

EXAMENSARBETE

KONSTRUKTION OCH TESTNING AV DIGITAL VÄGLÄNGDSMETER

Utfört av

Lars-Åke Nilsson och Hans Hertz

vid

Institutionen för Fysik, LTH

1980

Innehåll

	sid
Sammanfattning	1
1. Inledning	2
2. Teori	2
2.1 Grundläggande konstruktionsprinciper	2
2.2 Noggrannhet hos mätmetoden	4
3. Konstruktion	7
3.1 Optisk-mekanisk konstruktion	7
3.2 Elektronisk konstruktion	9
3.2.1 Inledning	9
3.2.2 Fransdetektor	10
3.2.3 Frekvensmultiplikator	11
3.2.3.1 Allmänt om PLL	11
3.2.3.2 Konstruktion av frekvens- multiplikator	12
3.2.4 Räkneenhet	14
3.2.5 Stötanordning	16
3.2.6 Fasläskontrollenhet	17
4. Referenslaserns våglängd	18
5. Korrektion för luftens brytningsindex	20
6. Handhavandemanual för våglängdsmetern	22
6.1 Inställning av banan	22
6.2 Inställning av strålgången	23
6.3 Bruksanvisning	24
7. Test av våglängdsmetern	25
8. Förslag till förbättringar	27
9. Referenser	27
Appendix 1. Mekanisk konstruktion	28
Appendix 2. Fransdetektor	29
Appendix 3. Räknelådan	31
Appendix 4. Frekvensmultiplikator	33
Appendix 5. Räkneenhet	36
Appendix 6. Stötanordning	39
Appendix 7. Fasläskontrollenhet	41
Appendix 8. Spänningsaggregat	42
Appendix 9. Våglängdskorrektionsprogram	44

Sammanfattning

En våglängdsmeter, med direkt digital presentation för kontinuerligt arbetande lasrar har konstruerats. Våglängdsmetern arbetar enligt Michelsoninterferometerprincipen med två rörliga speglar. Mätning tillåts inom området 4000 Å - 8000 Å med en noggrannhet på $6 \cdot 10^{-8}$. För att enkelt korrigera de avlästa våglängderna för luftens brytningsindex har ett dataprogram utarbetats.

1. Inledning

På senare år har mycket frekvensskarpa avstämbara lasrar utvecklats. Dessa har gjort dopplerfria mätningar av atomers energinivåer möjliga. Exempel på sådana mätmetoder är spektroskopi med välkollimerade atomstrålar, mättnads-, lambdip- och tvåfotonspektroskopi. Den nedan beskrivna våglängdsmetern är ett hjälpmedel vid sådana mätningar. Den kan användas dels vid förinställning av lasrarna då man söker efter en viss energinivå samt till absolutmätning av laserns våglängd då energinivån är funnen.

Arbetet har i sin helhet utförts 1980. Planering samt beställning av material skedde i april. Huvuddelen av konstruktionsarbetet gjordes under sommaren medan hösten har ägnats åt slutförsök och redovisning.

Denna rapport består av en huvuddel (avsnitt 1-9) och ett antal appendix (1-9). I huvuddelen presenteras våglängdsmetern översiktligt och de viktigare konstruktionsprinciperna för de ingående delarna diskuteras. Vidare redovisas en serie försök. I appendix bifogas detaljerade konstruktions- och kretsscheman för att underlätta framtida reparationer och nybyggen.

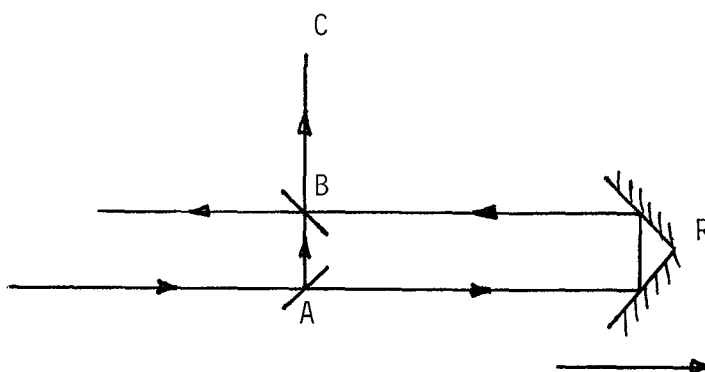
Ett varmt tack går till alla som hjälpt oss under arbetets gång. Särskilt vill vi nämna Rolf Olofsson och Göran Werner som förverkligat och givit värdefulla bidrag till den mekaniska konstruktionen; Ake Bergquist och Bertil Hermansson för stor hjälp med den elektroniska delen samt Peter Grafström, Claes Levinsson och vår handledare Sune Svanberg för viktiga råd och uppmuntran. Arbetsmoralen har varit hög, främst tack vare det skånska sommarvädret, som med en beundransvärd ihärdighet uppmuntrat till inomhusarbete.

2. Teori

Den i detta arbete beskrivna våglängdsmetern bygger på principen för en Michelsoninterferometer. Konstruktionen föreslogs först av Kowalski (referens 1 och 2). Den kan endast användas till kontinuerliga lasrar.

2.1 Grundläggande konstruktionsprinciper.

I en Michelsoninterferometer (se figur 1) delar man upp en ljustråle i två grenar vid stråldelare A och låter sedan dessa återförenas vid stråldelare B. Den stråle som gått via retroreflektorn R har då tillryggalagt en längre sträcka än den som gått direkt från A till B. Förutsatt att



Figur 1. Principen för en Michelsoninterferometer.

koherenslängden hos ljuskällan är tillräckligt stor så kommer de två grenstrålarna att interferera längs BC.

Om nu den optiska vägskillnaden L_0 varieras genom att

retroreflektorn rör sig kommer ljusintensiteten omväxlande öka och minska på ett kontinuerligt sätt. En fotodetektor placerad vid C kan detektera dessa intensitetsvariationer. Man säger att detektorn registrerar interferensfransar. Varje frans motsvarar då en ändring av optiska vägskillnaden med en våglängd λ , dvs $\Delta L_0 = \lambda$ vilket i figur 1 motsvarar att

R rört sig sträckan $\Delta L_0 / 2 = \lambda / 2$. Det allmänna sambandet

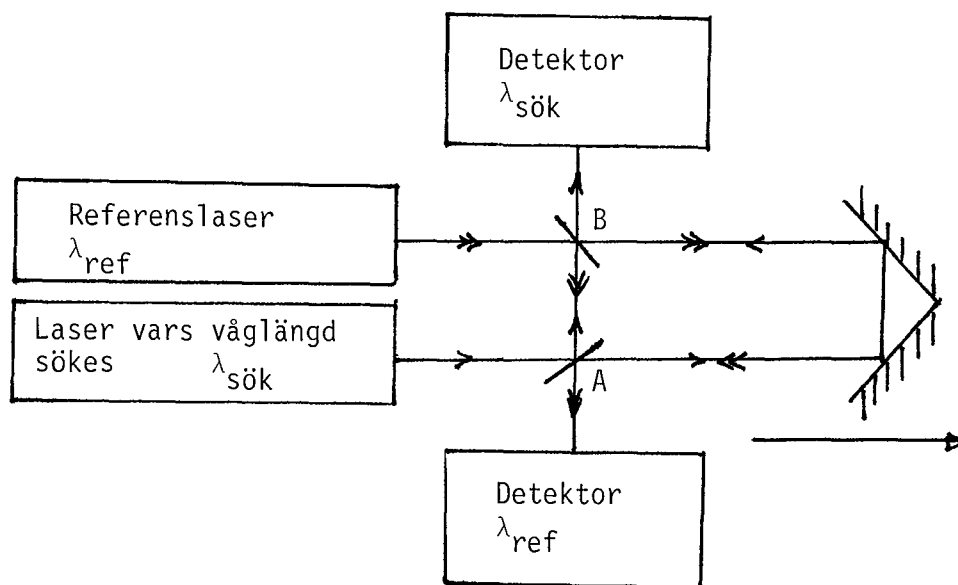
mellan ΔL_0 och antalet förbivandrande fransar N vid detektorn ges då av $\Delta L_0 = N \cdot \lambda$. Detta kan utnyttjas för att

bestämma våglängden hos en ljuskälla genom att man räknar antalet fransar då optiska våglängden ändras en känd sträcka ΔL_0 . Eftersom en laser är en ljuskälla med stor

koherenslängd kan man med denna metod räkna ett stort antal fransar och därigenom med stor noggrannhet bestämma dess våglängd. Detta är principen bakom den digitala våglängdsmetern.

Då ställs man inför problemet att bestämma ΔL_0 för den tid

fransräkningen pågår. Det bästa och enklaste sättet att göra detta med god precision är att samtidigt, med en annan detektor, räkna antalet fransar från en laser med känd våglängd. Strålgången för denna referenslaser måste vara identisk med strålgången för den sökta lasern (se figur 2). ΔL_0 kan då skrivas på två sätt:



Figur 2. Princip för digital våglängdsmätare.

$$\Delta L = N_{\text{sök}} \cdot \lambda_{\text{sök}} = N_{\text{ref}} \cdot \lambda_{\text{ref}}$$

där $N_{\text{sök}}$ och N_{ref} betecknar antalet räknade fransar från den okända respektive kända lasern. $\lambda_{\text{sök}}$ och λ_{ref} betecknar motsvarande våglängder. Härur kan $\lambda_{\text{sök}}$ beräknas enligt formeln

$$\lambda_{\text{sök}} = \frac{N_{\text{ref}}}{N_{\text{sök}}} \cdot \lambda_{\text{ref}}$$

Denna likhet gäller exakt under det rådande tillståndet i luften ty de båda laserstrålarna följer samma bana. Därmed tillryggalägger de precis samma optiska våglängd. Vill man veta vakuum- eller NTP-våglängden måste den avlästa våglängden korrigeras för våglängds-, tryck- och temperaturberoendet hos luftens brytningsindex. Detta behandlas i avsnitt 5.

2.2 Noggrannhet hos mätmetoden.

Våglängdsmeterens precision bestäms huvudsakligen av tre

faktorer:

- 1) Hur väl referenslaserens våglängd är känd.
- 2) Antalet fransar som räknas.
- 3) Parallelliteten mellan strålarna.

De två sista faktorerna påverkar båda kvoten $N_{\text{ref}}/N_{\text{sök}}$.

Maximala felet i mätningen kan då skrivas:

$$\Delta\lambda_{\text{sök}} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 = \frac{N_{\text{ref}}}{N_{\text{sök}}} \cdot \Delta\lambda_{\text{ref}} + \Delta \left(\frac{N_{\text{ref}}}{N_{\text{sök}}} \right) \cdot \lambda_{\text{ref}} + \Delta \left(\frac{N_{\text{ref}}}{N_{\text{sök}}} \right) \cdot \lambda_{\text{ref}}$$

- 1) Referenslasern (Tropel, Model 100) är en temperaturstabiliserad He-Ne laser. Fabrikanten garanterar att dess våglängd alltid befinner sig i ett ± 50 MHz brett intervall, vilket motsvarar $\pm 6.7 \cdot 10^{-4}$ Å. När lasern är påslagen garanteras en stabilitet på ± 10 MHz ($\pm 1.3 \cdot 10^{-4}$ Å) per 24 timmar.
- 2) Enligt elektronikkonstruktionen, som beskrivs i avsnitt 4.3, räknas $N_{\text{sök}}$ exakt, dvs $\Delta N_{\text{sök}} = 0$. Eftersom fransräkandet sker digitalt blir maximala felet i N_{ref} en enhet, dvs $\Delta N_{\text{ref}} = 1$. Noggrannheten i $N_{\text{ref}}/N_{\text{sök}}$ blir då omvänt proportionell mot N_{ref} , dvs

$$\Delta \left(\frac{N_{\text{ref}}}{N_{\text{sök}}} \right) = \frac{1}{N_{\text{sök}}} \approx \frac{1}{N_{\text{ref}}}$$

Med tanke på referenslaserens goda precision strävade vi efter ett räknemässigt fel på högst en enhet i fjärde decimalen hos $\lambda_{\text{sök}}$ (Å). Enligt de två ovanstående

formlerna blir $\Delta_2 = \lambda_{\text{ref}}/N_{\text{ref}}$. Eftersom $\lambda_{\text{ref}} \approx 5000$ Å bör

N_{ref} vara $0.5 \cdot 10^8$ för att Δ_2 skall bli $1 \cdot 10^{-4}$ Å. N_{ref} bör då vara ungefär ungefär lika med siffervärdet för våglängden λ_{ref} , dvs ca $0.5 \cdot 10^8$. Men att räkna så många fransar innebär att

$$\Delta L_0 = N \cdot \lambda \approx 0.5 \cdot 10^8 \cdot 0.5 \cdot 10^{-6} = 25 \text{ meter}$$

En sådan konstruktion skulle, för att inte bli mycket skrymmande, kräva ett sinnrikt spegelarrangemang. Alternativet är att räkna även delar av fransarna. Detta åstadkommes i vårt fall med hjälp av en frekvensmultiplikator som multiplicerar upp fransfrekvensen 20 gånger. Det är sedan den multiplicerade signalen som räknas. Därmed behöver ΔL_0

inte vara mer än ungefär 1.3 meter.

