

OPTISK AMPLITUDSTABILISERING

AV KONTINUERLIGA LASRAR

ett examensarbete av

Bengt Forsberg

utfört vid

Institutionen för fysik, LTH

1981

Innehåll

	Sid
1. Bakgrund till examensarbetet	3
2. Optik - modulering - detektering	6
3. Servosystem - analys	10
4. Elektronisk konstruktion	12
5. Bruksanvisning för stabilisatorn	16
6. Resultat - kommentarer	17
7. Referenser	20
Bil 1. Kopplingsschema förförstärkare	21
Bil 2. Kopplingsschema HSP-förstärkare	22
Bil 3. Modulatorbox	23
Bil 4. HSP - enhet	24

Förord

Följande text är en beskrivning av det examensarbete jag utförde under sommaren - hösten 1981 vid institutionen för fysik, LTH.

Detta bestod i att konstruera en optisk amplitudstabilisator (på engelska ofta kallad noise-eater). För all hjälp med denna konstruktion vill jag tacka Rolf Olofsson (mekanisk utformning), Åke Bergquist (elektronisk konstruktion) samt mina handledare Peter Grafström och Sune Svanberg för råd och vägledning.

1. Bakgrund till examensarbetet

Inom vissa tillämpningar av laserteknologin har man behov av en ljuskälla med stor stabilitet hos uteffekten, särskilt då inom laserspektroskopin. Där användes i allmänhet färgämneslasrar, vilka är lasrar, vars våglängd kontinuerligt kan varieras inom ett intervall, som bestäms av det använda färgämnet.

Genom att belysa det atomslag, som man vill undersöka, och samtidigt variera våglängden på lasern, kan man få fram ett spektrum genom att mäta hur fluorescensstrålningen från atomerna varierar.

En uttömmande beskrivning av ämnet får man i Ref. [1]. I Ref. [2] ges en mer översiktlig belysning av ämnet laserspektroskopi.

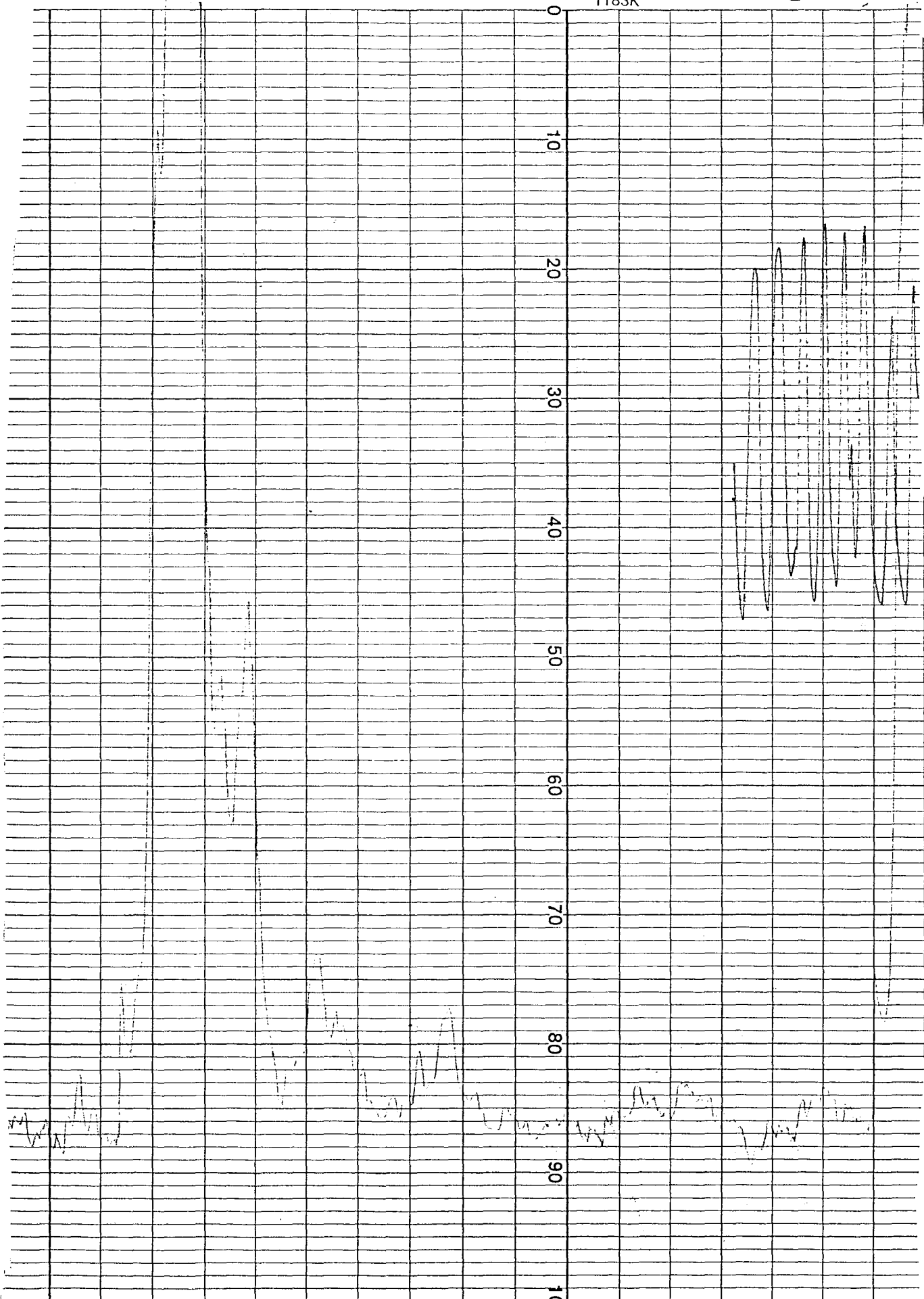
Om ljuskällan, dvs lasern, varierar i utintensitet under spektrets upptagande, kan svagare linjer döljas av dessa störningar. Detta gäller särskilt när man detekterar atomernas utsända fluorescensljus på samma våglängd, som excitationen sker. Då kan spritt ljus i mätuppställningen ge en brusig bakgrund. Se t.ex följande sida (ett Bariumspektrum upptaget med laserspektroskopi). De små topparna är "sönderhackade" av störningar.

Färgämneslasern brusar i allmänhet mer än andra lasrar (bl.a. beroende på att färgämne pumpas genom den aktiva volymen, och då följer det lätt med luftbubblor, vilket stör laserverkan).

Målet för detta examensarbete var att göra en konstruktion, som eliminerar dessa störningar för att möjliggöra bättre spektroskopiska mätningar.

