

## ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ІМПУЛЬСНИХ СИГНАЛІВ РІЗНОЇ ФОРМИ

**А.В. Гнатов, професор, д.т.н., ХНАДУ, О.А. Дзюбенко, доцент, к.т.н., ХНАДУ,  
В.Я. Фролов, доцент, к.т.н., ХНАДУ, О.С. Василевич, студент, ХНАДУ**

***Анотація.** Розкриті основні характеристики електричних сигналів. Проведено вимірювання діючої величини сигналів напруги різної форми загальнодоступними приладами вимірювання. Визначено межі застосування вимірювальних приладів за частотно-часовим параметрами сигналів, що вимірюються. Для кожної форми імпульсного сигналу визначено найбільш точний прилад вимірювання його діючого значення.*

***Ключові слова:** вимірювання, імпульсний сигнал, діюча значення сигналу, прилад вимірювання, амплітудне значення, шпаруватість імпульсу, частота.*

## ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ

**А.В. Гнатов, профессор, д.т.н., ХНАДУ, А.А. Дзюбенко, доцент, к.т.н., ХНАДУ,  
В.Я. Фролов, доцент, к.т.н., ХНАДУ, А.С. Василевич, студент, ХНАДУ**

***Аннотация.** Раскрыты основные характеристики электрических сигналов. Проведены измерения действующей величины сигналов напряжения различной формы общедоступными приборами измерения. Определены границы применения измерительных приборов по частотно-временным параметрам измеряемых сигналов. Для каждой формы импульсного сигнала определен наиболее точный прибор измерения его действующего значения.*

***Ключевые слова:** измерения, импульсный сигнал, действующая значение сигнала, прибор измерения, амплитудное значение, скважность импульса, частота.*

## PARTICULAR MEASUREMENT OF PARAMETERS PULSE SIGNALS OF DIFFERENT SHAPES

**A. Hnatov, professor, Doct. of Science, KhNAHU,  
A. Dziubenko, assistant professor, candidate of technical sciences, KhNAHU,  
V. Phrolov, assistant professor, candidate of technical sciences, KhNAHU,  
A. Vasiljevich student, KhNAHU**

***Abstract.** Disclosed the basic characteristics of electrical signals. Measurements of the current value of the voltage signals of different shapes available to the public gauges. The limits of application of instrumentation for frequency-time parameters of the measured signals. For each form of the pulse signal is defined most accurate instrument to measure its actual value.*

***Keywords:** measurement, pulse signal, the RMS value of the signal, the unit of measurement, peak value, duty cycle, frequency.*

### Вступ

Постановка проблеми. Виміри є одним з основних способів пізнання природи, її явищ і

законів. Кожному, новому відкриттю в галузі природничих та технічних наук передують велика кількість різних вимірів. Тому багато наукових досліджень супроводжуються ви-

мірами, що дозволяють встановити кількісні співвідношення і закономірності досліджуваних явищ [1, 2].

Особливе місце у вимірювальній техніці займають електричні вимірювання. Сучасна радіотехніка, енергетика і електроніка спирається на вимірювання електричних величин. Більшість неелектричних велич легко перетворюються в електричні з метою використання електричних сигналів для індикації, реєстрації, математичної обробки вимірювальної інформації, управління технологічними процесами і передачі результатів вимірювань на великі відстані.

Електричне вимірювання – це знаходження (експериментальними методами) значення фізичної величини, вираженої у відповідних одиницях [3].

### Аналіз публікацій

Вимірювання електричних величин здійснюються за допомогою різних засобів – вимірювальних приладів, схем і спеціальних пристроїв. Тип вимірювального приладу залежить від виду та розміру (діапазону значень) вимірюваної величини, а також від необхідної точності вимірювання [4, 5].

На даний час розроблені і випускаються прилади, за допомогою яких можуть бути проведені вимірювання більше 50 електричних величин таких як, наприклад, струм, напруга, частота, відношення струмів і напруг, опір, ємність, індуктивність, потужність і т.д. Різноманіття вимірюваних величин визначило і різноманіття технічних засобів, що реалізують вимірювання [6].

