

**Bobergsskolan i Ånge  
Institutionen för fysik  
Specialarbete om laser  
Handledare: Lennart Eriksson**

# **Konstruktion av en kvävelaser**

---

# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Sammanfattning</b>	<b>Sid. 3</b>
	1.1 Vad är laser?	Sid. 3
	1.2 Konstruktion av en kvävelaser	Sid. 3
<b>2</b>	<b>Inledning</b>	<b>Sid. 4</b>
<b>3</b>	<b>Vad är laser?</b>	<b>Sid. 5</b>
	3.1 Hur en foton bildas	Sid. 6
	3.2 Stimulerad emission	Sid. 7
	3.3 populationsinversion	Sid. 8
	3.4 Det sista steget	Sid. 9
<b>4</b>	<b>Konstruktion av en kvävelaser</b>	<b>Sid. 11</b>
	4.1 Att komma igång	Sid. 11
	4.2 Att finna lämpligt material	Sid. 11
	4.3 Konstruktion av högspänningskondensator	Sid. 12
	4.4 konstruktion av laserkavititet	Sid. 18
	4.5 Konstruktion av högspänningsaggregat	Sid. 21
	4.6 Att göra lasern användarvänlig	Sid. 24
	4.7 Justering för önskad funktion	Sid. 25
	4.8 Utbyggnadsmöjligheter	Sid. 26
<b>5</b>	<b>Referenser</b>	<b>Sid. 27</b>
	5.1 Böcker	Sid. 27
	5.2 Articklar och kompendium	Sid. 27

# 1 Sammanfattning

## 1.1 Vad är laser?

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation eller LASER betyder på svenska ljusförstärkning genom stimulerad utsändning av strålning och är en metod för att framställa ljus med mycket speciella egenskaper. Laser används till en rad olika tillämpningar och områden. Med laser kan man med stor precision skära i en rad olika material, även metaller till en tjocklek av några millimeter. Man kan använda laser till mätanordningar som mäter avståndet till månen eller en bils hastighet. Laser kan även användas till kirurgiska ingrepp i människokroppen, där den fungerar som en utmärkt kniv som inte orsakar så stora blödningar som en vanlig kniv. Likaså kan en kraftig laser användas för att uppnå den hetta som krävs för att starta fusion i ett ämne, men en laserstråle kan även användas för att kyla ner material till en temperatur nära den absoluta nollpunkten.

För att en laserstråle skall bildas krävs att en rad olika villkor är uppfyllda, dessa villkor är så onormala att fysiker länge trodde att det var en omöjlighet. Genom en rad experiment kom man dock lösningen närmare och det var en man med namnet Theodore Maiman som till sist löste problemet. Genom åren har en rad olika lasermodeller utvecklats och idag finns det lasrar som alstrar ljus med våglängder från det ultravioletta- till det infraröda spektrumet, med uteffekter från någon milliwatt till tiotals kilowatt för kontinuerliga lasrar och ända upp till flera megawatt för pulssade lasrar.

## 1.2 Konstruktion av en kvävelaser

En kvävelaser är en laser som alstrar ljus med en våglängd på 337,1 nanometer (en nanometer är  $1 \cdot 10^{-9}$  m), vilket ligger inom det ultravioletta området och ljuset är således helt osynligt för ögat. Kvävelasern alstrar ljuspulser som varar ca 10 nanosekunder, vilket är en tiotusen gånger snabbare ljusblxt än ett höghastighetsstroboskop genererar, likaså är ljuspulsen från kvävelasern mycket kraftigare med en uteffekt på nära en miljon watt.

## 2 Inledning

Under hösten 1994 fick jag och min klasskamrat Johan Nilsson idén att bygga en laser. Då jag tillhör den skara människor som sällan ger mig då jag har fått en idé uppsökte jag studierektor Kurt Winzell för att diskutera saken. Intresset från honom var mycket stort och en tid senare hade jag 150 timmar schemalagd tid till mitt förfogande, min klasskamrat Johan Nilsson hade dock redan fyllt sitt schema och fick därför använda lediga timmar och fritid till arbetet. En studieplan utarbetades och den 5 december 1994 kunde arbetet sättas igång.

Till en början bestod arbetet till största delen av att finna tillräckligt med information, detta gjordes på många sätt, bland annat genom telefonkontakt med en rad högskolor samt genom läsning av fackböcker och artiklar skrivna på engelska. Den 16 januari 1995 beställdes de nödvändiga delarna och den 27 januari började konstruktionsarbetet.

Den ursprungliga anledningen och därmed syftet till att jag började att konstruera en laser var att få svar på de många frågor jag hade angående ämnet laser samt att få svar på frågan hurvida jag skulle klara av uppgiften eller ej. Tanken var också att konstruera en laser som kunde vara intressant i diverse försökssammanhang och som är tillräckligt användarvänlig för att kunna användas till detta ändamål.

Arbetet har baserats på en artikel med namnet "The amateur scientist - An unusual kind of gas laser that puts out pulses in the ultraviolet", artikeln är utgiven av Scientific American och beskriver hur konstruktionen av en kvävelaser går till. Den kvävelaser som denna artikel beskriver är en 30 cm lång version med en uteffekt på ca 100 KW och som har en pulstid på ca. 10 nanosekunder ( $10^{-9}$  sekunder). Med vetskap om att det finns kvävelasrar som har en uteffekt på över en miljon watt föddes därför tanken att konstruera en 1 meter lång version som med lite tur bör ge en uteffekt på nästan 1 MW.

Då jag inte funnit någon litteratur som beskriver denna typ av kvävelaser så fick jag med hjälp av den ovan nämnda artikeln fundera ut ett sätt att lösa de svårigheter som uppstår då man försöker att konstruera en laser med mycket kort pulstid och lång laserkavitet (det rör där laserstrålen bildas).

Jag kommer först att beskriva laserns uppkomst och natur på ett grundligt sätt för att du som läsare lättare skall förstå hur konstruktionen av kvävelasern gick till, vidare skall jag redogöra för hur kvävelasern konstruerats samt ge en grundlig förklaring till hur den fungerar. Jag kommer inte att beskriva de många tillämpningsområden som finns i detta arbete, vidare kommer jag inte att utforma detta arbete som en användarmanual till lasern då en sådan konstruerats separat och finns tillgänglig på diskett i form av ett datorprogram som fungerar i Windows 3.1 eller senare.

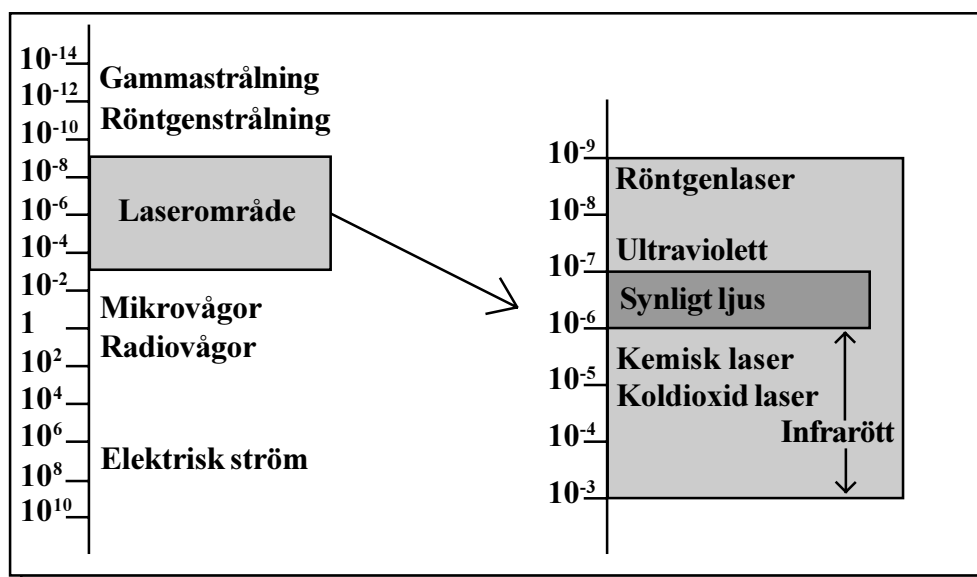
### 3 Vad är laser?

Laser är en förkortning av uttrycket Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation och betyder på svenska ljusförstärkning genom stimulerad utsändning av strålning. En laser är en apparat som alstrar ett mycket speciellt ljus. Ljusstrålen från en laser består liksom allt annat ljus av fotoner, fotoner har egenskaper som gör att man i många avseenden kan betrakta dem som en vågrörelse som fortplantar sig i ett medium, speciellt för fotonen är dock att den olikt andra vågrörelser även kan fortplanta sig i vakuum. Vilken färg ljuset har bestäms av vilken våglängd fotonerna har. Människans öga kan uppfatta ljus med våglängder från ca. 400 nanometer till ca. 700 nanometer, det ljus som har en våglängd över 700 nanometer respektive under 400 nanometer förefaller för människan osynligt (en nanometer, förkortas nm, är  $10^{-9}$  meter). Fotonens energiinnehåll är direkt relaterat till dess våglängd, en foton med en kort våglängd har ett högre energiinnehåll än en foton med en längre våglängd.

Det ljus som vi dagligen kommer i kontakt med genom solen samt våra glödlampor i hemmen och på arbetsplatsen innehåller fotoner med alla våglängder inom det synliga spektrat, detta är faktiskt en förutsättning för att vi i vardagen skall kunna uppfatta olika föremåls färger. Det förhåller sig nämligen så att en "grön" yta reflekterar den gröna delen av det infallande ljuset och "absorberar" den övriga delen, detta medför att ögat uppfattar föremålet som grönt eftersom det endast är grönt ljus som kan nå ögat då den andra delen av ljuset ej reflekteras av ytan.

