

Förstudierapport

TIF081B - Elektrisk Mätteknik del B för F2
Våren 2019

Laborationsnamn: Brus och Stör

Uppgiftsnummer: 4

Antal sidor (totalt): 14 (12+2)

Antal ord (totalt): 1340

Studentnamn: David Tonderski KursID: X6 Email:
davton@student.chalmers.se

Studentnamn: Dennis Kristiansson KursID: X7 Email:
denkri@student.chalmers.se

Förstudiesamtal tid/turordning: 9:00

Information:

Förstudieinlämning : 26/2

Förstudiesamtal : 1/3

Laboration : 7/3

Mätning av brewstervinkeln för glas och egenbrus i resistans

Dennis Kristiansson (denkri) och David Tonderski (davton)

26 februari 2019

Sammandrag

Förstudien behandlar mätningar vid inverkan av brus och störningar. Brewstervinkeln mäts vid reflektion mot glas i en upplyst lokal och egenbruset i en resistor mäts vid två olika temperaturer hos resistansen. Egenbruset i en resistans är vid aktuella mätningar i storleksordningen nV. Detta gör mätningarna känsliga för annat brus i kretsen. Vid båda mätningar används en lock-införstärkare som möjliggör mätningar i ett litet frekvensintervall, på detta vis minimeras brus och störningar.

Innehåll

1	Introduktion	2
2	Teori	2
2.1	Grunduppgift	2
2.2	Extrauppgift	4
3	Metod	6
3.1	Försöksuppställning	6
3.1.1	Grunduppgift	6
3.1.2	Extrauppgift	9
3.2	Utförande	10
3.2.1	Grunduppgift	10
3.2.2	Extrauppgift	10
4	Resultat och Diskussion	10
4.1	Grunduppgift	10
4.2	Extrauppgift	10
	Referenser	12

1 Introduktion

Ofta vid fysikaliska mätexperiment förekommer brus och störningar. Därför är en viktig del av mätteknik att identifiera och kompensera för dessa. Vid reflektioner av ljus mot olika material förekommer en speciell infallsvinkel, den så kallade brewstervinkel. Vid detta infall reflekteras endast det parallellpolariserade ljuset, medans reflektionen från det vinkelräta ljuset blir 0. Ljus från en specifik källa kan vara svår att mäta på grund av att det ofta finns annat ljus runtom oss. Resistanser ses ofta som ideala komponenter, som endast har egenskapen av ett motstånd. Detta är dock inte korrekt, resistanser ger upphov till ett så kallat egenbrus, som är en spänning som varierar. Denna kan ofta vara en begränsning vid noggranna mätningar. På grund av att spänningen är liten till storlek är den svår att mäta, mätinstrument är ofta inte så pass känsliga och kan avge en egen brussignal som är större än resistansens brus. I denna förstudie kommer brus och störningar behandlas vid mätning av brewstervinkel och vid bestämning av egenbruset i en resistans.

