

19



Octrooiraad  
Nederland

11 Publikatienummer: **9101103**

12 A TERINZAGELEGGING

21 Aanvraagnummer: **9101103**

51 Int.Cl.<sup>5</sup>:  
**G01R 23/17**

22 Indieningsdatum: **25.06.91**

43 Ter inzage gelegd:  
**18.01.93 I.E. 93/02**

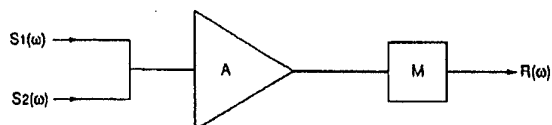
71 Aanvrager(s):  
**Koninklijke PTT Nederland N.V. te Groningen**

72 Uitvinder(s):  
**Robertus Franciscus Maria van den Brink te Leiden**

74 Gemachtigde:  
**Ir. Th.A.H.J. Smulders c.s.  
Vereenigde Octroobureaux  
Nieuwe Parklaan 97  
2587 BN 's-Gravenhage**

54 Werkwijze voor het bepalen van een ruis-spectrum van een optische ontvanger

57 Werkwijze voor het bepalen van een ruisspectrum van een optische ontvanger met een detector en een voorversterker, waarbij het uitgangssignaal van een geijkte lichtbron wordt aangeboden aan de ingang van de ontvanger en het equivalente ruisspectrum van de ontvanger wordt vergeleken met en uitgedrukt in het elektrische responsspectrum van de lichtbron. Indien de lichtbron tevoren moet worden geijkt, geschiedt dit door het elektrische responsspectrum van de lichtbron te vergelijken met en uit te drukken in het ruisspectrum van een bekende elektrische ruisbron. De werkwijze is in het bijzonder toepasbaar indien de elektrische ingang van de voorversterker niet van buiten bereikbaar is, indien de optische ingang van de ontvanger alleen via een glasvezel bereikbaar is, indien de ruisbijdrage van de ontvanger relatief groot is, indien de ontvanger zeer breedbanig is, en indien haar gevoeligheid onbekend en frequentie-afhankelijk is.



NL A 9101103

De aan dit blad gehechte afdruk van de beschrijving met conclusie(s) en eventuele tekening(en) bevat afwijkingen ten opzichte van de oorspronkelijk ingediende stukken; deze laatste kunnen bij de Octrooiraad op verzoek worden ingezien.

Titel: Werkwijze voor het bepalen van een ruis-spectrum  
van een optische ontvanger.

-----

De uitvinding heeft betrekking op een werkwijze voor het bepalen van een ruis-spectrum van een optische ontvanger van het type dat een optische detector en een daarmee gekoppelde voorversterker omvat.

5       Doorgaans is een elektrische uitgang van de optische detector gekoppeld met een ingang van een daarmee geassocieerde voorversterker om daarmee een samengestelde optische ontvanger te vormen, welke optische ontvanger een elektrisch uitgangssignaal verschaft bij een uitgang van de  
10       voorversterker. Een gebruiker van de optische ontvanger kan het elektrische uitgangssignaal daarvan, dat wil zeggen het versterkte detectorsignaal, naar wens gebruiken voor een bepaald gebruiksdoel, bijvoorbeeld het demoduleren en weergeven van een bepaalde frequentieband daarvan.

15       In het ideale geval verschaft de optische ontvanger geen elektrisch uitgangssignaal bij ontbreken van een optisch ingangssignaal, zodat, in de situatie dat wel een elektrisch uitgangssignaal wordt verschaft, dit een directe maat is voor de in het ontvangen licht aanwezige te detecteren informatie.  
20       In de praktijk kan het genoemde ideale geval echter niet gerealiseerd worden, maar verschaft de optische ontvanger ook bij ontbreken van een optisch ingangssignaal een elektrisch uitgangssignaal dat wordt aangeduid met de term "ruissignaal". Dit ruissignaal bevat in het algemeen bijdragen van alle  
25       frequenties binnen een zeer brede ruisfrequentieband.

Bij gebruik van de optische ontvanger in een willekeurige situatie wordt dus aan de uitgang altijd een elektrisch signaal afgegeven dat een combinatie is van signaal- en ruiscomponenten. Om in een dergelijke willekeurige situatie in  
30       staat te zijn een uitspraak te doen over de bijdrage van de ruiscomponenten aan het afgegeven signaal, bijvoorbeeld om in staat te zijn om in het aangeboden lichtsignaal aanwezige

9 1 0 1 1 0 3

informatie nauwkeurig te detecteren, is het gewenst nauwkeurig het ruis-spectrum van de ontvanger te kennen.

Een bekende manier om een elektrisch ruis-spectrum te meten, is een absolute meting met behulp van bijvoorbeeld een frequentie-selectieve voltmeter of een spectrum-analyser. Een nadeel daarvan is, dat de gevoeligheid van dergelijke apparaten in het algemeen afhankelijk is van de frequentie van het aangeboden signaal, en zelfs afhankelijk is van de bandbreedte van het aangeboden signaal, zodat voor een nauwkeurige meting gebruik gemaakt moet worden van zeer nauwkeurige en daarmee dure apparaten, en/of is een ingewikkelde ijk- respectievelijk calibratiehandeling door vergelijking met een bekende elektrische ruisstandaard benodigd.

Voorts is het, teneinde verschillende optische ontvangers kwantitatief met elkaar te kunnen vergelijken, gewenst om het equivalente ingangs-ruisspectrum van een optische ontvanger te kennen. Met de term "equivalent ingangs-ruisspectrum" wordt hier bedoeld het ruisspectrum van het uitgangssignaal van de voorversterker teruggerekend naar de ingang daarvan, dat wil zeggen gedeeld door de versterkingskarakteristiek van de voorversterker. Het moge duidelijk zijn, dat het werkelijk aan de uitgang van de voorversterker optredende ruisspectrum uit het equivalente ingangs-ruisspectrum berekend kan worden, door dit te vermenigvuldigen met de versterkingskarakteristiek van de voorversterker, waarbij de voorversterker dan als zijnde ideaal wordt beschouwd.

Het nut van het berekenen van het equivalente ingangs-ruisspectrum kan geïllustreerd worden met het volgende voorbeeld. Veronderstel dat twee optische versterkers, waarvan de uitgangen identieke ruisspectra leveren, met elkaar worden vergeleken. Echter, de versterkingsfactor van de ene versterker (A) is tien keer zo groot als de versterkingsfactor van de andere versterker (B). Bij ontvangst van eenzelfde ingangssignaal, dat door versterker (A) tien keer zo veel wordt versterkt als door versterker (B), is dan de signaal/ruis-verhouding van het door versterker (A) geleverde uitgangs-

9101103

signaal tien keer zo groot als de signaal/ruis-verhouding van het door versterker (B) geleverde uitgangssignaal, zodat versterker (A) beschouwd kan worden als zijnde beter dan versterker (B). Volgens de in het bovenstaande gegeven  
5 definitie van het equivalente ingangs-ruisspectrum, is het equivalente ingangs-ruisspectrum bij versterker (A) een factor tien lager dan het equivalente ingangs-ruisspectrum bij versterker (B), zodat op eenvoudige wijze door vergelijking van beide equivalente ingangs-ruisspectra blijkt, dat  
10 versterker (A) beschouwd kan worden als zijnde beter dan versterker (B).

