

**МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ**  
**Державний департамент з питань зв'язку та інформатизації**

---

**ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ЗВ'ЯЗКУ ім. О.С. ПОПОВА**

---

**Кафедра метрології, стандартизації та сертифікації**

**Методичні вказівки з модуля 1**

**„Стандартизація, метрологія – як важелі проведення технічної політики”  
для виконання лабораторних робіт № 3,4 та індивідуального завдання № 2  
з дисципліни “Метрологія, стандартизація, сертифікація та акредитація”**

**за напрямом**

**0924 – Телекомунікації, 0907 - Радіотехніка**

**Частина II**

**Затверджено  
Радою ННІ РТЕ  
Протокол №8 від 20.06.07**

**Одеса 2007**

**УДК 621.396.08**

**План НМВ 2007/2008**

**Укладачі:** М.Т. Козаченко, Т.С. Вольська (лабораторна робота № 3);  
В.Д. Богун, М.Т. Козаченко, Т.С. Вольська (лабораторна робота № 4);  
М.Т. Козаченко, В.Л. Серебрін, Т.С. Вольська (індивідуальне завдання № 2).

У методичних вказівках до лабораторних робіт № 3, 4 та індивідуального завдання № 2 розглянуто питання вимірювання параметрів періодичних процесів, застосування електронних вольтметрів і правила визначення параметрів напруг періодичних та неперіодичних процесів, визначення похибок непрямих вимірювань коефіцієнтів амплітуди та форми, поняття і методики калібрування засобів вимірювальної техніки.

Вказівки розраховані на студентів технічних спеціальностей всіх форм навчання і видаються українською та російською мовою.

Схвалено  
на засіданні кафедри МСС  
та рекомендовано до друку.  
Протокол № 6 від 3.04.07.

## 1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛІНИ

Дисципліна „Метрологія, стандартизація, сертифікація та акредитація” (МССА) включена до стандартів освіти (Наказ Міністерства освіти України № 1/9-39 від 05.10.99 р.) і забезпечує базову підготовку студентів напрямку 6.0924 “Телекомунікації” за спеціальностями: “Телекомунікаційні системи та мережі”, “Інформаційні мережі зв’язку”, “Мережі поштового зв’язку” та 6.0907 “Радіотехніка” за спеціальністю 7.090703 “Апаратура радіозв’язку, радіомовлення та телебачення”.

Дисципліна має 4 кредити ECTS, модулів – 2, змістових модулів – 6, загальна кількість годин – 135, у тому числі: лекції 36 год.; лабораторні заняття 18 год.; практичні заняття 18 год.; самостійна робота 46 год.; індивідуальна робота 27 год.; курс другий; вид контролю **іспит**).

Лабораторна робота № 3 „Вимірювання параметрів напруги інформаційних сигналів та оцінка їх похибки” і № 4 „Метрологічне забезпечення ЗВТ вимірювання напруги інформаційних сигналів” та індивідуальне завдання № 2 „Розрахунок параметрів напруги інформаційних сигналів” входять до складу залікового модуля 1.

### Структура залікового модуля 1

| Змістовий модуль                                                                                                                                        | Лекції<br>(годин) | Заняття        |                       | Самос-<br>тійна<br>робота<br>(у тому<br>числі<br>ІНДЗ) | Індиві-<br>дуаль-<br>на<br>робота |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------|-----------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------|
|                                                                                                                                                         |                   | прак-<br>тичні | лабо-<br>ратор-<br>ні |                                                        |                                   |
| Модуль 1: Стандартизація, метрологія – як важелі проведення технічної політики. (2 кредити; 66 год.)<br>Навчальний час: лк -16 г., лз – 8 г., лб – 8 г. |                   |                |                       |                                                        |                                   |
| 1. Метрологія як предмет.<br>ЗВТ та їх основні характери-<br>стики                                                                                      | 4                 | 2              | 2                     | 10                                                     |                                   |
| 2. Основи стандартизації                                                                                                                                | 4                 | 2              | 2                     | 8                                                      |                                   |
| 3. Обробка результатів вимі-<br>рювання фізичної величини                                                                                               | 8                 | 4              | 4                     | 14                                                     |                                   |
| Разом 1 модуль, год.                                                                                                                                    | 16                | 8              | 8                     | 32                                                     |                                   |

### Зміст модулів

#### 1.1 Метрологія як предмет. ЗВТ та їх основні характеристики.

Предмет курсу “Метрологія , стандартизація, сертифікація та акредитація.” Закон України “Про метрологію та метрологічну діяльність”. Метрологія – наука про вимірювання. Фізичні основи, методи вимірювань. Засоби вимірювальної техніки (ЗВТ). Види ЗВТ, їх характеристики. Метрологічні характеристики (МХ) ЗВТ.

## 1.2 Основи стандартизації

Стандартизація. Основні терміни. Теоретичні підстави стандартизації. Принципи та модулі стандартизації. Категорії та види нормативних документів стандартизації. Стандарти та системи якості: ISO 9000: 2000; ISO 9001: 2000; ISO 9004: 2000. Організація робіт із стандартизації. Основні визначення, види та методи стандартизації.

## 1.3 Обробка результатів вимірювання фізичної величини

Довірча ймовірність, довірчі границі похибок результату вимірювання. Особливості визначення похибки непрямих вимірювань. Сукупні та сумісні вимірювання. Статистична обробка результатів вимірювань з багаторазовими спостереженнями. Невизначеність результатів вимірювання.

Вимірювання параметрів періодичних процесів. Параметри періодичних процесів. Електронні вольтметри, назва, класифікація. Вольтметри СКЗ, СВЗ, та ПЗ. Визначення похибок опосередкованих вимірювань коефіцієнтів амплітуди та форми. Цифрові вольтметри. Види аналого-цифрових перетворювачів.

### Теми практичних занять модуля 1

|   | Тема                                                                                                                       | Годин    |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 1 | Оцінка результату вимірювання і його похибки за нормованими метрологічними характеристиками засобів вимірювальної техніки. | 2        |
| 2 | Розрахунок похибок результатів багаторазових вимірювань.                                                                   | 2        |
| 3 | Розрахунок параметрів напруги інформаційних сигналів.                                                                      | 2        |
| 4 | Розрахунок похибок непрямих вимірювань.                                                                                    | 2        |
|   | <b>Усього:</b>                                                                                                             | <b>8</b> |

### Перелік лабораторних робіт модуля 1

|   | Тема                                                                                                | Годин    |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 1 | Дослідження похибки засобів вимірювальної техніки.                                                  | 2        |
| 2 | Дослідження похибки результатів вимірювання фізичної величини.                                      | 2        |
| 3 | Вимірювання параметрів напруги інформаційних сигналів та оцінка їхньої похибки.                     | 2        |
| 4 | Метрологічне забезпечення засобів вимірювальної техніки вимірювання напруги інформаційних сигналів. | 2        |
|   | <b>Усього:</b>                                                                                      | <b>8</b> |

**Вхідні вимоги до вивчення лабораторних робіт № 3, № 4 та виконання індивідуального завдання № 2.**

**Зміст знань:** Матаналіз, диференційне та інтегральне числення. Вимірювання фізичної величини. Прямі, непрямі, сукупні та спільні способи вимірювання. Принципи та методи вимірювань. Метрологічні характеристики

засобів вимірювальної техніки. Класи точності. Похибки вимірювань параметрів сигналів. Джерела похибок ЗВТ.

**Зміст умінь:** Обробляти прямі та непрямі вимірювання, визначити абсолютну та відносну похибки вимірювань.

**Вихідні знання та уміння з виконання лабораторних робіт № 3, № 4 та виконання індивідуального завдання № 2.**

**Зміст знань:** параметри періодичних процесів; вимірювання параметрів періодичних процесів; електронні вольтметри, їх класифікація. Визначення похибок непрямих вимірювань коефіцієнтів амплітуди та форми.

Методи та засоби калібрування електронних вольтметрів.

**Зміст умінь:** виконувати вимірювання параметрів періодичної напруги складної форми за допомогою вольтметрів з різними типами ВПН та розраховувати похибки непрямих вимірювань коефіцієнтів амплітуди та форми, визначати експериментально та теоретично придатність до експлуатації електронних вольтметрів.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

### ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ НАПРУГИ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ ТА ОЦІНКА ЇХНЬОЇ ПОХИБКИ

#### 1 МЕТА РОБОТИ

1.1 Досліджувати залежність показань вольтметрів з різними типами перетворювачів від форми вимірюваного сигналу

1.2 Визначити коефіцієнти форми, амплітуди й усереднення періодичних напруг за допомогою електронних вольтметрів.

1.3 Оволодіти професійними навичками експериментального й теоретичного визначення параметрів періодичної напруги складної форми. Навчитися визначати похибки результатів непрямих вимірювань.

#### 2 КЛЮЧОВІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1 Електричні сигнали (напруга або струм), які використовуються в телекомунікаційних системах та інформаційних мережах, характеризуються чотирма основними параметрами: піковим, середнім, середньовипрямленим і середньоквадратичним значеннями.

Пікове значення  $U_m$  (амплітудне – для синусоїдних сигналів) – найбільше миттєве значення напруги за період (при різнополярних несиметричних кривих напруги розрізняють позитивні та негативні пікові значення).

Середнє значення за час вимірювання (або за період) – постійна складова напруги:

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

Середньовипрямлене значення (СВЗ) – це середнє значення модуля напруги за період:

$$U_{\text{нв}} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt. \quad (2.2)$$

При однополярних напругах середнє значення (постійна складова) дорівнює середньовипрямленому. При різнополярних напругах ці два параметри різні. Наприклад, для синусоїдної напруги  $U_{\text{ср}} = 0$ , а  $U_{\text{нв}} = 0,637U_m$ .

Середньоквадратичне значення (СКЗ) напруги за час вимірювання (або за період)

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}. \quad (2.3)$$

Відзначимо, що середньоквадратичне значення складної періодичної напруги можна визначити за формулою

$$U = \sqrt{U_0^2 + \left(\frac{U_{m1}}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{U_{m2}}{\sqrt{2}}\right)^2 + \dots} \quad (2.4)$$

де  $U_0$  – постійна складова;  $U_1, U_2$  – амплітуди складових складних сигналів.

2.2 Зв'язок між піковим (амплітудним) і середньоквадратичним значеннями напруги даної форми встановлюється за допомогою коефіцієнта амплітуди, рівного відношенню пікового значення до середньоквадратичного:

$$K_a = U_m / U. \quad (2.5)$$

Зв'язок між середньоквадратичним і середньовипрямленим значеннями встановлюється за допомогою коефіцієнта форми кривої, визначуваного відношенням середньоквадратичного значення до середньовипрямленого:

$$K_{\delta} = U / U_{\text{нâç}}. \quad (2.6)$$

Іноді зручно користуватися коефіцієнтом усереднення

$$\hat{E}_y = \hat{E}_a \hat{E}_{\delta} = \frac{U_m}{U_{\text{нâç}}}. \quad (2.7)$$

У техніці зв'язку коефіцієнт амплітуди називають пік-фактором. Його прийнято виражати в відносних та логарифмічних одиницях:  $20 \lg(U_m / U)$  дБ. Коефіцієнт форми називають форм-фактором і також виражають в відносних та логарифмічних одиницях:  $20 \lg(U / U_{\text{нâç}})$  дБ.

При будь-якій формі напруги завжди справедлива умова:

$$U_m \geq U \geq U_{\text{свз}}, \text{ а також } K_y \geq K_a \geq K_{\phi} \geq 1.$$

2.3 Для того, щоб розрахувати коефіцієнти  $\hat{E}_a$ ,  $K_{\delta}$ ,  $\hat{E}_y$ , необхідно процес  $u_{\sim}(t)$  записати в аналітичній формі, обчислити інтеграли, а потім отримані результати підставити у вирази (2.5) ... (2.7). При цьому інтервал інтегрування  $T$  зручно задавати рівним одному періоду  $T_0$  або його частці. Наприклад, для пилоподібної напруги (рис. 2.1, а) і прямокутного процесу типу «меандр» (рис. 2.1, б) зручно задавати  $T = \frac{T_0}{2}$ , а для трикутного (рис. 2.1, г) –  $T = \frac{T_0}{4}$ .

Відомо, що для гармонійної напруги справедливі співвідношення  $U_m = \sqrt{2}U = 1,41U$  та  $U_{\text{нâç}} = (2\sqrt{2}/\pi)U = 0,9U$ . Отже, коефіцієнт амплітуди  $K_a = 1,41$ ; коефіцієнт форми  $K_{\delta} = 1,11$ .

Напруга пилоподібної форми (рис. 2.1, а), на відрізку від 0 до  $T/2$ , змінюється за лінійним законом, тобто  $u(t) = kt$ , де  $k = \frac{U_m}{T/2}$ .

Середньоквадратичне значення згідно (2.3)

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \left( 2 \int_0^{T/2} k^2 t^2 dt \right)} = \sqrt{\frac{1}{T} \left( 2 \frac{U_m^2}{T^2} \cdot 4 \int_0^{T/2} t^2 dt \right)} = \sqrt{\frac{8U_m^2}{T^3} \cdot \frac{t^3}{3} \Big|_0^{T/2}} = \frac{U_m}{\sqrt{3}}.$$

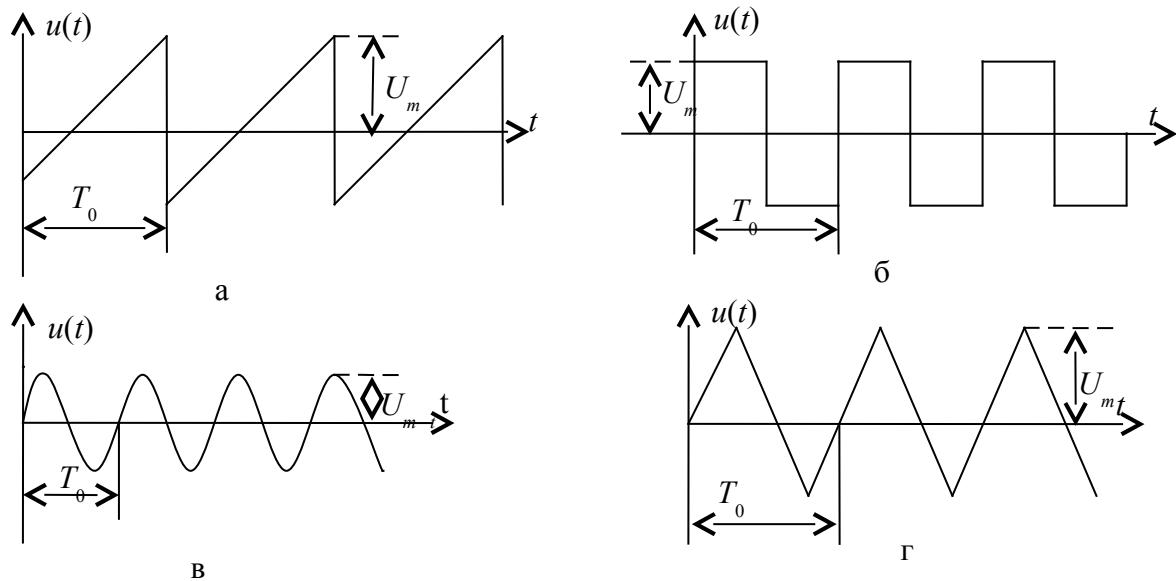


Рисунок 2.1 – Досліджувані періодичні напруги

Середньовипрямлене значення згідно (2.2)

$$U_{\text{сâç}} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} ktdt = \frac{2}{T} \cdot \frac{U_m}{2} \cdot \frac{t^2}{2} = \frac{U_m}{2}$$

За формулами (2.5) ... (2.7) розрахуємо коефіцієнти:

$$K_a = \frac{U_m}{\frac{U_m}{\sqrt{3}}} = 1,73, \quad K_{\phi} = \frac{\frac{U_m}{\sqrt{3}}}{\frac{U_m}{2}} = 1,16, \quad K_{\phi} = \frac{U_m}{\frac{U_m}{2}} = 2.$$

Аналогічно визначають  $K_a$ ,  $K_{\phi}$ ,  $K_y$  для напруг прямокутної та трикутної форми.

У тому випадку, якщо створення математичної моделі процесу утруднено або інтеграли не беруться, коефіцієнти  $K_a$ ,  $K_{\phi}$  визначають непрямым способом у результаті прямих вимірювань  $U_m$ ,  $U$ ,  $U_{\text{свз}}$  за показниками вольтметрів пікового, середньоквадратичного й середньовипрямленого значень відповідно, використовуючи формули (2.5), (2.6).

2.4 Сучасні електронні вольтметри змінного струму будують переважно за принципом перетворення змінної напруги в постійну з наступним його вимірюванням. Це пояснюється тим, що всі параметри змінної напруги, які нас цікавлять, являють собою постійну складову процесу, отриманого з вихідного шляхом того чи іншого перетворення, наприклад, зведення у квадрат, двопівперіодного випрямлення, запам'ятовування максимального миттєвого значення.

Основними вузлами електронного вольтметра є: вхідний пристрій, підсилювач змінної напруги, вимірювальний перетворювач змінної напруги в по-



стійну, підсилювач постійної напруги (струму), аналоговий або цифровий вимірювач постійного струму (напруги).

Вимірювальний перетворювач змінної напруги в постійну напругу або струм (будемо далі називати його ВПН) – найважливіший вузол вольтметра, що визначає вимірюваний параметр напруги (пікове, середньоквадратичне або середньовипрямлене значення напруги).

2.5 Так як історично склалося, що першим з'явилася змінна напруга синусоїдної форми, і по теперішній час вона є найбільш використовуваною, то комісією МЕК було ухвалено рішення градуювати більшість шкал електронних вольтметрів, крім імпульсних (типу В4-, які градуують у пікових значеннях), в середньоквадратичних значеннях гармонійної напруги. Оскільки для цієї напруги коефіцієнти амплітуди та форми, відповідно рівні  $K_a = 1,41$  й  $K_\phi = 1,11$ , то ці коефіцієнти були використані при градуюванні шкал вольтметрів. Зокрема, показання пікового вольтметра для будь-якої форми сигналу завжди менше пікового значення вимірюваної напруги в 1,41 рази, а показання вольтметра СВЗ – в 1,11 рази більше середньовипрямленого значення вимірюваної напруги. Лише для гармонійної напруги відліки за шкалами вольтметрів з різними видами ВПН однакові та дорівнюють  $U_{СКЗ}$ .

Для вольтметра СКЗ коефіцієнт градуювання дорівнює 1, отже, показання вольтметра СКЗ не залежать від форми вимірюваної напруги.

Проілюструвати це можна схемою, яка наведена на рис. 2.2, де А – показання вольтметрів.

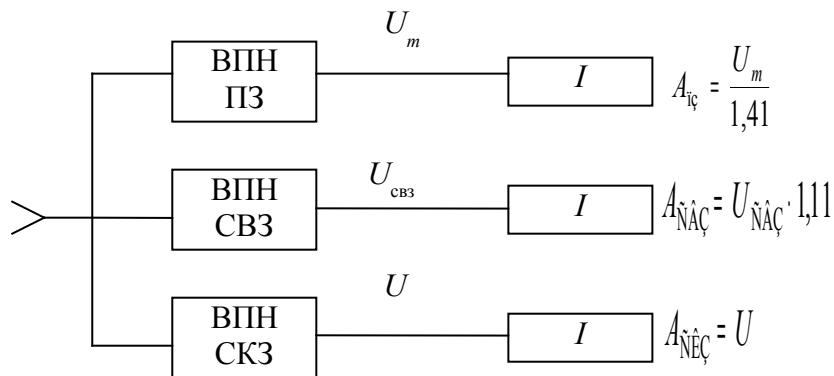


Рисунок 2.2 – Схема, що пояснює принцип градуювання шкал електронних вольтметрів

Із цієї схеми легко визначити параметри змінної напруги через показання приладів:

$$U_m = 1,41 A_{ПЗ}; \quad U_{СВЗ} = A_{СВЗ} / 1,11; \quad U = A.$$

Якщо відомі коефіцієнти  $K_a$  й  $K_\phi$  вимірюваної напруги, то по одному з параметрів цієї напруги ( $U_m$ ,  $U$  або  $U_{СВЗ}$ ) можна визначити два інших, використовуючи формули (2.5) і (2.6).

Як ми вже відзначали, виключення становлять імпульсні вольтметри типу В4, шкали яких градуують в амплітудних (пікових) значеннях, тобто показання таких вольтметрів завжди  $A = U_m$ .

2.6 Експериментальне визначення коефіцієнтів форми, амплітуди та усереднення здійснюється непрямым способом за показниками вольтметрів.

Як бачимо з визначення непрямого способу вимірювання шукана величина  $y = f(a, b, c \dots)$  функційно пов'язана з однією або декількома безпосередньо обмірюваними величинами.

Дійсне значення вимірюваної величини

$$y \pm \Delta y.$$

Розклавши праву частину цього рівняння в ряд Тейлора, і зневажаючи членами розкладання, які містять  $\Delta y$  у ступені вище другої, одержимо

$$y \pm \Delta y = f(a, b, c \dots) \pm \sqrt{\left(\frac{\partial f(a, b, c \dots)}{\partial a}\right)^2 (\Delta a)^2 + \left(\frac{\partial f(a, b, c \dots)}{\partial b}\right)^2 (\Delta b)^2 + \dots}$$

Визначимо абсолютну похибку  $K_a$

$$K_a = \frac{U_m}{U}; \quad K_a = f(U_m, U)$$

$$\Delta K_a \approx \pm \sqrt{\left(\frac{\partial K_a}{\partial U_m}\right)^2 (\Delta U_m)^2 + \left(\frac{\partial K_a}{\partial U}\right)^2 (\Delta U)^2},$$

де  $\frac{\partial K_a}{\partial U_m} = \frac{1}{U} (U_m)' = \frac{1}{U}$ ;  $\Delta U_m$  визначається із класу точності вольтметра ПЗ;

$\frac{\partial K_a}{\partial U} = \frac{1}{U_m} (U)' = -\frac{U_m}{U^2}$ ;  $\Delta U$  визначається із класу точності вольтметра СКЗ.

Визначимо абсолютну похибку  $K_\delta$

$$K_\delta = \frac{U}{U_{\text{нâç}}}; \quad K_\delta = f(U, U_{\text{нâç}})$$

$$\Delta K_\delta \approx \pm \sqrt{\left(\frac{\partial K_\delta}{\partial U}\right)^2 (\Delta U)^2 + \left(\frac{\partial K_\delta}{\partial U_{\text{нâç}}}\right)^2 (\Delta U_{\text{нâç}})^2},$$

де  $\frac{\partial K_\delta}{\partial U} = \frac{1}{U_{\text{нâç}}} (U)' = \frac{1}{U_{\text{нâç}}}$ ;  $\Delta U$  визначається із класу точності вольтметра СКЗ;

$\frac{\partial K_a}{\partial U_{\text{нâç}}} = U \left( \frac{1}{U_{\text{нâç}}} \right)' = -\frac{U}{U_{\text{нâç}}^2}$ ;  $\Delta U_{\text{нâç}}$  визначається із класу точності вольтметра СВЗ.

СВЗ.

Таким чином, формули для розрахунку абсолютної похибки  $K_a$ ,  $K_\phi$  мають вигляд

$$\Delta K_a \approx \pm \sqrt{\left(\frac{1}{U}\right)^2 (\Delta U_m)^2 + \left(-\frac{U_m}{U^2}\right)^2 (\Delta U)^2};$$

$$\Delta K_{\delta} \approx \pm \sqrt{\left(\frac{1}{U_{\text{н\acute{a}\text{ç}}}}\right)^2 (\Delta U)^2 + \left(-\frac{U}{U_{\text{н\acute{a}\text{ç}}^2}\right)^2 (\Delta U_{\text{н\acute{a}\text{ç}}})^2}.$$

Відносні похибки визначаємо за формулами

$$\delta_{K_a} = \frac{\Delta K_a}{K_a}; \quad \delta_{K_{\delta}} = \frac{\Delta K_{\delta}}{K_{\delta}}.$$

### 3 КЛЮЧОВІ ПИТАННЯ

3.1 Чому, на відміну від постійної напруги, для характеристики змінної напруги застосовують кілька параметрів, а не один? Дайте визначення цих параметрів.

3.2 На графіку синусоїдного сигналу (рис. 2.1,в) покажіть всі параметри напруги, що характеризують цей процес.

3.3 На графіку прямокутного сигналу (рис. 2.1,б) покажіть всі параметри напруги, які характеризують цей процес

3.4 У яких значеннях градууються шкали електронних вольтметрів?

3.5 Які типи ВПН використовуються в електронних вольтметрах?

3.6 Які рекомендації можна дати для раціонального вибору вольтметра для вимірювання параметрів негармонійної напруги?

3.7 Чим відрізняється градуювання вольтметрів типу В4 від інших вольтметрів?

3.8 Як визначити абсолютну похибку напруги, знаючи клас точності вольтметра?

### 4. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

4.1 Обчисліть коефіцієнти  $K_a$ ,  $K_{\phi}$ ,  $K_y$  для процесів, представлених на рис. 2.1,б, і запишіть результат у табл. 4.1.

4.2 Обчисліть коефіцієнти  $K_a$ ,  $K_{\phi}$ ,  $K_y$  для процесу, представленого на рис. 2.1,а, і запишіть результат у табл. 4.1.

4.3 Обчисліть коефіцієнти  $K_a$ ,  $K_{\phi}$ ,  $K_y$  для процесу, представленого на рис. 2.1,а, і запишіть результат у табл. 4.1.

