



UNIVERZA V MARIBORU



FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO,
RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO
2000 Maribor, Smetanova ul. 17

Študij. leto: 2011/2012

Skupina: 9

MERITVE

LABORATORIJSKE VAJE

Vaja št.: 4.1 Določanje induktivnosti z meritvijo napetosti, toka, frekvence in moči

Datum: 08.12.2011

Priimek in ime: NIKOLIĆ GREGOR

BESEDILO NALOGE: Določite induktivnost tuljave z železnim jedrom z merjenjem toka, napetosti, frekvence in moči v petih merilnih točkah ob enakomernem večanju toka.

Pregledal: _____

Ocena: _____

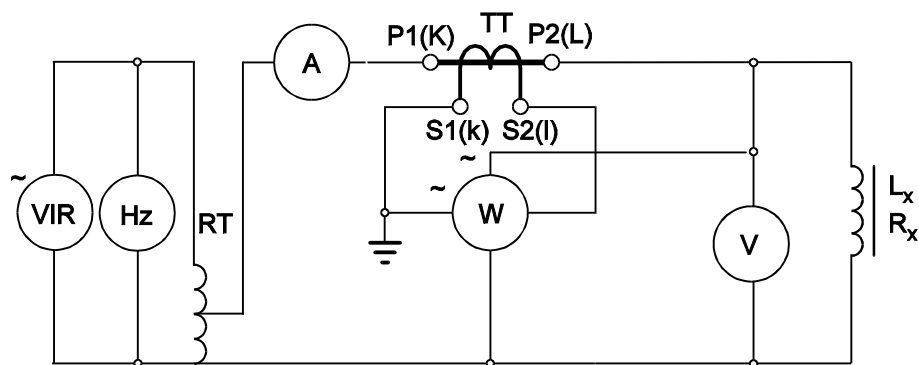
Datum: _____

POROČILO NAJ VSEBUJE

1. besedilo naloge
2. vezalni načrt
3. popis instrumentov, naprav in elementov
4. vplivne veličine
5. opis poteka meritev in izračunov
6. prikaz merilnih rezultatov (tabele, grafi)
7. komentar



1. Vezalni načrt



2. Popis instrumentov, naprav in elementov

<i>Hz</i>	frekvencmeter, ZL1 1063, VTŠ MARIBOR, Inv. Št.: 2991
<i>A</i>	ampermeter, ØFL0120, VTŠ 12710
<i>V</i>	voltmeter, ØFL0125, VTŠ 07555
<i>W</i>	vatmeter, EL 21, E15106
<i>TT</i>	tokovni transformator, ERI 36312
<i>VIR</i>	izmenična napetost iz laboratorijske mize, DM. Št.: 1
<i>RT</i>	regulacijski transformator ELM tehnika, AC 0-250 V/3 A, DM. Št.: 1
<i>X_L</i>	tuljava z železnim jedrom, X100/R10

3. Vplivne veličine

Temperatura prostora.....	24,4 °C
Tlak v prostoru.....	999,3 hPa
Vlažnost zraka v prostoru.....	31,6 %

4. Potek meritev in izračunov

Z regulacijskim transformatorjem (v merilni mizi) nastavljamo napetost tako, da steče izbrani tok delovne točke. V vsaki merilni točki odčitamo odklone instrumentov ter izračunamo induktivnost.

$$L_X = \frac{U_L}{2\pi f \cdot I} \quad U_L = \sqrt{U^2 - U_{Re}^2} \quad U_{Re} = IR_e \quad R_e = \frac{P}{I^2}$$

Izgubna moč na tuljavi z železnim jedrom brez upoštevanja porabe voltmetra in napetostne veje vatmetra je:

$$P = p_I k_W \alpha_W$$

Pri tem je p_I prestavno razmerje tokovnega transformatorja.