Een bekende manier om het equivalente ingangs-ruis-spectrum van een optische ontvanger te bepalen, is eerst nauwkeurig het uitgangs-ruisspectrum te meten, en dit te delen  
15 door de versterkingskarakteristiek van de voorversterker. Meer in het bijzonder wordt daarbij elke frequentie-component van het uitgangs-ruisspectrum gedeeld door de bij die frequentie optredende versterkingsfactor van de voorversterker. Een eerste probleem bij het op deze bekende manier bepalen van het  
20 equivalente ingangs-ruisspectrum van een optische ontvanger is het bovenstaand beschreven probleem met betrekking tot het meten van het uitgangs-ruisspectrum. Een verder probleem is, dat de versterkingskarakteristiek van de voorversterker nauwkeurig bekend moet zijn. Bekende technieken voor het meten  
25 van de versterkingskarakteristiek van de voorversterker, waarbij een elektrische signaalbron wordt aangesloten op de ingang van de voorversterker en een meetinrichting wordt aangesloten op de uitgang van de voorversterker, waarbij de elektrische signaalbron aan de ingang van de voorversterker  
30 een elektrisch signaal met een kleine bandbreedte verschaft, en waarbij de grootte van het uitgangssignaal van de voorversterker wordt gedeeld door de grootte van het door de elektrische signaalbron verschaft elektrische signaal, zijn in dit geval niet praktisch bruikbaar. Een eerste reden  
35 daarvoor is, dat niet van elke te onderzoeken ontvanger de ingang van de voorversterker bereikbaar is voor het toevoeren van ingangssignalen. Een tweede reden is, dat een nauwkeurige

9101103

en daardoor dure meetinrichting met een vlakke, althans bekende, frequentie-karakteristiek gebruikt moet worden. Een derde reden is, dat de versterkingskarakteristiek van de voorversterker beïnvloed wordt door de aan de ingang daarvan  
5 aangebrachte impedantie.

De uitvinding beoogt derhalve een werkwijze voor het bepalen van het equivalente ingangs-ruisspectrum van een optische ontvanger te verschaffen, welke werkwijze kan worden uitgevoerd met betrekkelijk eenvoudige middelen die niet  
10 buitengewoon nauwkeurig hoeven te zijn.

Volgens de uitvinding wordt daartoe een tweestaps-werkwijze verschaft, waarbij in een eerste stap het optische uitgangssignaal van een lichtbron wordt geijkt door het elektrische responsspectrum van het genoemde optische  
15 uitgangssignaal te vergelijken met een bekend elektrisch ruisspectrum van een elektrische ruisbron, en waarbij in een tweede stap het geijkte optische uitgangssignaal van de lichtbron wordt aangeboden aan de optische ingang van de optische ontvanger en het equivalente ruissignaal van de  
20 optische ontvanger wordt vergeleken met het elektrische responsspectrum van de lichtbron. Genoemde vergelijking kan handmatig of door een rekeninrichting worden uitgevoerd.

Het is echter ook mogelijk dat bij het bepalen van het ruis-spectrum van de optische ontvanger gebruik wordt gemaakt  
25 van een lichtbron die reeds volgens de uitvinding is geijkt. In dat geval heeft de werkwijze volgens de uitvinding het kenmerk, dat het geijkte optische uitgangssignaal van de lichtbron wordt aangeboden aan de optische ingang van de optische ontvanger en het equivalente ruissignaal van de  
30 optische ontvanger wordt vergeleken met het elektrische responsspectrum van de lichtbron.

De uitvinding heeft derhalve ook betrekking op een werkwijze voor het ijken van een lichtbron, welke werkwijze wordt gekenmerkt doordat het elektrische responsspectrum van  
35 het optische uitgangssignaal van de lichtbron wordt vergeleken met een bekend elektrisch ruisspectrum van een elektrische ruisbron.

9 1 0 1 1 0 3

Verdere kenmerken, aspecten en voordelen van de onderhavige uitvinding zullen worden verduidelijkt in de hiernavolgende gedetailleerde beschrijving van voorkeurs- uitvoeringsvormen van een inrichting volgens de uitvinding  
 5 onder verwijzing naar de tekening, waarin:  
 figuur 1 schematisch het inventieve inzicht volgens de uitvinding illustreert;  
 figuur 2 schematisch een voorkeursschakelschema toont voor het ijken van een lichtbron middels het inventieve inzicht volgens  
 10 de uitvinding; en  
 figuur 3 schematisch een voorkeursschakelschema toont voor het uitvoeren van metingen aan een optische ontvanger.

De uitvinding is voornamelijk gebaseerd op het inzicht, dat het mogelijk is een onbekend frequentiespectrum van een  
 15 eerste ruissignaal S1 te bepalen door dit uit te drukken in het frequentiespectrum van een tweede ruissignaal S2 wanneer deze signalen worden toegevoerd aan een ingang van een versterker A. Hierbij is geen bijzonder nauwkeurige en/of dure apparatuur benodigd, maar kan volstaan worden met het meten  
 20 van het uitgangssignaal van de versterker A met behulp van een betrekkelijk eenvoudig meetapparaat M, bijvoorbeeld een spectrum-analyser of een selectieve voltmeter.

Om dit inzicht te illustreren wordt verwezen naar figuur 1, waarbij met  $S1(\omega)$  respectievelijk  $S2(\omega)$  de sterkte van de  
 25 signaalcomponenten met frequentie  $\omega$  is aangeduid. Met R is het uitgangssignaal van de versterker A aangeduid, zoals dit wordt weergegeven door het meetapparaat M, en  $R(\omega)$  is de sterkte van de uitgangssignaalcomponent met frequentie  $\omega$ .

Het elektrisch uitgangssignaal R voldoet aan de formule

$$30 \quad R(\omega) = \{S1(\omega) \oplus S2(\omega)\} \cdot A(\omega) \cdot B(\omega) \quad (1)$$

waarbij met  $A(\omega)$  de (onbekende) frequentie-afhankelijke versterkingsfactor van de voorversterker A bij de frequentie  $\omega$  is aangeduid (en waarbij  $\omega$  ook de waarde 0 kan hebben),  
 waarbij met  $B(\omega)$  de (onbekende) frequentie-afhankelijke  
 35 versterkingsfactor van het gebruikte meetapparaat M bij

9101103

ontvangst van een breedbandig ingangssignaal is aangeduid, bij de frequentie  $\omega$ , en waarbij met de bewerking " $S1(\omega) \oplus S2(\omega)$ " een frequentiegewijze combinatie van de twee signalen  $S1$  en  $S2$  wordt bedoeld, welke combinatie in het algemeen geen zuivere  
 5 optelling zal zijn. Opgemerkt wordt, dat deze frequentie-  
 gewijze combinatie een statistisch bepaald resultaat is van een tijdgemiddeld samenvoegen van twee ruissignalen, en dus als intrinsieke eigenschap aanwezig is in de versterker  $A$ , en in het algemeen in goede mate benaderd kan worden door de  
 10 formule

$$S1(\omega) \oplus S2(\omega) = \sqrt{S1(\omega)^2 + S2(\omega)^2} \quad (2)$$

In het hiernavolgende wordt verondersteld dat het frequentie-spectrum van het signaal  $S2$  bekend is. Een eerste meting wordt gedaan in een situatie waarbij aan de ingang van de versterker  
 15  $A$  een voorafbepaalde fractie  $K1$  van het signaal  $S1$  wordt toegevoerd, alsmede een voorafbepaalde fractie  $K2$  van het signaal  $S2$ , om een meetsignaal te leveren dat voldoet aan de formule

$$R1(\omega) = \{K1 \cdot S1(\omega) \oplus K2 \cdot S2(\omega)\} \cdot A(\omega) \cdot B(\omega) \quad (3)$$

