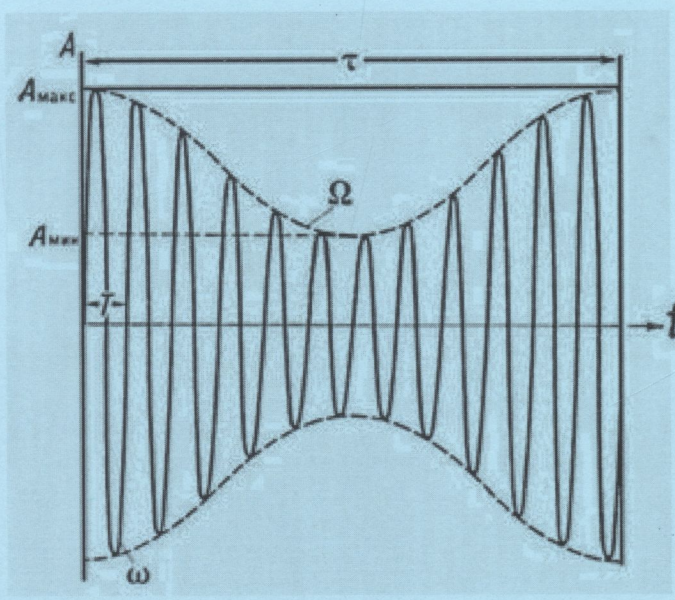


621.317(046)

К46

В. М. Кичак, В. В. Стронський, В. С. Белов

ЕЛЕКТРОРАДІОВИМІРЮВАННЯ



Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

В. М. Кичак, В. В. Стронський, В. С. Белов

ЕЛЕКТРОРАДІОВИМІРЮВАННЯ

Лабораторний практикум

Вінниця
ВНТУ
2017

Рецензенти:

В. Ю. Кучерук, доктор технічних наук, професор

І. В. Троцишин, доктор технічних наук, професор

О. М. Шинкарук, доктор технічних наук, професор

Рекомендовано до друку Методичною радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 11 від 26. 06. 2014 р.)

Кичак, В. М.

К64 Електрорадіовимірювання : лабораторний практикум / В. М. Кичак, В. В. Стронський, В. С. Белов – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 90 с.

В лабораторному практикумі розглянуті основні питання Теорії та практики електрорадіовимірювань, вимірювальні пристрої. Він розроблений у відповідності з програмою дисциплін «Електрорадіовимірювання» та «Виробниче навчання». Лабораторний практикум буде корисним студентам галузі знань 0509 «Радіотехніка, радіоелектронні апарати та зв'язок» під час навчального процесу, а також може бути корисним для викладачів та фахівців з радіотехніки та телекомунікацій.

УДК 621.317

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Теорія електрорадіовимірювань.....	5
1.1 Мостові методи виміру параметрів елементів.....	5
1.1.1 Мости постійного струму.....	5
1.1.2 Мости змінного струму.....	6
1.2 Метод дискретного рахунку.....	10
1.2.1 Цифровий частотомір.....	10
1.2.2 Цифровий вимірник періоду.....	13
1.3 Вимірювання параметрів сигналів за допомогою універсального осцилографа.....	16
1.3.1 Вимірювання амплітудних параметрів сигналів.....	16
1.3.2 Вимірювання часових параметрів електрорадіотехнічних сигналів....	18
1.3.3 Вимірювання частоти сигналу.....	19
1.3.4 Вимірювання коефіцієнта амплітудної модуляції амплітудно- модульованого (АМ) сигналу.....	21
1.3.5 Вимір девіації частоти частотно-модульованого (ЧМ) сигналу...	23
1.4 Методи виміри параметрів елементів, засновані на вимірі струмів напруги.....	24
1.4.1 Електромеханічний омметр.....	24
1.4.2 Вимірювання активного опору методом вольтметра та амперметра....	26
1.4.3 Вимірювання ємності методом вольтметра і амперметра.....	28
1.4.4 Електронний омметр.....	29
2 Вимірювальні пристрої.....	32
2.1 Генератор сигналів НЧ ГЗ-112.....	32
2.2 Мілівольтметр ВЗ-38.....	35
2.3 Осцилограф С1-72.....	38
2.4 Частотомір ЧЗ-34.....	43
2.5 Вимірювач різниці фаз Ф2-34.....	46
3 Вимірювання характеристик і параметрів сигналів.....	49
3.1 Дослідження похибок аналогового вимірювального приладу.....	49
3.2 Дослідження вольтметрів змінної напруги.....	56
3.3 Дослідження універсального осцилографа.....	66
3.4 Дослідження цифрового частотоміру.....	76
Література.....	86
Словник найбільш вживаних термінів.....	87
Додаток А.....	88

ВСТУП

Мета вимірювань – отримання результату, тобто оцінки істинного значення фізичної величини. Для цього виміру необхідно проводити з можливо більшою вірогідністю і точністю. Але якими б точними і досконалими не були засоби і методи вимірювань і як би ретельно вимірювання (measurement) не виконувалися, їх результат завжди відрізняється від істинного значення вимірюваної величини, тобто визначається з деякою похибкою (error). Похибки виникають через недосконалість методів і засобів вимірювань, нестабільності впливають на результат вимірювання величин та індивідуальних особливостей оператора та ін. Щоб отримати об'єктивні дані про точність результату вимірювання фізичної величини (physical quantity), необхідно оцінити отримані похибки. Оскільки будь-які вимірювання практично завжди супроводжуються появою різних похибок, в тому числі і випадкових, то обробка результатів вимірювань повинна містити операції над випадковими величинами. Ці операції виконують методами теорії ймовірності та математичної статистики. Статистична обробка результатів вимірювань – обробка вимірювальної інформації з метою отримання достовірних даних. Безліч завдань, що вирішуються за допомогою вимірів, визначає і розмаїтість видів статистичної обробки їх результатів.

Якщо пряме вимірювання фізичної величини проведено один раз, то результатом вимірювання є безпосередній показник засобу вимірювання. При цьому за похибку результату вимірювання часто приймають похибку засобу вимірювання. До речі, при використанні терміна «результат вимірювання» слід чітко вказати, до чого він належить: показання засобу вимірювання, виправленому або не виправленому результату, і чи проводилося усереднення результатів декількох вимірювань. Слід зазначити, що виправленим результатом вимірювань називається отримане за допомогою засобу вимірювання значення величини і уточнене шляхом введення в нього необхідних поправок на дію передбачуваних систематичних похибок. У разі багаторазових спостережень результат вимірювання та його похибка знаходять різними методами статистичної обробки всіх виконаних спостережень (observation).

Метою даного посібника є введення в теорію електронорадіовимірювань, опис основних вимірювальних пристроїв та практичне вивчення їхньої роботи – проведення вимірювань та визначення похибок.

1 ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРОРАДІОВИМІРЮВАНЬ

1.1 Мостові методи виміру параметрів елементів

У вимірювальній практиці використовують різноманітні вимірні мости (measurable bridge). Для виміру омичного опору отримали поширення мости постійного і змінного струму. Розрізняють схеми одинарних і подвійних мостів постійного струму.

1.1.1 Мости постійного струму

Одинарний міст постійного струму (рис. 1.1) складається з чотирьох резисторів R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , що утворюють чотири плеча схеми, джерела живлення E та індикатора I .

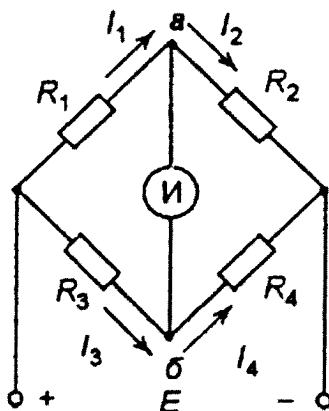


Рисунок 1.1 – Схема одинарного чотириплечевого моста постійного струму

Умовою балансу (урівноваження) (balance) такого моста є відсутність струму через індикатор I , що забезпечується рівністю похідних величин опорів протилежних плечей моста:

$$R_1 R_4 = R_2 R_3, \quad (1.1)$$

$$R_x = R_4 = \frac{R_2}{R_1} R_3 \quad (1.2)$$

Рівновага моста досягається зміною R_3 і відношення R_2/R_1 . Відношення опорів R_2/R_1 називають масштабним множником, його значення

вибирається рівним 10^n , де n – ціле позитивне або негативне число з переходом через нуль. Плече R_3 моста в цьому випадку називають плечем урівноваження.

Важливим параметром мостової схеми є чутливість (sensitivity), тобто мінімальна зміна вимірюваного опору R_x , який викликає порушення балансу схеми, реєстрованого гальванометром. Чутливість схеми залежить не лише від чутливості гальванометра, але і від опорів резисторів, що входять до складу його плечей.

Опір плечей моста рекомендується вибирати попарно рівноплечими або використати повністю рівноплечовий міст, тобто міст, для якого

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4.$$

Одинарні чотириплечові мости застосовують для виміру порівняно великих опорів, від десятків Ом і вище. При вимірюванні малих опорів виникають похибки, обумовлені впливом опорів з'єднувальних дротів.

Зменшення впливу опору контактів і з'єднувальних дротів можна забезпечити схемним рішенням. Так, при вимірі опорів, менших 10 Ом, використовують чотиризатискне ввімкнення R_x .

Для виміру малих опорів використовують також подвійні вимірні мости (міст Томсона), де схемним шляхом практично унеможливується вплив з'єднувальних дротів на результат виміру.

1.1.2 Мости змінного струму

Метод вимірного моста змінного струму знаходить широке застосування для виміру омичного опору (ohmic resistance), ємності (capacitance), тангенса кута втрат (loss tangent), індуктивності (inductance), добротності (quality factor).

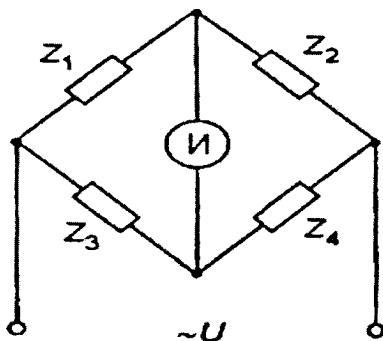


Рисунок 1.2 – Схема мосту змінного струму

На відміну від мостів постійного струму тут в одну діагональ моста під'єднано джерело змінної напруги (генератор низької частоти), в іншу – нульовий індикатор змінної напруги, плечі моста – двополюсники з повним опором Z (рис. 1.2).

Рівновага моста досягається за умови рівності похідних комплексних опорів протилежних плечей:

$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3 \quad (2.1)$$

У показовій формі рівність матиме вигляд:

$$|Z_1| \times |Z_4| \times e^{j(\varphi_1 + \varphi_4)} = |Z_2| \times |Z_3| \times e^{j(\varphi_2 + \varphi_3)} \quad (2.2)$$

де $|Z_1|, |Z_2|, |Z_3|, |Z_4|$ – модулі повних опорів плечей; $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ – фазові зсуви між струмом та напругою у відповідних плечах, $\varphi_i = \arctg\left(\frac{x_i}{R_i}\right)$; x_i – реактивна складова комплексного опору; R_i – активна складова комплексного опору i -го плеча.

Рівність (2.2) представимо у вигляді двох рівностей:

- рівність похідних модулів комплексних опорів протилежних плечей:

$$|Z_1| \times |Z_4| = |Z_2| \times |Z_3|; \quad (2.3)$$

- рівність сум аргументів комплексних опорів протилежних плечей:

$$\varphi_1 + \varphi_2 = \varphi_3 + \varphi_4 \quad (2.4)$$

Рівність (2.3) і (2.4) визначають умови рівноваги моста. Вони показують, що міст змінного струму треба урівноважувати регулюванням активної і реактивної складових плечей, тобто рівновага здійснюється за модулями і фазами. При цьому рівняння (2.3) і (2.4) рівносильні і обидва обов'язкові для досягнення рівноваги моста. Умова (2.4) вказує, при якому розташуванні плечей залежно від їх характеру можна урівноважити схему. Якщо протилежні плечі чисто активні, то один з двох інших опорів має бути індуктивним, а інший – ємнісним.

При алгебраїчній формі подання комплексного опору:

$$Z = R + jX,$$

де R – дійсна частина, що є активною складовою; X – уявна частина, що є реактивною складовою.

У алгебраїчній формі рівність (2.2) запишеться в такому вигляді:

$$(R_1 + jX_1)(R_4 + jX_4) = (R_2 + jX_2)(R_3 + jX_3) \quad (2.5)$$

Ця рівність забезпечується при одночасному виконанні рівності активних і реактивних частин, тобто

$$R_1 R_4 - X_1 X_4 = R_2 R_3 - X_2 X_4$$

$$i$$

$$R_1 X_4 + R_4 X_1 = R_2 X_3 + R_3 X_2$$

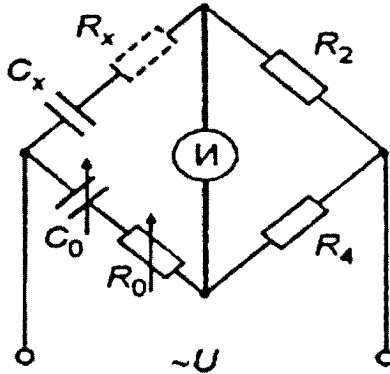


Рисунок 1.3 – Схема мосту для вимірювання ємності

Розглянемо міст для виміру ємності і кута діелектричних втрат конденсаторів (рис. 1.3). Два його плеча складено з магазинів опорів R_2 і R_4 . Третє плече утворене послідовно з'єднаними зразковими конденсатором C_0 і змінним резистором з малим опором R_0 . Зразковий конденсатор обирається з малими втратами, якими можна знехтувати. У третє плече ввімкнений вимірюваний конденсатор C_x , опір втрат в якому R_x .

Повні опори плечей в даній схемі визначаються такою рівністю:

$$Z_1 = R_x + \frac{1}{j\omega C_x}; Z_2 = R_2; Z_3 = R_0 + \frac{1}{j\omega C_0}; Z_4 = R_4.$$

Згідно з формулою рівноваги моста (2.1) маємо:

$$R_x + \frac{1}{j\omega C_x} = R_0 \frac{R_2}{R_4} + \frac{1}{j\omega C_0} \frac{R_2}{R_4}.$$

Прирівнявши окремо дійсні і уявні частини, маємо:

$$R_x = R_0 \frac{R_2}{R_4}; C_x = C_0 \frac{R_2}{R_4}.$$

З аналізу векторної діаграми ланцюга $r_x C_x$ виходить, що кут втрат δ_x , доповнювальний до 90° φ_x визначається виразом $tg \delta_x = \omega r_x C_x$.

Як регульовані елементи мостів найчастіше використовують резистори, оскільки вони простіше і дешевше в порівнянні з регульованою ємністю і магазином індуктивностей. Процедура урівноваження моста зводиться до такого:

- змінюючи величину R_0 , слід добитися мінімуму показів індикатора за рахунок рівності дійсних частин рівняння;

- змінюючи відношення R_2/R_4 (за рахунок R_2 або R_4), слід знов добитися мінімуму показів індикатора за рахунок вирівнювання уявних частин рівняння, але оскільки R_2 (R_4) входить у виразі для дійсної частини, то порушується первинна умова рівноваги дійсних частин;

- змінюючи R_0 знов добитися рівноваги дійсних частин.

Таким чином, оскільки при зміні або лише активних, або лише реактивних складових одночасно змінюються значення і активних, і реактивних складових, то процедура регулювання є багаступеневою.

Число почергових регулювань обох параметрів характеризує збіжність моста, тобто швидкість досягнення рівноваги, яка визначається схемою і конструкцією мостів.

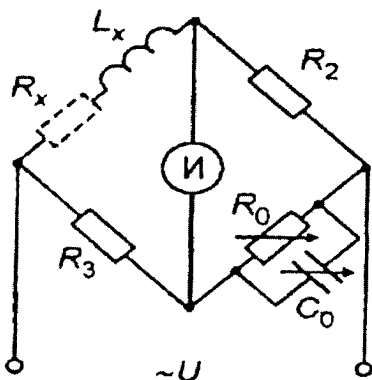


Рисунок 1.4 – Схема мосту для вимірювання індуктивності

Процеси урівноваження моста змінного струму для виміру індуктивності котушки розглянемо на прикладі схеми, поданої на рис. 1.4. Тут для виміру індуктивності L_x використовують зразковий конденсатор C_0 , що вмикається в плече, протилежне до плеча з вимірюваною індуктивністю. Паралельно з конденсатором C_0 вмикають резистор R_0 . У останні два плеча вмикають магазини опорів R_2 і R_3 .

Повні опори плечей визначаються рівністю:

$$Z_1 = R_x + j\omega L_x; Z_2 = R_2; Z_3 = R_2;$$

$$Z_4 = \frac{R_0}{1 + j\omega C_0 R_0}.$$

Рівновага моста, визначається такою рівністю:

$$\frac{(R_x + j\omega L_x)R_0}{1 + j\omega C_0 R_0} = R_2 R_3,$$

з якого слідує, що:

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_0}; L_x = C_0 R_2 R_3; Q = \frac{\omega L_x}{R_x} = \omega C_0 R_0.$$

1.2 Метод дискретного рахунку

Метод дискретного рахунку лежить в основі побудови електронно-рахункових частотомірів (ЕРЧ), які використовуються для виміру частотно-часових параметрів електричних сигналів.

Суть методу дискретного рахунку розглянемо на основі аналізу типової структурної схеми ЕРЧ в різних режимах роботи.

1.2.1 Цифровий частотомір

Спрощена структурна схема ЕРЧ в режимі виміру частоти подана на рис. 1.5. Схема містить такі елементи: вхідний пристрій ВП, формувальний пристрій ФП, часовий селектор ЧС, опорний генератор ОГ, подільник частоти ДЧ, прилад формування та керування ПФК, електронний лічильник ЕЛ, дешифратор ДШ та цифровий індикатор ЦІ.



Рисунок 1.5 – Структурна схема ЕРЧ в режимі вимірювання частоти

Вхідний пристрій забезпечує підсилення (amplification) або, навпаки, послаблення (attenuation) вхідного сигналу і його фільтрацію.

Формувальний пристрій перетворить сигнал, що досліджується, в послідовність імпульсів, частота дотримання яких дорівнює частоті досліджуваного сигналу.

Часовий селектор є логічною схемою, яка забезпечує пропускання на електронний лічильник сформованих імпульсів вимірюваної частоти тільки за наявності на вході стробувального імпульсу, тривалість якого визначає час виміру.

Опорний генератор є джерелом сигналу часового інтервалу, що калібрується. У цих цілях, як правило, використовується високостабільний термостатований кварцевий генератор частотою 1 або 5 МГц. За допомогою опорного генератора виробляється послідовність імпульсів, що надходять на подільник частоти. Подільник частоти формує послідовність імпульсів, частота дотримання яких в 10^n ($n=1, 2, 3 \dots$) разів нижче частоти сигналу опорного генератора.

Прилад формування та керування на основі сигналу, що надходить з дільника частоти забезпечує отримання прямокутного строб-імпульсу, тривалість якого визначає час відліку i , відповідно, час вимірювання.

Електронний лічильник забезпечує підрахунок та запам'ятовування числа імпульсів, які пройшли через селектор за час строб-імпульсу.

Інформація з електронного лічильника через дешифратор надходить на цифровий індикатор, на екрані якого з'являється інформація в одиницях частоти. Перед початком нового циклу вимірювань необхідно підготувати лічильник, скинувши показання минулого циклу. Це виконується через схему скидання від приладу керування.

Таким чином, як впливає з опису структурної схеми приладу, при вимірі частоти на перший вхід ЧС надходить послідовність імпульсів з періодом T_x , який визначає частоту досліджуваного сигналу f_x , причому $T_x=1/f_x$. На другий вхід ЧС надходить строб-імпульс тривалістю:

$$\Delta T = 10^n T_{\text{кв}} \quad (1.1)$$

де $T_{\text{кв}}$ – період слідування імпульсів з опорного генератора.

На електронний лічильник приходить група імпульсів, число яких:

$$N = f_x \Delta T = \frac{\Delta T}{T_x}. \quad (1.2)$$

Якщо не враховувати похибку дискретизації і порівнювати значення для ΔT з рівності (9.1) і(9.2), то маємо:

$$\frac{10^n}{f_{\text{кв}}} = \frac{N}{f_x}.$$

Звідки:

$$f_x = f_{\text{кв}} \times 10^{-n} N.$$

Таким чином, вимірювана частота дорівнює числу імпульсів N , утворених з вимірюваного сигналу, а $f_{\text{кв}} \times 10^{-n}$ – коефіцієнт, що визначає одиницю виміру частоти і число значущих цифр при відліку (рис. 1.6).

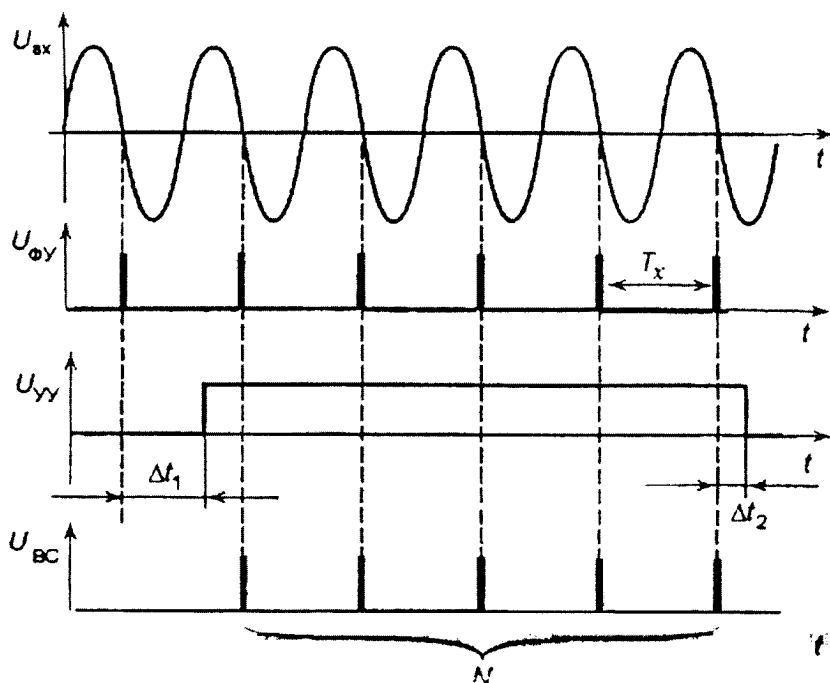


Рисунок 1.6 – Часові діаграми роботи ЕРЧ в режимі вимірювання частот

Прийнято виділяти дві основні складові похибки виміру частоти δ_f . Перша складова – це похибка (fallibility) формування зразкового інтервалу часу ΔT , впродовж якого часовий селектор пропускає імпульси, тобто проводиться вимір. Ця похибка в основному визначається похибкою міри, тобто нестабільністю частоти кварцевого генератора $\delta_{\text{кв}}$ відносно номінального значення встановлюваного по еталону ($10^{-9} \dots 10^{-10}$), а також короткочасною і довготривалою його нестабільністю впродовж між перевіркою інтервалу ($10^{-5} \dots 10^{-6}$). За рахунок термостатування елементів схеми відносна нестабільність кварцевого генератора в реальних схемах зазвичай складає $\delta_{\text{кв}} = 10^{-7} \dots 10^{-9}$.

Похибка $\delta_{\text{кв}}$ є досить малою величиною в порівнянні з другою складовою – похибкою, яка визначається взаємним розташуванням інтервального і лічильного імпульсів, тобто похибкою дискретизації δ_d .

Похибка дискретної лічби δ_d виникає в даному випадку за рахунок втрати частини періоду вимірюваних імпульсів $\Delta t_1, \Delta t_2$ і з деякою ймовірністю може складати $\Delta N = \pm 1$ імпульс.

