

Tallinna Tehnikaülikool
Automaatikainstituut

Mõõtmise laboratoorse töö Nr.2
“Elektromehaanilised näitmõõteriistad”

ARUANNE

Teostanud: Andrus Haiba
960632LAC

Esitatud:
Tagastatud:
Kaitstud:

.....
/juhendaja allkiri/

Tallinn 1998

1. Töö eesmärk

Tutvuda elektromehaaniliste mõõteriistade ehituse ja kasutamisevõimalustega ning seadmetega mõõtepiirkonna laiendamiseks.

2. Töö käik

2.1. Tutvumine mõõteriistadega

Voltmeeter 3533

inventari number: A1878/2
mõõtepiirkonnad: 75, 150, 300, 450, 600 V
signaali liik: alalis ja vahelduvvool (45...100...400Hz)
mõõtemehhanismi liik: elektromagnetiline mõõteriist
skaala jaotuste arv: 150
täpsusklass: 0,5
omatarve: max. 7,5mA

Ampermeeter 3538

inventari number: A2943
mõõtepiirkonnad: 2.5, 5 A
signaali liik: alalis ja vahelduvvool (45...100...1500Hz)
mõõtemehhanismi liik: elektromagnetiline mõõteriist
skaala jaotuste arv: 100
täpsusklass: 0,5
sisetakistus ja induktiivsus: 2.5A korral $R \leq 0.016 \Omega$, $L \leq 0,02\text{mH}$
5A korral $R \leq 0.007 \Omega$, $L \leq 0,005\text{mH}$

Vattmeeter D539

inventari number: A2675/2
mõõtepiirkonnad: 30V, 75V, 150V, 300V; 5A, 10A
signaali liik: alalis ja vahelduvvool (45...65...500Hz)
mõõtemehhanismi liik: elektrodünaamiline mõõteriist
skaala jaotuste arv: 150
sisetakistus ja induktiivsus: 5A korral $R = 0.006 \Omega$, $L = 0,005\text{mH}$
10A korral $R = 0.003 \Omega$, $L = 0,002\text{mH}$

Voltmeeter M45MOM3

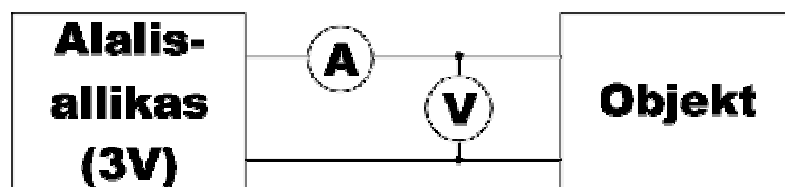
inventari number: A3091
mõõtepiirkond: 3V
signaali liik: alalisvool
mõõtemehhanismi liik: magnetelektriline
skaala jaotuste arv: 75
täpsusklass: 1,0
sisetakistus: $1\text{k}\Omega$

Milliampermeeter 359

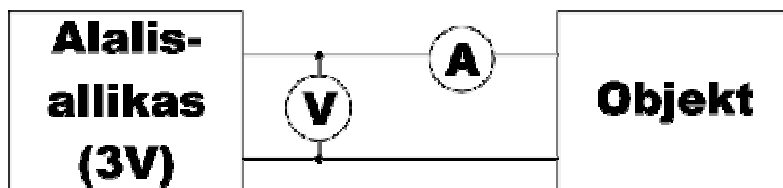
inventari number: A375/2
mõõtepiirkonnad: 25mA, 50 mA, 100 mA
signaali liik: alalisvool ja vahelduvvool (45...55...500Hz)
mõõtemehhanismi liik: elektrodünaamiline
skaala jaotuste arv: 100
täpsusklass: 0,5
sisetakistus ja induktiivsus: 25mA korral $R = 75\Omega$, $L = 92\text{mH}$
50mA korral $R = 19\Omega$, $L = 23\text{mH}$
100mA korral $R = 4,8\Omega$, $L = 5,7\text{mH}$

2.2. Alalisvoolu mõõtmine

Skeem A



Skeem B



Skeemi A järgi mõõtmise mõõteriistade : 359 ja voltmeeter M45MOM3:

$$U_v = \frac{52}{75} \cdot 3V = 2,08V \quad I_a = \frac{50}{100} \cdot 25mA = 12,5mA$$

$$\Delta U_v = \frac{1,0}{100} \cdot 3 = \pm 0,03V \quad \Delta I_a = \frac{0,5}{100} \cdot 100 = \pm 0,5mA$$