20 Een tweede meting wordt gedaan in een situatie waarbij aan de ingang van de versterker  $A$  een voorafbepaalde fractie  $K3$  van het signaal  $S1$  wordt toegevoerd, alsmede een voorafbepaalde fractie  $K4$  van het signaal  $S2$ , om een meetsignaal te leveren dat voldoet aan de formule

$$25 \quad R2(\omega) = \{K3 \cdot S1(\omega) \oplus K4 \cdot S2(\omega)\} \cdot A(\omega) \cdot B(\omega) \quad (4)$$

Door deling van de formules (3) en (4) worden de karakteristieken van de versterker  $A$  en van het gebruikte meetapparaat  $M$  geëlimineerd, en kan het niet-bekende signaal  $S1$  worden uitgedrukt in het signaal  $S2$  volgens de formule:

$$30 \quad \frac{R1(\omega)}{R2(\omega)} = \frac{K1 \cdot S1(\omega) \oplus K2 \cdot S2(\omega)}{K3 \cdot S1(\omega) \oplus K4 \cdot S2(\omega)} \quad (5)$$

9101103

In een uitvoeringsvorm waarbij  $K_1 = K_2 = K_4 = 1$  en  $K_3 = 0$  kan door invullen van formule (2) in formule (5) het onbekende signaal  $S_1$  worden uitgedrukt in het bekende signaal  $S_2$  en de meetsignalen  $R_1(\omega)$  en  $R_2(\omega)$  volgens de formule:

$$5 \quad S_1(\omega) = S_2(\omega) \cdot \sqrt{\left(\frac{R_1(\omega)}{R_2(\omega)}\right)^2 - 1} \quad (6)$$

In een andere uitvoeringsvorm waarbij  $K_1 = K_2 = K_3 = 1$  en  $K_4 = 0$  kan door invullen van formule (2) in formule (5) het onbekende signaal  $S_1$  worden uitgedrukt in het bekende signaal  $S_2$  en de meetsignalen  $R_1(\omega)$  en  $R_2(\omega)$  volgens de formule:

$$10 \quad S_1(\omega) = S_2(\omega) \cdot \left( \sqrt{\left(\frac{R_1(\omega)}{R_2(\omega)}\right)^2 - 1} \right)^{-1} \quad (7)$$

Hoewel in het voorgaande ter wille van de duidelijkheid aparte metingen zijn beschreven voor de signalen  $R_1(\omega)$  en  $R_2(\omega)$ , welke door elkaar gedeeld worden, verdient het de voorkeur om rechtstreeks een signaal te meten dat representatief is voor de verhouding  $R_1(\omega)/R_2(\omega)$ , bijvoorbeeld door altemnerend het signaal  $S_1$  of  $S_2$  te onderbreken waardoor, bij elke frequentiecomponent van het uitgangssignaal van de meetontvanger, een altemnerende signaalsterkte wordt verschaft waarbij de verhouding van de altemnerende signaalwaarden representatief is voor de genoemde verhouding  $R_1(\omega)/R_2(\omega)$ .

Thans zal onder verwijzing naar figuur 2 een werkwijze voor het ijken van een lichtbron 210 nader worden verduidelijkt, waarbij gebruik wordt gemaakt van het bovenbeschreven inzicht.

25 De lichtbron 210 produceert een lichtbundel 211 die wordt gericht naar een optische meetdetector 2. De optische meetdetector 2, in het weergegeven voorbeeld een lichtgevoelige diode, verschaft aan een uitgang 3 een elektrisch detector-sig-naal  $I_D$ , in het weergegeven voorbeeld een stroomsignaal, 30 waarvan het spectrum het (vooralsnog onbekende) elektrische responspectrum van de lichtbron 210 is.

9101103



Bij voorkeur, en zoals weergegeven in figuur 2, maakt de optische meetdetector 2 deel uit van een optische meet-ontvanger 1 die voorts een voorversterker 10 omvat, en is de uitgang 3 van de optische meetdetector 2 via een condensator 4 gekoppeld met een ingang 11 van de voorversterker 10, om aan de voorversterker 10 slechts de wisselstroomcomponenten  $I_D(\omega)$  van het elektrische detectorsignaal  $I_D$  te verschaffen. Voorts is de uitgang 3 van de optische meetdetector 2 gekoppeld met een uitgangsaansluiting 5 om de gelijkstroomcomponent  $I_D(0)$  van het detector-uitgangssignaal  $I_D$  te verschaffen. Het zal duidelijk zijn, dat in plaats van de condensator 4 een ander scheidingsorgaan kan worden toegepast om te bereiken dat alleen gewenste wisselstroomcomponenten de ingang 11 van de voorversterker 10 kunnen bereiken. Ook kan de voorversterker 10 zijn ingericht om alleen (versterkte) wisselstroomcomponenten aan de uitgang 12 te verschaffen, terwijl voorts de voorversterker 10 kan zijn ingericht om aan een (niet weergegeven) uitgang gelijkstroom-componenten te verschaffen, eventueel versterkt.

De ingang 11 van de voorversterker 10 van de meet-ontvanger 1 is gekoppeld met een reële bron 20 die een bekend elektrisch ruis-spectrum  $I_{N,R}$  met wisselstroomcomponenten  $I_{N,R}(\omega)$  verschaft. In het weergegeven voorbeeld is de bron 20 een weerstand voor het verschaffen van een door thermische effecten bepaald, bekend ruis-spectrum. Een voorbeeld van een alternatieve ruisbron is een door een gloeilamp belichte fotodiode, welke zogenaamde hagelruis levert. Het is daarbij mogelijk de optische meetdioden 2 zelf te belichten door een gloeilamp om het ruisspectrum te veroorzaken.

De voorversterker 10 verschaft aan een uitgang 12 daarvan een elektrisch uitgangssignaal  $I_U$  met wisselstroomcomponenten  $I_U(\omega)$ . Onder verwijzing naar de voorgaande bespreking van figuur 1, en onder de aanname dat de door de combinatie van de meetdetector 2, de voorversterker 10, en de circuit-configuratie van de ontvanger 1 veroorzaakte elektrische ruiscomponenten verwaarloosd mogen worden ten opzichte van de door de reële bron 20 veroorzaakte bekende ruiscomponenten

$I_{N,R}(\omega)$  -welke aanname in de praktijk zeer reëel is, in het bijzonder voor bijvoorbeeld frequenties lager dan 10 MHz-, voldoet het elektrisch uitgangssignaal  $I_U$  aan de formule (1), waarbij S1 correspondeert met  $I_D$  en S2 correspondeert met  $I_{N,R}$ .

Door ten minste twee metingen te verrichten waarbij de detector 2 respectievelijk wel en niet wordt belicht met het licht van de lichtbron 210, welke metingen bij voorkeur afwisselend worden verricht door de lichtbundel 211 afwisselend wel en niet te onderbreken, kan het elektrische responspectrum  $I_D$  van de lichtbundel 211 volgens de uitvinding, in analogie aan formule (6), worden uitgedrukt in het bekende ruissignaal  $I_{N,R}$  van de ruisbron 20 volgens de formule

$$I_D(\omega) = I_{N,R}(\omega) \cdot \sqrt{\left(\frac{R1(\omega)}{R2(\omega)}\right)^2 - 1} \quad (8)$$

In het kader van de onderhavige uitvinding wordt met de term "elektrisch responspectrum" bedoeld het frequentiespectrum van het elektrisch signaal dat in een optische detector, dat wil zeggen een optisch/elektrisch-omzetter, wordt opgewekt in respons op het ontvangen van de van de lichtbron afkomstige lichtbundel.

