

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторної роботи

**«Вимірювання енергетичних параметрів сигналів
електронними вольтметрами»**

з дисципліни

«Метрологія, стандартизація та сертифікація»

для студентів спеціальності G5 «Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка» (освітні програми «Радіоелектронні апарати та засоби», «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки», «Інженерія та програмування в радіоелектроніці», «Інформаційні мережі зв'язку») та G7 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» (освітня програма «Автоматизація, мехатроніка та робототехніка») усіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Вимірювання енергетичних параметрів сигналів електронними вольтметрами» з дисципліни «Метрологія, стандартизація та сертифікація» для студентів спеціальностей G5 «Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка» та G7 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» всіх форм навчання. / уклад.: О.Ю. Малий, О.О. Піроженко, В.Ф. Онищенко. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2026. – 25 с.

Укладачі: Олександр МАЛИЙ, к.т.н., доцент, зав. каф. ІТЕЗ;
Олександр ПИРОЖЕНКО, ст. викладач каф. ІТЕЗ;
Вадим ОНИЩЕНКО, к.ф.-м.н., доцент каф. ІТЕЗ.

Рецензент: Наталія ФУРМАНОВА, к.т.н., доцент, декан факультету ІБЕК

Відповідальний за випуск: Олександр МАЛИЙ, к.т.н., доцент, зав. каф. ІТЕЗ

Затверджено
на засіданні кафедри ІТЕЗ
протокол № 9 від 27.03.26 р.

Рекомендовано до видання
НМК ФІБЕК
протокол № 7 від 9.04.26 р.

ЗМІСТ

1 Підготовка до роботи	4
2 Порядок виконання роботи.....	5
3 Зміст звіту.....	9
4 Контрольні питання.....	10
5 Короткі теоретичні відомості	12
5.1 Параметри періодичних електричних сигналів	12
5.2 Номенклатура електронних вольтметрів та сфери їх застосування	15
5.3 Загальна характеристика вольтметрів змінної напруги	18
5.4 Похибки вимірювань діючої напруги	23
Перелік джерел посилань.....	25

ВИМІРЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛІВ ЕЛЕКТРОННИМИ ВОЛЬТМЕТРАМИ

Мета роботи – ознайомитися з різновидами електронних вольтметрів (ЕВ), навчитися обирати необхідний тип вольтметра при вимірах напруги сигналів різної форми та частоти.

1 ПІДГОТОВКА ДО РОБОТИ

Користуючись даними методичними вказівками (розділ 5) та рекомендованою літературою, слід: вивчити параметри періодичних електричних сигналів; ознайомитися з номенклатурою ЕВ та сферами їх застосування; відповісти на контрольні запитання.

Підготувати протокол, що містить схеми сполук засобів вимірювання та таблиці результатів вимірювань (табл. 2.2, 2.3)

Для змінної складової імпульсного сигналу, представленого у рядку 3 таблиці 5.1, та значень його параметрів, заданих таблицею варіантів (табл. 2.1), обчислити: значення діючої напруги $U_d \sim$; значення параметрів форми сигналів $K_a \sim$, $K_f \sim$; теоретичні значення додаткової похибки, обумовленої відмінністю форми сигналу, що вимірюється від форми градуювального сигналу (вирази 5.8, 5.9).

Результати обчислень внести відповідно до стовпців 9, 10, 11 та 6 таблиці 2.3 протоколу.

2 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Користуючись технічними описами, вписати види вимірювальних перетворювачів (ВП) та похибки всіх вольтметрів (з урахуванням частоти вхідного сигналу, наданою таблицею варіантів) та внести їх у стовпці 2 та 4 таблиці 2.2 протоколу.

2. Зібрати схему сполук засобів вимірювань №1 відповідно до рисунку 2.1 та включити електроживлення засобів вимірювань. Встановити параметри сигналів генератора відповідно до наданого варіанта, піддіапазони вимірювань вольтметрів - відповідно до значення вихідної напруги генератора та підготувати вольтметри до виконання вимірювань (див. розділ «Підготовка до роботи» їх технічних описів).