Вимірювальні прилади можна розділити на дві великі групи – аналогові і цифрові. Форма подання сигналу фізичної величини у вигляді коду називається цифровою. Всі величини при цьому перетворюються в цифрову форму за допомогою аналогово-цифрових, інтервально-числових або частотно-цифрових перетворювачів [1, 2, 4 – 6].

Отже, на даний момент електричну величину, що визначається можна виміряти як аналоговим, так і цифровим приладом. Особливо актуальним вибір приладу вимірювання стає при вимірюванні різних форм імпульсних сигналів. А якщо власна частота вимірю-

ваного сигналу змінюється на кілька порядків, то від вибору приладу, фактично, залежить не точність значення вимірюваної величини, а її достовірність. Тобто, наскільки те значення, що показує вимірювальний прилад відповідає дійсності.

### Мета та постановка завдання

Метою роботи є розкриття особливостей вимірювання значення імпульсних сигналів різної форми за допомогою цифрових та аналогових мультиметрів. Визначення меж застосування загальнодоступних вимірювальних приладів по частотно-часовим параметрам вимірюваних сигналів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Провести вимірювання діючої величини синусоїдального, трикутного симетричного, прямокутного симетричного двополярного, пилкоподібного і прямокутного несиметричного сигналу (послідовність однополярних імпульсів).
2. Вимірювання провести для різних власних частот сигналу.
3. Обробити результати вимірювань. Сформулювати пропозиції про межі застосування наявної вимірювальної техніки.

### Теоретичні відомості

Електричний сигнал являє собою електричний процес, що несе в собі інформацію. Кількість інформації, що може бути передана за допомогою деякого сигналу, залежить від основних його параметрів: амплітуди, тривалості, смуги частот, потужності і деяких інших характеристик.

Сигнали поділяються на детерміновані і випадкові. Детермінований сигнал – це сигнал, параметри і миттєве значення якого в будь-який момент часу можуть бути передбачені з імовірністю одиниці. Прикладами детермінованих сигналів можуть служити імпульси чи пачки імпульсів, форма, значення і положення в часі яких відомі, а також безперервний сигнал із заданими амплітудними і фазовими співвідношеннями всередині його спектра. Детерміновані сигнали підрозділяються на періодичні і неперіодичні [7, 8].

Періодичним називається будь-який сигнал, для якого виконується умова:

$$u(t) = u(t + kT), \quad (1)$$

де  $T$  – період проходження;

$k$  – будь-яке ціле число.

Найпростішим періодичним детермінованим сигналом є гармонійне коливання, наприклад, напруга, обумовлена законом:

$$u(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi), \quad (2)$$

де  $U_m$ ,  $T$ ,  $\omega$ ,  $\varphi$  – амплітуда, період, кругова частота і початкова фаза коливань.

Будь-який складний періодичний сигнал може бути представлений у вигляді суми гармонійних коливань з частотами, кратними основній частоті

$$\omega = 2\pi / T. \quad (3)$$

Неперіодичним детермінованим сигналом називається будь-який детермінований сигнал, для якого не виконується умова (1). Прикладами таких сигналів можуть бути імпульси, пачки імпульсів, обривки гармонійних коливань і т.п.

До випадкових сигналів відносяться сигнали, значення яких заздалегідь не відомі і можуть бути передвіщені лише з деякою імовірністю.

Сигнали (наприклад, електрична напруга) класифікуються по великій кількості показників, найбільш загальним є параметр зміни у часі: постійна та змінна напруга [7, 8]. Для більшої наочності проведемо розгляд параметрів сигналу саме для напруги.

Змінна напруга синусоїдальної форми характеризується миттєвим і середньоквадратичним (діючим) значеннями напруги, амплітудою  $U_m$ , частотою  $\omega$  і фазою  $\varphi$ , формула (2):

Миттєве значення  $u$  можна виміряти по осцилограмі, середньоквадратичне  $U_\delta$  й амплітудне  $U_m$  обчислити чи виміряти відповідним вольтметром.

Амплітудне значення  $U_m$  – максимальне значення напруги з усіх значень за період.

