



Een elektronisch waterpas van Nederlandse bodem.

Ir. M. Breuning.

Elektronische versies van het bekende waterpas zijn door een aantal fabrikanten ontwikkeld.

De hier beschreven nederlandse uitvinding leidt tot een eenvoudige en zeer robuuste sensor, geschikt voor toepassing in zowel een waterpas-liniaal als in vele andere toepassingen.

De aansluitende ontwikkeling van produkt specifieke geïntegreerde elektronica voor de signaalverwerking van de sensor levert een innovatief produkt voor een concurrerende prijs.

Summary

Electronic versions of Libel Tilting Sensors have been developed by several manufacturers. The dutch invention, described in this article, provides a simple and rugged device, useable not only in a leveling-rule but in many other applications as well.

The associated development of a product specific integrated circuit for the signal processing of the sensor results in a innovative product for a competitive price.

Inleiding

Het waterpas als instrument voor het zuiver horizontaal, of zuiver verticaal, justeren van voorwerpen of constructies is algemeen bekend. Het is een robuust gereedschap. De nauwkeurigheid is in principe groot, maar blijft sterk afhankelijk van de aflezende persoon. Het gereedschap is ook alleen te gebruiken als men in staat is het visueel af te lezen. Dat beperkt de gebruiksmogelijkheden. In sommige gevallen is assistentie noodzakelijk om de uitlezing te verrichten, respectievelijk de justering van het te plaatsen voorwerp uit te voeren.

Om het toepassingsgebied te verruimen, en om aan de genoemde bezwaren tegemoet te komen, zijn verschillende elektronische instrumenten ontwikkeld. De werking ervan berust op verschillende sensorprincipes. Eén daarvan bestaat bijvoorbeeld uit een slinger waaraan een ferrietkernetje is bevestigd dat in een spoelen systeem van een differentiaal transformator kan duiken. De spoelen worden al naar gelang de scheefstand van de slinger meer of minder inductief met elkaar gekoppeld. Dit resulteert in een elektrische uitgangsspanning die evenredig is met

die scheefstand. Na verdere elektronische bewerking wordt een aanwijzing in digitale hoekmaat weergegeven. De opnemers kunnen zowel een vlakke als prismatische voet hebben en kunnen ook als inbouwelement worden geleverd; onder andere door Taylor Hobson, Keilpart, e.a.

Een ander systeem maakt gebruik van een elektrisch geleidende vloeistof in een overigens traditionele libel. De positie van de luchtbel wordt afgetast met behulp van platina contactbanen, welke tijdens de fabricage met de hand in de libel zijn aangebracht. Om de speciale geleidende vloeistof en ook de platina contactbanen te beschermen moet gebruik gemaakt worden van een wisselstroom wat het systeem en de bijbehorende signaalverwerking gecompliceerd maakt. Deze Libel Tilting Sensor wordt onder andere vervaardigd door Spectron (USA). Beide genoemde elektronische sensoren zijn tamelijk kostbaar en voor het realiseren van een voldoende robuustheid zijn bijzonder constructieve maatregelen vereist.

De nederlandse vinding die hieronder besproken zal worden heeft een aantal voordelen ten opzichte van de genoemde constructies. Ze maakt gebruik van een normale libel, de uitlezing geschiedt zonder bewegende delen, ze is robuust en door gebruik van specifieke geïntegreerde elektronica in grote serie voor een aantrekkelijke prijs te fabriceren.

Uitvinding en ontwikkeling

In 1987 kwam de uitvinder, de heer J.W.M. Bodewes uit Beverwijk, met zijn idee voor een elektronisch waterpas bij het ID-NL in Rotterdam. (Zie Mikroniek 31(1991)4 p.93 voor de werkwijze van het ID-NL.)

De uitvinder werd bij de verdere ontwikkeling begeleid door dit ID-NL en het Innovatie Centrum Den Haag.

Op de sensor, het hart van de waterpas, is inmiddels in een groot aantal landen (24) octrooi verkregen.

Via het ID-NL werden ook contacten gelegd met een ondernemer met ruime ervaring in consumentenelektronica, die geïnteresseerd bleek in de exploitatie van het produkt mede door de vele toepassingsmogelijkheden van de sensor. Deze ondernemer wist een aantal investeerders te interesseren waardoor de activiteit kon worden ondergebracht in een nieuw ge-

vormde onderneming Incom Meet- en Regeltechniek, gevestigd in Lisse.