Приклад розрахунку  $K_a$ ,  $K_{\phi}$ ,  $K_y$  для напруги пилкоподібної форми наведений раніше.

Таблиця 4.1 – Розрахунки параметрів напруги

| Форма напруги                                                                       | Показання вольтметрів, В |                  |                  | Параметри напруги, В |       |                  | Розраховані значення коефіцієнтів |            |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|------------------|------------------|----------------------|-------|------------------|-----------------------------------|------------|-------|
|                                                                                     | $A_{\text{скз}}$         | $A_{\text{пик}}$ | $A_{\text{свз}}$ | $U$                  | $U_m$ | $U_{\text{свз}}$ | $K_a$                             | $K_{\phi}$ | $K_y$ |
|  | $N$                      | ?                | ?                | ?                    | ?     | ?                | 1,41                              | 1,11       | 1,57  |
|  | ?                        | ?                | $N$              | ?                    | ?     | ?                | ?                                 | ?          | ?     |
|  | ?                        | $N$              | ?                | ?                    | ?     | ?                | ?                                 | ?          | ?     |

|                                                                                   |   |   |     |   |   |   |   |   |   |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---|---|-----|---|---|---|---|---|---|
|                                                                                   |   |   |     |   |   |   |   |   |   |
|  | ? | ? | $N$ | ? | ? | ? | ? | ? | ? |

4.4 Якими повинні бути показання двох вольтметрів, для яких у табл. 4.1 зазначений знак питання, якщо показання за шкалою третього вольтметра дорівнює  $N$  у вольтах (де  $N$  – число, що відповідає номеру прізвища студента в списку групи)?

Заповніть табл. 4.1.

4.5 Використовуючи рекомендовану літературу вивчіть принцип роботи ВПН (детекторів) пікового, середньовипрямленого й середньоквадратичного значень.

4.6 Приведіть структурні схеми високочутливих, широкосмугових та універсальних вольтметрів.

4.7 Розробіть схему експерименту для визначення  $K_a$ ,  $K_\phi$ .

4.8 Підготуйтеся до обговорення питань розділу 3.

## 5 ЛАБОРАТОРНЕ ЗАВДАННЯ

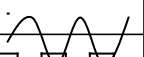
5.1 Ознайомтеся з устаткуванням на робочому місці та уточніть з викладачем розроблений вами план роботи в лабораторії, підготуйте вольтметри до роботи.

5.2 Зберіть розроблену вами схему експерименту. Форму напруги контролюйте за допомогою осцилографа.

5.3 Виміряйте напруги вольтметрами з різними ВПН для визначення коефіцієнтів  $K_a$ ,  $K_\phi$ ,  $K_y$ . Результати занесіть у табл. 5.1.

5.4 Розрахуйте похибки непрямого вимірювання коефіцієнтів  $K_a$ ,  $K_\phi$ . Результати занесіть у таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – Експериментальне визначення значень коефіцієнтів  $K_a$ ,  $K_\phi$ ,  $K_y$ .

| Форма напруги                                                                       | Показання вольтметрів, В |                      |                      | Параметри напруги, В |       |                  | Експериментальне значення коефіцієнтів |          |       | Абсолютна похибка вимірювання коефіцієнтів |                 | Відносна похибка вимірювання коефіцієнтів |                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------|------------------|----------------------------------------|----------|-------|--------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------|-----------------|
|                                                                                     | $A_{\text{СКЗ}} (*)$     | $A_{\text{пик}} (*)$ | $A_{\text{СВЗ}} (*)$ | $U$                  | $U_m$ | $U_{\text{СВЗ}}$ | $K_a$                                  | $K_\phi$ | $K_y$ | $\Delta K_a$                               | $\Delta K_\phi$ | $\delta K_a$                              | $\delta K_\phi$ |
|  | $A$                      | ?                    | ?                    | ?                    | ?     | ?                | ?                                      | ?        | ?     | ?                                          | ?               | ?                                         | ?               |
|  | $A$                      | ?                    | ?                    | ?                    | ?     | ?                | ?                                      | ?        | ?     | ?                                          | ?               | ?                                         | ?               |
|  | $A$                      | ?                    | ?                    | ?                    | ?     | ?                | ?                                      | ?        | ?     | ?                                          | ?               | ?                                         | ?               |

(\*) – тип вольтметра

## 6 ПРОТОКОЛ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ (№ ...НАЗВА ...)

6.1 Мета експерименту.

## 6.2 Перелік використовуваної апаратури у табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Основні характеристики приладів

| Найменування приладу | Тип | Заводський номер | Метрологічні характеристики |                      |                    |  |
|----------------------|-----|------------------|-----------------------------|----------------------|--------------------|--|
|                      |     |                  | клас точності               | діапазон вимірювання | частотний діапазон |  |
|                      |     |                  |                             |                      |                    |  |
|                      |     |                  |                             |                      |                    |  |
|                      |     |                  |                             |                      |                    |  |

## 6.3 Схема вимірювання.

6.4 Результати лабораторної роботи. (Вказати результати експериментальних значень  $K_a$ ,  $K_\phi$  та їхньої похибки для всіх досліджуваних сигналів).

6.5 Висновки. Зробити висновок про величини похибок результатів вимірювання коефіцієнтів амплітуди й форми.

## 7 ЛІТЕРАТУРА

1. Метрологія в галузі зв'язку / Л.В. Коломієць, М.Т. Козаченко й ін. Кн. 1. – Одеса: Стандартъ, 2006.
2. Метрологія в галузі зв'язку / Л.В. Коломієць, М.Т. Козаченко й ін. Кн. 2. – Одеса: Стандартъ, 2007.
3. Метрология, стандартизация и измерения в технике связи: Учеб. пособие для вузов / Б.П. Хромой, А.В. Кандинов, А.Л. Сенявский и др.; Под ред. Б. П. Хромого. – М.: Радио и связь, 1986.
4. ДСТУ 2681-94. Державна система забезпечення єдності вимірювань. Метрологія. Терміни та визначення.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

# МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ВИМІРЮВАННЯ НАПРУГИ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ

## 1 МЕТА РОБОТИ

1.1 Вивчити методи й засоби калібрування вольтметрів.

1.2 Оволодіти професійними навичками експериментального та теоретичного визначення придатності до експлуатації електронних вольтметрів.

## 2 КЛЮЧОВІ ПОЛОЖЕННЯ

*Засіб вимірювальної техніки (ЗВТ)* – технічний пристрій, що застосовується для вимірювань, має нормовані метрологічні характеристики (НМХ) і зберігає та (або) відтворює одиницю вимірюваної фізичної величини.

*Тип засобу вимірювальної техніки* – сукупність приладів вимірювальної техніки, одного і того ж призначення, які мають один і той же самий принцип дії, однакову конструкцію та виготовлені за однієї і тією ж технічною документацією.

*Еталон* – засіб вимірювальної техніки, що забезпечує відтворення та (або) зберігання одиниці вимірювань одного або декількох значень, а також передачу розміру цієї одиниці іншим засобам вимірювальної техніки.

*Державний еталон* – офіційно затверджений еталон, що забезпечує відтворення одиниці вимірювань і передачу її розміру іншим еталонам з найвищою в країні точністю.

*Робочий еталон* – еталон, призначений для перевірки або калібрування засобів вимірювальної техніки.

*Метрологічна атестація ЗВТ* – дослідження засобів вимірювальної техніки з метою визначення їхніх метрологічних характеристик і встановлення придатності цих засобів до застосування.

*Калібрування ЗВТ* – сукупність операцій, виконуваних з метою визначення й підтвердження дійсних значень метрологічних характеристик і придатності до використання ЗВТ, які не підлягають державному метрологічному контролю.

*Повірка засобів вимірювальної техніки (ЗВТ)* – це встановлення придатності ЗВТ, на які поширюється державний метрологічний нагляд, до використання на основі результатів контролю їхніх метрологічних характеристик (МХ).

Операції калібрування ЗВТ ідентичні операціям перевірки й виконуються для ЗВТ, які не підлягають державному метрологічному контролю.

При здійсненні перевірки повинні виконуватися наступні операції: зовнішній огляд, випробування, визначення метрологічних характеристик. Повірку здійснюють у нормальних умовах.

Вибір методу перевірки й робочого еталона визначається необхідним співвідношенням похибок робочого еталона та приладу, що повіряється; звичайно виконують співвідношення (1:5).

*Повірка електронних аналогових вольтметрів.* При повірці електронних вольтметрів визначають основну похибку у нормальній і розширеній областях частот при вимірюванні змінної напруги.

Для ЗВТ нормують звичайно три групи метрологічних характеристик. Перша група описує властивості ЗВТ у нормальних умовах експлуатації, друга - вплив відхилень умов експлуатації від нормальних на характеристики першої групи, третя – динамічні властивості (вплив змін вимірюваної величини або неінформативного параметра вхідного сигналу на похибки ЗВТ або результати вимірювань).

У першу групу включають характеристики основної похибки та характеристики, що описують властивості вхідного й вихідного ланцюгів ЗВТ.

*Основна похибка* ЗВТ – це похибка, що визначена для кожного типу ЗВТ у нормальних умовах експлуатації. При експлуатації ЗВТ в умовах, що відрізняються від нормальних, виникає додаткова похибка, яка також повинна бути врахована.

Основну похибку визначають на кожній числовій позначці шкали основних меж вимірювань вольтметра, який повіряється. За основні межі приймаються межі, нанесені на шкалах відлікового пристрою вольтметра при множителі, рівному одиниці.

На інших межах вимірювань основну похибку визначають на кінцевих числових позначках шкал, а також на позначках, на яких раніше були визначені найбільші позитивна й негативна похибки (або найбільша й найменша похибки, якщо всі похибки одного знаку).

Похибка вольтметрів визначається методом порівняння його показань із показаннями робочого еталона, що відтворює напруги (установки для повірки вольтметрів) або звіренням показань вольтметра, що повіряється та робочого еталона безпосередньо або з використанням дільника напруги.

При використанні установки для повірки вольтметрів основна (відносна) похибка вольтметра, що повіряється, визначається за шкалою ВІ-9, ВІ-15, ВІ-16 – установки для повірки вольтметрів змінної напруги; ВІ-8 – установки для повірки вольтметрів постійної й змінної напруг.

*Варіація показань* – це зміна показань ЗВТ при вимірюванні однієї та тієї ж величини при підході до числової позначки, що відповідає цій величині збоку більших або менших значень.

### **3 КЛЮЧОВІ ПИТАННЯ**

3.1 Дайте визначення повірки ЗВТ.

3.2 Дайте визначення калібрування ЗВТ.

3.3 Дайте визначення метрологічної атестації ЗВТ.

3.4 Перелічіть види еталонів, застосовуваних при виконанні метрологічних операцій.

3.5 Поясніть призначення Державного еталона України.

3.6 Поясніть призначення робочого еталона.

3.7 Поясніть призначення вихідного еталона, застосовуваного на підприємстві.

3.8 Перелічіть операції при повірці електронних вольтметрів.

## 4 ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

4.1 Вивчити основні положення, які стосуються повірки й калібрування електронних вольтметрів.

4.2 Ознайомитися із принципами роботи й органами регулювання еталонної установки В1-16 (додаток А).

4.3 Виписати метрологічні характеристики еталонної установки В1-16.

4.4 Визначити співвідношення похибок еталонної установки і вольтметра, який калібрується, на позначці шкали  $U$  на частоті  $f$  відповідно до варіанта завдання й зробити висновок про можливість використання еталонної установки В1-16 для калібрування вольтметра (табл. Б.1). Табл. Б.1 наведена в додатку Б.

## 5 ЛАБОРАТОРНЕ ЗАВДАННЯ

5.1 Підготувати еталонну установку В1-16 до роботи (Додаток А, пункт 6)

5.2 Підключити калібруємий вольтметр до приладу В1-16.

5.3 Визначити основну (відносну) похибку вимірювання напруги калібруємого вольтметра на всіх числових позначках шкал у заданому викладачем піддіапазоні на частоті 1 МГц за допомогою установки В1-16 і визначити значення приведеної похибки вольтметра. (Додаток А, пункт 7.1). Результати занести в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Результати вимірювань основної похибки

| Піддіапазон          | Числові позначки шкали | Відносна похибка $\delta$ , % | Приведена похибка $\gamma$ , % |
|----------------------|------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Задається викладачем | 3 (5)                  |                               |                                |
|                      | 4 (10)                 |                               |                                |
|                      | 5 (15)                 |                               |                                |
|                      | 6 (20)                 |                               |                                |
|                      | 7 (25)                 |                               |                                |
|                      | 8 (30)                 |                               |                                |
|                      | 9                      |                               |                                |
|                      | 10                     |                               |                                |

Основна похибка не повинна перевищувати припустимі значення, які зазначені в технічній документації вольтметра.

5.4 Дослідити залежність похибки показань калібруємого вольтметра від частоти й визначити зміну похибки щодо похибки на частоті 1 МГц. (Додаток А, пункт 7.2). Результати занести в табл. 5.2.



Таблиця 5.2 – Залежність похибки від частоти

| Піддіапазон             | Частота    |                   |            |                   |            |                   |            |                   |            |                   |            |                   |            |                   |
|-------------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|
|                         | 20 Гц      |                   | 30 Гц      |                   | 45 Гц      |                   | 1 кГц      |                   | 55 кГц     |                   | 100 кГц    |                   | 1 МГц      |                   |
|                         | Похибка, % | Зміна показань, % | Похибка, % | Зміна показань, % | Похибка, % | Зміна показань, % | Похибка, % | Зміна показань, % | Похибка, % | Зміна показань, % | Похибка, % | Зміна показань, % | Похибка, % | Зміна показань, % |
| викладачем<br>Задається |            |                   |            |                   |            |                   |            |                   |            |                   |            |                   |            |                   |

Похибка зміни показань не повинна перевищувати припустимих значень для калібруемого вольтметра.

5.5 Визначити похибку варіації показань калібруемого вольтметра (Додаток А, пункт 7.3).

Похибка варіації показань не повинна перевищувати 1%, тобто  $H = |\delta_{\text{ідої}} - \delta_{\text{çâіð}}| \leq 1\%$ .

Таблиця 5.3 – Визначення похибки варіації.

| Межа                    | Позначка, що пові-<br>ряється | Відлік по шкалі установки |               | Значення<br>варіації | Припустиме<br>значення |
|-------------------------|-------------------------------|---------------------------|---------------|----------------------|------------------------|
|                         |                               | прямий хід                | зворотний хід |                      |                        |
| Задається<br>викладачем | 1                             |                           |               |                      |                        |
|                         | 2                             |                           |               |                      |                        |
|                         | 3                             |                           |               |                      |                        |
|                         | 4                             |                           |               |                      |                        |
|                         | 5                             |                           |               |                      |                        |
|                         | 6                             |                           |               |                      |                        |
|                         | 7                             |                           |               |                      |                        |
|                         | 8                             |                           |               |                      |                        |
|                         | 9                             |                           |               |                      |                        |

|  |    |  |  |  |  |
|--|----|--|--|--|--|
|  | 10 |  |  |  |  |
|--|----|--|--|--|--|

## 6 ПРОТОКОЛ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ (№ ...НАЗВА ...)

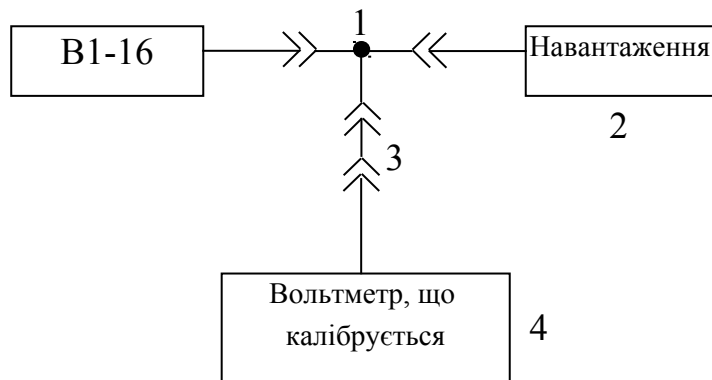
6.1 Мета експерименту.

6.2 Перелік використаної апаратури у табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Основні характеристики приладів

| Найменування приладу | Тип | Заводський номер | Метрологічні характеристики |                      |                    |  |
|----------------------|-----|------------------|-----------------------------|----------------------|--------------------|--|
|                      |     |                  | клас точності               | діапазон вимірювання | частотний діапазон |  |
|                      |     |                  |                             |                      |                    |  |
|                      |     |                  |                             |                      |                    |  |

6.3 Схема вимірювання.



- 1 – трійниковий перехід ТП-121;  
 2 – навантаження СН-104;  
 3 – кабель ЯІ4.853.148;  
 4 – повіряємий вольтметр.

Тип вольтметра, який калібрується \_\_\_\_\_

Зовнішній огляд \_\_\_\_\_

Випробування \_\_\_\_\_

Умови калібрування

Температура навколишнього середовища \_\_\_\_\_ °C

Відносна вологість повітря \_\_\_\_\_ %

Атмосферний тиск \_\_\_\_\_ мм рт.ст.

Час попереднього прогріву \_\_\_\_\_ хв.

Напруга мережі \_\_\_\_\_ В.

Частота напруги мережі \_\_\_\_\_ Гц.

На підставі отриманих результатів зробити висновки про наслідки проведеного калібрування вольтметра.

**Визначення основної похибки мілівольтметра типу \_\_\_\_\_ на частоті 1 МГц**

Висновок: \_\_\_\_\_

Визначення залежності зміни похибки показань мілівольтметра типу \_\_\_\_\_ від частоти

Висновок: \_\_\_\_\_

**Визначення похибки варіації показань мілівольтметра**  
**типу** \_\_\_\_\_

Висновок: \_\_\_\_\_

Загальний висновок:

Калібрування виконано \_\_\_\_\_ « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 200 \_\_\_\_ р.  
 П.І.Б.

Протокол перевірів: \_\_\_\_\_ (підпис)

## 7 ЛІТЕРАТУРА

1. Метрологія в галузі зв'язку / Л.В. Коломієць, М.Т. Козаченко й ін. – Кн. 1. – Одеса: Стандарт, 2006.
2. Метрологія в галузі зв'язку / Л.В. Коломієць, М.Т. Козаченко й ін. – Кн. 2. – Одеса: Стандарт, 2007.
3. Метрология, стандартизация и измерения в технике связи: Учеб. пособие для вузов / Б.П. Хромой, А.В. Кандинов, А.Л. Сенявский и др.; Под ред. Б. П. Хромого. – М.: Радио и связь, 1986.
4. ДСТУ 2681-94. Державна система забезпечення єдності вимірювань. Метрологія. Терміни та визначення.

## ДОДАТОК А

### Опис еталонної установки типу В1-16

#### 1 Призначення

Установка В1-16 для повірки вольтметрів призначена для визначення похибки широкосмугових вольтметрів і може бути використана в якості багатозадачної міри напруги для градування різних приладів.

#### 2 Робочі умови застосування приладу:

- температура навколишнього повітря від 283 до 308 К (від +10 °С до +35 °С);
- відносна вологість повітря до 90% при температурі 303 К (+30 °С);
- атмосферний тиск  $100 \pm 4$  кПа ( $750 \pm 30$  мм. рт. ст.);
- живлення приладу від мережі змінного струму напругою  $220 \pm 22$  В частотою  $50 \pm 0,5$  Гц, вмістом гармонік до 5% і напругою  $220 \pm 11$  В частотою  $400 + 28/-12$  Гц і вмістом гармонік до 5%.

#### 3 Технічні дані

3.1 Еталонна установка В1-16 виробляє напругу змінного струму від 100 мкВ до 3 В з номінальними середньоквадратичними значеннями, що відповідає ряду: 0,316; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0.

3.2 Діапазон частот видаваних приладом напруг від 10 Гц до 50 МГц із наступними фіксованими значеннями: 10; 20; 30; 40; 45; 55; 100; 200; 300; 400; 450; 550 Гц; 1; 2; 3; 4; 4,5; 5,5; 10; 20; 30; 40; 45; 55 кГц; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 3; 5; 10; 15; 20; 30; 50; МГц.

3.3 Відхилення значення вихідної напруги від номінальної  $\pm 10\%$ .

3.4 Основна похибка номінальних значень вихідних напруг указана в табл. А.1.

Таблиця А.1 – Межі припустимих основних похибок

| Напруга, мВ | Межа припустимої основної похибки, % на частотах |           |                 |           |           |               |           |
|-------------|--------------------------------------------------|-----------|-----------------|-----------|-----------|---------------|-----------|
|             | Гц                                               |           |                 | МГц       |           |               |           |
|             | 10                                               | 20        | $30 \cdot 10^5$ | 0,2-3     | 5; 10     | 15-30         | 50        |
| 2000 - 3000 | $\pm 0,5$                                        | $\pm 0,3$ | $\pm 0,2$       | $\pm 0,3$ | $\pm 0,5$ | $\pm 0,8$     | $\pm 1,3$ |
| 1000 - 1500 | $\pm 0,5$                                        | $\pm 0,3$ | $\pm 0,3$       | $\pm 0,5$ | $\pm 0,5$ | $\pm 0,8$     | $\pm 1,3$ |
| 100 - 300   | $\pm 0,5$                                        | $\pm 0,5$ | $\pm 0,3$       | $\pm 0,5$ | $\pm 0,8$ | $\pm 1,3$     | $\pm 1,3$ |
| 31,6 - 90   | $\pm 0,8$                                        | $\pm 0,5$ | $\pm 0,5$       | $\pm 0,8$ | $\pm 0,8$ | не нормується |           |
| 3,16 - 9    | $\pm 0,8$                                        | $\pm 0,5$ | $\pm 0,5$       | $\pm 0,8$ | $\pm 0,8$ |               |           |

|          |      |      |      |      |      |               |      |
|----------|------|------|------|------|------|---------------|------|
| 1- 3     | ±0,8 | ±0,5 | ±0,5 | ±0,8 | ±1,3 | ±1,3          | ±2,0 |
| 0,1- 0,3 | ±0,8 | ±0,8 | ±0,5 | ±1,3 | ±2,0 | не нормується |      |

3.5 Похибка фіксованих частот вихідної напруги  $\pm 2\%$ .

3.6 Похибка вихідної напруги  $\delta$  у відсотках, при її відхиленні від номінального значення, обчислюється за формулою:

$$\delta = \pm \left( \left| \delta_0 \right| + 0,02 \cdot \left| \xi \right| \right), \quad (\text{A. 1})$$

де  $\delta_0$  – основна похибка номінального значення вихідної напруги;

$\xi$  – відхилення вихідної напруги від номінального значення (показання цифрового табло), %.

3.7 Додаткова похибка номінальних значень вихідної напруги, викликана відхиленням температури навколишнього повітря від нормальної до будь-якої температури в межах робочої області температур, не перевищує основної похибки на кожні  $10^\circ \text{C}$  зміни температури.

3.8 Нестабільність вихідної напруги  $\Delta$  у відсотках протягом 15 хв. не перевищує значення, обчисленого за формулою:

$$\Delta = 0,2 \cdot \delta_0. \quad (\text{A. 2}).$$

3.9 Коефіцієнт гармонік вихідної напруги не перевищує значень, указаних у табл. А.2.

Таблиця А.2 – Залежність коефіцієнта гармонік від частоти

| Частота                | 10 Гц | 30 Гц -<br>100 кГц | 200 кГц -<br>3 МГц | 5-10 МГц | 15-30 МГц | 50 МГц |
|------------------------|-------|--------------------|--------------------|----------|-----------|--------|
| Коефіцієнт гармонік, % | 0,3   | 0,1                | 0,15               | 0,2      | 0,3       | 0,5    |

3.10 Активний вихідний опір приладу:

- не більш 1 Ом – при вихідній напрузі від 1 до 3 В;
- $30 \text{ Ом} \pm 3\%$  – при вихідній напрузі від 0,316 до 0,9 В;
- $50 \text{ Ом} \pm 3\%$  – при вихідній напрузі менш 0,316 В.

3.11 Час установлення вихідної напруги приладу не перевищує 15 с.

3.12 Прилад допускає дистанційний вибір фіксованої частоти й номінального значення вихідної напруги.

3.13 Прилад має вихід на цифродрукуючий пристрій (ЦДП) у паралельному двійково - десятковому коді 8-4-2-1 і вихід команди «СУ-ПРОВІД» в позитивній логіці з параметрами навантаження 10 кОм:

- рівень логічного “0” – від 0 до 0,4 В;
- рівень логічної “1” – від 2,4 до 4,5 В;
- тривалість – не менш 1 мс.

3.14 Час установлення робочого режиму 30 хв.

3.15 Прилад зберігає свої технічні характеристики при живленні його від мережі змінного струму напругою  $220 \pm 22 \text{ В}$ , частотою  $50 \pm 0,5 \text{ Гц}$  і вмістом га-

рмонік до 5%, і напругою  $220 \pm 11$  В частотою  $400 + 28/-12$  Гц і вмістом гармонік до 5%.

3.16 Потужність, споживана приладом від мережі змінного струму, при номінальній напрузі не перевищує 50 ВА.

3.17 Прилад допускає безперервну роботу в робочих умовах протягом 8 годин при збереженні своїх технічних характеристик у межах норм.

#### **4 Пристрій і робота приладу і його складових частин**

##### **4.1 Принцип дії.**

4.1.1 Принцип дії приладу полягає в перетворенні опорної напруги постійного струму в напругу змінного струму, що надходить на вихід приладу через атенюатор.

4.1.2 Структурна схема приладу наведена на рис. А.1. Прилад складається з наступних складових частин:

- генератор НЧ;
- генератор ВЧ;
- перетворювачів напруги змінного струму в напругу постійного струму;
- атенюатора;
- порівнюючого пристрою;
- джерела опорної напруги;
- коректора похибки;
- приладу відліку похибки;
- блока керування 1;
- блока керування 2;
- блока живлення.

