



Инструмент са покретним калемом (20 поена)

Увод

Амперова сила која делује на проводник у коме је успостављена електрична струја, који се налази у магнетском пољу, основа је различитих мерних инструмената електричних физичких величина. Момент таквих сила који онда делује на струјну контуру постављену у одговарајуће магнетно поље, а последично и на калем у коме је успостављена електрична струја, основа је већине техничких решења тих инструмената. У интересу пројектовања мерног уређаја према том принципу, пожељно је да момент силе који делује на калем буде независан од тренутног угаоног положаја тог калема. Тиме се намеће потреба да се навојци калема налазе у хомогеном магнетном пољу, које увек заклапа исти угао са правцем осе калема. Пример једног таквог инструмента је и инструмент са покретним калемом — *галанометар* који је тема данашњег задатка, а који је описан у наставку.

Калем, у коме се успоставља испитна струја I , се поставља у процеп између два супротно поларисана магнета кружног облика¹, при чему се сам калем поставља на веома добро магнетски проводан носач цилиндричног облика. Попречни пресек система је илустрован на слици 1, а исти такође можете уочити и на инструменту са казаљком на експерименталној макети испред себе. Пошто магнетно поље напушта и улази у магнетно добро проводну средину² под правим углом, поље унутар процепа, односно, поље у коме се креће калем, је радијално и хомогено, а момент магнетних сила које делују на калем једнак је

$$M_m = GI, \quad (1)$$

при чему се G назива струјним коефицијетом галанометра. Да би се на том принципу пројектовао мерни инструмент, калем се повезује и на спиралну опругу, чији је момент еластичне силе сразмеран углу отклона казаљке према закону

$$M_e = k\theta, \quad (2)$$

где је k коефицијент еластичности те спиралне опруге. На послетку, кретање калема у уском ваздушном процепу доводи до значајних вискозних сила, које пригушују карактер слободних осцилација калема, чији је момент одређен изразом

$$M_v = b\omega, \quad (3)$$

где је ω тренутна угаона брзина казаљке, а b је одговарајући отпорни коефицијент. Према томе, кретање казаљке представља пригушени хармонијски осцилатор, чије је кретање принудно под дејством магнетне силе до које доводи струја успостављена у намотају. Момент инерције котура са казаљком је J , па је сопствена фреквенција слободних осцилација система $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{J}}$, док је нормализовани параметар пригушења $\gamma = \frac{b}{J}$.

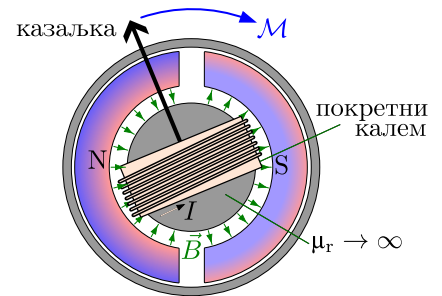
У овом експерименталном задатку испитаћете прво електричну карактеристику галанометара, односно измерити његову отпорност. Затим ћете прећи на динамичке карактеристике које одговарају законима принудних осцилатора.

Апаратура

- Двијач;
- Отпорници, угљенослојни максималне тренутне снаге $1/4 \text{ W}$, отпорности: $0,47 \Omega$, 1Ω , $2,2 \Omega$, $3,3 \Omega$, 51Ω , 100Ω , 220Ω , и 330Ω , релативне грешке номиналне вредности $\delta R = 1\%$;
- Хилзне за подешавање момента инерције казаљке;

¹Прецизније, облика призме чија је једна основа половина кружног прстена.

²У практичним реализацијама, бира се магнетно меко гвозђе, за које је $\mu_r \sim 100$, што се може сматрати довољно великим.



Слика 1: Попречни пресек галанометра



- пинцета за прецизно руковање хилзлама; и
- Експериментална макета, са уграђеном алкалном батеријом називног напона 9 V.

