

4. ИЗМЕРВАНЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ВЕЛИЧИНИ С ЕЛЕКТРОННОЛЪЧЕВ ОСЦИЛОСКОП

Целта на упражнението е да се запознаят студентите с функционалните възможности на електроннолъчев осцилоскоп и приложението му за измерване на основните параметри на електрически величини.

4.1. Задачи за изпълнение

1. Да се разгледа предоставеният електроннолъчев осцилоскоп и да се опишат неговите основни метрологични характеристики.
2. Да се измери амплитудната стойност на различни по форма напрежения и резултатът да се сравни със стойността, измерена с цифров мултиметър.
3. Да се провери номиналният коефициент на отклонение на канали Y_1 , Y_2 и X и да се определи съответната относителна грешка.
4. Да се измерят периодът и честотата на различни по форма напрежения и да се оценят честотните възможности на функционален генератор.
5. Да се измери фазовата разлика между два синусоидални сигнала с еднаква честота.
6. Да се измери активната мощност на реален обект (импеданс Z) при повишена честота.

4.2. Теоретични постановки и методически указания

4.2.1. Теоретични постановки

Електроннолъчевият осцилоскоп (ЕЛО) е уред, с който могат да се измерват различни електрически, магнитни и неелектрически (посредством преобразуватели) величини. Поради широките си възможности за приложение, ЕЛО може да се счита за един от най-универсалните и масово използвани измервателни уреди.

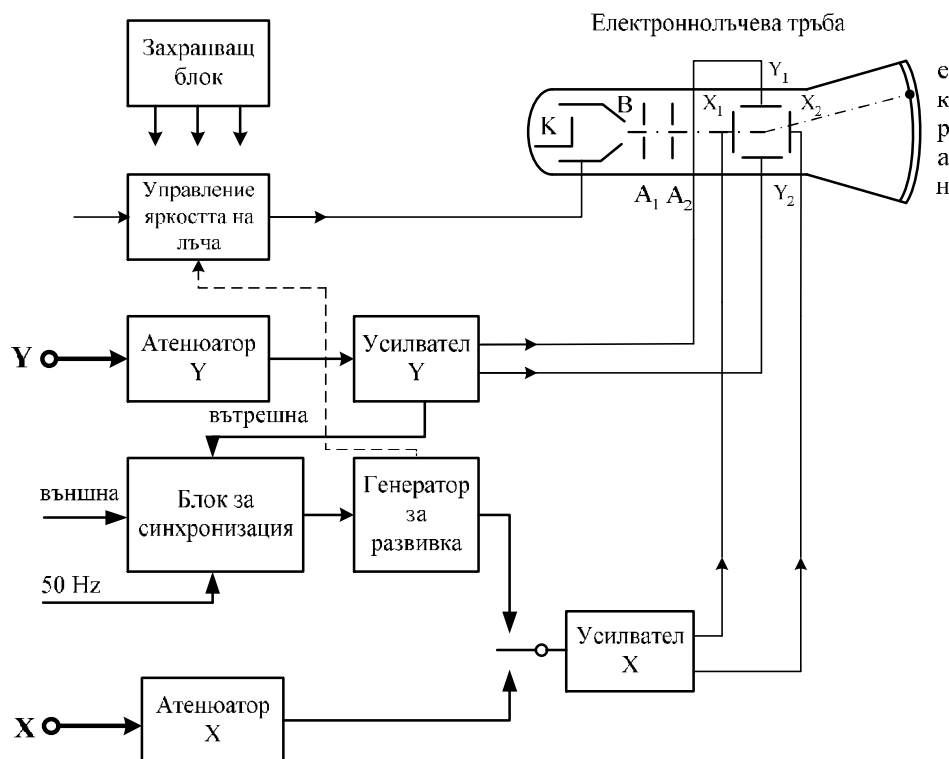
Входната величина на ЕЛО е електрическо напрежение, което в основния режим на работа се изобразява на екрана във вид на светеща крива, наречена осцилограма. Следователно ЕЛО може да се използва за изследване на всички величини, които могат да бъдат преобразувани в напрежение.

