

Ime in priimek: _____
Šolsko leto: _____ Datum: _____

MERITEV INDUKTIVNOSTI IN KVALITETE TULJAVE Z ŽELEZNIM JEDROM

Tuljavi z železnim jedrom določite sledeče parametre:

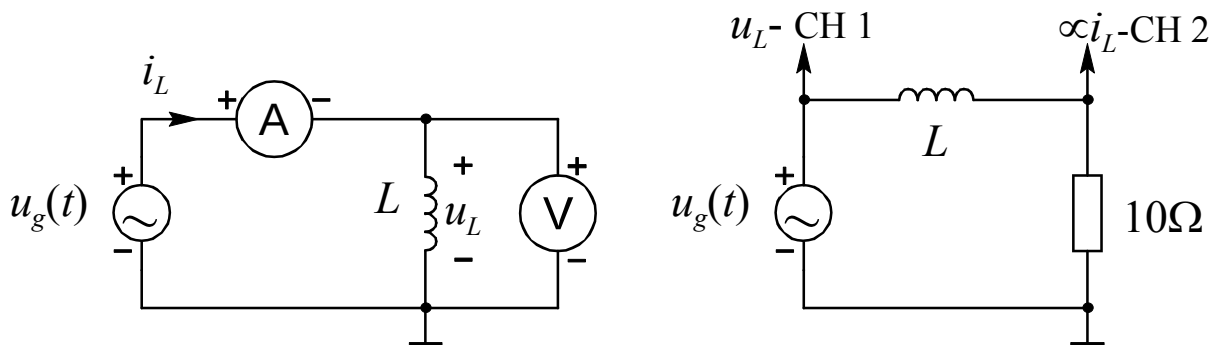
- induktivnost L in kvaliteto Q tuljave z meritvijo absolutne vrednosti impedance $|Z_L|$ in izgubnega kota δ pri vzbujanju s sinusno napetostjo
- z merjenjem toka $i_L(t)$ pri stopničnih spremembah napetosti $u_L(t)$
- z univerzalnim mostičem.

Za meritvi pod a) in b) izračunajte tudi relativni napaki za izmerjeni induktivnosti glede na meritev z merilnim mostičem.

Opis meritve:

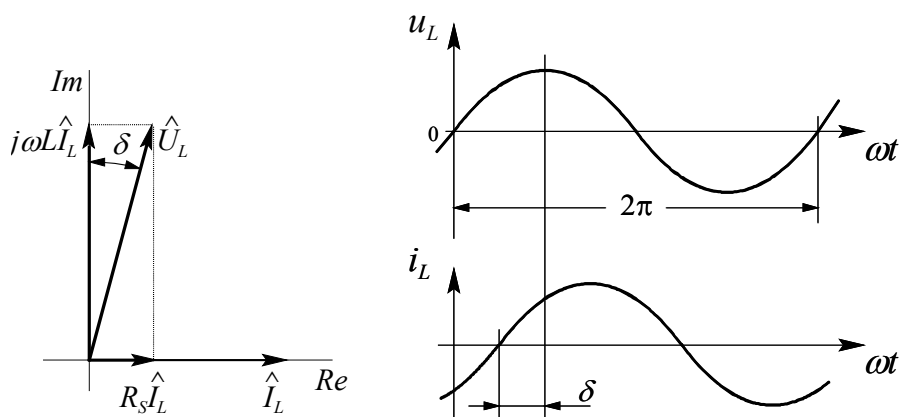
Z univerzalnim instrumentom (multimeter) pomerite upornost bakrenega navitja tuljave R_{Cu} . To vrednost uporabite za primerjavo z vrednostmi, ki jih izračunate na podlagi meritev izgubnega kota δ .

a) Z meritvijo efektivnega toka in napetosti izmerite absolutno vrednost impedance $|Z_L|$ pri frekvencah 50Hz, 200Hz in 1kHz (levi del slike 1). Na funkcijskem generatorju nastavite sinusni signal $U_{ef} = 5V$ in izklopite enosmerni pomik ($U_{off} = 0V$). Z voltmetrom in ampermetrom izmerite napetost in tok. Z osciloskopom kontrolirajte obliko signala. Iz izmerjenih podatkov izračunajte induktivnost tuljave pri vsaki od zahtevanih frekvenc.



Slika 1: Meritev absolutne vrednosti impedance (levo).
Meritev izgubnega kota δ (desno).

Za meritev izgubnega kota δ povečajte napetost generatorja na $20V_{pp}$ (maksimalno izhodno napetost) in uporabite vezje, ki ga kaže desni del slike 1. Upor, s katerim merimo fazo toka i_L , ima vrednost $R_m = 10\Omega$, zato je ta upornost zanemarljiva v primerjavi z lastno upornostjo navitja R_{Cu} in $|Z_L|$. Upornost R_m realizirajte s pomočjo uporovne dekade. Na sliki 2 sta prikazana kazalčni diagram in časovna slika signalov, kot jo vidimo na zaslonu osciloskopa. Za oba kanala uporabite izmenični sklop (AC). Pri vsaki od frekvenc 50Hz, 200Hz in 1kHz nastavite sliko kot kaže slika 3. Izmerite zakasnitev Δt med prehodom toka skozi nič in maksimumom napetosti. Maksimum sinusne napetosti določimo kot središče med dvema prehodom napetosti skozi ničlo (sredina polperiode). Proženje postavite na CH1, nivo proženja postavite na 0V in izberite pozitivni rob proženja. Maksimum signala na CH1 najdete tako, da kurzor postavite na $T/4$ (sredina polperiode), kjer je T perioda opazovane frekvence.



