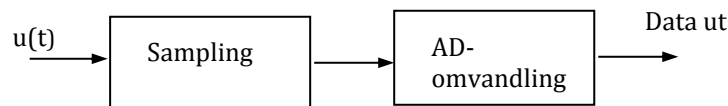




TENTAMEN

KURSNAMN	Elektriska mätsystem och mätmetoder
PROGRAM:	Elektroingenjör Åk 2 / lp 3
KURSBETECKNING	LET 271
EXAMINATOR	Göran Hult
TID FÖR TENTAMEN	2014-03-13, Kl 14.00-18.00
HJÄLPMEDEL	Typgodkänd miniräknare
ANSV LÄRARE: Telnr Besöker tentamen	Göran Hult 070-5589009 Ca Kl 15.00 och 17.00
DATUM FÖR ANSLAG	Granskning se kurshemsida
ÖVRIG INFORM.	Tentamen består av 50 poäng Betygsgränser: 20/30/40

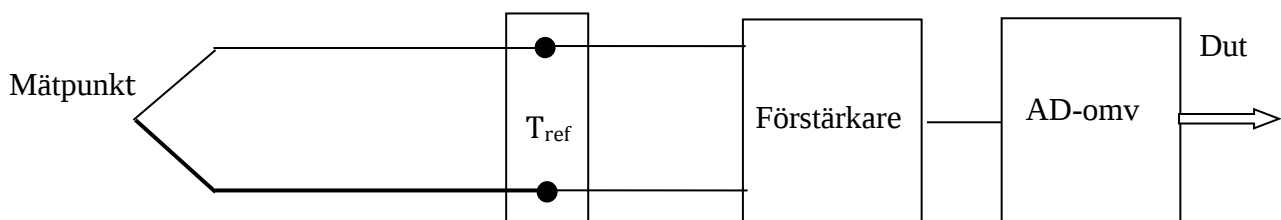
- 1a** Vad menas med skenbar töjning i samband med resistiva töjningsgivare?
Ange 2 metoder som reducerar problemet med skenbar töjning. (1p)
- 1b** Ange 2 fördelar och 2 nackdelar med NTC-motstånd i jämförelse med Pt-100 givare (2p)
- 1c** Rita en skiss på hur en piezoelektrisk accelerometer är uppbyggd samt förklara kort dess funktion? (1p)
- 1d** Vad är fördelarna respektive nackdelarna med ett Chebyshevfilter i förhållande till ett Butterworthfilter? (1p)
- 1e** Hur skyddar man sig mot induktivt kopplade störningar?
Ange den viktigaste metoden samt ytterligare en metod. (1p)
- 2.** Betrakta nedanstående datainsamlingssystem som samplar signalen $u(t)$ och därefter kvantiserar den i en AD-omvandlare.



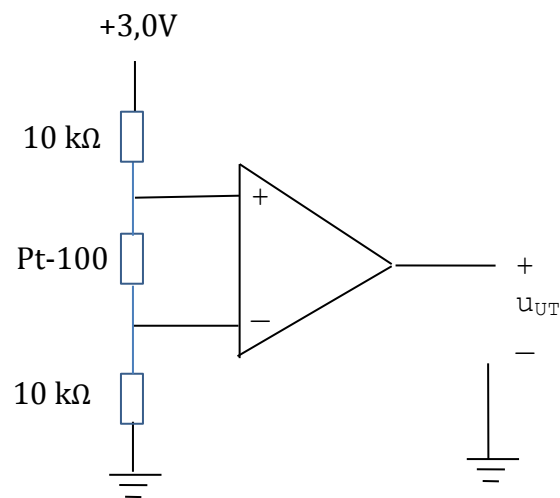
Antag att: $u(t) = 4,5 + 4,5\sin(2\pi ft)$ [V] där $0 < f < 700\text{kHz}$

- a) Bestäm lämplig samplingshastighet vid samplingen! Motivera svaret! (1p)
- b) Bestäm lämplig referensspänning för AD-omvandlare! Motivera svaret! (1p)
- c) Hur många bitar bör AD-omvandlaren arbeta med om man vill att datainsamlingssystemet ska kunna detektera ändringar i $u(t)$ som är 0,65 mV. (1p)

- 3.** Figuren nedan visar en koppling med ett termoelement Typ-T kopplad till en förstärkare med förstärkningen 100 gånger och en 8-bitars AD-omvandlare vars referensspänning är +5V.
Termoelementets referenspunkt har temperaturen 25 °C. Bestäm inom vilket intervall temperaturen i mätpunkten ligger om värdet på AD-omvandlarens utgång $D_{ut}=23$. (4p)



