

Mikrobølger, interferens og diffraksjon

HÅKON SILSETH

UiT - Norges Arktiske Universitet

11. oktober 2022

Sammendrag

I dette forsøket undersøkte vi bølgefenomen som diffraksjon, interferens og polarisering. Vi brukte en mikrobølgeavsender og en mottaker for å måle styrken til EM-bølgen i ulike situasjoner som gir oss muligheten til å undersøke disse fenomenene. Vi fikk målt bølgelengden til mikrobølgene på ulike måter, og fikk $2.1\text{cm} \pm 0.2\text{cm}$, $2.7\text{cm} \pm 0.2\text{cm}$ og 2.8cm som resultat. Disse resultatene har litt variasjon, men alle er godt innenfor den kjente rekkevidden for mikrobølger. Vi konkluderte også med at avsenderen sender planpolariserte EM-bølger.

Kommentarer:

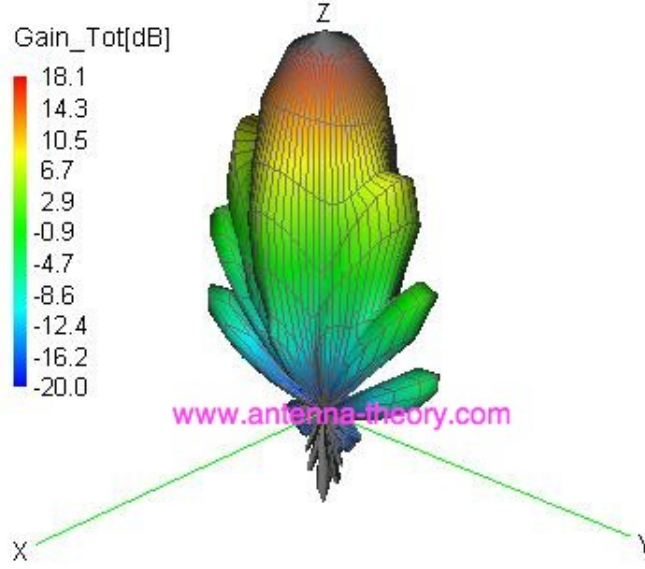
1 Formål

Formålet med dette forsøket er å bruke mikrobølger til å undersøke interferens og diffraksjon i elektromagnetiske bølger. Vi skal også beregne bølgelengden til mikrobølgesenderen, samt vi skal undersøke polarisering.

2 Teori og definisjoner

2.1 Strålingsfelt fra antenner

Det finnes to ulike typer antenner, avsender- og mottakerantenne. En mottaker antenne tar inn en elektromagnetisk bølge (EM-bølge), og omgjør den til et elektrisk signal. En avsenderantenne fungerer på akkurat samme vis, men motsatt slik at den omgjør et elektrisk signal til en EM-bølge. Det elektriske signalet som mottas av en senderantenne er en periodisk oscillerende strøm, denne oscillerende strømmen gir da en EM-bølge som oscillerer i takt med strømmen i antennen. Og det fungerer akkurat likt for en mottakerantenne, bare motsatt. Ved slik stråling fra en punktkilde vil det elektriske feltet bestå av to ledd: nærfeltet og fjernfeltet. Som navnene tilsier så dominerer nærfeltet nære kilden, innenfor noen få bølgelengder, og fjernfeltet dominerer ved større avstander. I store avstander vil vi kun ha EM-bølgen som bidrar til det elektriske feltet (fjernfeltet), men nærmere kilden vil vi også elektrostatiske krefter og et induert magnetisk felt, disse 'ekstra' kreftene vil ha stor påvirkning nære kilden, men avtar raskt, det er da dette som fører til at vi har nær- og fjernfelt. Hvordan bølgene brer seg ut i rommet avhenger av utformingen til senderantennen. Retningen til den elektriske lederen, samt lengden dens påvirker EM-feltet. Lengden til lederen har en innvirkning siden bølger sendt fra forskjellige steder på lederen vil interferere med hverandre i fjernfeltet, og retningen til lederen vil gi retningen til EM-feltet. Antennen kan også ha en reflektor rundt seg som videre påvirker EM-bølgen, for eksempel et horn eller en parabol. En slik antenne med f.eks. en parabol vil være retningsbestemt, altså den har forsterkning ('gain') i en bestemt retning i forhold til en isotrop antenne som sender like mye stråling ut i alle retninger. En retningsbestemt antenne sender ikke all strålingen ut i en retning, men mesteparten går i en retning, dette kalles hovedloben, og noe stråling vil gå i andre retninger, dette kalles sidelober. Hvordan en retningsbestemt antenne stråler kan vises i et antennediagram.