- 3) Om referenslaserns och den sökta laserns strålar inte är helt parallella kommer den optiska vägskillnaden ΔL_0

bli något olika för de två strålarna. Figur 3a demonstrerar problemet. Figur 3b är en schematisk förenkling av 3a. Ur figur 3b får vi

$$\delta x = \frac{\Delta L}{L} \cdot \Delta x \quad ; \quad \delta y = \frac{\Delta L}{L} \cdot \Delta y = 2 \cdot \delta x$$

Vidare

$$\Delta L_x = \Delta L \left(1 + \frac{\delta x^2}{\Delta L^2} \right) = \Delta L \left(1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{\delta x^2}{\Delta L^2} + \dots \right)$$

$$\Delta L_y = \Delta L \left(1 + \frac{\delta y^2}{\Delta L^2} \right) = \Delta L \left(1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{\delta y^2}{\Delta L^2} + \dots \right)$$

Med $\delta y = 2 \cdot \delta x$ blir vägskillnaden

$$\Delta s = \Delta L_y - \Delta L_x = \frac{3}{2} \cdot \frac{\Delta L}{L^2} \cdot \Delta x^2$$

Med $\Delta L = 0.4 \text{ m}$ }

$$L < 3.5 \text{ m} \quad \} \rightarrow \Delta s < 4.9 \cdot 10^{-8} \text{ m} \approx 0.1 \text{ våglängd}$$

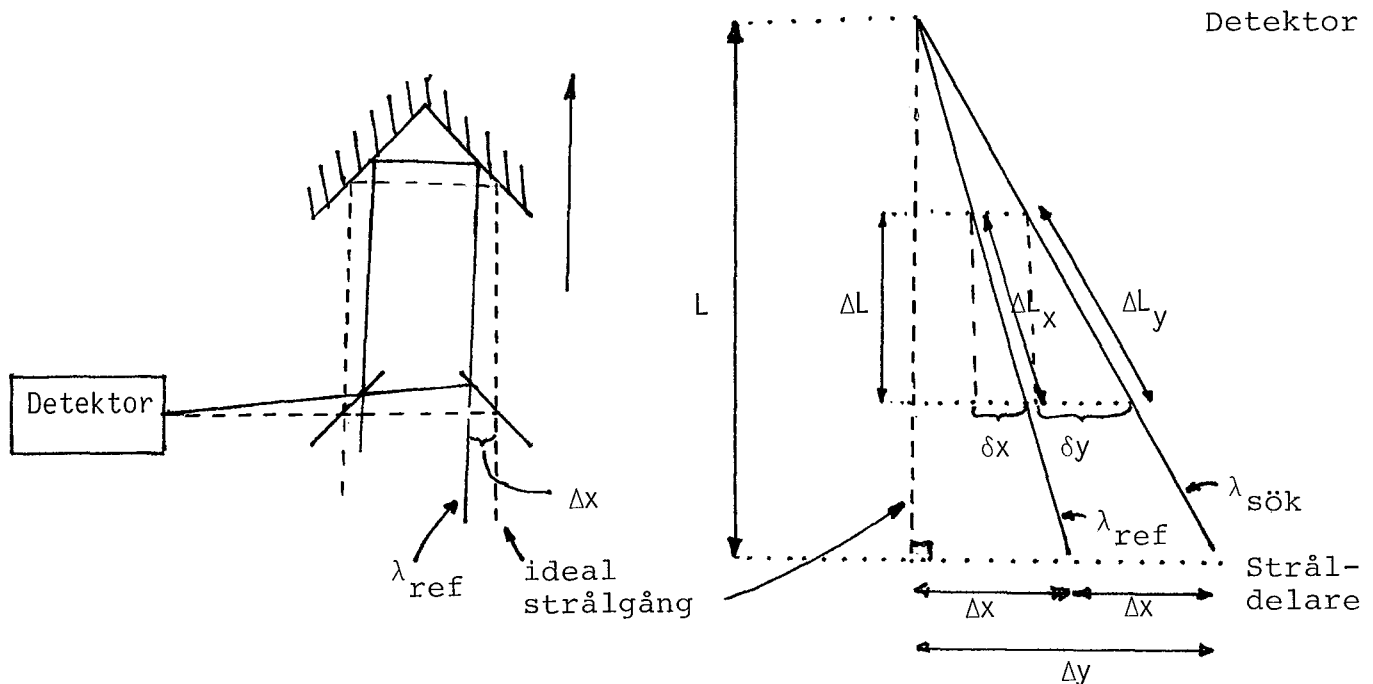
$\Delta x < 1 \text{ mm}$ }

Eftersom fransfrekvensen multipliceras 20 gånger blir $\Delta N = 20 \cdot 0.1 = 2$.

Felet blir alltså $\Delta N/N = 2/0.5 \cdot 10^{-8} = 4 \cdot 10^{-8}$ ($\Delta x < 1 \text{ mm}$)

$$\Delta N/N = 0.5/0.5 \cdot 10^{-8} = 1 \cdot 10^{-8} \quad (\Delta x < 0.5 \text{ mm})$$

Vid våglängden 5000 Å motsvarar detta ett fel på $2 \cdot 10^{-4}$ Å respektive $0.5 \cdot 10^{-4}$ Å.



Figur 3a. Våglängdsmeter vid icke-parallella strålar

Figur 3b. Dito förenklat där

L =avståndet stråldelare-detektor

ΔL =avståndet som vagnen rör sig under en våglängdsbestämning.

Δx =avståndet mellan perfekt inställning och referensstråle vid stråldelaren.

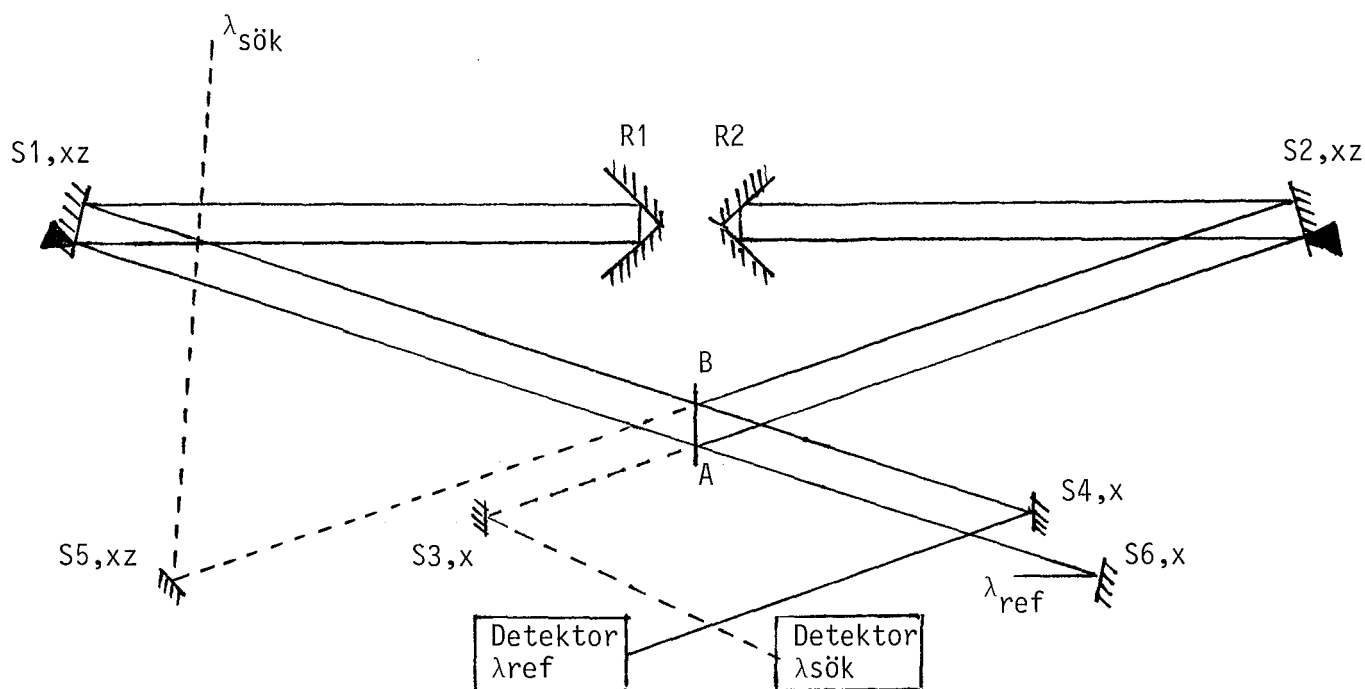
Δy =avståndet mellan perfekt inställning och sökta strålen.

Genom att addera de tre felen ovan finner vi att maximala felet blir $(7+1+2) \cdot 10^{-4} = 10 \cdot 10^{-4}$ Å. Om man önskar en noggrannare bestämning kan man mäta referenslaserens våglängd vid försökstillfället samt förfina parallellitetsinställningen ($\Delta x < 0.5$ mm). Felet blir då $(1.3+1+0.5) \cdot 10^{-8} = 2.8 \cdot 10^{-4}$ Å.

3. Konstruktion

3.1 Optisk-mekanisk konstruktion.

I figur 4 ses en principskiss över det optiska arrangemanget. En skalenlig ritning över optisk-mekanisk konstruktionen återfinnes i appendix 1. Med hänsyn till att många fransar skall räknas samt att strålgången skall vara lätt att ställa in har interferometern fått en annan utformning än den i figur 2. Idén angavs ursprungligen av



Figur 4. Optisk principkonstruktion.

x och z anger att speglarna kan röras i x- och z-led. Samtliga speglar kan riktas horisontellt och vertikalt. Fyllda trianglar markerar vickcentra.

Hall och Lee (referens 3). Den består huvudsakligen av stråldelaren AB, speglarna S1 och S2 samt retroreflektorerna R1 och R2. S3, S4, S5 och S6 är endast hjälpspeglar för att leda laserstrålarna in i banan eller till detektorerna. Retroreflektorerna är fastmonterade på en vagn som glider så gott som friktionsfritt på en luftkuddeskena (inköpt av A-S S. Fredriksson, Nymansgade 22, DK-6870 Ölgod, Danmark). Luftkuddeskenan är höj- och sänkbar några millimeter i högra ändan. Det är nämligen mycket viktigt att banan är horisontell så att vagnen inte accelereras under glidrörelsen. Med hjälp av två permanentmagneter på vagnen och spolar med styrenheter vid skenans ändar ges vagnen en knuff varje gång den vänder.

Ur figur 4 finner vi att referenstrålarna delas upp i två grenar vid A. Sedan de gått via R1 och R2 sammanförs de vid B och når sedan λ_{ref} -detektorn via S4. Samtidigt går strålen

från den sökta lasern i exakt samma bana i interferometern, fast i motsatt riktning. Strålen styrs in i banan med S5. Vid B delas den upp i två grenar som sedan sammanförs vid A, varefter de når $\lambda_{\text{sök}}$ -detektorn via S3.

Då vagnen rör sig ökar optiska vägen i den ena grenen medan den minskar i den andra. Härigenom fås dubbelt så många fransar jämfört med om endast en retroreflektor hade använts. Detta är en väsentlig fördel med tanke på den höga noggrannhet som eftersträvas vid våglängdsbestämningen.

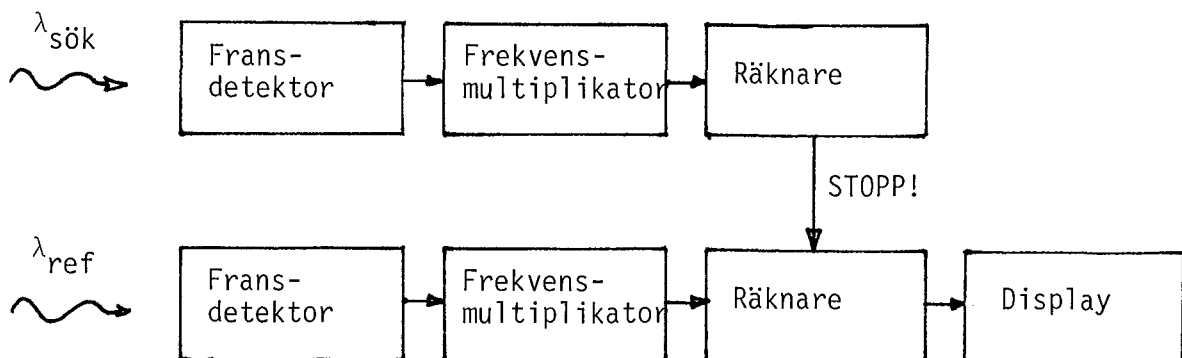
Stor vikt har lagts vid att strålgången skall vara lätt att ställa in. T.ex. skall riktningen hos en stråle kunna ändras utan att dess träffpunkt på spegeln förflyttas. Det senare medför ju att hela den reflekterade strålen parallellförflyttas. Därför har vissa speglar fått x- och z-reglage förutom reglagen för riktningsändring som finns på alla spegelhållare. Spegeln kan då alltid flyttas så att strålen träffar i vickcentrum, dvs den punkt kring vilken spegeln vrides med riktningsreglagen. På så sätt blir det möjligt att göra riktningsändringar enbart. Hur inställningen praktiskt går till beskrivs i avsnitt 6.2.

Om vagnen skulle vagga under glidrörelsen så påverkas inte överlappet ty avståndet mellan de parallella strålarna ändras lika mycket i de båda grenarna. Däremot flyttas träffpunkten vid detektorn vilket kan ha viss betydelse om ljusfläcken är liten eller överlappet dåligt.

3.2 Elektronisk konstruktion.

3.2.1 Inledning.

Elektronikens uppbyggnad och funktion beskrivs översiktligt av blockschemat i figur 5. Fransarna detekteras och förstärks i detektorerna. Fransfrekvensen multipliceras 20 gånger innan den räknas. Vid räkningen utnyttjas sambandet



Figur 5. Blockschemat över elektroniken.

$$\lambda_{\text{sök}} = \frac{N_{\text{ref}}}{N_{\text{sök}}} \cdot \lambda_{\text{ref}}$$

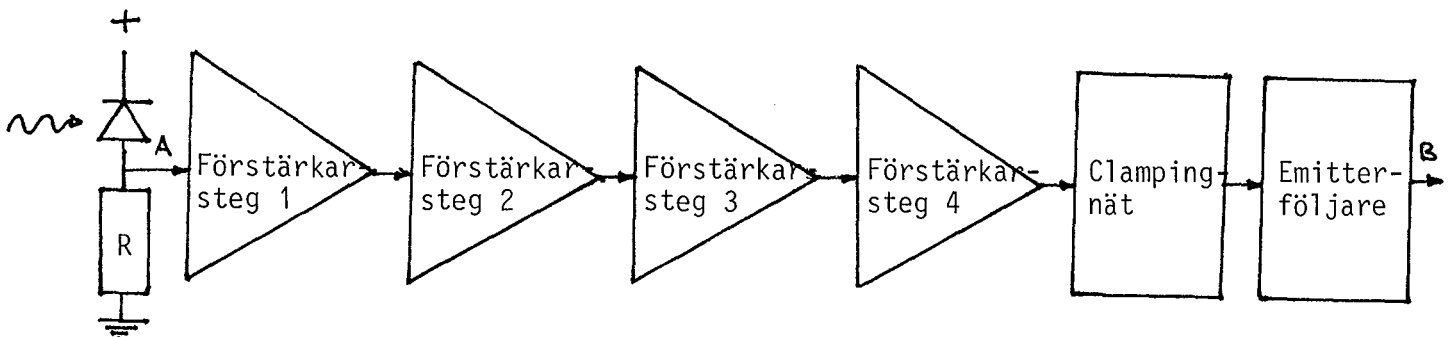
De båda räknarna börjar räkna samtidigt. Då $N_{\text{sök}} = \lambda_{\text{sök}} \cdot 10^n$ (A) (där n beror på hur många decimalers noggrannhet som önskas) stoppas referenslaserens räknare och $\lambda_{\text{sök}} = \frac{N_{\text{sök}}}{N_{\text{ref}}}$ kan avläsas på display.

Blocken i figur 3 beskrivs nedan. Vidare beskrivs en enhet för kontroll av fasläsningen i frekvensmultiplikatorn samt de stötanordningar som ger vagnen lämplig glidhastighet. Detaljerade konstruktionscheman återfinnes i appendix 2-8.

