

# Frekwentiestabiliteit van gestabiliseerde helium-neon lasers

**Citation for published version (APA):**

Schellekens, P. H. J. (1978). *Frekwentiestabiliteit van gestabiliseerde helium-neon lasers*. (TH Eindhoven. Afd. Werktuigbouwkunde, Laboratorium voor mechanische technologie en werkplaatstechniek : WT rapporten; Vol. WT0443). Technische Hogeschool Eindhoven.

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/1978

**Document Version:**

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

**Please check the document version of this publication:**

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

**General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.tue.nl/taverne](http://www.tue.nl/taverne)

**Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

ARK  
01  
WPA

WT 0443

th e

**Eindhoven University  
of  
Technology**

Department of Mechanical Engineering

FREKWENTIESTABILITEIT VAN  
GESTABILISEERDE HELIUM - NEON LASERS.

door :

P.H.J. Schellekens

W.T. Rapport Nr. PT 0443



**Division of Production Technology**

Eindhoven  
Netherlands

## FREKWENTIESTABILITEIT VAN GESTABILISEERDE HELIUM-NEON LASERS

P.H.J. Schellekens

Laboratorium voor Lengtemeting, Technische Hogeschool Eindhoven

### Samenvatting

In dit artikel wordt het gedrag van frekwentiegestabiliseerde He-Ne lasers behandeld. Na een inleiding over de opbouw van deze lasers wordt aandacht geschonken aan de verschillende technieken die gebruikt worden om de frekwentie van dit type laser te stabiliseren. Hierna wordt aangegeven hoe de frekwentiestabiliteit kan worden gemeten en wat de resultaten zijn voor een aantal van de beschreven lasertypen. Tot slot worden de toepassingsgebieden aangegeven.

### 1. Inleiding

Hoewel de meeste lezers ongetwijfeld bekend zijn met de He-Ne laser zal hier de opbouw nog eens in het kort worden aangegeven. De laser is op te splitsen in een gasontladingssysteem dat invallende straling kan versterken en een spiegelsysteem dat voor laserwerking zorg draagt en mede de frekwentie van de straling bepaald die de laser uitzendt. De gasontlading wordt bedreven in een nauwe buis met een binnendiameter van 1 - 2 mm. De elektroden, wolfram voor de anode en een aluminium cilinder als kathode, zijn in met de nauwe buis verbonden wijdere gedeelten aangebracht. De versterking van straling - gestimuleerde emissie - wordt verzorgd door de neon atomen die in een geschikte energietoestand zijn gebracht via energie-uitwisseling met de helium-atomen. De drukverhouding He : Ne bedraagt ongeveer 7 : 1 bij een totaal druk van 200 tot 500 Pa afhankelijk van de binnendiameter van de gasontladingsbuis. Plaatst men nu spiegels met zodanige eigenschappen (kromming en reflectie) om de gasontlading dat straling na een rondgang in de laser in zichzelf terugkeert en daarbij een netto versterking 1 ondergaat dan zal laserwerking optreden. Hieruit volgt dat in het stationnaire geval de versterking gelijk is aan de totale verliezen. Voor een goed gedimensioneerde He-Ne laser [1]\* is het mogelijk in het zichtbare gebied ( $\lambda = 0,6 \mu\text{m}$ ) over een frekwentiegebied van 1500 MHz aan deze voorwaarden te voldoen.

---

\*) [1]: literatuurverwijzing.

Naast het zichtbare gebied is laserwerking in het infrarood ( $\lambda = 1,15 \mu\text{m}$  en  $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$ ) mogelijk. De gasontlading kan tussen de laserspiegels zelf worden opgesloten of tussen kwarts vensters geplaatst onder de brewsterhoek. In dit laatste geval treedt lineaire polarisatie van de straling op daar slechts in één polarisatie-richting de verliezen t.g.v. reflectie voldoende klein zijn. Gewoonlijk wordt een van de laserspiegels gebruikt voor uitkoppeling van straling terwijl de andere een zo hoog mogelijke reflectie heeft. De figuren 1a en 1b geven de hier beschreven typen He-Ne lasers schematisch weer.

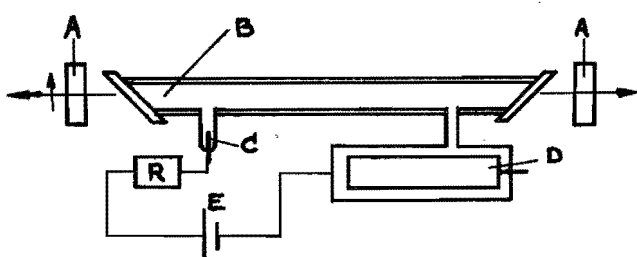


Fig. 1a. He-Ne laser met brewstervensters.