Figur 1: Antennediagram for en hornantenne [1]

2.1.1 Diffraksjon og interferens gjennom gitter

Når en EM-bølge blir sendt gjennom en åpning som er på størrelse med en bølgelengde vil EM-bølgen bli avbøyd. Dette kalles Fresnel-diffraksjon, men på større avstander kan dette tilnærmes og vi kaller det Fraunhofer-diffraksjon. Intensitetsfordelingen I_1 til diffraksjonsbildet kan beskrives ved:

$$I_1 = I_{01} \cdot \left[\frac{\sin\left(\frac{\beta}{2}\right)}{\frac{\beta}{2}} \right]^2, \quad \text{med} \quad \beta = \frac{2\pi a}{\lambda} \sin(\theta) \arcsin(\theta) \quad (1)$$

Hvor a er bredden til åpningen, θ er avbøyningsvinkelen, λ er bølgelengden til EM-bølgen og I_1 er intensiteten ved $\theta = 0$. Vi endrer nå om slik at vi har et gitter med flere åpninger separert med en avstand d . Hver åpning/spalte vil nå danne et intensitetsmønster gitt ved ligning 1. Vi kan da addere mønstrene fra hver spalte og vi får interferens mellom EM-bølgene fra hver spalte, hvis gitteret har N spalter kan vi beskrive det nye intensitetsmønsteret ved:

$$I_1 = I_{01} \cdot \frac{\sin^2\left(\frac{\pi a}{\lambda} \cdot \sin(\theta)\right)}{\left(\frac{\pi a}{\lambda} \cdot \sin(\theta)\right)^2} \cdot \frac{\sin^2\left(\frac{N\pi d}{2\lambda} \sin(\theta)\right)}{\sin^2\left(\frac{\pi d}{\lambda} \sin(\theta)\right)} \quad (2)$$

Her beskriver det første leddet diffraksjonen som kommer fra en spalte, det andre leddet beskriver mønsteret som kommer fra diffraksjonen gjennom gitteret. Fra dette kan vi utlede gitterligningen:

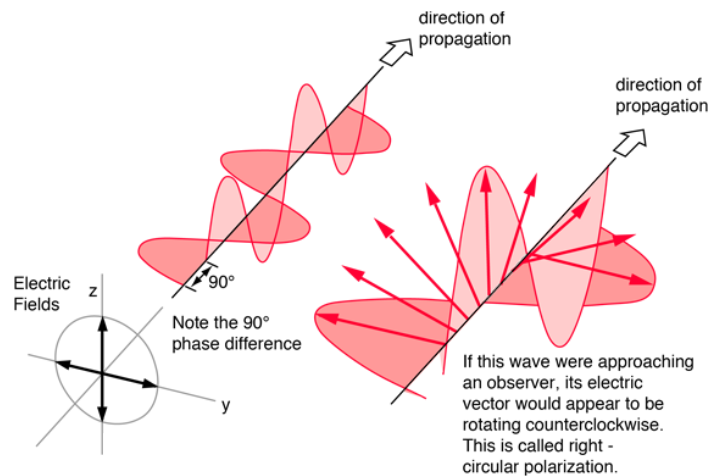
$$d \sin(\theta) = \pm m \lambda \quad (3)$$

Gitterligningen beskriver interferensmaksimaene, uttrykt ved retningen θ . Minimaene vil ligge mellom maksimaene, men ettersom begge leddene har nullpunkter kan disse falle sammen og disse

ordenene vil da forsvinne. For eksempel hvis $d = 3a$ vil hver tredje diffraksjonsorden forsvinne fra mønsteret.

