



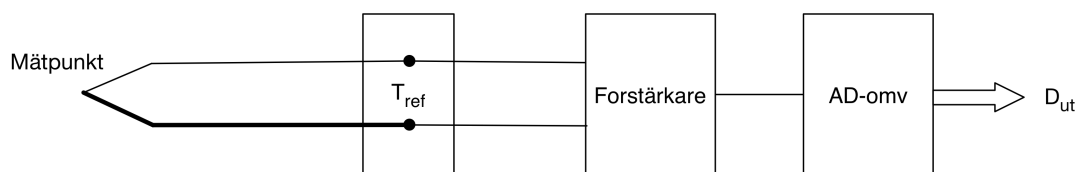
TENTAMEN

KURSNAMN	Elektriska mätsystem och mätmetoder
PROGRAM:	Elektroingenjör Åk 2 / lp 3
KURSBETECKNING	LET 271
EXAMINATOR	Giuseppe Durisi
TID FÖR TENTAMEN	2015-03-19, Kl 14.00-18.00
HJÄLPMEDEL	Typgodkänd miniräknare
ANSV LÄRARE: Telnr Besöker tentamen	Giuseppe Durisi 031 772 18 02 Ca Kl 16.00
DATUM FÖR ANSLAG	Granskning se kurshemsida
ÖVRIG INFORM.	Tentamen består av 50 poäng Betygsgränser: 20/30/40

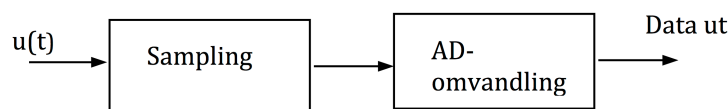
- 1a** Förklara skillnaden mellan aktiva och passiva givare och ge exempel på båda typer av givare. (1p)
- 1b** Lista fördelarna med att använda två töjningsgivare i en Wheatstonebrygga för att mäta töjning, istället för att bara ha en töjningsgivare i Wheatstonebryggan. (1p)
- 1c** Förklara varför man använder laddningsförstärkare då man gör mätningar med piezoelektriska givare. (1p)
- 1d** Lista fördelar och nackdelar med att använda termistorer (till exempel NTC-motstånd) istället för andra typer av temperaturgivare. (1p)
- 1e** Förklara hur skärmade kablar som är jordade i båda ändarna skyddas mot induktivt kopplade störningar. (2p)

2. Figuren nedan visar en koppling med ett termoelement Typ-T kopplad med förstärkningen 1000 gånger och en AD-omvandlare vars referensspänning är +5V. Termoelementets referenspunkt har temperaturen 15 °C.

- a) Vad är den högsta och lägsta temperaturen som kan mätas med systemet? (2p)
- b) Hur många bitar måste AD-omvandlaren arbeta med för att garantera en noggrannhet på 1°C inom det mätbara temperaturintervallet. (2p)



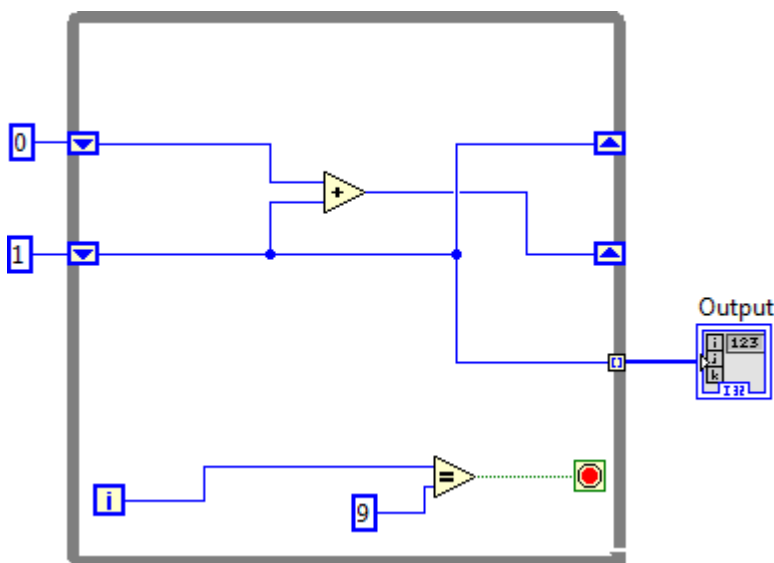
3. Betrakta nedanstående datainsamlingssystem som samplar signalen $u(t)$ och därefter kvantiserar den i en AD-omvandlare.