A : laserspiegels; B : gasontladingsbuis met brewstervensters; C : anode; D : kathode;  
E : spanningsbron; R : serieweerstand.

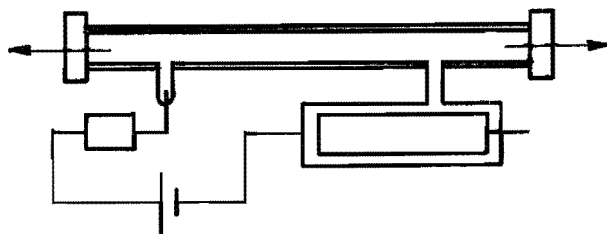


Fig. 1b. He-Ne laser met laserspiegels direkt op de gasontlading.

## 2. De frekwentiebepalende grootheden in de He-Ne laser

De relatie tussen de laserfrequentie en de andere grootheden in de laser kunnen uit het hierna volgende model worden afgeleid; de invloed van axiale frequenties en spiegelkrommingen zijn verwaarloosd.

We veronderstellen dat in de He-Ne laser een staande golf optreedt waarbij voldaan is aan

$$L = k \frac{\lambda}{2} \quad (a)$$

Hierbij is L de afstand tussen de laserspiegels,  $\lambda$  de golflengte van de laserstraling en k een (groot) geheel getal.

Met de relatie  $\lambda = \frac{c}{n\nu}$  (b) volgt nu door substitutie:

$$\nu_L = \frac{kC}{2nL} \quad (c)$$

Hierin is  $\nu_L$  de laserfrequentie, C de lichtsnelheid en n de brekingsindex. Uit (c) volgt dat meerdere frequenties tegelijkertijd kunnen optreden als voldaan is aan

$$\frac{C}{2nL} < \Delta\nu_{ne} \quad (d)$$

$\Delta\nu_{ne}$  is het frequentiegebied waarin laserwerking kan optreden; dit bedraagt ongeveer 1500 MHz voor de He-Ne laser. Eén frequentie treedt op als  $\frac{C}{2nL} > \Delta\nu_{ne}$  waaruit met  $n \approx 1$  en  $C = 3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$  volgt dat  $L < 0,1 \text{ m!}$  De meest bekende He-Ne lasers zullen dus meerdere frequenties tegelijkertijd uitzenden. Wordt de laser zo gedimensioneerd dat deze straling van één frequentie uitzendt dan kan deze frequentie "ergens" in het gebied  $\Delta\nu_{ne}$  komen te liggen afhankelijk van de instelling van L.

Bij een laserfrequentie van  $5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$  is de relatieve onzekerheid derhalve

$$\frac{\Delta\nu_{ne}}{\nu_L} = \frac{1,5 \cdot 10^9}{5 \cdot 10^{14}} = 3 \cdot 10^{-6} \quad (e)$$

Hieruit kan men konkluderen dat het frequentiegedrag van de He-Ne laser weinig beter is dan dat van konventionele goede lichtbronnen. Er zijn daarom de laatste 15 jaar steeds nieuwe ideeën aangedragen om de frequentiestabiliteit van deze lasers te verbeteren. In de nu volgende paragrafen zullen de stabilisatiemogelijkheden van de He-Ne laser worden besproken.

### 3. Frekwentiestabilisatie op referenties verbonden met de neonlijn

#### 3.1. Eén frekwentielaser met stabilisatie op de top van de neonlijn

Zoals uit (c) volgt is de laserfrequentie  $\nu_L$  te veranderen door de laserlengte  $L$  te verstemmen.

Registreert men tijdens het verstemmen de intensiteit van een één-frekventielaser ( $L \leq 0,1$  m) a.f.v. de frequentie dan blijkt deze, mits geen verzadigingseffekten optreden, een gaussisch verloop te hebben met een maximum  $\nu_L = \nu_{ne}$ .  $\nu_{ne}$  is de frequentie behorende bij het maximum van de neonspektraallijn.

Door  $\nu_L$  via  $L$  te sturen kan men de laser zodanig afregelen dat steeds is voldaan aan  $\nu_L = \nu_{ne}$ .