1183K

4



Principkonstruktion

En lösning på ovanstående brusproblem är användandet av ett servosystem, där ljusintensiteten bestäms och jämförs med en referenssignal (se Fig.1).

Skillnaden dessa emellan förstärkes och fasvändes och går in på en modulator, som påverkar ljusets utintensitet.

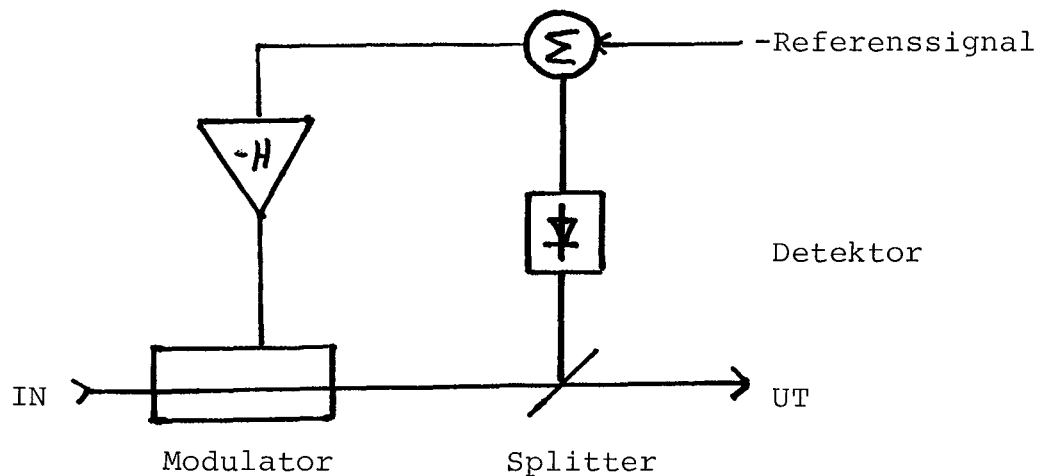


Fig. 1. Principschema för optisk stabilisator

Det finns åtskilliga sätt att uforma modulatore. Ett sätt är att modulera strömmen till urladdningsröret, som exciterar det lasrande ämnet i lasern (laserns funktion och uppbyggnad se Ref. [3a]).

Ett annat sätt är att utnyttja inverkan av ett magnetfält kring lasern. För vissa lasrar (t.ex. He-Ne-lasern) varierar laserintensiteten med magnetfältet (se Ref. [3b]). Genom att modulera magnetfältet modulerar man utintensiteten.

Bägge ovanstående lösningar innebär att man går in i lasern vid stabiliseringen. Behändigare blir det om man har en separat enhet, som modulerar laserljuset

direkt i stället för att modulera storheter, som styr laserns funktion. En dylik konstruktion är lätt flyttbar mellan olika lasrar och fungerar för alla slags kontinuerliga lasrar. Två sådana beskrivs nedan.

En ganska ny modulationsmetod är s.k. inhiberad totalreflektion. Man skickar in ljus med en viss polarisation, i ett prisma av något slags glas, på så sätt att ljuset faller in mot en yta med en vinkel precis på gränsen till totalreflektion. Om man närmar denna yta med en skiva av något slags metall, sjunker reflektansen i ytan. I Ref.[5] beskrivs metoden utförligt. Modulationen innebär att man förflyttar metallen i förhållande till prismet.

En mera beprövad metod är elektrooptisk modulering, vilket har använts i min konstruktion, och dess funktion beskrivs nedan.

2. Optisk modulering

Vissa kristaller har egenskapen att utbredningshastigheten för linjärpolariserat ljus varierar med den elektriska fältvektorns riktning (enligt teorin för den s.k. indexellipsoiden, se Ref.[4a]).

Den fysikaliska effekt, som utnyttjas i konstruktionen är Pockelseffekten. Denna effekt innebär att när man lägger ett elektriskt fält längs kristallens optiska axel (z-axeln) blir skillnaden i brytningsindex, för ljus polariserat längs x- och y-axlarna i kristallen, proportionell mot pålagd spänning.

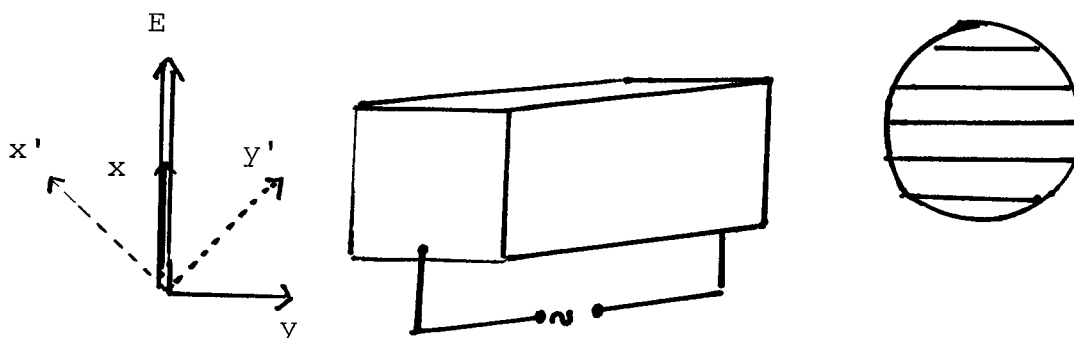


Fig. 2. Modulator

Antag nu att man skickar in polariserat ljus med E-vektorn som bisektris till kristallens x- och y-axlar, och med utbredningsriktningen längs z-axeln.

Ljusutbredning längs z-axeln uttrycker man lämpligen med vågfunktionen på följande sätt:

$$\bar{E} = \bar{E}_0 e^{i(kz - \omega t)}$$

$$\bar{E}_0 = E_{ox} \bar{e}_x + E_{oy} \bar{e}_y$$

Amplituden \bar{E}_0 är en komplex vektor i xy-planet, och kan även uttryckas som en matris, s.k. Jones' vektor (för fullständigare teori se Ref, [4b]).

$$\bar{E}_0 = \begin{bmatrix} E_{ox} \\ E_{oy} \end{bmatrix}$$

Linjärt polariserat ljus längs x-axeln innebär att $E_{oy} = 0$ och E_{ox} är reell. En vektor i x-riktningen kan uppdelas i en y'-komponent och en x'-komponent (se Fig 2) enligt följande uträkning.

$$\begin{bmatrix} E_{ox} \\ 0 \end{bmatrix} = E_{ox} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{E_{ox}}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} + \frac{E_{ox}}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$$

Inför följande beteckningar:

$k_{x'}$, $k_{y'}$	utbredningskonstanter för ljus polariserat i x'- respektive y'-riktningen.
λ_0	ljusets vacuumvåglängd
l	kristallens längd

Om $z = 0$ vid kristallens början (där ljuset går in), blir det från kristallen utgående ljuset då:

$$\begin{aligned}\bar{E}_{ut} &= \frac{E_{ox}}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} e^{i(k_y \ell - \omega t)} + \frac{E_{ox}}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix} e^{i(k_x \ell - \omega t)} = \\ &= \frac{E_{ox}}{2} e^{i[(k_y + k_x) \ell / 2 - \omega t]} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} e^{i(k_y - k_x) \ell / 2} + \\ &+ \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix} e^{-i(k_y - k_x) \ell / 2}\end{aligned}$$

Substituera:

$$\psi = (k_y + k_x) \ell / 2$$

$$\theta = (k_y - k_x) \ell / 2$$

$$\begin{aligned}\bar{E}_{ut} &= \frac{E_{ox}}{2} e^{i(\psi - \omega t)} \begin{bmatrix} e^{i\theta} + e^{-i\theta} \\ e^{i\theta} - e^{-i\theta} \end{bmatrix} = \\ &= E_{ox} e^{i(\psi - \omega t)} \begin{bmatrix} \cos \theta \\ i \sin \theta \end{bmatrix}\end{aligned}$$

Genom att sätta ett polarisationsfilter efter kristallen vinkelrät mot infallande strålens polarisation, släpps bara den nedre termen $\sin \theta$ igenom. Intensiteten fås genom kvadrering till:

$$I = I_o \sin^2 \theta \quad (I_o = E_{ox}^2)$$

$$\theta = \frac{\ell}{2}(k_y - k_x) = \frac{\ell}{2} \frac{2\pi}{\lambda_o} (n_y - n_x) = \frac{\pi \ell}{\lambda_o} \Delta n$$

2θ benämnes fasretardation.

Då $\Delta n = kE$ blir sambandet $I = I_o \sin^2(k'U)$.

U är spänningen över kristallen.

$k' = \frac{\pi}{\lambda_o} k$ där k beror på kristalltypen.

Kristalltyp

Den använda kristallen i konstruktionen är en KDP-kristall av märket INRAD 101-020. Förhållandet mellan spänning över kristallen vid fasretardationen π och ljusets våglängd ses i Fig.3. Fasretardationen $2\theta = \pi$ innebär att transmissionen ($\sin^2\theta$) är maximal.

Kristallen är monterad i modulatorboxen på så sätt att det ingående ljusets polarisation måste vara parallell med någon av kantlinjerna på modulatorboxens kortsida där laserstrålen sänds in (se Bil.3).

Övriga specifikationer för kristallen av intresse:

Öppningsdiameter	2,5 mm
Max transmission	96 %
Kapacitans	4 pF
Effektåtlighet - synligt	10 W
- IR	5 W

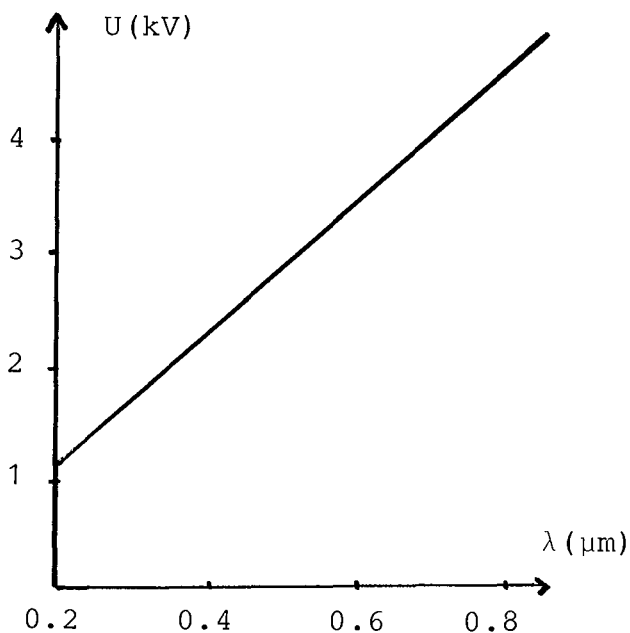


Fig. 3. Spänning erforderlig för fasretardation π som funktion av λ .

Då målet är att stabilisatorn skall kunna arbeta vid våglängder mellan 400 - 800 nm krävs i princip en förstärkare i återkopplingssystemet som klarar 0 - 4 kV.

Detektering

För att detektera utgående ljus från modulatorens används en beam-splitter av vanligt glas. Där avlänkas ca 4 % av ljuset till en fotodiod av fabrikat Hamamatsu S1336-5BQ.

Mellan beam-splittern och dioden sitter ett vridbart polarisationsfilter för att dämpa allt för starkt ljus, som skulle kunna mätta dioden.

3. Servosystem - analys

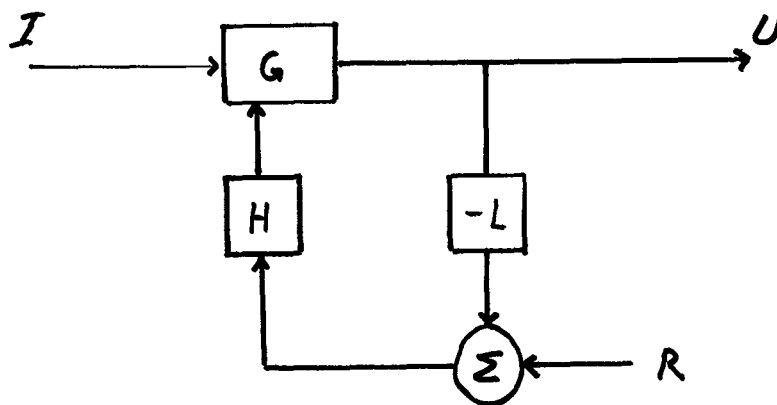


Fig. 4.

Servosystemet (se Fig.4) kan beskrivas på följande sätt.

Äv det inkommande ljusets intensitet (I), släpps bara en del ut (U). Hur stor del bestäms av G enligt följande formel:

$$U = G I$$

En signal proportionell mot ljusintensiteten återkopplas, förstärkes och fasvändes till en signal $-UL$, där proportionalitetskonstanten L har enheten V/W . Denna signal jämförs med referenssignalen R (enhet V) varefter skillnaden dessa emellan förstärkes H gånger av högspänningsförstärkaren. In till modulatorens går signalen $H(R - UL)$.