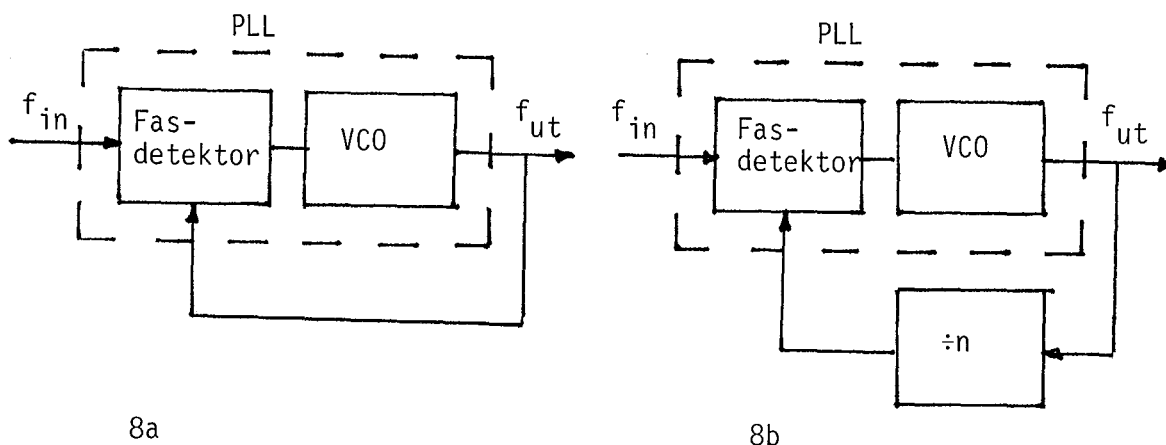
3.2.2 Fransdetektor.

Fransdetektorns uppgift är att detektera interferensfransarna och förstärka signalen. Fransdetektorn består av en spänningskopplad fotodiod följt av en förstärkare med fyra operationsförstärkarsteg. Se figur 6.

Fotodioden fungerar som strömgenerator, där strömmen är proportionell mot det infallande ljusets intensitet. Fotodioden ger följaktligen en potential över R som är proportionell mot fransarnas intensitet. Eftersom R är stort krävs att första förstärkarsteget är en följare, som har den nödvändigt stora inimpedansen. Steg 2 och 4 är inverterande förstärkare med 10 gångers förstärkning. Tredje steget har



Figur 6. Blockschemat över fransdetektorn.



Figur 8a. PLL-koppling som ger $f_{ut} = f_{in}$

Figur 8b. PLL-koppling som ger $f_{ut} = n \cdot f_{in}$

fasskillnaden mellan ut- och insignal. Figur 8a visar en koppling där $f_{ut} = f_{in}$. Om man sätter in en dividerare enligt

figur 8b kan signalens frekvens multipliceras. Vi får $f_{ut} = n \cdot f_{in}$.

Frekvensområdet, inom vilket utsignalen kan följa insignalen, kallas tracking range. Tracking range är centrerad kring free running frequency, f_0 . Då insignalen

följer utsignalen säger man att PLL:en är faslåst. Om PLL:en inte är faslåst är f_{ut} oberoende av insignalens frekvens och

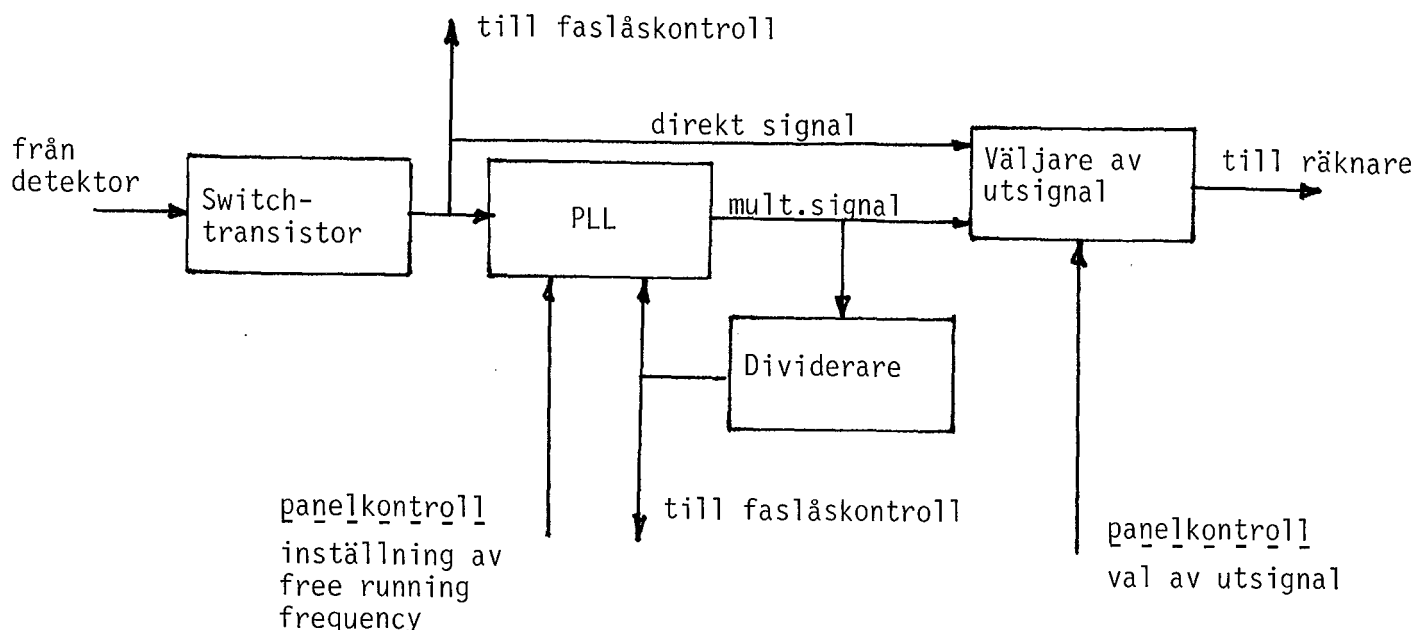
lika med f_0 .

3.2.3.2 Konstruktion av frekvensmultiplikator.

Genom att multiplicera upp fransfrekvensen möjliggör frekvensmultiplikatorn noggrannare våglängdsbestämning. Figur 9 visar vår konstruktion.

Signalen från fransdetektorn omvandlas till fyrkantvåg i switchtransistorn. Fyrkantvågen matas in i PLL:en, som är återkopplad med en dividerare, som kan dividera med 10, 20 eller 40 (vi har valt att dividera med 20). Utsignalen har alltså 10, 20 eller 40 gånger högre frekvens än insignalen. Med en panelkontroll bestämmer vi om vi önskar skicka den direkta eller den multiplicerade signalen till räknaren.

Två signaler, en från switchtransistorn och en från



Figur 9. Blockschemat över frekvensmultiplikatorn.

divideraren; skickas till en krets som kontrollerar om PLL:en är faslåst. Kontrollkretsen beskrivs i avsnitt 3.2.6.

f_0 bestäms av en yttre kapacitans. Referensstrålens f_0

PLL-krets har en fast sådan kapacitans medan den sökta strålens är variabel. Den sistnämnda är en diodkapacitans, vars kapacitans beror på backspänningen som läggs över den. Detta betyder att referensstrålens f_0 är fast och den sökta

strålens f_0 är inställbar.

Då PLL:en endast förmår följa insignalen inom tracking range krävs att insignalens frekvens ligger i detta område. Eftersom insignalens frekvens är direkt proportionell mot vagnens hastighet är det därför nödvändigt med en i det närmaste konstant vagnhastighet. Som vi senare skall se ger stötanordningen vagnen en sådan hastighet att referenssignalen alltid ligger inom tracking range. Vid denna hastighet har den sökta strålens signal en annan frekvens (den har ju en annan våglängd). Med den variabla kapacitansens panelkontroll ställer man in lämpligt f_0 för

den sökta strålen.

Till PLL:ens egenskaper hör att utsignalen har en viss tröghet för frekvensändringar. Detta medför att kortvariga oönskade förändringar av insignalen (fransdarr, störspikar,

någon förlorad frans etc) inte påverkar utsignalen. Räkningen kan alltså fortgå ostörd.

3.2.4 Räkneenhet.

Vi påminner om sambandet

$$\lambda_{\text{sök}} = \frac{N_{\text{ref}}}{N_{\text{sök}}} \cdot \lambda_{\text{ref}}$$

Våglängdsbestämningen går till så att räknandet avbryts då så många pulser från den sökta signalen räknats som siffervärdet för λ_{ref} anger. Antalet räknade pulser från referenslasern, N_{ref} , ger då direkt den sökta våglängden,

bortsett från decimalpunkten. Tack vare denna enkla metod behöver inte någon division eller multiplikation utföras.

Med hjälp av figur 10a och 10b beskrivs nu räkneenhetens funktion. Varje ny bestämning av $\lambda_{\text{sök}}$ startar med att

RAKNARE 1 nollställs samtidigt som RAKNARE 2 laddas med siffervärdet för λ_{ref} . Därefter börjar apparaten räkna

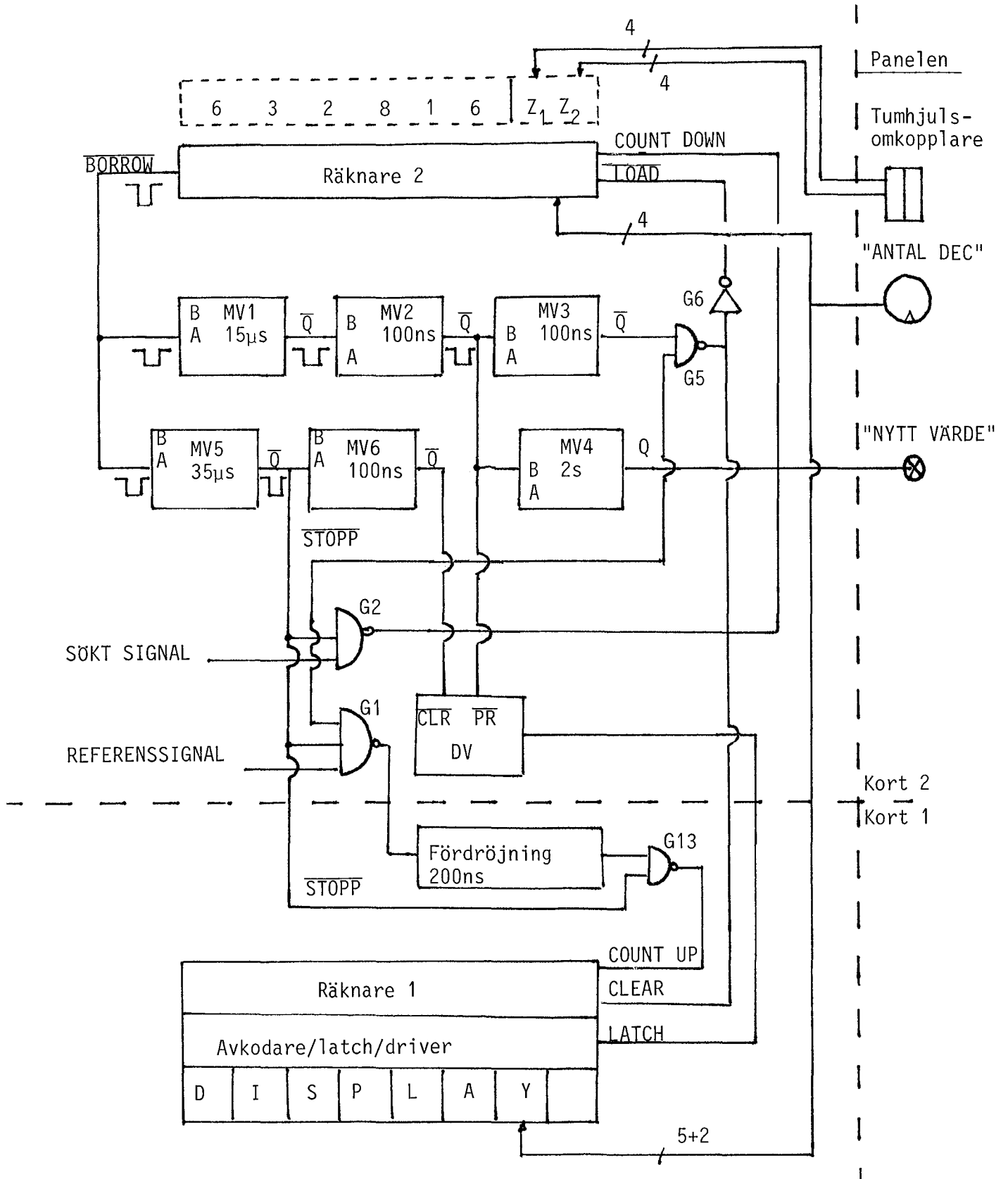
pulser. RAKNARE 2 räknar ned medan RAKNARE 1 räknar upp. När RAKNARE 2 nått värdet 0 ger den en BORROW-signal. Denna sätter direkt vipporna MV1 och MV5. Signalen STOPP från MV5 avbryter fortsatt räknande genom att blockera insignalerna till räknarna. MV6, MV1, MV2 och DV ser till att det nya värdet på våglängden presenteras på displayen genom att låta LATCH bli låg en kort stund (ca 15 μ s).

MV3 har införts för att garantera att CLEAR kommer efter att LATCH blivit hög igen. Värdet på displayen är då låst.

MV4 låter lampen NYTT VARDE lysa i 2 sekunder. Om mätvärdena kommer med kortare intervall än 2 sekunder lyser lampan kontinuerligt.

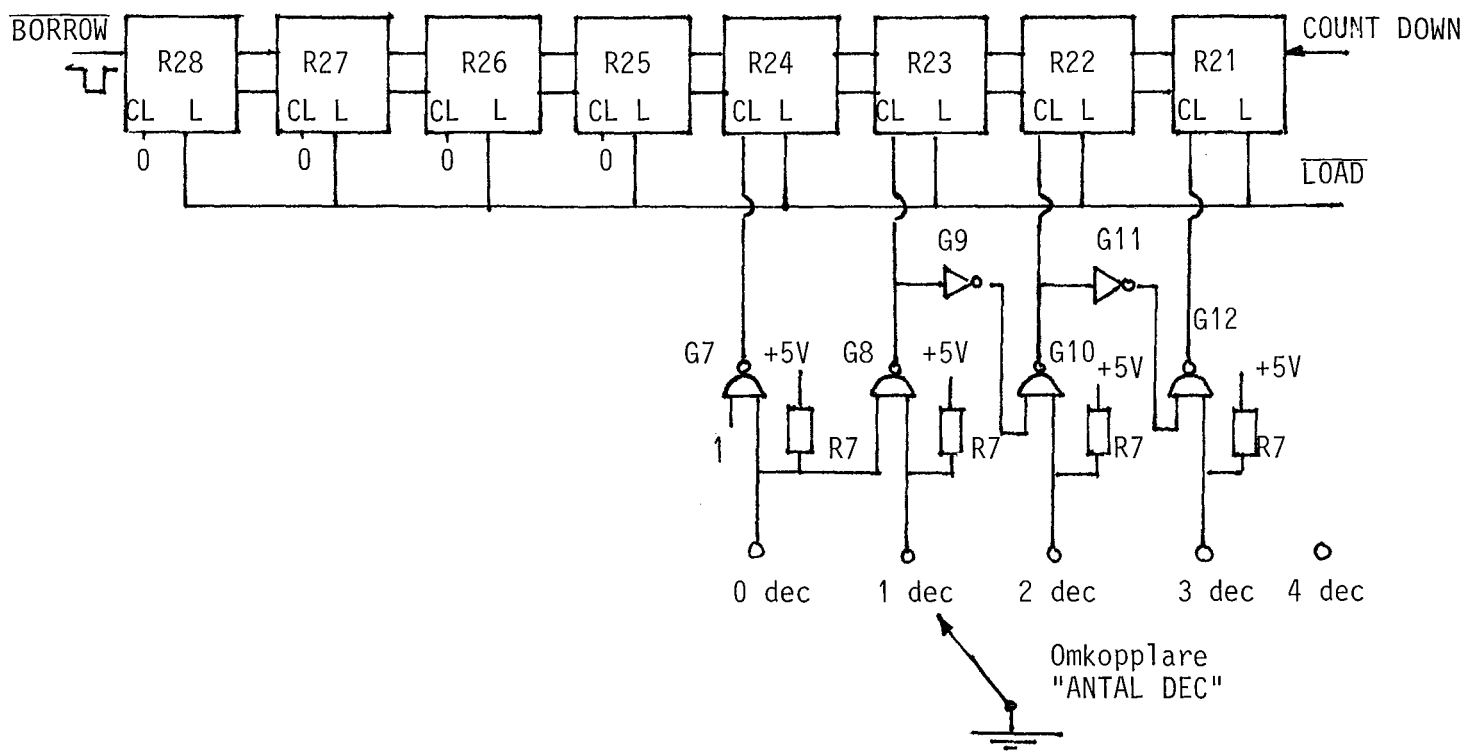
FÖRDRÖJNINGEN, som består av en rad inverterare, skall kompensera för den tid det tar för en signal att fortplantas genom RAKNARE 2. Utan denna anordning hade RAKNARE 1 alltid räknat ett par pulser för mycket. Fördröjningen hade dock varit utan effekt om inte grinden G13 funnits. Denna förhindrar att de sista pulserna i pulståget når fram till räknaren.