2.1.2 Polarisasjon

En EM-bølge hvor det elektriske og det magnetiske feltet svinger normalt på forplantningsretningen kalles for en lineært polarisert bølge, eller en planpolarisert bølge. En EM-bølge kan være polarisert på ulike måter, for eksempel sirkulært polarisert mot høyre eller venstre. I dette forsøket jobber vi med planpolariserte bølger, i en planpolarisert EM-bølge kan det elektriske feltet beskrives ved: $\mathbf{E}(z, t) = E_0 \cos(\omega t - kz) \hat{\mathbf{x}}$



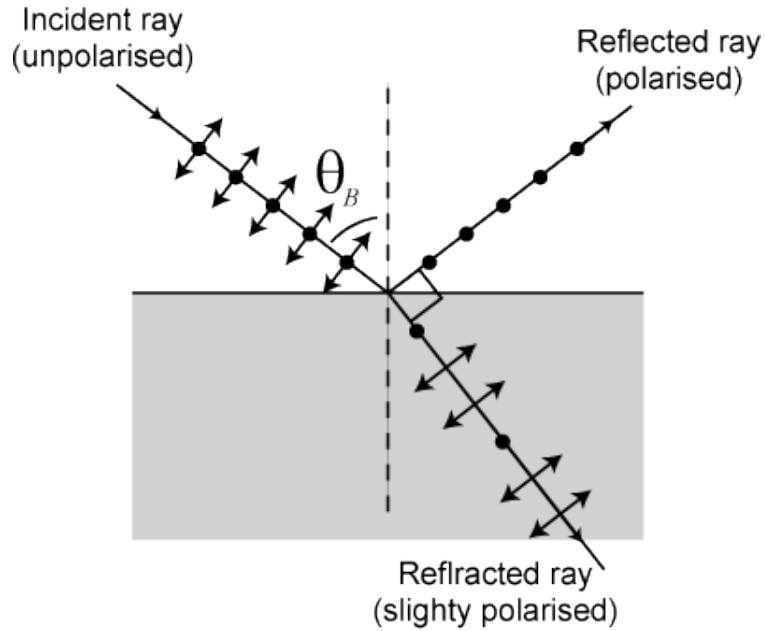
Figur 2: Planpolarisert, og høyre sirkulært polarisert bølge. [2]

2.1.3 Brewster-vinkelen

Når en EM-bølge går fra et medium til et annet med ulik brytningsindeks vil noe av bølgen som regel bli reflektert i det den krysser grensen mellom mediene. Den reflekterte delen av EM-bølgen kan beskrives ved bruk av Fresnel-ligningene og er avhengig av innfallsvinkelen til bølgen, og dens polarisasjon. En planpolarisert EM-bølge vil ikke reflekteres, dvs. 'hele' bølgen vil fortsette gjennom overgangen inn i det nye mediet, hvis innfallsvinkelen er lik:

$$\theta_b = \arctan\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (4)$$

Hvor n_1 og n_2 er brytningsindeksene til de to mediene. Vinkelen θ_b kalles Brewstervinkelen og kan utledes av Snells lov.



Figur 3: Brewstervinkelen [3]