Nadomestno upornost R_e na kateri se troši izgubna moč sestavljata upornosti R_{Cu} (upornost navitja) in R_{Fe} (nadomestna upornost zaradi izgub v železu):

$$R_e = R_{Cu} + R_{Fe}$$

Ocena meje pogreška izračuna L_X upoštevajoč razrede instrumentov in naprav je:

$$e_{L_X} = \pm (|e_{U_L}| + |e_f| + |e_I|)$$



$$e_{U_L} = \pm \left(\frac{1}{2} \frac{|2e_U U^2| + |2e_{U_{Re}} U_{Re}^2|}{U^2 - U_{Re}^2} \right)$$

Pri tem so meje pogreškov instrumentov in naprav:

e_{TT} mejni relativni pogrešek prestave tokovnega transformatorja,

e_ξ mejni relativni kotni pogrešek tokovnega transformatorja

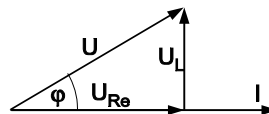
$$e_\xi = \pm \left(\frac{\pi}{10800} \xi \operatorname{tg} \varphi \right),$$

ξ mejni kotni pogrešek tokovnega transformatorja (v minutah).

e_{TT} in ξ sta podana v tabeli 1.2 na strani 17.

φ fazni kot bremena,

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L}{R_e} = \frac{U_L}{U_{Re}}$$



Pri računanju so meje pogreškov:

$e_{U_{Re}} = \pm (|e_I| + |e_{Re}|)$ meja pogreška posrednega merjenja U_{Re} ,

$e_{Re} = \pm (|e_P| + |2e_I|)$ meja pogreška R_e ,

$e_I = \pm \left(\frac{r_A}{100} \frac{\alpha_{\max}}{\alpha_A} \right)$ meja pogreška ampermetra,

$e_U = \pm \left(\frac{r_V}{100} \frac{\alpha_{\max}}{\alpha_V} \right)$ meja pogreška voltmetra,

$e_f = \pm \frac{r_f}{100}$ meja pogreška frekvenčmetra in

$e_P = \pm \left(|e_{TT}| + |e_\xi| + \left| \frac{r_W \alpha_{W \max}}{100 \alpha_W} \right| \right)$ meja pogreška delovne moči.

Izračunana induktivnost z upoštevanjem meje pogreška je:

$$L_X = L_X (1 \pm e_{L_X})$$

4.1 Izračun za zadnjo merilno točko

$$P = p_I k_W \alpha_W = 0,2 \cdot 0,5 \cdot 106,0 = 10,6 \text{ W} \quad R_e = \frac{P}{I^2} = \frac{10,6}{1,0^2} = 10,6 \text{ } \Omega$$

$$U_{Re} = IR_e = 1,0 \cdot 10,60 = 10,60 \text{ V}$$

$$U_L = \sqrt{U^2 - U_{Re}^2} = \sqrt{98,0^2 - 10,60^2} = 97,4 \text{ V}$$

$$L_X = \frac{U_L}{2\pi f \cdot I} = \frac{97,4}{2\pi \cdot 50,5 \cdot 1,0} = 0,31 \text{ H}$$



$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L}{R_e} = \frac{U_L}{U_{Re}} = \frac{97,4}{10,6} = 9,189$$

$$e_{TT} = \pm \frac{r_{TT}}{100} = \pm \frac{0,2}{100} = \pm 0,002$$

$$e_{\xi} = \pm \left(\frac{\pi}{10800} \xi \operatorname{tg} \varphi \right) = \pm \left(\frac{\pi}{10800} \cdot 10 \cdot \operatorname{tg}(9,189) \right) = \pm 0,000471$$

$$e_W = \pm \left(\frac{r_W \alpha_{W\max}}{100 \alpha_W} \right) = \pm \left(\frac{0,5 \cdot 150}{100 \cdot 106,0} \right) = \pm 0,00708$$

$$e_P = \pm (|e_{TT}| + |e_{\xi}| + |e_W|) = \pm (|0,002| + |0,000471| + |0,00708|) = \pm 0,009551$$