В това лабораторно упражнение се разглежда приложението на ЕЛО за измерване на някои основни параметри, характеризиращи електрическите сигнали: моментна и амплитудна стойност на променливо напрежение с различна форма, период, честота и фазова разлика, продължителност и фронтове на импулси и др. Пример за приложението на осцилоскопа в друга област на измерване е разгледан в Лабораторно упражнение № 9, където ЕЛО се използва за изследване на феромагнитни материали при променливо магнитно поле. Там към входовете му се подават напрежения пропорционални и във фаза с моментните стойности на индукцията B и интензитета H , при което на екрана се изобразява динамичният хистерезисен цикъл.

4.2.1.1. Структурна схема на ЕЛО и принцип на осцилографирането

На обобщената структурна схема от фиг.4.1 са показани основните функционални блокове на електроннолъчевия осцилоскоп: електроннолъчева тръба; измервателни усилватели за вертикално и хоризонтално отклонение; генератор на развивка; блок за синхронизация и захранващ блок.

Електроннолъчевата тръба (ЕЛТ) представлява херметично затворена стъклена тръба, в която е разположена система от електроди за създаване, формиране и управление на електронния лъч (катод К, Венелтов цилиндър В, фокусиращ анод A_1 и ускоряващ анод A_2). Електростатичното поле, създавано от напреженията U_Y и U_X , подадени към пластините за вертикално (Y_1 и Y_2) и хоризонтално (X_1 и X_2) отклонение, променя траекторията на насочения към луминесциращия екран електронен лъч. Кинетичната енергия на бомбардиращите екрана електрони се трансформира в светлина, като на това място се наблюдава светеща точка.

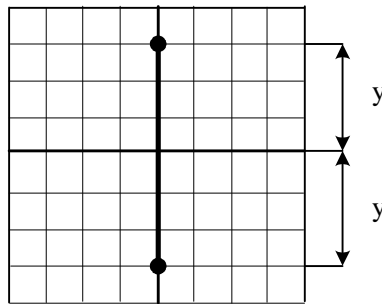


Фиг.4.1.

Изображението на изследвания периодичен сигнал върху екрана се получава по следния начин:

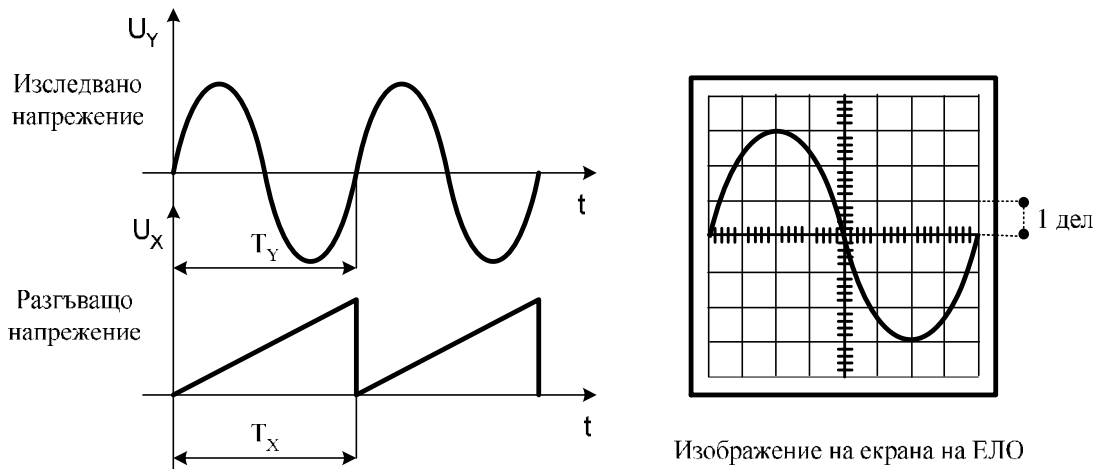
- към плочите за отклонение на лъча във вертикална посока Y_1 и Y_2 се подава измерваното синусоидално напрежение U_Y с амплитуда U_{Ym} . Ако на плочите за хоризонтално отклонение X_1 и X_2 не се подава външно напрежение

и генераторът на развивка е изключен, на екрана на ЕЛО ще се изобрази вертикална права линия, чиято дължина $2y$ е пропорционална на двойната амплитуда на измерваното напрежение $2.U_{ym}$ (фиг.4.2).



Фиг.4.2.

