

**KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT**

TECHNISCHE RAPPORTEN

T.R. - 19

J.A.M.Louwers

Controle en afregeling van de temperatuurprofielen
te Cabauw in najaar 1981.

De Bilt, 1982

Publikatienummer: K.N.M.I. TR-19 (INSA)

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut,
Instrumentele Afdeling,
Postbus 201,
3730 AE De Bilt,
Nederland.

U.D.C.: 551.501.724 :
551.507.7

Controle en afregeling van de temperatuurprofielen te Cabauw in najaar '81

Inleiding

Omdat er al enige tijd twijfels bestonden omtrent het functioneren van de temperatuurprofielen in de meetmast te Cabauw werd besloten de installatie door te lichten.

Dit zou in eerste instantie betrekking hebben op het elektronische gedeelte, omdat na het weggaan van Schoen, de controle op de chopperversterkers weggevallen was, en er daardoor de grootste verdenkingen bestonden tegen deze versterkers.

Samenvatting

Het controleren en afregelen van de temperatuurprofielen heeft aangetoond dat er in de loop der jaren wat fouten zijn ontstaan als gevolg van het verlopen van versterkers, maar vooral ook doordat er in het thermokoppelcircuit slechte verbindingen voorkwamen. Electronisch gezien werkt het nu allemaal prima. Er zijn echter nog wat bedenkingen tegen het systeem welke een fysische achtergrond hebben, te weten:

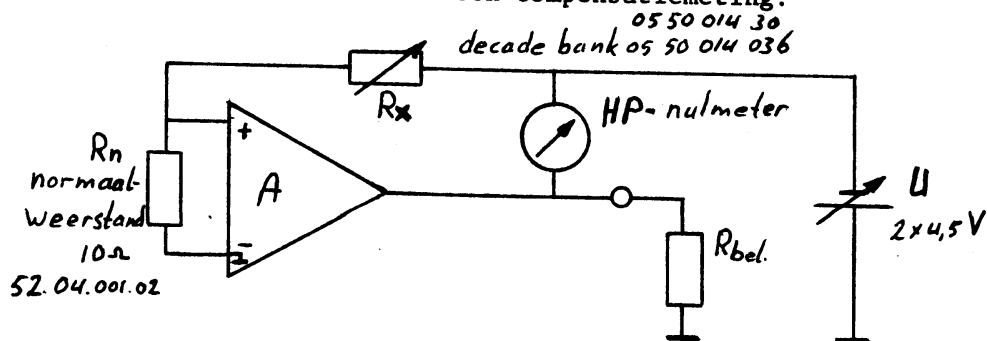
- de ventilatiesnelheid is niet uniform en misschien niet constant;
- het natslaan van sensoren;
- het drooglopen van de natte bollen;
- het ontstaan van een warmtebrug in de vorm van een druppel tussen de sensor en het afschermchild (natte bol);
- het optreden van temperatuurvariaties in de ZEREF;
- de temperatuur in de mast kan zó hoog oplopen, dat de specificaties van de elektronische apparatuur niet meer van toepassing zijn (+ 35°C voor de chopperversterkers).

Controle en afregeling van de temperatuurprofielen Chopperversterkers

In verband met de wens tot het continu aanwezig zijn van een droog profiel werd het "droge" profiel zoveel mogelijk met rust gelaten en eerst het "natte" profiel gedaan, welke daarna als droog gebruikt kon worden. Vervolgens werd het eigenlijke "droge" profiel behandeld. De chopperversterkers zouden in eerste instantie op de werkbank afgeremd worden. Het bleek echter dat de offset sterk afhangt van de omgeving van de versterker. Dit komt door de strooivelden van de transformatoren in het demodulatorgedeelte. Daarom heb ik besloten de versterkers ter plekke af te regelen.

Versterkingsafregeling en nulpuntsinstelling

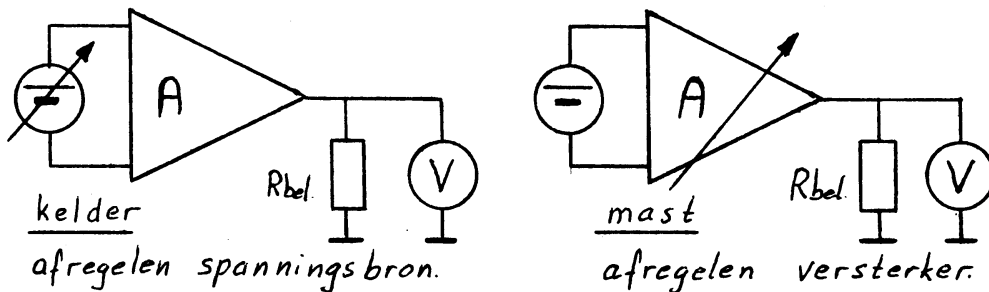
Als eerste werden de versterkers in de kelder op uitgebreide wijze afgeremd door middel van een compensatiemeting.



