Chalmers Tekniska Högskola och
Göteborgs Universitet
Fysiska Institutionen
Dag Hanstorp och Peter Ljungberg
Oktober 1993

Laboration

O11

Elektrooptiska effekter

Handledare:..............................

Namn:...................................

Laboration utförd den:.................

Godkänd den:........................... av ....

1. Kerreffekten

Den första Elektrooptiska effekten upptäcktes av skotten John Kerr år 1875. Han fann att ett isotropt transparent ämne blir dubbelbrytande då det placeras i ett elektriskt fält. Ämnet uppför sig då som en enaxlig kristall med optiska axeln parallell med det elektriska fältet. Denna dubbelbrytning uppträder som en skillnad i brytningsindex mellan ljus polariserat parallellt med respektive vinkelrätt mot den optiska axeln (dvs det elektriska fältet). Denna skillnad i brytningsindex, Δn, fann Kerr uppträda som

$$\Delta n = \lambda\, KE^2, \tag{1}$$

där K benämns **kerrkonstanten.** Observera att denna effekt är proportionell mot kvadraten av fältet och ofta kallas för **den kvadratiska elektrooptiska effekten.** I en kerrcell utnyttjas denna effekt till att förändra polarisationen hos ljus som passerar genom cellen genom att variera det elektriska fältet som appliceras över denna.

Skillnaden i brytningsindex kommer att innebära att ljus polariserat vinkelrätt mot fältet kommer att få en annan utbredningshastighet än ljus polariserat parallellt med fältet. Fashastigheterna hos ljuset kan, förutsatt att $n_= > n_\perp$, skrivas:

$$c_= = \frac{c}{n_=} < c_\perp = \frac{c}{n_\perp},$$

varvid skillnaden Δt i den tid det tar för ljuset att passera kerrcellen blir

$$\Delta t = \frac{l}{c_=} - \frac{l}{c_\perp} = \frac{l}{c}(n_= - n_\perp),$$

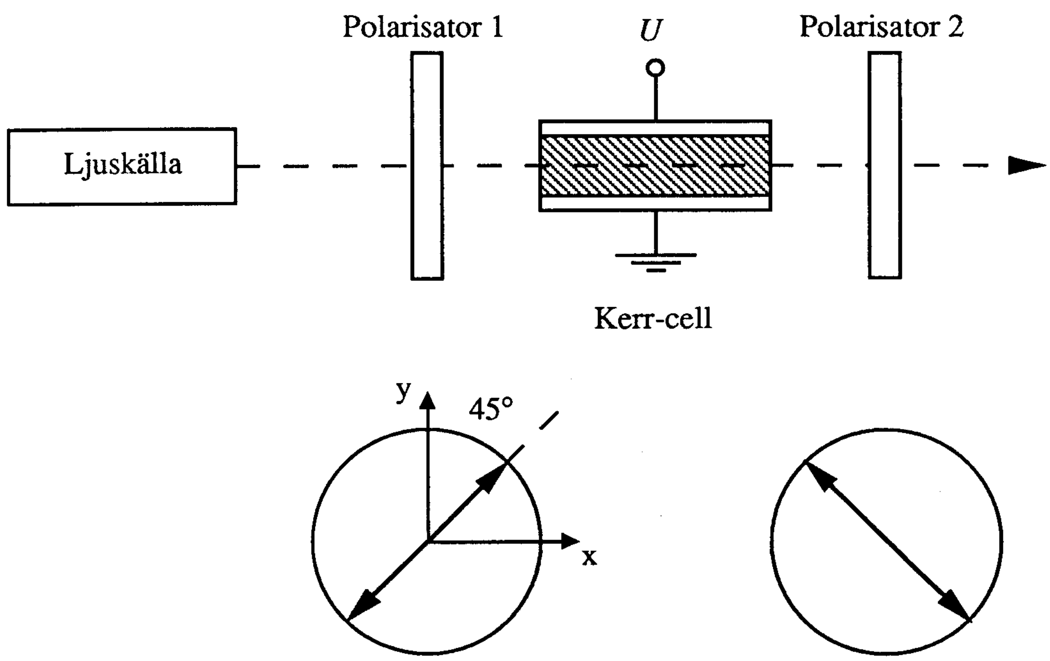
där l är den aktiva längden hos cellen. Detta ger en **fasdifferens** $\Delta\varphi$ mellan de två vågorna:

$$\Delta\varphi = \omega\Delta t = 2\pi\upsilon\frac{l}{c}(n_= - n_\perp) = 2\pi\frac{l}{\lambda}(n_= - n_\perp) = 2\pi\frac{l}{\lambda}\Delta n. \tag{2}$$

Genom att kombinera (1) och (2) får vi:

$$\Delta\varphi = 2\pi\frac{l}{\lambda}\Delta n = 2\pi\, lKE^2 = 2\pi\, K\frac{l}{a^2}U^2 \equiv pU^2, \tag{3}$$

där a är cellens bredd längs det applicerade elektriska fältet.