De optische detector kan een willekeurige detector zijn, zoals bijvoorbeeld een fotocel of een lichtgevoelige diode. Principieel verschaft een dergelijke optische detector aan zijn uitgang een gelijkstroom-detectorsignaal, waarbij de grootte van de gelijkstroom afhangt van de intensiteit van het ontvangen licht en binnen zekere grenzen praktisch onafhankelijk is van de golflengte van het ontvangen licht. Het detectorsignaal van de optische detector kan ook wisselstroomcomponenten bevatten, bijvoorbeeld als gevolg van een in het ontvangen licht aanwezige modulatie, of een interferentie tussen bepaalde golflengte-componenten van de lichtbundel. Een bekend gegeven is, dat verschillende exemplaren van optische detectoren van eenzelfde type, bijvoorbeeld verschillende

9101103

exemplaren van lichtgevoelige dioden, een gelijke elektrische respons hebben bij ontvangst van hetzelfde optische signaal. Derhalve wordt het elektrische responspectrum in het kader van de onderhavige uitvinding beschouwd als een eigenschap van de van de lichtbron afkomstige lichtbundel, en, aangezien de karakteristieken van de lichtbundel worden bepaald door de lichtbron, wordt het elektrische responspectrum in het kader van de onderhavige aanvraag meer in het bijzonder beschouwd als een eigenschap van de lichtbron.

Hoewel verschillende exemplaren van optische detectoren van hetzelfde type principieel een gelijke respons verschaffen op het van de lichtbron ontvangen licht, kan het in de praktijk echter voorkomen, dat verschillende exemplaren toch een verschillende respons hebben op het ontvangen licht. Dit kan bijvoorbeeld veroorzaakt worden door variaties in de detectorlichamen respectievelijk in de de detectorlichamen omgevende beschermingsmaterialen, of bijvoorbeeld door variërende invloeden in de lichtbaan tussen de lichtbron en de betreffende detector(en). In hoofdzaak zijn dergelijke variaties terug te voeren op variaties in de intensiteit van het door de detector ontvangen licht, waarbij althans in goede benadering al de golflengtecomponenten van het licht in gelijke mate worden gevarieerd, met als gevolg dat de waarden van al de componenten  $I_D(\omega)$  in gelijke mate veranderen, dat wil zeggen dat de vorm van het responspectrum althans in goede benadering gelijk blijft. Derhalve wordt thans de responspectrumvorm  $F(\omega)$  van het spectrum van het door de optische detector 2 geleverde signaal  $I_D$  gedefinieerd als

$$F(\omega) = \frac{I_D(\omega)}{I_D(0)} \quad (9)$$

Volgens een voorkeursuitvoeringsvorm van de werkwijze volgens de uitvinding wordt derhalve steeds bij het meten van de wisselstroomcomponenten  $I_D(\omega)$  zoals boven beschreven de gelijkstroomcomponent  $I_D(0)$  gemeten, en worden de wisselstroomcomponenten  $I_D(\omega)$  genormeerd tot vormcomponenten  $F(\omega)$  door ze te delen door de gelijkstroomcomponent  $I_D(0)$  volgens

9101103

formule (9). Bij een opstelling die in de tijd voldoende stabiel is, kan volstaan worden met de gelijkstroomcomponent  $I_D(0)$  eenmalig te meten en deze als zijnde constant te veronderstellen.

5 Opgemerkt wordt, dat bij een geschikte uitvoering van de lichtbron 210 het spectrum van het door de optische detector 2 geleverde signaal  $I_D$  vlak is, dat wil zeggen dan is  $F(\omega) = F$ .

Een voorbeeld van een lichtbron die een dergelijk vlak spectrum heeft en derhalve de voorkeur geniet, is een  
10 zogenaamde "homodyne sweeper", bijvoorbeeld een "delayed self-homodyne sweeper" met een laser, of een "heterodyne sweeper" met een LED en een laser. Voor een gedetailleerde beschrijving van de werking van een "homodyne sweeper" en de respons van een detector op het door een dergelijke lichtbron uitgezonden  
15 licht, wordt verwezen naar het artikel "Measurement of Frequency Response of Photoreceivers using Self-homodyne Method" van J. Wang et al in Electronics Letters, 25 mei 1989, Vol.25, nr.11, blz. 722-723.

Bij gebruik van een "homodyne sweeper" als lichtbron 210  
20 wordt tevens het voordeel bereikt, dat het elektrisch respons-spectrum in een betrekkelijk groot gebied, bijvoorbeeld tot 20 GHz, geijkt kan worden door het slechts verrichten van metingen in een betrekkelijk klein frequentiegebied, bijvoorbeeld tot 10 MHz. In theorie kan zelfs volstaan worden  
25 met een meting bij slechts één frequentie.

Thans zal onder verwijzing naar figuur 3 een werkwijze voor het bepalen van het equivalente ruisspectrum van een optische ontvanger nader worden verduidelijkt, waarbij gebruik wordt gemaakt van het bovenbeschreven inzicht.

30 Figuur 3 toont schematisch een te onderzoeken optische ontvanger 101. De optische ontvanger 101 omvat een optische detector 102, in het weergegeven voorbeeld een lichtgevoelige diode. De optische detector 102 verschaft aan een uitgang 103 een elektrisch detectorsignaal, in het weergegeven voorbeeld  
35 een stroomsignaal  $I_D$ , dat correspondeert met het door de optische detector 102 ontvangen lichtsignaal. De uitgang 103 van de optische detector 102 is gekoppeld met een ingang 111

9101103

van een voorversterker 110, welke bij de frequentie  $\omega$  (waarbij  $\omega$  ook de waarde 0 kan hebben) een versterkingsfactor  $A(\omega)$  heeft.

In het weergegeven voorbeeld is de uitgang 103 van de  
 5 optische detector 102 via een condensator 104 gekoppeld met de  
 ingang 111 van de voorversterker 110, om aan de voorversterker  
 110 slechts de wisselstroomcomponenten  $I_D(\omega)$  van het detector-  
 uitgangssignaal  $I_D$  te verschaffen. Voorts is de uitgang 103  
 van de optische detector 102 gekoppeld met een uitgangs-  
 10 aansluiting 105 om de gelijkstroomcomponent  $I_D(0)$  van het  
 detector-uitgangssignaal  $I_D$  te verschaffen. Met nadruk wordt  
 er echter op gewezen, dat de uitvinding ook betrekking heeft  
 op een werkwijze voor het bepalen van het equivalente ruis-  
 spectrum van een optische ontvanger waar een dergelijke  
 15 scheiding van signaalcomponenten niet wordt verschaft, en/of  
 waar geen uitgang aanwezig is voor het verschaffen van de  
 gelijkstroomcomponent  $I_D(0)$  van het detector-uitgangssignaal  
 $I_D$ .

