

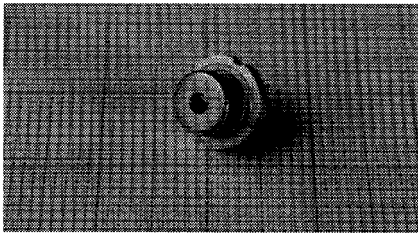
Laserdiode als basis voor een veelzijdig programma afstandsensoren

De TWIN-sensor van TPA: een snelle en nauwkeurige hoogtemeter

C.A.A.M. Maas

De halfgeleider-laser oftewel laserdiode, zie figuur 1, heeft een aantal voordelen boven de conventionele gaslaser. Er kan met "gewone" gelijkspanning worden gewerkt in plaats van hoogspanning, de glazen buis ontbreekt, waardoor de halfgeleider-laser robuust en compact is, en de levensduur is veel langer.

Op basis van de laserdiode heeft TPA Systems BV een programma afstandsensoren ontwikkeld. Van één ervan, de TWIN, werkend volgens het dubbele triangulatie meetprincipe, wordt de ontwikkeling beschreven.



Figuur 1 Een laserdiode op ongeveer 4x de ware grootte

Sensoren kunnen worden toegepast voor positionering, controle van uithijning, hoogte- en diktemeting, diameter- en breedtemeting en zelfs troebelheidsmeting en lasnaaddetectie.

Bij diktemeting is een drietal methodes te onderscheiden.

– Bij diktemeting ten opzichte van een referentievlak dient het oppervlak waarop het produkt zich bevindt, bijvoorbeeld een transportband, als referentie.

– Bij diktemeting met compensatie van een referentievlak wordt gemeten ten opzichte van een niet stabiel vlak, bijvoorbeeld een slingerende transportrol. Een tweede sensor zorgt dan voor het meten en in rekening brengen van de desbetreffende slingering.

– Bij diktemeting zonder referentievlak wordt er altijd gebruik gemaakt van een tweetal sensoren, die aan weerszijden van het object zijn geplaatst. Het meetresultaat is dan het verschil van de metingen door beide sensoren.

De meetprincipes

De meetprincipes die zijn gekozen voor het programma afstandsensoren van TPA, zijn:

- triangulatie (met één of met twee detectoren),
- autofocussering,
- schaduwmeting, en het
- laser-doppler-principe.

Het laatste meetprincipe wordt gebruikt voor snelheidsmeting, de overige voor dimensionale meting.

– Het triangulatieprincipe wordt in dit artikel uitgebreid besproken.

– Het autofocusprincipe berust op de nauwkeurige focussing van een laser-spot op het objectoppervlak. Een afwijking van de exacte focussing wordt via een bundelsplitser en een viervoudige detector elektronisch vertaald in een signaal voor de verplaatsing in de richting van de optische as.

– Bij het schaduwmeetprincipe wordt bepaald in hoeverre het object een nauwkeurige gedefinieerde, evenwijdige laserbundel afdekt.

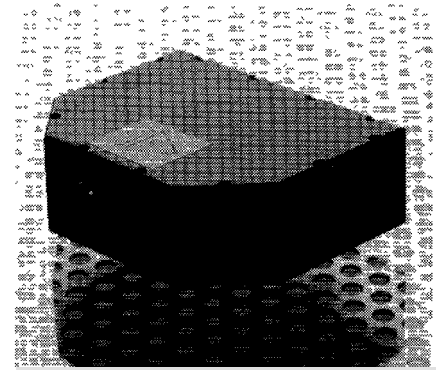
– Het door TPA toegepaste differentieële laser-doppler-principe berust enerzijds op interferentie van twee laserbundels, anderzijds op frequentieverandering als gevolg van een snelheid van het reflecterende object loodrecht op de richting van de bundels.

De ontwikkeling van de TWIN-sensor

De TWIN-sensor, zie figuur 2, is een hoogwaardige optische afstandsensoren die zowel geschikt is voor gebruik in de meetkamer als in een industriële omgeving.

De belangrijkste doelstellingen bij het ontwerp waren het verkrijgen van:

- een grote mate van produktonafhankelijkheid,
- een hoge meetsnelheid, en
- een hoge resolutie en nauwkeurigheid.

