

## Navorsingsbriewe

# Kompensasie vir die invloed van die elektriese veldsterkte op die bepaling van die bewegingshoek van 'n vliegtuig

Ontvang 17 Oktober 1997; aanvaar 3 April 1998

## ABSTRACT

### *Using the earth's electrostatic field for aircraft attitude measurements*

*During flight large voltage differences can develop between isolated sensors on the wingtips of an aircraft. This is as a result of charge differences in the atmosphere under the influence of the earth's electrostatic field. These charge differences can be utilised for aircraft attitude measurements. An electrostatic sensor has been developed to measure these charge differences. The system also incorporates a field compensator to minimise the influence of changes in the atmospheric electrostatic field. To increase the sensitivity of the system, a radioactive source is used to ionise the surrounding air; thereby increasing the number of locally ionised particles.*

## INLEIDING

Die moontlikheid van 'n elektrostatiese sensor vir die meet van 'n vliegtuig se bewegingshoeke gedurende vlug is al in November 1972 deur M.L. Hill<sup>1,2</sup> genoem. Hy was destyds verbonde aan die John Hopkins Applied Physics Laboratory (APL) in Maryland, VSA. Spanningsverskille tussen twee sensors wat op die vlerkpunte van 'n vliegtuig geplaas is, word gemeet terwyl die vliegtuig in die elektrostatiese veld tussen die aarde en die ionosfeer vlieg. Radioaktiewe bronne word gebruik om die lug lokaal te ioniseer, sodat ekstra ione voorkom wat die ladingsverskille vergroot om sodoende 'n groter sein te verkry. Die ionosfeer is tipies sowat 350 kV positief gelaai met betrekking tot die aardoppervlakte. In matige weerstoestande en ook sekere vorms van onweer, is die spanningsgradiënt vertikaal georiënteer en in die orde van 150 V/m naby die grond. Hill het gedurende werklike vlugtoetse 'n radioaktiewe bron, Polonium 210, as ioniseerder gebruik.

Hy het ook al vroeg sy bedenkinge uitgespreek oor so 'n stelsel, aangesien te veel eksterne faktore die werking van die stelsel kan beïnvloed, maar die effek van sodanige invloede is nie kwantitatief bepaal nie. Potensiële invloede is byvoorbeeld die weersomstandighede, lugspoed, hoogte, temperatuur en vliegtuigdinamika, wat soms moeilik is om te meet en wiskundig te beskryf.

Heelwat ondersoek is al gedoen na die elektriese gedrag van die atmosfeer en literatuur bestaan ten opsigte van die invloed van die aarde se geleidingsstrome, vertikale spanningsgradiënt, oortollige ladingdraers, en gelaai deeltjies as 'n funksie van hoogte.

Hierdie projek het ten doel om die onderliggende fisiese beginsels te verduidelik, self 'n fisiese stelsel te ontwikkel om die ladings te meet, en dan kwantitatief met die gemete data te oordeel wat die fisiese tekortkominge van so 'n stelsel is.

## AGTERGROND

Die hoogteverskil tussen twee elektrostatiese sensors op die vlerkpunte van 'n vliegtuig veroorsaak 'n uitsetsein, waarvan die grootte 'n funksie is van onder meer die rolhoek van die vlerk, afstand tussen die sensors, elektriese veldsterkte in die atmosfeer, die spoed waarteen die ioniseerde ladings in die lug beweeg, asook die sterkte van die radioaktiewe bron.

Een vertikaalgeoriënteerde kollektorplaat word aan elke punt

van 'n vliegtuig se vlerke gemonteer, tesame met 'n radioaktiewe bron. Al twee kollektorplate is verbind aan 'n hoë-impedansie-elektrometer wat die verskil in ladings tussen die twee plate sal meet. Die radioaktiewe bronne veroorsaak lokale ionisasie van die lug naby die vliegtuig se vlerkpunte. Hierdie geïoniseerde ladings beweeg onder die invloed van die vertikale spanningsgradiënt, wat veroorsaak word deur die sowat 350 kV positief-gelaai ionosfeer met betrekking tot die aardoppervlakte. Die negatiewe elektrone beweeg opwaarts na die positiewe ionosfeer, terwyl die positiewe ione afwaarts na die aarde beweeg.

