

**Modtaget dato:**  
**(forbeholdt instruktør)**

**Godkendt:**  
**Dato:**  
**Underskrift:**

## Eksperimentelle øvelser, øvelse nummer 6 : Mikrobølgeudsendelse med Gunn-oscillator

Kristian Jerslev, Kristian Mads Egeris Nielsen, Mathias Brønd Christensen

Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet, Danmark

(Dato: 16 – 12 - 2008) (Hold nummer: 10)

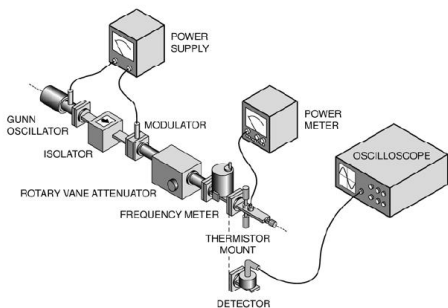
Under anvendelse af en Gunn-diode med tilhørende apparatur vil vi karakterisere udsendt mikrobølgestråling samt analysere effekterne af stråling sendt via antenner.

### INDLEDNING

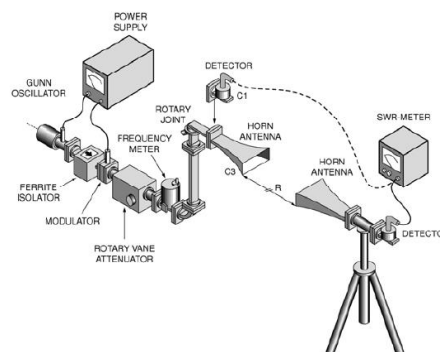
Vi betragter i denne øvelse mikrobølgestråling genereret af en Gunn-diode. Denne diode kan ved pålægning af spænding afgive stråling i mikrobølgeområdet, og det er denne stråling, der ønskes karakteriseret. I denne øvelse vil vi dermed lave en karakteristik af Gunn-dioden, undersøge den udsendte stråling samt undersøge forskellige antenners påvirkning af strålingen.

### DEN EKSPERIMENTELLE OPSTILLING

Vi benytter en opstilling med en Gunn-diode. For at måle strålingen fra dioden benyttes en termistor eller en punktdiode, der henholdsvis registrerer stråling ved temperaturændringer eller gennemgangsstrømmen. Da vi er interesserede i at lede strålingen bestemte steder hen benyttes en bølgeleder til at lede strålingen med minimalt tab. Strålingen kan dæmpes med en Rotary Vane Attenuator (RVA) og kan registreres på tilsluttede oscilloskoper eller effektmålere. Da øvelsen er delt i to dele benyttes to forskellige opstillinger. Disse ses skematisk vist på figur 1 og 2.



Figur 1: Forsøgsopstillingen til første del af øvelsen vist skematisk.



Figur 2: Forsøgsopstillingen til anden del af øvelsen vist skematisk.

### Karakterisering af Gunn-dioden:

Til denne del af øvelsen benyttes opstillingen set på figur 1. Da der ønskes en  $U/I$ -karakteristik af Gunn-dioden tændes strømforsyningen og der måles sammenhørende værdier for  $(U, I)$ , hvor  $I$  aflæses på et indsat amperemetret.

### Karakterisering af den udsendte mikrobølgestråling:

Der ønskes en optimering af termistoren. Dette gøres igen vha. opstillingen vist på figur 1, hvor vi her benytter frekvensmetret. Ved at sætte RVA på maksimal vil der ikke blive vist noget udslag på effektmåleren. Herefter skrues ned for RVA indtil et udslag ses i  $mW$  området for ikke at beskadige termistoren. Termistorens position justeres herefter indtil det maksimale udslag kan ses på effektmåleren.