Діюче або середньоквадратичне значення синусоїдальної напруги (рис. 1) [7, 8]:

$$U_\delta = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0,707U_m. \quad (4)$$

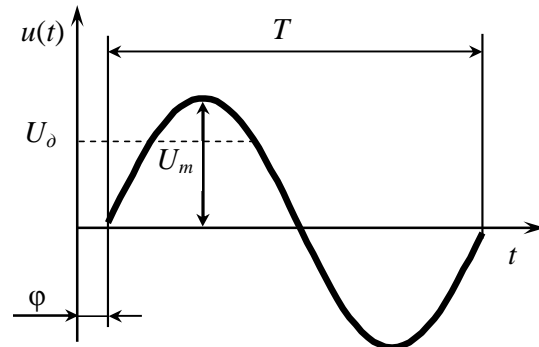


Рис. 1. Сигнал синусоїдальної напруги

Зв'язок між діючою і амплітудною напругами виражається залежністю

$$U_\delta = \frac{U_m}{k_a}, \quad (5)$$

де  $k_a$  – коефіцієнт амплітуди.

На практиці використовуються також параметри середньовипрямленого значення

$$U_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T |u| dt = \frac{U_\delta}{k_\phi} = \frac{U_m}{k_a k_\phi}, \quad (6)$$

де  $k_\phi$  – коефіцієнт форми.

Перед тим, як надати значення  $k_a$  та  $k_\phi$  для найбільш поширених форм електричних сигналів, представимо розрахунок середньоквадратичного (діючого) значення напруги для сигналів різної форми.

#### Розрахунок середньоквадратичного значення

Розрахунок для напруги або струму трикутної і пилкоподібної форми можна розглянути на прикладі одного періоду  $T$  для функції:

$$u(t) = t \frac{U_m}{T}, \quad (7)$$

представленої на рис. 2, а.

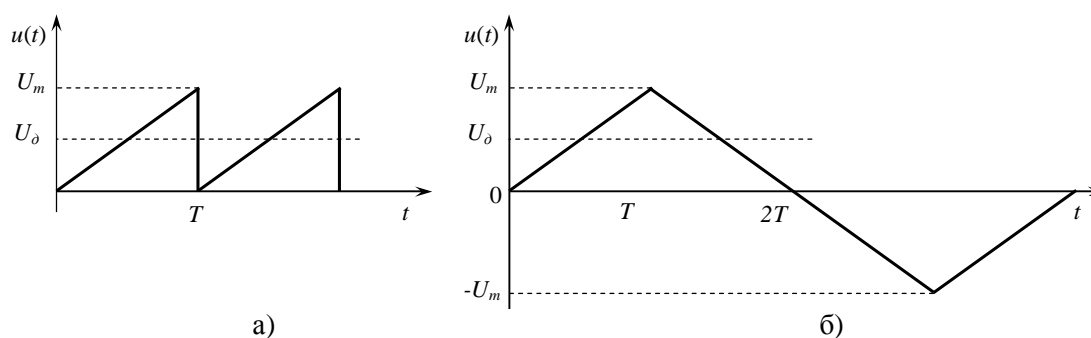


Рис. 2. Сигнал пілкоподібної (трикутної) напруги:  
а – однополярна форма; б – двополярна форма

Виразимо діюче значення функції, що шукаємо (7), за допомогою певного інтеграла (4). Після нескладних перетворень отримуємо [7]:

$$U_d = U_m / \sqrt{3}. \quad (8)$$

Слід зазначити, що сигнал може мати тільки однополярну, але й двополярну форму. Напряга (або струм) будь-якої складної форми можна розглянути, як набір функцій в межах періоду. Тоді діюче значення буде квадратний корінь з середньоарифметичного значення інтегралів для квадрата кожної функції, обмеженої її інтервалом часу в періоді.