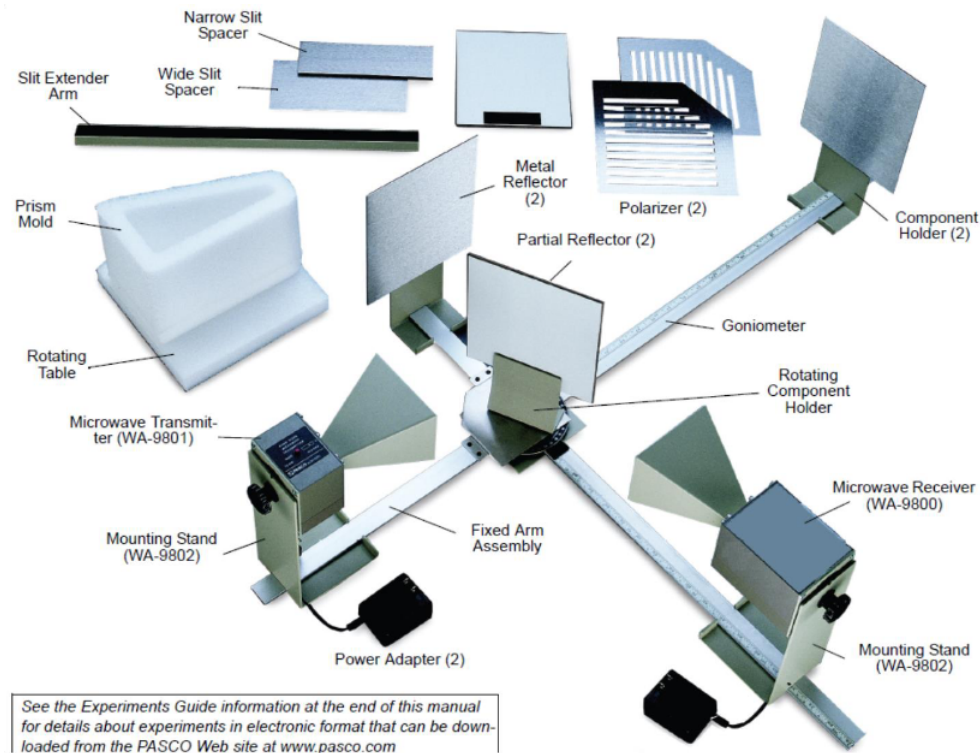
3 Eksperimentelt oppsett og fremgangsmåte

3.1 Utstyrsliste

- Mikrobølgesender med horn
- Mikrobølgemottaker (nr. 1) med horn
- Mikrobølgemottaker (nr. 2) (punktmottaker)
- 9V spenningskilder
- Multimeter
- Goniometer
- Magnetlist
- Gittere
- Polyetylen-panel
- Roterende plattform

3.2 Oppsett

Oppsettet for dette forsøket består av goniometeret, hvor avsenderen og mottakeren er montert vendt mot hverandre på armene til goniometeret. Mottakeren og avsenderen er koblet opp til strøm med en 9V adapter hver. Midt på goniometeret er det også et feste hvor vi på de ulike delforsøkene kan sette opp reflektorer/gittere.



Figur 4: Oversikt over utstyret til forsøket i mer eller mindre likt oppsett som vi skal bruke. [4]

3.3 Fremgangsmåte

3.3.1 Oppgave 1

For oppgave 1 skal vi i første omgang se om mottakeren måler intensitet eller feltstyrke. Intensiteten er energi delt på areal, så den vil avta med $1/r^2$. Feltstyrken derimot er inverst proporsjonal med avstanden, altså den avtar med $1/r$. For å sjekke hva mottakeren måler skal vi da måle signalet for avstander på 2, 3, 4, 8, 12 og 20cm, og for hver 10cm videre fram til 100cm. I den neste delen av denne oppgaven skal vi måle antennediagrammet til avsenderen. For å gjøre dette målte vi signalstyrken ved $\phi = 0^\circ$ opp til 30° og gjorde målinger for hver femte grad.

3.3.2 Oppgave 2

I denne oppgaven skal vi finne bølgelengden til mikrobølgene. Vi gjorde dette ved å sette opp gitteret i festet i midten av goniometeret slik at mottakeren var 20cm fra gitteret og 60cm fra senderen. Vi gjorde så målinger ved hver femte grad fra -30° til 30° , vi kan så bruke gitterligningen til å finne bølgelengden til mikrobølgene.

I den andre delen av denne oppgaven målte vi bølgelengden på en annen måte. Vi plasserte en aluminiumsskjerm omtrent 80cm fra senderen normalt på strålingsretningen. Vi byttet så ut hornmottakeren med en punktmottaker og plasserte den 10cm foran skjermen. Vi gjorde så målinger for hver 2mm mellom 5 og 10cm unna skjermen. Med disse verdiene kan vi gjøre en sinustilpassning og bruke $a_0 \sin(kx) = a_0 \sin(2\pi x/\lambda)$.