I en laserstråle däremot är ljuset sammansatt av fotoner med samma våglängd eller i vissa mycket speciella modeller av en rad olika våglängder. Det som gör laserljuset så speciellt är att alla fotoner utbreder sig parallellt med varandra och de svänger i exakt fas i förhållande till varandra, dessa egenskaper gör att ljuset från en laser utbreder sig som en stråle rakt fram i rummet till skillnad från en vanlig glödlampa, från vilken ljuset utbreder sig i alla riktningar.

Det synliga ljuset samt ljus med våglängder över 700 nm (Infrarött ljus) och ljus med våglängder under 400 nm (Ultraviolett ljus) är dock endast en liten del av något man kallar för det elektromagnetiska spektrat. Till det elektromagnetiska spektrat hör bland andra även röntgenstrålningen samt mikrovågor och radiovågor. Det elektromagnetiska spektrat innehåller vågor med våglängder från  $10^{-14}$  till  $10^{10}$  meter (Se nedanstående bild.).

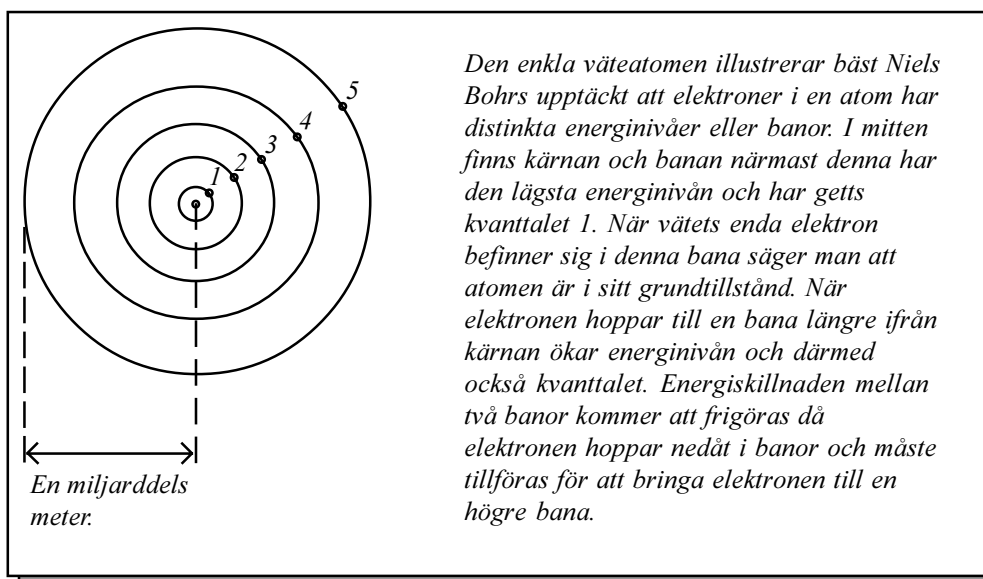


Laserljus liksom ljuset från lampan i köket består alltså av fotoner. Men vad är en foton? I slutet av 1800-talet formulerade den tyska fysikern Max Planck kvantteorin. Kvantteorin säger att energi inte förekommer som ett jämt flöde utan i bestämda mängder som kallas kvanta, på samma sätt som materia består av atomer består energi av små energipaket. Ljus är energi och Planck visade att även det förekommer i exakt uppmätta energipaket, fotoner. En foton är emellertid inte den lilla partikel som Newton trodde den vara. Den är till sin natur en kula av elektromagnetisk energi och egentligen helt utan massa, eftersom den rör sig med ljusets hastighet (299792458 m/s) och relativitetsteorin visar att ingen partikel med massa kan röra sig så snabbt.

### 3.1 Hur en foton bildas

För att förstå hur en foton egentligen uppstår behöver vi först veta en del om atomen, vi lämnar därför fotonen ett ögonblick. När Plancks kvantteori blev känd gav den vetenskapsmännen en helt ny syn på materia och energi. En atom består av en kärna och en eller flera elektroner som kretsar runt denna. I seklets början räknade Niels Bohr ut att elektronerna rör sig i banor på ett bestämt avstånd från kärnan. Elektronerna kan hoppa mellan dessa banor, ett så kallat kvantsprång, men detta endast om energi bildas eller tillförs. Detta av den enkla anledningen att banorna representerar en bestämd energimängd och för att flytta en elektron till en bana längre ifrån kärnan behöver energi tillföras, likaså bildas det energi om en elektron faller tillbaka till en bana som ligger närmare kärnan. Detta kan jämföras med ett föremåls avstånd från jorden (kärnan), för att flytta föremålet (elektronen) längre ifrån jorden (kärnan) behöver energi tillföras, detta gör då att föremålet (elektronen) får en lågesenergi som sedan frigörs då föremålet (elektronen) faller tillbaka till sitt grundtillstånd. En atoms energimängd eller kvanttillstånd (ett mått på hur mycket energi atomen innehåller) beror således på vilka banor dess elektroner kretsar i.

För att beskriva denna process använder jag mig av den mycket enkla väteatomen, en skiss av denna finns nedan.



Bilden på föregående sid visar en väteatom med endast fem möjliga banor, i teorin finns det dock fler banor. Det finns ett bestämt kvanttal (energimängd) bundet till varje bana, vilket som jag nämnt tidigare ökar med avståndet från kärnan. Väteatomens enda elektron tenderar att inta den innersta banan med lägst energi. Man säger att elektronen och därmed atomen är i sitt grundtillstånd.

För att elektronen skall hoppa till nästa bana behövs energi. En foton är ett speciellt lämpligt energiknippe, men inte vilken sorts foton som helst. Fotonens energimängd måste exakt överensstämma med energiskillnaden mellan de båda banorna för att elektronen skall kunna absorbera fotonen och förflytta sig till nästa bana. Om en sådan foton passerar atomen absorberar elektronen denna och energitillskottet gör att den kan hoppa till en högre bana. I detta ögonblick sägs elektronen och atomen vara i ett exiterat tillstånd. Elektronen befinner sig vanligen endast en mycket kort tid i detta exiterade tillstånd för att sedan falla tillbaka till grundtillståndet. Då detta händer måste elektronen göra sig fri från den extra energimängden, vilket den gör genom att ge ifrån sig en foton, en foton med samma energi och våglängd som den som den just absorberat. Denna händelse när en elektron hoppar mellan olika banor kallas för övergång.

### 3.2 Stimulerad emission

Denna process när en elektron absorberar en foton och sedan helt utan yttre påverkan avger en likartad foton kallas för spontan emission. Albert Einstein funderade över vad som skulle hända om en atom i exiterat tillstånd kom i närheten av ännu en foton med samma energimängd som den som exiterat den. Man tänker sig att fotonenergin skulle användas för att förflytta elektronen en till bana, men detta är fel. Einstein förutsade att elektronen skulle falla till en lägre bana och ge ifrån sig en foton precis som vid spontan emission. Denna gång skulle dock den av elektronen bildade fotonen ha exakt samma energimängd, våglängd och dessutom ligga i fas med den foton som fick elektronen att falla tillbaka. Detta kallade Einstein för stimulerad emission, vilket är en viktig del i laserns funktionssätt.

Jag nämnde tidigare att laser står för Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Med ledning av detta har du kanske redan räknat ut att om man bombarderar atomer med den rätta sortens fotoner och därmed lyckas försätta tillräckligt många atomer i exiterat tillstånd så kommer den stimulerade emissionen att ge upphov till något som liknar en laserstråle. Detta kan liknas med det som händer i en atombomb där en uranatom splittras och ger ifrån sig neutroner som i sin tur splittrar nya uranatomer som ger ifrån sig nya neutroner, detta ger upphov till en kedjereaktion där antalet aktiva particklar ökar lavinartat. Kan samma sak ske med ljus? Det var till en början inte många som trodde att detta var möjligt då atomer endast förblir i ett exiterat tillstånd under ca. en miljondels sekund och utsikterna för att en foton med rätt energimängd skall dyka upp under denna tid är relativt liten.

Stimulerad emission är mycket sällsynt och uppstår på jorden endast om människan har sin hand med i spelet. Detta beror på att naturen strävar mot ett tillstånd som kallas termodynamisk jämvikt, vilket betyder att atomer och molekyler strävar efter att hålla sig på lägsta möjliga energinivå. Dessa av naturen givna villkor gör att det vid normala temperaturer finns många fler atomer i grundtillståndet än i något exiterat tillstånd. Detta medför att det är mycket troligare att en foton med rätt energimängd stöter ihop med en atom i grundtillstånd (atomen skulle då absorbera fotonen för att sedan skicka den vidare igen) än en atom i exiterat tillstånd, vilket då skulle ge upphov till stimulerad emission.

### 3.3 Populationsinversion

Så länge man har en normal fördelning mellan atomer i grundtillstånd och exiterade atomer är lasern omöjlig. Vetenskapsmännen bakom laserns uppkomst insåg detta och visste att det enda sättet varpå de kunde framställa en kraftig stimulerad emission var att vända på fördelningen så att det bildas en övervägande del exiterade atomer. Detta tillstånd är långt ifrån naturligt och kallas populationsinversion. Ett faktum är att det är så onaturligt att Arthur Schawlow, en av laserns uppfinnare, sade att fysiker i många år ansåg det omöjligt att framställa detta tillstånd. Denna mentala blockering är en av orsakerna till att uppfinnandet av lasern tog lång tid.

För att populationsinversion skall uppstå måste man bombardera atomer eller molekyler med energi så att de pumpas upp till högre energinivåer. I de flesta fall återvänder atomerna eller molekylerna till sina grundtillstånd så fort att arbetet är förgäves. Men om man pumpar vissa atomer eller molekyler på precis rätt sätt, med precis rätt mängd energi, blir resultatet en populationsinversion.