Med en modulator av den typ som beskrivits ovan, blir modulatorens transmission för rött ljus följande:

$$G = \sin^2\left(\pi \frac{(R - UL)H}{4000 V}\right)$$

Linjäriserar man $\sin^2 x$ kring $x = \pi/4$ blir

$$\sin^2 x \approx x + \frac{1}{2} - \pi/4$$

Detta ger
$$U = GI \approx \left(\pi \frac{(R - UL)H}{4000 V} + \frac{1}{2} - \pi/4\right) I$$

$$\Leftrightarrow U \left(\frac{1}{I} + \frac{LH\pi}{4000 V}\right) = \frac{\pi RH}{4000 V} + \frac{1}{2} - \pi/4$$

$$\Leftrightarrow U = \frac{\frac{\pi RH}{4000 V} + \frac{1}{2} + \frac{\pi}{4}}{\frac{1}{I} + \frac{LH\pi}{4000 V}}$$

När $H \rightarrow \infty$ så går $U \rightarrow R/L$ dvs perfekt reglering. Om man vill att servot skall ta bort 99 % av störningarna måste följande gälla:

$$\frac{\pi LH}{4000 V} > \frac{100}{I} \approx 50 \frac{L}{R}$$

Linjärisering kring punkten $U = I/2$ och sambandet $U \approx R/L$ ger $I \approx 2R/L$. Med en referensspänning $R = 1 V$ blir olikheten:

$$H > \frac{4000 \text{ V}}{\pi \cdot 1 \text{ V}} 50 \approx 60\,000 \text{ ggr}$$

4. Elektronisk konstruktion

Det elektroniska systemet kan uppdelas i tre delar, som behandlas nedan.

4.1 Diodförstärkare

Diodens belastningsresistans $30 \text{ k}\Omega$ (se Fig 5) är dimensionerad för att ge max utspänning för en lasereffekt på 0.5 mW , vilket är den minsta effekt stabilisatorn klarar. Denna utspänning ($\approx 0.1 \text{ V}$) förstärkes 10 ggr för att relativt störningsfritt kunna överföras från modulatorenhet till högspänningseenheten via en 1-meters koaxialkabel.

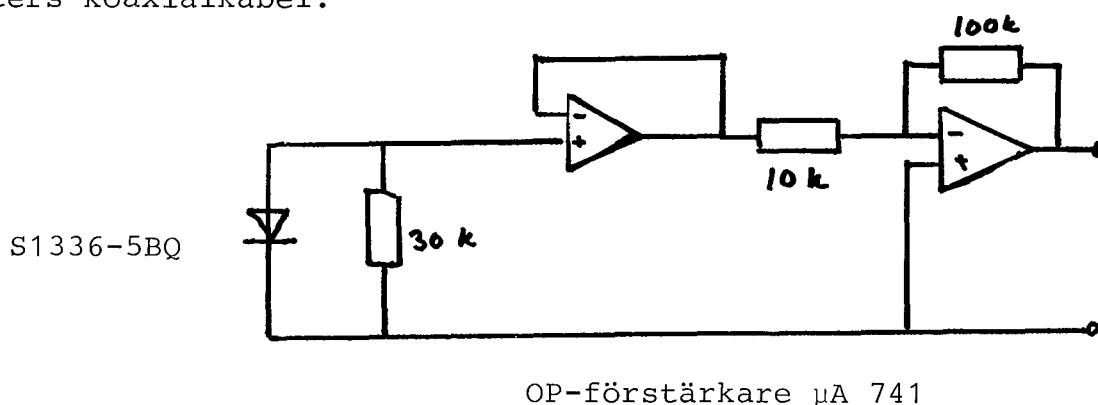


Fig 5.

4.2 Förförstärkare

Kopplingsschemat för förförstärkaren återfinns i Bil .1. Signalen in kommer från diodförstärkaren. Denna signal subtraheras ifrån referenssignalen, som kan ställas till $0 - 1 \text{ V}$ med hjälp av en vridpotentiometer. Skillnaden förstärkes via 2 operationsförstärkare ca 25 ggr. Pga självsvängningar i servosystemet måste förstärkningen begränsas till 5 ggr vid högre frekvenser.

Högspänningssteget behöver en förspänning på ca 1 V för att fungera, vilken erhålls genom inställning av potentiometern på andra OP-förstärkarens plusingång.

4.3 Högspänningsförstärkare

Som förut nämnts är en förstärkare, som klarar 0 - 4 kV idealet. Transistorer, som klarar en sådan spänning, finns ej på marknaden. Rör finns däremot. Problemet med rör är dels den långa leveranstiden (2 mån) och dels att det är tveksamt om dylika kommer att finnas i framtiden, då man eventuellt behöver reparera. Därför valdes till sist transistoralternativet.

Eftersom det inte går att bygga förstärkare med transistorer, som klarar 4 kV, måste man på något sätt seriekoppla en rad förstärkare (se Fig.7).

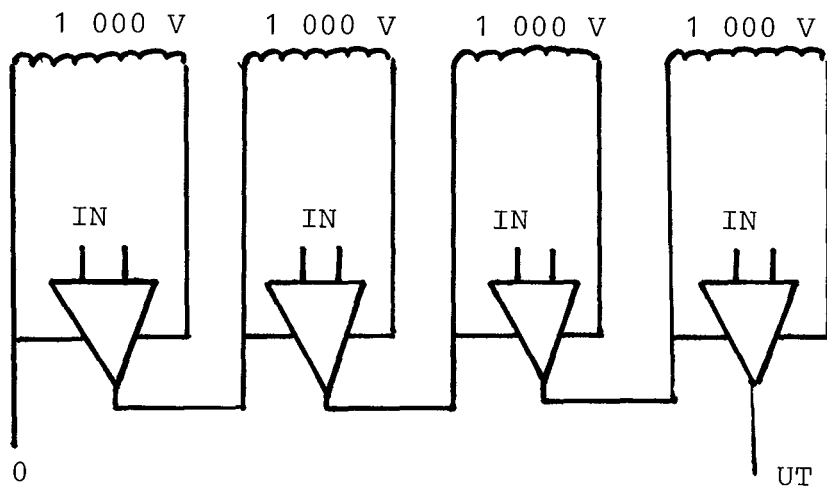


Fig.7.

Genom att ansluta ett stegs utgång till ett annat stegs nollnivå adderas spänningarna till varandra.

Då det finns transistorer med maxspänningen 1500 V, krävs det i princip 4 förstärkarsteg till 4 kV, vilket ger en viss säkerhetsmarginal.