Frekvensen for strålingen kan måles ved at benytte frekvensmetret. RVA skrues op eller ned, så der opnås et udslag på  $0,5mW$ , og herefter benyttes frekvensmetret til at finde den korrekte frekvens for strålingen. Frekvensmetret

benytter sig af resonans, så rammes den korrekte frekvens vil der opnås et udsving på effektmåleren. Ved maksimal udsving er resonans opnået og den pågældende frekvens noteres.

Undersøgelse af bølgelængden i bølgelederen undersøges ved brug af resonans. Ved at rykke på termistoren findes resonans ved forskellige frekvenser fra dioden og den egentlige bølgelængde undersøges dermed. Ifølge instruktør skulle der vise sig en faktor kvadratrods 2 forskel på de to bølgelængder.

For at undersøge decibelskalaen noteres sammenhængende værdier for effekten og den dæmpning, der giver den pågældende frekvens. Dette sammenlignes med udtrykket fra øvelsesvejledningen

$$\frac{P_2}{P_1} = 10^{\text{db}/10} \quad (1)$$

Effektiviteten af Gunn-dioden kan findes ved at benytte data fra undersøgelsen af decibelskalaen. Hermed opnås en værdi for den effekt, der rent faktisk udstråles og denne sammenlignes med den effekt, der kommer ind i dioden.

#### Antenneudstråling:

Til sidst undersøges den udsendte mikrobølgestråling for forskellige antenner. Til denne del anvendes opstillingen på figur 2. Fra øvelsesvejledningen fås (ligning 2 og 5)

$$10^{\frac{\text{dB}}{10}} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{G_1 G_2 A_2}{4\pi R^2} \quad (2)$$

hvor  $G_1$  og  $G_2$  er antenneforstærkningen for de to antenner,  $R$  er afstanden og  $A_2$  er det effektive areal af modtagerantennen, som approksimeres med  $\lambda^2/4\pi$ . Dette fittes for at eftervise afstandskvadratloven for antennerne samt for at finde antenneforstærkningerne.

Til sidst sammenlignes produkterne  $G\theta_v\theta_h$  for begge antenner, hvor  $\theta_v$ ,  $\theta_h$  er halvintensitetsvinklen for hhv. vertikalt og horisontalt.

Disse formler gælder dog kun ved at se bort fra effekten af antennes udstrækning. Fra øvelsesvejledningen fås, at dette holder så længe

$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda}$$

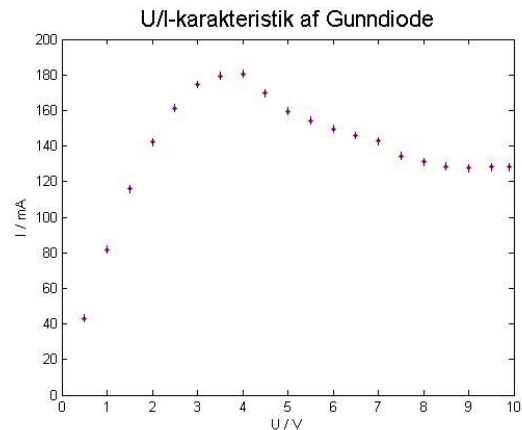
For hornantennen giver dette et meget lille nærfelt, som ingen problemer giver, men for parabolantennen er nærfeltet noget større, så afstande mindre end 2m kan give problemer.

## DATABEHANDLING

### Karakterisering af Gunn-dioden:

#### U/I-karakteristik

Sammenhørende værdier for spændingen over Gunn-dioden samt strømstyrken plottes. Resultatet ses på figur ??.



Figur 3: U/I-karakteristik af Gunn-dioden.

Den maksimale strømstyrke med tilhørende spænding aflæses til  $(U_0, I_{\max}) = (4.00 \pm 0.05\text{V}, 180.5 \pm 2\text{mA})$ , hvormed den effektive tykkelse af Gunn-dioden findes til

$$d = 12,50 \pm 0,16 \mu\text{m},$$

som stemmer godt overens med den teoretiske værdi på omkring  $\sim 10 \mu\text{m}$ , som fås fra figuren over Gunndiodens opbygning i forsøgsvejledningen.