3.3.3 Oppgave 3

For denne oppgaven skulle vi finne polariseringen til strålingen. For å gjøre dette plasserte vi senderen og hornmottakeren mot hverandre i en avstand av ca 70cm. Vi roterte så mottakeren om sin egen akse og gjorde målinger for hver 10. grad.

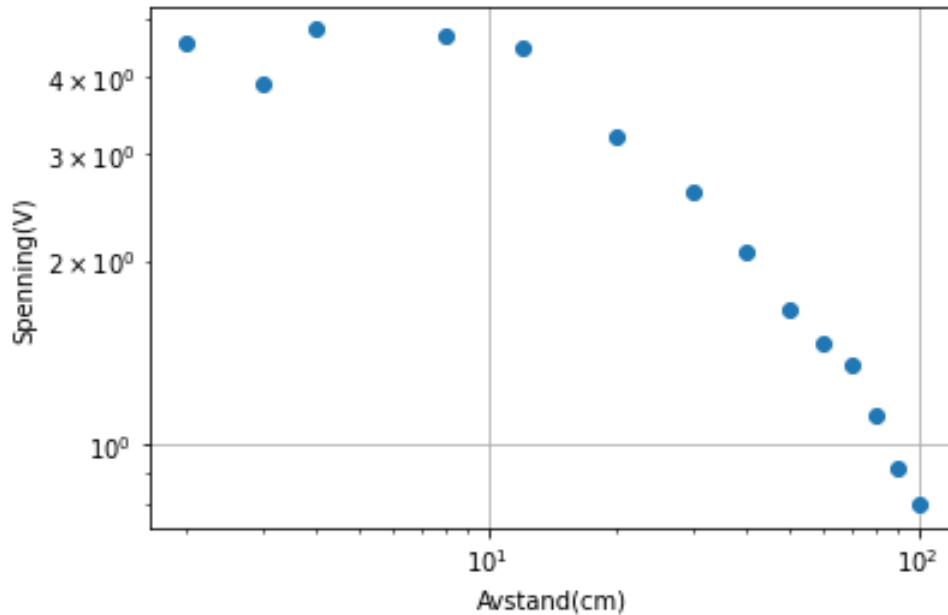
4 Resultater & Diskusjon

4.1 Oppgave 1

For den første oppgaven fikk vi følgende resultater:

Avstand(cm)	Spenning(V)
2	4,55
3	3,92
4	4,79
8	4,66
12	4,46
20	3,208
30	2,59
40	2,07
50	1,67
60	1,46
70	1,35
80	1,12
90	0,91
100	0,796

Merk her at mottakeren har en usikkerhet på $\pm 2\%$ som da gir spenningen usikkerhet på $\pm 2\%$. Avstanden leses av manuelt og vi kan anslå en usikkerhet på $\pm 1mm$. Setter vi disse datapunktene inn i et dobbellogaritmisk plot får vi:



Figur 5: Dobbellogaritmisk plott av signalstyrken

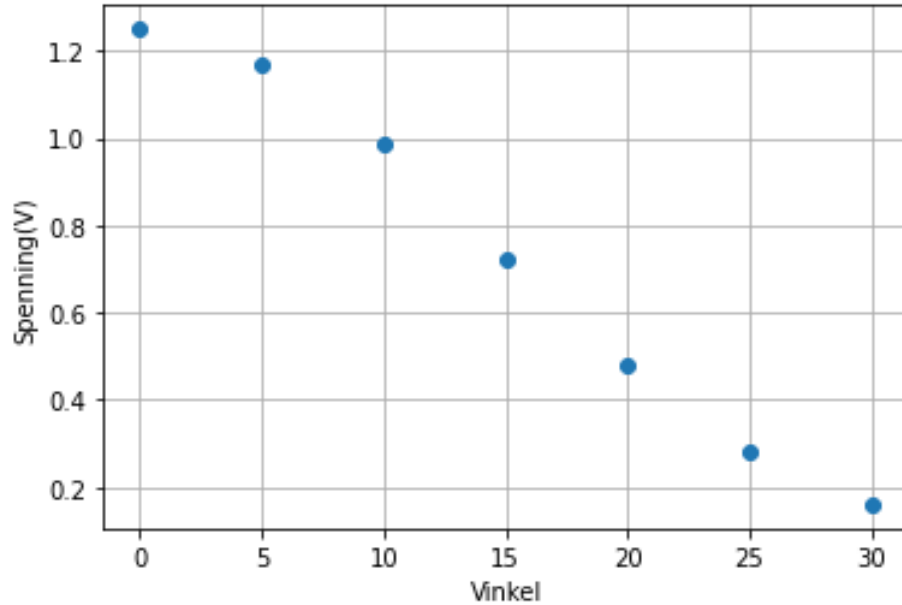
Som vi kan se på plottet har vi en tydelig overgang fra nærfeltet til fjernfeltet ved omtrent 10cm. Det vi også kan tyde fra plottet er at signalstyrken avtar med $1/r^2$, som betyr at mottakeren måler intensiteten.

Avslutningsvis for denne delen av oppgaven plasserte vi en reflektor ved banen til signalet. Det vi da observerte var et markant fall i spenningen på ca 10%. Dette kommer nok fra refleksjoner av reflektoren.

For denne neste delen av oppgaven målte vi antennediagrammet til senderen ved å måle signalstyrken ved ulike vinkler.

$\phi(^{\circ})$	Spenning(V)
0	1,25
5	1,17
10	0,985
15	0,72
20	0,48
25	0,28
30	0,16

Og vi får følgende plott:



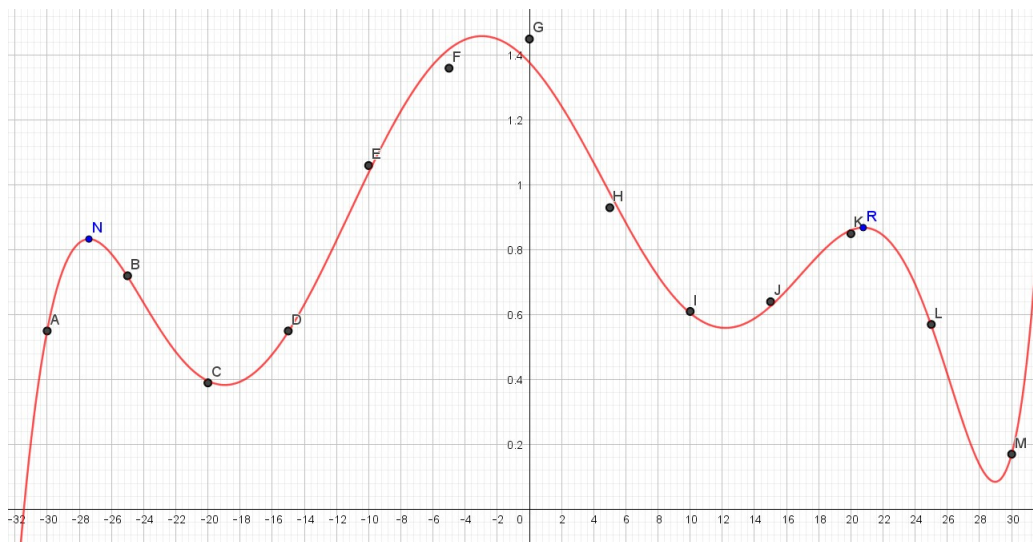
Figur 6: Plott av spenning som en funksjon av vinkelen

4.2 Oppgave 2

I denne oppgaven målte vi signalstyrken gjennom gitteret som en funksjon av vinkelen og vi fikk følgende resultater:

$\phi(^{\circ})$	Spenning(V)
-30	0,55
-25	0,72
-20	0,39
-15	0,55
-10	1,06
-5	1,36
0	1,45
5	0,93
10	0,61
15	0,64
20	0,85
25	0,57
30	0,17