Sou die vliegtuig se vlerk horisontaal wees, sal eweveel ladings die linker- en die regterkantste kollektorplate bereik, en sal daar geen ladingsverskil wees nie. Indien die vliegtuig egter teen 'n vaste rolhoek vlieg, bereik meer negatiewe ladings die onderste kollektorplaat as bo. Net so sal meer positiewe ladings die boonste kollektorplaat bereik as onder. Hierdie ladingsverskille (alhoewel klein) veroorsaak 'n stroomvloei ( $I = Q \cdot t$ ) wat deur die elektrometer gemeet kan word. Hoe groter die hoek, hoe groter word die oppervlakte van die kollektorplate wat die vertikaal bewegende ladings 'sien'. 'n Groter oppervlakte beteken dat meer ladings die kollektorplate bereik en gevolglik word die ladingsverskil en die gemete stroom groter. Hierdie gemete stroom is dan 'n direkte funksie van die vliegtuig se rolhoek.

Hoe vinniger die vliegtuig vlieg, hoe meer na vore skuif die volume lug (met ladings) wat 'n effek op die kollektorplaat se lading (en seinsterkte) het. Ook word ladings van teenoorgestelde polariteit as wat die kollektorplaat ontvang in die lug agtergelaat. Die ladings herkombineer nie dadelik nie, met die gevolg dat dit hulle eie elektriese veld opwek wat die oorspronklike veld teenwerk. Dit word dus duidelik dat die vliegtuig se spoed ook 'n faktor word wat in berekening gehou moet word.

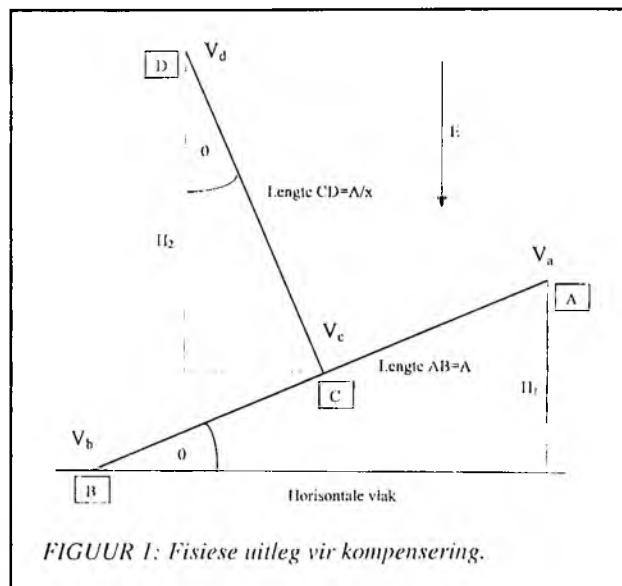
Sou die radioaktiewe bronne 'n te swak lokale ionisasieveld veroorsaak, sal te min ladings by die kollektorplate beskikbaar wees. Dit sal 'n lae sein-tot-ruis-verhouding tot gevolg hê. Sorg moet dus gedra word dat daar 'n minimum grootte ionisasieveld (en dus die minimum sterkte bron in mCi) gebruik word om 'n aanvaarbare werkverrigting van die sensor te verseker. Solank al die radioaktiewe bronne dan dieselfde sterkte het, sal die stelsel korrek funksioneer. Vir klein verskille sal wel elektronies gekompenseer kan word.

Verder kan die elektriese veldsterkte ook verander. Dit kan byvoorbeeld die gevolg wees van die teenwoordigheid van Cumuluswolke, wat sterk ladingskeidings eienskappe besit. Die

gemete stroom sal dan 'n fout bevat wat afbeeld op 'n verkeerde hoek. Hierdie projek stel die volgende metode voor om vir hierdie invloed te kompenseer:

### KOMPENSASIE VIR VERANDERINGE IN DIE ELEKTRIESE VELD

Die doel is om die sensoreenheid toe te rus met 'n kompenseerder sodat die stelsel binne perke ongevoelig sal wees vir veranderinge in elektrostatische veldsterkte. Die probleem word opgelos deur 'n derde elektrostatische sensor haaks met die eerste stel sensore te plaas en sodoende 'n tweede lesing te verkry wat gebruik kan word om te kompenseer vir veranderinge. Die metode word verduidelik aan die hand van figuur 1.