Наприклад, для безлічі функцій  $F_1(t)$ ,  $F_2(t)$ , ..  $F_n(t)$  у відповідних їм інтервалах часу  $(0 - T_1)$ ,  $(T_1 - T_2)$ , ...,  $(T_n - T)$ , складових період  $T$ , діюча напруга визначиться виразом:

$$U_d = \sqrt{\frac{1}{T} \left[ \int_0^{T_1} F_1^2(t) dt + \int_{T_1}^{T_2} F_2^2(t) dt + \dots + \int_{T_n}^T F_n^2(t) dt \right]} \quad (9)$$

Для варіантів однополярної або двополярної напруги пілкоподібної і трикутної форми в періоді  $2T$  або  $4T$ , представлених на рис. 2,б,  $T$  і  $U_d$  мають ті ж розрахункові величини, що і в розглянутому випадку з функцією (7) (рис. 2,а), а інтеграли, певні в інтервалах, рі-

вних  $T$ , для квадратів використовуваних функцій:  $u = t \cdot U_m / T$ ;  $u = t \cdot U_m / T - U_m$ ;  $u = -t \cdot U_m / T$ ;  $u = U_m - t \cdot U_m / T$ , будуть мати одне і те саме значення  $U_m^2 \cdot T / 3$ .

Отже, вищевказані варіанти однополярної або двополярної напруги пілкоподібної і трикутної форми матимуть діюче значення, що описується виразом (8).

Діюче значення однополярного прямокутного імпульсу (рис. 3,а) тривалістю  $\tau_{im}$  визначається, як квадратний корінь з середньоарифметичного значення інтегралів, що визначені в інтервалах  $(0 - \tau_{im})$  і  $(\tau_{im} - T)$  для квадратів всіх значень періоду.

$$U_d = \sqrt{\frac{1}{T} \left[ \int_0^{\tau_{im}} U_m^2(t) dt + \int_{\tau_{im}}^T 0^2(t) dt \right]} = U_m \sqrt{\frac{\tau_{im}}{T}} \quad (10)$$

Для прямокутного симетричного сигналу (меандр) діюче значення визначається:

$$U_d = U_m. \quad (11)$$

Так як за допомогою  $k_a$  та  $k_\phi$  фактично й визначають діюче значення сигналу, то нижче, у табл. 1 приведені дані різних форм напруг і відповідні їм зазначені коефіцієнти.

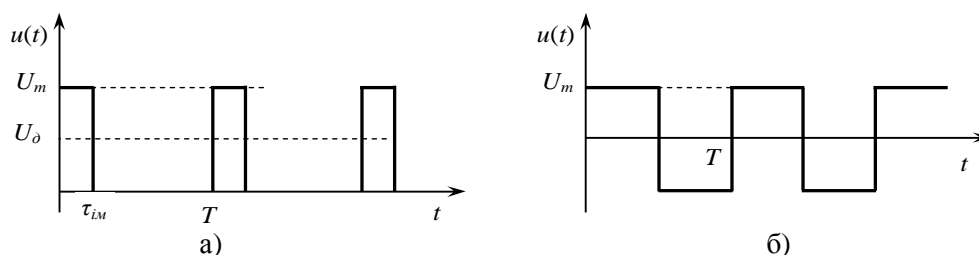
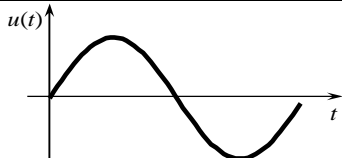
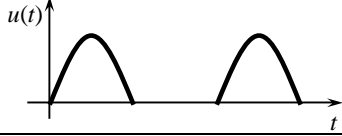
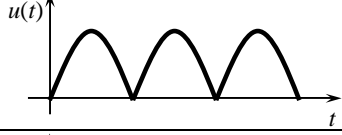
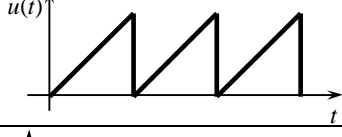
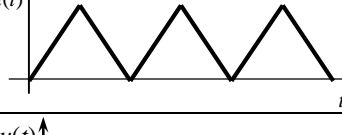
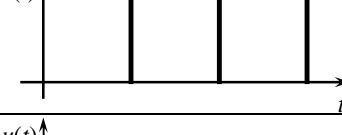
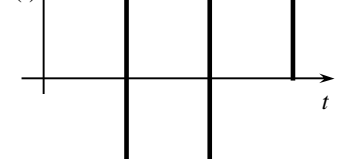
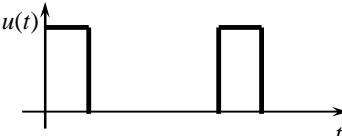