2 Teori

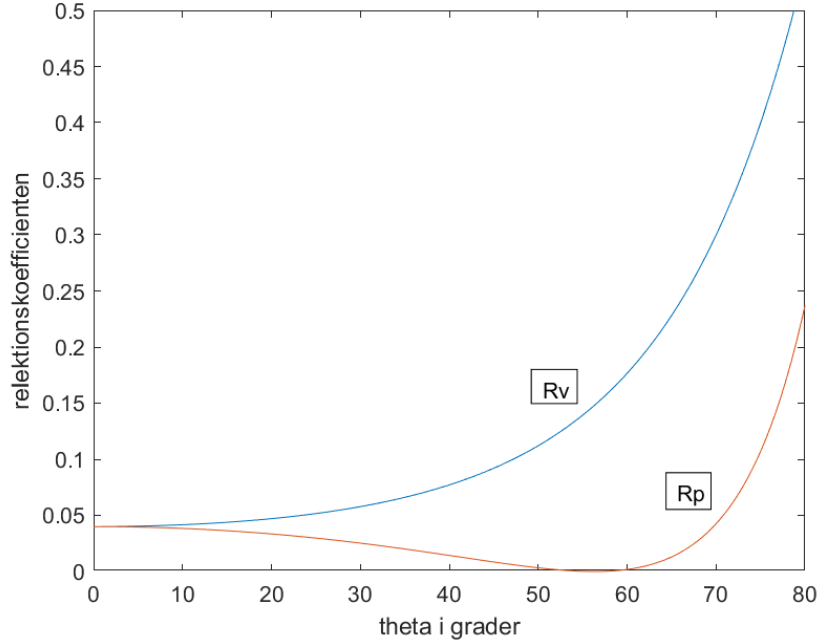
2.1 Grunduppgift

Vid optiskt infallande strålar mot material reflekteras en del av strålen. Den reflekterade strålens egenskaper beror av materialegenskaper (n_k), infallande vinkel (θ_i) samt polarisationen hos ljuset. Detta samband ges av Fresnels ekvationer [1] (ekv 1 och ekv 2):

$$R_v = \left(\frac{n_1 \cos(\theta_i) - n_2 \sqrt{1 - \left(\frac{n_1 \sin(\theta_i)}{n_2}\right)^2}}{n_1 \cos(\theta_i) + n_2 \sqrt{1 - \left(\frac{n_1 \sin(\theta_i)}{n_2}\right)^2}} \right)^2 \quad (1)$$

$$R_p = \left(\frac{n_1 \sqrt{1 - \left(\frac{n_1 \sin(\theta_i)}{n_2}\right)^2} - n_2 \cos(\theta_i)}{n_1 \sqrt{1 - \left(\frac{n_1 \sin(\theta_i)}{n_2}\right)^2} + n_2 \cos(\theta_i)} \right)^2 \quad (2)$$

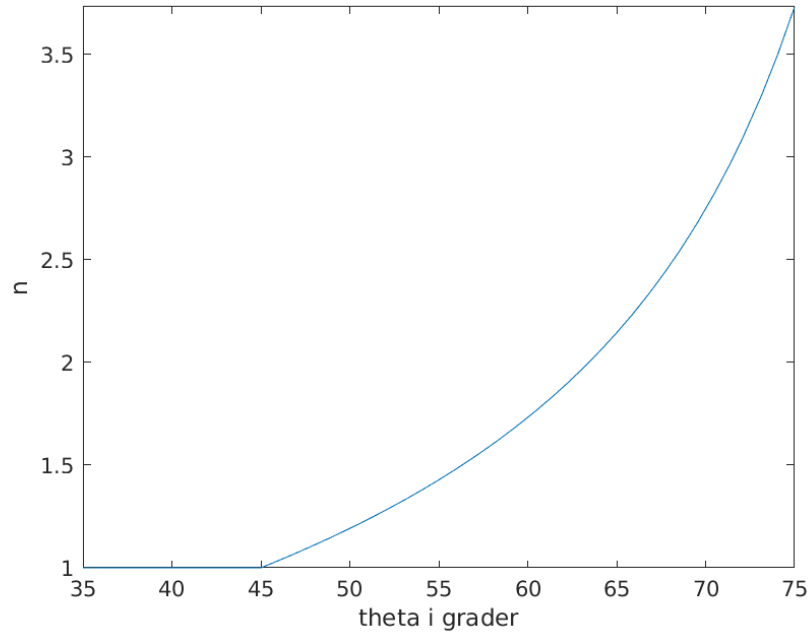
Vänsterledet i ekvationerna är reflektionskoefficienterna för effekt. Dessa ger ett mått på hur stor intensitet hos ljuset blir. R_v är ljus med vinkelrät polarisation mot ytan, se ekv (1). R_p är ljus som är polariserat parallellt med ytan, se ekv (2). I vår uppställning är $n_1 = 1$ och $n_2 = n$. Koefficienternas beroende av θ_i ses i figur 1.