Весь частотний діапазон приладу перекривається за допомогою двох генераторів фіксованих частот: низькочастотного (від 10 Гц до 100 кГц) і високочастотного (від 0,2 до 500 МГц). Вихідна напруга генераторів надходить на перетворювач напруги змінного струму, де перетворюється в напругу постійного струму, і через атенюатор – на вихід приладу. Перетворена напруга порівнюється з опорною напругою, що надходить із джерела опорної напруги, інтегрується та надходить на керуючий вхід низькочастотного або високочастотного генераторів.

У результаті на вході атенюатора підтримується напруга змінного струму, значення якої з високою точністю відповідає значенню опорної напруги.

Точність перетворення забезпечується глибоким негативним зворотним зв'язком, що охоплює перераховані вище функціональні вузли, стабільністю джерела опорної напруги й перетворювача напруги змінного струму в напругу постійного струму.

Зміною рівня опорної напруги на виході приладу забезпечуються напруги значеннями від 3В до 1В. Подальше зменшення вихідної напруги до 100 мкВ здійснюється східчастим атенюатором. Для зменшення похибки вихідної напруги приладу в опорну напругу вводиться корекція похибки атенюатора залежно від частоти й ослаблення. При вихідних напругах 1-3 В (ослаблення атенюатора 0 дБ) на виході приладу включений другий перетворювач напруги

змінного струму в напругу постійного струму, що забезпечує на частотах 30-50 МГц необхідну точність вихідної напруги. Відлік похибки вольтметра, який повіряється, здійснюється за допомогою вбудованого цифрового вольтметра, що показує різницю між номінальним і встановленим значенням опорної напруги у відсотках.

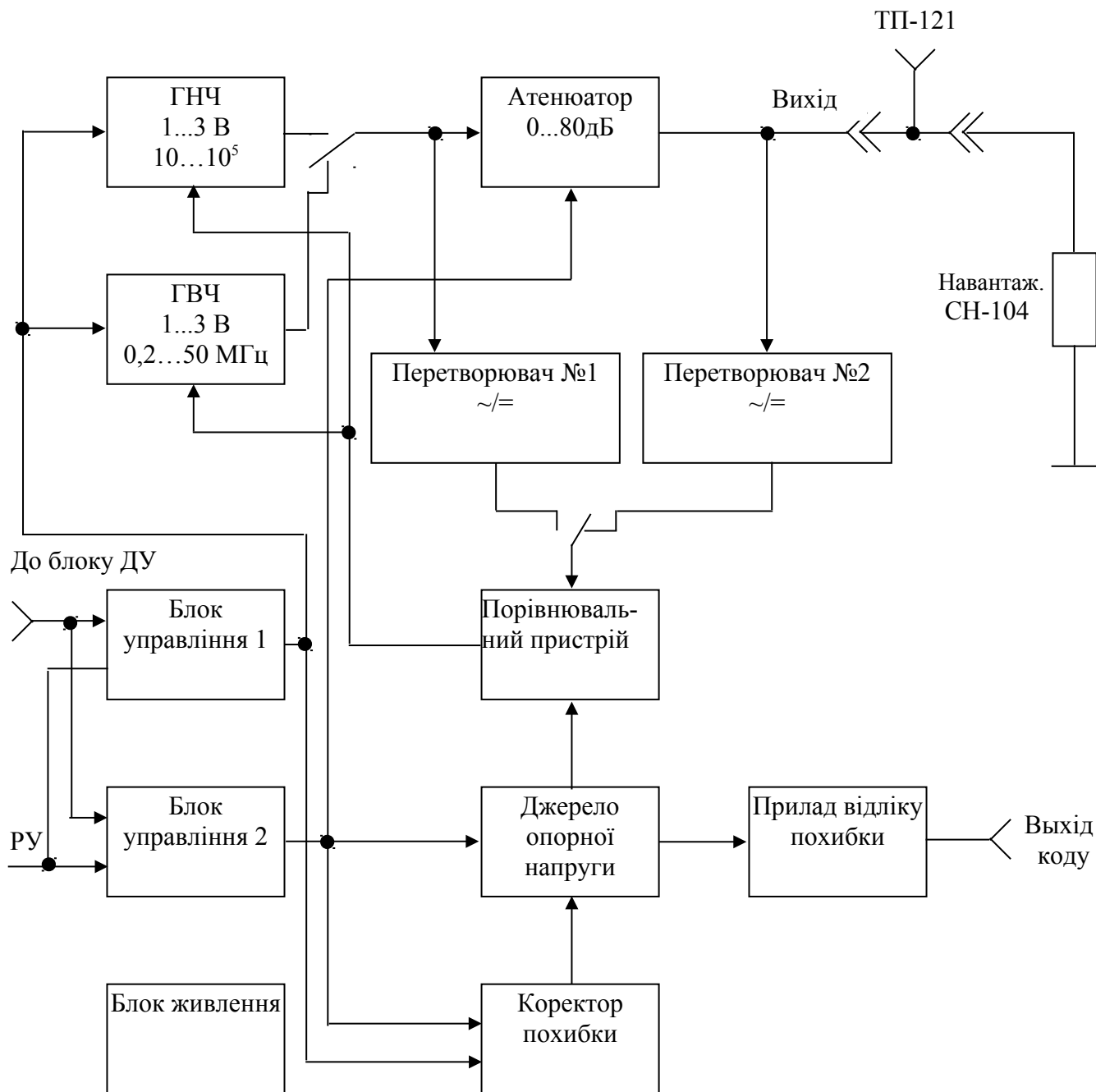


Рисунок А. 1 – Структурна схема

У приладі передбачена можливість дистанційного керування частотою й значенням вихідної напруги. Для цього в приладі є блоки керування 1 і 2. У приладі також передбачена можливість реєстрації результатів вимірювання за допомогою ЦДП.

Живлення складових частин приладу здійснюється від стабілізаторів +5В, +15В, мінус 15В, +27В, випрямляча +250 В.

### 5 Зовнішній огляд і випробування установки

5.1 При проведенні зовнішнього огляду повинно бути встановлено відсутність механічних ушкоджень, стан лакофарбових покриттів і чіткість маркування.

#### 5.2 Випробування.

Для випробування приладу необхідно:

- включити прилад у мережу, при цьому повинна світитися індикаторна лампочка;
- установити перемикач піддіапазонів у положення «10 мВ»;
- плавно повертаючи ручку потенціометра «0 ГРУБО», а при наближенні до нульової позначки шкали – потенціометром «0 ТОЧНО», установити показчик приладу в чорну область на початку шкали. Електричний нуль встановлений правильно, якщо показчик коливається в межах чорної області шкали.

### 6. Підготовка установки до роботи

6.1 Прилад підготовляється в наступній послідовності:

- заземліть прилад за допомогою клеми;
- приєднайте до приладу навантаження СН-104 через трійниковий перехід ТП-121;
- натисніть кнопки  $10, \times 10^2$  перемикачів «ЧАСТОТА, Hz», кнопки 3 і  $\times 0$  перемикачів «ВЫХОДНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ, mV»;
- увімкніть вилку шнура живлення приладу в мережну розетку.

Таблиця А. 3 – Припустимі значення вхідної ємності

| Частота вихідної напруги | Припустиме значення вхідної ємності вольтметра, що перевіряється, пФ |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 10 Гц - 10 кГц           | 2000                                                                 |
| 20 кГц - 0,1 МГц         | 300                                                                  |
| 0,2 - 1 МГц              | 100                                                                  |
| 3 - 10 МГц               | 30                                                                   |
| 15 - 30 МГц              | 10                                                                   |
| 50 МГц                   | 6                                                                    |

6.2 При значеннях вихідної напруги менше 1 В необхідно враховувати похибку, що виникає від шунтуючої дії вхідного опору й вихідної ємності вольтметра, що перевіряється. У цьому випадку похибку вольтметра, що перевіряється, обчислюють за формулою А.3:

$$\delta_u = \delta_n + \frac{K}{R_H}, \quad (\text{А.3})$$

де  $\delta_u$  – похибка вольтметра, що перевіряється, %;

$\delta_n$  – похибка вольтметра, що перевіряється, з цифрового табло В1-16, %;



$K$  – коефіцієнт, що враховує шунтуючу дію вольтметра, який перевіряється;

для напруг від 0,316 до 0,9 В  $K = 1,87$ ;

для напруг менше 0,316 В  $K = 2,5$ ;

$R_n$  – вхідний опір приладу, що перевіряється, кОм.

6.3 При визначенні вимірювання показань вольтметра, що перевіряється, в області частот від 10 МГц варто враховувати, що зміна вихідної напруги  $\delta_4$  приладу у відсотках при зміні частоти вихідної напруги щодо частоти 1 кГц не перевищує значення, обчисленого за формулою:

$$\delta_4 = \pm \left( 0,008 + \frac{\delta_{10}}{10} \cdot f \right) \quad (\text{A.4})$$

де  $\delta_{10}$  – межа основної допускаємої похибки номінального значення вихідної напруги, зазначеної в пункті 2.2.4, % на частоті 10 МГц;

$f$  – частота вихідної напруги, МГц.

6.4 Підготовка приладу В1-16 до вимірювань:

- увімкніть прилад тумблером “СЕТЬ”, при цьому повинні засвітитися знаки на цифровому табло, і дайте прогрітись приладу протягом 30 хв.

- установіть ручками “ГРУБО” й “ТОЧНО” показання табло рівними 0,00%.

- установіть показання вольтметра, який калібрується рівними нулю при натиснутій кнопці Х0 перемикача вихідної напруги.

## 7. Порядок роботи

7.1 Вимірювання основної (відносної) похибки проводити в наступній послідовності:

- установіть потрібний піддіапазон за допомогою перемикача піддіапазонів вимірювань вольтметра, який калібрується;

- установіть кнопкою перемикачів “ЧАСТОТА, Hz” або “ЧАСТОТА, MHz” необхідне значення частоти рівне 1 МГц вихідної напруги приладу;

- установіть перемикачами „ВЫХОДНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ, mV” та „МНОЖИТЕЛЬ” установки В1-16 на необхідну вхідну напругу;

- установіть за допомогою ручок „УСТ.ВЫХ.НАПРЯЖ.”, „ГРУБО” та „ТОЧНО” установки В1-16 показчик вольтметра, точно на потрібну позначку;

- зняти відлік значення відносної похибки вольтметра, який калібрується із цифрового табло приладу. Значення приведеної похибки вольтметра визначається за формулою:

$$\gamma = \delta \frac{U_{\text{вх}}}{U_{\text{кал}}}, \quad (\text{A.5})$$

де  $\delta$  – відлік з шкали установки;

$U_{\text{гран}}$  – граничне значення;

$U_{\text{кал}}$  – напруга, що відповідає контрольованій точці.

Результати вимірювань і розрахунків записати в табл. 5.1.

7.2 Визначення залежності похибки показань вольтметра, який калібрується, від частоти відносно показань на частоті градування (1 МГц) у робочих областях частот на частотах: 20; 30; 45 Гц; 1 кГц; 100 кГц та 5; 10; 30; 50 МГц на верхніх границях піддіапазонів 1; 3; 10; 30; 100; 300 мВ, 1 В; 3 В.

Вимірювання проводяться в такому порядку:

- підключіть гніздо “ВЫХОД” приладу В1-16 до вольтметра, який калібрується. За допомогою перемикача піддіапазонів установити потрібне значення частоти;

- установіть за допомогою ручок „УСТ.ВЫХ.НАПРЯЖ.”, „ГРУБО” „ТОЧНО” приладу В1-16 показчик вольтметра, який калібрується, як можна точніше на потрібну позначку;

- визначить значення відносної похибки за цифровим індикатором приладу В1-16;

- розрахувати значення похибки вольтметра як алгебричну різницю між похибкою вольтметра на частоті 1 МГц (яка визначалася в попередньому пункті) і похибкою вольтметра в межах робочої області частот визначеною за допомогою приладу В1-16;

- значення похибок занести в табл. 5.2.

Похибка зміни показань вольтметра, який калібрується, не повинна перевищувати припустимих значень, указаних у технічній документації.

7.3. Визначення варіації показань вольтметра, який калібрується.

Вимірювання варіації робити в наступному порядку:

- вимірювання робити на піддіапазоні з верхньою межею 100 мВ;

- плавно підвести показчик до позначки, яка повіряється, збоку початкової оцінки шкали;

- результат записати в табл. 5.3, як відлік за цифровим індикатором установки при прямому ході;

- плавно підвести показчик до позначки, яка повіряється, збоку кінцевої позначки шкали;

- результат записати в табл. 5.3, як відлік за цифровим індикатором установки при прямому ході;

- розрахувати варіацію показань за формулою  $H = \left| \delta_{\text{прям}} - \delta_{\text{обрат}} \right|$ .

Варіація показань не повинна перевищувати 1%, тобто  $H = \left| \delta_{\text{прям}} - \delta_{\text{обрат}} \right| \leq 1\%$ .

7.4 Опір ізоляції ланцюга живлення визначити в нормальних умовах за допомогою мегомметра М4100, який одним проводом підключити до сполучних контактів вилки мережного живлення приладу, що повіряється, а іншим проводом – до його корпусу. Опір ізоляції повинен бути не менш 20 МОм.

7.5 Опір захисного заземлення визначити за допомогою вольтметра ВУ-15 та амперметра М2018.

## ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 2

### РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ НАПРУГИ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ

#### 1 КЛЮЧОВІ ПОЛОЖЕННЯ

1.1 Електричні сигнали (напруга або струм), які використовуються в телекомунікаційних системах та інформаційних мережах, характеризуються чотирма основними параметрами: піковим, середнім, середньовипрямленим і середньоквадратичним значеннями.

Пікове значення  $U_m$  (амплітудне – для синусоїдних сигналів) – найбільше миттєве значення напруги за період (при різнополярних несиметричних кривих напруги розрізняють позитивні та негативні пікові значення).

Середнє значення за час вимірювання (або за період) – постійна складова напруги:

$$U_{\text{сєд}} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt. \quad (1.1)$$

Середньовипрямлене значення (СВЗ) – це середнє значення модуля напруги за період:

$$U_{\text{нâç}} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt. \quad (1.2)$$

При однополярних напругах середнє значення (постійна складова) дорівнює середньовипрямленому. При різнополярних напругах ці два параметри різні. Наприклад, для синусоїдної напруги  $U_{\text{нâд}} = 0$ , а  $U_{\text{нâç}} = 0,637U_m$ .

Середньоквадратичне значення (СКЗ) напруги за час вимірювання (або за період)

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}. \quad (1.3)$$

Відзначимо, що квадрат середньоквадратичного значення періодичної напруги несинусоїдної форми дорівнює сумі квадратів середньоквадратичних значень постійної й всіх інших гармонійних складових цієї напруги:

$$U^2 = U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots, \quad (1.4)$$

$$U = \sqrt{\sum_{k=0}^{\infty} U_k^2}. \quad (1.5)$$

1.2 Зв'язок між піковим (амплітудним) і середньоквадратичним значеннями напруги даної форми встановлюється за допомогою коефіцієнта амплітуди, рівного відношенню пікового значення до середньоквадратичного:

$$K_a = U_m / U. \quad (1.6)$$

Зв'язок між середньоквадратичним і середньовипрямленим значеннями встановлюється за допомогою коефіцієнта форми кривій, обумовленого відношенням середньоквадратичного значення до середньовипрямленого:

$$K_{\hat{o}} = U / U_{\text{нв}}. \quad (1.7)$$

Іноді зручно користуватися коефіцієнтом усереднення

$$\hat{E}_y = \hat{E}_a \hat{E}_o = \frac{U_m}{U_{\text{нв}}}. \quad (1.8)$$

У техніці зв'язку коефіцієнт амплітуди називають пік-фактором. Його прийнято виражати у відносних та логарифмічних одиницях:  $20 \lg(U_m / U)$  дБ. Коефіцієнт форми називають форм-фактором і також виражають у відносних та логарифмічних одиницях:  $20 \lg(U / U_{\text{нв}})$  дБ.

При будь-якій формі напруги завжди справедлива умова:

$$U_m \geq U \geq U_{\text{свз}}, \text{ а також } K_y \geq K_a \geq K_{\phi} \geq 1.$$

1.3 Для того, щоб розрахувати коефіцієнти  $\hat{E}_a$ ,  $K_o$ ,  $\hat{E}_y$ , необхідно процес  $u(t)$  записати в аналітичній формі, обчислити інтеграли, а потім отримані результати підставити у вирази (1.6) ... (1.8). При цьому інтервал інтегрування  $T$  зручно задавати рівним одному періоду  $T_0$  або його частці. Наприклад, для пилоподібної напруги (рис. 1.1, а) і прямокутного процесу типу «меандр» (рис. 1.1, б) зручно задавати  $T = \frac{T_0}{2}$ , а для трикутного (рис. 1.1, г) –  $T = \frac{T_0}{4}$ .

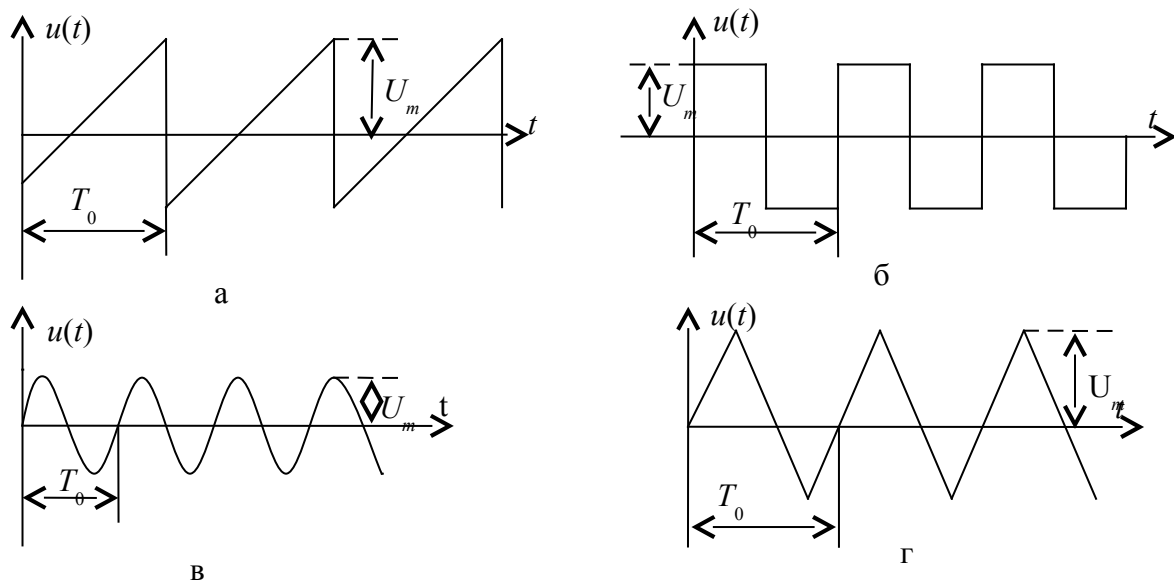


Рисунок 1.1– Зображення різних форм періодичних процесів

Приклад 1.1. Розрахунок коефіцієнтів  $K_a$ ,  $K_{\phi}$ ,  $K_y$  для сигналу, наведеного на рис. 1.2.

1 Запишемо заданий процес в аналітичній формі (так як сигнал має симетричну форму, то наведено запис тільки для половини періоду):

$$u(t) = \begin{cases} kt; 0 \leq t \leq \frac{1}{8}T \\ U_m; \frac{1}{8}T \leq t \leq \frac{3}{8}T \\ |kt|; \frac{3}{8}T \leq t \leq \frac{4}{8}T \end{cases},$$

де  $k = \operatorname{tg} \alpha = \frac{8U_m}{T}$ .

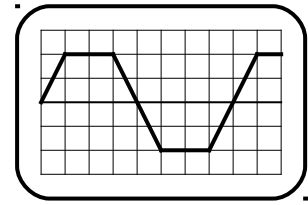


Рисунок 1.2 –  
Періодичний процес  
трапецієвидної  
форми

2 Визначимо середньовипрямлене значення напруги,

$$U_{\text{нв}} = \frac{1}{T} \left[ 4 \int_0^{\frac{T}{8}} kt \cdot dt + 2 \int_0^{\frac{T}{4}} U_m dt \right] = \frac{1}{T} \left[ 4k \frac{t^2}{2} \Big|_0^{\frac{T}{8}} + 2U_m t \Big|_0^{\frac{T}{4}} \right] =$$

$$\frac{1}{T} \left[ 4 \frac{U_m \cdot 8}{T} \cdot \frac{T^2}{2 \cdot 64} + 2U_m \frac{T}{4} \right] = \frac{3}{4} U_m.$$

3 Визначимо середньоквадратичне значення напруги

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \left[ 4 \int_0^{\frac{T}{8}} (kt)^2 dt + 2 \int_0^{\frac{T}{4}} U_m^2 dt \right]} = \sqrt{\frac{1}{T} \left[ 4k^2 \frac{t^3}{3} \Big|_0^{\frac{T}{8}} + 2U_m^2 t \Big|_0^{\frac{T}{4}} \right]}.$$

Після підстановки одержимо

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \left[ 4 \frac{64U_m^2}{T^2} \frac{T^3}{64 \cdot 8 \cdot 3} + 2U_m^2 \frac{T}{4} \right]} = U_m \sqrt{\frac{2}{3}}.$$

4 За формулами (1.3)...(1.5) розрахуємо коефіцієнти:

$$K_a = \frac{U_m}{U} = \frac{U_m}{U_m \sqrt{2/3}} = \frac{1}{\sqrt{2/3}}, \quad K_{\text{д}} = \frac{U}{U_{\text{нв}}} = \frac{U_m \sqrt{2/3}}{3/4 U_m} = \sqrt{2/3} / \frac{3}{4}, \quad K_y = \frac{U_m}{3/4 U_m} = \frac{4}{3}.$$

1.4 Сучасні електронні вольтметри змінного струму будують переважно за принципом перетворення змінної напруги в постійну з наступним його вимірюванням. Це пояснюється тим, що всі параметри змінної напруги, що нас цікавлять, являють собою постійну складову процесу, отриманого з вихідного сигналу шляхом того або іншого перетворення, наприклад, зведення у квадрат, двохпівперіодного випрямлення, запам'ятовування максимального миттєвого значення.

1.5 Електронні вольтметри можна класифікувати за різними ознаками:

- за призначенням: В1 – зразковий вольтметр, В2 – вольтметр для вимірювання постійної напруги, В3 – вольтметр для вимірювання змінної напруги, В4 – вольтметр для вимірювання імпульсної напруги, В5 – фазочутливий вольтметр, В6 – селективний вольтметр, В7 – універсальний вольтметр, В8 – вольтметр для вимірювання відносин напруг або їх різниць;

- за типом відлікового пристрою – аналогові й цифрові;

- за методом вимірювання – прямого порівняння з мірою й нульові (компенсаційні);

- за вимірюваним параметром напруги – пікові (амплітудні), середньоквадратичного та середньовипрямленого значень;

- за частотним діапазоном – низькочастотні, високочастотні, надвисокочастотні, широкодіапазонні;

- за схемою входу (щодо постійної складової струму) – з відкритим і закритим входом.

1.6 Основними вузлами електронного вольтметра є: вхідний пристрій, підсилювач змінної напруги, вимірювальний перетворювач змінної напруги в постійну, підсилювач постійної напруги (струму), аналоговий або цифровий вимірник постійного струму (напруги).

Вимірювальний перетворювач змінної напруги в постійну напругу або струм (будемо далі називати його ВПН) – найважливіший вузол вольтметра, що визначає вимірюваний параметр напруги (пікове, середньоквадратичне або середньовипрямлене значення напруги).

1.7 Так як історично склалося, що першим з'явилася змінна напруга синусоїдної форми і по теперішній час вона є найбільш використовуваною, то комісією МЕК було ухвалено рішення градуювати більшість шкал електронних вольтметрів, крім імпульсних (типу В4-, які градуюють у пікових значеннях), в середньоквадратичних значеннях гармонійної напруги. Оскільки для цієї напруги коефіцієнти амплітуди та форми, відповідно рівні  $K_a = 1,41$  і  $K_\phi = 1,11$ , то ці коефіцієнти були використані при градуюванні шкал вольтметрів. Зокрема, показання пікового вольтметра для будь-якої форми сигналу завжди менше пікового значення вимірюваної напруги в 1,41 рази, а показання вольтметра СВЗ в 1,11 рази більше середньовипрямленого значення вимірюваної напруги. Лише для гармонійної напруги відліки за шкалами вольтметрів з різними видами ВПН однакові та дорівнюють  $U_{\text{нвс}}$ .

Для вольтметра СКЗ коефіцієнт градуювання дорівнює 1, отже, показання вольтметра СКЗ не залежать від форми вимірюваної напруги.

Проілюструвати це можна схемою, наведеною на рис.1.3, де  $A$  – показання вольтметрів.