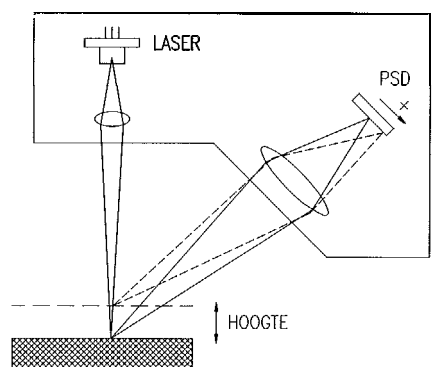


Figuur 2 Foto van de TWIN-sensor type LTS

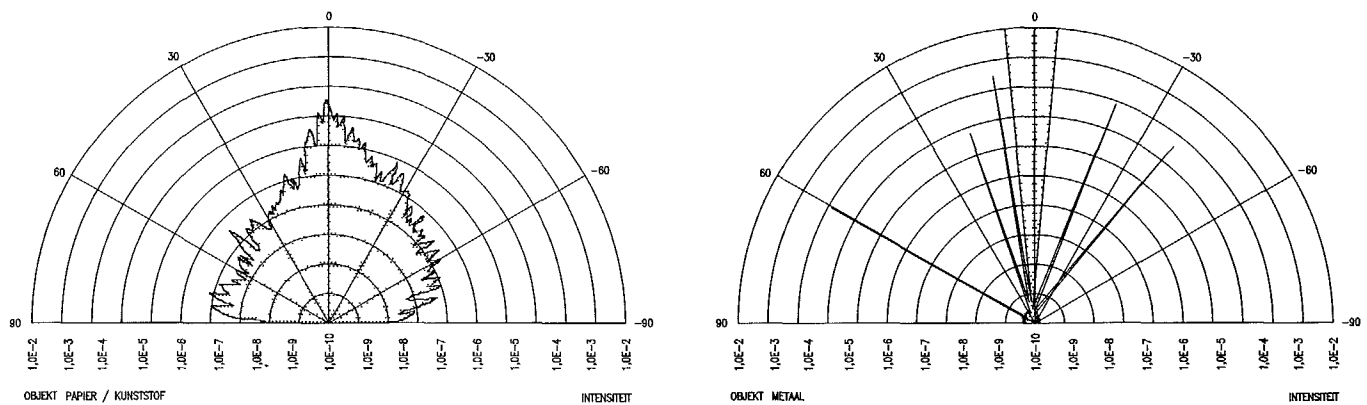
Dank zij de multidisciplinaire inspanningen op het gebied van optica, elektronica, fijnmechanica en produktontwikkeling van Philips CFT en TPA Systems is een sensor gerealiseerd met bijzondere kwaliteiten. De TWIN onderscheidt zich doordat deze in staat is zeer betrouwbaar, snel en nauwkeurig de afstand te bepalen tot produkten, variërend van matzwart rubber tot glimmend metaal.

Basisprincipes

Het basisprincipe van de TWIN berust op optische triangulatie, waarbij het produkt wordt verlicht met een laserstraal, zie figuur 3. Het diffuus reflecterende object zal vervolgens het licht in alle richtingen verstrooien. Een deel daarvan wordt opgevangen door een lens, die de lichtvlek op het produkt afbeeldt op een positiegevoelige detector.



Figuur 3 Het principe van optische triangulatie



Figuur 4 De intensiteitsdistributie van a) papier of kunststof, en b) metaal

De plaats van de afgebeelde spot is bepalend voor de afstand tussen de sensor en het produkt.

De laserstraal dient bij voorkeur loodrecht op het voorwerp gericht te worden, zodat geen overspraak plaatsvindt tussen de te meten hoogte en de plaats waarop deze hoogte bepaald moet worden. Door deze keuze van het afbeeldend systeem treedt echter een onvermijdelijke niet-lineariteit op tussen de positie op de sensor en de werkelijke afstand, die echter eenvoudig elektronisch gecorrigeerd kan worden.

Een veelvuldig toegepaste detector bij deze methode is de PSD (Position Sensing Detector), welke is gebaseerd op het laterale foto-effect. Deze detector levert twee stromen, die beide zowel proportioneel zijn met de hoeveelheid licht op de detector, als met het zwaartepunt van de positie van de lichtvlek. Voor een juiste positiebepaling, die onafhankelijk is van de reflectie-eigenschappen van het voorwerp, is een normering op de som van beide stromen noodzakelijk.

Sensoreigenschappen

Elk meetinstrument heeft typische eigenschappen, die invloed hebben op de betrouwbaarheid van de meetgegevens. Dat geldt ook voor optische triangulatiesystemen. Alvorens een beschrijving te geven van de optiek en de elektronica van de TWIN, is het daarom goed eerst een opsomming te maken van de belangrijkste parameters die een rol spelen bij de uiteindelijke kwaliteit van de hoogtebepaling door de TWIN.

De gebruiker van een optische afstandsensor zal voornamelijk geïnteresseerd

zijn in specificatiepunten als nauwkeurigheid, resolutie en meetsnelheid. Deze eigenschappen worden natuurlijk in belangrijke mate bepaald door de keuze van de optiek en elektronica. Echter, omdat het oppervlak van het te meten produkt deel uitmaakt van het optische pad van laser tot PSD, zijn de invloeden van de optische eigenschappen van het oppervlak van een produkt nooit volledig uit te sluiten. Deze zullen dan ook een rol spelen in de uiteindelijke kwaliteit van de meting.