Відносна похибка дискретизації:

$$\delta_x = \frac{\Delta N}{N} = \pm \frac{1}{N} = \pm \frac{1}{f_x \Delta T} = \pm \frac{T_x}{\Delta T}. \quad (1.4)$$

Таким чином, загальний вираз для визначення відносної нестабільності запишеться в такому вигляді:

$$\delta_f = \sqrt{\delta_{\text{кв}}^2} + \left(\frac{T_x}{\Delta T} \right)^2. \quad (1.5)$$

Як видно з наведених формул, похибка дискретизації (sampling error) збільшується зі зменшенням вимірюваної частоти. У деяких межах це збільшення можна компенсувати збільшенням часу виміру ΔT . Проте при цьому зменшується швидкодія ЕРЧ. У реальних приладах максимальний час виміру обмежується значенням $\Delta T = 10^4 \text{ мс} = 10 \text{ с}$, тому при вимірі досить низьких частот застосування даного методу прямого рахунку не ефективне. В цьому випадку вимірювати частоту слід непрямим методом, вимірюючи тривалість одного або декількох періодів досліджуваного сигналу.

1.2.2 Цифровий вимірювач періоду

Структурна схема цифрового вимірника в режимі виміру періоду подана на рис. 1.7. Схема містить ті ж функціональні елементи, що і цифровий частотомір.

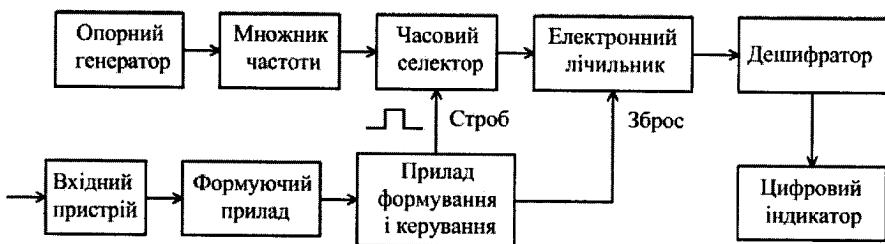


Рисунок 1.7 – Структурна схема ЕРЧ в режимі вимірювання періоду

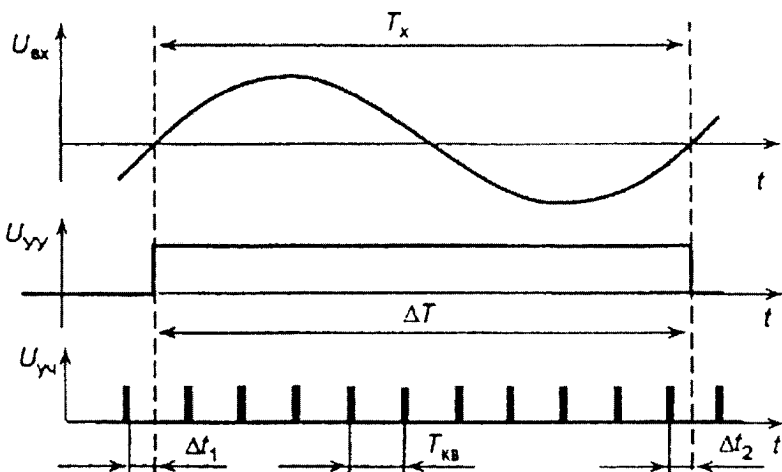


Рисунок 1.8 – Часові діаграми роботи ЕРЧ в режимі вимірювання періоду

Принцип дії цифрового вимірювача пояснюється часовими діаграмами, представленими на рис. 1.8. В даному випадку досліджуваний сигнал, період якого вимірюється, через вхідний пристрій поступає на формуючий пристрій. У формувальному пристрої і пристрої формування і керування виробляється стробувальний імпульс з крутими фронтами, тривалість якого визначає час відкритого стану часового селектора. Якщо не враховувати похибку порогового пристрою при формуванні прямокутного імпульсу, то можна вважати, що тривалість стробувального імпульсу ΔT дорівнює періоду досліджуваного сигналу T_x .

На другий вхід часового селектора надходять імпульси, період яких $T_{кв}$ задається опорним генератором (reference oscillator). Множник частоти МЧ збільшує частоту дотримання цих імпульсів в 10^m раз ($m=1,2,3,\dots$). Число імпульсів, що зчитуються з часового селектора без урахування похибки дискретизації,

$$N = \left(\frac{\Delta T}{T_{кв} \cdot 10^{-m}} \right) \quad (2.1)$$

Отже, період (тривалість) вимірюваного часового інтервалу без урахування похибки визначається числом імпульсів, що пройшли через часовий селектор:

$$T_x = \Delta T = T_{кв} \cdot 10^{-m} \cdot N. \quad (2.2)$$

Тут, як і в цифрових частотомірах, $T_{\text{кв}} * 10^{-m}$ визначає одиницю виміру і число значущих цифр при відліку.

Похибка ЦВП, що працює в режимі виміру періоду сигналу T_x , визначається трьома складовими.

Перша складова похибки – це нестабільність частоти опорного генератора $\delta_{\text{кв}}$. Так само, як і в цифрових частотомірах, для зниження цієї складової похибки, як опорні використовують термостатовані кварцеві генератори.

Друга складова похибки – це методична похибка (methodological error). Вона визначається некратністю інтервалів T_x і ΔT і називається похибкою округлення (дискретності) – δ_d .

З часових діаграм (див. рис. 2.2) виходить, що період вимірюваного сигналу з урахуванням загальної похибки дискретизації (дискретності) Δt_d визначається рівністю:

$$T_x = NT_{\text{кв}} * 10^{-m} - \Delta t_d, \quad (2.3)$$

де $\Delta t_d = \Delta t_1 - \Delta t_2$. При цьому максимальна абсолютна похибку дискретизації визначається зміною числа рахункових імпульсів на ± 1 , а максимальна відносна похибку дискретизації:

$$\delta_{d \max} = \pm \frac{1}{N} = \frac{1}{T_x f_{\text{кв}}}.$$

Дана методична похибка носить випадковий характер. При розподілі цієї похибки за рівномірним законом, середнє квадратичне значення похибки за один період:

$$\delta_{d1T} = \pm \frac{1}{2\sqrt{3}T_x f_{\text{кв}}}.$$

При вимірі n періодів похибка δ_{d1T} зменшиться в n разів і при вимірі великих інтервалів стає порівнянною з $\delta_{\text{кв}}$.

Третя складова похибки цифрового вимірника виникає при формуванні з вхідного сигналу імпульсу, що визначає вимірюваний період ΔT . Це зазвичай відбувається за рахунок нестабільності порогового пристрою, що формує стробувальний імпульс, а також з-за флуктуаційних шумів та інших завод, присутніх у вимірюваному сигналі. Усе це викликає випадкові зміни тривалості формувального імпульсу і відповідно похибка вимірювання δ_s , що називається похибкою рівня запуску.

Таким чином, результуюча похибка цифрового вимірника періоду:

$$\delta = \pm \sqrt{\delta_{кв}^2 + \delta_{д}^2 + \delta_{г}^2}. \quad (2.4)$$

Електронно-рахункові частотоміри, окрім розглянутих режимів роботи, зазвичай працюють в режимі виміру відношення частот і режимі виміру інтервалів часу. У цих режимах досліджувані сигнали подаються на два роздільні входи «В» і «Г».

Так, в режимі виміру інтервалів часу (тривалості імпульсів, часових зсувів між імпульсами та ін.) на кожному вході ЕРЧ вмикаються порогові пристрої, що спрацьовують під впливом вхідних імпульсів і керовані роботою формувача.

1.3. Вимірювання параметрів сигналів за допомогою універсального осцилографа

1.3.1 Вимірювання амплітудних параметрів сигналів

Універсальний електронний осцилограф (universal electronic oscilloscope) дозволяє вимірювати значення постійного, змінного та імпульсного сигналів. Вимір здійснюється в амплітудних значеннях напруги електричного струму. При цьому вимірюваний сигнал подається на вхід каналу вертикального відхилення променя ЕПТ.

Широке поширення при вимірі напруги досліджуваних сигналів отримав метод каліброваної шкали. Він заснований на лінійній залежності між значенням напруги сигналу, поданого на вхід каналу, і розміром його зображення на екрані ЕПТ (у міліметрах, поділках шкали). В цьому випадку при вимірюванні напруги шляхом зміни коефіцієнта відхилення $K_{відх}$ домагаються отримання розміру зображення сигналу L_x в межах шкали ЕПТ і вимірюють його. При відкаліброваному підсилювачі вертикального відхилення виміряна напруга обчислюється за формулою:

$$U_x = I_x K_{відх}. \quad (1.1)$$

Наприклад, $I_x = 3,5$ поділок, $K_{відх} = 0,1$ В/поділку, тоді $U_x = 0,35$ В. При цьому вимірюванні генератор розгортки може бути вимкнений. Він вмикається при необхідності оцінити форму досліджуваної напруги.

Похибку виміру амплітудних параметрів сигналів (напруг) даним методом складає 5...10 %. Вона визначається рядом факторів. Основними з них є частотні і нелінійні спотворення КВО, похибка коефіцієнта відхилення, похибка візуального відліку та ін. Однакові значення вказаних спотворювальних факторів неоднаково проявляються при дослідженні різних форм сигналів, тому дати єдину кількісну оцінку їх впливу важко.

Однак деякі складові похибки вимірювання напруг можна вилучити або врахувати при обробці результатів вимірювань.

Систематична похибка (systematic error), викликана нерівномірністю АЧХ КВО осцилографа, може бути врахована на основі відомого аналітичного виразу, що описує частотну характеристику більшості сучасних осцилографів:

$$A(f) = \exp \left[-0,35 \left(\frac{f}{f_B} \right) \right]. \quad (1.2)$$

Вилучити вказану систематичну похибку можна через корегувальний множник $k = 1/A(f)$, визначений за формулою (1.2) з урахуванням частоти вимірюваного сигналу f і верхньою граничною частотою КВО f_x .

Систематична похибка, викликана під'єднанням осцилографа у вимірюване коло, за фізичною природою аналогічна похибці при під'єднанні вольтметрів.

Випадкова відносна візуальна похибка вимірювання імпульсної напруги, що виникає при отриманні показів з осцилографа, може бути визначена за формулою:

$$\delta_{\text{в.виз}} \approx \frac{0,4b}{h} * 100\%, \quad (1.3)$$

де b – ширина променя, мм; h – розмір зображення по вертикалі, мм.

Повну наближену відносну похибку вимірювання амплітуди прямокутних імпульсів δ_n прийнято визначати за формулою:

$$\delta_n \approx \sqrt{\delta_{\text{в.вим}}^2 + \delta_{\text{к.о}}^2 + \delta_n^2}, \quad (1.4)$$

де $\delta_{\text{к.о}}$ – похибка коефіцієнта відхилення, %; δ_n – похибка через нерівномірності перехідної характеристики КВО, %.

Значення $\delta_{\text{к.о}}$ та δ_n , як правило, наводять в технічній документації конкретних осцилографів. Крім того, зазвичай приводять дані про статистичну похибку вимірювання напруги осцилографом δ_U для певних розмірів осцилограм. Слід зазначити, що похибка δ_U значно зменшується зі збільшенням розмірів осцилограми на ЕПТ, що слід враховувати при проведенні вимірів.

Більш висока точність виміру (accuracy of measurement) забезпечується при використанні методу заміщення (похибка 1...3 %). В даному випадку вимірювання здійснюються в два етапи. На першому етапі на ЕПТ отримують зображення досліджуваного сигналу і вимірюють його лінійний розмір l_x . На другому етапі вимірюваний сигнал замінюють відомою (калібруємою)

напругою U_K і, змінюючи його, домагаються розміру зображення сигналу l_K , що калібрується, до, рівного або кратного розміру зображення l_x ; тоді шукане значення напруги сигналу знаходяться за формулою:

$$U_x = U_K \left(\frac{l_x}{l_K} \right). \quad (1.5)$$

Як сигнал калібрування може використовуватися власний калібратор напруги осцилографа або зовнішнє джерело. При використанні цього методу усувається похибка, викликана нелінійністю КВО.

Для зменшення похибки вимірювання напруги використовується також компенсаційний метод. При цьому методі на вхід підсилювача КВО подається досліджуваний сигнал і регульована постійна напруга. Змінюючи постійну напругу, домагаються зміщення зображення досліджуваного сигналу по вертикалі на величину, рівну амплітуді цього сигналу. Відлік величини амплітуди сигналу проводиться за показами вольтметра, що вимірює зміни постійної напруги. При використанні цього методу також усувається похибка, що викликається нелінійністю КВО.

1.3.2 Вимірювання часових параметрів електрорадіотехнічних сигналів

Під часовими параметрами електрорадіотехнічних сигналів розуміються період сигналу, тривалість імпульсів, тривалість фронтів імпульсів, інтервал між імпульсами і так далі.

Найчастіше вимірювання часових параметрів сигналів здійснюється методом каліброваної шкали і методом яскравісних міток.

При вимірах методом каліброваної шкали, вимірюваний сигнал подають в КВО і зміною положення перемикача коефіцієнта розгортки K_p домагаються, щоб вимірювана частина зображення займала всю ширину екрана ЕПТ, та вимірюють лінійний розмір сигналу l_x . Шукане значення вимірюваного часового інтервалу τ_x обчислюють за формулою:

$$\tau_x = l_x K_p n_p, \quad (2.1)$$

де n_p – значення множника розтягування розгортки.

Наприклад, при вимірюванні тривалості імпульсу τ_i його розмір зображення $l_x = 2,4$ поділки, $K_p = 0,5$ мкс/поділку, $n_p = \times 0,1$, тоді $\tau_i = 0,12$ мкс.

Похибка цього методу висока і складає зазвичай 5...10 %.

Як і при вимірі амплітудних параметрів, похибка вимірювання часових параметрів сигналів визначається декількома факторами: похибкою

коефіцієнта розгортки, нелінійністю часової розгортки, похибкою візуального відліку та ін.

Похибка виміру тривалості імпульсів прямокутної форми δ рекомендується визначити з урахуванням таких окремих похибок: неточністю визначення рівня 0,5 амплітуд імпульсу $\delta_{0,5U}$, візуальною похибкою $\delta_{\text{віз}}$, похибкою коефіцієнта розгортки $\delta_{\text{кр}}$:

$$\delta = \sqrt{\delta_{\text{кр}}^2 + \delta_{0,5U}^2 + \delta_{\text{віз}}^2}, \quad (2.2)$$

$$\text{де } \delta_{\text{віз}} = 0,4 \left(\frac{b}{l} \right) * 100\%; \quad \delta_{0,5U} = \delta_{\text{віз}} \sqrt{tg^2 \alpha_1 + tg^2 \alpha_2};$$

де α_1 – кут між фронтом імпульсу та вертикальною лінією; α_2 – кут між спадом імпульсу та вертикальною лінією, l – розмір зображення по горизонталі на рівні 0,5U мм.

Систематична похибка пов'язана з кінцевим часом наростання та спаду перехідної характеристики КВО осцилографа під час вимірювання імпульсів, тривалість фронтів якого така сама як і час наростання перехідної характеристики.

Для зменшення похибки вимірювання часових параметрів сигналів застосовують метод порівняння вимірюваного часового інтервалу з відомим періодом T_x сигналу, що калібрується. Якщо на вимірюваній частини зображення сигналу укладається n міток, то вимірюваний часовий інтервал $T_x = nT_k$.

1.3.3 Вимірювання частоти сигналу

Вимірювання частоти сигналу (frequency) за допомогою осцилографа робиться методом порівняння з відомою частотою опорного сигналу (мірою). При цьому вимірювальну інформацію отримують з екрана ЕПТ за зображенням інтерференційних фігур (фігур Лісажу) або за числом зображень вимірюваного сигналу на розгортці.

Вимірювання частоти за інтерференційними фігурами можливе для сигналів синусоїдальної форми. Вимірювання проводять таким чином. Вимірюваний сигнал f подають на вхід КВО, а сигнал міри відомої частоти f_0 – на вхід КВО для утворення на ньому розгортки. Повільною зміною частоти міри (зразкового генератора) добиваються на екрані ЕПТ просту фігуру Лісажу. При цьому відношення частот порівнюваних сигналів визначають шляхом підрахунку числа перетинів фігури, подумки проведених горизонтальною і вертикальною ліній, що не проходять через вузли фігури.

Для нерухомого зображення фігури справедливе співвідношення:

$$N_r f_0 = N_B f_x,$$

де N_r і N_B – кількість перетинів фігури з горизонтальними та вертикальними лініями відповідно.

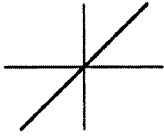

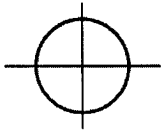
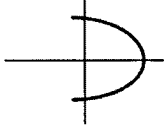

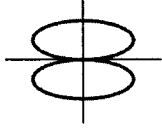
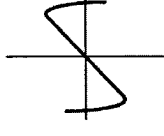
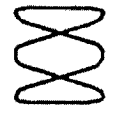
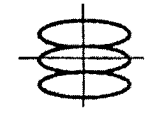
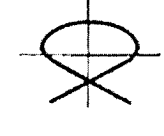
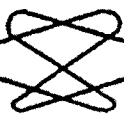
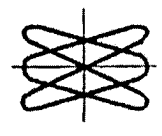
З проведеної рівності визначається частота вимірюваного сигналу

$$f_x = \left(\frac{N_r}{N_B} \right) f_0.$$

При вимірах рекомендується прагнути до отримання простої інтерференційної фігури-еліпса, для якої $f_x = f_0$. Приклади фігур Лісажу наведені в табл. 1.1.

Вимірювання частоти повторень імпульсних сигналів за числом зображень на лінійній розгортці роблять при поданні вимірюваного сигналу в КВО. Сигнал зразкового генератора при цьому подається на вхід КГО для утворення розгортки. Повільною зміною частоти f_0 домагаються отримання на екрані ЕПТ одного або n зображень сигналів. При цьому частоту повторення імпульсів сигналів f_x обчислюють за формулою $f_x = n f_0$.

Таблиця 1.1 – Фігури Лісажу

Співвідношення частот	Здвиг фаз		
	0	$\pi/4$	$\pi/2$
1:1			
1:2			
1:3			
2:3			

1.3.4 Вимірювання коефіцієнта амплітудної модуляції амплітудно-модульованого (АМ) сигналу

Нагадаємо, що коефіцієнт, сигналу що модулюється за амплітудою, характеризується коефіцієнтом модуляції M . Суть даного виміру полягає в тому, що коефіцієнт модуляції визначається безпосередньо за розмірами зображення досліджуваного АМ сигналу на екрані ЕПТ. Досліджуваний сигнал подається на вертикальні пластини, що відхиляють, а на горизонтальні пластини подається напруга, що розгортається. Для визначення коефіцієнта модуляції використовується один з трьох видів розгортки: лінійна, синусоїдальна або еліптична (кругова).

При використанні лінійної розгортки (linear sweep), частота якої встановлюється в 2–3 рази менше частоти, що модулюється, і при поданні на пластини (канал «Y») вертикального відхилення, досліджуваного АМ сигналу осцилограма має вигляд, показаний на рис.1.9.

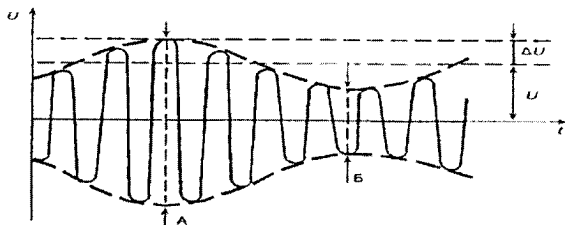


Рисунок 1.9 – Осцилограма АМ сигналу при лінійній розгортці

У даному випадку коефіцієнт амплітудної модуляції M розраховується за формулою:

$$M = \frac{A - B}{A + B}, \quad (3.1)$$

де $A = 2U_{\max}$ – подвоєне максимальне значення модульованого сигналу;
 $B = 2U_{\min}$ – подвоєне мінімальне значення модульованого сигналу.

Справедливість розрахункової формули очевидна з аналізу рис. 1.9:

$$M = \frac{A - B}{A + B} = \frac{(2U + 2\Delta U) - (2U - 2\Delta U)}{(2U + 2\Delta U) + (2U - 2\Delta U)} = \frac{4\Delta U}{4U} = \frac{\Delta U}{U}.$$

При синусоїдальній розгортці в канал «Y» подається модульований сигнал, а в канал «X» – модульована напруга, яку можна контролювати. При цьому на екрані осцилографа з'являється осцилограма у вигляді площини, що світиться, у формі трапеції (рис.1.10, а). Прямі, що

обмежують площину, є фігурами Лісажу, що виходять за рахунок взаємодії оригінальних модульованого сигналу з модульованою напругою за відсутності зсуву фаз між ними.

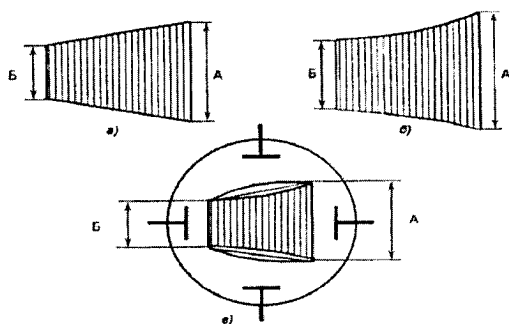


Рисунок 1.10 – Осцилограма АМ сигналу при синусоїдальній розгортці

За наявності нелінійних спотворень осцилограма може змінюватися (рис. 1.10, б), за наявності фазового зсуву замість прямих, що обмежують фігуру, з'являються еліпси (рис 1.10, в).

Якщо джерело модульованої напруги (modulating voltage source) недоступне, то на вхід каналу «Х» подається протестована модульована напруга.

При еліптичній (круговий) розгортці на входи каналів «Х» і «У» подається досліджувана модульована напруга за допомогою фазозсувного ланцюжка (phase shift chain) ($\varphi = 90^\circ$). Генератор розгортки вимикається.

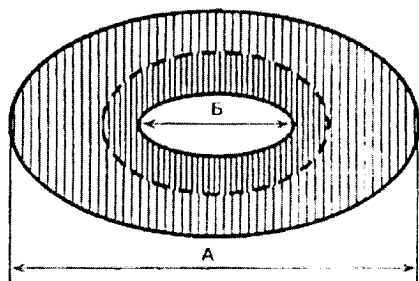


Рисунок 1.11 – Осцилограма АМ сигналу при еліптичній розгортці

На екрані виходить еліпсоїдна фігура (рис. 1.11), внутрішні та зовнішні розміри якої залежать від глибини амплітудної модуляції. Коефіцієнт амплітудної модуляції визначається відповідно до формули (3.1) і рис. 1.10, рис. 1.11.

Осцилографічні методи прості і наочні. Частоти несучих при цьому обмежуються смугою пропускання підсилювачів окремих осцилографів. Похибка вимірювання цим методом (з-за неточності відліку на екрані осцилографа) досягає 8 %.

Помітимо, що дана методика виміру коефіцієнта модуляції можлива тільки при використанні модульованого простого сигналу, наприклад синусоїдальної або прямокутної форми. Якщо в якості модульованого коливання використати складний сигнал (наприклад, мовний), то зміна коефіцієнта модуляції осцилографічним методом стає неможливою, оскільки спостерігається картина модульованого сигналу, що безперервно змінюється. В цьому випадку треба застосовувати спеціальні прилади, що використовують у своїй роботі принцип випрямлення (детектування) модульованого сигналу.