Het sturen van  $L$  kan worden uitgevoerd door een van de laserspiegels op een dunwandige cilinder van piezo-elektrisch materiaal (PZT) te monteren en via verandering van de lengte van de cilinder  $L$  te veranderen. De lengteverandering van de cilinder is evenredig met de aangelegde spanning over de cilinderwanden. Legt men een sinusvormige spanning  $V_0 \sin 2\pi\nu_M t$  aan dan zal de laserfrequentie gemoduleerd worden volgens:

$$\nu_L(t) = \nu_L(0) + \Delta\nu_L \sin 2\pi\nu_M t \quad (f)$$

Hierin is  $\Delta\nu_L$  het frekwentiegebied waarover gemoduleerd wordt ( $\Delta\nu_L = CV_0$ ) en  $\nu_L(0)$  de via  $L$  ingestelde laserfrequentie.  $\nu_L(0)$  is verder te justeren door nog een instelbare gelijkspanning aan de PZT toe te voeren.

Stelt men nu hiermee  $\nu_L(0)$  zo in dat  $\nu_L(0) > \nu_{ne}$  dan volgt dat de intensiteitsvariatië  $\nu_I$  van de laser t.g.v.  $\nu_M$  dezelfde frequentie hebben maar in tegenfase zijn en indien  $\nu_L(0) < \nu_{ne}$  eveneens gelijke frequentie maar in fase. Indien  $\nu_L(0) = \nu_{ne}$  dan geldt  $\nu_I = 2\nu_M$ .

Fig. 2 geeft de laatste twee gevallen weer.

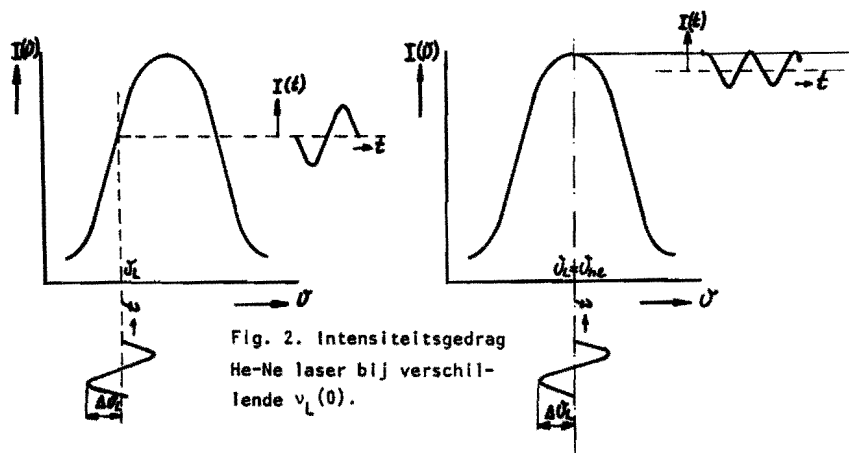


Fig. 2. Intensiteitsgedrag He-Ne laser bij verschillende  $\nu_L(0)$ .

Er is elektronische apparatuur (lock-in versterker) die bij detektie van  $I(\nu)$ , indien  $\nu_L = \nu_M$ , een gelijkspanning met zodanige polariteit afgeeft dat deze na versterking kan worden teruggekoppeld naar de PZT om  $\nu_L(0)$  bij te regelen tot  $\nu_L(o) \approx \nu_{ne}$ . Fig. 3 geeft een mogelijk stabilisatieschema waarbij gebruik is gemaakt van een lock-in versterker. N.B.: Stabilisatie op de top van het neon lijnprofiel kan worden verstoord door verzadigingseffekten in de laserversterking rond  $\nu = \nu_{ne}$ , waardoor  $\nu_{ne}$  meestal slecht gedefinieerd is.

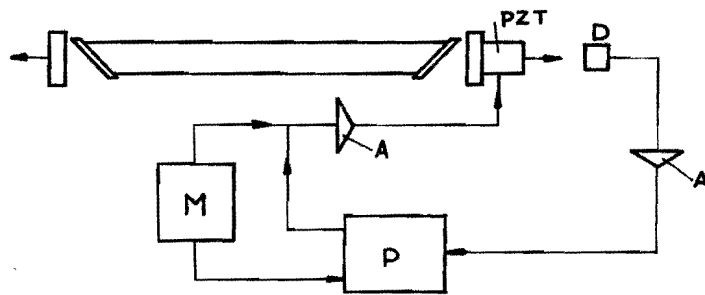
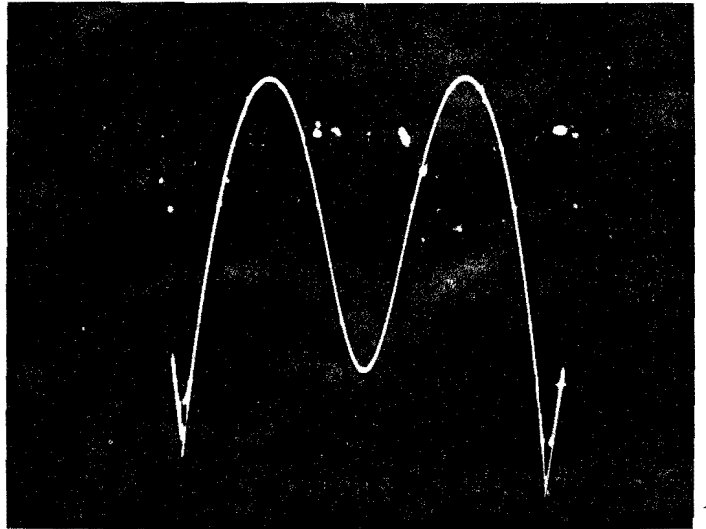


