

Hans Arnell

Temperaturmätning med termistorer på passbitar

Abstract

Temperature measurement with thermistors of gauge blocks

It is possible to use thermistors for temperature measurement with high precision of gauge blocks. The measurement uncertainty is estimated to within 5 mK. The advantages of thermistors are high resolution, insensitivity for electromagnetic interference, a low price, and if the measuring current is low, a low self-heating. Their greatest disadvantage is a lower stability but measurement in the future will show how much lower it is.

Comparisons have been done between thermistors and platinum resistance thermometers (PRT) and with the measuring equipment which has been used, they have a higher self-heating and also the disadvantage with heating the gauge block. The greatest advantage of PRT is their higher stability.

Because thermistors are non-linear two mathematical models have been used to fit the resistance of the thermistors to the temperature. First Steinhart-Hart's equation :

$$\frac{1}{T} = A + B \cdot \ln(R) + C \cdot (\ln(R))^3 \text{ and second : } R_T = R_{T_0} \cdot e^{B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

The Steinhart-Hart equation is better over a wider temperature interval but in the interval 18 to 22 °C they both have the same accuracy (± 2 mK). Both can be used for temperature measurement on gauge blocks.

Keywords: Thermistors, calibration, gauge blocks, temperature, self-heating, length-measurements, repeatability

**Sveriges Provnings- och
Forskningsinstitut**
SP Rapport 1997:25
ISBN 91-7848-683-1
ISSN 0284-5172
Borås

**Swedish National Testing and
Research Institute**
SP Report 1997:25

Postal address:
Box 857, 501 15 BORÅS,
Sweden
Telephone +46 33 16 50 00
Telex 36252 Testing S
Telefax +46 33 13 55 02

Innehållsförteckning

Abstract	2
Innehållsförteckning	3
Förord	5
Sammanfattning	6
1 Inledning	7
2 Temperaturgivare:	8
2.1 Problem/begränsningar	8
2.1.1 Linjäritet	8
2.1.2 Egenuppvärmning	8
2.1.3 Kontaktering	9
2.1.4 Stabilitet	9
2.1.5 Upplösning	9
2.1.6 Tidskonstant	9
2.1.7 Fel i ledningar	10
2.1.8 Robusthet	10
2.1.9 Störningskänslighet	10
2.1.10 Hysteres	10
2.2 Termistorer	11
2.2.1 Funktion	11
2.2.2 Form	11
2.2.3 Teori	11
2.2.4 Data	13
2.2.5 Mätning med digital multimeter	14
2.2.6 Mätning med mätbrygga och A/D-omvandlare	14
2.3 Resistanstemperaturgivare (RTD)	15
2.3.1 Platinaresistansgivare	15
2.3.2 Övriga typer av RTD	15
2.3.3 Mätinstrument	15
2.4 Termoelement	16
3 Kalibrering av givare	17
3.1 Internationella temperaturskalan (ITS-90)	17
3.2 Uppställning	17
3.3 Termistorer	18
3.3.1 Bestämning av matematisk funktion	18
3.3.2 Repeterbarhet	22
3.3.3 Egenuppvärmning av termistorer	24
3.3.4 Långtidsstabilitet	26
3.3.5 Fel vid kalibrering av termistorer	27
3.4 Platinaresistansgivare	28
4 Mätningar på passbit	29
4.1 Uppställning	29
4.2 Applicering av givare på passbit	29
4.3 Platinaresistansgivare	30
4.4 Jämförelse mellan termistorer och Pt100-givare	32

4.5	Givarnas egenuppvärmning	33
4.5.1	Utförande	33
4.5.2	Termistorer	34
4.5.3	Platinaresistansgivare	37
4.6	Mätbrygga och A/D-omvandlare	41
4.7	Temperaturgradienter	41
4.7.1	Gradienter i liten passbit	41
4.7.2	Mätning av lufttemperatur	42
4.7.3	Temperaturgradienter på lång passbit	43
5	Slutsatser	44
6	Förslag till förbättringar	45
7	Referenser	46
Bilagor		1
A	Tabell ITS(90)	1
B	Tabell över termistorer	2
C	Tabeller över mätning av Platinagivare	3
C.1	Korrektion av platinaresistansgivare	3
C.2	Standardavvikelse för mätningar i tabell C.1	3
D.1	Kalibreringsbevis, Frontec	4
D.2	Kalibreringsbevis, Liab	6
E	Datablad multimeter	8
E.1	PREMA 5017	8
E.2	HP3458A	8
E.3	HP34401A	10
F	Kalibrering och kontrollmätning av multimeter	11
F.1	Justering och kontroll av HP34401	11
F.2	Kontroll av HP34401, PREMA 5017 och HP3458	12
F.3	Jämförelse mellan multimeter vid 20 °C	13
G	Visual Basic-program	14
G.1	Program till HP 34401	14
G.2	Program till PREMA5017 och HP34401	18
G.3	Program till 16-bitars A/D-omvandlare	21
H	Datablad till komponenter	24
I	Data om termistorstabilitet	25

Förord

Arbetet med att utvärdera termistorn som noggrann temperaturgivare på passbitar har gjorts av Hans Arnell, Göteborgs Universitet, som examensarbete vid Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut (SP) i Borås.

Flera personer på SP har hjälpt mig, bland dem min handledare Leslie Pendrill, Mått och Vikt, som har varit till stor hjälp vid struktureringen av problemen och Jan Ivarsson, Fysikalisk mätteknik. Dessutom har Bengt-Olof Andersson, Elektrisk mätteknik, och övrig personal vid riksmätplatsen för längd samt riksmätplatsen för temperatur varit mig till hjälp. Ett tack dessutom till Ernest Karawacki på Fysiska institutionen vid Göteborgs Universitet/Chalmers Tekniska Högskola för hjälp.

Sammanfattning

Termistorer kan mycket väl användas för temperaturmätning med hög precision på passbitar. Mätsäkerheten uppskattas till $\pm 5 \text{ mK}$ men kan förbättras något. Termistorns fördelar är hög upplösning, okänslighet för elektromagnetiska störningar, lågt pris och om mätströmmen är låg, även låg egenuppvärming. Deras största nackdel är sämre stabilitet men det får framtida mätningar visa hur mycket sämre den är.

Jämförelser har gjorts med platinaresistansgivare och med den mätutrustning som används har de en högre egenuppvärming och också nackdelar med att passbiten värmes upp av givarna. Platinaresistansgivarnas stora fördel är en mycket bättre stabilitet.

Eftersom termistorer inte är linjära har ett par matematiska modeller används för att anpassa termistorns resistans till temperaturen:

Steinhart-Harts ekvation, $\frac{1}{T} = A + B \cdot \ln(R) + C \cdot (\ln(R))^3$ och :

$$R_T = R_{T_0} \cdot e^{B' \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

Där Steinhart-Harts ekvation är bättre i ett litet större temperaturintervall men i intervallet $18 - 22 \text{ }^{\circ}\text{C}$ har de båda samma noggrannhet $\pm 2 \text{ mK}$ så bågge kan användas för temperaturmätning på passbitar.

1 Inledning

Vid längdmätning med hög precision är det av största vikt att bestämma mätobjektets (passbitens) temperatur noggrant eftersom längden varierar något med temperaturen. De högsta kraven vid längdmätning är mätfel inom $\pm 100\text{nm}$ vilket ungefär motsvarar 10mK på en passbit med längden en meter. Vid riksmätplatsen för längd på SP har man tidigare mätt med platinaresistans-termometrar i lite olika utformning men projektet syftade till att prova ut en annan metod, där man använder termistorer istället. I projektet har en metod för kalibrering av termistorer utprovats (se avsnitt 3). Jämförelser har också gjorts med det befintliga systemet (se avsnitt 4).

Det finns flera problem: egenuppvärmning av givare, dålig värmeförlust mellan passbit och givare, temperaturgradienter i passbiten, att passbiten värmes upp av givaren mm. Längdmätningen görs interferometriskt vid 20°C och därför kan inte heller givare placeras hur som helst på passbiten (tillåtna positioner är över och under passbiten när den står på högkant).

På senare tid har det börjat dyka upp termistorer som har en god stabilitet och som därför kan vara ett alternativ till mätning med platinaresistansgivare. Bland annat har SP:s motsvarighet i Holland, NMI; börjat använda termistorer och multimeter vid längdmätning av passbitar. De har monterat in termistorerna i små aluminium-block. Deras erfarenheter är goda

2 Temperaturgivare

2.1 Problem/begränsningar

För att mäta temperatur på passbitar måste man ha givare och (om elektrisk givare) ett instrument som mäter givarens elektriska signal.

En ideal givare ska ha mycket liten massa, mycket hög värmelämningsförmåga och försumbar termisk kapacitet. Den termiska resistansen mellan mätobjekt och givare samt dess egenuppvärmning ska vara försumbar.

Det finns inte så många typer av givare som har bra repeterbarhet, hög stabilitet och god upplösning. De som är bäst i detta avseendet är platinaresistansgivare [Michalski et al, 1991, s101] men även termistorer har på senare tid blivit bra. Termoelement kan vid vissa tillämpningar vara intressanta men har inte använts i detta projekt.

En nackdel med små givare är om man mäter lufttemperaturen ty egenuppvärmningen gör att givaren visar en högre temperatur än den verkliga.

De största problemen med givare i detta projekt har varit egenuppvärmningen och kontakteringen (appliceringen) men det finns flera andra problem.

2.1.1 Linjäritet

De flesta givare är inte linjära utan måste linjäriseras på något sätt. Platinaresistansgivare (Pt-givare) och termoelement är nästan linjära åtminstone i små temperaturintervall.

Termistorer är långt ifrån linjära och måste därför linjäriseras antingen med elektronik eller med en matematisk formel i en dator. Med dagens datorer och deras användning för automatisk avläsning är en linjärisering i dator att föredra. Mätning på linjäritet hos termistorer (se avsnitt 3.3.4) och Pt-givare (se avsnitt 2.3.1).

2.1.2 Egenuppvärmning

Temperaturgivare som termistorer och Pt-givare värmes upp av den effektutveckling som uppstår när en ström passerar dem, därför måste man veta hur stor egenuppvärmningen är och försöka begränsa mätströmmen om det går.

Vid mätning av temperatur med en resistansgivare så skickar man en ström genom givaren. Strömmen leder till att givaren värmes upp, en egenuppvärmning, i proportion till strömmen. För att begränsa egenuppvärmningen måste därför strömmen begränsas. Egenuppvärmningen beror på, förutom strömmen, även av givarens värmearbete med omgivningen som i sin tur beror på givarens fysiska yta, materialet i givaren och omgivande medium. Det är inte alltid som egenuppvärmningen, $\Delta\vartheta$, kan begränsas tillräckligt så då får man uppskatta dess storlek och ta med den som ett systematiskt fel. En av de stora fördelarna med termistorer är att man kan få en låg egenuppvärmning.

För både Pt100-givare och termistorer ges formeln [Michalski, 1991, s130]

$$\Delta\vartheta = \frac{I_T^2 R_T}{C} \quad (2.1)$$

där C är en konstant, som ges i W/K. C definieras som den värmeeffekt som, i termiskt jämvikt, orsakar egenuppvärmningen en Kelvin för resistans-givaren. Därmed får C karaktären av en värmeargivningskonstant. Om C är stort innebär det att mycket effekt kan transporteras bort från givaren till omgivningen.

2.1.3 Kontaktering

Vid mätning på en yta, till exempel en passbit, är det viktigt att givaren har god termisk kontakt med mätobjektet för att inte onödig stora temperaturgradienter ska uppstå dem emellan. För god kontakt är givarens typ viktig men även form och på vilket sätt den appliceras.

Michalski (s 329) har föreslagit ett appliceringstryck på 30N för en kopparplatta med diameter 8mm för att garantera en god termisk kontakt. Passbitarna deformeras vid sådana fjädertryck så därför behöver man använda andra appliceringssätt som ger lika god termisk kontakt men mindre tryck.

Ett stort problem är en felaktig position (anliggning) mot passbiten [Michalski et al, 1991, s 331] vilket gör att egenuppvärmeningen kan bli lite annorlunda.

Metallytor oxiderar också med tiden vilket leder till att den termiska resistansen ökar.

2.1.4 Stabilitet

Långtidsstabiliteten varierar för olika givare. En givare som har god stabilitet under lång tid behöver inte kalibreras lika ofta. Helst ska en givare vara så stabil att det räcker med kalibrering en gång per år. Under den tiden bör den avvika högst några millikelvin.

En givare måste också vara stabil i avseende att den ska ha en god repeterbarhet, det vill säga att vid upprepade mätningar under samma förutsättningar ska givaren ge samma resultat (med en spridning på till exempel högst $\pm 2 \text{ mK}$). Mätningar på termistorer (se avsnitt 3.3.4).

2.1.5 Upplösning

En givare med hög upplösning kräver inga dyra instrument för att ge bra värden. Bra upplösning ger dessutom ofta mindre termiskt brus.

2.1.6 Tidskonstant

Alla reella givare har en svarstid. I den tillämpning som detta är måste man ändå vänta lång tid (flera timmar) på att temperaturen ska stabiliseras innan den interferometriska mätningen görs, vilket gör att en givares eventuella svarstider inte spelar så stor roll. Mätningen görs också på en passbits yta med den omgivande lufttemperaturen ungefär lika med passbitens temperatur. Genom att göra givarna små och med hög värmeförädlingsförmåga så kommer de att få snabbare svarstider på en stegförändring i temperaturen.

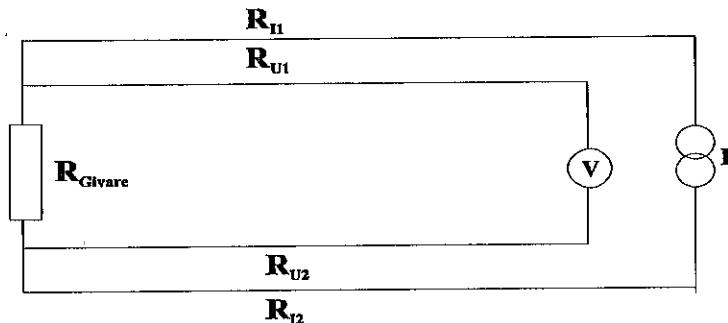
En givares tidskonstant är den tid det tar för givaren att vid en stegförändring av temperaturen nå en bestämd del av temperaturförändringen, för en termistor 63,2%. För platinaresistans-givare beräknar man istället svarstiden för att nå 50 eller 90% av temperaturförändringen.

För de testade termistorerna är tidskonstanten maximalt tio sekunder i luft (enligt tillverkaren) och högst en sekund i ett välcirkulerande oljebad. Om termistorn monteras in i en givare ökar tidskonstanten eftersom massan ökar. Vid längdmätningen måste man vänta några timmar för att temperaturen ska stabiliseras därför har tidskonstanten ingen betydelse.

2.1.7 Fel i ledningar

Vid mätning av resistansgivare med endast två ledare kommer man också att mäta resistansen i ledarna och om då mätobjektet har låg resistans kan felet bli stora.

Genom att använda fyra ledare vid mätning av resistans försummas alla resistanser i ledarna. Principen är att använda två ledare för att skicka en konstant ström till mätobjektet och sedan med de andra två ledarna mäta spänningen över mätobjektet. Genom att ha mycket hög ingångsimpedans på voltmetern så blir strömmen genom dessa ledare försäkrad och eventuell resistans i dessa ledare påverkar inte mätresultatet.



Figur 2.1 Principskiss för fyrrådsmätning.

Genomgående har fyrrådsmätning använts. Både Frontec- och Liab-instrumenten använder fyrrådsteknik och jag har även använt det för mätning med digitalmultimetrarna.

För termistorer blir felet vid tvårådsmätning ofta försumbart eftersom de har så hög resistans (över $30\text{ k}\Omega$) och den differentiella resistansen (dR/dT) är över $1600\text{ }\Omega/\text{ }^{\circ}\text{C}$ vid rumstemperatur. Fyrrådsmätning har ändå använts för att multimeterna har sin noggrannhets-specificering för fyrrådsmätning.

2.1.8 Robusthet

En del givare är känsliga för mekanisk påverkan och kan efter en sådan påverkan ge helt andra värden, vilket gör att den kanske måste kasseras. Av denna orsak är det viktigt att givaren har en viss mekanisk tålighet. Av platinaresistansgivarna är inte tunnfilmsgivarna tillräckligt robusta (avsnitt 2.2.1). Hur det är med termistorer har inte konstaterats än, men inmonterade i små metallblock borde de vara skyddade (avsnitt 2.2.4).

2.1.9 Störningskänslighet

Vid den interferometriska längdmätningen finns det en del elektromagnetiska störningar som inte får påverka givarens signaler. Svaga signaler från givare ger större risk för störningskänslighet.

Det finns också en risk att elektromagnetiska störningar kan ta sig in i ledaren. För att minska den risken ska man använda skärmad ledning med skärmen ansluten till jord vid mätinstrumentet.

2.1.10 Hysteres

Om en givare värmes upp och sedan kyler ner till begynnelsetemperaturen ska den visa samma värden annars har den hysteres.

2.2 Termistorer

2.2.1 Funktion

Fördelar med termistorer:

- Hög resistans
- Stor upplösning ty α är stort, cirka 4-5%/°C där α är den procentuella resistans-förändringen per grad Celsius (se avsnitt 2.2.3).
- troligen mindre känslig för mekanisk påverkan (beror på inplacering i givare, ty oxiden är amorf)
- billiga

Detta ger en hög upplösning och låg känslighet för elektriska störningar.

Nackdelar är:

- olinjäritet, men med dagens datorer går det lätt att i ett program göra en matematisk anpassning av resistansen till temperaturen (avsnitt 3.3.1 och bilaga G.1).
- Mindre långtidsstabilitet än platinaresistansgivare

Det har under de senaste åren utvecklats termistorer som har en betydligt bättre långtidsstabilitet än de billiga vanliga termistorerna.

Termistorer tillverkas med både positiv (PTC) och negativ (NTC) temperaturkoefficient, men endast NTC-termistorer ger tillräckligt hög noggrannhet och stabilitet.

2.2.2 Form

NTC-termistorer finns i en rad olika former och utföranden:

- Den traditionella droppformen,
- Chip-termistor
- Skiv-(Disc) termistor

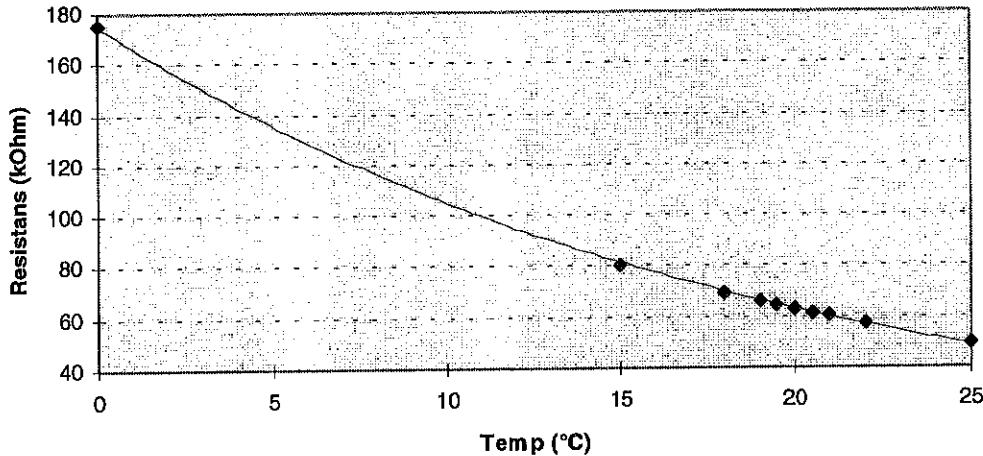
och man kan också få termistorn glasinkapslad.

Den traditionella droppformade termistorn uppvisar bättre värden när det gäller noggrannhet och stabilitet [Michalski et al, 1991, s133] än övriga former av termistorer. Termistorer används huvudsakligen i temperaturområdet -50 till 200 °C men de mest stabila används bara i intervallet 0 till 70 °C. Glasinkapsling ger bättre stabilitet vid högre temperaturer (70 - 200 °C) men vid rumstemperatur som i komparationsrummet spelar glasinkapslingen troligen mindre roll. Användning av termistorer vid rumstemperatur ger en bättre långtidsstabilitet än vid 70 °C.

2.2.3 Teori

Termistorer är halvledar-resistorer med en hög resistans-temperatur-koefficient. De består av en blandning av oxider från några övergångsmetaller (som Fe, Mn, Ni, Cu, Co). Termistorer är icke-linjära (se diagrammet nedan) och de har heller inte någon standardiserad funktion som beskriver deras resistansändring då temperaturen ändras. Det finns dock några empiriska formler som används. De följer nästan kurvan $\exp(-kT)$ där T är temperaturen och k en konstant.

Termistor T2, kalibrering 9706



Figur 2.2 Diagram med kalibrerade värden för termistor T2, exponentiell approximation inlagd.

Det finns en vanlig formel som brukar användas för termistorer och det är [Michalski et al, 1991, s 127, Quinn 1990]:

$$R_T = R_{T_0} \cdot e^{B' \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)} \quad (2.2)$$

där R_{T_0} är resistansen vid en bestämd temperatur T_0 , vanligen 20°C, och B' en konstant.

En annaniktig formel är

$$\alpha_T = \frac{1}{R_T} \frac{dR}{dT} \quad (2.3)$$

där α_T är den procentuella resistans-förändringen per grad Celsius vid temperaturen T.

Differentiera (2.2)

$$\frac{dR}{dT} = -B' \cdot \frac{1}{T^2} R_{T_0} \cdot e^{B' \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)} \quad (2.4)$$

sätt in ekvation (2.2) och (2.4) i (2.3) så erhålls

$$\alpha_T = -\frac{B'}{T^2} \quad (2.5)$$

logaritmering av (2.2) ger $\frac{1}{B'} \cdot \ln \frac{R_T}{R_{T_0}} = \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}$

och om man räknar om den får man

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} + \frac{1}{B'} \cdot \ln R_T - \frac{1}{B'} \ln R_{T_0} \quad (2.6)$$

sätt $a = \frac{1}{T_0} - \frac{1}{B'} \ln R_{T_0}$ och $b = \frac{1}{B'}$ och man erhåller

$$\frac{1}{T} = a + b \cdot \ln(R) \quad (2.7)$$

En annan formel som har börjat användas på senare tid är Steinhart-Harts termistorekvation [Kopfenstein 1994, och Kollmeier 1992]

$$\frac{1}{T} = A + B \cdot \ln(R) + C \cdot (\ln(R))^3 \quad (2.8)$$

Konstanterna A, B och C finns givna av Betatherm i deras katalog.

Vill man räkna ut resistansen istället får man lösa denna tredjegrads-ekvation. Endast en lösning finns:

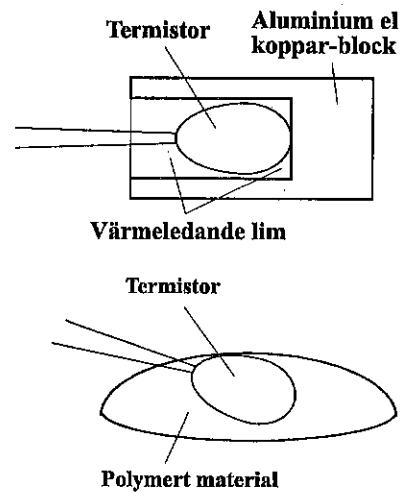
$$R = \exp \left[\sqrt[3]{-\frac{\left(A - \frac{1}{T}\right)}{C \cdot 2} + \sqrt{\left(\frac{\left(A - \frac{1}{T}\right)}{C \cdot 2}\right)^2 + \left(\frac{B}{C}\right)^3}} + \sqrt[3]{-\frac{\left(A - \frac{1}{T}\right)}{C \cdot 2} - \sqrt{\left(\frac{\left(A - \frac{1}{T}\right)}{C \cdot 2}\right)^2 + \left(\frac{B}{C}\right)^3}} \right] \quad (2.9)$$

2.2.4 Data

Det finns vad jag känner till endast tre tillverkare av riktigt stabila termistorer. De är Betatherm Corporation med den svenska leverantören Beata Komponent AB i Mullsjö, Yellow Springs Instruments (se www.ysi.com på internet) och Fenwal Electronics Incorporated. De har i stort sett likvärdiga produkter och eftersom endast Betatherm har leverantör i Sverige har jag valt deras termistorer. Alla termistorerna var droppformade innan de monterades in i olika givare.

Tre givarformer med termistorer för ytmätning har jag testat:

- Den nakna droppformade termistorn med diameter på cirka 1,8mm.
(T1, T8 och T10)
- Termistor som monterats in i ett litet aluminium- eller koppar-block 6·4·3mm.
(T2, T3, T9, T12 i Al-block och T7, T11 i Cu-block)
- Termistor i polymert material med en sida plan.
(Termistor och diameter:
T4 7,5mm, T5 7,8mm,
T6 8,2mm, T13 7,5mm
och T14 6,5mm)



Vilket resistansvärde ska då en termistor ha?

För att ha så låg mätström som möjligt, och därmed effektutveckling, samtidigt med hög upplösning i mätinstrument bör termistorn vara i intervallet 10 k - 50 kΩ.

Hög resistans ger bättre upplösning men också högre effektutveckling, vilken måste begränsas. Eftersom mätning har gjorts med multimeter har 30 kΩ och 50 kΩ-termistorer valts som den bästa kompromissen.

Termistorer anges med resistansen vid 25 °C. En 50 kΩ-termistor kan därför ha resistansen 63 kΩ vid 20 °C.

2.2.5 Mätning med digital multimeter

Flera olika multimeter har använts:

- HP3458A som lånats från sektionen Elektrisk mätteknik på SP
- HP34401 från längdsektionen på SP
- en PREMA 5017 med inbyggd scanner som lånats av återförsäljare under begränsad tid.

Med dessa multimeter har mätning gjorts med inställningarna: Resistans fyrtråd, 4 s integreringstid och mätområde $10\text{ k}\Omega - 100\text{ k}\Omega$ för HP och $30\text{ k}\Omega - 300\text{ k}\Omega$ för PREMA. Mätströmmen var $10\text{ }\mu\text{A}$ för bågge instrumenten.