Antalet önskade siffror n i våglängdsbestämningen ställs in med ANTAL DEC genom att lägga CLEAR hög på de $8-n$ räknarna



Figur 10a. Funktionschema för räkneenheten.

MV1-MV6 är monovippor, där A-ingången triggas på negativ flank, B-ingången på positiv. Pulslängden anges inom parentes. DV är en D-vippa. Räkarna består av kaskadkopplade BCD-räknare.



Figur 10b. Funktionschema RÄKNARE 2.

längst till höger i RÄKNARE 2. Signalen passerar då dessa direkt. Om man t.ex. önskar bestämning med en decimal så avbryts nedräkningen efter 63281 pulser, önskas tre respektive fyra decimaler avbryts räkningen efter 63281¹ respektive 63281^{1 2} pulser. ANTAL DEC flyttar också decimalpunkten på displayen.

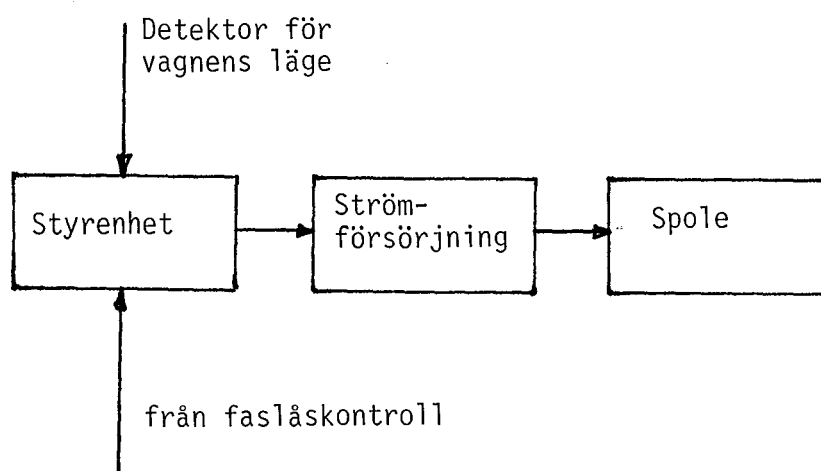
3.2.5 Stötanordning.

Stötanordningens uppgift är

- 1) att vända vagnen skakfritt vid banans ändläge och
- 2) att ge vagnen en till PLL:en anpassad hastighet.

Dessa två krav tillgodoses av konstruktionen i figur 11.

Vagnen har försetts med magneter i ändarna. Då vagnen når banans ändläge startar styrenheten en ca 0.4 A ström genom



Figur 11. Stötanordning.

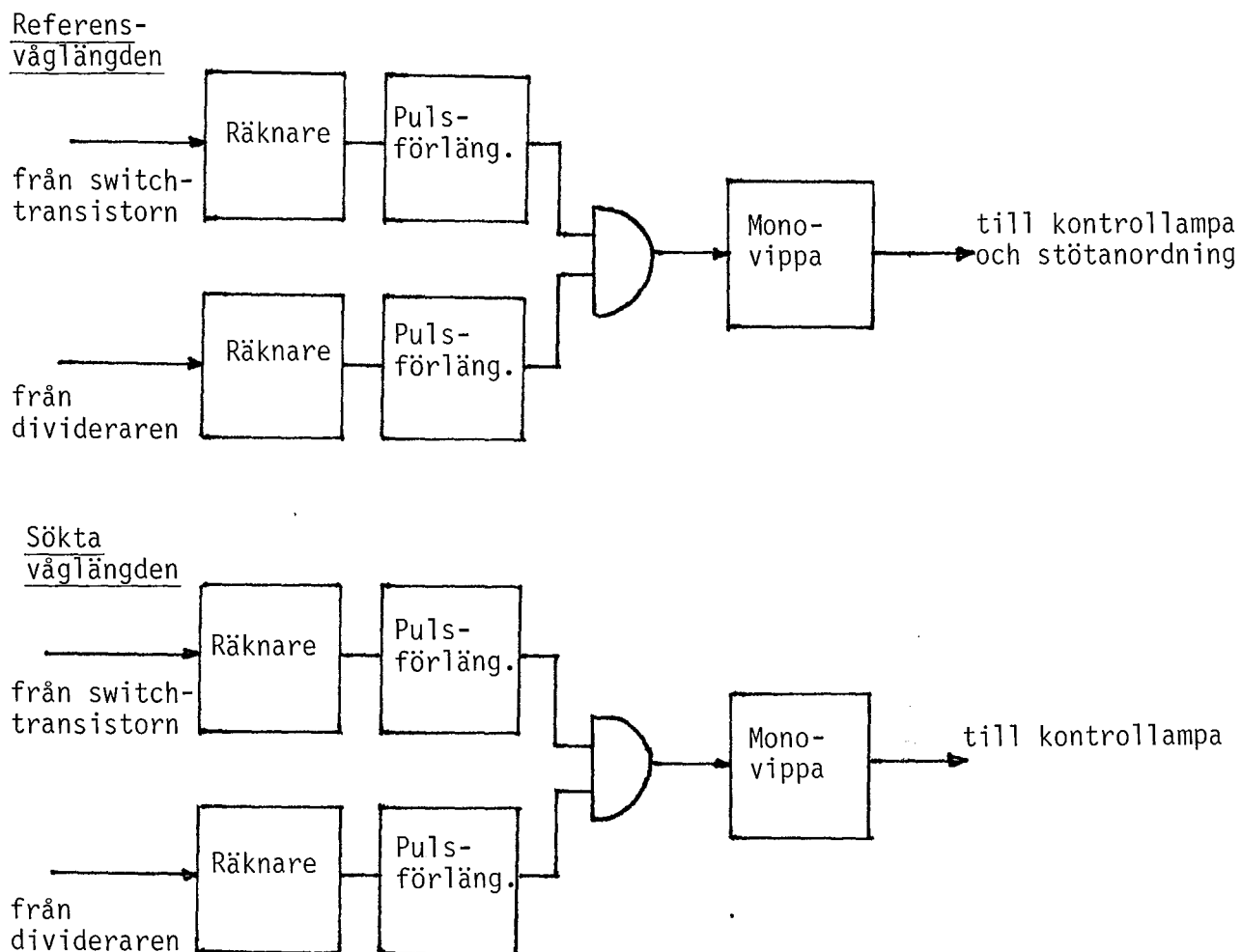
en 400-varvs luftsolenoid. Det härvid bildade motriktade magnetfältet bromsar först vagnen och accelererar sedan upp den igen. Strömmen till spolen stryps då faskontrollenheten (se avsnitt 3.2.5) meddelar att referenssignalen är faslåst, dvs att vagnen har lagom hastighet.

3.2.6 Faslåskontrollenheten.

Faslåskontrollenhetens uppgift är, vilket den intelligenta läsaren troligtvis redan listat sig till, att avgöra huruvida PLL:en är faslåst eller ej. Figur 12 visar konstruktionen. Faslåskontrollenheten består av två identiska delar som avgör om referenssignalen respektive den sökta signalen är faslåst. Detta indikeras med kontrollampor på panelen.

Konstruktionen bygger på det tidigare nämnda faktumet att då en PLL är faslåst så svänger in- och utsignal med samma frekvens medan då den ej är faslåst svänger de båda signalerna helt oberoende av varandra.

Låt oss närmare studera referenssignalens kontrollenhet. Räknarna nollställes samtidigt och räknar in pulser från insignalen och dividerarens utsignal. När en räknare når 100 ger den en utpuls. Om PLL:en är faslåst kommer utpulserna från insignal och dividerar-räknaren samtidigt. Om PLL:en ej är faslåst kommer utpulserna vid olika tidpunkter. Innan vi kontrollerar om utpulserna är samtidiga i AND-grunden fördubblar vi pulslängden för att undvika problem som uppstår om signalerna är fäsförskjutna i förhållande till varandra. Om PLL:en befinnes vara faslåst sättes en

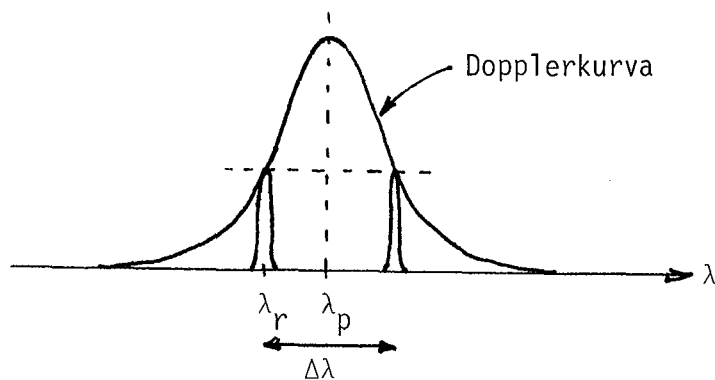


Figur 12. Faslåskontrollenhet.

retriggable monovippa till 5 ms. På denna tid hinner faslåskontrollenheten göra ca 10 nya kontroller. Det finns alltså en viss felräkningsmarginal.

4. Referenslaserens våglängd

I avsnitt 2.2 finner man att ett felaktigt värde på referenslaserens våglängd, λ_{ref} , direkt medför ett fel i bestämningen av den sökta laserens våglängd, $\lambda_{sök}$. Vi vill därför särskilt motivera valet av λ_{ref} .



Figur 13. Modstruktur i referenslasern.

Som referenslaser användes en temperaturstabiliserad, single-frequency He-Ne laser. Temperaturstabiliseringen låser lasern så att de båda centrala longitudinella moderna hålls lika starka. Enligt tillverkaren transmitteras moden med den kortare våglängden, vilken alltså är vår λ_{ref} . Se

figur 13.

A.L. Bloom, Gaslasers (referens 4) anger $\lambda_p = 6328.1639 \text{ \AA}$ i standardluft vid normalt tryck ock temperatur (NTP; 15 C, 760 torr).

För att beräkna λ_{ref} måste vi känna modseparationen $\Delta\lambda$.

Denna ges av

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2L}$$

där $L=0.27 \text{ m}$ (laserkavitets längd)
 $\lambda=6328.1639 \text{ \AA}$ (laserns våglängd)

Insatt ger dessa värden $\Delta\lambda=0.0074 \text{ \AA}$
 Dvs

$$\lambda_{ref} = \lambda_p - \Delta\lambda/2 = 6328.1602 \text{ \AA}$$

Denna våglängd förinställes i räkneenheten.

5. Korrektion för luftens brytningsindex

Luftens brytningsindex är (tyvärr) en funktion av våglängd, tryck och temperatur. För att korrigera den på displayen avlästa våglängden till våglängden vid NTP alternativt i vakuum har ett dataprogram utarbetats.

På räknelådans panel förinställer vi $\lambda_{ref} = 6328.1602 \text{ \AA}$.

Detta är referenslaserns våglängd vid NTP. Den på displayen avlästa våglängden, λ_{avl} , är på grund av våglängds-, tryck-

och temperaturberoendet hos luftens brytningsindex inte lika med $\lambda_{sök}$ vid NTP. Formeln

$$\lambda_{sök} = \frac{N_{ref}}{N_{sök}} \cdot \lambda_{ref}$$

bör alltså ändras till

$$\lambda_{avl} = \frac{N_{ref}}{N_{sök}} \cdot \lambda_{ref}$$

λ_{ref} och $\lambda_{sök}$ betecknar alltså i fortsättningen våglängden i något speciellt tillstånd, t.ex. under rådande tryck och temperatur (indicerar TP), normalt tryck och temperatur (NTP) eller vakuum (vac). Vi skall nu finna ett samband mellan $\lambda_{sök,NTP}$ och $\lambda_{ref,NTP}$.

Eftersom luftens brytningsindex inte är konstant varierar kvoten $N_{ref}/N_{sök}$ i formeln ovan för olika våglängd, tryck

och temperatur. Om t.ex. $\lambda_{sök}$, p.g.a. en ändring av

brytningsindex, ökar kommer färre fransar att räknas, dvs $N_{sök}$ minskar, vilket i sin tur medför att λ_{avl} blir för

stort. På samma sätt medför en ökning av λ_{ref} att λ_{avl} blir

för litet. Vi bör alltså korrigera λ_{avl} med faktorn K_{NTP} så

att $\lambda_{sök,NTP} = K_{NTP} \cdot \lambda_{avl}$ där

$$K_{NTP} = \frac{\lambda_{sök,NTP}}{\lambda_{sök,TP}} \cdot \frac{\lambda_{ref,TP}}{\lambda_{ref,NTP}}$$

Eftersom $\lambda_{vac} = n_{TP} \cdot \lambda_{TP}$ blir

$$\lambda_{NTP} = \frac{n_{TP}}{n_{NTP}} \cdot \lambda_{TP}$$

vilket medför

$$K_{NTP} = \frac{n_{sök,TP} \cdot n_{ref,NTP}}{n_{sök,NTP} \cdot n_{ref,TP}}$$

där $n = n(\lambda, p, T)$.

K_{vac} beräknas på liknande sätt.