4. En instrumentförstärkare används för att förstärka signalen från en Pt-100 givare som är kopplad enligt figur nedan. Instrumentförstärkaren har enligt databladet en Normal-Mode förstärkning på 100 gånger samt CMRR på 60dB. Bestäm Pt-100 givarens temperatur då $u_{UT} = 865 \text{ mV}$. (5p)



5. Betrakta signalen $x(t) = 6 + 3\cos(500\pi t - 70^\circ) + \sin(1000\pi t + 50^\circ) - 4\cos(3000\pi t)$.
Antag att signalen samplas med 5 kS/s i 40 punkter.
Rita beloppet av DFT-spektrat, $|X(k)|$, för $k \geq 0$. Det räcker att rita en period av $|X(k)|$.
Gradera både vertikal- och horisontalaxeln. (4p)

6. En sinusoscillator är ansluten till ett digitalt minnesoscilloskop. Då man låter sinusoscillatorns utfrekvens, f_{osc} , ändra sig från 100 kHz till 250 kHz ser man till sin förvåning att man kan avläsa exakt samma frekvens f_1 på oscilloskopets skärm då sinusoscillatorns utfrekvens är enligt nedan:

$f_{osc} = 101800 \text{ Hz}$
 $f_{osc} = 148200 \text{ Hz}$
 $f_{osc} = 151800 \text{ Hz}$
 $f_{osc} = 198200 \text{ Hz}$
 $f_{osc} = 201800 \text{ Hz}$
 $f_{osc} = 248200 \text{ Hz}$

Vilken samplingshastighet är oscilloskopet inställt på under försöket?

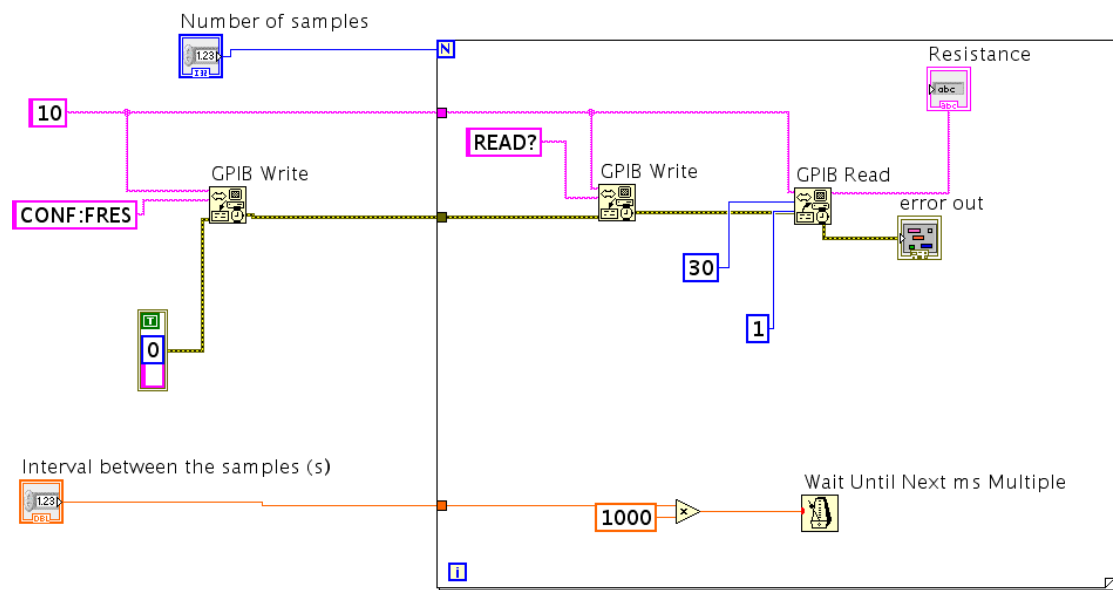
Antag att oscilloskopets inställningar inte ändrat sig under försöket samt att det inte finns några andra utfrekvenser från oscillatorn mellan 100 kHz och 250 kHz som ger frekvensen f_1 på oscilloskopskärmen.

(3p)

7.