Antag att $u(t) = 2,5 + 2,5 \cos(2\pi f t + 32^\circ)$, $f < 500$ MHz.

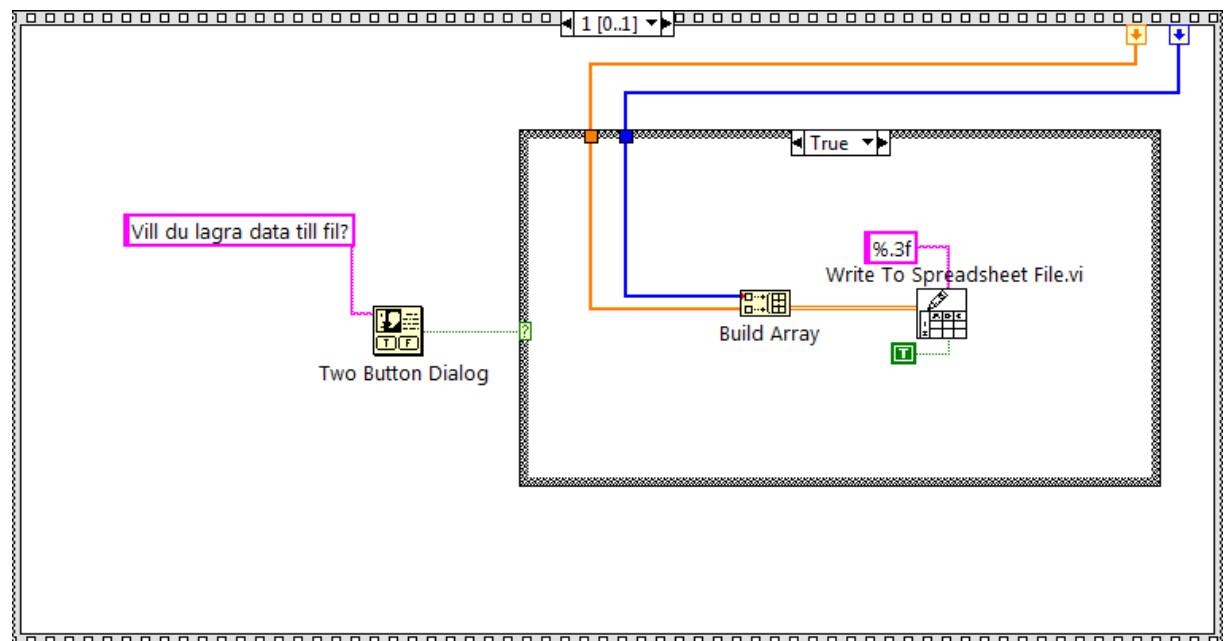
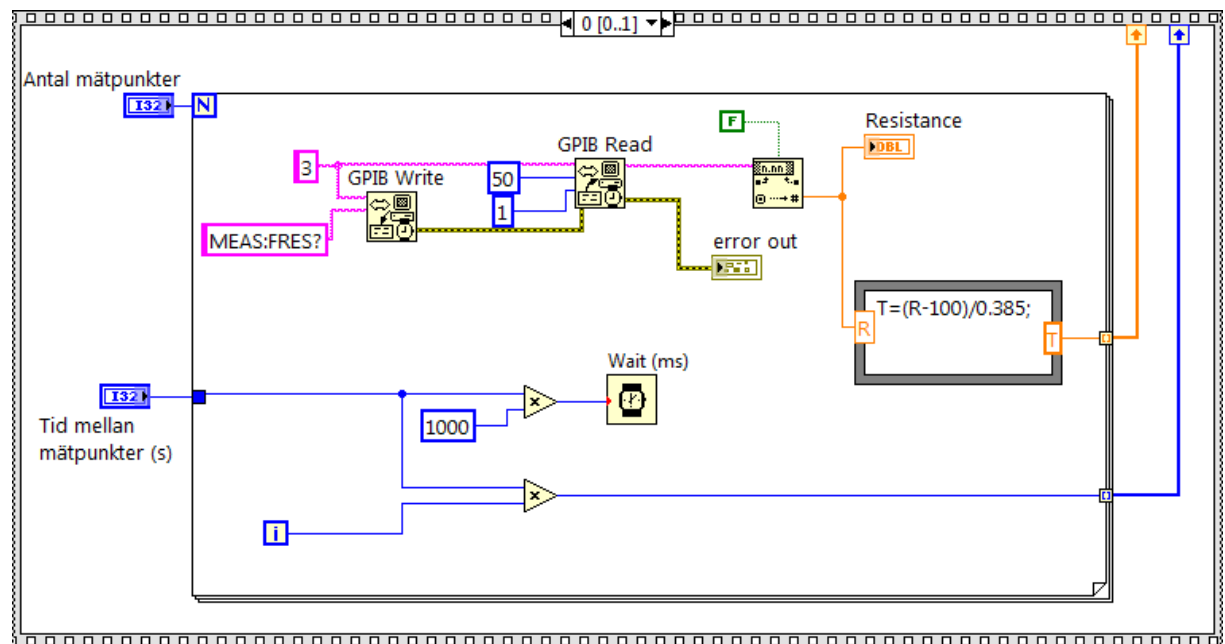
- a) Bestäm lämplig samplingshastighet vid samplingen. Motivera svaret! (1pt)
- b) Bestäm lämplig referensspänning för AD-omvandlaren. Motivera svaret! (1pt)
- c) Hur många bitar bör AD-omvandlaren arbeta med om man vill att datainsamlingssystemet ska kunna detektera ändringar i $u(t)$ som är 1 mV. (1pt)