Die lyn AB stel die vliegtuig se vlerk voor wat 'n hoek  $\theta$  met die horisontale vlak maak. Lyn DC is loodreg op lyn AB (met  $BC = CA$ ). Die spannings  $V_a$ ,  $V_b$ , en  $V_d$  is die seine wat op die kollektorplate (relatief tot dieselfde verwysing) gemeet word.  $V_c$  is bloot die gemiddelde van  $V_a$  en  $V_b$ . Sodoende word 'n vierde kollektorplate met 'n radioaktiewe bron gespaar. Die vertikale elektriese veldkomponent is as  $E$  aangedui. Uit trigonometrie volg die volgende:

$$(V_a - V_b) = E H_1 = E A \sin \theta \quad (1)$$

$$(V_d - V_c) = E H_2 = E \left( \frac{A}{x} \right) \cos \theta \quad (2)$$

$$\text{waar } V_c = \frac{1}{2} (V_a + V_b) \quad (3)$$

Deur die veranderlike  $\theta$  vanuit (1), (2) en (3) op te los, word die volgende uitdrukking verkry:

$$\theta = \arctan \left[ \frac{V_d - V_c}{x \left( V_d - \frac{1}{2} (V_a + V_b) \right)} \right] \quad (4)$$

Die veranderende elektrostatische veld kom glad nie meer in die uitdrukking voor nie. Deur dus twee differensiële seine te meet en die uitdrukking van (4) te gebruik, word die gekompenseerde hoek bereken wat onafhanklik is van die elektrostatische veldsterkte. Die faktor  $x$  is slegs daar om die lengte van DC fisies meer realisties te maak. In die eksperimentele opstelling wat hieronder beskryf word, is  $x = 2$ .

### EKSPERIMENTELE OPSTELLING

Die volgende eksperimentele opstelling word gebruik: 'n Houtpaal van 3,5 m is vertikaal op 'n motorvoertuig se dakrak gemonteer. Dit is 'n poging om die motor se invloed op die elektrostatische veld tot 'n minimum te beperk. Om 'n vliegtuig se vlerk te simuleer, is 'n dwarsplank, 1,5 m lank, bo-aan die houtpaal gemonteer. Eersgenoemde kan deur middel van 'n skarnierpunt geroteer word deur 'n hoek van ongeveer  $90^\circ$ . Die elektrostatische sensore (geplaas soos in figuur 1 verduidelik) met die nodige seinkondisionering, 'n roltempogiro, asook 'n potensiometer om die werklike hoek te meet wat as verwysing kan dien, is op die dwarsplank gemonteer. Die analoogseine word via afgeskermdre draad na onder gevoer, waar dit na geskikte omsetting via die seriale poort van 'n draagbare rekenaar ingelees word. Na afloop van die eksperiment kan die data gereduseer en geanaliseer word. Hierdie opstelling is heel eenvoudig en goedkoop. Ook verseker dit dat baie datapunte onder verskeie weersomstandighede met betreklik min moeite opgeneem kan word.

Die fisiese gedeelte waarmee die ladinge gemeet word, bestaan uit 'n sirkelvormige kollektorplate, met die radioaktiewe bronne in die middel daarvan gemonteer. Hierdie gedeelte word aan die buitekant van die vlerk (in hierdie geval nou die dwarsplank) vertikaal gemonteer met die radioaktiewe bronne wat na die buitekant kyk. Ook is daar 'n derde kollektorplate op 'n vooraf bepaalde vertikale afstand bo die ander twee gemonteer, en word gebruik om intyds die elektrostatische veldsterkte te bepaal.

Hill se eksperimente is met behulp van radioaktiewe Polonium 210-alfabronne gedoen. In terme van eksterne straling op die mens is dit veilig, maar dit hou egter 'n hoë interne stralingsgevaar in. Die bronne se halfleeftyd is ook sowat vier maande, wat beteken dat die bronne gereeld vervang, en die betrokke meettoerusting gereeld gekalibreer moet word. Die radioaktiewe bronne wat vir hierdie projek gebruik word, is Krypton 85 3 mCi betastralers. Dit hou 'n baie kleiner interne stralingsgevaar in en het ook 'n halfleeftyd van ongeveer tien jaar, sodat die minimum onderhoud op die radioaktiewe bronne en die seinverwerking benodig word. Dit word op 'n groot skaal in die nywerheid gebruik.