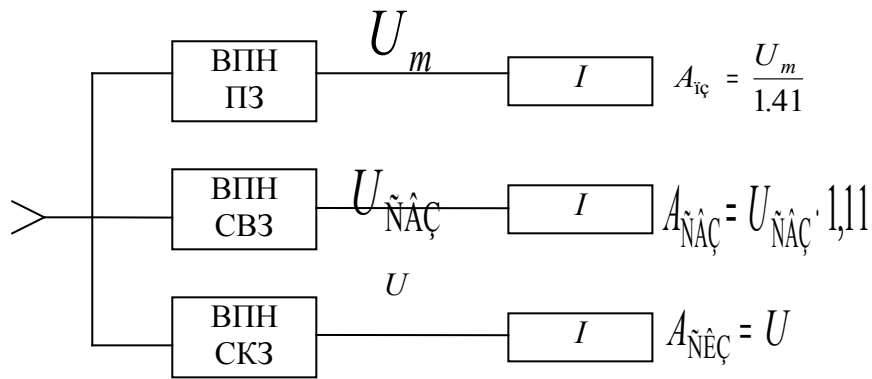


Рисунок 1.3 – Схема, що пояснює принцип градуювання шкал електронних вольтметрів

Із цієї схеми легко визначити параметри змінної напруги з показань приладів:

$$U_m = 1,41A_{\text{ПЗ}}, \quad U_{\text{СВЗ}} = A_{\text{СВЗ}}/1,11, \quad U = A.$$

Якщо відомі коефіцієнти  $K_a$  та  $K_\phi$  вимірюваної напруги, то з одного із параметрів цієї напруги ( $U_m$ ,  $U$  або  $U_{\text{СВЗ}}$ ) можна визначити два інших, використовуючи формули (1.6) і (1.7).

Як ми вже відзначали, виключення становлять імпульсні вольтметри типу В4 – шкали яких градуюють в амплітудних (пікових) значеннях, тобто показання таких вольтметрів завжди дорівнюють  $A = U_m$ .

Знаючи правило градуювання вольтметрів, визначення коефіцієнтів (1.6)...(1.8), тип ВПН, можна завжди прогнозувати очікувані показання вольтметра, виключити методичні похибки, пов'язані з довільною формою вимірюваної напруги.

## 2 ПРИКЛАД РІШЕННЯ ЗАВДАННЯ

### Приклад 2.1

Таблиця 2.1 – Умова завдання

| Варі-<br>ант | Тип<br>вольт-<br>метра | Пока-<br>зання | $U_m$ | $U_{\hat{N}\hat{A}\hat{C}}$ | $U$ | $K_a$ | $K_\phi$ | $K_y$ | Осцилограма або<br>математична<br>модель напруги | Коеф.<br>відх.<br>В/поділ. | Коеф.<br>Розг.<br>мкс/<br>поділ. |
|--------------|------------------------|----------------|-------|-----------------------------|-----|-------|----------|-------|--------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| W            | В3-56                  | ?              |       |                             |     |       |          |       |                                                  | 2                          | 5                                |
|              | В7-26                  | ?              | ?     | ?                           | ?   | ?     | ?        | ?     |                                                  |                            |                                  |
|              | В3-38                  | ?              |       |                             |     |       |          |       |                                                  |                            |                                  |

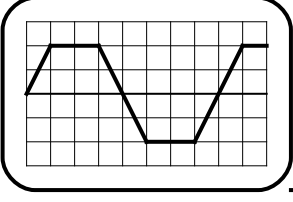
## Рішення

1. Визначаємо коефіцієнти  $K_a$ ,  $K_\phi$ ,  $K_y$  для заданої форми напруги (як показано в прикладі 1.1).

$$K_a = \frac{U_m}{U} = \frac{1}{\sqrt{2/3}}, \quad K_\phi = \frac{U}{U_{\text{н\acute{a}\phi}} = \sqrt{2/3} / \frac{3}{4}, \quad K_y = \frac{4}{3}.$$

Результати заносимо в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Рішення прикладу 2.1

| Варіант | Тип вольтметра | Показання А, В | $U_m$<br>В | $U_{\text{н\acute{a}\phi}}$<br>В | $U$<br>В | $K_a$                  | $K_\phi$                 | $K_y$         | Осцилограма або математична модель напруги                                         | Коеф. відх. В/поділ. | Коеф. розг. мкс/поділ. |
|---------|----------------|----------------|------------|----------------------------------|----------|------------------------|--------------------------|---------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------------------|
| W       | B3-56          | 3,28           | 4          | 3,28                             | 3,01     | $\frac{1}{\sqrt{2/3}}$ | $\frac{4/3}{\sqrt{2/3}}$ | $\frac{4}{3}$ |  | 2                    | 5                      |
|         | B7-26          | 2,84           |            |                                  |          |                        |                          |               |                                                                                    |                      |                        |
|         | B3-38          | 3,34           |            |                                  |          |                        |                          |               |                                                                                    |                      |                        |

2 З табл. А.1 (Додаток А) основних технічних характеристик електронних вольтметрів визначаємо тип вимірювального перетворювача напруги (ВПН) для зазначених у завданні приладів: В7-26 має ВПН пікових значень, В3-56 середньоквадратичних і В3-38 – середньовипрямлених значень.

3 Перевіряємо, чи перебуває частота вимірюваного сигналу в межах частотного діапазону вольтметрів і робимо висновок про відповідність умовам вимірювання.

Період вимірюваної напруги визначаємо з осцилограми. Для розглянутого варіанта  $T = l \cdot K_{\phi\text{н\acute{a}\phi}} = 8 \cdot 5 \cdot \frac{1}{\sqrt{2/3}} = 40$  мкс,  $f = 25$  кГц. Отже, всі вольтметри задовольняють умовам.

4 Пікове значення напруги визначаємо з осцилограми

$U_m = K_{\text{н\acute{a}\phi}} \cdot h$ , де  $h$  – число поділок, що відповідають піковому значенню сигналу.

$$U_m = 2 \text{ В/поділ} \cdot 2 \text{ поділ} = 4 \text{ В}.$$

5 Середньоквадратичне значення напруги визначаємо з формули

$$U = \frac{U_m}{K_a} = \frac{4}{1,22} = 3,28 \text{ В}.$$

6 Середньовипрямлене значення напруги визначаємо з формули

$$U_{\text{н\acute{a}\phi}} = \frac{U}{K_\phi} = \frac{3,28}{1,09} = 3,01 \text{ В, або } U_{\text{н\acute{a}\phi}} = \frac{U_m}{\hat{E}_\phi} = \frac{4}{1,33} = 3,01 \text{ В}.$$

Розраховані значення напруг заносимо в табл. 2.2.



7 Визначимо показання вольтметра ВЗ-56 з ВПН середньоквадратичних значень. Відповідно до правил градуювання показання таких вольтметрів дорівнюють середньоквадратичному значенню, тобто 3,28 В.

8 Визначимо показання вольтметра В7-26 з ВПН пікових значень. Показання таких вольтметрів завжди менше вимірюваного ними пікового значення в 1,41 рази, тобто  $A_{\text{пз}} = \frac{U_m}{1,41} = 2,84 \text{ В}$ , де  $A_{\text{пз}}$  показання вольтметра з ВПН пікових значень.

9 Визначимо показання вольтметра ВЗ-38 з ВПН середньовипрямлених значень. Показання таких вольтметрів завжди більше вимірюваного ними середньовипрямленого значення в 1,11 рази, тобто

$$A_{\text{пз}} = U_{\text{пз}} \cdot 1,11 = 3,01 \text{ В} \cdot 1,11 = 3,34 \text{ В}.$$

Отримані дані заносимо в табл. 2.2.

*Примітка.* При рішенні свого варіанта студент повинен привести проміжні результати визначення  $K_a$ ,  $K_\phi$ ,  $K_y$ , параметрів досліджуваного процесу й очікуваних показань вольтметра.

Варіанти завдань наведені у додатку Б.

### 3 ЛІТЕРАТУРА

1. Метрологія в галузі зв'язку / Л.В. Коломієць, М.Т. Козаченко й ін. – Кн. 1. – Одеса: Стандарт, 2006.
2. Метрологія в галузі зв'язку / Л.В. Коломієць, М.Т. Козаченко й ін. – Кн. 2. – Одеса: Стандарт, 2007.
3. Метрология, стандартизация и измерения в технике связи: Учеб. пособие для вузов / Б.П. Хромой, А.В. Кандинов, А.Л. Сенявский и др.; Под ред. Б. П. Хромого. – М.: Радио и связь, 1986.
4. ДСТУ 2681-94. Державна система забезпечення єдності вимірювань. Метрологія. Терміни та визначення.

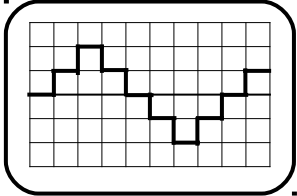
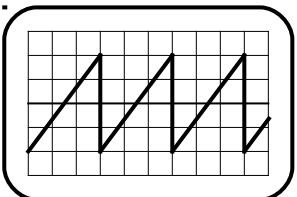
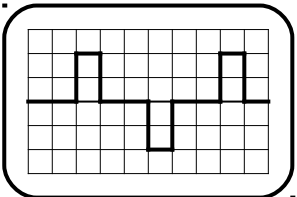
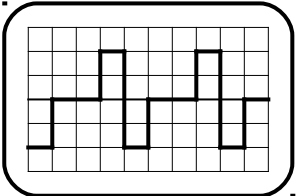
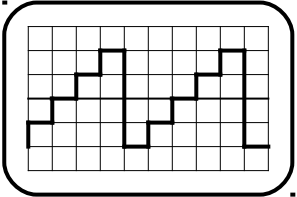
## ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Основні технічні характеристики вольтметрів

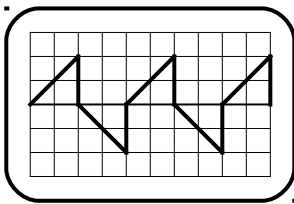
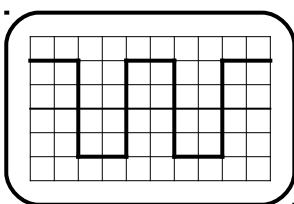
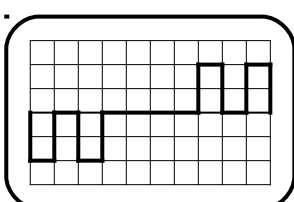
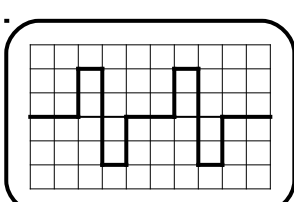
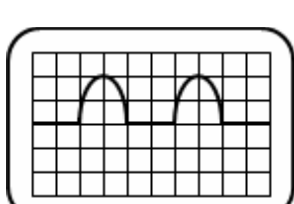
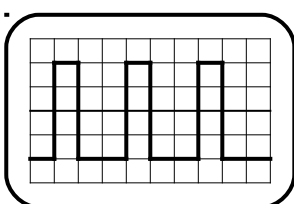
| Тип вольтметра | Тип ВПН | Діапазон вимірюваної напруги | Частотний діапазон | Основна допустима похибка (клас точності) |
|----------------|---------|------------------------------|--------------------|-------------------------------------------|
| ВЗ-6           | СКЗ     | 150 мкВ...200 В              | 5 Гц...1 МГц       | 6 %                                       |
| ВЗ-20          | СКЗ     | 2 мВ...300 В                 | 45 Гц...300 кГц    | 1,5 %                                     |
| ВЗ-40          | СКЗ     | 10 мкВ...300 В               | 5 Гц...5 МГц       | 4 %                                       |
| ВЗ-42          | СКЗ     | 30 мкВ...300 В               | 10 Гц...5 МГц      | 4 %                                       |
| ВЗ-45          | СКЗ     | 0,3 мВ...300 В               | 20 Гц...50 МГц     | 4 %                                       |
| ВЗ-49          | СКЗ     | 10 мВ... 100 В               | 20 Гц... 1000 МГц  | $\left(0,2 + \frac{0,08}{U_X}\right)\%$   |
| ВЗ-53          | СКЗ     | 0,1 мВ...300 В               | 20 Гц...1 МГц      | 2,5 %                                     |
| ВЗ-55          | СКЗ     | 0,1 мВ...300 В               | 10 Гц...50 МГц     | 2,5 %                                     |
| ВЗ-56          | СКЗ     | 0,1 мВ...300 В               | 10 Гц...15 МГц     | 4 %                                       |
| ВЗ-57          | СКЗ     | 100 мкВ...300 В              | 5 Гц...5 МГц       | 2,5 %                                     |
| ВЗ-33          | СВЗ     | 30 мкВ...300 В               | 10 Гц...1 МГц      | 2,5 %                                     |
| ВЗ-38          | СВЗ     | 0,1 мВ...300 В               | 20 Гц...5 МГц      | 4 %                                       |
| ВЗ-39          | СВЗ     | 0,1 мВ...300 В               | 20 Гц...10 МГц     | 4 %                                       |
| ВЗ-41          | СВЗ     | 0,3 мВ...300 В               | 20 Гц...10 МГц     | 4 %                                       |
| ВК7-10         | СВЗ     | 1 мВ...1000 В                | 20 Гц...20 кГц     | $0,2 U_x + 2$ од. лічби.                  |
| ВК7-10/А       | СВЗ     | 1 мВ...1000 В                | 20 Гц...20 кГц     | $0,2 U_x + 2$ од. лічби.                  |
| В4-12          | ПЗ      | 1 мВ...1 В                   | 500 Гц...5 МГц     | 4 %                                       |
| В4-13          | ПЗ      | 0,1...150 В                  | 10 Гц...1 МГц      | $0,005 U_x + 0,02$ В                      |
| В4-14          | ПЗ      | 10 мВ...1 В                  | 1...100 МГц        | 6 %                                       |
| В4-17          | ПЗ      | 0,1...1000 В                 | 100 Гц...5 МГц     | $1,5 \% + 1$ од. лічби.                   |
| В4-18          | ПЗ      | 1...500 В                    | 500 Гц... 10 МГц   | 6 %                                       |
| В4-20          | ПЗ      | 0,1...250 В                  | 10 Гц...50 МГц     | $\left(0,3 + \frac{0,2}{U_m}\right)\%$    |
| В7-26          | ПЗ      | 200 мВ...300 В               | 20 Гц...1000 МГц   | 4 %                                       |
| ВК7-15         | ПЗ      | 1...1000 В                   | 20 Гц...700 МГц    | 6 %                                       |

## ДОДАТОК Б

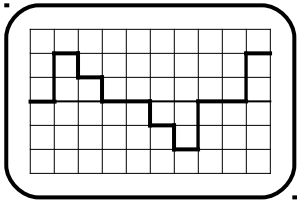
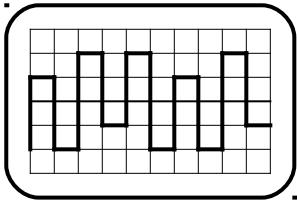
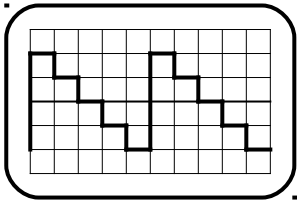
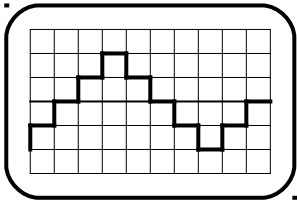
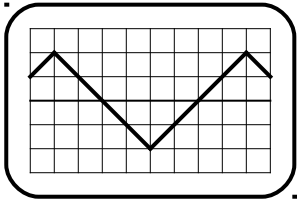
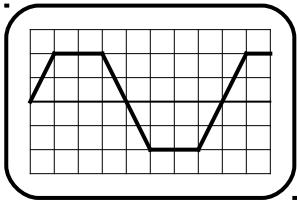
Таблиця Б.1. Варіанти завдань.

| Варіант | Тип<br>вольт-<br>метра | Пока-<br>зання | $U_m$ | $U_{свз}$ | $U$ | $K_a$      | $K_\phi$             | $K_y$ | Осцилограма або<br>математична модель<br>напруги                                     | Коеф.<br>відх.<br>В/под | Коеф.<br>розг.<br>мкс/<br>поділ |
|---------|------------------------|----------------|-------|-----------|-----|------------|----------------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| 1       | B7-26                  | ?              |       |           |     |            |                      |       |    | 10                      | 2                               |
|         | B3-42                  | ?              | ?     | ?         | ?   | ?          | ?                    | —     |                                                                                      |                         |                                 |
|         | B3-38                  | ?              |       |           |     |            |                      |       |                                                                                      |                         |                                 |
| 2       | B3-38                  | 10 В           |       |           |     |            |                      |       |    | —                       | 5                               |
|         | B4-17                  | ?              | ?     | ?         | ?   | $\sqrt{3}$ | $\frac{2}{\sqrt{3}}$ | 2     |                                                                                      |                         |                                 |
|         | B3-40                  | ?              |       |           |     |            |                      |       |                                                                                      |                         |                                 |
| 3       | B4-12                  | ?              |       |           |     |            |                      |       |   | -                       | 1                               |
|         | BK7-15                 | ?              | ?     | ?         | ?   | ?          | ?                    | ?     |                                                                                      |                         |                                 |
|         | B7-26                  | 1 В            |       |           |     |            |                      |       |                                                                                      |                         |                                 |
| 4       | BK7-10                 | ?              |       |           |     |            |                      |       |  | 2                       | 2                               |
|         | B7-26                  | ?              | ?     | ?         | ?   | ?          | ?                    | ?     |                                                                                      |                         |                                 |
|         | B4-20                  | ?              |       |           |     |            |                      |       |                                                                                      |                         |                                 |
| 5       | B3-53                  | ?              |       |           |     |            |                      |       |  | 1                       | 1                               |
|         | B4-18                  | ?              | ?     | ?         | ?   | ?          | ?                    | ?     |                                                                                      |                         |                                 |
|         | B3-41                  | ?              |       |           |     |            |                      |       |                                                                                      |                         |                                 |
| 6       | BK7-15                 | 1 В            |       |           |     |            |                      |       | —                                                                                    | —                       | —                               |
|         | B3-56                  | 0,5 В          | ?     | ?         | ?   | ?          | ?                    | ?     |                                                                                      |                         |                                 |
|         | B3-39                  | 0,5 В          |       |           |     |            |                      |       |                                                                                      |                         |                                 |

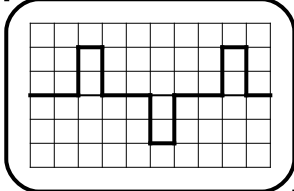
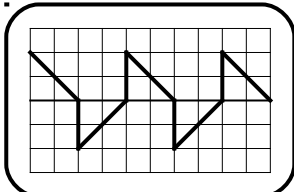
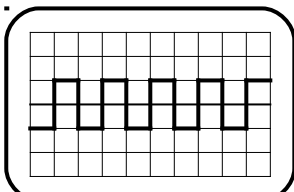
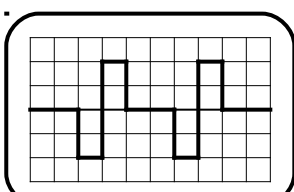
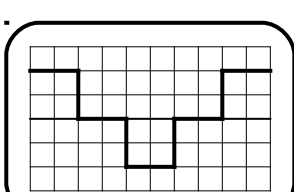
Продовження таблиці Б.1

| Варіант | Тип<br>вольт-<br>метра | Пока-<br>зання | $U_m$ | $U_{свз}$ | $U$ | $K_a$ | $K_\phi$ | $K_y$ | Осцилограма або<br>математична модель<br>напруги                                     | Коеф.<br>відх.<br>В/под | Коеф.<br>розг.<br>мкс/<br>поділ |
|---------|------------------------|----------------|-------|-----------|-----|-------|----------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| 7       | B3-38                  | ?              |       |           |     |       |          |       |    | 1                       | 2                               |
|         | B3-55                  | ?              | ?     | ?         | ?   | ?     | ?        | ?     |                                                                                      |                         |                                 |
|         | B7-26                  | ?              |       |           |     |       |          |       |                                                                                      |                         |                                 |
| 8       | B3-39                  | ?              |       |           |     |       |          |       |    | 5                       | 1                               |
|         | B3-20                  | ?              | ?     | ?         | ?   | ?     | ?        | ?     |                                                                                      |                         |                                 |
|         | B4-12                  | ?              |       |           |     |       |          |       |                                                                                      |                         |                                 |
| 9       | BK7-15                 | ?              |       |           |     |       |          |       |   | 5                       | 2                               |
|         | B3-40                  | ?              | ?     | ?         | ?   | ?     | ?        | ?     |                                                                                      |                         |                                 |
|         | B3-38                  | ?              |       |           |     |       |          |       |                                                                                      |                         |                                 |
| 10      | B4-13                  | 10 В           |       |           |     |       |          |       |  | —                       | 2                               |
|         | B7-26                  | ?              | ?     | ?         | ?   | ?     | ?        | ?     |                                                                                      |                         |                                 |
|         | BK7-10                 | ?              |       |           |     |       |          |       |                                                                                      |                         |                                 |
| 11      | B3-45                  | ?              |       |           |     | 2,82  | 2,22     | —     |  | —                       | 1                               |
|         | B7-26                  | ?              | ?     | ?         | ?   |       |          |       |                                                                                      |                         |                                 |
|         | B3-41                  | 1 В            |       |           |     |       |          |       |                                                                                      |                         |                                 |
| 12      | B7-26                  | ?              |       |           |     |       |          |       |  | 1                       | 1                               |
|         | B3-33                  | ?              | ?     | ?         | ?   | ?     | ?        | ?     |                                                                                      |                         |                                 |
|         | B3-53                  | ?              |       |           |     |       |          |       |                                                                                      |                         |                                 |

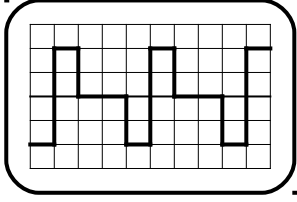
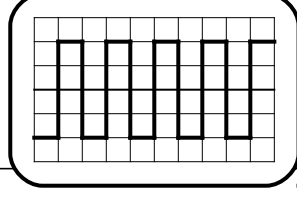
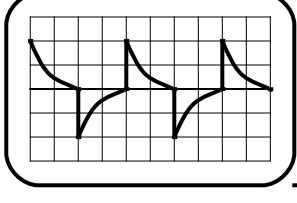
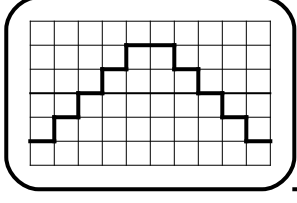
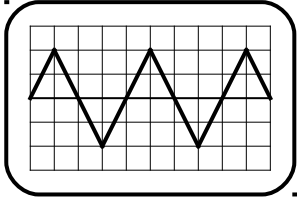
Продовження таблиці Б.1

| Варіант | Тип<br>вольт-<br>метра     | Пока-<br>зання       | $U_m$ | $U_{свз}$ | $U$ | $K_a$                        | $K_\phi$                        | $K_y$         | Осцилограма або<br>математична модель<br>напруги                                     | Коеф.<br>відх.<br>В/под | Коеф.<br>розг.<br>мкс/<br>поділ |
|---------|----------------------------|----------------------|-------|-----------|-----|------------------------------|---------------------------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| 13      | B7-26<br>B3-53<br>B3-41    | 10 В<br>10 В<br>10 В | ?     | ?         | ?   | ?                            | ?                               | ?             | —                                                                                    | —                       | —                               |
| 14      | B7-26<br>B3-40<br>B3-38    | ?<br>?<br>?          | ?     | ?         | ?   | ?                            | ?                               | ?             |    | 5                       | 1                               |
| 15      | BK7-15<br>B3-39<br>B3-45   | ?<br>?<br>?          | ?     | ?         | ?   | ?                            | ?                               | ?             |    | 10                      | 1                               |
| 16      | BK7-10<br>B4-12<br>B3-20   | ?<br>?<br>?          | ?     | ?         | ?   | ?                            | ?                               | ?             |  | 1                       | 1                               |
| 17      | B3-41<br>BK7-10/A<br>B7-26 | ?<br>?<br>?          | ?     | ?         | ?   | ?                            | ?                               | ?             |  | 1                       | 1                               |
| 18      | B3-38<br>B4-13<br>B3-49    | 1 В<br>?<br>?        | ?     | ?         | ?   | $\sqrt{3}$                   | $\frac{2}{\sqrt{3}}$            | 2             |  | —                       | 2                               |
| 19      | BK7-10/A<br>B4-14<br>B3-57 | 10 В<br>?<br>?       | ?     | ?         | ?   | $\frac{1}{\sqrt{2}\sqrt{3}}$ | $\frac{4}{3}\sqrt{\frac{2}{3}}$ | $\frac{4}{3}$ |  | 0,1                     | 0,5                             |

Продовження таблиці Б.1

| Варіант | Тип<br>вольт-<br>метра | Пока-<br>зання | $U_m$ | $U_{свз}$ | $U$ | $K_a$      | $K_\phi$             | $K_y$ | Осцилограма або<br>математична модель<br>напруги                                     | Коеф.<br>відх.<br>В/под | Коеф.<br>розг.<br>мкс/<br>поділ |
|---------|------------------------|----------------|-------|-----------|-----|------------|----------------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| 20      | B4-12                  | 1 В            |       |           |     |            |                      |       |    | ?                       | 1                               |
|         | B3-40                  | ?              | ?     | ?         | ?   | ?          | ?                    | ?     |                                                                                      |                         |                                 |
|         | B3-41                  | ?              |       |           |     |            |                      |       |                                                                                      |                         |                                 |
| 21      | B3-38                  | ?              |       |           |     |            |                      |       |    | 1                       | 2                               |
|         | B7-26                  | ?              | ?     | ?         | ?   | ?          | ?                    | ?     |                                                                                      |                         |                                 |
|         | B3-42                  | ?              |       |           |     |            |                      |       |                                                                                      |                         |                                 |
| 22      | B3-39                  | ?              |       |           |     |            |                      |       |   | ?                       | 0,5                             |
|         | B4-14                  | ?              | ?     | 0,5 В     | ?   | ?          | ?                    | ?     |                                                                                      |                         |                                 |
|         | B7-26                  | ?              |       |           |     |            |                      |       |                                                                                      |                         |                                 |
| 23      | B3-56                  | ?              |       |           |     |            |                      |       |  | 1                       | 2                               |
|         | B3-45                  | ?              | ?     | ?         | ?   | ?          | ?                    | ?     |                                                                                      |                         |                                 |
|         | BK7-15                 | ?              |       |           |     |            |                      |       |                                                                                      |                         |                                 |
| 24      | B7-26                  | ?              |       |           |     |            |                      |       |  | —                       | 2                               |
|         | B3-42                  | ?              | ?     | ?         | 1 В | $\sqrt{3}$ | $\frac{2}{\sqrt{3}}$ | 2     |                                                                                      |                         |                                 |
|         | BK7-10                 | ?              |       |           |     |            |                      |       |                                                                                      |                         |                                 |
| 25      | B3-57                  | ?              |       |           |     |            |                      |       |  | 1                       | 2                               |
|         | B3-38                  | ?              | ?     | ?         | ?   | ?          | ?                    | ?     |                                                                                      |                         |                                 |
|         | B4-18                  | ?              |       |           |     |            |                      |       |                                                                                      |                         |                                 |