Vooraf was de offset verwijderd en op 0 V geregeld. Als de nulvoltmeter 0V wijst, is de versterking $A = \frac{R_x + R_n}{R_n}$.

Voor een 10.000 x versterker is $R_x = 99.990\Omega$ bij $R_n = 10\Omega$. De versterkerrange werd afgeregeld bij $U = +9V$ afkomstig van 2 platte batterijen. Daarna werd met $U = +4,5; -4,5$ en $-9V$ de lineairiteit gecontroleerd.

Omdat in de mast de ruimte beperkt is, heb ik, voor de afregeling van de daar aanwezige versterkers, gebruik gemaakt van een nauwkeurige spanningsgever voor lage spanningen (thermokoppelsimulatoren van Schoen). Deze spanningsgever werd afgeregeld op een reeds afgeregelde chopperversterker, zodanig dat de uitgangsspanning precies 10V meet. (HP 3465A, met een $R_i = 10M\Omega$).



Na het afregelen van de spanningsbron, moeten de versterkers in de mast snel afgeregeld worden, om te voorkomen dat de spanningsbron verloopt. Het meten volgens deze methode heeft het voordeel dat de belasting door de voltmeter gecompenseerd wordt door het afregelen van de spanningsbron. Dit geldt als de belastingsweerstand R_{bel} in beide gevallen ongeveer gelijk is.

Bij de Tabs versterkers in de kelder is $R_{bel} = 191,4 k\Omega$
 en in de mast is $R_{bel} = 120 k\Omega$

De fout die gemaakt wordt als de voltmeter een extra belasting vormt van $10 M\Omega$ is 0,01% (omdat R_{bel} verschillend is)

nl. R_i van de versterkeruitgang = $10 k\Omega$

- $R_{bel} = 191 k\Omega$ $191 // 10.000 = 187,4 k\Omega$

$$U_u = \frac{191}{10+191} = 0,95025 U_i$$

$$U_u = \frac{187,4}{10+187,4} = 0,94934 U_i$$

$$\frac{0,95025 U_i}{-0,00091 U_i} \quad (1)$$

- $R_{bel} = 120 k\Omega$ $120 // 10.000 = 118,6 k\Omega$

$$U_u = \frac{120}{10+120} = 0,92308 U_i$$

$$U_u = \frac{118,6}{10+118,6} = 0,92224 U_i$$

$$\frac{0,92308 U_i}{-0,00084 U_i} \quad (2)$$

$U_{u_1} = U_u$ zonder V-meter $0,00091 U_i$ (1)

$U_{u_2} = U_u$ met V-meter $0,00084 U_i$ (2)

$0,00007 U_i$

afgerond 0,01%.

Resultaat:

De gevonden afwijkingen in versterking was max. 3% terwijl de maximale offset voor $T_{abs} = 0,2^{\circ}C$ en voor $\Delta T = 0,05^{\circ}C$ bedroeg. De meeste versterkers waren ruim beter.

Thermokoppelcircuit

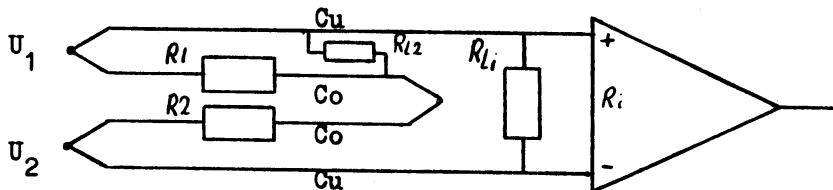
Daar de te meten spanning zeer klein is ($40 \mu V/^{\circ}C$) en een nauwkeurigheid van $0,01^{\circ}C + 0,1\%$ gewenst is, mag de maximale foutspanning aan de ingang van de versterker niet groter zijn dan $0,4 \mu V + 0,1\%$ van de te meten spanning.