$$e_I = \pm \left(\frac{r_A \alpha_{\max}}{100 \alpha_A} \right) = \pm \left(\frac{0,5 \cdot 60}{100 \cdot 50} \right) = \pm 0,006$$

$$e_{Re} = \pm (|e_P| + |2e_I|) = \pm (|0,009551| + |2 \cdot 0,006|) = \pm 0,021551$$

$$e_{U_{Re}} = \pm (|e_I| + |e_{Re}|) = \pm (|0,006| + |0,021551|) = \pm 0,027551$$

$$e_U = \pm \left(\frac{r_V \alpha_{\max}}{100 \alpha_V} \right) = \pm \left(\frac{0,5 \cdot 60}{100 \cdot 49,0} \right) = \pm 0,00612$$

$$e_{U_L} = \pm \left(\frac{1}{2} \frac{|2e_U U^2| + |2e_{U_{Re}} U_{Re}^2|}{U^2 - U_{Re}^2} \right) = \pm \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{|2 \cdot 0,00612 \cdot 98,0^2| + |2 \cdot 0,027551 \cdot 10,60^2|}{98,0^2 - 10,60^2} \right) = \pm 0,00652$$

$$e_f = \pm \frac{r_f}{100} = \pm \frac{0,5}{100} = \pm 0,005$$

$$e_{L_x} = \pm (|e_{U_L}| + |e_f| + |e_I|) = \pm (|0,00652| + |0,005| + |0,006|) = \pm 0,01752$$

Pri tem so:

- P - izgubna moč na tuljavi.
- R_e - nadomestna upornost.
- U_{Re} - napetost na nadomestni upornosti.
- U_L - napetost na tuljavi.
- L_X - izračunana induktivnost.
- $\tan \varphi$ - fazni kot bremena.
- e_{TT} - mejni relativni pogrešek prestave tokovnega transformatorja.
- e_{ξ} - mejni relativni kotni pogrešek tokovnega transformatorja.
- e_W - mejni relativni pogrešek Wattmetra.
- e_P - mejni relativni pogrešek delovne moči.
- e_I - mejni relativni pogrešek ampermetra.
- e_{Re} - meja pogreška R_e .
- $e_{U_{Re}}$ - meja pogreška posrednega merjenja U_{Re} .



- e_U - mejni relativni pogrešek voltmetra.
- e_{U_L} - meja pogreška posrednega merjenja U_L .
- e_f - relativna meja pogreška frekvenčmetra.
- e_{L_X} - ocena meje pogreška izračuna L_X .

Izračunana induktivnost z upoštevanjem meje pogreška je:

$$L_X = L_X (1 \pm e_{L_X}) = 0,31 \cdot (1 \pm 0,018) \text{ H}$$

5. Prikaz merilnih rezultatov

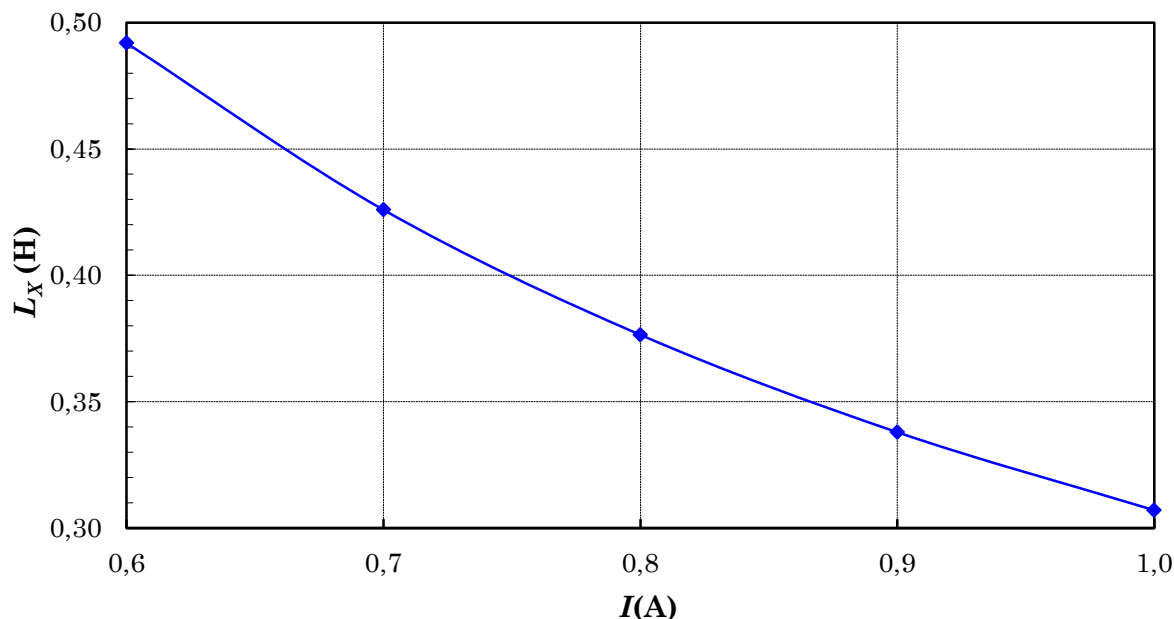
Tabela 1: Tabela izmerjenih vrednosti.