Fig. 3. Stabilisatieschema He-Ne laser.

D : detektor; A : versterkers; M : frekwentiegiver voor  $\nu_M$ ; P : lock-in versterker.

### 3.2. Stabilisatie via verzadigde emissie in één-frekventielasers

Zoals reeds opgemerkt kan in goed gedimensioneerde één-frekventielasers verzadiging van emissie optreden voor  $\nu_L = \nu_{ne}$ . Deze effecten zijn beschreven door W.E Lamb [II] en worden veroorzaakt door interactie van laserstraling met aangeslagen neonatomen met axiale snelheid nul. Meet men in deze situatie de laserintensiteit  $I(\nu_L)$  dan treedt voor  $\nu_L = \nu_{ne}$  een "deuk" op in het intensiteitsprofiel, de zg. "Lamb-dip". Experimenten, in het Lab. voor Lengtemeting THE, aan een zelfgebouwde laser [III] van dit type hebben uitgewezen dat de afmetingen van de dip bepaald worden door de mengverhouding, druk en stroomdichtheid in de He-Ne laser. Fig. 4 geeft een polaroidopname vanaf een oscilloscope van het intensiteitsverloop van dit type laser. Het stabilisatieschema voor dit type laser kan gelijk zijn aan het voorgaande waarbij hier op het minimum van de lamb-dip wordt afgeregeld [III].



### 3.3. Stabilisatie m.b.v. een twee-frekventielaser

Dimensioneert men een He-Ne laser zodanig dat voldaan is aan:

$$\frac{c}{2nL} < \Delta\nu_{ne} < \frac{c}{nL}$$

dan treden bij juiste instelling van L twee laserfrequenties tegelijkertijd op met frequentieverschil  $\Delta\nu = \frac{c}{2nL}$ . Wanneer de laserspiegels direkt op de gasontlading worden gemonteerd (Fig. 1b) dan treedt bij dit type laser orthogonale lineaire polarisatie op van de twee laserfrequenties veroorzaakt door anisotropie-effecten in de spiegeloppervlakken.

Via polarisatoren zijn deze frequenties te scheiden en uit meting van de bijbehorende intensiteiten  $I(\nu_1)$ ,  $I(\nu_2)$  kan men een regelsignaal  $V = c(I(\nu_1) - I(\nu_2))$  verkrijgen dat L zodanig stuurt dat  $I(\nu_1) = I(\nu_2)$ . Fig. 5 geeft het stabilisatieprincipe en Fig. 6 een mogelijk stabilisatieschema [IV].

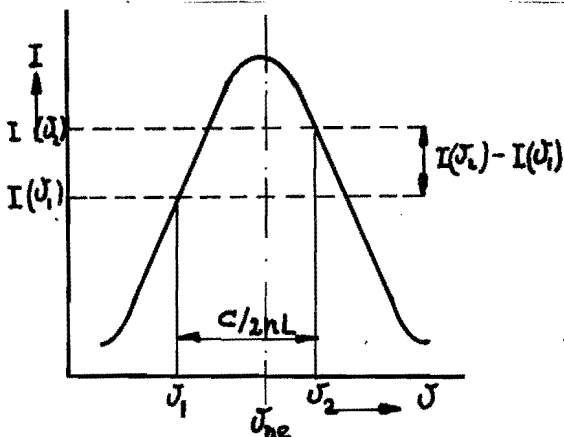
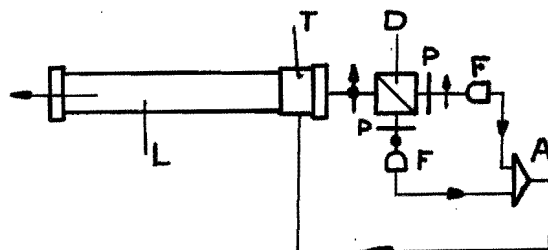


Fig. 5. Stabilisatieprincipe twee-frekventielaser.