De belangrijkste begrippen worden hieronder kort samengevat.

Nauwkeurigheid

Een van de moeilijk te definiëren eigenschappen van een triangulatiesensor is de absolute nauwkeurigheid. Het meetsysteem moet de afstand bepalen aan de hand van het gereflecteerde licht van het voorwerp. Het is daarom moeilijk over nauwkeurigheid te spreken als de reflectieparameters van het produkt niet of nauwelijks bekend zijn. Veel fabrikanten specificeren deze eigenschap dan ook niet, of definiëren deze als die van min of meer ideaal, zuiver wit, diffuus reflecterend materiaal, bij voorbeeld witte keramiek. Een realistisch produkt zal echter minder ideaal zijn en derhalve minder goed zijn te meten.

Resolutie

Resolutie, gedefinieerd als de kleinste nog waarneembare hoogteverandering van het produkt, is vooral een elektronisch probleem. Het is goed mogelijk dat, ondanks onnauwkeurige optiek, er toch een zeer hoge resolutie haalbaar is. Ook bij een kwalitatief minder goed

optisch systeem zal immers een zeer kleine hoogteverandering altijd een kleine verplaatsing van de lichtvlek op de PSD veroorzaken. Er bestaat dus geen enkele vaste relatie tussen nauwkeurigheid en resolutie, zodat een hoge resolutiewaarde geen enkele garantie voor een grote nauwkeurigheid geeft. Veel fabrikanten specificeren desondanks vaak alleen de maximum resolutie van hun sensoren.

De resolutie wordt doorgaans uitgedrukt in de RMS-waarde (het kwadratisch gemiddelde) van de ruis aan de uitgang van de sensor. Dit getal hangt dan ook direct samen met de meetbandbreedte. Laagdoorlaat-filtering van de uitgang kan derhalve een behoorlijke resolutieverbetering opleveren.

Naast het oplossend vermogen voor hoogte kunnen we ook spreken van een laterale resolutie. Daarmee wordt het onderscheidend vermogen bedoeld voor kleine details in het oppervlak van het produkt. De spotgrootte van de sensor en niet zozeer de elektronica is hier van groot belang.

Hoogteverschillen in het object zorgen voor een signaal dat correspondeert met de gemiddelde hoogte binnen de lichtspot. Er ontstaat hierdoor een middeling welke afhankelijk is van de spotgrootte op het object. In het algemeen kan worden gezegd dat een kleinere spot een meting mogelijk maakt met een hogere laterale resolutie, omdat de hoogtecontouren van objecten met kleine details dan veel nauwkeuriger worden weergegeven.

De TWIN-sensor van TPA: een snelle en nauwkeurige hoogtemeter

Snelheid

Voor een breed toepassingsgebied, waarbij het ook mogelijk moet zijn producten te inspecteren die bij voorbeeld op een transportband worden aangeboden, is een snelle reactietijd van de sensor een eerste vereiste. Deze eis kan gekarakteriseerd worden in termen van bandbreedte, bemonsterfrequentie en insteltijd.

De bandbreedte is vaak een misleidend getal, omdat deze aangeeft bij welke frequentie van een sinusvormige hoogtemodulatie het uitgangssignaal 30% (wat overeen komt met -3 dB) is gedaald. Dat betekent dat bij de opgegeven maximale frequentie een fout in het hoogtesignaal ontstaat van 30%. Wanneer de vereiste nauwkeurigheid echter 1% bedraagt, is deze frequentie een factor zeven lager!

Ook deze eigenschap zit vaak verborgen in de door fabrikanten opgegeven specificaties, omdat de indruk wordt gewekt dat de opgegeven nauwkeurigheid ook nog gehaald wordt bij de maximale frequentie in de genoemde bandbreedte.

De bemonsterfrequentie van een meetstelsel zegt principieel nog niets over de maximaal toelaatbare snelheid van de hoogteveranderingen. Bij een meetstelsel als het hier beschouwde zijn theoretisch slechts hoogteveranderingen te bepalen met een frequentie die lager is dan de helft van de bemonsterfrequentie. In de praktijk is dit zeer moeilijk haalbaar. Het beste criterium is wellicht een beschrijving van het instelgedrag van de sensor als gevolg van een stapvormige hoogteverandering. Hierbij moet dan een bepaalde grenswaarde worden aangehouden, zoals bijvoorbeeld een foutband rondom de eindwaarde. De insteltijd is dan die tijd die nodig is om aan de genoemde grenswaarde te voldoen als reactie op een stapvormige verandering van hoogte of intensiteit.