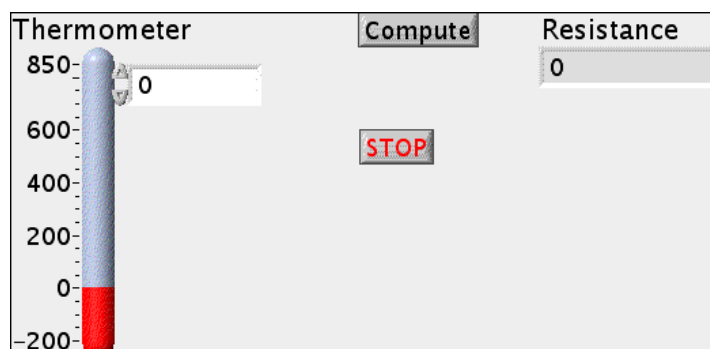
Nedanstående figur visar diagramfönster för ett LabVIEW-program som kommunicerar med en multimeter.

- a) Vad gör kommandot "CONF:FRES"? (1p)
- b) Vad gör kommandot "READ?" (1p)
- c) Varför är det viktigt att koppla "error clusters" mellan alla GPIB-block? (1p)

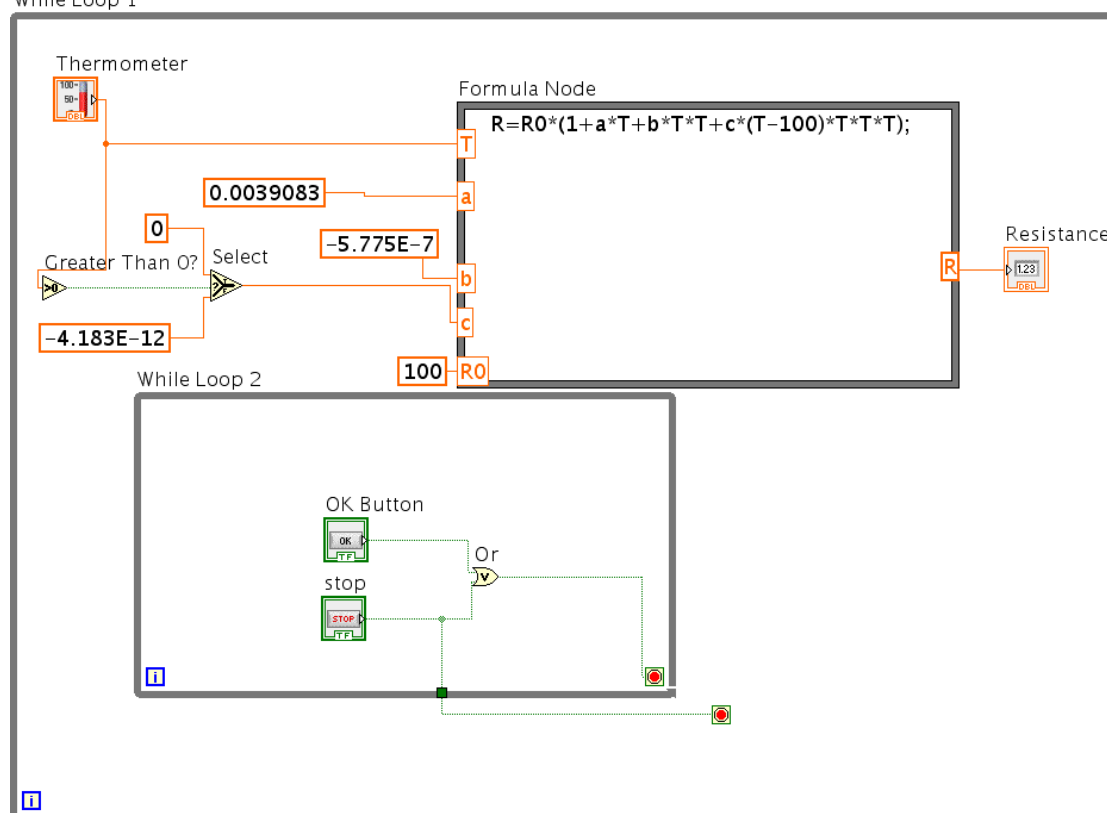


8.

Nedanstående figurer visar panelfönster och tillhörande diagramfönster för ett LabVIEW-program som beräknar resistansen hos en kommersiell Pt100 givare som en funktion av temperaturen i intervallet -200 °C, 850 °C.