Tryck och temperaturberoendet hos n ges enl. Barneel och Sears (referens 5) av

$$n(p, T) - 1 = (n(760, 15) - 1) \cdot \frac{p(1 + p \cdot b(T))(1 + 15a)}{760(1 + 760 \cdot b(15))(1 + 15a)}$$

där T = temperatur i C
 p = tryck i torr
 $a = 1/273.15$

$$b(T) = (1.049 - 0.0157 \cdot T) \cdot 10^{-6}$$

Våglängdsberoendet hos n ges enligt Edlén (referens 6) av

$$(n(\lambda) - 1) 10^{-8} = 6431.8 + 2949810(146 - \sigma^2)^{-1} + 25540(41 - \sigma^2)^{-1}$$

där $\sigma = 1/\lambda$ uttryckt i cm^{-1}

För att bekvämt kunna korrigera de avlästa våglängderna har vi skrivit ett dataprogram som bygger på formlerna ovan. I programmet matar man in det tryck-, temperatur- och våglängdsområde man är intresserad av och får en utskrift av typen:

Programfilen heter HH-VKA och är lagrad i LUCAS DAVID. Programtexten i sin helhet finns i appendix 9.

Felet i korrektionsberäkningarna ges av

$$\frac{\Delta K}{K} = \frac{\Delta n_{\text{ref,NTP}}}{n_{\text{ref,NTP}}} + \frac{\Delta n_{\text{sök,TP}}}{n_{\text{sök,TP}}} + \frac{\Delta n_{\text{sök,NTP}}}{n_{\text{sök,NTP}}} + \frac{\Delta n_{\text{ref,TP}}}{n_{\text{ref,TP}}}$$

Edlén uppskattar felet i sin formel till $1 \cdot 10^{-8}$. Om vi anser $n_{\text{ref,NTP}}$ exakt bestämd samt sätter $K=1$ och $n \approx 1$ blir maximala felet i korrektionsprogrammet

$$(\Delta K)_{\text{max}} = 3 \cdot 10^{-8}$$

6. Handhavandemanual för våglängsmetern

Nedan beskrives hur man ställer in banan och strålgången samt hur våglängdsbestämningen går till i praktiken.

6.1 Inställning av banan.

Vagnen behöver glida med en nästan konstant hastighet. Det är därför ytterst viktigt att banan inte lutar. Inställningen av banan är känslig och måste därför göras med stor omsorg. Följande metod rekommenderas.

- 1) Justera höjden hos ena ändan av banan tills glidtiden för en passage mellan vändlägana är lika lång i båda riktningarna.
- 2) Försök därefter eliminera ojämnheter i banan. Detta göres med skruvarna på banans undersida, som höjer och sänker banan lokalt. Ofta räcker det att vrida skruven ett kvarts varv.

Ett bra sätt att upptäcka ojämnheter i banan är att iakttaga om vagnen accelereras från stillastående. Man kan också, med hjälp av oscilloskop, se hur signalfrekvensen ändras då vagnen rör sig längs banan.

- 3) Upprepa ovanstående punkter om nödvändigt.

6.2 Inställning av strålgången.

För att underlätta beskrivningen nedan benämnes strålarna med romerska siffror enligt figur 14.

För att våglängsmeterens skall fungera tillfredställande krävs att strålgången inte avviker nämnvärt från den ideala. Ideal strålgång innebär

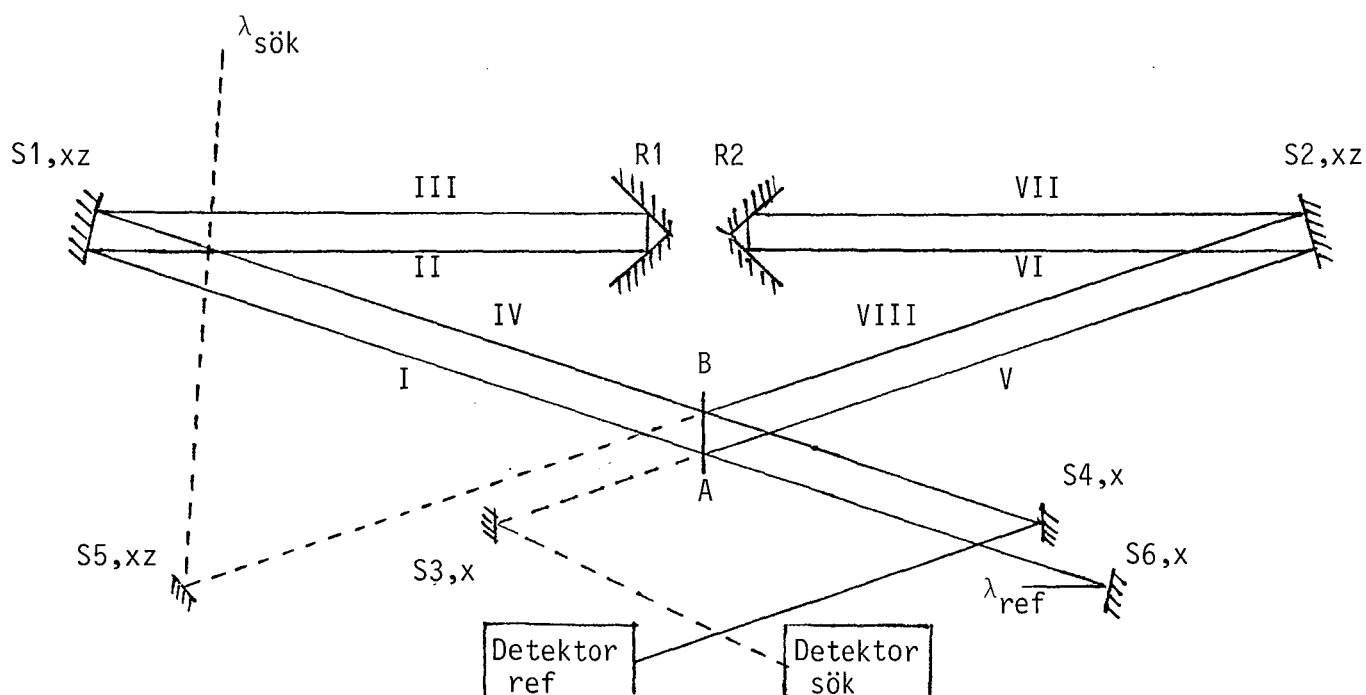
- 1) att strålöverlappet är optimalt oavsett var på luftkuddeskenan vagnen med retroreflektorerna befinner sig och
- 2) att den kända och den okända lasern går identiska banor.

Den första faktorn är avgörande för att överhuvudtaget kunna mäta och den andra påverkar mät noggrannheten.

För att erhålla bra strålgång föreslås följande metod för injusteringen.

Börja med referensstrålen.

- 1) R1-R2 placeras i sitt vänstra ändläge. Med hjälp av S6 riktas strålen mot S1 så att stråle II och III ligger på ungefär samma höjd samtidigt som de är separerade



Figur 14. Strålgången.

10-14 mm.

- 2) S1 flyttas i sid- och höjddled så att stråle I träffar i dess vickcentrum.
 - 3) Med S1 riktningsjusteras sedan stråle II så att denna träffar R1 i samma punkt oavsett var på luftkuddeskenan R1 befinner sig. När så är fallet är strålarna parallella med glidbanan.
 - 4) R1-R2 placeras nu i högra ändläget. Med stråldelaren AB riktas stråle V så att stråle VIII träffar i samma punkt som stråle IV, dvs i punkt B.
 - 5) S2 flyttas i sid- och höjddled så att stråle V träffar i dess vickcentrum.
 - 6) Med S2 riktningsjusteras stråle VI. Man kan då antingen förfara som i 3) eller kontrollera att stråle VIII:s träffpunkt vid AB eller detektor λ_{ref} ligger stilla då vagnen rör sig.
 - 7) Med S4 riktas de överlappande strålarna mot fotodioden på detektor $\lambda_{sök}$.
- Nu är allt redo för att leda in den okända laserns stråle i sin bana.
- 8) En del av stråle VIII passerar stråldelare AB och träffar S5. Flytta S5:s vickcentrum till träffpunkten. Rikta den okända laserstrålen mot denna punkt.
 - 9) Med S5 riktas den okända strålen mot den punkt där stråle VII träffar S2. Om inställingen gjorts noggrant skall strålöverlappet för den okända lasern nu vara bra.
 - 10) Med S3 riktas de överlappande strålarna mot detektor $\lambda_{sök}$.

6.3 Bruksanvisning.

Praktiskt handhavande av våglängdsmetern.

För nedan använda beteckningar på panelen, se figur 18 i appendix 2.

De förstärkta signalerna från detektorerna kopplas till respektive ingång på räknelådan, REF. SIGNAL och SÖKT SIGNAL.

Med de två tumhjulskomkopplarna på panelen ställer man in 3:e och 4:e decimalen för referenslaserns våglängd (mätt i

Angström).

Omkopplaren X20/X1 avgör om insignalerna skall multipliceras med 20 eller med 1 innan de når räknarna, dvs om de skall passera frekvensmultiplikatorerna eller ej.

Med ratten ANTAL DEC väljer man med hur många decimaler våglängden skall bestämmas. Observera att om tre eller fyra decimaler önskas är det nödvändigt att multiplicera infrekvenserna.

Två små lampor på panelen indikerar när signalerna är fastlåsta. När signalerna multipliceras måste dessa lysa konstant för att man skall kunna lita på den presenterade våglängden. Lamporna kan också var till hjälp när man manuellt vill ge vagnen rätt hastighet.

Med ratten VÅGLÄNGDSOMRÅDE ställer man in free running frequency, f , för PLL:en, som tar hand om den okända

laserns signal. Inställningen kan göras på två sätt:

- 1) Då referenssignalen är fastlåst vrids man på ratten tills den okända signalen också är fastlåst.
- 2) Om man vet ungefär vilken våglängd man vill mäta kan man koppla bort insignalerna och ändå räkna PLL-signalerna, dvs de båda PLL:ernas free running frequency. Ratten vrids då helt enkelt tills den ungefärliga våglängden står att läsa på displayen.

På panelen finns också lampan NYTT VÄRDE, som lyser i två sekunder efter att ett nytt värde har presenterats.

En speciell ställare för spänningsförsörjningen till PLL:erna har placerats på panelen. Anledningen är att PLL:ernas oscillatorer ofta stör den övriga elektroniken då insignalerna räknas direkt, dvs omultiplicerade. Vi rekommenderar därför att man bryter spänningen till PLL:erna då man räknar på detta sätt. Emellertid får man då inga signaler från fastläskontrollenheten och därmed inga styrsignaler till st tanordningarna. Därför har vi placerat en potentiometer i serie med stötspolen för att kunna dämpa stöten så att vagnen erhåller lagom hastighet. Då PLL:erna är inkopplade skall potentiometrarna stå på 0Ω.

7. Test av våglängdsmätaren

När inställningen av bana och strålgång har varit bra har våra tester gett goda resultat. Våglängdsmätaren sköter sig själv och ger stabila mätvärden med en spridning på ±1 eller 2 siffror i sista decimalen.

Under mindre gynnsamma förhållanden, t.ex. vid dåligt

överlapp eller instabil amplitud hos den sökta lasern, har signalerna från detektorn för den sökta lasern varit svaga eller distorderade. För att vid sådana tillfällen få några som helst pålitliga mätvärden är det nödvändigt att justera vagnens hastighet manuellt antingen för att upprätthålla faslåsningsen eller för att ge vagnen den hastighet vid vilken fransdetektorerna har maximal förstärkning.

Nedan följer en sammanställning av de tester som gjorts. Mätningarna har utförts med 2, 3 eller 4 decimaler. Med spridning menas här att 70 procent av mätvärdena ligger inom de angivna gränserna.

Linje el. övergång	Mätvärde/Å	Spridning/Å	PLL
$Kr\ 5p\ \overset{4}{D} - 5s\ \overset{2}{P}$ $\quad\quad\quad 5/2\quad\quad\quad 3/2$ 5681.883 Å vid NTP enl. ref. 7.	5681.897	±0.002	Ja
$Kr\ 5p\ \overset{4}{P} - 5s\ \overset{4}{P}$ $\quad\quad\quad 3/2\quad\quad\quad 3/2$ 5208.317 Å vid NTP enl. ref. 7. Flera olika moder redovisas.	5208.3306 5208.3373 5208.3338 5208.3292 5208.3314 5208.3322 5208.3327	±0.0002 ±0.0001 ±0.0002 ±0.0001 ±0.0001 ±0.0001 ±0.0001	Ja Ja Ja Ja Ja Ja Ja
$Ba\ 6s6p\ \overset{1}{P}_1 - 6s30d\ \overset{1}{D}_2$ 4195.601 Å vid NTP enl. ref. 8.	4195.600	±0.001	Ja
$Ba\ 6s6p\ \overset{1}{P}_1 - 6s24d\ \overset{1}{D}_2$ 4212.488 Å vid NTP enl. ref. 8.	4212.487	±0.001	Ja

Felet i de båda ovanstående bestämningarna av Kr-linjerna (referens 7) är av storleksordningen 0.01 Å. För Ba-linjerna (referens 8) är felet ungefär 0.005 Å.

8. Förslag till förbättringar

Detektorn för den okända lasern klarar inte att förstärka tillräckligt då lasern körs i kortvågigt blått (omkring 4000 Å) och vagnens hastighet överstiger den normala 3-4 cm/s. Detta beror dels på förstärkarnas begränsade bandbredd och dels på att fotodiodernas känslighet drastiskt avtar vid gränsen för synligt ljus. En eventuell ny detektor bör därför vara snabbare samt ha en fotodiod med större känslighet vid kortare våglängder. Snabbheten kan troligen förbättras genom att optokopplare placeras in mellan några av förstärkarstegen i fransdetektorn. Då kan man nämligen ta bort många av de bandbredds begränsande kondensatorerna utan risk för självsvängning.