Om vi plotter dette og legger på kurvetilpassning får vi:



Figur 7: Plott av signalstyrken med polynomtilpassning

De to blå punktene på grafen her viser til begge førsteordens maksima. Ved å vite vinkelen til disse, samt spalteåpningen som vi kan måle, kan vi finne bølgelengden til mikrobølgene. Gitterligningen sier oss:

$$n\lambda = d\sin(\phi)$$

Vi har:

$$\phi_1 = 20.77^\circ$$

$$\phi_2 = -27.4^\circ$$

$$d = 5.9\text{cm}$$

Bruker vi da gitterligningen med disse verdiene får vi:

$$\lambda_1 = 2.1\text{cm} \pm 0.2\text{cm}$$

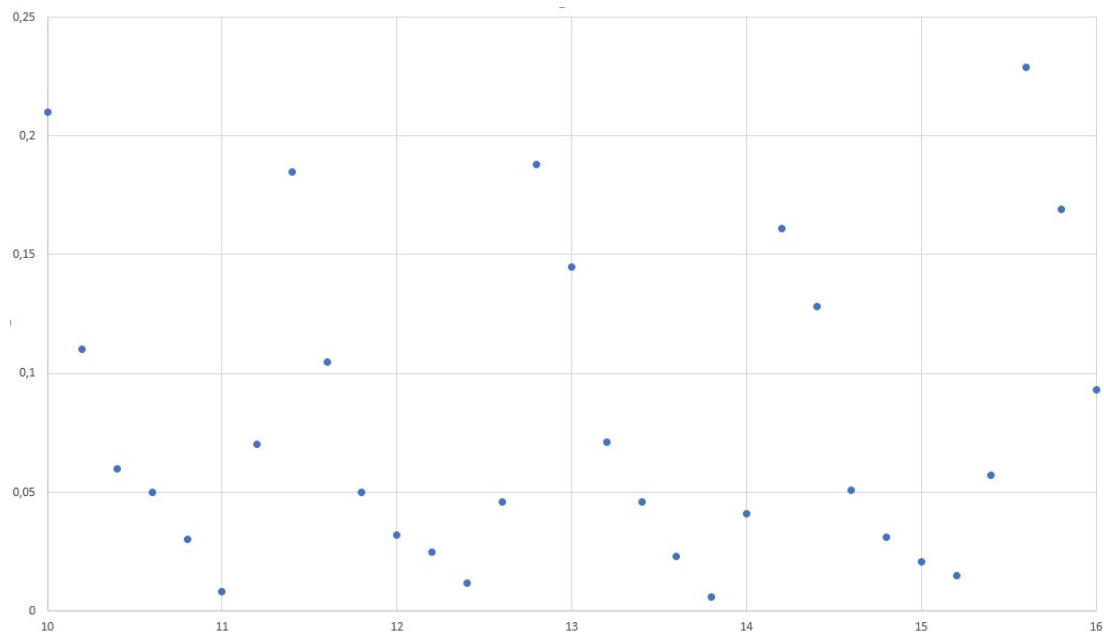
$$\lambda_2 = 2.7\text{cm} \pm 0.2\text{cm}$$

Usikkerhetene her er beregnet ved å bruke basisformelen for feilforplantning for tilfeldige målefeil fra kompendiet. Verdiene vi får her er mer eller mindre som forventet, mikrobølger har en bølgelengde med størrelsesorden fra omtrent 1mm til 10cm, 2.1cm og 2.7cm er godt innenfor det vi da kan forvente fra mikrobølger.