Figur 1. Schematiskt diagram över apparatur för studium av Kerreffekten.

Låt oss nu se hur en polariserad ljusstråle som passerar en kerrcell påverkas av denna fasdifferens. Vi antar nu att det infallande ljuset är linjärpolariserat 45° mot det elektriska fältet (se figur 1). Ljuset kan då delas upp i två vågor med samma amplitud, vågvektor, frekvens och fas, en parallell med och en vinkelrät mot den elektriska fältvektorn:

$$A_x = A_y = A_0 \cos(\bar{k} \cdot \bar{z} - \omega t).$$

Detta ljus har intensiteten

$$I_0 = A_x^2 + A_y^2 = 2A_0^2.$$

Efter att vågorna har passerat det elektrooptiska materialet kommer två vågor med samma amplitud, vågvektor och frekvens men med **olika** fas ut ur kerrcellen:

$$A_x = A_0 \cos(\bar{k}\cdot\bar{z} - \omega t) \quad \text{och} \quad A_y = A_0 \cos(\bar{k}\cdot\bar{z} - \omega t + \Delta\varphi). \tag{4}$$

Genom att eliminera $\cos(\bar{k}\cdot\bar{z} - \omega t)$ får vi ekvationen för en elliptiskt polariserad våg:

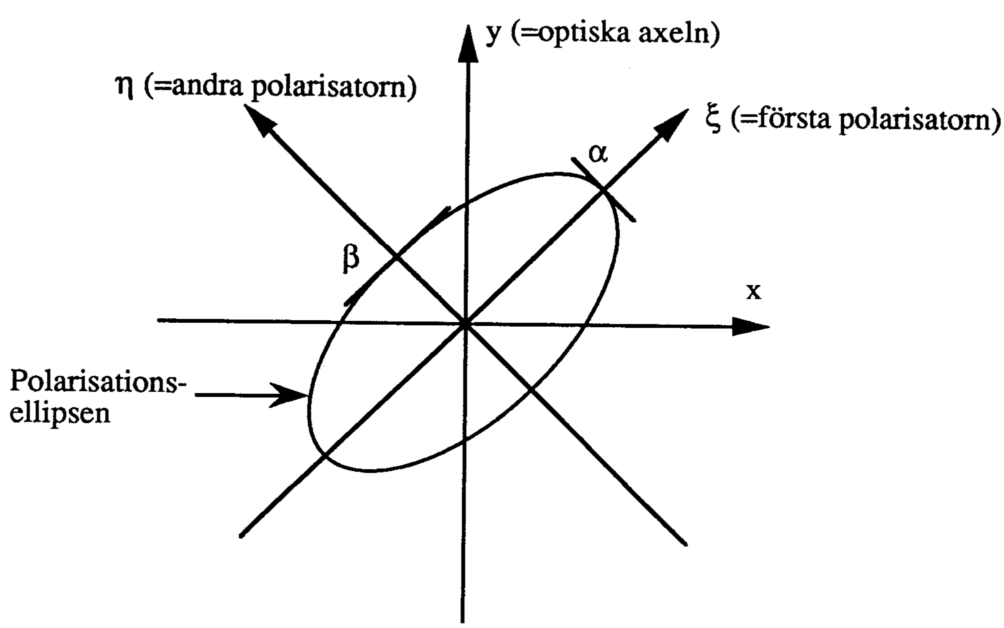
$$A_x^2 + A_y^2 - 2A_xA_y\cos\Delta\varphi = A_0^2 \sin\Delta\varphi.$$

Efter kerrcellen sätter vi nu in en polarisator vriden 90° mot den första polarisatorn och studerar ljuset som passerar denna. För att beräkna intensiteten hos det transmitterade ljuset roterar vi koordinataxlarna 45° genom att göra substitutionerna (se figur 2)

$$\hat{x} = \frac{1}{\sqrt{2}}(\hat{\xi} - \hat{\eta})$$

och

$$\hat{y} = \frac{1}{\sqrt{2}}(\hat{\xi} + \hat{\eta}).$$



Figur 2. Illustration av koordinataxlarna x, y, ξ och η samt polarisationsellipsen och dess halvaxlar α och β.