Den första person som lyckades uppnå populationsinversion var Charles H Townes, men han använde mikrovågor istället för ljus. Genom att excitera ammoniakgas framställde Townes och hans medarbetare den första masern, vilket i princip är en laser som alstrar koherenta mikrovågor istället för ljus. Maser står likt laser för Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation (mikrovågsförstärkning genom stimulerad emission av strålning).

Ammoniakmolekyler har två energinivåer, vars energiskillnad motsvarar en elektromagnetisk våg med våglängden ca. 1,25 cm. Townes och hans medarbetare visste att båda energinivåerna fanns i normala ammoniakmolekyler men att de flesta molekylerna befann sig i sitt grundtillstånd. De visste däremot inte till en början hur de skulle lyckas med att excitera merparten av ammoniakmolekylerna för att på så sätt uppnå populationsinversion.. Men de visste något annat som kom att bli lösningen på deras problem. De visste att ammoniakmolekyler uppför sig egendomligt när de utsätts för elektriska fält. Fältet attraherar nämligen molekyler som är i sitt grundtillstånd och repellerar de som är i exiterat tillstånd. Townes använde då ett elektriskt fält för att separera de två typerna av molekyler. När han sedan avlägsnade molekylerna som var i sitt grundtillstånd var saken klar, populationsinversionen var uppnådd.



När nu populationsinversionen framställts hade naturen sin gång. En del exciterade molekyler släppte spontant ifrån sig en foton med våglängden 1,25 cm, dessa fotoner stimulerade emission hos andra exciterade molekyler och snart var antalet fotoner med samma rörelseriktning och fas ofantligt. Uppfinnandet av masern fick vetenskapsmännen att sikta mot lasern, vilken man på den tiden kallade för optisk maser. Åtskilliga molekyler, atomer och pumpmetoder testades. Idag vet vi att en mängd olika atomer och molekyler fungerar tillfredställande i sådana sammanhang. Pumpmetoderna är många men de vanligaste är: elektriska urladdningar, kemiska reaktioner och fotoner alstrade av blixtlampor eller andra lasrar.

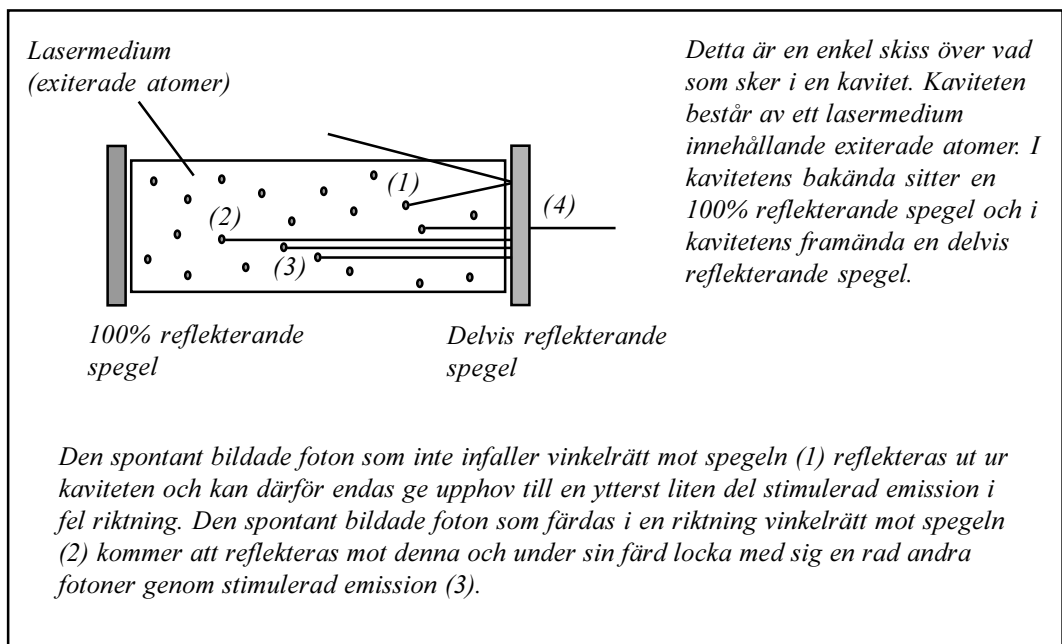
### 3.4 Det sista steget

En laser ger ifrån sig en smal intensiv stråle. Vi vet nu hur man framställer populationsinversion i ett ämne men ännu är det inget som säger att det bildade ljuset, även om det består av fotoner med samma våglängd, riktning och fas, skall ge upphov till en smal stråle. Tvärtom så kommer de många spontant bildade fotonerna att ge upphov till stimulerad emission i praktiskt taget alla riktningar (det bildas svaga "laserstrålar" i alla riktningar). Detta gör att vår så kallade laser mest liknar en lampa som sänder ut enfärgat ljus i alla riktningar. Det fattas således något för att lasern skall sända ut en stråle. Men vad?

Det var en man med namnet Theodore Maiman som löste detta problem. Maiman använde sig av en syntetisk rubinstav där de ingående kromatomerna pumpades med en blixtlampa och på så sätt lyckade Maiman uppnå populationsinversion i rubinstaven. Det som Maiman kom på var att om man placerar en spegel i vardera änden på staven så kommer fotonerna att börja "studsas" mellan dessa två och i samarbete med populationsinversionen samt den stimulerade emissionen så kommer antalet fotoner med samma rörelseriktning att öka lavinartat. Naturligtvis så kommer det även i detta fall att finnas spontant bildade fotoner som har en helt annan rörelseriktning än den eftersträvade, men såvida inte fotonerna infaller vinkelrätt mot speglarna, och därmed har den rätta riktningen, så kommer de inte att börja studsas mellan speglarna utan istället reflekteras ur rubinstaven och därmed gör de ingen skada. De fotoner som infaller vinkelrätt mot speglarna kommer däremot att börja studsas mellan dessa och om det råder populationsinversion i rubinstaven så kommer den av de studsande fotonerna uppkomna stimulerade emissionen att ge upphov till en lavinartad ökning av de fotoner som fortplantar sig vinkelrätt mot speglarna. Om man sedan låter den ena spegeln vara aningen genomskinlig så kommer några få procent av de studsande fotonerna att tränga igenom denna och ge upphov till en laserstråle.

Sammanfattningsvis så är det följande saker som tillsammans är grunden för att en laser skal fungera. Man behöver ett lämpligt ämne (lasermedium) som vid excitation ger upphov till fotoner med den eftersträvade våglängden. Man behöver en lämplig pumpmetod som är tillräckligt effektiv och energirik för att populationsinversion skall uppstå i mediumet. Om effektutvecklingen är stor så behövs även en kylanordning på lasermediumet och i vissa fall även på pumpanordningen. Man behöver en spegel som reflekterar näst intill 100% av det infallande ljuset som har en våglängd som är lika den som alstras av mediumet, en spegel som reflekterar den större delen av ljuset och släpper igenom kvarstående del (dessa två till sammans kallas för en resonator).

Lasrar kan dock konstrueras på många olika sätt, det finns exempelvis lasrar som kan fungera utan resonator (speglar). Nedan finner du en bild på hur en enkel laserkavitet kan fungera.



## 4 Konstruktion av en kvävelaser

Det har förhållandevis länge varit känt att om man skickar en mycket stor ström, några tiotusentals ampere, under en spänning på ca. 20 till 30 KV genom en kvävgas som befinner sig i ett slutet rum där trycket är ca. 13,3 KPa ger upphov till en mycket kortvarig laserstråle med våglängden 337 nm. Fördelen med denna typ av laser är att inga resonatorspeglar behövs, detta av den anledningen att antalet exciterade atomer under urladdningsögonblicket är så stort att den stimulerade emissionen ger upphov till en laserstråle i kaviteten utsträckning oavsett om reflektion sker vid kavitetsändar eller ej. Kvävelasern är således en förhållandevis enkel laser att konstruera, den egentliga svårigheten ligger i att konstruera en mekanism som under en mycket kort tid, vanligen några nanosekunder, kan sända en ström på tiotusentals ampere med en spänning på tiotals kilovolt genom kvävgasen.

### 4.1 Att komma igång

Till en början bestod arbetet till största delen av att lära sig grunderna om hur en laser fungerar och är uppbyggd. För detta ändamål fann jag en rad olika uppsalgsverk som ett mycket bra alternativ då dessa endast grundligt behandlar teorin och funktionerna bakom lasern, vilket gör det lättare att förstå.

När jag ansåg mig insatt i hur en laser i grund och botten fungerar började jag att söka efter information om de olika lasrarnas specifika funktionssätt och uppbyggnad. Jag tog kontakt med en rad högskolor där jag fick mycket användbara råd och tips. Jag beställde även hem en rad olika böcker, alla på engelska, vilka hjälpt mig mycket under arbetets gång.

Med tanke på den från skolan begränsat avsatta tiden samt den icke existerande budget som hade ställts projektet till förfogande fann jag det mycket lämpligt att konstruera en kvävelaser, vilken som jag nämnt ovan förefaller vara mycket enkel att konstruera samtidigt som den inte kräver någon dyr optik.