Продовження таблиці Б.1

| Варіант | Тип<br>вольт-<br>метра | Пока-<br>зання | $U_m$ | $U_{свз}$ | $U$                             | $K_a$ | $K_\phi$ | $K_y$ | Осцилограма або<br>математична модель<br>напруги                                     | Коеф.<br>відх.<br>В/под | Коеф.<br>розг.<br>мкс/<br>поділ |
|---------|------------------------|----------------|-------|-----------|---------------------------------|-------|----------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| 26      | B3-39                  | ?              |       |           |                                 |       |          |       |    | ?                       | 1                               |
|         | BK7-15                 | ?              | ?     | ?         | ?                               | ?     | ?        | ?     |                                                                                      |                         |                                 |
|         | B4-12                  | 0,1 В          |       |           |                                 |       |          |       |                                                                                      |                         |                                 |
| 27      | B3-44                  | 1 В            |       |           |                                 |       |          |       |    | ?                       | 2                               |
|         | B7-26                  | ?              | ?     | ?         | ?                               | ?     | ?        | ?     |                                                                                      |                         |                                 |
|         | B3-56                  | ?              |       |           |                                 |       |          |       |                                                                                      |                         |                                 |
| 28      | B3-42                  | ?              |       |           |                                 |       |          |       |   | 1                       | 2                               |
|         | B7-26                  | ?              | ?     | ?         | $U_m \sqrt{\frac{1-e^{-2}}{2}}$ | ?     | ?        | ?     |                                                                                      |                         |                                 |
|         | B3-33                  | ?              |       |           |                                 |       |          |       |                                                                                      |                         |                                 |
| 29      | B7-26                  | 0,5 В          |       |           |                                 |       |          |       |  | —                       | 1                               |
|         | B4-12                  | ?              | ?     | ?         | ?                               | ?     | ?        | ?     |                                                                                      |                         |                                 |
|         | B3-42                  | ?              |       |           |                                 |       |          |       |                                                                                      |                         |                                 |
| 30      | B4-13                  | ?              |       |           |                                 |       |          |       |  | —                       | 1                               |
|         | B3-42                  | ?              | ?     | 10 В      | ?                               | ?     | ?        | ?     |                                                                                      |                         |                                 |
|         | B3-38                  | ?              |       |           |                                 |       |          |       |                                                                                      |                         |                                 |

## ЗМІСТ

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛІНИ                      | 3  |
| <b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3. ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ</b>   |    |
| НАПРУГИ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ ТА ОЦІНКА ЇХНЬОЇ         |    |
| ПОХИБКИ                                                 | 6  |
| 1 МЕТА РОБОТИ                                           | 6  |
| 2 КЛЮЧОВІ ПОЛОЖЕННЯ                                     | 6  |
| 3 КЛЮЧОВІ ПИТАННЯ                                       | 11 |
| 4 ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ                                      | 11 |
| 5 ЛАБОРАТОРНЕ ЗАВДАННЯ                                  | 12 |
| 6 ПРОТОКОЛ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ                          | 12 |
| 7 ЛІТЕРАТУРА                                            | 13 |
| <b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4. МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕН-</b> |    |
| <b>НЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ВИМІРЮВАННЯ</b>     |    |
| <b>НАПРУГИ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ</b>                   | 14 |
| 1 МЕТА РОБОТИ                                           | 14 |
| 2 КЛЮЧОВІ ПОЛОЖЕННЯ                                     | 14 |
| 3 КЛЮЧОВІ ПИТАННЯ                                       | 15 |
| 4 ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ                                      | 16 |
| 5 ЛАБОРАТОРНЕ ЗАВДАННЯ                                  | 16 |
| 6 ПРОТОКОЛ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ                          | 18 |
| 7 ЛІТЕРАТУРА                                            | 19 |
| ДОДАТОК А                                               | 20 |
| 4. ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 2. РОЗРАХУНОК               |    |
| ПАРАМЕТРІВ НАПРУГИ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ               | 27 |
| 1 КЛЮЧОВІ ПОЛОЖЕННЯ                                     | 27 |
| 2 ПРИКЛАД РІШЕННЯ ЗАВДАННЯ                              | 31 |
| 3 ЛІТЕРАТУРА                                            | 33 |
| ДОДАТОК А                                               | 34 |
| ДОДАТОК Б                                               | 35 |



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

### ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАПРЯЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ И ОЦЕНКА ИХ ПОГРЕШНОСТИ

#### 1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1 Исследовать зависимость показаний вольтметров с разными типами преобразователей от формы измеряемого сигнала

1.2 Определить коэффициенты формы, амплитуды и усреднения периодических напряжений с помощью электронных вольтметров.

1.3 Овладеть профессиональными навыками экспериментального и теоретического определения параметров периодического напряжения сложной формы. Научиться определять погрешности результатов косвенных измерений.

#### 2 КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1 Электрические сигналы (напряжение или ток), используемые в телекоммуникационных системах и информационных сетях характеризуются четырьмя основными параметрами: пиковым, средним, средневыпрямленным и среднеквадратическим значениями.

Пиковое значение  $U_m$  (амплитудное – для синусоидальных сигналов) – наибольшее мгновенное значение напряжения за период (при разнополярных несимметричных кривых напряжения различают положительное и отрицательное пиковые значения).

Среднее значение за время измерения (или за период) — постоянная составляющая напряжения:

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

Средневыпрямленное значение (СВЗ) – это среднее значение модуля напряжения за период:

$$U_{\text{нв}} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt. \quad (2.2)$$

При однополярных напряжениях среднее значение (постоянная составляющая) равно средневыпрямленному. При разнополярных напряжениях эти два параметра различны. Например, для синусоидального напряжения  $U_{\text{нв}} = 0$ , а  $U_{\text{нв}} = 0,637 U_m$ .

Среднеквадратическое значение (СКЗ) напряжения за время измерения (или за период)

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}. \quad (2.3)$$

Отметим, что среднеквадратическое значения сложного периодического напряжения можно определить по формуле:

$$U = \sqrt{U_0^2 + \left(\frac{U_{m1}}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{U_{m2}}{\sqrt{2}}\right)^2 + \dots}, \quad (2.4)$$

где  $U_0$  – постоянная составляющая;  $U_1, U_2$  – амплитуды составляющих сложных сигналов.

2.2 Связь между пиковым (амплитудным) и среднеквадратическим значениями напряжения данной формы устанавливается посредством коэффициента амплитуды, равного отношению пикового значения к среднеквадратическому:

$$K_a = U_m / U. \quad (2.5)$$

Связь между среднеквадратическим и средневыпрямленным значениями устанавливается посредством коэффициента формы кривой, определяемого отношением среднеквадратического значения к средневыпрямленному:

$$K_{\delta} = U / U_{\text{нв}}. \quad (2.6)$$

Иногда удобно пользоваться коэффициентом усреднения

$$\hat{E}_y = \hat{E}_a \hat{E}_{\delta} = \frac{U_m}{U_{\text{нв}}}. \quad (2.7)$$

В технике связи коэффициент амплитуды называют пик-фактором. Его принято выражать в относительных или логарифмических единицах:  $20 \lg(U_m / U)$  дБ. Коэффициент формы называют форм-фактором и также выражают в относительных или логарифмических единицах:  $20 \lg(U / U_{\text{нв}})$  дБ.

При любой форме напряжения всегда справедливо условие:

$$U_m \geq U \geq U_{\text{свз}}, \text{ а также } K_y \geq K_a \geq K_{\phi} \geq 1.$$

2.3 Для того чтобы рассчитать коэффициенты  $\hat{E}_a, K_{\delta}, \hat{E}_y$ , необходимо процесс  $u(t)$  записать в аналитической форме, вычислить интегралы, а затем полученные результаты подставить в выражения (2.5) ... (2.7). При этом интервал интегрирования  $T$  удобно задавать равным одному периоду  $T_0$  либо его доле. Например, для пилообразного напряжения (рис. 2.1,а) и прямоугольного процесса типа «меандр» (рис. 2.1,б) удобно задавать  $T = \frac{T_0}{2}$ , а для треугольного (рис. 2.1, г) –  $T = \frac{T_0}{4}$ .

Известно, что для гармонического напряжения справедливы соотношения  $U_m = \sqrt{2}U = 1,41U$  и  $U_{\text{нв}} = (2\sqrt{2}/\pi)U = 0,9U$ . Следовательно, коэффициент амплитуды  $K_a = 1,41$ ; коэффициент формы  $K_{\phi} = 1,11$ .

Напряжение пилообразной формы (рис. 2.6,а) на отрезке от 0 до  $T/2$  изменяется по линейному закону т.е.  $u(t) = kt$ , где  $k = \frac{U_m}{T/2}$ .

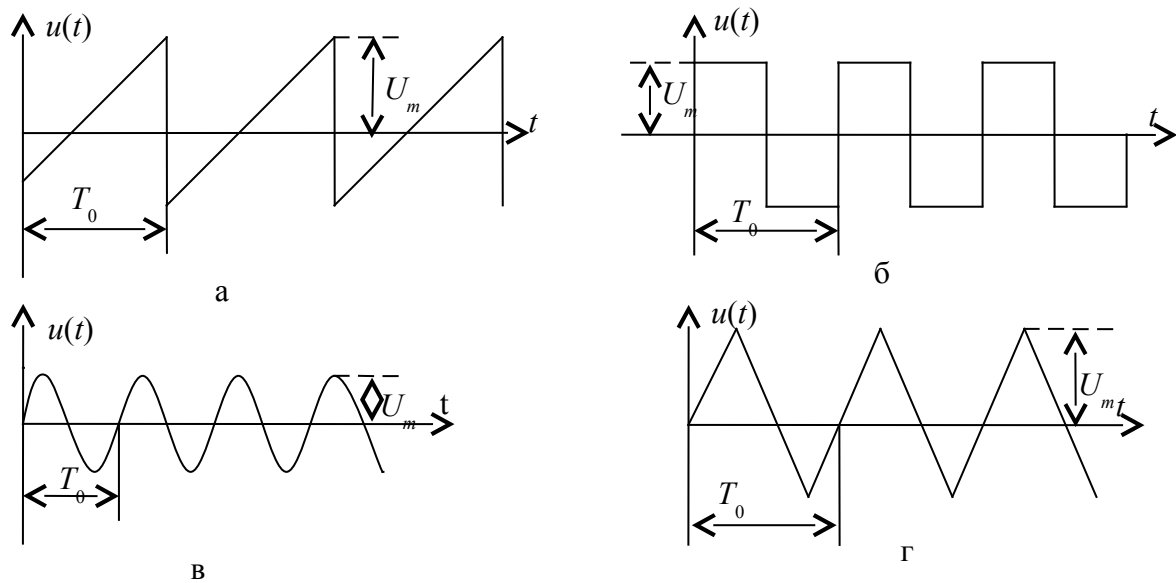


Рисунок 2.1 – Исследуемые периодические напряжения

Среднеквадратическое значение согласно (2.3)

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \left( 2 \int_0^{T/2} k^2 t^2 dt \right)} = \sqrt{\frac{1}{T} \left( 2 \frac{U_m^2}{T^2} \cdot 4 \int_0^{T/2} t^2 dt \right)} = \sqrt{\frac{8U_m^2}{T^3} \cdot \frac{t^3}{3} \Big|_0^{T/2}} = \frac{U_m}{\sqrt{3}}.$$

Средневыпрямленное значение согласно (2.2)

$$U_{\text{свз}} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} kt dt = \frac{2}{T} \cdot \frac{U_m}{T} \cdot \frac{t^2}{2} \Big|_0^{T/2} = \frac{U_m}{2}$$

По формулам (2.5) ... (2.7) рассчитаем коэффициенты:

$$K_a = \frac{U_m}{\frac{U_m}{\sqrt{3}}} = 1,73, \quad K_{\phi} = \frac{\frac{U_m}{\sqrt{3}}}{\frac{U_m}{2}} = 1,16, \quad K_{\psi} = \frac{U_m}{\frac{U_m}{2}} = 2.$$

Аналогично определяют  $K_a$ ,  $K_{\phi}$ ,  $K_{\psi}$  для напряжений прямоугольной и треугольной формы.

В том случае, если создание математической модели процесса затруднено или интегралы не берутся, коэффициенты  $K_a$ ,  $K_{\phi}$  определяют косвенным способом в результате прямых измерений  $U_m$ ,  $U$ ,  $U_{\text{свз}}$  по показаниям вольтметров пикового, среднеквадратического и средневыпрямленного значений соответственно, используя формулы (2.5), (2.6).

2.4. Современные электронные вольтметры переменного тока строят преимущественно по принципу преобразования переменного напряжения в постоянное с последующим его измерением. Это объясняется тем, что все интересующие нас параметры переменного напряжения представляют собой постоянную составляющую процесса, полученного из исходного путем того или иного

преобразования, например, возведения в квадрат, двухполупериодного выпрямления, запоминания максимального мгновенного значения.

Основными узлами электронного вольтметра являются: входное устройство, усилитель переменного напряжения, измерительный преобразователь переменного напряжения в постоянное, усилитель постоянного напряжения (тока), аналоговый или цифровой измеритель постоянного тока (напряжения). Измерительный преобразователь переменного напряжения в постоянное напряжение или ток (будем далее называть его ИПН) – важнейший узел вольтметра, который определяет измеряемый параметр напряжения (пиковое, среднеквадратическое или средневыпрямленное значение напряжения).

2.5 Так как исторически сложилось, что первым появилось переменное напряжение синусоидальной формы, и по настоящее время оно является наиболее используемым, то было принято решение комиссией МЭК градуировку большинства шкал электронных вольтметров, кроме импульсных (типа В4-, которые градуируют в пиковых значениях), производить в среднеквадратических значениях гармонического напряжения. Поскольку для этого напряжения коэффициенты амплитуды и формы, соответственно равны  $K_a = 1,41$  и  $K_f = 1,11$ , то эти коэффициенты были использованы при градуировке шкал вольтметров. В частности, показания пикового вольтметра для любой формы сигнала всегда меньше пикового значения измеряемого напряжения в 1,41 раза, а показания вольтметра СВЗ – в 1,11 раза больше средневыпрямленного значения измеряемого напряжения. Лишь для гармонического напряжения отсчеты по шкалам вольтметров с разными видами ИПН одинаковы и равны  $U_{\text{нвс}}$ .

Для вольтметра СКЗ коэффициент градуировки равен 1, следовательно, показания вольтметра СКЗ не зависят от формы измеряемого напряжения.

Проиллюстрировать это можно схемой, приведенной на рис. 2.2, где А – показания вольтметров

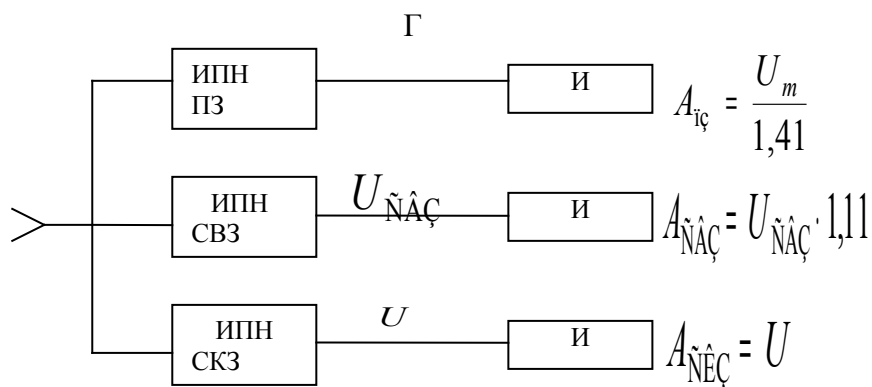


Рисунок 2.2 – Схема, поясняющая принцип градуировки шкал электронных вольтметров

Из этой схемы легко определить параметры переменного напряжения через показания приборов:

$$U_m = 1,41 A_{\text{пз}}; \quad U_{\text{свз}} = A_{\text{свз}} / 1,11; \quad U = A.$$

Если известны коэффициенты  $K_a$  и  $K_\phi$  измеряемого напряжения, то по одному из параметров этого напряжения ( $U_m$ ,  $U$  или  $U_{\text{СВЗ}}$ ) можно определить два других, используя формулы (2.5) и (2.6).

Как уже отмечалось, исключение составляют импульсные вольтметры типа В4 – шкалы которых градуируются в амплитудных (пиковых) значениях, т.е. показания таких вольтметров всегда равны  $A = U_m$ .

2.6 Экспериментальное определение коэффициентов формы, амплитуды и усреднения осуществляется косвенным способом по показаниям вольтметров.

Как следует из определения косвенного способа измерения искомая величина  $y = f(a, b, c \dots)$  функционально связана с одной или несколькими непосредственно измеренными величинами.

Действительное значение измеряемой величины  $y \pm \Delta y$ .

Разложив правую часть этого уравнения в ряд Тейлора, и пренебрегая членами разложения, которые содержат  $\Delta y$  в степени выше второй, получим

$$y \pm \Delta y = f(a, b, c \dots) \pm \sqrt{\left(\frac{\partial f(a, b, \tilde{n} \dots)}{\partial a}\right)^2 (\Delta a)^2 + \left(\frac{\partial f(a, b, c \dots)}{\partial b}\right)^2 (\Delta b)^2 + \dots}$$

Определим абсолютную погрешность  $K_a$

$$K_a = U_m / U; \quad K_a = f(U_m, U);$$

$$\Delta K_a \approx \pm \sqrt{\left(\frac{\partial K_a}{\partial U_m}\right)^2 (\Delta U_m)^2 + \left(\frac{\partial K_a}{\partial U}\right)^2 (\Delta U)^2},$$

где  $\frac{\partial K_a}{\partial U_m} = \frac{1}{U} (U_m)' = \frac{1}{U}$ ;  $\Delta U_m$  определяется из класса точности вольтметра ПЗ,

$\frac{\partial K_a}{\partial U} = \frac{1}{U_m} (U)' = -\frac{U_m}{U^2}$ ;  $\Delta U$  определяется из класса точности вольтметра СКЗ.

Определим абсолютную погрешность  $K_\phi$

$$K_\phi = U / U_{\text{нâç}}; \quad K_\phi = f(U, U_{\text{нâç}})$$

$$\Delta K_\phi \approx \pm \sqrt{\left(\frac{\partial K_\phi}{\partial U}\right)^2 (\Delta U)^2 + \left(\frac{\partial K_\phi}{\partial U_{\text{нâç}}}\right)^2 (\Delta U_{\text{нâç}})^2}$$

где  $\frac{\partial K_\phi}{\partial U} = \frac{1}{U_{\text{нâç}}} (U)' = \frac{1}{U_{\text{нâç}}}$ ;  $\Delta U$  определяется из класса точности вольтметра СКЗ,

$\frac{\partial K_a}{\partial U_{\text{нâç}}} = U \left( \frac{1}{U_{\text{нâç}}} \right)' = -\frac{U}{U_{\text{нâç}}^2}$ ;  $\Delta U_{\text{нâç}}$  определяется из класса точности вольтметра СВЗ.

Таким образом, формулы для расчета абсолютной погрешности  $K_a$ ,  $K_\phi$  имеют вид

$$\Delta K_a \approx \pm \sqrt{\left(\frac{1}{U}\right)^2 (\Delta U_m)^2 + \left(-\frac{U_m}{U^2}\right)^2 (\Delta U)^2},$$

$$\Delta K_{\hat{o}} \approx \pm \sqrt{\left(\frac{1}{U_{\hat{n}\hat{a}\hat{c}}}\right)^2 (\Delta U)^2 + \left(-\frac{U}{U_{\hat{n}\hat{a}\hat{c}}^2}\right)^2 (\Delta U_{\hat{n}\hat{a}\hat{c}})^2}.$$

Относительные погрешности определяем по формулам

$$\delta_{K_a} = \frac{\Delta K_a}{K_a} \quad \delta_{K_{\hat{o}}} = \frac{\Delta K_{\hat{o}}}{K_{\hat{o}}}.$$

### 3 КЛЮЧЕВЫЕ ВОПРОСЫ

3.1 Почему, в отличие от постоянного напряжения, для характеристики переменного применяют несколько параметров, а не один? Дайте определения этих параметров.

3.2 На графике синусоидального сигнала (рис. 2.1,в) покажите все параметры напряжения, характеризующие этот процесс.

3.3 На графике прямоугольного сигнала (рис. 2.1,б) покажите все параметры напряжения, характеризующие этот процесс.

3.4 В каких значениях градуируются шкалы электронных вольтметров?

3.5 Какие типы ИПН используются в электронных вольтметрах?

3.6 Какие рекомендации можно дать по рациональному выбору вольтметра для измерения параметров негармонического напряжения?

3.7 Чем отличается градуировка вольтметров типа В4 от остальных вольтметров?

3.8 Как определить абсолютную погрешность напряжения, зная класс точности вольтметра?

### 4 ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

4.1 Вычислите коэффициенты  $K_a$ ,  $K_{\phi}$ ,  $K_y$  для процессов, представленных на рис. 2.1,б, и запишите результат в табл. 4.1.

4.2 Вычислите коэффициенты  $K_a$ ,  $K_{\phi}$ ,  $K_y$  для процесса, представленного на рис. 2.1,г, и запишите результат в табл. 4.1.

4.3 Вычислите коэффициенты  $K_a$ ,  $K_{\phi}$ ,  $K_y$  для процесса, представленного на рис. 2.1,а, и запишите результат в табл. 4.1.

Пример расчета  $K_a$ ,  $K_{\phi}$ ,  $K_y$  для напряжения пилообразной формы приведен ранее.

Таблица 4.1– Расчет параметров напряжения

| Форма<br>напря-<br>жения                                                          | Показания<br>вольтметров, В |                  |                  | Параметры<br>напряжения, В |       |                  | Рассчитанные значе-<br>ния коэффициентов |            |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------|------------------|----------------------------|-------|------------------|------------------------------------------|------------|-------|
|                                                                                   | $A_{\text{скз}}$            | $A_{\text{пик}}$ | $A_{\text{свз}}$ | $U$                        | $U_m$ | $U_{\text{нâç}}$ | $K_a$                                    | $K_{\phi}$ | $K_y$ |
|  | $N$                         | ?                | ?                | ?                          | ?     | ?                | 1,41                                     | 1,11       | 1,57  |
|  | ?                           | ?                | $N$              | ?                          | ?     | ?                | ?                                        | ?          | ?     |
|  | ?                           | $N$              | ?                | ?                          | ?     | ?                | ?                                        | ?          | ?     |
|  | ?                           | ?                | $N$              | ?                          | ?     | ?                | ?                                        | ?          | ?     |

4.4 Какими должны быть показания двух вольтметров, для которых в табл. 4.1 указан знак вопроса, если показания по шкале третьего вольтметра равны  $N$  в вольтах (где  $N$  – число, соответствующее номеру фамилии студента в списке группы)?

Заполните табл. 4.1.

4.5 По рекомендованной литературе изучите принцип работы ИПН (детекторов) пикового, среднвыпрямленного и среднеквадратического значений.

4.6 Приведите структурные схемы высокочувствительных, широкополосных и универсальных вольтметров.

4.7 Разработайте схему эксперимента для определения  $K_a$ ,  $K_{\phi}$ .

4.8 Подготовьтесь к обсуждению вопросов раздела 3.

## 5 ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

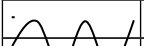
5.1 Ознакомьтесь с оборудованием на рабочем месте и уточните с преподавателем разработанный вами план работы в лаборатории, подготовьте вольтметры к работе.

5.2 Соберите разработанную вами схему эксперимента. Форму напряжения контролируйте с помощью осциллографа.

5.3 Измерьте напряжения вольтметрами с различными ИПН для определения коэффициентов  $K_a$ ,  $K_{\phi}$ ,  $K_y$ . Результаты занесите в табл. 5.1.

5.4 Рассчитайте погрешность косвенного измерения коэффициентов  $K_a$ ,  $K_{\phi}$ . Результаты занесите в табл. 5.1.