L : laser; T : spiegeltranslator;  
 D : deelprisma; P : polarisatoren;  
 F : fotodetektor; A : verschilvertersterker;  $\updownarrow$  : orthogonale lin. polarisatie

Fig. 6. Stabilisatieschema twee-frekventielaser.



### 3.4. Frekwentiestabilisatie m.b.v. zeemansplitsing van de neonlijn

Brengt men de He-Ne laser in een axiaal magneetveld dan zal de neonlijn worden opgesplitst in twee lijnen die, afhankelijk van de sterkte van het magneetveld, een frekwentiegebied  $\Delta(\nu_{ne})$  uit elkaar liggen. De stralingen behorende bij deze neonlijnen zijn tegengesteld cirkulair gepolariseerd. Stelt men nu, via justage van L, de laserfrekwentie  $\nu_L$  in op een waarde nabij  $\nu_{ne}$  dan oscilleert de laser t.g.v. het "pushing-effekt" op twee frekwenties  $\nu_L \pm \Delta\nu_L$  waarbij  $\Delta\nu_L$  afhangt van  $\Delta(\nu_{ne})$ . Een veel gebruikte waarde is  $\Delta\nu_L \approx 1$  MHz. De stralingen  $\nu_L \pm \Delta\nu_L$  zijn evenals de neonlijnen tegengesteld cirkulair gepolariseerd zodat door gebruik van een  $\frac{\lambda}{4}$  plaatje deze te scheiden zijn in twee orthogonaal lineair gepolariseerde stralingen. Frekwentiestabilisatie is nu weer mogelijk met als criterium  $I(\nu_L + \Delta\nu_L) = I(\nu_L - \Delta\nu_L)$ . Het stabilisatieschema kan gelijk zijn aan het onder 3.3 beschrevene [V]. Fig. 7 schetst het stabilisatieprincipe.

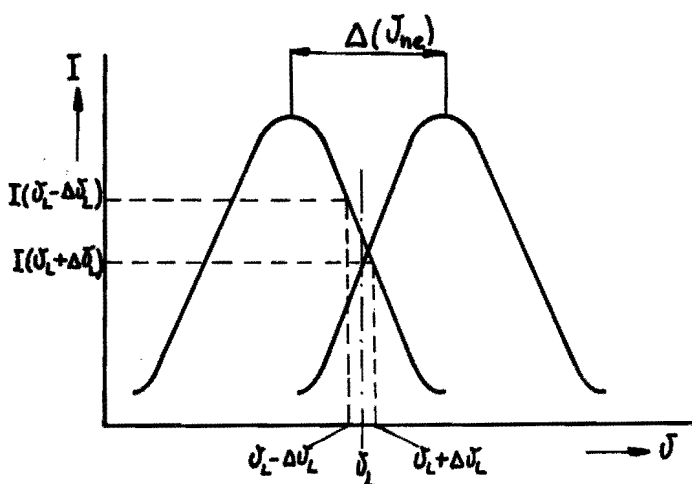


Fig. 7. Stabilisatieprincipe via splitsing van neonlijnen.

Het spreekt vanzelf dat het hierboven beschreven stabilisatieprincipe alleen kan worden toegepast in een laser die weer voldoet  $\frac{c}{2nL} > \Delta\nu_{ne}$  daar anders meerdere frekwenties optreden die optisch niet te scheiden zijn.

## 4. Frekwentiestabilisatie via externe referenties

### 4.1. Inleiding

De in paragraaf 2 beschreven stabilisatiemethoden zijn allen gekoppeld aan de neonlijn en dus onderhavig aan frekwentiefloktuaties hiervan.

Verschillende auteurs [VI] hebben deze fluktuaties beschreven en rapporteren als belangrijkste invloed een drukafhankelijke verschuiving van  $0,2 \text{ MHz Pa}^{-1}$ . Daar drukveranderingen van  $100 \text{ Pa}$  in deze lasers geen zeldzaamheid kunnen deze verschuivingen dus aanzienlijk zijn ( $10^{-8} < \frac{\Delta\nu}{\nu} < 10^{-7}$ ).

Er is daarom gezocht naar externe referenties die een betere frequentiestabiliteit hebben.

Uit dit onderzoek zijn twee belangrijke typen gestabiliseerde He-Ne lasers naar voren gekomen met excellent stabiliteitsgedrag. Allereerst werd in 1969 een He-Ne laser geïntroduceerd die gestabiliseerd werd m.b.v. verzadigde absorptie in methaandamp en werkende op een golflengte van  $3,39 \mu\text{m}$ . In 1970 werd een He-Ne laser beschreven gestabiliseerd op verzadigde absorptie in jodiumdamp en werkende in het zichtbare gebied ( $\lambda = 0,63 \mu\text{m}$ ). Hoewel de methaangestabiliseerde laser een iets betere frequentiestabiliteit vertoont is de jodium gestabiliseerde laser favoriet omdat deze in "gewone" optische opstellingen kan worden gebruikt.