While Loop 1



a) Vilka programstrukturer finns i programmet. (1p)

b) Skriv formeln som relaterar temperaturen till resistansen. Notera: formeln vi sett i klassen är en god approximation av denna formel för ett litet temperaturområde (0°C-100°C). (2p)

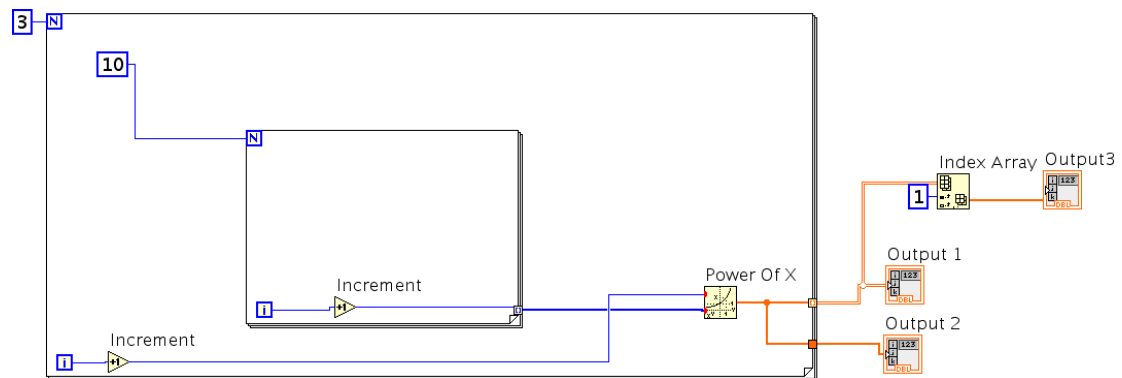
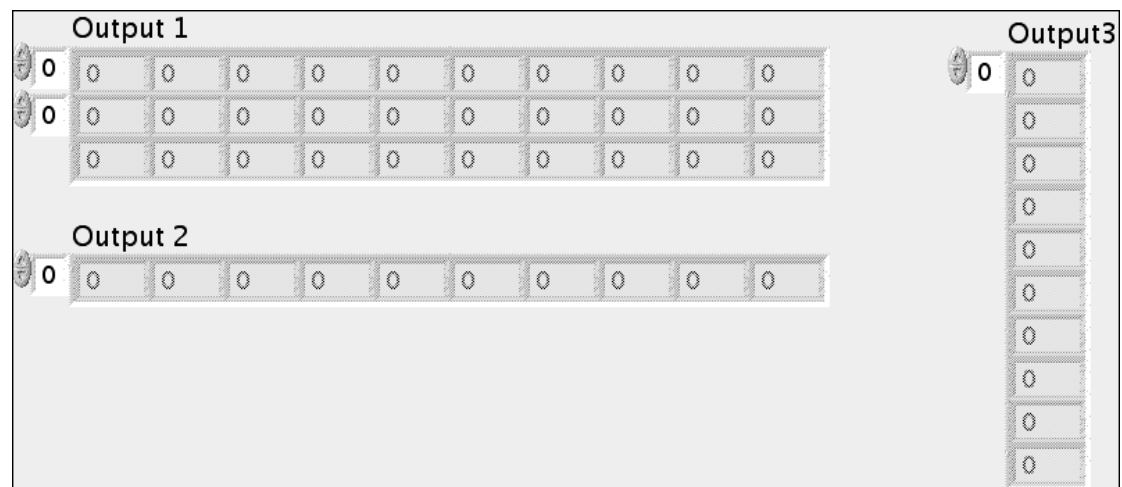
c) Du kör programmet och ställer in termometern på 0 °C, sen trycker du på *compute*. Vad läser du i indikatorn *Resistance*? Du ställer sedan in termometern till 100 °C grader och trycker på *compute*. Vad kommer du avläsa i indikatorn *Resistance*? (1p)

d) Tänk dig nu att *Thermometer*-kontrollen flyttas utanför *While Loop 1*. Upprepa stegen i punkt c). Vad läser du när du ställer termometern till 0 °C och trycker på *compute*? Vad läser du när du ställer termometern på 100 °C och trycker på *compute*? (1p)

e) Tänk dig nu att *Thermometer*-kontrollern och *formula nodes* sätts inom *While Loop 2*, medan *Resistance*-indikatorn är kvar där den är. Vilka skillnader ser du i hur programmet fungerar? (2p)

9.