Mõõdetava objekti takistuse väärtuse hinnangud:

$$R_{a0} = \frac{U}{I} = \frac{2,08}{0,0125} = 166,4\Omega$$

Mõõdetava objekti takistuse täpsustatud väärtus, arvestades mõõteriistade omatarvet:

$$I_v = \frac{U_v}{R_v} = \frac{2,08}{1000} = 0,00208A$$

$$R_{a1} = \frac{U_v}{I_a - I_v} = \frac{2,08}{0,0125 - 0,00208} = \frac{2,08}{0,01042} = 200,6\Omega$$

Objekti takistuse mõõtemääramatused, eeldades mõõteriistade mõõtehälvete juhuslikku iseloomu ja statistilist sõltumatust:

$$\begin{aligned} \Delta R_a &= \sqrt{\left(\frac{\partial R_a}{\partial U_v} \cdot \Delta U_v \right)^2 + \left(\frac{\partial R_a}{\partial I_a} \cdot \Delta I_a \right)^2} = \sqrt{\left[\frac{(R_v(R_v I_a - U_v) + R_v U_v) \Delta U_v}{(R_v I_a - U_v)^2} \right]^2 + \left(\frac{-R_v U_v \Delta I_a}{(R_v I_a - U_v)^2} \right)^2} \\ &= \sqrt{11,9 + 0,00009} = \pm 3,45\Omega \end{aligned}$$

Skeemi B järgi mõõtmine mõõteriistade : 359 ja voltmeeter M45MOM3:

$$U_v = \frac{75}{75} \cdot 3V = 3V$$

$$I_a = \frac{47}{100} \cdot 25\text{mA} = 11,75 \text{ mA}$$

Mõõdetava objekti takistuse väärtuse hinnangud:

$$R_{b0} = \frac{U_v}{I_a} = \frac{3}{0,01175} = 255,3\Omega$$

Mõõdetava objekti takistuse täpsustatud väärtus, arvestades mõõteriistade omatarvet:

$$U_A = I_A \cdot R_A = 0,01175 \cdot 0,016 = 0,000188V$$

$$R_{b1} = \frac{U_v - U_A}{I_A} = \frac{2,9998}{0,01175} = 255,3\Omega$$

Objekti takistuse mõõtemääramatused, eeldades mõõteriistade mõõtehälvete juhuslikku iseloomu ja statistilist sõltumatust:

$$\Delta R_b = \sqrt{\left(\frac{\partial R_b}{\partial U_v} \cdot \Delta U_v\right)^2 + \left(\frac{\partial R_b}{\partial I_a} \cdot \Delta I_a\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{\Delta U_v}{I_A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I_A \cdot U_v}{I_A^2}\right)^2} = \sqrt{6,518 + 118,04} = 11,16\Omega$$

Objekti takistus koos mõõtemääramatusega:

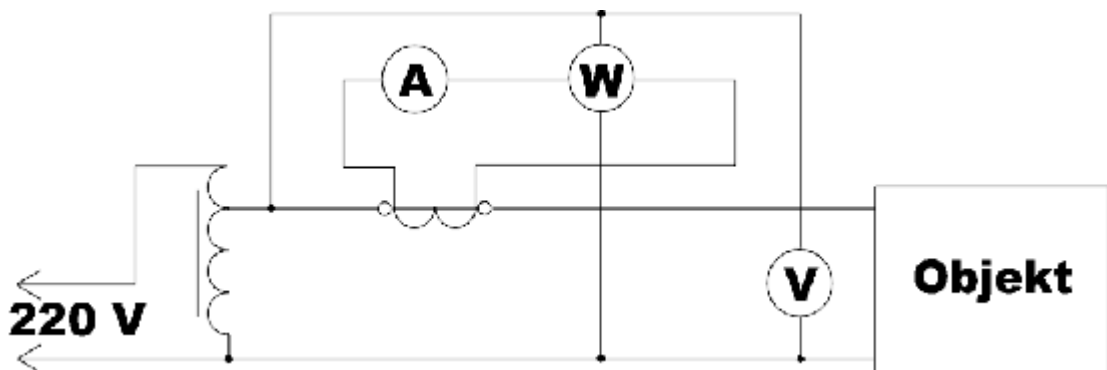
$$R_a = 200,6\Omega \pm 3,5\Omega$$

$$R_b = 255,3\Omega \pm 11,2\Omega$$

2.3. Vahelduvvoolu mõõtmine

Kasutatud mõõteriistad:

ampermeeter E538 (täpsusklass 0,5, jaotuste arv 100, sisetakistus 0,007W),
vattmeeter D539 (täpsusklass 0,5, jaotuste arv 150, sisetakistus 0,006W),
voltmeeter E533 (täpsusklass 0,5, jaotuste arv 150, omatarve 7.5mA),



$$U = \frac{86}{150} \cdot 300V = 172V \quad I = \frac{45,1}{100} \cdot 5A \cdot \frac{1}{5} = 0,451A \quad P = \frac{24}{150} \cdot 300 \cdot \frac{1}{5} = 48W$$

$$\Delta U = \frac{0,5}{100} \cdot 300V = \pm 1,5V \quad \Delta I = \frac{0,5}{100} \cdot 5 \cdot \frac{1}{5} = \pm 0,005A \quad \Delta P = \frac{0,5}{100} \cdot 300 \cdot 5 \cdot \frac{1}{5} = \pm 1,5W$$

$$U = 172,0V \pm 1,5V \quad I = 451mA \pm 5mA \quad P = 48,0W \pm 1,5W$$

Objekti takistuse ja juhtivuse reaktiivkomponendi arvutamine.

$$Z = \frac{U}{I} = 381\Omega \quad Y = \frac{I}{U} = 0,0026s$$

$$\Delta Z = \sqrt{\left(\frac{\partial Z}{\partial U} \cdot \Delta U\right)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial I} \cdot \Delta I\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{I \cdot \Delta U}{I^2}\right)^2 + \left(\frac{-U \cdot \Delta I}{I^2}\right)^2} = \sqrt{28,94} = \pm 5,38\Omega$$

$$\Delta Y = \sqrt{\left(\frac{\partial Y}{\partial U} \cdot \Delta U\right)^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial I} \cdot \Delta I\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{I \cdot \Delta U}{U^2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I}{U}\right)^2} = \sqrt{1,36 \cdot 10^{-9}} = \pm 3,688 \cdot 10^{-5}s$$

$$Z = 381\Omega \pm 5\Omega \quad Y = (26,2 \pm 0,4) \cdot 10^{-4}s$$

$$Z = |Z| \cdot \cos \varphi + j \cdot |Z| \cdot \sin \varphi = r + j \cdot x \quad r = |Z| \cdot \cos \varphi \quad x = |Z| \cdot \sin \varphi$$

$$|Z| = \frac{U}{I}$$

Aktiivkomponent ja tema vea arvutus:

$$r = \frac{U}{I} \cdot \frac{P}{U \cdot I} = \frac{P}{I^2} = 235,99\Omega$$

$$\Delta r = \sqrt{\left(\frac{\partial r}{\partial P} \cdot \Delta P\right)^2 + \left(\frac{\partial r}{\partial I} \cdot \Delta I\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{\Delta P}{I^2}\right)^2 + \left(\frac{-2\Delta I \cdot P}{I^3}\right)^2} = \sqrt{81,76} = \pm 9,042\Omega$$

Reaktiivkomponent ja tema viga:

$$x = \sqrt{|Z|^2 - r^2} = \sqrt{381^2 - 235,99^2} = 299\Omega$$

$$\Delta x = \sqrt{\left(\frac{Z \cdot \Delta Z}{\sqrt{Z^2 - r^2}}\right)^2 + \left(\frac{r \cdot \Delta r}{\sqrt{Z^2 - r^2}}\right)^2} = \sqrt{91,05} = \pm 9,54\Omega$$