Slika 2: Kazalčni diagram in časovni potek napetosti in toka tuljave.

Slika 3 kaže primer iskanja maksimuma napetosti (CH1) za primer vzbuja tuljave s frekvenco 1kHz. Proženje je nastavljeno na kanal 1, pozitiven rob, kurzor maksimuma postavite na $T/4$ – torej za primer 1kHz na $250\mu s$. Z drugim kurzorjem poiščete prehod toka (CH2) skozi 0V. Razlika med kurzorjema pomeni razliko Δt . Na sliki 3 znaša absolutna vrednost razlike $26.720\mu s$ (desni spodnji kot zaslona).



Slika 3: Določanje zakasnitve Δt iz maksimuma napetosti u_L in minimuma toka i_L .

Iz dobljene zakasnitve Δt izračunajte kot δ , kvaliteto Q in serijsko upornost R_S nadomestnega vezja. Dobljene vrednosti za serijsko upornost primerjajte z R_{Cu} . Upornost R_S z naraščajočo frekvenco raste, ker rastejo izgube v železnem jedru.

$$\frac{\Delta t}{T} = \frac{\delta}{2\pi} \Rightarrow \delta = 2\pi \frac{\Delta t}{T} \text{ in } \tan \delta = \frac{R_S}{\omega L} \Rightarrow Q = \frac{1}{\tan \delta} \quad (1)$$

$$|Z_L| = \frac{U_L}{I_L} \quad R_S = |Z_L| \sin \delta \text{ in } L = \frac{|Z_L| \cos \delta}{\omega} \quad (2)$$

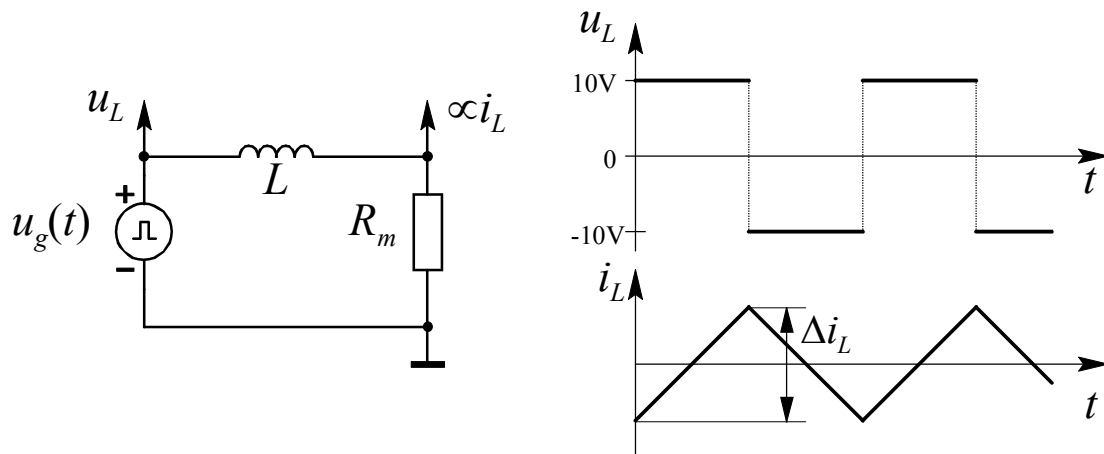
V primeru, da je izmerjeni izgubni kot majhen (δ je v radianih), lahko uporabimo sledečo poenostavitev:

$$\delta \ll 1 \Rightarrow \tan \delta \approx \delta \Rightarrow Q = \frac{1}{\delta} \text{ in } R_S = \omega L \delta = |Z_L| \delta \quad (3)$$