Опис експерименталне макете

Експериментална макета омогућује постављање различитих радних услова инструменту са покретним калемом који је на њу постављен. На слици 2а је приказана функционална шематска представа макете, где су приказани и изведени крајеви А и В на посебној клеми на макети. Могуће је подешавање параметара напонског извора чији је напон у облику:

$$u(t) = U_{OS} + U_m \sin(2\pi ft + \phi). \quad (4)$$

Сваки од расположивих параметара може се подешавати у одређеном опсегу, и са одређеним кораком у оквиру тог опсега. Параметри, њихов опис, минимална и максимална вредност, и корак подешавања наведени су у табели 1

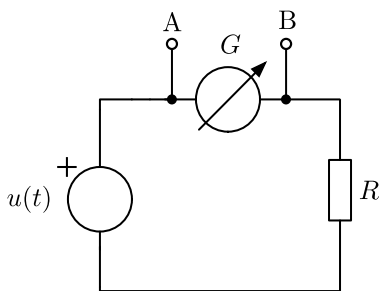
Ознака	Параметар	Опис	Подешавање вредности			
			мин.	корак	макс.	јед.
U_{OS}	Напонски офсет	Средња вредност напона, једносмерна (тзв. DC) компонента напона генератора	0	0,1	5	V
U_m	Амплитуда	Амплитуда наизменичне компоненте излазног напона генератора.	0	0,1	2,5	V
f	Учестаност	Учестаност (фреквенција) наизменичне компоненте излазног напона генератора, $f = 1/T = \omega/(2\pi)$.	0	0,1	5,0	Hz

Табела 1: Уз директно подешавање параметара испитног генератора.

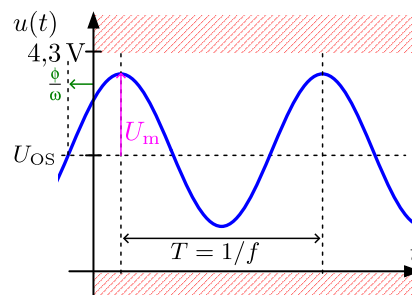
Посебно, треба водити рачуна да тренутна вредност напона $u(t)$ мора увек бити у интервалу дозвољених вредности $0 \leq u(t) \leq 4,3 \text{ V}$. Илустрација подешеног таласног облика напона приказана је слици 2б.

Грешке свих директно постављених величина из табеле 1 се могу занемарити.

Отпорност редног отпорника у шеми може се сматрати много већом од отпорности галванометра, $R \gg R_G$.



(а) Функционална шема макете.

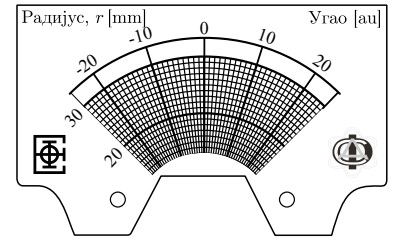


(б) Дефиниција параметара генерисаног напона.

Слика 2: Функционални детаљи експерименталне макете.



Скала инструмента је прилагођена потребама експеримената, посебном штампом. На слици 3 приказана је штампа испод казаљке инструмента. Испод казаљке је одштампана поларна мрежа, која је прецизно градуисана по углу и по растојању од центра ротације казаљке. Видљиви део мреже приказује растојања r од центра ротације казаљке у опсегу од $r_{\min} = 15 \text{ mm}$ до $r_{\max} = 30 \text{ mm}$, са кораком градуације 1 mm . На датој поларној мрежи, угао је приказан у произвољним јединицама (*arbitrary units*, au), у опсегу $\pm 25 \text{ au}$, са кораком градуације 1 au .



Слика 3: Уз штампу.

Употреба експерименталне макете

Функционални приказ експерименталне макете представљен је на слици 4.

Макета се укључује клизањем главног прекидача у укључено стање (ON). Када макета исправно ради, **црвена** сигнална диода поред прекидача светли. Уколико се црвена диода не укључује по укључењу прекидача позвати дежурног наставника.