Indien het detector-uitgangssignaal  $I_D$  buiten beschouwing  
 20 wordt gelaten, verschaft de voorversterker 110 aan een uitgang  
 112 daarvan een elektrisch ruissignaal  $I_N$  met wisselstroom-  
 componenten  $I_N(\omega)$ , dat op een complexe wijze veroorzaakt wordt  
 door de combinatie van de detector 102, de eventuele  
 scheidingsinrichting 104, de voorversterker 110, en de  
 25 verbindingsgeleiders tussen de detector 102, de eventuele  
 scheidingsinrichting 104 en de voorversterker 110. Zoals in  
 het voorgaande reeds is uiteengezet, wordt een equivalent  
 ingangs-ruisspectrum  $I_{N,eq}$  met wisselstroomcomponenten  $I_{N,eq}(\omega)$   
 gedefinieerd volgens de formule

$$30 \quad I_{N,eq}(\omega) = I_N(\omega) / A(\omega) \quad (10)$$

De optische ontvanger 101 kan dan (fictief) beschouwd worden  
 als zijnde opgebouwd uit ideale, ruis-loze componenten 102,  
 104, en 110, waarbij de ingang 111 van de voorversterker 110  
 is verbonden met een fictieve ruisbron 120 die het equivalente  
 35 ingangs-ruisspectrum  $I_{N,eq}$  levert, zodat het in een bedrijfs-

9101103

toestand aan de uitgang 112 van de voorversterker 110 resulterende uitgangssignaal  $I_U$  met wisselstroomcomponenten  $I_U(\omega)$  analoog aan formule (1) wordt gegeven door

$$I_U(\omega) = \{ I_D(\omega) \oplus I_{N,eq}(\omega) \} \cdot A(\omega) \quad (11)$$

5 Voorts toont figuur 3 schematisch een lichtbron 210, die een lichtbundel 211 produceert. Wanneer de lichtbron 210 reeds geijkt is, kan de lichtbundel 211 rechtstreeks worden toegevoerd aan de detector 102 van de te onderzoeken ontvanger 101. Het ingangssignaal aan de ingang 111 van de versterker  
10 110 wordt dan geacht te bestaan uit twee signalen, namelijk het onbekende equivalente ingangs-ruisspectrum  $I_{N,eq}$  (corresponderend met S1) en het uitgangssignaal  $I_D$  van de detector 102 (corresponderend met S2), waarvan het spectrum gelijk is aan het bekende elektrische responsspectrum van de  
15 lichtbundel 211.

Door ten minste twee metingen te verrichten waarbij de detector 102 respectievelijk wel en niet wordt belicht met het licht van de lichtbron 210, welke metingen bij voorkeur afwisselend worden verricht door de lichtbundel 211  
20 afwisselend wel en niet te onderbreken, kan het equivalente ingangs-ruisspectrum  $I_{N,eq}$  van de optische ontvanger 101, in analogie aan formule (7), volgens de uitvinding worden uitgedrukt in het bekende elektrische responsspectrum  $I_D$  van de lichtbundel 211 volgens de formule

$$25 \quad I_{N,eq}(\omega) = I_D(\omega) \cdot \left( \sqrt{\left( \frac{R1(\omega)}{R2(\omega)} \right)^2 - 1} \right)^{-1} \quad (12)$$

De hiernavolgende beschrijving betreft een meetprocedure volgens de uitvinding voor het bepalen van het equivalente ingangs-ruisspectrum  $I_{N,eq}$  van de optische ontvanger 101 in het geval gebruik wordt gemaakt van een niet-geijkte lichtbron  
30 210. Daartoe wordt, zoals ook is geïllustreerd in figuur 3, de door de lichtbron 210 verschaftte lichtbundel 211 door een verdeelinrichting 220 verdeeld in twee lichtbundels 221 en 222

9101103

met in hoofdzaak identieke lichtspectra, waarbij een lichtbundel 222 wordt gericht naar de optische detector 102 van de te onderzoeken ontvanger 101, en waarbij de andere lichtbundel 221 wordt gericht naar een optische detector 2 van  
 5 een referentieontvanger 1, die qua opbouw en werking identiek is aan de in het voorgaande onder verwijzing naar figuur 2 beschreven optische ontvanger 1.

Bij voorkeur is de verdeelinrichting 220 zodanig ingericht, dat de twee lichtbundels 221 en 222 althans in  
 10 hoofdzaak gelijke intensiteiten hebben. Bij voorbeeld kan de verdeelinrichting 220 een bundelsplitsingsprisma omvatten, of een optische fiber-splitsingsinrichting, of een optische schakelaar, of andere op zich aan deskundigen op dit gebied bekende, geschikte middelen. Aangezien de specifieke  
 15 constructiedetails van de verdeelinrichting 220 voor een goed begrip van de onderhavige uitvinding niet van belang zijn, zal de verdeelinrichting 220 hier niet nader worden besproken. Opgemerkt wordt slechts, dat de enige essentiële eis waaraan de verdeelinrichting 220 moet voldoen, is, dat het spectrum  
 20 van de uitgaande lichtbundel 221 en het spectrum van de uitgaande lichtbundel 222 beide ten opzichte van het spectrum van de inkomende lichtbundel 211 op dezelfde wijze zijn vervormd, terwijl bij voorkeur de spectra van de uitgaande lichtbundels 221 en 222 identiek zijn aan het spectrum van de  
 25 inkomende lichtbundel 211, dat wil zeggen niet vervormd zijn.

Een voordeel hiervan is, dat het thans mogelijk is een inrichting te verschaffen voor het bepalen van een ruis-spectrum van een optische ontvanger, in welke inrichting een lichtbron 210, een verdeelinrichting 220, een referentie-  
 30 ontvanger 1, en althans een niet nader gespecificeerd meetapparaat zijn geïntegreerd, welke inrichting voor aansluiting van de te onderzoeken ontvanger slechts een optische uitgang, bijvoorbeeld een uiteinde van een glasvezel, voor het leveren van de lichtbundel 222, en een elektrische  
 35 ingang voor het ontvangen van het ontvanger-uitgangssignaal  $I_U(\omega)$  behoeft te hebben. Daarbij bevat de verdeelinrichting 220 bij voorkeur een optische schakelaar om de lichtbundel 211

9 1 0 1 1 0 3

alternerend als lichtbundel 222 te verschaffen aan de te onderzoeken optische ontvanger 101 en als lichtbundel 221 voor de referentieontvanger 1, waarbij dan tevens is voorzien in een alternerend onderbreken van de lichtbundels ten behoeve van de metingen.

In een bijzonder voordelige uitvoeringsvorm wordt de verdeelinrichting verschaft door de lichtbundel 211 te laten reflecteren aan een oppervlak van de referentiedetector, die daartoe dezelfde constructie kan hebben als een zonnecel. Bij een dergelijke reflectie wordt een deel van de invallende lichtbundel 211 teruggekaatst zodat dit deel als uitgangslichtbundel beschikbaar is, en een ander deel van de invallende lichtbundel 211 dringt de referentiedetector binnen om te worden omgezet in een elektrisch signaal.