Figur 1: Här ses reflekterat ljus beroende av polarisation och θ_i . Notera att för den röda kurvan, alltså parallellt ljus blir intensiteten 0 för en vinkel. Denna vinkeln kallas Brewstervinkeln.

Sambandet $\theta_i = \theta_r$ gäller. Från uppställningen i figur 5 fås relationen att $\phi = 180^\circ - 2\theta_i$. Vid glaset kommer ljuset att reflekteras på andra sidan glaset också. Detta ger upphov till flera utgående strålar. Transmissionvinkeln θ_t ges av Snells lag, $n_1 \sin(\theta_i) = n_2 \sin(\theta_t)$. För ett glas med tjockleken d fås skillnaden i avstånd mellan strålarna $r = 2d \tan(\theta_t) \cos(\theta_i)$. Då $25^\circ < \theta_i < 70^\circ$ fås $r > d/2$. Radien hos den andra isen kan väljas till mindre än $d/2$ för att blockera strålarna. Intensiteten hos dessa strålar är dock liten relativt den första reflektionen, endast den första extra-strålen innehåller betydande intensitet. Dessa förväntas dock inte störa så mycket på grund av att vid Brewstervinkeln blir intensiteten för vinkelrät polariserat ljus hos denna stråle också noll.

Vid Brewstervinkeln blir $R_p = 0$. Det ger $n = \sqrt{\frac{1 + \sqrt{1 - \sin^2(2\theta_i)}}{2\cos(\theta_i)^2}}$, se figur 2. Då $\theta_i < 65^\circ$ ger ett fel på 0.5° ett fel hos n som är mindre än 0.05. Om n antas vara 1.5 så räcker en noggrannhet på hela grader för att bestämma n med en decimals noggrannhet.



Figur 2: Grafen visar värdet på n beroende av brewstervinkeln θ . Notera $n = 1$ då $\theta < 45^\circ$.

Störande ljus i laborationsmiljön finns. Ljuset från lamporna förväntas ha frekvensen 100 Hz. Eventuell DC-ström från spänningskällan kan ge upphov till ljus med 0 Hz. En Lock-In förstärkare SR530 används vid mätningar. Denna har inställbar centerfrekvens med justerbar bandbredd, typiskt 1-10 Hz [2].

2.2 Extrauppgift

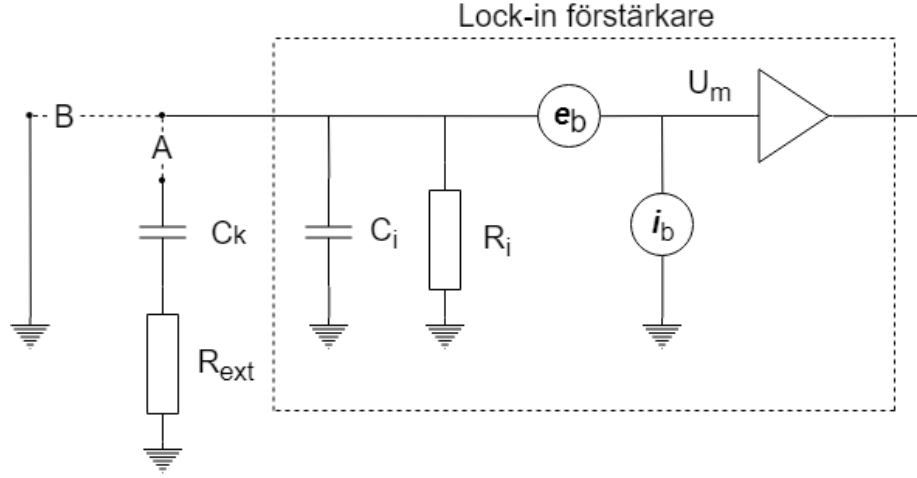
Resistanser ger ifrån sig egenbrus. Enligt Nyqvists teori ges spänningen v_n hos bruset av ekvation 3

$$v_n = \sqrt{4k_b T R \Delta f} \quad (3)$$

där k_b är boltzmans konstant i volt/ kelvin, T är temperaturen i kelvin, R är resistansen och Δf är bandbredden i Hz.