Рис. 3. Імпульсний сигнал прямокутної форми: а – одно полярний прямокутний;  
б – двополярний симетричний (меандр)

Таблиця 1 Значення  $k_a$  та  $k_\phi$  для основних типових сигналів

№ з/р	Тип сигналу напруги	Графічне зображення	$k_a$	$k_\phi$
1	Синусоїдальний		1,41	1,11
2	Пульсуюча (на виході однонапівперіодного випрямляча)		2	1,57
3	Пульсуюча (на виході двонапівперіодного випрямляча)		1,41	1,11
4	Пилкоподібний		1,73	1,16
5	Трикутний		1,73	1,16
6	Прямокутний симетричний однополярний		1,41	1,41
7	Прямокутний симетричний двополярний (меандр)		1,0	1,0
8	Прямокутний – послідовність однополярних імпульсів		$\sqrt{\frac{T}{\tau_{im}}}$	$\sqrt{\frac{T}{\tau_{im}}}$

Отже, як висновок щодо представлених відомостей можна зазначити, що для кількісної оцінки форми імпульсу і його енергетичних показників використовують наступні основні параметри:

1. Амплітуда імпульсу  $U_m$  – максимальне значення імпульсу.
2. Тривалість імпульсу  $\tau_{im}$  – проміжок часу між виникненням і зникненням імпульсу.
3. Період повторення імпульсів  $T$  – відрізок часу між початком (кінцем) двох однополярним імпульсів.
4. Частота повторення  $f = 1/T$ , зворотна величина періоду  $T$ .
5. Шпаруватість імпульсу  $q$  – відношення періоду  $T$  до тривалості  $\tau_{im}$ .  $q$  – величина безроз-

мірна і завжди більше 1 та є однією з енергетичних характеристик імпульсного сигналу.

$$q = T / \tau_{im} = 1 / f \cdot \tau_{im} . \quad (12)$$

Величина, зворотна шпаруватості, називається коефіцієнтом заповнення імпульсів:

$$k_z = 1 / q = \tau_{im} / T = f \cdot \tau_{im} . \quad (13)$$

Для імпульсного сигналу шпаруватість можна визначити, як добуток коефіцієнта амплітуди на коефіцієнт форми:

$$q = k_a \cdot k_\phi . \quad (14)$$

#### Експериментальні дослідження

Вимірювання діючої величини імпульсних сигналів різної форми проводились різними вимірювальними приладами, які є загально-доступними.

1. Експериментальне обладнання (рис. 4.):
2. Генератор сигналів Pintek FG-32 (рис. 4,а).
3. Цифровий осцилограф PV 6501 (рис. 4,б).
4. Мультиметр універсальний M890G (рис. 4,в).
5. Мультиметр цифровий APPA 82 (рис. 4,г).
6. Тестор Ц4324 (рис. 1,д).
7. Мультиметр аналоговий DE965 (рис. 4,е).

Для даних досліджень найбільший інтерес з технічних характеристик наявних вимірювальних приладів є їх частотний діапазон сигналів, що вимірюються. В табл. 2 приведений цей параметр (в технічній документації до приладу DE965 цей параметр не вказується) [9].

Для досягнення мети, відповідно до поставлених завдань, вимірювання діючих величин імпульсних сигналів проводились для їх різних власних частот.



а)



б)



в)



г)



д)



е)

Рис. 4. Експериментальне обладнання

Таблиця 2 Характеристики частотного діапазону вимірювальних приладів

Прилад	M890G	APPA 82	Ц4324	DE965
Межа вимірювання частоти	До 20 кГц	40Гц – 40МГц	45 Гц – 20 кГц	-
Діапазон частот	40 Гц – 400 Гц	40 Гц – 1 кГц	45 Гц – 20 кГц	-

#### План проведення досліджень

1. Провести вимірювання діючої величини синусоїдального, трикутного симетричного, симетричного прямокутного двополярного, прямокутного несиметричного (послідовність однополярних імпульсів) та пілкоподібного сигналів для трьох значень власної частоти імпульсу: 150 Гц; 1500 Гц; 15 кГц.
2. Розрахувати діючі величини вимірних сигналів у відповідності до розрахункових співвідношень з теоретичних відомостей.
3. Звести дані розрахунку і вимірів в таблицю, провести порівняльний аналіз отриманих даних, сформулювати пропозиції щодо межі застосування наявної виміральної техніки.

