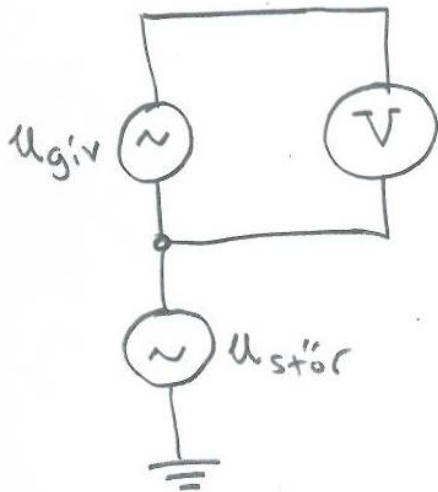


Förra gången



$$\text{CMRR} < \infty$$

⇒ Voltmeter

kommer att mäta "fel" på grund av CM-störning.

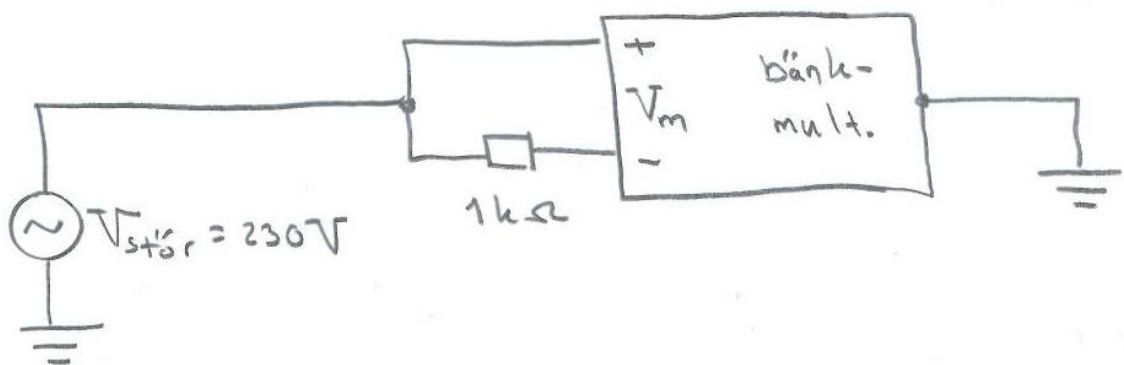
Bänkmultimeter är jordad men det är inte den handhållna mult.

Datablad

- HP34401A (bänkmult.): $\text{CMRR} = 70 \text{ dB}^*$
- Fluke 115 (handhållen): $\text{CMRR} > 60 \text{ dB}^*$

* med $1 \text{ k}\Omega$ obalans på minusringången

Ex 1 bänkmultimeter



Givet: $\text{CMRR} = 70 \text{ dB}$

Fråga: Vad blir V_m ?

Lösning

$$\text{CMRR} = 70 \text{ dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{1}{F_{\text{CM}}} \right)$$

$$\Rightarrow F_{\text{CM}} = 10^{-70/20} = 10^{-7/2}$$

$$\Rightarrow V_{\text{ut}} = F_{\text{NM}} V_{\text{NM}} + 10^{-7/2} \cdot 230 \text{ V} = \underline{72.7 \text{ mV}}$$

DEMO: Mät spänning med multimeter.