Program har skrivits i Visual Basic (bilaga G) till PREMA 5017 och HP34401 för att läsa in resistansvärdet och spara det i fil. Enda kravet var att programmen skulle fungera, därför har inte någon fullständig felhantering gjorts.

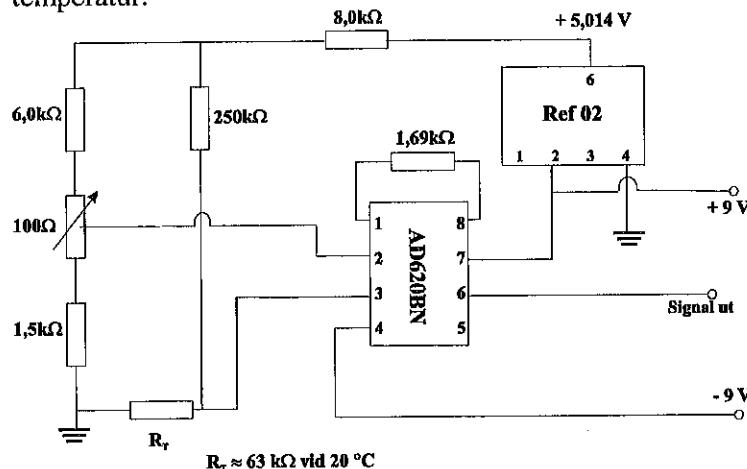
Tabell med upplösning och noggrannhet för instrumenten (mätt med de aktuella termistorer vid 20°C):

Multimeter	Upplösning (Ω)	Upplösning (mK)	Noggrannhet 1 år med 30k termistor	Noggrannhet 1 år med 50k termistor
HP34401	0,1	< 0,061	$\pm 2,9\text{ mK}$	$\pm 2,5\text{ mK}$
PREMA	0,01	< 0,0061	$\pm 1,4\text{ mK}$	$\pm 1,05\text{ mK}$

(Se multimeterspecifikation i bilaga E.)

2.2.6 Mätning med brygga och A/D-omvandlare

Som alternativ till att mäta med multimeter har en mätbrygga byggts med en förstärkare och denna har sedan kopplats till en 16 bitars A/D-omvandlare i en dator. Program skrevs för att läsa in värden (bilaga G.3). Mätbryggan konstruerades för en mätström på $7,6\text{ }\mu\text{A}$ genom termistorn ($50\text{k}\Omega$ -termistor = R_t) vid 20°C och ska vara i balans vid samma temperatur.



Figur 2.5 Kopplingsschema till mätbrygga med AD620 som förstärkare

Först sattes en operationsförstärkare in på bryggan men mätningar visade att på grund av återkoppling genom bryggan förändrades dess stabilitet. Därför fick en annan förstärkarkrets (AD620, bilaga H), med mycket hög resistans på ingången och återkoppling skild från bryggan, fick användas på dess plats.

2.3 Resistansttemperaturgivare (RTD)

2.3.1 Platinaresistansgivare

Består av en tunn platinatråd som ligger i ett elektriskt isolerande material. De är nästan linjära och i det lilla temperaturområdet runt 20 °C kan de betraktas som helt linjära. De finns i lite olika resistansklasser: 10, 25, 100, 500 och 1000 Ω, där resistansen anges vid 0 °C. Den vanligast förekommande är Platinagivare med 100 Ω motstånd (Pt100-givare), och det är också den typ som har använts vid temperaturmätning på passbitar vid SP. De har inte någon hysteres [Michalski et al, 1991, s 101].

Eftersom en platina-givare ändrar sig nästan linjärt och är mycket stabil används den som standard-instrument för den internationella temperaturskalan (ITS-90) från 13,8033K till 961,78 °C.

Nackdelar är att de är känsliga för mekanisk påverkan (åtminstone tunnfilms-givarna). Detta har lett till att givare ofta har fått slängas då de inte visat sig stabila. Har de inte utsatts för mekanisk påverkan har de varit mycket stabila flera år i rad. Pt-1000 givare har en bättre upplösning men tyvärr lite sämre stabilitet. För att kunna mäta med Pt100-givare med god upplösning blir mätinstrumenten dyra. De har inte så bra upplösning ($dR/dT = 0,39 \Omega/\text{ }^{\circ}\text{C}$ för Pt100 vid temperaturer mellan -20 °C och +40 °C en DIN IEC 751, vilket ger $\alpha = 0,36\%$ vid 20 °C) och är ganska dyra.

2.3.2 Övriga typer av RTD

Även nickel används i resistans-givare men eftersom det är en mer oädel metall så används den inte för temperaturer över 250 °C. Den har också lite sämre stabilitet. Fördelen är lite större resistans-temperatur-koefficient (dR/dT).

2.3.3 Mätinstrument

Två likvärdiga instrument har använts med Pt100-givare och de är:

- Frontec-instrumentet av typ S1234-6.
- LiAB-instrumentet av typ L1231-6.

De är digitala temperaturinstrument för precisionsmätning med upp till sex stycken Pt100-givare. De har en mätström på 0,63 mA och upplösningen 1/10 000 °C. Mätområdet är -5 till +35 °C. Samtliga mätkanaler har separata, galvaniskt skilda mätström-generatorer. En digitalvoltmeter scannar sedan mellan kanalernas förstärkta givarsignaler. Spänningen omvandlas till ett temperaturvärde och dessa temperaturvärden kan via en seriell kabel läsas in i en dator.

Linjäriseringen i instrumentet görs med van Dusen polynom:

$$R(t) = R(0)[1 + At + Bt^2 + C(t - 100)t^3] \quad \text{om } t < 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$R(t) = R(0)[1 + At + Bt^2] \quad \text{om } t \geq 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Där $R(0) = 100$

och t = temperaturen i grader Celsius.

$$\begin{aligned} A &= 3,9083 \cdot 10^{-3} \\ B &= -5,775 \cdot 10^{-7} \\ C &= -4,183 \cdot 10^{-12} \end{aligned}$$

Endast den senare av dessa formler används eftersom temperaturen vid mätningar i komparationsrummet är 20 °C. Experiment har visat att denna formel ger temperaturen med en god approximation [Quinn, 1990].

Program har använts för att med valbart tidsintervall scanna alla kanalerna och lagra data i en fil. Vanligen har scanning gjorts var femte minut, men även var tionde och var femtonde minut har använts.

För att möjliggöra mätning med hög precision måste man använda fyrledare till varje givare. Två ledare för den konstanta strömmen och två för den mycket höghömiga spänningsmätningen. På så vis minimeras inverkan från kablarna. Kablarna måste också vara skärmade.

2.4 Termoelement

Består av två hoplötade metalltrådar (lödställe A) av olika metaller samt ett referensställe (B) där de bågge trådarna lödas med en tredje metall (varsin ledare). Principen är att vid en temperaturskillnad mellan A och B så bildas en termo-emk-spänning som är proportionell mot temperaturskillnaden. För att kunna repetera mätningar måste referensstället hållas vid en konstant temperatur, vanligen isbad. Nackdelar blir då att man måste fylla på med is regelbundet, och man får en låg termo-emk-spänning på cirka 1 mV, eftersom det endast blir 20 graders skillnad. I en sådan låg spänning måste man kunna detektera skillnader på ungefär 10 - 20 nV för att få den eftersökta upplösningen (0,5 mK). Så termoelement har dålig upplösning. De har också stor störningskänslighet, vilket är en nackdel speciellt som mätningen ska göras i störande miljö.

Fördelar är att det går lätt att anpassa för temperaturmätning på ytor och att de inte har någon egenuppvärming. Inga termoelement har testats men det går att mäta med ganska hög precision med dem [Flügge 1994].

3 Kalibrering

3.1 Internationella temperaturskalan (ITS-90)

Den senaste internationella temperaturskalan är från 1990. Den hade tidigare föregåtts av den internationella praktiska temperaturskalan från 1968 (IPTS-68). ITS-90 bestäms av ett antal fixpunkter och interpoleringsinstrument används för att mäta temperaturer mellan fixpunktarna.

Förutom fixpunkter ingående i ITS-90 (se tabell A i bilaga) används av praktiska och ekonomiska skäl även vattnets frys punkt ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$) som SP kan realisera med en onoggrannhet på mindre än $\pm 1\text{ mK}$.

Interpolationsinstrument mellan **13,8033 K och 961,78 °C**

Mellan temperaturerna 13,8033 K (vätets trippelpunkt) och 961,78 °C (silvrets frys punkt) används platina resistantermometer som standardiserat interpolationsinstrument. Temperaturen (egentligen resistansförhållandet $W(T_{90}) = R(T_{90})/R(273,16\text{ K})$) bestäms av platinaresistantermometer som kalibrerats i vissa fixpunkter och som använder speciella referens- och avvikelsefunktioner för interpolation mellan fixpunktarna.

En referensfunktion används mellan $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ och $961,78\text{ }^{\circ}\text{C}$ för att bestämma temperaturen (T_{90}) [QUINN 1990]:

$$W_r(T_{90}) = C_0 + \sum_{i=1}^9 C_i \left(\frac{T_{90} - 754,15}{481} \right)^i \quad (3.1)$$

där C_0 och C_i är givna konstanter. Temperaturen ges då med god approximation (inom $0,13\text{ mK}$) av

$$T_{90}(K) - 273,15 = D_0 + \sum_{i=1}^9 D_i \left(\frac{W_r(T_{90}) - 2,64}{1,64} \right)^i \quad (3.2)$$

Avvikelsefunktionen är

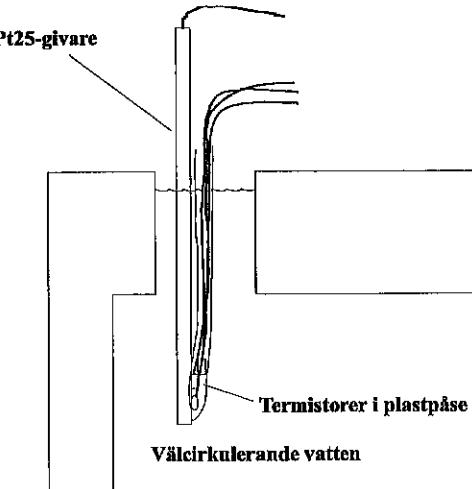
$$W(T_{90}) - W_r(T_{90}) = a[W(T_{90}) - 1] + b[W(T_{90}) - 1]^2 + \sum_{i=1}^5 c_i [\ln W(T_{90})]^{1+n}$$

där värden för konstanterna a , b och c_i erhålls vid mätning för den aktuella platinaresistantermometern vid definierad fixpunkt och med $n=2$.

3.2 Uppställning

I SP:s temperaturlaboratorium realiseras de fixpunkter som ligger mellan $-189,3442\text{ }^{\circ}\text{C}$ och $1064,18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Inte bara fixpunkter kan kontrolleras utan jämförelsekalibrering kan göras vid andra temperaturer med hjälp av temperaturreglerade bad och ugnar.

För kalibrering av termometrar i temperaturer mellan 0 och cirka 90 °C används vattenbad och för andra temperaturer används oljebad, spritbad eller saltbad. För alla bad sänks en referensgivare Pt25 (platina resistans-givare med ungefärliga resistansen 25Ω vid 0 °C) ned tillsammans med den givare som ska kalibreras (för mina mätningar sättes upp till tre termistorer i en plastpåse). Referensgivaren ska då ha kalibrerats vid några fixpunkter enligt ITS-90. För mätning över 0 °C har Pt25-givaren kalibrerats vid trippelpunkten för vatten samt tenns och zinks frys punkter. Mätning av Pt25-givarens resistans görs med bra multimeter eller för de noggrannaste mätningarna med en resistansmätbrygga som sitter i ett kvotinstrument.

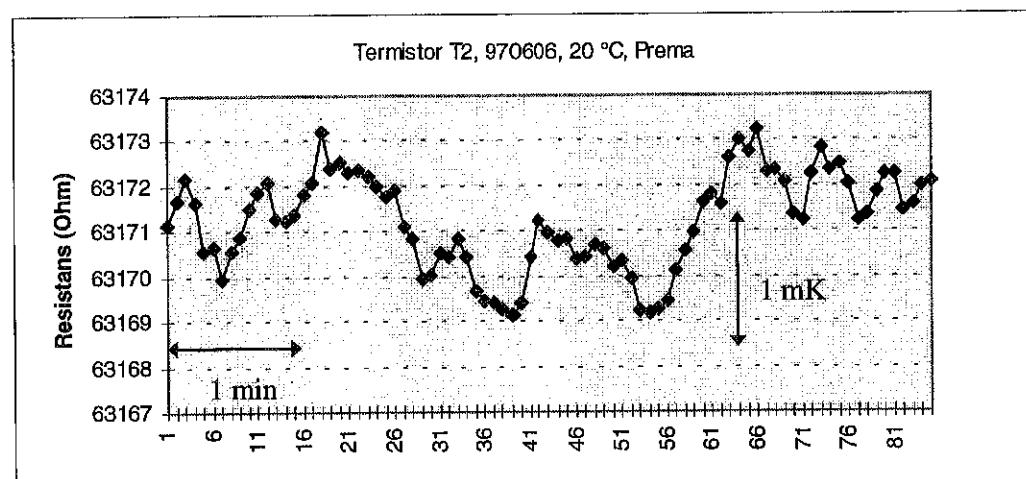


Figur 3.1 Uppställning vid kalibrering i vattenbad.

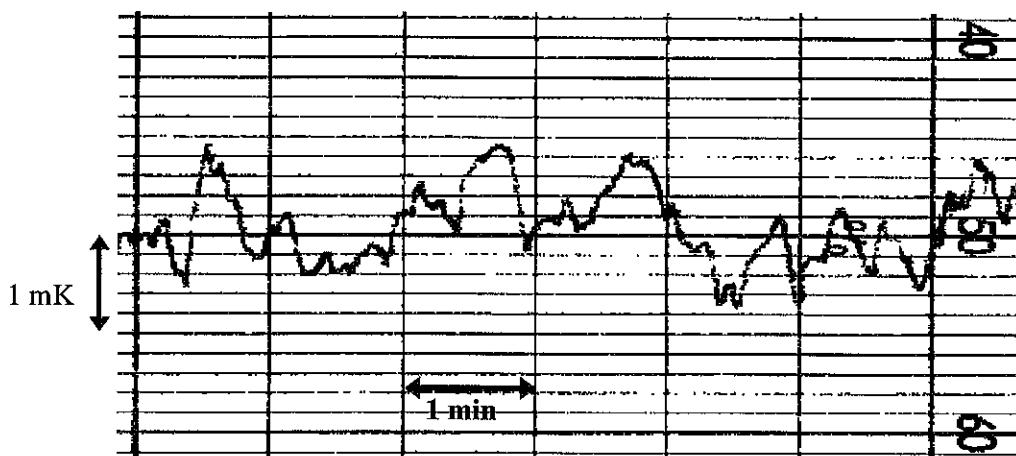
3.3 Termistorer

3.3.1 Bestämning av matematisk funktion

Flera kalibreringar har gjorts i vattenbad i SP:s temperaturlaboratorium. Resistansen på termistorn mättes med en multimeter. Vid varje temperatur gjordes flera avläsningar på multimetern och ett resistans-medelvärde beräknades. En kurva (figur 3.3) från Pt25-givaren plottades där ett inställt värde från resistansmätbryggan gav 50% på diagrammet. Kontroll gjordes också att resistanskurvan följde den plottade kurvan från Pt25-givaren. Observera att termistorn har omvänt lutning på kurvan. Vid avvikelse från kurvlikheten så försummades de värden som avvek. Detta förekom bara i början av varje temperatur ty termistorn som fanns i en plastpåse behövde ibland längre tid för att svänga in än Pt25-givaren.



Figur 3.2 Diagram som visar termistorns variation under drygt 5 minuter.



Figur 3.3 Diagram från Pt25-givaren som motsvarar termistorns diagram ovan.

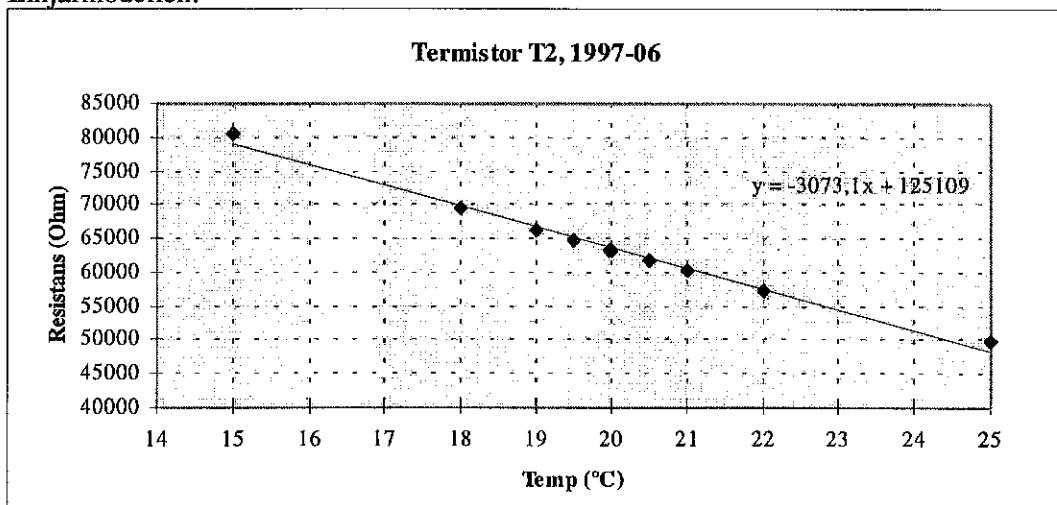
Uppskattning av medelvärdet av Pt25-temperaturen gjordes med kontroll i några enstaka punkter. På så sätt skapas ett antal kalibrerade värden.

Upp till fyra givare placerades i samma plastpåse. Vid kalibrering 9706 mättes 14 termistorer upp vid minst tre temperaturer var (18, 20 och 22 °C) och mätningarna gjordes vid tre tillfällen: 970606, 970610 och 970611. Kontrollmätning av multimeterarnas resistansområden gjordes 970606 några timmar före start av termistormätningen för att konstatera att eventuella fel ligger inom multimeterarnas 24-timmars specifikation, vilket de gjorde (se bilaga). Multimeterna placerades sedan några timmar påslagna i temperatur-laboratoriet för att de skulle hinna anpassa sig till temperaturen där. För alla redovisade kalibreringsvärden användes PREMA 5017 och mätströmmen var 10 µA. Jämförelse gjordes med HP34401A men med likartat resultat (ty mätström 10 µA) och med HP3458A men med mätströmmarna 5µA respektive 50µA (se under rubriken: egenuppvärmning vid kalibrering).

Sedan gjordes flera olika matematiska modeller som kurvan skulle anpassas till. För att kontrollera felet sattes sedan resistanserna in i modellen och temperaturen beräknades. Regressionsfunktionen i Excel användes och den använder minsta kvadrat-metoden för minimera felen.

Tre modeller har använts och som referens också en linjär approximation.

Linjärmodellen:



Figur 3.4 Kalibrerade värden med en linjär approximation och dess ekvation inritad .

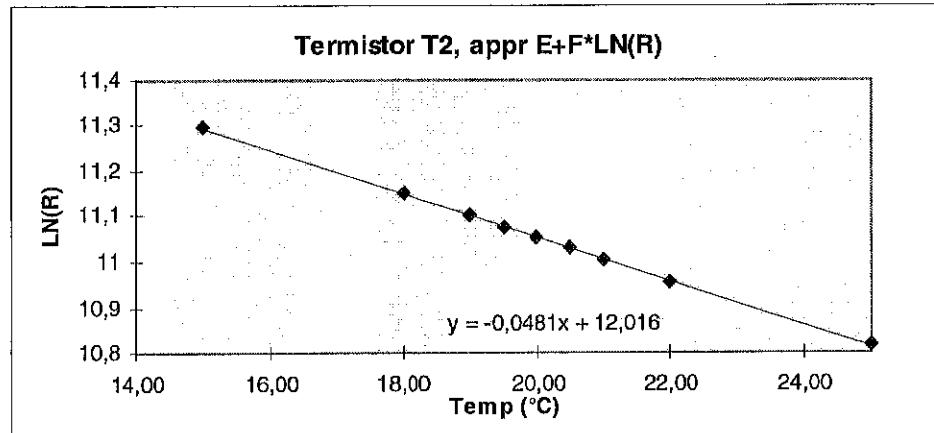
Linjärmallen: $T = k + l \cdot R$ där k och l är konstanter.

Trendlinjen från diagrammet ovan användes med $x=T$ och $y=R$.

Modell 1:

$$\text{Anpassning efter formeln, } T = E + F \cdot \ln(R) \quad (3.3)$$

(E och F är konstanter).



Figur 3.5 Diagram med modell 1 för kalibrering 9706.

Det visar sig att trendlinjefunktionen i Excel ger en bra bestämning till $\alpha = -0,0481$ vid 20°C för termistor T2 (Stämmer med fabriksuppgift som ger $-4,81\%$ för en $50\text{k}\Omega$ -termistor vid 20°C). Att α erhålls direkt ur lutningen är ingen slump.

Differentiering av (3.3) ger:

$$dT = F \cdot \frac{dR}{R}$$

$$\text{som omskrivet är } \frac{1}{R} \frac{dR}{dT} = \frac{1}{F}$$

vilket är definitionen på α (ty omskrivningen av 3.3 ger $\ln(R) = T/F - E/F$). Det är viktigt vid bestämning av α med denna grafiska(?) metod att linjen verkligen är tangent till kurvan genom den punkt (i vårt fall 20°C) man vill bestämma α för.

Modell 2:

En bättre formel är ekvation (2.2) som omräknat ger ekvation (2.6):

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} + \frac{1}{B'} \cdot \ln R_T - \frac{1}{B'} \ln R_{T_0}$$

Här måste T uttryckas i Kelvin.

Skrivs (2.6) om ytterligare får man

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} - \frac{\ln R_T}{\alpha T_0} + \frac{\ln R_0}{\alpha T_0^2} \quad (3.4)$$

$$\text{med } a = \frac{1}{T_0} + \frac{\ln R_0}{\alpha T_0^2} \quad (3.5)$$

$$\text{och } b = -\frac{1}{\alpha T_0^2} \quad (3.6)$$

erhålls $\frac{1}{T} = a + b \cdot \ln(R)$ som var ekvation (2.7) som jag kallar termistorekvationen.

Modell 3:

För att nå hög noggrannhet i ett större temperaturintervall finns Steinhart-Harts ekvation (2.8):

$$\frac{1}{T} = A + B \cdot \ln(R) + C \cdot (\ln(R))^3$$

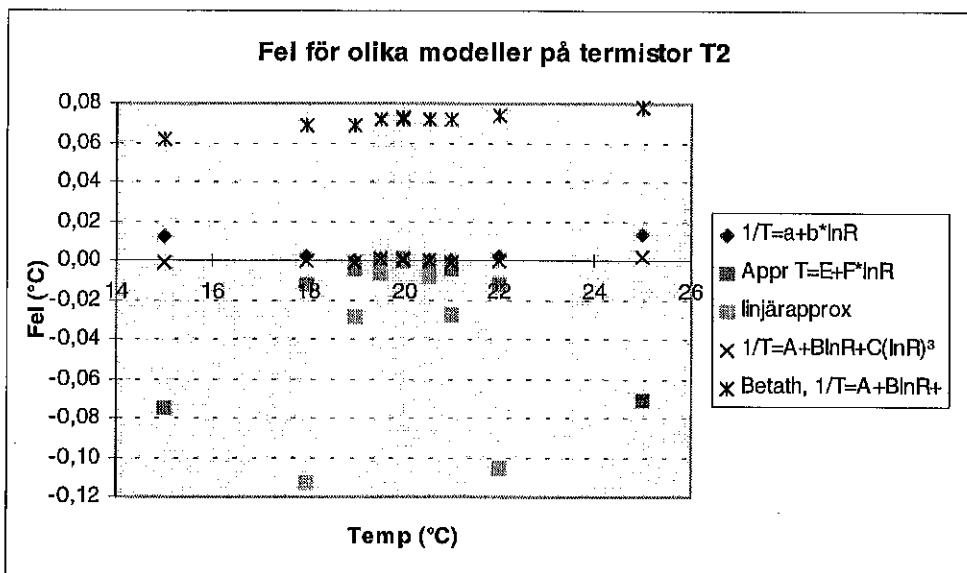
Även här är T i Kelvin. Konstanterna A, B och C finns givna av Betatherm i deras katalog för hela intervallet 0 - 70 °C, men för bättre noggrannhet får man lösa ut dessa konstanter själv. Genomgående har de tre temperaturerna 18, 20 och 22 °C använts för att beräkna konstanterna. Hela intervallet som man vill använda måste ligga inom de kalibrerade mätpunkterna och den tredje mätpunkten ska ligga mitt i intervallet. Jag beräknade först $1/T$, $\ln(R)$ och $(\ln(R))^3$ mycket noggrant och löste sedan ekvationssystemet (som matris).

Konstanterna bestämdes till (för termistor T2 och kalibrering 9706):

	A	B	C
18-22 °C	$9,369934 \cdot 10^{-4}$	$2,147929 \cdot 10^{-4}$	$7,410836 \cdot 10^{-8}$
15-25 °C	$9,439464 \cdot 10^{-4}$	$2,138863 \cdot 10^{-4}$	$7,638022 \cdot 10^{-8}$
Betatherm:	$9,657154 \cdot 10^{-4}$	$2,106840 \cdot 10^{-4}$	$8,585481 \cdot 10^{-8}$

Skillnaden är liten mellan dessa konstanter. Konstanterna från Betatherm gäller för temperaturintervallet 0 - 70 °C med en fabriksuppmätt kontrollerad termistor. Termistorerna levereras med temperaturtolerans $\pm 0,2$ °C från tillverkaren för hela intervallet som standard. För en individuell kalibrerad termistor kan man för mätområde under 100 °C nå en noggrannhet inom $\pm 0,02$ °C [Doebelin 1990] med Steinhart-Harts ekvation.

I nedanstående diagram har de tre metoderna använts och jämförts med det kalibrerade värdet. Dessutom har en linjär modell använts och Steinhart-Harts ekvation med Betatherms konstanter. Den beräknade temperaturen kontrollerades med den uppmätta: $T_{FEL} = T_{ber} - T_{uppmätt}$.