Згідно з представленими позиціями плану досліджень проведено вимірювання сигналів, осцилограми яких наведені на рис.5, а ре-

зультати вимірювань і розрахунків зведені в табл. 3. Отримані результати досліджень слід прокоментувати.

При вимірюванні діючого значення напруги синусоїдального сигналу на частотах до 1 кГц кращі показники показують цифрові прилади вимірювання M890G та APPA 82 (рис. 4, в,г), при цьому найбільш точним виявився мультиметр цифровий APPA 82. Але, при вимірюванні сигналу з власною частотою більшою за 1 кГц, зазначені цифрові мультиметри не можуть застосовуватися, бо ті значення, що вони показують не відповідають дійсності. Це обумовлено їх технічними характеристиками, а саме діапазоном частот вимірювального сигналу (см. табл. 2).

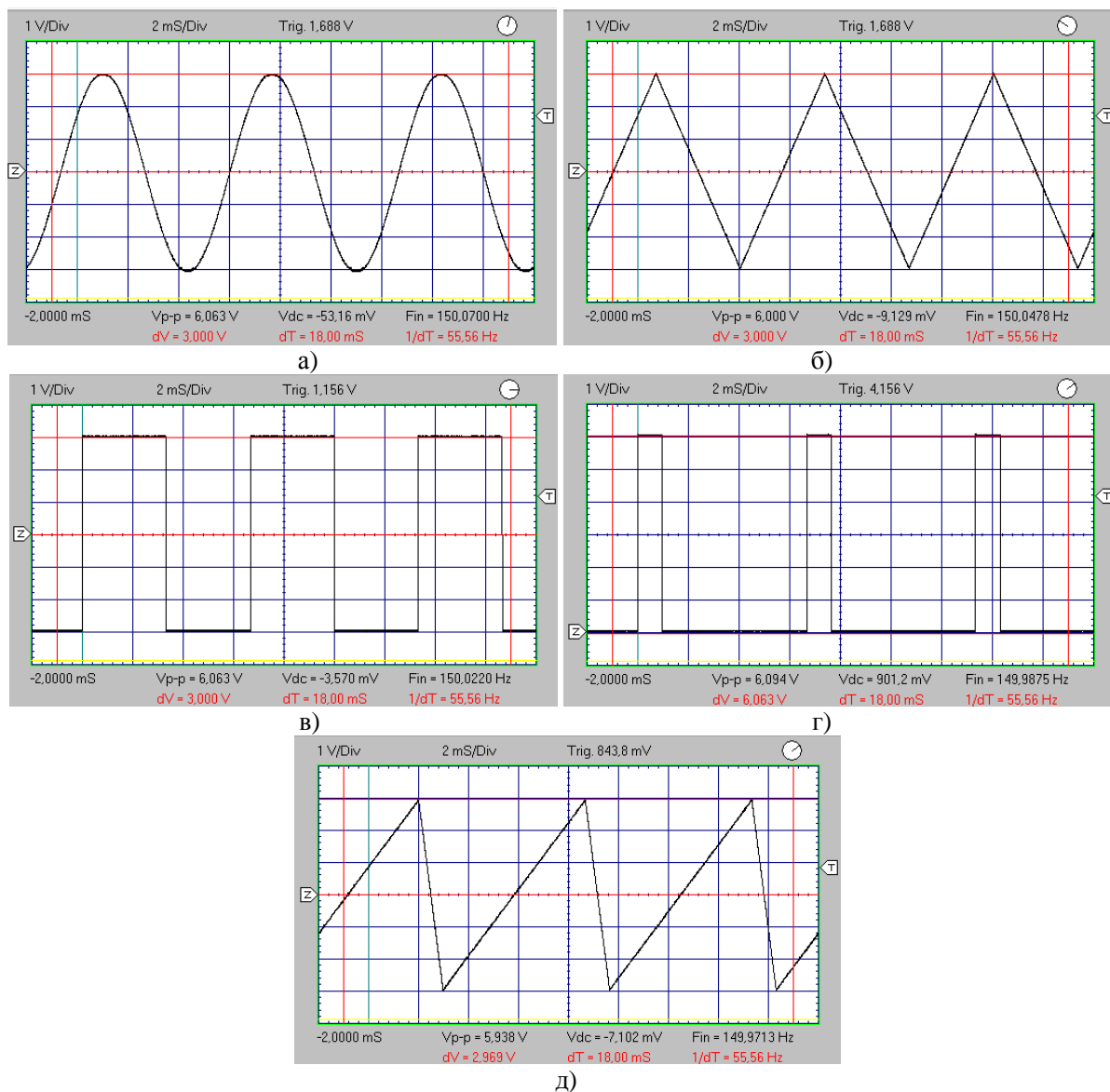


Рис. 5 – Експериментальні осцилограми вимірних імпульсів напруги

Таблиця 3 Результати досліджень

Частота	Розраховане значення $U_0$ , В	Вимірне значення $U_0$ , В			
		M890G	APPA 82	Ц4324	DE965
Сигнал синусоїдальної форми (рис. 5,а), $U_m=3$ В					
150 Гц	2,13	2,09	2,15	2,20	2,20
1500 Гц		2,07	2,09	2,20	2,20
15000 Гц		3,01	0,80	2,20	2,20
Сигнал трикутної форми (рис. 5,б), $U_m=3$ В					
150 Гц	1,73	1,61	1,66	1,70	1,72
1500 Гц		1,58	1,62	1,70	1,72
15000 Гц		2,27	0,64	1,70	1,72
Симетричний двополярний сигнал прямокутної форми (рис.5,в), $U_m=3$ В					
150 Гц	3	3,21	3,28	3,28	3,25
1500 Гц		3,37	2,97	3,28	3,25
15000 Гц		4,96	0,99	3,40	3,30
Прямокутна послідовність однополярних імпульсів (рис. 5,г), $U_m=6$ В					