1.3.5 Вимірювання девіації частоти частотно-модульованого (ЧМ) сигналу

Цей метод заснований на фіксації рівності нулю різниці миттєвої частоти досліджуваного сигналу і частоти допоміжного сигналу.

Метод полягає в нижчевикладеному. Досліджуваний ЧМ-сигнал ($f_0 \pm \Delta f$) і сигнал пошукової частоти (f_r) поступають на змішувач (рис.1.12). Напряга їх різницевої частоти через ФНЧ подається на осцилограф. При цьому в моменти рівності миттєвої частоти досліджуваного і частоти пошукового сигналів на екрані осцилографа з'являється характерна фігура з горизонтальною ділянкою, що свідчить про виконання рівності $f_r = f_0 + \Delta f$.

Оскільки значення сигналів пошукової частоти (f_r) і центральної частоти ЧМ сигналу (f_0) можна отримати з високою мірою точності, то і значення девіації частоти $\Delta f = f_r - f_0$ матиме дуже малу похибку.

Перевага методу – не критичність результату виміру до форми сигналу оригінальної, тому метод є важливим для цілей перевірки (атестації) вимірників пікових значень девіації частоти. Похибка вимірювання – менше 0,2 %.

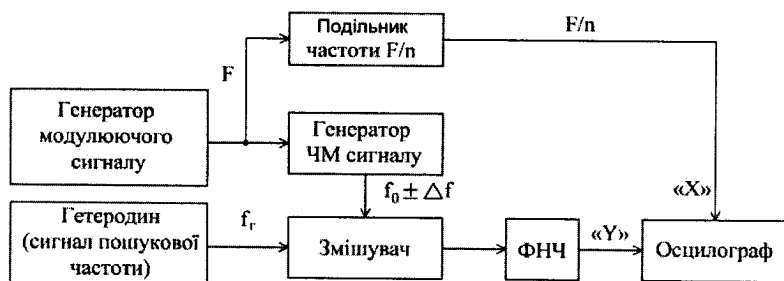


Рисунок 1.12 – Схема вимірювання ЧМ сигналу

1.4. Методи вимірювання параметрів елементів, засновані на вимірі струмів і напруги

1.4.1 Електромеханічний омметр

Активні опори (resistors) за значенням вимірюваної величини прийнято розділяти на три групи: малі – до 1,0 Ом, середні – від 1,0 Ом до 1,0 МОм, великі, – більше 1 МОм. Прилади, що вимірюють значення опорів електричного струму, називають омметрами. У практиці електрорадіотехнічних вимірів використовують електромеханічні, аналогові електронні і цифрові електронні омметри.

Схеми даних електромеханічних омметрів подані на рис. 1.13, де E – джерело живлення в якості якого зазвичай застосовують гальванічні елементи; Ω – міліамперметр (амперметр) магнітоелектричної системи з внутрішнім опором R_{np} , шкала якого проградуєвана в одиницях опору; R_K – змінний калібрувальний резистор; R_x – вимірюваний опір.

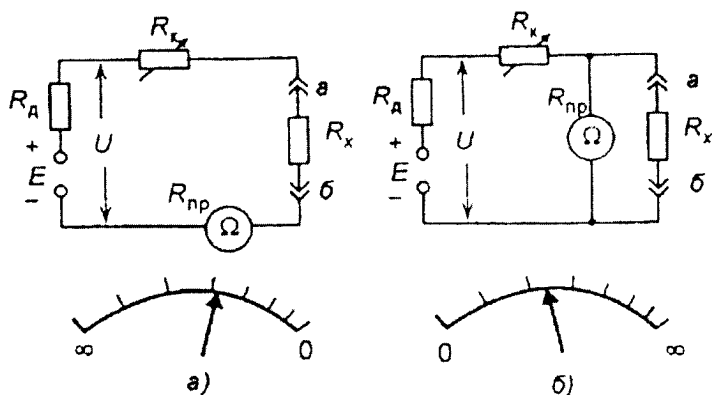


Рисунок. 1.13 – Схеми омметрів з послідовним (а) і паралельним (б) з'єднанням

Принцип дії електромеханічних омметрів заснований на залежності струму, що протікає через прилад, від опору R_x , віднесеного до схеми виміру.

При послідовному з'єднанні R_x і міліамперметра (рис. 1.13, а) струм, що протікає через прилад, зі збільшенням R_x зменшується:

$$I = \frac{U}{R_K + R_x}$$

При замкнутих клеммах а, б, тобто коли $R_x = 0$, струм, що протікає через прилад, максимальний і при розімкнених клеммах а, б, коли $R_x = \infty$, струм дорівнює нулю. Отже, у омметрів з послідовним з'єднанням R_x і міліамперметра нульова відмітка знаходиться в правій частині шкали.

До початку вимірів такі омметри калібрують шляхом установки показника приладу на нуль шкали потенціометром R_K при замкнутих накоротко клемах а, б. Необхідність калібрування викликана тим, що напруга джерела живлення U з часом зменшується і градування шкали порушується.

Послідовні схеми зазвичай застосовують для виміру порівняно великих опорів (до одиниць мегаом). Це пояснюється тим, що в цій схемі малі опори слабо впливають на зміну струму у вимірювальному механізмі.

Рівняння шкали магнітоелектричного приладу для послідовної схеми:

$$\alpha = SI = S \frac{R_x + R_{np}}{R_x R_{np} + R_K (R_x + R_{np})}, \quad (1.1)$$

де S – чутливість магнітоелектричного вимірювального механізму; α – кут відхилення стрілки вимірювального механізму.

При паралельному з'єднанні R_x і міліамперметра (рис. 1.13,б) струм, що протікає через прилад, зі збільшенням вимірюваного опору R_x зростає і шкала градується від 0 до ∞ . Омметр з паралельним включенням калібрується при розімкнених затисках а, б, стрілка приладу при цьому встановлюється потенціометром R_K на відмітку ∞ .

Паралельну схему зазвичай використовують для виміру порівняно малих опорів (до сотень Ом), оскільки великі опори тут слабо впливають на зміну струму, що проходить через прилад.

Рівняння шкали приладу паралельної схеми (див. рис. 1.13, б).

$$\alpha = SI = SU \frac{R_x + R_{np}}{R_x R_{np} + R_K (R_x + R_{np})}. \quad (1.2)$$

З наведених рівнянь випливає, що при постійних значеннях U , R_{np} , R_K і S кут повороту вимірювального механізму α визначається значенням вимірюваного опору R_x . В обох випадках шкала вольтметра нерівномірна.

Ще один недолік розглянутих схем омметрів – необхідність калібрування перед вимірюванням. Цього недоліку немає у омметрів з логотричним (дворамковим) вимірювальним механізмом.

Нагадаємо, що в логометрах протидійний момент створюється електричним шляхом за рахунок того, що рухома частина складається з двох жорстко скріплених між собою рамок 1 і 2, що мають внутрішні опори R_1 і R_2 (рис. 1.14). На обмотках рамок і додаткових резисторах R_1 і R_2 протікають струми I_1 і I_2 . Оскільки рівняння шкали логометра визначається відношенням струмів в обмотках, а $I_1 = \frac{U}{(R_1 + R_{д1})}$,

$$I_2 = \frac{U}{(R_2 + R_{д2} + R_x)}$$

то кут:

$$\alpha = \varphi\left(\frac{I_1}{I_2}\right) = \varphi\left(\frac{R_2 + R_{д2} + R_x}{R_1 + R_{д1}}\right) \quad (1.3)$$

тобто кут відхилення визначається значенням R_x і не залежить від напруги U .

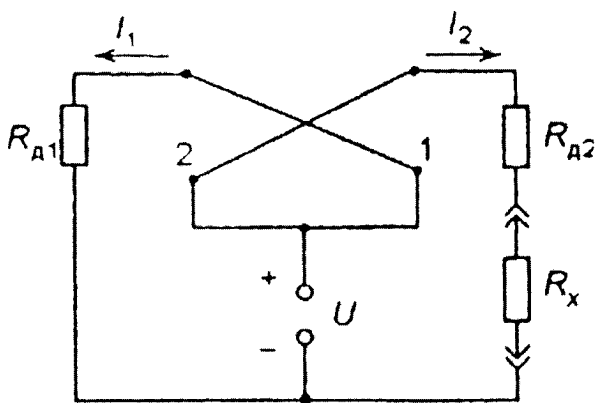


Рисунок 1.14 – Схема омметра з логометричним вимірювальним механізмом

1.4.2 Вимірювання активного опору методом вольтметра та амперметра

Метод вольтметра-амперметра є непрямим, оскільки зводиться до вимірювання струму і напруги в ланцюзі з вимірюваним опором і подальшим розрахунком його за законом Ома.

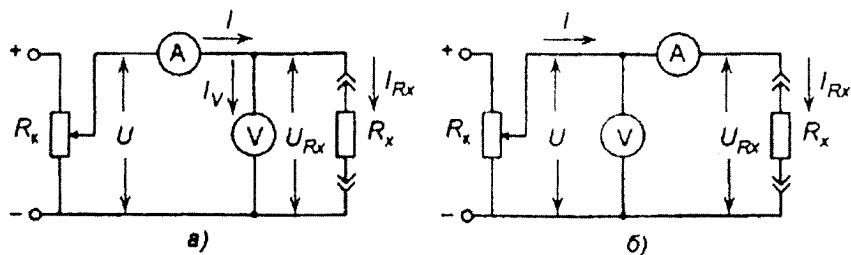


Рисунок 1.15 – Схема вимірювання активного опору методом вольтметра (а) і амперметра (б)

Суть методу пояснюється схемами на рис. 1.15. Перевага його полягає в тому, що резистор, опір якого вимірюється, можна поставити в реальні умови роботи, тобто пропускати через нього реально діючий струм, що важливо при вимірюванні опорів, значення яких залежать від струму. Наприклад, цим способом можна вимірювати вольт-амперні характеристики нелінійних двополосників, таких як варистори, терморезистори та інші.

Реальне значення R_x , виміряне за схемами на рис. 1.15, а і б, відрізнятиметься від дійсного R_x із-за кінцевих значень внутрішніх опорів приладів R_V і R_A , тобто матиме місце методична похибка.

Для схеми на рис. 1.15, а справедлива рівність

$$R'_x = \frac{U_{R_x}}{I - I_V} = \frac{U_{R_x}}{I - U_{R_x} / R_V},$$

де I_V – струм, що протікає через вольтметр; R_V – опір вольтметра, тобто частина струму буде протікати, обминаючи R_x , через R_V , чим фізично і пояснюється методична похибку виміру.

Абсолютна методична похибка

$$\Delta R_x = R'_x - R_x = \frac{R_x R_V}{R_x + R_V} - R_x = -\frac{R_x^2}{R_x + R_V} \quad (2.1)$$

Відносна похибка:

$$\delta = -\frac{R_x}{R_x + R_V} * 100\%. \quad (2.2)$$

З виразу (2.2) для δ витікає, що цією схемою (рис 2.1, а) слід користуватися в тих випадках, коли R_V велике в порівнянні з R_x , тобто при вимірі малих опорів.

Для схеми на рис. 10.4, б справедлива рівність:

$$\Delta R_x = R_x' - R_x = R_A + R_x - R_x = R_A, \quad (2.3)$$

де R_A – опір амперметра;

$$\delta = \frac{R_A}{R_x} * 100\%. \quad (2.4)$$

В даному випадку відносна методична похибка обернено пропорційна R_x , отже, цю схему доцільно використати, коли $R_A \ll R_x$, тобто при великих значеннях R_x .

1.4.3 Вимірювання ємності методом вольтметра і амперметра

Схеми вимірів, що пояснюють суть методу, подані на рис. 1.16.

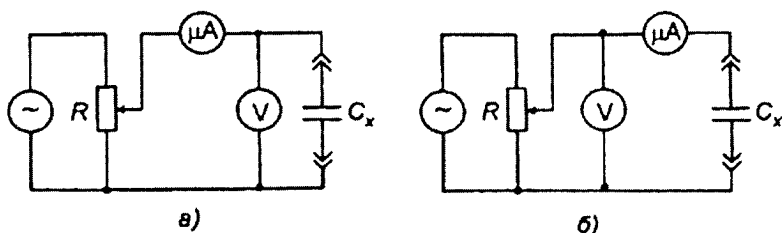


Рисунок 1.16 – Схема вимірювання ємності методом вольтметра і амперметра

Суть методу полягає в тому, що за показами приладів, що вимірюють змінний струм (μA) і напругу (V), можна розрахувати точний опір конденсатора C_x , внесеного в схему вимірювання:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = U / I, \quad (3.1)$$

$$\text{де } X = \frac{1}{\omega C_x} = \frac{1}{2\pi f C_x}.$$

Якщо втрати малі, тобто активна складова повного опору значно менше його реактивної складової $R \ll X_c$, то $\frac{1}{2\pi f C_x} = U / I$,

$$C_x = \frac{I}{U} * \frac{1}{\pi f}. \quad (3.2)$$

Живлення вимірювальної схеми зазвичай роблять від низькочастотного джерела.

Схему на рис. 1.16, а застосовують для виміру ємностей, опори яких X_C значно менше вхідного опору вольтметра ($X_C \ll R_V$), тобто для виміру великих ємностей.

Навпаки, схему на рис. 1.16, б, застосовують для вимірювання менших ємностей, опори яких значно більше опору міліамперметра ($X_C \gg R_A$). Опір визначають з урахуванням частоти сигналу з умови (3.2).

1.4.4 Електронний омметр

Принцип роботи електронних омметрів заснований, як правило, на двох методах: методі стабілізованого струму в ланцюзі дільника і методі перетворення вимірюваного опору в пропорційну йому напругу.

Схема омметра, побудованого за методом стабілізованого струму в ланцюзі дільника, подана на рис. 1.17. У цій схемі дільник, який складається з R_0 і R_x живиться від опорної напруги U_0 . Падіння напруги на резисторі R_x підсилюється підсилювачем з великим вхідним опором.

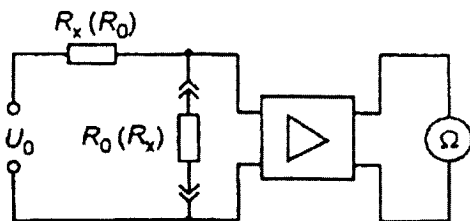


Рисунок 1.17 – Схема вимірювання опору методом стабілізованого струму у колі двигуна

Вихідна напруга підсилювача залежить від величини вимірюваного опору R_x , оскільки напруга, що діє на R_x несе інформацію про значення цього опору. Проте строгої лінійної залежності між R_x і величиною вимірюваної напруги не буде, оскільки зі зміною R_x змінюватиметься не лише напруга на ньому, але і загальний струм, що протікає через подільник $R_0 - R_x$. Щоб струм, що протікає через R_x , мало змінювався, треба забезпечити виконання умови $R_x \ll R_0$. Проте при малому R_x позначається вплив опору з'єднувальних дротів, що викликає потребу безпосереднього під'єднання приладу до вимірюваного опору.

Для цієї схеми:

$$\alpha = K \frac{U_0}{R_x + R_0} R_x, \quad (4.1)$$

де K – коефіцієнт передачі підсилювача.

З формули видно, що шкала таких омметрів нелінійна з діапазоном значень від 0 до ∞ . При $R_x \ll R_0$ можна вважати:

$$\alpha \approx K \frac{U_0}{R_0} R_x \quad (4.2)$$

Отже, шкала приладу буде лінійною. Прилади такого типу забезпечують вимір малих опорів, коли $R_x < R_0$ (Е6-12, Е6-16, Е6-18).

Для підвищення точності виміру весь діапазон вимірів розбивається на піддіапазони, кожному з яких відповідає своє значення R_0 . Перемиканням R_0 вибирають найбільш зручну шкалу для відліку значень в необхідному діапазоні вимірювання.

У схемі, реалізуючий метод перетворення опору в напругу, застосовується операційний підсилювач з негативним зворотним зв'язком (рис. 4.2). Такі схеми використовують для вимірювання середніх і великих опорів.

Вимірюваний резистор R_x вмикається до ланцюга негативного зворотного зв'язку операційного підсилювача, що має великий коефіцієнт посилення і великий вхідний опір. Відомо, що для таких схем:

$$U_x = U_0 \frac{R_x}{R_0} * \frac{1}{1 + \frac{1}{(K\beta)}}$$

де K – коефіцієнт підсилення без зворотного зв'язку; $\beta = \frac{R_0}{(R_0 + R_x)}$ – коефіцієнт зворотного зв'язку.

При великому коефіцієнті посилення, тобто коли $K\beta \geq 1$, можна записати:

$$U_x = U_0 \frac{R_x}{R_0}$$

Рівняння шкали приладу в даному випадку:

$$\alpha = KU_0 R_x / R_0. \quad (4.3)$$

У аналізованій схемі омметр має рівномірну шкалу. Такі омметри використовують в основному для вимірювання опорів до сотень МОм (наприклад, омметр Е6-10).

Зазначимо, що в схемах на рис. 1.17 і рис. 1.18 R_x і R_0 можна поміняти місцями.

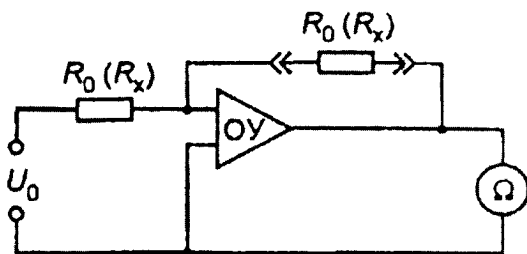


Рисунок 1.18 – Схема омметра на операційному підсилювачі

В цьому випадку для схеми рис. 1.17 буде справедлива рівність:

$$\alpha = \frac{K_1 U_0 R_0}{R_0 + R_x}, \quad (4.4)$$

де, як і в першому випадку, K_1 – коефіцієнт перетворення ППТ вимірювального приладу.

Шкала приладу нерівномірна з діапазоном свідчень від ∞ до 0. Ця схема омметра використовується для виміру великих опорів, коли $R_x > R_0$.

Для схеми рис. 1.18 після зміни місцями R_x і R_0 рівняння шкали буде таким:

$$\alpha = K U_0 R_0 / R_x \quad (4.5)$$

Шкала приладу нерівномірна. Такі схеми застосовують в основному для вимірювання великих опорів (наприклад, тераомметр Е6-13, або Е6-14).

2 ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ

2.1 Генератор сигналів НЧ ГЗ-112



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд генератора ГЗ-118

2.1.1 Основні параметри

Основний режим – синусоїдальний;

Додатковий режим – прямокутний;

Робоча температура – -10°C до $+50^{\circ}\text{C}$;

Атмосферний тиск 60–106 кПа (450–800) мм рт. ст.

2.1.2 Технічні характеристики пристрою

1) Діапазон частот від 10 Гц до 10 МГц перекривається шістьма піддіапазонами з плавним налаштуванням всередині піддіапазонів:

I – 10–100 Гц;

II – 100–1000 Гц;

III – 1–10 кГц;

IV – 10 кГц–100 кГц;

V – 100 кГц–1 МГц;

VI – 1–10 МГц.

2) Основна похибка встановлення частоти не перевищує $\pm(2+30/f_n)\%$ у діапазоні від 10 Гц до 1 МГц; $\pm 3\%$ у піддіапазоні 1–10 МГц.

3) Нестабільність частоти після двогодинної роботи у робочому режимі при нормальних умовах не перевищує:

а) $\pm 4 \cdot 10^{-4} f_n (\pm 0,04\%)$ за кожні 15 хвилин роботи;

б) $\pm 5 \cdot 10^{-3} f_n (\pm 0,5\%)$ за кожні 3 години роботи.

4) Найбільше значення опорного рівня вихідної напруги синусоїдального сигналу вихідної напруги синусоїдального сигналу при опорі навантаження $50 \pm 0,5$ Ом не менше 5 В, і не менше 10 В без навантаження.

5) Вимір вихідної напруги, обумовлений виміром напруги живлення на $\pm 10\%$, для мережі 50 Гц і на 5% для мережі частотою 400 Гц, не перевищує 1% .

6) Зміни вихідної напруги, обумовлені зміною температури повітря у інтервалі робочих температур не більше 1% на кожні 10°C .

7) Нестабільність вихідної напруги за кожні 3 години роботи не перевищує $\pm 1\%$

8) Передбачається можливість встановлення постійної складової на виході генератора при синусоїдальній шкалі і навантаженню $50 \pm 0,5$ Ом до значення не більше $\pm 20\text{мВ}$.

9) Найбільше значення складових з частотою мережі живлення і її гармонік на вихідному сигналі не перевищує $0,15\%$ від номінального значення вихідної напруги.

10) Генератор (generator) забезпечує технічні характеристики після часу встановлення робочого режиму рівному 15 хв роботи, і за 3 години, де робочий час складає 2 години.

11) Генератор дотримує безперервну роботу у робочих умовах протягом 8 годин при збереженні технічної характеристики.

2.1.3 Підготовка пристрою до роботи

Якщо прилад взяти із холоду, то його необхідно протримати 8 годин при кімнатній температурі. Органи управління поставити у таке положення:

- Ручка регулювання напруги у середнє положення;
- « ΔdB » – у положення «0».

Решта ручок може знаходитися у будь-якому положенні. Ввімкнути тумблер «Сеть» і повинна загорітися лампочка для ідентифікації та підсвічування шкали. Потрібно прогріти прилад протягом 15 хвилин. Визначити справність генератора.

При з'єднанні генератора з іншою апаратурою треба враховувати, що номінальне значення напруги вихідного сигналу 5 В при опорі 50 Ом. При опорі навантаження більше 50 Ом значення напруги на будь-якому ступені ослаблення визначається:

$$U_{\text{вих}} = U_{\text{вих}\infty} \frac{R_n}{R_n + 50},$$

де $U_{\text{вих}\infty}$ – напруга при навантаженому виході, R_n – опір навантаження.

При роботі з іншими навантаженнями, відмінними від 50 Ом, необхідний струм у навантаженні 100 мА. Це залежить від типу вхідного роз'єму, який підмикається до виходу генератора ГЗ-112.

2.1.4 Проведення вимірювань

Генератор забезпечує такі режими:

- Основний – генерація сигналу синусоїдальної форми;
- Додатковий – генерація сигналу прямокутної форми;
- Режим синхронізації.

Для основного режиму тумблер « $\approx \square \square$ » встановити у положення «~». Встановити необхідну частоту за допомогою множника і ручки «ЧАСТОТА Hz». Встановлюємо вихідну напругу синусоїдального сигналу ручного режиму вихідної напруги на панелі 50–0,5 Ом. При необхідності мати малі вихідні напруги (<1,25 В) ручкою « Δ dB» встановлюємо на одне з положень «10,20,30,40,50,60,70» в залежності від необхідного значення сигналу. Для генерування прямокутного сигналу ставимо тумблер у положення « $\square \square$ ». У режимі синхронізації подати на « \rightarrow СИНХР.» напругу 1 В, тумблер « $\approx \square \square$ » встановити у положення «~», або « $\square \square$ » у залежності від необхідного сигналу. Частина напруги вихідного сигналу встановлюється у залежності від потреби аналогічно. Після закінчення роботи вимкнути генератор.

2.1.15 Порядок роботи

Клавіші органів управління налаштування і під'єднання розміщені на передній панелі генератора.

1. «Сеть». Тумблер та індикаторна лампочка;
2. « \rightarrow СИНХР.». Вхідне гніздо для зовнішнього синхронізованого сигналу;
3. «ЧАСТОТА Hz». Переналаштування частоти конденсатором змінної ємності;
4. «МНОЖИТЕЛЬ». Перемикач під діапазонів частот з положеннями 1, 10, 10^2 , 10^3 , 10^4 , 10^5 ;
5. « $\approx \square \square$ ». Тумблер перемикання режиму роботи генератора;
6. « \rightarrow ». Вихідне гніздо сигналів змінної і прямокутної форм.