Produkteigenschappen

Een aantal typische effecten die een rechtstreeks gevolg zijn van de interactie van het laserlicht met het product en derhalve de metingen ongunstig kunnen beïnvloeden, zijn:

Intensiteitsdistributie

De ruimtelijke intensiteitsdistributie van het gereflecteerde licht over de openingshoek van het objectief kan aanleiding geven tot grove meetfouten. In het algemeen is het afstraalgedrag van een product niet bekend. Dat gedrag kan soms erg grillig zijn, zie figuur 4a en 4b. Een lichtstraal die via de rand van de lens op de PSD wordt afgebeeld, kan op de PSD een andere plaats bereiken dan een straal die door het midden van de lens gaat. Door deze optische fout wordt de hoogtemeting afhankelijk van het afstraalgedrag van het object, waardoor de meting niet meer eenduidig is.

Absolute hoeveelheid licht

De hoeveelheid gereflecteerd licht die opgevangen wordt door het objectief, speelt een rol bij zowel de resolutie als de snelheid van de sensor. Het mag duidelijk zijn dat een object dat niet reflecteert in de richting van het objectief, niet gemeten kan worden.

Intensiteitsverschillen binnen de spot

Dit effect veroorzaakt een onnauwkeurige meting, omdat de afzonderlijke bijdragen van het licht uit verschillende delen van de spot door de sensor niet op dezelfde manier worden waargenomen. De lichtvlek met eindige afmetingen op het voorwerp wordt op de PSD ook met eindige afmetingen afgebeeld. Intensiteitsvariaties binnen de spot worden dan ook onterecht als hoogtevariaties geïnterpreteerd. Ook hier geldt het criterium: een kleinere spotgrootte geeft een beter meetresultaat.

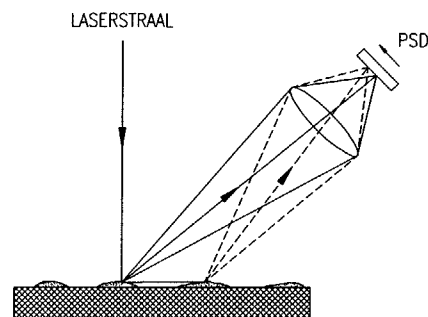
Transparantie van het product

Bij producten die min of meer transparant zijn voor de toegepaste golflengte, zal het licht in zekere mate in het object dringen. Dit komt vooral voor bij kunststoffen. Interne verstrooiing zorgt er uiteindelijk voor dat het licht desondanks opgevangen wordt door het objectief, zij het echter met een onjuiste hoogtedefinitie. Dit effect vertoont een sterke analogie met het vervormen van een zacht product door een mechanische meettaster.

Meervoudige reflecties aan het productoppervlak

Bij complexe oppervlaktestructuren kan het gebeuren dat de reflectie een

ander deel van het product treft dan dat van de eigenlijke spot, zie figuur 5. Als deze secundaire reflectie ook opgevangen wordt door het objectief, leidt dit tot een onjuiste meting. Er ontstaat immers een verschuiving van het zwaartepunt van de lichtvlek op de PSD.

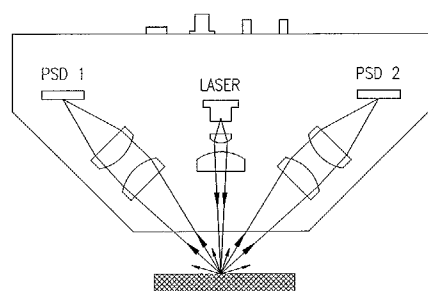


Figuur 5 Het optreden van secundaire reflecties

In het algemeen blijkt dat al deze produkteigenschappen van invloed kunnen zijn op de nauwkeurigheid van de meting. De maatregelen die getroffen zijn om deze invloeden tot een minimum te beperken, worden in het volgende hoofdstuk besproken.

De dubbele optiek van de TWIN-sensor

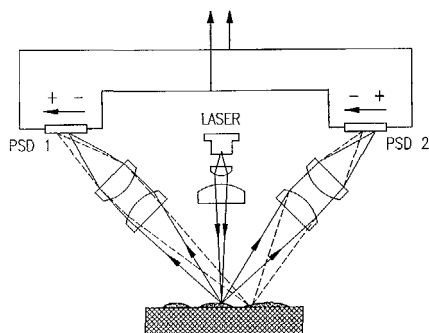
Figuur 6 illustreert het optische schema van de TWIN. Een opvallend verschil met conventionele triangulatiesystemen is de toepassing van twee afbeeldende systemen. Het belangrijkste voordeel dat hiermee is bereikt, is de toename van de zichtbaarheid van de laserspot op het voorwerp en derhalve een betere contourvolgving bij steile hoogteveranderingen. Door de schaduwwerking van een steile wand kan immers het gereflecteerde licht gedeeltelijk geblokkeerd worden. Een tweede objectieftak aan de andere zijde verhindert deze blokkering.