Eftersom insignalen till alla fyra stegen är den samma (parallellkopplade), måste ingången vara elektriskt isolerad från utgången. För t.ex. det översta steget kommer nollnivån att ligga på +3 000 V i förhållande till jord.

Med hjälp av optokopplare på stegens ingångssida klarar man detta. Modell 820D131F klarar 6 kV mellan ingång och utgång och har använts i konstruktionen.

Praktisk utformning

Att seriekoppla förstärkare på ovanstående sätt visade sig senare vara ganska svårhanterbart.

Till att börja med visade sig optokopplarna ha lite olika omslagsintervall, dvs olika förstärkarsteg kunde ha olika utspänning trots samma inspänning. Detta innebär att H (se kap 3) inte längre är konstant över hela reglerområdet utan bara i vissa intervall. Därigenom blir återkopplingen olika stor i olika spänningsintervall (ljusintensitetsintervall).

Dessutom kan man misstänka att strökapacitanser gör sig gällande mellan högspänningstransistorerna eftersom dessas ingångar är parallellkopplade. Allt detta medför problem med självsvängningar i servosystemet.

Om man nöjer sig med att seriekoppla två steg visar det sig möjligt att få bort självsvängningar samtidigt som servot klarar någorlunda höga frekvenser (<500 Hz).

Försämringen av servots funktion blir inte så stor om man seriekopplar hsp-förstärkarens utgång med ett högspänningsaggregat.

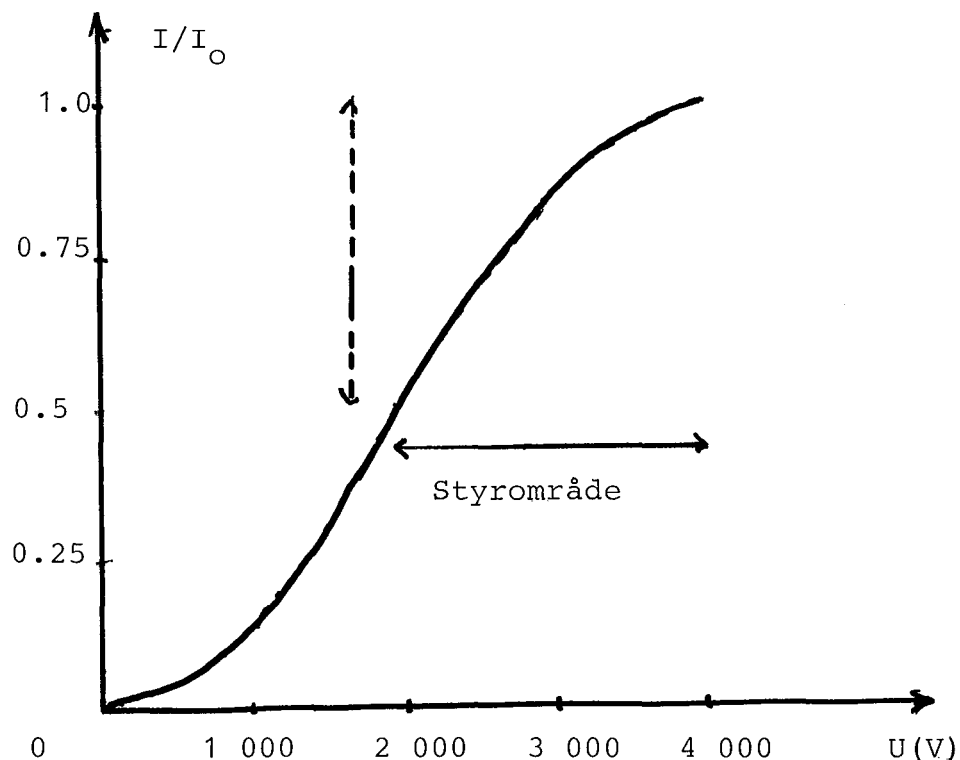


Fig.8. Transmissionskurva för ljus med $\lambda = 700$ nm.

Tag t.ex. rött ljus ($\lambda = 700$ nm). Förändringen av överföringsfunktionen G för modulatorens pga att våglängden under den spektroskopiska mätningen ändras är försumbar (svep $\Delta\lambda < 1$ nm).

Med en förspänning på 2 000 V kan modulatorens gå mellan halvöppen och helöppen, dvs den klarar av en störnivå på 50 % av laserljuset. Sådana stora störnivåer är ganska sällsynta. För kortare våglängd (och lägre förspänning) klarar den ännu mer.

I Bil.2 finns kopplingsschema. Om insignalen ändras 0.2 V på optokopplaren, så ändras utsignalen 900 V. Med förförstärkarens 25 ggr blir det med 2 hsp-steg en total förstärkning på $\approx 200\,000$ ggr vilket är större än det i Kap.3 framräknade värdet.

5. Bruksanvisning för optisk stabilisator

Modulatorenh. (se Bil.3) injusteras i strålgången utan någon spänning på kristallen. Denna är rätt injusterad om man genom att vrida polarisator 1 kan i det närmaste "släcka" ut ljuset, och om man genom att vrida ytterligare 90° kan hitta ett max med stor intensitet.

Modulatorns funktion är mycket känslig för rubbningar av inställningen. Därför bör man ansluta alla ledningar före injusterings. Då inställningen är klar vrids polarisator 1 till minimum.

Följ därefter nedanstående checklista.

- * Slå på HSP-enheten med LINE.
- * Kontrollera att ratten REF.ADJ. är vriden i nolläge (längst till vänster).
- * Vrid upp HSP-aggregatet till den spänning som motsvarar fasretardationen π för aktuell våglängd (se Fig.3).
- * Om ovanstående spänning är högre än aggregatet klarar av, kan man få ytterligare 1.8 kV genom att vrida REF.ADJ. i botten (till höger).
- * Slå över högra vippströmbrytaren till INPUT (innebär att HSP-förstärkarens insignal visas på vridspoleinstrumentet).
- * Vrid polarisator 2 tills voltmeteren på fronten visar ca 0.8 V.
- * Slå över högra vippströmbrytaren till REF (referenssignalen visas på instrumentet).
- * Om REF.ADJ. står i nolläge, sänk HSP-aggregatets spänning med 1.8 kV.

- * Vrid ratten REF.ADJ. till lämplig nivå beroende på grad av störningar. Med t.ex. inputsignal 0.8 V och 25 % brus välj max 0.6 volt referensspänning.
- * För att vara säker på att man valt rätt referensnivå och att servot fungerar, kan man studera HSP-enhetens inputsignal på ett oscilloskop.