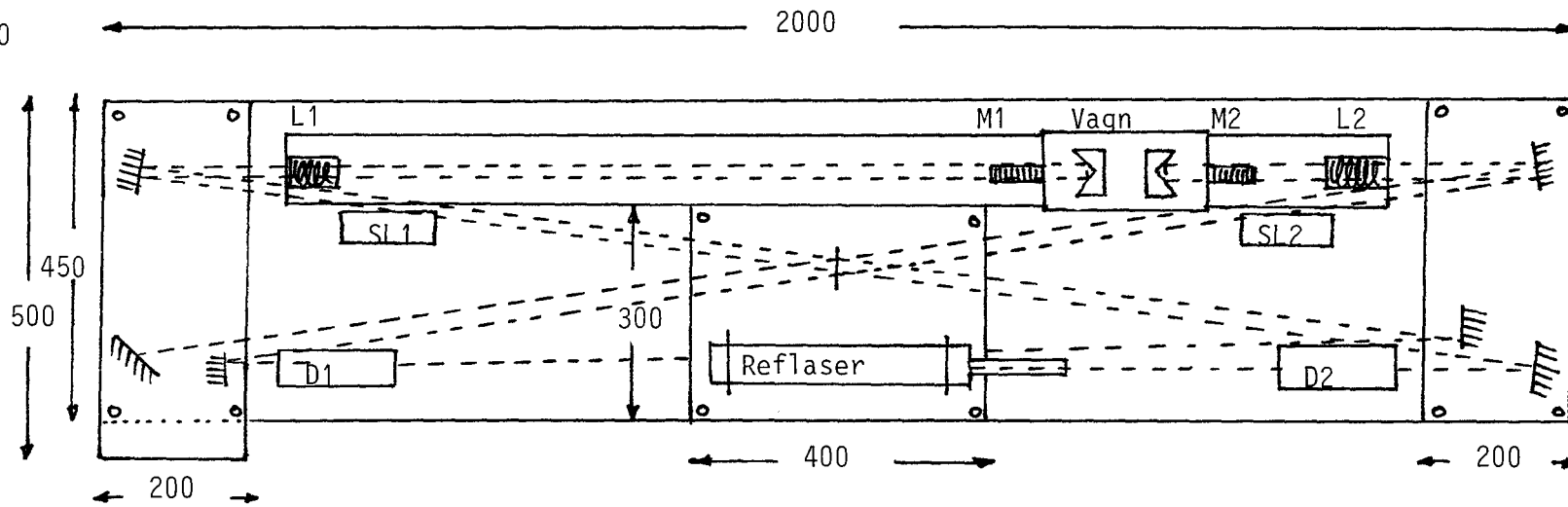
Mätresultaten har inte påverkats märkbart av små gungningar hos vagnen. Vi har ofta erhållit riktiga värden även om vagnen förts fram för hand utan luftkudde. Luftkuddeskenan skulle därför med all sannolikhet kunna ersättas med en mekanisk drivordning. Man slipper då det störande luftbruset.

9. Referenser

1. F.V. Kowalski et al., J. Opt. Soc. Am. 66, 965 (1976).
2. F.V. Kowalski et al., J. Opt. Soc. Am. 68, 1611 (1978).
3. J.L. Hall och S.A. Lee, Appl. Phys. Lett. 29, 367 (1976)
4. A.L. Bloom: Gaslasers; John Wiley and Sons Inc., 1968.
5. H. Barrel och J.E. Sears, Trans. Roy. Soc. (London) A 238, I (1939)
6. B. Edlén, J. Opt. Soc. Am. 43, 339 (1953)
7. National Bureau of Standards, Atomic energy levels, Volume II 24Cr - 41Nb, Circular 467.
8. Rubbmark et al., J. Phys. B: Atom. Molec. Phys., Vol. 10, No. 3, 421 (1977)

Skala 1:10

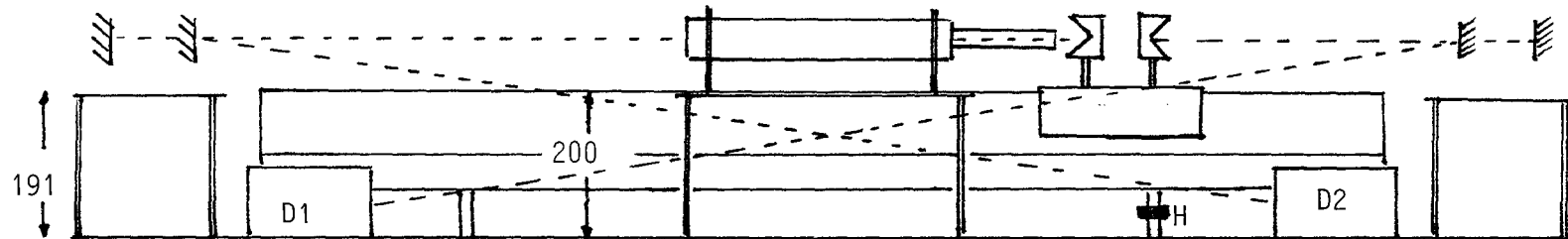
Uppifrån



Mekanisk konstruktion

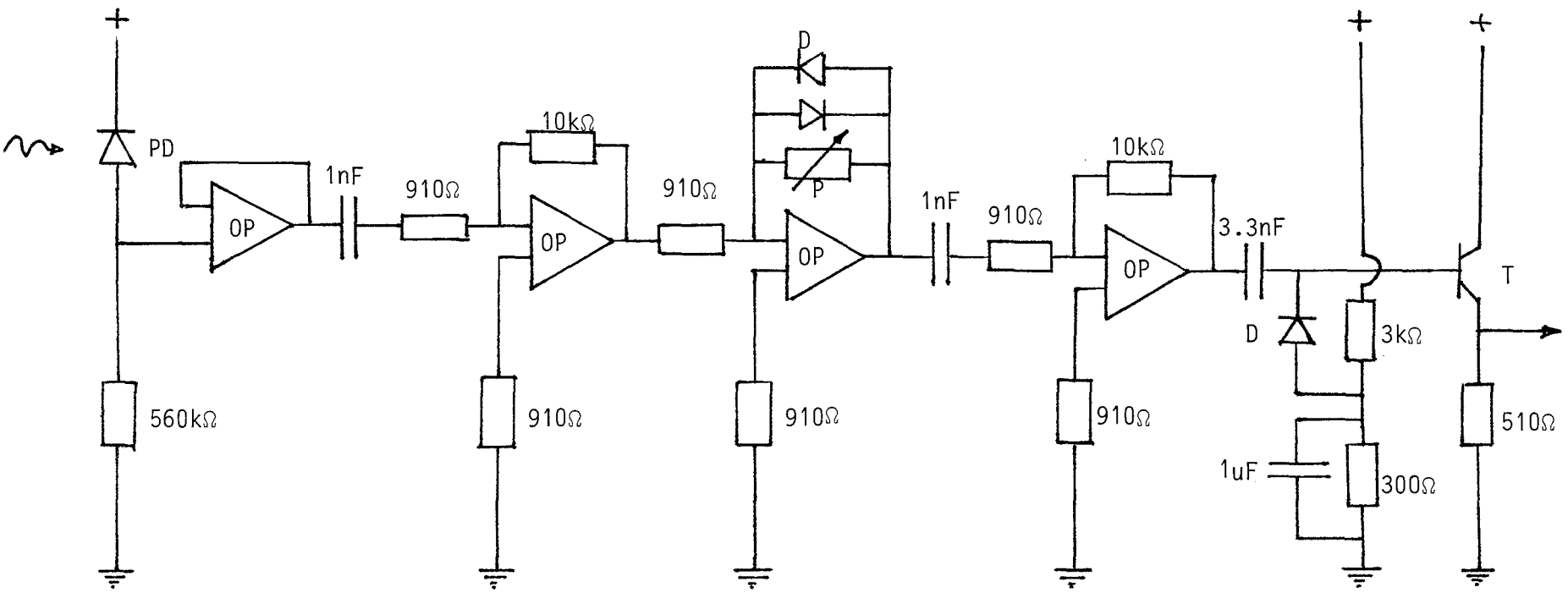
Appendix 1

Från sidan



Figur 15. Mekanisk konstruktion.

Avstånd i mm. Strålgången är streckad. D1 och D2 är detektorer. M1 och M2 är permanentmagneter. L1 och L2 är stötpolar och SL1 och SL2 är tillhörande styrenheter. H är en höjdställnings-skruv.



Figur 16. Kopplingsschema för fransdetektorn.

Appendix 2

Komponenter

PD	Fotodiod	United Detector Technology PIN-020 A
OP	Operationsförst.	CA 3100
T	Transistor	2N222A
D	Diod	1N4148
P	Potentiometer	0-10 k Ω

Kommentar

Fransdetektorns drivspänning är $\pm 15V$. Spänningsaggregaten visas i Appendix 8. Då det visade sig att signalen från den ena detektorn spreds via ett gemensamt spänningsaggregat till den andra detektorn har vi försett de båda detektorerna med separata spänningsaggregat.

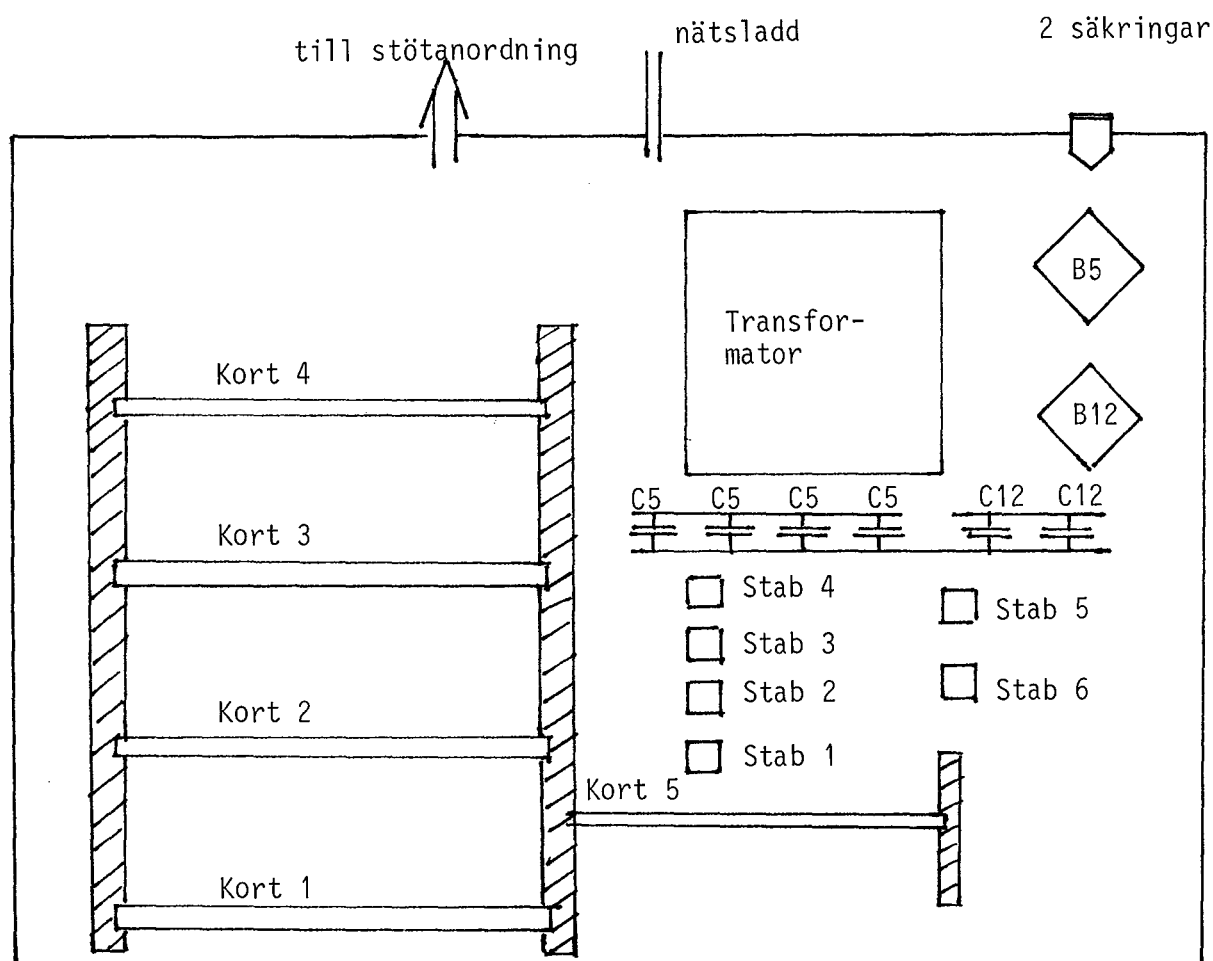
Varje OP:s drivspänningar är avkopplade till jord med en 0.1 μF keramisk kondensator.

Varje OP har DC-offset reglage.

På OP 1-3 har en liten faskompensationskondensator (22 nF) satts in mellan ben 1 och 8. Denna kondensator motverkar självsvängningar. Tyvärr försämrar den slewrate, varför den fjärde OP:n inte försetts med någon kondensator.

Appendix 3

Räknelådans innehåll



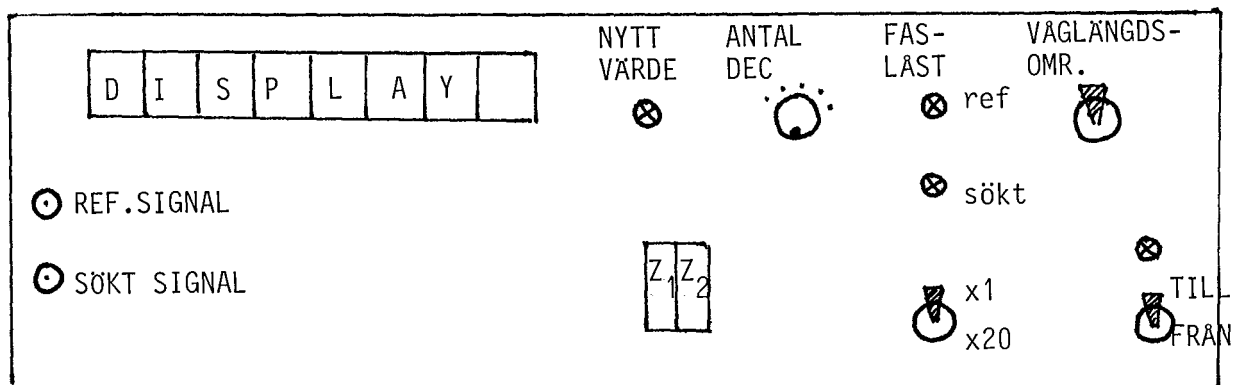
Figur 17. Elektronikens placering i räknelådan sett uppifrån.

Kommentar

- Kort 1 Räkare λ_{ref} och display.
 Kort 2 Räkare $\lambda_{sök}$ och styrelektronik.
 Kort 3 Frekvensmultiplikator.
 Kort 4 Faslåskontrollenhet.
 Kort 5 Kopplingar, lampdrivare, indikatorlampor.
 B5, B12 Likriktarbryggor för 5V och 12V.
 C5, C12 Glättningsekondensatorer för 5V och 12V.
 STAB 1-5 Spänningsstabilisatorer för 5V.
 STAB 6 Spänningsstabilisator för 12V.

