Projectiondesign AS ønsker å se hvilke muligheter de har til å benytte RFID-teknologi, hvordan dette kan implementeres på produktene deres, og se hvilke fordeler dette gir. I dag merkes selve produktet, prosjektøren, med en etikett på undersiden som vist i figur 3.1, i tillegg merkes emballasjen med en etikett på hver langsida som vist i figur 3.2. En RFID-transponder vil ikke erstatte disse etikettene, da de gir en visuell kontroll og kan være påtrykt ulike godkjenninger. Derimot kan informasjonen fra etikettene trykkes på såkalte «smart labels» som inneholder RFID-transpondere.

Det var innledende en problemstilling som var interessant å se på, dette var med en transponder festet på produktet. Denne skulle fungere universelt, slik at den skulle nyttes langs produksjonslinjen, i logistikken, for sikkerhet, og til slutt mot kunden. Det var tenkelig med ulike løsninger der transponderen kunne festes både innvendig og på undersiden av projektoren, eventuelt om transponderen kunne støpes inn i prosjektørens chassis. Dersom dette ikke ville virke tilfredsstillende kunne problemstillingen utvides på den måten at flere transpondere kunne benyttes, det ble gitt stor frihet fra oppdragsgiver til å finne en aktuell løsningsmetode. Med kostbare produkter som ikke produseres i stort antall, slik som hos projectiondesign AS, kan transponderkostnaden per produkt i enklere grad forsvares, enn for et masseprodusert produkt med en mer marginal fortjeneste per enhet.

For å få et grunnlag og god forståelse for RFID ble første mål å sette seg inn i teorien, et godt grunnlag ble også lagt under arbeidet med ADK (Automatisk Dekktrykk Kontroll) prosjektet høsten 2006. Første del av rapporten gir dermed en oversikt over teorien og de grunnleggende prinsippene rundt og om RFID. Videre beskrives den eksisterende merkingsmetoden, en beskrivelse av problemstillingen av å ta i bruk RFID som merkingsmetode, og et forslag til problemløsning. De valg som ble tatt med hensyn på systemparametre ble testet ut ved å foreta analytiske og praktiske målinger. Disse målingene blir deretter analysert og diskutert i et eget kapittel, etterfulgt av en konklusjon for de erfaringer og oppdagelser som er gjort ved oppgaven.

Kapittel 2

RFID teori

De siste årene har RFID blitt et stadig mer aktuelt tema innenfor automatiske identifikasjons prosedyrer (Auto-ID) [1], som skal skaffe informasjon om mennesker, dyr, varer og produkter i gjennomfart. På disse områdene er strekkoden en velkjent og utbredt metode som benyttes over hele verden. Men, strekkoden ansees som en umoderne og utilstrekkelig teknologi for et stadig økende antall problemstillinger og systemløsninger. Større lagringskapasitet, unik identifikasjon, redigeringsmuligheter og fjernmåling gjør RFID til en sterkt voksende teknologi som stadig ser nye markedsområder.

2.1 RFID et historisk perspektiv

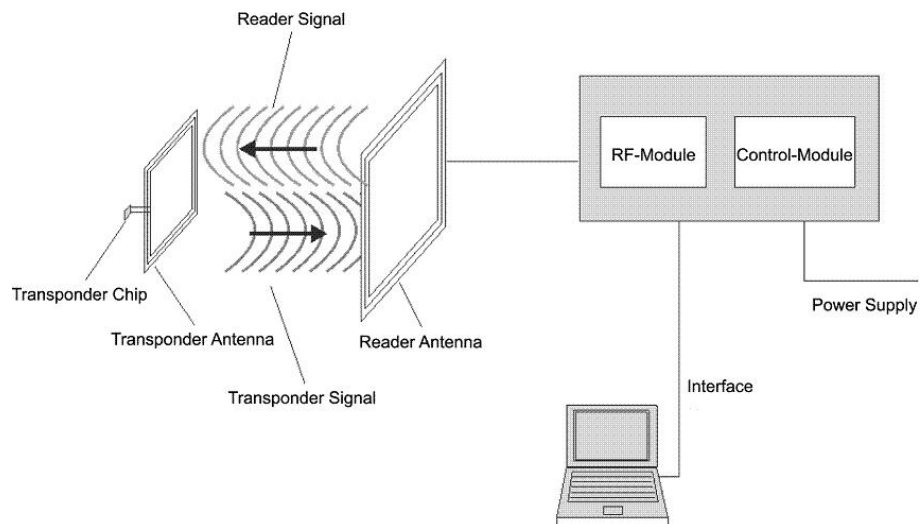
Identifisering av flyttbare objekter ved hjelp av elektromagnetiske bølger har sine røtter helt tilbake til andre verdenskrig, hvor det på denne tiden ble benyttet radar for å advare om atkommende fly. Tyskerne oppdaget at dersom flyene rullet ved atkomst ville det reflekterte radiosignalet forandre karakteristikk, på denne måten kunne fly identifiseres som vennlige eller fiendtlige. Videre under andre verdenskrig ble det utviklet et system kalt «IFF» (Identify Friend or Foe), hvor en senderenhet, når den mottar et radarsignal begynner å sende sin identifikasjon. Disse metodene kan ansees som henholdsvis de første passive og aktive RFID-systemer, og gir en enkel, men innførende ide om virkemåten for RFID. Videre forskning på 1950- og 1960-tallet, gav grunnlag for de første patentregistreringene på RFID teknologi som kom på 1970-tallet. På denne tiden var dette fremdeles en kostbar teknologi, og var først og fremst tenkt rettet mot sikkerhet gjennom kontaktløse nøkler, merking av kjøretøy til logistikk og kontroll, samt merking av dyr. Disse systemløsningene ble tatt i bruk kommersielt på 1980-tallet. [2]

Utviklingen av RFID har fortsatt, og finner stadig nye markedsområder som for eksempel i industrielle applikasjoner, pass, varemerking, heiskort i alpinbakker, m.m [3]. Det er nettopp innenfor varemerking de store markedsandelene ligger, samtidig som det møter store utfordringer innenfor implementering og kostnadseffektivitet. Med RFID som en

erstatte for strekkoden, gis store fordeler til leverandør og sluttbruker. For leverandøren åpner dette for kontinuerlig oversikt over varebeholdning, økt sikkerhet, bedre effektivitet, og mindre grad av bemanning. For sluttbruker gir det økt trygghet, eksempelvis ved smitte gjennom matvarer kan smittekilden spores på en måte som er dramatisk mer effektiv enn ved bruk av konvensjonelle strekkoder. Store bedrifter innen sluttbrukermarkedet som «Wal-Mart og Mark & Spencer» [4] har varslet at de vil kreve RFID-merking av alle varer som selges gjennom butikkene. Disse store massemarkedene har gjort teknologien mer ettertraktet og har brakt flere nye aktører på markedet, dette gir økt konkurranse, billigere teknologi og innovative systemløsninger. Samtidig blir teknologien standardisert, på denne måten er det enklere å få ulike systemer til å fungere sammen.

2.2 Fundamental virkemåte for RFID

Et RFID-system består av en mottakerantenne (transponder) bygget opp av en integrert krets med antenne, og en leserenhet (leser) med antenne. Leseren sender ut elektromagnetiske bølger som mottas av transponderen, hvor energien fra signalet kan drive både den integrerte kretsen og modulering av et retursignal til leseren. Når transponderen benytter energi fra det innfallende signalet til både prosessering av data og forsendelse av retursignal betegnes transponderen som passiv. Dersom transponderen inneholder en strømkilde til prosessering og forsendelse av data betegnes den som aktiv. Det returnerte radiosignalet fra transponderen mottas i leseren, som moduleres til digitale signal som igjen blir prosessert.



Figur 2.1: Enkel illustrasjon av et RFID-system

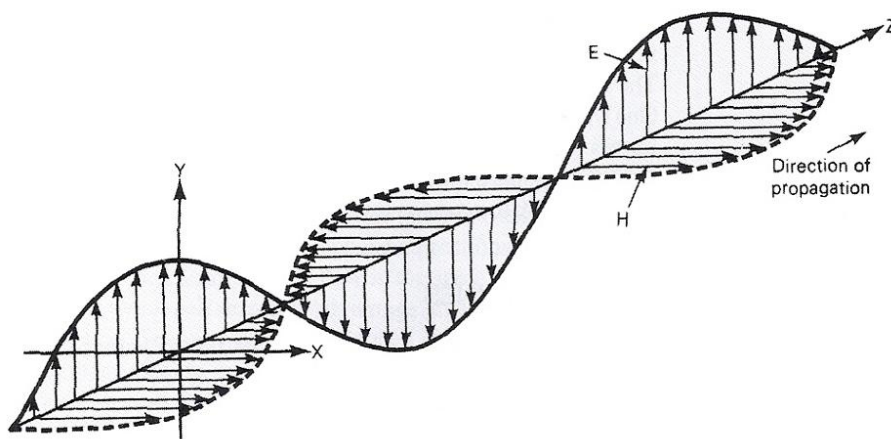
På denne måten kan leseren motta identiteten fra en transponder som er innenfor rekkevidde, et slikt system er illustrert i figur 2.1. Videre eksisterer det muligheter for redigering av data på transponder fra leser, samt måling av verdier fra eksterne sensorer tilkoblet transponderen, avhengig av kompleksitet og teknologivalg.

2.3 Prinsipielt om radiokommunikasjon

Transmisjonsmedia kan kategoriseres styrte og ikke-styrte, hvor fysiske transmisjonsledere som kobber og fiber betegnes som styrte, og trådløse systemer som ikke-styrte. Signalforplantning av elektromagnetiske bølger i et ikke-styrt medium foregår hovedsakelig med radiobølger, men inkluderer også metoder som infrarødt lys, røntgenstråling og gammastråling.

Radiobølger propagerer gjennom fritt rom med samme hastighet som lys, med en hastighet på 300.000 km/s. Et mottatt signals styrke vil være bestemt av retningen det ble utstedt og hindringer som interfererer med signalet gjennom transmisjonen. Videre er valg av frekvens, polarisasjon, antennedimensjoner, modulasjonsmetode og andre spesifikasjoner på sender og mottaker avgjørende for optimal overføring.

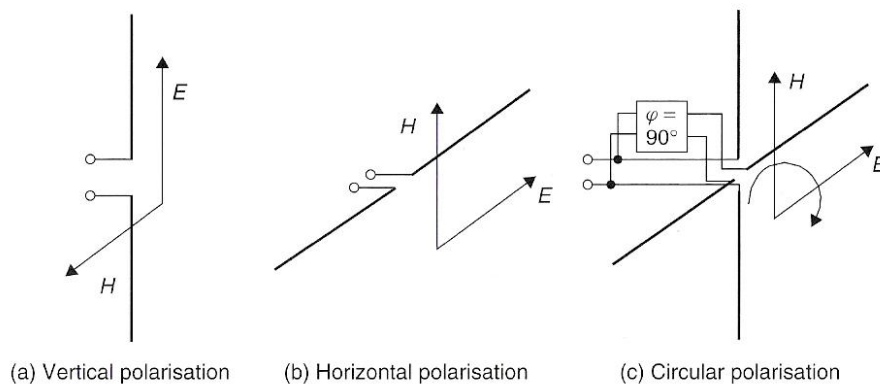
Radiobølger er bygget opp av TEM (transversale elektromagnetiske) bølger, TEM bølger har en forskyvning i det elektriske (E) og magnetiske (H) feltet, som står vinkelrett på hverandre og forplantningsretningen. Dette er illustrert i figur 2.2, hvor E-feltet i y-retning og H-feltet i x-retning står vinkelrett på forplantningen i z-retningen. [5]



Figur 2.2: Transversal elektromagnetisk bølge [6]

2.3.1 Polarisering

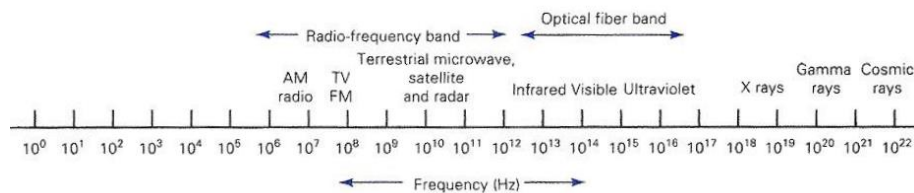
Polariseringen til en plan elektromagnetisk bølge er den elektriske feltvektorens orientering i forhold til horisonten på jordoverflaten. Dersom disse er parallelt orientert, er polarisasjonen horisontal. Dersom den elektriske feltvektoren står vinkelrett orientert på den horisontale retningen, er polariseringen vertikal. Horisontal og vertikal polarisering er orienteringsformer som beskrives som lineært polariserte. Dersom feltvektoren roterer 360° gjennom en bølgelengde og styrken til feltvektoren er uniform gjennom hele rotasjonen, beskrives bølgen som sirkulært polarisert. I tilfeller hvor styrken til feltvektoren ikke er uniform under hele rotasjonen, er bølgen elliptisk polarisert. Disse polariseringsmetodene er illustrert i figur 2.3.



Figur 2.3: Ulike polarisasjonsformer [2]

2.3.2 Frekvens

Radiobølger er elektromagnetiske bølger med en frekvens mellom 30 Hz og 300 GHz. For frekvensbånd høyere enn 300 GHz, er de elektromagnetiske bølgene i form av synlig lys, ultrafiolett lys, røntgen og gammastråling. Dette er illustrert i figur 2.4.



Figur 2.4: Elektromagnetisk fekvensspektrum [6]

En elektromagnetisk bølge utstedt av en kilde forplanter seg i rommet, denne vil i møte med objekter bli delvis absorbert og omgjort til varme. Den resterende delen blir reflektert i ulike retninger med ulik intensitet, hvorav en liten del av den reflekterte energien finner veien tilbake til den opprinnelige kilden. Hvor mye av energien som reflekteres av objektet bestemmes av radartverrsnittet. Dette avhenger av faktorer som objektstørrelse, form, materiale, overflatestruktur, og spesielt bølgelengde. Bølgelengden, λ , til et signal er avhengig av dets frekvens, f , og lysets hastighet, c , som vist i ligning 2.1.

$$\lambda = c/f \quad (2.1)$$

I RFID-systemer kan refleksjonsmetoder benyttes for overføring av data fra transponder til leser. For muliggjøre dette må den fysiske utstrekningen, d , være i samme størrelsesorden som bølgelengden, $0.1 \lambda < d < 10 \lambda$, dette kalles resonansområdet. [2]

Ulike RFID systemer kan operere i frekvensområdet fra 125 kHz til 2.5 GHz. Valg av frekvens i et RFID system vil avhenge av faktorer som krav til rekkevidde, datarate og penetrasjonsevne, samt omgivelser transponderen befinner seg i og dens fysiske utstrekning. Dette er fordi radiobølger oppfører seg ulikt ved ulike frekvenser, slik at den rette frekvensen må velges for den rette applikasjonen.

RFID-systemer opererer i ulike frekvensbånd. De ulike frekvensbåndene gir systemene ulike egenskaper innen rekkevidde, transmisjonshastighet og evnen til å trenge gjennom fysiske hindringer. RFID-systemer opererer i de såkalte «ISM» båndene (Industrial-Scientific-Medical), dette er frekvensbånd avsatt for industrielle, forskningsbaserte og medisinske applikasjoner, for ikke å interferere med sårbare radiosignaler i andre frekvensbånd. RFID opererer i tillegg til ISM-båndene, i frekvensbåndet < 135 kHz. [2]

Frekvensområdet for RFID er hovedsakelig delt opp i fire forskjellige frekvensbånd, lavfrekvens (125-134 kHz), høyfrekvens (13.56 MHz), ultrahøy frekvens (860-960 MHz) og mikrobølge (2.45 GHz).

- Lavfrekvens (LF)
- Høyfrekvens (HF)
- Ultrahøyfrekvens (UHF)
- Mikrobølge (MW)

2.3.2.1 Lavfrekvens (LF)

Frekvensbånd avsatt mellom 30 og 300 kHz. RFID-systemer i dette båndet opererer ved frekvenser fra 125 - 134 kHz, og inngår ikke i ISM-båndene. LF-teknologi opererer med lav datarate, er energieffektiv og presterer godt i nærheten av metalliske og vannholdige materialer. Er tilnærmet enerådende ved induktivt koblede systemer, rekkevidde < 0.1 m. i Norge. I Norge er maksimal tillatt utstrålt effekt er for dette båndet 72 dB $\mu A/m$ [7].

2.3.2.2 Høyfrekvens (HF)

Området er definert fra 3 - 30 MHz, og det mest utbredte underbåndet opererer fra 13.553 til 13.567 MHz. HF-teknologi krever høyere effekt en LF teknologi, og har til gjengjeld større rekkevidde og høyere datarate. Systemer i HF-båndet har dårligere prestasjoner i nærheten av metalliske og vannholdige materialer. Benyttes hovedsakelig i induktivt koblede systemer, og har en rekkevidde rundt 1 m. I Norge er maksimal tillatt utstrålt effekt er for dette båndet $42 \text{ dB } \mu\text{A}/\text{m}$ ved 10 m [7].

2.3.2.3 Ultrahøyfrekvens (UHF)

Dette er det mest utbredte frekvensbåndet for RFID-systemer, og opererer hovedsakelig ved frekvensene 868 MHz (Europa) og 915 MHz (USA). Høyere frekvens krever gjennomgående høyere effekt, og prestasjonene rundt metalliske og væskeholdige materialer forverres mot systemer med lavere frekvenser. I dette frekvensområdet benyttes hovedsakelig elektromagnetisk kobling, men det eksisterer systemer som kombinerer dette med induktiv kobling. Passive transpondere vil ha en rekkevidde $< 10 \text{ m}$, mens aktive transpondere har en potensiell rekkevidde $\gg 10 \text{ m}$. Maksimal tillatt utstrålt effekt er for dette båndet 500 mW , ERP ved 10% driftssyklus i Norge [7]. I følge post- og teletilsynet [8] skal denne grensen i løpet av våren 2007 heves fra 500 mW til 2 W .

2.3.2.4 Mikrobølge (MW)

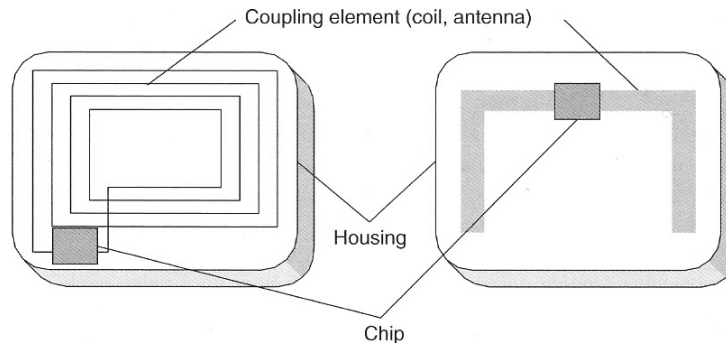
Teknologien i dette frekvensområdet er 2.5 GHz, mens 5.8 GHz er mindre brukt. MW-teknologien brukes enerådende for aktive systemer, der det kreves høy rekkevidde og datarate. Rekkevidden for et aktivt RFID-system i MW-båndet vil kunne være $\gg 100 \text{ m}$. I Norge er maksimal tillatt utstrålt effekt for dette båndet 500 mW ERP [7].

2.4 Komponenter i et RFID-system

Den grunnleggende virkemåten for et RFID-system er kort beskrevet i kapittel 2.2, samtidig som de ulike komponentene i et slikt system ble introdusert. I dette kapitlet blir de ulike systemkomponentene presentert på en mer utdypende måte med fokus på funksjon og oppbygning.

2.4.1 Transponder

I et RFID-system er transponderen det objektet som skal identifiseres, som oftest plassert på en gjenstand. Transponderen er bygget opp av flere komponenter, i hovedsak antenne, integrert krets, minne, innkapsling. Dette er illustrert i figur 2.5, til venstre en induktivt koblet transponder med en sirkulærformet antenne, til høyre en elektromagnetisk koblet transponder med en dipolformet antenne. Induktivt og elektromagnetisk koblede systemer er nærmere beskrevet i kapittel 2.5.2 og 2.5.3. Antenneutførelsen bestemmes av koblingsmetode og frekvensvalg, og bestemmer i stor grad utførelsen på transponderen, valg av frekvens mot antennestørrelse er nærmere beskrevet i kapittel 2.5.2.1 og 2.5.3.1. Noen transpondere kan også være utstyrt med sensorer. Disse kan loggføre, eller direkte avlese variable som temperatur, trykk, støt og luftfuktighet. På denne måten kan varer i ulike segmenter overvåkes fra de forlater produsenten, helt frem til den lokale leverandøren, og i noen tilfeller helt hjem til sluttbrukeren.

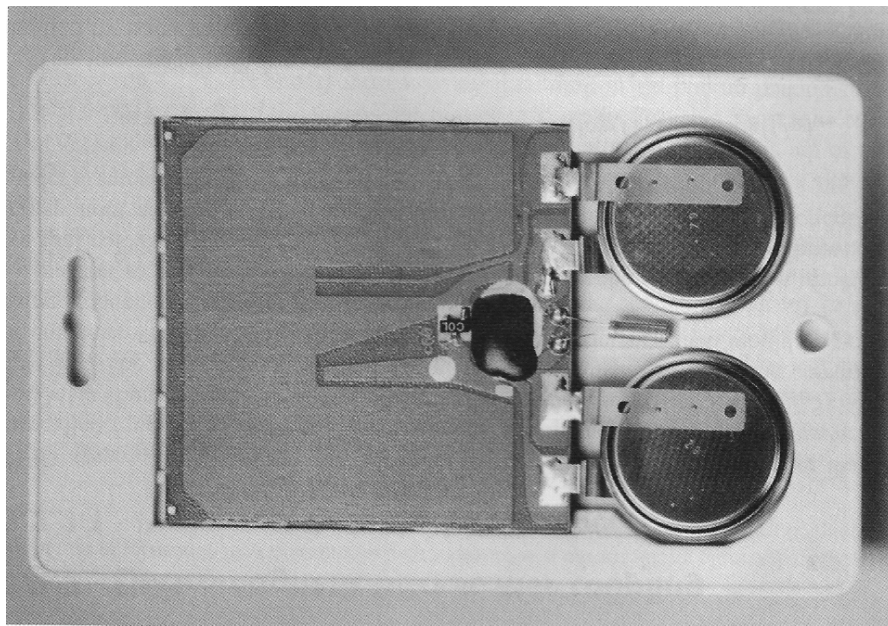


Figur 2.5: Grunnleggende layout for RFID-transpondere [2]

2.4.1.1 Aktive og passive transpondere

Transponderen er avhengig av tilført energi for å kunne prosessere data, gjøre eventuelle målinger av eksterne variable og sende data tilbake til leseren. Transpondere som forsynes med strøm fra en intern batterikilde betegnes som aktive, hvor strømmen fra den interne kilden benyttes til dataprosessering, målinger og forsendelse. Aktive transpondere

er en kostbar teknologi med store bruksmuligheter. Den benyttes mye innen sporing og oppfølging av objekter i bevegelse over større distanser. Kontinuerlig energiforsyning gir muligheter for logging av data fra sensorer, også når transponderen er utenfor leserens energifelt. Dersom logging og sending av informasjon foregår kontinuerlig begrenses brikkens levetid til noen måneder, mens transpondere som ligger i hvilemodus inntil et tidsintervall eller oppkall fra leserenhet, kan ha en levetid opptil 10år [2]. En aktiv transponder er vist i figur 2.6, der den interne batterikilden kommer tydelig frem.



Figur 2.6: Aktiv transponder med batterikilde [2]

Dersom transponderen ikke inneholder noen intern energikilde betegnes den som passiv, og den nødvendige energien trekkes ut av feltet som leserenheten sender ut. Denne energien benyttes til å styre logikken i transponderen, samt å sette opp et felt i antennen og sende informasjon tilbake til leserenheten. Denne teknologien er den absolutt mest utbredte, grunnet sin lave produksjonskostnad kan den plasseres på produkter med store produksjonstall, uten at det går nevneverdig utover prisen til sluttbruker. Bruk av RFID vil også tilføre økonomiske fordeler for leverandøren av produktet, at den økte utgiften ved bruk av RFID kan forsvares og kanskje kompenseres i andre ledd. Semi-passive transpondere er en kombinasjon av teknologien i passive og aktive transpondere, hvor et batteri styrer den interne logikken og eventuelle sensorer, mens kommunikasjonen foregår med energi trukket fra leserenhetens utstedte felt.