De mogelijke fouten die kunnen optreden zijn:

1. lekweerstand tussen meetaders
2. lekweerstand naar aarde
3. elektrochemisch potentiaal tussen thermokoppel en aarde
4. overgangswaerstand
5. extra thermospanning bij inhomogene compensatiekabel of overgangen
6. extra elektrochemische spanning bij overgangen.

ad. 1. lekweerstand tussen meetaders

De weerstand van de koperaders wordt verwaarloosd t.o.v. die van de Constantaan draden.



stel. $R_i = \text{oneindig}$ $R_{L1} = \text{oneindig}$

De foutspanning is dan:
$$U_{f1} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + R_{L1}} \cdot (U_1 - U_2)$$

voor max. 0,1% fout geldt:
$$\begin{aligned} R_1 + R_2 & 0,001 (R_1 + R_2 + R_{L1}) \\ R_{L1} & 1000 (R_1 + R_2) \\ R_{L1} & 100 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

Het is onwaarschijnlijk dat de isolatieweerstand van de aders onderling lager wordt dan $100 \text{ k}\Omega$, als alles schoon en droog is.

Stel nu $R_{L1} = \text{oneindig}$. $R_{L2} = \dots$

Stel dat het tempverschil tussen de sensor en de plaats waar de lek optreedt $40^{\circ}C$ is. Er gaat dan een lekstroom lopen die veroorzaakt wordt door een thermospanning van $40 \times 40 \mu V = 1600 \mu V$.

De lekstroom veroorzaakt een spanningsval over R_1 (U_{f2}).

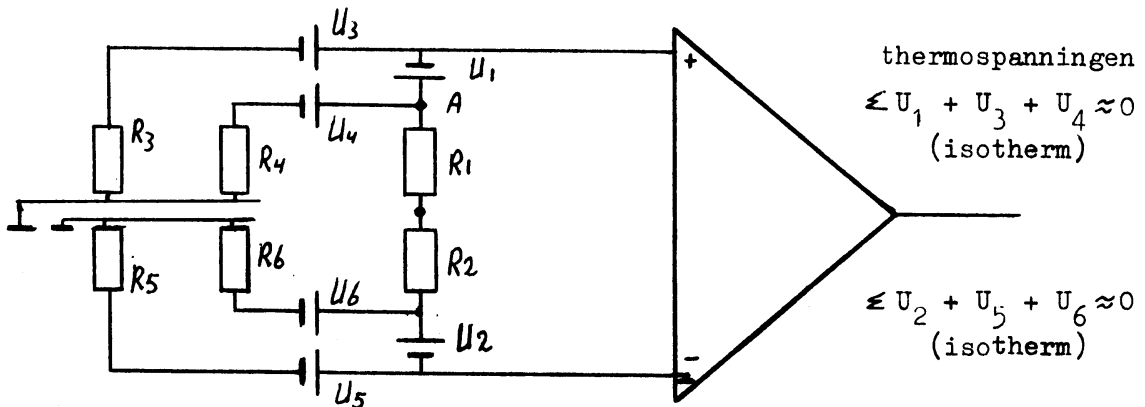
Deze foutspanning $U_{f2} = \frac{R_1}{R_{L2}} \cdot 1600 \text{ uV}$ mag max. $0,4 \mu V$ zijn.

$$R_{12} \text{ min} = \frac{1600}{0,4} \cdot R_1 = 200k\Omega \quad \text{bij } R_1 = 50\Omega$$

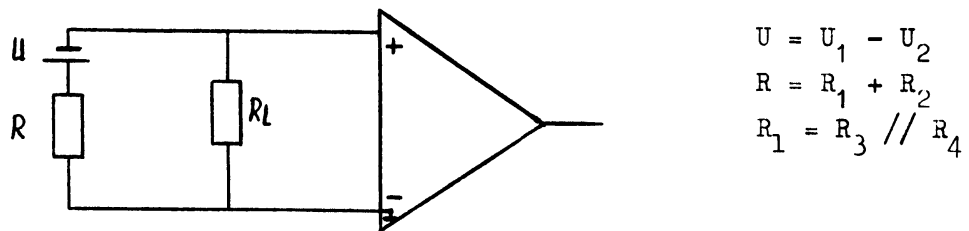
Lekweerstand kunnen gemeten worden als de sensoren losgenomen worden. In de bekabeling

ad. 2. lekweerstand naar aarde *

Omdat de thermokoppels zijn ingegoten in een roestvrij stalen buisje met een buitendiameter van slechts 1 mm., worden hoge eisen gesteld aan het isolatiemateriaal. Een lekweerstand naar aarde is op die plaats dan ook relatief snel aanwezig.