Задня панель:


1. Електричний лічильник часу роботи.

2.1.16 Характерні несправності

Таблиця 2.1 – Характерні несправності генератора сигналів НЧ ГЗ-112

Тип поломки	Можливі причини	Метод усунення
1	2	3
1) Не горить індикаторна лампа тумблера «Сеть»	Зламалась плавна вставка, перегоріла лампа, тумблер є несправним	Перевірити кожну з імовірних причин, замінити зламану деталь

Продовження таблиці 2.1

1	2	3
2) Немає вихідної напруги на виході «  »	а) Не працює стабілізований випрямляч	Перевірити режим стабілізатора напруги і правильність монтажу
	б) Не працює заданий генератор	Перевірити режим транзисторних підсилювачів RC-генератора, перемикача частотозатримувального ланцюга, перевірити схеми замикання у конденсаторі змінної ємності
	в) Вийшло з ладу реле	Замінити дану деталь
	г) Не працює підсилювач	Перевірити режими транзисторів підсилювача
	д) Не працює атенуатор	Перевірити роботу атенуатора
3) Немає сигналу прямокутної форми	а) Вийшов з ладу формувач прямокутного сигналу	Перевірити транзистори блоку формування прямокутного сигналу
	б) Не працює реле	Замінити дане реле

2.2 Мілівольтметр ВЗ-38



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд мілівольтметра ВЗ-38

2.2.1 Основні параметри

Мілівольтметр (voltmeter) ВЗ-38Б призначений для вимірювання середньоквадратичного значення напруги змінного струму синусоїдальної форми і лінійного перетворення його в напругу постійного струму. Шкали приладу ВЗ-38Б проградуєвані в середньоквадратичних значеннях синусоїдальної напруги і в децибелах.

2.2.2 Технічні характеристики пристрою

Діапазон вимірюваних приладом напруг від 100мкВ до 300В перекривається піддіапазонами з верхніми межами 1мВ, 3мВ, 10мВ, 30мВ, 100мВ, 300мВ, 1В, 3В, 10В, 30В, 100В і 300В.

Прилад вимірює напруги в діапазоні частот від 20 Гц до 5 МГц.

Діапазон частот приладу має робочі ділянки частот:

I від 45 Гц до 1 МГц вкл.;

II від 20 до 45 Гц викл.;

III понад 1 до 3 МГц вкл.;

IV понад 3 до 5 МГц вкл.;

Частота градуювання 1 кГц.

Межа основної похибки приладу, виражена у відсотках від верхньої межі встановленого піддіапазону вимірювання, дорівнює $\pm 2,5$ %.

Межа допустимої похибки приладу мілівольметра В3-38 в робочих ділянках частот, виражена у відсотках від верхньої межі встановленого піддіапазону, і межа допустимої зміни показів приладу в межах робочих ділянок частот щодо показу на частоті градуювання у відсотках, дорівнюють значенням, вказаним у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Межі похибок

Піддіапазони	Межі похибок(межі допустимих змін показів), %			
	Робочі ділянки частот			
	1	2	3	4
1мВ	$\pm 2,5$	$\pm 4,0(\pm 4,0)$	$\pm 4,0(\pm 4,0)$	$\pm 6,0(\pm 6,0)$
1В-300В	$\pm 4,0(\pm 4,0)$		$\pm 6,0(\pm 6,0)$	

Мілівольтметр має вихід широкосмугового підсилювача з напругою (100 \pm 20) мВ (при відхиленні показчика на кінцеву відмітку шкали).

Має вихід перетворювача, у якого вихідна напруга $U_{\text{вих}}$ відповідає значенню, обчисленому за формулою 2.1

$$U_{\text{вих}} = U_0 \cdot U / U_k, \quad (2.1)$$

де U_k – Напруга, що дорівнює кінцевому значенню шкали на встановленому під діапазоні, В;

U – дійсне значення вхідної (вимірюваної) напруги в В;

U_0 – номінальна значення вихідної напруги, дорівнює 1 В.

Вихідна напруга перетворювача при повному відхиленні показчика дорівнює (1000 \pm 25) мВ.

Межі допустимої похибки перетворення напруги дорівнюють значенням, вказаним вище.

Вихідний опір перетворювача (1000 \pm 100) Ом.

Зміна показів приладу, викликана зміною температури навколишнього повітря від нормальної до будь-якої температури в межах робочої ділянки

температур, не перевищує половини межі допустимої основної похибки на кожні 10°C зміни температури.

Межа додаткової похибки при відхиленні форми кривої вимірюваної напруги від синусоїдальної (коефіцієнт гармонік не більше 20 %) дорівнює половині значення коефіцієнта гармонік, вираженого у відсотках.

Відхилення показчика від нуля, викликане власними шумами, не перевищує 5 % від значення верхньої межі встановленого піддіапазону вимірювання при замкнутому накоротко вході.

Мілівольтметр В3-38 зберігає свої технічні характеристики в межах норм при наявності на його вході постійної складової напруги не більше 250 В. Час встановлення показів приладу не перевищує 4 с.

Мілівольтметр В3-38 зберігає основну похибку після впливу п'ятикратної перевантажувальної напруги, але не більше 600 В.

Активний вхідний опір приладу, виміряний на частоті 45 Гц, не менше 4 МОм на піддіапазонах з верхніми межами 1 мВ–300 мВ і не менше 5 МОм на піддіапазонах з верхніми межами 1 В–300 В.

Вхідна ємність приладу не більше 25 пФ на піддіапазонах з верхніми межами 1 мВ–300 мВ і не більше 15 пФ на піддіапазонах з верхніми межами 1 В–300 В.

Ємність кожного із з'єднувальних кабелів не більше 80 пФ.

Час встановлення робочого режиму 15 хв.

Мілівольтметр В3-38 зберігає свої технічні характеристики при живленні його від мережі змінного струму напругою (220 ± 22) В частотою $(50\pm 0,2)$ Гц.

Потужність, споживана від мережі при номінальному напрузі, не перевищує 5,5 Вт. Допускається безперервна робота в робочих умовах протягом 8 годин на добу. Середнє напрацювання на відмову не менше 15 000 год.

2.2.3 Підготовка до роботи

Перед ввімкненням приладу до мережі необхідно:

- перевірити наявність запобіжника;
- заземлити корпус приладу;
- перевірити механічний нуль приладу і при необхідності встановити його коректором, розміщеним в середині передньої панелі;
- перемикач ділянок вимірювання встановити в положення 300 В;
- ввімкнути пристрій до мережі та прогріти його протягом 15 хв.

2.2.4 Порядок роботи

1. Під'єднати до приладу провідник захисного занулення.
2. При вимкненому вимикачі напруги живлення перевірити положення показчика приладу і при необхідності встановити нуль механічним коректором.
3. Встановити перемикач піддіапазонів в положення, відповідне передбаченим значенням вимірюваної напруги (якщо вони невідомі, то

необхідно встановити піддіапазон вимірювання 300 В) і подати на прилад напругу живлення.

4. Подати вимірювану напругу на вхідну розетку за допомогою вимірювального кабелю з комплекту приладу. Кабель зі штепселями використовують на частотах до 1 МГц, кабель зі штекером – для вимірювань на частотах понад 1 МГц.

При відсутності сигналу і замкнутому вході показчик приладу може відхилитися від нульового розподілу до 5 % від значення верхньої межі встановленого піддіапазону через власні шуми приладу.

5. Зробити відлік показів приладу за шкалою.

Необхідно пам'ятати, що приладом можна вимірювати напругу тільки тих джерел, один полюс яких приєднаний до точки з нульовим потенціалом (заземлений). Вимірювати напругу мережі приладом ВЗ-38А забороняється. Це пов'язано з тим, що один з вимірювальних дротів з'єднується з корпусом приладу і до цього вимірювального дроту може виявитися під'єднаним фазний провід мережі.

З гнізд для автоматичного контролю знімається постійна напруга, пропорційне відхиленню стрілки приладу від нульового положення.

2.2.5 Характерні несправності

Таблиця 2.3 – Характерні несправності мілівольметра ВЗ-38

Назва поломки	Можлива причина	Метод усунення
Індикаторна лампочка не світиться і стрілка приладу не реагує на сигнал	Згорів запобіжник або відсутній контакт в тумблері ввімкнення приладу	Замінити запобіжник або перемикач

2.3 Осцилограф С1-72

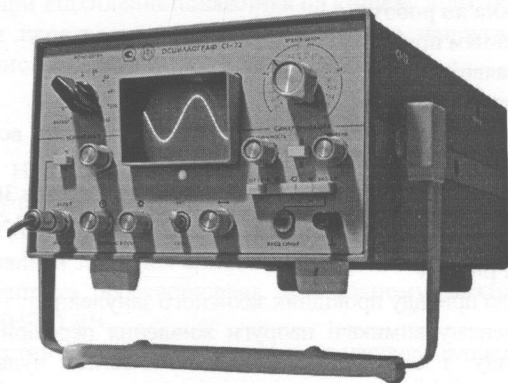


Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд осцилографа С1-72

2.3.1 Основні параметри

С1-74 розрахований на досліди форми електричних сигналів довжини від 45 пс до 5 с з амплітудою від 30 мВ до 300 В з подільником шляхом візуального нагляду чи фотографування.

2.3.2 Технічні данні

1. Робоча частина екрана 60*100 мм (одна поділлка шкали –10 мм).

2. Ширина ліній променя не перебільшує 1 мм.

3. Мінімальна частота руху розгортки.

4. Калібратор амплітуди і часу має такі параметри:

а) форма напруг калібратора амплітуди – «меандр» з частотою повторення 50 Пц $\pm 10\%$, еквівалентністю $-2 \pm 30\%$.

б) величина напруг калібратора амплітуд та навантаження 1 МОм, 0,05-50 В (дискретні 10 фіксованих значень) з похибкою не більше 1 %.

в) форма напруг калібратора часу – періодична напруга з частотою 1 МГц, похибка частоти не більше 0,1 %.

г) величина напруги калібратора часу у межах 2–8 В на навантаженні 1 МОм і у межах 0,05–0,4 В при навантаженні 50 Ом.

5. Осцилограф забезпечує незалежне переміщення похилого променя по вертикалі та горизонталі. Рух променя по вертикалі не менше 60 мм вверх і униз від середини робочої частини екрана. Рух променів по горизонталі забезпечує співпадання початку і кінця робочої ділянки розгортки із середини шкали екрана. Неточності у межах частини екрана розміром 6*8 поділок не повинні перевищувати 0,3 шкали.

Робочою є ділянка розгортки розміром 10 поділок по горизонталі від її початку, за винятком початкової ділянки довжиною 40 мм, крім підсилювачів Я40-1700 (1У72) і Я40-1701 (1У72).

6. Несинхронність розгортки променів у межах робочої ділянки розгортки не більше 1 мм.

7. Параметри входу Z:

а) мінімальна амплітуда сигналу для символів зовнішніх модуляцій не менше 1 В при частоті повторення періодичного сигналу від 50 Гц до 50 МГц.

б) максимальна допустима амплітуда вхідного сигналу не більше 30 В.

в) вхідний опір для постійного струму більше $\pm 0,2$ кОм.

г) вхідна ємність не більше 100 пФ.

д) рівень постійної напруги на вході у межах $\pm 0,5$ В.

8. Джерела живлення осцилографа допускають сумарне навантаження за роз'ємними змінними блоків не більше вказаної у табл. 2.4:

Таблиця 2.4 – Сумарне навантаження за роз'ємами змінних блоків С1-72

Величина напруги джерела живлення, В	Сумарне навантаження, мА
125	55
80	230
12,6	1000
-6,3	1600
-12,6	700
-125	160

9. У осцилографі (oscilloscope) передбачена можливість підсвічування з регуляцією для шкали екрана.

10. Можна фотографувати зображення сигналу на ЕПТ за допомогою фото приставки.

11. Технічні характеристики будуть забезпечуватися після 15 хв саморозігріву.

12. Номінальна потужність використаної від мережі енергії становить 350 Вт.

13. Технічні умови будуть забезпечуватись не менше як при 8-ми годинної роботи.

14. Рівень напруг не більше 1000 мкВ та частотах від 0,15 до 0,5 МГц; 500 мкВ на частотах від 0,5 до 2,5 МГц; 100 мкВ – від 2,5 до 20 МГц.

15. Акустичні шуми, створені осцилографом, не більше 60 дБ на відстані 1 м від осцилографа.

2.3.3 Порядок роботи

1. Підготовка до проведення вимірювань.

Робоча частина екрана кожного променя є 60*100 мм. До кожного екрана ЕПТ шкала розміром 60x100 мм, має 6 вертикальних і 10 горизонтальних поділок. Кожна поділка у свою чергу поділена на 5 менших поділок, кожна по 2 мм.

На рівні 0,1 і 0,9 розміру шкали по вертикалі нанесені точки. Ці точки розташовані відносно одна одної на відстані, рівній малій поділці (2 мм) і встановлені для полегшення вимірів надходження часу при дослідженні імпульсів сигналів.

Сітка шкали ЕПТ підсвічується. Інтенсивність регулюється за допомогою ручки «Q».

2. Зображення сигналу на екрані може бути отримано, як і у режимі реального часу, так і у режимі стробоскопічного перетворення (якщо використовувати стробоскопічні блоки).

3. Кабелі, що використовуються для сигналу на входи блоку, мають великий вплив на точність показів високочастотного сигналу.

Для збереження точності та параметрів досліджуваного сигналу використовуйте точні подільники, пробники і високочастотні кабелі із комплекту ЗИП.

Якщо джерело сигналу має вихідний опір 50 Ом, то з'єднувальний кабель обов'язково повинен навантажуватись по вхідному сигналу на хвильовий опір, рівний 50 Ом (крім стробоскопічного). Низькочастотний сигнал високої амплітуди, може подаватись безпосередньо на входи блоків за допомогою кабелю із штекерами. Цей вид подачі найбільш зручний для сигналів з частотою нижче 1 кГц і при коефіцієнті блока вище 1 В/поділку.

2.3.4 Проведення вимірювань

1. Калібровка вертикального відхилення проходить у такій послідовності:

Підключіть вихід (роз'єм ВИХОД) до вихідного роз'єму змінного блока типу Л40-1 із опором входу 1 МОм. Встановіть ручку викл. – 1 МГц у положення «П», ручку КАЛИБРАТОР, V – у положення, що забезпечує необхідну величину каліброваного сигналу на роз'ємні ВИХОД.

Встановіть автоматичний режим роботи розгортки при коефіцієнті розгортки 0,5 чи 1 мс/розгортки.

Калібровку стробоскопічних блоків виконуйте від калібратора, розташованого у блоці Я40-2700 (1Р71).

2. Горизонтальна калібровка:

Встановіть ручку ВРЕМЯ/дел блока типу Я40-2(1Р) в положення «1 μs». Подайте калібрований сигнал 1 МГц з виходу калібратора на вхід блока типу Я40-1 (1Р). Розмір зображення на екрані встановіть 2–3 поділки і за допомогою регулювання КОРР-время/дел відповідного променя, розташованого на верхній панелі осцилографа, добийтесь здвигу кожного періоду сигналу калібратора. Потім встановіть ручку РАСТЯЖКА в положення «Х10» і за допомогою регулятора КОРР-РАСТЯЖКА того ж променя добийтесь співпадання періоду сигналу крайніми точками осьової горизонтальної лінії шкали.

3. Вимірювання амплітуд і часових інтервалів сигналів виконуйте методом каліброваної шкали – вимірювання лінійних розмірів зображення безпосередньо на шкалі ЕПТ. Вимірювальну величину підраховуйте за формулою:

$$A = V * C * D,$$

де: А – шкала величини сигналу; В – число поділок; С – значення положення перемикачів: Коефіцієнт відхилення (V/дел, mVдел), Коефіцієнт розгортки (ВРЕМЯ/дел); Д – коефіцієнт передачі дільника чи множника розгортки.

2.2.5 Характерні несправності

Таблиця 2.5 – Перелік характерних несправностей осцилографа С1-72 і методи їхнього усунення

Назва поломки, зовнішній прояв і додаткові ознаки	Ймовірна поломка або несправність	Метод усунення
1) При увімкненні осцилографа у мережу лампочка «сеть» не горить.	Згорів запобіжник. Немає живлення у шнурі. Зламався тумблер.	Замінити Пр3. Замінити чи спаяти шнур живлення. Замінити тумблер.
2) Горять Пр1, Пр2, Пр4.	Коротке замикання у ланцюгах постійного струму джерел 30, 125, -125 В.	Знайти і усунути поломку.
3) Виходить з ладу Пр5.	Коротке замикання у ланцюгах живлення високовольтного перетворювача.	Знайти і усунути поломку.
4) На роз'ємні Выход калібратора немає коливаних напруг.	Немає контакту у перемикачах В7, В8. Обрив дроту з'єднувача виходу калібратора з роз'ємом «Выход».	Почистити і запаяти контакти у В7, В8. Запаяти.
5) Довжина розгортки значно не відповідає калібровці. Розмір ліній розгортки малий.	Обрив у ланцюзі передачі пилкоподібної напруги із пластини Х.	Запаяти обрив.
6) При зміщенні по вертикалі зображення закінчується у межах робочого поля.	Зламався вихідний підсилювач Y	Перевірити Y

2.4 Частотомір електронно-лічильний ЧЗ-34



Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд частотоміра ЧЗ-34

2.4.1 Основні параметри

Частотомір ЧЗ-34 призначений для автоматичного вимірювання: частоти електричних коливань; періоду електричних коливань; інтервалів часу; відносних частот; видачі кодованих сигналів результату вимірювань.

Частотомір (frequency meter) вимірює частоту: синусоїдального сигналу (на вході «А») в діапазоні від 10 Гц до 20 МГц; чутливість не гірше 60 мВ еф. в нормальних умовах і 100 мВ еф. в робочих умовах, динамічний діапазон вхідних напруг при положенні АТТЕНЮАТОР «1:1» від 0,1 до 1,5 В еф.; імпульсного сигналу будь полярності (по входу «А») в діапазоні від 10 Гц до 20 МГц; чутливість повинна бути не гірше 0,2 В в нормальних умовах і 0,3 В в робочих умовах, динамічний діапазон вхідних напруг при положенні атенюатора «1:1» повинен бути від 0,3 до 4 В, тривалість вхідних імпульсних сигналів повинна бути не менше 0,5 мкс в діапазоні частот від 10 до 200 Гц та не менше 0,01 мкс в діапазоні частот від 200 Гц до 20 МГц; вхідний сигнал повинен мати не більше двох екстремальних значень за період.

2.4.2 Основні технічні дані

Таблиця 2.6 – Основні технічні дані частотоміра ЧЗ-34

Назва	Дані по ТУ	Фактичні дані
1	2	3
Вимірювання частоти		
Діапазон частот	0,1Гц-	0,1Гц-
Мінімальна напруга вхідного сигналу:	100МГц	100МГц
синусоїдальної форми, В ефф;	0,1	
імпульсної форми, В	0,3	

Продовження таблиці 2.6

1	2	3
Вимір періоду		
Діапазон частот		
Мінімальна напруга вхідного сигналу:	0,1	0,07
-синусоїдальний, В эфф;	0,3	0,24
-імпульсний, В.		
Відносна похибка опорного генератора	$L 2 \cdot 10^{-8}$	$1,4 \cdot 10^{-8}$
За частотою при випуску приладу, Не більше		

2.4.3 Підготовка до роботи

Під'єднання живлення: Встановіть тумблер 220 В/115 В/ на заданій панелі приладу у положення відповідне до напруги мережі живлення. Перевірте величину напруги мережі живлення, вона повинна відповідати номінальним значенням. При живленні приладу від мережі 50 Гц 220 В у ній можливі скачки та коливання більше 10 %, необхідно ввімкнути прилад у мережу через ферорезонансний стабілізатор напруги типу ФОН – 200. Встановіть тумблер «Внешний пуск» (задня панель) у нижнє положення. Для ввімкнення живлення приладу встановіть тумблер «Сеть» у нижнє положення. Заземліть прилад за допомогою зажиму захисного заземлення. Під'єднайте шнур мережі живлення до приладу і вставте штепсель у розетку. Тумблер «Сеть» переведіть у положення «ВКЛ».

2.4.4 Порядок роботи

Підготовка до проведення вимірів.

При роботі з внутрішнім квартуванням генератора тумблер «ВНЕШ-ВНУТР» (задня панель) встановіть у положення «ВНУТР»; при роботі від зовнішньої опірної частини 5 МГц встановіть цей тумблер у положення «ВНЕШ», під'єднайте джерело до 5 МГц (задня панель). Увімкніть живлення. Прогрійте прилад.

Проведіть контроль працездатності приладу у режимі самоконтролю виконуючи такі дії:

- увімкніть кнопку «КОНТР»;
- встановіть ручку «ВРЕМЯ ИПР» у положення т/множ. Для відліку;
- проведіть розрахунки із цифрового табло при установці перемикачів t, S у відповідність із таблицею.

Результати вимірювань мають відповідати наведеним у табл. 2.7 чи можуть відрізнятись від них не більше чим на ± 1 од.

Таблиця 2.7 – Результати контрольних вимірювань частотоміра ЧЗ-34

mS/множ	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}
1	0010000,	0001000,	0000100,	0000010,
10	010000,0	001000,0	000100,0	000010,0
102	10000,00	01000,00	00100,00	00010,00
103	0000,000	1000,000	0100,000	0010,000
104	000,0000	000,0000	100,000	010,0000

Примітка:

У всіх режимах роботи після будь-яких перемикачів покази можуть бути неправильними.

При сильних виробничих завадах у мережі можливі збої розрахунку приладу, особливо при вимірюванні частот при великому часі рахунку і сумування.

2.2.5 Характерні несправності

Таблиця 2.8 – Перелік характерних несправностей частотоміра ЧЗ-34 і методи їх усунення

Назви положення	Можлива причина	Метод усунення
1	2	3
При вимкненні приладу в мережу згорає запобіжник.	Тумблер перемикачання напруги мережі встановлений не правильно.	Встановити тумблер у відповідне положення
На виході генератора, незалежно від установки перемикача полярності, відсутній імпульс, але є напруга, величина якої співпадає із встановленою.	Неполадки у системі урахуванні протяжності, відсутні імпульси запуску «I» та «II» на вході.	Перевірити роботу касети формування ОЧ та ДУ-2
Прилад прогрівається більше 2 год	Зламався датчик температури R2 кварцового генератора. Пропав струм із транзисторів чи мікросхем. Схем підігріву кварцових генераторів.	Перевірити роботу датчика температури (ММТ-1). Знайти поломку у схемі і замінити
Відсутній режим «КОНТР». Лампа 000 не загоряється.	Не поступає сигнал частотою 5 МГц з кварцового генератора. Не працює підсилювач-формувавч 5 МГц у дільнику частоти. Вийшов з ладу подільник частоти 5–1 МГц (мікросхема ДУ) або із дільників (мікросхеми Д10-Д16)	Перевірити подачу сигналу на виході 5 МГц. Перевірити транзистори V1–V3 у подільнику частоти, замінити. Перевірити осциляторний сигнал на контрольних струмах. Замінити.