За интеракцију са макетом, и подешавање одговарајућих параметара користи се контролна палица (дигитални ротациони енкодер, потенциометар са неограниченим ходом), која пружа три команде: окрет у позитивном смеру, окрет у негативном смеру, и притисни тастер који се активира вертикалним стиском на палицу наниже. На монохроматском *OLED* екрану се приказује тренутно подешавани параметар. На екрану су увек исписани сви расположиви параметри који могу да се мењају, и то

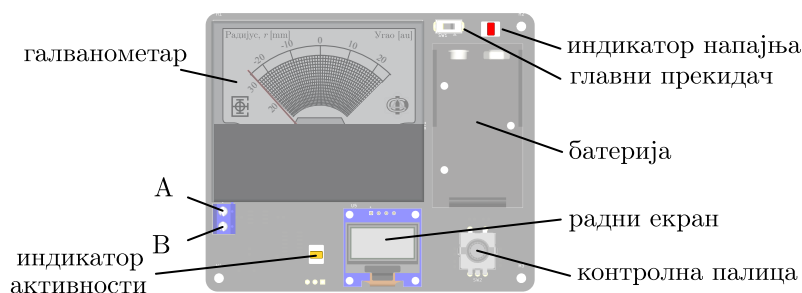


Слика 5: Приказ екрана.

- OFS – Подешавање напонског офсета (Параметар U_{OS});
- AMP – Подешавање амплитуде наизменичног напона (Параметар U_m);
- FRQ – Подешавање учестаности наизменичног напона (Параметар f);
- OUT – Укључење излазног напона, окретом у било коју страну се мења са ON на OFF чиме се активира излазни напон. Док је постављено на OFF друга подешавања не утичу на излаз.

Окретањем потенциометра помера се курсор означен знаком „|“, што је илустровано на слици 5. Притиском на тастер курсор мења облик у * када се ротирањем енкодера мења задата вредност. Поновним притиском тастера, курсор се враћа у почетни облик а окретање енкодера мења изабрано подешавање. Током подешавања треба водити рачуна да се вредности осталих параметара не мењају, а да излазни напон прати тренутно приказане параметре на екрану. Мењање параметара док је излаз активан је **дозвољено** и то треба користити.

Када је активан излаз (OUT = ON), жута диода на макети пулсира задатом учестаношћу да би се додатно сигнализирало активан рад.



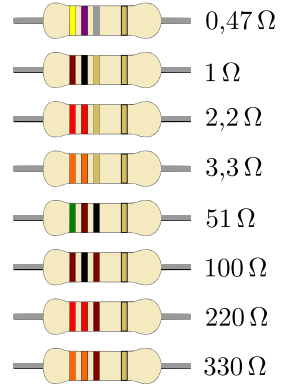
Слика 4: Функционални преглед експерименталне макете.



ЗАДАТАК

Део 1 – Мерење отпорности галванометра помоћу шањтирања

Под појмом *шањтирање* подразумевамо проширење мерног опсега мерног инструмента додавањем паралелне отпорности мерном инструменту. На располагању су отпорности $0,47\ \Omega$, $1\ \Omega$, $2,2\ \Omega$, $3,3\ \Omega$, $47\ \Omega$, $100\ \Omega$, $220\ \Omega$ и $330\ \Omega$. Отпорници су карбон-филм, релативне грешке вредности $\delta R = 1\%$, а њихове вредности кодирани су бојама трака на беж телу као што је илустровано на слици 6, односно, у табели 2. Треба бити посебно пажљив при разликовању црвене и наранџасте, као и црвене и браон боје. Уколико имате потешкоћа са разликовањем боја, обавезно позовите дежурног наставника!



