

**Fysiikan mittausten menetelmät I**  
**syksy 2016**  
**Malliratkaisut 2**

- 1. a)** Napajännitteen arvo, jännitemittarin sisäänmenoimpedanssi,  $R_1$ :n arvo, johtimien resistanssi. Resistanssit voivat myös muuttua komponenttien lämmetessä.  
**b)** Dynamiikka maksimoituu, jos  $R_1 = R$ . Jos  $R$  on paljon isompi kuin  $R_1$  mitataan enemmänkin pariston napajännitettä. Jos  $R$  puolestaan on paljon pienempi kuin  $R_1$  jännitemittarin tarkkuus voi olla liian pieni. Käytännössä voidaan joutua valitsemaan vähän suurempi  $R_1$ , ettei paristoa kuormitettaisi liikaa.  
**c)** Satunnaisen virheen vaikutus ja keskiarvon keskivirhe pienenevät.  
**d)** Mittaus kertoo käytännössä  $R_1$ -pakkauksen sisäisen vaihtelun,  $R$ :n määrittämisen kannalta mittaussarja on hyödytön, koska  $R_1$ :n vaihto aloittaa toistomittauksen alusta.

**2.** Mittauskytkennässä jännitemittarin/oskilloskoopin sisäinen impedanssi asettuu tutkittavan vastuksen rinnalle. Jännitemittarin ja vastuksen  $R$  rinnankytkennän arvoksi tulee

$$R_{tot} = \frac{100V}{0,68 mA} = 147 k\Omega$$

Koska rinnankytkennän resistanssiarvo on vain dekadin verran pienempi kuin jännitemittarin sisäinen vastus on rinnankytkennän aiheuttama virhe huomioitava ja vastuksen  $R$  arvoksi saadaan

$$R = \frac{1}{\frac{1}{147 k\Omega} - \frac{1}{1 M\Omega}} = 172 k\Omega$$

**3. a)** Nopeudelle  $v = s/t$ . Matkan mittausten keskiarvo  $s = 9.983$  mm. Otoskeskihajonnasta  $\sigma_s$  saadaan virherajaksi keskiarvon keskivirhe (standard error of the mean)

$$S_s = \sigma_s / \sqrt{N} = \sigma_s / \sqrt{6} = 0.1014 \text{ mm.}$$

Samalla menetelmällä kulkuajalle saadaan  $t = 4.052 \mu s$ ,  $S_t = 0.0086 \mu s$ .

Äänennopeus  $v = s/t = 2464$  m/s. Virherajat saadaan keskivirheen kasautumislaista:

$$S_v = \sqrt{\left(S_s \frac{\partial v}{\partial s}\right)^2 + \left(S_t \frac{\partial v}{\partial t}\right)^2}$$

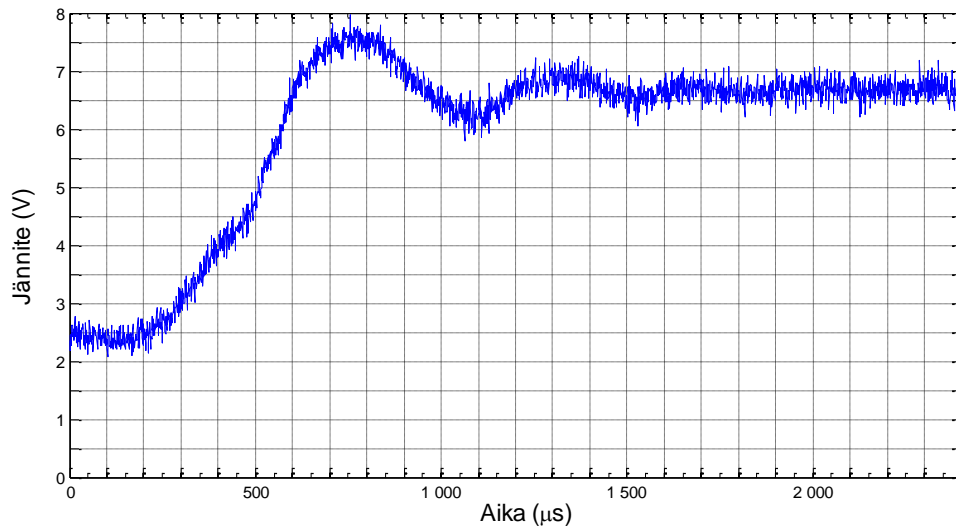
Osittaisderivaatat ovat  $\partial v / \partial s = 1/t$  ja  $\partial v / \partial t = -s/t^2$ . Sijoittamalla nämä ja yllä lasketut  $s$ :n ja  $t$ :n keskivirheet saamme nopeuden virheeksi  $S_v = 25.565$  m/s.

Ilmaistuna "viidentoista yksikön tarkkuudella" tulos on siis  $v = 2460 \pm 30$  m/s.

**b)** Sisäiseen, koska kyseessä on satunnaisvirhe.

c) Satunnaisia virheitä voi pienentää tekemällä useampia mittauksia; näemme laskuista että mitatun suureen keskivirhe pienenee suhteessa mittausten määrän neliöjuureen.

4.



Dead time on aika kunnes ulostulo on noussut 10% eroista alku- ja loppuarvon välillä. Kuvasta katsomalla näemme että jännite on alussa n. 2.5 V ja lopussa noin 6.5 V. Nousu on siis 4 V. Tästä 10% on 0.4 V, eli dead time on aika kunnes ulostulo saavuttaa arvon  $2.5 \text{ V} + 0.4 \text{ V} = 2.9 \text{ V}$ . Katsomalla kuvaa näemme että tämä tapahtuu suunnilleen kun 300 µs on kulunut.

Rise time on aika tästä siihen kunnes ulostulo on suorittanut 90% muutoksesta. 90% 4 V:stä on 3.6 V.  $2.5 \text{ V} + 3.6 \text{ V} = 6.1 \text{ V}$ . Tämä kynnyks ylittyy n. 570 µs:n hetkellä, joten rise time on  $570 \text{ µs} - 300 \text{ µs} = 270 \text{ µs}$ .

Settling time on aika alusta siihen kunnes ulostulo pääsee ensimmäiseen minimiinsä nousun jälkeen, jonka kuvasta näemme että tapahtuu noin 1100 µs:n kohdalla.

5. Kuvaajista katsottuna:

	a)	b)
Jakso (ruutua)	5	8
Amplitudi (ruutua)	2,2	1,7
DC-taso (ruutua)	0	1,6
V / div	10 V	4 V
t / div	200 µs	10 ms
f	1 kHz	12,5 Hz
Amplitudi / V	220 V	68 V
DC-taso / V	0	64 V
$V_{\text{rms}}$	156 V	83 V

Amplitudia laskettaessa on otettu huomioon 10x vaimentava mittapää.

Tehollisen arvon lasku DC-komponentin läsnäollessa:

Sijoitetaan RMS-jännitteen määritelmään DC + sini:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (V_{DC} + V_0 \sin(\omega t))^2 dt}$$

Lyhyen laskun jälkeen saadaan:

$$V_{rms} = \sqrt{V_{DC}^2 + \frac{V_0^2}{2}}$$

Jos skooppi on AC-kytketty DC-taso on nollassa, jos DC-kytketty DC-taso näkyy sellaisena kuin se on.