Omdat het circuit, waarvan de lekweerstand deel uitmaken, een gesloten circuit is, zal de som van alle thermospanningen klein zijn. Stel nu dat deze som nul is :
 De lekken via R5 en R6 zijn te verwaarlozen.
 De lekken via R3 en R4 veroorzaken een stroom door R1 en R2.
 Het vervangingschema wordt nu:



$$U_f = \frac{R}{R_L} \cdot U \quad \text{max. fout } 0,1\% \quad R_L = 1000R = 100k\Omega$$

* Hier is aangenomen dat de potentialen van de aardpunten gelijk zijn. Een eventueel spanningsverschil kan bij U_3 en U_4 worden opgeteld.

Als de som van thermospanningen ($\sum U_1+U_3+U_4$) niet nul is maar bv. $400\mu V$ bedraagt ($10^\circ C$ en $40\mu V/^\circ C$) komt er nog een storende factor bij.

Stel $U_1=U_2$

Er loopt nu een stroom door R_3 en R_4 , zodat punt A een extra potentiaal krijgt t.o.v. de aarde met

$$E_T = I \cdot R_4 = \frac{400 \mu V}{R_3+R_4} \cdot R_4$$

$$R_T = \frac{R_3 R_4}{R_3+R_4}$$

$$U_{stoor} = (R_1+R_2) \cdot \frac{400 \mu V}{R_3+R_4} \cdot R_4 \times \frac{R_3+R_4}{R_3 R_4}$$

$$= (R_1+R_2) \frac{400 \mu V}{R_3}$$

$$R_{3min} = (R_1+R_2) \frac{400}{0,4} = 100 \text{ k}\Omega$$

ad.3.

Elektrochemisch potentiaal tussen thermokoppel en aarde.

Dit geval is vergelijkbaar met de voorgaande situatie. Nu kan de som van de thermospanningen vervangen worden door een chemische spanningsbron (U_3 ; U_4 ; U_5 ; U_6).

Het potentiaal ontstaat doordat vocht, wat in de sensor is binnengedrongen, als electrolyt dienst doet tussen verschillende metalen (roestvrij staal met koper of constantaan).

Metingen hebben aangetoond dat deze spanning gemakkelijk 250mV kan bedragen. Ik heb zelfs eens ruim 600 mV gemeten aan een afgekeurde sensor.

$$U_f = \frac{R_1+R_2}{R_3} U_3 + \frac{R_1+R_2}{R_4} U_4$$

$$U_3 = U_4 \quad U_f = (R_1+R_2)U_3 \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right)$$

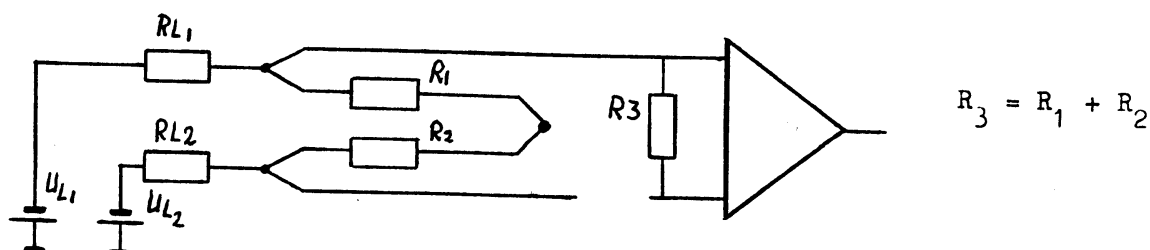
$$U_f = \frac{R_1+R_2}{R_L} U_3 (0,01^\circ C)$$

$$R_{Lmin} = R_3 // R_4 = (R_1+R_2) \frac{U_3}{0,4 \mu V} = (R_1+R_2) \frac{0,600}{0,4 \cdot 10^{-6}} = \underline{\underline{150M\Omega !!!}}$$

De laatste weerstand is moeilijk te meten met een Ohmmeter.

Een alternatieve meetmethode welke voor Cabauw goed toepasbaar is, is het meten van de bijdrage van het chemisch potentiaal in de uitgangstemperatuur.