Daar de toegepaste stabilisatietechniek gelijk is zal hier in het kort de jodiumgestabiliseerde He-Ne laser worden besproken zoals deze in het Lab. voor Lengtemeting THE is gebouwd [VII].

#### 4.2. De He-Ne-<sup>127</sup>J<sub>2</sub>-gestabiliseerde laser

De laser is van het brewsterverstertype waarbij behalve de gasontladingsbuis ook een absorptiebuis tussen de laserspiegels is gemonteerd. Een van de spiegels is ook hier weer bevestigd op een PZT waarmee L gemoduleerd en gestuurd kan worden.

In de absorptiecel bevindt zich gezuiverd jodium (<sup>127</sup>J<sub>2</sub>) in vaste vorm met damp waardoor de toestand van het jodium vastligt als functie van de temperatuur  $P_{J_2} = f(T)$ . Door nu voldoende intense straling van een geschikte frequentie door de jodiumdamp te sturen is het, binnen de laserspiegels, mogelijk de absorptie in de jodiumdamp te verzadigen. In het uitgangssignaal van de laser manifesteert zich dit verschijnsel als een toename in de intensiteit met een maximum samenvallend met de (resonante) absorptiefrekwenties van de jodiummolekulen.

Daar het mechanisme van de verzadiging analoog is aan het onder 3.2 beschrevene wordt de hier optredende "dip" wel de "inverse Lamb-dip" genoemd. Er zijn bij dit type laser totaal 10 frequenties binnen het laserfrequentiegebied  $\Delta\nu_{ne}$  waar verzadigde absorptie optreedt.



Fig. 8a. geeft het verloop  $I(\nu_L)$  in het gebied waar verzadigde absorptie waargenomen is terwijl Fig. 8b de lijnvorm van een van deze inverse Lamb-dips in detail toont. De absorptiefrekventies vertonen evenals het neonlijnprefiel een drukafhankelijkheid doch deze is veel geringer, nl.  $\Delta\nu(P) \approx 6 \text{ KHz Pa}^{-1}$ . Omdat rond  $T = 300 \text{ }^\circ\text{K}$  voor de dampdruk-temperatuurrelatie van het jodium geldt  $\frac{dP}{dT} = 2,5 \text{ Pa K}^{-1}$  volgt hieruit dat bij een temperatuurstabilisatie van  $0,3 \text{ K}$  een frekwentiestabiliteit wordt bereikt van  $\frac{\Delta\nu}{\nu}(P) \approx 10^{-11}$ . Slaagt men erin de He-Ne laser voldoende nauwkeurig vast te zetten op de verzadigde absorptielijn dan is dus een hoge frekwentiestabiliteit te verwachten. De stabilisatiemethode is vergelijkbaar met deze beschreven onder 3.1 en 3.2; wel zijn een aantal verfijningen aangebracht i.v.m. de afmetingen van het signaal.

Fig. 9 geeft het stabilisatieschema van dit type He-Ne laser.

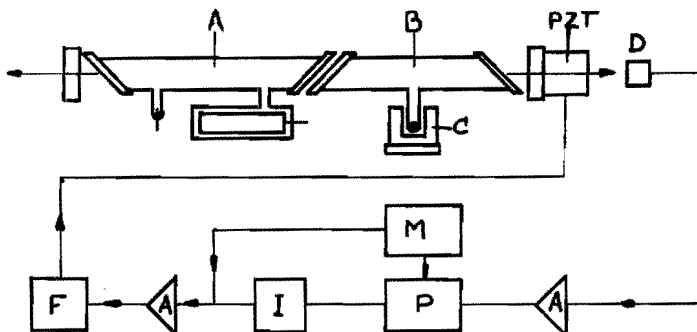


Fig. 9. Stabilisatieschema He-Ne- $^{127}\text{J}_2$  laser.

A : gasontladingsbuis; B : absorptiebuis  $^{127}\text{J}_2$ ; C : temperatuurcontrole  $^{127}\text{J}_2$ ; D : fotodetektor; M : modulator voor PZT; P : lock-in versterker; A : versterkers; I : integrator; F : filter.