4. En givare ger utspänningen 2 mV. Dessvärre påverkas givarsignalen av en 50 Hz sinusformad brusspänning vars amplitud är 10 V. Givaren ansluts därför till en instrumentförstärkare. Beräkna den normalmodsförstärkning och CMRR för instrumentförstärkaren som krävs för att givarsignalen ska förstärkas till 2 V och så att sinusstörningen dämpas till mindre än 1 % av den förstärkta givarsignalen. (3p)
5. Betrakta signalen $x(t) = 5 + 3 \cos(100 \pi t + 31^\circ) - 8 \sin(400 \pi t)$. Antag att signalen samplas under 0.2 sekunder med 1 ms samplingsintervall.
- För vilka k-värden och vilka frekvenser förekommer toppar i DFT-spektrumet $|X(k)|$? (3p)
 - Vilken amplitud har topparna? (2p)
6. Signalen $x(t) = 1 - \exp(-t/\tau)$ passerar genom en förstärkare med bandbredden 30 MHz. Den resulterande utsignalen visas på ett oscilloskop med bandbredden 100 MHz. Oscilloskopet visar stigtiden 29 ns.
- Vad är stigtiden för $x(t)$? (2p)
 - Vad är τ ? (2p)
7. Nedanstående figurer visar panelfönster och tillhörande diagramfönster för ett LabVIEW-program.