Hiertoe wordt de versterker als volgt aangesloten:



$$U_f = \frac{R_3}{R_{L1}} \cdot U_{L1} + \frac{R_3}{R_{L2}} \cdot U_{L2}$$

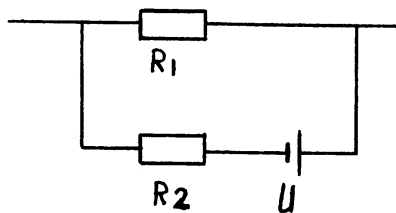
Door het niet aansluiten van de koperdraad van het onderste element aan de negatieve ingang, wordt het thermokoppelcircuit onderbroken. De normaal te meten spanning valt daarmee weg. Om de inhoud van het chemisch potentiaal in de juiste proportie te meten, wordt de versterker afgesloten met $R_3=R_1+R_2$. Bij deze meting wordt ook de lek van het onderste element meegenomen. Bij normaal bedrijf zal deze nagenoeg geen bijdrage leveren aan de meetfout. De lekstroom wordt dan nl. direct naar aarde afgevoerd via de koperdraad met een verwaarloosbare weerstand.

Ad.4. Overgangsweerstand

Als er ergens een slecht contact bestaat in het thermokoppelcircuit, kan er bij de zeer lage spanningen en stromen een situatie ontstaan waarin de overgangsweerstand oneindig groot wordt. Als er tijdelijk een hogere spanning wordt aangebracht zal de isolatiefilm doorslaan en is het contact weer (even)goed. Ik heb eens een dergelijk slecht contact gevonden in een sensor. Deze sensor gaf na dagen meten plotseling geen spanning meer. Daarop werd de weerstand m.b.v. een Philips universeelmeter (PM 2411) gemeten. De meetspanning van 9V was voldoende om het contact weer te herstellen. Met de weerstandsmeting is dus niet na te gaan waar het slechte contact zich bevindt. Om de kans op dergelijke situaties te verkleinen, zijn alle verbindingen zeer zorgvuldig gecontroleerd en daar waar mogelijk, waren de aders in elkaar getwist en onder één schroef geklemd (schroef flink aandraaien).

ad. 5. Ook om ^{de kans op} extrathermospanningen te verminderen werden de aders in elkaar gedraaid en onder één schroef geklemd.

ad. 6. Bij slechte contacten en daar waar vocht kan optreden, kan een chemisch potentiaal ontstaan, die direct in serie staat met de te meten spanning. Een dergelijke fout zal zich snel manifesteren. Het is ook mogelijk dat dit potentiaal parallel staat aan de overgangsweerstand. In dat geval zal de foutspanning veel kleiner zijn en niet direct opgemerkt worden.



R_1 = overgangsweerst. (bv. 1Ω)
 R_2 = lekweerst. (bv. $100\text{ k}\Omega$)
 U = chemisch pot. (bv. $0,4\text{ V}$)

$$U_{\text{stoor}} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U \quad (\text{bv. } 0,1^\circ\text{C})$$

Het transportgedeelte en de registratie

Alles wat achter de chopperversterkers zit bleek in orde te zijn.

Parallelregistratie

Gedurende twee weken zijn beide profielen parallel geregistreerd. Van het natte profiel waren de kousjes verwijderd. zodat dit profiel ook droog was. De vergelijking heeft laten zien dat er incidenteel grote verschillen kunnen optreden. Ook in één profiel zijn temperatuursprongen te zien. Het bleek dat deze verschijnselen het gevolg waren van het nat slaan van sensoren.

Ventilatie van de sensoren

Er bestaat grote twijfel omtrent het juist functioneren van het ventilatiesysteem.

1. De ventilatiesnelheid is niet uniform. Op 200, 2 en 0,6 m is hij groter dan op andere niveaus. Dat de ventilatiesnelheid belangrijk is volgt uit het volgende:

het temperatuurverschil $\Delta T_{120-160}$ was vaak te hoog. Er stond toen op 160 m ook een grote ventilator. Nadat deze vervangen was door een motor, gelijk aan de niveaus 10m t/m 120 m, was $T_{120-160}$ normaal geworden. $\Delta T_{160-200}$ is daarna iets opgelopen.

2. Men twijfelt aan de constantheid van de ventilatie als gevolg van het binnenzuigen van vocht, dat in de slang blijft staan. Dit water zou een extra weerstand voor de luchtstroom betekenen. De vervuiling van de ventilator en het buizenstelsel vlak bij de sensor lijkt mij meer invloed te hebben dan het water in de slang. D.m.v. periodieke meting van de ventilatie kan meer inzicht verkregen worden over het gedrag van de ventilatie en kunnen proeven ondernomen worden om een beter systeem op te zetten.