Figur 3.6 Test av de olika modellerna samt Steinhart-Harts ekvation med konstanter från Betatherm (tillverkaren). Värden ovan från kalibrering 9706.

Det visar sig att endast Steinharts-Harts ekvation och termistorekvationen ger en bra noggrannhet i ett intervall 18 - 22 °C med ett fel inom ± 2 mK. Steinhart-Harts ekvation

klarar detta dessutom i ett betydligt större intervall. Om man begränsar sig till intervallet 19 - 21 °C kan även modell 1 användas.

Eftersom jag har bestämt konstanterna A, B och C till Steinhart-Harts ekvation kan denna bestämning användas för att kontrollera och beräkna α noggrant och därmed också ekvation (2.7):

Differentiera (2.8)

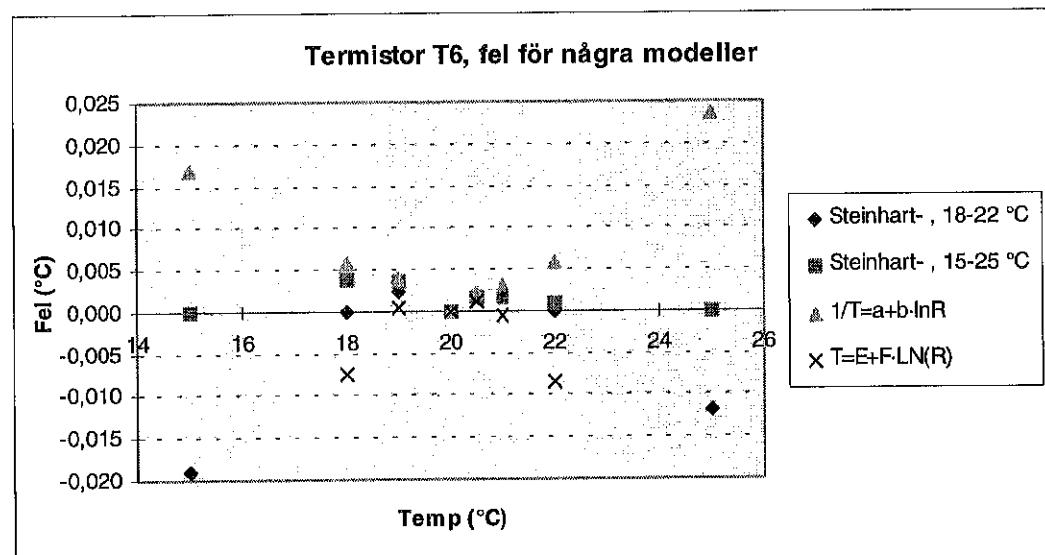
$$-\frac{dT}{T^2} = dR \left(\frac{B}{R} + \frac{3C(\ln R)^2}{R} \right)$$

vilket efter omskrivning ger

$$\alpha = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT} = \frac{1}{T^2(B + 3C(\ln R)^2)} \quad (3.7)$$

Sätt in temperaturen 293,15K (=20 °C) i (15) och använd det kalibrerade värdet vid 20 °C eller för ännu bättre noggrannhet använd ekvation (2.9) för att beräkna R_0 (R) vid exakt 20 °C.

Termistorerna T2 och T3 var inbyggda i små aluminiumblock vilket ledde till liten egenuppvärming och bra överensstämmelse med modellerna, men för de givare som monterats in i en polymer kapsel är egenuppvärmeningen lite högre och också variationen vid upprepning av mätning (=repeterbarhet, se avsnitt 3.3.2). Se i diagrammet nedan för termistor T6.



Figur 3.7 Test av de tre modellerna på termistor T6 vid kalibrering 9706.

Det framgår också klart att Steinhart-Harts ekvation inte ska användas för extrapolering (det vill säga att förlänga mätintervallet utanför det som använts vid kalibrering) utan endast interpolering.

Resultaten av kalibreringarna finns i bilaga B.

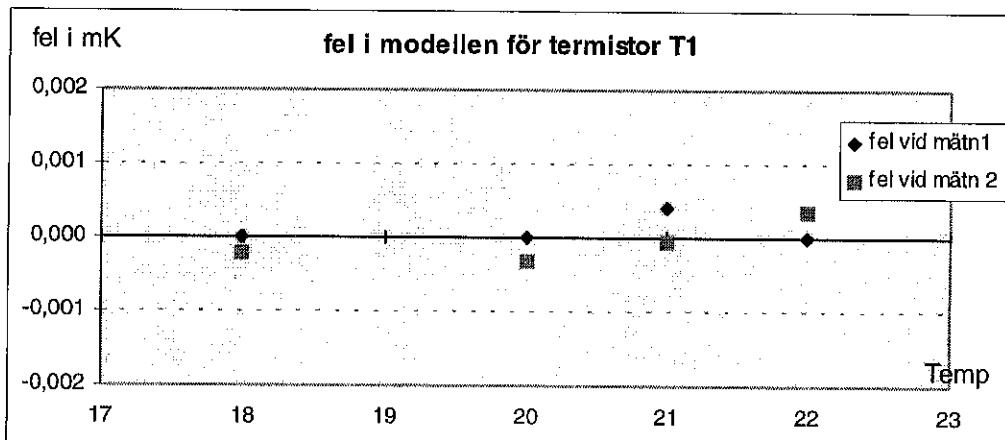
3.3.2 Repeterbarhet

Vid några tillfällen har mätningar upprepats vid samma temperatur inom några veckor. Mätningarna måste ha utförts på samma sätt (samma mätström osv). Dessa mätningar visar hur repeterbara mätningarna är.

Tabell med skillnader mellan två mätningar vid kalibrering 9606:

	20 °C (mK)	25 °C (mK)
T2	1,1	
T4	0,1	
T5	1,9	0,6

Två kalibreringar har gjorts av T1, 970211 och 970227 vid temperaturerna 18, 20, 21 och 22 °C. Mätningarna visar på en god repeterbarhet (se diagram nedan). Mätströmmen var 50 µA så det var en del egenuppvärmning som jag insåg först i efterhand. Insättning av mätvärdet gjordes i Steinhart-Harts ekvation. Felet i denna modell blev också litet i intervallet 18 - 22 grader Celsius (se diagram) men utanför ökar felet snabbt.



Figur 3.8 Termistor T1 med mätning 1 utförd 970211 och mätning 2 970227.

Delvis kan också andra temperaturer användas för indirekt kontroll av repeterbarheten (se diagram 3.5 till 3.8 med Steinhart-Harts ekvation) men då är det svårt att avgöra vad som är fel knutet till repeterbarhet, fel knutet till formel och vad som är fel beroende på spridning i egenuppvärmning (egentligen olika bra kontakt med omgivande vatten).

I detta avseende håller sig termistorerna T2, T3, T5 och T6 inom nedanstående spridning:

Termistor	Antal mätpunkter	Största fel
T2	4	± 1,0 mK
T3	4	± 0,4 mK
T5	3	± 1,1 mK
T6	3	± 2,3 mK

(Förutsättningen är kontroll vid andra temperaturer än de kalibrerade och användning av Steinhart-Harts ekvation med kalibrering i temperaturerna 18, 20 och 22 °C.)

Vid den senaste kalibreringen (970822) gjordes också en kontroll av repeterbarheten för några termistorer (20 °C):

Termistor	Skillnad mellan mätningar
T2	0,6 mK
T3	0,1 mK
T5	0,1 mK
T9	0,2 mK

Bortsett från Termistorerna T5 och T6 som hade lite högre egenuppvärmning vid kalibreringen 9706 har alla upprepade mätningar hållit sig inom ± 1,1 mK. Därför kan man kanske våga sig på att sätta gränsen ± 2 mK för repeterbarhet vid 95% konfidensintervall.

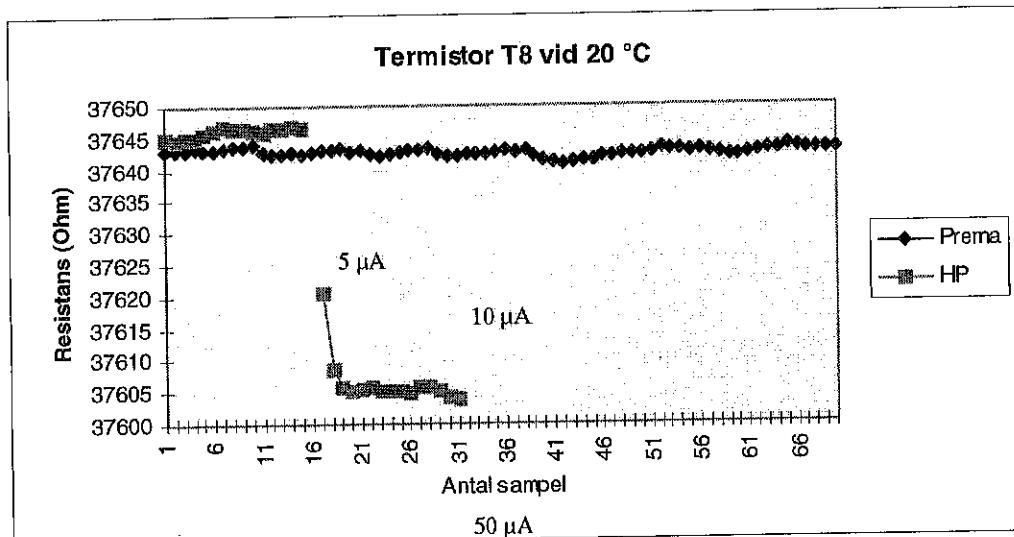
3.3.3 Egenuppvärmning vid kalibrering

Egenuppvärmning mäts inte direkt utan får beräknas ur de skillnader i resistans som mäts upp med de olika strömmarna.

Vid kalibreringen 9706 gjordes jämförande mätningar med tre olika mätströmmar (5, 10 och 50 μ A) vilket resulterade i tre olika resistansvärden. Mätningarna gjordes i isbad och vid 20 °C. De två mätströmmarna 5 μ A och 50 μ A mättes med HP3458A med mätområdena 1 M Ω respektive 100 k Ω och 10 μ A mättes med PREMA 5017.

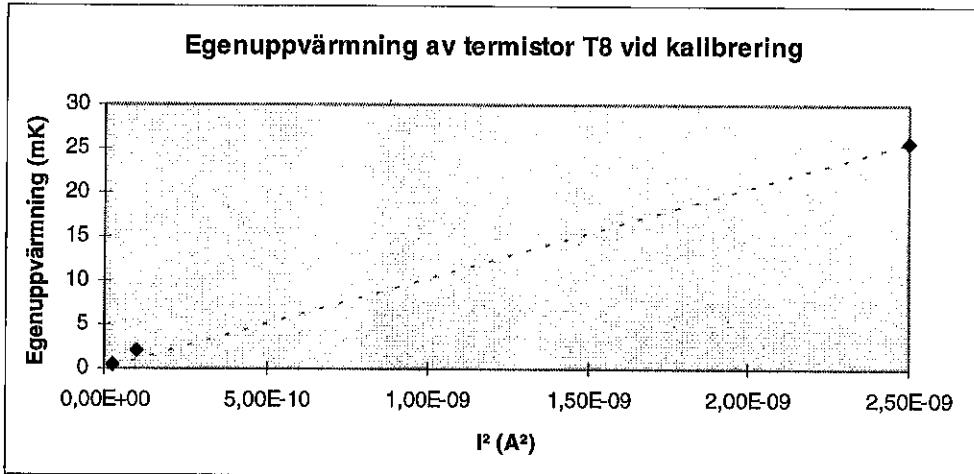
I vattenbad

I vattenbad med temperaturen 20 °C gjordes mätningarna med sex termistorer: två stycken monterade i litet aluminium-block (T2 och T3), två stycken i polymer kapsel (T5 och T6) och slutligen två nakna termistorer (T8 och T10).



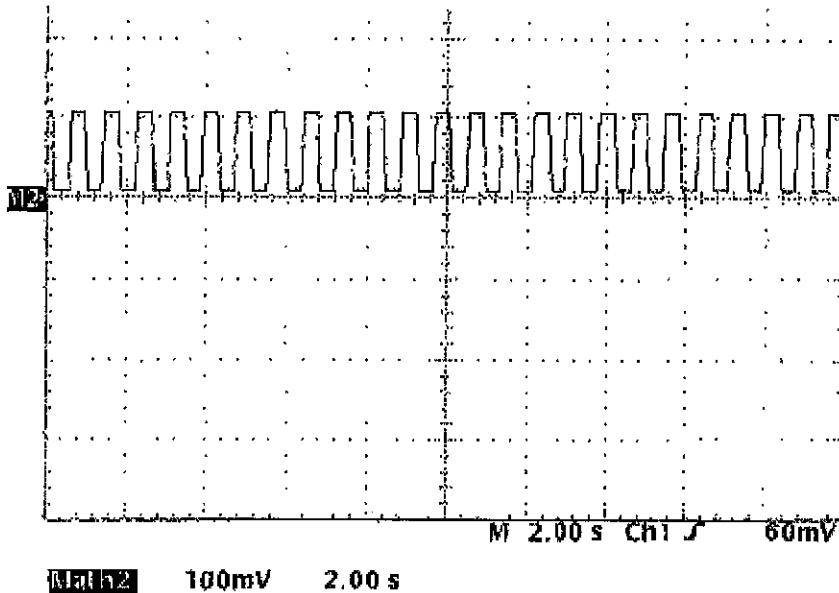
Figur 3.9 Uppmätning av resistansen på T8 vid tre olika mätströmmar 970611.

Mätningarna med HP respektive PREMA gjordes efter varandra men är inlagda i samma diagram. Vid omkoppling av mätområdet på HP:n till 100 k Ω så sjönk resistansen drastiskt av den ökade egenuppvärmningen men stabiliseras snabbt. Räknar man om dessa skillnader i resistans, med hjälp av framräknade dR/dT-förhållanden, och tar hänsyn till temperaturvariationer får man fram skillnader i temperatur på 1,6 respektive 23,5 mK. (Korrektion gjordes mot Pt25-diagram.) Skillnaderna adderas för att få fram skillnaden i egenuppvärmning, ΔT mellan strömmarna 5 μ A och 50 μ A. Eftersom effektutvecklingen, P, ges av $R \cdot I^2$ det vill säga resistansen gånger strömmen i kvadrat plottades strömmen i kvadrat i ett diagram för att konstatera linjäritet.



Figur 3.10 Mätning av egenuppvärmning på T8 med tre olika mätströmmar 970611.

Ett linjärt samband erhålls inte ty mätpunkten från PREMA-multimetern ligger över linjen. Orsaken till detta är att med de inställningar som används för HP3458A så har den inte en kontinuerlig mätström, utan för längre samplingstider så beräknar den medelvärdet av flera samplingar och mellan varje sampel kopplas givaren bort och den mäter nollnivån. Därför har mätningarna vid 5 och 50 μ A gett en lägre resulterande egenuppvärmning. Av denna orsak är endast de två mätvärdena från HP-multimetern jämförbara med varandra.



Figur 3.11 Diagram som visar Variationer i mätström(spänning) på en HP3458A vid inställning NPLC =100, Autozero = on och 0-comp = on.

För att extrapolera fram egenuppvärmningen vid 5 μ A beräknas egenuppvärmningen, $\Delta\vartheta$, med formeln (härleds ur linjärsambandet):

$$\Delta\vartheta = \frac{\Delta T}{\frac{I_3^2}{I_1^2} - 1} \quad (3.8)$$

med $I_3 = 50 \mu$ A och $I_1 = 5 \mu$ A.

På detta vis erhålls egenuppvärmningen vid 5 μ A och sedan adderas ΔT när nedanstående värden beräknas.

Tabell över egenuppvärmning vid 20 °C för några termistorer.

Termistor	T2	T3	T5	T6	T8	T10
Givarform	Al-block	Al-block	Polymer kaps	Polymer kaps	naken giv	naken giv
Mätström	(mK)	(mK)	(mK)	(mK)	(mK)	(mK)
5 µA	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3
10 µA	0,6	1,2	1,5	0,2	1,9	1,9
50 µA	12,5	14,1	19,5	16,7	25,4	28,4

De givare som har lägst egenuppvärmning är de som byggs in i små aluminiumblock (T2 och T3) och de med högst egenuppvärmning är de nakna givarna (T8 och T10). Med den lilla mätströmmen 5 µA kan egenuppvärmningen försummas. Resultatet från T6 vid 10 µA visar att variationen kan vara lika stor som egenuppvärmningen.

I isbad

I isbad visade det sig att egenuppvärmningen var högre än i det välcirkulerande vattenbadet. Termistorerna T4 och T8 mätttes vid alla strömmarna och egenuppvärmningen uppskattades till 0 värden enligt nedanstående tabell.

Tabell över egenuppvärmning i isbad.

Termistor	givarform	5µA (mK)	10µA (mK)	50µA (mK)
T4	polymer giv	0	0,1	38
T8	naken giv	0,7	7	70
T2	Al-block	0,5	4,5	

Onoggrannheten vid mätning med mätström 5 µA är lite större eftersom mätområdet 1 MΩ använts. Med 24-timmars specifikationen (10 ppm of reading + 1 ppm of range) och räknat på T2 och T3 vid 20 °C ska mätfelet då vara inom 0,63 mK. För övriga termistorer ska mätfelet vara inom 0,83 mK. Nu var instrumentet inte ordentligt uppmätt inom 24 timmar tidigare, men en snabbkontroll gjordes som gav bra värden för mätområdet. En annan felorsak är de korta mätserierna för mätning med HP-instrumentet, vilket ger dålig statistik med större felosäkerhet som följd.

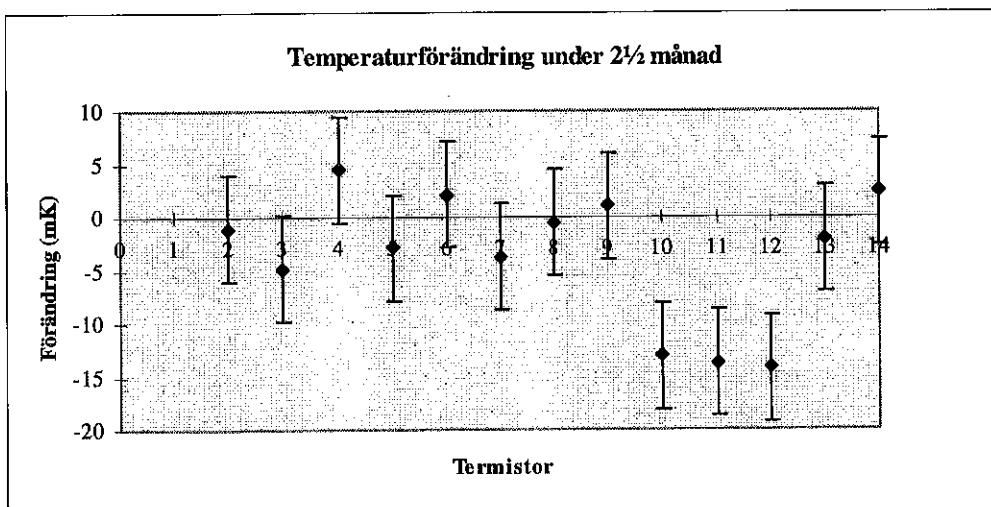
Det är svårt att ge en uppskattning av hur mycket egenuppvärmningen kan variera när givarna finns i plastpåse, men kanske kan de givare som inte är nakna ha en spridning orsakad av egenuppvärmningen på 1,5 mK vid 95% konfidensintervall med mätströmmen 10 µA och 20 °C.

3.3.4 Långtidsstabilitet

För att få en uppfattning om långtidsstabiliteten behöver man mäta under minst ett år, vilket inte har varit möjligt i detta projekt. Kalibreringar har dock gjorts vid flera tillfällen.

Alla termistorer har mäts vid två tillfällen: 970606-970611 och 970822. Förändringen framgår av nedanstående diagram där temperatur beräknats och mätfelet, ± 5 mK, erhålls genom kvadratisk addition från respektive kalibrering (se avsnitt 3.3.5):

För de flesta termistorer ökar resistansen vilket kan förväntas (bilaga I). Tre termistorer verkar inte vara tillräckligt stabila (T10, T11 och T12), möjligen kan mätningen av egenuppvärmning ha påverkat T11 och T12 (se avsnitt 4.5.1). Övriga termistorer har för liten skillnad för att någon slutsats ska kunna dras.



Figur 3.12 Skillnad mellan kalibreringarna 9706 och 970822 för termistor T2 till T14.. Kompensering för egenuppvärmning vid kalibrering 9706 har gjorts.

Termistor T2 hade mätts upp på fabrik vid 25 °C före leverans (januari 1997) med resistansen 49,88 kΩ. Vid kalibreringen 970611 mättes den upp till 49 825 Ω om man kompenseras för 1 mK egenuppvärmning.

En kalibrering gjordes 1994-04-22 vid temperaturerna 18, 19, 20, 21 och 22 °C, men det visade sig att multimetern var lite felinställd för temperaturerna 18 och 19 °C. Multimeterns (HP3458A och mätström 50 μA) testprogram fick köras om och inställningarna fick göras om igen innan mätningarna fortsatte vid 20, 21 och 22 °C. Även för de tre högre temperaturerna erhölls lägre resistanser än det var vid de andra kalibreringarna, det vill säga högre temperaturer. För T1 4-8 mK högre, för T2 9-15 mK högre och för T3 91-97 mK högre temperatur. Egenuppvärmningen vid dessa tidigare mätningar har varit högre än vid kalibreringen 9706. Skillnaderna för T1 och T2 kan förklaras av egenuppvärmningen. De kalibreringar som det gjordes jämförelser med var för T1 970211 och för T2 och T3 kalibrering 9706.

3.3.5 Fel vid kalibrering

Kalibrering 970822

Mätning med HP3458 och mätström 5 μA.

Egenuppvärmningen försummas ty den är mindre än 0,5 mK (beräknad till 0,1 - 0,3 mK). Repeterbarheten beräknas vara inom ± 2 mK vilket uppskattas motsvara ett 95% konfidensintervall. Lägg till en säkerhetsmarginal på ± 1 mK eftersom givarna finns i plastpåse och gradienterna till Pt25-givaren kan vara lite större och en osäkerhet vid bestämningen av resistansen som nästan motsvarar ± 1 mK.

Som bäst skulle då kalibreringen ge mäftelet ± 3 mK.

Kalibrering 9606

Mätning med PREMA och mätström 10 μA.

Egenuppvärmningen tillkommer men mättnogrannheten med multimeter var något bättre. Om man för de termistorer som inte är nakna kompenseras för egenuppvärmningen med 1 mK och sedan tar med spridningen, orsakad av egenuppvärmningen, som en osäkerhet så skulle det totala felet vid kalibrering och konfidensgrad 95% bli

$$\pm \sqrt{(3mK)^2 + (2mK)^2} \approx \pm 4mK \text{ vid } 20^\circ C.$$

För de nakna givarna, T8 och T10, får man istället kompensera med 2 mK och använda en större uppskattad spridning på 3 mK, vilket ger osäkerheten
 $\pm \sqrt{(3mK)^2 + (3mK)^2} \leq \pm 5mK$ vid 20 °C.

Fel i matematisk modell

Om man sedan vid en tillämpning mäter vid en annan temperatur än vid 20 °C får man lägga till ett fel i den matematiska modellen som är beroende av vilken modell som används och vilken temperatur som man önskar mäta.

För Steinhart-Harts ekvation vid kalibrering 18-22 °C uppskattas modell-felet ligga inom cirka ± 2 mK (eller är det spridning av kalibrerade data som ligger bakom denna uppmätta högsta spridning i modellen?). För temperaturintervallet 15-25 °C ökar felet till cirka ± 3 mK med samma ekvation.

Med ekvation $\frac{1}{T} = a + b \cdot \ln R$ kan man i intervallet 18-22 °C nå noggrannhet inom cirka ± 4 mK för modellen och i intervallet 19-21 °C cirka ± 2 mK.
Dessa fel ska läggas till de tidigare feleten.

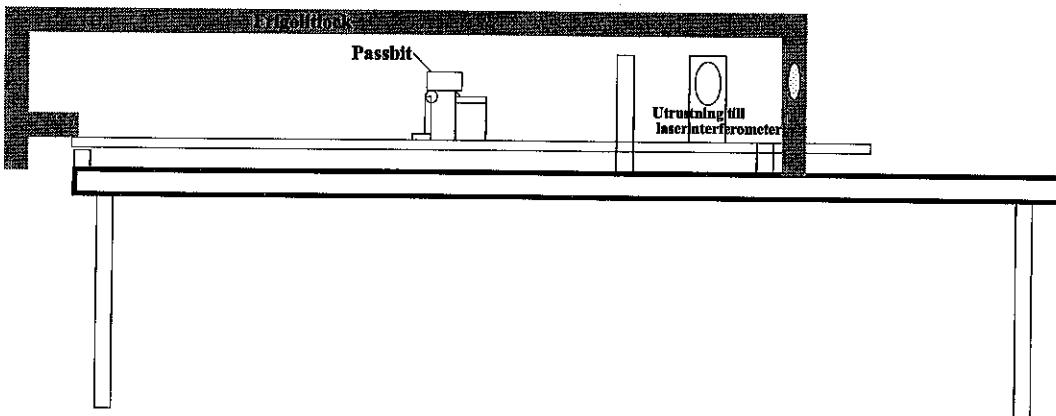
3.4 Platinaresistansgivare

Platinaresistansgivarna har kalibrerats vid 20 °C i vattenbad vid riksmätplatsen för temperatur (kalibreringsbevis finns i bilaga D). Tunnnfilmsgivarna har inte kalibrerats i temperaturlaboratoriet på SP utan kalibreras på passbit (se avsnitt 4.4).

4 Mätningar på passbit

4.1 Uppställning

En serie mätningar har gjorts med Pt100-givare i lite olika utformning för att få reda på hur bra de är på att mäta temperaturen på ytan av en passbit, samt för att kalibrera de Pt100-givare som används vid interferometrisk längdmätning av långa passbitar, mot ett nytt instrument från Frontec. Jämförande mätningar har också gjorts med termistorer som kopplats till multimeterna PREMA och HP34401.