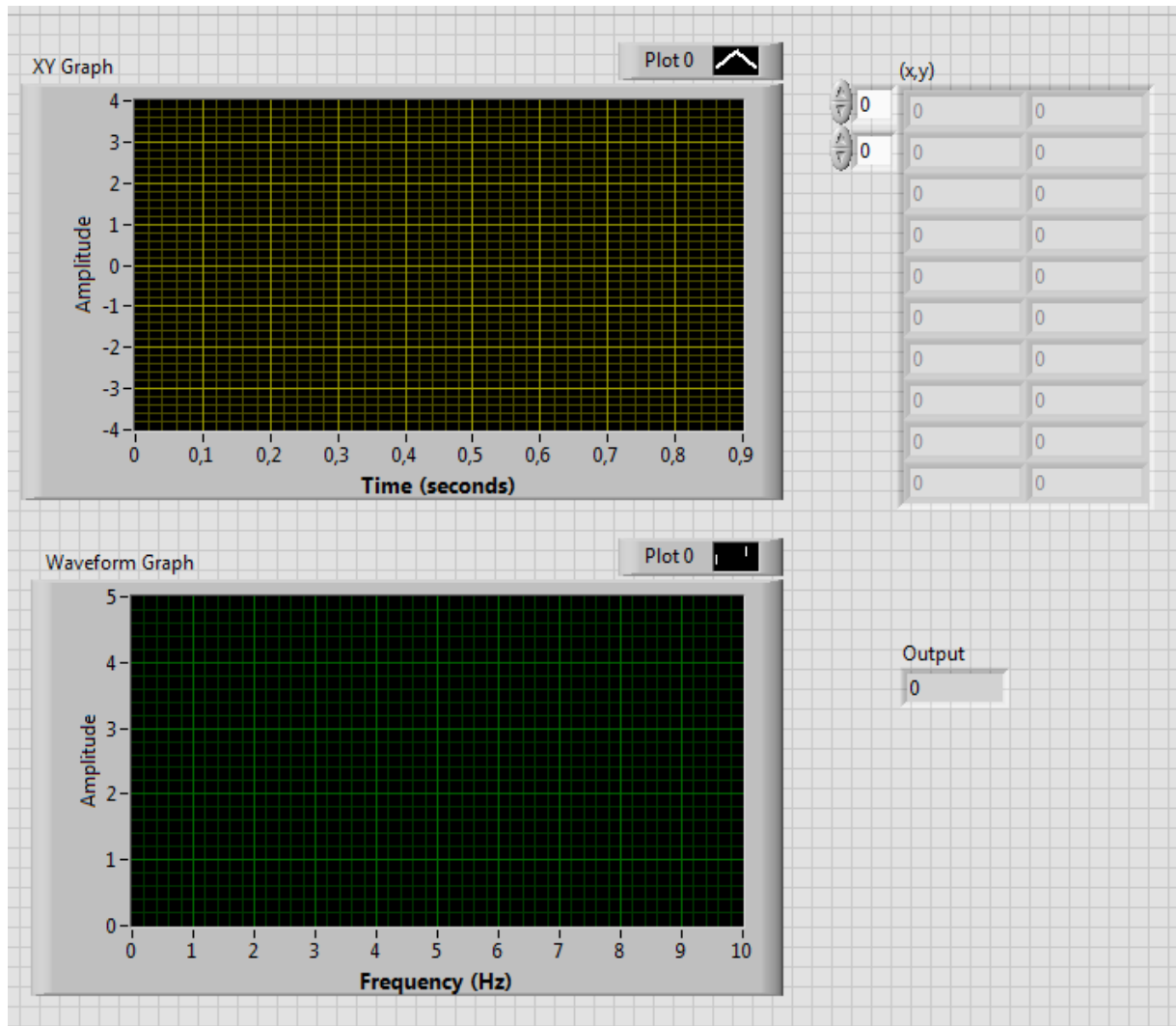
- a) Förklara hur en "While Loop" fungerar i LabVIEW. (1p)
- b) Du kör programmet. Vad läser du av i indikatorn "Output"? (2p)
- c) Förklara hur ett "Shift Register" fungerar i LabVIEW. (2p)