2.4.1.2 Minne

Den integrerte kretsens oppgave er å modulere inngangssignalene som mottas på antennen, de modulerte datasignalene prosesseres så for videre behandling. Data kan dermed leses fra, og eventuelt skrives til det integrerte minnet. Videre moduleres ønsket informasjonsdata til forsendelse fra transponderantennen. I hovedsak benyttes tre former for lagring av data i transponderen, disse minnetypene og deres egenskaper er «Electrically Erasable Programmable Read Only Memory» (EEPROM), «Ferromagnetic Random Access Memory» (SRAM) og «Static Random Access Memory» (SRAM). [2]

EEPROM:

- Mest utbredte lagringsmetode
- Antall omprogrammeringer begrenset til 100 000 - 1 000 000
- Høyt strømforbruk

SRAM:

- Utbredt i mikrobølgesystemer
- Krever konstant energitilførsel
- Raske skrivesykluser
- Tilnærmet ubegrenset antall omprogrammeringer

FRAM:

- På forsøksstadiet, ikke utbredt
- Kan redusere strømforbruket med faktor 100 i forhold til EEPROM
- Kan redusere skrive tiden med faktor 1000 i forhold til EEPROM
- Tilnærmet ubegrenset antall omprogrammeringer

2.4.1.3 Intern logikk

For programmerbare systemer må skrive og lesetilgang kontrolleres av en intern logikk. Logikken kan realiseres med tilstandsmaskiner, ulempen med denne type logikk er at den er fastlåst på et fysisk nivå. Forandringer i programfunksjoner må utføres på kretsnivå med nytt design og påfølgende kostnader. Løsningen er å benytte mer intelligent krets, mikroprosessen. Slike kretser leveres med et operativsystem, med enkel tilgang til programforandringer for ulike applikasjoner. Ikke alle transpondere inneholder en integrert krets, mikroprosessor og minne. Såkalte 1-bits transpondere er konstruert for kun å

påvirke et påtrykt felt, slik at en tilstedeværende transponder kan detekteres. Slike 1-bits transpondere benyttes hovedsakelig i anti-tyveri systemer og er svært kostnadseffektive.

2.4.1.4 Transponderformater

Transponderen kommer mange ulike formater, for å kunne tilpasses forskjellige applikasjoner. Skive og kvadratformede innkapslinger i plast er robuste løsninger, disse er mye brukt innenfor tyverisikring og merking av større gjenstander som containere innenfor logistikk. For id-merking av dyr benyttes glasstransponderen, denne inneholder en RFID-transponder og implementeres under huden. «ID-1» [9] standarden er formatet som benyttes for blant annet kredittkort, ID-kort og såkalte «smart card» (smarkort) [2]. «ID-1» formatet kombinert med RFID-teknologi gir kontaktløse smartkort. Smartkort inneholder minne og en prosesseringsenhet, og er dermed godt egnet for RFID-teknologi. Utforming er fordelaktig for induktivt koblede systemer, grunnet dens store areal for antennesløyfer. RFID-teknologi kan også implementeres på papirtynne etiketter, som igjen kan påtrykkes visuell informasjon. Disse etikettene er omtalt som «smart labels», er svært fleksible og kan leveres i store antall på rull. Med mulighet til å overskrive data kan datainnholdet refereres til strekkoden til produktet som merkes. Transponderen kommer også i flere ulike formater, i nøkler og klokker for eksempel til adgang til henholdsvis biler og ski anlegg. Et utvalg av RFID-transpondere som ble benyttet i oppgaven er vist i figur 2.7



Figur 2.7: Forskjellige transponderformater som var tilgjengelig i oppgaven

2.4.1.5 Standardiseringer

Ulike organisasjoner har som oppgave å standardisere teknologier og handel, ledende aktører for de respektive er henholdsvis «ISO» (International Organization for Standardization) [10] og «GS1» (Global Standards One) [11]. «GS1» har som mål er å utvikle standardiseringer for varehåndtering i distribusjonsnettverk, og står blant annet bak standarden «UPC» (Universal Product Code), også kjent som strekkoden. En underorganisasjon av «GS1», «EPCglobal Inc.» [12], jobber for å utvikle standardiseringer for elektronisk varemerking, kalt «EPC» (Electronic Product Code) ved bruk av RFID. «EPCglobal Inc.» er satt sammen av abonnerende aktører i bransjer som fokuserer på en global standardisering for «EPC». Den elektroniske produktkoden er en streng på 96 bit, og er bygget opp på følgende måte [13]:

- Header: 8 bit
- Produsent: 24 bit
- Produktnummer: 24 bit
- Serienummer: 40 bit

Produktnummerering med «EPC» overgår eksisterende strekkodemetoder som «UPC» og «EAN» i produktmerking. «EPC» kan tilegne hvert eneste produkt en identitet, der strekkodemetoder begrenser merkingen til ulike typer produkter. «EPC» muliggjør sporing av individuelle produkter, slik at informasjon om hvert produkt blir tilgjengelig. Denne informasjonen kan være nyttig for produsent, distributør, forhandler og eventuelt i fremtiden for brukeren dersom lesere blir lett tilgjengelig.

2.4.1.6 Klassifiseringer

«EPCglobal Inc.» har lagt frem et klassifiseringssystem for transponderytelsler til elektromagnetisk koblede systemer, dette er utviklet i samarbeid med «MIT auto-ID lab» [14], og klassifiserer RFID-transpondere basert på funksjonalitet og ytelse [15]. Versjoner av klasser blir videre delt opp i generasjoner, og klassene er spesifisert på følgende måte:

Class 1 & 0: EPCglobal Standard bekreftet i 2004

- Passive RFID-transpondere
- Frekvensbånd HF/UHF
- Lav kostnad

Class 2: EPCglobal planlegger dokumentasjonsgruppe

- Passive ID-transpondere
- Frekvensbånd UHF
- Høy sikkerhet
- Lav kostnad

Class 3: Planlagt EPCglobal standard

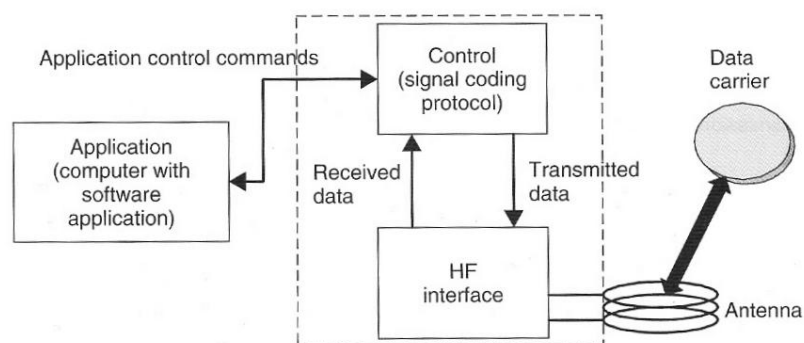
- Semi-aktive transpondere
- Økt funksjonalitet på transponder
- Moderat kostnad

Class 4: Planlagt EPCglobal standard

- Aktive transpondere
- Transponder kan kommunisere uavhengig av leser
- Høy kostnad

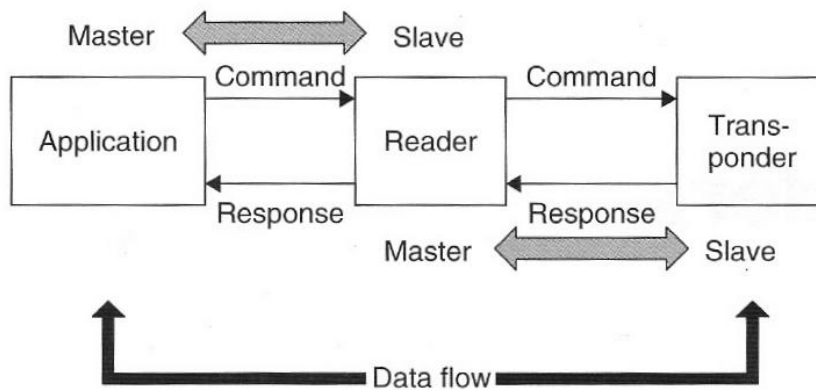
2.4.2 Leser

For å kunne lese fra og skrive til en transponder benyttes en leserenhet. Denne består i hovedsak av fire elementer, brukergrensesnitt, prosesseringsenhet, radiogrensesnitt og antenneenhet. Et diagram av en leser, bestående av disse hovedelementene er illustrert i figur 2.8.



Figur 2.8: Hovedelementer i en leserenhet [2]

Det finnes mange ulike former for lesere, i noen tilfeller er brukergrensesnittet integrert i samme enhet som leserantennen, slik at leseren blir portabel. Ellers kan en leserenhet bestående av prosesseringsenhet, radiogrensesnitt og antenne, kobles til et brukergrensesnitt i form av et datasystem. I et slikt system har brukergrensesnittet kontroll over leserenheten, som igjen har kontroll over transponderen, et prinsipp som er illustrert i figur 2.9.



Figur 2.9: Skisse for dataflyt mellom transponder og leser [2]

Lesere kan deles opp etter hvor intelligente de er, og er i «RFID Journal» [16] delt opp i tre ulike grupper. Dumme, behendige og intelligente lesere. Den dumme og enkleste leseren opererer kun ved en frekvens og en type kommunikasjonsprotokoll, slike lesere har svært liten prosesseringskraft, data kan ikke lagres og lesninger ikke filtreres. Dette er en primitiv RFID-teknologi som for eksempel benyttes innenfor merking av dyr. Mer behendige lesere vil i motsetning til dumme virke for ulike frekvenser og protokoller, mens intelligente lesere også kan kjøre applikasjoner og filtrere data.

RFID-lesere kommer i ulike formater. I figur 2.10 er en portabel håndholdt enhet vist til venstre, mens en stasjonær lesestasjon er vist til høyre.



Figur 2.10: Figuren viser til venstre en håndholdt RFID-leser, og til høyre et stasjonært RFID-system [17] [18]

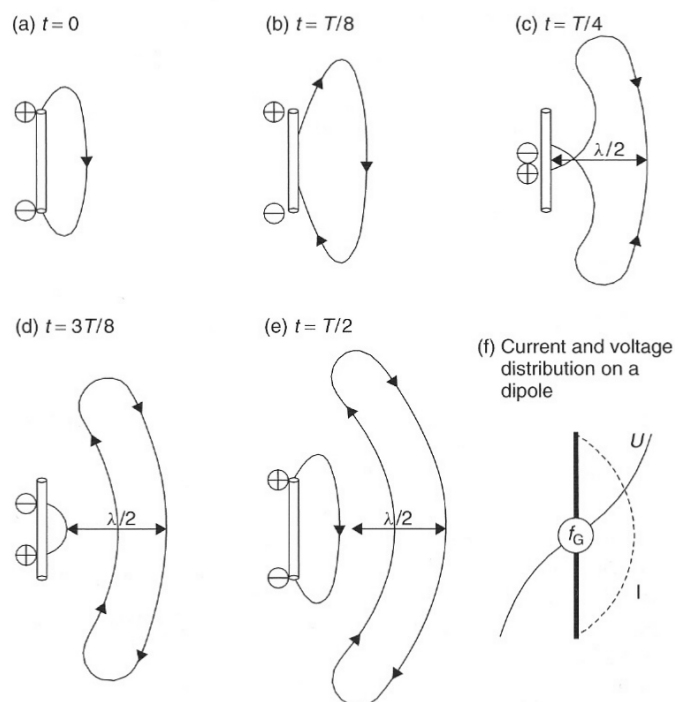
2.4.2.1 Kommunikasjonsprosedyrer

I et RFID system med flere leserenheter kan dekningsområdene overlappe hverandre, dersom en transponder finnes i dette området kan leserne interferere med hverandre og lesing av transponderen vil ikke utføres. For å unngå dette kan TDMA (Tids Deling Multipel Aksess) benyttes, slik at leserne er operative i hver sine tidsperioder fremfor å være det samtidig. En annen metode for å unngå leserkollisjon er kanalhopping, leserne hopper mellom ulike kanaler i frekvensspekteret og kan lytte om kanalen er ledig før den benyttes. Til tross for disse antikollisjonsmetodene vil en transponder som befinner seg i et slikt risikere å bli lest to ganger, for å unngå dette må programvaren i systemet settes opp slik at en transponder ikke registreres to ganger.

2.5 Operasjonsprinsipper for RFID

2.5.1 Nærfelt og fjernfelt

I en avstand $\lambda/2\pi$ fra en strålende kilde eksisterer det en overgang for det utstrålte feltet. Som illustrert i figur 2.11 vil det elektromagnetiske feltet ha en kobling til kilden det utstedes fra helt til denne overgangen, dette kalles nærfeltet. Deretter separeres feltet fra kilden og danner en elektromagnetisk bølgefront som forplanter seg i rommet, bølgen befinner seg nå i fjernfeltet. Når feltet har separert seg fra kilden kan ikke kilden lenger påvirkes direkte gjennom påvirkning av feltet, i stedet må den utstedte bølgen påvirkes og reflekteres tilbake til kilden, dette er kjent som tilbakespredning.



Figur 2.11: Hvordan en elektromagnetisk bølge skiller seg fra kilden [2]

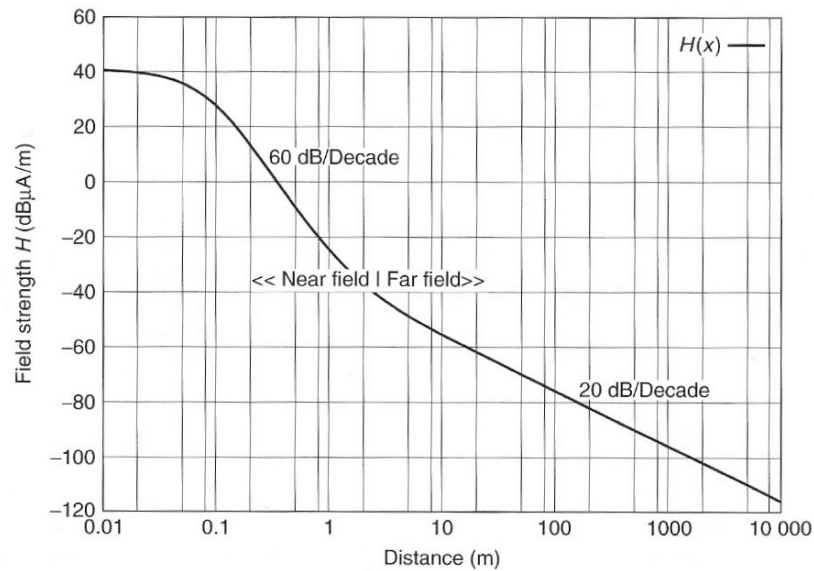
Avstanden til overgangen fra nærfelt til fjernfelt er gitt av likning 2.2.

$$R = \frac{\lambda}{2\pi} \quad (2.2)$$

Likning 2.2 kan omskrives til likning 2.3 ved å sette $\lambda = c/f$, hvor lyshastigheten $c \approx 3 \cdot 10^8$ og frekvensen har betegnelsen f .

$$R = \frac{c}{2\pi f} \quad (2.3)$$

Hvor mye av feltstyrken til et signalet dempes avhenger av avstanden til kilden det ble utstedt fra. I nærfeltet, når avstanden til kilden $R \ll \lambda/2\pi$ vil feltstyrken falle av proporsjonalt med $1/R^3$, tilsvarende -60dB/dekade. I fjernfeltet, når avstanden til kilden $R \gg \lambda/2\pi$ vil feltstyrken falle av med $1/R$, tilsvarende -20dB/dekade. I overgangen mellom nærfelt og fjernfelt faller feltstyrken av proporsjonalt med $1/R^2$, hele dempningskarakteristikken er illustrert i figur 2.12.



Figur 2.12: Graf av feltstyrken, H , som funksjon av avstanden i overgangen nærfelt/fjernfelt [2]

Ved å sette inn verdier for typiske RFID-frekvenser i 2.2 får man følgende overganger fra nærfelt til fjernfelt, vist i tabell 2.1.

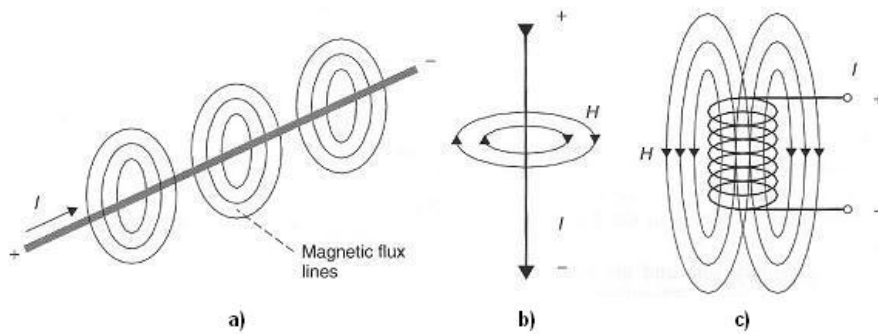
Operasjonsfrekvens, f	Bølgelengde, λ	Overgang, R
LF 135 kHz	2400 m	382 m
HF 13.56 MHz	22.1 m	3.5 m
UHF 868 MHz	0.35 m	0.055 m
MW 2.45 GHz	0.12 m	0.019 m

Tabell 2.1: Bølgelengde og avtand til fjernfelt for ulike frekvenser

Fra tabell 2.1 kommer det frem at systemer som opererer i frekvensbåndene LF og HF får en overgang fra nærfelt til fjernfelt som ligger et stykke unna kilden. I nærfeltet er det magnetiske feltet dominant, og det elektromagnetiske feltet tilnærmes som rent magnetisk, kalt induktivt. Av tabell 2.1 kan det observeres at R synker drastisk fra HF til UHF, slik at induktivt koblede systemer kun egner seg for frekvenser i HF området og lavere. I induktivt koblede systemer blir avstanden R til fjernfeltet den uoverstigelige rekkevidden. RFID-systemer som opererer i frekvensbåndene UHF og MW får en overgang til fjernfeltet som ligger nært kilden, disse systemene opererer i fjernfeltet ved hjelp av tilbakespredning. Slike elektromagnetisk koblede systemer har ingen øvre uoverstigelige rekkevidde og feltet faller av med $1/R$, koblingsmetoden egner seg derfor blant annet for applikasjoner der rekkevidde er en viktig.

2.5.2 Induktiv Kobling

Formler og utledninger presentert i kapittel 2.5.2 er basert på teori presentert i [2]. En strømførende leder vil utstede magnetiske flukslinjer som illustrert i figur 2.13 a). Styrken til det magnetiske feltet betegnes som magnetisk feltstyrke og har benevnningen H , dette er vist i figur 2.13 b) og c).

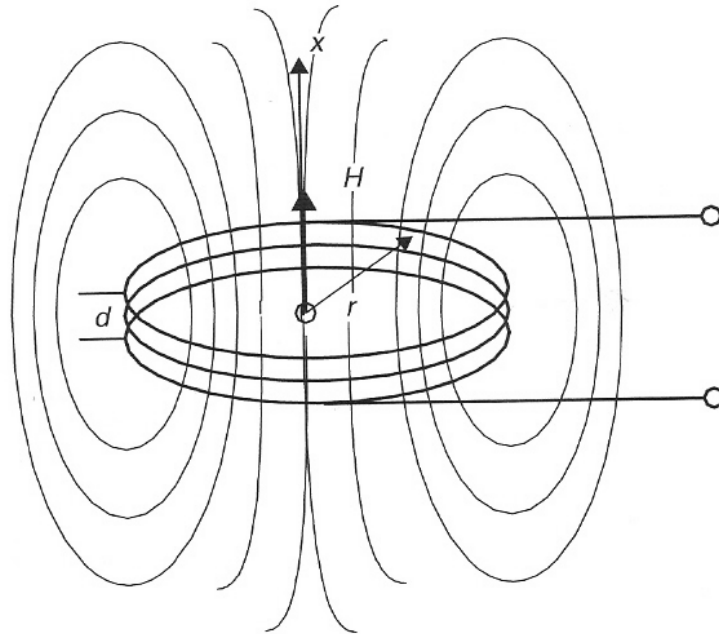


Figur 2.13: a) viser en strømførende linje med flukslinjer, b) med benevnning for fluksstyrke, c) fluksstyrken rundt en strømførende sløyfe [2]

Ligning 2.4 beskriver den totale strømmen i en leder, her som kurveintegralet av den magnetiske feltstyrken gjennom en lukket sløyfe. Denne ligningen kan videre benyttes til beregning av feltstyrken for ulike typer ledere.

$$\sum I = \oint \vec{H} \cdot \vec{ds} \quad (2.4)$$

For induktivt koblede systemer benyttes blant annet sirkulære sløyfer som antenner, dette er vist i figur 2.4 c). En slik sløyfe med feltstyrken langs x-aksen er vist i figur 2.14, og har dimensjoner med betegne, høyden d , radius r og antall vindinger N .



Figur 2.14: Liten sløyfeantenne med illustrerte dimensjoner [2]

Ligning 2.5 kan benyttes for å beregne feltstyrken langs x-aksen til en sirkulær sløyfe som vist i figur 2.14. For at ligning 2.5 skal være gjeldende må følgende grensebetingelser være oppfylt: $d \ll R$ og $x < \lambda/2\pi$, der d er høyden på spolen, R er antenneradiusen, og x er avstanden fra sentrum av spolen.

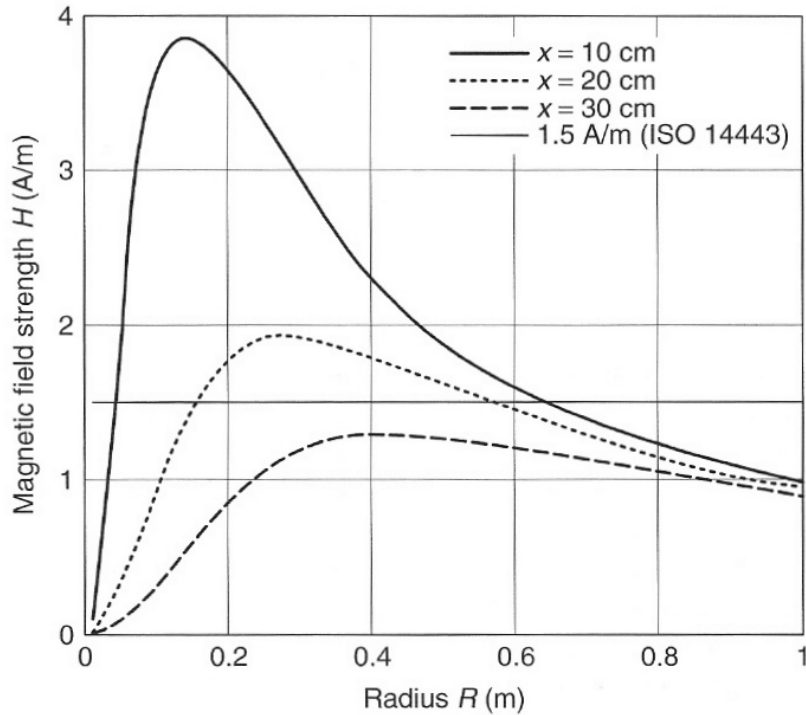
$$H = \frac{I \cdot N \cdot R^2}{2 \cdot \sqrt{(R^2 + x^2)^3}} \quad (2.5)$$

Ved distansen $x = 0$, i sentrum av spolen kan ligning 2.5 forenkles til ligning 2.6

$$H = \frac{I \cdot N}{2 \cdot R} \quad (2.6)$$

2.5.2.1 Optimal antennediameter

Dersom en befinner seg en ved en bestemt avstand i x-retningen fra en antenne med konstant strøm, I , gjennom sløyfen, og varierer radiusen, r , på sløyfen, vil det for en bestemt antennedimensjon være en maksimal magnetisk feltstyrke H . Dette betyr at det for enhver leseavstand eksisterer en optimal antennedimensjon. Dette er illustrert i figur 2.15, hvor de ulike kurvene viser til forskjellige leseavstander.



Figur 2.15: Feltstyrken H til en antenne ved en fast avstand, x , og variabel radius r , hvor $I = 1$ A og $N = 1$ [2]

Den optimale antenneradiusen beregnes matematisk ved å derivere H fra ligning 2.5 med hensyn på r som vist i likning 2.7.

$$H'(R) = \frac{d}{dR} H(R) = \frac{2 \cdot I \cdot N \cdot R}{\sqrt{(R^2 + x^2)^3}} - \frac{3 \cdot I \cdot N \cdot R^3}{(R^2 + x^2) \cdot \sqrt{(R^2 + x^2)^3}} \quad (2.7)$$

Dette gir vendepunkt og maksimalverdi for funksjonen $H(r)$ ved følgende nullpunkter av den deriverte $H'(R)$ ved: $R = \pm x \cdot \sqrt{2}$

Den optimale antenneradiusen er dermed $\sqrt{2}$ ganger den maksimale leseavstanden, det andre nullpunktet er negativt fordi det magnetiske feltet propagerer i begge x -retninger.