3. De ventilatie voor de natte bollen zou wel eens anders kunnen zijn dan die voor de droge bollen.

Het natte profiel

Er bleken nog wat fouten op te treden met de bevochtiging van de kousjes. De afzuiging van het overtollige water was niet voldoende, zodat er een druppel aan het kousje blijft hangen. Soms komt deze druppel tussen de kous en de binnenhuls. Er ontstaat dan een warmtebrug en de temperatuur zal te hoog zijn.

Er worden op dit moment experimenten gedaan, om het afzuigen van het overtollige vocht te verbeteren en de afstand tussen kousje en binnenhuls te vergroten. In Cabauw bleek dat de slangen voor het afzuigen van het vocht te dun waren.

Gevonden fouten, afwijkingen en genomen maatregelen

1. Afwijkingen in versterking max. 3%
afwijkingen in offset aan de uitgang van de Schoenversterker
max. 100mV Tabs 0,2°C
 ΔT 0,05°C

De afwijkingen waren meestal veel kleiner.

2. Lekweerstand van element naar aarde in ZEREF's → schoongemaakt
en 160 m nat → vervangen

3. Registratie van verstoring als gevolg van lekweerstand en chemisch potentiaal.
Alhoewel de variatie in de uitgangsspanning, uitgedrukt in graden C klein is, lijkt er toch een verband te bestaan met de optredende regen of temperatuur (vooral aan het begin en einde van een regenbui). Bij een weerstand (R_3) van 39Ω was de drift kleiner dan 0,02°C. Achteraf bleek dat deze weerstand groter moest zijn nl ca. 80 tot 180 afhankelijk van de plaats. De max.drift wordt dan 0,04 tot 0,1°C. Het zou nuttig zijn deze meting nog eens over te doen.

4. Slechte verbindingen: a. isolatie onder de schroef
b. schroef te los
c. draden geoxydeerd
d. losse of afgebroken aarddraden

Alle verbindingen zijn verbeterd.

5. Tijdens parallel registreren bleken duidelijke temperatuursprongen op te treden, die duiden op het nat slaan van sensoren. Er traden temperatuursprongen op, tot 1°C met een tijdsduur tot enkele uren.

6. ΔT 160-120 was vaak te hoog.
Nadat de ventilator op 160 m vervangen was door een kleinere, was ΔT 160-120 weer goed en is ΔT 160-120 iets toegenomen.
Op 0,6 - 2 en 200 m staat nu nog een grote motor. ΔT 80-40 is nog steeds vaak te hoog. Waarschijnlijk is de ventilatie op 40 m te gering. Dit kan het gevolg zijn van vervuiling van de ventilator of het verstopt zijn van de luchtweg. De ventilatie moet gemeten worden.

7. De temperatuur van de natte bollen was soms te hoog. Dit is waarschijnlijk het gevolg van een warmtebrug tussen de sensor en de binnenhuls, die gevormd wordt door een waterdruppel. Of de druppel moet verdwijnen óf de afstand tussen sensor en binnenhuls moet vergroot worden.

Aanbevelingen

- a. 1x per half jaar nulpunt van de chopperversterker controleren en afregelen.
- b. 1x per half jaar de lekmeting doen (-aansluiting los en R3 aanbrengen).
- c. 1x per jaar de range controleren. incl. isolatiemeting.
- d. 1x per jaar de zeref controleren en schoonmaken.
- e. regelmatig elementen schoonmaken, inclusief de buitenhulzen.
- f. ventilatiesnelheid uniform en constant maken en houden.
- g. controle meting voor de zeref herstellen.
- h. registratie van de temp in de mast ook in verband met nieuw te ontwikkelen versterkers.
- i. er dient veel aandacht besteed te worden aan de schroefverbindingen, in het bijzonder bij het aanbrengen van wijzigingen, maar ook een regelmatige controle is op zijn plaats (aandraaien van schroeven en het schoon en droog houden van connectoren.)
- j. condities voor de ZEREF verbeteren.
- k. 1x per 2 jaar de versterker controleren op temp.afhankelijkheid m.b.t. het nulpunt en de versterking en zo nodig bijregelen (in De Bilt)
- l. nulpuntscontrole met de sensor in smeltend ijs.

Jan Louwers
2 maart 1982