- за да се получи на екрана и изображението на самата синусоида, се включва *генераторът на развивка*, при което към плочите за хоризонтално отклонение X_1 и X_2 се подава *разгъващо тригонообразно напрежение* U_x , изменящо се линейно с времето t . Оста X на ЕЛО се превръща в ос на времето t , а на екрана се изобразява изследваният сигнал. Линейното напрежение U_x се изменя периодично и строго синхронно с изследвания сигнал U_y , както е показано на фиг.4.3



Фиг.4.3.

Честотата f_x на разгъващото напрежение трябва да е равна (фиг.4.3) или кратна на честотата на изследвания сигнал f_y . Ако тази кратност се наруши, образът на сигнала ще започне да се мести в хоризонтална посока по екрана. Това явление се коригира чрез *блока за синхронизация*. Синхронизацията бива: вътрешна (използва се изследваният сигнал); синхронизация посредством

честотата на мрежовото напрежение (50 Hz) и външна (от сигнали, подавани на специален вход на осцилоскопа).

Сравнително ниската чувствителност на ЕЛТ налага предварителното усиление на изследваните напрежения. За тази цел се използват **измервателни усилватели за вертикално и хоризонтално отклонение** с нормирани метрологични характеристики. Усилването се осъществява стъпално (чрез включен към входа стъпален делител на напрежение - атенюатор) или плавно (чрез потенциометри, включени на подходящо място в усилвателя).

В **захранващия блок** мрежовото напрежение се преобразува в постоянно, стабилизира се и се използва за захранване на останалите блокове на осцилоскопа.

4.2.2. Методически указания за изпълнение на задачите

При изпълнение на задача 1 се изучава предоставеният електроннолъчев осцилоскоп и в Табл.4.1 се нанасят данните за следните основни метрологични характеристики:

Номинални константи по напрежение (номинални коефициенти на отклонение). Те се дефинират с изразите:

$$(4.1) \quad C_{YH} = \frac{U_{Ym}}{y} - \text{константа на канала за вертикално отклонение } Y.$$

Забележка: В практиката широко се използват **двуканални осцилоскопи с два канала за вертикално отклонение** (съответно константи C_{Y1} и C_{Y2}), което позволява едновременно изобразяване и изследване на две величини като функции на времето.

$$(4.2) \quad C_{XH} = \frac{U_{Xm}}{x} - \text{константа на канала за хоризонтално отклонение } X.$$

С тази константа се работи при използване на ЕЛЮ в режим на работа $X - Y$ (при измерване на честота чрез фигурите на Лисажу и др.). В този случай към вход X също се подава изследван сигнал, а генераторът на развивка се изключва.

Във формули (4.1) и (4.2) U_{Ym} и U_{Xm} са максималните (амплитудни) стойности на входните напрежения, а y и x - съответните отклонения на лъча във вертикална и хоризонтална посока. Посочените константи имат размерност $\mu V / \text{дел}$; $mV / \text{дел}$ и $V / \text{дел}$.

Внимание: Номиналните константи по напрежение са нанесени на стъпалните атенюатори и са валидни при определено фиксирано положение на потенциометъра за плавно регулиране на усиляването.

Коефициент на развивка (номинална константа по време) C_T . Това е константата, която се използва при основния режим на работа на канал X (включен генератор за развивка) за определяне на времевите параметри на наблюдаваните върху екрана сигнали (интервал от време, период на сигнал). Тя

има размерност $\mu s/дел$, $ms/дел$ и $s/дел$. Конкретните стойности, които могат да бъдат избрани, са нанесени върху стъпалния превключвател на развивката и също както константите по напрежение са валидни при определено положение на плавния регулатор.

Входен импеданс. Представя се с паралелно свързани входно съпротивление R_Y (съответно R_X) и входен капацитет C_Y (C_X). Обикновено стойностите на входното съпротивление са от порядъка на $1 M\Omega$, а на входния капацитет – от порядъка на $10\div 20 pF$.

Работна честотна област. Тя се дефинира главно за вертикалния канал на ЕЛО, тъй като хоризонталният има по-малки честотни възможности. Честотната област се ограничава от най-ниската и най-високата честота, за които честотната грешка по отношение на средните честоти не надвишава определена стойност.