Nedanstående figurer visar panelfönster och tillhörande diagramfönster för ett LabVIEW-program.



a) Vad innehåller Output1 efter att programmet har körts? (3p)

b) Vad innehåller Output2 efter att programmet har körts? (1p)

c) Vad innehåller Output3 efter att programmet har körts? (1p)

10

En HP34401 multimeter används för att mäta resistansen hos en Pt 100 (med 4-trådsmetoden). De uppmätta värdena är:

109,0983 Ohm
 109,0802 Ohm
 108,9881 Ohm
 109,0861 Ohm
 109,0345 Ohm
 109,0169 Ohm
 109,0343 Ohm

a) Vad blir mätvärdet för resistansen_ (1p)

b) Bestäm standardavvikelsen för resistansen (Typ A). (1p)

c) Bestäm 95%-iga konfidensintervallet (Tips: Använd tabellen kritiska värden för t-fördelningen). (1p)

d) Enligt multimeterns manual anges noggrannheten till "*0,03% of the measurement plus 0,03% of the range*" (säkra gränser); använd 100 Ohm för *range* (6 ½-siffrig digital multimeter). Beräkna den totala standardavvikelsen (Bestående av både Typ A och Typ B osäkerheter) (2p)

e) Beräkna ett värde på temperaturen . (1p)

f) Antag att

$$\gamma = (3,85 \pm 0,03) \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$R_0 = 100,00 \pm 0,06 \text{ } \Omega$$

(säkra gränser). Beräkna den totala standardavvikelsen på temperaturen. (4p)

Tabell: t-fördelningen

Antal sampel	Kritiskt värde (coverage factor)
2	12,71
3	4,30
4	3,18
5	2,78
6	2,57
7	2,45
8	2,37

Hjälprutor

While Loop



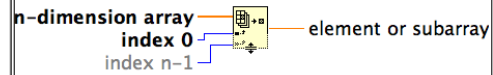
Repeats the subdiagram inside it until the conditional terminal, an input terminal, receives a particular Boolean value. The Boolean value depends on the continuation behavior of the While Loop. Right-click the conditional terminal and select **Stop if True** or **Continue if True** from the shortcut menu. You also can wire an error cluster to the conditional terminal, right-click the terminal, and select **Stop on Error** or **Continue while Error** from the shortcut menu. The While Loop always executes at least once.

Increment



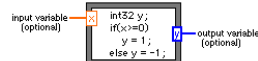
Adds 1 to the input value.

Index Array



Returns the **element or subarray** of **n-dimension array** at **index**.

Formula Node



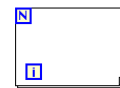
Evaluates mathematical formulas and expressions similar to C on the block diagram. The following built-in functions are allowed in formulas: abs, acos, acosh, asin, asinh, atan, atan2, atanh, ceil, cos, cosh, cot, csc, exp, expm1, floor, getexp, getman, int, intrz, ln, lnp1, log, log2, max, min, mod, pow, rand, rem, sec, sign, sin, sinc, sinh, sizeofDim, sqrt, tan, tanh. There are some differences between the parser in the Mathematics VIs and the Formula Node.

Greater Than 0?



Returns **TRUE** if **x** is greater than 0. Otherwise, this function returns **FALSE**.

For Loop



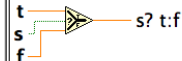
Executes its subdiagram **n** times, where **n** is the value wired to the count (**N**) terminal. The iteration (**i**) terminal provides the current loop iteration count, which ranges from 0 to **n-1**.

Wait Until Next ms Multiple



Waits until the value of the millisecond timer becomes a multiple of the specified **millisecond multiple**. Use this function to synchronize activities. You can call this function in a loop to control the loop execution rate. However, it is possible that the first loop period might be short. Wiring a value of 0 to the **milliseconds multiple** input forces the current thread to yield control of the CPU.

Select



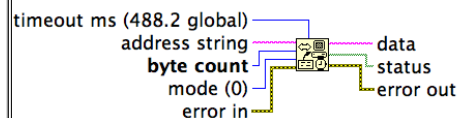
Returns the value wired to the **t** input or **f** input, depending on the value of **s**. If **s** is **TRUE**, this function returns the value wired to **t**. If **s** is **FALSE**, this function returns the value wired to **f**.

Power Of X



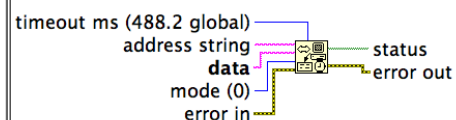
Computes **x** raised to the **y** power.

GPIO Read



Reads **byte count** number of bytes from the GPIO device at **address string**.

GPIO Write



Writes **data** to the GPIO device identified by **address string**.