Vid mätning av denna används en lock-införstärkare SR530. Den har inresistansen 100 M Ω och kapacitansen 25 pF. Vid centerfrekvensen 1 kHz avger den spänningsbruset 7 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ och strömbruset 0.13 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$.

För att bestämma egenbrusspänningen och strömbruset hos lock-in förstärkaren används modellen i figur 3.



Figur 3: Figuren visar en modell av en lock-in förstärkare. När egenbrusspänningen mäts jordas utgången (koppling B). När strömbruskällan mäts är kretsen öppen (varken A eller B). När Johnsonbruset av resistorn mäts kopplas den till lock-in via en kabel med kapacitans C_k (koppling A).

När egenbrusspänningen mäts jordas utgången och strömbruskällan ger då inget bidrag till den uppmätta spänningen. Egenbrusspänningskällans styrka ges av formeln:

$$e_b = \frac{U_m}{\sqrt{\Delta f}}, \quad (4)$$

där U_m är den uppmätta spänningen och Δf är lock-in förstärkarens bandbredd.

När strömbruskällan ska bestämmas öppnas kretsen. Både strömbruskällan och egenbrusspänningskällan ger då bidrag till den uppmätta spänningen. RMS-värdet av summan av oberoende signaler ges av formeln:[3]

$$RMS_{total} = \sqrt{RMS_1^2 + RMS_2^2 + RMS_3^2 + \dots} \quad (5)$$

I fallet ovan finns två källor, egenbrusspänningskällan och strömbruskällan. Den uppmätta spänningen ges alltså av:

$$U_m^2 = (e_b^2 + i_b^2 \cdot |Z_1|^2) \Delta f, \quad (6)$$

där Z_1 är impedansen som brusksällan i_b upplever och består av de parallellkopplade inre kapacitansen C_i och inre resistansen R_i . För de angivna parametrarna $C_i = 25$ pF, $R_i = 100$ M Ω och frekvensen $f = 1$ kHz blir $|Z_1|$:

$$|Z_1| = \frac{R_i}{\sqrt{1 + (R_i \omega C_i)^2}} = 24.5 \text{ M}\Omega \quad (7)$$

Ekvation 6 kan omvandlas till:

$$i_b = \frac{\sqrt{\frac{U_m^2}{\Delta f} - e_b^2}}{|Z|}. \quad (8)$$

Sedan ansluts resistansen R_{ext} med hjälp av en kabel med den inre kapacitansen C_k . Impedansen Z_3 som strömbruskällan i_b uppfattar blir nu en parallellkoppling av Z_1 och den nya impedansen Z_2 som består av de seriekopplade resistansen R_{ext} och kapacitansen C_k . Då ges $|Z_3|$ av:

$$\begin{aligned} |Z_3| &= \left| \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2} \right| = \left| \frac{24.5 \cdot 10^6 \cdot \sqrt{R_{ext}^2 + \frac{1}{(\omega C_k)^2}}}{(R_{ext} + \frac{R_i}{(R_i \omega C_i)^2 + 1}) - j(\frac{1}{\omega C_k} + \frac{R_i^2 \omega C_i}{(R_i \omega C_i)^2 + 1})} \right| = \\ &= \frac{24.5 \cdot 10^6 \cdot \sqrt{R_{ext}^2 + \frac{1}{(\omega C_k)^2}}}{\sqrt{(R_{ext} + \frac{R_i}{(R_i \omega C_i)^2 + 1})^2 + (\frac{1}{\omega C_k} + \frac{R_i^2 \omega C_i}{(R_i \omega C_i)^2 + 1})^2}} \end{aligned} \quad (9)$$