Wanneer het regelsysteem voldoende zorgvuldig bedreven wordt is het mogelijk onder de hier aangegeven omstandigheden een relatieve frequentiestabiliteit te bereiken van  $10^{-11}$  [VII]. Voor de methaangestabiliseerde laser zijn zelfs nog betere waarden gevonden. Het Comité Consultatif pour la Définition du Mètre (CCDM) heeft in 1973 [VIII] een voorlopige waarde voor de golflengte van een van de absorptielijnen van de  $J_2$  laser vastgelegd waarmee het nu mogelijk is ook de golflengte van andere gestabiliseerde lasers te bepalen (zie paragraaf 5).

## 5. Bepaling van de frequentiestabiliteit van He-Ne lasers

### 5.1. Frekwentiemeting

Vanwege de hoge frequentie van de straling is het niet mogelijk de frequentiestabiliteit van de hier beschreven lasers rechtstreeks te meten. Heeft men twee onafhankelijk gestabiliseerde lasers met frequentie  $\nu_1$  en  $\nu_2$  dan kan door mengen van de straling uit het gedrag van de hierbij ontstane verschilfrequentie  $\nu_1 - \nu_2$  worden afgeleid wat het frequentiegedrag van lasers afzonderlijk is. Wordt de straling van twee vergelijkbare lasers gemengd dan zal voor de variantie van het mengprodukt gelden

$$S_M^2 = S_1^2 + S_2^2 \approx 2 S^2$$

zodat volgt  $S = \frac{S_M}{\sqrt{2}}$ .

Zijn de stabilisatiemethoden duidelijk verschillende b.v.  $S_1 \gg S_2$  dan volgt  $S_M \approx S_1$ .

Deze situatie komt voor als men de straling van de jodiumgestabiliseerde laser mengt met een van de lasers beschreven in paragraaf 3.

De absolute frequentie van een gestabiliseerde He-Ne laser kan bepaald worden door de verschilfrequentie tussen een jodiumgestabiliseerde laser, waarvan de frequentie bij internationale afspraak vast ligt, en een andere gestabiliseerde He-Ne laser te meten.

Het mengen van laserstraling geschiedt via het op elkaar afbeelden van de bundels m.b.v. spiegels en lenzen. De samengevoegde bundels worden afgebeeld op een snelle, gevoelige fotodiode waarna het hierdoor afgegeven signaal wordt versterkt en gemeten en daarna verder verwerkt. Fig. 10 geeft schematisch het meetsysteem met informatieverwerking weer.

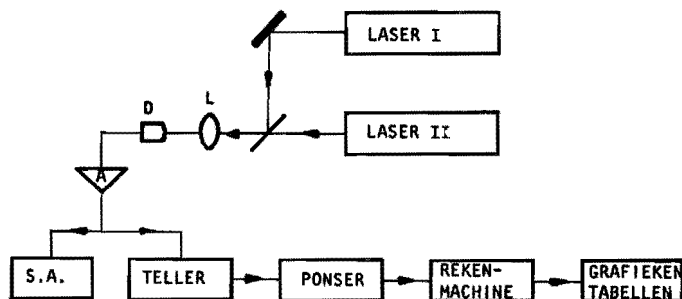


Fig. 10. Schema van opstelling voor het meten van de stabiliteit van lasers.

A : versterker; D : fotodetektor; L : lens.

### 5.2. Frekwentiestabiliteit van enige lasertypen

Met het onder 5.1 beschreven meetsysteem zijn stabiliteits- en frekwentiemetingen uitgevoerd aan jodiumgestabiliseerde lasers en tussen jodiumgestabiliseerde lasers en andere gestabiliseerde lasertypen.

Fig. 11 geeft het verloop van het frekwentieverschil tussen twee jodiumlasers. De meetwaarden zijn frekwentiefrequenties gemiddeld over 10 s.