Слика 6: Препознавање отпорника

Боје прстенова, редом са лева на десно				$R [\Omega]$
1.	2.	3.	4.	
Жута	Љубичаста	Сребрна	Златна	0,47
Браон	Црна	Златна	Златна	1,0
Црвена	Црвена	Златна	Златна	2,2
Наранџаста	Наранџаста	Златна	Златна	3,3
Зелена	Браон	Црна	Златна	51
Браон	Црна	Браон	Златна	100
Црвена	Црвена	Браон	Златна	220
Наранџаста	Наранџаста	Браон	Златна	330

Табела 2: Читање вредности отпорника

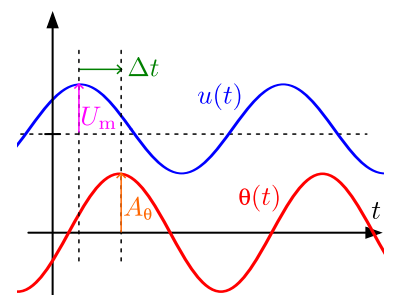
У овој тачки, не користи се наизменична компонента побудног напона. На макети треба конфигурирати $f = 0$. Напон напонског офсета извора треба подесити на вредност по свом избору. Додавањем отпорности паралелно инструменту, на прикључцима А и В, мењају се радни услови галванометра.

- (а) Процедуром по избору, користећи расположиву опрему, измерити отпорност галванометра и одредити мерну несигурност тог мерења. Ради повећања прецизности, дозвољено је комбиновати отпорнике на начин по избору. **(5 поена)**

Део 2 – Динамичко понашање инструмента.

У овој тачки, у устаљеном стању, казаљку је потребно довести на средину градуације екрана, подешавајући напонски офсет U_{OS} тако да казаљка буде што ближе околини нултог угла, чиме је омогућено кретање казаљке у најширем могућем опсегу вредности. Подесити амплитуду на почетну вредност $U_m = 1\ V$. Амплитуду по потреби мењати. Водити рачуна да казаљка не „удара“ у граничнике са леве и десне стране током мерења!

Због осцилаторног карактера побудног напона (а тиме и струје која се успоставља у навојцима калема у галванометру), долази до осцилаторне принудне силе која доводи до осцилаторног кретања казаљке у устаљеном стању, као што је илустровано на слици 7. Амплитуда напона је задатата, U_m , а амплитуда принудних осцилација казаљке је A_θ , док је кашњење фазе кретања казаљке у односу побудни напон Δt . Однос амплитуда ове две зависности, тзв. амплитудско појачање, и фазна разлика, су две карактеристике зависне од учестаности побудног напона, $A(f) = \frac{A_\theta(f)}{U_m(f)}$ и $\Delta\phi(f)$ респективно. У овом задатку, се неће испитивати фазна разлика!



Слика 7: Уз дефиницију задатка.



- (б) Измерити зависност амплитудског појачања од учестаности $A = A(f)$ у опсегу $0 < f < 5$ Hz, и на милиметарском папиру нацртати график. Грешке мерења учртати на графику. (4 поена)
- (в) Одредити резонантну учестаност система, f_r , и проценити одговарајућу грешку мерења. (1 поен)
- (г) На основу добијених мерења, линеаризацијом одговарајуће зависности и применом графичке методе, израчунати кружну фреквенцију непригушених осцилација казаљке ω_0 , и нормализовани параметар пригушења γ .
Важно! У овој тачки не треба процењивати грешке мерења! (4 поена)

Део 3 – Мерење момената инерције казаљке.

Дате хилзне се могу сматрати материјалним тачкама чија је маса $m_h = (28 \pm 2)$ mg. Навлачењем хилзни на казаљку помоћу пинцете, могуће је мењати момент инерције казаљке.

- (д) Користећи се том могућношћу, мењати момент инерције казаљке и одредити и нацртати зависност резонантне учестаности од прираштаја момента инерције, $\omega_r = \omega_r(\Delta J)$. (2 поена)
- (ђ) На основу резултата мерења из претходне тачке, проценити момент инерције казаљке са калемом, J , и одговарајућу грешку мерења. Водити рачуна о томе да момент инерције хилзни може бити упоредив са моментом инерције казаљке. (4 поена)
- Напомена!** Резултат се може добити одговарајућим усредњавањем. Цртање графика није неопходно.