2.5.2.2 Energirekkevidde

Den maksimale rekkevidden for en transponder, hvor det eksisterer et felt sterkt nok slik at transponderen kan operere, kalles energirekkevidden. Denne rekkevidden, x , er gitt av ligning 2.8. Samtidig, vil et fungerende RFID-system være avhengig av at den maksimale rekkevidden samsvarer med rekkevidden fra transponder til leser.

$$x = \sqrt{\sqrt[3]{\left(\frac{I \cdot N_1 \cdot R^2}{2 \cdot H_{min}}\right)^2} - R^2} \quad (2.8)$$

Antennestrømmen i leserantennen har benevning I , radiusen til senderantennen er gitt som R , og antall antennevindinger som N_1 . Den minimale feltstyrken transponderen kan operere ved har benevning H_{min} , for å finne H_{min} må noe grunnleggende teori presenteres.

Magnetisk flukstetthet, B , er definert som de magnetiske feltlinjene skapt av H-feltet som illustrert i figur 2.13 c). Flukstettheten er gitt av ligning 2.9, der μ_0 er permeabiliteten i vakuum, og μ_r beskriver permeabiliteten til materialet som befinner seg i feltet relativt til μ_0 .

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H = \mu H \quad (2.9)$$

Det totale antallet flukslinjer gjennom et areal betegnes som magnetisk fluks, Φ , hvor arealet har benevnelsen A , og uttrykkes som i ligning 2.10.

$$\Phi = B \cdot A \quad (2.10)$$

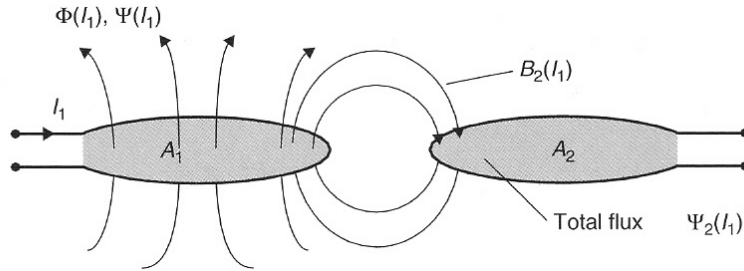
En strømførende sløyfe består oftest av flere antall vindinger med likt areal, disse har henholdsvis benevningene N og A . Hver vinding bidrar med like mye magnetisk fluks, og den totale fluksen, Ψ , er vist i likning 2.11.

$$\Psi = \sum_N \Phi_N = N \cdot \Phi = N \cdot \mu \cdot H \cdot A \quad (2.11)$$

Forholdet mellom den totale fluksen som oppstår i et areal begrenset av den strømførende sløyfen, og strømmen i sløyfen, kalles selvinduktans. Dette beskriver hvordan et magnetfelt også vil indukere strøm i den samme lederen som skapte feltet. Selvinduktansen har benevning, L , og er gitt av likning 2.12.

$$L = \frac{\Psi}{I} = \frac{N \cdot \Phi}{I} = \frac{N \cdot \mu \cdot H \cdot A}{I} \quad (2.12)$$

Dersom to sløyfer befinner seg i nærheten av hverandre, kan disse virke induserende på hverandre. Som vist i figur 2.16 vil en strøm, I_1 , flyte gjennom spole 1, og skape en total magnetisk fluks gjennom arealet A_1 . Noe av denne fluksen vil også gå gjennom arealet A_2 , og skape en indusert strøm I_2 i denne sløyfen. Denne påvirkningen kalles for gjensidig induksjon, M_{21} , og er gitt av likning 2.13.



Figur 2.16: Definisjonen av gjensidig induksjon M_{21} for to spoler gjennom delvis magnetisk flyt [2]

$$M_{21} = \frac{\Psi_{21}(I_1)}{I_1} = \oint_{A_2} \frac{B_2(I_1)}{I_1} \cdot dA_2 \quad (2.13)$$

På samme måte er det en gjensidig induktans M_{12} , hvor strømmen nå flyter i L_2 og induserer en strøm i sløyfen L_1 . Følgende forhold gjelder:

$$M = M_{12} = M_{21} \quad (2.14)$$

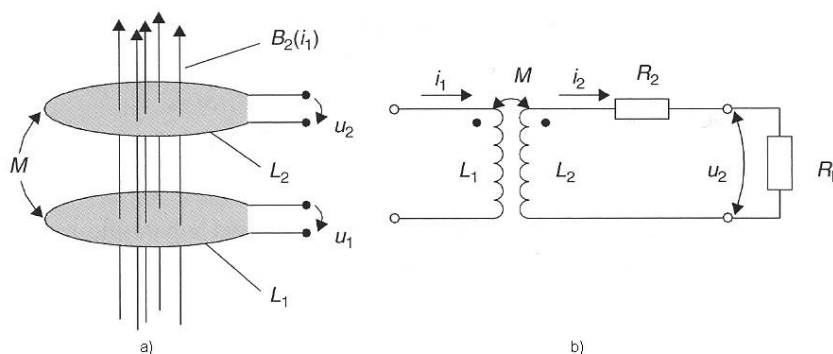
Den gjensidige induktansen i likning 2.13 kan omregnes til likning 2.15. For å benytte denne analytiske beregningen, kreves det at feltet er homogent. For at dette skal være oppfylt må $A_2 \leq A_1$, videre må antennene være parallellt plassert med sentrum på en felles x-akse, som vist i figur 2.17 a).

$$M_{12} = \frac{B_2(I_1) \cdot N_2 \cdot A_2}{I_1} = \frac{\mu_0 \cdot H(I_1) \cdot N_2 \cdot A_2}{I_1} \quad (2.15)$$

Ved å erstatte $H(I_1)$ uttrykt i likning 2.15 med likning 2.5, og sette inn $R^2 \cdot \pi$ for arealet A får en følgende ligninger. For M_{12} likning 2.16 der $A_2 \leq A_1$, og grunnet forholdet $M = M_{12} = M_{21}$ blir M_{21} gitt som likning 2.17 der $A_2 \geq A_1$.

$$M_{12} = \frac{\mu_0 \cdot N_1 \cdot R_1^2 \cdot N_2 \cdot R_2^2 \cdot \pi}{2 \cdot \sqrt{(R_1^2 + x^2)^3}} \quad (2.16)$$

$$M_{21} = \frac{\mu_0 \cdot N_1 \cdot R_1^2 \cdot N_2 \cdot R_2^2 \cdot \pi}{2 \cdot \sqrt{(R_2^2 + x^2)^3}} \quad (2.17)$$



Figur 2.17: a) viser magnetisk koblede sløyfer med senter i felles x-akse, b) viser ekvivalent kretsdiagram til koblingen i a). [2]

Et induktivt koblet system, kan i enkelhet representeres ved figur 2.17 b). Spenningen over brikken i transponderen er representert som u_2 , leserantennen som L_1 , transponderantennen som L_2 , spolemotstanden i transponderen som R_2 , og strømforbruket i brikken gjennom R_L . Ved denne figuren, og Faradays lov i likning 2.18, utledes spenningen over transponderbrikken som likning 2.19.

$$u_i = \oint E_i \cdot ds = -\frac{d\Psi(t)}{dt} \quad (2.18)$$

$$u_2 = +\frac{d\Psi_2}{dt} = M\frac{di_1}{dt} - L_2\frac{di_2}{dt} - i_2R_2 \quad (2.19)$$

Ettersom i_1 og i_2 er alternerende sinuskurver kan likning 2.19 skrives som likning 2.20, hvor $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$.

$$u_2 = j\omega M \cdot i_1 - j\omega L_2 \cdot i_2 - i_2 R_2 \quad (2.20)$$

Ved å erstatte i_2 med u_2/R_L i likning 2.20 får en følgende likning:

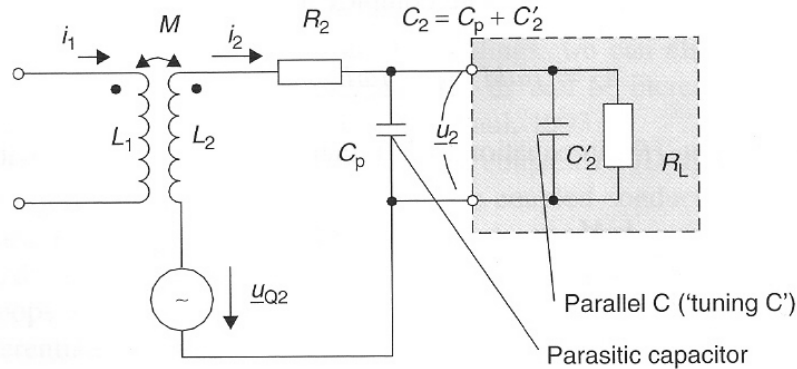
$$u_2 = \frac{j\omega M \cdot i_1}{1 + \frac{j\omega L_2 + R_2}{R_L}} \quad (2.21)$$

Følgende betingelser gjelder for likning 2.21. $R_L \rightarrow \infty : u_2 = j\omega M \cdot i_1$, $R_L \rightarrow 0 : u_2 \rightarrow 0$.

Spenningen u_2 i figur 2.17 b) skal forsyne kretsen i en passiv transponder med energi. En betydelig bedring i effektivitet kan oppnåes dersom kretsen utvides med en kondensator, C_2 , i parallell med spolen L_2 . Dette skaper en krets i resonans med en resonansfrekvens som tilsvarer operasjonsfrekvensen til RFID-systemet. Resonansfrekvensen finnes ved «Thomson ligningen», vist i likning 2.22.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 \cdot C_2}} \quad (2.22)$$

Kondensatoren C_2 består av en parallell kapasitans, C'_2 , og en parasittisk kapasitans C_p fra kretsen som vist i figur 2.18. Den reelle kondensatoren som må plasseres i kretsen vil da være som vist i likning 2.23, og u_2 finnes nå som likning 2.24.

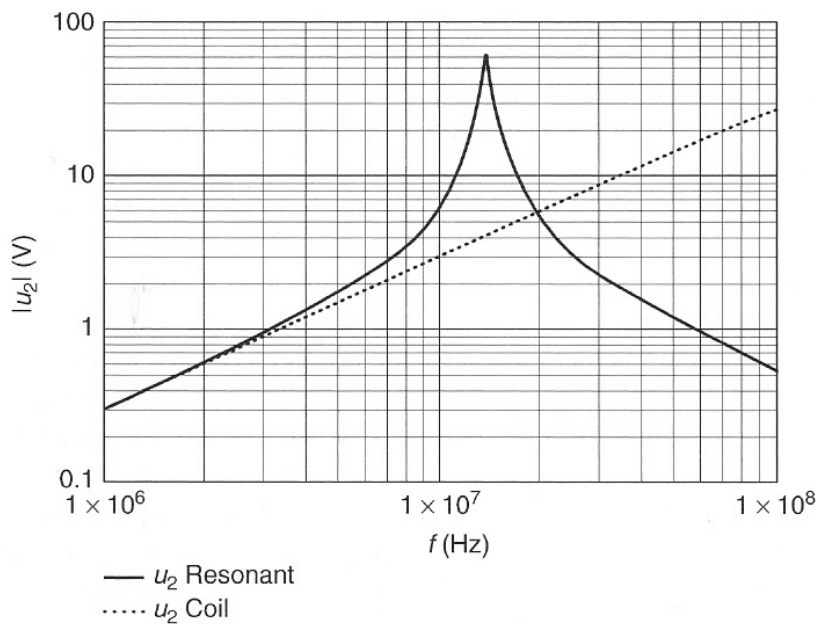


Figur 2.18: Ekvivalent krets for induktivt koblet system med resonanskrets i transponderen. [2]

$$C'_2 = \frac{1}{(2\pi f)^2 L_2} - C_p \quad (2.23)$$

$$u_2 = \frac{u_{Q2}}{1 + (j\omega L_2 + R_2) \cdot \left(\frac{1}{R_L} + j\omega C_2\right)} \quad (2.24)$$

Forbedringen av spenningen u_2 over brikken i transponderen ved bruk av resonanskrets kommer tydelig frem av kurvene i figur 2.19, i dette eksempelet er resonansfrekvensen $f_{res} = 13.56$ MHz.



Figur 2.19: Plot av spenning på en transponderspole med resonanskrets mellom 1 og 100MHz ved konstant magnetisk felt H eller strøm i_1 . [2]

Fra likning 2.24 kan H_{min} utledes til likning 2.25, utledningen er vist i [Tillegg A].

$$H_{min} = \frac{u_2 \cdot \sqrt{\left(\frac{\omega L_2}{R_L} + \omega R_2 C_2\right)^2 + \left(1 - \omega^2 L_2 C_2 + \frac{R_2}{R_L}\right)^2}}{\omega \cdot \mu_0 \cdot A \cdot N} \quad (2.25)$$

Dermed har et uttrykk for H_{min} blitt utledet, som kan settes inn i likning 2.8. Dette gir energirekkevidden i et induktivt koblet system som ligning 2.26.

$$x = \sqrt[3]{\sqrt{\frac{(\omega \cdot \mu_0 \cdot I \cdot N \cdot A \cdot N)^2}{4 \cdot u_2^2 \left(\omega^2 \left(\frac{L_2}{R_L} + \frac{R_2}{\omega^2 L_2} \right)^2 + \left(\frac{\omega_0 - \omega^2}{\omega_0^2} + \frac{R_2}{R_L} \right)^2 \right)} - R^2}} \quad (2.26)$$

2.5.2.3 Koblingskoeffisient k

Gjensidig induktans ble introdusert i kapittel 2.5.2.2 og beskriver koblingen av fluks mellom to strømførende sløyfer. Koblingskoeffisienten, k , gir en kvalitativ forutsigelse om koblingen mellom to strømførende sløyfer, uavhengig av spolens dimensjoner. Koblingsfaktoren er beskrevet i likning 2.27, hvor $k = 0$ gir en fullstendig avkopling mellom de to sløyfene, og $k = 1$ når begge spolene er koblet til den samme magnetisk fluksen.

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}} \quad (2.27)$$

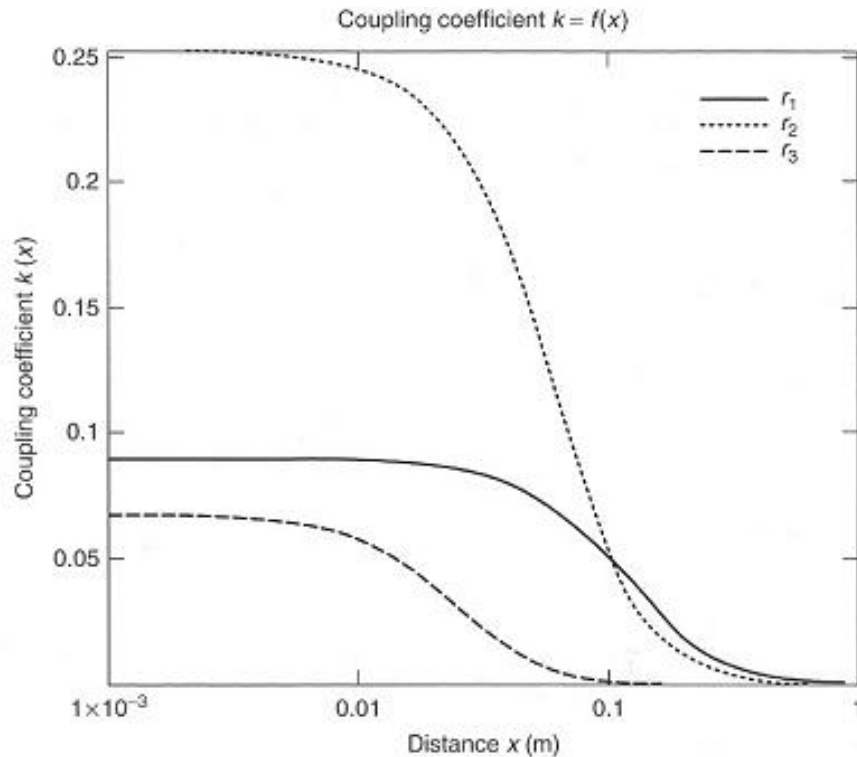
Analytiske beregninger er gjeldene for enkle konfigurasjoner, der parallelle spoler er plassert på samme x-akse som vist i figur 2.17 a). Tilnærmingen er beskrevet i likning 2.28, hvor betingelsen $r_{Transp} \leq r_{Leser}$ må være oppfylt, og x er avstanden mellom spolene.

$$k(x) \approx \frac{r_{Transp}^2 \cdot r_{Leser}^2}{\sqrt{r_{Transp} \cdot r_{Leser}} \cdot \left(\sqrt{x^2 + r_{Leser}^2}\right)^3} \quad (2.28)$$

Med betingelsen $M_{12} = M_{21} = M$ kan likning 2.28 omskrives til likning 2.29, hvor betingelsene for antenedimensjonene er $r_{Transp} \geq r_{Leser}$ må være oppfylt.

$$k(x) \approx \frac{r_{Transp}^2 \cdot r_{Leser}^2}{\sqrt{r_{Transp} \cdot r_{Leser}} \cdot \left(\sqrt{x^2 + r_{Transp}^2}\right)^3} \quad (2.29)$$

Koblingen $k(x) = 1$ oppnås når distansen mellom sløyfene $x = 0$ og antenedimensjonene er like. Induktiv koblede systemer kan operere med koplingsfaktor ned mot 0.01 (< 1%). Figur 2.20 viser koblingsfaktor for ulike størrelser av leserantennen ved ulike avstander, og hvor transponderantennen har en fast dimensjon.



Figur 2.20: Koblingskoeffisient ved ulike antennedimensjoner. Transponderantenne: $r_{Transp} = 2\text{cm}$, leserantenne: $r_1 = 10\text{cm}$, $r_2 = 7,5\text{cm}$, $r_3 = 1\text{cm}$ [2]

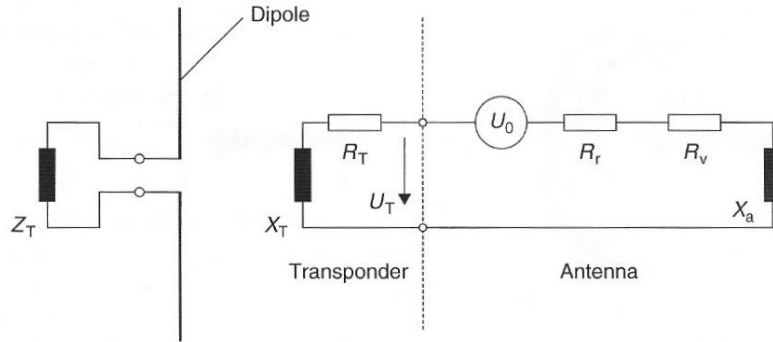
2.5.2.4 Modulasjon

I et induktivt koblet system er det utstedte magnetiske feltet fra leseren direkte koblet til transponderen når denne befinner seg i nærfeltet. Dersom transponderen er i resonans med opereringsfrekvensen, vil denne trekke energi fra det magnetiske feltet. Ved å alternere en intern last, Z_T , i transponderen vil det oppstå en variasjon i hvor mye energi som trekkes ut fra feltet. Resultatet av dette er at spenningen over leseren varierer, og det oppstår en kommunikasjon mellom transponder og leser. Denne metoden kalles lastmodulasjon og er den mest benyttede modulasjonsformen for induktivt koblede systemer.

2.5.3 Elektromagnetisk kobling

Formler og utledninger presentert i kapittel 2.5.3 er basert på teori presentert i [2]. Hvordan magnetiske felt skiller seg fra kilden og danner elektromagnetiske bølgefronter ble beskrevet i kapittel 2.5.1, det er slike bølger som er informasjonsbærere i et elektromagnetisk koblet RFID-system. En bølge som emitteres i rommet vil i møte med objekter bli delvis absorbert og reflektert, dette er prinsippet bak elektromagnetisk kobling i RFID-

systemer. Figur 2.21 viser en antenne og en ekvivalent krets for en tilkoblet transponder. Antennens komplekse inngangsimpedans som er beskrevet i likning 2.30 består av følgende parametere. Tapsresistansen, R_V , er en effektiv resistans som beskriver alt ohmsk tap fra strømførende linjer i antennen, effekten som omsettes her går over i varmetap. Strålingsmotstanden, R_r , er også en effektiv resistans, effekten som omsettes i denne resistansen beskriver den utstrålte effekten fra antennen. Den komplekse motstanden, X_A , vil variere med frekvensen, ved resonansfrekvensen, f_{RES} , vil tapet i denne gå mot null.



Figur 2.21: Ekvivalent krets for et elektromagnetisk koblet system [2]

$$Z_A = R_r + R_V + jX_A \quad (2.30)$$

Inngangsresistansen for en ideell antenne ved resonans vil dermed kun bestå av strålingsmotstanden R_r .

Maksimalt mottatt effekt som kan trekkes fra antennen ved optimal oppstilling og polarisering er proporsjonal til effekttettheten, S , til en plan innfallende bølgefront, og en proporsjonalitetsfaktor. Denne mottatte effekten er beskrevet i likning 2.31, hvor proporsjonalitetsfaktoren, kjent som den effektive aperturen har betegnelsen A_e . Da gjelder følgende:

$$P_e = A_e \cdot S \quad (2.31)$$

Den effektive aperturen kan betraktes som et areal, som ved optimal retning mot den innfallende bølgefronten, slipper gjennom en effekt P_e . Denne effekten blir absorbert av antennen, som induserer en strøm, I , gjennom antenneimpedansen, Z_A , og lasten i transponderen Z_T . Strømmen, I , kan løses med den induserte spenningen, U_0 , på antenterminalen og impedansene i i antenne- og transponderkretsen:

$$I = \frac{U_0}{Z_A + Z_T} = \frac{U_0}{\sqrt{(R_r + R_V + R_T)^2 + (X_A + X_T)^2}} \quad (2.32)$$

Effekten P_e som overføres til Z_T er gitt som:

$$P_e = I^2 \cdot R_T \quad (2.33)$$

Setter inn ligning 2.32 for I^2 i ligning 2.31 og får følgende:

$$P_e = \frac{U_0^2 \cdot R_T}{(R_r + R_V + R_T)^2 + (X_A + X_T)^2} \quad (2.34)$$

Løser ligning 2.31 med hensyn på A_e og setter inn ligning 2.34 for P_e :

$$A_e = \frac{U_0^2 \cdot R_T}{S \cdot [(R_r + R_V + R_T)^2 + (X_A + X_T)^2]} \quad (2.35)$$

Dersom antennen opererer ved effektilpasning ($R_T = R_r$ og $X_T = -X_A$), og er tapsfri ($R_V = 0$) kan ligning 2.35 forenkles til:

$$A_e = \frac{U_0^2}{4SR_r} \quad (2.36)$$

Strømmen I flyter også gjennom strålingsresistansen R_r til antennen. Effekten P_s som omsettes stråler vekk fra antennen, og det er likegyldig om strømmen, I , ble forårsaket av en innkommende elektromagnetisk bølge, eller om den ble tilført av en sender på kretsen. Effekten P_s er gitt som:

$$P_s = I^2 \cdot R_r \quad (2.37)$$

På samme måte som 2.36 ble utledet kan A_S utledes:

$$\sigma = A_S = \frac{P_s}{S} = \frac{I^2 \cdot R_r}{S} = \frac{U_0^2 \cdot R_r}{S \cdot [(R_r + R_V + R_T)^2 + (X_A + X_T)^2]} \quad (2.38)$$

Dersom antennen igjen opererer ved effektilpasning ($R_T = R_r$ og $X_T = -X_A$), og er tapsfri ($R_V = 0$) kan ligning 2.38 forenkles til:

$$\sigma = A_S = \frac{U_0^2}{4SR_r} \quad (2.39)$$

Ved effektilpasning $\sigma = A_S = A_e$ vil derfor halvparten av effekten fra den elektromagnetiske bølgen tilføres termineringsmotstanden R_t , mens den andre halvparten reflekteres ut i rommet. Den effektive aperturen A_e til en antenne er proporsjonal til sin forsterkning G (Kraus, 1988; Meinke and Gudlach, 1992). Siden denne ofte er kjent, kan A_e og A_s enkelt beregnes ved effektilpasning ($Z_A = Z_T$):

$$\sigma = A_e = \frac{\lambda_0^2}{4\pi} \cdot G \quad (2.40)$$

Satt inn i ligning 2.31 blir dette:

$$P_e = A_e \cdot S = \frac{\lambda_0^2}{4\pi} \cdot G \cdot S \quad (2.41)$$

2.5.3.1 Refleksjon av elektromagnetiske bølger

Refleksjonstverrsnittet ble presentert i kapittel 2.5.3, og beskriver hvor godt et objekt reflekterer elektromagnetiske bølger. Denne faktoren vil avhenge av objektets størrelse, form, materiale og overflatestruktur, samt signalets bølgelengde og polarisasjon. Bølgelengden har stor innvirkning på σ , slik at objekter kan deles opp i tre grupper som avhenger av bølgelengde på ulike måter.