Figur 4.1 Figur över platsen för mätningarna.

Luftens i laboratoriet är temperaturreglerad och ska hålla sig på $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Mätningar har visat att variationen är lite större, cirka $\pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

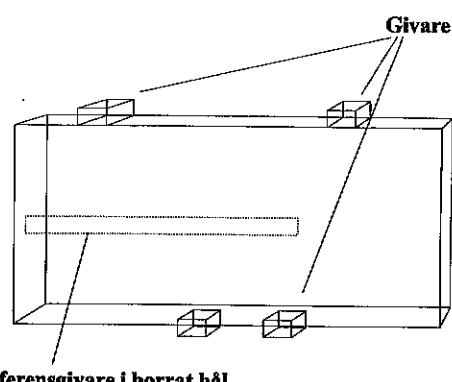
4.2 Applicering av givare på passbit

En termiskt god kontakt mellan passbit och givare är nödvändig för att temperaturskillnaden mellan dem ska vara så liten som möjligt. Temperatur-gradienterna är små mellan luft och passbit, därfor borde man inte få några större temperaturskillnader. Det som kan ge grader är dock egenuppvärmningen (se avsnitt 4.5) och dess uppvärmning av passbiten.

Pt100-givarna har applicerats med fjäder, flytande paraffin, värmeledande pasta, modellera eller kombinationer av dessa. Termistorerna har inte testats med modellera. Mina mätningar har visat att modellera inte är tillräckligt bra vid applicering på passbit. Den skyddar visserligen från omgivande luft men garanterar inte en termisk god kontakt.

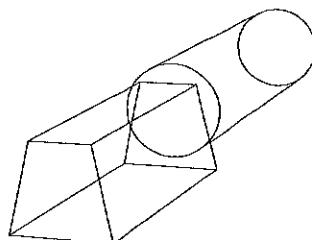
Givarna har applicerats på ytan av en borrad 75mm stål-passbit som placeras under locket och referensgivaren märkt A8-95-30 placerades i passbiten och anslöts till kanal 1 på Frontec-instrumentet.

Referensgivaren (som kalibrerats enligt bilaga) fördes in i det borrade hålet i passbiten. Vid mätning med termistor har två multimeter använts (Prema 5017 och HP34401) med mätströmmen $10\text{ }\mu\text{A}$ samt program som automatiserat avläsningen. Som mest har sex givare placerats på passbiten.



Några olika former på Pt100-givare har testats:

- Tunnfilmsgivare med mätten 10·2,0·0,85mm
(märkta C2-95-24, C3-95-25 och C5-95-27) Kontaktyta 20mm^2 .
Fastsättning med fjäder
- Stavformade givare med längden 50mm och diametern 2,0mm.
(märkta A8-95-30, C1-95-29, C2-94-15, C3-94-16, C4-95-28, C5-94-18 och C6-94-19)
- Blockgivare med formen av ett metallblock med
storleken 18·8·3,5mm. Kontaktyta 144mm^2 .
(märkta K2 och K4)
- Givare med form av en "guldtacka". Kontaktyta
 37mm^2 .
(märkta A1-83-1, A2-83-2, A6-83-6 och A7-83-7)



Pt100-givare av typ "tacka"

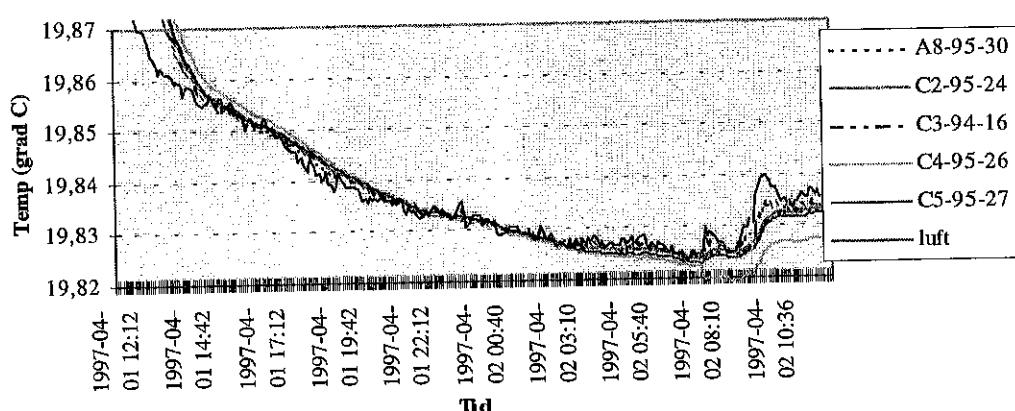
4.3 Platinaresistansgivare

För att kunna utesluta gradienter i den borrade passbiten flyttades några givare mellan de olika mätningarna. Inga gradienter hittades ($< 2 \text{ mK}$).

Endast två av de fyra tunnfilms-givarna var stabila men de visade sig vara snabba på att svänga in till den temperatur som passbiten hade (den som centrumgivaren hade).

Mätdata har samlats in, i huvudsak på natten och helger eftersom det ofta har varit lite jämnare temperatur då.

Mätserie 2, temperaturmätning på passbit



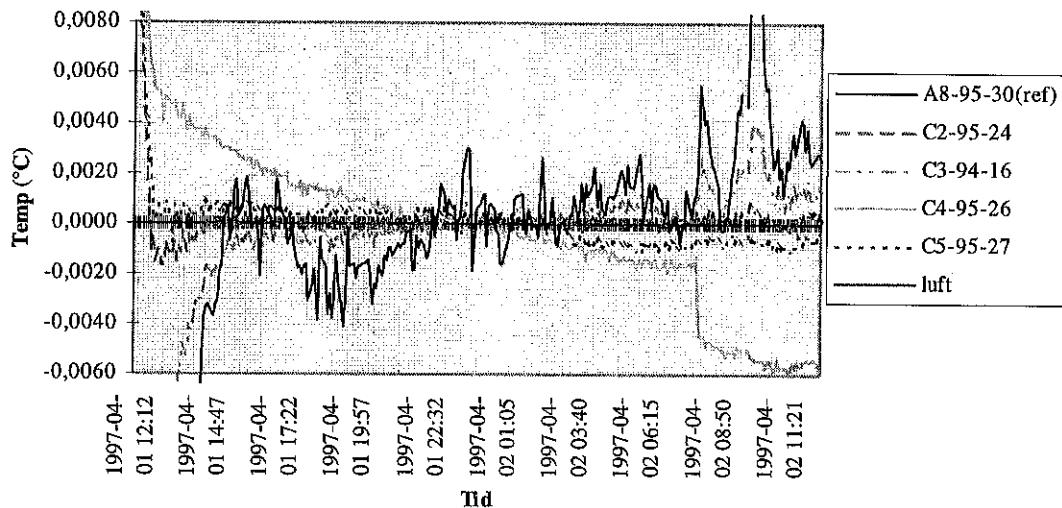
Figur 4.4 Mätning med olika Pt100-givare på passbit.

Vid analys av data har medelvärde beräknats för varje givare, efter att temperaturen har stabiliserats, och detta medelvärde har sedan jämförts med medelvärdet för den kalibrerade givaren A8-95-30. Skillnaden mellan dessa medelvärden har använts som korrigeringsterm.

När jag beräknat medelvärdet har inte de första timmarna tagits med eftersom temperaturen oftast har sjunkit så snabbt då. Endast de tidsintervall när temperaturen har varit ganska stabil har tagits med.

Som framgår av diagramm från mätserie två så har givare C4 varit instabil medan tunnfilmsgivarna C2 och C5 snabbt svängde in till den temperatur som passbiten hade.

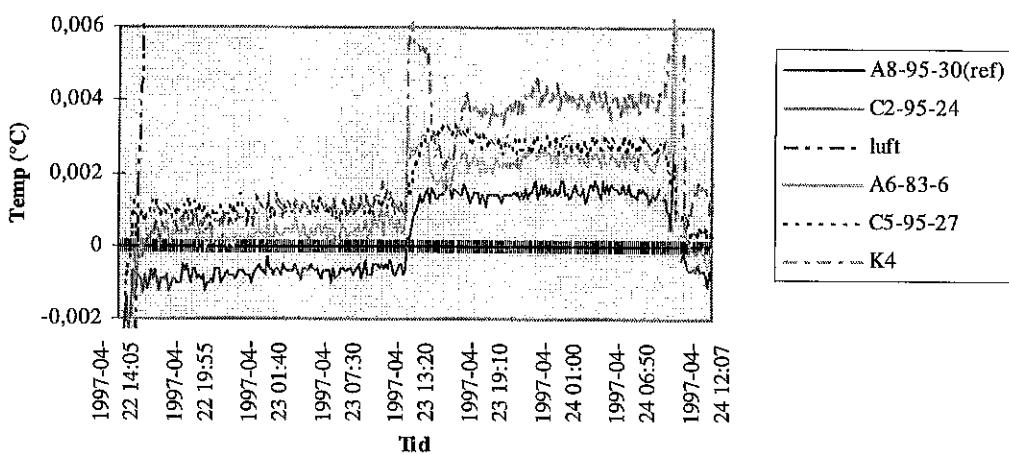
Mätserie 2, temperatur relativt givare i passbit



Figur 4.5 Resultat av beräkning av skillnaden i temperatur mellan respektive givare och givaren i passbiten. Givare C4- är inte stabil. (Samma mätning som i diagram 4.3 ovan.)

Från och med mätserie tio har istället de beräknade korrektionstermerna används.

Mätserie 10, temperatur relativt givare i passbit

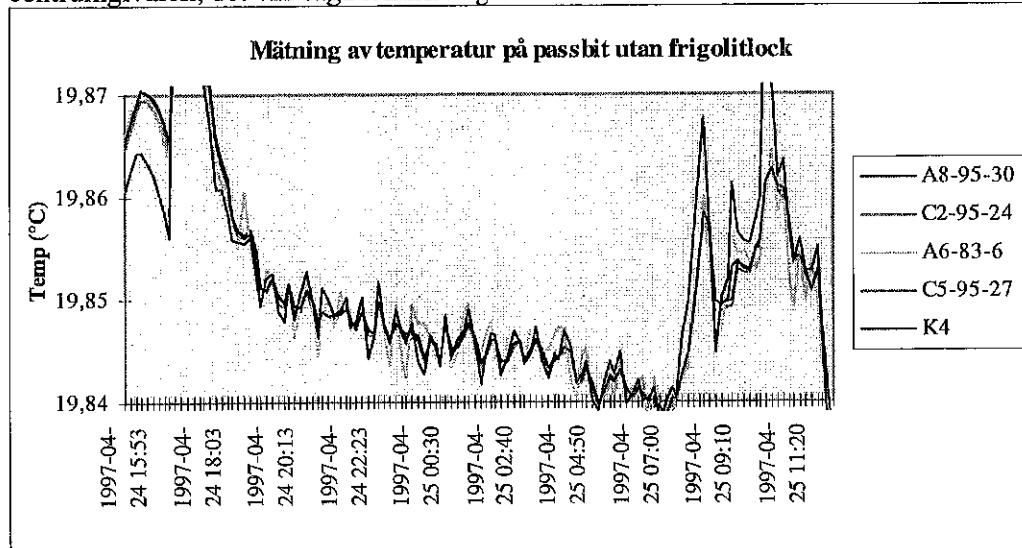


Figur 4.6 Den mekaniska känsligheten är hög, i detta fall för referensgivaren.

Vid några tillfällen har passbiten eller någon kabel berörts försiktigt och det ger ibland utslag genom att en givare kan ändra sig med ett par millikelvin (se diagram 4.4). För övrigt har differensen mellan ytgivarna och referensgivaren i passbit varit stabil.

Referensgivaren har ibland bara stoppats i hålet i passbiten, ibland också med flytande paraffin eller värmeledande pasta för att få bättre kontakt. Ingen temperaturskillnad har mätts upp (ligger inom normal variation: $\pm 2 \text{ mK}$) mellan dessa appliceringssätt.

För att få reda på om givare följer passbitens temperatur utan någon större känslighet för omgivande luft täcktes inte mätuppställningen med frigolitlock vid alla mätningar, utan utsattes för de temperaturväxlingar som finns i omgivande luft. Endast de givare som är relativt okänsliga för luft och har god termisk kontakt med passbiten ligger stabilt mot centrumgivaren, det vill säga tunnfilmsgivarna C2 och C5.



Figur 4.7 Passbitens temperaturvariationer när mätuppställningen inte täckts.

Repeterbarheten för de olika Pt100-givarna varierar lite, men den bästa repeterbarheten (inom $\pm 1,4$ mK vid 9 mät tillfällen och 95% konfidensintervall) har givare K4 och K3 som sitter i metallblock. De har en stor kontaktyta mot passbiten (144 mm^2). Tunnfilmsgivarna har en repeterbarhet inom $\pm 3,5$ mK vid 16 mät tillfällen och 95% konfidensintervall (men de har en liten kontaktyta på 20 mm^2).

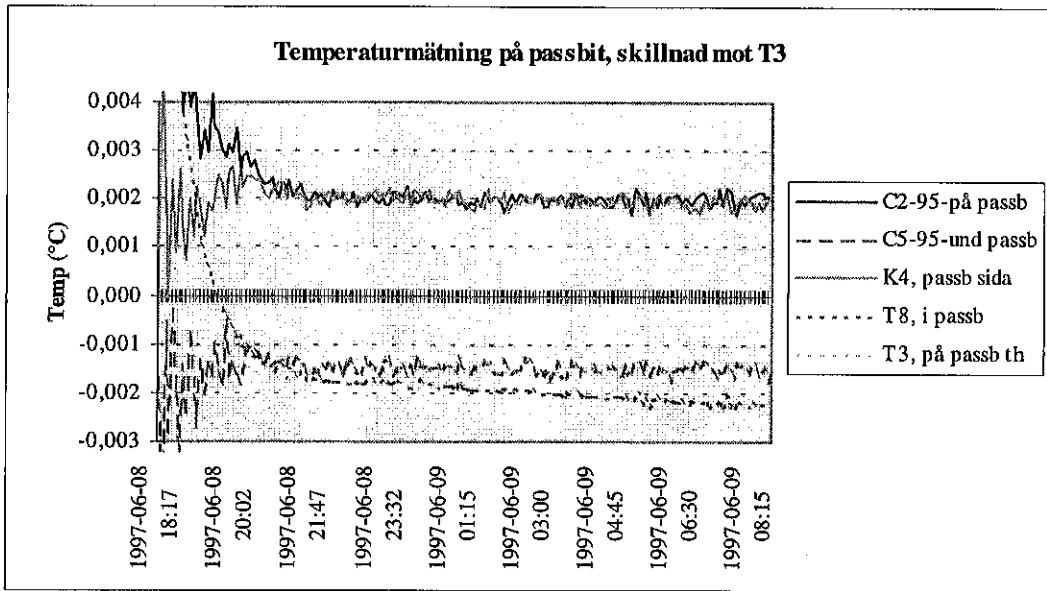
Alla mätresultaten finns i tabell i bilaga C.

4.4 Jämförelse mellan termistorer och Pt100-givare

På grund av problem med PREMA-multimetern kunde inte jämförande mätningar göras mellan flera termistorer samtidigt. Vid de få jämförelser som gjorts har två termistorer mäts kopplade till vardera PREMA- och HP34401-multimetrarna. Vid övriga mätningar har en termistor mäts mot Pt100-givare. De termistorer som mäts vid flest tillfällen är T2, T4, T3 och T1 (med T2 mest använd).

Termistorerna (de i metallblock) verkar ha en bättre repeterbarhet (statistiken tunn) än flera Pt100-givare och orsaken är troligen den mindre effektutvecklingen, högst cirka $6,3 \mu\text{W}$ vid 20°C (mätström $10 \mu\text{A}$) medan den för Pt100-givarna vid samma temperatur är ca $43 \mu\text{W}$ (mätström $0,63 \text{ mA}$). De har också gett något bättre värden i genomsnitt. De termistorer som var nakna och de i polymer kapsel (av dessa har endast T4 och T13 testats) har en lite sämre repeterbarhet.

Brusnivån för termistorer är också bättre vid mätning med multimeter än för Pt100-givare vid mätning med Frontec- eller Liab-instrumentet (se nedan).



Figur 4.8 Skillnaden mellan givarna med T3 som referens (=0).

Termistorernas långtidsstabilitet

Jämförande mätningar har gjorts under två månader och under den tiden har T2 varit stabil (inom $\pm 2 \text{ mK}$ mätt mot Pt100) medan T3 har sjunkit några millikelvin. Angående stabiliteten vid kalibreringar se avsnitt 3.3.4.

Termistor T4 har varit stabil men har sämre repeterbarhet.

4.5 Givarnas egenuppvärmning

4.5.1 Utförande

Genom att skicka en väl kontrollerad ström genom en givare och samtidigt mäta spänningen kan givarens resistans, $R = U/I$ (där U är den uppmätta spänningen), och därmed temperatur, T_G , beräknas och även effektutvecklingen i givaren. Mäter man samtidigt temperaturen, T_P , på det medium som givaren finns på (passbit eller stillastående luft) så beräknas lätt egenuppvärmningen, $\Delta\vartheta = T_G - T_P$ eller dT som jag kallat den i diagrammen.

Egenuppvärmningen är svår att bestämma noggrant (normalt $0,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ fel), men för flera graders egenuppvärmning blir detta fel litet.

Konstanten C ges av (ur ekvation 2.1):

$$C = \frac{I^2 R_T}{\Delta\vartheta} \quad (4.1)$$

Om $\Delta\vartheta$ plottas mot I^2 så ska ett linjärt samband erhållas som går genom origo. Man kan sedan extrapolera ner mot origo för att få fram egenuppvärmningen. Alternativt kan konstanten C plottas som då ska vara samma i hela mätintervallet (men med sämre noggrannhet för de minsta strömmarna).

Vid uppmätning av egenuppvärmningen så har ett spänningsaggregat använts och två digitala multimeterar, en för strömmätning och en för spänningsmätning. Endast fyrtådmätning har använts.

För att få en någorlunda bra uppfattning av egenuppvärmningens storlek så måste man vänta tills termisk jämvikt har infunnit sig. Jag har inte alltid haft tid att vänta så länge utan framförallt på passbit har jag uppskattat egenuppvärmningen. Vid några mätningar

har jag gått på lunchrast och då har termisk jämvikt hunnit in finna sig och det har då visat sig att C, förhållandet mellan effektutveckling och egenuppvärmning, förändras endast lite vid väntan på fullständig termisk jämvikt. Detta gäller för mätning på passbit där passbiten värmes upp av givaren och där alltså också passbiten måste komma i termisk jämvikt med omgivande luft. För givare i luft ändemot tar det endast fem till tio minuter innan termisk jämvikt uppnåtts.

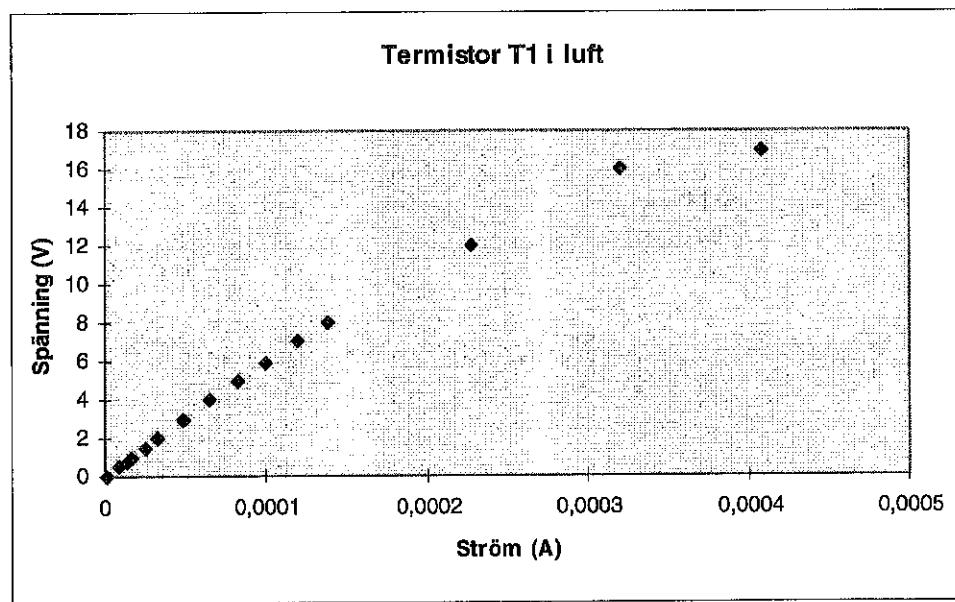
En borrad passbit i stål med storleken 75*35*9mm har använts för ytmätning och alla mätningar har gjorts under frigolitlock med samma mätuppställning som i figur 4.1. Kontroll av passbitens temperatur har gjorts med Pt100-givare på och i passbiten.

4.5.2 Termistorer

För noggrann bestämning av termistorns temperatur har Stenhart-Harts ekvation använts men med kalibrering vid temperaturerna 18, 20 och 25 °C som beräkningsgrund.

Det visade sig att vid mätning på passbiten värmdes den upp några tiondels grader. På grund av temperaturgradienter i luften kan vid luftmätning inte passbitens temperatur användas för bestämning av lufttemperaturen vid givaren utan istället har temperaturen mätts omedelbart före och efter egenuppvärmlningsmätningen med givaren själv kopplad till multimeter.

För en termistor ska det vara ett linjärt samband i början, eller approximativt linjärt samband om egenuppvärmningen är stor (ca 1 °C), som sedan går över i ett knä innan resistansen minskar (termistorn knäcks) och spänningen minskar med ökande ström. I nedanstående diagram visas hur en sådan kurva ser ut för en naken termistor.

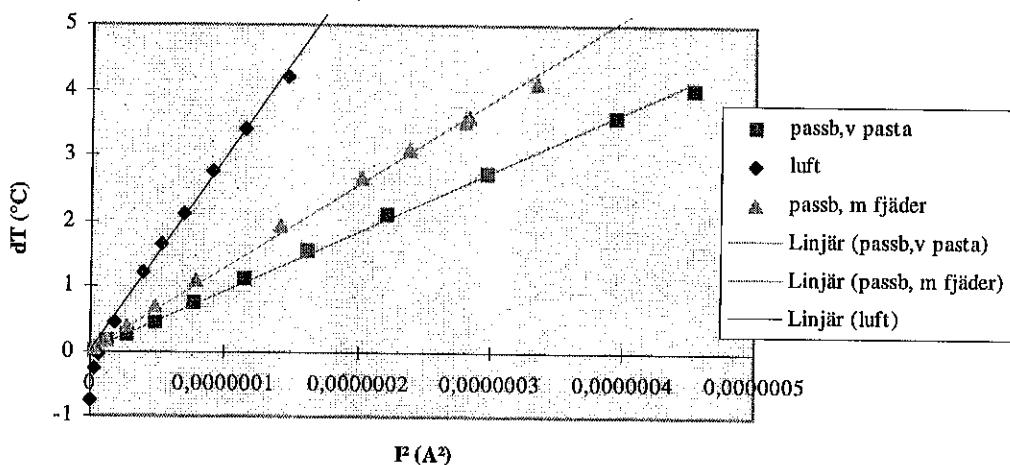


Figur 4.9 Uppmätning av T1 vid egenuppvärmning i luft.

Termistorer används bara i den linjära delen av kurvan. Genom att öka strömmen så att man utnyttjar större delen av kurvans linjära del får man en ganska stor egenuppvärmning av givaren och konstanten C kan bestämmas ganska bra. För de resterande mätningarna av egenuppvärmlingen använde jag endast den linjära delen av kurvan.

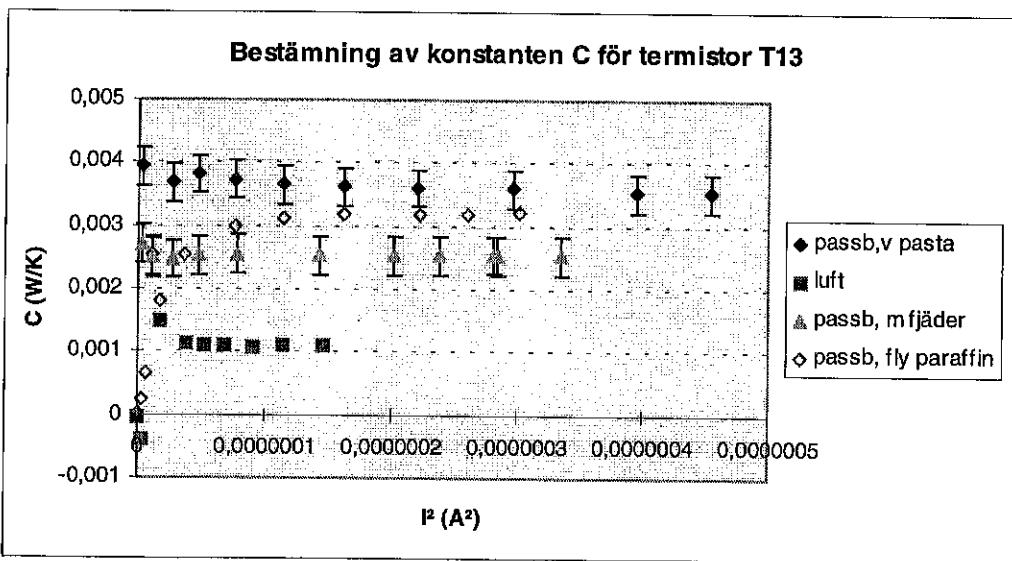
För termistor T1 som är en naken termistor bestämdes C till 1 mW/°C i luft vilket stämmer med data från tillverkaren.