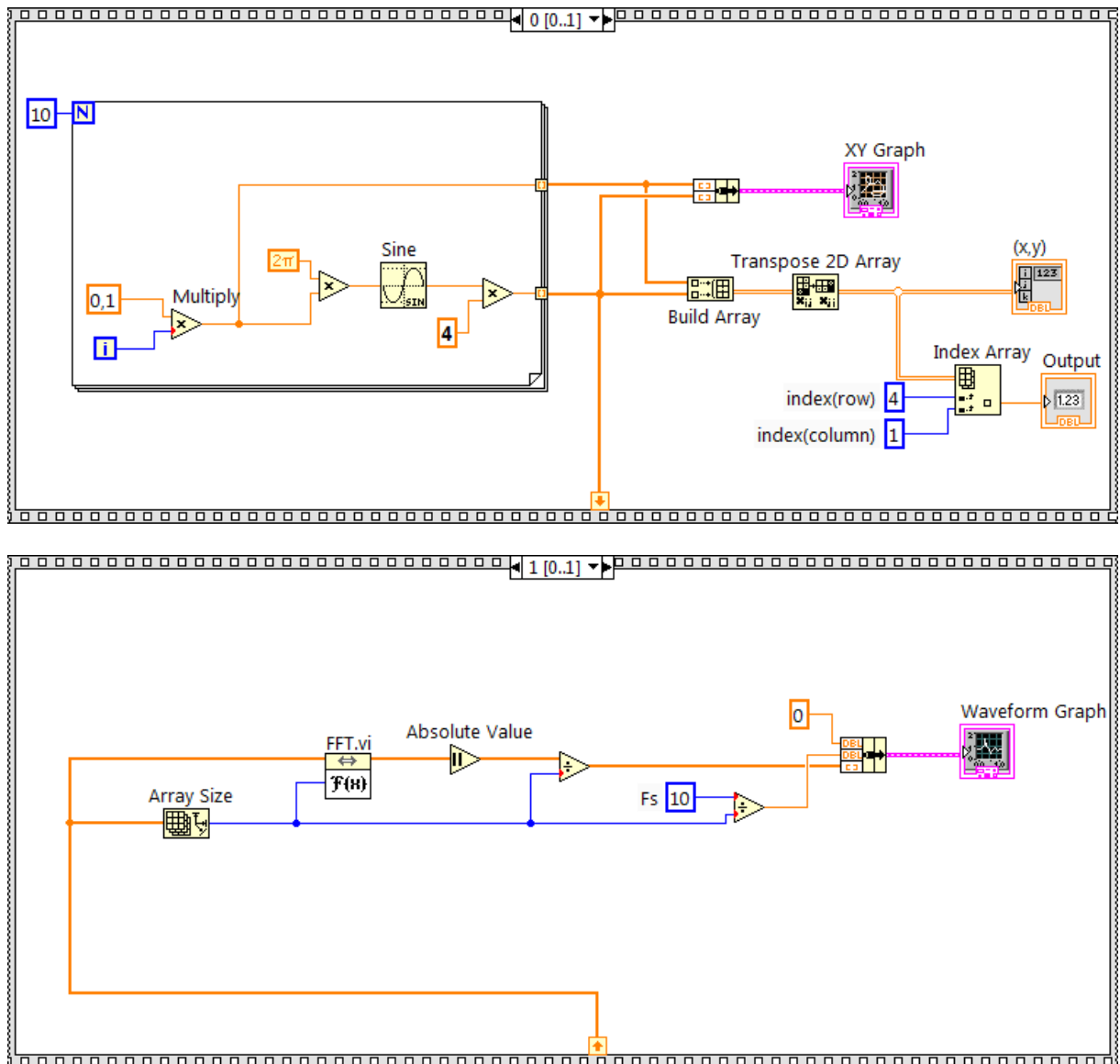
8. Nedanstående figurer visar diagramfönster för ett LabVIEW-program som kommunicerar med en multimeter.