Таблица 5.1 – Экспериментальное определение значений коэффициентов  $K_a$ ,  $K_\phi$ ,  $K_y$ 

| Форма<br>напря-<br>жения                                                          | Показания<br>вольтметров,<br>В |                         |                         | Параметры<br>напряжения, В |       |                  | Эксперимен-<br>тальные значе-<br>ния коэффици-<br>ентов |          |       | Абсолютная<br>погрешность<br>измерения<br>коэффици-<br>ентов |                 | От-<br>ностельная<br>погреш-<br>ность из-<br>мерения<br>коэффици-<br>ентов |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|-------|------------------|---------------------------------------------------------|----------|-------|--------------------------------------------------------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------|
|                                                                                   | $A_{\text{скз}}$<br>(*)        | $A_{\text{пик}}$<br>(*) | $A_{\text{свз}}$<br>(*) | $U$                        | $U_m$ | $U_{\text{свз}}$ | $K_a$                                                   | $K_\phi$ | $K_y$ | $\Delta K_a$                                                 | $\Delta K_\phi$ | $\delta K_a$                                                               | $\delta K_\phi$ |
|  | A                              | ?                       | ?                       | ?                          | ?     | ?                | ?                                                       | ?        | ?     | ?                                                            | ?               | ?                                                                          | ?               |
|  | A                              | ?                       | ?                       | ?                          | ?     | ?                | ?                                                       | ?        | ?     | ?                                                            | ?               | ?                                                                          | ?               |
|  | A                              | ?                       | ?                       | ?                          | ?     | ?                | ?                                                       | ?        | ?     | ?                                                            | ?               | ?                                                                          | ?               |

(\*) – тип вольтметра

## 6 ПРОТОКОЛ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ (№ ....НАЗВАНИЕ ...)

6.1 Цель эксперимента.

6.2 Перечень используемой аппаратуры в табл. 6.1.

Таблица 6.1– Основные характеристики приборов

| Наименование<br>прибора | Тип | Заводской<br>номер | Метрологические характеристики |                       |                   |  |
|-------------------------|-----|--------------------|--------------------------------|-----------------------|-------------------|--|
|                         |     |                    | Класс<br>точности              | Диапазон<br>измерения | Цена де-<br>ления |  |
|                         |     |                    |                                |                       |                   |  |
|                         |     |                    |                                |                       |                   |  |
|                         |     |                    |                                |                       |                   |  |

6.3 Схема измерения.

6.4 Результаты лабораторной работы. (Указать результаты экспериментальных значений  $K_a$ ,  $K_\phi$  и их погрешности для всех исследуемых сигналов).

6.5 Выводы. В выводе сделать заключение о величинах погрешностей результатов измерения коэффициентов амплитуды и формы.

## 7 ЛИТЕРАТУРА

1. Метрологія в галузі зв'язку / Л.В. Коломієць, М.Т. Козаченко й ін. – Кн. 1. – Одеса: Стандарт, 2006.
2. Метрологія в галузі зв'язку / Л.В. Коломієць, М.Т. Козаченко й ін. – Кн. 2. – Одеса: Стандарт, 2007.
3. Метрологія, стандартизація і вимірювання в техніці зв'язку: Учеб. посібник для вузів / Б.П. Хромой, А.В. Кандинов, А.Л. Сенявський і др.; Під ред. Б. П. Хромого. – М.: Радио і зв'язь, 1986.
4. ДСТУ 2681-94. Державна система забезпечення єдності вимірювань. Метрологія. Терміни та визначення.



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

# МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

## 1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1 Изучить методы и средства калибровки вольтметров.

1.2 Овладеть профессиональными навыками экспериментального и теоретического определения пригодности к эксплуатации электронных вольтметров.

## 2 КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

*Средство измерительной техники (СИТ)* – техническое устройство, которое применяется для измерений, имеет нормированные метрологические характеристики (НМХ) и хранит и (или) воспроизводит единицу измеряемой физической величины.

*Тип средства измерительной техники* – совокупность приборов измерительной техники одного и того же назначения, которые имеют один и тот же принцип действия, одинаковую конструкцию и изготовленные по одной и той же технической документации.

*Эталон* – средство измерительной техники, которое обеспечивает воспроизведение и (или) хранение единицы измерений одного или нескольких значений, а также передачу размера этой единицы другим средствам измерительной техники.

*Государственный эталон* – официально утвержденный эталон, который обеспечивает воспроизведение единицы измерений и передачу ее размера другим эталонам с наивысшей в стране точностью.

*Рабочий эталон* – эталон, предназначенный для поверки или калибровки средств измерительной техники.

*Метрологическая аттестация СИТ* – исследование средств измерительной техники с целью определения их метрологических характеристик и установления пригодности этих средств к применению.

*Калибровка СИТ* – совокупность операций, выполняемых с целью определения и подтверждения действительных значений метрологических характеристик и пригодности к использованию СИТ, которые не подлежат государственному метрологическому контролю.

*Поверка средств измерительной техники (СИТ)* – это установление пригодности СИТ, на которые распространяется государственный метрологический надзор, к использованию на основе результатов контроля их метрологических характеристик (МХ).

Операции калибровки СИТ идентичны операциям поверки и выполняются для СИТ не подлежащих государственному метрологическому контролю.

При проведении поверки должны выполняться следующие операции: внешний осмотр, опробование, определение метрологических характеристик. Поверку осуществляют в нормальных условиях.

Выбор метода поверки и рабочего эталона определяется требуемым соотношением погрешностей рабочего эталона и поверяемого прибора; обычно выполняют соотношение (1:5).

*Поверка электронных аналоговых вольтметров.* При поверке электронных вольтметров определяют основную погрешность в нормальной и расширенной областях частот при измерении переменного напряжения.

Для СИТ нормируют обычно три группы метрологических характеристик. Первая группа описывает свойства СИТ в нормальных условиях эксплуатации, вторая – влияние отклонений условий эксплуатации от нормальных на характеристики первой группы, третья – динамические свойства (влияние изменений измеряемой величины или неинформативного параметра входного сигнала на погрешность СИТ или результаты измерений).

В первую группу включают характеристики основной погрешности и характеристики, описывающие свойства входной и выходной цепей СИТ.

*Основная погрешность СИТ* – это погрешность, которая определена для каждого типа СИТ в нормальных условиях эксплуатации. При эксплуатации СИТ в условиях, отличающихся от нормальных, возникает дополнительная погрешность, которая также должна быть учтена.

Основную погрешность определяют на каждой числовой отметке шкалы основных пределов измерений поверяемого вольтметра. За основной предел принимаются пределы, нанесенные на шкалах отсчетного устройства вольтметра при множителе, равном единице

На остальных пределах измерений основную погрешность определяют на конечных числовых отметках шкал, а также на отметках, на которых ранее были определены наибольшие положительная и отрицательная погрешности (или наибольшая и наименьшая погрешности, если все погрешности одного знака).

Погрешность вольтметров определяется методом сравнения его показаний с показаниями рабочего эталона воспроизведения напряжения (установки для поверки вольтметров) или сличением показаний поверяемого и рабочего эталона непосредственно либо с использованием делителя напряжения.

При использовании установки для поверки вольтметров основная погрешность (относительная) поверяемого вольтметра определяется по шкале В1-9, В1-15, В1-16 – установки для поверки вольтметров переменного напряжения; В1-8 – установки для поверки вольтметров постоянного и переменного напряжений.

*Вариация показаний* – это изменение показаний СИТ при измерении одной и той же величины при подходе к числовой отметке, соответствующей этой величине со стороны больших или меньших значений.

### 3 КЛЮЧЕВЫЕ ВОПРОСЫ

3.1 Дайте определение поверки СИТ.

3.2 Дайте определение калибровки СИТ.

3.3 Дайте определение метрологической аттестации СИТ.

3.4 Перечислите виды эталонов, применяемых при выполнении метрологических операций.

3.5 Поясните назначение Государственного эталона Украины.

3.6 Поясните назначение рабочего эталона.

3.7 Поясните назначение исходного эталона, применяемого на предприятии.

3.8 Перечислите операции при поверке электронных вольтметров.

## 4 ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

4.1 Изучить основные положения, которые касаются поверки и калибровки электронных вольтметров.

4.2 Ознакомиться с принципами работы и органами регулировки эталонной установки В1-16 (Приложение А)

4.3 Выписать метрологические характеристики эталонной установки В1-16.

4.4 Определить соотношение погрешностей эталонной установки и калибруемого вольтметра, на отметке шкалы  $U$  на частоте  $f$  согласно варианту задания и сделать вывод о возможности использования эталонной установки В1-16 для калибровки вольтметра (табл. Б.1). Табл. Б.1 приведена в приложении Б.

## 5 ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

5.1 Подготовить эталонную установку В1-16 к работе (Приложение А, пункт 6).

5.2 Подключить калибруемый вольтметр к прибору В1-16.

5.3 Определить основную (относительную) погрешность измерения напряжения калибруемого вольтметра на всех числовых отметках шкал в заданном преподавателем поддиапазоне на частоте 1 МГц с помощью установки В1-16 и определить значение приведенной погрешности вольтметра (Приложение А, пункт 7.1). Результаты занести в табл. 5.1.

Таблица 5.1 – Результаты измерений основной погрешности

| Поддиапазон             | Числовые отметки шкалы | Относительная погрешность $\delta$ , % | Приведенная погрешность $\gamma$ , % |
|-------------------------|------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------|
| Задается преподавателем | 3 (5)                  |                                        |                                      |
|                         | 4 (10)                 |                                        |                                      |
|                         | 5 (15)                 |                                        |                                      |
|                         | 6 (20)                 |                                        |                                      |
|                         | 7 (25)                 |                                        |                                      |
|                         | 8 (30)                 |                                        |                                      |
|                         | 9                      |                                        |                                      |

Основная погрешность не должна превышать допустимые значения, которые указаны в технической документации вольтметра.

5.4 Исследовать зависимость погрешности показаний калибруемого вольтметра от частоты и определить изменение погрешности относительно погрешности на частоте 1 МГц. (Приложение А, пункт 7.2). Результаты занести в табл. 5.2.

Таблица 5.2 – Зависимость погрешности от частоты

| Поддиапазон                | Частота        |                        |                |                        |                |                        |                |                        |                |                        |                |                        |                |                        |
|----------------------------|----------------|------------------------|----------------|------------------------|----------------|------------------------|----------------|------------------------|----------------|------------------------|----------------|------------------------|----------------|------------------------|
|                            | 20 Гц          |                        | 30 Гц          |                        | 45 Гц          |                        | 1 кГц          |                        | 55 кГц         |                        | 100 кГц        |                        | 1 МГц          |                        |
|                            | Погрешность, % | Изменение показаний, % | Погрешность, % | Изменение показаний, % | Погрешность, % | Изменение показаний, % | Погрешность, % | Изменение показаний, % | Погрешность, % | Изменение показаний, % | Погрешность, % | Изменение показаний, % | Погрешность, % | Изменение показаний, % |
| преподавателем<br>Задается |                |                        |                |                        |                |                        |                |                        |                |                        |                |                        |                |                        |

Погрешность изменения показаний не должна превышать допустимых значений для калибруемого вольтметра.

5.5 Определить погрешность вариации показаний калибруемого вольтметра (Приложение А, пункт 7.3).

Погрешность вариации показаний не должны превышать 1%, т.е.

$$H = \left| \delta_{i\delta y_i} - \delta_{i\delta o} \right| \leq 1\%.$$

Таблица 5.3 – Определение погрешности вариации.

| Предел                  | Поверяемая<br>отметка | Отсчет по шкале установки |              | Значение вариации | Допустимое значение |
|-------------------------|-----------------------|---------------------------|--------------|-------------------|---------------------|
|                         |                       | прямой ход                | обратный ход |                   |                     |
| Задается преподавателем | 1                     |                           |              |                   |                     |
|                         | 2                     |                           |              |                   |                     |
|                         | 3                     |                           |              |                   |                     |
|                         | 4                     |                           |              |                   |                     |
|                         | 5                     |                           |              |                   |                     |
|                         | 6                     |                           |              |                   |                     |
|                         | 7                     |                           |              |                   |                     |
|                         | 8                     |                           |              |                   |                     |

|  |    |  |  |  |  |
|--|----|--|--|--|--|
|  | 9  |  |  |  |  |
|  | 10 |  |  |  |  |

## 6 ПРОТОКОЛ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ (№ ....НАЗВАНИЕ ... )

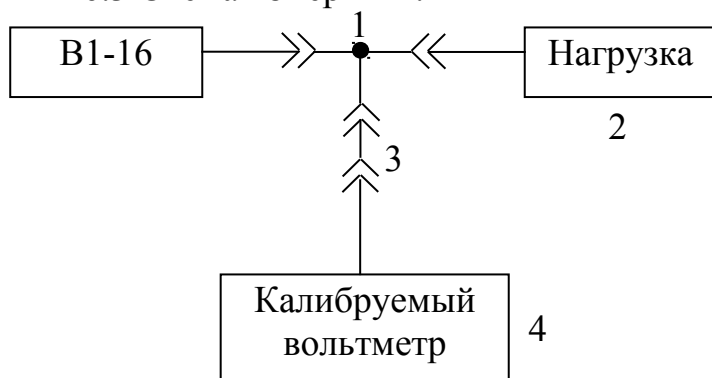
6.1 Цель эксперимента.

6.2 Перечень используемой аппаратуры в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Основные характеристики приборов

| Наименование прибора | Тип | Заводской номер | Метрологические характеристики |                    |                    |  |
|----------------------|-----|-----------------|--------------------------------|--------------------|--------------------|--|
|                      |     |                 | класс точности                 | диапазон измерения | частотный диапазон |  |
|                      |     |                 |                                |                    |                    |  |
|                      |     |                 |                                |                    |                    |  |

6.3 Схема измерения.



- 1 – тройниковый переход ТП-121;  
 2 – нагрузка СН-104;  
 3 – кабель ЯИ4.853.148  
 4 –веряемый вольтметр.

Тип калибруемого вольтметра \_\_\_\_\_

Внешний осмотр \_\_\_\_\_

Опробование \_\_\_\_\_

### Условия калибровки

Температура окружающей среды \_\_\_\_\_ °С

Относительная влажность воздуха \_\_\_\_\_ %

Атмосферное давление \_\_\_\_\_ мм рт.ст.

Время предыдущего прогрева \_\_\_\_\_ мин.

Напряжение сети \_\_\_\_\_ В.

Частота напряжения сети \_\_\_\_\_ Гц.

На основании полученных результатов сделать выводы о проведенной калибровке вольтметра.

**Определение основной погрешности милливольтметра типа \_\_\_\_\_ на частоте 1 МГц**

Вывод: \_\_\_\_\_

Определение зависимости изменения погрешности показаний милливольтметра типа \_\_\_\_\_ от частоты

Вывод: \_\_\_\_\_

**Определение погрешности вариации показаний милливольтметра типа \_\_\_\_\_**

Вывод: \_\_\_\_\_

Общий вывод:

## 7 ЛИТЕРАТУРА

1. Метрологія в галузі зв'язку / Л.В. Коломієць, М.Т. Козаченко й ін. – Кн. 1. – Одеса: Стандарт, 2006.
2. Метрологія в галузі зв'язку / Л.В. Коломієць, М.Т. Козаченко й ін. – Кн. 2. – Одеса: Стандарт, 2007.
3. Метрология, стандартизация и измерения в технике связи: Учеб. пособие для вузов / Б.П. Хромой, А.В. Кандинов, А.Л. Сенявский и др.; Под ред. Б. П. Хромого. — .: Радио и связь, 1986.
4. ДСТУ 2681-94. Державна система забезпечення єдності вимірювань. Метрологія. Терміни та визначення.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Описание эталонной установки типа В1-16

#### 1 Назначение

Установка В1-16 для поверки вольтметров предназначена для определения погрешности широкополосных вольтметров и может быть использована в качестве многозадачной меры напряжения для градуировки различных приборов.

#### 2 Рабочие условия применения прибора:

- температура окружающего воздуха от 283 до 308 К (от +10 °С до +35 °С);
- относительная влажность воздуха до 90% при температуре 303 К (+30 °С);
- атмосферное давление  $100 \pm 4$  кПа ( $750 \pm 30$  мм. рт. ст.);
- питание прибора от сети переменного тока напряжением  $220 \pm 22$  В частотой  $50 \pm 0,5$  Гц, содержанием гармоник до 5% и напряжением  $220 \pm 11$  В частотой  $400 + 28 / - 12$  Гц и содержанием гармоник до 5%.

#### 3 Технические данные

3.1 Эталонная установка В1-16 вырабатывает напряжение переменного тока от 100 мкВ до 3 В с номинальными среднеквадратическими значениями, соответствующими ряду: 0,316; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0.

3.2 Диапазон частот выдаваемых прибором напряжений от 10 Гц до 50 МГц со следующими фиксированными значениями: 10; 20; 30; 40; 45; 55; 100; 200; 300; 400; 450; 550 Гц; 1; 2; 3; 4; 4,5; 5,5; 10; 20; 30; 40; 45; 55 кГц; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 3; 5; 10; 15; 20; 30; 50; МГц.

3.3 Отклонение значения выходного напряжения от номинального  $\pm 10\%$ .

3.4 Основная погрешность номинальных значений выходных напряжений указана в табл. А.1.

Таблица А.1 – Пределы допустимых основных погрешностей

| Напряже-<br>ние, мВ | Предел допустимой основной погрешности, % на частотах |           |                    |           |           |                |           |
|---------------------|-------------------------------------------------------|-----------|--------------------|-----------|-----------|----------------|-----------|
|                     | Гц                                                    |           |                    | МГц       |           |                |           |
|                     | 10                                                    | 20        | 30-10 <sup>5</sup> | 0,2-3     | 5; 10     | 15-30          | 50        |
| 2000 - 3000         | $\pm 0,5$                                             | $\pm 0,3$ | $\pm 0,2$          | $\pm 0,3$ | $\pm 0,5$ | $\pm 0,8$      | $\pm 1,3$ |
| 1000 - 1500         | $\pm 0,5$                                             | $\pm 0,3$ | $\pm 0,3$          | $\pm 0,5$ | $\pm 0,5$ | $\pm 0,8$      | $\pm 1,3$ |
| 100 - 300           | $\pm 0,5$                                             | $\pm 0,5$ | $\pm 0,3$          | $\pm 0,5$ | $\pm 0,8$ | $\pm 1,3$      | $\pm 1,3$ |
| 31,6 - 90           | $\pm 0,8$                                             | $\pm 0,5$ | $\pm 0,5$          | $\pm 0,8$ | $\pm 0,8$ | не нормируется |           |
| 3,16 - 9            | $\pm 0,8$                                             | $\pm 0,5$ | $\pm 0,5$          | $\pm 0,8$ | $\pm 0,8$ |                |           |
| 1- 3                | $\pm 0,8$                                             | $\pm 0,5$ | $\pm 0,5$          | $\pm 0,8$ | $\pm 1,3$ | $\pm 1,3$      | $\pm 2,0$ |
| 0,1- 0,3            | $\pm 0,8$                                             | $\pm 0,8$ | $\pm 0,5$          | $\pm 1,3$ | $\pm 2,0$ | не нормируется |           |

3.5 Погрешность фиксированных частот выходного напряжения  $\pm 2\%$ .

3.6 Погрешность выходного напряжения  $\delta$  в процентах, при его отклонении от номинального значения вычисляется по формуле:

$$\delta = \pm (|\delta_0| + 0,02 \cdot |\xi|), \quad (\text{A. 1})$$

где  $\delta_0$  – основная погрешность номинального значения выходного напряжения;

$\xi$  – отклонение выходного напряжения от номинального значения (показания цифрового табло), %.

3.7 Дополнительная погрешность номинальных значений выходного напряжения, вызванная отклонением температуры окружающего воздуха от нормальной до любой температуры в пределах рабочей области температур, не превышает основной погрешности на каждые  $10^\circ \text{C}$  изменения температуры.

3.8 Нестабильность выходного напряжения  $\Delta$  в процентах в течение 15 мин. не превышает значения, вычисленного по формуле:

$$\Delta = 0,2 \cdot \delta_0. \quad (\text{A.2})$$

3.9 Коэффициент гармоник выходного напряжения не превышает значений, указанных в табл. А.2.

Таблица А.2 – Зависимость коэффициента гармоник от частоты

| Частота                                | 10 Гц | 30 Гц -<br>100 кГц | 200 кГц -<br>3 МГц | 5-10 МГц | 15-30 МГц | 50 МГц |
|----------------------------------------|-------|--------------------|--------------------|----------|-----------|--------|
| Ко-<br>эффи-цие<br>нт гармо-<br>ник, % | 0,3   | 0,1                | 0,15               | 0,2      | 0,3       | 0,5    |

3.10 Активное выходное сопротивление прибора:

- не более 1 Ом – при выходном напряжении от 1 до 3 В;
- $30 \text{ Ом} \pm 3\%$  – при выходном напряжении от 0,316 до 0,9 В;
- $50 \text{ Ом} \pm 3\%$  – при выходном напряжении менее 0,316 В.

3.11 Время установления выходного напряжения прибора не превышает 15 с.

3.12 Прибор допускает дистанционный выбор фиксированной частоты и номинального значения выходного напряжения.

3.13 Прибор имеет выход на цифropечатающее устройство (ЦПУ) в параллельном двоично-десятичном коде 8-4-2-1 и выход команды «СОПРОВОЖДЕНИЕ» в положительной логике с параметрами нагрузки 10 кОм:

- уровень логического "0" – от 0 до 0,4 В;
- уровень логической "1" – от 2,4 до 4,5 В;
- длительность – не менее 1 мс.

3.14 Время установления рабочего режима 30 мин.

3.15 Прибор сохраняет свои технические характеристики при питании его от сети переменного тока напряжением  $220 \pm 22 \text{ В}$ , частотой  $50 \pm 0,5 \text{ Гц}$  и содержанием гармоник до 5%, и напряжением  $220 \pm 11 \text{ В}$  частотой  $400 \pm 28/-12 \text{ Гц}$  и содержанием гармоник до 5%.



3.16 Мощность, потребляемая прибором от сети переменного тока, при номинальном напряжении не превышает 50 ВА.

3.17 Прибор допускает непрерывную работу в рабочих условиях в течение 8 часов при сохранении своих технических характеристик в пределах норм.

#### **4 Устройство и работа прибора и его составных частей**

##### **4.1 Принцип действия.**

4.1.1 Принцип действия прибора заключается в преобразовании опорного напряжения постоянного тока в напряжение переменного тока, которое поступает на выход прибора через аттенюатор.

4.1.2 Структурная схема прибора приведена на рис. А 1. Прибор состоит из следующих составных частей:

- генератора НЧ;
- генератора ВЧ;
- преобразователей напряжения переменного тока в напряжение постоянного тока;
- аттенюатора;
- сравнивающего устройства;
- источника опорного напряжения;
- корректора погрешности;
- прибора отсчёта погрешности;
- блока управления 1;
- блока управления 2;
- блока питания.

Весь частотный диапазон прибора перекрывается с помощью двух генераторов фиксированных частот: низкочастотного (от 10 Гц до 100 кГц) и высокочастотного (от 0,2 до 500 МГц). Выходное напряжение генераторов поступает на преобразователь напряжения переменного тока, преобразовываясь в напряжение постоянного, и через аттенюатор – на выход прибора. Преобразованное напряжение сравнивается с опорным напряжением, поступающим с источника опорного напряжения, интегрируется и поступает на управляющий вход низкочастотного или высокочастотного генераторов.

В результате на входе аттенюатора поддерживается напряжение переменного тока, значение которого с высокой точностью соответствует значению опорного напряжения.

Точность преобразования обеспечивается глубокой отрицательной обратной связью, охватывающей перечисленные выше функциональные узлы, стабильностью источника опорного напряжения и преобразователя напряжения переменного тока в напряжение постоянного тока.

Изменением уровня опорного напряжения на выходе прибора обеспечиваются напряжения значениями от 3В до 1В. Дальнейшее уменьшение выходного напряжения до 100 мкВ осуществляется ступенчатым аттенюатором. Для уменьшения погрешности выходного напряжения прибора в опорное напряжение вводится коррекция погрешности аттенюатора в зависимости от частоты и ослабления.