Formelsamling i elektrisk mätteknik 2014

Resistans i ledare

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A} \quad \text{där} \quad \rho = 1,7 \cdot 10^{-2} \quad [\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}] \quad \text{för koppar}$$

Wheatstonebrygga

Kvartsbrygga:
$$U_b = \frac{dR}{4 \cdot R + 2 \cdot dR} \cdot U \approx \frac{1}{4} \cdot \frac{dR}{R} \cdot U \quad \text{då} \quad dR \ll R$$

Halvbrygga:
$$U_b \approx \frac{1}{2} \cdot \frac{dR}{R} \cdot U \quad \text{då} \quad dR \ll R$$

Helbrygga:
$$U_b = \frac{dR}{R} \cdot U$$

Motståndstermometer

$$R = R_0(1 + \gamma T), \quad \text{där} \quad T = \text{Temperatur i } [^{\circ}\text{C}]$$
$$\gamma = 3,85 \cdot 10^{-3} [^{\circ}\text{C}^{-1}] \quad \text{för platina}$$
$$\gamma = 6,75 \cdot 10^{-3} [^{\circ}\text{C}^{-1}] \quad \text{för nickel.}$$
$$\gamma = 4,33 \cdot 10^{-3} [^{\circ}\text{C}^{-1}] \quad \text{för koppar.}$$

Termoelement

$$U = E_{AB}(T_2 \rightarrow 0^{\circ}) - E_{AB}(T_1 \rightarrow 0^{\circ})$$

Töjningsgivare

$$\varepsilon = \frac{dL}{L} \quad r = \frac{dR}{R} \quad k_f = \frac{r}{\varepsilon}$$

3. Förstärkare

Förstärkning

$$F = \frac{u_{ut}}{u_{in}} \quad F = 20 \cdot \log \left| \frac{u_{ut}}{u_{in}} \right| \quad [\text{dB}]$$

Instrumentförstärkare

$$u_{ut} = F_{NM} \cdot u_{NM} + F_{CM} \cdot u_{CM}$$

$$CMRR = \frac{F_{NM}}{F_{CM}} \quad CMRR = 20 \cdot \log \left| \frac{F_{NM}}{F_{CM}} \right| \quad [\text{dB}]$$

4. AD-omvandlare

$$\Delta U = \frac{U_{REF}}{2^n} \quad D_{ut} = \text{round} \left(\frac{u_{in}}{\Delta U} \right) \quad u_{in} = D_{ut} \cdot \Delta U \pm \frac{1}{2} \Delta U$$

5. Frekvensanalysatorer

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot e^{-j\omega t} dt$$

$$c_k = X(k) = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) \cdot e^{-jk\omega_0 t} dt, \quad \omega_0 = \frac{2\pi}{T}$$

$$X(\Omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n) \cdot e^{-j\Omega n} \quad \Omega = 2\pi \frac{f}{f_s} \quad c_k = X(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot e^{-jk\Omega_0 n}, \quad \Omega_0 = \frac{2\pi}{N}$$

$$\text{DFT: } X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot e^{-jk\Omega_0 n}, \quad \Omega_0 = \frac{2\pi}{N} \quad \Delta f = \frac{f_s}{N}$$

6. Medelvärdesbildning

$$\text{Väntevärde: } E(X) = \mu \approx \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

$$\text{Varians: } V(X) = \sigma^2 \approx \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2$$

$$SNR = \frac{\mu}{\sigma}$$

$$\text{Medelvärdesbildning: } \sigma_{ny} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

8. Anslutning av mätsignalen

$$\text{Reflektionskoefficient: } r = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

9. Databehandling

Polynomansättning: $f(x) = c_0 + c_1x + c_2x^2 + \dots$ Minstakvadratlösningen ges av:

$$C = (A^T A)^{-1} A^T M, \text{ där}$$

$$C = \begin{pmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_2 \\ \vdots \end{pmatrix} = \text{Koefficientmatrisen}$$

$$A = \begin{pmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 & \dots \\ 1 & x_2 & x_2^2 & \dots \\ 1 & x_3 & x_3^2 & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{pmatrix} = \text{Observationsmatrisen}$$

$$M = \begin{pmatrix} y_1^m \\ y_2^m \\ y_3^m \\ \vdots \end{pmatrix} = \text{Mätdata matrisen}$$

10. Mätosäkerheten

$$y_0 = \hat{y} \pm 2 \cdot u(\hat{y}), \quad \text{där} \quad u^2(\hat{y}) = \sum_i u_i^2(y) = \text{totala variansen.}$$

Typ A-osäkerhet: $u(y) = \frac{s(y)}{\sqrt{n}}$ där $s(y)$ = standardavvikelsen (uppskattad) och n = antalet medelvärdesbildningar.

Typ B-osäkerhet (homogen fördelning): $u(y) = \frac{1}{\sqrt{3}} \delta y$, där δy är de säkra gränserna i en homogen fördelning.