- a) Vad gör kommandot "MEAS:FRES?"? (1p)

- b) Varför är det viktigt att koppla "error clusters" mellan alla GPIB-block? (1p)
- c) Vilka programstrukturer finns i programmet? (2p)
- d) Hur lagras mätdata i den skapade filen, d.v.s. vilka rader och kolumner finns? (1p)
9. Nedanstående figurer visar panelfönster och tillhörande diagramfönster för ett LabVIEW-program.





- Förklara hur "Stacked Sequence Structure" fungerar i LabVIEW. (1p)
- Du kör programmet. Vad läser du av i indikatorn "(x,y)"? (2p)
- Vad läser du av i indikatorn "Output"? (1p)
- Rita upp utsignalen från "XY Graph". (1p)
- Rita upp utsignalen från "Waveform Graph". (1p)

10. En HP34401 multimeter används för att mäta en resistans hos en Motståndstermometer Ni-1000. De uppmätta värdena är: 1138,1 Ω ; 1139,4 Ω ; 1135,3 Ω ; 1138,5 Ω ; 1137,9 Ω ; 1136,3 Ω

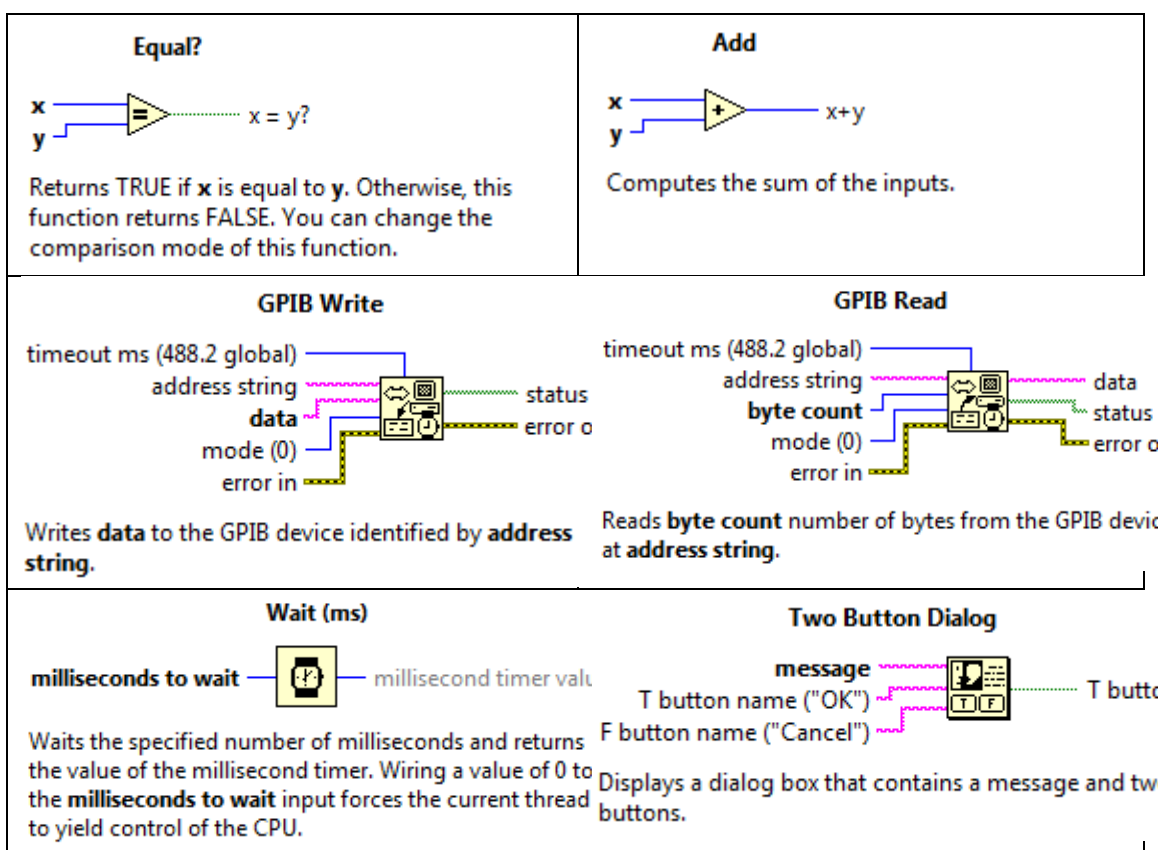
- Vad blir medelvärdet av resistansen? (1p)
- Bestäm Typ A osäkerhet för resistansen. (1p)