In het hiernavolgende zal worden beschreven hoe volgens de uitvinding het equivalente ruissignaal  $I_{N,eq}(\omega)$  van de te onderzoeken optische ontvanger 101 kan worden uitgedrukt in het bekende ruissignaal  $I_{N,R}(\omega)$  van de ruisbron 20. Hierbij wordt verondersteld, dat de metingen aan de ontvangers 1 en 101 reeds zijn uitgevoerd zoals bovenbeschreven, waarbij de lichtbundels 221 en 222 alternerend werden onderbroken. Aangezien voor de referentieontvanger 1 de lichtbundel 221 het "onbekende" signaal ( $S_1$ , figuur 1) representeert, geldt hiervoor formule (6), welke in deze situatie kan worden uitgeschreven als

$$I_D(\omega)_{ref} = I_{N,R}(\omega) \cdot \sqrt{\left(\frac{R_1(\omega)_{ref}}{R_2(\omega)_{ref}}\right)^2 - 1} \quad (13)$$

Hieruit wordt gedefinieerd:

$$\gamma(\omega)_{ref} \equiv \frac{I_D(\omega)_{ref}}{I_{N,R}(\omega)} = \sqrt{\left(\frac{R_1(\omega)_{ref}}{R_2(\omega)_{ref}}\right)^2 - 1} \quad (14)$$

Voorts, aangezien voor de te onderzoeken optische ontvanger 101 de lichtbundel 222 het "bekende" signaal ( $S_2$ , figuur 1) representeert, geldt hiervoor formule (7), welke in deze situatie kan worden uitgeschreven als

9101103



$$I_{N,eq}(\omega) = I_D(\omega) \cdot \left( \sqrt{\left(\frac{R1(\omega)}{R2(\omega)}\right)^2 - 1} \right)^{-1} \quad (15)$$

Hieruit wordt gedefinieerd:

$$\gamma(\omega) \equiv \frac{I_D(\omega)}{I_{N,eq}(\omega)} = \sqrt{\left(\frac{R1(\omega)}{R2(\omega)}\right)^2 - 1} \quad (16)$$

Thans wordt gedefinieerd:  $\alpha(\omega) = \frac{I_D(\omega)}{I_D(\omega)_{ref}} \quad (17)$

- 5 waarbij de responsspectrum-verhoudingskarakteristiek  $\alpha(\omega)$  de verhouding is tussen de detectorsignalen van de optische detectoren 2 en 102, en derhalve een maat is voor onder andere de intensiteitsverhouding van de bundels 221 en 222, en de gevoeligheidsverhouding van de optische detectoren 2 en 102.
- 10 In de praktijk is  $\alpha(\omega)$  in goede benadering constant, dat wil zeggen onafhankelijk van  $\omega$ , zodat

$$\alpha(\omega) = \alpha \quad (18)$$

- Voorts wordt een vormparameter  $V(\omega)$  van het spectrum van het door de optische detector 102 geleverde signaal  $I_D$
- 15 gedefinieerd als

$$V(\omega) = \frac{I_D(\omega)}{I_D(\omega_0)} \quad (19)$$

waarbij  $\omega_0$  een willekeurige, vrij te kiezen frequentie is, bijvoorbeeld 10 MHz. Dan geldt:

$$\begin{aligned} \frac{\gamma(\omega)}{\gamma(\omega_0)_{ref}} &= \frac{I_D(\omega)}{I_D(\omega_0)_{ref}} \cdot \frac{I_{N,R}(\omega_0)}{I_{N,eq}(\omega)} = \alpha(\omega_0) \cdot \frac{I_D(\omega)}{I_D(\omega_0)} \cdot \frac{I_{N,R}(\omega_0)}{I_{N,eq}(\omega)} = \\ 20 \quad &= \alpha \cdot V(\omega) \cdot \frac{I_{N,R}(\omega_0)}{I_{N,eq}(\omega)} \Rightarrow \\ &\Rightarrow I_{N,eq}(\omega) = \alpha \cdot V(\omega) \cdot \frac{\gamma(\omega_0)_{ref}}{\gamma(\omega)} \cdot I_{N,R}(\omega_0) \end{aligned} \quad (20)$$

Zoals bovenstaand reeds is opgemerkt, is bij een geschikte uitvoering van de lichtbron 210 het spectrum van het door de optische detector 102 geleverde signaal  $I_D(\omega)$  vlak, dat wil zeggen dan is  $V(\omega) = 1$ .

5 Voorts wordt opgemerkt, dat bij een juiste configuratie van de referentieontvanger 1 en de verdeelinrichting 220, namelijk bij een goede mate van symmetrie tussen de optische detector 102 en de optische referentiedetector 2, en bij een volledig symmetrische bundelsplitsing,  $\alpha$  in goede benadering  
 10 gelijk is aan 1. Desgewenst is het echter mogelijk de waarde van  $\alpha$  te meten. De waarden van de signaalcomponenten  $I_D(\omega)$  (inclusief  $I_D(0)$ ) zijn namelijk op een dusdanige manier afhankelijk van het spectrum en de intensiteit van het  
 15 ontvangen licht dat, bij verandering van de intensiteit van het ontvangen licht en overigens gelijkblijvend spectrum, de waarden van al de componenten  $I_D(\omega)$  in gelijke mate  
 20 veranderen. Derhalve is voor elke lichtbundel 221, 222 en voor elke frequentie  $\omega$  de verhouding  $I_D(\omega)/I_D(0)$  onafhankelijk van de intensiteit van het ontvangen licht. Indien het spectrum van de lichtbundel 221 overeenkomt met het spectrum van de  
 25 lichtbundel 222, waarvan blijkens het bovenstaande wordt uitgegaan, is de genoemde verhouding voor de lichtbundel 222 gelijk aan die voor de lichtbundel 221, dat wil zeggen dat geldt:

$$25 \quad \frac{I_D(\omega)}{I_D(0)} = \frac{I_D(\omega)_{\text{ref}}}{I_D(0)_{\text{ref}}} \quad (21)$$

welke formule herschreven kan worden tot:

$$\frac{I_D(\omega)}{I_D(\omega)_{\text{ref}}} = \frac{I_D(0)}{I_D(0)_{\text{ref}}} = \alpha \quad (22)$$

Indien de optische ontvanger 101 en de optische referentie-  
 30 ontvanger 1 van het type zijn waarbij de elektrische gelijkstroomcomponenten  $I_D(0)$  en  $I_D(0)_{\text{ref}}$  van de door de detectoren 102 en 2 afgegeven signalen  $I_D$  en  $I_{D,\text{ref}}$  direct gemeten kunnen worden, kan de waarde van  $\alpha$  op eenvoudige wijze worden bepaald

**9 1 0 1 1 0 3**

door directe meting van deze elektrische gelijkstroom-  
componenten  $I_D(0)$  en  $I_D(0)_{\text{ref}}$  en deze op elkaar te delen.

Als alternatief, bijvoorbeeld in het geval dat de te  
onderzoeken optische ontvanger 101 van een type is waarbij de  
5 elektrische gelijkstroomcomponent  $I_D(0)$  niet direct gemeten  
kan worden, kan bij het meten van de waarde van  $\alpha$  gebruik  
gemaakt worden van een optische meetontvanger 201. Een  
dergelijke meetontvanger kan in een eenvoudige uitvoering  
bestaan uit een optische meetdetector 202 die identiek is aan  
10 de te onderzoeken detector 102, en die voor gelijkstroom is  
verbonden met een stroommeter 203, zoals eveneens is  
geïllustreerd in figuur 3. In een aparte meetstap wordt dan de  
lichtbundel 222 toegevoerd aan de optische meetdetector 202 en  
wordt het daardoor verschaftte gelijkstroomsignaal  $I_{202}(0)$   
15 gemeten, dat in goede benadering gelijk is aan de elektrische  
gelijkstroomcomponent  $I_D(0)$  van de te onderzoeken detector 102  
bij ontvangst van de lichtbundel 222.

Ook is het mogelijk om, in plaats van gebruik te maken  
van een afzonderlijke optische meetontvanger 201, de  
20 lichtbundel 222 toe te voeren naar de referentieontvanger 1.