Figuur 6 Het principe van de dubbele optiek van de TWIN-sensor

Het hoogte-uitgangssignaal van de TWIN is de – naar intensiteit gewogen – som van de twee PSD-responsignalen. Hiervoor worden de PSD's parallel geschakeld, waarbij zowel de buitenste als de binnenste contacten met elkaar worden doorverbonden. Die PSD welke het meeste licht ontvangt, bepaalt zo in hoofdzaak het uiteindelijke hoogtesignaal. Overigens kan het gecombineerde signaal van beide PSD's voor het vervolg van de signaalbewerking als dat van één enkele PSD worden beschouwd.

Een ander belangrijk voordeel van deze configuratie is de onderdrukking van de laterale gevoeligheid van de sensor. Normaal beweegt de spot op het object zich onder invloed van hoogteveranderingen zuiver verticaal. Het is echter ook mogelijk dat de effectieve spot zich schijnbaar lateraal verplaatst, dat wil zeggen naar links of rechts. Dit effect treedt op als de spot asymmetrisch op een semi-transparant voorwerp wordt vervormd of als er reflectieverschillen binnen de spot optreden. Ook treedt het effect op als er secundaire reflecties zijn. In al deze gevallen wordt door het objectief een reflectie ontvangen die schijnbaar naast de as van de lichtstraal is ontstaan, zie de gestippelde stralengang in figuur 7.



Figuur 7 Secundaire reflecties bij de TWIN-sensor

Aan de positie van de lichtspots op beide PSD's en de polariteit van de stromen in figuur 8 is te zien dat een hoogteverandering een identieke invloed heeft op beide PSD's, terwijl een laterale verplaatsing door beide PSD's juist verschillend wordt geïnterpreteerd. PSD 1 meet dan bijvoorbeeld een te hoge waarde, terwijl PSD 2 een te lage waarde constateert. Er treedt dus een sterke gevoeligheidsreductie op voor

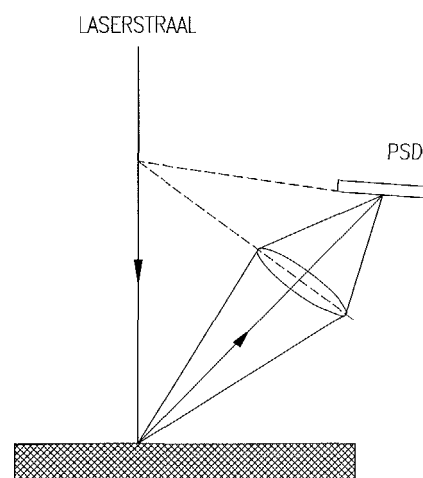
licht dat naast de spot vertrekt en vervolgens het objectief bereikt.

Deze compensatie bewijst ook goede diensten bij het meten van producten die de spotvorm ernstig verstoren, zoals het geval is bij semi-transparante producten als gevolg van indringeffecten. Overigens kan secundaire reflectie ook optreden in de richting loodrecht op het vlak van tekening. In deze richting ontstaan er echter in principe geen afwijkingen, omdat een PSD daarvoor ongevoelig is.

Om deze compensatietechniek goed te laten slagen zal de hoeveelheid secundair gereflecteerd licht die wordt opgevangen door beide objectieven, hetzelfde moeten zijn. Dit is natuurlijk niet altijd het geval. Daarom wordt in de praktijk het nadelig effect van secundaire straling met volledig geëlimineerd, maar voor een belangrijk deel onderdrukt.

Scheimpflug-conditie

Een ander opvallend verschil met andere sensoren is dat de PSD's van de TWIN niet haaks op de hartlijn van het objectief staan. Men kan aantonen dat in de TWIN-configuratie de objectspot voor iedere hoogte in het meetbereik zuiver in focus op de PSD wordt afgebeeld. Daardoor wordt er altijd gezorgd voor een minimale spotgrootte op de PSD. Deze configuratie staat bekend als de 'Scheimpflug-conditie', zie figuur 8.



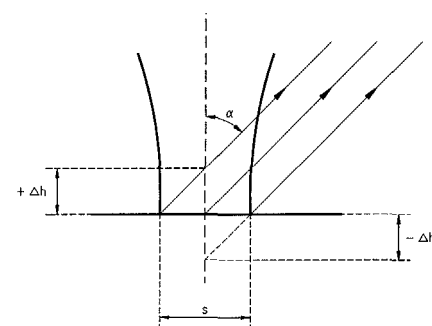
Figuur 8 Het voldoen aan de Scheimpflug-conditie. Het hoofdvlak van de lens en de richting van de PSD snijden elkaar in het hart van de laserbundel

Op het eerste gezicht lijkt deze conditie overbodig, omdat de PSD immers op het zwaartepunt van de lichtvlek reageert. Echter, omdat de ruimtelijke intensiteitsverdeling van het gereflecteerde licht niet bekend is, is de intensiteitsverdeling binnen de lichtvlek ook niet bekend. Hiermee ontstaat een onzekerheid wat betreft het zwaartepunt van de lichtvlek op de PSD, en daarmee ook een onnauwkeurigheid.