### Karakterisering af den udsendte mikrobølgestråling:

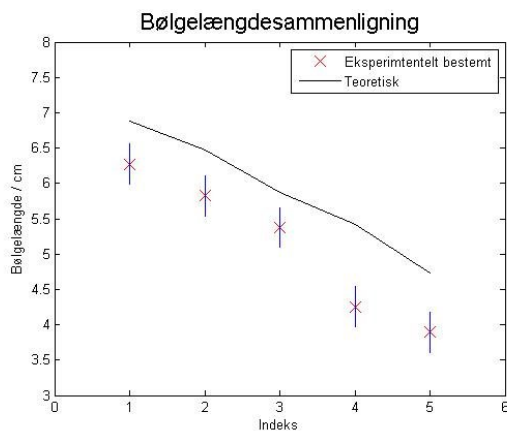
#### Mikrobølgefrequensen:

Ved at anvende frekvensmetret findes frekvensen for 9,5GHz indsendt stråling mere præcist til

$$f = 9,5322 \pm 0,0002\text{GHz}.$$

#### Undersøgelse af bølgelængde i bølgeleder:

Sammenhørende værdier af termistorens position relativt til nulpunkt og udslag på effektmåleren, giver den egentlige bølgelængde i bølgelederen, idet der opnås resonans for hver halve bølgelængde. Dermed beregnes bølgelængden i bølgelederen og denne sammenlignes med teoretisk beregnede værdier på baggrund af den målte frekvens fra ovenstående afsnit. Disse målinger laves gentagne gange, og på figur 4 kan et plot af den eksperimentelt bestemte og den teoretiske bølgelængde ses, hvor den eksperimentelt bestemte bølgelængde er ganget med kvadratrods 2.

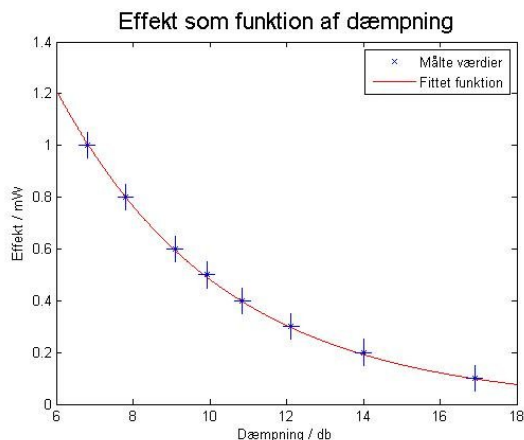


Figur 4: Bølgelængder bestemt teoretisk og eksperimentelt.

Det ses tydeligt af figuren, at der viser sig en systematisk afvigelse, da de eksperimentelt bestemte værdier med kvadratrods 2 faktor viser sig konsekvent at ligge lavere end den teoretiske bølgelængde. Vi kan dermed ikke sige noget direkte om sammenhængen, men en tendens er tydelig.

#### Decibelskalaen:

Sammenhørende værdier for dæmpningen og effekten aflæses og plottes. Samtidig huskes, at dæmpningen skal plottes negativt. Resultatet ses på figur 5.



Figur 5: Effekt som funktion af dæmpning plottet sammen med en fittet funktion for decibelskalaen.

Herefter fittes ligningen

$$\frac{P_2}{P_1} = 10^{\frac{db}{10}} \Leftrightarrow P_2 = P_1 \cdot 10^{\frac{db}{10}}, \quad (3)$$

til datapunkterne for at eftervise decibelskalaen. Som det fremgår af figur 5 passer de eksperimentelt bestemte punkter godt overens med den opgivne matematiske model for decibelskalaen. Samtidig opnås en værdi for den indsendte effekt,  $P_1$ , som findes til  $P_1 = 4,83 \pm 0,14 mW$ . Dette benyttes i næste del af øvelsen.