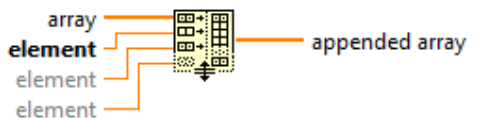
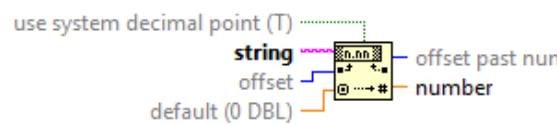
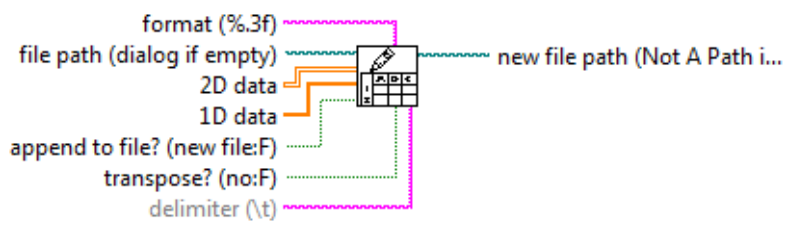
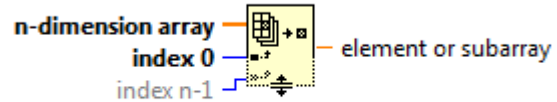
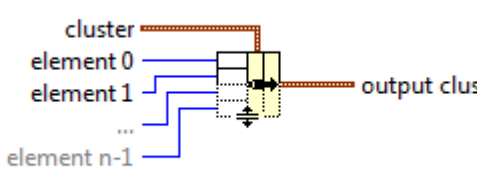
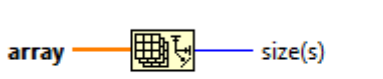
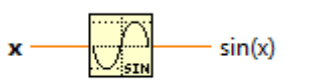
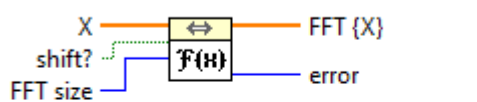
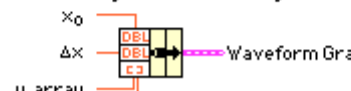
- c) Bestäm 95%-iga konfidensintervallet (Tips: Använd tabellen för kritiska värden för t-fördelningen). (1p)
- d) Enligt manualen anges noggrannheten till "0,002% of the reading plus 0,0005% of the range" (säkra gränser); använd 1 k Ω för *range*. Beräkna den totala standardavvikelsen (Typ A och Typ B) (2p)
- e) Antag att $R_0 = 1000 \pm 3 \Omega$ and $\gamma = (4,59 \pm 0,02) \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ (säkra gränser); beräkna ett värde på temperaturen. (1p)
- f) Beräkna den totala osäkerheten för temperaturen. (3p)