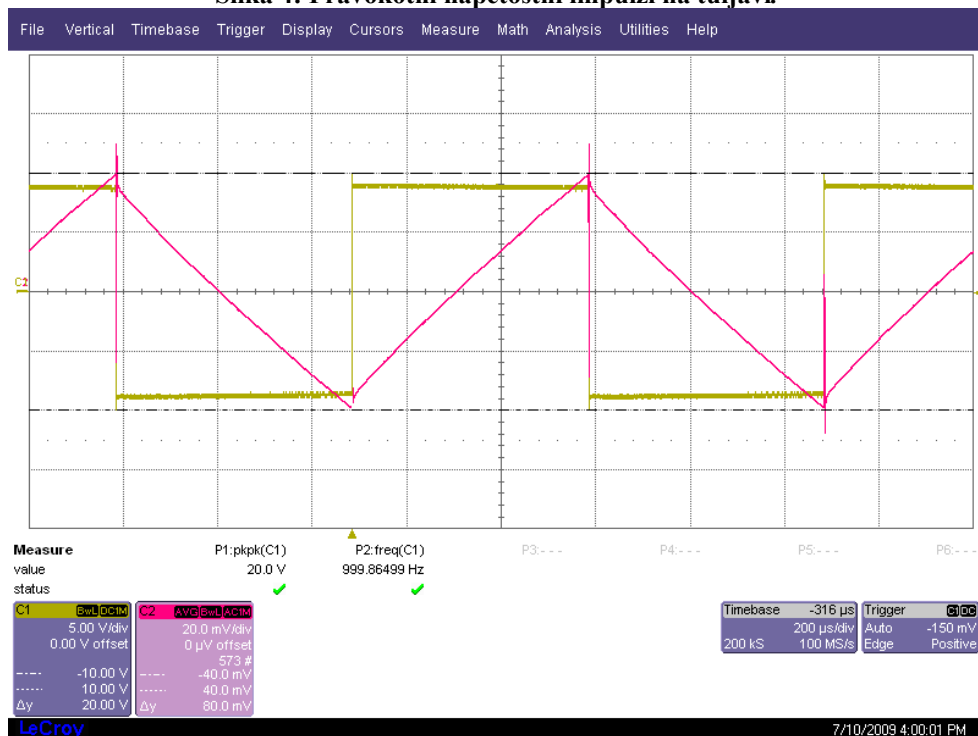
b) Na tuljavo priključite pravokotne simetrične napetostne impulze s frekvenco 50Hz, 200Hz in 1kHz in amplitudo 10V (20V_{pp}, slika 4). Tok skozi tuljavo merimo prek napetosti na upor $R_m=10\Omega$, ki je zaporedno vezan s tuljavo. Napetost tuljave u_L , ki jo nastavite pri obremenjenem generatorju in merite z osciloskopom, je praktično enaka generatorjevi, saj je napetost na merilnem uporu majhna, ker velja $R \ll |Z_L|$. Pri konstantni napetosti na tuljavi tok i_L s časom linearno raste, oziroma pada, odvisno od predznaka napetosti:

$$u_L(t) = L \frac{di_L}{dt} \quad \text{in za} \quad u_L = \text{konst} \quad U_L = L \frac{\Delta i_L}{\Delta t}$$

Napetost U_L v gornji enačbi je trenutna vrednost napetosti na tuljavi ($U_L=10\text{V}$, oz. $U_L=-10\text{V}$). Spremembo Δi_L preračunate iz izmerjene napetosti na uporu vrednosti R_m .



Slika 4: Pravokotni napetostni impulzi na tuljavi.



Slika 5: Meritev razlike Δi_L za primer 1kHz.

Slika 5 prikazuje meritev razlike Δi_L za primer 1kHz. Razliko Δi_L izmerite s pomočjo horizontalnih kurzorjev, tako da en kurzor postavite na vrh, drugega pa na dno signala toka (CH2) kot kaže slika 5. Razlika Δi_L bo izmerjena napetost Δy na CH2 preračunana po Ohmovem zakonu preko upornosti $R_m=10\Omega$. Za primer na sliki 5 znaša razlika $\Delta y=80\text{mV}$ (glej CH2 v levem kotu – Δy), kar pomeni spremembo toka:

$$\Delta i_L = \frac{80\text{mV}}{10\Omega} = 8\text{mA} \quad (4)$$

c) Z univerzalnim mostičem izmerite induktivnost L in kvaliteto Q pri frekvenci 1kHz. Na mostiču nastavite vrednost dobljeno z meritvami pod a) in b). Notranji oscilator mostiča ima frekvenco 1kHz, zato dobljeni rezultati veljajo za to frekvenco. Z nastavljanjem vrednosti in kvalitete manjšajte odklon indikatorja. V primeru, da indikator kaže polni odklon in se ne odziva na spremembe drugih nastavitev, je potrebno zmanjšati napetost oscilatorja (OSC LEVEL).

Rezultati:

Ohmska upornost navitja $R_{Cu} = \underline{\hspace{2cm}}$

a) Meritev s sinusnim signalom

f [Hz]	50	200	1000
$ U_L $			
$ I_L $			
Δt			
T			
δ			
L [H]			
$ Z_L $			
R_s [Ω]			
Q			

b) Meritev odziva na pravokotne impulze

f [Hz]	50	200	1000
Δt			
Δu_{Rm}			
L [H]			

c) Meritev z univerzalnim mostičem pri $f = 1\text{kHz}$

$L = \underline{\hspace{2cm}}$

Izračunajte tudi relativni napaki meritev pod a.) in b.) glede na meritev c.), ki je najbolj točna:

$$\left| \frac{L_a - L}{L} \right| \cdot 100\% = \underline{\hspace{1cm}} \%$$

$$\left| \frac{L_b - L}{L} \right| \cdot 100\% = \underline{\hspace{1cm}} \%$$