Anslutningen av resistansen lägger till det intressanta Johnsonbruset. Med hjälp av spänningsdelning fås att den del av det som når lock-in förstärkaren ges av:

$$v_l = v_n \left| \frac{Z_1}{Z_1 + Z_k} \right| = \sqrt{4k_b T R \Delta f} \cdot \left| \frac{Z_1}{Z_1 + Z_k} \right|, \quad (10)$$

där Z_k är kabelns impedans. Vidare fås:

$$\left| \frac{Z_1}{Z_1 + Z_k} \right| = \frac{24.5 \cdot 10^6}{\sqrt{(\frac{R_i}{(R_i \omega C_i)^2 + 1})^2 + (\frac{1}{\omega C_k} + \frac{R_i^2 \omega C_i}{(R_i \omega C_i)^2 + 1})^2}}. \quad (11)$$

Den uppmätta spänningen ges av:

$$U_m^2 = (i_b^2 \cdot |Z_3|^2 + v_b^2 + 4\pi k_b R_{ext} T \left| \frac{Z_1}{Z_1 + Z_k} \right|^2) \Delta f. \quad (12)$$

Från ekvation 12 fås slutligen:

$$R_{ext} = \frac{U_m^2 / \Delta f - i_b^2 \cdot |Z_3|^2 - v_b^2}{\pi k_b T \left| \frac{Z_1}{Z_1 + Z_k} \right|^2}. \quad (13)$$

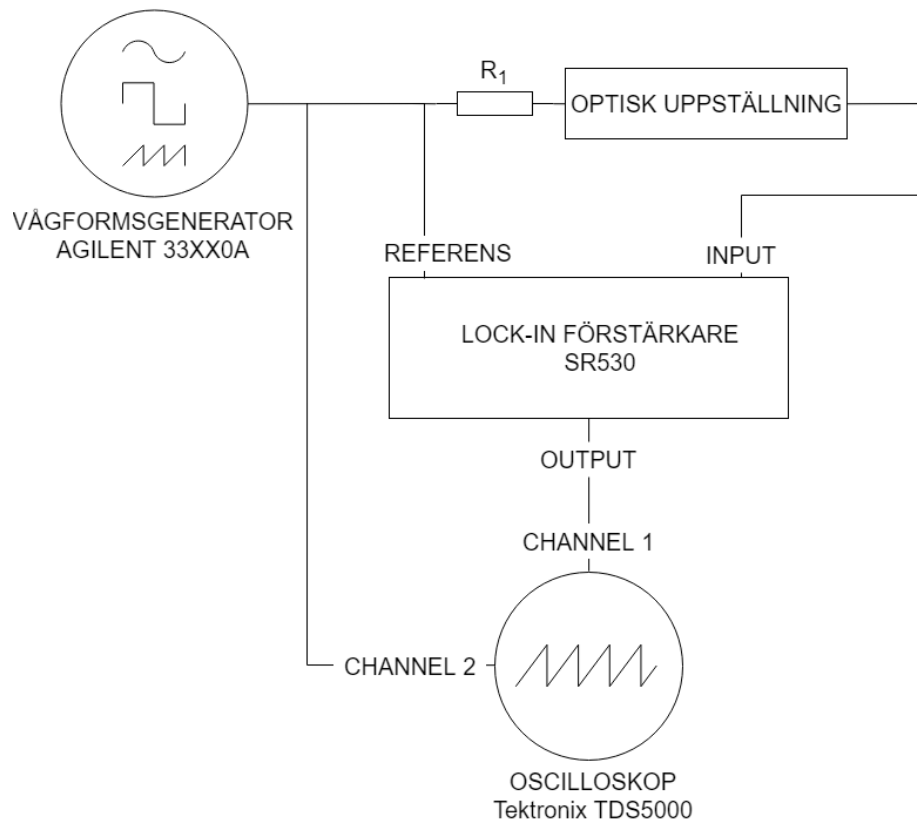
Med hjälp av dessa ekvationer kan Nyqvists teori verifieras.