6. Resultat och kommentarer

Stabilisatorns frekvensegenskaper studerades genom att modulerat laserljus skickades in i denna. Se t.ex. nedanstående oscilloskopsbild (Fig 9).

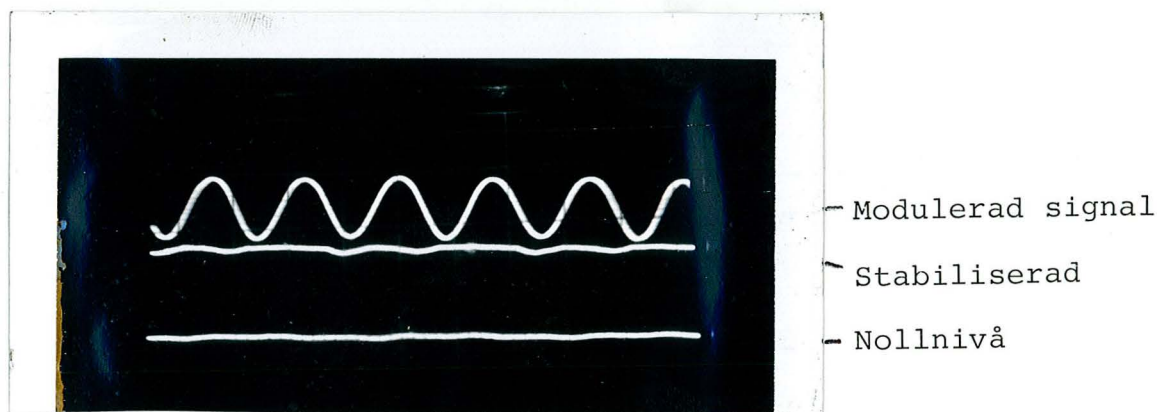


Fig 9. Modulerat laserljus (100 Hz sinus) med och utan stabilisator

Samtidigt som det modulerade ljusets frekvens ändrades studerades ljusintensiteten med och utan stabilisator. Det visade sig bli en klar förbättring upp till ca 500 Hz, där stabilisatorn tog bort drygt hälften av bruset. Vid första påseendet kan detta verka vara en mycket dålig frekvensgång.

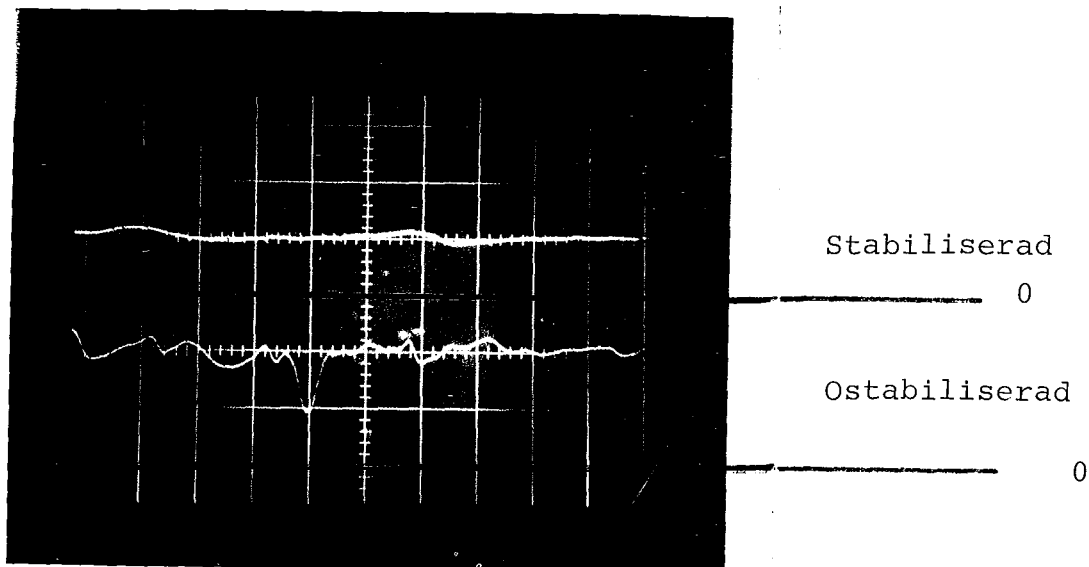


Fig. 10

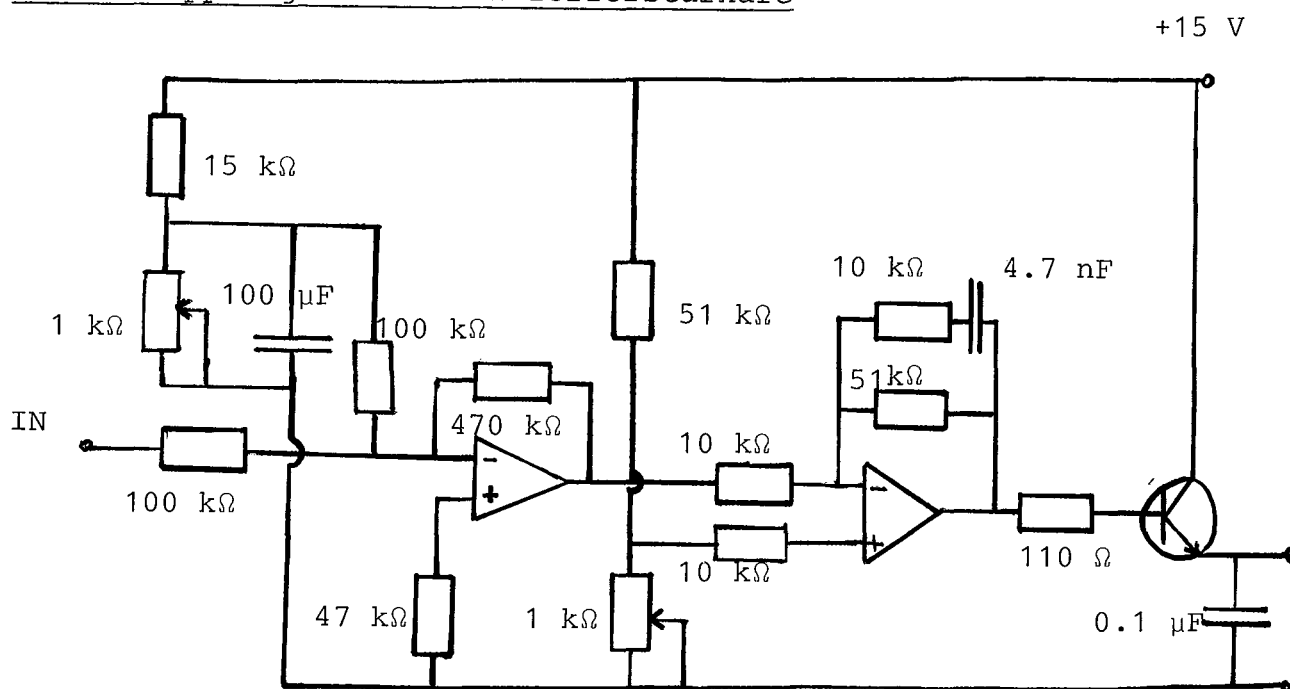
Ovanstående oscilloskopsbild (Fig.10) visar ljusintensiteten med och utan stabilisator för en färgämneslaser. Då sveptiden är 20 ms/ruta ser man att frekvensen på fluktuationerna är mindre än 100 Hz vilket stabilisatorn klarar.