št. m.	k_A	α_A	I	k_V	α_V	U	f	k_W	α_W	p_I	P
	(A/del)	(del)	(A)	(V/del)	(del)	(V)	(Hz)	(W/del)	(del)		
1	0,02	30	0,6	2	47,0	94,0	50,5	0,5	49,0	0,2	4,9
2	0,02	35	0,7	2	47,5	95,0	50,5	0,5	61,0	0,2	6,1
3	0,02	40	0,8	2	48,0	96,0	50,5	0,5	74,0	0,2	7,4
4	0,02	45	0,9	2	48,5	97,0	50,5	0,5	89,0	0,2	8,9
5	0,02	50	1,0	2	49,0	98,0	50,5	0,5	106,0	0,2	10,6

Tabela 2: Tabela izračunanih vrednosti.

št. m.	R_e	U_{Re}	U_L	L_x
	(Ω)	(V)	(V)	(H)
1	13,61	8,17	93,6	0,49
2	12,45	8,71	94,6	0,43
3	11,56	9,25	95,6	0,38
4	10,99	9,89	96,5	0,34
5	10,60	10,60	97,4	0,31





Slika 1: Induktivnost v odvisnosti od toka $L_X(I)$.

6. Komentar

V naprej smo sklepali, da bo induktivnost padala, pa vendar nam daje pomisleke, kako lahko induktivnost tuljave v odvisnosti od toka pada, ko pa je tuljava snovno-geometrijska lastnost, ki je določena z dolžino tuljave, presekom, število ovoji, relativno permeabilnostjo jedra in permeabilnostjo praznega prostora. Vendar, je lastnost vodnikov in tuljav, da z električnim tokom ustvarjajo magnetni sklep. Induktivnost je določena z magnetnim sklepom na enoto toka.

$$L = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot N^2 \cdot A}{l_s} = \frac{\psi}{I} \left[\frac{Wb}{A} = H \right]$$

Upoštevati moramo nelinearnost histerezne zanke pri magnetenju materiala, tako je magnetna gostota B nelinearno odvisna od magnetne poljske jakosti H in se zato spreminja permeabilnost, kar pomeni spremembo induktivnosti v odvisnosti od toka.

Tokovni transformatorji kot tudi napetostni transformatorji nam sicer res omogočajo merjenje po velikosti večjih veličin, vendar nam v meritev vnašajo pogreške saj idealnih transformatorjev ni. Pogrešek se vnaša s prestavo transformatorja. Pri tem načinu merjenja induktivnosti, se nam v meritev vpeljuje vrsta merilnih pogreškov (relativni pogrešek wattmetra, voltmetra, ampermetra,...), pa vendar vidimo, da je kljub vsem pogreškom relativni mejni pogrešek merjenja induktivnosti tuljave relativno majhen, približno $\pm 1,8\%$.