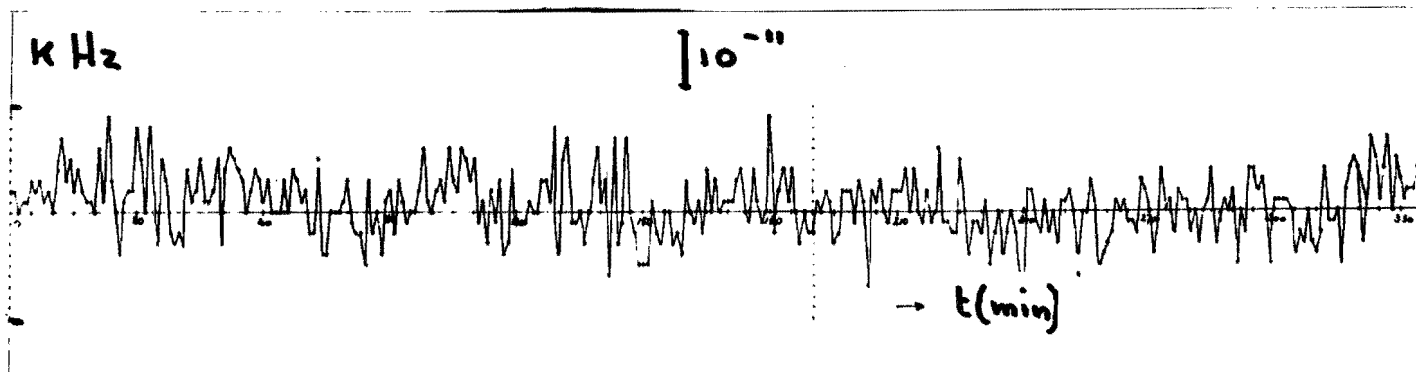


Fig. 11. Frekwentiedrag van twee  $J_2$  gestabiliseerde lasers, Lab. voor Lengtemeting THE.

Uit deze metingen blijkt dat de frekwentievariatiaties niet groter zijn dan 10 kHz. Dit komt overeen met een relatieve frekwentiestabiliteit beter dan  $2 \cdot 10^{-11}$ . Stabiliteitsmetingen met andere lasers hebben uitgewezen dat de frekwentievariatiaties hiervan veel groter zijn.

In fig. 12 is een tabel gegeven met gemiddelde frekwentievariatiaties van een aantal gestabiliseerde lasers, gemeten in het Lab. voor Lengtemeting THE.

Type gestabiliseerde He-Ne laser	Gemiddelde frequentievariatiaties (MHz)	Frekventieverschil met J <sub>2</sub> laser (MHz) (I-dip)
He-Ne- <sup>127</sup> J <sub>2</sub>	10 <sup>-2</sup>	0
Twee-frequentie laser	10	107
Lamb-dip laser	1,5	-18
Zeeman-laser	3	24

Fig. 12. Meetwaarden verschillende typen gestabiliseerde He-Ne lasers.

## 6. Conclusies

Hoewel de metingen in het Lab. voor Lengtemeting nog niet zijn afgesloten kan gesteld worden dat de jodiumgestabiliseerde lasers een geschikte bron zijn om het frequentiegedrag van andere He-Ne lasers te bestuderen. Men kan hiermee ook de absolute frequentie van de He-Ne lasers bepalen waarna met de bekende waarde van de lichtsnelheid [VIII] de golflengte in vacuüm kan worden berekend. Uit fig. 12 blijkt dat de lamb-dip stabilisatie een beter stabiliteitsgedrag oplevert dan de andere lasers hoewel de relatieve fluktuaties  $\frac{\Delta\nu}{\nu}$  voor alle lasers beneden  $10^{-7}$  blijven. Wel blijken veel grotere frequentieverschillen op te treden tussen verschillende lasers van één stabilisatietype. Zo zijn frequentieverschillen gemeten van 25 MHz tussen twee zeemanlasers terwijl zij beiden werden gebruikt in een interferometer waarin werd aangenomen dat hun frequentie gelijk was.

Samengevat kan gesteld worden dat de hier besproken lasers gebruikt kunnen worden als lichtbron in interferometers mits met bovenbeschreven methoden de golflengte is bepaald. De relatieve meetfouten t.g.v. frequentiefluktuaties zullen dan beneden  $10^{-7}$  blijven.

Literatuur

- [I] PT-rapport nr. 403, 1977 (intern THE).  
Ontwerp en konstruktie van He-Ne lasers.  
P. Schellekens.
- [II] W.E. Lamb  
Theory of an optical maser.  
Physical Review, 134 A1429-A1450, 1966.
- [III] Het stabilisatieprincipe is gebruikt in de door Spectra-  
Physics commercieel uitgebrachte laser SP-119.  
In het Lab. voor Lengtemeting THE wordt op dit moment  
gewerkt aan de bouw van een laser gebaseerd op dit principe.
- [IV] PT-rapport nr. 396,  
W.M. Sluyter.  
Stabilisatie van een He-Ne laser.  
Het principe is ook gebruikt in lasers van de firma's Soro  
en Tropel.
- [V] Dit principe is toegepast in de laser van het lasermeet-  
systeem 5526 A uitgebracht door Hewlett-Packard.
- [VI] E. Engelhard  
JOSA, vol. 61, nr. 2, 1971  
A.D. White  
Applied Physics Letters, 70, 24, 1967
- [VII] WT-rapport nr. 418, 1978.  
Frekwentiestabilisatie van He-Ne lasers met behulp van  
verzadigde absorptie in jodiumdamp.  
P. Schellekens
- [VIII] J. Terrien  
Metrologia 10, 75-77, 1974.