- Rayleigh rekkevidde: Bølgelengden er stor sammenlignet med objektets dimensjoner. For objekter mindre enn halve bølgelengden vil ρ ha en λ^{-4} avhengighet, for objekter mindre enn 0.1λ vil refleksjonsegenskapene være utenfor betraktning.

- Resonansrekkevidde: Bølgelengden er i størrelsesorden med objektet, variasjon av bølgelengden vil forårsake σ til å variere med noen dB rundt sin geometriske verdi.
- Optisk rekkevidde: Bølgelengden er liten sammenlignet med objekt dimensjonene, for slike objekter vil kun geometri og posisjon relativt til bølgen påvirke σ .

RFID-systemer som opererer med elektromagnetisk kobling kommer med ulike antenneformer, likt for dem alle er at de operer i resonansområdet.

Den reflekterte elektromagnetiske bølgen propagerer sfærisk fra refleksjonspunktet, og strålingstettheten svekkes proporsjonalt med kvadratet av avstanden (r^2). Effekttettheten som til slutt returnerer til leserantennen, S_{Back} er gitt som:

$$S_{Back} = \frac{P_S}{4\pi r^2} = S \cdot \frac{\sigma}{4\pi r^2} = \frac{P_{EIRP}}{4\pi r^2} \cdot \frac{\sigma}{4\pi r^2} = \frac{P_{EIRP} \cdot \sigma}{(4\pi)^2 \cdot r^4} \quad (2.42)$$

2.5.3.2 EIRP og ERP

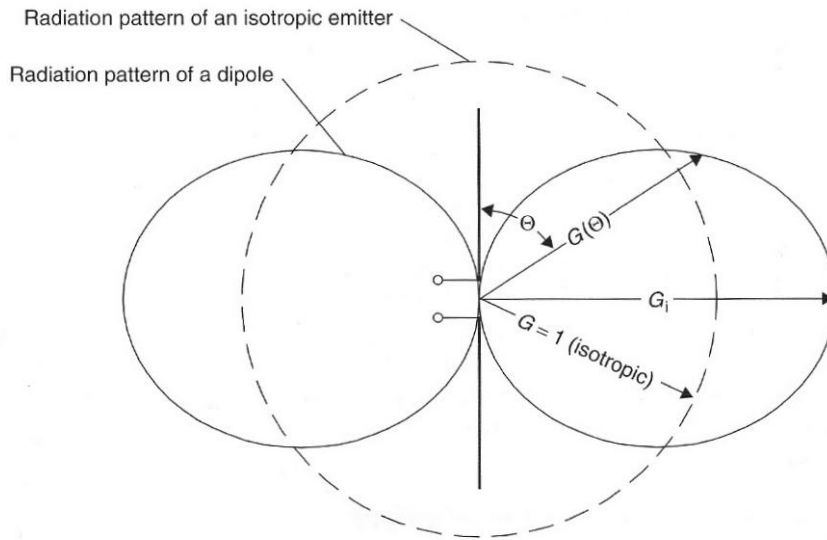
En elektromagnetisk bølge som propagerer i rommet fungerer som en energibærer. Ved en gitt avstand, r , fra den strålende kilden kan energien fordeles over en sfærisk overflate. For en isotropisk strålingskilde blir energien strålt uniformt ut i alle retninger, strålingstettheten ved avstanden, r , beregnes ut fra effekten som stråles fra kilden, P_{EIRP} , og arealet til en sfære, som vist i likning 2.43.

$$S = \frac{P_{EIRP}}{4\pi r^2} \quad (2.43)$$

Effekten som stråles ut fra den isotropiske kilden, P_{EIRP} (EIRP = Effective Isotropic Radiated Power), kan over en sfærisk overflate finnes ved å integrere S over overflaten A som vist i likning 2.44.

$$P_{EIRP} = \int_{sphere}^A S \cdot dA \quad (2.44)$$

En reell antenne som ikke har et uniformt strålingsdiagram kan for eksempel være dipolantennen, denne antenntypen har ingen stråling i aksialretningen. Strålingsdiagrammet for en isotropisk antenne og dipolantennen er vist i figur 2.22.



Figur 2.22: Strålingsdiagram for dipolantenne og isotropisk antenne [2]

I hovedretningen, G_i , kan strålingstettheten beregnes som vist i likning 2.45.

$$S = \frac{P_1 \cdot G_i}{4\pi r^2} \quad (2.45)$$

I likning 2.45 er P_1 effekten tilført til antennen, og G_i er antenneforsterkningen som indikerer hvor mye større strålingstettheten er for denne antennen, enn for en isotropisk antenne ved samme tilførte effekt.

$$P_{EIRP} = P_i \cdot G_i \quad (2.46)$$

Likning 2.46 benyttes mye innenfor regulering av radiosignaler og indikerer hvor mye effekt en isotropisk antenne ($G_i = 1$) må tilføres for å generere en definert effekt ved en avstand r . En ikke-isotropisk antenne med forsterkning G_i kan dermed bare tilføres en effekt P_1 som ikke overgår denne faktoren:

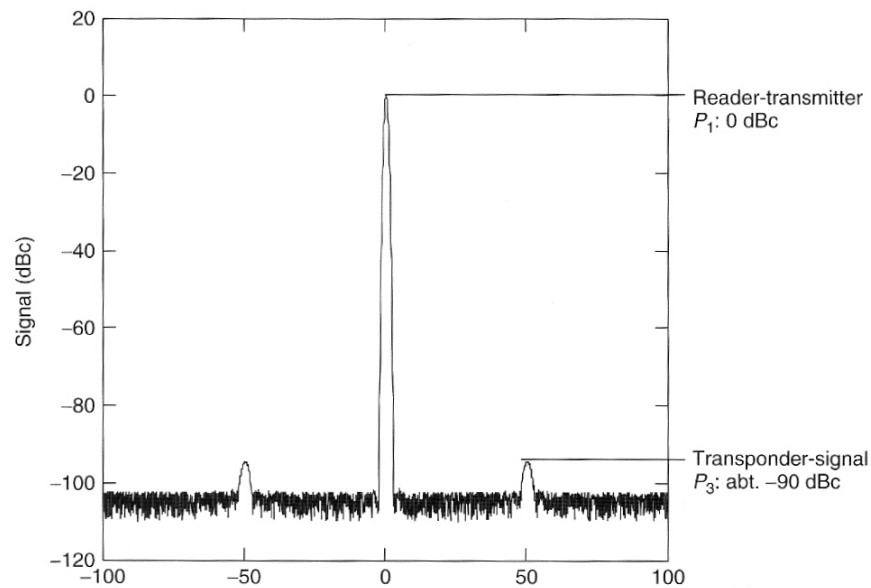
$$P_1 = \frac{P_{EIRP}}{G_i} \quad (2.47)$$

ERP (equivalent radiated power) refererer til en dipolantenne fremfor en isotropisk antenne, siden forholdet for forsterkning for en dipolantenne og isotropisk antenne er kjent ($G_i = 1.64$) blir dette enkel omregning:

$$P_{EIRP} = P_{ERP} \cdot 1.64 \quad (2.48)$$

2.5.3.3 energirekkevidde

Når en leser skal kommunisere med en transponder må to betingelser være oppfylt. For det første må transponderen tilføres nok effekt slik at den aktiveres. For det andre må signalet fra transponderen være sterkt nok, slik at dette kan mottas ved leseren uten feil. Følsomheten til leseren indikerer hvor sterkt feltstyrken, eller den induerte spenningen i leseren må være for at det mottatte signalet skal mottas uten feil. Støynivået i mot-takerantennen, i stor grad fasestøy generert av oscillatoren i senderen, interfererer med det mottatte signalet og er avgjørende for følsomheten. For at signalet fra transponderen skal kunne detekteres ved leseren, bør dette typisk ikke være ved et nivå 100 dB mindre enn signalet fra senderen, men bør fastslås ved nøyaktige beregninger [2]. Figur 2.23 illustrerer signalnivået fra leser, og de modulerte sidebåndene fra transponderen omkring 100 dB under nivået fra leseren. Bærebølgen til signalet fra transponderen kan ikke sees, ettersom nivået er under det for bærebølgen til leseren.



Figur 2.23: Eksempel på nivåforhold ved en leser, hvor støynivået ligger 100dB under signalet fra leseren. De modulerte sidebåndene til transponderen kan også sees [2]

Nivået til sidebåndene, P_3 , er gitt som:

$$P_3 = A_{e-Reader} \cdot S_{Back} \quad (2.49)$$

Strålingstettheten ved leseren, S_{Back} , er gitt av ligning 2.42, som innsatt i ligning 2.49 blir:

$$P_3 = A_{e-Reader} \cdot \frac{P_1 \cdot G_{Reader} \cdot \sigma}{(4\pi)^2 \cdot r^4} \quad (2.50)$$

Ved å erstatte $A_{e-Reader}$ med uttrykket i ligning 2.36 som er uttrykt ved G_{Reader} får en følgende:

$$P_3 = \frac{P_1 \cdot G_{Reader}^2 \cdot \lambda_0^2 \cdot \sigma}{(4\pi)^3 \cdot r^4} \quad (2.51)$$

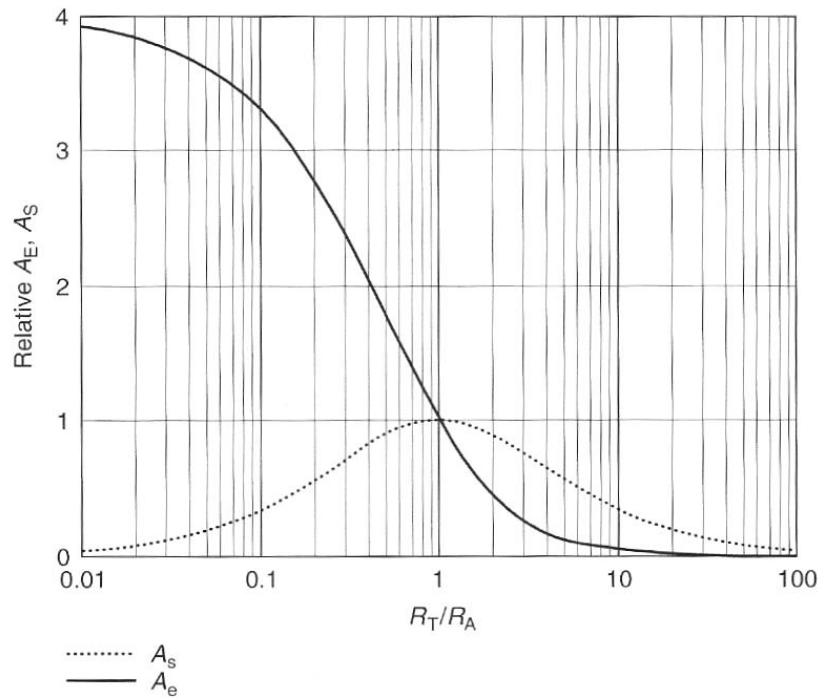
Erstatter $A_s = \sigma$ i ligning 2.51 med ligning 2.36 og får:

$$P_3 = \frac{P_1 \cdot G_{Reader}^2 \cdot \lambda_0^4 \cdot G_T^2}{(4\pi r)^4} \quad (2.52)$$

Ligning 2.52 er kun gyldig i tilfeller med effekttilpasning mellom transponderantennen og dens last, Z_T . På generalisert form gjelder følgende:

$$P_3 = \frac{k \cdot P_1 \cdot G_{Reader}^2 \cdot \lambda_0^4 \cdot G_T^2}{(4\pi r)^4} \Big|_{k=0.4} \quad (2.53)$$

Der k finnes fra forholdet mellom strålingsresistansen fra antennen, R_r , og inngangsimpedansen, Z_T , som utledes fra figur 2.24.



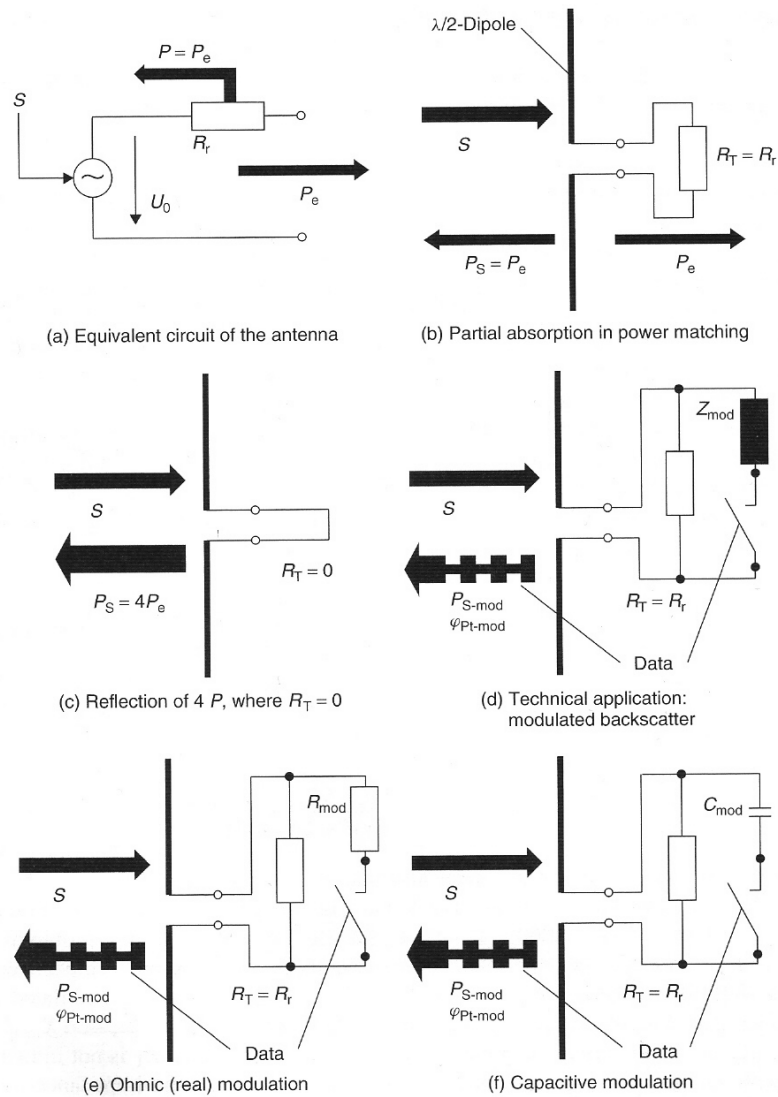
Figur 2.24: Relativ effektiv aperture A_e og relativ refleksjonsaperture σ i forhold til resistansene R_A og R_r . Hvor $R_T/R_A = 1$ er antennen ved effekttilpassning $R_T = R_r$, og tilfellet $R_T/R_A = 0$ representerer en kortslutning ved antennerterminalen [2]

Ligning 2.53 løses med hensyn på r , som gir energirekkevidden:

$$r = \frac{\lambda_0}{4\pi} \cdot \sqrt[4]{\frac{k \cdot P_1 \cdot G_{Reader}^2 \cdot G_T^2}{P_3}} \Big|_{k=0.4} \quad (2.54)$$

2.5.3.4 Modulasjon

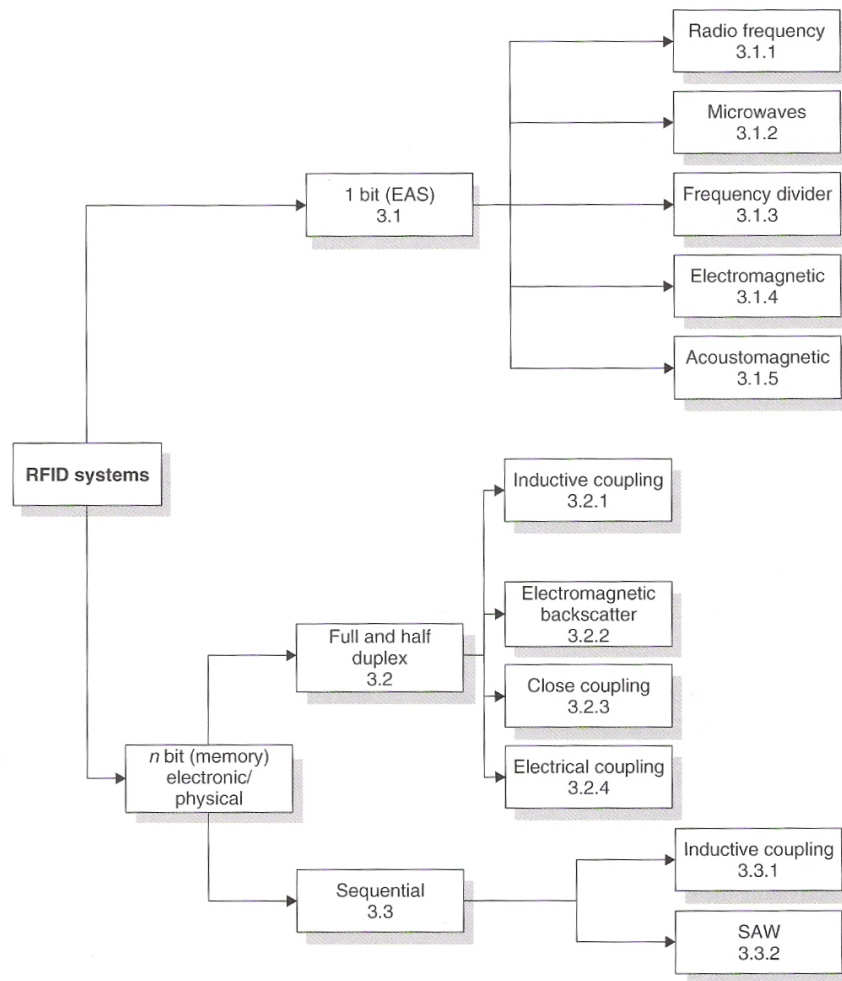
Refleksjonstverrsnittet, A_s , ble beskrevet i kapittel 2.5.3, og bestemmer hvor mye av en innfallende bølge som reflekteres fra transponderen tilbake til leseren. A_s avhenger av forholdet mellom impedansen Z_T og Z_L , i henholdsvis transponderkretsen og transponderantennen. Ved å utvide Z_T med en tilleggsimpedans, Z_{mod} , som alternerer med tiden kan den reflekterte bølgen moduleres til en datastrøm. Denne modulasjonen kan påvirke både verdien og fasen til P_s , A_s og P_s . Figur 2.25 viser prinsippet for ulike transponderkonfigurasjoner som gir forskjellige modulasjonsmetoder.



Figur 2.25: Generering av modulert tilbakespredning ved modulering av transponderimpedansen $Z_T (= R_T)$ [2]

2.5.4 Datatransmisjon

RFID-systemer kan konfigureres på ulike måter, avhengig av koblingsmetode, minnestørrelse, og datatransmisjonsprosedyre. En oversikt over ulike konfigurasjonsmetoder er vist i figur 2.26.



Figur 2.26: Ulike konfigurasjonsmetoder for RFID-systemer [2]

Systemer for 1-bits transpondere blir utelatt i denne beskrivelsen, da de ikke har en unik identifikasjon og dermed ikke er aktuelle for oppgaven. For kommunikasjon mellom leser og en n-bits transponder finnes tre ulike prosedyrer, halv duplex (HDX), full duplex (FDX) og sekvensiell overføring (SEQ).

2.5.4.1 Halv dupleks-systemer

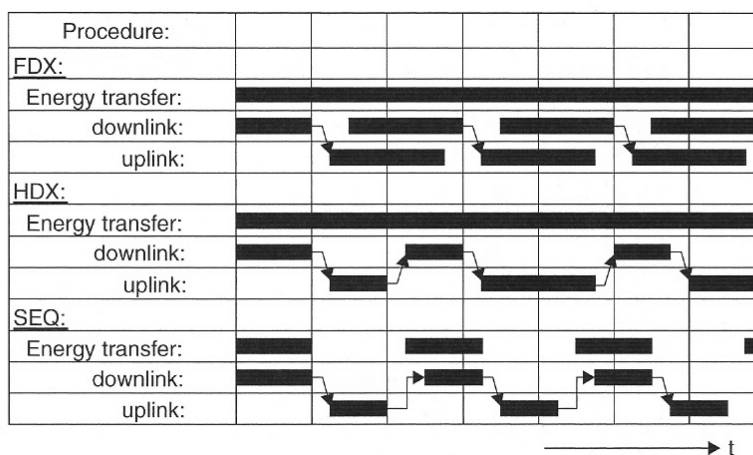
Denne kommunikasjonsprosedyren muliggjør kommunikasjon i begge retninger, der transmisjonen går i en retning av gangen. Dette er illustrert i figur 2.27, hvor «uplink» og «downlink» aldri er aktive ved samme tid. Dermed må kommunikasjonen fra leser til transponder fullføres, før kommunikasjonen tilbake fra transponder til leser kan initieres.

2.5.4.2 Full dupleks-systemer

På samme måte som for halv dupleks systemer kan kommunikasjonen for et full dupleks system foregå i begge retninger, i motsetning kan kommunikasjonen nå foregå i begge retninger samtidig. Dette kommer frem av figur 2.27, hvor «uplink» og «downlink» er aktive ved samme tidspunkt. Dermed kan leseren initiere en overføring, og transponderen kan begynne å svare før leseren har avsluttet sin kommunikasjon. Dette er den mest utbredte kommunikasjonsprosedyren i dagens RFID systemer.

2.5.4.3 Sekvensielle systemer

I et system med sekvensiell kommunikasjon foregår dataoverføringen i begrensede tidsperioder, og som for halv dupleks prosedyren er aldri «uplink» og «downlink» aktive samtidig. Sekvensiell kommunikasjon skiller seg ut ved at energioverføringen opphører med kommunikasjonen fra leser til transponder.

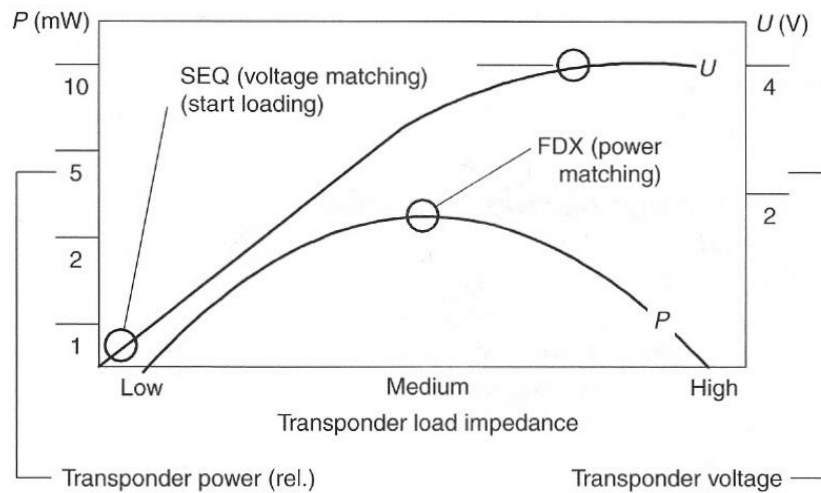


Figur 2.27: Representasjon av full dupleks, halv dupleks og sekvensielle systemer over tid. Data transmitert fra leser til transponder er betegnet som downlink, og motsatt som uplink [2]

2.5.4.4 Sammenligning av HDX/FDX og SEQ

I et FDX-system vil energioverføringen fra leser til transponder foregå samtidig med dataoverføringen i begge retninger, slik at mikrobrikken er kontinuerlig operativ. For å oppnå optimal energioverføring er det nødvendig med en effektilpasning, hvor antennen opererer som strømforsyning, og mikrobrikken som strømforbruker. Denne tilpasningen

gir mikrobrikken kun halvparten av spenningen som er tilgjengelig i antennen. Den eneste måten å øke spenningen er ved å øke lastimpedansen, som igjen fører til lavere effektforbruk. Ved design av FDX systemer vil det derfor alltid være et kompromiss mellom effekttilpasningen (maksimal effektforbruk P_{chip} ved $U_{chip} = 1/2U_0$) og spenningstilpasningen (minimum effektforbruk P_{chip} ved maksimal spenning $U_{chip} = U_0$). For et SEQ-system er situasjonen annerledes, ved energioverføringen er mikrobrikken i hvilemodus, slik at nærmest ingen effekt trekkes av denne. Figur 2.28 viser at det ved oppstartpunktet ikke forekommer noen ladning i oppladningskondensatoren, slik at den representerer en svært liten ohmsk last for strømkilden. Det totale strømforbruket vi nå gå til å lade oppladningskondensatoren, ladestrømmen avtar eksponentielt og går mot null når kondensatoren er fulladet. Dermed er all spenningen fra kilden tilgjengelig ved mikrobrikken, dobbelt så mye som ved et FDX system.