Het moge duidelijk zijn, dat de metingen aan de  
referentieontvanger en de bewerkingen van de meetresultaten  
voor het verkrijgen van formule (18) alleen betrekking hebben  
op de combinatie van lichtbron 210, verdeelinrichting 220, en  
25 referentieontvanger 1, zodat deze metingen niet steeds  
herhaald hoeven worden bij het bepalen van een ruisspectrum  
van verschillende optische ontvangers. Aan het herhalen van  
genoemde metingen wordt echter wel de voorkeur gegeven,  
teneinde eventuele externe invloeden zoals temperatuurs-  
30 invloeden te elimineren.

Opgemerkt wordt, dat de werkwijze volgens de uitvinding  
niet beperkt is tot optische ontvangers die voorzien zijn van  
een fotocel of een lichtgevoelige diode, hoewel in het  
bovenstaande een dergelijke detector als voorbeeld van een  
35 optische detector is genoemd. De uitvinding heeft ook  
betrekking op elk ander willekeurig type optische detector,  
waaraan slechts als eis gesteld wordt, dat de respons-

9101103

karakteristiek (dat wil zeggen: de grootte van het uitgangssignaal als functie van de golflengte van het ontvangen licht) bekend is, althans voor verschillende exemplaren van hetzelfde type vergelijkbaar is.

5 Voorts wordt opgemerkt, dat een deskundige de beschreven uitvoeringsvorm van de uitvinding kan modificeren zonder het kader van de uitvinding te verlaten. Zo kan bijvoorbeeld bij het bepalen van het elektrische responspectrum van de lichtbron onder gebruikmaking van de referentie-ontvanger het  
10 ruissignaal van de bekende ruisbron worden bedreven bij een eerste respectievelijk een tweede niveau, hetgeen, indien de bekende ruisbron een door een gloeilamp belichte fotodiode omvat voor het verschaffen van hagelruis, op eenvoudige wijze kan worden bereikt door genoemde gloeilamp afwisselend te  
15 bedrijven bij een eerste respectievelijk een tweede lichtniveau, bijvoorbeeld door de genoemde gloeilamp afwisselend aan en uit te schakelen danwel het daardoor verschafte licht afwisselend te onderbreken.

Tenslotte wordt opgemerkt, dat bij het bepalen van het  
20 equivalente ruisspectrum volgens formule (20) het daadwerkelijk ijken van de lichtbron wordt overgeslagen.

## C O N C L U S I E S

-----

1.   Werkwijze voor het bepalen van een ruis-spectrum van een optische ontvanger van het type dat een optische detector en een daarmee gekoppelde voorversterker omvat; met het kenmerk, dat in een eerste stap het optische uitgangssignaal van een lichtbron (210) wordt geijkt door het elektrische responsspectrum van het genoemde optische uitgangssignaal te vergelijken met een bekend elektrisch ruisspectrum van een elektrische ruisbron (20), en dat in een tweede stap het geijkte optische uitgangssignaal van de lichtbron (210) wordt aangeboden aan de optische ingang (102) van de te onderzoeken optische ontvanger (101) en het equivalente ruissignaal van de optische ontvanger (101) wordt vergeleken met het elektrische responsspectrum van de lichtbron (210).
2.   Werkwijze voor het bepalen van een ruis-spectrum van een optische ontvanger van het type dat een optische detector en een daarmee gekoppelde voorversterker omvat; met het kenmerk, dat gebruik wordt gemaakt van een lichtbron (210) die reeds is geijkt, en dat het geijkte optische uitgangssignaal van de lichtbron (210) wordt aangeboden aan de optische ingang van de te onderzoeken optische ontvanger (101) en het equivalente ruissignaal van de optische ontvanger (101) wordt vergeleken met het elektrische responsspectrum van de lichtbron (210).
3.   Werkwijze volgens conclusie 1 of 2, met het kenmerk, dat als lichtbron (210) gebruik wordt gemaakt van een homodyne sweeper.

9 1 0 1 1 0 3

4. Werkwijze volgens ten minste één der voorgaande conclusies, met het kenmerk:  
 dat een lichtsignaal (211, 222) van de lichtbron (210) wordt toegevoerd naar de optische ingang (102) van de te onderzoeken  
 5 ontvanger (101);  
 dat het elektrische uitgangssignaal ( $I_u(\omega)$ ) van de te onderzoeken ontvanger (101) ten minste één maal ( $I_{u1}(\omega)$ ) wordt gemeten bij een eerste lichtniveau van het genoemde lichtsignaal (211, 222), en ten minste één maal ( $I_{u2}(\omega)$ ) bij een  
 10 tweede lichtniveau van het genoemde lichtsignaal (211, 222)  
 dat kleiner is dan het eerste lichtniveau; en  
 dat het equivalente ruisspectrum ( $I_{N,eq}(\omega)$ ) van de te onderzoeken ontvanger (101) wordt uitgedrukt in het elektrische responspectrum ( $I_D(\omega)$ ) van de lichtbron (210)  
 15 volgens de formule:

$$I_{N,eq}(\omega) = I_D(\omega) \cdot \left( \sqrt{\left( \frac{I_{u1}(\omega)}{I_{u2}(\omega)} \right)^2 - 1} \right)^{-1}$$

5. Werkwijze voor het ijken van een lichtbron, met het kenmerk, dat het elektrische responspectrum van het optische  
 20 uitgangssignaal van de lichtbron (210) wordt vergeleken met een bekend elektrisch ruisspectrum van een elektrische ruisbron.

6. Werkwijze volgens conclusie 1 of 5, met het kenmerk, dat  
 25 een lichtsignaal (211, 221) van de lichtbron (210) wordt toegevoerd naar de optische ingang (2) van een referentie-ontvanger (1), welke omvat:

- een optische referentiedetector (2) waarvan een uitgang (3) is gekoppeld met een ingang (11) van een referentie-  
 30 voorversterker (10), welke ingang (11) tevens koppelbaar is met een ruisbron (20) die een ruissignaal met een bekend elektrisch ruisspectrum genereert;

dat het elektrische uitgangssignaal ( $I_u(\omega)_{ref}$ ) van de referentie-voorversterker (10) van de referentie-ontvanger (1)

9101103

ten minste één maal ( $I_{u1}(\omega)_{\text{ref}}$ ) wordt gemeten bij een eerste lichtniveau van het genoemde lichtsignaal (211, 221), en ten minste één maal ( $I_{u2}(\omega)_{\text{ref}}$ ) bij een tweede lichtniveau van het genoemde lichtsignaal (211, 221) dat kleiner is dan het eerste lichtniveau; en  
 dat het elektrische respons-spectrum ( $I_D(\omega)$ ) van de lichtbron (210) wordt uitgedrukt in het bekende elektrische ruisspectrum ( $I_{N,R}(\omega)$ ) van de ruisbron (20) volgens de formule:

$$I_D(\omega) = I_{N,R}(\omega) \cdot \sqrt{\left(\frac{I_{u1}(\omega)_{\text{ref}}}{I_{u2}(\omega)_{\text{ref}}}\right)^2 - 1}$$

10

7. Werkwijze volgens conclusie 6, met het kenmerk, dat als ruisbron (20) gebruik wordt gemaakt van een weerstand voor het verschaffen van een door thermische effecten bepaald ruisspectrum.

15

8. Werkwijze volgens conclusie 6, met het kenmerk, dat als ruisbron (20) gebruik wordt gemaakt van een door een gloeilamp belichte fotodiode voor het verschaffen van een hagelruisspectrum.