3 Metod

3.1 Försöksuppställning

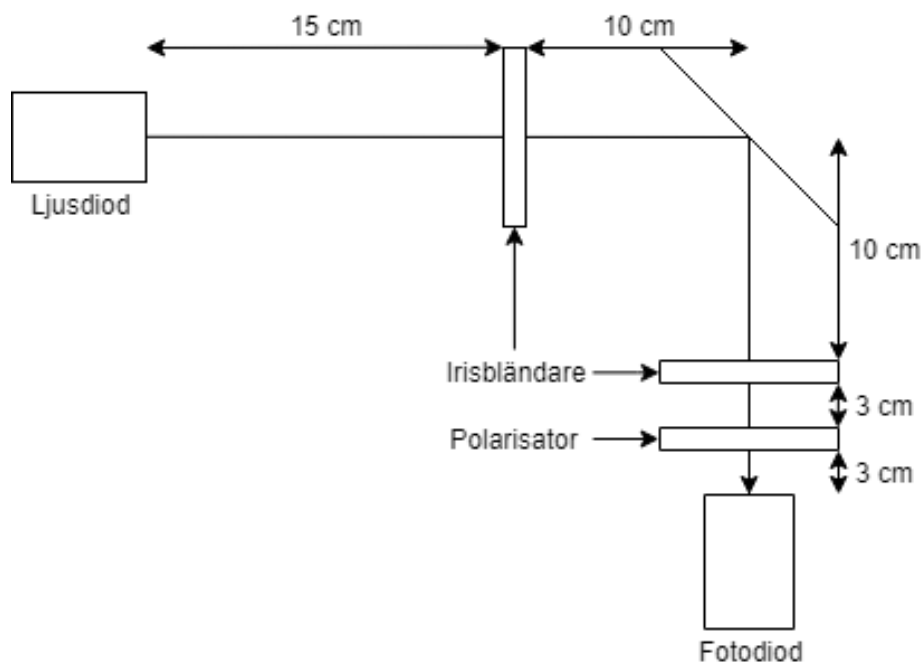
3.1.1 Grunduppgift

Försöksuppställningen visas i figur 4. De använda koaxialkablarna ska vara så korta som möjligt för att minimera dämpning.



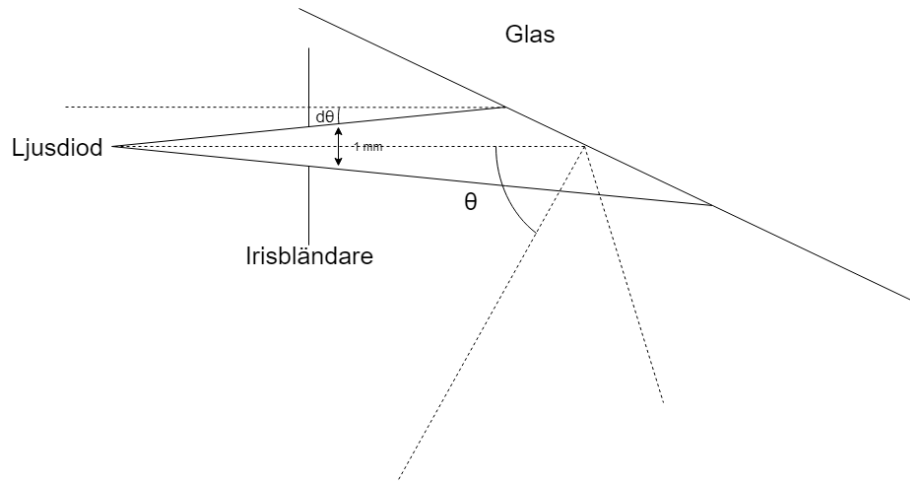
Figur 4: Figuren visar den elektriska uppställningen. Den består av en vågformsgenerator vars output är kopplat till en resistor, referensgången i lock-in förstärkaren och kanal 2 på ett oscilloskop. Resistorn är vidare kopplad till den optiska uppställningen. Utgången i den optiska uppställningen är vidare kopplad till signalgången i lock-in förstärkaren. Utgången i lock-in förstärkaren är kopplad till kanal 1 i oscilloskopet.