Egenuppvärmning av termistor T13



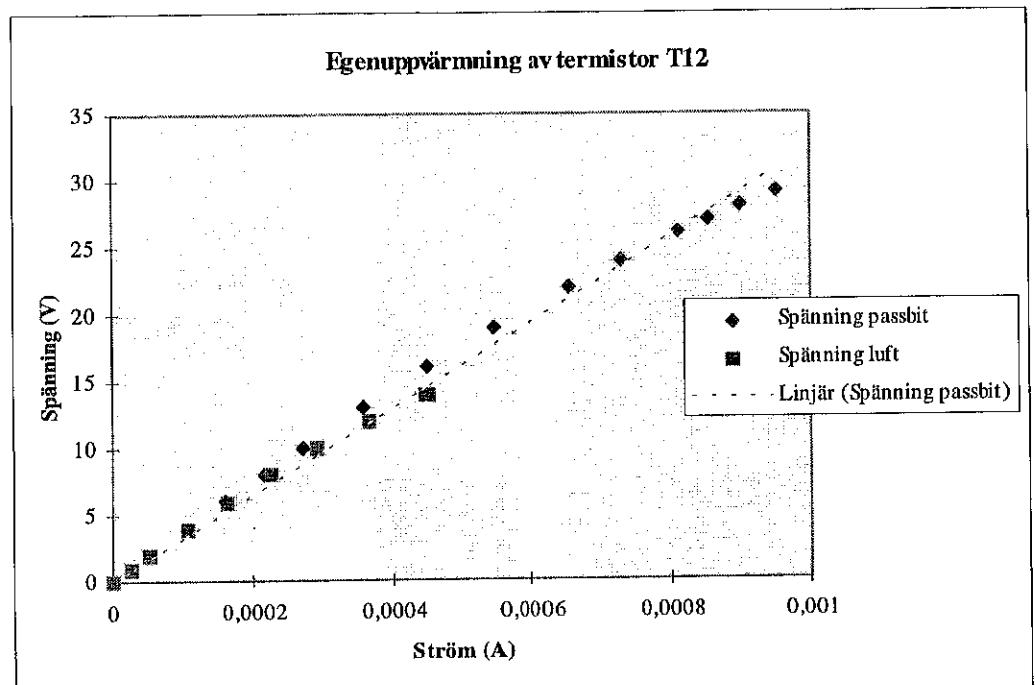
Figur 4.10 Mätningar med T13 med olika appliceringar. Linjärapproximationer inlagda.

I ovanstående diagram (T13) gjordes luftmätningen som en av de första mätningarna och jag glömde byta till lägre mätområde för de minsta strömmarna på den multimeter som mätte strömstyrkan, så felet i bestämningen av dT beror på detta.



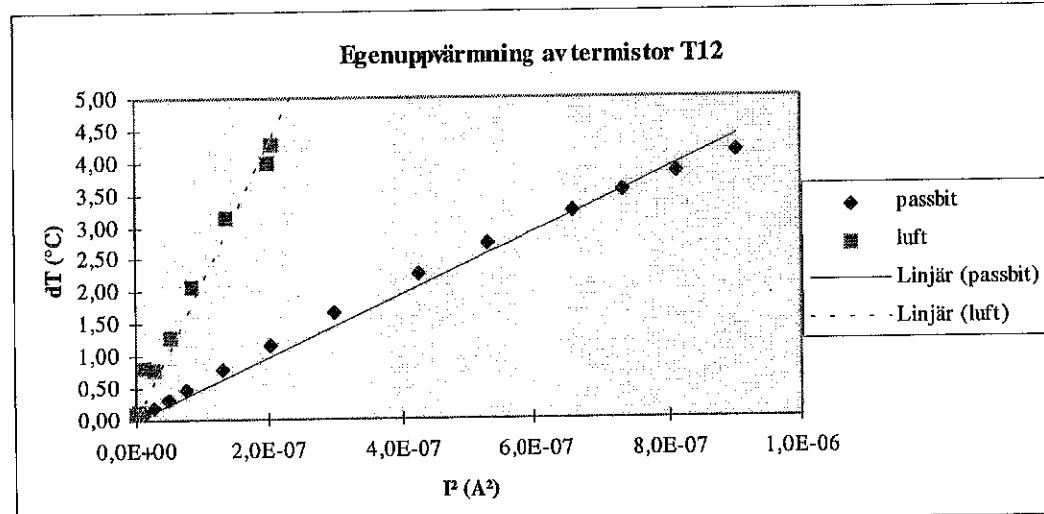
Figur 4.11 Uppmätning av konstanten C för olika appliceringar med T13. Mätsäkerhet inlagd för några kurvor (0,3mW/K)

För termistor T12 som monterats in i ett litet aluminiumblock blir diagrammen lite annorlunda. Den bildade värmén i givaren transportereras bort effektivare, och därmed blir egenuppvärmningen mindre.



Figur 4.12 Kontroll av approximativ linjäritet för T12.

Som framgår av ovanstående diagram så är det inte stor skillnad i lutning på kurvorna i Spänning-Ström-diagrammet men plottas istället egenuppvärmningen mot strömmen i kvadrat blir skillnaden större.



Figur 4.13 Plott av egenuppvärmningen mot I^2 för T12.

Tabell med konstanten C för några termistorer i mW/°C:

<u>termistor</u>	givarform	stillastående luft	på passbit	C (=P/dT)	m flytande paraffin	m värmelad pasta	m fjäder
T1	naken		1				
T11	Cu-block		1,4			6,8	6,7
T12	Al-block		1,5				6,5
T13	polymer kaps		1,1		3,2	3,5	2,5
		i mW/°C					

Om man mäter med en multimeter (PREMA eller HP34401) som har mätströmmen 10 μA får man nedanstående egenuppvärmning vid rumstemperatur 20 °C: egenuppvärmningen ges av formel (4.1).

Tabell över egenuppvärmning i mK vid 20 °C och mätström 10 μA för några termistorer:

<u>termistor</u>	givarform	resistans vid 20 °C	stillastående luft	på passbit		
				i mK	m flyt paraffin	m värmel pasta
T1	naken	63100	6			
T11	Cu-block	36479	2,5		0,5	0,5
T12	Al-block	37597	2,5			0,6
T13	polymer kaps	37756	3,4	1,2	1,1	1,5

På grund av osäkerhet i bestämning av konstanten C med cirka $\pm 0,3 \text{ mW/K}$ blir osäkerheten i bestämningen av egenuppvärmningen högst cirka $\pm 0,3 \text{ mK}$.

4.5.3 Platinaresistansgivare

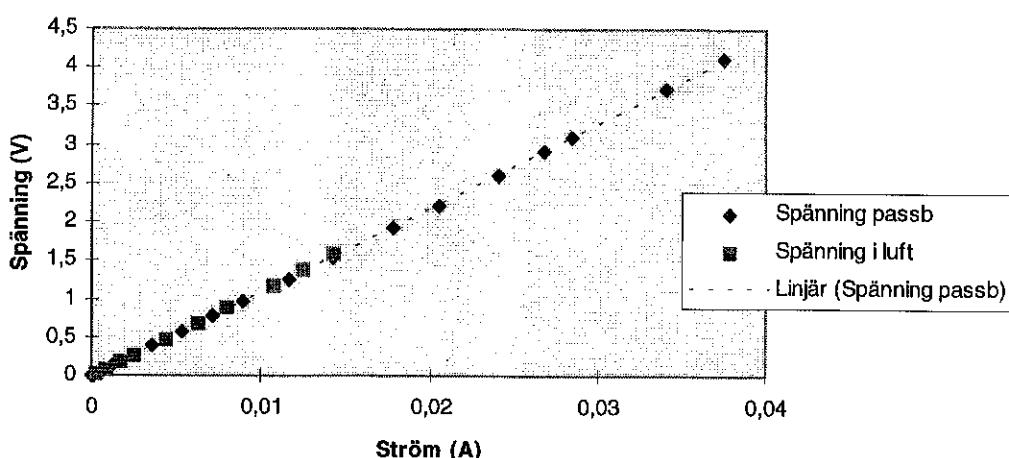
Vid mätning på termistorerna kunde instrumenten ge ganska bra noggrannhet eftersom termistorerna har stor resistans och α -värdet är stort (4-5%), men vid mätning på Pt100-givarna får man en stor osäkerhet av denna orsak då α -värdet är cirka 0,36%. (Andra mätinstrument och eventuellt en annan metod borde används.)

Ändring i resistansen på grund av dålig kontakt med $0,4 \Omega$ ger för Pt100-givarna en missvisande temperaturändring på cirka en Kelvin men för termistorerna endast cirka 0,2 mK missvisning. Det visade sig också att vid mätning på passbiten värmdes den upp någon grad.

Två Pt100-givare testades:

Tunnfilmsgivaren C3-95-25 och A7-83-7 med formen av en "tacka".

Egenuppvärmning av Pt100-givare C3-95-25



Figur 4.14 Linjäritetskontroll vid uppmätning av egenuppvärmning med tunnfilmsgivare.

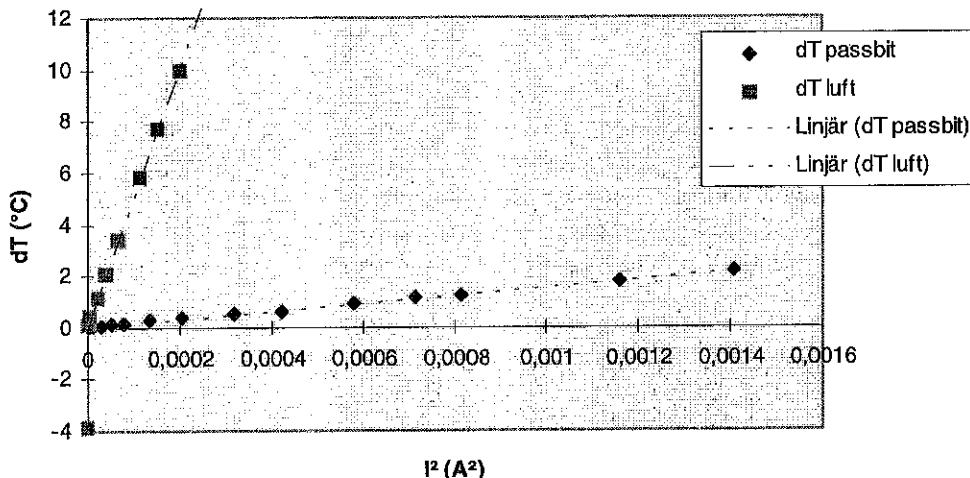
Tittar man på diagrammen från Pt100-givarna finner man en mycket bättre linjäritet men så är också dR/dT litet (cirka $0,39 \Omega/\text{°C}$ vid 20 °C). Detta gör att osäkerheten i bestämningen av egenuppvärmningen är stor.

För att beräkna den egenuppvärmda givarens temperatur mättes först givarens resistans med fyrråds-mätning och en annan Pt100-givare placerades nära för att få samma temperatur. Den givna resistansen sattes till den uppmätta temperaturen, T_0 , och en linjär-approximation gjordes (tabellvärde för Pt100-givare vid 20 °C är 107,79 Ω med $dR/dT = 0,39 \Omega/\text{°C}$ enligt DIN IEC 751). Förhållandet $dR/dT = 0,39 \Omega/\text{°C}$ gäller enligt tabell även vid 0 °C och 40 °C. Därför har jag satt in den uppmätta resistansen i en formel som ska ge givarens temperatur:

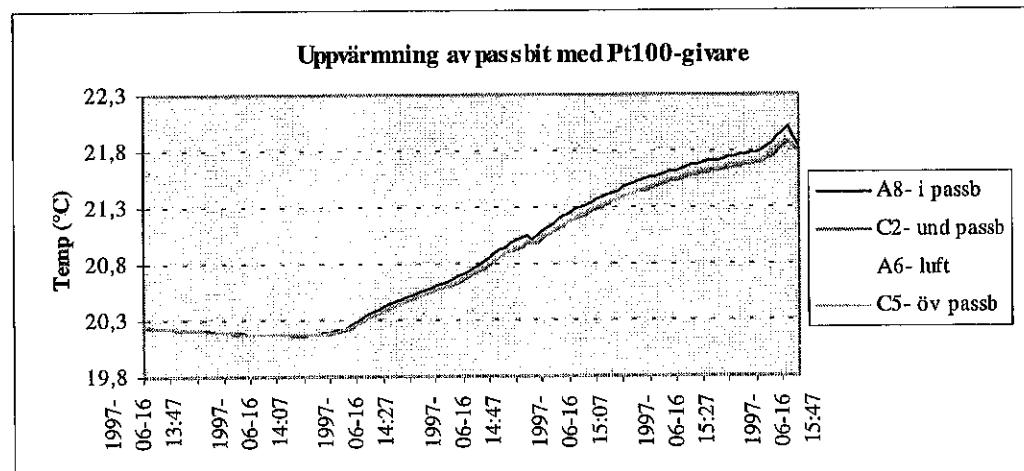
$$T = \frac{R_T - R_0}{0,39 \Omega / \text{°C}} + T_0 \quad (20)$$

Formeln är lite grov men den räcker för att ge minst en signifikant siffra i bestämningen av konstanten C. Det är större problem med att bestämma resistansen korrekt. Minsta lilla kontaktglapp på tex 0,8 Ω ger ett fel i bestämningen av dT med cirka två grader Celsius. Dessutom kan felet vara ännu större för strömmar nära noll där multimeterens osäkerhet är större (se diagrammet nedan: för luft med - 4 °C).

Egenuppvärming av Pt100-givare C3-95-25

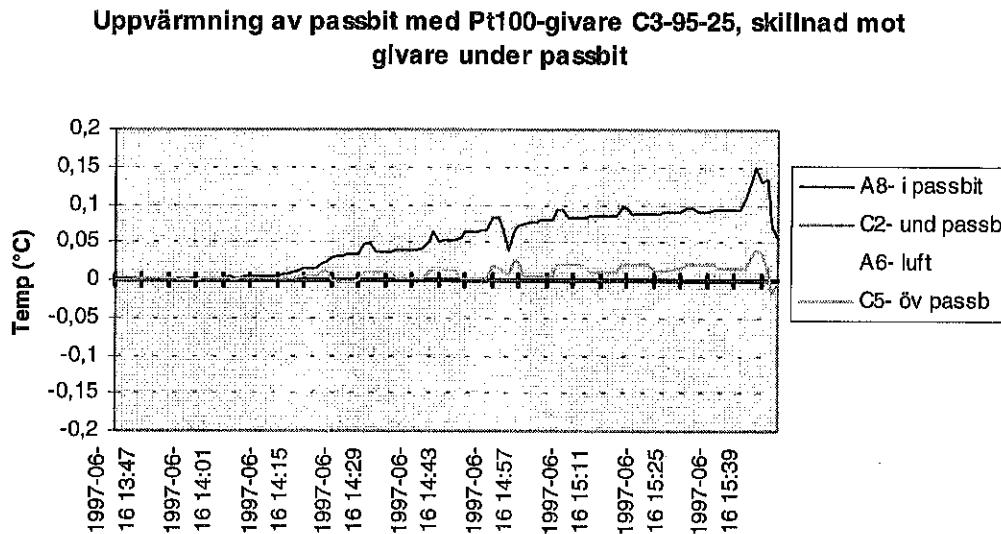


Figur 4.15 Stor skillnad på egenuppvärming vid olika placering för tunnfilmsgivare.



Figur 4.16 Diagram som visar hur kraftigt passbiten värmes upp av givare C3-95-25 vid mätningen på passbit enligt figur 4.15 Ovan.

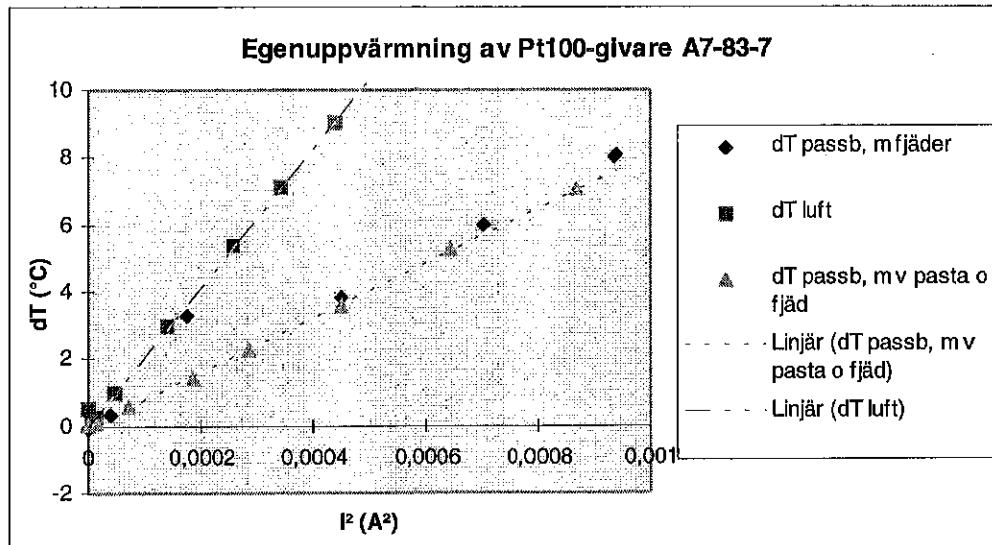
För tunnfilms Pt100-givaren C3-95-25 är det mycket stor skillnad mellan givaren i luft och på passbit. Eftersom den har liten yta blir egenuppvärmningen ganska stor i luft men på passbit har den mycket god termisk kontakt så egenuppvärmningen blir liten. Detta leder dock till att hela passbiten (den aktuella 75*35*9mm) värmes upp med cirka 1 mK för en tunnfilms-givare och eventuellt finns det en del temperaturgradienter i passbiten. Denna mätning gav inte ett uttömmande svar på denna fråga. Subtraherar man temperaturen från givaren på passbitens undersida från de övriga givarna får man nedanstående diagram:



Figur 4.17 Diagram över temperaturgradienter i passbit vid mätning av egenuppvärmning på passbit enligt diagram 4.15 och 4.16. (Givare C2- = 0)

Den givare som värmes upp (C3-95-25) sitter ovanpå passbiten precis som givare C5- som inte sitter lika nära som centrumgivaren. Kortare avstånd till den egenuppvärmda givaren ger tydligare gradienter. Tyvärr sitter givare C5 för långt från C3-95-25 för att man ska kunna göra en modell för uppskattning av temperaturgradienter närmast den egenuppvärmda givaren.

Även givare A7-83-7 är mycket linjär i Spänning- Ström-diagrammet men i $dT-I^2$ -diagrammet syns för applicering med fjäder en avvikelse med cirka 2 °C. Orsak till detta fel har inte hittats men det kan vara kontaktfel som jag antytt tidigare.



Figur 4.18 Uppmätning av egenuppvärmning vid olika placeringar.

Precis som för termistor T11 verkar det inte ha någon betydelse om man använder värmeleddande pasta eller inte i kombination med fjäder, eftersom givare och passbit båda är av metall och därfor har god termisk kontakt.

Tabell med konstanten C för två Pt100-givare i mW/°C:

Pt100-givare	givarform	luft, stillastående	på passbit	
	C(=P/dT)	i mW/°C	med fjäder	m fjäd o v.led pasta
C3-95-25	tunnfilm	2,1±0,4	69 ±10	
A7-83-7	"tacka"	5,2±1	12,9±2	13,7±2

Används Frontec- eller Liab-instrumentet med mätströmmen 0,63 mA blir egenuppvärmningen (med använd resistans 107,79 Ω för Pt100-givarna):

Pt100-givare	givarform	luft, stillastående	på passbit	
		i mK	med fjäder	m fjäd o v.led pasta
C3-95-25	tunnfilm	21	0,6±0,15	
A7-83-7	"tacka"	8	3,3±0,7	3,1±0,7

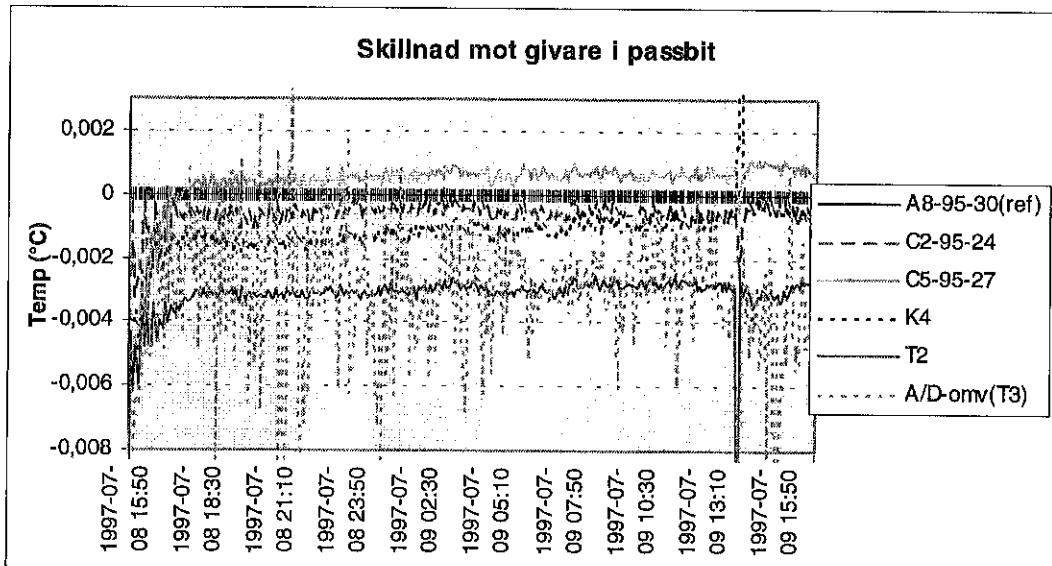
Är dessa värden rimliga, framför allt för C3-95-25?

Redovisade värden finns för en tunnfilmsgivare [Michalski et al, 1991, s107] med måtten 10,2*3,2*1 mm, det vill säga med samma mått som C3-95-25 bortsett från att C3-95-25 har den smalare bredden 2,0mm. Michalski redovisar C = 1,9 för stillastående luft och 75 för välcirkulerande vattenbad. Ovanstående värden verkar därfor inte helt orimliga.

De Pt100-givare som finns har mätströmmen 0,63 mA vilket ger effekten 43 μW ($P=RI^2$). Egenuppvärmningen av tunnfilms-Pt100-givare är förvånansvärt liten med hänsyn till effektutvecklingen, men istället går nästan all effekt i givaren över i passbiten. Detta bidrar säkert till sämre repeterbarhet på grund av kontakteringen. Vidare får man graderenter i passbiten och för mindre passbitar uppvärmning av hela passbiten. För givare av typ "tacka" blir denna effekt inte fullt så stor.

4.6 Mätbrygga och A/D-omvandlare

Mätbryggan blev inte så bra som förväntats, ty mycket brus genereras i bryggan eller i förstärkarkretsen trots att mätbryggan har stabila precisionsmotstånd. Dyra motstånd från Vishay borde ha använts men deras leveranstid var två månader. Motståndet som reglerar återkopplingen till förstärkarkretsen var på $1,69 \text{ k}\Omega$ och metallfilmstyp, vilket ska ge lågt brus. Brus kan eventuellt uppkomma i förstärkarkretsen.



Figur 4.19 Signalen från mätbryggan är starkt brusig trots medelvärdesbildning av 500 sampel (under 2 s).

Jämförelse har också gjorts med mätbryggan och A/D-omvandlaren med medelvärdesbildning av 1000 sampel (under 4 s) med resultat att bruset reducerades, men det var ändå avsevärt högre än för Pt100-givare och termistor kopplad till multimeter.

Mätningarna visar att mätbryggan är linjär därfor kan samma modeller användas som i avsnitt 3.3.1. Använd modell i diagrammet ovan: $T = e + f \ln(k + V)$ där V är den uppmätta spänningen från mätbryggan som är proportionell mot resistansförändringen (nära 20°C) och e , f samt k är konstanter.

4.7 Temperaturgradienter

4.7.1 Gradienter i liten passbit

Temperaturgradienter på en liten passbit (75·35·9 mm) finns med 1 - 2 mK med den högre temperaturen i passbitens övre del. Skillnaden är för liten för att man ska se den vid några enstaka mätningar (maskeras av normal variation på $\pm 3 \text{ mK}$), men efter genomgång av cirka 20 mätningar ser man tendensen. Vid några av dessa mätningar kan dock skillnaden bero på att fler givare satt på passbitens övre del.

Kontroll med termistorer:

Inga gradienter har hittats vid mätning på passbit utan Pt100-givare. Men indikation finns på att gradienter uppstår nära Pt100-givarna på kanske några millikelvin.

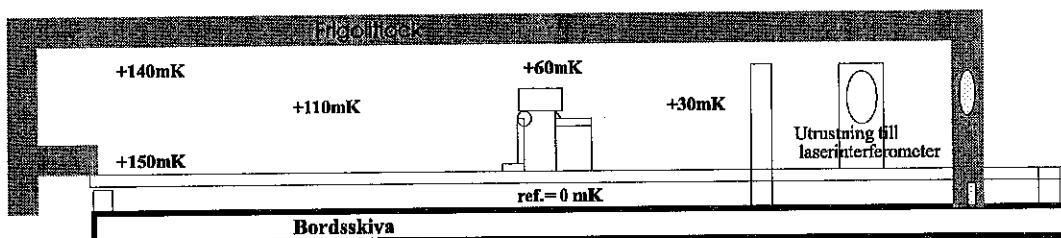
4.7.2 Mätning av lufttemperatur

Vid luftmätning har de vertikala gradienterna varit 56 resp 61 mK (två mätningar: 970418-970421 samt 970522-970523).

Horisontella gradienter var ca 116 mK. Vid givarna längs till vänster fanns det inga (eller det var negativa) temperaturgradienter i vertikalt led. Denna del av frigolitlådan går ut över bordskanten och temperaturstörningar, från luften i rummet, genom några hål i lådan förekommer.