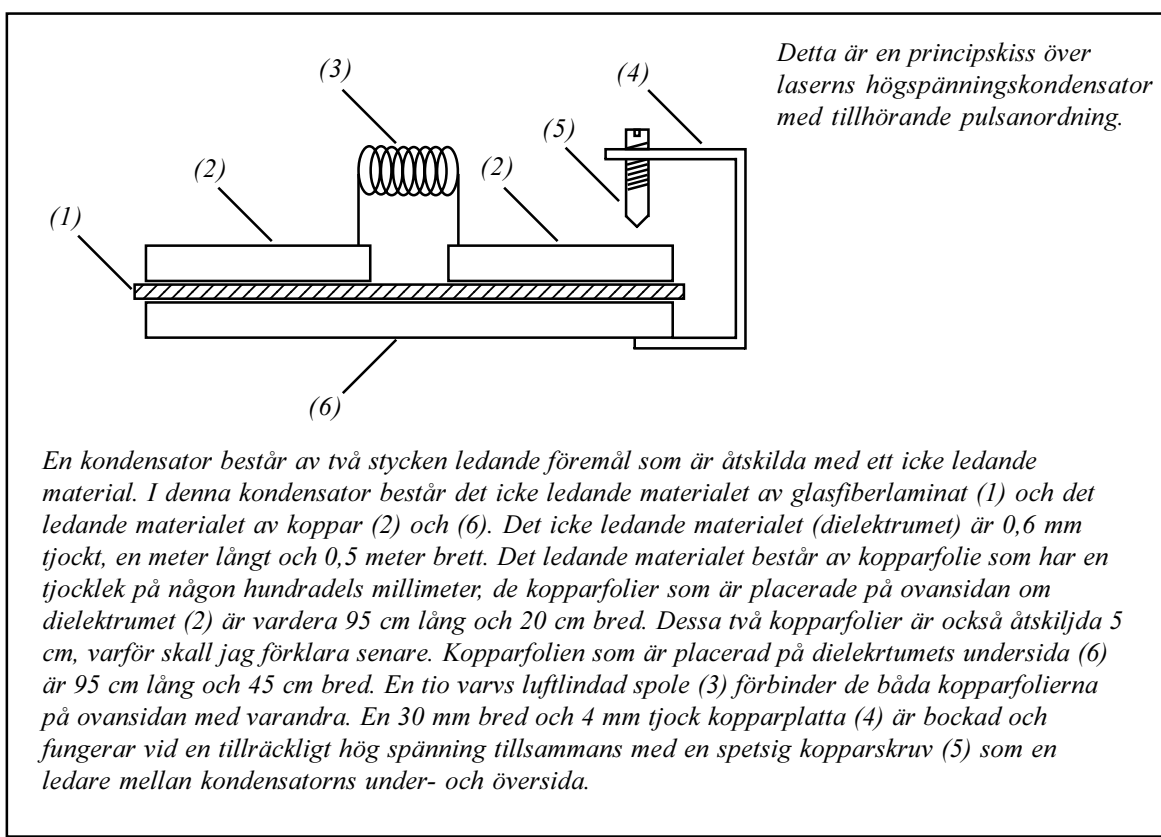
### 4.2 Att finna lämpligt material

Arbetet med att finna lämpligt material till bra priser har varit ganska krävande. Vissa företag har dock visat ett oerhört intresse och till och med skänkt oss mycket dyra produkter, ett av dessa är Elkapsling i Alby som tillverkat laserns inkapslingar, ett inte så litet arbete då lådorna inte är av standardmått och därmed fick specialkonstrueras. Ett annat företag som varit mycket hjälpsamt är E.S. Mönsterkort i Järvsö, vilka hjälpt oss att finna ett lämpligt material att tillverka laserns högspänningskondensator av.

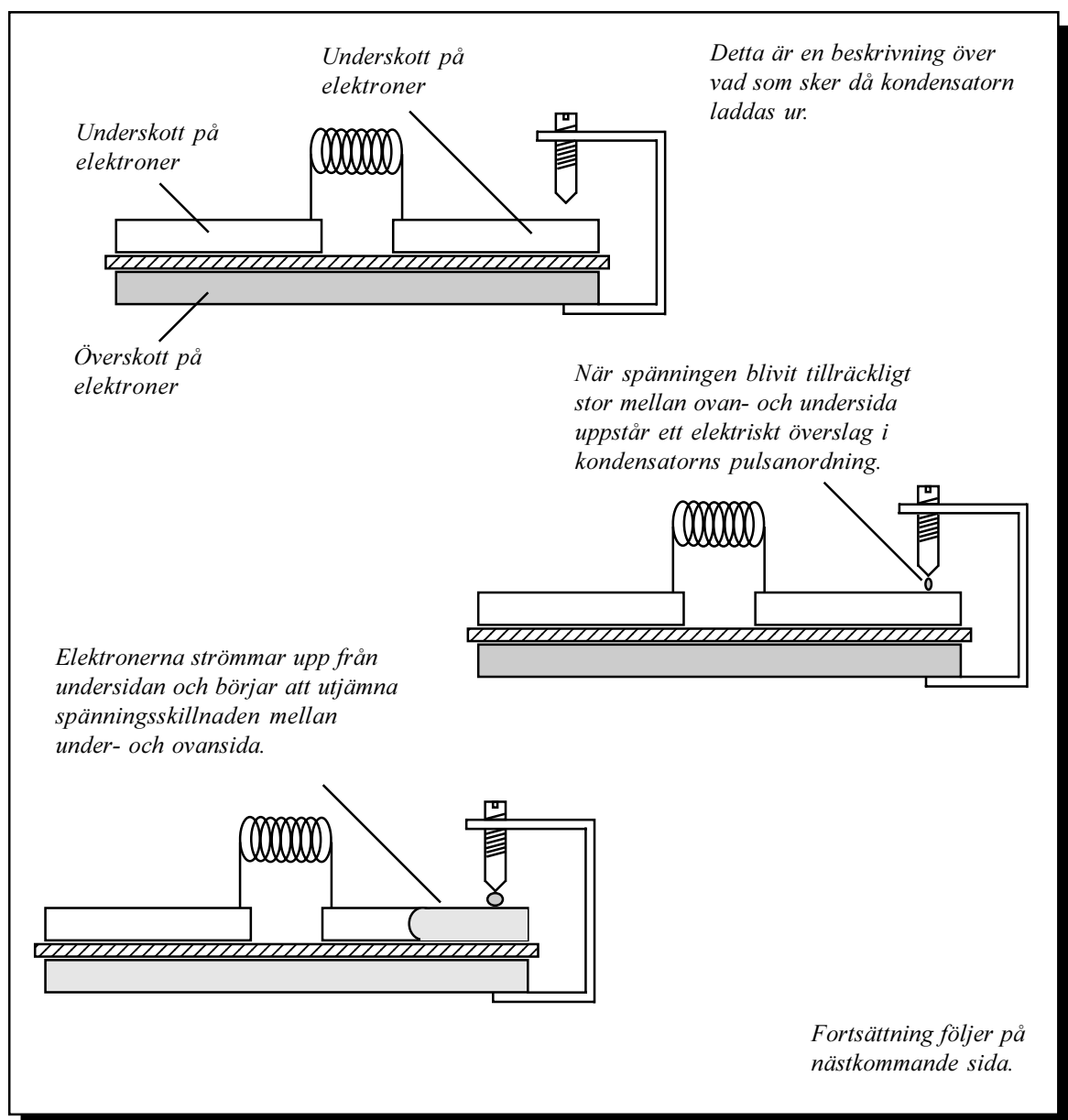
Som jag nämnt ovan erhöles laserns inkapslingar i färdigt format och behövde således ej tillverkas. Materialet till laserns högspänningskondensator fick bearbetas, som jag skall beskriva senare, för att kunna lagra de höga spänningar som lasern kräver. Plexiglas till laserkaviteten erhöles gratis av Ånge Glasmästeri. Institutionen för El-tele teknik på skolan bidrog med en hel del saker som t.ex. kablage och diverse skruvförband. Den större delen av de elektriska styrdonen samt ventiler och slangar bidrog jag med själv. Laserns vacuum pump erhöles från en skrotad frysbox. Slutligen beställdes en del saker från postorderkatalogen ELFA på skolans bekostning.

### 4.3 Konstruktion av högspänningskondensator

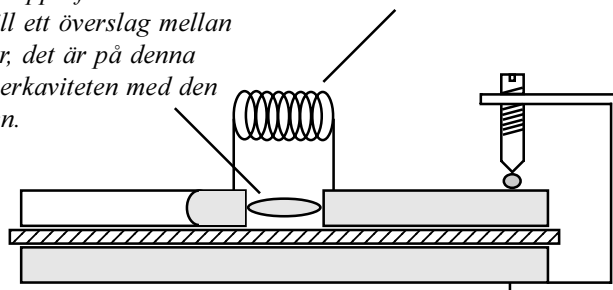
Som jag tidigare nämnt är det största problemet vid konstruktion av en kvävelaser att finna en mekanism som under en mycket kort tid kan generera en stor ström under hög spänning genom kvävgasen. En lämplig lösning på detta problem är att använda sig av en kondensator, som kan laddas upp till en mycket hög spänning samtidigt som den vid det korta urladdningsögonblicket alstrar en stor ström. Nedanstående bild illustrerar en skiss på denna kondensator med tillhörande anordning för att styra vid vilken spänning som kondensatorn skall laddas ur.



Av bilden och texten på föregående sida framgår att de båda kopparfolierna på kondensatorns ovansida är separerade med ett avstånd på 5 cm. Det är i detta mellanrum som laserkaviteten är placerad. Kondensatorns undersida får vid uppladdning ett överskott på elektroner (den blir minusladdad) och kondensatorns ovansida får då ett underskott på elektroner (ovansidan blir plusladdad). Den luftlindade spolen på kondensatorns ovansida fungerar vid uppladdning som en ledare mellan de två kopparfolierna på ovansidan, detta för att båda dessa skall få samma positiva laddning. Nedan finner du en skiss över vad som sker vid urladdning av kondensatorn.

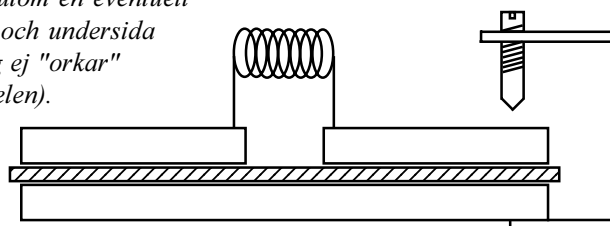


Då den högra kopparfolien "fyllts" med elektroner uppstår en spänning mellan den högra och den vänstra kopparfolien. Denna spänning ger upphov till ett överslag mellan dessa båda kopparfolier, det är på denna plats man placerar laserkaviteten med den innehållande kvävgasen.