När man tar upp spektra med laserspektroskopiska metoder använder man sig ofta av skrivare. Denna skrivare klarar av fluktuationer på högst 50 Hz. Därför är det viktigast att stabilisatorn klarar de lägre frekvenserna. På nästa sida ser man detekterat ljus med stabilisatorn antingen påkopplad eller avslagen. OBS endast brusförhållandet är jämförbart eftersom när modulaton är frånslagen släpper den bara igenom en del av ljuset beroende på förspänningen.

7. Referenser

- [1] W.Demtröder, Laser Spectroscopy (Springer 1980)
- [2] S.Svanberg, Kosmos 1977, Svenska Fysikersamfundet
sid 73 - 84.
- [3] B.A.Lengyel, Lasers (Wiley & Sons Inc 1971)
 - a) sid 39 - 103
 - b) sid 302 - 308 spec 308
- [4] G.R.Fowles, Introduction to Modern Optics (Holt,
Rineheart, Winston 1975)
 - a) sid 152 - 198
 - b) sid 33 - 53
- [5] Glenn T.Sincerbox och Joseph G.Gordon,
Laser Focus nov 1981, sid 55 - 58.

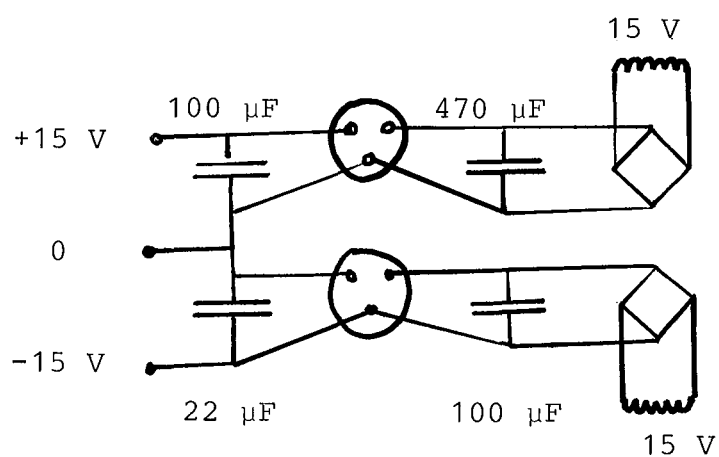
Bil 1. Kopplingsschema för förförstärkare