Appendix 3

Räknelådans panel



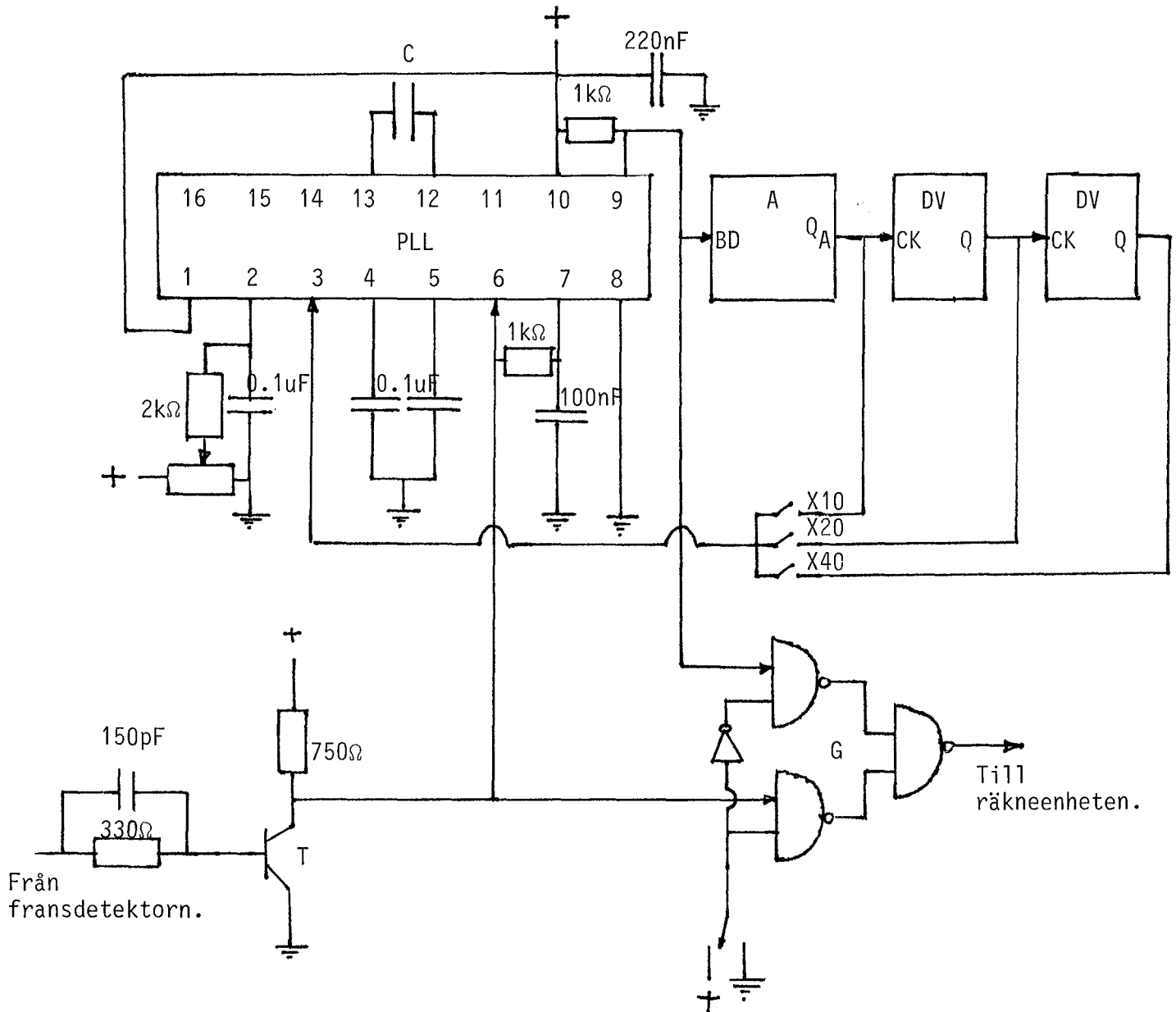
Figur 18. Panelen.

Kommentar

Funktionerna diskuteras i avsnitt 6.3.

Appendix 4

Frekvensmultiplikator



Figur 19. Kopplingsschema för frekvensmultiplikatorn.

Komponenter

PLL	Fasläst slinga	Philips 564
A	Tio-räknare	7490
DV	D-vippa	7474
G	NAND-grindnät	7400
T	Transistor	2N2339

Appendix 4

p	Potentiometer	0-20 k Ω
C	Kondensator	Se kommentar.

Kommentar

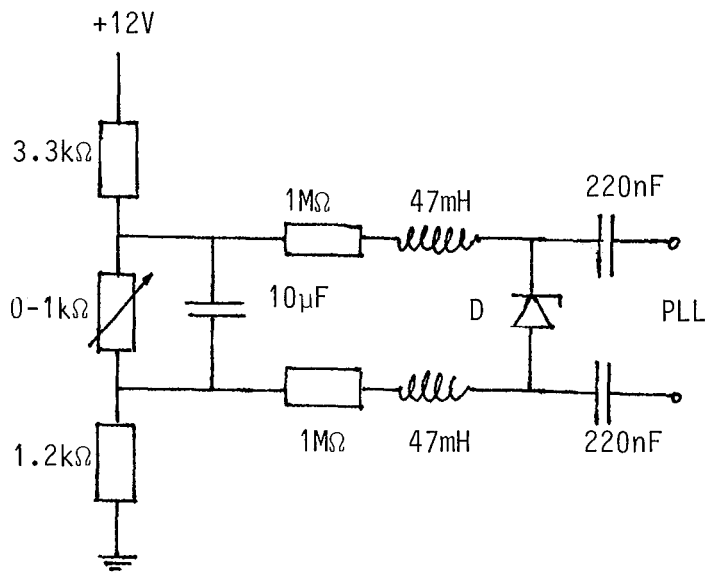
Potentiometern P bestämmer tracking-range storlek.

Kondensatorn C bestämmer f_0 . Den är 150 nF för λ_{ref} och variabel, se figur 20, för $\lambda_{sök}$.

A är kopplad som tioräknare vilket betyder att ben 3,6 och 7 är jordade och ben 11 och 14 är ihopkopplade.

De två D-vipporna finns i samma kapsel.

Grindnätet finns i en kapsel.

Variabel kapacitans

Figur 20. Konstruktionschema för variabel kapacitans.

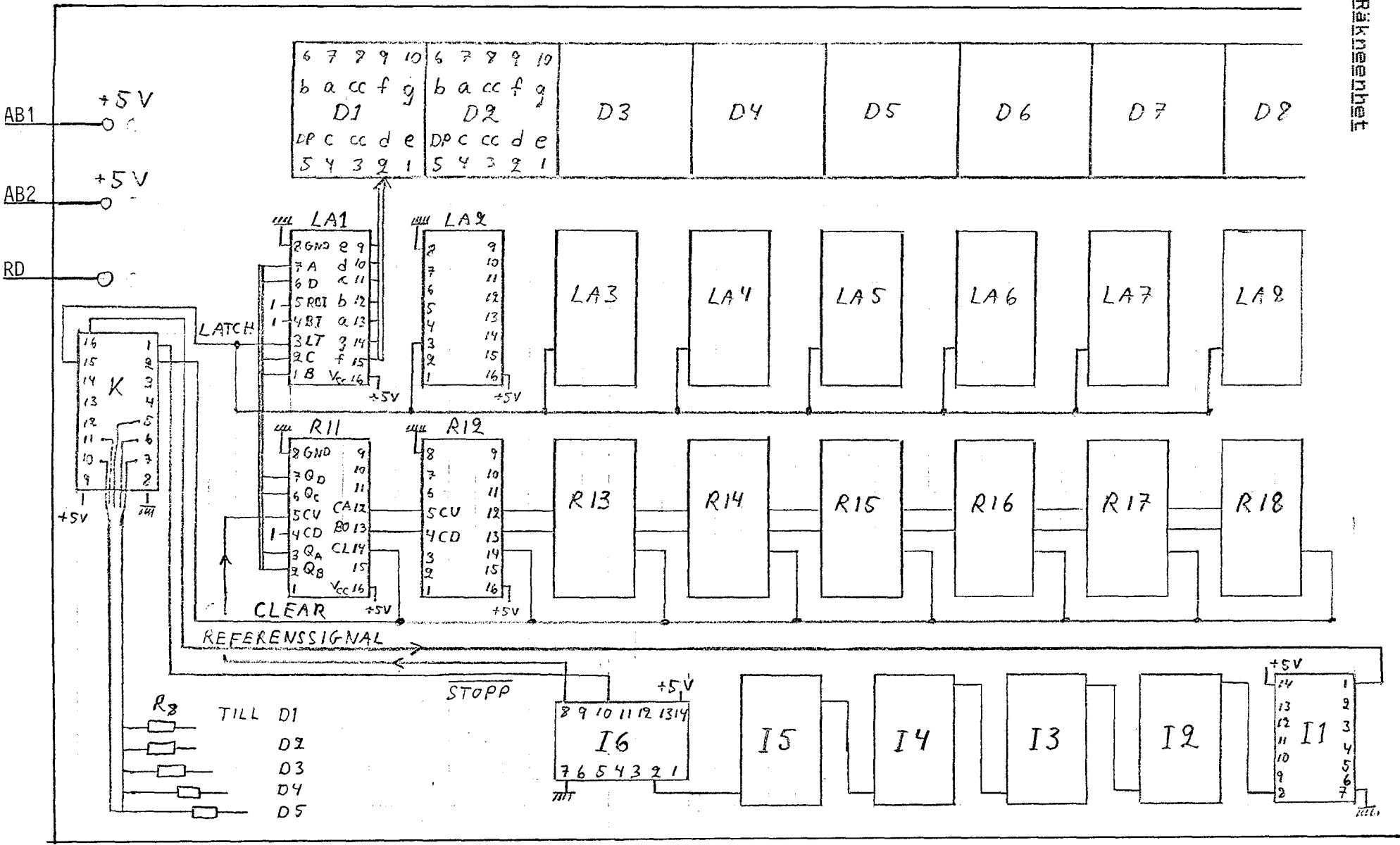
Komponenter

D	Kapacitansdiod	BB212
---	----------------	-------

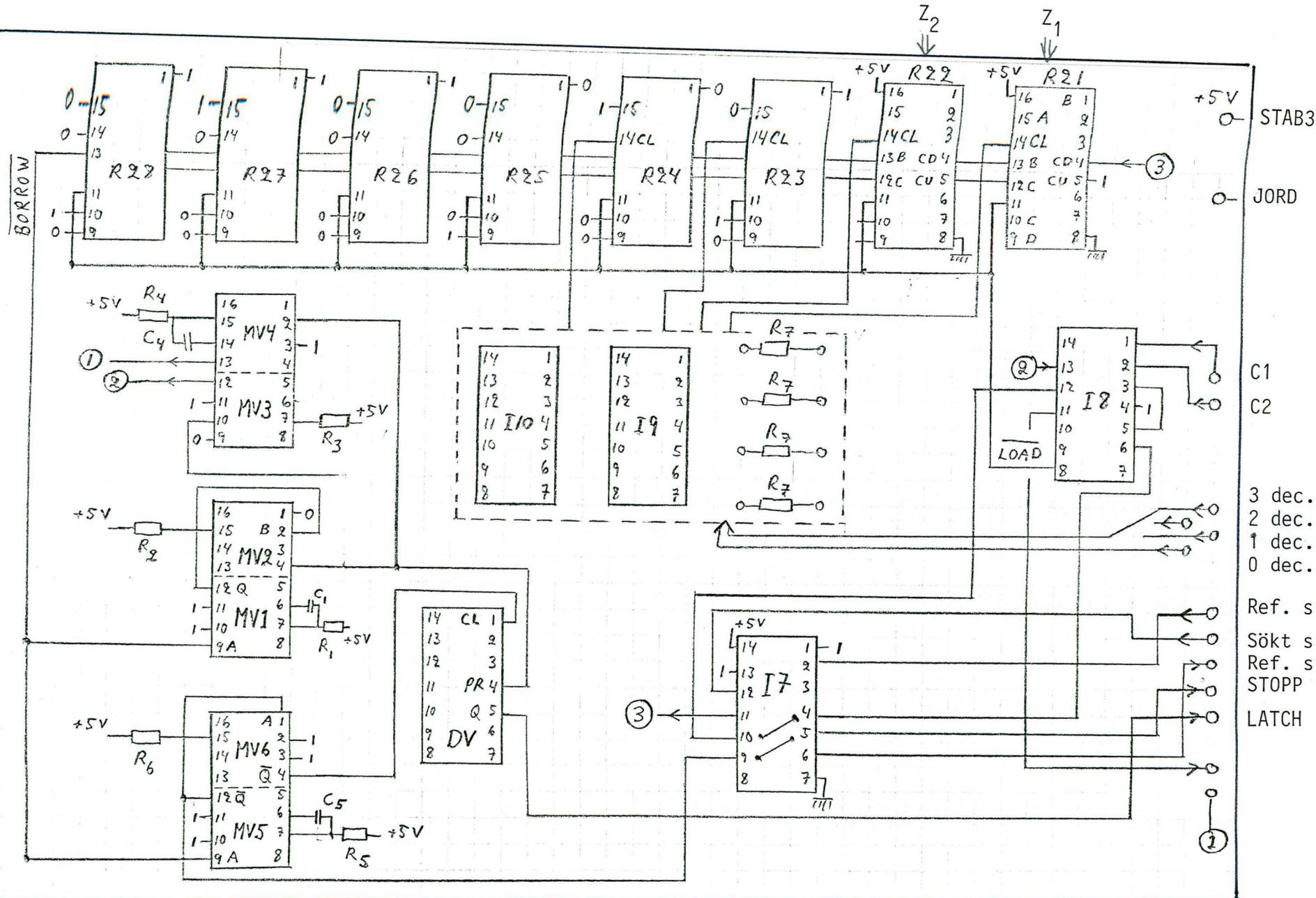
Appendix 4

Kommentar

Potentiometern P bestämmer backspänningen över D.
Kapacitansen är proportionell mot backspänningen.



Figur 21. Kopplingschema för kort 1, sett från virsidan.



Figur 22. Kopplingschema för kort 2, sett från virsidan.

Appendix 5.

Komponenter

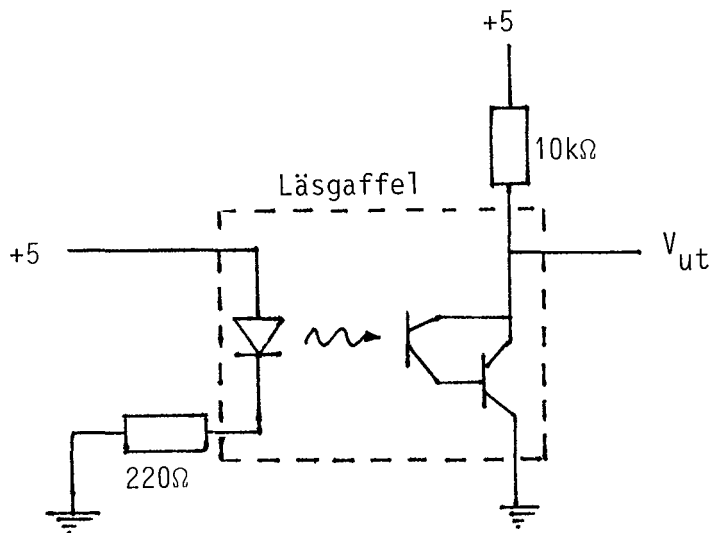
Beteckningar enligt figur 10, 21 och 23.