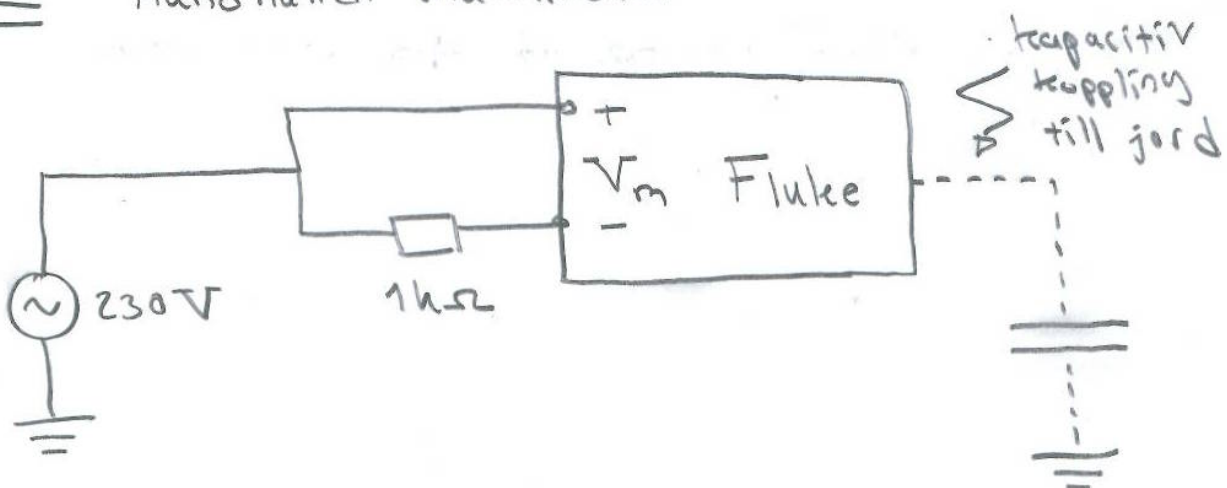
Uppmätt spänning: $V_m = 19 \text{ mV}$

$$\Rightarrow F_{\text{CM}} = \frac{19 \cdot 10^{-3}}{230} = 82.6 \cdot 10^{-6}$$

$$\Rightarrow \text{CMRR} = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{10^6}{82.6} \right) = \underline{\underline{81.6 \text{ dB}}}$$

aningen
bättre
än datablad

Ex 2 Handhållen multimeter



DEMO: Mät spänning med handhållen multimeter som ligger på ett jordat metallplan (bättre koppling till jord).

$U_{\text{pmätt spänning: } V_m = 5 \text{ mV}$

$$\Rightarrow F_{CM} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{230} = 21.7 \cdot 10^{-6}$$

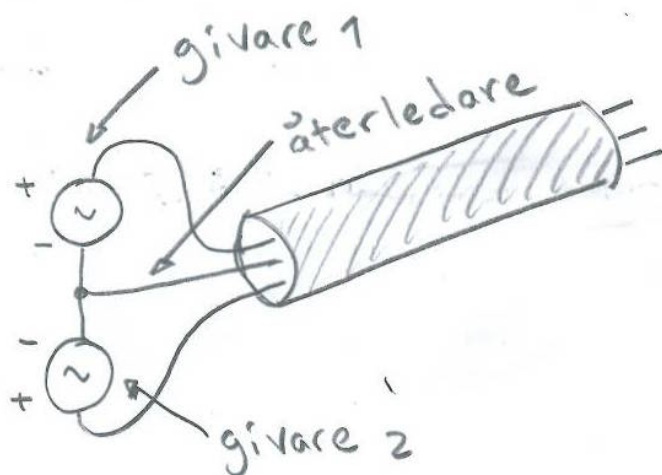
$$\Rightarrow CMRR = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{10^6}{21.7} \right) = \underline{\underline{93.3 \text{ dB}}}$$

SLUTSATS

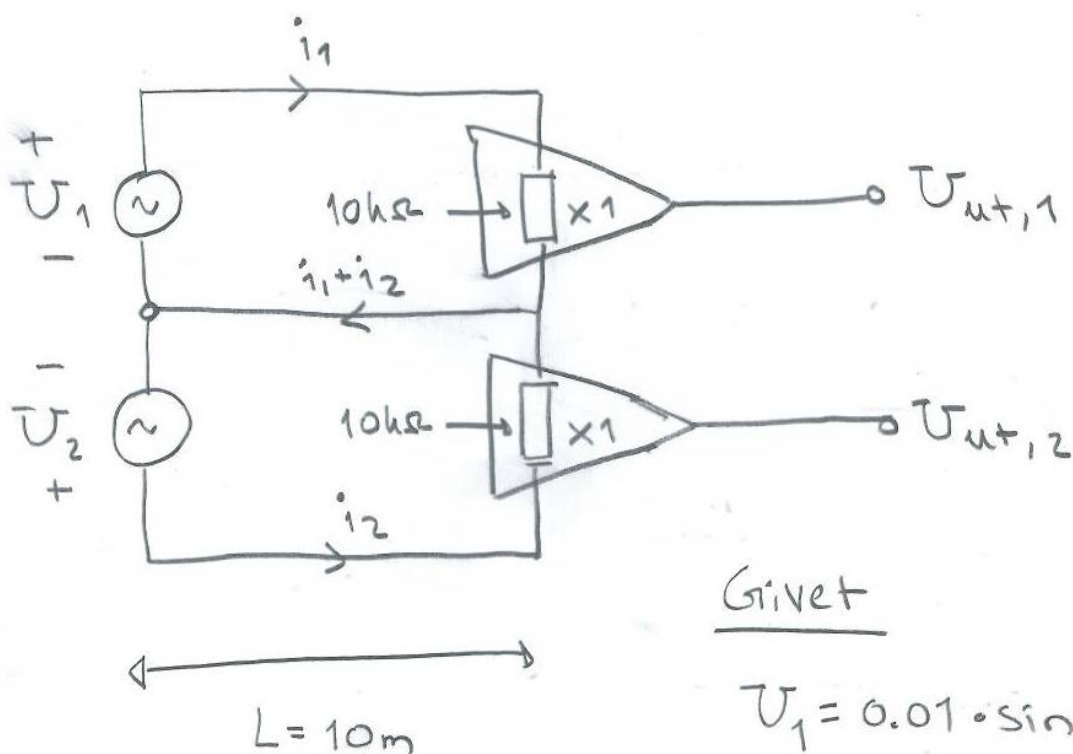
CMRR viktigt för både handhållen multimeter och bänkmultimeter.