Sammansatt mätstorhet: $y_0 = f(x_1, x_2, \dots, x_N) \Rightarrow u_i(\hat{y}) = c_i \cdot u(x_i)$, där

$$c_i = \text{känslighetskoefficienten} = \left. \frac{\partial f}{\partial x_i} \right|_{x_i = \hat{x}_i}$$

$$u^2(\hat{y}) = \sum_i u_i^2(\hat{y}) = \sum_i \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \cdot u^2(x_i)$$

11. Störningar i mätsystem

Johnsonbrus: $e_N = \sqrt{4kTRB}$, där $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \left[\frac{\text{J}}{\text{K}} \right]$, T = Temperatur i [K]

Brustäthet: $\alpha = \frac{e_N}{\sqrt{B}} \left[\frac{\text{V}}{\sqrt{\text{Hz}}} \right]$

13. Mätsystemets dynamiska egenskaper

1:a ordningens system: $H(s) = \frac{K}{s \cdot \tau_0 + 1}$ $B = \frac{1}{2\pi\tau_0} \text{ [Hz]}$

Stigtid: $t_r \approx 2,2 \cdot \tau_0 \approx \frac{0,35}{B}$ Total stigtid: $t_{r,tot} = \sqrt{t_{r1}^2 + t_{r2}^2 + t_{r3}^2 + \dots}$

2:a ordningens system: $H(s) = \frac{1}{\frac{1}{\omega_0^2} s^2 + \frac{2\zeta}{\omega_0} s + 1}$ där:

ω_0 = odämpade egenfrekvensen

ζ = dämpfaktorn

Termoelementstabell, typ-T

Nedan följer en tabell över termoelementk:n (i mV) för ett termoelement av typ T. Typ T består av koppar-konstantan¹ och används i intervallet -260 C till 390 C.

°C	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1
-260	-6,258	-6,256	-6,255	-6,253	-6,251	-6,248	-6,245	-6,242	-6,239	-6,236
-250	-6,232	-6,228	-6,223	-6,219	-6,214	-6,209	-6,204	-6,198	-6,193	-6,187
-240	-6,180	-6,174	-6,167	-6,160	-6,153	-6,146	-6,138	-6,130	-6,122	-6,114
-230	-6,105	-6,096	-6,087	-6,078	-6,068	-6,059	-6,049	-6,038	-6,028	-6,017
-220	-6,007	-5,996	-5,985	-5,973	-5,962	-5,950	-5,938	-5,926	-5,914	-5,901
-210	-5,888	-5,876	-5,863	-5,850	-5,836	-5,823	-5,809	-5,795	-5,782	-5,767
-200	-5,753	-7,739	-5,724	-5,710	-5,695	-5,680	-5,665	-5,650	-5,634	-5,619
-190	-5,603	-5,587	-5,571	-5,555	-5,539	-5,523	-5,506	-5,489	-5,473	-5,456
-180	-5,439	-5,421	-5,404	-5,387	-5,369	-5,351	-5,334	-5,316	-5,297	-5,279
-170	-5,261	-5,242	-5,224	-5,205	-5,186	-5,167	-5,148	-5,128	-5,109	-5,089
-160	-5,070	-5,050	-5,030	-5,010	-4,989	-4,969	-4,949	-4,928	-4,907	-4,886
-150	-4,865	-4,844	-4,823	-4,802	-4,780	-4,759	-4,737	-4,715	-4,693	-4,671
-140	-4,648	-4,626	-4,604	-4,581	-4,558	-4,535	-4,512	-4,489	-4,466	-4,443
-130	-4,419	-4,395	-4,372	-4,348	-4,324	-4,300	-4,275	-4,251	-4,226	-4,202
-120	-4,177	-4,152	-4,127	-4,102	-4,077	-4,052	-4,026	-4,000	-3,975	-3,949
-110	-3,923	-3,897	-3,871	-3,844	-3,818	-3,791	-3,765	-3,738	-3,711	-3,684
-100	-3,657	-3,629	-3,602	-3,574	-3,547	-3,519	-3,491	-3,463	-3,435	-3,407
-90	-3,379	-3,350	-3,322	-3,293	-3,264	-3,235	-3,206	-3,177	-3,148	-3,118
-80	-3,089	-3,059	-3,030	-3,000	-2,970	-2,940	-2,910	-2,879	-2,849	-2,818
-70	-2,788	-2,757	-2,726	-2,695	-2,664	-2,633	-2,602	-2,571	-2,539	-2,507
-60	-2,476	-2,444	-2,412	-2,380	-2,348	-2,316	-2,283	-2,251	-2,218	-2,186
-50	-2,153	-2,120	-2,087	-2,054	-2,021	-1,987	-1,954	-1,920	-1,887	-1,853
-40	-1,819	-1,785	-1,751	-1,717	-1,683	-1,648	-1,614	-1,579	-1,545	-1,510
-30	-1,475	-1,440	-1,405	-1,370	-1,335	-1,299	-1,264	-1,228	-1,192	-1,157
-20	-1,121	-1,085	-1,049	-1,013	-0,976	-0,940	-0,904	-0,867	-0,830	-0,794
-10	-0,757	-0,720	-0,683	-0,646	-0,608	-0,571	-0,534	-0,496	-0,459	-0,421
0	-0,383	-0,345	-0,307	-0,269	-0,231	-0,193	-0,154	-0,116	-0,077	-0,039