#### Effektiviteten af Gunn-dioden:

Den indsendte effekt udregnes, når den indsendte strømstyrke er  $I = 128,6 \pm 2 mA$  og  $U = 8,50 \pm 0,05 V$ .

$$P_{ind} = U \cdot I = 8,5V \cdot \frac{0,1286A}{2} = 0,5465W.$$

Der divideres med 2 fordi strømforsyningen var sat til at modulere. Fra sidste delopgave blev den reelle effekt fundet til  $P_1 = 4,83 \pm 0,14 mW$ . Dermed findes effektiviteten til

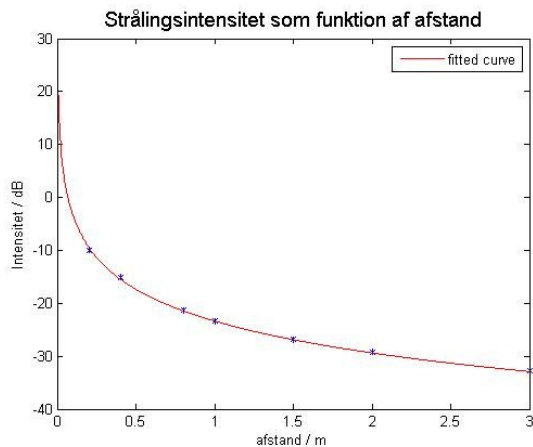
$$Eff = (0,88 \pm 0,03)\%.$$

Dermed har Gunn-oscillatoren en effektivitet på omkring 1%, hvilket ikke er særlig højt. Ønskes en højere effektivitet kan man benytte en refleksklystron eller en magnetron.

#### Antenneudstråling:

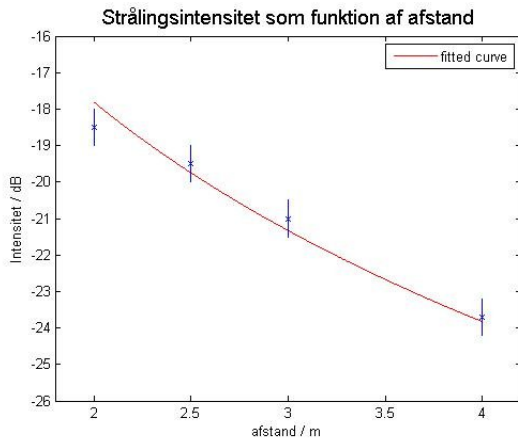
##### $R^2$ -afhængighed:

Antennerne sættes op lige over for hinanden som vist på figur 2, og dæmpningen indstilles til et passende niveau. Dernæst flyttes den ene antenne væk og afstanden samt intensiteten noteres. Nedenfor er intensiteten plottet i forhold til startintensiteten som funktion af afstanden fratrukket start afstanden for hornantennen:



Figur 6: Effekt som funktion af dæmpning plottet sammen med en fittet funktion for decibelskalaen.

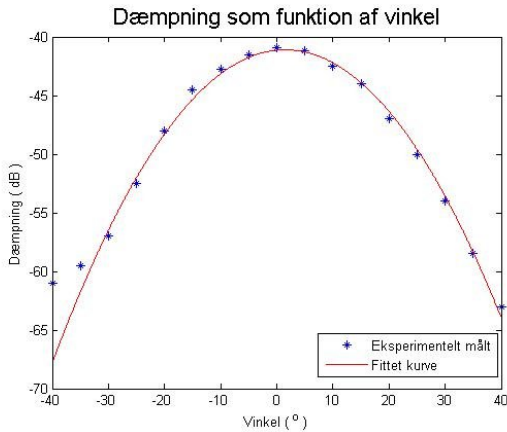
Der er fittet en funktion som aftager med kvadratet på afstanden. Dette, som det kan ses på figuren, stemmer rimeligt overens med, at dataene aftager med kvadratet på afstanden. Ligeledes for parabolantennen, som set nedenfor (datapunkter under 2m er ignoreret, da vi her befinder os i nærfeltet for parabolantennen).