Таблица 4.1

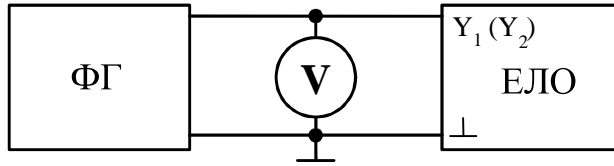
№	Осцилоскоп тип производител			
1	Константи по напрежение: $C_{Y1} =$ $C_{Y2} =$		$C_X =$	
2	Константа по време : $C_T =$			
3	Входни импеданси: Канал Y : $R_{Y1} =$ $C_{Y1} =$ $R_{Y2} =$ $C_{Y2} =$ Канал X : $R_X =$ $C_X =$			
4	Работна честотна област: $f_{min} =$ $f_{max} =$			

При изпълнение на задача 2 се реализира схемата от фиг.4.4. Към вход Y_1 (или Y_2) на ЕЛО се подава последователно синусоидално, триъгълно и правоъгълно напрежение от функционален генератор ФГ и се измерва неговата амплитудна (максимална) стойност U_m . Цифровият мултиметър, включен в режим на променливотоков волтметър (ACV), измерва ефективната стойност на напреженията U . От електротехниката е известно, че за случая на идеално синусоидално напрежение е в сила изразът $U_m = \sqrt{2}U$. Нанесете данните за измерените стойности в Табл.4.2 и изчислете относителната грешка

$$\delta = \frac{\sqrt{2}U - U_m}{U_m} \cdot 100\% .$$

Наблюдавайте как се променя грешката за случаите на




триъгълно и правоъгълно напрежение и обяснете причината за това.



Фиг.4.4.

Забележка: За удобство при отчитането на броя деления y (съответстващи на амплитудата на напреженията) генераторът на развивка може да се изключи, при което осцилограмата ще се редуцира до права линия, както е показано на фиг.4.2

Таблица 4.2

Сигнал	C_{Y1}	y	U_m	U	δ
	V / дел	дел	V	V	%
					
					
					

При изпълнение на задача 3 се използва отново схемата от фиг.4.4. Проверката се извършва минимум за един коефициент на всеки от каналите на ЕЛО. Данните се нанасят в Табл.4.3

Последователно към входове Y_1 , Y_2 и X се подава **синусоидално** напрежение от ФГ, като със съответния атенюатор се избира константата C_Y (C_X), която подлежи на проверка. С цифровия мултиметър се измерва ефективната стойност U на подаденото входно напрежение. Оттук може да се изчисли и действителният коефициент на отклонение:

$$(4.3) \quad C_{YИ} = \frac{U_m}{y} = \frac{\sqrt{2}U}{y} .$$

Относителната грешка δ ще се определи от израза

$$(4.4) \quad \delta = \frac{C_{YИ} - C_Y}{C_Y} \cdot 100\% ,$$

където $C_{YИ}$ е изчислената стойност на константата на канала Y .

Забележка: При проверката на коефициента C_X входното напрежение се подава към канал X , като генераторът на развивка се изключва. Образът на екрана на ЕЛО е хоризонтална права линия, чиято дължина също е пропорционална на двойната амплитуда на измерваното напрежение U_{Xm} .

Таблица 4.3

Канал Y_1					Канал Y_2					Канал X				
C_{Y1}	y	U	$C_{Y1и}$	δ	C_{Y2}	y	U	$C_{Y2и}$	δ	C_X	x	U	$C_{Xи}$	δ
$\frac{V}{дел}$	дел	V	$\frac{V}{дел}$	%	$\frac{V}{дел}$	дел	V	$\frac{V}{дел}$	%	$\frac{V}{дел}$	дел	V	$\frac{V}{дел}$	%

При изпълнението на задача 4 се разглеждат два метода за измерване на честота на сигнал и метод за оценка на честотните възможности на функционалния генератор.