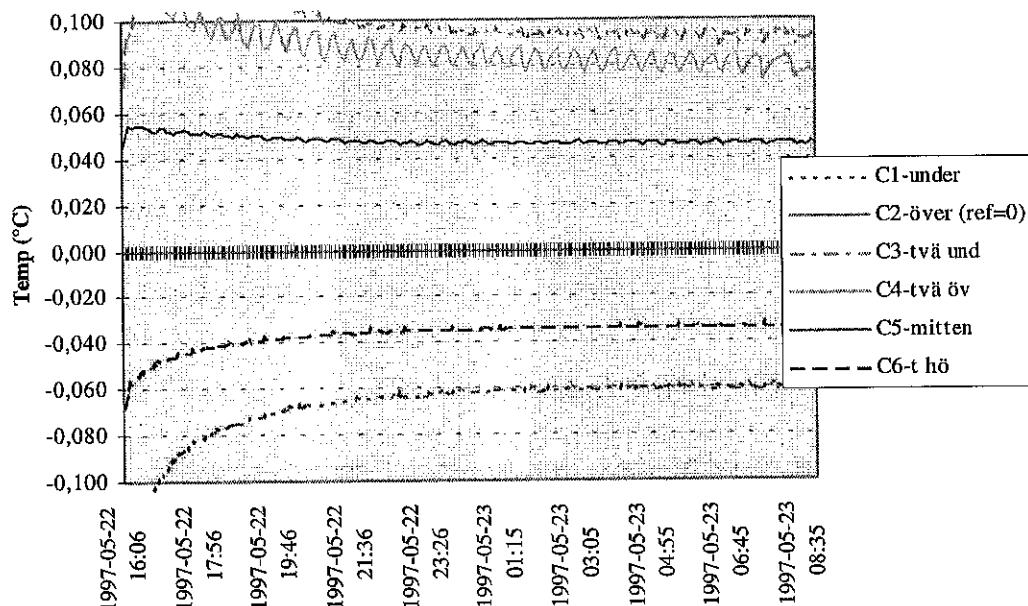
För alla luftmätningar måste de givare som jämförs vara av samma typ och samma utformning samt placeras med luft runt om. Detta för att egenuppvärmning och olika luftflöden ska kunna försummas.

I nedanstående figur och diagram har sex likadana givare använts (stavformade kopplade till Liab-instrumentet) och alla har varit omgivna av luft.



Figur 4.19 Temperaturgradienter i luft 970522-970523 enligt diagram 4.20.

Temperaturgradienter i luft, under inneslutning, skillnad mot givare C2

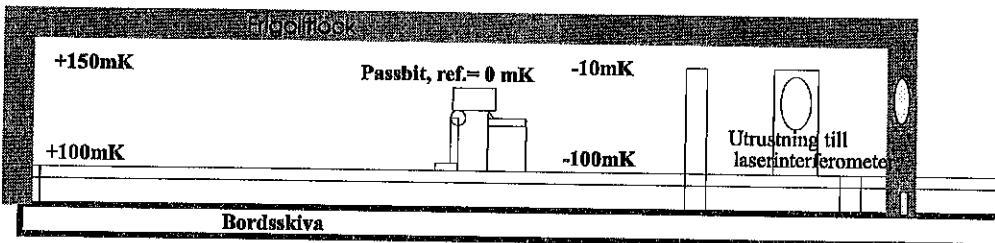


Figur 4.20 Temperaturgradienter i luft 970522- 970523

De två givarna längst till vänster har den högsta temperaturen, försumbara vertikala gradienter och också den största temperaturvariationen (se diagram ovan), så det är tydligt att luft utanför inneslutningen påverkar. Luften står mycket still under kåpan vilket ger en del temperaturgradienter. En givare korrigeras lite, eftersom tre kontrollmätningar visade att den hade ändrats mot de andra givarna (C2 med ca 8 mK).

Efter minskning av frigolitkåpan gjordes en ny mätning (970719 - 970721) av luftgradienterna med resultat enligt figuren nedan (luftgivarna har inte kompenserats för

egenuppvärmning så skillnaden mot passbiten blir lite annorlunda, troligen 5 - 10 mK kallare för alla). Den oro som tidigare var vid öppningen längst ner till vänster är nu helt borta men temperaturskillnaderna kvarstår och vertikala graderter har uppstått till vänster.

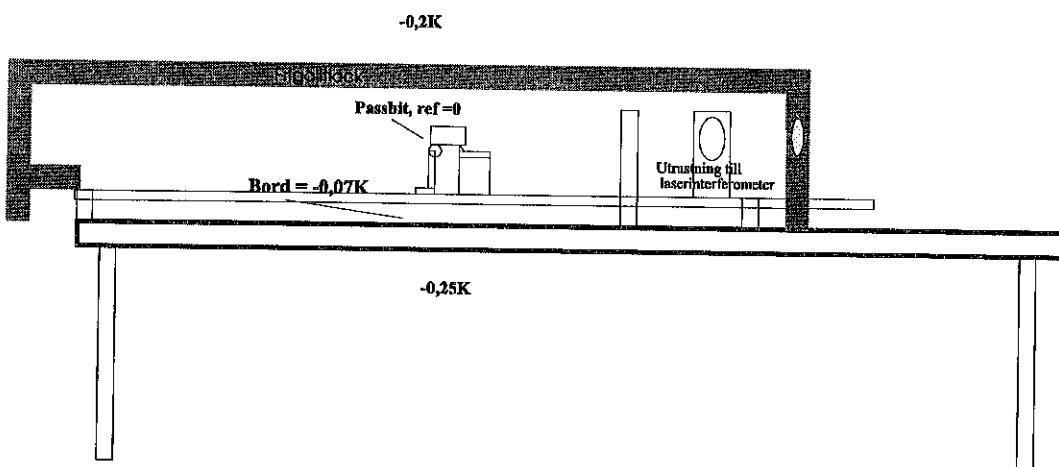


Figur 4.21 Temperaturgradienter i luft 970719 - 970721.

Vertikala graderter

Bordsskivan var vid mätning 970418 cirka 70 mK kallare än passbiten (mätt med Pt100givare) och vid mätning 970709 var 80 - 90 mK kallare (mätt med termistor T2 fastsatt med värmeladdande pasta) än passbiten.

Temperaturgradienter relativt temperatur på passbit under kåpa (mätning 970712). (Mätningen gjordes under en helg och temperaturen var ovanligt stabil med en variation på bara ungefär 50 mK. Alla lampor nära uppställningen släcktes för att minska strålningsvärmen.):



Figur 4.22 Temperaturgradienter 1997-07-12.

4.7.3 Temperaturgradienter på lång passbit

Vid mätning på en meter lång passbit har temperaturgradienter på 30 mK hittats vid de två mätningarna 970326-970327 och 970411-970414 med den varmaste delen till vänster. Ytterligare en mätning gjordes 970711-970712 med gradient i passbitens längdriktning på 100 mK med den varmaste delen till vänster. Givarna har i samtliga dessa fall varit placerade cirka fem centimeter från respektive passbits ända. De givare som placeras på passbitens mitt har visat temperaturer som ligger mitt emellan ändpunktternas.

5 Slutsatser

Termistorer kan vara ett alternativ till Pt100-givarna om de är tillräckligt stabila. Deras låga pris (inklusive mätnstrument) kan göra att lite tätare kalibreringar kan accepteras.

Tabell med för och nackdelar med de olika givarna:

	Termistorer		PT100-givare	
	I metallblock	Övriga	Tunnfilmstyp	Övriga
Linjära? (approximativt)	Nej		Ja	
Upplösning	Hög		Ganska låg	
Stabilitet	?		Bra	
Störningskänslig	Nej		Måttlig	
Hysteres	Ej mätbar		Nej	
Robusthet	?		Dåliga	Bättre
Egenuppvärming (mK)	0,5-1	1,5-2	1	3-6
Ger graderenter i passbit?	Nej		Ja	Ja, lite mindre
Kostnad	Billiga		Ganska dyra	
Mätsäkerhet på passbit	±5 mK		± 5 mK	

Termistorernas mätsäkerhet kan förbättras om kalibreringarna görs utan plastpåse, men då måste de tätas ordentligt. De termistorer som sitter i metallblock är bättre i flera avseenden: De har bättre repeterbarhet, mindre egenuppvärming och vid kalibrering har de ett snabbare insvägningsförflopp.

Pt100-givare av tunnfilmstyp har inte så bra repeterbarhet ($\pm 3,5$ mK vid 95% konfidensintervall) men så har de bara en kontaktyta på 20 mm^2 mot passbiten. De Pt100-givare som hade den bästa repeterbarheten ($\pm 1,4$ mK vid 95% konfidensintervall) var K3 och K4 som hade den största kontaktytan, 144 mm^2 .

6 Förslag till förbättringar

Hur stor spridningen (repeterbarheten) är mellan olika mätningar för termistorer är inte ordentligt utrett. En serie mätningar med flera termistorer, som jämförs med varandra, borde göras, vilket jag inte haft möjlighet att göra.

Kontroll av grader i lång passbit med flera termistorer samtidigt har inte kunnat göras, vilket vore önsvärt för att kontrollera om graderna fördelar sig jämnt (linjärt). Temperaturgrader i långa passbitar måste reduceras på något sätt. Kanske kan en fläkt med låg effekt sättas in.

Vid kalibrering vore det önskvärt om man kunde få termistorerna och deras anslutningar så tätta att de kunde doppas direkt i vattenbad, det har de inte varit. Då elimineras helt all egenuppvärming vid kalibreringen och bättre noggrannhet kan erhållas.

Som alternativ kan man mäta med HP3458 med mätströmmen $5\mu\text{A}$, men då måste först multimeteren kontrollmäts på resistansområdet så att man kan använda 24h-specifikationen för bättre noggrannhet vid kalibrering. Termistorns sämre stabilitet kan kompenseras av tätare kalibreringar.

Ytterligare alternativ är att mäta med en mätbrygga med tillräckligt låg mätström men med tillräckligt bra motstånd. Förstärkarkretsen kan eventuellt bytas ut mot ett instrument som mäter mycket låga spänningar (upplösning på $< 100 \text{ nV}$ önskvärt).

Bättre mätningar borde göras av temperaturgrader vid Pt100-givarna. En svårighet är att placera en termistor tillräckligt nära Pt100-givaren.

Om mycket hög noggrannhet krävs av mätsystemet är platinaresistansgivare det bästa, men då borde mätströmmen reduceras (från $0,63 \text{ mA}$ till kanske $0,2 \text{ mK}$) Nackdelen med reduktion av mätström är ökat brus och sämre repeterbarhet. För bättre noggrannhet vid kalibreringar kan fixpunktscalibrering göras i vattnets trippelpunkt och galliums smältpunkt under förutsättning att en tillräckligt bra formel används för beräkning av temperaturen (endast platinaresistansgivare kan därför användas).

När senare uppmätningar görs av långtidsstabiliteten av termistorerna, skulle mätningar också kunna göras med glasinkapslade termistorer från Yellow Spring Instruments för att se om de är mer stabila.

7 Referenser

Allen Charlie 1993, "Interfacing low-level sensors to microprocessors", *Electronic Engineering* sept, 29-32,47-48

Ancsin J 1991, "A study of Thermocouple Stability, Reproducibility and Accuracy (Pt vs Pt-Rh and Pt vs Au)", *Metrologia* 28, 339-347

Arvidsson S och Ek J 1995, "Lätpocket om Visual Basic"
Pagina

Doebelin Ernest O 1990, "Measurement Systems, application and design", fourth edition
McGraw-Hill Publishing Company, 642-656

Flügge J and Schuster H-J, 1994, "A high precision temperature measurement system with Pt 100 for precision engineering", 8-17, ur "Temperature Measurement in Dimension Metrology" november 1994, PTB-Bericht

Grahm, Jubrink, Lauber, 1990, "Modern elektrisk mätteknik 1990, 1",
Bokförlaget Teknikinformation

Grahm, Jubrink, Lauber, 1990, "Modern elektrisk mätteknik 1990, 2",
Bokförlaget Teknikinformation

Grahm, Jubrink, Lauber, 1991, "Modern industriell mätteknik 1991, Givare",
Bokförlaget Teknikinformation

Gurewich N and Gurewich O, 1994, "Master Visual Basic 3"
Sams Publishing

Hashemian H M and Petersen Kent M 1993, "In-situ tests gauge thermocouple performance", *INTECH* jan, 30-32

Kaliyugavaradan S, Sankaran P and Murti V G K 1994, "Hardware linearization of thermistor response using series-parallel resistors for temperature-to-time conversion", *Meas. Sci. Technol.* 5, 786-788

Kollmeier H und Hans V 1992, "Hochgenaue Temperaturmessung mit Multislope-A/D-Wandler", *Elektronik* 14, 43-45

Kopfenstein L.R. 1994, "Software linearization for thermocouples, thermistors and RTDs" *ISA Transactions* 33, 293-305

Lewis Clifford W 1994, "Is your temperature data good enough?"
INTECH jan, 34-37

McGee Donald T 1988, "Principles and methods of temperature measurement"
Wiley

Michalski L, Eckersdorf K and McGhee J 1991, "Temperature measurement",
John Wiley & Sons

Quinn T J 1990, "Temperature", Academic Press, 25-69, 152-280

Rousset A, Legros R 1994, "Recent Progress in the Fabrication of Ceramic Negative Temperature Coefficient Thermistors",
Journal of the European Ceramic Society 13, 185-195

Svensk standard för Mätteknik
SIS handbok 155, utgåva 1, 1088, SIS



Bilagor

A Tabell ITS-90

Fixpunkter som definierar temperaturskalorna.

Fixpunkt	IPTS-68	ITS-90	t_{90} °C
	T_{68} K	T_{90} K	
Normal-vätes trippelpunkt*	13,81	13,8033	-259,3467
Neons trippelpunkt		24,5561	-248,5939
Syrets trippelpunkt	54,361	54,3584	-218,7916
Argons trippelpunkt	83,798	83,8058	-189,3442
Kvicksilvers trippelpunkt		234,3152	-38,8344
Vattnets trippelpunkt	273,16	273,16	0,01
Galliums smältpunkt		302,9146	29,7646
Vattnets kokpunkt	373,15		
Indiums fryspunkt		429,7485	156,5985
Tenns fryspunkt	505,1181	505,078	231,928
Zinks fryspunkt	692,73	692,677	419,527
Aluminiums fryspunkt		933,473	660,323
Silvers fryspunkt	1235,08	1234,93	961,78
Gulds fryspunkt	1337,58	1337,33	1064,18
Koppars fryspunkt		1357,77	1084,62

* Vid jämvikt mellan de orto- och para-molekylära formerna för väte

I tabellen ovan gäller sambandet:

$$t_{90}(\text{°C}) = T_{90}(\text{K}) - 273,15$$

B Data om termistorer

termistorer

Alla från Betatherm

<u>termistor</u>	<u>typ</u>	<u>leverans</u>	<u>givarform</u>	<u>när mont</u>	<u>senast</u>		<u>Beräknad</u>	<u>Resistans</u>	α
					<u>kalibrerad</u>	<u>egenuppv</u>			
T1	50K6A1	1997-02-06?					(mK)	(5µA)	
T2	50K6A1	1997-02-06?	Al-block	1997-05-16	1997-08-22	1	63153,4	-0,04809	
T3	50K6A1	1997-02-06?	Al-block	1997-06-04	1997-08-22	1	63239,4	-0,04806	
T4	30K?	1997-03-10	polym kaps		1997-08-22	1,5	36931,3	-0,04442	
T5	30K5A335	1997-06-02	polym kaps		1997-08-22	1,5	37626,4	-0,04400	
T6	30K5A335	1997-06-02	polym kaps		1997-08-22	1,5	37590,7	-0,04389	
T7	30K5A335	1997-06-02	Cu-block	1997-06-11	1997-08-22	1	37626,2	-0,04413	
T8	30K5A335	1997-06-02			1997-08-22	2	37627,7	-0,04417	
T9	30K5A335	1997-06-02	Al-block	1997-06-11	1997-08-22	1	37965,5	-0,04407	
T10	30K5A335	1997-06-02			1997-08-22	2	39175,0	-0,04402	
T11	30K5A335	1997-06-02	Cu-block	1997-06-12	1997-08-22	1	36502,2	-0,04391	
T12	30K5A335	1997-06-02	Al-block	1997-06-12	1997-08-22	1	37622,6	-0,04409	
T13	30K5A335	1997-06-02	polym kaps		1997-08-22	1,5	37762,4	-0,04414	
T14	30K5A335	1997-06-02	polym kaps		1997-08-22	1,5	37632,3	-0,04436	

<u>termistor</u>	Konstanter för Steinhart-Harts ekv för 18-22°C (exp best vid kal 9706)			Konstanterna a, b best vid kal 9706		α vid 20°C kal 9706	<u>Resistans</u> vid 20°C kal 9706	dR/dT vid 20°C kal 9706
	A	B	C	a	b			
T2	9,36993E-04	2,14793E-04	7,41084E-08	0,000737	0,0002420	-0,04809	63146,9	-3036,9
T3	9,47262E-04	2,13302E-04	7,84963E-08	0,000735	0,0002421	-0,04807	63221,7	-3039,0
T4	1,05955E-03	2,04424E-04	1,73438E-07	0,000656	0,0002620	-0,04442	36936,3	-1640,6
T5	8,58126E-04	2,31305E-04	9,94067E-08	0,000626	0,0002644	-0,04401	37619,2	-1655,6
T6	1,25443E-03	1,74534E-04	2,72139E-07	0,000618	0,0002651	-0,04389	37591,8	-1649,8
T7	1,44842E-03	1,47640E-04	3,48393E-07	0,000634	0,0002636	-0,04414	37618,3	-1660,3
T8	1,14510E-03	1,90945E-04	2,17596E-07	0,000636	0,0002634	-0,04418	37623,5	-1662,1
T9	1,16499E-03	1,87504E-04	2,29535E-07	0,000627	0,0002641	-0,04407	37965,6	-1673,0
T10	1,09705E-03	1,96171E-04	2,02627E-07	0,000618	0,0002642	-0,04405	39149,0	-1724,6
T11	1,06782E-03	2,02203E-04	1,89250E-07	0,000629	0,0002649	-0,04394	36478,6	-1602,7
T12	1,46869E-03	1,44713E-04	3,57552E-07	0,000633	0,0002638	-0,04412	37597,3	-1658,7
T13	9,85010E-04	2,13543E-04	1,50100E-07	0,000634	0,0002636	-0,04415	37756,5	-1667,0
T14	1,06650E-03	2,02662E-04	1,79185E-07	0,000647	0,0002623	-0,04436	37633,7	-1669,4

C Tabeller över mätning med Platinaresistansgivare

C.1 Korrektion for Pt100-givare (allt i °C).

(Medelvärde av skillnaden mellan respektive ytgivare och referensgivaren A8-95-30 införd i borrad passbit.)

mätserie	kanal 1 C2-95-24	kanal 2 C3-94-16	kanal 3 A6-83-6	kanal 4 K3	kanal 5 C5-95-27	kanal 6 K4	kanal 6 C6-94-19
1	-0,1677	-0,0358			-0,0659		-0,0374
2	-0,1650	-0,0324			-0,0630		-0,0337
3	-0,1658	-0,0338			-0,0630		-0,0391
4	-0,1670	-0,0379			-0,0644		-0,0377
5	-0,1643	-0,0323		0,0354	-0,0615	0,0715	
6	-0,1643	-0,0325		0,0356	-0,0615	0,0716	
7	-0,1658	-0,0322		0,0355	-0,0633	0,0707	
8	-0,1664	-0,0335		0,0352	-0,0624	0,0706	
9	-0,1658		0,0134		-0,0633		-0,0372
10	-0,1649		0,0122		-0,0637	0,0701	
11	-0,1641		0,0123		-0,0631	0,0703	
12	-0,1667				-0,0605		
13	-0,1667				-0,0610	0,0714	
14	-0,1649				-0,0597	0,0711	
15	-0,1651				-0,0638	0,0720	
16	-0,1657				-0,0623		
medel	-0,1656	-0,0338	0,0126	0,0354	-0,0627	0,0710	-0,0370
Standardavvikelse	0,0011	0,0020			0,0016	0,0006	

Det fetmarkerade medelvärdet i nedre delen av tabellen kan användas som ett kalibrerad korrektion som ska adderas till den temperatur som respektive givare ger.

C.2 Standardavvikelse för ovanstående mätningar

mätserie	kanal 2 C2-95-24	kanal 3 C3-94-16	kanal 4 A6-83-6	kanal 4 K3	kanal 5 C5-95-27	kanal 6 K4	kanal 6 C6-94-19
1	0,2	0,9			0,3		1,3
2	0,2	0,9			0,6		2,3
3	0,2	0,6			0,2		2,2
4	0,2	2,3			0,3		2,6
5	0,4	1,8		0,6	0,2	0,7	
6	0,2	0,3		0,2	0,1	0,2	
7	0,2	0,8 med		0,3	0,2	0,3 med	
8	0,2	0,6 modellera		0,2	0,2	0,2 modellera	
9	0,2		0,4		0,2		0,6
10	0,2		0,22		0,2	0,3	
11	0,2		0,25		0,2	0,2	
medel	0,2	1,0			0,2	0,3	

Att givare C3 och C6 har en större standardavvikelse beror på att de har en form som gör att de är mer känsliga för luftens påverkan (mycket större kontaktyta mot luften).

D1 Kalibreringsbevis, Frontec



KALIBRERINGSBEVIS

utfärdat av Riksmätplats 01 / CALIBRATION CERTIFICATE issued by a Swedish National Laboratory

SP
MVI
Box 857
501 15 Borås

Handläggare, enhet/Handled by, department.
Roland Falk, Fysik och Elteknik
Tel 033 - 165443

Datum/Date Bevisnummer/Certificate no. Sida/Page
1997-08-07 01-G97081, Rev 1 1 (2)

Kalibrering av digital temperaturmätare

Kalibreringsdatum	1997-03-04
Uppdragsnummer	97F43503
Ankomstdatum	1997-03-03
Ankomstskick	Utan anmärkning
Provföremål	Frontec typ S1234-6, s/n 1563601, inv/n 601750, med 1 st givare Pt100 ohm typ S935-1, s/n 1154314, märkt A8-95-30.

Kalibreringsförutsättningar

Temperaturskala	ITS-90
Omgivningstemperatur	$23 \pm 1^\circ\text{C}$
Uppvärmningstid	>12 h
Temperaturmätaren justerades ej före kalibreringen.	

Kalibreringsmetod

Jämförelse i vattenbad med en av SP:s resistantermometernormaler enligt SP-Metod 2140.

Spårbarhet

Riksmätplatsen för temperatur realiseras ITS-90 från $-189,3442^\circ\text{C}$ till 2600°C .

Mätutrustning

Resistantermometer L&N 8163-Q, s/n 1741828
DC-resistansmätbrygga Guildline 9970, s/n 36940
Resistansnormal Tinsley 5685 A, 10 ohm, s/n 270159
Vattenbad Heto KB 21, s/n 7903186



KALIBRERINGSBEVIS

CALIBRATION CERTIFICATE

Datum/Date
1997-08-07

Bevisnummer/Certificate no
01-G97081, Rev 1

Sida/Page
2 (2)

Resultat

Frontec typ S1234-6, s/n 1563601, inv/n 601750, med givare Pt100 ohm typ S935-1.

Korrektion vid 20 °C

Kanal nr	Givarens		Korrektion °C	Mätosäkerhet °C
	märkning	s/n		
1	A8-95-30	1154314	-0,0268	±0,002

Verklig temperatur = korrektion + instrumentets visning

Frontec typ S1234-6, s/n 1563601, inv/n 601750, och resistansnormal Tinsley 5685 A s/n 237850 med resistansen 100,00019 Ω.

Kanal	Indikering °C	Mätosäkerhet °C
1	0,0013	±0,0005
2	0,0012	"
3	0,0003	"
4	-0,0056	"
5	-0,0038	"
6	-0,0088	"

Den angivna mätosäkerheten är en total mätosäkerhet som beräknats genom kvadratisk addition av ingående osäkerhetskomponenter. Roten ur kvadratsumman multipliceras med en täckningsfaktor 2, dvs k=2.

Vid normalfordelning motsvarar den totala mätosäkerheten med täckningsfaktorn k = 2 ungefär ett 95 % konfidensintervall.

I mätosäkerheten ingår bidrag från använda normaler, kalibreringsmetod, omgivningsförhållanden och det kalibrerade objektets kortidsstabilitet. Beräkningarna är utförda enligt WECC Doc. 19-1990, "Guidelines for the Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibrations".

SP - Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut
Fysikalisk mätteknik
RMP 01 Temperatur

Jan Ivarsson
Ansvarig för riksämplatsen

Roland Falk
Ansvarig för mätningen

D.2 Kalibreringsbevis, Liab



KALIBRERINGSBEVIS

Uttärd av Riksmätplats 01 / CALIBRATION CERTIFICATE issued by a Swedish National Laboratory

卷之三

SP
MVI
Box 857
501 15 Borås

Handläggare, enhet/*Handled by, department.*
Roland Falk, Fysik och Elteknik
Tel 033 - 165443

Datum/*Date* Bevisnummer/*Certificate no.* Sida/*Page*
1996-11-28 01-G96445 1 (2)

Kalibrering av digital temperaturmätare

Kalibreringsdatum	1996-11-28
Uppdragsnummer	96F42748
Ankomstdatum	1996-11-19
Ankomstskick	Utan anmärkning
Provforemål	LiAB typ L1231-6, s/n 1001, med 6 st givare Pt100 ohm typ S935, märkta C1 - C6.

Kalibreringsförutsättningar

Temperaturskala ITS-90
Omgivningstemperatur $23 \pm 1^\circ\text{C}$
Uppvärmningstid >12 h
Temperaturmätaren justerades ej före kalibreringen.

Kalibreringsmetod

Jämförelse i vätskebad med en av SP:s resistanstermometernormaler.

Spårbarhet

Riksmätplatsen för temperatur realiseras ITS-90 från -189,3442 °C till 2600 °C.

Mätutrustning

Resistantermometer L&N 8163-Q, s/n 1741828
DC-resistansmätbrygga Guildline 9970, s/n 36940
Resistansnormal Tinsley 5685 A, 10 ohm, s/n 270159
Vattenbad Heto KB 21, s/n 7903186



KALIBRERINGSBEVIS

CALIBRATION CERTIFICATE

Datum/Date
1996-11-28

Bevisnummer/Certificate no
01-G96445

Sida/Page
2 (2)

Resultat

LiAB typ L1231-6, s/n 1001, med givare Pt100 ohm märkta C1 - C6.

Korrektioner vid 20 °C

Kanal nr	Givarnas		Korrektion °C	Mätsäkerhet °C
	mätning	s/n		
1	C1-95-29	1154313	-0,0555	±0,002
2	C2-94-15	1143903	0,0462	±0,002
3	C3-94-16	1143904	-0,0351	±0,002
4	C4-95-28	1154312	-0,0020	±0,002
5	C5-94-18	1143901	0,0166	±0,002
6	C6-94-19	1143905	-0,0403	±0,002

Verklig temperatur = korrektion + instrumentets visning

Den angivna mätsäkerheten är en total mätsäkerhet som beräknats genom kvadratisk addition av ingående osäkerhetskomponenter. Roten ur kvadratsumman multipliceras med en täckningsfaktor 2, dvs k=2.