Figur 2.28: Sammenligning av induisert transponderspenning i FDX/HDX og SEQ-systemer [2]

Kapittel 3

Systembeskrivelse

For å finne det RFID systemet som best vil fungere for projectiondesign, ble den eksisterende metoden for merking av produkt studert. For å se hvilke muligheter og fordeler bruk av RFID-teknologi kan gi projectiondesign og kunden, ble det nødvendig å sette seg inn i hvordan den eksisterende merkingen blir benyttet internt hos projectiondesign og eksternt hos kunden.

3.1 Eksisterende merkingsmetode

Når projectiondesign mottar bestillinger fra kunde blir det dannet en plukklister for delene som tilhører hver prosjektør. Til hvert produkt heftes det et produktnummer, dette nummeret er vist øverst i figur 3.1 og består av 9 oppdelte siffer. Disse beskriver blant annet hvilken gruppe produktet tilhører (ferdig, åpen, råvare, reservedel, elektronikk, tilgjengelig etc.) og versjonsnummer (standard-, kunde-, spesialkonfigurert etc.). Et serienummer tilegnes også hver prosjektør, dette beskriver produksjonsuke og -år, samt produksjonsnummer for denne spesifiserte uken, dette er vist i midten av figur 3.1. Prosjektører som også inneholder nettverkshort blir merket med MAC-adressen for kortet, dette er vist nederst i figur 3.1. Disse tre nummersammensetningene blir også presenterte av en strekkode av typen «EAN-39» [11].

Til hver prosjektør tildeles det en følgeseddel, denne følger produktet langs hele produksjonslinjen. Mesteparten av informasjonen på denne seddelen utfylles når produktet testes fysisk. Informasjonen fra seddelen registreres i bedriftens ERP-system (Enterprise Resource Planning) [19] som fil, kan skrives ut i begrenset form og legges ved ferdig produkt .

Hver produksjonslinje fører til hvert sitt forsendelseslager, i dag telles det fire produksjonslinjer. Ved forsendelseslageret pakkes prosjektøren med tilbehør som kabler, fjernkontroll, bæreseske og dokumentasjon. Emballasjen merkes med to identiske etiketter, en

på hver side, som vist i figur 3.2. Ved forsendelse blir varen skannet og lagt i en ekstra emballasje, denne er merket med en etikett med numerisk informasjon om serie- og produktnummer.



Figur 3.1: Etikett montert under prosjektør

3.2 Problembeskrivelse

Et av målene ved oppgaven er å se de hvilke muligheter og fordeler projectiondesign kan trekke ved å ta i bruk RFID-teknologi. I tillegg til å studere den eksisterende metoden for merking av produkt og hvordan denne nyttes, var det viktig å studere selve produktet som skulle merkes. Det ble derfor sendt en forespørsel til projectiondesign om å motta en prosjektør i komplett emballasje for bruk til studie og testing, det ble også forespurt et ekstra deksel for eksperimentelle forsøk på innstøping av transponder.

Det ble først antatt at prosjektøren bestod av en eller flere flater i plastmateriale, dersom dette var tilfellet kunne transponderen monteres på forsiden av, baksiden av, eller

innstøpes i en av flatene. Transponderantennen vil da bare være påvirket av de materialer som befinner seg innvendig i prosjektøren, hvordan disse er utformet, og hvor nærme transponderen de kommer. Sett mot en total RFID-løsning må også emballasjen tas med i betraktning, da denne kan påvirke det utstedte feltet fra transponder og leserantenne.



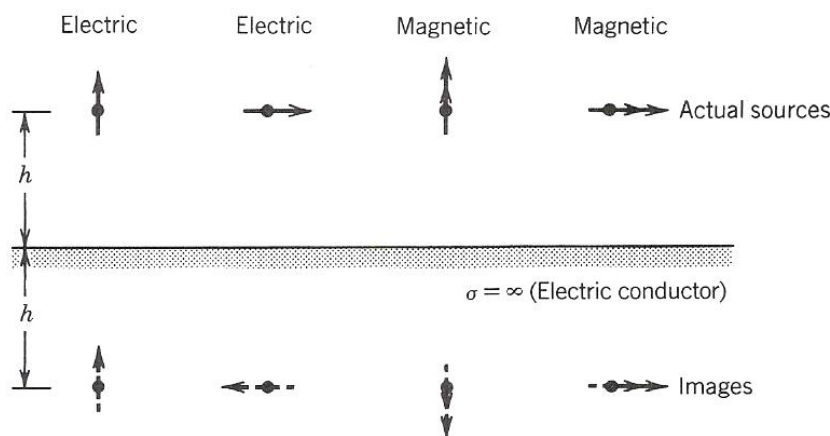
Figur 3.2: Etikett montert på emballasje med «smart label»

Prosjektøren som ble mottatt viste seg å bestå av et komplett magnesiumchassis. Ved å undersøke på projectiondesigns hjemmesider [20], forklares det hvorfor store deler av deres produktportefølje er laget i dette materialet. «Projectiondesigns produkter sikter seg inn mot den mest kostbare delen av markedet med høye krav til prestasjoner. Med et produkt som produserer svært mye varme benyttes magnesiumchassiset til varmeavledning.»

For RFID-merking av selve prosjektøren var ulike muligheter for plassering sterkt redusert. Ettersom prosjektørchassiset er laget i magnesium, vil dette danne et faradays bur som omkranser innholdet i prosjektøren. Et faradays bur definert som et volum hvor den avgrensede overflaten er av et elektrisk ledende materiale. Med en elektrisk ledende overflate vil det ikke oppstå potensialforskjeller mellom steder på overflaten, og elektriske felter med opprinnelse utenfra volumet kan ikke eksistere innvendig [21]. Montering av RFID-transponderen ble dermed avgrenset til utsiden av prosjektøren, og av estetiske grunner kunne den bare plasseres på prosjektørens underside.

At prosjektøren består av et metallisk materiale var et innlysende problem. Energien fra en strålende kilde vil i møte med et jordplan bli reflektert. Hvor mye av energien som reflekteres avhenger av geometrien og de fastsatte parametrene til planet. Dersom flaten

på prosjektøren der transponderen skal monteres antas å være en perfekt elektrisk leder med uendelig utstrekning, vil totalrefleksjon oppnås. Tangentielle komponenter av det elektriske feltet ved alle punkter langs grenseflaten forsvinner, og ingen felt eksisterer under grenseflaten. Teoremet kan illustreres ved en horisontal dipol i en avstand, h , over det elektrisk ledende jordplanet. Denne ser en virtuell og speilet dipol på motsatt side av jordplanet, med en motsatt elektrisk polarisasjon. Disse vil kansellere hverandre og skape et null-potensial ved jordplanet og er illustrert i figur 3.3 [21]. Dette betyr at det ikke kan eksistere et felt langs jordplanet, som kan operere en RFID-transponder.



Figur 3.3: Elektriske og magnetiske kilder og deres speilinger nær en elektrisk ledende plan [21]

En stor utfordring i oppgaven ble dermed å undersøke ulike metoder som muliggjør montering av antenner nær jordplan. Innledende tester viste at en transponder av typen «Rafsec UHF PE IMT» [Tillegg B] var 100% ikke-lesbar da den ble montert på prosjektørens underside, det ble derfor diskutert med veileder om hvilke tiltak som kunne være løsningen til problemet.

3.3 Problemløsning

Det ble i samråd med veileder bestemt å gjøre to ulike eksperimentelle forsøk. I begge tilfellene skulle et materiale med hver sine egenskaper legges mellom transponder og prosjektør, med hensikt å gjøre RFID-transponderen lesbar ved høyest mulig avstand. Etter å ha gjort seg kjent med teorien rundt disse metodene, ble det etter egen overveielse bestemt å gjøre et forsøk hvor disse materialene og egenskaper skulle kombineres.

3.3.1 Dielektrisk materiale

En horisontal polarisert dipolantenne som befinner seg i en avstand, h , fra et elektrisk ledende jordplan, ser et motsatt polarisert speilbilde av det elektriske feltet. Dette ble beskrevet i kapittel 3.2. En utstedt sinusformet bølge fra kilden vil dermed møte en lik bølge som i utgangspunktet er 180° fasedreid. Ved å plassere dipolen i en høyde $h = n \cdot (\lambda/4)$, hvor n er et oddetall, vil full kansellering av feltet mot jord oppnås. Dermed unngås refleksjoner fra jordplanet som forvrenger strålingsdiagrammet fra dipolen i retning bort fra jordplane og ut i rommet. Dersom avstanden til jordplanet avviker fra $h = n \cdot (\lambda/4)$ vil det oppstå en mistilpassning mellom det utstedte og reflekterte feltet. Denne mistilpassningen øker lineært frem til avstanden $h = n \cdot (\lambda/2)$ hvor mistilpassningen er størst. [21]

Den optimale avstanden som dipolen bør ligge fra jordplanet er $h = \lambda/4$. Ved frekvensen $f = 868\text{MHz}$ er bølgelengden gitt som:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{868 \cdot 10^6} = 0.346\text{m} \quad (3.1)$$

$$\frac{\lambda}{4} = 0.0856\text{m} \quad (3.2)$$

Altså bør dipolen ligge en avstand 8,56 cm over prosjektøren for å få en optimal leseavstand ved $h = \lambda/4$ over jordplanet. Likning 3.1 gjelder for luft, der den relative permittiviteten $\epsilon_r = 1$. Denne kan skrives på på formen:

$$\lambda = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r} \cdot f} \quad (3.3)$$

Der den relative permittiviteten, ϵ_r , er gitt som:

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon_s}{\epsilon_0} \quad (3.4)$$

ϵ_s er permittiviteten til materialet, og ϵ_0 er permittiviteten i vakuum.

Ved å erstatte mediet mellom jordplan og dipolantennen, fra luft til et materiale med en høyere permittivitet, vil bølgelengden til signalet bli en faktor $\sqrt{\epsilon_r}$ kortere. Slike materialer omtales som dielektriske materialer. Dermed vil det oppleves som om signalet får en lenger vei å gå, og dipolen kan trekkes den samme faktoren nærmere jordplanet, uten at det påvirker strålingsdiagrammet til antennen.

For å få en fysisk lav profil på RFID-transponderen til montering under prosjektøren, må den optimale avstanden ved $\lambda/4$ og $\epsilon_r = 1$ minkes betraktelig. En riktig tykkelse på transponderen vil være omtrent 2mm, for å få til dette må bølgelengden reduseres med en faktor på 40. I ligning 3.3 må dermed faktoren $\sqrt{\epsilon_r} = 40$, som gir $\epsilon_r = 40^2 = 1600$

3.3.2 Materiale med høy permeabilitet

Metoden som ble beskrevet i kapittel 3.3.1 beskriver et materiale som påvirker bølglengden til et signalet som passerer gjennom det. Den andre metoden som beskrives i denne oppgaven, er hvordan elektromagnetiske stråling fra transponderantennen kan absorberes. Som beskrevet i kapittel 3.2 ser transponderantennen et motsatt polarisert speilbilde av det elektriske feltet. Formålet ved å benytte en absorbent, er å skjerme transponderantennen fra metallflaten til prosjektøren.

Permeabilitet, μ , er et materiales evne til å lede magnetisk fluks. Ved å plassere et materiale med høy permeabilitet relativt til omgivelsene, i nærheten av en magnetisk strålende kilde, vil feltet fra kilden ha en tendens til å absorberes gjennom dette materialet fremfor det naturlige strålingsmønsteret i fravær av materialet.

Ved å plassere det absorberende materiale mellom transponderantenne og prosjektør, vil strålingen som faller mot prosjektøren og det reflekterte signalet fra prosjektøren mot transponderantennen til en grad absorberes. Når feltet i mindre grad blir reflektert fra planet på prosjektøren vil feltet i retning bort fra prosjektøren kanselleres i mindre grad.

3.3.3 Dielektrisk og absorberende materiale

En effekt av å benytte en absorbent med høy relativ permeabilitet nær kilden, er at deler av feltlinjene i retning vekk fra absorbenten vil ha en tendens til å trekke mot dette materiale som har en bedre magnetisk ledningsevne relativt til luft. Dette problemet kan avgrenses ved å forflytte transponderantennen en avstand vekk fra absorbenten, dermed vil ikke feltet i retning vekk fra absorbenten påvirkes i samme grad. Det vil være en fordel å skille transponderantennen fra det absorberende materialet med et dielektrisk materiale, slik at antennen ser en større avstand ned til absorbenten.

3.4 Valg av spesifikasjoner

Valg av spesifikasjoner på et RFID-system for projectiondesign bestemmes i hovedsak på grunnlag av hvilke muligheter det skal gi. Som beskrevet innledende i oppgaven kan transponderkostnaden per produkt i enklere grad forsvares, enn for et masseprodusert produkt med en langt mer marginal fortjeneste per enhet.

3.4.1 Koblingsmetode

Rekkevidden for induktivt koblede systemer ble kort beskrevet i kapittel 2.3.2.1 og 2.3.2.2, hvor det kommer frem at denne begrenser seg til $\leq 1\text{m}$ ved optimale dimensjoner retningsorientering og forhold. For en RFID-løsning skal virke på et logistikknivå er denne leseavstanden under hva som kreves. For elektromagnetisk koblede systemer, kommer

det i kapittel 2.3.2.3 frem at rekkevidden er begrenset til $\leq 10\text{m}$ for passive systemer ved optimale dimensjoner, retningsorientering og forhold. For et RFID-system som tilfredsstiller de krav til rekkevidde best passelig for projectiondesign, må koblingen skje elektromagnetisk.

3.4.2 Operasjonsfrekvens

Det ble gjennomgående i kapittel 2.3.2 beskrevet at prestasjoner for RFID rundt metalliske og væskeholdige materialer forverres når frekvensen øker. I frekvensbåndet HF som er beskrevet i kapittel 2.3.2.2, er rekkevidden for et elektromagnetisk koblet system begrenset til $\leq 1\text{m}$. I frekvensbåndet UHF som beskrevet i kapittel 2.3.2.3 vil rekkevidden for et passivt system være $\leq 10\text{m}$. Rekkevidden for UHF båndet er godt tilpasset en løsning for projectiondesign, og vil være tilstrekkelig på logistikknivå. Selv om rekkevidden i frekvensområdet MW som beskrevet i kapittel 2.3.2.4 er høyere, blir signaler i større grad påvirket av metalliske materialer, samtidig som båndet hovedsakelig benyttes for aktive systemer.

3.4.3 Standardisering og klassifisering

Prinsippene innen standardisering og klassifisering ble beskrevet i henholdsvis kapittel 2.4.1.5 og 2.4.1.6. Innenfor UHF-båndet er det per dags dato en standardisering som dominerer, dette er «Class1 Generation2» som er standardisert og klassifisert av «EPCglobal Inc.» [12]. Denne standarden er ofte omtalt som «Gen2» eller «C1G2». Standarden definerer de fysiske og logiske krav for et passivt, elektromagnetisk koblet, «ITF» (Interrogator-Talks-First) RFID-system som opererer i frekvensbåndet 860MHz - 960MHz. Standarden er laget for å virke internasjonalt, har avanserte protokoller som gjør det mulig for et multippelt antall lesere å operere i nærheten av hverandre uten å interferere hverandre eller lese en transponder flere ganger. For produkter som skal leveres til ulike land og kontinenter er dette en svært viktig egenskap, samtidig som flere lesere og transpondere skal leses samtidig. Ved å benytte en svært utstrakt standardisering er utvalget av leverandører og transpondertyper i større grad utstrakt. Disse transponderne masseproduseres i større grad enn mindre etterspurte varianter, og er dermed mer kostnadseffektive. For logistikkpартnere er det også størst mulighet for at denne teknologien er mest aktuell å bruke.

3.4.4 Leser og transponder

RFID-utstyr er svært lite tilgjengelig for utlån, ettersom teknologien enda ikke er utbredt i Norge. Gjennom veileder ble det opprettet kontakt med Bård Myhre ved Sintef IKT [22], hvor det ble gjort tilgjengelig en leser av type «Intermec IF4» [Tillegg C], leserantenne av type «Intermec IA36A» [Tillegg D] og «smart labels» av type «Intermec

ILS00150» [Tillegg E]. Hos Geir Vevle ved NORTURA BA [23] ble det gjort tilgjengelig ulike versjoner av transpondertypen «Rafsec UHF PE IMT» [Tillegg B].

3.4.5 Dielektrisk materiale

I kapittel 3.3.1 ble det beskrevet hvorfor det var behov for å benytte et materiale med høy relativ permittivitet, for å skille transponderantennen fra metallflaten. For praktiske målinger og tester ble det benyttet et substrat fra kretskort av type «FR-4». Dette er et glassfiberarmert epoxyaminat, som består av et antall glassfiberduker limt sammen med epoxy [24]. Slike kretskort leveres med et kobberdekke, som i dette tilfellet ble frest vekk til ulike substrattykkelser uten kobberdekke.

3.4.6 Materiale med høy permeabilitet

Et materiale som leder magnetisk fluks, og hvilke fordeler dette kan gi for en transponderantenne nær en metallflate ble beskrevet i kapittel 3.3.2. Det ble sendt en forespørsel til «Emerson & Cuming» [25] om å motta et utvalg av deres varesortiment, hvorfra det senere ble mottatt ulike varianter av produktet «ECCOSORB®» [Tillegg F]. Dette er et materiale med høy relativ permeabilitet som blant annet benyttes til resonansreduksjon i hulrom, reduksjon av innskuddsdemping og refleksjon i frittromsapplikasjoner. «ECCOSORB®» [Tillegg F] absorberer er frekvenstilpasset og tilgjengelige i ulike frekvensområder som spenner seg fra 600MHz til 90GHz, og er tilgjengelig i fleksible skum- og elastomermaterialer i standard og spesialtilpassede utførelser. Valg av materiale falt på «ECCOSORB®MCS-U-SA» som er tilpasset frekvenser fra 800MHz - 2GHz.

Kapittel 4

Praktiske målinger

I begynnelsen, før det ble kjent at RFID-utstyr skulle bli tilgjengelig, var det usikkerhet i hvordan målingene skulle bli utført. En aktuell metode var å tegne en antennestruktur i et tilegnet program på PC, for så å simulere strukturen i ulike omgivelser med et tilegnet simuleringsprogram for å få frem antennens strålingsdiagram. Et aktuelt program for dette var «Agilent Electromagnetic Design System» (EMDS) [26], for elektromagnetisk simulering av vilkårlig formede, passive 3D-strukturer. Det ble brukt noe tid på å sette seg inn i denne programpakken, før det ble kjent at komplett RFID-leserutstyr ville bli gjort tilgjengelig, slik at det kunne gjøres praktiske avstandsmålinger på dette. I samråd med veileder ble det bestemt at målingene som skulle gjøres i tillegg til avstandsmålingene, skulle utføres på en mer praktisk måte med en antennemodell i antennehallen ved NTNU. Simuleringsverktøyet «Agilent EMDS» ble derfor lagt vekk inntil videre, og kunne senere bli tatt frem for eventuelt å verifisere de praktiske målingene av strålingsdiagram dersom det ble tid til dette.

4.1 Målemetoder

Det er i hovedsak to type målinger som er utført. Den ene målingen er leseavstand til transponder montert på prosjektør og emballasje, målt med RFID-utstyr, hvor målemetoden er beskrevet i kapittel 4.1.1 og måleresultatene er vist i kapittel 4.2.1. Den andre målingen er strålingsdiagrammet til transponder montert på prosjektør, hvor målemetoden er beskrevet i kapittel 4.1.2 og måleresultatene er vist i kapittel 4.2.2.

4.1.1 Avstandsmåling

Avstandsmålingene ble utført i antennehallen ved NTNU. Der prosjektør og emballasje ble plassert på en dreieskive, og leserantennen på et stativ. Leserantennen ble tilkoblet leserenheten, som igjen var tilkoblet en PC via et serielt grensesnitt. Leserenheden ble tilgjengelig på PC via kommunikasjonsprogrammet «Hyperterminal», hvor det ble skrevet kommandoer for å lese fra, eller skrive til transponderen. Leseoppsettet er vist i figur 4.1, prosjektøren er hevet fra dreieskiven ettersom urimelige målinger ble gjort i nærheten av dreieskiven.



Figur 4.1: Oppsett for måling av leseavstand på prosjektør i antennehall

4.1.1.1 Transponder på prosjektør

Transponderen av type «Rafsec UHF PE IMT» [Tillegg B] ble montert direkte på prosjektøren som vist i figur 4.2. Dette var plasseringen som var mest naturlig uten å komme i veien for eksisterende merking, og mest mulig sentrert på jordplanet.

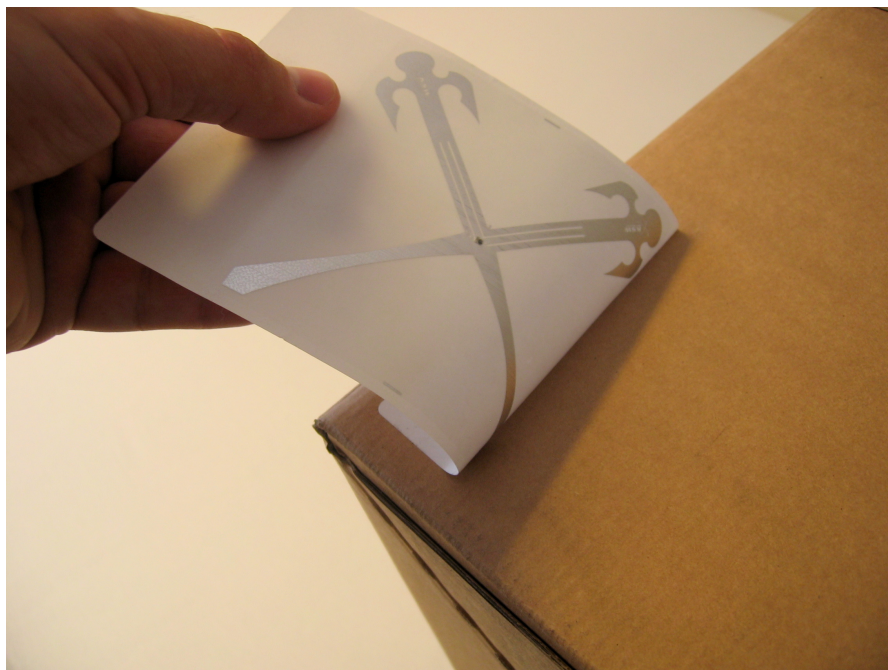


Figur 4.2: RFID-transponder påmontert prosjektør, vist som den hvite etiketten i senter av prosjektøren

Avstandsmålinger ble gjort med RFID-transponderen adskilt fra prosjektoren med distansestykker av ulike materialtyper som beskrevet i kapittel 3.4.5 og 3.4.6. I tillegg til dette ble det utført målinger der materialene ble erstattet med luft i form av skumplast med svært høy tetthet av luft. Alle avstandsmålinger på prosjektør er utført på materialer følgende mål: tykkelse 2 mm, lengde 110mm, bredde 20 mm.

4.1.1.2 Transponder på emballasje

Transponder av type «Intermec ILS00150» [Tillegg E] ble påklistret på begge sider av prosjektørens emballasje som vist i figur 4.3. Det endelige resultatet med den eksisterende etiketten påklistret utenpå transponderen, som illustrerer hvordan dette er en smart-label som kan påprintes informasjon, er vist i figur 3.2.