Измерване на честота на сигнал чрез сравнение с честотата на вътрешния генератор на развивка

Посредством този метод лесно и удобно се определя честотата на сигнали със синусоидална и несинусоидална форма. Използва се отново схемата от фиг.4.4, като на мястото на цифровия мултиметър се включва цифров честотомер ЦЧ (или се използва вграденият във функционалния генератор). Напрежението с неизвестна честота f_X се подава към канала за вертикално отклонение на ЕЛО. Включва се генераторът на развивка и чрез подходящ избор на константата за време C_T върху екрана се получава осцилограма, която съдържа поне един цял период T_X на изследваното напрежение. От екрана в брой деления x се определя разстоянието в хоризонтално направление, което съответства на периода T_X . Формулите, по които се определят T_X и съответната честота на сигнала f_X , са

$$(4.5) \quad T_X = x \cdot C_T \quad \text{и} \quad f_X = \frac{1}{T_X} .$$

Относителната грешка на измерването се изчислява по формулата

$$(4.6) \quad \delta_f = \frac{f_X - f_{цч}}{f_{цч}} \cdot 100\% ,$$

където $f_{цч}$ е честотата, измерена с цифровия честотомер.

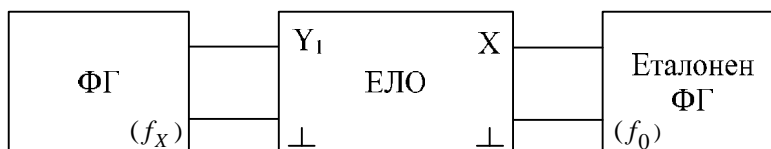
Измерването се извършва за няколко различни стойности на f_X при синусоидално, триъгълно и правоъгълно напрежение, като данните се нанасят в Табл.4.4.

Таблица 4.4

№	C_T	x	T_X	f_X	$f_{цч}$	δ_f
	$ms/дел$	дел	ms	Hz	Hz	%

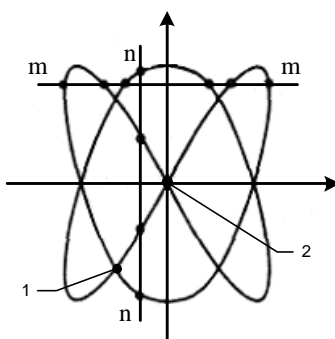
Измерване на честота на сигнал по метода на фигурите на Лисажу
Забележка: В съвременната практика този метод се използва сравнително рядко, но тук ще бъде разгледан като илюстрация на възможностите на ЕЛО в режим на работа X – Y.

При изпълнение на тази задача се реализира схемата от фиг.4.5. Генераторът на развивка се изключва. Към вход Y_1 се подава изследваното синусоидално напрежение с неизвестна честота f_X , а към вход X – напрежение от функционален генератор с еталонна регулируема честота f_0 .



Фиг.4.5.

На екрана на ЕЛО се получава изображение, наречено фигура на Лисажу. Конкретната форма на фигурата зависи от отношението на двете честоти f_X и f_0 . Установено е, че когато f_X и f_0 са цели числа, фигурата на екрана е неподвижна. На фиг.4.6 е показан пример за такава фигура. Отношението на честотите се определя, като през фигурата се прекарват хоризонтална ($m - m$) и вертикална ($n - n$) права линия така, че да пресичат максимален брой точки и да не минават през възлови точки (напр. точки 1 и 2), нито да са допирателни, а f_X се изчислява по формула (4.7).



Фиг.4.6.

Лесно се определя броят на пресечните точки, като в случая:

- права ($m - m$) - брой пресечни точки $a = 6$;
- права ($n - n$) - брой пресечни точки $b = 4$.

Отношението на честотите е $\frac{f_X}{f_0} = \frac{a}{b} = \frac{6}{4}$, откъдето

$$(4.7) \quad f_x = \frac{a}{b} \cdot f_0 = \frac{6}{4} \cdot f_0.$$

Методът се отличава с висока точност, която зависи само от точността на честотата на еталонния генератор f_0 . Отношението на сравняваните честоти не трябва да надхвърля 10:1, тъй като се получава сложна фигура, подобна на решетка, което силно затруднява отчитането.

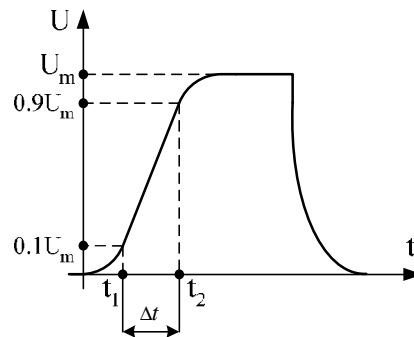
Изследването се извършва за две различни честоти f_x , при което f_0 се регулира, докато на екрана се получи неподвижна фигура на Лисажу. Данните се записват в Табл.4.5.