Vid normalfördelning motsvarar den totala mätsäkerheten med täckningsfaktorn k = 2 ungefär ett 95 % konfidensintervall.

I mätsäkerheten ingår bidrag från använda normaler, kalibreringsmetod, omgivningsförhållanden och det kalibrerade objektets korttidsstabilitet. Beräkningarna är utförda enligt WECC Doc. 19-1990, "Guidelines for the Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibrations".

SP - Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut
Fysikalisk mätteknik
RMP 01 Temperatur

Jan Ivarsson
Ansvarig för riksämpelns

Roland Falk
Ansvarig för mätningen

E Datablad multimetrar

E.1 PREMA 5017



RESISTANCE								
Ranges	300 Ω / 3 kΩ / 30 kΩ / 300 kΩ / 3 MΩ / 30 MΩ			Range Selection	manual, automatic			
Measurement Time	20 / 40 / 100 ms	0.2 / 0.4 / 1 s	2 / 4 / 10 / 20 / 40 / 100 s	Measurement Method	2- and 4-wire method			
Full Scale	301 000	3 010 000	30 100 000		with direct current			
Max. Resolution	1 mΩ	100 μΩ	10 μΩ	Overload Limits	250Vpk ^b			
Accuracy	± (ppm of reading + ppm of full scale) ^{a, 3, 4, 5}			Temperature Coefficients	Meas Current			
	range	24 h, 23 ± 1°C	1 year, 23 ± 5 °C	(10°C-18°C, 28°C-40°C), ±(ppm rdg.+ ppm f.s.)/°C ⁵				
	300 Ω	10 + 3	30 + 4	300 Ω	3 + 3			
	3 kΩ	4 + 2	30 + 4	3 kΩ	2 + 2			
	30 kΩ	4 + 2	30 + 4	30 kΩ	2 + 2			
	300 kΩ	6 + 2	30 + 4	300 kΩ	2 + 2			
	3 MΩ	40 + 3	30 + 4	3 MΩ	3 + 3			
	30 MΩ	160 + 10	500 + 10	30 MΩ	50 + 5			
					0.1 μA			
TEMPERATURE								
Meas Method	Four-wire resistance with linearization conforming to EN 60751 for Pt10 / Pt25 / Pt100 / Pt600 / Pt1000			Measurement Time	100 ms bis 10 s			
				Display	°C, °F or Kelvin			
Range/Resolution	-200°C to 850°C with 0.001°C resolution			Meas Current	Pt10/25/100 1 mA			
Accuracy (1 year)	± 0.05 °C at 23 ± 5 °C (without sensor tolerances) ^d				Pt600/1000 0.1 mA			
FREQUENCY AND PERIOD								
Frequency Range	Vac: 0.2 Hz to 1 MHz; Iac: 0.2 Hz to 5 kHz			Time Base	5 MHz ± 0,01%			
Period	Vac: 40 μs to 5 s; Iac 100 μs to 5 s			Gate Time	100 ms, 1 s, 10 s, 100 s			
Accuracy	0.01 % ± 3 digit			Resolution	8 digit			
^a max. 125 Vpk at rear plugs of 5017 SC • ^b valid for constant input signal, ± 5ppm have to be added within 100 ms after change of signal								
^c date valid after offset correction • ^d Automatic Average Filter on • ^e ppm = parts per million								

E.2 HP3458A

Two-wire and Four-wire Ohms (OHM and OHMF Functions)

Range	Full Scale	Maximum Resolution	Current ^a Source	Test Voltage	Open Circuit	Maximum Load Resistance (OHMF)	Maximum Series Offset (OCOMP ON)	Temperature Coefficient 1ppm of Reading + ppm of Range) / °C	
								Without ACAL ^f	With ACAL ^g
10 Ω	12.00000	10 μΩ	10 mA	0.1 V	12 V	20 Ω	0.01 V	3+1	1+1
100 Ω	120.00000	10 μΩ	1 mA	0.1 V	12 V	200 Ω	0.01 V	3+1	1+1
1 kΩ	1.2000000	100 μΩ	1 mA	1.0 V	12 V	150 Ω	0.1 V	3+0.1	1+0.1
10 kΩ	12.000000	1 mΩ	100 μA	1.0 V	12 V	1.5 kΩ	0.1 V	3+0.1	1+0.1
100 kΩ	120.00000	10 mΩ	50 μA	5.0 V	12 V	1.5 kΩ	0.5 V	3+0.1	1+0.1
1 MΩ	1.20000000	100 mΩ	5 μA	5.0 V	12 V	1.5 kΩ		3+1	1+1
10 MΩ	12.0000000	1 Ω	500 nA	5.0 V	12 V	1.5 kΩ		20+20	5+2
100 MΩ ^h	120.00000	10 Ω	500 nA	5.0 V	5 V	1.5 kΩ		100+20	25+2
1 GΩ ^h	1.2000000	100 Ω	500 nA	5.0 V	5 V	1.5 kΩ		1000+20	250+2

^a Current source is ± 3% absolute accuracy.

^b Additional error from Tcal or fast ACAL ± 1°C.

^c Additional error from Test ± 5°C.

^d Measurement is computed from 10 kΩ in parallel with input.

Accuracy: (ppm of Reading + ppm of Range)

Range	24 Hour ²	90 Day ³	1 Year ³	2 Year ³
10 Ω	5 ± 3	15 ± 5	15 ± 5	20 ± 10
100 Ω	3 ± 3	10 ± 5	12 ± 5	20 ± 10
1 kΩ	2 ± 0.2	8 ± 0.5	10 ± 0.5	15 ± 1
10 kΩ	2 ± 0.2	8 ± 0.5	10 ± 0.5	15 ± 1
100 kΩ	2 ± 0.2	8 ± 0.5	10 ± 0.5	15 ± 1
1 MΩ	10 ± 1	12 ± 2	15 ± 2	20 ± 4
10 MΩ	50 ± 5	50 ± 10	50 ± 10	75 ± 10
100 MΩ	600 ± 10	500 ± 10	500 ± 10	0.1% ± 10
1 GΩ	0.5% ± 10	0.5% ± 10	0.5% ± 10	1% ± 10

1 Specifications are for PRESET; NPLC 100, OCOMP ON, OHME.

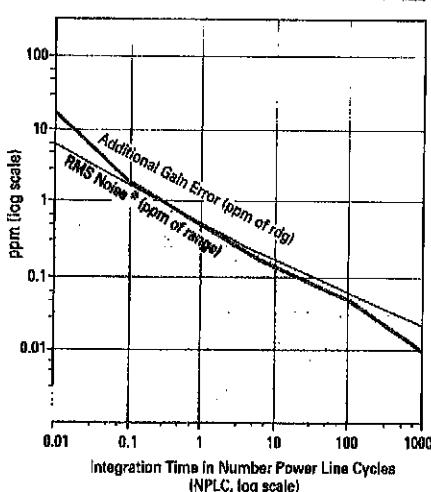
2 Tcal ± 1°C.

3 Specifications for 90 day, 1 year, and 2 year are within 24 hours and ± 1°C of last ACAL. Tcal ± 5°C.

Add 3 ppm of reading additional error for HP factory traceability of 10 kΩ to US NIST. Traceability is the absolute error relative to National Standards associated with the source of last external calibration.

Two-Wire Ohms Accuracy

For Two-Wire Ohms (OHM) accuracy, add the following offset errors to the Four-Wire Ohms (OHMF) accuracy.
24 Hour: 50 mΩ. 90 Day: 150 mΩ. 1 Year: 250 mΩ. 2 Year: 500 mΩ

Additional Errors

*RMS Noise	
Range	Multiplier
10Ω & 100Ω	x10
1kΩ to 100 kΩ	x1
1MΩ	x1.5
10MΩ	x2
100MΩ	x10
1GΩ	x100

For RMS noise error, multiply RMS noise result from graph by multiplier in chart. For peak noise error, multiply RMS noise error by 3.

Selected Reading Rates⁴

NPLC ⁵	Aperture	Digits	Readings / Sec	
			Auto-Zero Off	Auto-Zero On
0.0001	1.4 μs	4.5	100,000 ⁷	4,130
0.0005	10 μs	5.5	50,000	3,150
0.01	167 μs ⁶	6.5	5,300	930
0.1	1.66 ms ⁶	6.5	592	245
1	16.6 ms ⁶	7.5	60	29.4
10	0.166 s ⁶	7.5	6	3
100		7.5	36 / min	18 / min

Measurement Consideration

HP recommends the use of Teflon® cable or other high impedance, low dielectric absorption cable for these measurements.

Maximum Input

		Rated Input Non-Destructive
Hi to LO		± 1000 V pk
Hi & LO Sense to LO		± 200 V pk
LO to Guard		± 200 V pk
Guard to Earth		± 500 V pk

Temperature Coefficient (Auto-Zero Off)

For a stable environment ± 1°C add the following error for AZERO OFF. (ppm of Range) / °C

Range	Error	Range	Error
10 Ω	50	1 MΩ	1
100 Ω	50	10 MΩ	1
1 kΩ	5	100 MΩ	10
10 kΩ	5	1 GΩ	100
100 kΩ	1		

Settling Characteristics

For first reading error following range change, add the total 90 day measurement error for the current range. Preprogrammed settling delay times are for <200 pF external circuit capacitance.

4 For PRESET, DELAY 0, DISP OFF, DFORMAT DINT, RANGE OFF.

For OHMF or OCOMP ON, the maximum reading rates will be slower.

5 Ohms measurements at rates < NPLC 1 are subject to potential noise pickup. Care must be taken to provide adequate shielding and guarding to maintain measurement accuracies.

6 Aperture is selected independent of line frequency (LFREQ). These apertures are for 60 Hz NPLC values where 1 NPLC = 1/LFREQ. For 50 Hz and NPLC indicated, aperture will increase by 1.2 and reading rates will decrease by 0.833.

7 For DFORMAT SINT.

* Teflon is a registered trademark of E.I. duPont deNemours and Co.

E.3 HP 34401A

■ DC Characteristics

Accuracy Specifications \pm (% of reading + % of range) [1]

Function	Range [3]	Test Current or Burden Voltage	24 Hour [2] 23°C ± 1°C	90 Day 23°C ± 5°C	1 Year 23°C ± 5°C	Temperature Coefficient 0°C - 18°C 28°C - 55°C
DC Voltage	100,000 mV		0.0030 + 0.0030	0.0040 + 0.0035	0.0050 + 0.0035	0.0005 + 0.0005
	1,000,000 V		0.0020 + 0.0008	0.0030 + 0.0007	0.0040 + 0.0007	0.0005 + 0.0001
	10,000,000 V		0.0015 + 0.0004	0.0020 + 0.0005	0.0035 + 0.0005	0.0005 + 0.0001
	100,000,000 V		0.0020 + 0.0006	0.0035 + 0.0006	0.0045 + 0.0006	0.0005 + 0.0001
	1,000,000 V		0.0020 + 0.0008	0.0035 + 0.0010	0.0045 + 0.0010	0.0005 + 0.0001
Resistance	100,000 Ω	1 mA	0.0030 + 0.0030	0.008 + 0.004	0.010 + 0.004	0.0006 + 0.0005
[4]	1,000,000 kΩ	1 mA	0.0020 + 0.0005	0.008 + 0.001	0.010 + 0.001	0.0006 + 0.0001
	10,000,000 kΩ	100 μA	0.0020 + 0.0005	0.008 + 0.001	0.010 + 0.001	0.0006 + 0.0001
	100,000 kΩ	10 μA	0.0020 + 0.0005	0.008 + 0.001	0.010 + 0.001	0.0006 + 0.0001
	1,000,000 MΩ	5 μA	0.002 + 0.001	0.008 + 0.001	0.010 + 0.001	0.0010 + 0.0002
	10,000,000 MΩ	500 nA	0.015 + 0.001	0.020 + 0.001	0.040 + 0.001	0.0030 + 0.0004
	100,000 MΩ	500 nA // 10 MΩ	0.300 + 0.010	0.800 + 0.010	0.800 + 0.010	0.1500 + 0.0002
DC Current	10,000,000 mA	< 0.1 V	0.005 + 0.010	0.030 + 0.020	0.050 + 0.020	0.002 + 0.0020
	100,000 mA	< 0.8 V	0.01 + 0.004	0.030 + 0.005	0.050 + 0.005	0.002 + 0.0005
	1,000,000 A	< 1 V	0.05 + 0.006	0.080 + 0.010	0.100 + 0.010	0.005 + 0.0010
	3,000,000 A	< 2 V	0.10 + 0.020	0.120 + 0.020	0.120 + 0.020	0.005 + 0.0020
Continuity	1000.0 Ω	1 mA	0.002 + 0.010	0.008 + 0.020	0.010 + 0.020	0.001 + 0.002
Break Test	1,000 V	1 mA	0.002 + 0.010	0.008 + 0.020	0.010 + 0.020	0.001 + 0.002
DC:DC Ratio	100 mV to 1000 V		(Input Accuracy) + (Reference Accuracy)			
			Input Accuracy = accuracy specification for the HI-LO input signal. Reference Accuracy = accuracy specification for the HI-LO reference input signal.			

Transfer Accuracy (typical)

(24 hour % of range error)

2

Conditions:

- Within 10 minutes and $\pm 0.5^\circ\text{C}$.
- Within $\pm 10\%$ of initial value.
- Following a 2-hour warm-up.
- Fixed range between 10% and 100% of full scale.
- Using 6½ digit slow resolution (100 PLC).
- Measurements are made using accepted metrology practices.

Resistance

Measurement Method:

Selectable 4-wire or 2-wire ohms.
Current source referenced to LO input.Max. Lead Resistance:
(4-wire ohms)10% of range per lead for 100 Ω, 1 kΩ
ranges. 1 kΩ per lead on all other ranges.

Input Protection:

1000 V on all ranges

[1] Specifications are for 1-hour warm-up at 6½ digits.

[2] Relative to calibration standards.

[3] 20% overrange on all ranges, except 1000 Vdc, 3 A range.

[4] Specifications are for 4-wire ohms function, or 2-wire
ohms using Math Null. Without Math Null, add 0.2 Ω
additional error in 2-wire ohms function.

F Kontrollmätning av multimeter

F.1 Justering och kontrollmätning av resistansområdet på HP 34401 multimeter

Föremål och orsak

HP 34401 digital multimeter från längdsektionen på SP som skulle kontrolleras för att det inte hade kalibrerats på flera år. För att vara säker på att resistans-mätningarna av termistorer skulle vara riktiga behövdes en kontroll för resistanser på $25\text{ k}\Omega$ - $100\text{ k}\Omega$.

Datum

Mätningarna utfördes 1997-04-29

Mätmetod och mätmiljö

Resistansen mättes med fyrtråd och kontrollerades mot Vishay-rack mot resistanserna $10\text{ k}\Omega$ och $100\text{ k}\Omega$. Instrumentets värden justerades och efter några minuter gjordes tre kontrollerande mätningar. Instrumentet stängdes av, mätområde byttes och sladdarna togs ur och sattes i igen mellan mätningarna. Temperaturen i mäthalten var $23\text{ }^{\circ}\text{C}$. Alla mätvärden nedan är uppskattade medelvärden.

Resistansvärde på Medelvärde		Mätområde	Kontroll-	Kontroll-	Kontroll-
		mätning 1	mätning 2	mätning 3	
Vishayrack					
10,00008 kΩ	100 kΩ	10,0001 kΩ	10,0001 kΩ	10,0001 kΩ	10,0001 kΩ
100,0010 kΩ	100 kΩ	99,9995 kΩ	99,9996 kΩ	99,9994 kΩ	99,9995 kΩ

Mätosäkerhet

Total mätosäkerhet blir då för instrumentet $\pm 0,84\text{ }\Omega$ för $100\text{ k}\Omega$ med beräkning av total osäkerhet enligt WECC Doc 19-1990 med täckningsfaktor 2 vilken ungefär motsvarar ett 95 % konfidensintervall.

Mätosäkerheten för Vishayracket med $10\text{ k}\Omega$ är $\pm 5\text{ ppm}$ vilket ger $\pm 0,05\text{ }\Omega$ och med $100\text{ k}\Omega \pm 8\text{ ppm}$ vilket ger $\pm 0,8\text{ }\Omega$

Spårbarhet

Resistansområdet kontrollerades mot Vishayrack med inv nr 501299 som kalibrerats mot riksmätplatsens primärnormal.

Riksmätplatsens resistansenhet bestäms indirekt med hjälp av den kvantiserade Halleffekten. Använt von Klitzingkonstant är R_K -90. Osäkerheten i R_K -90 ingår inte i nedan redovisade mätosäkerhet.

$1\text{ }\Omega \quad \pm 2 \cdot 10^{-7}$

Resultat

Kontrollmätningen ligger väl inom 24h-specifikationen på multimetern som tillåter $\pm 2,5\text{ }\Omega$ vid $100\text{ k}\Omega$.

F.2 Kontrollmätning av resistansområdet på HP 34401 multimeter, PREMA 5017 och HP3458

Föremål och orsak

HP 34401 digital multimeter från längdsektionen på SP
 PREMA 5017SC lånad från CE-Bit, Göteborg och
 HP3458A, märkt SP nr 502591, lånad från elektrisk mätteknik på SP.
 Dessa kontrollmättes för att vid efterföljande kalibrering 24h-specifikationen skulle kunna användas.

Mätmetod och mätmiljö

Resistansen mättes med fyrråd och kontrollerades mot Vishay-rack mot resistanserna $10\text{ k}\Omega$ och $100\text{ k}\Omega$. Med några minuter emellan gjordes tre kontrollerande mätningar. Instrumentet stängdes av, mätområde byttes och sladdarna togs ur och sattes i igen mellan mätningarna. Temperaturen i mäthallen var 23°C . Alla mätvärden nedan är beräknade medelvärden av tre kontroller.

HP34401 mätningen utfördes 1997-06-06

Mätområde	Resistansvärde på Vishay-rack	Uppmätt värde (medel- värde av tre mätningar)	Största mätfel	Onoggrannhet enl 24h-spec
$100\text{ k}\Omega$	$10,00008\text{ k}\Omega$	$9,9999\text{ k}\Omega$	$-0,28\text{ }\Omega$	$\pm 0,7\text{ }\Omega$
$100\text{ k}\Omega$	$100,0010\text{ k}\Omega$	$99,9999\text{ k}\Omega$	$-1,2\text{ }\Omega$	$\pm 2,5\text{ }\Omega$

PREMA 5017SC mätningen utfördes 1997-06-06

Mätområde	Resistansvärde på Vishay-rack	Uppmätt värde (medel- värde av tre mätningar)	Största mätfel	Onoggrannhet enl 24h-spec
$300\text{ k}\Omega$	$10,00008\text{ k}\Omega$	$10,00030\text{ k}\Omega$	$+0,27\text{ }\Omega$	$\pm 0,66\text{ }\Omega$
$300\text{ k}\Omega$	$100,0010\text{ k}\Omega$	$100,00064\text{ k}\Omega$	$-0,65\text{ }\Omega$	$\pm 1,2\text{ }\Omega$

HP3458 mätningen utfördes 1997-08-22

Mätområde	Resistansvärde på Vishay-rack	Uppmätt värde (medel- värde av tre mätningar)	Största mätfel	Onoggrannhet enl 24h-spec
$1\text{ M}\Omega$	$10,00008\text{ k}\Omega$	$10,00003\text{ k}\Omega$	$-0,8\text{ }\Omega$	$\pm 1,1\text{ }\Omega$
$1\text{ M}\Omega$	$100,0010\text{ k}\Omega$	$100,0009\text{ k}\Omega$	$-0,6\text{ }\Omega$	$\pm 2\text{ }\Omega$

Alla ovanstående mätningar ligger inom 24 h-specifikationen för respektive instrument.

Mätsäkerheten för Vishayracket med $10\text{ k}\Omega$ är $\pm 5\text{ ppm}$ vilket ger $0,05\text{ }\Omega$
 och med $100\text{ k}\Omega \pm 8\text{ ppm}$ vilket ger $0,8\text{ }\Omega$.

Spårbarhet

Resistansen kontrollerades mot Vishayrack med inv nr 501299 som kalibrerats mot
 riksmätplatsens primärnormal.

F.3 Jämförelse mellan multimeter vid 20 °C
 (Kontroll av resistansområdet och spänningssområdet på HP 34401 multimeter mot en kalibrerad HP3458A och en PREMA5017 multimeter)

Föremål och orsak

HP 34401 digital multimeter från längdsektionen, SP som kontrollerades mot PREMA 5017SC lånad från CE-Bit, Göteborg (fabrikskalibrerad i januari -97) och HP3458A med inv nr 502591 lånad från FE, SP och kalibrerad 1996-10-04.
 HP34401 kontrollerades på spänningssområdet (ty ej kalibrerad på flera år) och på resistansområdet för att kontrollera att ingen temperaturdrift påverkade resistansmätningarna (utförs vid 20 °C medan tidigare kontrollmätning gjorts vid 23 °C).

Mätmetod, mätmiljö och datum

1997-06-27

Resistansen mättes med fyrråd på ett precisionsmotstånd på 10 kΩ, som transfermotstånd, i komparationsrummet och kontrollerades mot HP3458A-multimeter som normal. Temperaturen var 20°C.

Mätinstrument	Mätområde	Uppmätt värde	Mätosäkerhet enl spec
HP3458	10 kΩ	10,000190 kΩ	± 0,1 Ω (1 år)
HP34401	10 kΩ	10,00018 kΩ	± 0,25 Ω (24 h)

Spänningen kontrollerades också mot HP3458A.

Mätningen gjordes mot 5V spänningsreferens som transferspänning.

Mätinstrument	Mätområde	Uppmätt värde	Mätosäkerhet enl spec
HP3458	10 V	5,01387 V	± (1 år)
HP34401	10 V	5,0139 V	± 0,155 mV (90 dagar)

Skillnaderna är så små att de inte påverkar mätosäkerheten vid mätningen av egenuppvärmningen.

1997-06-16

Kontroll av spänningssområdet gjordes också mot PREMA 5017. Ett spänningsaggregat användes som transferspänning. (Inställningar: Spänning, automatiska mätområden.)

Spänningsagg	0,1 V	2 V	5 V	10 V	29 V
PREMA 5017	105,13 mV	1,95779 V *	4,99363 V	10,00878 V	29,00421 V
HP 34401	105,10 mV	1,9578 V	4,9938 V	10,0089 V	29,005 V
Mätosäkerhet PREMA**	± 0,0036 mV	± 0,0001 V	± 0,00016 V	± 0,00026 V	± 0,00064 V

* Mätemråde 30 V ty det visade sig att 3V-mätemrådet låg cirka 0,2V fel på PREMA-multimetern.

** Mätosäkerhet PREMA enligt specifikation för ett år.

Resultat

Skillnaderna är så små att de inte påverkar mätosäkerheten vid mätningen av egenuppvärmningen. Vid mätning av egenuppvärmning av olika givare användes HP34401 för spänningsmätning och PREMA för strömmätning.

G Visual Basic program

G.1 HP 34401

' Program till HP34401A digitalmultimeter ansluten till Ulmm3000-datorn och dess GPIB-kort.

' Programmet läser in resistansvärdet från en termistor och beräknar temperaturen.