'n Tempogiro sorg vir roltempo-inligting van die dwarsplank, met die fisiese hoek wat deur middel van 'n potensiometer gemeet word met 'n resolusie van  $0,35^\circ$ . Die elektrostatische versterkers waarmee die klein ladingsverskille gemeet word, het 'n ingangsimpedansie van  $600 \text{ M}\Omega$ , 'n stroomresolusie van  $6,1 \text{ pA}$  en 'n volskaalstroom van  $1,58 \text{ nA}$ . Die groottes van die ladings wissel tussen ongeveer  $3$  tot  $790 \times 10^{13} \text{ C}$ .

'n DS5000T Dallas-mikroverwerker word as 'n analoog-na-syfer-omsetter gebruik. Hierdie mikroverwerker kan met die seriale poort van 'n gewone draagbare rekenaar geprogrammeer word, om sodoende laasteoomblik-veranderinge in die veld toe te laat. Die draagbare rekenaar vertoon en bêre data intyds in onverwerkte vorm teen 'n monstertempo van  $20 \text{ ms}$ .

### RESULTATE

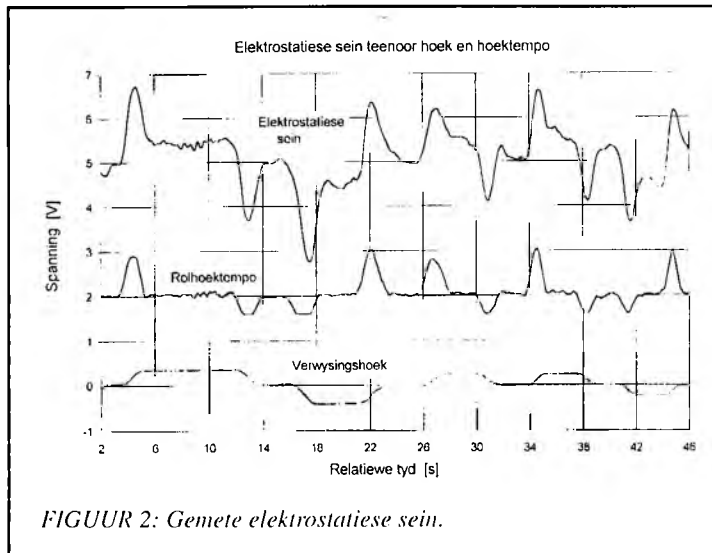
Aanvanklik is baie probleme ervaar weens die feit dat die voertuig lading opgebou het vanaf die teerpad met gevolglike onhanteerbare ruis op die elektrostatische sensore. Daar is dus besluit om die eksperiment verder op 'n grasoppervlakte uit te voer.

In die begin is die kollektorplate horisontaal geplaas, en is gevind dat 'n sterk roltemposein binne die gemete hoeksein teenwoordig is. Dit is omdat die gemete stroom afhanklik is

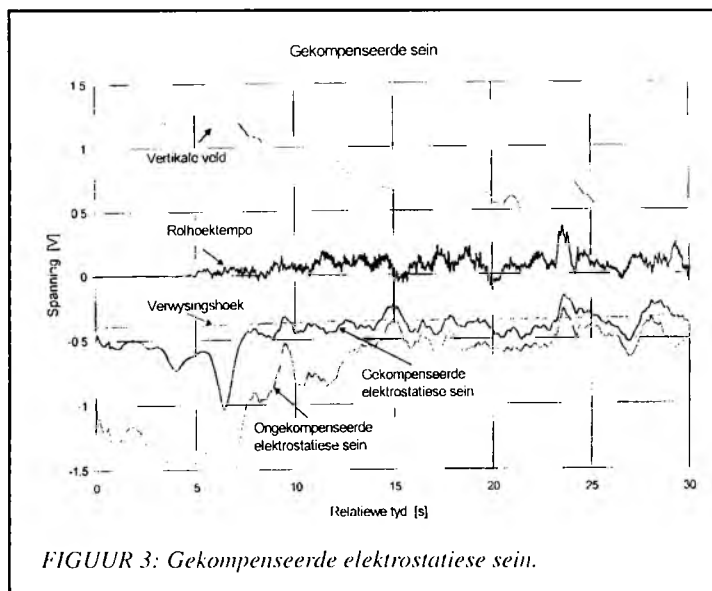
van die hoeveelheid verskillende ladings wat op die vlerkpunte teenwoordig is, maar ook die tydsinterval waarop die ladings gemeet word. Deur die vlerk te rol, word daar meer ladings per tydseenheid op die kollektorplate ontvang en dit vertoon as 'n temposein.