Figur 4.3: RFID-transponder «Intermec ILS00150» påmonteres emballasjen

Ved forsendelse blir prosjektøren av type «projectiondesign evo2sx+» pakket i emballasje med følgende ytre mål: Bredde = 40 cm, lengde = 52 cm og høyde = 30 cm. Disse blir stablet på pall i en 2x3 formasjon, med maksimalt seks enheter i høyden. Ved å se bort fra målene til pallen, utgjør disse 36 enhetene en kube med ytre mål:

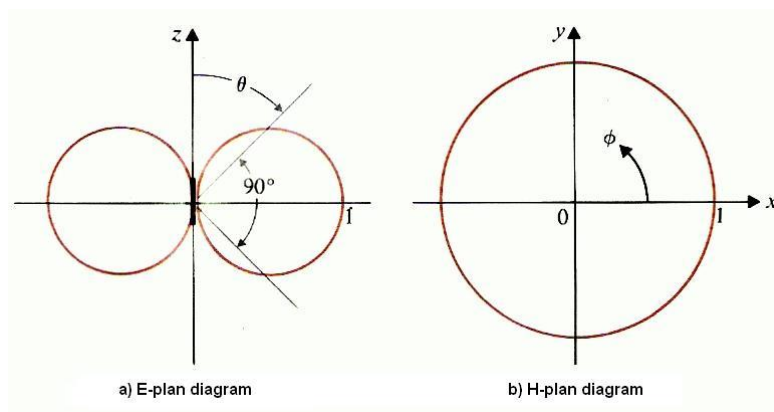
Bredde = 80 cm, lengde = 156 cm og høyde = 180 cm. Da det er vilkårlig hvilken av langsidene som peker ut av kubens langside eller inn mot senter av kubens, ble det montert RFID-transpondere på begge sider av emballasjen der den eksisterende etiketten var plassert. Dermed vil en RFID-transponder for hver emballerte enhet alltid peke ut fra kubens langside. Avstandsmålingene for transponder montert på emballasje er tenkt for en pall som transporteres gjennom porten, med pallens langsider rettet mot portens karm. En RFID-leserantenne er tenkt montert på hver karm, slik at denne havner i sentrum den maksimale høyden til samlingen av kasser på pallen. Maksimalt antall esker på en pall er ved høyden 180 cm, slik at sentrum av leserantennen plasseres 90 cm under den øverste kassens høyeste punkt. Kassen ble plassert på dreieskiven i antennehallen, og leserantennen i en slik posisjon at dens sentrum ble liggende 90 cm under kassens øvre kant. Kassen ble så dreiet 360° for å se om kassen ville bli registrert dersom den ble ført gjennom porten skjevt, eller om innholdet bak transponderen hadde stor innvirkning på leseavstanden. Innholdet bak den ene transponderen var i form av bærevekke, mens prosjektøren befant seg en liten avstand bak den andre transponderen, vist i fig 4.4.



Figur 4.4: Innhold i nedre del av emballasjen

4.1.2 Strålingsdiagram

For problemstillinger med antenner, er feltene i fjernfeltet av primær interesse. Disse feltene er strålingsfelt. En antennes strålingsdiagram beskriver feltstyrken i fjernfeltet, relativt til antennens orientering ved en bestemt avstand fra antennen. Strålingsdiagrammet for en dipol er illustrert i figur 4.5, hvor feltstyrken i E-plan og H-plan er illustrert henholdsvis som a) og b).



Figur 4.5: Strålingsdiagram for en dipol, a) i E-plan b) i H-plan [5]

Generelt er strålingsdiagrammet gitt som et tredimensjonalt diagram, med både θ og ϕ i et sfærisk koordinatsystem. Vanskelighetene det medfører å lage et tredimensjonalt strålingsdiagram, kan unngås ved å plote separate normaliserte diagram for feltstyrken. Ved å variere θ og holde ϕ konstant fremkommer et E-plan diagram, mens det ved å variere ϕ og holde θ konstant fremkommer et H-plan diagram. [5]

4.1.2.1 Transpondermodell

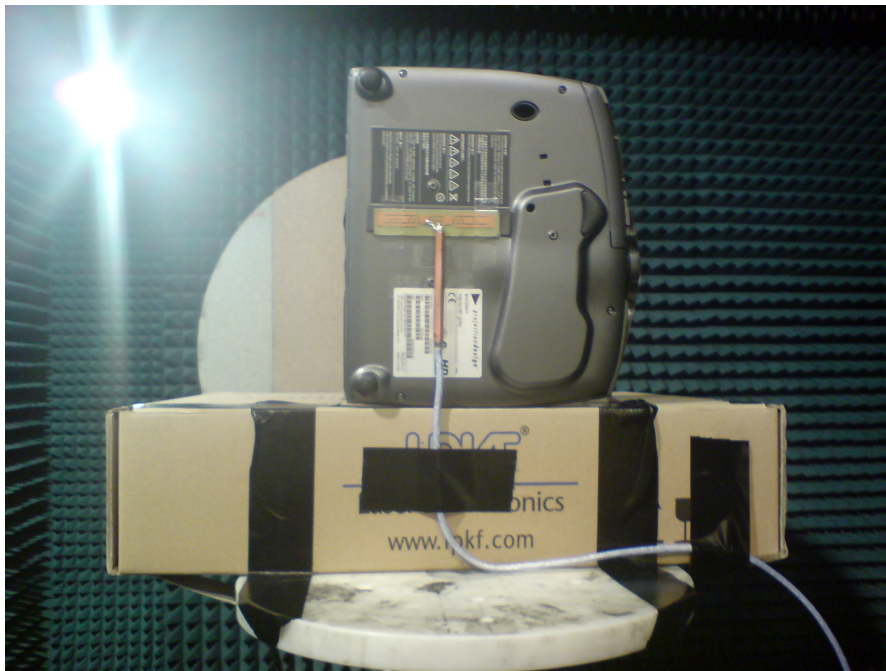
For å foreta målinger i antennehallen var det nødvendig å lage en antennemodell av RFID-transponderen «Rafsec UHF PE IMT» [Tillegg B], slik at signaler fra måleinstrumentet kunne tilkobles antennestrukturen. En utgave av transponderene var et aluminiumssjikt omgitt av et gjennomsiktig folie, dette gjorde antennestrukturen til RFID-transponderen helt tilgjengelig. Ved å bruke denne RFID-transponderen som en mal ble antennestrukturen overført til et kretskort med substrattypen «FR4» med en tykkelse på 1 mm. Avtrykket fra mikrobrikken ble fjernet fra antennemodellen, slik at de to tilkoblingspunktene i dipolstrukturen ble gjort tilgjengelige. Fra en koaksialkabel ble senterleder og kappe loddet til hvert sitt tilkoblingspunkt, hvor det antas at dipolantennen for RFID-transponderen er symmetrisk og balansert.



Figur 4.6: Antennestrukturen for «Rafsec UHF PE IMT» påtrykt kretskort med tilkoblet koaksialkabel og balun

En koaksialkabel er ikke symmetrisk ettersom jord er koblet til et annet jordpotensiale ved den andre enden, den er derfor ikke balansert. Når en koaksialkabel forsyner en balansert

dipolantenne vil strømmen fra senterlederen i koaksen flyte ut i den ene dipolarmen. Strømmen fra ytterlederen vil flyte ut i den andre dipolarmen, samtidig som en del av denne strømmen vil flyte tilbake på utsiden av ytterlederen på koaxskabelen slik at denne også vil stråle. Dette vil føre til at strålingsdiagrammet til dipolen blir forstyrret. En metode å tilpasse koaxskabelen til dipolantennen er ved å benytte en «balun» (BALance-UNbalance). Balunen konstrueres ved å trekke koaxskabelen gjennom et metallrør med en lengde på $\lambda/4$, metallrøret loddes fast til ytterlederen $\lambda/4$, og forblir åpen i enden hvor koaxskabelen tilkobles transponderantennen. Antennestrukturen påtrykt kretskort med tilkoblet koaksialkabel og balun er vist i figur 4.6, mens figur 4.7 viser antennemodell påmontert prosjektøren ved måling av strålingsdiagram.

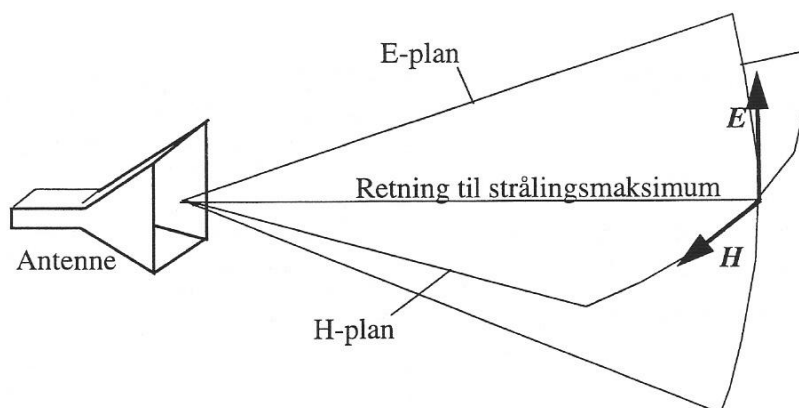


Figur 4.7: Antennestrukturen påmontert prosjektøren under måling av strålingsdiagram

4.1.2.2 Måleverktøy

Måling av strålingsdiagram ble foretatt i antennehallen ved NTNU. Antennehallen er bygget opp av en metallboks, og vil i likhet med et faradays bur ikke slippe signaler inn i, eller ut av det definerte rommet. Rommet er polstret med et absorberende materiale, og vil opptre som ekkofritt ved frekvenser ned mot 2GHz. I den ene enden av rommet er det satt opp en senderantenne i form av en dobbelfinnet hornantenne, av samme type som modell «DRH-0118» [27]. Denne hornantennen er anvendbar over et bredt frekvensområde (1-18GHz). Det elektriske E-feltet og det magnetiske H-feltet vil i aperturen stå

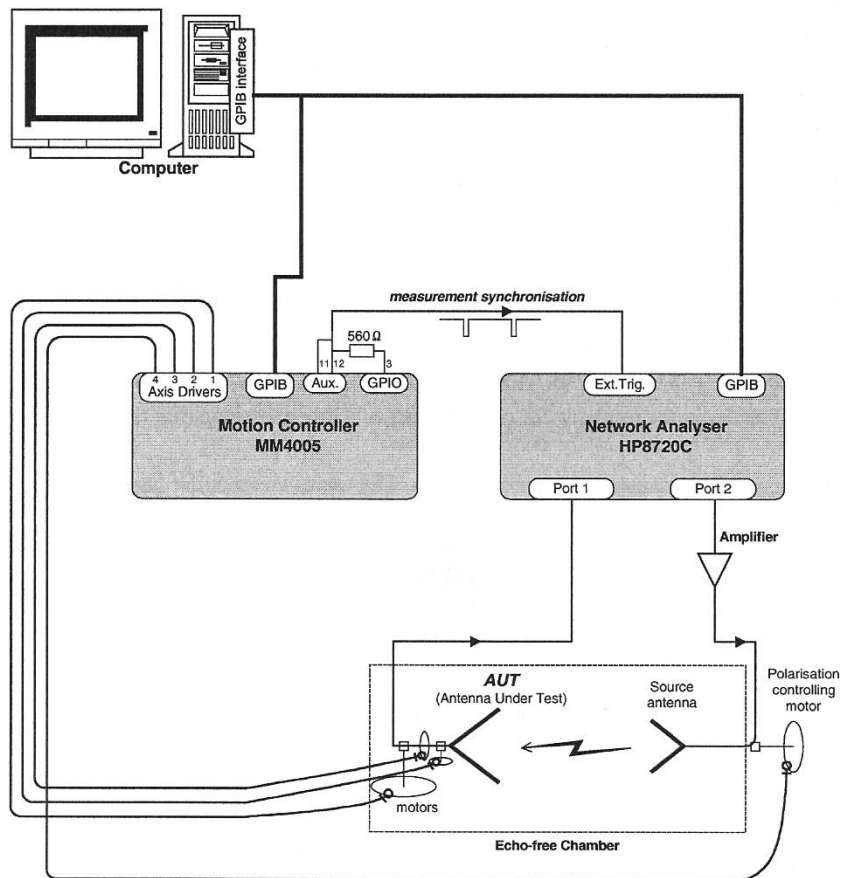
nærmest vinkelrett på hverandre som i en plan bølge, lik den som er illustrert i figur 4.8. Disse feltene vil definere to ortogonale plan, hvor planet i E-feltet kalles E-plan, og planet som inneholder retningen i H-feltet kalles H-plan. Senderhornet er plassert på en langsgående vendbar akse, slik at det innfallende feltet ved antennen som skal måles på kan være horisontalt eller vertikalt polarisert avhengig av valg av orientering.



Figur 4.8: Definisjon av E- og H-plan [28]

Transpondermodellen som ble beskrevet i kapittel 4.1.2.1 ble montert på en dreieskive, i motsatt ende av rommet i forhold til senderhornet. Ved å dreie denne i en retning mot klokken om en vertikal akse under måling, blir dette ekvivalent med å la antennen som måles stå i ro mens senderhornet roterer rundt langs en horisontal sirkelbue. Med denne måleoppstillingen måler oppstillingen alltid et horisontalplan. Ved å montere senderhorn og transpondermodell slik at det elektriske feltet ligger i horisontalplanet, måles strålingsdiagrammet i E-plan. Motsatt, hvis senderhorn og transpondermodell monteres slik at det magnetiske feltet ligger i horisontalplanet måles strålingsdiagrammet i H-plan.

Systemoppsettet for målingene er vist i figur 4.9. En PC med «labView» programmet «AMID v2» kontrollerer nettverksanalysatoren «HP8720C» og bevegelseskontrolleren «MM4005». Nettverksanalysatoren fungerer som kilde til senderhornet, og mottaker til transpondermodellen, og kan konfigureres til å måle de forskjellige refleksjonsparametrene. Senderhornet er tilkoblet en forterker for å kompensere for tap i de lange kablene mellom nettverksanalysatoren og senderhornet. «labView» programmet ble konfigurert for å måle refleksjonsparameteren S_{12} , ved frekvensene 867, 868 og 869 MHz. Før måling ble antennene satt opp slik at de var rettet direkte mot hverandre. Når målingen ble foretatt dreide transponderantennen 180° med klokken før den stanset, for så å utføre 181 målinger gjennom en rotasjon mot klokken på 360° .



Figur 4.9: Systemoppsett for måling i antennehallen ved NTNU

4.2 Måleresultater

Måleresultatene er delt opp i de to underkapitlene 4.2.1 og 4.2.2, som henholdsvis presenterer verdier for målt leseavstand og strålingsdiagram.

4.2.1 Avstandsmåling

Betegnelsen «-» i måletabellene betyr at transponderen ikke var lesbar ved den gitte orienteringen.

4.2.1.1 Transponder på prosjektør

Tabell 4.1 viser leseavstand målt i H-plan og E-plan, der transponderen er adskilt fra prosjektøren med et avstandsstykke av luft.

<i>Orientering</i>	<i>Leseavstand i H-plan (cm)</i>	<i>Leseavstand i E-plan (cm)</i>
70°	-	-
60°	-	11
50°	-	17
40°	23	24
30°	23	31
20°	26	32
10°	31	35
0°	31	30
-10°	29	35
-20°	21	29
-30°	13	18
-40°	13	23
-50°	-	16
-60°	-	-

Tabell 4.1: Leseavstand for transponder påmontert prosjektør, med avstandsstykke av luft

I den andre avstandsmålingen av transponder montert på prosjektør, ble transponderen skilt fra prosjektøren med dielektrisk materiale. Tabell 4.2 viser leseavstand målt i H- og E-plan.

<i>Orientering</i>	<i>Leseavstand i H-plan (cm)</i>	<i>Leseavstand i E-plan (cm)</i>
80°	-	-
70°	-	15
60°	-	22
50°	-	22
40°	11	31
30°	20	31
20°	21	33
10°	39	33
0°	36	37
-10°	34	39
-20°	34	33
-30°	34	21
-40°	22	21
-50°	21	21
-60°	-	21
-70°	-	16
-80°	-	-

Tabell 4.2: Leseavstand for transponder påmontert prosjektør, med avstandsstykke av dielektrisk materiale

I den tredje avstandsmålingen av transponder montert på prosjektør, ble transponderen skilt fra prosjektøren med et avstandsstykke av materiale med høy permeabilitet. Tabell 4.3 viser leseavstand målt i H- og E-plan.

<i>Orientering</i>	<i>Leseavstand i H-plan (cm)</i>	<i>Leseavstand i E-plan (cm)</i>
80°	-	-
70°	-	17
60°	-	25
50°	41	25
40°	41	38
30°	58	38
20°	71	53
10°	72	53
0°	69	65
-10°	69	53
-20°	68	53
-30°	62	53
-40°	53	38
-50°	39	38
-60°	40	31
-70°	-	34
-80°	-	32
-90°	-	32
-100°	-	-

Tabell 4.3: Leseavstand for transponder påmontert prosjektør med avstandsstykke av materiale med høy permeabilitet

I den siste avstandsmålingen av transponder montert på prosjektør, ble transponderen skilt fra prosjektøren med et avstandsstykke kombinert av et dielektrisk materiale og et materiale med høy permeabilitet. Tabell 4.4 viser leseavstand målt i H- og E-plan.

<i>Orientering</i>	<i>Leseavstand i H-plan (cm)</i>	<i>Leseavstand i E-plan (cm)</i>
100°	-	-
90°	-	27
80°	-	26
70°	-	25
60°	23	39
50°	23	40
40°	37	40
30°	37	39
20°	40	35
10°	40	38
0°	45	36
-10°	38	39
-20°	38	39
-30°	38	37
-40°	40	41
-50°	-	40
-60°	-	37
-70°	-	32
-80°	-	32
-90°	-	18
-100°	-	-

Tabell 4.4: Leseavstand for transponder påmontert prosjektør, avstandsstykke av dielektrisk materiale og materiale med høy permeabilitet

4.2.1.2 Transponder på emballasje

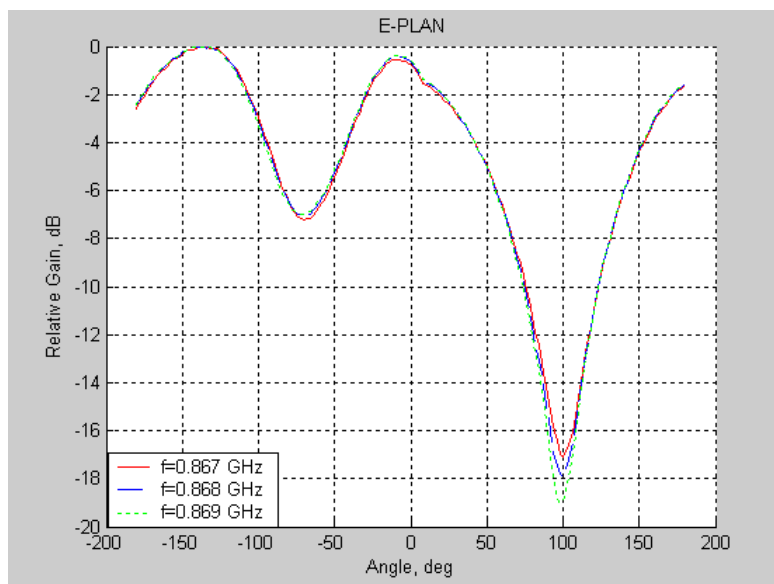
Metoden for avstansmåling av transponder montert på emballasje er beskrevet i kapittel 4.1.1.2. «Transponder 1» er montert på den siden av emballasjen hvor prosjektøren befinner seg innvendig, mens «Transponder 2» er montert der bærevesken befinner seg. Verdier for avstandsmålingene er gitt av tabell 4.5

<i>Orientering</i>	<i>Leseavstand Transponder1</i>	<i>Leseavstand Transponder2</i>
0°	1)5m2)-	1)5m2)5m
22,5°	1)- 2)5m	1)5m 2)5m
45°	1)- 2)-	1)5m 2)5m
77,5°	1)- 2)-	1)5m 2)5m
90°	1)- 2)-	1)5m 2)5m
112,5°	1)- 2)-	1)4m 2)5m
135°	1)5m 2)5m	1)5m 2)5m
157,5°	1)5m 2)4,7m	1)- 2)-
180°	1)5m 2)4,3m	1)- 2)-
202,5°	1)5m 2)4,3m	1)- 2)-
225°	1)- 2)-	1)5m 2)5m
247,5°	1)5m 2)5m	1)- 2)-
270°	1)5m 2)5m	1)- 2)-
292,5°	1)- 2)5m	1)5m 2)5m
315°	1)5m 2)-	1)5m 2)5m
337,5°	1)- 2)-	1)5m 2)5m

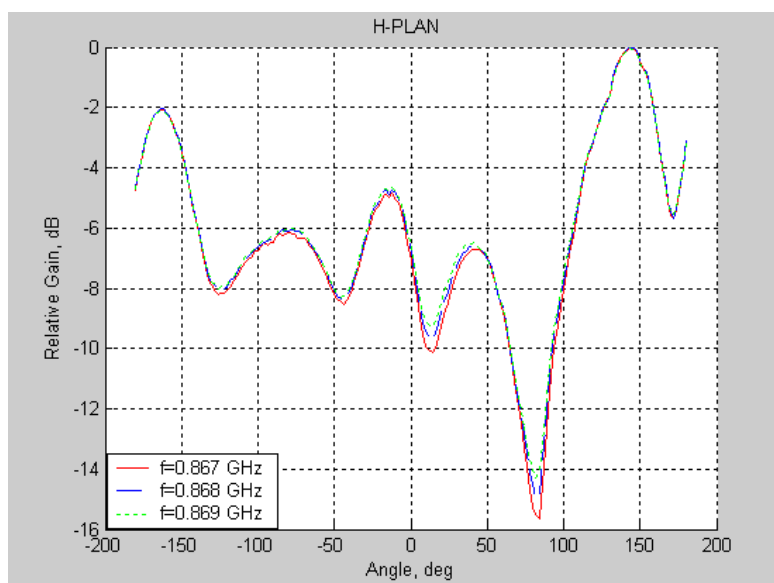
Tabell 4.5: Leseavstand for transponder påmontert emballasje, 1) for enkel emballasje, 2) for ekstra emballasje utenpå emballasje med transponder

4.2.2 Strålingsdiagram

Den første målingen av strålingsdiagram ble gjort for antennestrukturen til transponderen «Rafsec UHF PE IMT» alene i fravær av andre elementer, dette for å få et grunnlag til å sammenligne mot andre strålingsdiagram når antennestrukturen ble påmontert prosjektøren. Strålingsdiagram i E- og H-plan for antennestrukturen alene er henholdsvis vist i figur 4.10 og 4.11.

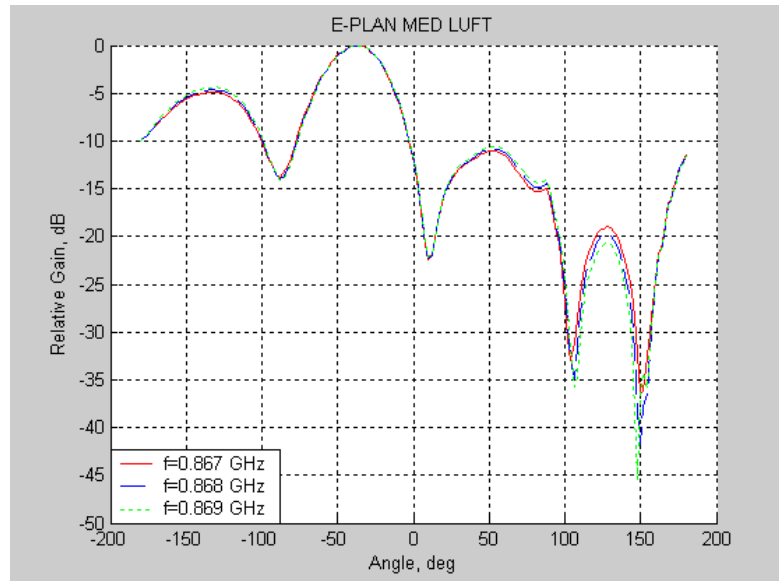


Figur 4.10: Strålingsdiagram i E-plan for antennestrukturen oppstilt alene

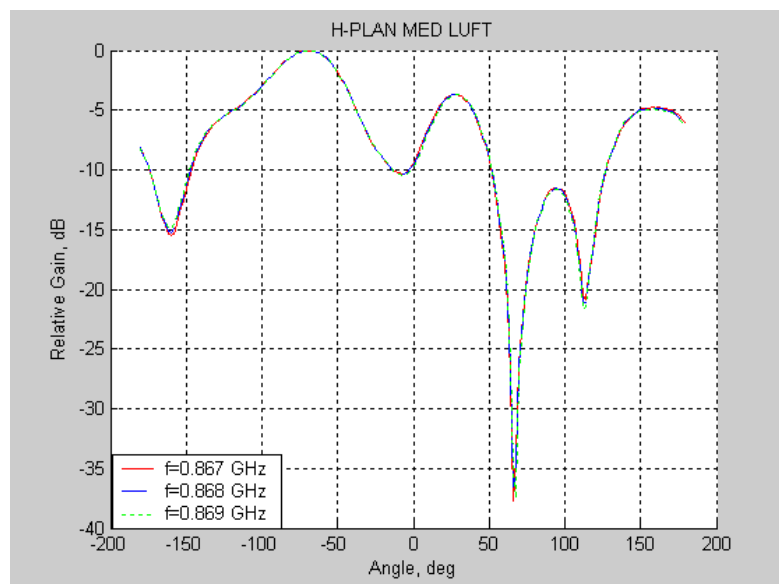


Figur 4.11: Strålingsdiagram i H-plan for antennestrukturen oppstilt alene

Strålingsdiagram i E- og H-plan for antennestruktur på prosjektør, adskilt med distansestykke av luft er henholdsvis vist i figur 4.12 og 4.13.