For den andre delen av denne oppgaven målte vi signalstyrken som en funksjon av avstanden, og vi fikk følgende verdier:

Avstand(cm)	Spenning(V)
10	0,21
10,2	0,11
10,4	0,06
10,6	0,05
10,8	0,03
11	0,008
11,2	0,07
11,4	0,185
11,6	0,105
11,8	0,05
12	0,032
12,2	0,025
12,4	0,012
12,6	0,046
12,8	0,188
13	0,145
13,2	0,071
13,4	0,046
13,6	0,023
13,8	0,006
14	0,041
14,2	0,161
14,4	0,128
14,6	0,051
14,8	0,031
15	0,021
15,2	0,015
15,4	0,057
15,6	0,229
15,8	0,169
16	0,093

Plotter vi nå spenningen som en funksjon av avstanden får vi følgende plott:

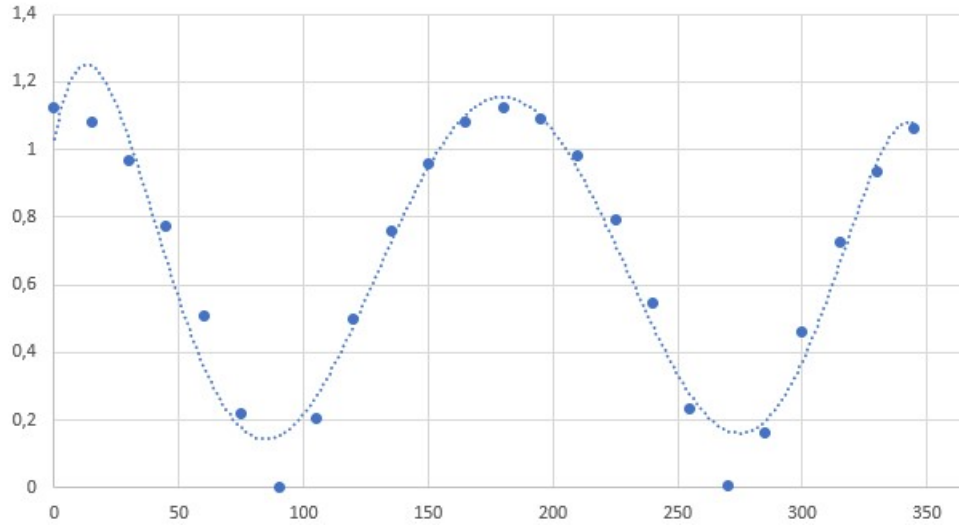


Figur 8: Spenning som funksjon av avstand

Dette er veldig tydelig et periodisk plott, vi kan se på avstanden mellom minimum, hvis vi tar avstanden mellom det første og siste minimum og deler på 3 får vi at avstanden mellom minima er 1.4cm. Bølgelengden blir da det dobbelte av dette som gir $\lambda = 2.8cm$, dette samsvarer også godt med de andre resultatene vi fikk for bølgelengden, samt hva som er å forvente fra mikrobølger.

4.3 Oppgave 3

I denne oppgaven roterte vi mottakeren og målte signalstyrken som en funksjon av vinkelen til mottakeren om sin egen akse. Plottet vi så fikk, med tilpasset sinuskurve, ser slik ut:



Figur 9: Signalstyrke som en funksjon av vinkel

Ettersom at plottet veldig tydelig kan beskrives som en sinusbølge forteller dette oss at vi har en planpolarisert bølge, som er akkurat det vi forventer siden vi vet at avsenderen sender planpolariserte EM-bølger.

5 Konklusjon

I dette forsøket har vi lært mye om EM-bølger, diffraksjon og polarisering. Vi kan konkludere med at bølgefenomenene vi undersøkte oppførte seg som forventet, og kunne måles eksperimentelt. Vi fikk forventet verdi på bølgelengden til avsenderen, som var godt innenfor den kjente rekkevidden til mikrobølger, og vi bekreftet at avsenderen sender planpolariserte EM-bølger.

A Appendix

Referanser

- [1] Pete Bevelacqua. The Horn Antenna - Radiation Pattern, April 2022. [Online; accessed 26. Apr. 2022].
- [2] Classification of Polarization, March 2018. [Online; accessed 27. Apr. 2022].
- [3] Bidragsytere til Wikimedia-prosjektene. Brewsters vinkel – Wikipedia, January 2022. [Online; accessed 27. Apr. 2022].
- [4] Labhefte: Kundts rør. Mar 2022.