Продовження таблиці 2.8

1	2	3
У режимі «КОНТР» прилад рахує безперервно, результат сумується.	На рахуючи декади, імпульс не подається	Перевірити подачу імпульсу збору на блоці автоматики у схемі подачі імпульсу. Замінити.
6. Не світиться одна із цифрових ламп. Не світиться будь-яка цифра в ідентифікаторній лампі.	Перегоріла лампочка. Перегорів відповідний високовольтний дешифратор.	Перевірити і замінити лампу. Замінити зламаний дишефратор.
7. Неправильно горять ідентифікатори одиниці виміру.	Зламався блок управління.	Замінити зламану деталь у блоці.
8. Режим НЕЙТР є, але не вимірюється період вхідного сигналу у режимі «ПЕРИОД»	Зламався підсилювач. Немає напруги керування на Ч15 або Ч17 підсилювача або Ч12 подільника частоти.	Перевірити і замінити. Перевірити схеми подачі напруги на керувальну частоту. Усунути неполадку.
9. Режим «ПЕРИОД ЧАСТОТЪ» є, але не вимірюється частота електричних сигналів у режимах А/Б.	Відсутня керувальна напруга на Ч14 підсилювача або Ч14 подільника частот.	Перевірити схеми подачі напруг.

2.5 Вимірювач різниці фаз Ф2-34

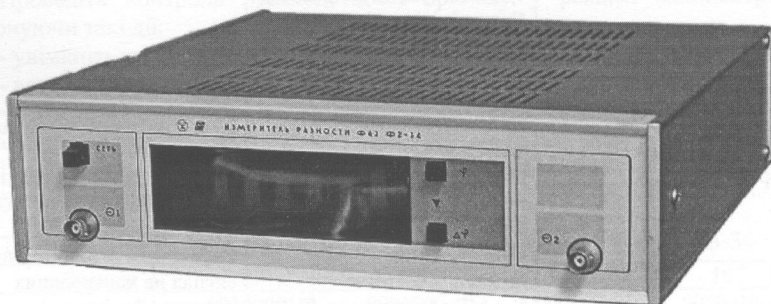


Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд вимірювача різниці фаз Ф2-34

2.5.1 Основні параметри

Вимірювач фаз (phase meter) Ф2-34 призначений для прецизійних вимірювань фазових зсувів та їх приростів між двома синхронними гармонійними сигналами в широкому діапазоні частот.

Прилад Ф2-34 застосовується при визначенні фазочастотних і фазоамплітудних характеристик підсилювачів, атенуаторів, ліній затримки; параметрів напівпровідникових приладів, діелектриків, магнітних матеріалів, при налаштуванні фільтрів, резонаторів, низькочастотних антен.

Прилад Ф2-34 побудований за структурною схемою фазометра з постійним часом вимірювання. Має режими ручного та дистанційного кодового керування і виведення результатів вимірювань в двійково-десятьковому коді на цифровий пристрій.

2.5.2 Основні технічні характеристики

Таблиця 2.9 – Основні технічні характеристики вимірювача Ф2-34

Назва параметра	Значення		виміряне
	за технічними умовами		
	номінальне	допустиме	
Діапазон робочих частот	від 0,5 до $5 \cdot 10^6$		0,5 – $5 \cdot 10^6$
Діапазон вимірювання кутів фазового здвигу, град.	з 0 до 360^0		0 – 360^0
Похибка вимірювання кутового фазового здвигу при рівних рівнях вхідних напруг безпосередньо на входах 1 і 2 приладу, град.			

2.5.3 Підготовка до роботи

Встановіть прилад на робоче місце так, щоб забезпечувалась вільна вентиляція. Вентиляційні роз'єми і отвори не повинні закриватись будь-якими предметами. Забороняється піддавати прилад обдуву вентиляційним повітрям інших приладів.

Встановіть перемикач «СЕТЬ» у вимкнуте положення. Внесіть роз'єми шнура живлення до входу на задній панелі. На передній панелі перемикач «СЕТЬ» переведіть у положення «ВКЛ.». Після цього повинно працювати цифрово-індикаторне табло. Можна починати вимірювання.

2.5.4 Порядок роботи

Якщо прилад вмикається вперше, тоді до ввімкнення треба провести зовнішній огляд, перевірити перемикачі, кнопки, справності запобіжників, межі та відповідність її параметрів до нормального значення.

Доступ до запобіжників відкривається при вкручуванні штирів вилки приладу на роз'єм «I» та «II», які розміщено на задній панелі, подати сигнал, рівень змінної складової напруги перевищує 7 В (ефективне значення), 1 рівень постійної напруги в сумі з амплітудою змінної перевищує 20 В.

Вимірювання сигналів великих значень треба виконувати за допомогою включених деталей ДНІ:10; ДНІ:100, які є у комплекті приладу.

На вхід подільника ДНІ:15 не допустимо подавати сигнал рівень змінної напруги якої перевищує 10 В (ефективне значення), а при сталій напрузі не більше 50 В у сумі із амплітудним значенням змінної.

На вхід дільника ДНІ:100 недопустимо подавати змінну напругу рівень якої перевищує 200 В (ефективне значення), а рівень постійної у сумі з амплітудними значенням змінної не перевищує 300 В.

При під'єднанні входів приладу до схеми у першу чергу під'єднують кабель заземлення.

Робота з приладом у режимі вимірювання фазових зсувів між сигналами виконується такими параметрами:

1. Нажимна кнопка «Ф» на передній панелі. Цикл встановлення нуля іде близько 70 с. При закінченні циклу починається періодичне свічення нижнього елемента символного ряду індикаторного ряду індикаторного табло.

2. Після закінчення циклу установки нуля, до входу «І» під'єднується досліджуваний сигнал, значення фазового здвигу у відношенні до визначення опорного сигналу, під'єданого на вхід «ІІ».

3. Якщо рівень перескоку і шумів у сигналі великий, то для відліку результату з великою точністю необхідно збільшити час циклу вимірювання через установа тумблера «В» у положенні «Х10». При цьому час циклу збільшується із 1 с до 10 с.

2.2.5 Характерні несправності

Таблиця 2.10 – Перелік характерних несправностей вимірювача Ф2-34

Назва, зовн. і додатк. прояв.	Можлива причина	Метод усунення
При ввімкненні прилад «СЕТЬ» згоряє запобіжник	Коротке замикання первинної або вторинної обмотки трансформатора; пробій випрямлених діодів чи конденсаторів фільтрів	Перевірити трансформатор. Поломані елементи замінити. Коротке замикання усунути будь-яким методом
На приладі світиться табло цифрового індикатора	Вийшов з ладу один із мережевих запобіжників. Вийшов з ладу перемикач «СЕТЬ». Обрив кабелю.	Замінити запобіжник. Перевірити тумблер «СЕТЬ». Усунути обрив кабелю живлення
Покази цифрового індикатора не залежить від вимірюваного сигналу або здвигу їх фаз сигналів	Відмова чи здвиг параметрів мікросхеми Д1 формувачів А1 та А2.	Замінити мікросхему Д1. Перевірити роботу формувача. Усунути недоліки у стабілізаторах блока живлення

3 ВИМІРЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК І ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛІВ

3.1 Дослідження похибок аналогового вимірювального приладу

Мета роботи: вивчити методику визначення основної похибки вимірювальних приладів на прикладі аналогового вольтметра постійного струму. Отримати навички проведення багаторазових вимірювань і обробки отриманих даних.

Обладнання:

- 1) Комбінований прилад (тестер) типу Ц4360 або Ц4317 (досліджуваний вольтметр).
- 2) Вольтметр універсальний цифровий типу В7-27А/1 або В7-16А (еталонний вольтметр).
- 3) Джерело регульованої постійної напруги від 0 до 5 В.

Лабораторне завдання:

1. Оцінити систематичну і випадкову складові основної похибки і сумарну похибку аналогового вольтметра;
2. Порівняти сумарну похибку, отриману експериментально, з нормованим значенням основної похибки вольтметра даного типу;
3. Оцінити варіацію показань аналогового вольтметра.

Підготовка до роботи (домашнє завдання).

1. Вивчити теоретичний матеріал, що належить до даної роботи, з літератури [1], [2] та конспект лекцій.
2. Вивчити опис даної роботи та заготовити в робочому зошиті форми таблиць у відповідності до вимог до змісту звіту, наведеному в кінці даного опису.
3. Підготувати відповіді на питання, які можуть бути задані при допуску до роботи та її захисту.

3.1. Дати визначення:

- абсолютної, відносної та наведеної похибок;
- систематичної і випадкової складових похибки;
- довірчої ймовірності та довірчого інтервалу випадкової похибки;
- основної і додаткової похибок;
- адитивної та мультиплікативної похибок.

3.2. Як оцінити систематичну складову похибку приладу?

3.3. Як оцінити довірчий інтервал випадкової похибки одноразового вимірювання при заданій довірчій ймовірності і нормальному законі розподілу?

3.4. У яких випадках при визначенні довірчого інтервалу для випадкової похибки з нормальним законом розподілу слід використовувати розподіл Стьюдента?

3.5. Як правильно подати результат вимірювання?

3.6. Перерахувати основні нормовані метрологічні характеристики засобів вимірювань.

3.7. Яким чином нормують похибки засобів вимірювань?

3.8. Що таке клас точності засобів вимірювань? Які існують способи завдання класу точності?

3.9. Яким чином можна оцінити абсолютну похибку результату вимірювань, якщо відомий клас точності використовуваного приладу?

3.10. Що таке варіація показань аналогового приладу і як можна її оцінити?

Використовуючи технічний опис досліджуваних приладів [3], заповнити табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні метрологічні характеристики використовуваних вольтметрів (при вимірюванні постійної напруги).

Характеристики	Аналоговий вольтметр тип	Цифровий вольтметр тип
Верхні межі виміру, що використовуються в даній роботі, В	2,5	1; 10
Ціна розподілу шкали, В		-
Ціна одиниці молодшого розряду використовуваних меж, В	-	
Нормована похибка (вказати яка), %		
Клас точності		
Вхідний опір, МОм		

Порядок виконання роботи та методичні вказівки:

1. Розрахунок областей значень основної похибки вольтметрів

1.1. Побудувати ділянки допуску основних абсолютних похибок аналогового і цифрового вольтметрів (табл. 3.1) в діапазоні від 0 до 2,5 В.

Приклад побудови зображений на рис. 3.1. Межа вимірювання досліджуваного вольтметра вибрати рівним 2,5 В. Тоді межі вимірювання еталонного вольтметра слід вибрати рівними 1 або 10 В.

Примітка: для простих електровимірювальних приладів основну похибку зазвичай нормують у формі гранично допустимої зведеної похибки – числом g , вираженням в %. Число g , записане без вказівки %, визначає клас точності такого вольтметра. Ділянка значень допустимої основної абсолютної похибки такого приладу можна визначити за допомогою простої формули:

$$\Delta = \frac{\pm \gamma}{100} \cdot U_K = \pm a \quad (1.1)$$

де U_K – значення встановленої межі вимірювання.

Видно, що ця похибка не залежить від значення вимірюваної напруги – носить чисто адитивний характер.

Основну похибку більш складних і точних цифрових вольтметрів звичайно нормують у формі гранично допустимої відносної похибки, %, за формулою виду:

$$\delta = \pm \left[c + d \cdot \left(\frac{U_k}{U} - 1 \right) \right] \quad (1.2)$$

Значення коефіцієнтів c (%) і d (%), записані через косу риску (c/d), визначають клас точності цифрового вольтметра.

Ділянку допустимої основної абсолютної похибки такого вольтметра можна обчислити за формулою:

$$\Delta = \pm \left(\frac{d \cdot U_k}{100} + \frac{c-d}{100} \cdot U \right) \quad U = [0, U_k] \quad (1.3)$$

Ця похибка зростає із збільшенням вимірюваної напруги, тобто має, крім адитивної, ще й мультиплікативну складову.

Специфічною особливістю використовуваного в даній роботі цифрового вольтметра В7-27 є можливість вимірювання напруги до 1,999 В при установці межі $U_k=1$ В і напругу до 19,9 В при установці межі $U_k=10$ В. Виробник гарантує, що при вимірюванні напруг $U > U_k$ відносна похибка буде перебувати у відповідності до (1.2) в межах $\pm c$ (%).

Оскільки абсолютна похибка (absolute error) еталонного приладу повинна бути, принаймні, в 3 рази менше похибки досліджуваного приладу, не слід без необхідності використовувати в цифровому вольтметрі В7-27 межу 10 В.

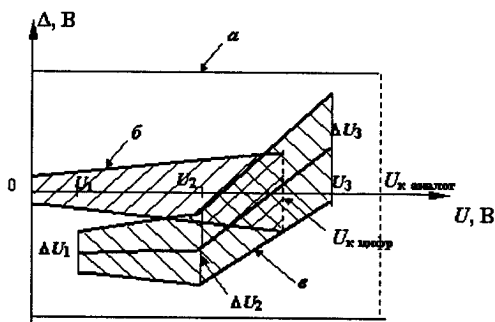


Рисунок 3.1 – Ділянки значень абсолютної похибки:

а – нормована для аналогового приладу, б – нормована для цифрового приладу, в – отримана експериментально для аналогового приладу за п. 3

Примітка. Фірми-виробники вольтметрів можуть використовувати й інші формули для нормування граничних похибок приладів, що випускаються.

1.2. Порівняти значення абсолютних похибок аналогового і цифрового вольтметрів в діапазоні від 0 до 2,5 В, зробити висновок про можливість використання цифрового вольтметра як еталонного на межах 1 і 10 В.

2. Оцінювання систематичної і випадкової складових основної похибки досліджуваного вольтметра

Дослідження провести для трьох точок встановленого на досліджуваному вольтметрі діапазону вимірювання 2,5 В – для трьох значень напруги: $U_1=(0,3-0,7)$ В – на початку шкали, $U_2=(0,8-1,5)$ В – в середині та $U_3=(1,5-1,9)$ В – в кінці.

2.1. Ознайомитися з коротким описом та органами керування вольтметрів та джерелами постійної напруги. Ввімкнути живлення джерела постійної напруги і цифрового вольтметра. Перевірити установку нуля аналогового і цифрового вольтметрів.

2.2. Зібрати схему вимірювання згідно з рис. 3.2.

2.3. Установити необхідні межі вимірювання U_k на обох вольтметрах.

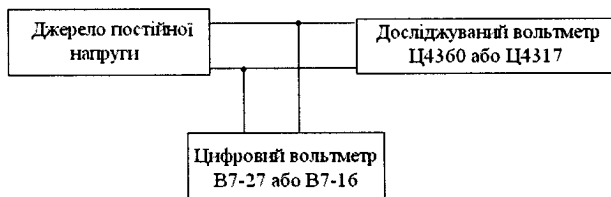


Рисунок 3.2 – Схема для дослідження похибок вольтметра

2.4. Вибрати позначку на шкалі досліджуваного вольтметра, що відповідає обраному значенню напруги U_1 . Регулюючи напругу джерела, встановити покази, рівні U_1 , виміряти дійсне значення напруги джерела за показами еталонного вольтметра U_{1i} і записати в табл. 1.2 (стовпець 2). Виконати n вимірювань дійсних значень напруги U_{1i} , $i=1, \dots, n$ ($8 \leq n \leq 16$), щоразу заново встановлюючи покази досліджуваного вольтметра на обрану шкалу оцінювання.

2.5. Повторити вимірювання п. 2.4 для вибраних значень U_2 і U_3 . Виміряні дійсні значення U_{2i} і U_{3i} , $i=1, \dots, n$ записати в 6 і 10-й стовпці табл. 1.2 відповідно.

2.6. Обчислити для кожного значення напруги U_1 , U_2 , U_3 такі величини.

2.6.1. Абсолютну похибку кожного одноразового вимірювання.

$$D_{mi} = U_m - U_{mi}, \quad m=1,2,3, \quad i=1, \dots, n \quad (1.4)$$

і записати їхнє значення в 3, 7 і 11-й стовпці, внизу кожного стовпця помістити алгебраїчну суму:

$$\sum_{i=1}^n \Delta_{mi}.$$

2.6.2. Оцінку систематичної складової похибки $\tilde{\Delta}_{Cm}$, обчисливши її значення як середнє значення похибки $\bar{\Delta}_m$:

$$\tilde{\Delta}_{Cm} = \bar{\Delta}_m = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta_{mi} \quad (1.5)$$

2.6.3. Випадкові складові похибки кожного вимірювання:

$$\Delta_{mi}^0 = \Delta_{mi} - \tilde{\Delta}_{Cm} \quad (1.6)$$

і записати їхнє значення в 4, 8 і 12-й стовпці.

2.6.4. Оцінки середнього квадратичного відхилення випадкової складової похибки (середньоквадратичну похибку) одноразового вимірювання для трьох обраних точок шкали досліджуваного вольтметра:

$$\tilde{\sigma}_m = \left[\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta_{mi}^2 \right]^{1/2} \quad m=1,2,3. \quad (1.7)$$

Для цього знайти квадрати випадкових складових Δ_{mi}^2 , $m=1,2,3$, $i=1,\dots,n$ і отримані числа занести в 5, 9 і 13-й стовпці, а внизу кожного з них помістити суми цих квадратів $\sum_{i=1}^n \Delta_{mi}^2$, $m=1,2,3$. Знайдені значення оцінок $\tilde{\sigma}_1, \tilde{\sigma}_2$ та $\tilde{\sigma}_3$ також помістити в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати вимірювань та розрахунку складових основної похибки досліджуваного вольтметра

i	$U_1 = B$				$U_2 = B$				$U_3 = B$			
	U_i	D_i	Δ_m^0	Δ_m^2	U_i	D_i	Δ_m^0	Δ_m^2	U_i	D_i	Δ_m^0	Δ_m^2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1												
2												
.												
.												
i												
.												
.												
n												
	S=		S=		S=		S=		S=		S=	
	$\tilde{\Delta}_{C1} = B$				$\tilde{\Delta}_{C2} = B$				$\tilde{\Delta}_{C3} = B$			
	$\tilde{\sigma}_1 = B$				$\tilde{\sigma}_2 = B$				$\tilde{\sigma}_3 = B$			
	$P_{доп} =, n=, t=$											
	$P_{доп1} = \pm B$				$P_{доп2} = \pm B$				$P_{доп3} = \pm B$			

2.6.5. Довірчі інтервали випадкової похибки одноразового вимірювання у припущенні, що закон розподілу цієї випадкової похибки – нормальний:

$$\Delta_{\text{доє}m} = t \cdot \tilde{\sigma}_m, \quad m = 1, 2, 3$$

де t – коефіцієнт Стьюдента, значення якого залежить від заданого значення довірчої ймовірності $P_{\text{доє}}$ і числа проведених вимірювань n . Значення t взяти з таблиці розподілу Стьюдента (додаток А). При обробці результатів простих технічних вимірювань довірчу ймовірність зазвичай вибирають в межах від 0,8 до 0,9.

Примітка: Англійський дослідник Госсет (опублікував свою знамениту роботу під псевдонімом Стьюдент) в 1908 р. показав, що якщо оцінка середньоквадратичного відхилення отримана по невеликій кількості вимірів ($n \leq 17$), то довірчий інтервал для випадкової величини з нормальним законом розподілу слід розраховувати з використанням розподілу, яке згодом отримало його ім'я – розподіл Стьюдента. При збільшенні числа вимірів, розподіл Стьюдента сходиться до нормального розподілу. Тому, якщо число вимірювань велике, при оцінці довірчого інтервалу можна використовувати таблиці інтеграла ймовірності.

3. Порівняння основної похибки досліджуваного вольтметра з її нормованим значенням для вольтметрів даного типу

3.1. Для кожного з обраних напруг U_1, U_2, U_3 обчислити оцінку сумарної основної абсолютної похибки вольтметра:

$$\Delta U = \tilde{\Delta}_{Cm} \pm \Delta_{\text{доє}m}, \quad m = 1, 2, 3$$

Значення $\tilde{\Delta}_{Cm}$ та $\Delta_{\text{доє}m}$ взяти з табл. 1.2.

3.2. На рис. 1.1, побудованому при виконанні п. 1.1, відобразити ділянку значень основної похибки ΔU_m (рис.1.1), отриману експериментально в точках шкали U_1, U_2, U_3 :

$$\tilde{\Delta}_{Cm} - \Delta_{\text{доє}m} \leq \Delta U \leq \tilde{\Delta}_{Cm} + \Delta_{\text{доє}m}, \quad m = 1, 2, 3 \quad (1.9)$$

3.3. Зробити висновок про відповідність похибки, отриманої експериментально, нормованої похибки досліджуваного приладу. Якщо експериментальні оцінки похибки виходять за межі нормованої похибки, зробити висновок, яка зі складових сумарної похибки (випадкова чи систематична), обумовлює цей вихід.

4. Оцінка варіації показань аналогового вольтметра

Примітка: варіацією показів b називають модуль різниці значень вимірюваної величини при встановленні показів приладу в даній точці

його шкали при плавному підході до цієї точки з боку малих і з боку великих значень. Виникнення такої похибки може бути обумовлено наявністю «люфту» в механічній системі, тертям в опорах рухомих вузлів, ефектами типу гістерезису при перемагнічуванні та іншими чинниками. У підсумку, покажчик (стрілка) аналогового вимірювального приладу може зайняти різне становище на шкалі при одному і тому ж сталому значенні вимірюваної величини, в залежності від того, чи відбулося це встановлення шляхом збільшення або шляхом зменшення попередніх показань. При повільному і плавному переміщенні покажчика варіацію можна вважати систематичною похибкою. Однак, у звичайній практиці використання приладів показники можуть змінюватися і швидко, і повільно, і шляхом збільшення, і шляхом зменшення попередніх значень. Тому прийнято вважати, що похибка вимірювання, обумовлена варіацією показань, має випадковий характер, і закон її розподілу – рівномірний на інтервалі $[0, b]$:

$$\sigma_{\text{вп}} = \frac{b}{\sqrt{12}} \quad (1.10)$$

4.1. Використовувати схему вимірювання (рис. 1.2), дослідження виконати на позначці шкали U_2 .

4.2. Встановити стрілку досліджуваного приладу на обрану відмітку шкали, повільно наближаючись до цього значення з боку менших значень, і записати відповідну показання U_{1m} зразкового цифрового вольтметра в табл. 3.3. Встановити те ж значення U_2 , повільно наближаючись до нього з боку великих значень, і записати показання $U_{1б}$.

Всього виконати 10 таких вимірювань: 5 при підході з боку менших значень (1,2, ..., 5м) і 5 – з боку великих (1,2, ..., 5б).

4.3. Обчислити різницю показань досліджуваного та еталонного вольтметрів для кожного вимірювання:

$$D_{1m} = U_2 - U_{1m} \quad D_{1б} = U_2 - U_{1б} \quad i = 1, \dots, 5.$$

4.4. Знайти середнє арифметичне значення різниць показань

$$\bar{\Delta}_m = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \Delta_{1m} \quad \text{та} \quad \bar{\Delta}_б = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \Delta_{1б}$$

Таблиця 3.3 – Результати вимірювань та розрахунку варіації показань

	$U_2 = B$									
i	1м	2м	3м	4м	5м	1б	2б	3б	4б	5б
U_i, B										
D_i, B										
	$\bar{\Delta}_m = B, \bar{\Delta}_б = B, \tilde{b} = B, \tilde{\sigma}_b = B$									

4.5. Обчислити оцінку варіації показань

$$\tilde{\delta} = |\bar{\Delta}_m - \bar{\Delta}_b|$$

4.6. Знайти оцінку середньоквадратичного значення випадкової похибки приладу (1.10), зумовленої наявністю варіації показань. Порівняти значення $\sigma_{\text{вип}}$ зі значеннями $\tilde{\sigma}_1$, $\tilde{\sigma}_2$ та $\tilde{\sigma}_3$ з табл. 1.2. Якщо $\sigma_{\text{вип}}$ порівняне зі значеннями $\tilde{\sigma}_1$, $\tilde{\sigma}_2$ та $\tilde{\sigma}_3$ то слід врахувати вплив варіації при розрахунку порівняльного інтервалу випадкової складової похибки.