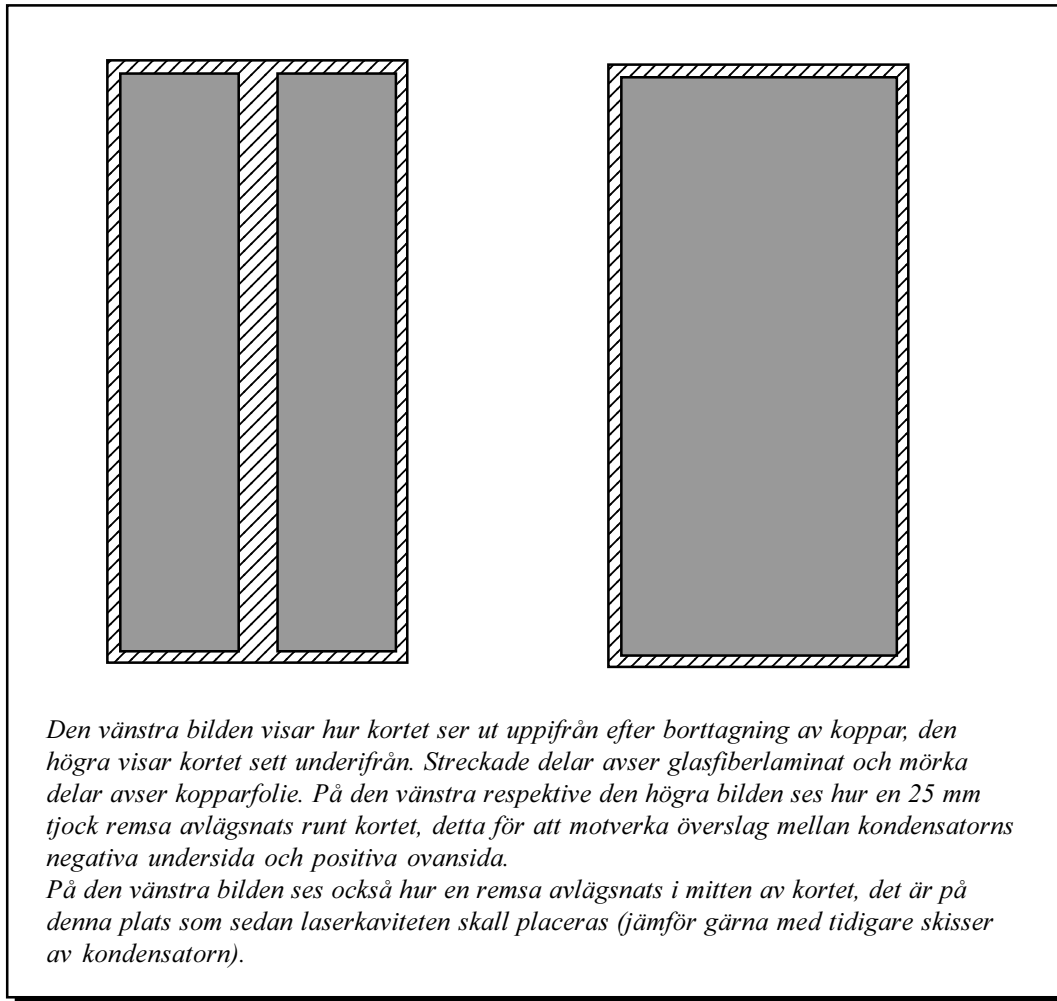
Elektronvandringarna sker pga den höga spänningen så fort att spolen vid detta tillfälle i princip är icke ledande.

Till sist har samtliga elektroner intagit sin plats. Inga spänningar råder mellan några delar i kondensatorn (Förutom en eventuell restspänning mellan ovan och undersida som pga sin låga spänning ej "orkar" skapa ett överslag i pulsdelen).

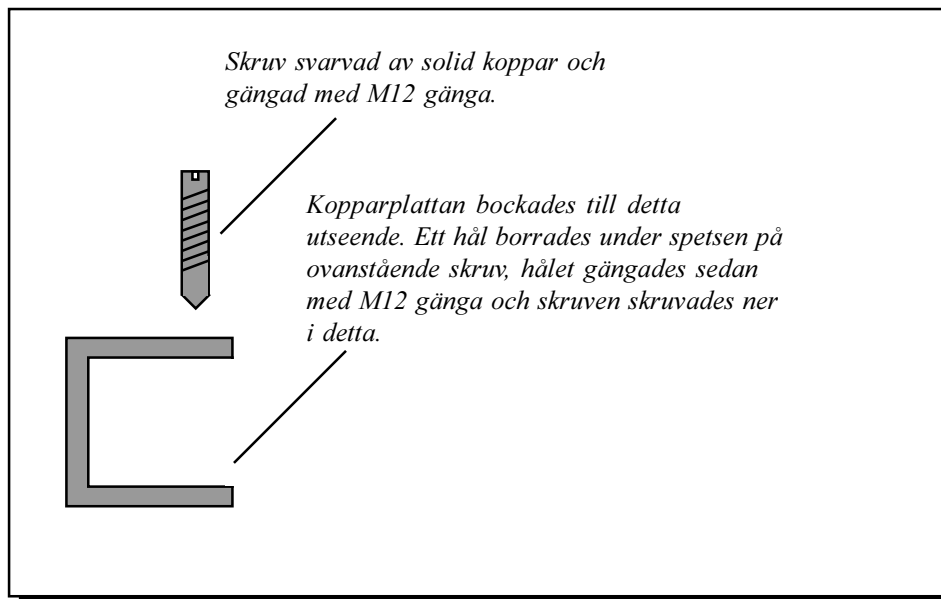


Urladdningen av kondensatorn sker mycket snabbt (några nanosekunder). Om man justerar avståndet mellan den spetsiga skruven och kondensatorns ovansida så att en urladdning sker då spänningsskillnaden är ca 20 KV så uppstår även en spänningsskillnad på ca 20 KV i mellanrummet mellan de båda kopparfolierna på ovansidan. Om man sedan placerar laserkaviteten i detta mellanrum och lyckas leda urladdningsströmmen genom denna så är problemet med att skapa en stor ström under kort tid och hög spänning löst. Tilläggas bör också att det är mycket viktigt att samtliga ledande delar i kondensatorn tillverkas av ett sådant material och på ett sådant sätt att resistansen hålls på ett minimum för att fördröjningen vid urladdningen skall bli så liten som möjligt.

Nu då vi känner till hur kondensatorn skall fungera kan tillverkningen börja. Det av E.S. Mönsterkort erhållna glasfiberlaminatet var ett utmärkt utgångsmaterial att tillverka en högspänningskondensator av. Laminatet var 0,6 mm tjockt och hade yttermåten 100 \* 50 cm. Med hjälp av saltsyra och väteperoxid avlägsnades den icke önskvärda kopparen från kortet. En bild av kortet efter denna procedur kan ses nedan.



När den icke önskvärda kopparen var borttagen började arbetet med att tillverka puls-mekanismen. Till detta användes som jag nämnt tidigare en 30 mm bred och 4 mm tjock kopparplatta, detta för att minimera resistansen. Kopparplattan bockades till lämplig form, ett hål för den spetsiga justerskraven borrades och gängades. På nästa sida finns en bild över detta.



Då denna pulsmekanism var färdig yttrade sig ännu ett problem. Kvävgas har en nackdel i lasersammanhang och det är att kvävemolekylens energinivådiagram (ett diagram över kvävemolekylens förmåga att inta andra energitillstånd, excitation) ser ut på ett sådant sätt att en laser byggd med kväve som aktivt medium aldrig kan sända ut en kontinuerlig laserstråle utan endast mycket korta laserpulser. Dessa pulser varar under ca 10 nanosekunder och därav är kravet så stort på kondensatorns urladdningshastighet. Stor urladdningsström är ett måste för att få tillräckligt många kvävgasmolekyler exiterade (populationsinversion), för att få en så stor uteffekt som möjligt. Problemet som jag nämnde ligger i att kondensatorns urladdningstid (ca 1 ns) är mindre än den tid (3,33 ns) det tar för ljuset att transportera sig den en meter långa sträckan genom laserkaviteten. Följden av detta i samband med kvävemolekylens ofördelaktiga energinivådiagram är att då laserstrålen tillryggalagt halva sträckan i laserkaviteten så har de kvävgasmolekyler som befinner sig i den kommande halvan redan fallit tillbaka till sina grundtillstånd och dessa kommer således att absorbera den uppbyggda laserstrålen, detta gör att ingen laserstråle kommer att bildas utan istället avgår energin som spontan emission i diverse riktningar.

Detta problem löstes genom att man placerar pulsmekanismen på den del av högspänningskondensatorn som är närmast den bakre delen av kaviteten. Följden av denna placering blir att elektronerna som rusar genom pulsmekanismens spetsiga skruv och in i ovensidan på kondensatorn först kommer att nå fram till kavitets bakände och överslaget i kaviteten kommer således att likna en våg som börjar i kavitets bakände och förflyttar sig framåt i kaviteten samtidigt som ljuset rör sig åt samma håll.