20

9. Werkwijze volgens conclusie 4 of 6, met het kenmerk, dat het eerste lichtniveau in hoofdzaak gelijk is aan 100% en dat het tweede lichtniveau in hoofdzaak gelijk is aan 0%.

25

10. Werkwijze volgens conclusie 5, met het kenmerk, dat het genoemde lichtsignaal (211, 222; 211, 221) alternerend wordt onderbroken.

30

11. Werkwijze volgens tenminste één der voorgaande conclusies, met het kenmerk, dat een lichtsignaal alternerend wordt toegevoerd naar de optische ingang (102) van de te onderzoeken ontvanger (101) en naar de optische ingang (2) van de referentie-ontvanger (1).

9101103

9 1 0 1 1 0 3

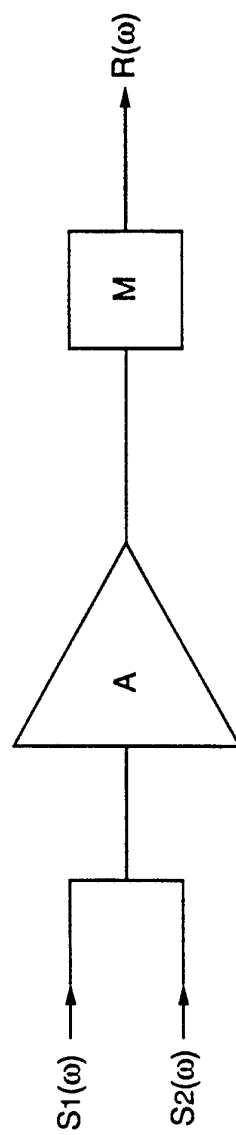


FIG. 1



9 1 0 1 1 0 3

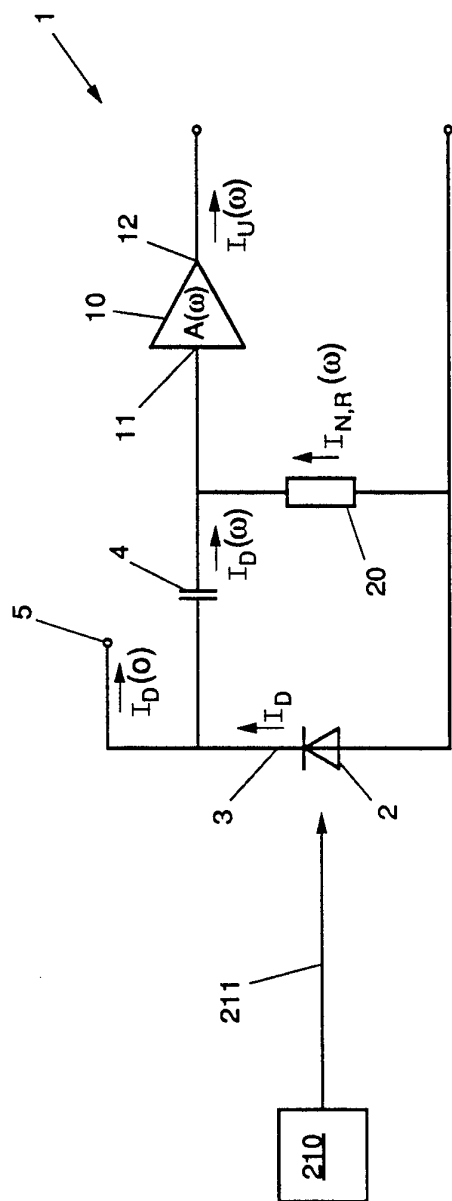


FIG. 2

9 1 0 1 1 0 3

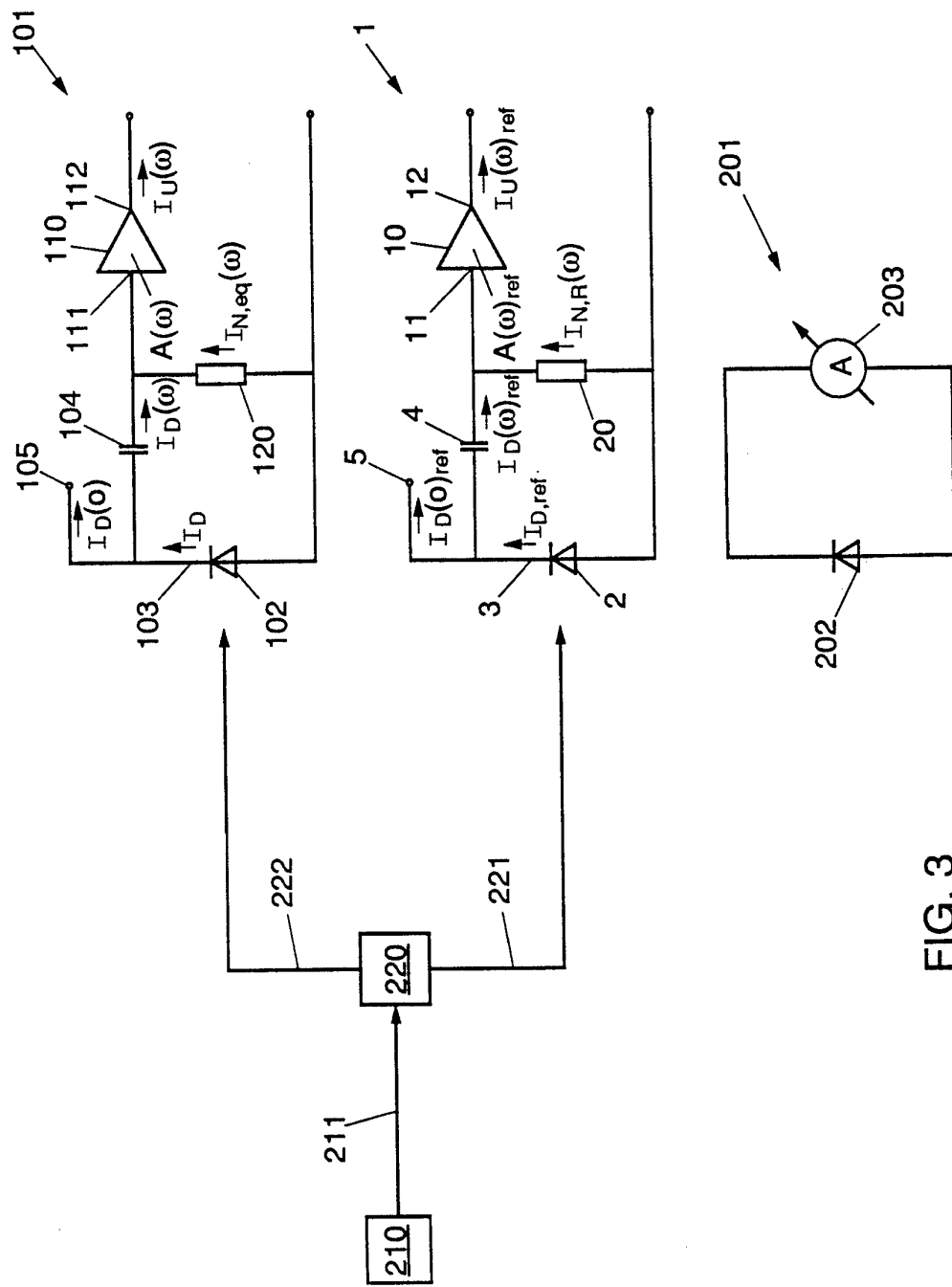


FIG. 3