Door de keuze voor de configuratie van figuur 7 is er een zeer kleine spot op het PSD-oppervlak gerealiseerd, zodat de spreiding van de plaats van het zwaartepunt onder invloed van de inhomogene intensiteitsverdeling binnen de spot tot een minimum is gereduceerd.

Spotgrootte

Dat een relatief grote spot in het vlak van de hoogtemeting door uitmiddeleffecten een hogere nauwkeurigheid oplevert, berust op een misvatting. De meting vindt immers plaats op oppervlakken waarvan de ruimtelijke intensiteitsverdeling van de reflectie a priori niet bekend is. Figuur 9 illustreert dit door middel van een aanzienlijke vergroting van de omgeving van de spot op het object; de spotdiameter is met s aangeduid.



Figuur 9 Vergrote weergave van de afbeelding van de laserspot op het objectoppervlak

Een eenvoudige beschouwing laat zien dat het licht dat de spot verlaat vanuit de linker helft, een andere meetwaarde ($+\Delta h$) oplevert dan het licht vanuit de rechter helft ($-\Delta h$). De maximale fout die gemaakt wordt, is in het slechtste geval: $\Delta h = s / (2 \tan \alpha)$. Dit pleit voor een zo klein mogelijke spot en een zo groot mogelijke observatiehoek. In de TWIN is rekening gehouden met dit fenomeen door een relatief grote observatiehoek

De TWIN-sensor van TPA: een snelle en nauwkeurige hoogtemeter

te kiezen (43°) en een zo klein mogelijke spot ($30 \mu\text{m}$). In werkelijkheid is deze benadering wat te pessimistisch. Het effect speelt alleen een rol van betekenis als verwacht mag worden dat het afstraalgedrag binnen de spot zeer grote variaties vertoont, bijvoorbeeld bij contrastrijke overgangen. Bovendien treedt er, als gevolg van de 'twee-ogige' optiek van de TWIN, een grote onderdrukking van dit effect op, omdat het teken van de fout Δh voor beide takken verschillend is en er dus compensatie optreedt. De absolute nauwkeurigheid wordt hiermee aanzienlijk vergroot. Zoals duidelijk mag zijn, leidt een kleine spotgrootte ook tot een hoge laterale resolutie, zodat zeer kleine details in het objectoppervlak waargenomen kunnen worden.

Afbeeldingskwaliteit

Een hoge afbeeldingskwaliteit en daarmee een nauwkeurige positionering van de componenten is voor de gekozen configuratie een eerste vereiste. Vervormingen van de spot op de PSD ten gevolge van lensfouten (bijvoorbeeld sferische aberratie of beeldveldkromming) of defocussing leiden onherroepelijk tot onnauwkeurigheden in de hoogtemeting. Voor elk objectief is daarom gekozen voor een lenzenstelsel dat bestaat uit twee achromaten. Een diafragma verkleint de totale openingshoek, zodat de randfouten van de lens onderdrukt worden. Na een zorgvuldige afregeling is op deze manier de totale fout als gevolg van onvolkomenheden in de optiek verwaarloosbaar klein.

Ook de eisen ten aanzien van de kwaliteit van de spot op het voorwerp zijn hoog. Vooral de afmetingen van de spot dienen zo klein mogelijk te zijn. Om een minimale spotgrootte te realiseren wordt voor het collimeren van het laserlicht een speciaal binnen Philips ontwikkelde asferische replicalens gebruikt. Een achromaat verzorgt vervolgens de focussering tot een buigingsbegrensd spot.

Ontwerpoverwegingen bij de TWIN-elektronica

Het doel van de elektronica is de signalen van de PSD's met minimaal kwaliteitsverlies om te zetten in afstands-

informatie die voor de buitenwereld begrijpelijk is.

Aan de signaalverwerking van de PSD's in de TWIN worden de volgende voorwaarden gesteld:

- *Hoge resolutie*

Het spreekt voor zich dat er gestreefd moet worden naar een hoge resolutie. Immers, de PSD's zijn op zichzelf ruisarme detectors, die een continue representatie geven van de plaats van de spot op hun oppervlak. Er is naar gestreefd de totale systeemruis ondergeschikt te maken aan die van de PSD zelf.

- *Hoge nauwkeurigheid*

Vanzelfsprekend moet de nauwkeurigheid van de elektronica voldoende groot zijn om de kwaliteit van de optiek volledig tot zijn recht te laten komen. Een typische nauwkeurigheidswaarde is 0,05% van de volle schaal.

- *Hoge snelheid*

Het doel is een sensor te realiseren die beduidend sneller is dan de bestaande optische afstandsensoren. Alleen op die manier is toepassing bij snelle 'in-line'-inspectie in productieprocessen mogelijk. Een insteltijd van 10 μs is gewenst.