Den optiska uppställningen visas i figur 5. Irisernas avstånd till glaset bestäms till att vara 10 cm eftersom det är så nära som möjligt. Ljusdioden approximeras till en punktkälla, och för att minimera ljusstrålens utspridning och samtidigt inte påverka intensiteten på strålen alltför mycket bestäms ljusdiodens avstånd till glaset till att vara 25 cm. Den andra irisbländaren och polarisatorn placeras så nära fotodioden som möjligt, 3 cm.



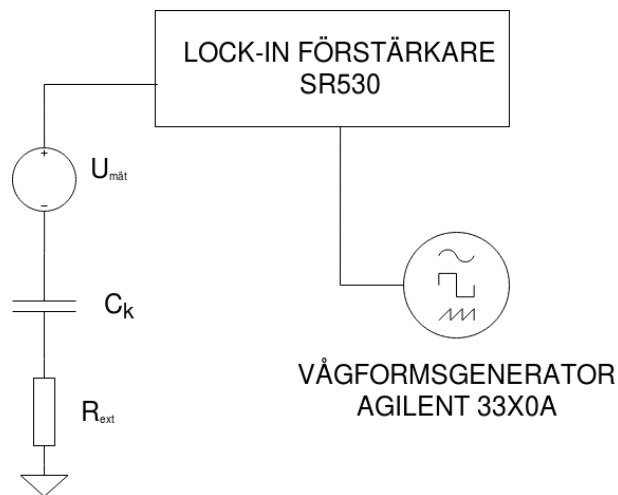
Figur 5: Figuren visar den optiska uppställningen. Den består av en optisk bänk, en ljusdiod, två irisbländare, en glasbit, en polarisator och en fotodiod. Avstånden visas på figuren.

För att bestämma det första irishålets storlek måste ljusets utspridning tas hänsyn till. Ett hål på 1 mm ger ett försumbart $d\theta \approx 0.2^\circ$, där $d\theta$ är ljusstrålens maximala avvikelse från den teoretiska vinkeln vid glaset, se figur 6. Det andra irishålet ska sedan kontrollera noggrannheten på vinkeln. Om vinkeln är mer än 0.5° fel ska ljusstrålen alltså inte träffa iriset. Med de angivna parametrarna på den optiska uppställningen händer detta när irishålet har en diameter på ca. 4 mm.



Figur 6: Figuren visar $d\theta$, den maximala avvikelsen för strålen för ett irishål på 1 mm.

3.1.2 Extrauppgift



Figur 7: Uppställning för mätning av egenbrus i resistans R_{ext} . $U_{mät}$ är resistansens egenbrus och C_k är kabelns kapacitans.

För mätning av egenbruset i en resistans används en lock-införstärkare. Till lock-införstärkarens referenskanal kopplas funktionsgeneratoren. En jordad resistans $R_{ext} = 1 \text{ M}\Omega$ kopplas till lock-införstärkarens ingång med en koaxialkabel, se figur 7.

3.2 Utförande

3.2.1 Grunduppgift

Funktionsgeneratoren skickar ut en sinussignal med amplitud 1 V, offsetspänning 1V och frekvens 120 Hz. Signalen som oscilloskopet mäter upp är då proportionell mot ljuset som fotodioden fångar upp. För att försäkra sig om att ljuset träffar fotodioden vrids polarisatorn så att den släpper förbi ljuset med polarisationen som inte blir 0 vid Brewstervinkeln. Om oscilloskopet då fångar upp en signal så vänds polarisatorn tillbaka. Reflektionen mäts vid vinklar mellan 50-60 grader, med mellanrum på 1 grad mellan mätpunkterna. Amplituden på signalen som oscilloskopet mäter upp ska minimeras, och den vinkeln för vilken den är närmast 0 är Brewstervinkeln.