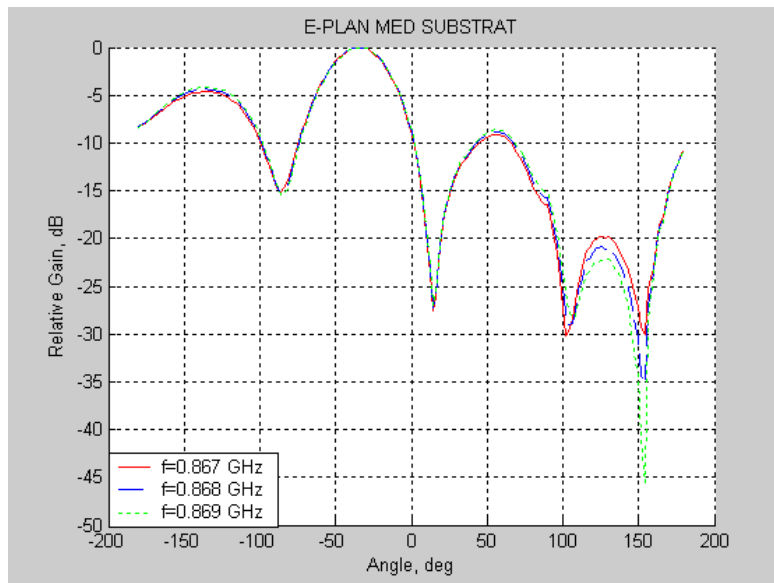


Figur 4.12: Strålingsdiagram i E-plan for antennestrukturen påmontert prosjektor, med distansestykke av luft

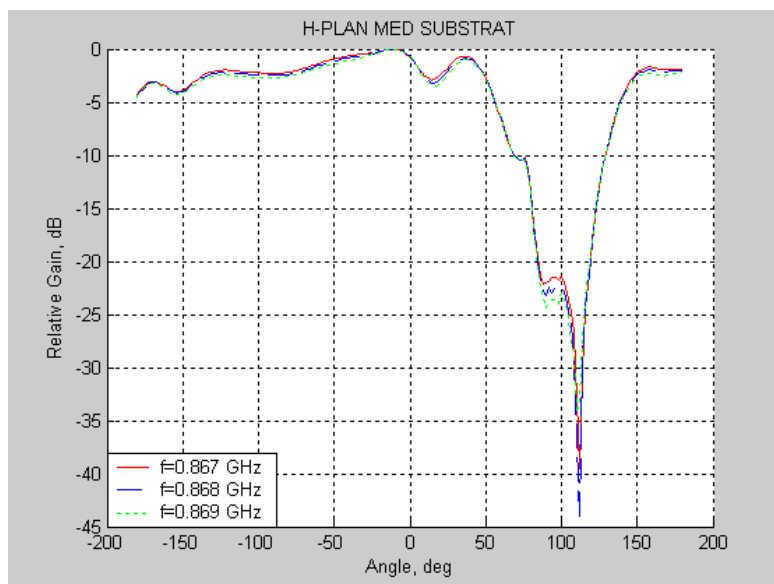


Figur 4.13: Strålingsdiagram i H-plan for antennestrukturen påmontert prosjektor, med distansestykke av luft

Strålingsdiagram i E- og H-plan for antennestruktur på prosjektør, adskilt med distansestykke av dielektrisk materiale er henholdsvis vist i figur 4.14 og 4.15.

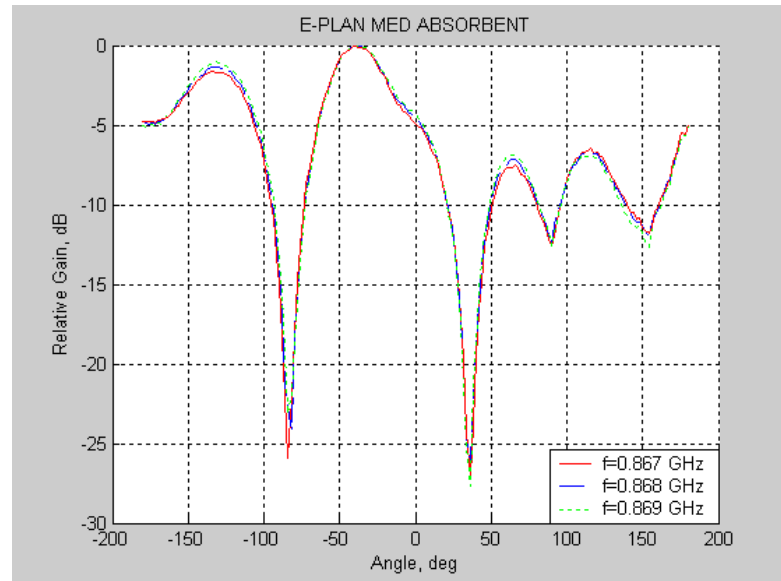


Figur 4.14: Strålingsdiagram i E-plan for antennestrukturen påmontert prosjektør, med distansestykke av dielektrisk materiale

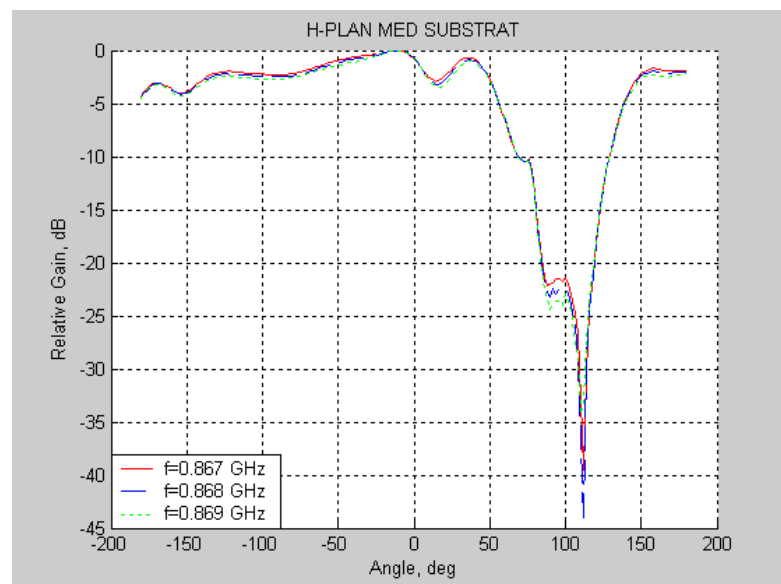


Figur 4.15: Strålingsdiagram i H-plan for antennestrukturen påmontert prosjektør, med distansestykke av dielektrisk materiale

Strålingsdiagram i E- og H-plan for antennestruktur på prosjektør, adskilt med distansestykke av materiale med høy permeabilitet er henholdsvis vist i figur 4.16 og 4.17.

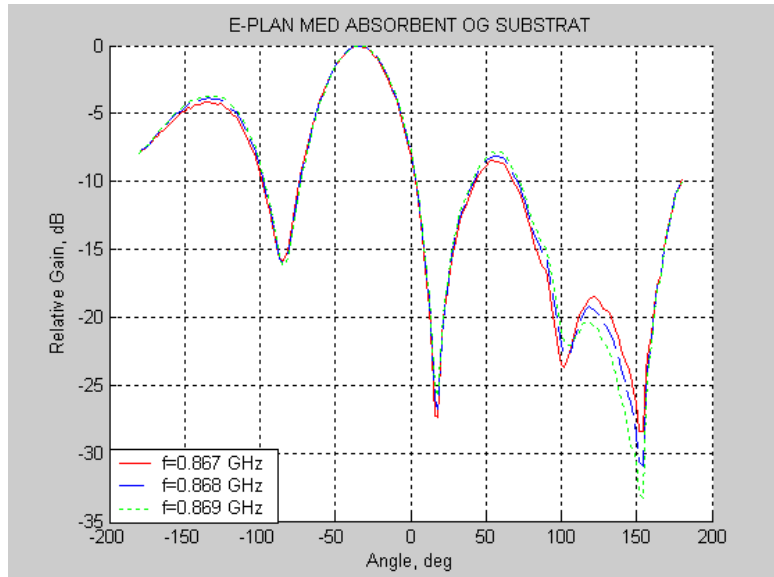


Figur 4.16: Strålingsdiagram i H-plan for antennestrukturen påmontert prosjektør, med distansestykke av materiale med høy permeabilitet

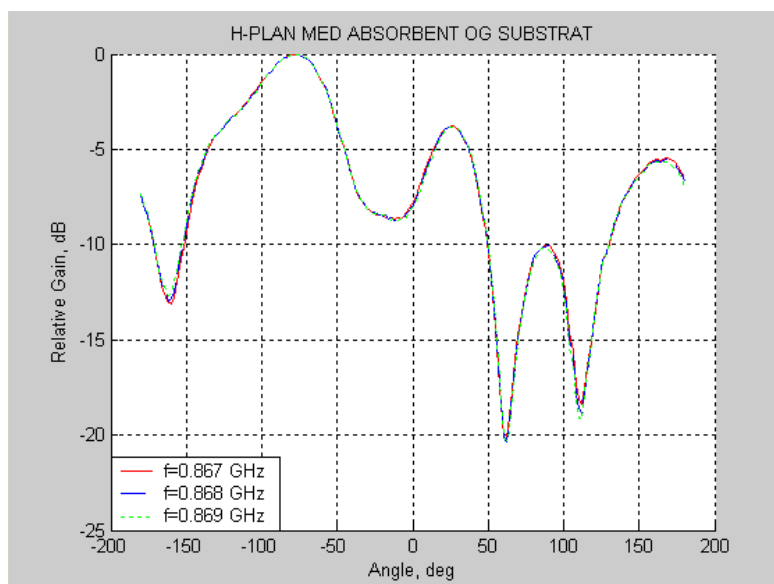


Figur 4.17: Strålingsdiagram i H-plan for antennestrukturen påmontert prosjektør, med distansestykke av materiale med høy permeabilitet

Strålingsdiagram i E- og H-plan for antennestruktur på prosjektør, adskilt med distansestykket av både dielektrisk materiale og materiale med høy permeabilitet er henholdsvis vist i figur 4.18 og 4.19.



Figur 4.18: Strålingsdiagram i E-plan for antennestrukturen påmontert prosjektør, med distansestykket av 2 materialer typer



Figur 4.19: Strålingsdiagram i H-plan for antennestrukturen påmontert prosjektør, med distansestykket av 2 materialer typer

Kapittel 5

Diskusjon

Målinger av leseavstand for RFID-transponder montert på prosjektør, ble presentert i kapittel 4.2.1. Disse målingene indikerer at RFID ikke er riktig teknologi for direkte merking av metallobjekter, dersom det stilles krav til stor leseavstand samtidig som transponderen skal holde en diskret profil.

Det var mot slutten av oppgaven ønskelig å teste en versjon av RFID-transponderen «Rafsec UHF PE IMT» ferdig påmontert materialet «ECCOPAD®» fra «Emerson & Cuming» for montering på metallflater. Men grunnet feilleveranse fra leverandør ble ikke dette mulig. «ECCOPAD®» påmontert RFID-transpondere er en så ny teknologi, at den ikke var tilgjengelig fra «Emerson & Cuming» da kontakt ble opprettet første gang.

Ved RFID-merking av spesielle produkter, som prosjektører fra projectiondesign finnes det ulike metoder å utføre merkingen på. Prosjektøren kan merkes med en RFID-transponder som er ment for produksjonslinjen og kunden. Denne kan utover minnet for den 96 bit store EPC-koden som registres ved hvert ledd i produksjonen, utstyres med et brukerdefinert minne. Dette ekstra minnet kan benyttes i produksjonen til å legge inn signatur ved ulike kontroller, samt lagre måleverdier ved testing av ferdig produkt.

Dersom RFID lesere stadig blir mer tilgjengelig, og for eksempel implementeres i elektronisk utstyr som mobiltelefoner, blir data for prosjektøren lett tilgjengelig for kunden. Utover denne merkingen kan emballasjen merkes med en eller flere transpondere, disse trenger bare å utstyres med det 96 bit store EPC-koden. Denne eller disse, skal virke på et logistikknivå. Ved å benytte RFID på et logistikknivå oppnås en bedre og mer oversiktlig kontroll over produktene. Ved å benytte RFID-lesere ved lagerporter registreres produktet når det forlater produsenten, slik at det videre ansvaret for produktet derfra kan pålegges logistikpartner. Dersom logistikpartneren også benytter RFID-teknologi, og projectiondesign samkjører sitt system mot dette, kan kunden følge produktet gjennom produksjonslinjen, til lager, og videre gjennom distribusjonsnettverket.

5.1 Avstandsmålinger

5.1.1 Transponder på prosjektør

Den første avstandsmålingen som ble foretatt på prosjektøren var med RFID-transponder montert direkte på prosjektøren. Denne plasseringen resulterte i at RFID-transponderen ble ikke-lesbar. Ved å skille RFID-transponderen fra prosjektøren med et 2 mm tykt distansestykke av luft ble RFID-transponderen lesbar innenfor en begrenset leseavstand. Denne leseavstanden er vist i tabell 4.1, der transponderen er dreiet i H- og E-plan. Maksimal leseavstand for denne konfigurasjonen er 35 cm når prosjektøren dreies $\pm 10^\circ$ i E-planet.

Ved å erstatte distansestykket av luft med et dielektrisk materiale var det forventet at leseavstanden skulle øke, men ikke betraktelig. Tabell 4.2 viser hvordan leseavstanden økte marginalt, med maksimalavstand 39 cm når prosjektøren ble dreiet 10° i H-plan eller -10° i E-plan. Leseavstanden økte for nærmest alle vinkler i E- og H-plan sammenlignet med avstandsstykket i luft, samtidig ble RFID-transponderen lesbar ved større vinkler enn når avstandsstykket bestod av luft.

Da det dielektriske materialet ble erstattet med materiale med høy permeabilitet var det usikre forventninger til resultatet, hvordan dette materialet ville påvirke leseavstanden i forhold til det dielektriske materialet. Tabell 4.3 viser hvordan leseavstanden økte i betraktelig større grad, enn ved overgangen fra distansestykke i luft til dielektrisk materiale. Den maksimale leseavstanden for denne konfigurasjonen er 72 cm når prosjektøren dreies $\pm 10^\circ$ i H-planet, den ble lesbar ved større vinkler i E-planet og mindre i H-planet enn for dielektrisk materiale.

Til slutt ble det utført avstandsmåling med en kombinasjon av dielektrisk materiale og materiale med høy permeabilitet, i et forsøk på å skille RFID-transponderen en liten avstand fra materialet med høy permeabilitet. Hensikten med dette var å forsøke å redusere koblingen mellom materialet med høy permeabilitet og strålingen fra RFID-transponderen i retning mot leserantennen. Tabell 4.4 viser at leseavstanden havnet på nivå med leseavstanden da distansestykke av dielektrisk materiale ble benyttet, og den maksimale leseavstanden er 45 cm ved 0° . I motsetning til leseavstandene med distansestykke av dielektrisk materiale, ble leseavstanden ved denne konfigurasjonen mer uniform når prosjektøren ble rotert i H- og E-plan. Det nevnes at det ble benyttet materialtykkelser 1mm på hvert av de to lagene i denne konfigurasjonen. Dette er årsaken til at denne målingen med dielektrisk materiale og materiale med høy permeabilitet ikke ble bedre enn for målinger kun med materiale med høy permeabilitet, hvor tykkelsen var 2mm.

5.1.2 Transponder på emballasje

Resultat av den korte rekkevidden RFID-transponderen hadde på prosjektøren førte til forsøk med å RFID-transpondere montert på emballasjen, dette var for å imøtekomme kravene til rekkevidde et RFID-system krever mot logistikk. Da prosjektøren ble mottatt kom den i en ekstra emballasje som dekket den vanlige emballasjen, denne ekstra emballasjen vil i en tenkt systemløsning dekke for RFID-transponderne montert på den vanlige emballasjen. Måling av leseavstand på emballasje ble dermed gjort for den vanlige emballasjen, og med ekstra emballasje. Leseavstandene er presentert i tabell 4.5 for produkt emballert i enkel og dobbel emballasje. Målingene viser at minst en av transponderene alltid vil være lesbare, og at effekten av den ekstra emballasjen er neglisjerbar.

5.2 Strålingsdiagrammer

Strålingskarakteristikken for en dipol er illustrert i figur 4.5, avvik fra denne karakteristikk kan være avhengig av flere faktorer. Antennehallen er spesifisert for frekvenser $\geq 2\text{GHz}$, ettersom målingene er gjort ved 868 MHz kan refleksjoner ha oppstått fra vegger og andre elementer i måleoppsettet. Antennestrukturen er ikke uniform som en ideel dipol, den er en bred struktur av et tynt kobberlag, det kan også være mistilpasning der coaxkabelen tilsluttes antennestrukturen.

Den første målingen av strålingsdiagram ble gjort for antennestrukturen alene, resultat av disse målingene er illustrert i figur 4.10 og 4.11 for henholdsvis E- og H-plan. Målingen i E-plan viser tydelig den ikke-uniforme strålingskarakteristikken for en dipol i E-plan. Ved -180° , 0° og 180° er strålingsintensiteten tilnærmet ved sin maksimalverdi, mens tilnærmet strålingsminimum befinner seg ved $\pm 90^\circ$. Strålingskarakteristikken i H-plan har som forventet en mer uniform karakteristikk, men har maksimal strålingsintensitet ved tilnærmet samme orientering som i E-plan.

Måleresultater av strålingsdiagram for antennestrukturen adskilt fra prosjektør med distansestykke av luft er vist i figur 4.12 og 4.13 for henholdsvis E- og H-plan. Målingen i E-planet viser tydelig at strålingsintensiteten ligger på et 5 dB høyere ved 0° , enn ved 180° hvor prosjektøren skjermer for antennen. Målingen i H-plan viser at strålingsintensiteten har sine høyeste verdier mellom -100° og 50° , dette er området hvor prosjektøren ikke skjermer for antennen.

Måleresultatene for strålingsdiagram, der de andre materialtypene ble benyttet kan i grove trekk sammenlignes med beskrivelsen av måleresultater for antennestruktur adskilt med distansestykke av luft. Dette kan beskrives med at strålingsintensiteten i E- og H-plan er sterkest når orienteringen tilsier at prosjektøren ikke skjermer for antennestrukturen.

5.3 Sammenligning av måleresulater

Ved å sammenligne målinger for strålingsdiagram og avstandsmålinger, er det en tydelig sammenheng. Den klart sterkere strålingsintensiteten fra antennen når denne ikke er skjermet av prosjektøren, og leseavstanden når RFID-transponderen ikke er skjermet av prosjektøren, henger godt sammen. Det er videre vanskelig å se en direkte korrelasjon mellom leseavstand og nivå på strålingsintensiteten ved de ulike orienteringene i E- og H-plan. Dette kan være på grunn av usikkerhet i målingene, som beskrevet innledende i kapittel 5.2. Det kan også være stor grad av usikkerhet i avstandsmålingene som er utført, slik at de direkte sammenhengene blir vanskelige å trekke frem.

Kapittel 6

Konklusjon

For RFID-merking av projectiondesigns produkter vurderes passive UHF «Gen2» transpondere som best egnet. De vanskelige leseforholdene på selve produktet, prosjektører med magnesiumchassis, begrenser mulighetene ved bruk av kun en transponder. Ved å benytte transpondere UHF «Gen2» transpondere kan prosjektøren merkes med en transponder, og emballasjen med to transpondere. Hver av de tre transponderne per enhet har samme elektroniske produktkode (EPC), slik at kun en av disse transponderne registreres i feltet til en RFID-leser. Transponderen montert på selve prosjektøren er ment nyttet gjennom produksjon, montering og eventuelle reparasjoner av denne. Denne transponderen utstyres med et ekstra minne for lagring av signaturer, måleverdier og historikk. Transponderne montert på prosjektørens emballasje imøtekommer den begrensede rekkevidden på prosjektørens transponder, og skal virke på et logistikknivå i RFID-løsningen.

Målet ved oppgaven var å se hvordan RFID-teknologi kan implementeres på produkter ved projectiondesign. Innledende undersøkelser av produkt fra projectiondesign, og teori om RFID gav grunnlag for valg av teknologi. Med tilgang på RFID-utstyr med ønsket teknologi ble det mulig å utføre realistiske og praktiske målinger, som kunne sammenlignes med analytiske målinger gjort på en antennemodell.

Innledende tester viste at en transponder montert på prosjektørens chassis ikke var lesbar. Denne utfordringen resulterte i at oppgaven i stor grad omhandler metoder for å få transponderen lesbar i nærheten av metalliske omgivelser, fremfor å se på en helhetlig løsning for projectiondesign.

For å avgjøre om projectiondesign bør benytte RFID-teknologi i merking av sine produkter, bør det gjøres en mer omfattende undersøkelse av de metoder og prosedyrer som allerede benyttes. Undersøkelsene gjort i denne oppgaven viser at RFID har store begrensninger i metalliske omgivelser. Disse begrensningene kan imøtekommes ved å skille transponderen fra metall med materialer med ulike elektriske og magnetiske egenskaper, samtidig som det finnes løsninger der også emballasjen kan påmonteres transpondere.

Bibliografi

- [1] Auto-ID 2007.
<http://www.autoid.org>.
- [2] Klaus Finkenzeller. *RFID Handbook - Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification*. John Wiley & Sons Ltd, 2003.
- [3] Jerry Landt and Barbara Catlin. *Shrouds of Time - The history of RFID*. An AIM Publication, 2001.
- [4] Inc. 2007 Wal-Mart Stores.
<http://www.walmart.com>.
- [5] David K. Cheng. *Field and Wave Electromagnetics*. Adison-Wesley Publishing Company, Inc., 1992.
- [6] Wayne Tomasi. *Electronic Communications Systems - Fundamental Through Advanced, Fifth Edition*. Pearson Education, Inc., 2004.
- [7] Håvard Sunde. *Radiofrekvens-identifisering (RFID) til sporing av flybagasje*. Masteroppgave. Trondheim, August 2006.
- [8] Post og teletilsynet 2007.
<http://www.npt.no>.
- [9] AIM Global 2007.
<http://www.aimglobal.org>.
- [10] ISO 2007.
<http://www.iso.org>.
- [11] GS1 BarCodes 2007.
<http://www.gs1.org>.
- [12] Inc. 2007 EPCglobal.
<http://www.epcglobalinc.org>.
- [13] BizBrick 2007.
<http://www.bizbrick.com/>.