CMRR är miljöberoende för den handhållna multimetern.

8.4



Gemensam återledare för två givare.



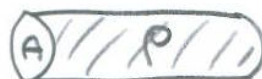
Givet

$$U_1 = 0.01 \cdot \sin 300t \text{ V}$$

$$U_2 = 0.5 \cdot \sin 600t \text{ V}$$

Uppgift

- Beräkna $U_{ut,1}$
- Beräkna $U_{ut,1}$ om vi använder separata återledare.



$$A = 0.02 \text{ mm}^2$$

$$\rho = 1.67 \cdot 10^{-8} \Omega \text{ m}$$

⌋ koppar

Lösning

Problem:

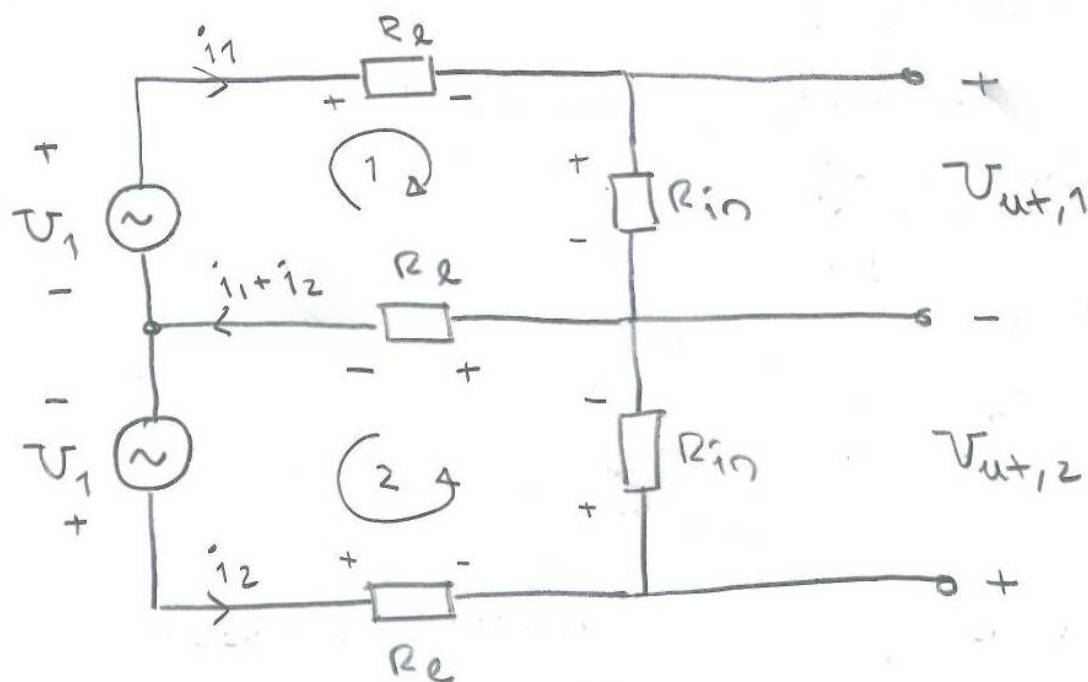
- Inre resistans i kabel $\Rightarrow$ spänningsfall (ledningsförlust)
- Störning pga gemensam återledare: signalen från givare 2 kopplas till givare 1 och vice versa.