- *Groot dynamisch bereik*

Deze eis volgt uit de wens dat de sensor zonder omschakeling in staat moet zijn een grote variëteit aan produkten te meten met zowel goede als slechte reflectie-eigenschappen. In de praktijk zijn reflectievariëtes te verwachten van 1:1000 of zelfs meer.

Een belangrijke keuze is die tussen het wel of niet moduleren van het laserlicht. Door modulatie wordt onafhankelijk-

heid bereikt van de condities van het omgevingslicht van de sensor. Om een bandbreedte van 100 kHz te realiseren moet echter een modulatiefrequentie van ongeveer 1 MHz worden gebruikt, daar anders de behaalde nauwkeurigheid en dynamiek niet voldoende zijn. Er is gebleken dat onder normale omstandigheden het omgevingslicht – vergeleken met de hoge intensiteit van de laserspot – dermate zwak is dat gemoduleerde signaalverwerking niet nodig is. Een voorwaarde is echter wel dat afwijkingen en drift van de PSD-signalen en de elektronica tot een minimum beperkt worden. Dank zij moderne operationele versterkers en een stabiel compensatiecircuit behoeft dit echter geen probleem te vormen. Bovendien zorgt een selectief infrarood-filter voor een aanzienlijke onderdrukking van het omgevingslicht. Op deze manier blijkt het mogelijk een hoge snelheid, een groot dynamisch bereik en een hoge nauwkeurigheid te realiseren.

Voor het bepalen van de positie van de lichtvlek op de PSD moet het quotiënt worden berekend van het verschil en de som van de beide PSD-stromen. De uitvoering van deze deling is geen eenvoudig probleem. Vooral de eis van een groot dynamisch bereik vormt een lastige opgave. In formule uitgedrukt:

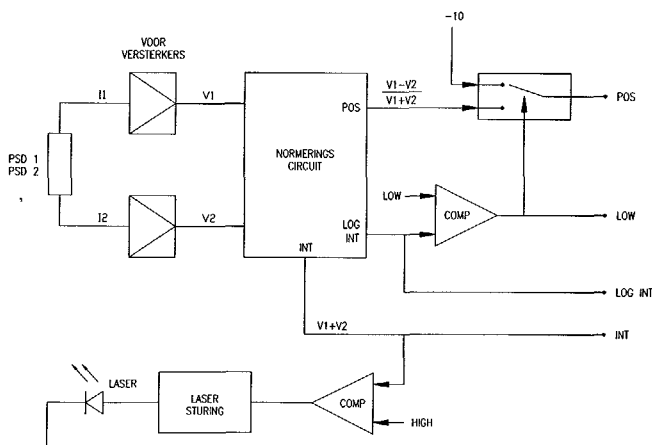
$$\text{Afstand} = (I_1 - I_2) / (I_1 + I_2)$$

I_1 en I_2 stellen hierin de beide PSD-stromen voor.

Er is een aantal technieken beschikbaar om een dergelijke deling uit te voeren:

- *Analoog delen*

Een deling met behulp van een analoog circuit is het eenvoudigst. De resultaten met commercieel verkrijgbare compo-



Figuur 10 Blokschema van de elektronica van de TWIN-sensor

menten zijn over het algemeen echter zeer teleurstellend.

• Laser-terugkoppeling

Met behulp van deze techniek wordt het laservermogen zodanig geregeld dat de noemer van bovenstaande formule constant blijft en een deling daardoor overbodig wordt. Dit vergt echter een groot dynamisch regelbereik van de laser zelf. Het belangrijkste nadeel van deze methode is dat bij goed reflecterende objecten het laservermogen zodanig wordt gereduceerd dat de signaal/ruis-verhouding onnodig verslechtert.

• Digitaal delen

Directe AD-conversie van de PSD-stromen vereist een zeer hoge resolutie van de AD-omzetter. Hieruit valt af te leiden dat het dynamisch bereik van deze omzetter minimaal gelijk moet zijn aan het produkt van het dynamisch bereik wat betreft de hoogte en het dynamisch bereik wat betreft de intensiteit. In dit geval resulteert dit in een dynamisch bereik van $2000 \times 1000 = 2 \times 10^6$. Dat komt bij binaire conversie overeen met een resolutie van 21 bits!

De TWIN-elektronica

Figuur 10 geeft het blokschema weer van de elektronica van de TWIN; waaruit blijkt dat voor de TWIN-elektronica een combinatie van twee technieken wordt toegepast: delen met behulp van een analoog circuit, en terugkoppelen van de laservoeding.

De deling in de TWIN-elektronica wordt uitgevoerd door een geëtrooiëerd normeringscircuit. Dit circuit berekent, zonder de tussenstap van optellen en aftrekken, het genormeerde resultaat van I_1 en I_2 . Bovendien wordt tegelijkertijd de som van de twee stromen en de logaritme ervan berekend. Beide signalen zijn voor de gebruiker beschikbaar en vormen een maat voor de lichtintensiteit op de PSD.