Figur 7: Intensiteten af stråling som funktion af afstand..

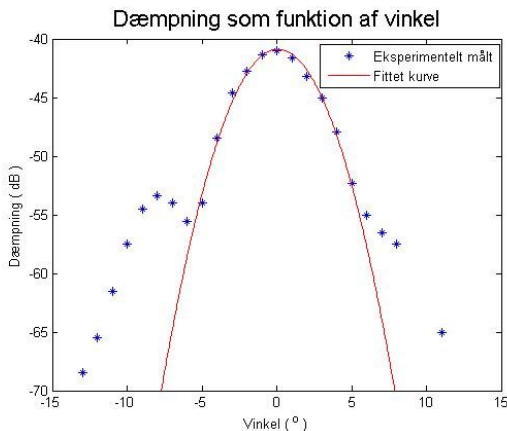
### Vinkelfordeling:

Eksperimentelt konkluderes det, at vinkelafhængigheden er ens vertikalt som horisontalt, hvormed kun den horisontale fordeling analyseres. Nedenfor ses intensiteten som funktion af vinklen for hornantennen.



Figur 8: Effekt som funktion af dæmpning plottet sammen med en fittet funktion for decibelskalaen for hornantennen.

Ved at finde den halve intensitet i forhold til den maksimale intensitet kan halveringsvinklen findes.



Figur 9: Effekt som funktion af dæmpning plottet sammen med en fittet funktion for decibelskalaen for parabolantennen.

Sammenligner vi grafen for hornantennen med parabolantennen ser vi en klar forskel, idet parabolantennen afviger ved en lille vinkel og oven i købet asymmetrisk. Årsagen til en asymmetrisk afvigelse kan være refleksion: Venstresiden (den negative vinkel) havde en blank tavle, som måske har været årsag til en interferens som har forårsaget det andet lokale toppunkt.

Halveringsintensiteterne findes for de to antenner til

$$\theta_h = 13,49 \pm 0,78^\circ \text{ for hornantennen}$$

$$\theta_h = 2,56 \pm 0,05^\circ \text{ for parabolantennen.}$$

For hornantennen er halveringsvinklen meget større end for parabolantennen hvilket forklares ved, at parabolantennen er meget afhængig af vinklen, idet den fokuserer på ét område. Ved en vinkel på 5 grader er vi allerede 'out of range'.

### Antenneforstærkningen:

Antenneforstærkningen udregnes ved brug af formel (2). For parabolantennen anvendes den fundne værdi for hornantennens forstærkning. Denne bestemmes i middel til:

$$G = 25.64 \pm 0.19 \text{ for hornantennen}$$

$$G = 367.6 \pm 63.4 \text{ for parabolantennen}$$

Så sammenlignes  $G\theta_v\theta_h = G\theta_h^2$ :

$$G\theta_h^2 = 4665,3 \pm 273,2^{\circ^2} \text{ for hornantennen.}$$

$$G\theta_h^2 = 2407,3 \pm 417,9^{\circ^2} \text{ for parabolantennen.}$$

Som det ses ovenfor stemmer de to størrelser for horn- og parabolantennen ikke overens, hvilket forklares ved, at vores data ikke er gode nok til at kunne give en god sammenligning af de to størrelser.

### KONKLUSION

Ved anvendelse af en Gunn-diode er mikrobølgestråling blevet undersøgt. Eksperimentelt er Gunndioden blevet karakteriseret ved en U/I-karakteristik, den udsendte mikrobølgestråling er blevet karakteriseret ved en undersøgelse af mikrobølgefrequensen, bølgelængden og decibelskalaen. Yderligere er effektiviteten af Gunndioden blevet bestemt og en antenneudstrålingsundersøgelse er lavet for at eftervise afstandskvadratloven, vinkelfordeling af udsendt stråling samt antenneforstærkning.