Het unieke van het produkt schuilt onder andere in de vernuftige optische uitlezing en de signaalverwerking met een speciaal ontworpen elektronische schakeling in geminiaturiseerde geïntegreerde uitvoering, een zogenaamde ASIC (Application Specific Integrated Circuit). Deze werd ontwikkeld in samenwerking met een daarin gespecialiseerd bedrijf (de firma Pijnenburg).

Werking

Zoals reeds vermeld maakt de sensor gebruik van een traditionele libel, bestaande uit een gebogen buisje dat gedeeltelijk gevuld is met een heldere vloeistof. Het niet gevulde gedeelte, de luchtbel, neemt altijd de hoogste positie in en is daarmee een indicator voor de stand van de sensor waarvan het buisje deel uitmaakt. De libel wordt, zoals gebruikelijk, zodanig gemonteerd dat de luchtbel zich precies in het midden van het buisje bevindt als de sensor zich in zuiver horizontale positie bevindt.

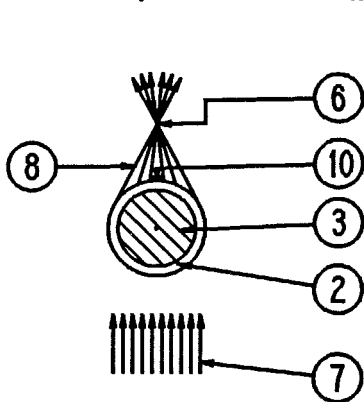
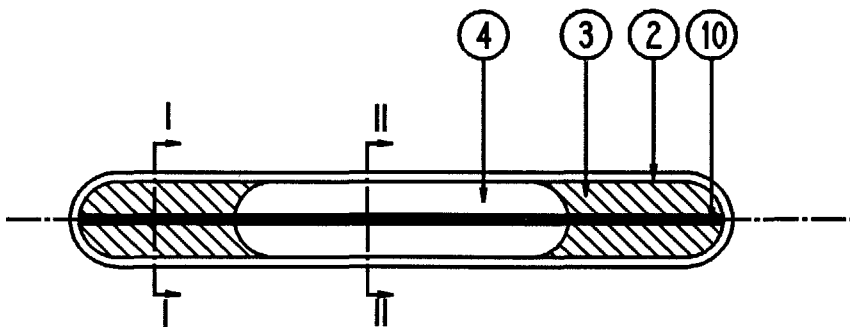
De uitlezing van de positie geschiedt optisch, met behulp van licht en lichtgevoelige elektrische weerstanden. De lichtbron is onder het buisje geplaatst.

Daar zowel de heldere vloeistof als de luchtbel een voor het licht ongeveer gelijke doorlaatbaarheid hebben, is positiebepaling van de luchtbel niet goed mogelijk met de boven het buisje geplaatste lichtgevoelige weerstanden, zogenaamde LDR's (Light Dependant Resistance).

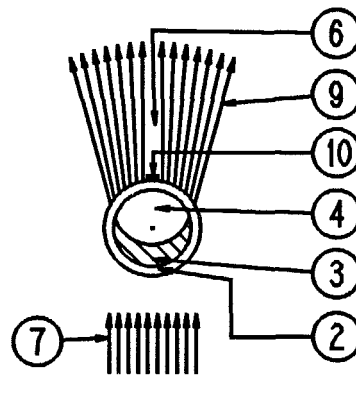
Het geheel met vloeistof gevulde gedeelte van het buisje blijkt echter als een (cylindrische) lens te werken en concentreert het licht, dat als parallelle bundel wordt aangeboden, in een brandpunt (brandlijn). De luchtbel daarentegen blijkt het licht als een enigszins divergerende bundel door te laten, zie de doorsneden I en II van figuur 1. Boven het buisje zijn twee LDR's, ieder met een lengte gelijk aan de lengte van de luchtbel, in de lengterichting van het buisje tegen elkaar geplaatst. Deze LDR's zijn opgenomen in een brug van Wheatstone.