150 Гц	0,88	0,88*	0,89*	0,88*	0,88*
1500 Гц		0,88*	0,88*	0,88*	0,88*
15000 Гц		0,88*	0,88*	0,88*	0,88*
Сигнал пилкоподібної форми (рис. 5,д), $U_m=3$ В					
150 Гц	1,73	1,58	1,64	1,68	1,70
1500 Гц		1,57	1,57	1,68	1,70
15000 Гц		2,25	0,55	1,70	1,70

*Примітка.* \* – означає, що режим вимірювання на приладах встановлено на вимір постійної величини. Вимірювальні прилади в цьому випадку вимірюють середневипрямленне значення сигналу постійної напруги.

При вимірюванні діючого значення напруги сигналу трикутної форми на малих частотах (до 1 кГц) вже кращі показники мають аналогові вимірювальні пристрої: Ц4324 та DE965 (рис. 4,д,е) (більш точним є мультиметр аналоговий DE965). При переході до кілогерцового діапазону частот вимірювального сигналу, як і в попередньому випадку з синусоїдальним сигналом, значення, що показують цифрові прилади вимірювання не відповідають дійсності. При цьому мультиметр цифровий APPA 82 занижує значення вимірювальної величини, а мультиметр універсальний M890G – завищує. Така тенденція спостерігається при вимірюванні всіх досліджуваних сигналів в кілогерцовому діапазоні частот.

Вимірювання діючого значення напруги симетричного онополярного сигналу прямокутної форми показали, що найбільш точним для цього типу сигналу з наявних приладів вимірювання є мультиметр універсальний M890G (рис. 4,в). Всі інші особливості вимірювань співпадають з вже зазначеними випадками для синусоїдального сигналу і сиг-

налу трикутної форми.