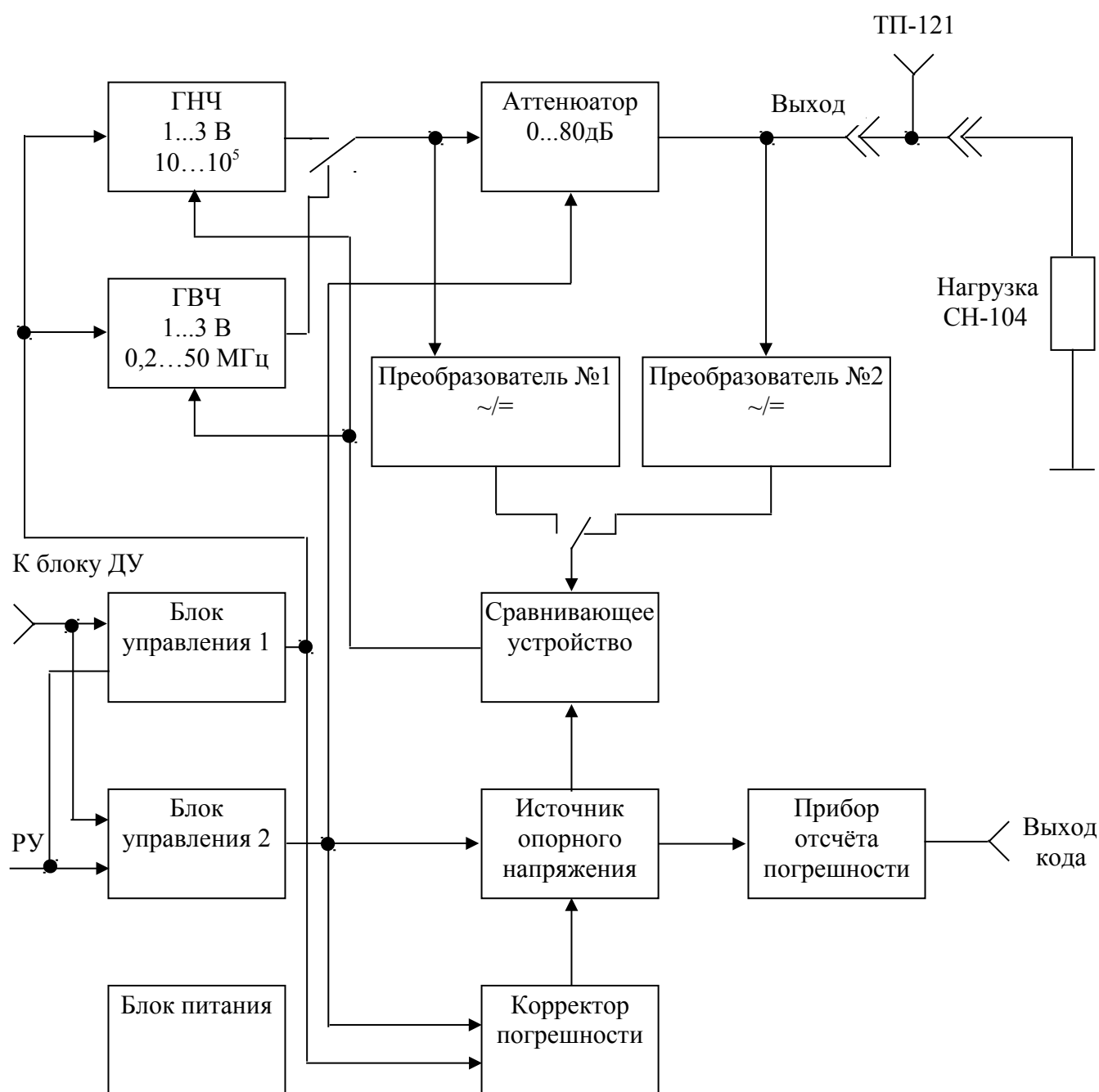


Рисунок А.1 – Структурная схема

При выходных напряжениях 1-3 В (ослабление аттенюатора 0 дБ) на выходе прибора включен второй преобразователь напряжения переменного тока в напряжение постоянного тока, который обеспечивает на частотах 30-50 МГц необходимую точность выходного напряжения. Отсчёт погрешности поверяемого вольтметра осуществляется с помощью встроенного цифрового вольтметра, показывающего разность между номинальным и установленным значением опорного напряжения в процентах.

В приборе предусмотрена возможность дистанционного управления частотой и значением выходного напряжения. Для этого в приборе имеются блоки управления 1 и 2. В приборе также предусмотрена возможность регистрации результатов измерения с помощью ЦПУ.

Питание составных частей прибора производится от стабилизаторов +5 В, +15 В, минус 15 В, +27 В, выпрямителя +250 В.

## 5 Внешний осмотр и опробование установки

5.1 При проведении внешнего осмотра должно быть установлено отсутствие механических повреждений, состояние лакокрасочных покрытий и чёткость маркировки.

### 5.2 Опробование.

Для опробования прибора необходимо:

- включить прибор в сеть, при этом должна светиться индикаторная лампочка;
- установить переключатель поддиапазонов в положение «10 мВ»;
- плавно поворачивая ручку потенциометра «0 ГРУБО», а при приближении к нулевой отметке шкалы – потенциометром «0 ТОЧНО», установить указатель прибора в чёрную область в начале шкалы. Электрический нуль установлен правильно, если указатель колеблется в пределах чёрной области шкалы.

## 6 Подготовка установки к работе

6.1 Прибор подготавливается в следующей последовательности:

- заземлите прибор с помощью клеммы;
- присоедините к прибору нагрузку СН-104 через тройниковый переход ТП-121;
- нажмите кнопки  $10, \times 10^2$  переключателей «ЧАСТОТА, Hz», кнопки 3 и  $\times 0$  переключателей «ВЫХОДНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ, mV»;
- включите вилку шнура питания прибора в сетевую розетку.

Таблица А.3 – Допустимые значения входной ёмкости

| Частота выходного напряжения | Допустимое значение входной ёмкости поверяемого вольтметра, пФ |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 10 Гц – 10 кГц               | 2000                                                           |
| 20 кГц – 0,1 МГц             | 300                                                            |
| 0,2 – 1 МГц                  | 100                                                            |
| 3 – 10 МГц                   | 30                                                             |
| 15 – 30 МГц                  | 10                                                             |
| 50 МГц                       | 6                                                              |

6.2 При значениях выходного напряжения менее 1 В необходимо учитывать погрешность, возникающую от шунтирующего действия входного сопротивления и выходной емкости поверяемого вольтметра. В этом случае погрешность поверяемого вольтметра вычисляют по формуле А.3:

$$\delta_u = \delta_n + \frac{K}{R_H}, \quad (\text{А.3})$$

где  $\delta_u$  – погрешность поверяемого вольтметра, %;

$\delta_n$  – погрешность поверяемого вольтметра по цифровому табло В1-16, %;

$K$  – коэффициент, учитывающий шунтирующее действие поверяемого вольтметра;

для напряжений от 0,316 до 0,9 В  $K = 1,87$ ;

для напряжений менее 0,316 В  $K = 2,5$ ;

$R_n$  – входное сопротивление поверяемого прибора, кОм.

6.3 При определении измерения показаний поверяемого вольтметра в области частот от 10 МГц следует учитывать, что изменение выходного напряжения прибора  $\delta_4$  в процентах при изменении частоты выходного напряжения относительно частоты 1 кГц не превышает значения, вычисленного по формуле:

$$\delta_4 = \pm \left( 0,008 + \frac{\delta_{10}}{10} \cdot f \right), \quad (\text{A.4})$$

где  $\delta_{10}$  – предел допускаемой основной погрешности номинального значения выходного напряжения, указанного в пункте 2.2.4, % на частоте 10 МГц;

$f$  – частота выходного напряжения, МГц.

6.4 Подготовка прибора В1-16 к измерениям:

- включите прибор тумблером СЕТЬ, при этом должны засветиться знаки на цифровом табло, и дайте прогреться прибору на протяжении 30 мин.
- установите ручками ГРУБО и ТОЧНО показания табло равными 0,00%.
- установите показания калибруемого вольтметра равными нулю при нажатой кнопке х0 переключателя выходного напряжения.

## 7 Порядок работы

7.1 Измерение основной (относительной) погрешности проводить в следующей последовательности:

- установите нужный поддиапазон с помощью переключателя поддиапазонов измерений калибруемого вольтметра;
- установите кнопкой переключателей «ЧАСТОТА, Hz» или «ЧАСТОТА, MHz» требуемое значение частоты равное 1 МГц выходного напряжения прибора;
- установить переключателями „ВЫХОДНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ”, mV и „МНОЖИТЕЛЬ” установки В1-16 на требуемое входное напряжение;
- установить с помощью ручек „УСТ.ВЫХ.НАПРЯЖ.” „ГРУБО” и „ТОЧНО” установки В1-16 указатель показывающего устройства вольтметра, точно на нужную отметку;
- снять отсчет значения относительной погрешности калибруемого вольтметра с цифрового табло прибора. Значение приведенной погрешности вольтметра определяется по формуле:

$$\gamma = \delta \frac{U_{\text{пред}}}{U_{\text{калибр}}}, \quad (\text{A.5})$$

где  $\delta$  – отсчёт по шкале установки;  $U_{\text{пред}}$  – предельное значение;  $U_{\text{калибр}}$  – напряжение, соответствующее контролируемой точке.

Результаты измерений и расчетов записать в табл. 5.1.

7.2 Определение зависимости погрешности показаний калибруемого вольтметра от частоты относительно показаний на частоте градуировки (1 МГц) в рабочих областях частот на частотах: 20; 30; 45 Гц; 1 кГц; 100 кГц и 5; 10; 30; 50 МГц на верхних границах поддиапазонов 1; 3; 10; 30; 100; 300 мВ, 1 В; 3 В.

Измерения проводятся в таком порядке:

- подключить гнездо „ВЫХОД” прибора В1-16 к калибруемому вольтметру. С помощью переключателя поддиапазонов установить нужное значение частоты;
- установить с помощью ручек „УСТ.ВЫХ.НАПРЯЖ.”, „ГРУБО” и „ТОЧНО” прибора В1-16 указатель показывающего устройства калибруемого вольтметра, как можно точнее на нужную пометку;
- определить значение относительной погрешности по цифровому индикатору прибора В1-16;
- рассчитать значение погрешности вольтметра как алгебраическую разность между погрешностью вольтметра на частоте 1 МГц (которая определялась в предыдущем пункте) и погрешностью вольтметра в пределах рабочей области частот определенной с помощью прибора В1-16;
- значения погрешностей занести в табл. 5.2.

Погрешность изменения показаний калибруемого вольтметра не должна превышать допустимых значений, указанных в технической документации.

### 7.3 Определение вариации показаний калибруемого вольтметра.

Измерение вариации производить в следующем порядке:

- измерения производить на поддиапазоне с верхним пределом 100 мВ;
- плавно подвести указатель к поверяемой отметке со стороны начальной отметки шкалы;
- результат записать в табл. 5.3, как отсчет по цифровому индикатору установки при прямом ходе;
- плавно подвести указатель к поверяемой отметке со стороны конечной отметки шкалы;
- результат записать в табл. 5.3, как отсчет по цифровому индикатору установки при прямом ходе;
- рассчитать вариацию показаний по формуле  $H = \left| \delta_{i\delta y_i} - \delta_{i\delta \delta} \right|$ .

Вариации показаний не должны превышать 1%, т.е.  $H = \left| \delta_{i\delta y_i} - \delta_{i\delta \delta} \right| \leq 1\%$ .

7.4 Сопротивление изоляции цепи питания определить в нормальных условиях с помощью мегомметра М4100, который одним проводом подключить к соединительным контактам вилки сетевого питания поверяемого прибора, а другим проводом – к его корпусу. Сопротивление изоляции должно быть не менее 20 МОм.

7.5 Сопротивление защитного заземления определить с помощью вольтметра ВУ-15 и амперметра М2018.

## ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ № 2

### РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ НАПРЯЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

#### 1 КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Электрические сигналы (напряжение или ток), используемые в телекоммуникационных системах и информационных сетях характеризуются четырьмя основными параметрами: пиковым, средним, средневыпрямленным и среднеквадратическим значениями.

Пиковое значение  $U_m$  (амплитудное – для синусоидальных сигналов) – наибольшее мгновенное значение напряжения за период (при разнополярных несимметричных кривых напряжения различают положительное и отрицательное пиковые значения).

Среднее значение за время измерения (или за период) – постоянная составляющая напряжения:

$$U_{сд} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt. \quad (1.1)$$

Средневыпрямленное значение (СВЗ) – это среднее значение модуля напряжения за период:

$$U_{\hat{u}} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt. \quad (1.2)$$

При однополярных напряжениях среднее значение (постоянная составляющая) равно средневыпрямленному. При разнополярных напряжениях эти два параметра различны. Например, для синусоидального напряжения  $U_{сд} = 0$ , а  $U_{\hat{u}} = 0,637U_m$ .

Среднеквадратическое значение (СКЗ) напряжения за время измерения (или за период)

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}. \quad (1.3)$$

Отметим, что квадрат среднеквадратического значения периодического напряжения несинусоидальной формы равен сумме квадратов среднеквадратических значений постоянной и всех гармонических составляющих этого напряжения:

$$U^2 = U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots, \quad (1.4)$$

$$U = \sqrt{\sum_{k=0}^{\infty} U_k^2}. \quad (1.5)$$

1.2 Связь между пиковым (амплитудным), среднеквадратическим и средневыпрямленным значениями напряжения данной формы устанавливается по-

средством коэффициента амплитуды, равного отношению пикового значения к среднеквадратическому:

$$K_a = U_m / U \quad (1.6)$$

и коэффициента формы кривой, определяемого отношением среднеквадратического значения к среднемувыпрямленному:

$$K_{\phi} = U / U_{\text{нв}}. \quad (1.7)$$

Иногда удобно пользоваться коэффициентом усреднения

$$\hat{E}_y = \hat{E}_a \hat{E}_{\phi} = \frac{U_m}{U_{\text{нв}}}. \quad (1.8)$$

В технике связи коэффициент амплитуды называют пик-фактором. Его принято выражать в относительных или логарифмических единицах:  $20 \lg(U_m / U)$  дБ. Коэффициент формы называют форм-фактором и также выражают в относительных или логарифмических единицах:  $20 \lg(U / U_{\text{нв}})$  дБ.

При любой форме напряжения всегда справедливо условие:

$$U_m \geq U \geq U_{\text{свз}}, \text{ а также } K_y \geq K_a \geq K_{\phi} \geq 1.$$

1.3 Для того чтобы рассчитать коэффициенты  $K_a$ ,  $K_{\phi}$ ,  $K_y$ , необходимо процесс  $u(t)$  записать в аналитической форме, вычислить интегралы, а затем полученные результаты подставить в выражения (1.6) ... (1.8). При этом интервал интегрирования  $T$  удобно задавать равным одному периоду  $T_0$  либо его доле. Например, для пилообразного напряжения (рис. 2.1,а) и прямоугольного процесса типа «меандр» (рис. 2.1,б) удобно задавать  $T = \frac{T_0}{2}$ , а для треугольного (рис. 2.1, г) –  $T = \frac{T_0}{4}$ .

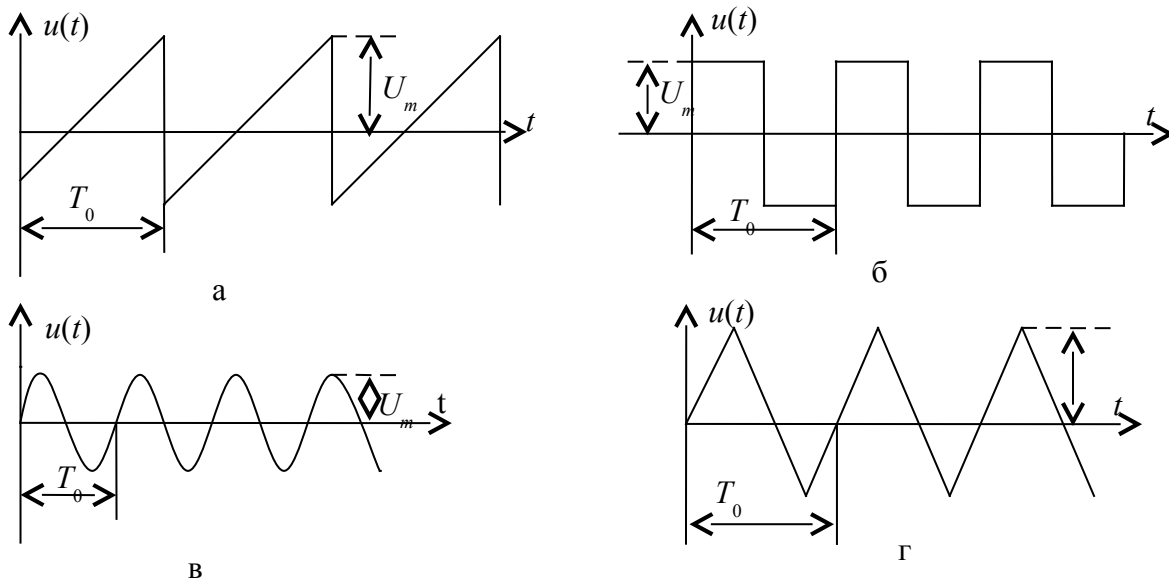


Рисунок 1.1 – Изображение различных форм периодических процессов

Пример 1.1 Расчет коэффициентов  $K_a$ ,  $K_\phi$ ,  $K_y$  для сигнала, приведенного на рис. 1.2.

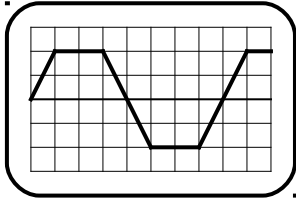


Рисунок 1.2 –  
Периодический  
процесс  
трапецеидальной  
формы

1 Запишем заданный процесс в аналитической форме (так как сигнал имеет симметричную форму, то приведем запись только для половины периода):

$$u(t) = \begin{cases} kt; 0 \leq t \leq \frac{1}{8}T \\ U_m; \frac{1}{8}T \leq t \leq \frac{3}{8}T \\ |kt|; \frac{3}{8}T \leq t \leq \frac{4}{8}T \end{cases},$$

$$\text{где } k = \operatorname{tg} \alpha = \frac{8U_m}{T}.$$

2 Определим средневыпрямленное значение напряжения

$$U_{\text{нâç}} = \frac{1}{T} \left[ 4 \int_0^{\frac{T}{8}} kt \cdot dt + 2 \int_0^{\frac{T}{4}} U_m dt \right] = \frac{1}{T} \left[ 4k \frac{t^2}{2} \Big|_0^{\frac{T}{8}} + 2U_m t \Big|_0^{\frac{T}{4}} \right] =$$

$$\frac{1}{T} \left[ 4 \frac{U_m \cdot 8}{T} \cdot \frac{T^2}{2 \cdot 64} + 2U_m \frac{T}{4} \right] = \frac{3}{4} U_m,$$

3 Определим среднеквадратическое значение напряжения

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \left[ 4 \int_0^{\frac{T}{8}} (kt)^2 dt + 2 \int_0^{\frac{T}{4}} U_m^2 dt \right]} = \sqrt{\frac{1}{T} \left[ 4k^2 \frac{t^3}{3} \Big|_0^{\frac{T}{8}} + 2U_m^2 t \Big|_0^{\frac{T}{4}} \right]}.$$

После подстановки получим

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \left[ 4 \frac{64U_m^2}{T^2} \frac{T^3}{64 \cdot 8 \cdot 3} + 2U_m^2 \frac{T}{4} \right]} = U_m \sqrt{\frac{2}{3}}.$$

4 По формулам (1.6)...(1.8) рассчитаем коэффициенты:

$$K_a = \frac{U_m}{U} = \frac{U_m}{U_m \sqrt{\frac{2}{3}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{2}{3}}}, \quad K_\phi = \frac{U}{U_{\text{нâç}}} = \frac{U_m \sqrt{\frac{2}{3}}}{\frac{3}{4} U_m} = \frac{\sqrt{\frac{2}{3}}}{\frac{3}{4}}, \quad K_y = \frac{U_m}{\frac{3}{4} U_m} = \frac{4}{3}.$$

1.4 Современные электронные вольтметры переменного тока строят преимущественно по принципу преобразования переменного напряжения в постоянное с последующим его измерением. Это объясняется тем, что все интересующие нас параметры переменного напряжения представляют собой постоянную составляющую процесса, полученного из исходного путем того или иного преобразования, например, возведения в квадрат, двухполупериодного выпрямления, запоминания максимального мгновенного значения.

1.5 Электронные вольтметры можно классифицировать по различным признакам:



- по назначению: В1- образцовый вольтметр, В2- вольтметр для измерения постоянного напряжения, В3- вольтметр для измерения переменного напряжения, В4- вольтметр для измерения импульсного напряжения, В5-фазочувствительный вольтметр, В6-селективный вольтметр, В7- универсальный вольтметр, В8-вольтметр для измерения отношений напряжений или их разностей;
- по типу отсчетного устройства – аналоговые и цифровые;
- по методу измерения – прямого сравнения с мерой и нулевые (компенсационные);
- по измеряемому параметру напряжения – пиковые (амплитудные), среднеквадратического и средневыпрямленного значений;
- по частотному диапазону – низкочастотные, высокочастотные, сверхвысокочастотные, широкодиапазонные;
- по схеме входа (относительно постоянной составляющей тока) с открытым и закрытым входом.

1.6 Основными узлами электронного вольтметра являются: входное устройство, усилитель переменного напряжения, измерительный преобразователь переменного напряжения в постоянное, усилитель постоянного напряжения (тока), аналоговый или цифровой измеритель постоянного тока (напряжения).

Измерительный преобразователь переменного напряжения в постоянное напряжение или ток (будем далее называть его ИПН) – важнейший узел вольтметра, который определяет измеряемый параметр напряжения (пиковое, среднеквадратическое или средневыпрямленное значение напряжения).

1.7 Так как исторически сложилось, что первым появилось переменное напряжение синусоидальной формы, и по настоящее время оно является наиболее используемым, то было принято решение комиссией МЭК градуировку большинства шкал электронных вольтметров, кроме импульсных (типа В4- которые градуируют в пиковых значениях), производить в среднеквадратических значениях гармонического напряжения. Поскольку для этого напряжения коэффициенты амплитуды и формы, соответственно равны  $K_a = 1,41$  и  $K_\phi = 1,11$ , то эти коэффициенты были использованы при градуировке шкал вольтметров. В частности, показания пикового вольтметра для любой формы сигнала всегда меньше пикового значения измеряемого напряжения в 1,41 раза, а показания вольтметра СВЗ – в 1,11 раза больше средневыпрямленного значения измеряемого напряжения. Лишь для гармонического напряжения отсчеты по шкалам вольтметров с разными видами ИПН одинаковы и равны  $U_{\text{нѐс}}$ .

Для вольтметра СКЗ коэффициент градуировки равен 1, следовательно, показания вольтметра СКЗ не зависят от формы измеряемого напряжения.

Проиллюстрировать это можно схемой, приведенной на рис. 1.3, где  $A$  – показания вольтметров.

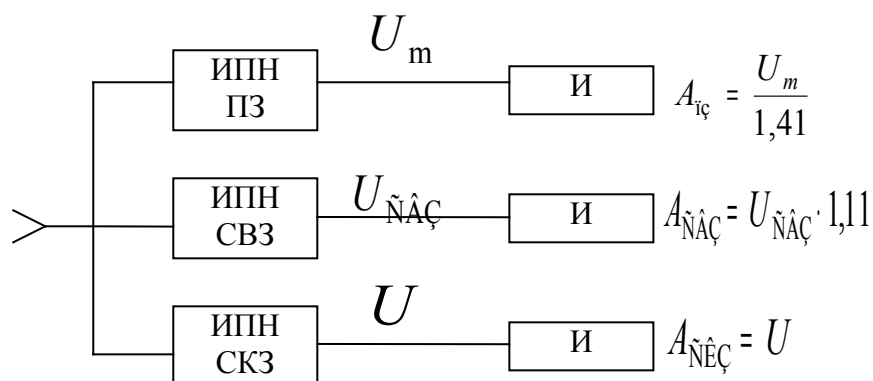


Рисунок 1.3 – Схема, поясняющая принцип градуировки шкал электронных вольтметров

Из этой схемы легко определить параметры переменного напряжения из показаний приборов:

$$U_m = 1,41A_{\text{пз}}, \quad U_{\text{свз}} = A_{\text{свз}}/1,11, \quad U = A.$$

Если известны коэффициенты  $K_a$  и  $K_\phi$  измеряемого напряжения, то по одному из параметров этого напряжения ( $U_m$ ,  $U$  или  $U_{\text{свз}}$ ) можно определить два других, используя формулы (1.6) и (1.7).

Как уже отмечалось, исключение составляют импульсные вольтметры типа В4, шкалы которых градуируются в амплитудных (пиковых) значениях, т.е. показания таких вольтметров  $A$  всегда равны  $U_m$ .

Зная правило градуировки вольтметров, определение коэффициентов (1.6)... (1.8), тип ИПН, можно всегда прогнозировать ожидаемые показания вольтметра, исключить методические погрешности, связанные с произвольной формой измеряемого напряжения.

## 2 ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАНИЯ

### Пример 2.1

Таблица 2.1 – Условие задания

| Вариант | Тип вольтметра | Показания | $U_m$ | $U_{\hat{N}\hat{A}\hat{C}}$ | $U$ | $K_a$ | $K_\phi$ | $K_y$ | Осциллограмма или математическая модель напряжения | Коэф. откл. В/дел | Коэф. раз-вер. мкс/дел. |
|---------|----------------|-----------|-------|-----------------------------|-----|-------|----------|-------|----------------------------------------------------|-------------------|-------------------------|
| W       | В3-56          | ?         |       |                             |     |       |          |       |                                                    | 2                 | 5                       |
|         | В7-26          | ?         | ?     | ?                           | ?   | ?     | ?        | ?     |                                                    |                   |                         |
|         | В3-38          | ?         |       |                             |     |       |          |       |                                                    |                   |                         |

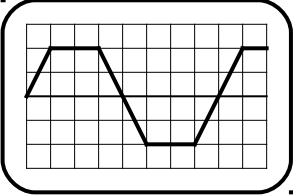
Решение.

- 1 Определяем коэффициенты  $K_a$ ,  $K_\phi$ ,  $K_y$  для заданной формы напряжения (как показано в примере 1.1).

$$K_a = \frac{U_m}{U} = \frac{1}{\sqrt{2/3}}, \quad K_\phi = \frac{U}{U_{\text{нâç}}} = \frac{\sqrt{2/3}}{3/4}, \quad K_y = \frac{4}{3}.$$

Результаты заносим в табл. 2.2.

Таблица 2.2 – Решение примера 2.1

| Вариант | Тип вольтметра | Показания А, В | $U_m$<br>В | $U_{\text{нâç}}$<br>В | $U$<br>В | $K_a$                  | $K_\phi$                 | $K_y$         | Осциллограмма или математическая модель напряжения                                 | Коэф. откл. В/дел | Коэф. разв. мкс/дел. |
|---------|----------------|----------------|------------|-----------------------|----------|------------------------|--------------------------|---------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------------|
|         | В3-56          | 3,28           |            |                       |          |                        |                          |               |  |                   |                      |
|         | В7-26          | 2,84           | 4          | 3,28                  | 3,01     | $\frac{1}{\sqrt{2/3}}$ | $\frac{4/3}{\sqrt{2/3}}$ | $\frac{4}{3}$ |                                                                                    | 2                 | 5                    |
|         | В3-38          | 3,34           |            |                       |          |                        |                          |               |                                                                                    |                   |                      |

2 Из таблицы А.1 (Приложение А) основных технических характеристик электронных вольтметров определяем тип измерительного преобразователя напряжения (ИПН) для указанных в задании приборов: В7-26 имеет ИПН пиковых значений, В3-56 – среднеквадратических и В3-38 – средневывпрямленных значений.