Таблица 4.5

№	a	b	f_0	f_x
	-	-	Hz	Hz

Оценка на честотните възможности на функционален генератор ФГ

При използването на този подход се предполага, че честотната лента на пропускане на осцилоскопа е поне 10 пъти по-висока от тази на ФГ. Сигналът от ФГ се подава към вход Y на ЕЛО. Включва се генераторът на развивка, а от ФГ се подава правоъгълно напрежение, чиято честота се увеличава, докато сигналът започне да се разкривява и станат видими фронтите на импулса (фиг.4.7). Подбира се подходяща константа по време C_T , определя се времето за нарастване на импулса $\Delta t = t_2 - t_1$, след което се изчислява горната граница f_{\max} на честотната лента на функционалния генератор



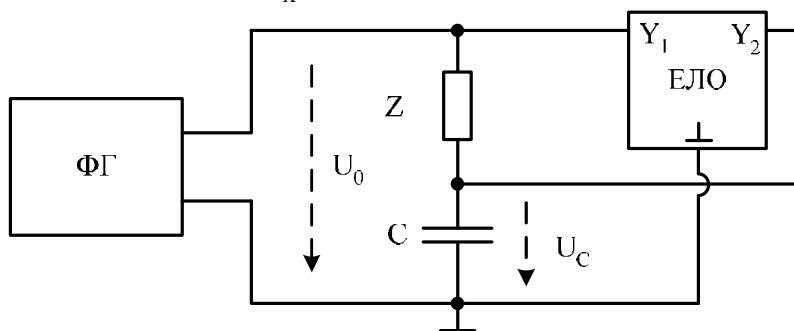
Фиг.4.7.

$$(4.8) \quad f_{\max} = \frac{0,35}{\Delta t}.$$

При изпълнение на задача 5 се реализира схемата от фиг.4.8. От функционалния генератор ФГ се подава синусоидално напрежение с произволна честота. Използват се едновременно и двата канала за вертикално отклонение Y_1 и Y_2 , включен е и генераторът на развивка. Към вход Y_1 е подадено общото напрежение U_0 , а към вход Y_2 - напрежителният пад върху

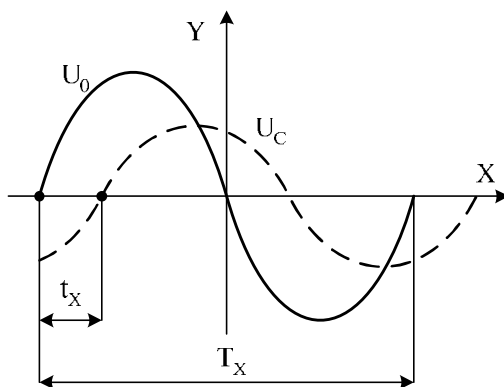
кондензатора C . На позиция MODE, положение DUAL на панела на ЕЛО, се натискат бутони CH1 и CH2, при което на екрана на ЕЛО се изобразяват едновременно двете синусоиди, отместени на интервал t_X по времевата ос (фиг.4.9) След определяне на интервала t_X фазовата разлика φ_X може да се изчисли по формулата

$$(4.9) \quad \varphi_X = \frac{360^\circ}{T_X} \cdot t_X .$$



Фиг.4.8.

По този метод могат да се измерят фазови разлики от 0 до 360° и непосредствено да се определи техният знак. При изпълнение на задачата да се измери фазовата разлика φ_X за поне две различни стойности на импеданса Z ($R-C$ група). Отчитат се броят деления X_T , съответстващи на периода на сигнала T_X , и деленията на X_t , съответстващи на отместването на t_X на втория сигнал. Резултатите се записват в Табл.4.6.



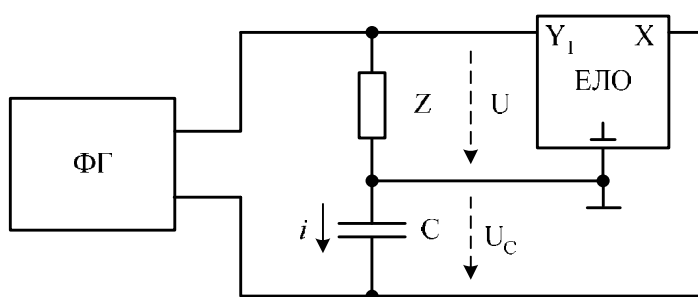
Фиг.4.9.