Resistans i ledare:

$$R_L = \frac{\rho L}{A} = \frac{1.67 \cdot 10^{-8} \cdot 10}{0.02 \cdot (10^{-3})^2} = \underline{\underline{8.35 \Omega}}$$

a)

Ekvivalent schema:



KVL i slinga 1 $\Rightarrow$

$$U_1 - R_L i_1 - U_{ut,1} - R_L (i_1 + i_2) = 0$$

$$\Rightarrow U_{ut,1} = \underbrace{U_1}_{\text{givar-signal}} - \underbrace{2R_L i_1}_{\text{ledningsförlust}} - \underbrace{R_L i_2}_{\text{störning pga gemensam återledare}} \quad (1)$$

= givar-signal

= ledningsförlust

= störning pga gemensam återledare

Vi måste bestämma i_1 & i_2 .

KVL i slinga 1 $\Rightarrow$

$$U_1 - R_L i_1 - R_{in} i_1 - R_L (i_1 + i_2) = 0$$

$$\Rightarrow U_1 = R_{ekv} i_1 + R_L i_2, \text{ där } R_{ekv} = 2R_L + R_{in}$$

KVL i slinga 2 $\Rightarrow$

$$U_2 - R_L i_2 - R_{in} i_2 - R_L (i_1 + i_2) = 0$$

$$\Rightarrow U_2 = R_L i_1 + R_{ekv} i_2$$

Ekvationssystem:

$$\begin{cases} U_1 = R_{ekv} i_1 + R_L i_2 \\ U_2 = R_L i_1 + R_{ekv} i_2 \end{cases}$$

Trä ekvationer & två obekanta. Vi börjar med att bestämma i_1 :

$$\begin{aligned} R_{ekv} U_1 - R_L U_2 &= R_{ekv}^2 i_1 + R_{ekv} R_L i_2 - R_L^2 i_1 - R_{ekv} R_L i_2 \\ &= (R_{ekv}^2 - R_L^2) i_1 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow i_1 = \frac{R_{ekv}}{(R_{ekv}^2 - R_L^2)} U_1 - \frac{R_L}{(R_{ekv}^2 - R_L^2)} U_2$$

Stoppa in värden:

$$\circ U_1 = 0.01 \sin 300t \text{ V}$$

$$\circ U_2 = 0.5 \sin 600t \text{ V}$$

$$\circ R_{ekv} = 2R_L + R_{in} = 2 \cdot 8.35 + 10^4 = 10.0167 \text{ k}\Omega$$

$$\circ R_L = 8.35 \Omega$$

$$\Rightarrow i_1 = 998.3 \cdot 10^{-9} \sin 300t - 41.61 \cdot 10^{-9} \sin 600t$$

På liknande sätt kan vi lösa ut i_2 :

$$i_2 = \frac{R_L}{(R_L^2 - R_{ekv}^2)} U_1 - \frac{R_{ekv}}{(R_L^2 - R_{ekv}^2)} U_2$$

$$= -832.2 \cdot 10^{-12} \sin 300t + 49.91 \cdot 10^{-6} \sin 600t$$

Slutligen, ersätt i_1 och i_2 i ekvation (1) $\Rightarrow$

$$U_{ut,1} = 9.983 \cdot \sin 300t - 0.416 \sin 600t \text{ mV}$$

$$= \underbrace{\sin 300t}_{\text{givar-signal.}} - \underbrace{0.017 \sin 300t}_{\text{ledningsförlust}} - \underbrace{0.416 \sin 600t}_{\text{gemensam återledare}} \text{ mV}$$

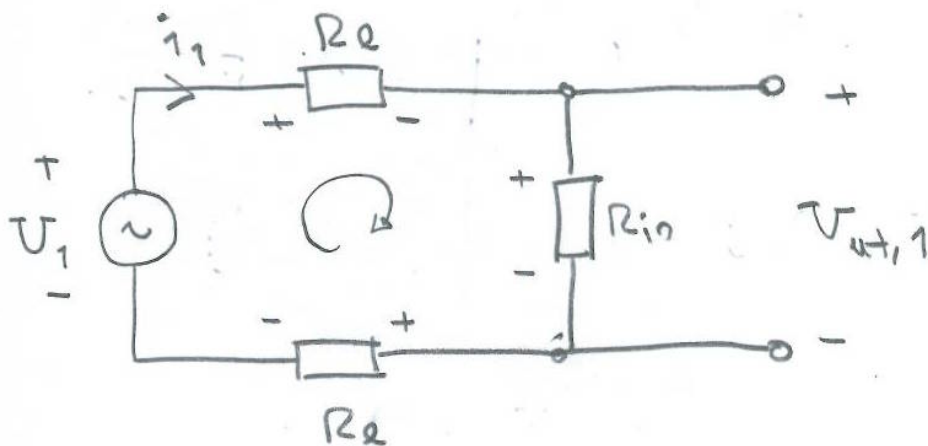
givar-
signal.

ledningsförlust

gemensam åter-
ledare

b) Separata återledare.