3.2.2 Extrauppgift

Kapacitansen hos kabeln mäts sedan med multimeter. En sinusformad referenssignal på 1 kHz skapas av funktionsgeneratoren, och bandbredden 10Hz används. Utgången till lock-införstärkaren kopplas direkt till jord, och lock-införstärkarens egenbrus uppmäts. Jorden kopplas bort och spänningen uppmäts då ingången är öppen, detta för att erhålla stömbruset från lock-införstärkaren. Sedan kopplas resistorn in enligt figur 7. Spänningen mäts för att erhålla egenbruset från R_{ext} vid rumstemperatur 295 K. Resistansen R_{ext} doppas i flytande kväve vilket kylvärmer den till 77K, och kopplas sedan tillbaka i kretsen enligt figur 7. Spänningen uppmäts för att erhålla egenbruset från den kylda resistorn. Till sist verifieras formlerna framtagna i teoriavsnittet.

4 Resultat och Diskussion

4.1 Grunduppgift

Resultatet som förväntas är att Brewstervinkeln fås till 57°. Glasets brytningsindex blir då 1.5.

Det största problemet verkar vara placeringen och rotation av glaset. Eftersom en vinkelnoggrannhet på 0.5° krävs och det första irishålet bara är 1 mm stort krävs väldigt hög precision. Eventuellt kan en skärm krävas för att omöjliggöra att ljuset från ljusdioden direkt träffar fotodioden. Ett möjligt problem är att ljuset från ljusdioden kommer att reflekteras från väggar och olika objekt i salen och träffar fotodioden. Detta ljus bör dock vara tillräckligt absorberat för att inte utgöra ett stort problem.

4.2 Extrauppgift

För resistansen $R_{ext} = 1 \text{ M}\Omega$ och bandbredden 10 Hz ges för olika temperaturer resistansens teoretiska egenbrus v_n i tabellen nedan.

v_n [nV]	T [K]	R [M Ω]
402	293	1
206	77	1

Lock-in förstärkaren förväntas ha spänningsbruset $7 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ och strömbruset $0.13 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}}$. Kabeln förväntas ha kapacitansen $100 \frac{\text{pF}}{\text{m}}$.

De komplicerade uttrycken leder till en misstanke att det kan finnas ett enklare sätt att mäta resistansens egenbrus. En viss osäkerhet på optimal mätfrekvens finns för experimentet. I manualen för lock-in förstärkaren anges värden för spänningsbrus och strömbrus vid 1 kHz, och över 1 kHz degraderar CMRR med 6 dB/oktav. Det finns dock inget som entydligt pekar på frekvensen 1 kHz. Det har även diskuterats hur den kylda resistorn ska fästas i kopplingsplattan och hur skärmning ska användas.

Referenser

- [1] Cheng D. *Field and Wave Electromagnetic*. Pearson, 1989.
- [2] Andersson G. Hyldgaard P. Ryberg R. *Brus och Stör-kompendiet - referensmaterial 2018 [Internet]*. Chalmers Tekniska Högskola, Institutionen för Fysik, 2018 [citerad 26 feb 2019]. URL: goo.gl/1LnMPA.
- [3] Nastase A. *How to Calculate the RMS Value an Arbitrary Waveform [Internet]*. 2019 [citerad 26 feb 2019]. URL: goo.gl/2iUHLD.
- [4] *RG58/RG59 Series Coaxial Cables [Internet]*. PRO-POWER, 2005 [citerad 26 feb 2019]. URL: goo.gl/jykUwt.