3 Проверяем, находится ли частота измеряемого сигнала в границах частотного диапазона вольтметров и делаем вывод о соответствии условиям измерения.

Период измеряемого напряжения определяем из осциллограммы. Для рассматриваемого варианта  $T = l \cdot K_{\text{дâçâ}} = 8 \text{ дâçâ} \cdot 5 \text{ дâçâ} / \text{дâçâ} = 40 \text{ мкс}$ ,  $f = 25 \text{ кГц}$ . Следовательно, все вольтметры удовлетворяют условиям.

4 Пиковое значение напряжения определяем из осциллограммы:

$U_m = K_{\text{îðëë}} \cdot h$ , где  $h$  – число делений, соответствующих пиковому значению сигнала.

$$U_m = 2 \text{ В/дел} \cdot 2 \text{ дел} = 4 \text{ В}.$$

5 Среднеквадратическое значение напряжения определяем из формулы

$$U = \frac{U_m}{K_a} = \frac{4}{1,22} = 3,28 \text{ В}.$$

6 Средневывпрямленное значение напряжения определяем из формулы

$$U_{\text{нâç}} = \frac{U}{K_\phi} = \frac{3,28}{1,09} = 3,01 \text{ В}, \text{ либо } U_{\text{нâç}} = \frac{U_m}{\hat{E}_\phi} = \frac{4}{1,33} = 3,01 \text{ В}.$$

Рассчитанные значения напряжений заносим в табл. 2.2.

7 Определим показания вольтметра ВЗ-56 с ИПН среднеквадратических значений. В соответствии с правилами градуировки показания таких вольтметров равны среднеквадратическому значению, т.е. 3,28 В.

8 Определим показания вольтметра В7-26 с ИПН пиковых значений. Показания таких вольтметров всегда меньше измеряемого ими пикового значения в 1,41 раза, т.е.

$$A_{пз} = \frac{U_m}{1,41} = 2,84 \text{ В, где } A_{пз} \text{ показания вольтметра с ИПН пиковых значений.}$$

9 Определим показания вольтметра ВЗ-38 с ИПН средневыпрямленных значений. Показания таких вольтметров всегда больше измеряемого ими средневыпрямленного значения в 1,11 раза, т.е.

$$A_{\text{нв}} = U_{\text{нв}} \cdot 1,11 = 3,01 \text{ В} \cdot 1,11 = 3,34 \text{ В.}$$

Полученные данные заносим в табл. 2.2.

*Примечание.* При решении своего варианта студент должен привести промежуточные результаты определения  $K_a$ ,  $K_\phi$ ,  $K_y$ , параметров исследуемого процесса и ожидаемых показаний вольтметра.

Варианты заданий приведены в приложении Б.

### 3 ЛИТЕРАТУРА

1. Метрологія в галузі зв'язку / Л.В. Коломієць, М.Т. Козаченко й ін. – Кн. 1. – Одеса: Стандарт, 2006.
2. Метрологія в галузі зв'язку / Л.В. Коломієць, М.Т. Козаченко й ін. – Кн. 2. – Одеса: Стандарт, 2007.
3. Метрология, стандартизация и измерения в технике связи: Учеб. пособие для вузов / Б.П.Хромой, А.В. Кандинов, А.Л. Сенявский и др.; Под ред. Б.П. Хромого. – М.: Радио и связь, 1986.
4. ДСТУ 2681-94. Державна система забезпечення єдності вимірювань. Метрологія. Терміни та визначення.

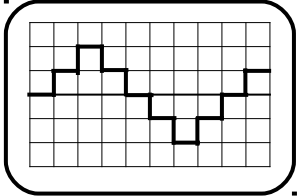
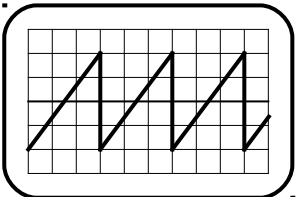
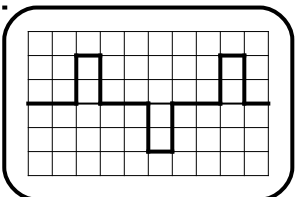
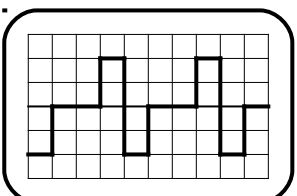
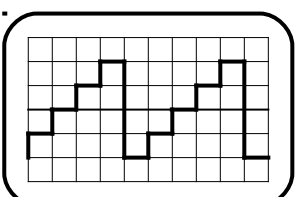
## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А.1 – Основные технические характеристики вольтметров

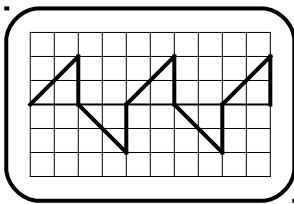
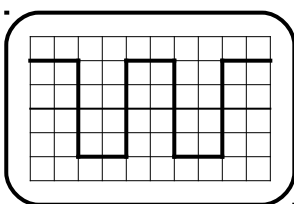
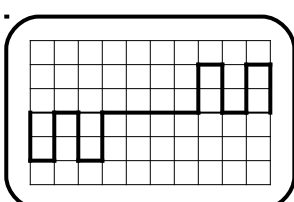
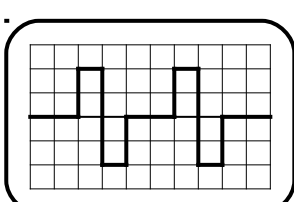
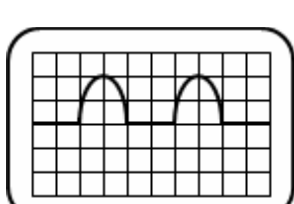
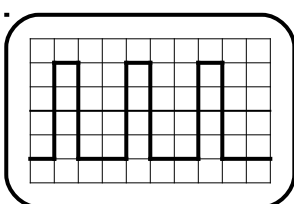
| Тип вольтметра | Тип ИПН | Диапазон измеряемого напряжения | Частотный диапазон | Основная допустимая погрешность (класс точности) |
|----------------|---------|---------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------|
| ВЗ-6           | СКЗ     | 150 мкВ...200 В                 | 5 Гц...1 МГц       | 6 %                                              |
| ВЗ-20          | СКЗ     | 2 мВ...300 В                    | 45 Гц...300 кГц    | 1,5 %                                            |
| ВЗ-40          | СКЗ     | 10 мкВ...300 В                  | 5 Гц...5 МГц       | 4 %                                              |
| ВЗ-42          | СКЗ     | 30 мкВ...300 В                  | 10 Гц...5 МГц      | 4 %                                              |
| ВЗ-45          | СКЗ     | 0,3 мВ...300 В                  | 20 Гц...50 МГц     | 4 %                                              |
| ВЗ-49          | СКЗ     | 10 мВ... 100 В                  | 20 Гц...1000 МГц   | $\left(0,2 + \frac{0,08}{U_X}\right) \%$         |
| ВЗ-53          | СКЗ     | 0,1 мВ...300 В                  | 20 Гц...1 МГц      | 2,5 %                                            |
| ВЗ-55          | СКЗ     | 0,1 мВ...300 В                  | 10 Гц...50 МГц     | 2,5 %                                            |
| ВЗ-56          | СКЗ     | 0,1 мВ...300 В                  | 10 Гц...15 МГц     | 4 %                                              |
| ВЗ-57          | СКЗ     | 100 мкВ...300 В                 | 5 Гц...5 МГц       | 2,5 %                                            |
| ВЗ-33          | СВЗ     | 30 мкВ...300 В                  | 10 Гц...1 МГц      | 2,5 %                                            |
| ВЗ-38          | СВЗ     | 0,1 мВ...300 В                  | 20 Гц...5 МГц      | 4 %                                              |
| ВЗ-39          | СВЗ     | 0,1 мВ...300 В                  | 20 Гц...10 МГц     | 4 %                                              |
| ВЗ-41          | СВЗ     | 0,3 мВ...300 В                  | 20 Гц...10 МГц     | 4 %                                              |
| ВК7-10         | СВЗ     | 1 мВ...1000 В                   | 20 Гц...20 кГц     | $0,2 U_x + 2 \text{ ед. счета.}$                 |
| ВК7-10/А       | СВЗ     | 1 мВ...1000 В                   | 20 Гц...20 кГц     | $0,2 U_x + 2 \text{ ед. счета.}$                 |
| В4-12          | ПЗ      | 1 мВ...1 В                      | 500 Гц...5 МГц     | 4 %                                              |
| В4-13          | ПЗ      | 0,1...150 В                     | 10 Гц...1 МГц      | $0,005 U_x + 0,02 \text{ В}$                     |
| В4-14          | ПЗ      | 10 мВ...1 В                     | 1...100 МГц        | 6 %                                              |
| В4-17          | ПЗ      | 0,1...1000 В                    | 100 Гц...5 МГц     | $1,5 \% + 1 \text{ ед. счета.}$                  |
| В4-18          | ПЗ      | 1...500 В                       | 500 Гц... 10 МГц   | 6 %                                              |
| В4-20          | ПЗ      | 0,1...250 В                     | 10 Гц...50 МГц     | $\left(0,3 + \frac{0,2}{U_m}\right) \%$          |
| В7-26          | ПЗ      | 200 мВ...300 В                  | 20 Гц...1000 МГц   | 4 %                                              |
| ВК7-15         | ПЗ      | 1...1000 В                      | 20 Гц...700 МГц    | 6 %                                              |

## Приложение Б

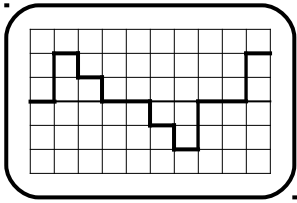
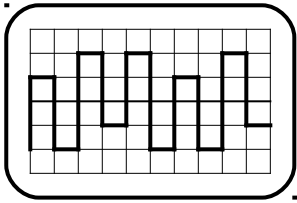
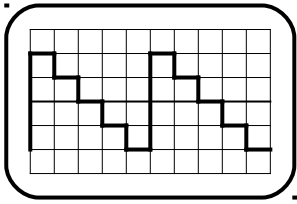
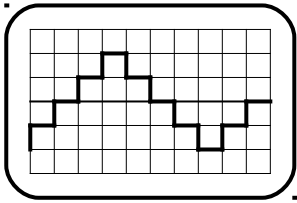
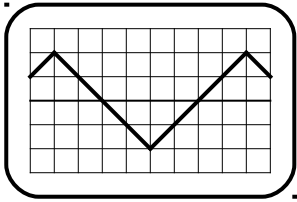
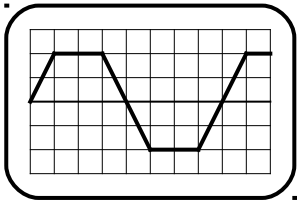
Таблица Б.1 Варианты заданий

| Вариант | Тип<br>вольт-<br>метра | Пока-<br>зания | $U_m$ | $U_{свз}$ | $U$ | $K_a$      | $K_\phi$             | $K_y$ | Осциллограмма или<br>математическая модель<br>напряжения                             | Коэф.<br>откл.<br>В/дел | Коэф.<br>разв.<br>мкс/<br>дел |
|---------|------------------------|----------------|-------|-----------|-----|------------|----------------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| 1       | В7-26                  | ?              |       |           |     |            |                      |       |    | 10                      | 2                             |
|         | В3-42                  | ?              | ?     | ?         | ?   | ?          | ?                    | —     |                                                                                      |                         |                               |
|         | В3-38                  | ?              |       |           |     |            |                      |       |                                                                                      |                         |                               |
| 2       | В3-38                  | 10 В           |       |           |     |            |                      |       |    | —                       | 5                             |
|         | В4-17                  | ?              | ?     | ?         | ?   | $\sqrt{3}$ | $\frac{2}{\sqrt{3}}$ | 2     |                                                                                      |                         |                               |
|         | В3-40                  | ?              |       |           |     |            |                      |       |                                                                                      |                         |                               |
| 3       | В4-12                  | ?              |       |           |     |            |                      |       |   | -                       | 1                             |
|         | ВК7-15                 | ?              | ?     | ?         | ?   | ?          | ?                    | ?     |                                                                                      |                         |                               |
|         | В7-26                  | 1 В            |       |           |     |            |                      |       |                                                                                      |                         |                               |
| 4       | ВК7-10                 | ?              |       |           |     |            |                      |       |  | 2                       | 2                             |
|         | В7-26                  | ?              | ?     | ?         | ?   | ?          | ?                    | ?     |                                                                                      |                         |                               |
|         | В4-20                  | ?              |       |           |     |            |                      |       |                                                                                      |                         |                               |
| 5       | В3-53                  | ?              |       |           |     |            |                      |       |  | 1                       | 1                             |
|         | В4-18                  | ?              | ?     | ?         | ?   | ?          | ?                    | ?     |                                                                                      |                         |                               |
|         | В3-41                  | ?              |       |           |     |            |                      |       |                                                                                      |                         |                               |
| 6       | ВК7-15                 | 1 В            |       |           |     |            |                      |       | —                                                                                    | —                       | —                             |
|         | В3-56                  | 0,5 В          | ?     | ?         | ?   | ?          | ?                    | ?     |                                                                                      |                         |                               |
|         | В3-39                  | 0,5 В          |       |           |     |            |                      |       |                                                                                      |                         |                               |

Продолжение таблицы Б.1

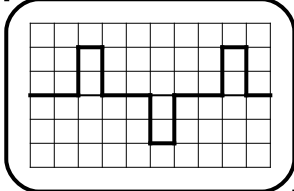
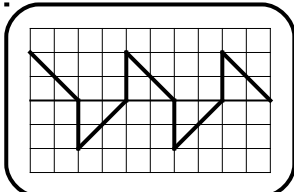
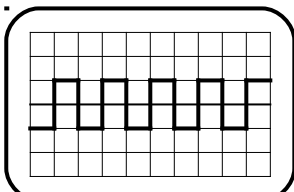
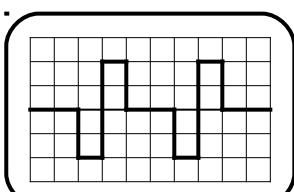
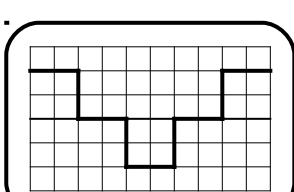
| Вариант | Тип вольтметра | Показания | $U_m$ | $U_{свз}$ | $U$ | $K_a$ | $K_\phi$ | $K_y$ | Осциллограмма или математическая модель напряжения                                   | Коэф. откл. В/дел | Коэф. разв. мкс/дел |
|---------|----------------|-----------|-------|-----------|-----|-------|----------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------|
| 7       | В3-38          | ?         |       |           |     |       |          |       |    | 1                 | 2                   |
|         | В3-55          | ?         | ?     | ?         | ?   | ?     | ?        | ?     |                                                                                      |                   |                     |
|         | В7-26          | ?         |       |           |     |       |          |       |                                                                                      |                   |                     |
| 8       | В3-39          | ?         |       |           |     |       |          |       |    | 5                 | 1                   |
|         | В3-20          | ?         | ?     | ?         | ?   | ?     | ?        | ?     |                                                                                      |                   |                     |
|         | В4-12          | ?         |       |           |     |       |          |       |                                                                                      |                   |                     |
| 9       | ВК7-15         | ?         |       |           |     |       |          |       |   | 5                 | 2                   |
|         | В3-40          | ?         | ?     | ?         | ?   | ?     | ?        | ?     |                                                                                      |                   |                     |
|         | В3-38          | ?         |       |           |     |       |          |       |                                                                                      |                   |                     |
| 10      | В4-13          | 10 В      |       |           |     |       |          |       |  | —                 | 2                   |
|         | В7-26          | ?         | ?     | ?         | ?   | ?     | ?        | ?     |                                                                                      |                   |                     |
|         | ВК7-10         | ?         |       |           |     |       |          |       |                                                                                      |                   |                     |
| 11      | В3-45          | ?         |       |           |     | 2,82  | 2,22     | —     |  | —                 | 1                   |
|         | В7-26          | ?         | ?     | ?         | ?   |       |          |       |                                                                                      |                   |                     |
|         | В3-41          | 1 В       |       |           |     |       |          |       |                                                                                      |                   |                     |
| 12      | В7-26          | ?         |       |           |     |       |          |       |  | 1                 | 1                   |
|         | В3-33          | ?         | ?     | ?         | ?   | ?     | ?        | ?     |                                                                                      |                   |                     |
|         | В3-53          | ?         |       |           |     |       |          |       |                                                                                      |                   |                     |

Продолжение таблицы Б.1

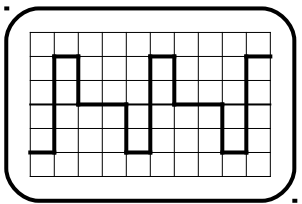
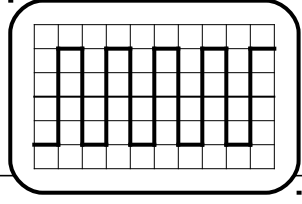
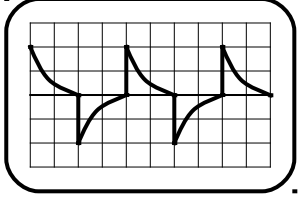
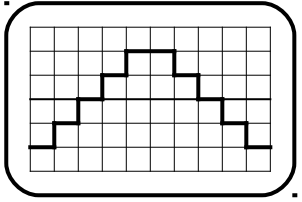
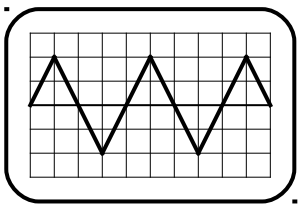
| Вариант | Тип<br>вольт-<br>метра     | Пока-<br>зания       | $U_m$ | $U_{свз}$ | $U$ | $K_a$                        | $K_\phi$                        | $K_y$         | Осциллограмма или<br>математическая модель<br>напряжения                             | Коэф.<br>откл.<br>В/дел | Коэф.<br>разв.<br>мкс/<br>дел |
|---------|----------------------------|----------------------|-------|-----------|-----|------------------------------|---------------------------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| 13      | В7-26<br>В3-53<br>В3-41    | 10 В<br>10 В<br>10 В | ?     | ?         | ?   | ?                            | ?                               | ?             | —                                                                                    | —                       | —                             |
| 14      | В7-26<br>В3-40<br>В3-38    | ?<br>?<br>?          | ?     | ?         | ?   | ?                            | ?                               | ?             |    | 5                       | 1                             |
| 15      | ВК7-15<br>В3-39<br>В3-45   | ?<br>?<br>?          | ?     | ?         | ?   | ?                            | ?                               | ?             |    | 10                      | 1                             |
| 16      | ВК7-10<br>В4-12<br>В3-20   | ?<br>?<br>?          | ?     | ?         | ?   | ?                            | ?                               | ?             |  | 1                       | 1                             |
| 17      | В3-41<br>ВК7-10/А<br>В7-26 | ?<br>?<br>?          | ?     | ?         | ?   | ?                            | ?                               | ?             |  | 1                       | 1                             |
| 18      | В3-38<br>В4-13<br>В3-49    | 1 В<br>?<br>?        | ?     | ?         | ?   | $\sqrt{3}$                   | $\frac{2}{\sqrt{3}}$            | 2             |  | —                       | 2                             |
| 19      | ВК7-10/А<br>В4-14<br>В3-57 | 10 В<br>?<br>?       | ?     | ?         | ?   | $\frac{1}{\sqrt{2}\sqrt{3}}$ | $\frac{4}{3}\sqrt{\frac{2}{3}}$ | $\frac{4}{3}$ |  | 0,1                     | 0,5                           |



Продолжение таблицы Б.1

| Вариант | Тип<br>вольт-<br>метра | Пока-<br>зания | $U_m$ | $U_{свз}$ | $U$ | $K_a$      | $K_\phi$             | $K_y$ | Осциллограмма или<br>математическая модель<br>напряжения                             | Коэф.<br>откл.<br>В/дел | Коэф.<br>разв.<br>мкс/<br>дел |
|---------|------------------------|----------------|-------|-----------|-----|------------|----------------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| 20      | B4-12                  | 1 В            |       |           |     |            |                      |       |    | ?                       | 1                             |
|         | B3-40                  | ?              | ?     | ?         | ?   | ?          | ?                    | ?     |                                                                                      |                         |                               |
|         | B3-41                  | ?              |       |           |     |            |                      |       |                                                                                      |                         |                               |
| 21      | B3-38                  | ?              |       |           |     |            |                      |       |    | 1                       | 2                             |
|         | B7-26                  | ?              | ?     | ?         | ?   | ?          | ?                    | ?     |                                                                                      |                         |                               |
|         | B3-42                  | ?              |       |           |     |            |                      |       |                                                                                      |                         |                               |
| 22      | B3-39                  | ?              |       |           |     |            |                      |       |   | ?                       | 0,5                           |
|         | B4-14                  | ?              | ?     | 0,5 В     | ?   | ?          | ?                    | ?     |                                                                                      |                         |                               |
|         | B7-26                  | ?              |       |           |     |            |                      |       |                                                                                      |                         |                               |
| 23      | B3-56                  | ?              |       |           |     |            |                      |       |  | 1                       | 2                             |
|         | B3-45                  | ?              | ?     | ?         | ?   | ?          | ?                    | ?     |                                                                                      |                         |                               |
|         | BK7-15                 | ?              |       |           |     |            |                      |       |                                                                                      |                         |                               |
| 24      | B7-26                  | ?              |       |           |     |            |                      |       |  | —                       | 2                             |
|         | B3-42                  | ?              | ?     | ?         | 1 В | $\sqrt{3}$ | $\frac{2}{\sqrt{3}}$ | 2     |                                                                                      |                         |                               |
|         | BK7-10                 | ?              |       |           |     |            |                      |       |                                                                                      |                         |                               |
| 25      | B3-57                  | ?              |       |           |     |            |                      |       |  | 1                       | 2                             |
|         | B3-38                  | ?              | ?     | ?         | ?   | ?          | ?                    | ?     |                                                                                      |                         |                               |
|         | B4-18                  | ?              |       |           |     |            |                      |       |                                                                                      |                         |                               |

Продолжение таблицы Б.1

| Вариант | Тип<br>вольт-<br>метра   | Пока-<br>зания  | $U_m$ | $U_{свз}$ | $U$                               | $K_a$ | $K_\phi$ | $K_y$ | Осциллограмма или<br>математическая модель<br>напряжения                             | Коэф.<br>откл.<br>В/дел | Коэф.<br>разв.<br>мкс/<br>дел |
|---------|--------------------------|-----------------|-------|-----------|-----------------------------------|-------|----------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| 26      | В3-39<br>ВК7-15<br>В4-12 | ?<br>?<br>0,1 В | ?     | ?         | ?                                 | ?     | ?        | ?     |    | ?                       | 1                             |
| 27      | В3-44<br>В7-26<br>В3-56  | 1 В<br>?<br>?   | ?     | ?         | ?                                 | ?     | ?        | ?     |    | ?                       | 2                             |
| 28      | В3-42<br>В7-26<br>В3-33  | ?<br>?<br>?     | ?     | ?         | $U_m \sqrt{\frac{1 - e^{-2}}{2}}$ | ?     | ?        | ?     |   | 1                       | 2                             |
| 29      | В7-26<br>В4-12<br>В3-42  | 0,5 В<br>?<br>? | ?     | ?         | ?                                 | ?     | ?        | ?     |  | —                       | 1                             |
| 30      | В4-13<br>В3-42<br>В3-38  | ?<br>?<br>?     | ?     | 10 В      | ?                                 | ?     | ?        | ?     |  | —                       | 1                             |

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                                                        |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАПРЯЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ И ОЦЕНКА ИХ ПОГРЕШНОСТИ</b>                        | <b>41</b> |
| 1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ                                                                                                                          | 41        |
| 2 КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ                                                                                                                   | 41        |
| 3 КЛЮЧЕВЫЕ ВОПРОСЫ                                                                                                                     | 46        |
| 4 ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ                                                                                                                     | 46        |
| 5 ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ                                                                                                                 | 47        |
| 6 ПРОТОКОЛ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ                                                                                                         | 48        |
| 7 ЛИТЕРАТУРА                                                                                                                           | 48        |
| <b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ</b> | <b>49</b> |
| 1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ                                                                                                                          | 49        |
| 2 КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ                                                                                                                   | 49        |
| 3 КЛЮЧЕВЫЕ ВОПРОСЫ                                                                                                                     | 50        |
| 4 ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ                                                                                                                     | 51        |
| 5 ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ                                                                                                                 | 51        |
| 6 ПРОТОКОЛ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ                                                                                                         | 53        |
| 7 ЛИТЕРАТУРА                                                                                                                           | 54        |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А                                                                                                                           | 55        |
| <b>ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ № 2. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ НАПРЯЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ</b>                                                | <b>62</b> |
| 1 КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ                                                                                                                   | 62        |
| 2 ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАНИЯ                                                                                                               | 66        |
| 3 ЛИТЕРАТУРА                                                                                                                           | 68        |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А                                                                                                                           | 69        |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Б                                                                                                                           | 70        |