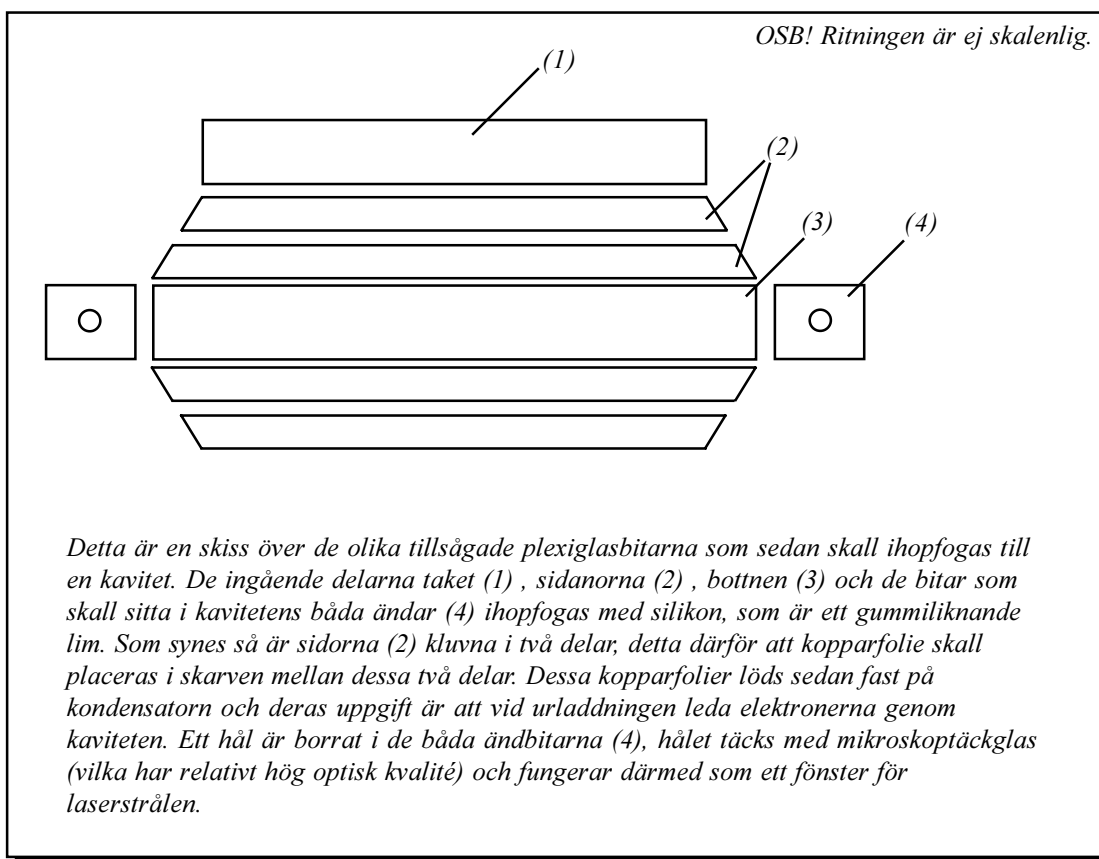
Det som händer då man får elektronerna att röra sig genom kaviteten i en vågformad rörelse är att kvävemolekylerna i kavitets bakände är de som exciteras först och det är också dessa som ger upphov till laserstrålen, när sedan strålen färdas framåt i kaviteten kommer vågen av elektroner att ligga steget före och hela tiden se till att exciterade atomer finns i strålens utbredningsriktning.

Då kondensatorn var tillverkad var det dags att ta itu med laserkaviteten vilken under ett lågt tryck skall innesluta kvävgasen.

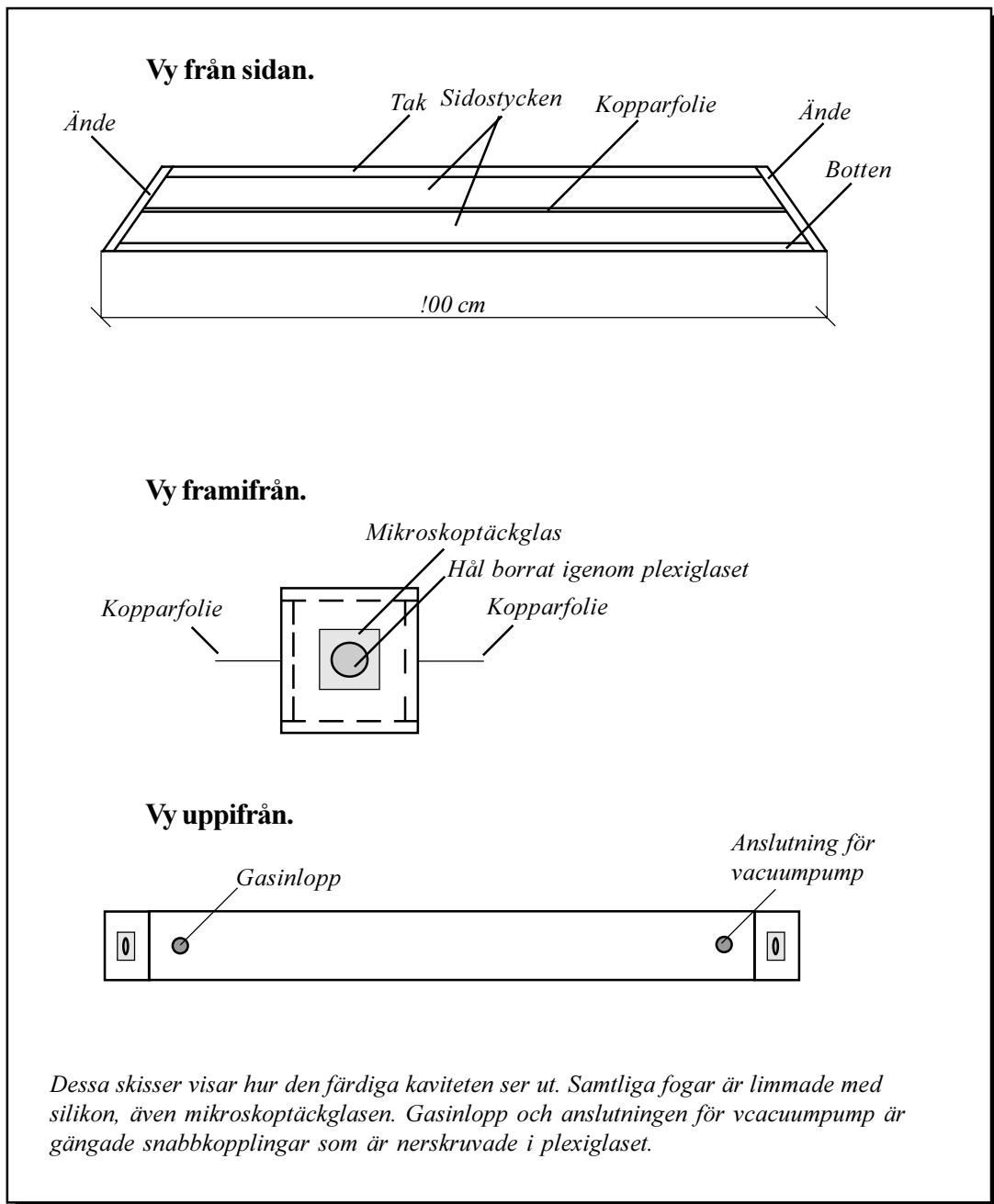
#### 4.4 Konstruktion av laserkavitet

Värmeutvecklingen i laserkaviteten är mycket liten då pulstiden är mycket kort samtidigt som tiden mellan pulserna är relativt lång (ca en minut), med vetskap om detta tillverkade jag laserkaviteten av plexiglas vilket är mycket fördelaktigt vid ihopfogning och tillskärning i förhållande till exempelvis glas.

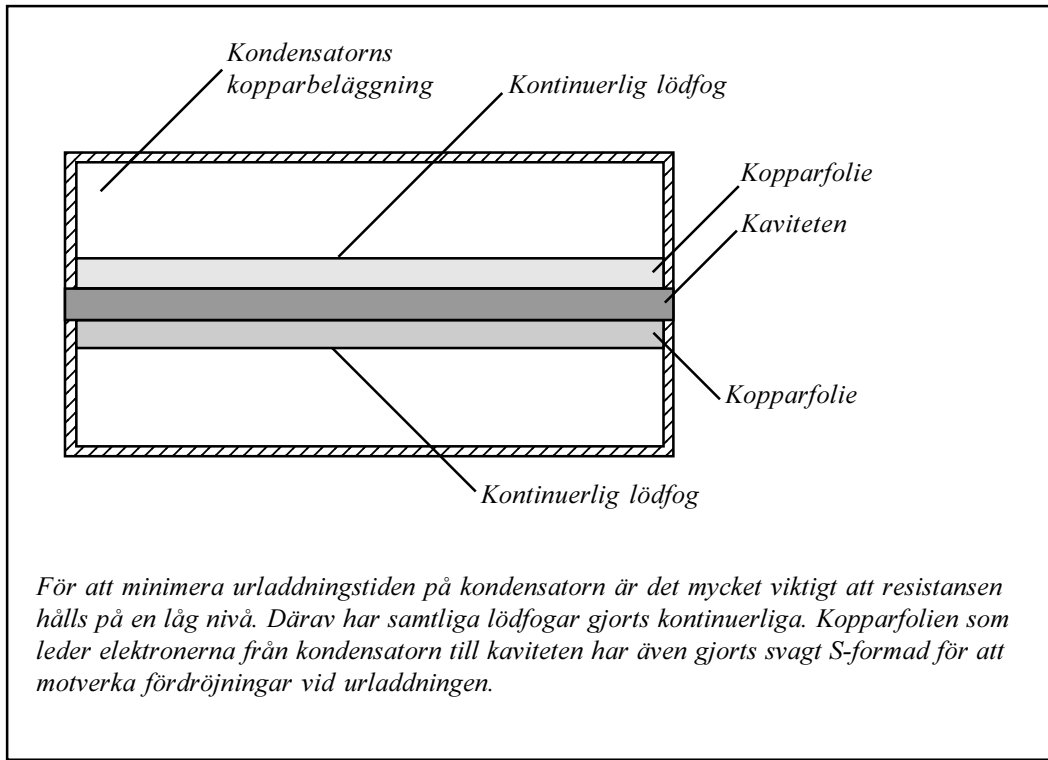
Den från Ånge Glasmästeri erhållna plexiglasbiten sågades med hjälp av en bandsåg upp till de bitar som skall utgöra kaviteten. En skiss över dessa plexiglasbitar kan ses nedan.