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0,000	0,039	0,078	0,117	0,156	0,195	0,234	0,273	0,312	0,352
10	0,391	0,431	0,470	0,510	0,549	0,589	0,629	0,669	0,709	0,749
20	0,790	0,830	0,870	0,911	0,951	0,992	1,033	1,074	1,114	1,155
30	1,196	1,238	1,279	1,320	1,362	1,403	1,445	1,486	1,528	1,570
40	1,612	1,654	1,696	1,738	1,780	1,823	1,865	1,908	1,950	1,993
50	2,036	2,079	2,122	2,165	2,208	2,251	2,294	2,338	2,381	2,425
60	2,468	2,512	2,556	2,600	2,643	2,687	2,732	2,776	2,820	2,864
70	2,909	2,953	2,998	3,043	3,087	3,132	3,177	3,222	3,267	3,312
80	3,358	3,403	3,448	3,494	3,539	3,585	3,631	3,677	3,722	3,768
90	3,814	3,860	3,907	3,953	3,999	4,046	4,092	4,138	4,185	4,232
100	4,279	4,325	4,372	4,419	4,466	4,513	4,561	4,608	4,655	4,702
110	4,750	4,798	4,845	4,893	4,941	4,988	5,036	5,084	5,132	5,180
120	5,228	5,277	5,325	5,373	5,422	5,470	5,519	5,567	5,616	5,665
130	5,714	5,763	5,812	5,861	5,910	5,959	6,008	6,057	6,107	6,156
140	6,206	6,255	6,305	6,355	6,404	6,454	6,504	6,554	6,604	6,654
150	6,704	6,754	6,805	6,855	6,905	6,956	7,006	7,057	7,107	7,158
160	7,209	7,260	7,310	7,361	7,412	7,463	7,515	7,566	7,617	7,668
170	7,720	7,771	7,823	7,874	7,926	7,977	8,029	8,081	8,133	8,185
180	8,237	8,289	8,341	8,393	8,445	8,497	8,550	8,602	8,654	8,707
190	8,759	8,812	8,865	8,917	8,970	9,023	9,076	9,129	9,182	9,235
200	9,288	9,341	9,395	9,448	9,501	9,555	9,608	9,662	9,715	9,769
210	9,882	9,936	9,990	10,043	10,097	10,150	10,204	10,257	10,310	10,363
220	10,417	10,471	10,525	10,579	10,633	10,687	10,741	10,795	10,849	10,903
230	10,957	11,011	11,065	11,119	11,173	11,227	11,281	11,335	11,389	11,443
240	11,497	11,551	11,605	11,659	11,713	11,767	11,821	11,875	11,929	11,983
250	12,037	12,091	12,145	12,199	12,253	12,307	12,361	12,415	12,469	12,523
260	12,577	12,631	12,685	12,739	12,793	12,847	12,901	12,955	13,009	13,063
270	13,117	13,171	13,225	13,279	13,333	13,387	13,441	13,495	13,549	13,603
280	13,657	13,711	13,765	13,819	13,873	13,927	13,981	14,035	14,089	14,143
290	14,197	14,251	14,305	14,359	14,413	14,467	14,521	14,575	14,629	14,683
300	14,737	14,791	14,845	14,899	14,953	15,007	15,061	15,115	15,169	15,223
310	15,277	15,331	15,385	15,439	15,493	15,547	15,601	15,655	15,709	15,763
320	15,817	15,871	15,925	15,979	16,033	16,087	16,141	16,195	16,249	16,303
330	16,357	16,411	16,465	16,519	16,573	16,627	16,681	16,735	16,789	16,843
340	16,897	16,951	17,005	17,059	17,113	17,167	17,221	17,275	17,329	17,383