Vi uttrycker då polarisationsellipsen i amplituderna A_ξ och A_η, som representerar polarisation vinkelrätt mot respektive parallellt med den sista polarisatorn:

$$\frac{A_\xi^2}{A_0^2(1+\cos\Delta\varphi)}+\frac{A_\eta^2}{A_0^2(1-\cos\Delta\varphi)}=1.$$

Från denna ekvation kan vi nu bestämma halvaxlarna α och β för ellipsen, dvs amplituden hos ljuset polariserat vinkelrätt mot respektive parallellt med den sista polarisatorn som funktion av fasvridningen $\Delta\varphi$:

$$\alpha = A_0\sqrt{1+\cos\Delta\varphi} \quad \text{och} \quad \beta = A_0\sqrt{1-\cos\Delta\varphi}. \tag{5}$$

Med $90°$ mellan polarisator 1 och 2 väljer vi att få ut en linjärt polariserad våg med amplituden β ur kerrcellen. Den korresponderande **intensiteten** I_η är proportionell mot kvadraten på amplituden. Kvoten mellan den infallande och utgående intensiteten fås då, genom att utnyttja (3) och (5):

$$\frac{I_\eta}{I_0}=\frac{\beta^2}{2A_0^2}=\frac{1}{2}(1-\cos\Delta\varphi)=\frac{1}{2}(1-\cos(pU^2)) \tag{6}$$

2. Pockelseffekten

Från ekvation 1 i föregående avsnitt framgår att kerreffekten är proportionell mot kvadraten av det pålagda elektriska fältet. För vissa andra kristaller har man funnit att förändringen i brytningsindex istället är direkt proprotionell mot E-fältet. Detta upptäcktes 1893 av F. Pockel och fenomenet kallas därför för pockelseffekten eller den linjära elektrooptiska effekten. Omslagstiden i en pockelscell är mycket kortare än i en kerrcell. Pockelseffekten utnyttjas därför bl a i mycket snabba optiska slutare, s k Q-switchar, som används för att producera mycket korta laserpulser (< 1ns).

3. Flytande kristaller

Vätskekristaller, som också kallas flytande kristaller, är anisotropa matrial bestående av delvis ordnade molekyler. Med ett elektrisk fält kan riktningen hos molekylerna vridas varigenom **den optiska axeln hos vätskekristallen roteras.** Samma effekt kan erhållas genom att mekaniskt rotera kristallen. Detta är inte samma effekt som i en kerrcell där istället **graden av anisotropi** påverkas av det pålagda elektriska fältet. Rotationen av den optiska axeln i en flytande kristall är en linjär effekt med den pålagda spänningen. En pålagd spänning ger en förhållandevis stor rotation av kristallens optiska axel, vilket medför att förhållandevis små spänningar kan användas. Omslagstiden för en vätskekristall är dock betydligt längre än omslagstiden för en kerrcell. Flytande kristaller är väsentligt mycket billigare än både kerrceller och pockelsceller vilket har medfört att de används i en mängd olika tillämpningar, t ex i displayer i miniräknare och i datorskärmar.

4. Faradayeffekten

Avslutningsvis kan det nämnas att även magnetiska fält kan påverka de optiska egenskaperna hos kristaller. En glasbit placerad i ett magnetiskt fält blir optiskt aktiv och kan därigenom vrida polarisationen hos ljus på samma vis som polarisationen vrids hos ljus som passerar en sockerlösning. Denna effekt kallas den magnetooptiska effekten eller Faraday effekten.

ELEKTROOPTISKA EFFEKTER, ARBETSBLAD

Läs igenom arbetsbladet innan laboration. Du behöver dock inte förbereda någon av uppgifterna. Uppgift 4 ingår endast i projektlaborationer.

1. DEMONSTRATION AV KERREFFEKTEN

Ni ska med hjälp av handledarens instruktioner demonstrera Kerreffekten genom att använda en uppsättning liknande den i figur 1.
Följande moment ska utföras:

1. Undersök laserns polarisationsegenskaper.
2. Registrera intensiteten hos det transmitterade ljuset som funktion av den pålagda spänningen.
3. Undersök hystereseffekter hos cellen.
4. Undersök kerreffektens våglängdsberoende.

2. ÖVERFÖRING AV EN LJUDSIGNAL MED HJÄLP AV LASERLJUS

Ni ska omvandla signalen från högtalarutgången på en vanlig transistorradio till en ljus-signal, sända den genom en optisk fiber för att avslutningsvis omvandla den till ljud. Den utrustning ni anser er behöva får ni be handledaren om.

3. DEMONSTRATION AV FLYTANDE KRISTALLER OCH POCKELSEFFEKTEN

Handledaren kommer här att demonstrera en flytande kristall och förevisa en Pockelscell.

4. BESTÄMNING AV LJUSHASTIGHETEN

Med hjälp av en pockelscell ska ni bestämma ljushastigheten genom att mäta den tid det tar för ljuset att färdas en given sträcka. Skissera ett förslag på hur detta ska gå till och presentera det för handledaren.