Таблица 4.6

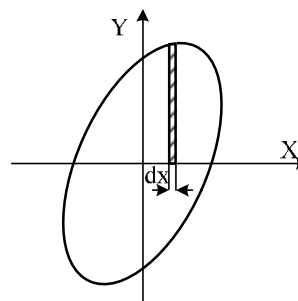
№	C_T	X_T	T_X	X_t	t_X	φ_X
	<i>ms/дел</i>	<i>дел</i>	<i>ms</i>	<i>дел</i>	<i>ms</i>	<i>deg</i>

При изпълнение на задача 6 се използва същата опитна постановка, като се реализира схемата от фиг.4.10. Функционалният генератор се захранва от вторичната намотка на разделителен трансформатор.

Към канал Y_1 се подава падът на напрежение върху изследвания елемент Z , а напрежителният пад върху кондензатора C се прехвърля от канала за вертикално отклонение Y_2 към канала за хоризонтално отклонение X . Осцилоскопът се превключва в режим на работа $X - Y$ (както при фигурите на Лисажу). От функционалния генератор $\Phi\Gamma$ се подава синусоидално напрежение с честота $f = 1 \text{ kHz}$ към изследвания обект Z . Кондензаторът C отговаря на условието $X_C = \frac{1}{\omega C} \ll |Z|$. При подходящо подобрени коефициенти на вертикално C_Y и хоризонтално C_X отклонение на екрана на осцилоскопа се описва затворена крива, която при синусоидални режими представлява елипса или окръжност (фиг.4.11).



Фиг.4.10.



Фиг.4.11.

Елементарното лице на фигурата dF е

$$(4.10) \quad dF = y \cdot dx = \frac{u}{C_Y} \cdot \frac{du_C}{C_X} = \frac{u}{C_Y} \cdot \frac{i dt}{C} \cdot \frac{1}{C_X} = \frac{1}{C_Y C_X C} \cdot u \cdot i \cdot dt,$$

а за цялата площ се получава

$$(4.11) \quad F = \frac{1}{C_Y C_X C} \int_0^T u \cdot i \cdot dt = \frac{T}{C_Y C_X C} \cdot \frac{1}{T} \int_0^T u \cdot i \cdot dt = \frac{1}{C_Y C_X C f} \cdot P.$$

В такъв случай активната мощност P ще бъде

$$(4.12) \quad P = C_Y \cdot C_X \cdot C \cdot f \cdot F = C_p \cdot F,$$

където $C_p = C_Y \cdot C_X \cdot C \cdot f$ представлява константата за мощност при експеримента. В общия случай лицето на фигурата F се намира чрез планиметриране. В тази лабораторна постановка товарът е линеен, поради което на екрана се получава елипса, чиято площ може да се изчисли по формулата

$$(4.13) \quad F = \pi \cdot \frac{d_1 d_2}{4},$$

където d_1 и d_2 са двата диаметъра на елипсата.

Забележка: Този метод не осигурява особено висока точност, но се отличава с висока чувствителност, като намира приложение главно при измерване на малки мощности при повишена честота.

При изпълнението на тази задача се провеждат измервания за две стойности на товара Z , а резултатите се записват в Табл.4.7.

Таблица 4.7

№	C_Y	C_X	C	f	d_1	d_2	F	P
	$V / \text{дел}$	$V / \text{дел}$	μF	Hz	дел	дел	дел^2	mW

4.3. Контролни въпроси

1. Кои са основните функционални блокове на ЕЛО и какво е тяхното предназначение?
2. Коя е входната величина на ЕЛО? Защо ЕЛО може да се счита за най-универсалният електронен измервателен уред?
3. Кои са метрологичните характеристики на ЕЛО?
4. Как се представя входният импеданс на ЕЛО? Какви са стойностите на елементите от еквивалентната схема?
5. Кои са методите за измерване на честота с ЕЛО? Посочете особеностите при използването им.
6. Как се определя фазовата разлика φ_X на два синусоидни сигнала, изобразени едновременно на екрана на ЕЛО?
7. При какъв режим на работа на ЕЛО и при какви честоти има смисъл измерването на активна мощност?