Dessa plexiglasbitar limmades sedan ihop med silikon vilket är ett mycket elastiskt och segt gummiliknande lim. Hålen i kavitetens ändbitar täcktes med mikroskoptyäckglas som har en hög optisk kvalité och fungerade därmed som fönster för laserstrålen. I kavitetens tak borrarades två hål, ett för insläpp av ny kvävgas och ett för anslutning av vacuumpump. Två stycken kopparfoliebitar, vardera med måtten 100\*10 cm, limmades mellan de båda bitarna som utgör sidorna. De limmades på ett sådant sätt att de inuti den färdiga kaviteten var åtskilda med en cm längs hela kavitetens längd. Det är i detta mellanrum som den av kondensatorn alstrade strömmen skall passera och därmed excitera atomerna i kvävgasen. En bild av den färdiga kaviteten kan ses på nästa sida.



Kaviteten är därmed klar och kan monteras fast på kondensatorn. Kaviteten limmades fast på kondensatorn med silikon och kopparfolien löddes med en kontinuerlig lödfog längs hela kondensatorn för att minimera resistansen. En bild av detta finns nedan.



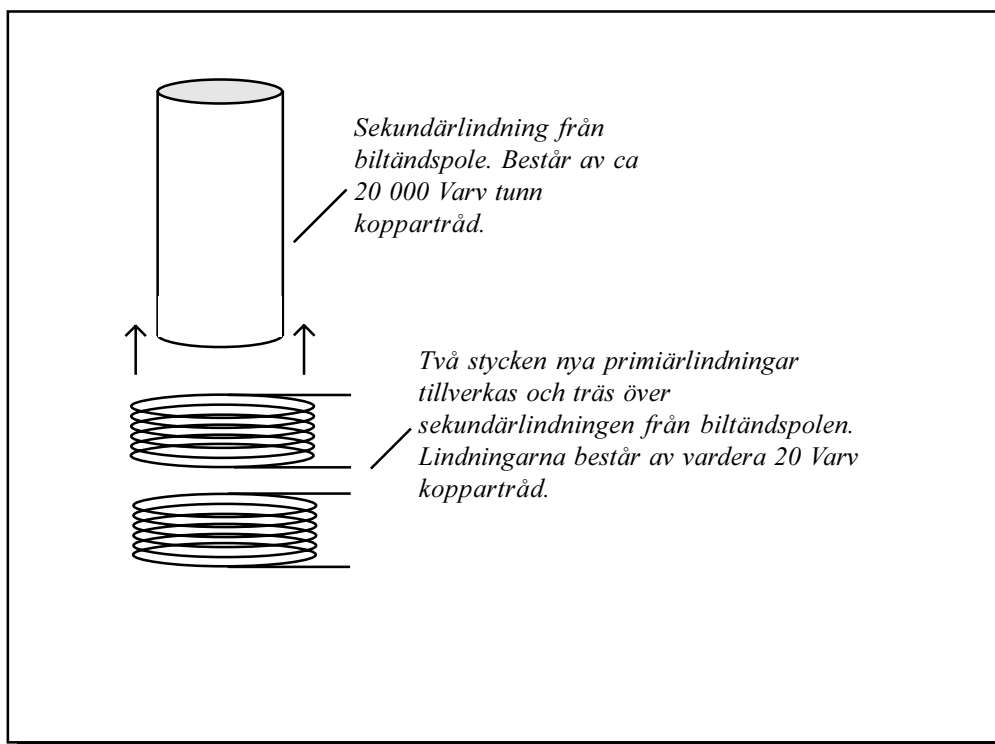
Då detta var avklarat var det dags att ta itu med den del som skall ladda upp kondensatorn till den höga urladdningsspänningen. Laserns uppladdningstid och därmed fördröjningen mellan laserpulserna är helt beroende av strömförsörjningsdelens strömstyrka. Det är emellertid ett relativt tidsödande arbete att konstruera ett strömstarkt högspänningsaggregat och då min avsikt ej var att använda färdiga produkter till själva lasern så fick en enkel och strömsvag lösning duga.

Detta är också ganska lämpligt eftersom en för hög pulshastighet medför att man måste anordna någon form av kylning av kvävgasen, detta av den anledningen att varm kvävgas inte är fördelaktigt i en laser då verkningsgraden sjunker drastiskt. Då min tid varit aningen kort i förhållande till arbetets omfattning valde jag därför att konstruera ett mindre högspänningsaggregat och därmed slippa uppvärmning av kvävgasen. Tilläggas bör dock att jag hoppas att kommande fysikintresserade elever fortsätter att utveckla och modifiera lasern till en bättre funktion.

#### 4.5 Konstruktion av högspänningsaggregat

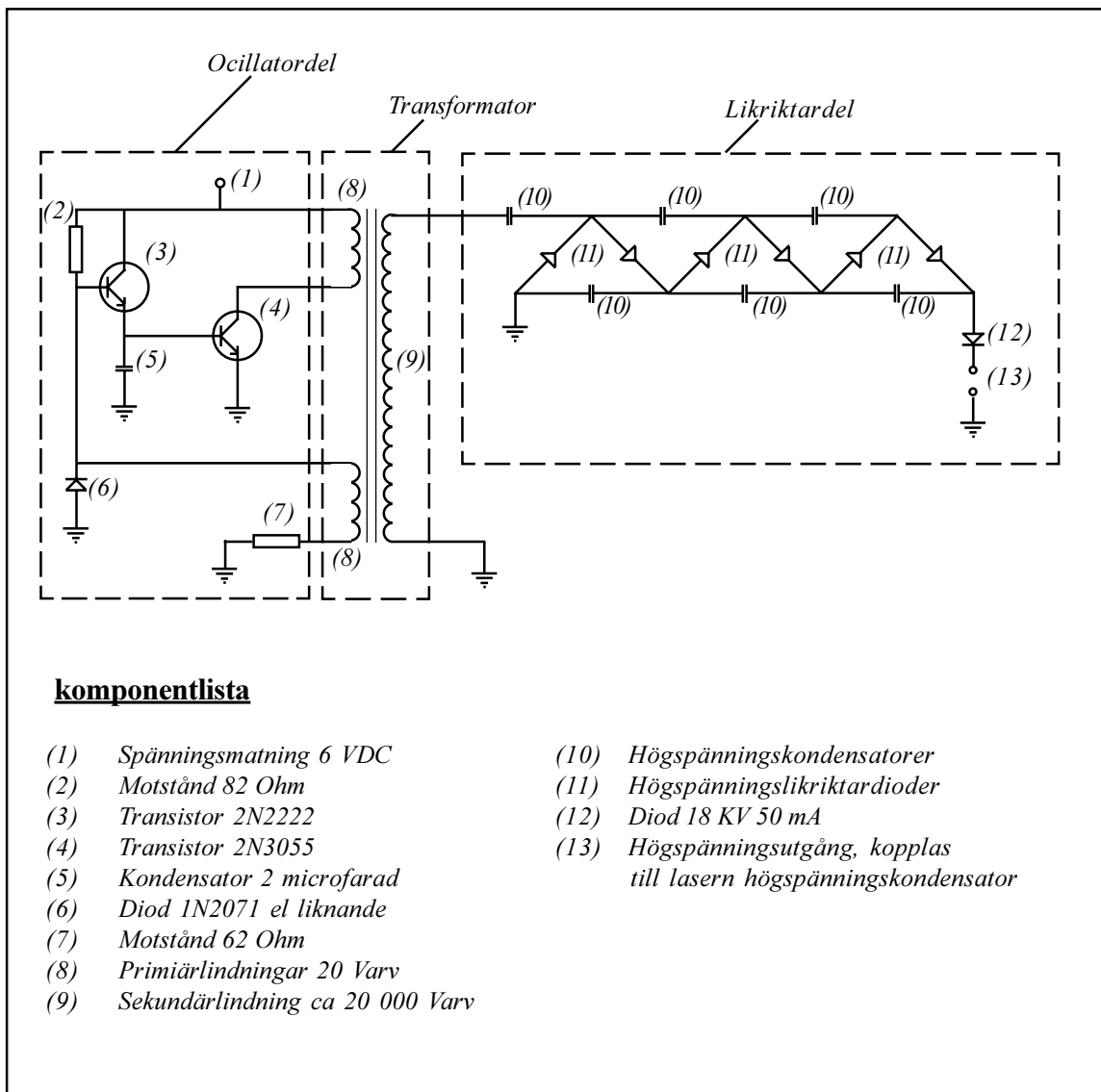
För att generera den höga spänning som behövs till lasern krävs en transformator som transformerar upp spänningen, likriktare som likriktar strömmen, vilket är ett måste då det är frågan om uppladdning av en kondensator, och pga svårigheten med att tillverka en tillräckligt stor transformator så behövs även en oscillator som skapar en hög frekvens in i transformatorns primärlindning.

Som transformator användes en biltändspole, vilken jag försett med en ny primärlindning bestående av två tjugovarvs lindningar av 0,8 mm koppartråd. Likriktardelen består av en tripplare, vilket är likriktardelen i en TV-apparats högspänningsdel, som inte bara likriktar strömmen utan även förstärker spänningen och för säkerhets skull anslöts även en diod som klarar 18 KV och 50 mA i serie med tripplarens utgång för att inte tripplarens dioder skall gå sönder. Nedan ses en bild över Transformatorn.