4.7. Записати результати розрахунків у табл. 1.3.

Звіт повинен містити:

- номер та найменування лабораторної роботи;
- мету роботи;
- схему під'єднання приладів;
- заповнені табл. (1.1–1.3) із заголовками;
- ділянки значень абсолютних похибок, побудовані за результатами виконання п. 1.1 і 3.2 (рис. 1.1);
- висновки про співвідношення складових основної похибки досліджуваного вольтметра ($\tilde{\Delta}_c, \tilde{\sigma}, \tilde{\sigma}_b$) і відповідно його похибки нормованих значень.

3.2 Дослідження вольтметрів змінної напруги

Мета роботи: вивчити принцип дії, будову та основні метрологічні характеристики електронних вольтметрів з перетворювачами амплітудного (пікового), середньоквадратичного і середньовипрямленого значень напруги. Вивчити особливості вимірювання напруги сигналів різної форми. Отримати практичні навички роботи з вимірювальними приладами.

Обладнання:

1. Вольтметр змінної напруги типу В7-15 (або ВУ-15) з амплітудним (піковим) детектором;
2. Вольтметр змінної напруги типу В7-27/А/1 (або В7-16) з перетворювачем середньовипрямленого значення;
3. Вольтметр середньоквадратичного значення (вимірювач нелінійних спотворень типу С6-11 в режимі вимірювання напруги).

Допоміжні прилади:

1. Генератор вимірювальних сигналів (синусоїдальної форми) низькочастотний ГЗ-109;
2. Генератор вимірювальних сигналів (синусоїдальної форми) високочастотний Г4-158;
3. Генератор прямокутних імпульсів із змінним коефіцієнтом заповнення (допоміжний генератор);
4. Електронно-променевий осцилограф С1-67;
5. Еталонний резистор з номіналом (1,00±0,05) МОм.

Лабораторне завдання:

1. Дослідити вплив форми сигналу на покази електронних вольтметрів з різними типами перетворювачів;

2. Оцінити вхідний опір вольтметра В7-27/А/1 (або В7-16) та його вплив на похибку вимірювання напруги;

3. Дослідити вплив параметрів вхідного ланцюга вольтметра і з'єднувальних кабелів на частотний діапазон вимірювання напруги з використанням одного з досліджуваних вольтметрів – найбільш широкосмугового В7-15 (або ВУ-15).

Примітка. Кількісні характеристики (параметри) змінної періодичної напруги $U(t)$ описуються такими функціоналами

1. Середнє значення (постійна складова) напруги:

$$U_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt \quad (2.1)$$

де T – інтервал інтегрування. Чисельне значення T в вольтметрах має порядок (0,2 ,..., 1) с. При розрахунках середнього значення та інших характеристик періодичного сигналу за інтервал T зручно взяти період сигналу.

2. Максимальне і мінімальне значення напруги:

$$U_{max} = \max(u(t)), \quad U_{min} = \min(u(t)). \quad (2.2)$$

Розмах $U_p = U_{max} - U_{min}$

Пікове відхилення «вгору» напруги:

$$U_{*v} = U_{max} - U_{cp} \quad (2.3)$$

Пікове відхилення «вниз» напруги:

$$U_{*n} = |U_{cp} - U_{min}| \quad (2.4)$$

3. Середньоквадратичне (діюче) значення напруги:

$$U_{ck} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \quad (2.5)$$

4. Середньовипрямлене значення напруги:

$$U_{cv} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt \quad (2.6)$$

В електронних вольтметрах змінної напруги використовують три типи перетворювачів:

- Перетворювач амплітудного (пікового) значення, вихідна напруга якого пропорційна максимальному значенню напруги вимірюваного сигналу U_m (піковому відхиленню напруги «вгору», якщо анод діода з'єднаний з входом перетворювача або піковому відхиленню напруги «вниз» – при зворотному з'єднанні діода);

- Перетворювач середньоквадратичного значення (на основі термоелектричних, діодних, транзисторних чи оптронних перетворювачів), вихідна напруга якого пропорційна середньоквадратичному (діючому) значенню вимірюваної напруги $U_{ок}$;

- Перетворювач середньовипрямленого значення, вихідна напруга якого пропорційна середнім значенням випрямленої напруги $U_{св}$ (середньому значенню модуля напруги).

Якщо у вольтметра закритий вхід, тобто постійна складова U_{cp} вимірюваної напруги не проходить на перетворювач, то його покази визначаються тільки змінною складовою сигналу.

Шкали електронних вольтметрів змінного струму (крім імпульсних) градуують в середньоквадратичних значеннях напруги сигналу синусоїдальної форми. Імпульсні вольтметри градуують в амплітудних значеннях синусоїдального сигналу.

З урахуванням зазначених особливостей показання вольтметрів $U_{шк}$ визначаються формулами, наведеними в табл. 3.4.

Середньоквадратичне $U_{ок}$ (пікове відхилення «вгору»), U_m і середньовипрямлене значення $U_{св}$ пов'язані між собою так званими коефіцієнтами амплітуди K_A і форми $K_{Ф}$ таким чином:

$$U_m = K_A \cdot U_{ок}; \quad U_{ок} = K_{Ф} \cdot U_{св}; \quad U_m = K_A \cdot K_{Ф} \cdot U_{св}$$

Знаючи результат вимірювань, тобто значення функціонала (табл. 3.4) для використовуваного типу перетворювача вольтметра, можна знайти невідомі параметри вимірюваної напруги. Але для цього треба правильно, відповідно до виду функції $u(t)$, яка описує вимірюваний сигнал, вибрати значення коефіцієнтів K_A і $K_{Ф}$. Чисельні значення цих коефіцієнтів можна вивести з використанням формул (2.2), (2.5) і (2.6).

Таблиця 3.4 – Значення функціонала

Тип вольтметра	Показання вольтметра	
	Відкритий вхід	Закритий вхід
1	2	3
Вольтметр постійної напруги	$U_{шк} = U_{cp} = \int_0^T u(t) dt$	-----
Вольтметр з перетворювачем середньоквадратичного значення	$U_{шк} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}$	$U_{шк} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (u(t) - U_{cp})^2 dt}$

Продовження таблиці 3.4

1	2	3
Вольтметр з перетворювачем середньо-випрямленого значення	$U_{\text{шк}} = \frac{1,11}{T} \int_0^T u(t) dt$	$U_{\text{шк}} = \frac{1,11}{T} \int_0^T u(t) - U_{\text{ср}} dt$
Вольтметр з піковим (амплітудним) детектором	$U_{\text{шк}} = \max(u(t))$ імпульсний вольтметр - виняток із загального правила градуювання	$U_{\text{шк}} = 0,707 \max(u(t) - U_{\text{ср}})$ такий вольтметр іноді некоректно називають амплітудним вольтметром

Порядок виконання роботи та методичні вказівки:

1. Ознайомлення з характеристиками досліджуваних вольтметрів і принципами їх роботи (домашня підготовка до роботи).

1.1. Вивчити з літератури [1,2] і конспекту лекцій теоретичний матеріал, що належить до даної роботи. Вивчити опис даної роботи та заготовити в робочому зошиті форми табл. 2.1–2.6 з їхніми заголовками;

1.2. Ознайомитися з [3, 4] з метрологічними характеристиками досліджуваних вольтметрів. Заповнити табл. 3.5;

1.3. Порівняти ці характеристики. Зробити висновки про ділянку застосування досліджуваних вольтметрів з точки зору:

- форми вимірюваного сигналу,
- діапазону вимірюваних значень напруг,
- діапазону робочих частот,
- нормованої похибки,
- вхідного опору і вхідної ємності.

Таблиця 3.5 – Основні метрологічні характеристики вольтметрів

Характеристика	Вольтметр універсальний аналоговий Тип В7-15 (ВУ-15)	Вольтметр універсальний цифровий Тип В7-27 / А	Вимірювач нелінійних спотворень Тип С6-11
Тип перетворювача			
Межі виміру, В			
Спектр частот, Гц			
Основна нормована похибка, %			
Вхідний опір, Ом			
Вхідна ємність, пФ			

1.4. Для самоперевірки готовності до виконання роботи сформулювати відповіді на такі питання, які можуть бути задані при допуску та в процесі захисту роботи:

1. Кількісні характеристики змінної напруги;
2. Типові структурні схеми електронних вольтметрів;
3. Яка з цих схем забезпечує високу чутливість вольтметра, а яка – широкий частотний діапазон?
4. Основні типи перетворювачів змінної напруги, що застосовуються в електронних вольтметрах; їхні схеми, формули, що описують їх принцип дії;
5. Правила і процедура градування електронних вольтметрів змінної напруги;
6. Навіщо потрібні вольтметри з різними типами входів, відкритим і закритим?
7. Яким чином забезпечують «закритий» вхід вольтметра?
8. Формули, що визначають показання електронних вольтметрів;
9. Схема і часові діаграми сигналів, що пояснюють роботу пікового перетворювача з закритим і відкритим входами;
10. Джерела похибок електронних вольтметрів.

1.5. За аналогією з наведеним нижче графіком нарисувати в однаковому масштабі часові діаграми (time diagrams) імпульсних сигналів прямокутної форми без постійної складової при значеннях коефіцієнта заповнення $K_3=0,25$; $0,5$ та $0,75$. Зверніть увагу, що розмах імпульсного сигналу не змінюється при вилученні постійної складової.

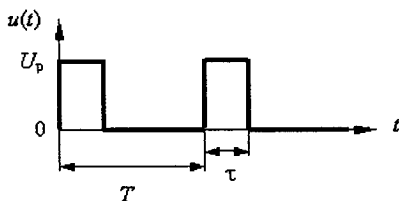


Рисунок 3.3 – Імпульсний сигнал з постійною складовою

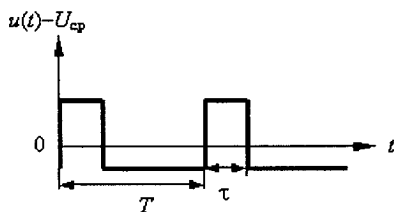


Рисунок 3.4 – Імпульсний сигнал без постійної складової

1.6. Записати в табл. 2.3 розрахункові значення показань вольтметрів з закритим входом при вимірюванні:

- синусоїдального сигналу,
- імпульсних сигналів прямокутної форми без постійної складової з різним коефіцієнтом заповнення K_3 .

Необхідні для розрахунку формули наведені в табл. 3.6. Розмах сигналів прийняти рівним $U_p=4$ В.

Таблиця 3.6 – Результати розрахунку значень параметрів сигналів різної форми і показів вольтметрів

Розрахунок показань $U_{шк}$ вольтметрів при вимірі напруги				
Тип перетворювача	імпульсного сигналу прямокутної форми без постійної складової з розмахом $U_p=4$ В при $K_3 =$			синусоїдального сигналу з розмахом $U_p=4$ В
	0,25	0,5	0,75	
Амплітудн.	$0,53 U_p$	$0,35 U_p$	$0,18 U_p$	$0,707 U_p/2$
Ср. випрямл.	$0,42 U_p$	$0,56 U_p$	$0,42 U_p$	$0,707 U_p/2$
Ср. квадрат.	$0,43 U_p$	$0,5 U_p$	$0,43 U_p$	$0,707 U_p/2$

1.7. Показати викладачеві результати виконання домашнього завдання заповнені табл. 2.1 і 2.2 і отримати допуск до роботи.

2. Дослідження впливу форми вимірюваної напруги на покази електронних вольтметрів

2.1. Ввімкнути живлення досліджуваних вольтметрів і допоміжних приладів, ознайомитися з короткими технічними описами та органами керування досліджуваних вольтметрів. Після 15-хвилинного прогріву перевірити установку «0» і калібрування досліджуваних вольтметрів.

Під'єднати осцилограф до виходу генератора сигналів синусоїдальної форми (рис. 3.5).

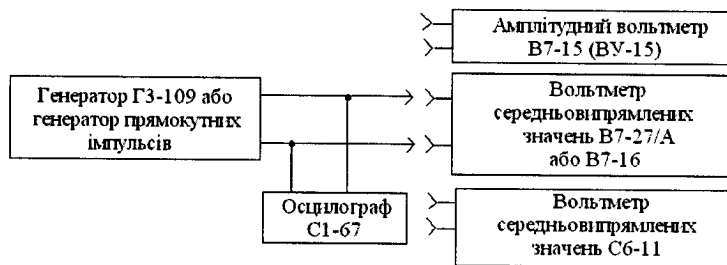


Рисунок 3.5 – Схема виміру напруги сигналів різної форми

2.2. Встановити частоту сигналу генератора 1кГц. Перемкнути регулятор вхідного подільника осцилографа *Вольт/дел* в положення *1 В/дел*, встановити ручку *Підсилення* в крайнє праве положення, отримати на екрані осцилографа зображення вимірюваного сигналу в межах 2–4 його періодів і з допомогою відповідного регулювання генератора встановити розмах

синусоїдального сигналу, рівним 4 В. У подальшому при виконанні п. 2 положення регуляторів не змінювати.

2.3. По черзі з'єднуючи досліджувані вольтметри до виходу генератора, записати їхні покази у табл. 2.4.

2.4. Порівняти ці покази. Повинні ці покази відрізнятися для вольтметрів з різними типами перетворювачів або вони повинні бути приблизно однаковими (у межах похибок вольтметрів)?

Зробити відповідний висновок на основі правил градування вольтметрів змінної напруги.

2.5. Подати на вхід осцилографа з виходу допоміжного генератора імпульсний сигнал прямокутної форми позитивної полярності зі змінним коефіцієнтом заповнення (частота проходження цих імпульсів порядку 1 кГц). Переконавшись, що коефіцієнт заповнення цього сигналу відповідає значенням, зазначеним на перемикачі допоміжного генератора. За допомогою відповідного регулювання генератора встановити розмах імпульсного сигналу, рівним 4 В.

2.6. Використовуючи перемикач осцилографа *Відкритий вхід/закритий вхід*, розібратися, що відбувається з імпульсними сигналами позитивної полярності з різними значеннями коефіцієнта заповнення після їхнього проходження через RC-ланка, що забезпечує закритий вхід. Порівняти ці осцилограми з часовими діаграмами, нарисованими за п. 1.5.

2.7. Виміряти трьома досліджуваними вольтметрами (що мають закритий вхід) напругу імпульсного сигналу при коефіцієнті заповнення $K_3=0,25; 0,5; 0,75$ і записати покази у відповідні стовпці табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Результати вимірювань напруги сигналів різної форми

Вольтметр (тип перетворювача)	Показання вольтметрів при вимірюванні напруги сигналу			Розрахунок розмаху імпульсів за результатами вимірювань			Розрахунок розмаху синусоїдального сигналу
	синус.	імпульсного при $K_3 =$		при $K_3 =$			
		0,25	0,5	0,75	0,25	0,5	
В7-15 (ВУ-15) з амплітудним перетворювачем							
В7-27 / А (В7-16) з перетворювачем середньовипрям- леного значення							
С6-11 з перетворювачем середньо- квадратичного значення							

2.8. Побудувати за даними табл. 2.4 графіки залежності показів досліджуваних вольтметрів від значень коефіцієнта заповнення при вимірюванні напруг імпульсних сигналів прямокутної форми. Продовжити (пунктиром) ці залежності в ділянку малих і великих значень коефіцієнта заповнення. Пояснити, використовуючи осцилограми, отримані при виконанні п. 2.6, відмінності в характері цих залежностей для вольтметрів з різними типами перетворювачів.

2.9. За показами вольтметрів розрахувати значення розмаху вимірюваних сигналів і записати отримані результати в табл. 2.4 (чи повинні ці значення відрізнятися?).

3. Визначення методичної похибки, зумовленої впливом вхідного опору вольтметра

Примітка: Відносна методична похибка вимірювання напруги на досить низьких частотах (на яких можна не враховувати впливу вхідної ємності).

$$\delta_{мет} = -\frac{R_{вих}}{R_{вх} + R_{вих}} \quad (2.7)$$

При $R_{вх} \gg R_{вих}$, $\delta_{мет} \gg -R_{вих}/R_{вх}$, де $R_{вих}$ – вихідний опір джерела вимірюваної напруги; $R_{вх}$ – вхідний опір вольтметра.

$R_{вх}$ можна знайти шляхом непрямих вимірювань (див. рис. 2.2) за допомогою допоміжного еталонного резистора з опором R_0 :

$$R_{вх} = \frac{U_2}{U_1 - U_2} R_0 - R_{вих} \quad (2.8)$$

3.1. Використовуючи генератор ГЗ-109, цифровий вольтметр В7-27 і допоміжний резистор R_0 , зібрати схему вимірювання (рис. 3.6).

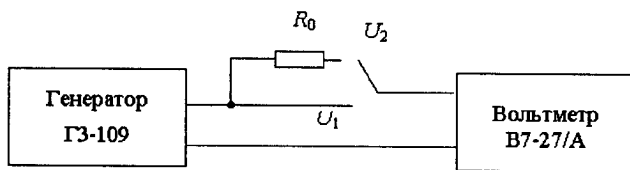


Рисунок 3.6 – Схема вимірювання вхідного опору вольтметра

3.2. Встановити перемикач вихідного опору генератора ГЗ-109 в положення $R_{вих}=600 \text{ Ом}$. Встановити частоту генератора в межах 50–100 Гц. Установити за вольтметром В7-27/А напругу генератора U_1 в межах 5–10 В, виміряти цим же вольтметром В7-27/А напругу U_2 , записати покази в табл. 3.8.

3.3. Обчислити вхідний опір вольтметра і відповідну методичну похибку $d_{мет}$ вимірювання напруги за (2.8) і (2.7). Порівняти отримані оцінки з нормованими значеннями вхідного опору й основною похибкою цифрового вольтметра В7-27.

Таблиця 3.8 – Оцінювання вхідного опору вольтметра і відповідної методичної похибки вимірювання напруги

R_0 , МОм	$R_{вх}$, Ом	U_1 , В	U_2 , В	$R_{вх}$, МОм	$d_{мет}$, %

4. Дослідження впливу параметрів з'єднувальних кабелів і вхідного ланцюга вольтметра на його покази в ділянці високих частот.

Примітка: найважливішою характеристикою вольтметра є частотний діапазон. Однак на результат вимірювання напруги будуть впливати і характеристики ланцюга, що використовується для під'єднання вольтметра до сигналу джерела. Еквівалентна схема ланцюга (рис. 3.7, а), утвореного дротами, що з'єднують електронний вольтметр з джерелом вимірюваної напруги, в ділянці низьких частот (коли впливом індуктивності з'єднувальних дротів можна знехтувати). Схема є інтегральним ланцюжком, утвореним вихідним опором джерела сигналу $R_{вих}$, вхідною ємністю приладу $C_{вх}$ і ємністю з'єднувальних дротів C_n . Систематична похибка вимірювання напруги, що вноситься таким ланцюгом, буде мати негативний знак і буде тим більшим за абсолютною величиною, чим вище частота.

Якщо врахувати розподілену індуктивність з'єднувальних проводів L_n , то схема перетворюється в електричний контур (рис. 3.7 б), резонансна частота якого приблизно може бути оцінена за відомою формулою:

$$f_{рез} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_n(C_n + C_{вх})}}$$

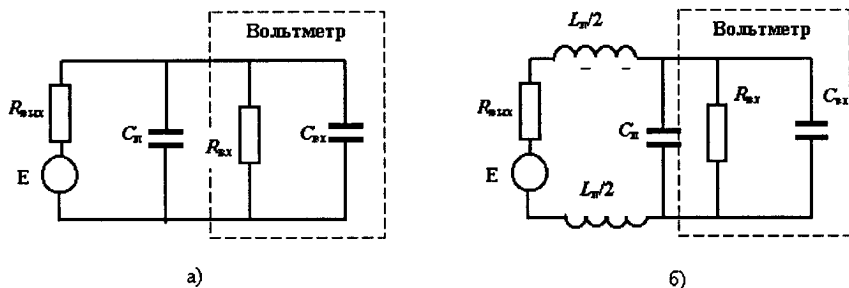


Рисунок 3.7 – Еквівалентна схема ланцюга

Таким чином, на високих частотах, коли частота вимірюваної напруги наближається до резонансної частоти вхідного ланцюга, напруга на вхідних клеммах вольтметра підвищується і стає більше вимірюваної напруги. Відповідна методична похибка вимірювання може стати позитивною і за абсолютною величиною досягти значень близько 150–300 %! Значення відносної похибки, яка виникає внаслідок явища резонансу у вхідному ланцюзі:

$$\delta(f) = \frac{U(f) - U(0,1)}{U(0,1)} \cdot 100\%$$

де $U(f)$ – показання вольтметра при вимірі напруги сигналу з частотою f ; $U(0,1)$ – показання вольтметра при вимірі напруги сигналу з частотою 0,1 МГц, на якій можна не враховувати вплив параметрів з'єднувальних дротів на результати вимірювань.

Для підвищення верхньої межі частотного діапазону вимірюваної напруги з'єднувальні дроти повинні бути якомога коротше. Високочастотні вольтметри, призначені для роботи в діапазоні 1-1000 МГц, будуються за структурною схемою, що починається з перетворювача (converter) (зазвичай пікового детектора), який виконується у вигляді виносного вузла (пробника). За допомогою пробника вольтметр можна приєднати до вимірюваного ланцюга безпосередньо, практично без з'єднувальних дротів. Довжина з'єднувальних дротів буде визначатися при цьому довжиною загального дроту (землі), яку можна вибрати досить малою.

Примітка: зверніть увагу, що при використанні з'єднувальних дротів вимірюваний сигнал все одно потрапляє на пробник, так як у вихідному положенні (пробник знаходиться у гнізді), його вхідний штир з'єднаний із вхідним зажимом на лицьовій панелі вольтметра.

4.1. З'єднати вхід вольтметра В7-15 (з амплітудним детектором) з виходом генератора Г4-158 дротами або з'єднувальним кабелем.

4.2. Визначити резонансну частоту ланцюга, утвореної з'єднувальними дротами, для чого перебудувати генератор за частотою (натиснута кнопка *ГРУБО*), починаючи з частоти 0,1 МГц.

4.3. Шляхом переналаштування частоти генератора в усьому діапазоні його робочих частот і реєстрації показань вольтметра в табл. 2.6., виміряти амплітудно-частотну характеристику ланцюга, утвореної з'єднувальними дротами.

Примітка: при підході до резонансної частоти доцільно зменшувати частотні інтервали між точками спостережень.

4.4. Вийняти пробник з гнізда і під'єднати контактний штир пробника безпосередньо до виходу генератора; корпусу вольтметра і генератора з'єднати між собою коротким відрізком дроту. Повторити вимірювання за п. 3.3, результати записати в табл. 3.9.

Таблиця 3.9 – Результати вимірювання та обчислення похибок, що виникають внаслідок явища резонансу у вхідному ланцюзі вольтметра

Частота, МГц	З'єднання дротами		З'єднання пробником	
	$U_1, В$	d_1	$U_2, В$	d_2
0,1				

4.5. Обчислити похибки вимірювання d_1 і d_2 щодо значення напруги на частоті 0,1 МГц:

$$\delta_1 = \frac{U_1 - U_{0,1}}{U_{0,1}}, \quad \delta_2 = \frac{U_2 - U_{0,1}}{U_{0,1}}$$

де U_1 і U_2 – відповідно показання вольтметра при використанні з'єднувальних дротів і безпосередньо пробника.

4.6. Побудувати графіки залежностей похибок d_1 і d_2 від частоти і визначити частоту вимірюваної напруги, вище якої неприпустимо під'єднати вольтметр до вимірюваного ланцюга з'єднувальними дротами.

Примітка: частота вимірюваної напруги, вище якої неприпустимо під'єднати вольтметр з'єднувальними дротами, визначається як частота, вище якої $d_1 > d_2$.