Ekvivalent kretsschema



$$\text{KVL} \Rightarrow U_{ut,1} = U_1 - 2R_l i_1$$

$$\text{där } i_1 = \frac{U_1}{2R_l + R_{in}} = \frac{0.01 \sin 300t}{2 \cdot 8.35 + 10^4}$$
$$= 998.3 \cdot 10^{-9} \cdot \sin 300t$$

$$\Rightarrow U_{ut,1} = \sin 300t - \underbrace{0.017 \sin 300t}_{= \text{ledningsförlust}} \text{ mV} //$$

SLUTSATS

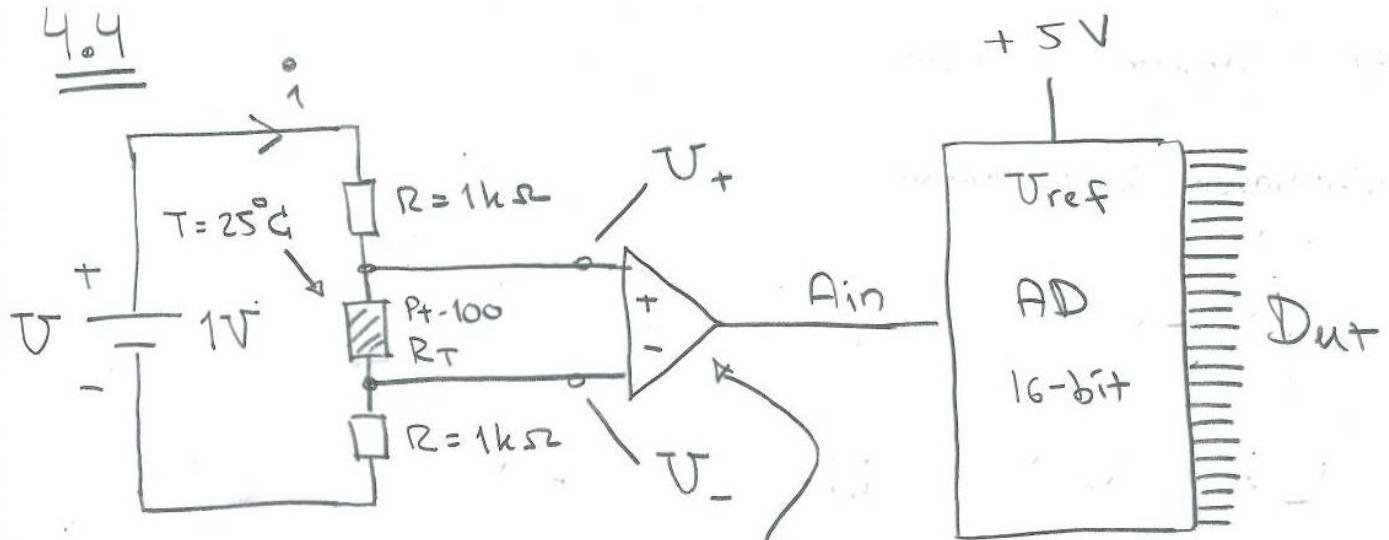
Ledningsförlust samma som förut men nu ingen störning pga gemensam återledare.

FÖLJÖFRÅGA

Hur kan vi minska ledningsförlusten?

SVAR: minska i_1 genom att öka ingångsresistans R_{in} .

4.4



U_{ppgift}

Bestäm D_{ut} .

$F_{NM} = 10$

$CMRR = 60 \text{ dB}$

Lösning

Fyra steg:

1. Bestäm resistansen för motståndsterm, R_T .
2. Bestäm U_{NM} och U_{CM} för förstärkaren.
3. Bestäm förstärkt signal A_{in} .
4. Bestäm det digitala ordet D_{ut} .