De uitvinding heeft als kernpunt dat door het aanbrenge van een zwarte streep van geschikte breedte aan de bovenzijde van het buisje het licht dat de luchtbel passeert de LDR niet bereikt. Het licht dat door het geheel met vloeistof gevulde ge-

BOVENAANZICHT

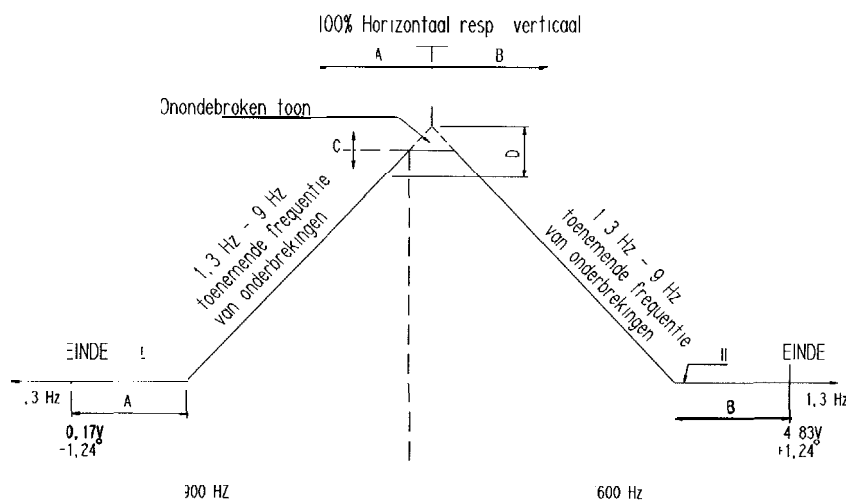


DOORSNEDE I - I



DOORSNEDE II - II

Figuur 1. Principe van de aftasting van de libel. 2) Buisje; 3) heldere vloeistof; 4) luchtbel; 6) LDR; 7) inkomend licht; 8) gefocuseerde uitgaande bundel; 9) divergerende uitgaande bundel; 10) zwarte streep.



Figuur 2. Grafiek van toe- en afnemende onderbrekingsfrequentie van het intermitterende rode LED-sigitaal en van het geluidssigitaal. Het punt 100% horizontaal wordt na samenbouw van het binnenhuis (zie figuur 3) met behulp van een potentiometer in de richting A of B gejusteerd om samen te vallen met de middenpositie van de libel. De breedte van het gebied met ononderbroken toon, respectievelijk het groene LED signaal, wordt eveneens met een potentiometer ingesteld; daarmee wordt C in het gebied D verschoven.

Punt I komt overeen met 15 mm respectievelijk 12 mm opvullen van het einde van de liniaal uit de horizontaal, bij een lengte van 1000 mm (1 m) respectievelijk 800 mm (80 cm). Punt II komt overeen met eenzelfde tilhoogte aan het andere uiteinde.

De breedte van het gebied met ononderbroken toon is instelbaar tussen een tilhoogte van 0 en 3 mm aan het einde van een liniaal van 1000 mm.

deelte van het buisje wordt doorgelaten wordt echter slechts voor een zeer klein deel afgeschermd en voor het overige geconcentreerd op de in het brandpunt (brandlijn) geplaatste LDR's. Hierdoor wordt een zeer goede lichtscheiding tussen vloeistof en luchtbel verkregen, en dus een grote licht-donker verhouding van de belichting van ieder van de twee LDR's. Er wordt een hoge zogenaamde signaal-ruis verhouding bereikt. Daardoor is een bijzonder nauwkeurige bepaling van de positie van de luchtbel mogelijk. De breedte van de LDR-elementen is gelijk aan of kleiner dan de breedte van de zwarte streep.

In de definitieve uitvoering is de zwarte streep die moeilijk op het buisje was aan te brengen, vervangen door een, eveneens zwart, masker dat direct boven op de libel wordt geplaatst.

Doorsnede I van figuur 1 laat zien hoe de belichting van een LDR door het volledig met vloeistof gevulde gedeelte plaatsvindt. Doorsnede II laat de afscherming van belichting van een LDR bij de luchtbel zien.

Het meetbereik is -5° , de bereikte nauwkeurigheid $1/100^\circ$. De responsietijd is minder dan 0,5 seconde.