Звіт повинен містити:

- номер і найменування лабораторної роботи;
- заповнені табл. 2.1–2.6 з їхніми заголовками;
- часові діаграми імпульсного сигналу за п. 1.5;
- графіки за п. 2.8, 4.6;
- висновки з п. 2.4, 2.9, 3.3, 4.6.

3.3 Дослідження універсального осцилографа

Мета роботи: вивчити принцип дії і структурну схему аналогового осцилографа. Ознайомитися з основними метрологічними характеристиками (metrological characteristics) досліджуваного осцилографа. Отримати навички використання осцилографа для дослідження форми електричних сигналів і вимірювання їхніх параметрів.

Досліджуваний прилад:

універсальний електронно-променевий осцилограф типу С1-67.

Допоміжні прилади та пристрої:

- генератор вимірювальних сигналів низькочастотний типу Г3-109.
- генератор вимірювальних сигналів високочастотний типу Г4-158.
- генератор імпульсів типу Г5-63.
- фазообертач – пристрій, що вносить регульований фазовий зсув.

- досліджуваний чотириполюсник.

Лабораторне завдання:

1. Ознайомитися зі структурною схемою та органами управління досліджуваного осцилографа.

2. Визначити АЧХ і ширину смуги пропускання каналу Y досліджуваного осцилографа на рівні мінус 3 дБ.

3. Виконати вимірювання напруги, частоти, інтервалу часу і фазового зсуву за допомогою осцилографа.

4. Визначити похибки виконаних вимірювань і провести їх порівняння, коли параметр вимірювався різними способами.

Підготовка до роботи (домашнє завдання)

- Вивчити теоретичний матеріал, що відноситься до даної роботи, з літератури [1, 2, 5, 6] і конспекту лекцій.

- Опрацювати опис даної роботи та заготовити в робочому зошиті форми таблиць відповідно до вказівок до змісту звіту.

- Ознайомитися з метрологічними характеристиками осцилографа С1-67 [3], заповнити табл. 3.10, вивчити структурну схему приладу, розташування і призначення всіх органів управління.

- Для самоперевірки готовності до виконання роботи сформулювати відповіді на такі питання, які можуть бути задані при допуску до роботи або при її захисті:

1. Призначення електронно-променевого осцилографа;

2. Принцип отримання осцилограми на екрані аналогового осцилографа;

3. Структурна схема аналогового осцилографа;

4. Основні метрологічні характеристики осцилографа;

5. Режими роботи генератора розгортки;

6. Вимоги до сигналу генератора розгортки;

7. Умова нерухомості осцилограми;

8. Синусоїдальна розгортка та її застосування;

9. Навіщо потрібна лінія затримки в каналі Y?

10. Яким чином можна визначити, є чи немає в осцилографі лінії затримки?

Порядок виконання роботи та методичні вказівки:

Ввімкнути живлення досліджуваного осцилографа і допоміжних приладів. За коротким технічним описом осцилографа ознайомитися з розташуванням і призначенням органів керування на передній панелі осцилографа.

Встановити за допомогою регулятора «Стабільність» режим безперервної розгортки, перевірити наявність лінії горизонтальної розгортки на екрані електронно-променевої трубки, регулювання яскравості і фокусування променя, регулювання зміщення променя по горизонталі й вертикалі.

Таблиця 3.10 – Основні метрологічні характеристики осцилографа С1-67

Ширина смуги пропускання каналу Y, МГц	
Діапазон значень коефіцієнта відхилення, В / под.	
Основна похибка вимірювання напруги, %	
Вхідний опір каналу Y, Ом і вхідна ємність, пФ	
Час наростання перехідної характеристики каналу Y, нс	
Діапазон значень коефіцієнта розгортки, с/под	
Основна похибка вимірювання інтервалів часу, %	
Вхідний опір каналу X, Ом і вхідна ємність, пФ	
Вхідний опір каналу Z, Ом і вхідна ємність, пФ	
Вхідна напруга для модуляції яскравості, У	

3.3.1. Визначення амплітудно-частотної характеристики і ширини смуги пропускання каналу вертикального відхилення осцилографа

1.1 Зібрати схему вимірювання згідно з рис. 3.8, встановити режим безперервної розгортки при внутрішньої синхронізації. Перемикач входу осцилографа – в положення «Відкритий вхід».

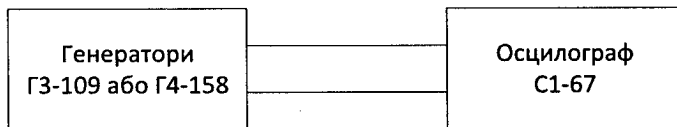


Рисунок 3.8 – Схема вимірювання

1.2 Подати з низькочастотного генератора Г3-109 на вхід Y осцилографа синусоїдальний сигнал напругою 0,5 В (середньоквадратичне значення) і частотою 50 кГц (опорна частота); встановити за допомогою перемикача вхідного атенюатора і регулювання підсилення в каналі Y розмах Н сигналу по вертикалі близько 2/3 висоти екрана і записати значення H_0 у поділках шкали екрана.

Примітка. Зверніть увагу, що кількість значущих цифр у цьому значенні буде визначатися похибкою відліку відрізків за шкалою екрана осцилографа. Оцініть цю похибку.

1.3 Встановлюючи частоту вимірювального сигналу, що дорівнює 50, 100, 1000 Гц і 50, 100, 200 кГц, записати в табл. 3.2 значення розмаху Н відповідних осцилограм з урахуванням оціненої похибки відліку відрізків.

Примітка. Положення регуляторів коефіцієнта відхилення і підсилення в каналі Y в процесі експерименту не змінювати. У цьому випадку отримана залежність розмаху сигналу на шкалі осцилографа від

частоти буде відповідати амплітудно-частотній характеристиці (АЧХ) каналу У.

Для зручності відліку розмаху сигналу за шкалою екрана можна перемкнути горизонтальний канал в режим зовнішньої розгортки. На екрані при цьому залишиться тільки вертикальна лінія.

1.4 Від'єднати генератор Г3-109 і під'єднати до входу У високочастотний генератор Г4-158; встановити частоту сигналу 200 кГц і відрегулювати вихідну напругу генератора так, щоб розмах сигналу Н прийняв значення, отримане на частоті 200 кГц в п. 1.3.

1.5 Продовжити вимірювання на частотах 0,5, 1,0; 5,0; 10,0; 12,0 і 14,0 МГц; результати записати в табл. 3.11.

Таблиця 3.11 – Результати вимірювання

f, Гц	50	100	10 ³	5*10 ⁴	10 ⁵	2*10 ⁵	5*10 ⁵	10 ⁶	5*10 ⁶	10*10 ⁶	14*10 ⁶
H, под.											
20lg(H/H ₀)											

1.6 Побудувати графік АЧХ (в дБ) за даними з другого рядка табл. 3.2; оцінити зміну модуля коефіцієнта передачі каналу У осцилографа на частоті 10 МГц (нормована ширина смуги каналу У осцилографа С1-67) за відношенням до його значення на опорній частоті 50 кГц (в дБ).

1.7 Визначити граничне значення частоти f_B смуги пропускання каналу У досліджуваного примірника осцилографа, зробити висновок про відповідність ширини його смуги нормованому значенню цього параметра для осцилографа С1-67.

1.8 Визначити робочий діапазон частот осцилографа.

Примітка. Однією з причин викривлення форми сигналу, на осцилограмі є лінійні спотворення, що вносяться каналом вертикального відхилення. Ці спотворення обумовлені неідеальністю АЧХ каналу У. Нормованими параметрами АЧХ осцилографа є ширина смуги пропускання – діапазон частот в межах якого спад АЧХ не перевищує 3 дБ щодо значення на опорній частоті, і нерівномірність у смузі пропускання – максимальне відхилення модуля різниці між коефіцієнтом передачі (в дБ) від його значення на опорній частоті в смузі пропускання каналу У.

АЧХ підсилювача каналу вертикального відхилення можна спрощено апроксимувати виразом:

$$H(f) = \exp\left(-0,35 \frac{f^2}{f_{0,7}^2}\right), \quad (3.1)$$

межа смуги пропускання каналу, на якій значення модуля коефіцієнта передачі складає 0,707 від значення на опорній частоті, тобто менше на 3 дБ.

При цьому імпульсна характеристика каналу Y (реакція чотириполосника на сигнал у вигляді дельта-функції) буде визначатися виразом:

$$g(t) = \frac{f_{0,7}}{\sqrt{1, \pi}} \exp\left(-\frac{t^2 f_{0,7}^2}{1,4}\right). \quad (3.2)$$

При дослідженні імпульсних сигналів корисно мати інформацію про перехідну характеристику (ПХ) каналу вертикального відхилення (vertical deflection) (реакції каналу на стрибок напруги з фронтом нескінченно малої тривалості). З теорії кіл відомо, що ПХ визначається виразом:

$$h(t) = \int_{-\infty}^t g(x) dx.$$

Нормованим параметром ПХ каналу Y є час наростання перехідної характеристики $t_{\text{пх}}$.

Для чотириполосника, частотна характеристика якого описується (3.1), параметр $t_{\text{фр}}$ пов'язаний з шириною смуги пропускання $f_{0,7}$ таким чином:

$$\tau_{\text{пх}} = \frac{0,35}{f_{0,7}}. \quad (3.3)$$

Знання $t_{\text{пх}}$ дозволяє скорегувати результати вимірювання тривалості фронтів досліджуваних сигналів – вилучити систематичну похибку, яка обумовлена впливом кінцевої ширини смуги пропускання (кінцевим значенням часу наростання перехідної характеристики) каналу Y .

3.3.2. Вимірювання параметрів електричних сигналів за допомогою осцилографа

2.1. Вимірювання параметрів прямокутного імпульсу з допомогою каліброваних значень коефіцієнтів відхилення $K_{\text{отк}}$ та розгортки K_x .

2.1.1. Вивчити за рис. 3.9 визначення вимірюваних параметрів прямокутного імпульсу. Помістити цей рисунок до звіту.

2.1.2. Встановити на генераторі імпульсів Г5-63 сигнал позитивної полярності тривалістю 1 мкс, частотою проходження 10 або 100 кГц. Приєднати генератор до входу каналу Y (вхідний перемикач в положенні «Відкритий вхід»). Встановити генератор розгортки осцилографа в режим очікування (регулятором «Стабільність»), а перемикач «Вид синхронізації» – в положення «Внутрішня синхронізація».

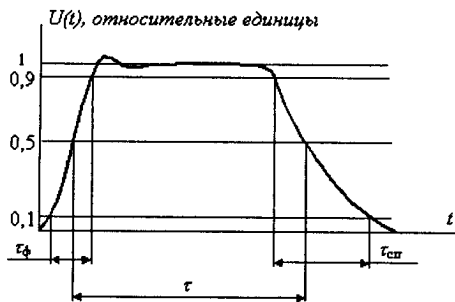


Рисунок 3.9 – До визначення параметрів прямокутного імпульсу

2.1.3. Зафіксувати регулятори «Підсилення» і «Тривалість» у крайньому правому положенні (до клацання – механічної фіксації). Звернути увагу, що тільки при фіксованих положеннях цих регуляторів можна проводити вимірювання розмаху і тривалості сигналів. Використовуючи перемикач вхідного атеноатора «Вольт/под» домогтися розмаху досліджуваного імпульсу в межах 2/3 висоти екрана. Використовуючи перемикач тривалості розгортки «Час/под» досягти положення, щоб досліджуваний імпульс за тривалістю займав приблизно половину ширини екрана. Для одержання стійкої осцилограми імпульсу використовувати регулювання «Стабільність» і «Рівень». Записати встановлені значення коефіцієнтів відхилення $K_{отк}$ (В/под) та розгортки K_x (мкс/под).

2.1.4. Відрахувати значення розмаху H і тривалості l імпульсу у поділках шкали (значення l відрахувати на рівні 0,5 H); обчислити за встановленими значеннями коефіцієнта відхилення $K_{отк}$ (В/под) і коефіцієнта розгортки K_x (мкс/под), значення розмаху і тривалості вимірюваного імпульсу за формулами:

$$U(B) = K_{отк(В/под)} \cdot H(под), t(мкс) = K_{x(мкс/под)} \cdot l(под)$$

2.1.5. Змінюючи значення K_x , домогтися, щоб фронт імпульсу займав приблизно половину ширини екрана. Визначити тривалість фронту $t_{\phiи}$ імпульсу по осцилограмі у поділках шкали l_{ϕ} (справ) і в одиницях часу:

$$t_{\phiи} = K_x \cdot l_{\phi}$$

Примітка. У більшості осцилографів передбачена можливість зміни швидкості розгортки не тільки з використанням регулювання K_x , але і шляхом включення тумблера «Множник розгортки» в положення 0,2. При цьому розмах напруги пилкоподібної розгортки збільшується, а коефіцієнт розгортки K_x , зменшується в 5 разів. Використання швидкої розгортки

дозволяє збільшити масштаб зображення і зменшити похибку вимірювання малих інтервалів часу.

2.1.6. Перемкнути підсилювач синхронізації осцилографа в режим запуску негативними перепадами сигналу, відрегулювати поріг запуску з використанням регулювання «Рівень», отримати на екрані осцилограму заднього фронту імпульсу і виміряти тривалість спаду у поділках l_{cn} і в одиницях часу $t_{cни} = K_x \cdot l_{cn}$.

Виключити систематичну похибку вимірювання тривалості фронтів, обумовлену кінцевим часом наростання перехідної характеристики каналу Y .

Примітка. Тривалості фронту і спаду визначаються як інтервали часу, протягом яких відбувається відхилення променя від рівня 0,1 до рівня 0,9 амплітуди імпульсу та від 0,9 до 0,1 відповідно. Виміряні значення тривалостей фронту t_{ϕ} і t_{cn} включають в себе і час наростання перехідної характеристики t_{nx} каналу Y . Вплив цього фактора слід виключити шляхом введення відповідної поправки з використанням формул:

$$\tau_{cn} = \sqrt{\tau_{\phiи}^2 - \tau_{nx}^2}, \quad \tau_{cн} = \sqrt{\tau_{cни}^2 - \tau_{nx}^2}. \quad (3.4)$$

2.2. Вимірювання напруги синусоїдального сигналу.

2.2.1. Виміряти середньоквадратичне значення напруги синусоїдального сигналу генератора низької частоти методом порівняння з напругою сигналу калібратора осцилографа.

Подати на вхід Y осцилографа синусоїдальний сигнал довільно вибраної частоти з генератора ГЗ-109; встановити регулюванням перемикача вхідного атенюатора Вольт /под і ручкою «Підсилення» розмах осцилограми по вертикалі $H_{cни}$ близько половини висоти екрана, записати встановлене значення коефіцієнта відхилення $K_{отк. cни}$, В/под, розмах осцилограми сигналу на екрані $H_{cни}$, под.

Розмах сигналу:

$$U_{розм} = H_{cни} \cdot K_{отк. cни} \cdot K_{пд}$$

$K_{пд}$ – коефіцієнт підсилення підсилювача каналу Y , значення якого невідомо.

Параметр $K_{пд}$ знаходиться таким чином. Від'єднати генератор ГЗ-109 і на звільнений вхід Y подати сигнал з виходу калібратора осцилографа. Не чіпаючи регулятор «Підсилення», перемикачем вхідного атенюатора «Коефіцієнт відхилення» встановити розмах осцилограми по вертикалі $H_{кал}$, под. Тоді $U_{кал} = H_{кал} \cdot K_{отк. cни} \cdot K_{ус}$, (В).

Оскільки значення розмаху сигналу калібратора відомо досить точно (в описі осцилографа зазначено, що $U_{\text{кал}}=(0,60\pm 0,01)\text{В}$), можна унеможливити невідоме значення $K_{\text{ус}}$ з виразу (3.5) і визначити значення вимірюваного розмаху синусоїдального сигналу через параметри сигналу калібратора.

Середньоквадратичне значення напруги синусоїдального сигналу в $2\sqrt{2}$ менше його розмаху:

$$U_{\text{сигн}} = \frac{1}{2\sqrt{2}} \cdot H_{\text{сигн}} \cdot K_{\text{отк.сигн}} \frac{U_{\text{кал}}}{H_{\text{сигн}} \cdot K_{\text{отк.сигн}}} \quad (3.6)$$

Примітка. Слід звернути увагу, що похибка відношення значень коефіцієнта відхилення при різних положеннях перемикача вхідного атенюатора каналу Y помітно менше, ніж похибка абсолютних значень $K_{\text{отк}}$, яка обумовлена, в основному, зміною коефіцієнта підсилення каналу $K_{\text{ус}}$. Тому вимірювання напруги методом порівняння (з використанням калібратора) точніше, ніж вимірювання методом безпосередньої оцінки (п. 2.1) з використанням значення коефіцієнта відхилення $K_{\text{отк}}$.

2.3. Вимірювання частоти синусоїдального сигналу.

2.3.1. Виміряти частоту синусоїдального сигналу в режимі лінійної розгортки шляхом вимірювання періоду при відомому значенні коефіцієнта розгортки K_x . Встановити в генераторі Г4-158 режим внутрішньої амплітудної модуляції. Подати сигнал невідомої частоти з гнізда «Зовнішня модуляція» генератора Г4-158 на вхід Y осцилографа; встановити перемикач розгортки «Час/под» у таке становище, при якому на екрані видно 5–8 періодів сигналу.

Виміряти відрізок l , под., в якому укладається ціле число n періодів сигналу, і обчислити його частоту $f_c = \frac{n}{l \cdot K_x}$. Оцінити похибку таких вимірювань і записати отриманий результат вимірювання частоти з урахуванням цієї похибки.

2.3.2. Виміряти частоту того ж сигналу f_c методом порівняння з частотою еталонного сигналу $f_{\text{ет}}$ з виходу генератора низької частоти Г3-109 способом синусоїдальної розгортки.

Подати на вхід Y осцилографа сигнал вимірюваної частоти f_c , а на вхід X – сигнал еталонної частоти $f_{\text{ет}}$. Встановити в каналі X режим зовнішньої (у даному випадку – синусоїдальної) розгортки.

Примітка. Звернути увагу, що в такому режимі генератор розгортки осцилографа від'єднаний від пластин, що відхиляють X електронно-променевої трубки.

Змінювати еталонну частоту $f_{зм}$ до тих пір, поки осцилограма не прийме вигляд повільно обертального еліпса; домогтися його зупинки. При нерухомій осцилограмі можна вважати, що $f_c = f_{зм}$. Зарисувати отриману фігуру і записати значення f_c .

Повторити вимірювання при подачі на вхід X сигналу з частотою $f_{зм}$ в ціле число разів (2, 3, 4) вище і нижче вимірюваної; домогтися нерухомості осцилограми, зарисувати цю осцилограму (фігуру Лісажу) і визначити кратність частот. Оцінити похибку вимірювання частоти таким методом порівняння і записати результат з оцінкою похибки.

Примітка. Похибка вимірювання частоти способом синусоїдальної розгортки (по фігурам Лісажу) практично не залежить від характеристик осцилографа і визначається двома факторами:

- похибкою еталонної частоти, тобто похибкою установки частоти генератора ГЗ-109;
- швидкістю зміни отриманої фігури Лісажу (Lissajous figures). Якщо вдається домогтися, щоб період зміни фігури був більше 1 с, то похибка порівняння частот не буде перевищувати 1 Гц.

2.3.3. Виміряти частоту того ж сигналу методом порівняння з сигналом зразкової частоти при круговій розгортці (рис. 3.10).

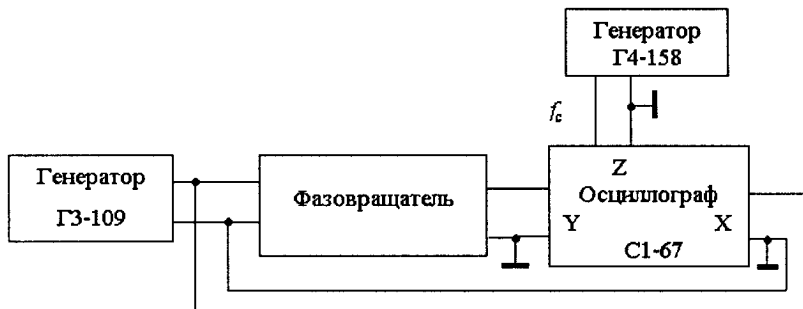


Рисунок 3.10 – Схема вимірювання частоти способом кругової розгортки

Подати з виходу генератора ГЗ-109 сигнал еталонної частоти $f_{зм} = 1$ кГц на вхід фазообертача і вхід X осцилографа; з'єднати вихід фазообертача зі входом Y осцилографа. Переконавшись, що в осцилографі встановлений режим зовнішньої розгортки. Регулюючи напругу на виході генератора, коефіцієнти підсилення каналів X і Y та фазовий зсув в фазообертачів, отримати на екрані осцилограму у вигляді кола.

Примітка. Коефіцієнт підсилення каналу X можна збільшити в 5 разів, переключивши тумблер «Множник розгортки» в положення 0,2.

Подати сигнал вимірюваної частоти f_c на вхід Z осцилографа; підлаштувати еталонну частоту до отримання на окружності декількох нерухомих яскравості міток.

Обчислити вимірювану частоту за формулою $f_c = n \cdot f_{об}$,

де n – число міток. Повторити вимірювання частоти при декількох значеннях $n=2, 3, 4$. Зарисувати отримані при цих вимірах осцилограми. Оцінити похибку таких вимірювань частоти і записати результат з оцінкою похибки.

Примітка. Лінія розгортки у вигляді кола виходить на екрані осцилографа внаслідок швидкого обертання променя на екрані. Частота обертання променя дорівнює еталонній частоті. Сигнал вимірюваної частоти, поданий в канал Z, модулює яскравість осцилограми. Позитивний і негативний напівперіоди сигналу викликають, відповідно, збільшення і зменшення яскравості. Якщо вимірювана частота дорівнює еталонній, то половина окружності буде світлою, а половина темною. При кратності частот $n = f_c / f_{об}$ (n – ціле число) на колі з'являються нерухомі яскравісні мітки, число яких дорівнює n . У разі некратний або нестабільності частот мітки будуть перемішуватися по осцилограмі (обертатися).

2.4. Вимірювання різниці фаз синусоїдальних сигналів (фазового зсуву, що вноситься чотириполюсником) способом синусоїдальної розгортки.

2.4.1. Замінити фазообертач (див. рис. 3.3) на досліджуваний чотириполюсник. Скасувати сигнал від входу Z. Встановити частоту сигналу генератора ГЗ-109 в діапазоні 1–2 кГц, що знаходиться в межах смуги пропускання даного чотириполюсника.

2.4.2. Регулюючи напругу на виході генератора, коефіцієнти підсилення каналів X і Y отримати на екрані осцилограму у вигляді еліпса, розміри якого знаходяться в межах 2/3 розмірів екрана, а осі орієнтовані по діагоналях екрана (рис. 3.11).

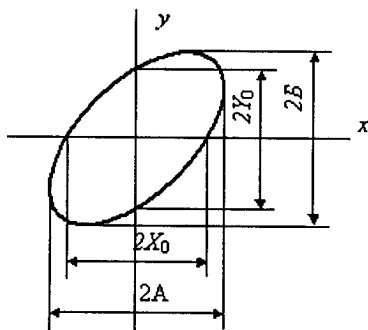


Рисунок 3.11 – Осцилограма у вигляді еліпса

2.4.3. Виміряти довжину відрізків $2A$, $2X_0$, і $2B$, $2Y_0$ у поділках шкали осцилографа. Обчислити значення фазового зсуву, що вноситься чотиріполюсником:

$$\varphi = \arcsin \frac{2Y_0}{2B}; \quad \varphi = \arcsin \frac{2X_0}{2A}; \quad (3.7)$$

2.4.4. Порівняти отримані значення. Вони можуть відрізнятися внаслідок похибки вимірювання зазначених відрізків. Оцінити цю похибку і похибку вимірювання фазового зсуву. Записати результат вимірювання φ разом з оцінкою похибки, використовуючи правила подання результатів вимірювань.