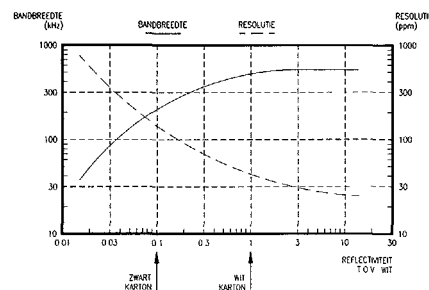
Het terugkoppelcircuit voor de laser van de TWIN vermindert alleen het laservermogen als de hoeveelheid licht een vooraf bepaald maximum overschrijdt. Dat maximum hangt samen met de verzadigingsgrens van de componenten. Zo wordt maximaal geprofitteerd van het beschikbare licht, zodat de hoogst mogelijke signaal/ruis-verhouding wordt bereikt.

De resultaten

Figuur 11 toont de bandbreedte en resolutie als functie van de reflectie van het voorwerp. De reflectie is genormerd ten opzichte van die van wit karton. De bijbehorende stroom van de PSD's is ongeveer gelijk aan $32 \mu\text{A}$, wat overeenkomt met een totaal ontvangen lichtvermogen van $50 \mu\text{W}$.

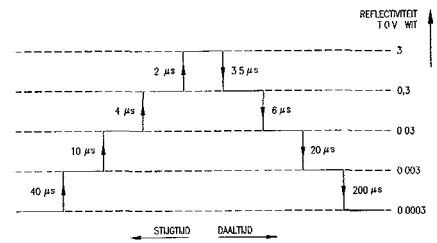
Een eigenschap die het gevolg is van de gekozen technieken, is, dat zowel bandbreedte als resolutie afhankelijk zijn geworden van de hoeveelheid licht op de PSD's. Deze eigenschap kan men ook intuïtief aanvoelen. Immers, als een bepaalde hoeveelheid ruis is gegeven, zal bij toenemende intensiteit de signaal/ruis-verhouding en daarmee de resolutie verbeteren.

De bandbreedtebeperking bij lage intensiteiten is een direct gevolg van het instelgedrag van het normeringscircuit.



Figuur 11 Bandbreedte en resolutie als functie van de reflectie van het objectoppervlak. De reflectie is genormerd ten opzichte van die van wit karton

Dat bereikt sneller de eindwaarde naarmate het ingangscircuit meer stroom ontvangt. Zoals blijkt uit de grafiek, is een bandbreedte van 500 kHz mogelijk. De instelfrequentie wordt meestal opzettelijk begrensd tot circa 100 kHz, ten einde de resolutie te verhogen. Deze instelfrequentie is voor de meeste applicaties snel genoeg, want in de praktijk blijkt dat het producttransport en niet de sensor de meestsnelheid beperkt. Bij een zijdelingse afstand van $30 \mu\text{m}$ van de afzonderlijke metingen is een product-snelheid van 3 m/s nog toegestaan. Bij deze berekening is aangenomen dat het object zich tijdens één meetperiode over niet meer dan eenmaal de spotgrootte verplaatst. Bij grotere objectsnelheden ontstaat een middelingseffect van de gemeten hoogtewaarden.



Figuur 12 Het instelgedrag van het normeringscircuit

Figuur 12 illustreert het instelgedrag van het normeringscircuit. Bij elke stap in de waarde van de reflectie is de stijgen- en de daaltijd aangegeven. Het blijkt dat de insteltijd voornamelijk wordt bepaald door de eindwaarde van de PSD-stromen. Het criterium bij deze metingen is de tijd die het positie-uitgangssignaal nodig heeft om binnen 0,5% van de volle schaal de eindwaarde te bereiken.

Specificaties van de Twin-sensor

De specificaties die als resultaat van de hier beschreven ontwikkeling van de TWIN-sensor zijn bereikt, zijn als volgt:

Vrije werkafstand	15 mm
Meetbereik	6 mm
Nauwkeurigheid	$\pm 2 \mu\text{m}$
Resolutie	$\pm 0,2 \mu\text{m}$
Spotdiameter	$< 35 \mu\text{m}$
Bandbreedte	500 kHz
Insteltijd	$< 10 \mu\text{sec}$
Dynamisch bereik	1 : 1000
Lasergolflengte	780 nm
Uitgangssignalen :	
Hoogtesignaal	-10..+10 V
Lin.Int.signaal	0..+ 5 V
Log.Int.signaal	-6..+ 6 V (3V/Decade)
Objectindicatie	0..+ 5V (TTL)
Afmetingen	120 x 95 x 40 mm (lxbxh)
Gewicht	circa 70 gram
Externe voeding	+15/-15 V DC
Stroomopname	circa 80 mA
Temperatuurgebied	0..50 °C

Auteursnoot

Ing. C.A.A.M. Maas is technical manager van TPA Systems BV, Maastricht
Bewerking Frans Zuurveen