При вимірюванні діючого значення напруги сигналу з прямокутної послідовності однополярних імпульсів всі прилади слід переключити на режим вимірювання постійної напруги (бо імпульси одної полярності!). В цьому випадку, фактично, проводиться вимірювання діючого значення постійної величини напруги, тобто від власних частотних характеристик (коливань чи імпульсів) сигналу, значення, що вимірюються наявними приладами, не залежать. Отже, всі прилади показали один і той же результат вимірювання на всіх досліджуваних частотах.

Сигнал пилкоподібної форми за своїм діючим значенням відповідає сигналу трикутної форми (рис. 2). Це зазначено при виводі формули для діючого значення (8) і (9) та підтверджено вимірюваннями табл. 3 та рис. 5,б,д. Результати вимірювання показали, що як і в випадку вимірювання сигналу трикутної форми найбільш точним є мультиметр аналоговий DE965 (рис. 4,в). Самі ж резуль-



тати досліджень повністю співпадають (у межах допустимої похибки) з результатами при вимірюванні діючого значення сигналу трикутної форми.

### Висновки

Проведено вимірювання діючої величини сигналів напруги різної форми наявними, загальнодоступними приладами вимірювання. Визначено межі застосування зазначених вимірювальних приладів за частотно-часовими параметрами вимірюваних сигналів. Для кожної форми імпульсного сигналу визначено найбільш точний прилад вимірювання його діючого значення.

Показано, що на частотах до 1 кГц більш точними є цифрові прилади вимірювання. При переході до вимірювання величин з значенням власної частоти сигналу понад 1 кГц, цифрові прилади не можуть бути застосовані, так як не розраховані на такий частотний діапазон вимірювання. Аналогові прилади вимірювання в кілогерцовому діапазоні власної частоти вимірювального сигналу показали себе достатньо ефективними.

При вимірюванні середневипрямленого значення імпульсного сигналу однополярної форми з будь-якою власною частотою слід вибирати режим вимірювання постійної величини. В іншому разі результат вимірювання не буде відповідати дійсності. При виборі такого режиму усувається частотна похибка, яка спостерігається при вимірюванні діючого значення змінної напруги.

Показано, що сигнал пилкоподібної форми за своїм діючим значенням відповідає сигналу трикутної форми.

### Література

1. Малиновский В. Н., Электрические измерения / Малиновский В. Н. – М.: Энергоиздат. – 1982. – 393 с.
2. Котур В. И. Электрические измерения и электроизмерительные приборы / В. И. Котур, М. А. Скомская, Н. Н. Храмова – М.: Энергоатомиздат. – 1986. – 400 с.
3. Энциклопедия Кругосвет. [Электронный ресурс] – 2014. – Режим доступа: [www.krugosvet.ru/enc/nauka\\_i\\_tehnika/teh\\_nologiya\\_i\\_promyshlennost/ELEKTRICHESKIE\\_IZMEREENIYA.html](http://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/teh_nologiya_i_promyshlennost/ELEKTRICHESKIE_IZMEREENIYA.html).
4. Попов В. С. Электротехнические измерительные приборы / Попов В. С. – Госэнергоиздат. – 1963. – 544 с.
5. Илюнин К. К. Справочник по электроизмерительным приборам / Илюнин К. К., Леонтьев Д. И., Набебина Л. И., Орешников В. В., Строкач С. Н., Цветков Э. И., Шаповалов В. Д. –Л.: Энергоатомиздат. – 1983. – 784 с.
6. Шкурин Г. П. Справочник по электро- и электронноизмерительным приборам / Шкурин Г. П. – М.: –1972. – 448 с.
7. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи. Учеб. для студентов электротехнических, энергетических и приборостроительных специальностей вузов. –7-е изд., перераб. и доп. / Бессонов Л. А. – М.: Высш. шк. – 1978. – 528с.
8. Атабеков Т. Г. Теоретические основы электротехники. Учебно-методическое пособие / Атабеков Т. Г. – М.: Высшая школа. – 1994. –Ч. 1,2. – 370 с.
9. Кузмин В.М. Переносные комбинированные приборы: Справочное пособие / Кузмин В.М. – М.: Радио и связь. – 1991. – 144с.