' Mätning görs med fyrtred. Vid varje sampa sparar värdet i en fil

```

Dim ieee As Integer
Dim dummy2 As Integer
Dim dummy1 As Integer
Dim dev As Integer
Dim r12 As Integer
Dim response As String * 256
Dim Mätvärde As String
Dim t1 As Variant
Dim tid2 As String
Dim tid1 As Variant
Dim t2 As String
Dim Antal As Integer
Dim StoppKlick As Integer
Dim alfa As Double
Dim R0 As Double
Dim a As Double
Dim b As Double
Dim Temp As Double

Sub cmdStartMEAS_Click()

    txtFil.Enabled = False 'Avaktiverar knappar och fält
    txtTid.Enabled = False 'så inga oavsiktliga ändringar
    cmdStartMEAS.Enabled = False 'görs under mätning
    cmdStopp.Enabled = True
    cboTermistor.Enabled = False
    StoppKlick = 0

    Select Case cboTermistor
        Case "Termistor T2" 'Rätt värden (konstanter)ska
            alfa = -.04809   'tilldelas för den
            R0 = 63153.4   'valda termistorn
            Term$ = "T2"
        Case "Termistor T3"
            alfa = -.04806
            R0 = 63239.4
            Term$ = "T3"
        Case "Termistor T4"
            alfa = -.04442
            R0 = 36931.3
            Term$ = "T4"
        Case "Termistor T5"
            alfa = -.04400
            R0 = 37626.4
            Term$ = "T5"
        Case "Termistor T6"
            alfa = -.04389
            R0 = 37590.7
            Term$ = "T6"
        Case "Termistor T7"
            alfa = -.04413
            R0 = 37626.2
            Term$ = "T7"
        Case "Termistor T8"
    End Select

```

```

alfa = -.04417
R0 = 37627.7
Term$ = "T8"
Case "Termistor T9"
    alfa = -.04407
    R0 = 37965.5
    Term$ = "T9"
Case "Termistor T10"
    alfa = -.04402
    R0 = 39175
    Term$ = "T10"
Case "Termistor T11"
    alfa = -.04391
    R0 = 36502.2
    Term$ = "T11"
Case "Termistor T12"
    alfa = -.04409
    R0 = 37622.6
    Term$ = "T12"
Case "Termistor T13"
    alfa = -.04414
    R0 = 37762.4
    Term$ = "T13"
Case "Termistor T14"
    alfa = -.04436
    R0 = 37632.3
    Term$ = "T14"
End Select

```

Open txtFil.Text For Append Access Write As #2 'Öppna fil för att lagra data

```

If dummy2% = 1 Then           'Om filen öppnas ska lite text skrivas in före mätning
    Print #2, "<<<Här har mätningen tillfälligt avbrutits (" & Format$(Now, "yy-mm-dd") & ")>>>"'
    Print #2, "Mätning med Termistor " + Term$      'Skriv in vilken termistor som mätningen görs med
    Print #2, "Tid" + Chr$(9); 'Kolumnrubriker
    Print #2, "Resistans" + Chr$(9); 'Chr$(9) =tab för
    Print #2, "°C"               'kolumnbyte
ElseIf dummy2% = 0 Then
    Print #2, "-----"
    Print #2, "Denna mätning påbörjades " & Format$(Now, "yyyy-mm-dd")
    Print #2, "Mätning med Termistor " + Term$
    Print #2, "Tid" + Chr$(9);
    Print #2, "Resistans" + Chr$(9);
    Print #2, "°C"
    dummy2% = 1
End If

```

'Beräkning av de specifika konstanterna a och b för den använda termistorn
 $b\# = -1 / (\alpha * 293.15^2)$
 $a\# = 1 / 293.15 - \log(R_0) * b\#$

Call DataIn

End Sub

Sub cmdStopp_Click ()

```

Close
txtTid.Enabled = True   'Aktivera knappar och fält igen
txtFil.Enabled = True
cmdStartMEAS.Enabled = True
cmdStopp.Enabled = False
cboTermistor.Enabled = True
Antal% = 0
StoppKlick = 1

```

```

End Sub

Sub DataIn ()
Do
  t1 = Time
  r12% = ioOutput(dev%, "READ?") 'Skicka triggsignal för mätvärde
  tid1 = Time
  Do 'Fördräjning för att multimeter ska hinna ge ett mätvärde
    tid2$ = Format$(Time - tid1, "hh:mm:ss")
    DoEvents
    If StoppKlick = 1 Then
      Exit Sub
    End If
  Loop Until tid2$ > "00.00.05" '5 sek fördräjning som behöver vara 5 sek om NPLC = MAX (100)

  response = ""
  r12% = enter(dev%, response)           'Mätvärde läses in
  Mätvärde = Str$(Val(response))         'Skala bort alla icke siffror
  Print #2, Format$(Now, "yy-mm-dd hh:mm:ss") & Chr$(9);   'Spara mätvärdet i fil
  'Print #2, Time & mellanslag (Chr$(9))
  Print #2, Mätvärde$ & Chr$(9);
  'Display the reading
  lbResistans = Mätvärde

  Antal% = Antal% + 1
  txtAntal.Text = Str$(Antal%)

  'Beräkning av temperaturen efter formel I/T=a+b*Ln(R0)
  'med a och b som konstanter, olika för varje termistor
  Temp# = 1 / (a# + b# * Log(Val(Mätvärde))) - 273.15
  Temperatur$ = Format$(Temp#, "0.0000")  'Konvertera till text med fyra decimaler

  Print #2, Temperatur$
  lblTemperatur = Format$(Temp#, "0.0000 \b0C")  'Display the reading

  Do
    t2$ = Format$(Time - t1, "hh:mm:ss")
    DoEvents           'Andra program ska kunna köras medan programmet väntar
    If StoppKlick = 1 Then
      Exit Sub
    End If
  Loop Until t2$ >= txtTid.Text          'Vänta till nästa avläsning

Loop Until StoppKlick = 1

End Sub

Sub Form_Load ()
  cmdStopp.Enabled = False
  dummy2% = 0

  ieee% = OpenName("IEEE")
  If ieee = -1 Then
    MsgBox "Kan inte initiera IEEE-systemet"
    End
  End If
  r12% = CheckListener(ieee%, 12, -1)  'kollar om HP-instrumentet är anslutet
  If r12% = 1 Then
    dev = OpenName("HPMULTI") 'HPMULTI enl config i drivrutinen
    Else MsgBox "Hittar inte instrumentet på adress 12"
    End
  End If

  dummy1% = ioClear(dev%)

```

```

'Lägger till en lista med valbara termistorer
cboTermistor.AddItem "Termistor T2"
cboTermistor.AddItem "Termistor T3"
cboTermistor.AddItem "Termistor T4"
cboTermistor.AddItem "Termistor T5"
cboTermistor.AddItem "Termistor T6"
cboTermistor.AddItem "Termistor T7"
cboTermistor.AddItem "Termistor T8"
cboTermistor.AddItem "Termistor T9"
cboTermistor.AddItem "Termistor T10"
cboTermistor.AddItem "Termistor T11"
cboTermistor.AddItem "Termistor T12"
cboTermistor.AddItem "Termistor T13"
cboTermistor.AddItem "Termistor T14"

'Ställer in multimetern
r12% = ioOutput(dev%, "*RST")
r12% = ioOutput(dev%, "*CLS")
r12% = ioOutput(dev%, "CONF:FRES DEF,DEF") 'Mät Resistans 4-tråd
r12% = ioOutput(dev%, "SENS:FRES:NPLC MAX") 'Lång integreringstid

End Sub

Sub Form_Unload (Cancel As Integer)

dummy1% = ioClear(dev%)
'Unload the IEEE driver
loaderName$ = "Driver488 Loader"
winName$ = "Driver488/WIN"
Hdriver% = FindWindow(loaderName$, winName$)
asdf = SendMessage(Hdriver%, &H2, 0, 0)

End Sub

Sub mnuAvsluta_Click ()
    End
End Sub

Sub mnuOm_Click ()
    Meddelande$ = "Beräkning efter senaste kalibrering 9708622" & Chr$(13) & Chr$(13) & "Hans Arnell"
    MsgBox Meddelande$, 64, "Visual Basic"
End Sub

Sub txtFil_GotFocus ()           'Inskrivning av filnamn som mätdata ska sparas i
    txtFil.SelStart = 0
    txtFil.SelLength = Len(txtFil.Text)
End Sub

Sub txtTid_GotFocus ()          'Inskrivning (val) av tidsintervall mellan varje sampel
    txtTid.SelStart = 0
    txtTid.SelLength = Len(txtFil.Text)
End Sub

Sub txtTid_LostFocus ()
    If txtTid.Text < "00.00.01" Then
        MsgBox ("Pga fördröjning vid inläsning av data, måste ett längre tidsintervall anges!")
    End If
End Sub

```

G.2 Program till PREMA 5017 och HP 34401

Fil PRHPDMM.MAK*****

Program till HP34401 och PREMA 5017 anslutna via GPIB-kabel
'till Ulmm3000-datorn.

Programmet läser in resistansvärde från två termistorer
(en till varje multimeter) och sparar värdet i en fil.

Dim ieee As Integer 'Deklarationer av variabler

Dim dummy2 As Integer

Dim dummyHP As Integer

Dim dummyPRE As Integer

Dim devHP As Integer

Dim devPRE As Integer

Dim PREMA5017 As Integer

Dim HP34401 As Integer

Dim response As String * 256

Dim mätvärde As String

Dim t1 As Variant

Dim tid2 As String

Dim tid1 As Variant

Dim t2 As String

Dim Antal As Integer

Dim StoppKlick As Integer

Sub cmdSetup_Click()

'Setup PREMA5017

PREMA5017% = ioOutput(devPRE%, "*RST") 'Rensa registren

PREMA5017% = ioOutput(devPRE%, "*CLS")

'scannerkanal 1 för att läsa av frontpanelen ty fel på instrumentet

PREMA5017% = ioOutput(devPRE%, "MP4") 'Scanner mode with 4-pole

PREMA5017% = ioOutput(devPRE%, "M01") 'Val av scannerkanaler

PREMA5017% = ioOutput(devPRE%, "O4A1") 'Mät Resistans 4-tråd, Autoranging on

PREMA5017% = ioOutput(devPRE%, "Z0") 'Offset correction on (Z/zero), 4s integreringstid

PREMA5017% = ioOutput(devPRE%, "T7")

'Setup HP34401

HP34401% = ioOutput(devHP%, "*RST") 'Rensa registren

HP34401% = ioOutput(devHP%, "*CLS")

HP34401% = ioOutput(devHP%, "CONF:FRES DEF,DEF") 'Mät Resistans 4-tråd, Autoranging on

HP34401% = ioOutput(devHP%, "SENS:FRES:NPLC MAX") 'Lång integreringstid (ca 4s)

End Sub

Sub cmdStartMEAS_Click()

txtFil.Enabled = False 'Avaktivera fält för ändringar

txtTid.Enabled = False 'inte ska göras av misstag under mätning

cmdStartMEAS.Enabled = False

cmdStopp.Enabled = True

cmdSetup.Enabled = False

StoppKlick = 0

Open txtFil.Text For Append Access Write As #2 'öppna fil

If dummy2% = 1 Then 'Skriv in lite data i filen

Print #2, "<<<Här har mätningen tillfälligt avbrutits (" & Format\$(Now, "yy-mm-dd") & ") >>>"

Print #2, "Tid" + Chr\$(9); 'Tab för kolumnbyte

Print #2, "PREMA" + Chr\$(9);

Print #2, "HP"

```

ElseIf dummy2% = 0 Then 'Skriv in lite data i filen
    Print #2, "-----"
    Print #2, "Denna mätning påbörjades " & Format$(Now, "yyyy-mm-dd")
    Print #2, "Tid" + Chr$(9); 'Tab för kolumnbyte
    Print #2, "PREMA" + Chr$(9);
    Print #2, "HP"

        dummy2% = 1
End If

Call DataIn

End Sub

Sub cmdStopp_Click ()
    Close
    txtFil.Enabled = False 'Aktivera fält för att ändringar
    txtTid.Enabled = True 'ska kunna göras
    txtFil.Enabled = True
    cmdStartMEAS.Enabled = True
    cmdStopp.Enabled = False
    cmdSetup.Enabled = True
    Antal% = 0
    StoppKlick = 1

End Sub

Sub DataIn ()
    Do
        t1 = Time

        'Kommando för att HP34401 ska trigga och för att multimeterna
        PREMA5017% = ioOutput(devPRE%, "RD?") 'ska lägga ut mätvärde på
        HP34401% = ioOutput(devHP%, "READ?") 'GPIB-bussen

        tid1 = Time

        response = "" 'Läs in värde från PREMA5017
        PREMA5017% = enter(devPRE%, response)
        mätvärde = Str$(Val(response)) 'Skala bort alla icke siffror
        Print #2, Format$(Now, "yy-mm-dd hh:mm:ss") & Chr$(9); 'Spara mätvärdet i fil med klockslag
        'Print #2, Time & mellanslag (Chr$(9))
        Print #2, mätvärde + Chr$(9);
        lbltextPREMA = "PREMA: " + mätvärde 'Display the reading

        Do 'Fördräjning för att multimeterna ska hinna ge ett mätvärde
            tid2$ = Format$(Time - tid1, "hh.mm.ss")
            DoEvents
            If StoppKlick = 1 Then
                Exit Sub
            End If
        Loop Until tid2$ > "00.00.04" '4 sek fördräjning som behöver vara 4 sek då NPLC = MAX (100)

        response = "" 'Läs in värde från HP34401
        HP34401% = enter(devHP%, response)
        mätvärde = Str$(Val(response))
        Print #2, mätvärde$
        lbltextHP = "HP: " + mätvärde

        Antal% = Antal% + 1 'uppdatera antal sampel sedan start
        txtAntal.Text = Str$(Antal%)

        Do
            t2$ = Format$(Time - t1, "hh.mm.ss")

```

```

DoEvents           'Släpp prog så andra prog kan köras
If StoppKlick = 1 Then      'prog väntar till nästa sampel
    Exit Sub          'Kolla om prog ska avslutas under tiden
End If
Loop Until t2$ >= txtTid.Text

Loop Until StoppKlick = 1

End Sub

Sub Form_Load()
    cmdStopp.Enabled = False
    dummy2% = 0

    ieee% = OpenName("IEEE") 'Initiering av GPIB (IEEE-488)
    If ieee = -1 Then
        MsgBox "Kan inte initiera IEEE-systemet"
        End
    End If

    PREMA5017% = CheckListener(ieee%, 10, -1)  'kollar om PREMA-instrumentet är anslutet
    If PREMA5017% = 1 Then
        devPRE = OpenName("PREMA") 'PREMA enl config i drivrutinen
        Else MsgBox "Hittar inte PREMA-instrumentet på adress 10"
        Exit Sub

        dummyPRE% = ioClear(devPRE%)

        End If

        HP34401% = CheckListener(ieee%, 12, -1)  'kollar om HP34401-instrumentet är anslutet
        If HP34401% = 1 Then
            devHP = OpenName("HPMULTI") 'HP34401 enl config i drivrutinen
            Else MsgBox "Hittar inte HP-instrumentet på adress 12"
            Exit Sub
        End If

        dummyHP% = ioClear(devHP%)

    End Sub

    Sub Form_Unload (Cancel As Integer)
        dummy1% = ioClear(dev%)
        loaderName$ = "Driver488 Loader"  'Unload the IEEE driver
        winName$ = "Driver488/WIN"
        Hdriver% = FindWindow(loaderName$, winName$)
        asdf = SendMessage(Hdriver%, &H2, 0, 0)
    End Sub

    Sub txtFil_GotFocus ()
        txtFil.SelStart = 0
        txtFil.SelLength = Len(txtFil.Text)
    End Sub

    Sub txtTid_GotFocus ()
        txtTid.SelStart = 0
        txtTid.SelLength = Len(txtFil.Text)
    End Sub

    Sub txtTid_LostFocus ()
        If txtTid.Text < "00.00.01" Then
            MsgBox ("Pga födröjning vid inläsning av data, måste ett längre tidsintervall anges!")
        End If
    End Sub

```

G.3 Program till 16-bitars A/D-omvandlare

'Fil TerAD16b.MAK=====

' Programmet läser in en spänning på vald kanal till en 16-bitars
'A/D-omvandlare om omvandlar sifervördet tillbaka till spänning

'Mycket av programmet har hämtats från en annan fil: Ulai11.MAK

Const BoardNum = 0 ' Board number

Dim t1 As Variant

Dim t2 As String

Dim dummy As Integer

Sub cmdStartConvert_Click ()

cmdStartConvert.Visible = 0 'Aktivera/avaktivera knappar

cmdStartConvert.Default = 0

cmdStopConvert.Visible = 1

cmdStopConvert.Default = 1

txtFil.Enabled = 0

txtTid.Enabled = 0

Open txtFil.Text For Append Access Write As #2 'Öppna en fil

If dummy% = 1 Then

Print #2, "<<<Här har mätningen tillfälligt avbrutits (" & Format\$(Now, "yy-mm-dd") & ") >>>"

ElseIf dummy2% = 0 Then

Print #2, "-----"

Print #2, "Denna mätning påbörjades " & Format\$(Now, "yyyy-mm-dd")

dummy% = 1

End If

Call DataIn

End Sub

Sub cmdStopConvert_Click ()

txtFil.Enabled = 1 'Aktivera knapparna igen

txtTid.Enabled = 1

End

End Sub

Sub DataIn ()

'gör en första avläsning för att För att aktivera A/D-omvandlaren
' och för att få bort de störningar som finns under de första sek

Chan% = 6 'Kanal 6 som ingång

Gain% = Val(lbGainCodeVal.Caption) 'ställ in den valda förstärkningen

ULStat% = cbAIn%(BoardNum, Chan%, Gain%, DataValue%) 'Starta A/D-omvandling

If ULStat% <> 0 Then Stop

t1 = Time ' fördräjning för att få bort störningar i början

Do

t2\$ = Format\$(Time - t1, "hh.mm.ss")

DoEvents

If cmdStopConvert = 1 Then

Exit Sub

```

    End If
Loop Until t2$ >= "00.00.10" '10 sek födröjning

Do
    t1 = Time

    summa = 0    'Medelvärdesberäkning
    n = 1
    For n = 1 To Val(txtAntalMedel.Text)

        ' Parameters:
        ' BoardNum   :the number used by CB.CFG to describe this board
        ' Chan%      :the input channel number
        ' Gain%      :the gain for the board.
        ' DataValue% :the name for the value collected

        'Chan% = Val(txtNumChan.Text)
        Chan% = 6
        Gain% = Val(lblGainCodeVal.Caption)
        MaxVal = Val(lblMaxVal.Caption)
        MinVal = Val(lblMinVal.Caption)

        ULStat% = cbAIn%(BoardNum, Chan%, Gain%, DataValue%)
        If ULStat% <> 0 Then Stop

        lblShowData.Caption = Format$(DataValue%, "0")

        '***** CONVERT RAW DATA VALUES TO VOLTAGES *****
        Data16& = DataValue%
        'För att korrigera för A/D-omvandlarens skala
        If DataValue% < 0 Then    'omvandlas det digitala värdet
            Data16& = Data16& + 65536 'till spänningen på ingången
        End If

        Volts = (MaxVal - MinVal) * Data16& / 65536 + MinVal
        lblShowCalcResults.Caption = Format$(Volts, "0.0000 \V\o\l\ts")

        '-----
        summa = summa + Volts
        Next n
        medelv# = summa / (n - 1) 'Beräkna medel
        lblShowMedelvärde.Caption = Format$(medelv#, "0.0000") 'Visa medelvärde

        'Spara medelvärdet i fil
        Print #2, Format$(Now, "yy-mm-dd hh:mm:ss") & Chr$(9);
        'Print #2, Time & mellanslag (Chr$(9))
        Print #2, Format$(medelv#, "0.0000")

        'Antal% = Antal% + 1
        'txtAntal.Text = Str$(Antal%)

        Do
            t2$ = Format$(Time - t1, "hh.mm.ss")
            DoEvents          'Vänta till nästa sampeltillfälle och släpp prog
            If cmdStopConvert = 1 Then 'under tiden så andra prog kan köras
                Exit Sub      'samt kolla om programmet ska avslutas
            End If
        Loop Until t2$ >= txtTid.Text

        Loop Until StoppKlick = 1

    End Sub

    Sub Form_Load ()
        ' Initiate error handling

```

```
' Parameters:
' PRINTALL :all warnings and errors encountered will be printed
' DONTSTOP :if an error is encountered, the program will not stop,
'             errors must be handled locally
```

```
ULStat% = cbErrHandling%(PRINTALL, DONTSTOP)
If ULStat% <> 0 Then Stop
```

```
lblGainCode.Caption = "BIP5VOLTS" 'initialize gain
lblGainCodeVal.Caption = Format$(BIP5VOLTS, "0")
lblMinVal.Caption = "-5" 'Defaultvärden för förstärkning
lblMaxVal.Caption = "5"
```

```
dummy% = 0
```

```
End Sub
```

```
Sub opt1_25VBip_Click () 'Förstärkning 1,25 Volt max
```

```
lblGainCode.Caption = "BIP1PT25VOLTS"
lblGainCodeVal.Caption = Format$(BIP1PT25VOLTS, "0")
lblMinVal.Caption = "-1,25"
lblMaxVal.Caption = "1,25"
```

```
End Sub
```

```
Sub opt10VBip_Click () 'Förstärkning 10 Volt max
```

```
lblGainCode.Caption = "BIP10VOLTS"
lblGainCodeVal.Caption = Format$(BIP10VOLTS, "0")
lblMinVal.Caption = "-10"
lblMaxVal.Caption = "10"
```

```
End Sub
```

```
Sub opt2_5VBip_Click () 'Förstärkning 2,5 Volt max
```

```
lblGainCode.Caption = "BIP2PT5VOLTS"
lblGainCodeVal.Caption = Format$(BIP2PT5VOLTS, "0")
lblMinVal.Caption = "-2,5"
lblMaxVal.Caption = "2,5"
```

```
End Sub
```

```
Sub opt5VBip_Click () 'Förstärkning 5 Volt max
```

```
lblGainCode.Caption = "BIP5VOLTS"
lblGainCodeVal.Caption = Format$(BIP5VOLTS, "0")
lblMinVal.Caption = "-5"
lblMaxVal.Caption = "5"
```

```
End Sub
```

H. Datablad till komponenter



Low Cost, Low Power Instrumentation Amplifier

AD620

FEATURES

EASY TO USE

Gain Set with One External Resistor

(Gain Range 1 to 1000)

Wide Power Supply Range (± 2.3 V to ± 18 V)

Higher Performance than Three Op Amp IA Designs

Available in 8-Pin DIP and SOIC Packaging

Low Power, 1.3 mA max Supply Current

EXCELLENT DC PERFORMANCE ("A GRADE")

125 μ V max, Input Offset Voltage (50 μ V max

"B" Grade)

1 μ V/ $^{\circ}$ C max, Input Offset Drift

2.0 nA max, Input Bias Current

93 dB min Common-Mode Rejection Ratio ($G = 10$)

LOW NOISE

9 nV/ \sqrt Hz, @ 1 kHz, Input Voltage Noise

0.28 μ V p-p Noise (0.1 Hz to 10 Hz)

EXCELLENT AC SPECIFICATIONS

120 kHz Bandwidth ($G = 100$)

15 μ s Settling Time to 0.01%

APPLICATIONS

Weigh Scales

ECG and Medical Instrumentation

Transducer Interface

Data Acquisition Systems

Industrial Process Controls

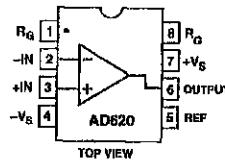
Battery Powered and Portable Equipment

PRODUCT DESCRIPTION

The AD620 is a low cost, high accuracy instrumentation amplifier which requires only one external resistor to set gains of 1 to 1000. Furthermore, the AD620 features 8-pin SOIC and DIP packaging that is smaller than discrete designs, and offers lower

CONNECTION DIAGRAM

8-Pin Plastic Mini-DIP (N), Cerdip (Q) and SOIC (R) Packages

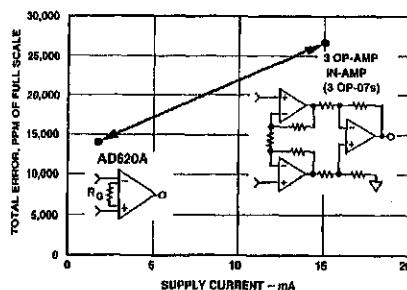


TOP VIEW

power (only 1.3 mA max supply current), making it a good fit for battery powered, portable (or remote) applications.

The AD620, with its high accuracy of 40 ppm maximum nonlinearity, low offset voltage of 50 μ V max and offset drift of 0.6 μ V/ $^{\circ}$ C max, is ideal for use in precision data acquisition systems, such as weigh scales and transducer interfaces. Furthermore, the low noise, low input bias current, and low power of the AD620 make it well suited for medical applications such as ECG and noninvasive blood pressure monitors.

The low input bias current of 1.0 nA max is made possible with the use of Superbeta processing in the input stage. The AD620 works well as a preamplifier due to its low input voltage noise of 9 nV/ \sqrt Hz at 1 kHz, 0.28 μ V p-p in the 0.1 Hz to 10 Hz band, 0.1 pA/ \sqrt Hz input current noise. Also, the AD620 is well suited for multiplexed applications with its settling time of 15 μ s to 0.01% and its cost is low enough to enable designs with one in amp per channel.



Three Op Amp IA Designs vs. AD620

ORDERING GUIDE

Model	Temperature Range	Package Option*
AD620AN	-40°C to +85°C	N-8
AD620BN	-40°C to +85°C	N-8
AD620AR	-40°C to +85°C	R-8
AD620BR	-40°C to +85°C	R-8
AD620A Chips	-40°C to +85°C	Die Form
AD620SQ/883B	-55°C to +125°C	Q-8

*N = Plastic DIP; Q = Cerdip; R = SOIC. For outline information see Package Information section.

REF-02

5 V Spänningsreferens

REF 02 har förutom spänningsutgång även en utgång för temperatur 2,1 mV/ $^{\circ}$ C.

Temperaturstabilitet: 20 ppm/ $^{\circ}$ C

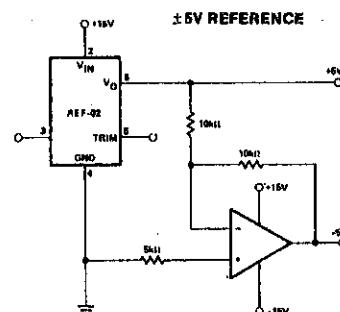
Temperaturområde: 0–70 $^{\circ}$ C

Brus: 12 μ V_u

Matningsspänning: 8–33 V

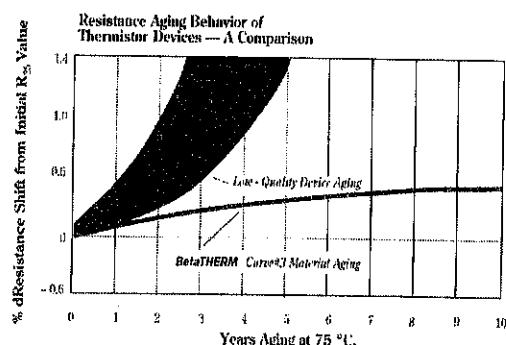
Kapsel: 8 pin DIL

Utgången är trimbar \pm 300 mV



I

Data om termistorstabilitet från Betatherm



BetaCURVE R - T CURVE MATCHING ACCURACY, STABILITY AND RELIABILITY are all inherently influenced by **BetaTHERM's** stringent control of high purity materials and processing variables. Quality Control plays a major role in assigning traceable lot numbers on all batches of material and qualifying each wafer lots electrical characteristics prior to release to inventory or production. With **BetaTHERM's** Advanced Chip Manufacturing Technology **BetaCURVE** devices are available in volume quantities with curve matching accuracy of $\pm 0.2^\circ\text{C}$. over temperature range 0°C . to 70°C .

NOTE: Nominal Resistance - Temperature tabulations for standard **BetaCURVE** sensors can be found on pages 15 - 19.

TYPICAL AGING STABILITY BEHAVIOR FOR MATERIAL #3 (75 DEG. C.)

Aging time Years at 75 °C.	Change in Value from 0 Vr	%dR	dT °C.
Initial	0.00	0.000	
1	+0.05	- 0.011	
2	+0.10	- 0.022	
3	+0.15	- 0.033	
4	+0.20	- 0.044	
5	+0.25	- 0.056	
6	+0.30	- 0.067	
7	+0.35	- 0.077	
8	+0.40	- 0.087	
9	+0.45	- 0.097	

Device: **BetaCURVE 5K0A1**

STABILITY - RELIABILITY: Sensor Long Term Stability is the most important attribute for high reliability use, particularly for applications involving **BetaCURVE** Interchangeable Sensors. System designers take great pains in developing circuitry and thermistor sensor specifications which assure accurate, long term measurement capability. Their efforts would be useless if the R-T Characteristics were to "drift" beyond acceptable limits. **BetaCURVE** high quality thermistors have exceptional low resistance drift with respect to long term (time) at elevated temperatures.