2 st OP-förstärkare $\mu\text{A} 741$

1 st transistor BD 137

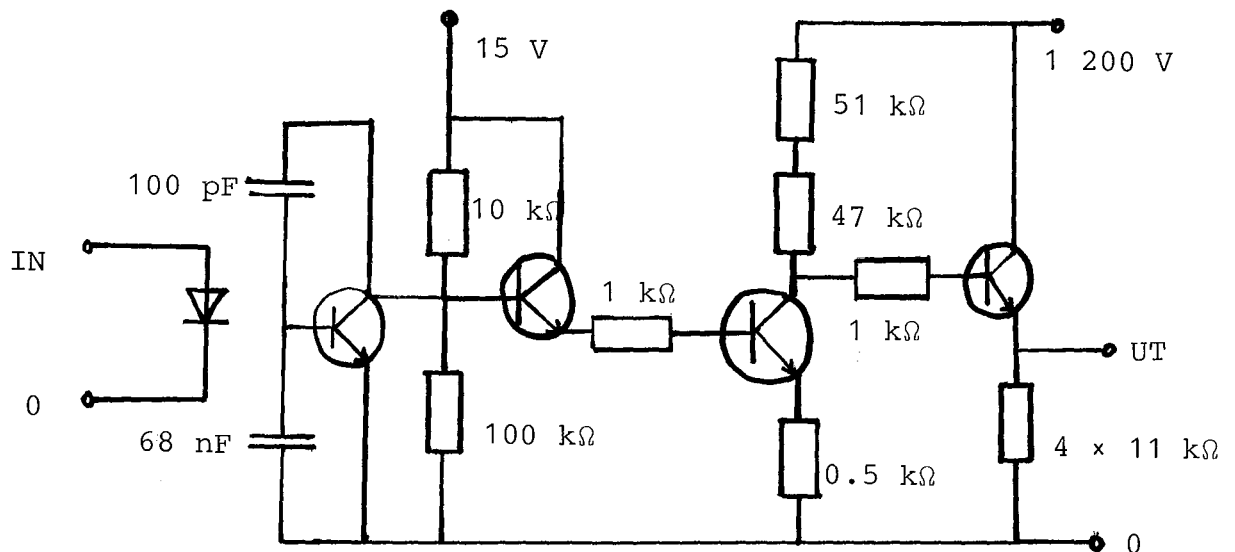
Spänningsförsörjning



2 st bryggor 7948

2 st spänningsstab 7815C

Bil 2. Kopplingsschema HSP-förstärkare



1 st optokopplare 820D131F

1 st transistor 2N2219

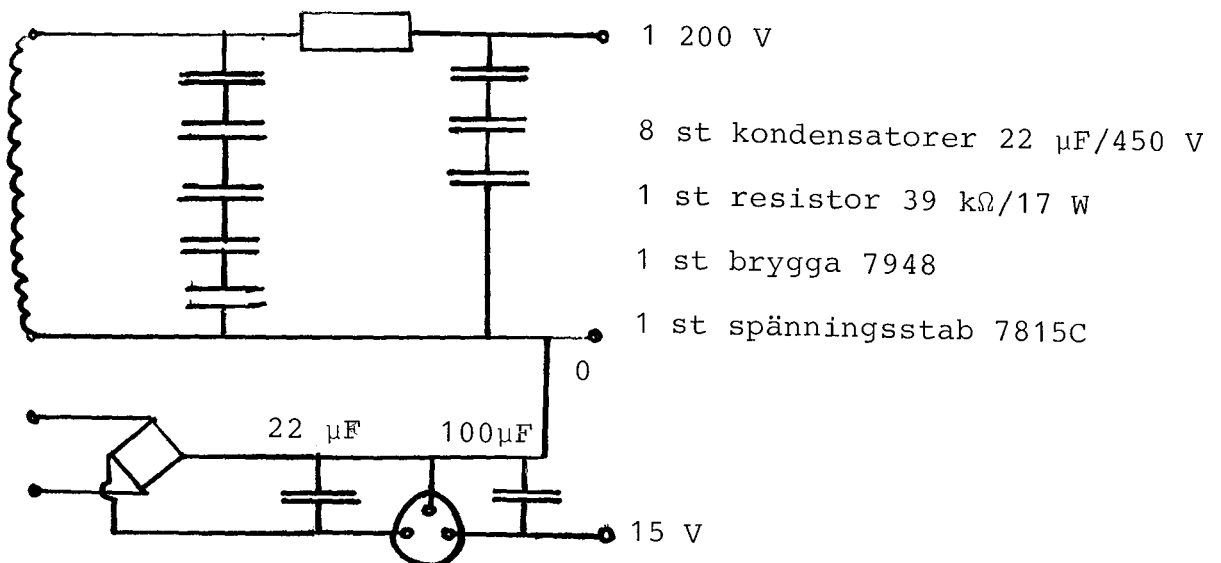
2 st högspänningstransistorer BU208

Högeffektresistorer:

4 st 11 kΩ/4 W

1 st 47 kΩ/12 W 1 st 51 kΩ/12 W

Spänningsförsörjning



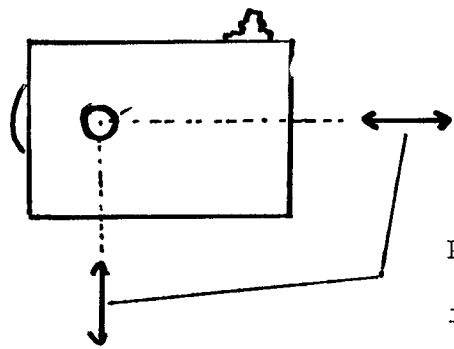
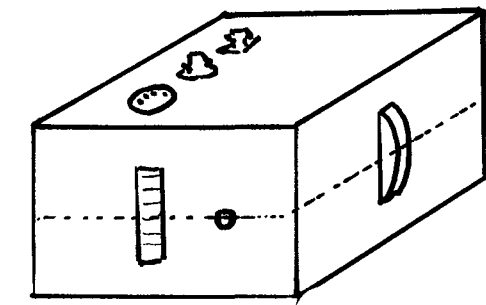
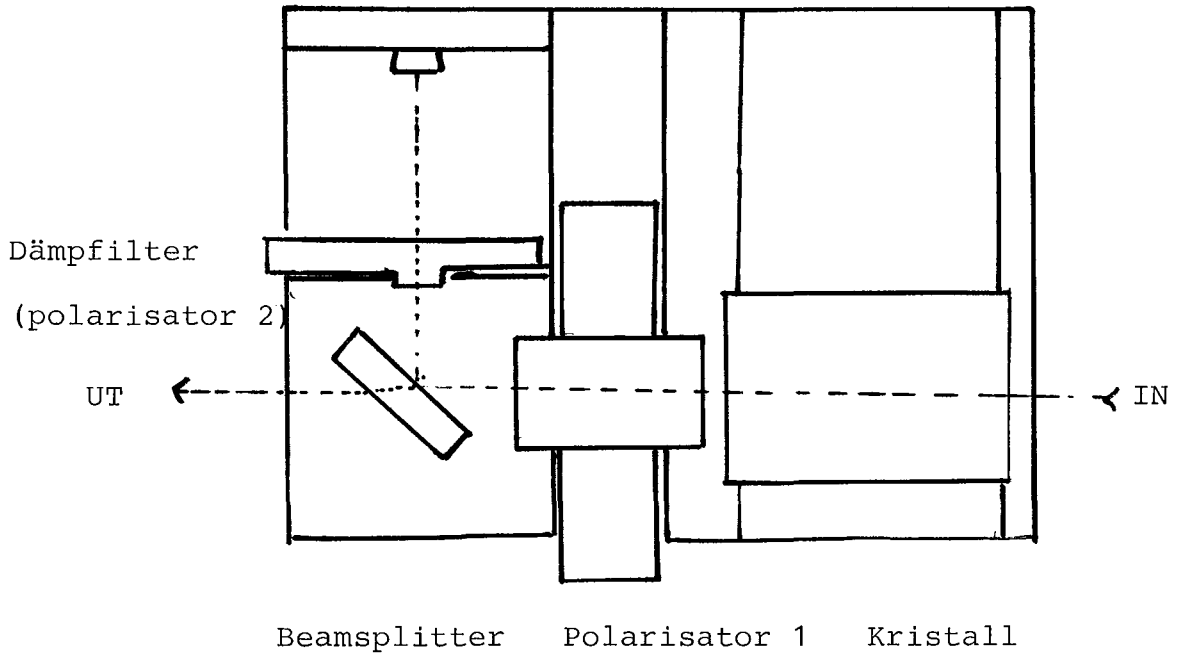
Transformator primär 220 V

sekundär 1 400 V/30 mA

15 V/0.2 A

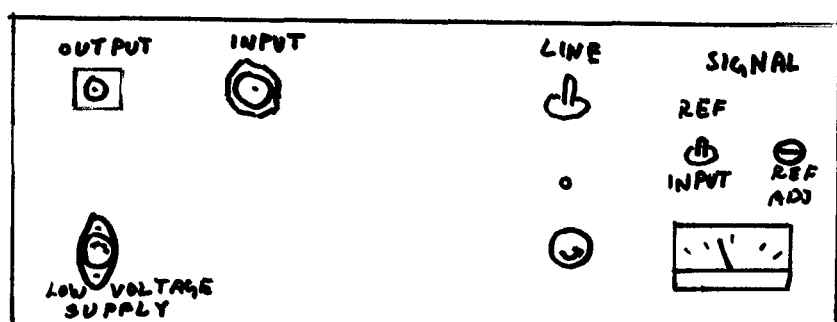
Bil 3. Modulatorbox - sprängskiss

Diod med förstärkarkoppling



Polarisationsriktningar för ingående ljus.

Bil 4. Högspänningsenhet



Frontpanel HSP-enhet

Handhavande se kap 5

Sprängskiss HSP-enhet