Примітка. Перед проведенням вимірювань необхідно переконатися, що різниця фазових зсувів, що вносяться каналами X і Y осцилографа, досить мала. Для цього треба подати на обидва входи осцилографа один і той самий сигнал. Що за осцилограма при цьому вийде на екрані? Яким чином з цієї осцилограми можна оцінити різницю фазових зсувів каналів? Як врахувати вплив цієї інструментальної похибки на результати вимірювання фазового зсуву?

Звіт повинен містити:

- 1) номер та найменування лабораторної роботи;
- 2) мету роботи;
- 3) заповнені табл. 3.1 і 3.2 з їх заголовками;
- 4) графік АЧХ каналу Y з зазначенням смуги пропускання на рівні мінус 3 дБ;
- 5) схеми вимірювань з відповідними підписами;
- 6) рис. 3.2 і результати вимірювань всіх параметрів прямокутного імпульсу за п. 2.1;
- 7) результати вимірювань всіх параметрів синусоїдального сигналу з оцінками похибок і осцилограми, отримані при виконанні пп. 2.2–2.4.

3.4 Дослідження цифрового частотоміра

Мета роботи: вивчити метрологічні характеристики, принципи роботи, структурну схему, джерела похибок електронно-рахункового частотоміра, способи нормування сумарної похибки. Навчитися оцінювати абсолютні та відносні похибки результатів вимірювання частоти та періоду, обумовлені похибками частотоміра. Отримати практичні навички роботи з частотоміром.

Використовувані прилади:

- Основний: електронно-лічильний частотомір (ЕЛЧ) ЧЗ-33;
- Допоміжний: генератор вимірювальних сигналів низькочастотний ГЗ-109.

Лабораторне завдання:

1. Ознайомитися з метрологічними характеристиками досліджуваного електронно-лічильного частотоміра;

2. Розрахувати в процесі підготовки до роботи межі очікуваної абсолютної похибки вимірювання заданого значення частоти;

3. Перевірити роботу частотоміра в режимі самоконтролю;

4. Дослідити залежність показів і похибки частотоміра від часу вимірювання в режимі вимірювання частоти;

5. Дослідити залежність показів і похибки частотоміра від частоти досліджуваного сигналу в режимі вимірювання періоду;

6. Дослідити можливість зменшення похибки частотоміра при використанні режиму множення періоду.

Підготовка до роботи (домашнє завдання):

• Вивчити з літератури [1, 2, 5, 6] і конспекту лекцій теоретичний матеріал, що стосується даної роботи.

• Вивчити опис даної роботи та заготовити в робочому зошиті форми всіх таблиць відповідно до вказівок до змісту звіту.

• Оцінити розрахунковим шляхом відповідно до вимог п. 3.1 межі очікуваної абсолютної сумарної похибки цифрового частотоміра при вимірюванні одного із значень частоти в діапазоні частот 100–200 кГц. Значення частоти прийняти рівним $f_x = 1XX$ кГц, де XX останні дві цифри номера студентського квитка (залікової книжки). Результати розрахунку меж сумарної похибки та її складових записати в табл. 3.12.

• Для самоперевірки готовності до виконання роботи сформулювати відповіді на такі питання, які можуть бути задані при допуску до роботи і при її захисті:

1. Нарисувати структурні схеми ЕЛЧ в режимі вимірювання частоти і в режимі вимірювання періоду, тимчасові діаграми сигналів на вході частотоміра, першому і другому входах тимчасового селектора і на його виході;

2. Нарисувати структурну схему ЕЛЧ в режимі самоконтролю. Що можна перевірити в такому режимі?

3. Написати формули, за якими оцінюють межі абсолютних і відносних похибок вимірювання частоти та періоду з використанням ЕЛЧ. Назвати складові сумарної похибки і пояснити їх походження;

4. З яких міркувань слід вибирати режим роботи цифрового частотоміра – вимірювання частоти або вимірювання періоду?

5. Яким чином у частотомірі формується імпульс, що визначає час вимірювання в режимі вимірювання частоти?

6. Поясніть відмінність між поняттями «час вимірювання» і «час індикації».

7. З яких міркувань слід вибрати час вимірювання в режимі вимірювання частоти?
8. Яким чином у частотомірі формуються мітки часу?
9. З яких міркувань слід вибрати період (частоту) міток часу в режимі вимірювання періоду?
10. Навіщо в частотомірі забезпечена можливість вибору періоду міток часу? Чому не можна залишити тільки одне значення періоду міток – найменше?
11. Як оцінити швидкодію частотоміра в різних режимах його роботи?
12. Яким чином за допомогою частотоміра можна виміряти відношення частот двох сигналів?

Порядок виконання роботи та методичні вказівки:

3.4.1. Ознайомлення з метрологічними характеристиками досліджуваного електронно-рахункового частотоміра.

3.4.1.1. Ввімкнути живлення досліджуваного частотоміра і допоміжного генератора вимірювальних сигналів для їх прогрівання.

3.4.1.2. Читати короткий технічний опис та інструкцію по роботі з досліджуваним частотоміром ЧЗ-33 [3]. Ознайомитися з органами управління частотоміра і допоміжного генератора.

3.4.1.3. Заповнити табл. 3.12.

Таблиця 3.12 – Основні метрологічні характеристики частотоміра ЧЗ-33

Характеристики	Нормовані значення
Режими вимірювання:	
Діапазон вимірюваних частот в режимі вимірювання частоти, Гц	
Межі встановлення часу вимірювання Dt_0 , з	
Межі установки періоду міток часу T_0 , мкс	
Основна відносна похибка частоти внутрішнього опорного генератора, d_0	
Основна відносна похибка вимірювання частоти d_f	
Основна відносна похибка вимірювання періоду синусоїдального сигналу, d_T	

3.4.2. Перевірка роботи цифрового частотоміра в режимі самоконтролю

Ввімкнути режим самоконтролю; перемикач «Час вимірювання» встановити на зазначені в табл. 3.12 значення часу вимірювання $D t_0$ на

кожній перевірній частоті і записати показання цифрового індикатора у відповідні рядки табл. 3.13.

Проаналізувати отримані дані, зробити висновок за результатами перевірки.

Таблиця 3.13 – Результати перевірки роботи частотоміра в режимі самоконтролю

Частота (період) міток часу, кГц (с)	Покази частотоміра, кГц при $D t_0$, с		
	0,01	0,1	1,0
$100(10^{-5})$			
$1000(10^{-6})$			
$10000(10^{-7})$			

Значення. Під час запису показань слід фіксувати всі значущі цифри результату вимірювання, охоплюючи нулі.

3.4.3. Дослідження залежності показань і похибки частотоміра від часу вимірювання в режимі вимірювання частоти

3.4.3.1. Взяти за основу формулу, за допомогою якої нормується основна відносна похибка частотоміра в режимі вимірювання частоти і розрахувати (при домашній підготовці до роботи) складові абсолютної похибки цифрового частотоміра:

- похибку, яка обумовлена похибкою установки частоти опорного (кварцового) генератора (quartz oscillator):

$$D_0 = \pm d_0 f_x$$

- похибку квантування (дискретності):

$$\Delta_{\text{кв}} = \pm \frac{1}{\Delta t_0}$$

- сумарну абсолютну похибку частотоміра:

$$D_{\text{в}} = \pm (D_0 + D_{\text{кв}})$$

Розрахунок виконати для чотирьох значень часу вимірювання $D t_0$, зазначених у табл. 3.13, і вибраного за вимогами розділу «Підготовка до роботи» значення вимірюваної частоти f_x в діапазоні 100–200 кГц.

Значення основної відносної похибки d_0 опорного генератора з кварцовою стабілізацією взяти з метрологічних характеристик частотоміра ЧЗ-33. Розрахункові значення похибок слід округлити до двох значущих цифр. Результати розрахунку записати в стовпці «Розрахунок» табл. 3.14.

Таблиця 3.14 – Результати дослідження залежності показань і похибки частотомірів в режимі вимірювання частоти від часу вимірювання

Час вимірювання $D t_0, c$	Розрахунок			Експеримент	
	D_0, Γ ц	$D_{кв}, \Gamma$ ц	$D_{f_0}, \kappa\Gamma$ ц	$f_x, \kappa\Gamma$ ц	$D_{f_{екс}}, \kappa\Gamma$ ц
10					
1,0					
10^{-1}					

3.4.3.2. Встановити частотомір в режим вимірювання частоти. Подати на вхід А частотоміра синусоїдальний сигнал від генератора вимірювальних сигналів, на шкалі якого встановити значення частоти, обраної при попередньому розрахунку за п. 3.1. Виміряти частоту сигналу при різних положеннях перемикача «Час вимірювання», відповідають вказаним в табл. 4.3 значенням $D t_0$. Результати вимірювання занести в стовпчик «Експеримент» табл. 3.14.

Примітка. Експеримент слід проводити досить швидко, щоб частота сигналу генератора ГЗ-109 не змінилася в процесі вимірювання істотним чином. Зверніть увагу на зміну кількості значущих цифр у показках частотоміра при перемиканні часу вимірювання.

3.4.3.3. За даними розрахунку та експерименту (табл. 4.3) вибрати показання частотоміра, відповідне мінімальній похибки D_{f_0} (найбільшій точності) вимірювання частоти. Це показання прийняти за дійсне значення результату вимірювання $f_{действ}$.

Оцінити абсолютну похибку вимірювання частоти:

$$D_{f_{експ}} = f_x - f_{действ}$$

при інших значеннях часу вимірювання.

Отримані оцінки $D_{f_{експ}}$ записати в табл. 3.14 і порівняти з розрахунковими значеннями D_{f_0} . Зробити висновок про характер зміни показань і похибки частотоміра зі збільшенням часу вимірювання.

3.4.4. Дослідження залежності показань і похибок частотоміра від частоти досліджуваного сигналу в режимі вимірювання періоду

3.4.4.1. Встановити частотомір в режим вимірювання періоду. Вибрати та встановити на частотомірі значення періоду міток часу T_0 , що забезпечує мінімальну похибку вимірювання періоду. Вибране значення T_0 записати в табл. 3.15.

Таблиця 3.15 – Результати дослідження залежності показань і похибки частотоміра від частоти вимірюваного сигналу в режимі вимірювання періоду

Встановлено на шкалі генератора		Режим вимірювання періоду, $T_0 = \text{мкс}$							
		експеримент				розрахунок			
f, Гц	T, мс	$T_{x \text{ макс мс}}$	$T_{x \text{ мин мс}}$	$T_{x \text{ мс}}$	$D_{\text{зап мс}}$	$D_{\text{кв мс}}$	$D_{0 \text{ мс}}$	$D_{\text{TS мс}}$	d_{TS}
10^5	0,01								
10^4	0,1								
10^3	1,0								
10^2	10								

Примітка. При нормуванні сумарної відносної похибки електронно-лічильних частотомірів в режимі вимірювання періоду T_x синусоїдального сигналу враховують три складові:

$$d_{\text{TS}} = \pm(d_0 + d_{\text{кв}} + d_{\text{зап}}),$$

де d_0 – відносна похибка частоти опорного генератора; $d_{\text{кв}}$ – відносна похибка квантування (дискретності); $d_{\text{зап}}$ – відносна похибка рівня запуску.

Відносна похибка квантування при вимірюванні періоду визначається за формулою: $\delta_{\text{кв}} = \pm \frac{T_0}{T_x}$

де T_0 – період позначок часу. Значення T_0 встановлюють на частотомірі за допомогою відповідного перемикача. При виконанні цього пункту доцільно вибрати мінімальне значення T_0 , щоб реалізувати максимальну точність.

4.4.4.2. Встановити на генераторі і подати на вхід Б частотоміра синусоїдальний сигнал, частота і період якого вказані в першому рядку табл. 3.15. Звернути увагу на те, що свідчення частотоміра від одного виміру до іншого будуть декілька розрізнятися.

Примітка. Зміна показів на одну одиницю молодшого розряду є наслідком похибки квантування. Зміна показів в межах декількох одиниць останнього розряду є наслідком похибки рівня запуску

$D_{\text{зап}}$, яка обумовлена наявністю шумів у вимірюваному сигналі і нестабільністю порога спрацьовування формуючого пристрою частотоміра. Якщо припустити, що частота та, відповідно, період вимірюваного сигналу постійні, то результатом вимірювання періоду при наявності похибки рівня запуску можна вважати значення:

$$T_x = \frac{T_{x, \text{макс}} + T_{x, \text{мін}}}{2}$$

а оцінкою абсолютної похибки рівня запуску значення:

$$\Delta_x = \frac{T_{x, \text{макс}} - T_{x, \text{мін}}}{2}$$

де $T_{x, \text{макс}}$, $T_{x, \text{мін}}$ – відповідно максимальне і мінімальне показання частотоміра в ряду з кількох спостережень.

4.4.4.3. Записати вимірне значення періоду T_x в табл. 4.4. Оцінити межі абсолютної похибки рівня запуску $D_{\text{зап}}$ і записати в ту ж таблицю. Повторити вимірювання періоду та обчислення похибки рівня запуску для інших частот сигналу, зазначених у першому стовпчику табл. 3.15.

Примітка. Слід звернути увагу на збільшення кількості значущих цифр у свідченнях частотоміра зі зменшенням частоти (збільшенням вимірюваного періоду).

4.4.4.4. Залишити останнє налаштування генератора на частоту 100 Гц. Переключити частотомір в режим вимірювання частоти; вибрати на свій розсуд час вимірювання $D t_0$, встановити його значення на частотоміри і записати в табл. 3.16. Виміряти частоту сигналу f_x і записати результат у ту ж таблицю.

Зробити висновок про доцільність вибору того чи іншого режиму роботи частотоміра при вимірюванні сигналів низької частоти.

Таблиця 3.16 – Результати вимірювань

Встановлено на шкалі генератора	Режим вимірювання частоти $D t_0 = c$		
	Результат вимірювання та оцінки похибки		
f , Гц	f_x , Гц	d_{f_x} , Гц	d_{f_x}
100			

Примітка. Час вимірювання $D t_0$ в режимі вимірювання частоти вибирають виходячи із суперечливих вимог – мінімізації похибки вимірювання та забезпечення потрібної швидкодії. Зі збільшенням $D t_0$ зменшується похибка квантування (quantization error) (дискретності), але

може зрости методична похибка, пов'язана з можливою зміною частоти вимірюваного сигналу в процесі експерименту.

4.4.4.5. Розрахувати значення складових абсолютної похибки частотоміра $D_{\text{кв}}$ і D_0 в режимі вимірювання періоду, сумарні абсолютну $D_{\text{ТС}}$ і відносну $d_{\text{ТС}}$ похибки. Записати ці значення у відповідні стовпці табл. 3.16. Зробити висновок про характер зміни похибки рівня запуску та сумарної похибки вимірювання періоду із зменшенням частоти (збільшенням періоду) вимірюваного сигналу.

Примітка. Абсолютна похибка квантування (дискретності) в режимі вимірювання періоду визначається обраним значенням періоду міток часу T_0 і розраховується за формулою:

$$D_{\text{кв}} = \pm T_0.$$

Складова абсолютної похибки, обумовлена похибкою внутрішнього кварцового генератора:

$$D_0 = \pm d_0 T_x.$$

Значення абсолютної похибки рівня запуску $D_{\text{зап}}$ взяти з табл. 3.16. Сумарна абсолютна похибка частотоміра в режимі вимірювання періоду:

$$D_{\text{ТС}} = \pm (D_0 + D_{\text{кв}} + D_{\text{зап}}).$$

4.4.4.6. Розрахувати значення абсолютної D_{fs} і відносної d_{fs} похибок вимірювання частоти 100 Гц за результатами експерименту і записати в табл. 4.5. Зіставити чисельні значення відносних сумарних похибок частотоміра в різних режимах.

Зробити висновок про доцільність використання того чи іншого режиму роботи частотоміра при вимірюванні частотно-часових параметрів сигналів у широкому діапазоні частот.

Примітка. Частота періодичного сигналу і його період пов'язані між собою обернено пропорційною залежністю, тому кожна з цих величин можна визначити як шляхом прямих вимірювань, так і непрямих – за результатом вимірювання іншої величини. Вибір того чи іншого виду вимірювань і, відповідно, режиму роботи частотоміра проводять шляхом оцінювання та порівняння очікуваних відносних похибок приладу в різних режимах його роботи.

3.4.5. Дослідження можливості зменшення похибки частотоміра в режимі множення періоду

Примітка. У більшості електронно-лічильних частотомірів передбачена можливість вимірювання не одного, а декількох (n) періодів сигналу. Такий режим роботи називають режимом «множення» періоду.

Для його реалізації частоту вхідного сигналу за допомогою подільників частоти (frequency divider) зменшують у n раз ($n=1; 10; 100$ і т. д.). З перетвореного сигналу формують імпульс тривалістю $n T_x$, який і відкриває часовий селектор. Якщо показання лічильника розділити на n , то приблизно в стільки ж разів можна зменшити вплив похибок квантування (дискретності) та рівня запуску на результат вимірювання періоду T_x . Платою за таке зменшення є збільшення часу, що витрачається на один вимір, і, відповідно, зменшення швидкодії.

3.4.5.1. Виміряти період T_x синусоїдального сигналу при різних значеннях множника періоду n , які допускає пристрій даного частотоміра. Встановити перемикач «Мітки часу» в положення, відповідне максимальній точності вимірювання періоду. Подати з виходу генератора на вхід Б частотоміра сигнал, частота якого обрано з значень 20–40 Гц. Записати результати вимірювання періоду при значеннях n , які допускає конструкція використовуваного частотоміра, у відповідні графи табл. 3.17.

3.4.5.2. Записати в табл. 3.17 значення, які міг би показати частотомір при інших (більших) значеннях коефіцієнта n .

3.4.5.3. Розрахувати і записати в табл. 3.17 значення складових абсолютної похибки частотоміра в розглянутому режимі:

- похибки опорного генератора:

$$D_0 = \pm d_0 T_x;$$

- похибки квантування (дискретності):

$$\Delta_{\text{кв}} = \pm \frac{T_x}{n};$$

- похибки рівня запуску:

$$\Delta_{\text{зп}} = \pm \frac{T_{x,\text{макс}} + T_{x,\text{мін}}}{2};$$

Розрахувати, скільки разів змінилося значення похибки рівня запуску при зміні n :

$$\frac{\Delta_{\text{зп}}(n=10)}{\Delta_{\text{зп}}(n=1)}.$$

Зробити висновок про зміну внеску окремих складових похибки у сумарну похибку частотоміра із збільшенням множника періоду n . Розрахувати час рахунку $n T_x$, що витрачається на отримання одного результату вимірювання в такому режимі. Зробити висновок про те, якими міркуваннями повинен визначатися вибір значення n .

Таблиця 3.17 – Результати вимірювання періоду

n	Експеримент				Розрахунок		
	$T_{x \text{ макс мс}}$	$T_{x \text{ мин мс}}$	$T_{x \text{ мс}}$	$D_{\text{зап мс}}$	$D_{\text{кв мс}}$	$D_{0 \text{ мс}}$	$nT_{x, c}$
1							
10							
100							
1000							
10000							
100000							

Примітка. Розрахункове значення часу слід округлити.

Звіт повинен містити:

- 1) номер і назву роботи;
- 2) мету роботи;
- 3) всі заповнені таблиці з їхніми заголовками, розрахункові формули;
- 4) висновки за результатами досліджень (розділи, за якими слід зробити висновки, виділені жирним шрифтом у тексті).

ЛІТЕРАТУРА

1. Хромой В. П. Метрология, стандартизация и измерения в технике связи / В. П. Хромой [Под ред. В. П. Хромого]. – М. : Радио и связь, 1986 – 650 с.
2. Кушнир Ф. В. Измерения в технике связи / Ф. В. Кушнир, В. Г. Савенко, С. М. Верник. – М. : Связь, 1976 – 520 с.
3. Методические указания по радиоизмерительным приборам / ЛЭИС. Л., 1986. Ч. 1.
4. Методические указания по радиоизмерительным приборам / СПбГУТ. СПб, 1996. Ч. 2.
5. Кушнир Ф. В. Электрорадиоизмерения / Ф. В. Кушнир. – Л. : Энергоатомиздат, 1983 – 120 с.
6. Мирский Г. Я. Электронные измерения / Г. Я. Мирский. – М. : Радио и связь, 1986 – 330 с.

СЛОВНИК НАЙБІЛЬШ ВЖИВАНИХ ТЕРМІНІВ

вимірювання	- measurement
похибка	- error
фізична величина	- physical quantity
спостереження	- observation
вимірний міст	- measurable bridge
баланс	- balance
чутливість	- sensitivity
омічний опір	- ohmic resistance
ємність	- capacity
тангенс кута втрат	- loss tangent
індуктивність	- inductance
добротність	- quality factor
підсилення	- amplification
послаблення	- attenuation
похибка	- fallibility
похибка дискретизації	- sampling error
опорний генератор	- reference oscillator
методична похибка	- methodological error
електронний осцилограф	- electronic oscilloscope
систематична похибка	- systematic error
точність виміру	- accuracy of measurement
частота сигналу	- frequency
лінійна розгортка	- linear sweep
джерело модулюючої напруги	- modulating voltage source
фазозсувний ланцюжок	- phase shift chain
резистори	- resistors
електрорадіоеlementи	- electric radioelements
генератор	- generator
частотомір	- frequency meter
вольтметр	- voltmeter
осцилограф	- oscilloscope
режим підсилення	- mode of strengthening
опір навантаження	- load resistance
вихідний опір	- output impedance
вхідний опір	- input impedance
вимірювач фази	- phase meter
абсолютна похибка	- absolute error
часові діаграми	- time diagrams
методична похибка	- methodological error
перетворювач	- converter
метрологічні характеристики	- metrological characteristics
вертикальне відхилення	- vertical deflection
фігури Ліссажу	- Lissajous figures
кварцовий генератор	- quartz oscillator
похибка квантування	- quantization error
подільник частоти	- frequency divider

ДОДАТОК А

Таблиця Стьюдента-Фішера

n	Значення t_{α} , задовольняючи рівність $2 \int_0^{\infty} s(t, n) dt = \alpha$						
	при α						
	0,7	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99	0,999
2	1,963	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657	636,619
3	1,336	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	31,598
4	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,941
5	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
6	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,859
7	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
8	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,405
9	1,108	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
10	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
11	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587
12	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,487
13	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
14	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
15	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140
16	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
17	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
18	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
19	1,067	1,330	1,734	2,103	2,552	2,878	3,922
20	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883

Навчальне видання

**Кичак Василь Мартинович
Стронський Віктор Володимирович
Белов Володимир Сергійович**

ЕЛЕКТРОРАДІОВИМІРЮВАННЯ

Лабораторний практикум

Редактор: О. Кондратьєва

Оригінал-макет підготовлено: В. С. Беловим

Підписано до друку 14.09.2017 р.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Ум. др. арк. 5,4.
Наклад 50 (1-й запуск 1-20) пр.
Зам № 2017-334.

Видавець та виготовлювач
Вінницький національний технічний університет,
інформаційний редакційно-видавничий центр.

ВНТУ, ГНК, к. 114.
Хмельницьке шосе, 95,
м. Вінниця, 21021.
Тел. (0432) 59-85-32, 59-81-59,
press.vntu.edu.ua,
E-mail: kivc.vntu@gmail.com.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.