Aktiivkomponent: $r = 235,99\Omega \pm 9,04\Omega$

Reaktiivkomponent: $x = 299 \Omega \pm 10 \Omega$

Juhtivuse aktiivkomponendi ja reaktiivkomponendi leidmine:

$$y = |y| \cdot \cos \varphi + j \cdot |y| \cdot \sin \varphi = g + j \cdot b$$

$$g = |y| \cdot \cos \varphi$$

$$b = |y| \cdot \sin \varphi$$

$$|y| = \frac{I}{U} = G$$

$$g = \frac{I}{U} \cdot \frac{P}{U \cdot I} = \frac{P}{U^2} = 0,00162s = 162 \cdot 10^{-5} s$$

$$\Delta g = \sqrt{\left(\frac{\Delta P}{U^2}\right)^2 + \left(\frac{2 \cdot P \cdot \Delta U}{U^3}\right)^2} = \sqrt{3 \cdot 10^{-9}} = 5,48 \cdot 10^{-5} s$$

$$b = \sqrt{G^2 - g^2} = 20,59 \cdot 10^{-4} s$$

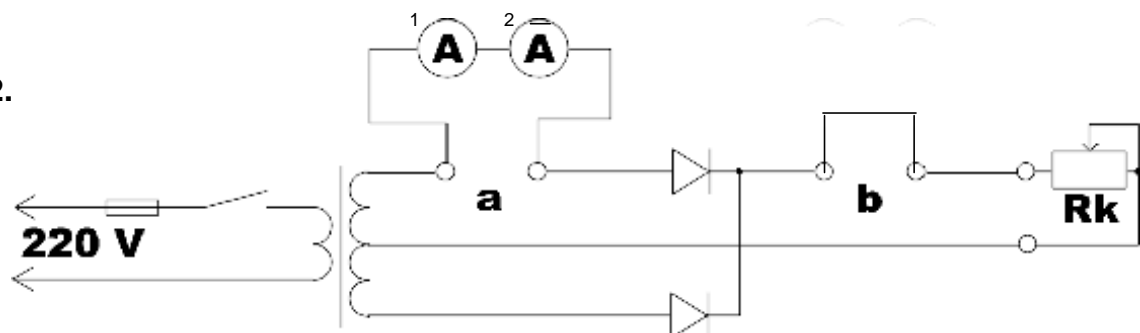
$$\Delta b = \sqrt{\left(\frac{G \cdot \Delta G}{\sqrt{G^2 - g^2}}\right)^2 + \left(\frac{g \cdot \Delta g}{\sqrt{G^2 - g^2}}\right)^2} = 0,67 \cdot 10^{-4} s$$

Objekti aktiiv- ja reaktiivjuhtivus:

$$g = (162 \pm 5) \cdot 10^{-5} s$$

$$b = (20,59 \pm 0,67) \cdot 10^{-4} s$$

2.



Poolperioodahel (a):

Effektiivväärtust mõõtev ampermeeter: $I_{a1} = 53/100 \cdot 2,5A = 1,325 A \pm 0,01 A$

Keskvaartust mõõtev ampermeeter: $I_{a2} = 42/150 \cdot 3A = 0,840 A \pm 0,005 A$

Täisperioodahel (b):

Effektiivväärtust mõõtev ampermeeter: $I_{b1} = 85/100 * 2.5A = 2,12 A \pm 0.01 A$

Keskvaartust mõõtev ampermeeter: $I_{b2} = 93/150 * 3A = 1,86 A \pm 0.005 A$

Arvutused:

$$\frac{I_{a2}}{I_{a1}} = 0,63A \pm 0,01A$$

$$\frac{I_{b2}}{I_{b1}} = 0,88A \pm 0,01A$$

$$\frac{I_{a2}}{I_{b2}} = 0,45 \pm 0,01A$$

$$\frac{I_{a1}}{I_{b1}} = 0,63 \pm 0,01A$$

Teoreetiliselt:

$$\frac{I_{a2}}{I_{a1}} = \frac{2}{\pi} = 0,64$$

$$\frac{I_{b2}}{I_{b1}} = \frac{2 \cdot \sqrt{2}}{\pi} = 0,90$$

$$\frac{I_{a2}}{I_{b2}} = \frac{\pi}{2\pi} = 0,50$$

$$\frac{I_{a1}}{I_{b1}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,71$$

3. Järeldus

Antud laboris tutvusin elektromehaaniliste näitmõõteriistadega. Esimese katse tulemusena näeme, et vanemate mõõteriistade kasutamisel on vaja arvestada ka nende omatarbeid, et saada õiget mõõtetulemust. Uuematel mõõteriistadel on omatarve kümneid kordi väiksem ja nende mõju võib arvestamata jätta.