Hierdie opspelfeffek is verklein deur die kollektorplate vertikaal te monteer. Die temposein is nietemin nog steeds teenwoordig. Dit kan verklaar word uit die ionisasiegebied<sup>3,4</sup> wat 'n betastraler veroorsaak. Dit beteken dat die temposein altyd teenwoordig sal wees, soos gesien kan word in figuur 2. Dit is egter nie 'n probleem vir beheerdoeleindes nie, mits die rolbeheerder bewus is van hierdie temposein.

Die vertikale elektrostatiese veld varieer baie, soos opgemerk



FIGUUR 2: Gemete elektrostatiese sein.



FIGUUR 3: Gekompenseerde elektrostatiese sein.

kan word vanuit figuur 3. Dit is vermoedelik te wyte aan steurings vanaf die omringende bome waar die eksperiment gedoen is. Die effek sal verminder sodra daar weg van die grond af beweeg word. Ongeag die groot steurings (en die vermindering in veldsterkte), kan nogtans gesien word dat die gekompenseerde sein die verwysingshoek volg.

Die resultate van figuur 3 toon verder dat die gemete veldsterkte ongeveer twee keer groter is wanneer die vlerk stilstaan teenoor wanneer dit beweeg. Hierdie opname is gedoen vanaf stilstand tot by 'n snelheid van sowat 60 km/h. 'n Verklaring kan wees dat indien die opstelling staties is, 'n lokale versadiging van geïoniseerde deeltjies om die vlerkpunte voorkom, met die gevolg dat 'n sterker sein dan gemeet word.

Op die vertikale as in figure 2 en 3 word die groottes van die rolhoektempo en verwysingshoek in terme van 'n spanningssein aangetoon. Een volt verteenwoordig 'n rolhoektempo van 33 °/s en 'n verwysingshoek van 90 °.

### GEVOLGTREKKINGS

Daar is aangetoon dat hoogteverskille (tussen die vlerkpunte van 'n vliegtuig byvoorbeeld) gemeet kan word deur die spanningsverskil tussen geïsoleerde sensors (op die vliegtuig se vlerkpunte) te meet. Hierdie spanningsverskil ontstaan as gevolg van ladingsverskille in die atmosfeer onder die invloed van die aarde se elektrostatiese veld.

Tweedens is 'n tweedimensionele sensoropstelling ontwikkel wat dit moontlik maak om die stelsel binne redelike perke ongevoelig te maak vir variasies in die atmosfeer se elektrostatiese veld. Verdere ondersoek sal uitgevoer word om te bepaal wat die beperking is op hierdie metode van kompensasie.

Hierdie sensorstelsel is eksperimenteel geëvalueer en die resultate toon baie potensiaal vir verdere navorsing.

**R.P. JANKOWSKI en G.P. HANCKE\***

Departement Elektriese en Elektroniese Ingenieurswese, Universiteit van Pretoria, Pretoria, 0002

### LITERATUURVERWYSINGS

- Hill, M.L. (1972). Introducing the Electrostatic Autopilot, *Astronaut & Aeronaut*, vol. 10, no. 1, 22-31.
- Hill, M.L. (1984). Electrostatic Autopilots, *John Hopkins APL Technical Digest*, vol. 5, no. 2, 177-182.
- Price, W.J. (1964). *Nuclear Radiation Detection* (McGraw Hill, New York).
- Smith, C.M.H. (1965). *Nuclear Physics* (Pergamon Press, New York).

\*Outeur aan wie korrespondensie gerig kan word.