1. $R_T = 100(1 + \alpha T)$, $\alpha = 3.85 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
 $= 100(1 + 3.85 \cdot 10^{-3} \cdot 25)$
 $= \underline{109.625 \Omega}$

2. Strömmen genom motstånden: $i = \frac{U}{2R + R_T}$

Spänningen på förstärkar ingångar:

$$U_- = R i = \frac{R}{2R + R_T} U$$

$$U_+ = (R + R_T) i = R i + R_T i = U_- + \frac{R_T}{2R + R_T} U$$

NM- och CM-sigaler:

$$U_{NM} = U_+ - U_- = \frac{R_T}{R_T + 2R} U = \underline{51.964 \text{ mV}}$$

$$U_{CM} = \frac{U_- + U_+}{2} = \frac{2R + R_T}{2(2R + R_T)} U = \frac{1}{2} U = \underline{0.5V}$$

3. Förstärkt signal: $A_{in} = F_{NM} U_{NM} + F_{CM} U_{CM}$

Vad är F_{CM} ? $CMRR = 20 \log_{10} \left(\frac{F_{NM}}{F_{CM}} \right)$

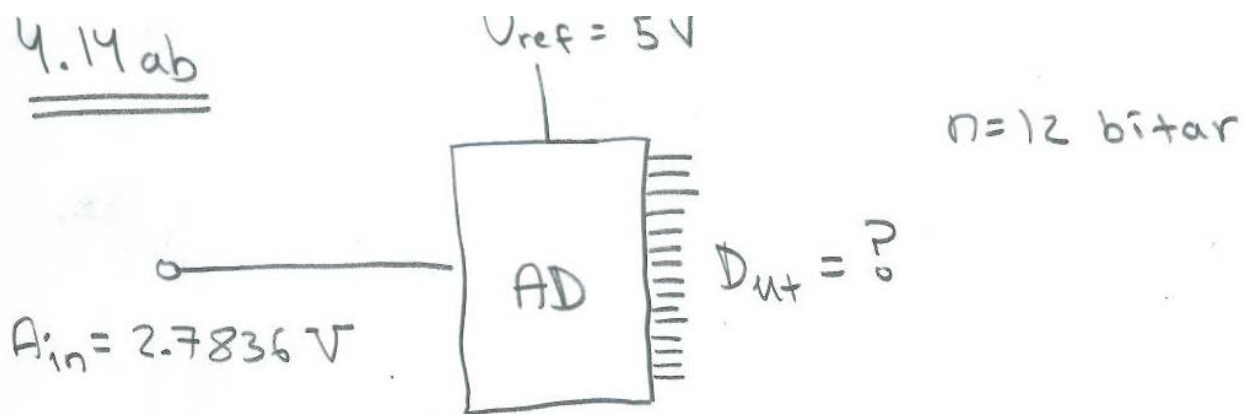
$$\Rightarrow F_{CM} = F_{NM} \cdot 10^{-\frac{CMRR}{20}} = 10^{-2}$$

$$\Rightarrow A_{in} = 10 \cdot 51.964 \cdot 10^{-3} + 10^{-2} \cdot 0.5 = \underline{0.52464 V}$$

4. $D_{ut} = \left[\frac{A_{in}}{\Delta U} \right], \Delta U = \frac{U_{ref}}{2^n}$

$$\Rightarrow D_{ut} = \left[\frac{A_{in} \cdot 2^n}{U_{ref}} \right] = \left[\frac{0.52464 \cdot 2^{16}}{5} \right] = \underline{\underline{6877}}_{10}$$

4.14 ab



Uppgift

- Beräkna D_{ut}
- Hur stort är felet i omvandlingen?

Lösning

a) $D_{ut} = \left\lceil \frac{A_{in}}{\Delta V} \right\rceil = \left\lceil \frac{A_{in} \cdot 2^n}{V_{ref}} \right\rceil = \left\lceil \frac{2.7836 \cdot 2^{12}}{5} \right\rceil = \underline{\underline{2280}}_{10}$

- b) Från den digitala signalen från ADC:n så kan datorn estimerar originalspänningen som

$$\begin{aligned}\hat{A}_{in} &= D_{ut} \cdot \Delta V = D_{ut} \cdot \frac{V_{ref}}{2^n} \\ &= 2280 \cdot \frac{5}{2^{12}} = 2.7832V\end{aligned}$$

$\Rightarrow$ Felet: $E = |A_{in} - \hat{A}_{in}| \approx \underline{\underline{0.4mV}}$

Kontroll: felet ska vara mindre än

$$\Delta V / 2 = \frac{V_{ref}}{2^{n+1}} = \frac{5}{2^{13}} \approx 0.6mV$$

ok!