Tabell: t-fördelningen

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

Hjälprutor



Build Array  Concatenates multiple arrays or appends elements to an n-dimensional array.	Fract/Exp String To Number  Interprets the characters 0 through 9, plus, minus, e, E, and the decimal point (usually period) in string starting at offset as a floating-point number in engineering notation exponential, or fractional format and returns it in number.								
C:\... (x86)\National Instruments\LabVIEW 2011\vi.lib\Utility\file.lib\Write To Spreadsheet File.vi  Converts a 2D or 1D array of strings, signed integers, or double-precision numbers to a text string and writes the string to a new byte stream file or appends the string to an existing file. Wire data to the 2D data input or 1D data input to determine the polymorphic instance to use or manually select the instance.									
Transpose 2D Array  Rearranges the elements of 2D array such that 2D array[i,j] becomes transposed array[j,i].	Index Array  Returns the element or subarray of n-dimension array at index.								
Bundle  Assembles a cluster from individual elements.	Array Size  Returns the number of elements in each dimension of array.								
Sine  Computes the sine of x, where x is in radians.	Absolute Value  Returns the absolute value of the input.								
C:\...011\vi.lib\Analysis\2dsp.lib\FFT.vi  Computes the fast Fourier transform (FFT) of the input sequence X. Wire data to the X input to determine the polymorphic instance to use or manually select the instance.	Waveform Graphs: Wire data directly to waveform graph: <table border="1" data-bbox="845 1691 1085 1792"> <thead> <tr> <th>Y Array</th> <th>Resulting Graph</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1D</td> <td>Single Plot</td> </tr> <tr> <td>WDT</td> <td>Single Plot</td> </tr> <tr> <td>2D</td> <td>Multiplot</td> </tr> </tbody> </table> WDT (Waveform Data Type) includes timing info. Others default to 0 for x_0 and 1 for Δx. Combine timing information using a bundle node: 	Y Array	Resulting Graph	1D	Single Plot	WDT	Single Plot	2D	Multiplot
Y Array	Resulting Graph								
1D	Single Plot								
WDT	Single Plot								
2D	Multiplot								

Formelsamling i elektrisk mätteknik 2015

Resistans i ledare

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

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

$$R = R_0(1 + \gamma T), \quad \text{där} \quad T = \text{Temperatur i } [^{\circ}\text{C}]$$

$\gamma = 3,85 \cdot 10^{-3} [^{\circ}\text{C}^{-1}]$ för platina
 $\gamma = 6,75 \cdot 10^{-3} [^{\circ}\text{C}^{-1}]$ för nickel.
 $\gamma = 4,33 \cdot 10^{-3} [^{\circ}\text{C}^{-1}]$ 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: $H(s) = \frac{1}{\frac{1}{\omega_0^2} s^2 + \frac{2\xi}{\omega_0} s + 1}$ där:

ω_0 = odämpade egenfrekvensen

ξ = dämpfaktorn

Termoelementstabell, typ-T

Nedan följer en tabell över termoelement (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	9,976	9,930	9,984	10,038	10,092	10,146	10,200	10,254	10,308
220	10,362	10,417	10,471	10,525	10,580	10,634	10,689	10,743	10,798	10,853
230	10,907	10,962	11,017	11,072	11,127	11,182	11,237	11,292	11,347	11,403
240	11,458	11,513	11,569	11,624	11,680	11,735	11,791	11,846	11,902	11,958
250	12,013	12,069	12,125	12,181	12,237	12,293	12,349	12,405	12,461	12,518
260	12,574	12,630	12,687	12,743	12,799	12,856	12,912	12,969	13,026	13,082
270	13,139	13,196	13,253	13,310	13,366	13,423	13,480	13,537	13,595	13,652
280	13,709	13,766	13,823	13,881	13,938	13,995	14,053	14,110	14,168	14,226
290	14,283	14,341	14,399	14,456	14,514	14,572	14,630	14,688	14,746	14,804
300	14,862	14,920	14,978	15,036	15,095	15,153	15,211	15,270	15,328	15,386
310	15,445	15,503	15,562	15,621	15,679	15,738	15,797	15,856	15,914	15,973
320	16,032	16,091	16,150	16,209	16,268	16,327	16,387	16,446	16,505	16,564
330	16,624	16,683	16,742	16,802	16,861	16,921	16,980	17,040	17,100	17,159
340	17,219	17,279	17,339	17,399	17,458	17,518	17,578	17,638	17,698	17,759