D1-D8	Display	FND 500
LA1-LA8	Avkodare,latch,driver	F 9368 PC
R11-R18	RAKNARE 1	74192N
I1-I6	FÖRDRÖJNING + G13	7400N
K	Kopplingssockel för REF SIGN.,STOPP, LATCH, CLEAR samt ANTAL DEC.	
R8	Skyddmotstånd till decimalpunkten på D1-D5.	560 Ω
R21-R28	RAKNARE 2	74192N
MV1-MV6	Mono-vippor	74123N
DV	D-vippor	7474N
I7	G1,G2	
I8	G5,G6	
I9,I10	G7-G12	
R1	Motstånd	27 kΩ
R2	Motstånd	15 kΩ
R3	Motstånd	15 kΩ
R4	Motstånd	4.7 MΩ
R5	Motstånd	10 kΩ
R6	Motstånd	15 kΩ
R7	Motstånd	2 kΩ
C1	Kapacitans	1 nF
C2	Kapacitans	1 uF
C3	Kapacitans	10 nF

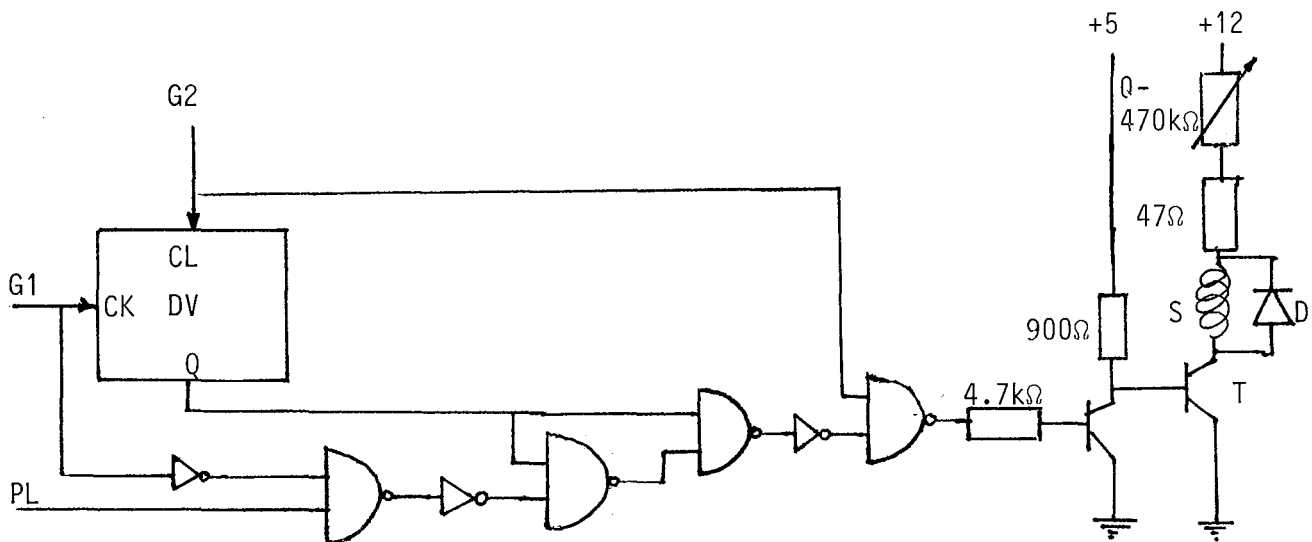
Appendix 6.

Stötanordning

Vagnens läge registreras med läsgafflar. Om vagnen bryter ljuset mellan lysdioden och fototransistorn blir $V_{ut} = 1V$, annars är $V_{ut} = 0V$.



Figur 23. Läsgafflarnas kopplingsschema och inkoppling.



Figur 24. Stötenheternas kopplingsschema.

Appendix 6.

Komponenter

G1,G2	Läsgafflar	PS 4001 (Nippon El. Co.)
DV	D-vippa	7474
T1	Transistor	2N2369
T2	Effekttransistor	2N3055
D	Skyddsdiöd	1N4148

Kommentar

Då vagnen glider in mot banans ändläge sker följande:

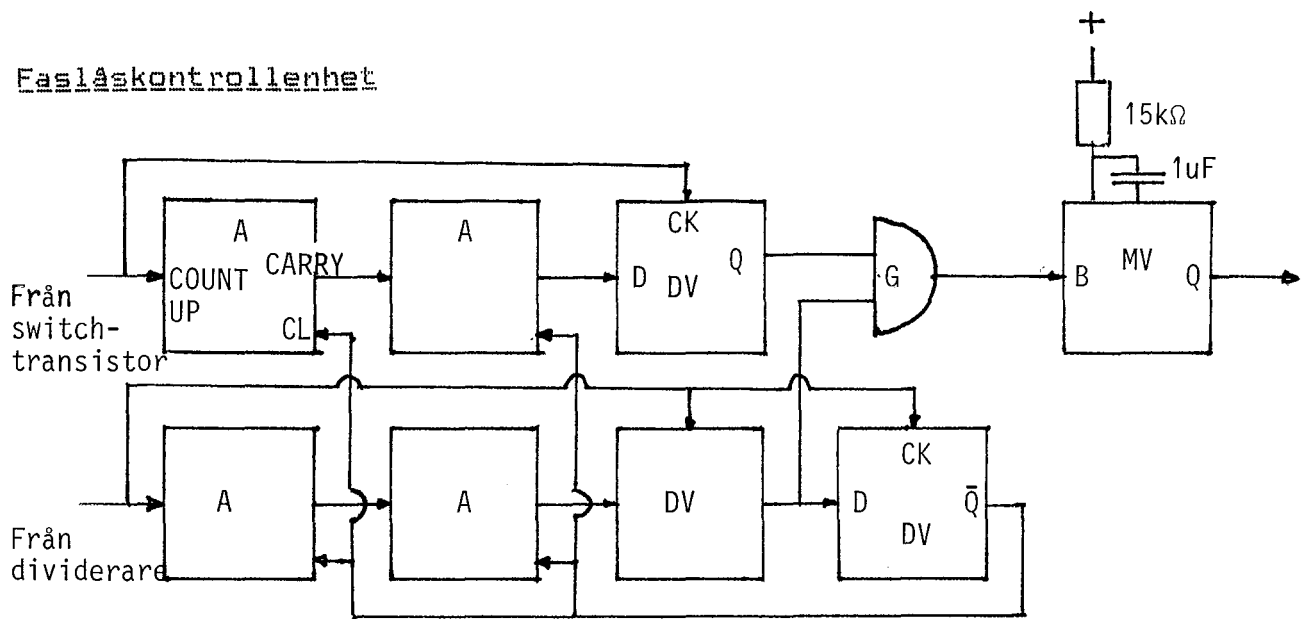
In i G2 Inget sker.

In i G1 Stöten startar, signalen från fasläskontroll-enheten, PL, kopplas bort.

Ut ur G1 PL kopplas in. Då PL går hög avbryts stöten.

Ut ur G2 Om PL av någon anledning inte gått hög avbryts stöten här.

Appendix 7

Faslåskontrollenhet

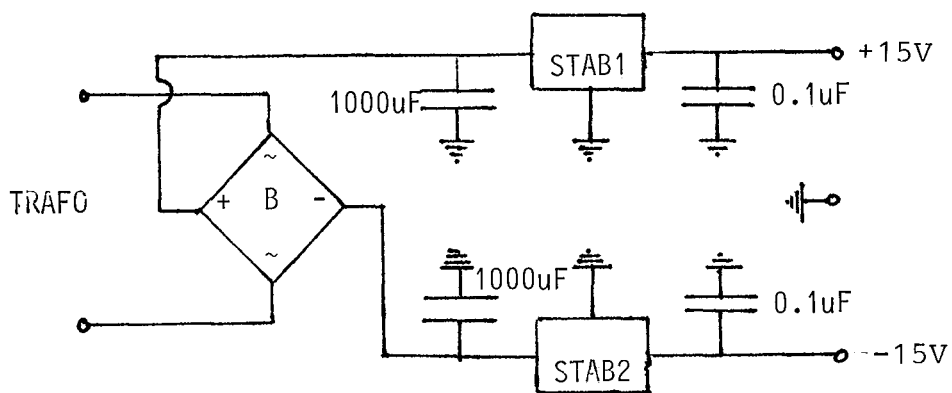
Figur 25. Kopplingsschema för en kanal av faslåskontrollenheten.

Komponenter

A	Tioräknare	74192
DV	D-vippor	7474
G	AND-grind	7408
MV	Monovippa	74123

Appendix 8

Fransdetektorernas spänningsaggregat

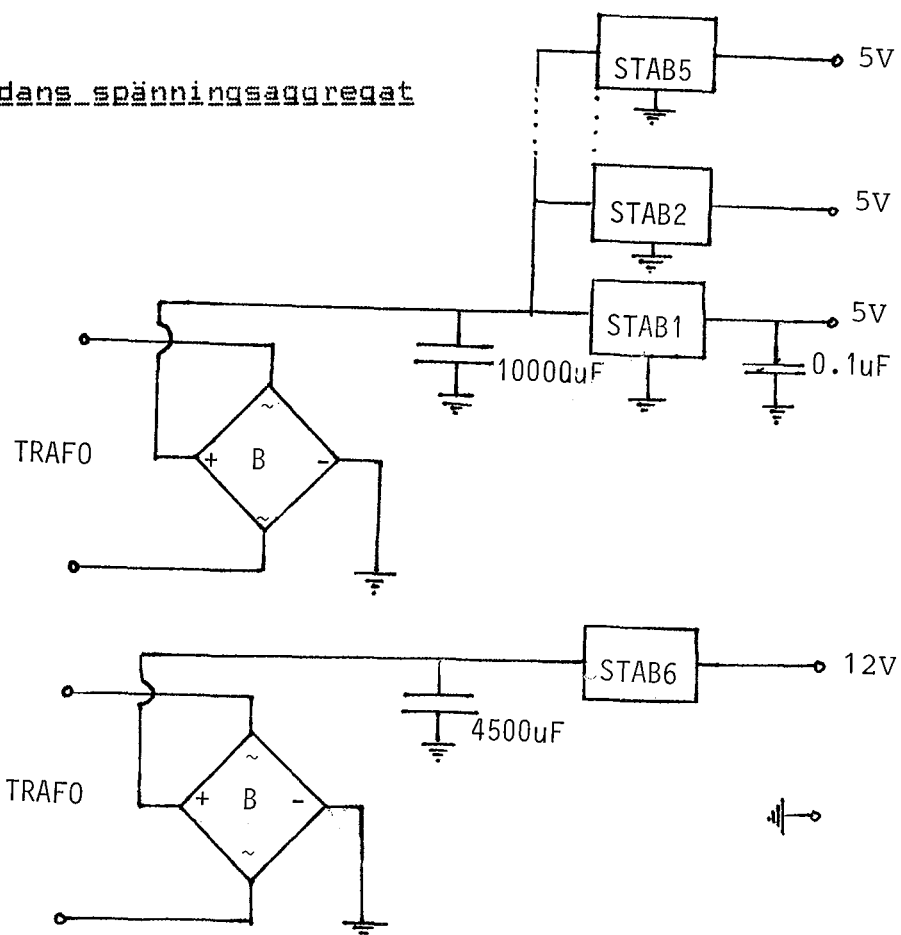


Figur 26. Spänningsaggregat till fransdetektorerna.

Komponenter

STAB1	Spänningsstabilisator	7815
STAB2		7915
B	Likriktarbrygga	
TRAFÖ	Transformator	±15V/5VA

Räknelådans spänningsaggregat



Figur 27. Spänningsaggregat till räknelådan.

Appendix 8

Komponenter

STAB1-5	Spänningsstabilisatorer	7805
STAB6	Spänningsstabilisator	7812
B	Likriktarbrygga	
TRAF0	Transformator	15V/1.5A 7.5V/5A

Appendix 9

Vaglängdskorrelationsprogram

```

1*      REAL LAMRNTP,LAMSNTP,LAMRVAC,LAMSVAC,MODKORR
2*      SIGMA(V)=(10000./V)**2.
3*      EDLEN(X)=(3472.8+2940*10./((148.-SIGMA(X))+25341./((41.-SIGMA(X))))
4*      I*1.7-8+1.
5*      G(Y)=(1.342-0.0157*Y)*1.E-6
6*      BSFAK(Z,I)=(Z*(1.+2*AF(D))*(1.+10./273.15))/(769.*(1+769.*
7*      12(15))*(1.+1./273.15))
8*      OPEN(UNIT=9,FILE='L-P',ACCESS='W')
9*      WRITE(1,*)'VALJ VAGLANGDSOMRADE. ANVAND FORMATET FRÅN/TILL/STREGLAN
10*     1SD.'
11*      WRITE(1,*)'FYRSIFFRIGA HELLTALSANGSTROM I VARJE ANGIVELSE/TACK.'
12*      WRITE(1,*)
13*      READ(1,17) L1,L2,L3
14*      WRITE(1,*)'VALJ TEMPERATUROMRÅDE.SAMMA FORMAT.TVACIFFRIGA HELLTALS
15*     1ELSIUS.'
16*      WRITE(1,*)
17*      READ(1,18) I1,I2,I3
18*      WRITE(1,*)'VALJ TRYCKOMRÅDE.SAMMA FORMAT.TRESIFFRIGA HELLTALSTERR.'
19*      WRITE(1,*)
20*      READ(1,19) J1,J2,J3
21*      WRITE(1,*)'VILL DU HA UTSKRIFT PÅ TERMINAL (SVARA 1) ELLER PÅ RADD
22*     1KRIVARE (SVARA 6)?'
23*      WRITE(1,*)
24*      READ(1,20) I
25*      MODKORR=0.00371
26*      LAMRVAC=6329.2133
27*      QLAMRVA=LAMRVAC-MODKORR
28*      LAMRNTP=6328.1639-MODKORR
29*      BRYRNTP=EDLEN(QLAMRVA)
30*      DO 1 ITEMP=I1,I2,I3
31*      WRITE(I,12) ITEMP
32*      WRITE(I,13)
33*      WRITE(I,14)
34*      DO 2 ITRYCK=J1,J2,J3
35*      WRITE(I,15) ITRYCK
36*      DO 3 LAMB AVL=L1,L2,L3
37*      QLAMB=LAMB AVL
38*      ITRYCK=ITRYCK
39*      QTEMP=ITEMP
40*      BRYSNTP=EDLEN(QLAMB)
41*      A=BSFAK(QTRYCK,QTEMP)
42*      BRYRTP=(BRYRNTP-1.)*A+1.
43*      BRYSTP=(BRYSNTP-1.)*A+1.
44*      LAMSNTP=QLAMB*BRYRNTP*BRYSTP/(BRYSNTP*BRYRTP)
45*      LAMSVAC=BRYSNTP*LAMSNTP
46*      WRITE(I,16) QLANH,LAMSNTP,LAMSVAC
47*      3 CONTINUE
48*      2 CONTINUE
49*      1 CONTINUE
50*      12 FORMAT(1H0,11HTEMPERATUR: ,I2,2H C)
51*      13 FORMAT(1H0,25X,40H*AVL VAGLANGD*NTP VAGLANGD*VAC VAGLANGD*)
52*      14 FORMAT(1H ,25X,40H***** )
53*      15 FORMAT(1H ,7X,6HTRYCK: ,I3,5H Torr,2X,1H*,3(12X,1H*))
54*      16 FORMAT(1H ,25X,1H*,3(2X,F9.4,1X,1H*))
55*      17 FORMAT(3(I4,1X))
56*      18 FORMAT(3(I7,1X))
57*      19 FORMAT(3(I3,1X))
58*      20 FORMAT(I1)
59*      21 FORMAT(1H ,4I5)

```