Met de bijbehorende elektronica voor de signaalverwerking wordt een optische uitlezing gerealiseerd met drie LED's (Licht Emitting Diodes), een middelste groene en twee rode. Tevens wordt een intermitterend akoestisch signaal gegenereerd, waarvan de onderbreekfrequentie 1,3 Hz bedraagt bij maximale scheefstand en toeneemt tot 9 Hz bij het bereiken van de zuivere horizontale positie waarbij een continue toon klinkt. De toonhoogte is bovendien afhankelijk van de richting van de scheefstand, zie figuur 2. Bij een voedingsspanning van 5V is het laagste uitgangssignaal bij uiterste scheefstand ($-1,24^\circ$) 0,17 V en het hoogste bij tegenovergestelde uiterste scheefstand ($1,24^\circ$) 4,83 V.

De elektronische schakeling is stabiel binnen een temperatuurbereik van -15°C tot $+60^\circ\text{C}$. De thermische drift bedraagt slechts $1/1000^\circ$ (boog) per $^\circ\text{C}$.

Uitvoering

Voor toepassing in een waterpas is de libelsensor als een compacte unit uitgevoerd waarbij de schakeling en afregелеlementen op een klein paneel met geëtsede bedrading, een PC-board, zijn ondergebracht; zie figuur 3. Het printpaneel is bevestigd tegen het binnenhuis dat als freem dient voor de beide libellen en respectievelijk de horizontale en de verticale stand van de waterpasliniaal. In en

Een elektronisch waterpas van Nederlandse bodem.

op het binnenhuis zijn tevens de belichting en de LDR's aangebracht alsmede de drie LED's, de buzzer (mini-luidspreker) en de twee druschakelaars, te weten een aan-uit toets en een fijninsteltoets. Eenmaal indrukken van de aan-uit toets doet alleen de lichtsignalen werken, nogmaals drukken schakelt ook het geluid in. Een derde maal drukken schakelt de sensor weer uit.

Voor extra nauwkeurig meten kan met de fijninsteltoets het gebied waar constante toon en groen LED signaal wordt gegeven tot éénderde worden verkleind.

De volledig gecontroleerde en gejusteerde binnenhuis eenheid wordt in een geanodiseerd aluminium liniaal-profiel geschoven en met een kapje afgewerkt. In het profiel is aan één uiteinde tevens een batterijhouder onder een afneembare dop ondergebracht. In deze houder worden vier zogenaamde penlite 1,5 V batterijen ondergebracht.

Wordt de ingeschakelde waterpasliniaal op een te justeren voorwerp geplaatst dan zal bij scheefstand één der beide rode LED's intermitterend oplichten en een intermitterend geluidssignaal klinken. Naarmate door justeren het voorwerp een zuivere horizontale stand meer benadert, zal het ritme van geluid en rode LED versnellen. Totdat de middelste groene

LED oplicht en een constante toon klinkt, waarmee de zuivere horizontaalstand wordt aangegeven.

Bij gebruik van de liniaal voor het verticaal justeren schakelt de sensor automatisch over. Daarbij dienen de drie LED's, die uit het midden van de liniaal zijn gemonteerd, zich bovenaan te bevinden. De werking is gelijk aan die bij horizontaal justeren.

Van de aldus opgebouwde waterpasliniaal wordt schok- en waterbestendigheid geclaimd. Het stroomverbruik is gering; de levensduur van de batterijen (alkaline) is voldoende voor minimaal 60 uur inschakelduur. Het apparaat schakelt zichzelf na vijf minuten uit. De nauwkeurigheid bedraagt in praktische termen uitgedrukt 0,2 mm per meter. Het meetvenster is bij normaal instelling 3 mm per meter, bij fijninstelling 1 mm per meter.

Al deze eigenschappen worden met behulp van de geïntegreerde elektronica gerealiseerd, waarmee nog eens de mogelijkheden worden geïllustreerd die daarmee aan toegevoegde eigenschappen te verkrijgen zijn.