- [14] MIT auto-ID lab 2007.
<http://autoid.mit.edu/cs/>.
- [15] Intellex 2006.
<http://www.intelleflex.com/>.
- [16] LLC. 2007 RFID Journal.
<http://www.rfidjournal.com>.
- [17] BOXmobile 2007.
<http://www.boxmobile.co.uk>.
- [18] RFIDSupplyChain 2007.
<http://www.rfidsupplychain.com>.
- [19] Triple-S Industry Automation AS 2007.
<http://www.triple-s.no>.
- [20] projectiondesign AS 2007.
<http://www.projectiondesign.com>.
- [21] Constantine A. Balanis. *Advanced Engineering Electromagnetics*. John Wiley & Sons Ltd, 1989.
- [22] SINTEF IKT 2007.
<http://www.sintef.no>.
- [23] Nortura BA 2007.
<http://www.nortura.no>.
- [24] Elmatica AS 2007.
<http://www.elmatica.no>.
- [25] Emerson & Cuming 2007.
<http://www.eccosorb.com>.
- [26] Agilent 2007.
<http://www.agilent.com>.
- [27] Inc. 2007 Spectrum Target Technologies.
<http://www.gosti.com>.
- [28] Jon Anders Aas. *Antenneteknikk, En introduduskjon*. Tapir Uttrykk, 2006.

Tillegg A

Utrekning av H_{min}

Fra uttrykket i likning 2.24, kan den induerte spenningen $u_{Q2} = u_i$ erstattes med faktoren som induerer spenningen $u_{Q2} = u_i = j\omega M \cdot i_1 = \omega \cdot k \cdot \sqrt{L_1 \cdot L_2} \cdot i_1$. Dette gir følgende uttrykk:

$$u_2 = \frac{j\omega M \cdot i_1}{1 + (j\omega L_2 + R_2) \cdot \left(\frac{1}{R_L} + j\omega C_2\right)} \quad (\text{A.1})$$

og:

$$u_2 = \frac{j\omega \cdot k \cdot \sqrt{L_1 \cdot L_2} \cdot i_1}{1 + (j\omega L_2 + R_2) \cdot \left(\frac{1}{R_L} + j\omega C_2\right)} \quad (\text{A.2})$$

Den induerte spenningen $u_{Q2} = u_i$ kan generelt utledes ved ligning 2.18. Ved å anta et homogent, sinusformet magnetisk felt i luft kan følgende utledes:

$$u_i = \mu_0 \cdot A \cdot N \cdot \omega \cdot H_{eff} \quad (\text{A.3})$$

I ligning A.3 er H_{eff} den effektive feltstyrken av et sinusformet magnetisk felt, ω er vinkelhastigheten til det magnetiske feltet, N er antall vindinger i transponderspølen L_2 og A er arealet av tverrsnittet til transponderspølen. Ved å erstatte $u_{Q2} = u_i = j\omega M \cdot i_1$ i ligning A.2 med ligning A.3 og multiplisere ut nevneren utledes følgende:

$$u_2 = \frac{j\omega \cdot \mu_0 \cdot H_{eff} \cdot A \cdot N}{j\omega \left(\frac{L_2}{R_L} + R_2 C_2\right) + \left(1 - \omega^2 L_2 C_2 + \frac{R_2}{R_L}\right)} \quad (\text{A.4})$$

Ved å løse ligning A.4 med hensyn på H_{eff} omskrevet til ikke kompleks form, resulterer i forholdet for feltet H_{min} i likning A.5.

$$H_{min} = \frac{u_2 \cdot \sqrt{\left(\frac{\omega L_2}{R_L} + \omega R_2 C_2\right)^2 + \left(1 - \omega^2 L_2 C_2 + \frac{R_2}{R_L}\right)^2}}{\omega \cdot \mu_0 \cdot A \cdot N} \quad (\text{A.5})$$

Tillegg B

Rafsec UHF PE IMT



UPM Raflatac

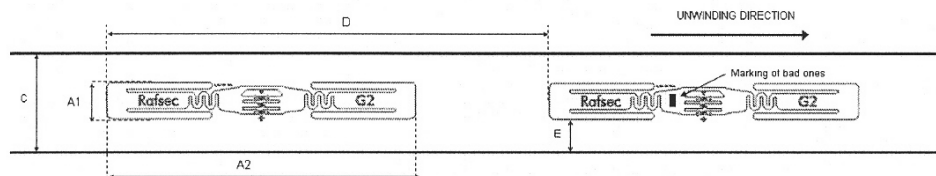
2007-02-07

Preliminary Product Specification

Rafsec UHF PE IMT
C1G2 EPC
Sales code 3001075

Mechanical dimension

A1	Antenna width	11	[mm]	± 0,5	[mm]
A2	Antenna length	93	[mm]	± 0,5	[mm]
C	Web width	24	[mm]	± 0,5	[mm]
D	Pitch length per piece	120	[mm]	± 3	[mm]
E	Antenna to web edge	6,5	[mm]	± 2	[mm]
	Register mark, not visible, on antenna web	3x3	[mm]	± 0,2	[mm]
	Overall thickness of transponder without IC	500	[µm]	± 10	[%]

**Electrical characteristics**

Integrated Circuit (IC)	EPC Class 1 Gen 2 compliant
Total memory	96 bit
Operating frequency	860-960 MHz
Read Sensitivity	Min. * V/m

* Tests are on going

General characteristics of transponder

Operating temperature (electronics parts)	-40°C/+65°C	-40°F/+149°F
ESD voltage immunity	+/- 1 kV peak, HBM	
Storage conditions ¹	+20°C, 50%RH	+68°F, 50%RH
Bending diameter (D)	> 50 mm, tension less than 10 N	
Static pressure (P)	< 10 MPa (10 N/mm ²)	

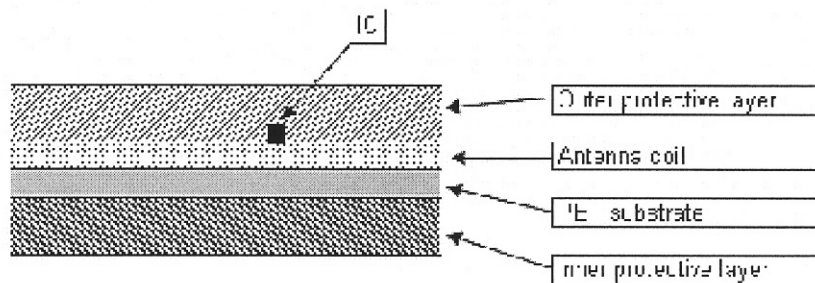
¹IC memory will retain data for 10 years if < 1k cycles; 1 year if 1k cycles to 100k cycles.

The cycling limit is reached when any bit in the memory has been written the indicated number of times.

Delivery form

Transponder format	Continuous on reel
Transponder face protective layer	White PE
Transponder backing protective layer	White PE
Transponder antenna material	Copper
Curling	max. 10mm
Recommendation for use	IC side out, inner side towards the container
Final inspection	100% , known faulty ones marked
Delivery yield	TBD

Structure



Delivery details

Appearance	Single row reel form
Reel labeling	Reel number, product number, amount, production order number, yield and date
Reel core	Paper core inner diameter 76 mm (3")
Winding of reel	Face (IC side) out

Disclaimer:

UPM Raflatac reserves the right to change its products and services at any time without notice. Our recommendations are based on our best knowledge and experience. As the products are used outside our control we cannot take responsibility for any damage that may be caused when using the product.

This technical specification replaces all earlier ones.

Version	1.1
Update date	2007-02-07
Author	UPM Raflatac, RFID / MSo
Accepted	UPM Raflatac, RFID / TKo

Tillegg C

Intermec IF4 Reader



- An intelligent peripheral – capable of internal filtering to reduce network traffic
- Software configurable to read/write EPC Class 1, EPC Gen 2 and ISO tags
- Factory configurable to operate in 865MHz, 869MHz, 915MHz or 950MHz RFID bands
- Directly monitors and controls presence detectors and signal lights
- Downloadable firmware for migration path to ISO 18000-6c

IF4 INTELLITAG® SERIAL RFID READER

Joining a diversified line of RFID readers, the Intermec® Intellitag® IF4 serial reader is the ideal RFID peripheral for applications where an edge server or Programmable Logic Controller (PLC) is used for process control. The IF4 reduces the communications burden on the network and processing demand on the host PLC.

While reading and writing RFID labels and tags, the IF4 uses an air-interface protocol for filtering out unneeded tag data caused by multiple reads and tags not required for the application.

General purpose input/output (I/O) circuitry enables the IF4 to monitor and/or control peripheral devices while keeping the cost of ancillary equipment and installation down.

After the IF4 controls the selection of appropriate tags for reading, it then combines its pre-configured application parameters with the information from the selected tags in order to activate external sensors as well as control audible and visual indicators.

For example, an IF4 reader mounted above a conveyor can be programmed to scan the destination field on all tags passing by and subsequently report that code to the PLC, which can then actuate diverter mechanisms to route the tagged package to the proper dock door.

RFID standards are continuing to evolve, which requires manufacturers and retailers to have multi-protocol reading capability if they are implementing RFID in an open supply chain. When fully equipped, via firmware downloads, the IF4 can read multiple air interface protocols, even in mixed populations of tags, including EPC UHF Generation 2 (Gen 2), ISO 18000 6-b and EPC Class 1.

The IF4 reader is factory configured to operate in either of two regional RFID frequency bands: 865 and 869MHz (Zone 1, primarily Europe), or 915MHz (Zone 2, primarily North and South America, with parts of Asia and Pacific Rim). Multi-national enterprises operating in North America, Europe and Asia no longer have to purchase and support multiple readers in order to cope with the different

frequency bands present in each region. The IF4 readers have a common design with band-specific hardware, and are supported with common "soft radio" code.

An external auto-range adapting power supply, requiring approximately 2 watts of 95 to 250 Volts AC, allows the IF4 to be capable of continuous operation anywhere in the world.

The Basic Reader Interface included with IF4 simplifies the control of RFID interrogators with text-like command/response protocol that is portable to many platforms, easy to learn, optimize and support.

PHYSICAL DESCRIPTION

The Intellitag IF4 Serial Reader, available in 865, 869, and 915 MHz bands, is a rugged radio frequency identification (RFID) reader appropriate for use in indoor industrial environments.

PHYSICAL CHARACTERISTICS

Length: 19.1 cm (7.5")

Height: 6.6 cm (2.6")

Width: 13.5 cm (5.3")

STANDARD FEATURES

Input/Output Circuits
13 pin DIN connector
Four input and four output circuits for monitoring and controlling external devices through the reader

ANTENNA CONNECTIONS

4 connectors - reverse or standard SMA
Selectable by software; RF power attenuation software selected

OPTIONS

RFID Frequency Options
86x MHz Band
915 MHz Band

Communications Interface - RS232

ACCESSORIES

Power Supply

Input: 90-260VAC, 50-60Hz

Output: 9VDC, 2.6ADC

Country specific power cables.
FCC & ETSI Antennas and cables

ENVIRONMENT

Operating Temperature: -20°C to 55°C
(-4°F to 131°F)

Storage Temperature: -40°C to 85°C
(-40°F to 185°F)

Humidity (non-condensing): 10% to 95%
Shock: 10 G, 11ms, half sine pulse
(operating)

Vibration: 1.0 GRMS, 10 to 500Hz, 3 axis
(operating)

REGULATORY APPROVALS AND STANDARDS

ANS INCITS 256:1999 (R2001) - Parts 2, 3.1 & 4.2

ANSI MH10.8.4

ISO/IEC 18000-4

ISO/IEC 18000-6b

Some approvals and features may vary by country and may change without notice. Please check with your local Intermec sales office for further information.

Intermec reserves the right to make changes without notice to any products herein for any reason at any time, including but not limited to improving the reliability, form, fit, function or design. Please contact Intermec for current price list and availability.

Intermec
expect MORE®

North America
Corporate Headquarters
6001 36th Avenue West
Everett, Washington 98203
tel: 425.348.2600
fax: 425.355.9551

550 2nd Street S.E.
Cedar Rapids, Iowa 52401
tel: 319.369.3100
fax: 319.369.3453

Media Supplies
9290 Le Saint Drive
Fairfield, Ohio 45014
tel: 513.874.5882
fax: 513.874.8487

Canada
7065 Transmere Drive
Mississauga, Ontario
L5S 1M2 Canada
tel: 905.673.9333
fax: 905.673.3974

**Europe/
Middle East & Africa**
Headquarters
Sovereign House
Vestern Road
Reading RG1 8BT
United Kingdom
tel: 44.118.987.9400
fax: 44.118.987.9401

Asia
Asia Regional Office
26-16 International Plaza
10 Anson Road
Singapore 079903
tel: 65.6324.8391
fax: 65.6324.8393

Beijing Representative Office
29 FL, Unit A1, China Merchant Tower
118 Jian Guo Road
Chaoyang District, Beijing 100022
Tel: 86 10.5165.5922
Fax: 86 10.6567.6778

Australia
Level 7, 200 Pacific Highway
Crows Nest, NSW 2065
Australia
tel: 61.2.9492.4400
fax: 61.2.9954.6300

South America & Mexico
Intermec South America Ltda.
Rua Samuel Morse 1209 andar
Brooklin CEP04576-060
São Paulo, SP
Brazil
tel: 55.11.5502.6770

Intermec Technologies de Mexico
Av Tamaulipas #141, Primer Piso
Col. Hipodromo Condesa
Mexico, DF, 06140 Mexico
tel: 525.55.241.4800
fax: 525.55.211.8121

Internet
www.intermec.com

Sales
800.347.2636
(toll free in N.A.)
tel: 425.348.2726

Service and Support
800.755.5505
(toll free in N.A.)
tel: 425.356.1799

Copyright © 2005 Intermec Technologies Corporation. All rights reserved. Intermec is a registered trademark of Intermec Technologies Corporation. All other trademarks are the property of their respective owners. Printed in the U.S.A.
611654-01A 07/05

In a continuing effort to improve our products, Intermec Technologies Corporation reserves the right to change specifications and features without prior notice.

Tillegg D

Intermec IA36A Antenna



25-500 Series RFID Directional Antenna

This panel is constructed of tin-plated copper dipoles with DC ground. The radome is fiberglass and the hardware is stainless steel.

This antenna is used for RFID, MDS, and ISM band applications. Its small size and excellent directivity make it the best choice for applications where tags can be placed in the same polarity.

Specifications:

Frequency range	865-928 MHz
Gain	6 dBi
Impedance	50 ohms
VSWR	< 1.5:1
Polarization	Vertical
Front-to-back ratio	>20 dB
Maximum input power	100 watts (at 50°C)
Far field beamwidths	90 degrees (half-power) 70 degrees (half-power)
Connector	N female, reverse polarity N female
Weight	3.3 lb (1.5 kg)
Dimensions	10.3 x 6.1 x 1.9 inches (262 x 155 x 49 mm)
Equivalent flat plate area	0.58 ft ² (0.054 m ²)
Wind survival rating*	120 mph (200 kph)
Mounting	Mounting hardware kit AMC-1 included. Fixed mount kits and tilt mount kits available for 1.3 to 4.6 inch (34 to 115 mm) OD masts. Antenna panel may be inverted.

See reverse for order information.

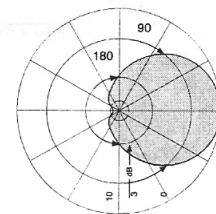
* Mechanical design is based on environmental conditions as stipulated in EIA-222-F (June 1996) and/or ETS 300 019-1-4 which include the static mechanical load imposed on an antenna by wind at maximum velocity. See the Engineering Section of the catalog for further details.

United States Patent #5,532,707

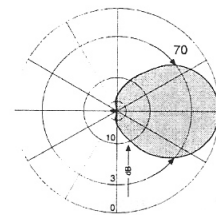


10770-E

Kathrein Inc., Scala Division Post Office Box 4580 Medford, OR 97501 (USA) Phone: (541) 779-6500 Fax: (541) 779-3991
Email: RFID@kathrein.com Internet: www.kathrein-scala.com



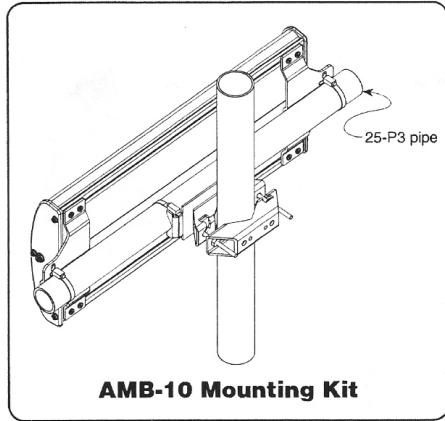
H-plane
Azimuth pattern



E-plane
Elevation pattern

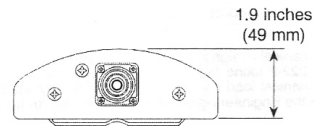
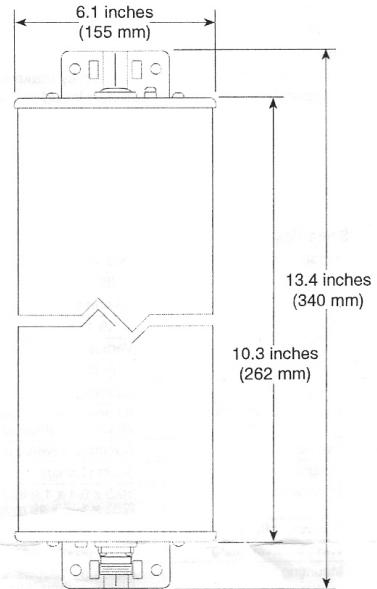


25-500 Series
RFID Directional Antenna



Mounting Options:

Model	Description
AMB-10	For horizontal mount to 2 to 4.6 inch (50 to 115 mm) OD mast. Shown with optional 25-P2 pipe
AMC-1	Mounting Kit for 1.3 to 2.36 inch (34 to 60 mm) OD mast.
25-P3	15.75 inch (400 mm) pipe



Order Information:

Model	Description
25-577	Antenna with N connector
25-578	Antenna with reverse polarity N connector

All specifications are subject to change without notice

Kathrein Inc., Scala Division Post Office Box 4580 Medford, OR 97501 (USA) Phone: (541) 779-6500 Fax: (541) 779-3991
Email: RFID@kathrein.com Internet: www.kathrein-scala.com

Tillegg E

Intermec Gen2 Excalibur



RFID Media Data Sheet

Part Number ILS00150

Face

Type	Paper
Print Method	Thermal Transfer
Thickness (mils)	2.7 - 3.3
MD tensile (lbs/in)	24 min
Opacity (%)	81 min
Stiffness (mg)	80 min

Inlay

Type	Gen2 Excalibur
Manufacturer	KSW
Frequency (MHz)	868
Antenna	Etched Aluminum
Memory	96-bit EPC
IC	Impinj Monza

Adhesive

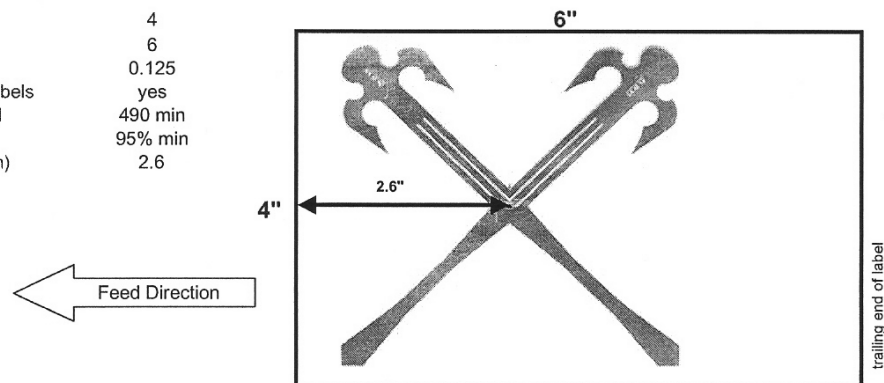
Type	Permanent Acrylic
Thickness (mils)	0.4 - 0.6
Peel Corrug.(oz/in)	20 min

Liner

Type	40# White Kraft
Thickness (mils)	2.2 - 2.8
Release (gm)	10 - 50

Labels

Width (in)	4
Length (in)	6
Label Gap (in)	0.125
Perf between labels	yes
Quantity per roll	490 min
Yield per roll	95% min
Chip position (in)	2.6



Ribbon Compatibility

<input checked="" type="checkbox"/> TMX 1500	<input type="checkbox"/> Standard GP02
<input checked="" type="checkbox"/> TMX 2200	<input checked="" type="checkbox"/> Premium HP05
<input type="checkbox"/> TMX 3201	<input checked="" type="checkbox"/> Premium HP66
<input type="checkbox"/> TMX 3202	<input type="checkbox"/> Super Premium HR03

Compliance

<input type="checkbox"/> UL
<input type="checkbox"/> CSA
<input type="checkbox"/> FDA*

* Compositionally complies with FDA 21 CFR 175.105

Recommended for self-strip Yes No

Recommended Outdoors Yes No

Environment

Storage temperature:	40°F to 80°F
Storage Humidity:	35% to 75%
Shelf Life:	12 months
Application Temperature:	32°F min
Service Temperature	-4°F to 149°F

Typical Applications

Pallet tracking
Carton tracking
Corrugated, paper

Important Notice: Information presented herein is believed to be accurate based on research with no guarantee of accuracy or completeness. Product must be thoroughly tested under end-use conditions to ensure that it meets all intended requirements. Data sheet does not imply any warranty or guarantee. User assumes all risk and liability in connection with end-use of product.

Last Modified: 1/19/06

www.intermec.com

KUMAident GmbH
Dieselstraße 18
70771 Leinfelden-Echterdingen
Telefon 0711/160 69 60
Telefax 0711/160 69 66
<http://www.kumaident.de>
info@kumaident.de

Tillegg F

ECCOSORB®SOLVER KIT



ECCOSORB® SOLUTIONS

RF INTERFERENCE PROBLEM SOLVER KIT

<i>Sample Material Enclosed</i>	<i>Function</i>	<i>Operating Frequency</i>	<i>Thickness</i>	<i>Benefits</i>	<i>Common Applications</i>
ECCOSORB® FGM-U-40-SA ⁽¹⁾⁽²⁾	- Cavity resonance absorber - Specular absorber	3 - 40 GHz 4 - 10 GHz	1 mm	thin, broadband, wide range of applications, reduces specular reflections and surface currents.	- circuit board enclosures - base station - RF module - amplifiers
ECCOSORB® MCS-U-SA ⁽¹⁾⁽²⁾	- Cavity resonance absorber	800 MHz to GHz range	1 mm	low frequency performance, thin, suppression of surface and creeping waves	- computer housings - microwave modules
ECCOSORB® GDS-U-SA ⁽¹⁾⁽²⁾	- Surface current attenuator - Cavity resonance absorber	Above 1 GHz	0,76 mm	thin, flexible, broadband	- microwave modules - circuit board enclosures - transmission lines
ECCOSORB® HR-10 ⁽³⁾	- Free space, broadband RF absorber	8 to 40 GHz	10 mm	lightweight, flexible broadband absorber for side lobe suppression	- antenna shrouds - pattern shaping for radars and antennas
ECCOSORB® AN-72-SA ⁽¹⁾⁽³⁾	- Broadband microwave absorber	Above 20 GHz	6 mm	lightweight broadband absorber, six different grades available.	- circuit board enclosures - antenna coupling and shrouding - backlobe absorption
ECCOSORB® LS-26-SA ⁽¹⁾⁽⁴⁾	- Cavity resonance absorber - Surface current absorber	800 MHz to 40 GHz	3 mm	low density, high loss, inexpensive and wide range of grades and applications.	- circuit board enclosures - LNB - computer housing
ECCOSORB® LS-24-PUC ⁽⁴⁾	- Cavity resonance absorber - Surface current absorber	800 MHz to 40 GHz	6 mm	non dusting, wide range of grades and applications.	- circuit board enclosures - LNB - computer housing

- (1) - Suffix - SA refers to acrylic-based pressure sensitive adhesive
 (2) - Available in silicone and urethane version
 (3) - Available in various thicknesses ; thickness determines lower limit of operating frequency
 (4) - Available in wide range of thicknesses and different grades

**Emerson & Cuming
Microwave Products N.V.**
 Nijverheidsstraat 7A
 B-2260 Westerlo (Belgium)
 Phone : 00 32 14 56 25 00
 Fax : 00 32 14 56 25 01
 E-mail : k.berghs@emerson-cuming-mip.com
<http://www.eccosorb.com>

**Emerson & Cuming
Microwave Products Ltd.**
 Holdsworth House, 65-73 Staines Road
 Hounslow, Middlesex TW3 3HW (UK)
 Phone : 00 44 8700 787877
 Fax : 00 44 8700 780545

**Emerson & Cuming
Microwave Products SARL**
 1, Avenue Morane Saulnier
 F-78140 Vélizy Villacoublay (France)
 Phone : 00 33 1 39 45 70 00
 Fax : 00 33 1 39 45 70 01