Det är mycket viktigt att transformatorn tillverkas på ett omsorgsfullt sätt då de höga spänningarna annars kan orsaka kortslutning i transformatorns sekundärlindning. Den ena av sekundärlindningens kablar har ett isolerande hölje som är ca 3-4 mm för att motverka oönskade överslag. Då den nya primärlindningen var på plats så löddes samtliga kablar fast på transformatorn och denna isolerades sedan med epoxilim och silikon.

Då detta var klart så var det dags att tillverka oscillatorn. I denna ingår en rad olika elektriska komponenter, ett kopplingschema över denna, tillsammans med transformator och likriktardel kan ses nedan.



Högspänningsaggregatet har visat sig fungera bra, uppladdningstiden är dock alldeles för lång om man vill utnyttja lasern i laboratoriemiljö. Men som jag nämnt tidigare var syftet att själv konstruera de delar som utgör lasern och inte att i första hand tillverka ett laboratorieinstrument. Det är dock mycket enkelt att byta ut nuvarande högspänningsaggregat mot ett kraftigare, till exempel en sådan transformator som alstrar den ljusbåge som tändar oljan i villapannor. En sådan transformator är många gånger strömstarkare än det befintliga högspänningsaggregatet och skulle förmodligen öka pulshastigheten till många pulser i sekunden, men som jag nämnt tidigare medför denna ökning av pulser att värmeutvecklingen stiger i kaviteten. Detta gör att man även måste konstruera ett system för kylning av kvävgasen, som annars skulle bli direkt olämplig som lasermedium.

Med de delar som jag nu beskrivit är det fullt möjligt att använda lasern. Man ansluter högspänningsaggregatet till kondensatorn. Den från frysboxen erhållna kompressorn kopplas med en slang i omvänd riktning (för att fungera som vacuum pump istället för kompressor) till laserkavitetsens ena ände. I laserkavitetsens andra ände ansluts en slang som leder till en kvävgastub. Om man sedan ansluter vacuum pumpen till ett 220 V uttag och vrider på kvävgasflaskan försiktigt samtidigt som man kontrollerar trycket med en tryckmätare, trycket regleras på detta sätt till ca 13,3 KPa och därefter kan man ansluta högspänningsaggregatet till en sexvolts likspänningsskälla, varefter laserpulsen bör vara ett faktum.

Nu är det dock så att jag inte var nöjd med detta utan även ville göra lasern någorlunda användarvänlig. Det kan inte anses som säkert att ha en uppladdad högspänningskondensator helt oskyddad, samtidigt som proceduren vid användning är alldeles för omständlig och i princip kräver att användaren är väl insatt i laserns funktion. Av dessa skäl kontaktade jag Elkapsling AB i Alby för att få en vettig inkapsling till lasern och dess strömförsörjningsaggregat, vacuum pump och styrsystem. Företaget var mycket positivt och med hjälp av en anställd med namnet Leif Johnsson var lådorna klara inom någon vecka (tack Leif).

#### 4.6 Att göra lasern användarvänlig

Då lasern innehåller högspänningsapparat är det mycket viktigt att den byggs in i ett skyddande skal. Jag ansåg även att ett styrsystem behövde utformas som automatisk pumpar ett undertryck i kaviteten och som ser till att trycket är det rätta vid det tillfälle då användaren har möjlighet att starta lasern. De lådor jag fått av Elkapsling är tillverkade efter de ritningar som jag gjort och är således "skraddarsydd" för denna laser. Högspänningskondensatorn och kaviteten limmades fast på en belagd spånskiva som sedan skruvades fast i en av lådorna. Slangar och kablar från laserkaviteten och högspänningskondensatorn löper sedan genom en slangliknande kabelkanal till den andra lådan där styrsystem, vacuum pump och högspänningsaggregat är monterat.

Högspänningsaggregatet har jag beskrivit och vacuum pumpen kommer, som jag tidigare sagt, från en skrotad frysbox. Styrsystemet består av två stycken elektriska timrar, där den ena bestämmer hur länge lasern får vara aktiv (utan att bli överhettad). Den andra timern bestämmer när man kan starta lasern, vilket beror på hur länge det tar för vacuum pumpen att åstadkomma det rätta trycket. Vidare använder jag en elektriskt styrd ventil för att strypa gasflödet då vacuum pumpen ej är i drift. En hemmagjord nålventil ser till att då vacuum pumpen pumpat ned trycket till det rätta så strömmar det in lika mycket gas som vacuum pumpen orkar pumpa ut, detta medför att trycket stabiliseras på denna nivå. En reduceringsventil är även inbyggd för att trycket på nålventilens högtryckssida skall vara konstant och oberoende av inställningen på kvävgasflaskans reduceringsventil. En automatsäkring på 6 ampere ser till att strömmen bryts om något fel skulle uppstå. För att "spara" på timrarnas inbyggda reläer har även ett yttre relä anslutits, som fungerar som en slags huvudbrytare till de strömförbrukande delarna och timrarnas reläer fungerar således bara som styranordning till detta yttre relä. Kopplingsplintarna är försedda med lysdioder som indikerar om någon spänning ligger över dem, vilket underlättar vid en eventuell felsökning samtidigt som det ökar säkerheten. På lådans utsida sitter en knapp med två lägen (0/1, lyser vid läge 1), en låsbar strömbrytare och en lysdiod som växlar mellan grönt och rött.

Båda lådorna är naturligtvis jordade och eftersom båda polerna på högspänningsapparaturen befinner sig innanför lådornas "ledande" skal är risken för elektriska stötar från denna minimal. Statisk elektricitet har dock observerats i lådornas höljen vid urladdningen av högspänningskondensatorn, detta är dock svårt att undvika då spänningarna är så höga. Laserns strömförsörjningslåda har på baksidan försetts med en kylfläkt för att minska uppvärmningen av transistorerna som sitter i oscillatorn, lådan är även försedd med ett galler för att underlätta kylluftens passage genom lådan. På strömförsörjningslådans framsida sitter, som jag nämnt tidigare, en låsbar brytare, en knapp och en indikeringslampa. På strömförsörjningslådans baksida sitter intaget till kylfläkten, en justerskruv till nålventilen, gasinlopp, ett uttag för mätning av kavitetstryck, slangen som leder ström och gas till kavitetslådan samt en jordad kontakt. Kavitetslådan är endast försedd med ett hål för utsläpp av laserstrålen samt en anslutning för den slang som leder till strömförsörjningslådan. Lådorna är ganska tunga och väl tilltagna i storlek men detta av den anledningen att det skall vara möjligt att vidareutveckla lasern för att uppnå en större uteffekt, fler pulser per minut samt större användarvänlighet.



#### **4.7 Justering för önskad funktion**

Då allt är klart är det dags för att justera nålventilen och timrarna så att lasern fungerar på ett tillfredställande sätt. Nålventilen justeras genom att man ansluter en digital tryckmätare till den avsedda utgången, man ansluter en kvävgasflaska med reduceringsventil till anslutningen på lådans baksida, man startar vacuumpumpen och vrider på nålventilens justerskruv till trycket har stabiliserats på ca. 13,3 KPa. För att justera den timer som styr laserns drifttid mäter man den tid det tar för vacuumpumpen att bli varm, då detta händer registrerar man tiden och ställer in denna tid på timern. Den andra timern skall vara inställd på den tid det tar för vacuumpumpen att pumpa trycket från atmosfärtryck till 13,3 KPa. Då detta är klart är det bara att ansluta en kvävgasflaska till lasern, ansluta kontakten till ett jordat uttag, sätta i nyckeln och vrida om. Då lysdioden slår om från rött till grönt är det bara att trycka på knappen så att den står i läget 1 och därmed är lasern startad. Var försiktig...

#### 4.8 Utbyggnadsmöjligheter

Som jag nämnt tidigare har lådorna till lasern konstruerats extra rymliga för att underlätta för eventuella utbyggnader av något slag. Idéerna kring detta är många men några av dem skall jag beskriva här. Att tillverka eller skaffa ett högspänningsaggregat som gör att kondensatorn laddas ur flera gånger per sekund, men om detta uppnås måste även ett kylaggregat för kvävgasen anordnas. En anordning som i förtid känner av när laserpulsen kommer eller en funktion som gör att användaren kan se då laserpulsen "avfyras". Det senare skulle kunna klösas med en fotodiod som placeras på pulsaggregatet, då överslaget sker så bildas en skarp blixtpå detta ställe och denna skulle då registreras av fotodioden som i sin tur gör att en lampa blinkar till, vilken användaren då kan se. En annan funktion som skulle vara användbar är om man kunde finna ett mycket kraftigt högspänningsaggregat och göra en anordning som fungerar så att när man trycker på en knapp så avfyras en puls ögonblickligen, när nästa puls sedan skall avfyras så måste man trycka på knappen ännu en gång.

Möjligheterna är många men man bör tänka på att även till synes enkla ingrepp kan ta mycket tid och kräver största engagemang för att resultatet skall bli acceptabelt. Likaså bör man vara väl insatt i laserns uppbyggnad innan man börjar att göra några ingrepp, högspänningen i lasern är mycket farlig och kan vid oförsiktighet i värsta fall leda till döden.

## 5 Referenser

### 5.1 Böcker

Hecht Jeff, The laser guidebook - Second edition, McGraw-Hill 1992

McCann John A. och Safford Edward L., Fiberoptics and laser handbook - Second edition, Tab box, Inc. 1988

### 5.2 Artiklar och kompendium

Hård Sverker, Chalmers tekniska högskola - teknisk elektronfysik, vt 1990

Kleman B. och Lundgren L., Strålningsrisker vid laseranvändning, Chalmers tekniska högskola - teknisk elektronfysik, vt 1994

Lundgren L., Gaslasrar, Chalmers tekniska högskola - teknisk elektronfysik, ht 1987

Scientific American, 230(6): 122-127, 1974