Toepassingen

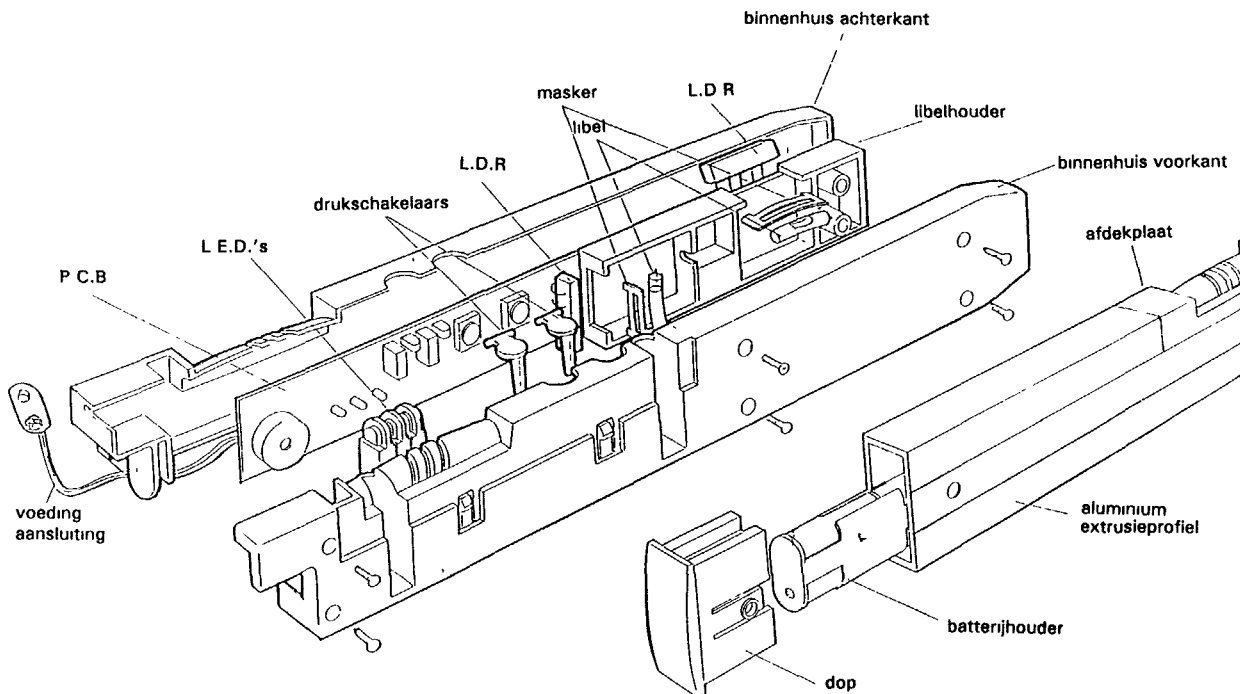
Behalve in een waterpasliniaal, die daarvoor op afstand en buiten gezichtsveld respectievelijk in het donker afleesbaar

wordt, kan de sensorunit ook op vele andere manieren worden toegepast. De sensorunit kan zowel voor horizontaal- en verticaalindicatie worden uitgevoerd, maar ook voor alléén horizontaalindicatie.

Van de vele denkbare toepassingen kan men zich de volgende voorstellen:

- Als vast ingebouwde waterpasindicator in machinefreems, instrumenten en andere uitrusting.
- Vast ingebouwd voor het horizontaal stellen van boor- of lanceerplatforms.
- In de luchtvaart voor het justeren van gyroscopen en het trimmen van (de automatische besturing van) vliegtuigen.
- Bij wegvoertuigen voor het automatisch richten (justeren) van koplampen als correctie op de invloed van variabele belasting van het voertuig, of voor het automatisch op hoogte brengen van de vering.
- Bij binnenschepen als indicatie voor gelijkmatige belading.
- Als bewaking - met automatische alarmmogelijkheid - voor in aanbouw zijnde bouwwerken respectievelijk bij gevaar voor verzakking.

De geschiktheid voor grootseriefabricage enerzijds en de eenvoudige interface met verdere elektronica anderzijds, verschaft voor al deze gevallen een gunstige marktpositie.



Figuur 3. "Exploded View" van de waterpasliniaal. In de rechteromdrehing van de figuur is het holle rechthoekige aluminiumprofiel zichtbaar waarin het gemonteerde binnenhuis wordt geschoven. Aan de rechterkant in het midden is nog net zichtbaar waar de LED's na het inschuiven zich zullen bevinden. (Opgemerkt wordt dat de maatvoering in de x-richting van de scheve projectie voor het binnenhuis in verhouding tot de binnenmaten van het aluminiumprofiel verkeerd is, waardoor de indruk wordt gewekt dat het huis niet in het profiel past.)