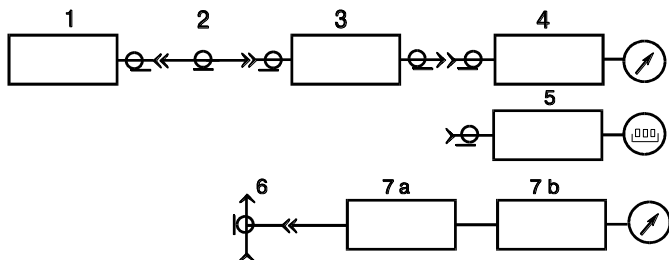
Таблиця 2.1 – Таблиця варіантів

№ в-та	Значення параметрів гармонійних сигналів		Встановлені значення параметрів імпульсних сигналів			
	f (МГц)	U _д (мВ)	T (мкс)	D (мкс)	τ (t _и) (мкс)	U _m (В)
1	0.1	300.0	999	10	500	5.40
	5.5				283	6.00
2	0.2	500.0	999	10	500	5.40
	6.0				275	6.05
3	0.25	450.0	999	10	500	5.40
	6.5				333	5.73
4	0.1	425.0	999	10	500	5.40
	7.5				260	6.16
5	0.1	400.0	999	50	500	5.40
	7.0				253	6.21
6	0.1	350.0	999	50	500	5.40
	6.5				241	6.32
7	0.5	200.0	999	10	500	5.40
	8.5				200	6.75

3. **Визначити вплив частоти** на показання ЕВ із різними видами вимірювальних перетворювачів. Для цього, по черзі

підключаючи ЕВ до навантаження генератора, виконати вимірювання напруги, що діє, відтворюваного генератором на навантаженні, при двох значеннях частоти сигналів. Результати вимірювань внести до протоколу (стовпець 5 табл. 2.2), а також внести необхідні дані в стовпці 3, 4 та 8 таблиці 2.2.

Виходячи з похибок вольтметрів на кожній частоті, заданих у наведеній формі, *заданих у наведеній формі* визначити похибки результатів вимірювань, виразивши їх у відносній формі. Дані похибки внести у стовпець 6 таблиці 2.2.



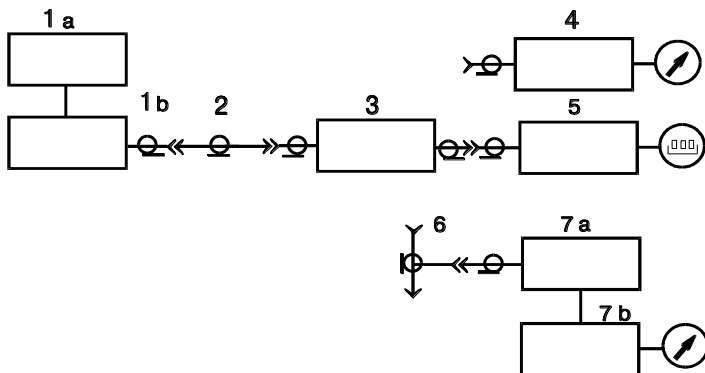
- 1 – генератор Г4-102; 2 – кабель радіочастотний; 3 – навантаження 50-тиомне проходне; 4 – вольтметр В3-57; 5 – вольтметр В3-38В;
6 – перехід трійниковий; 7а – ВЧ - пробник вольтметра В7-26;
7б – вольтметр В7-26.

Рисунок 2.1 — Схема з'єднання №1

Таблиця 2.2 — Результати вимірювань напруги гармонійних сигналів

Тип ЭВ	Тип ВП	Кінцев. знач. піддіап. Uк(В)	Похибка ЭВ $\gamma(\%)$	Покази ЭВ (В)	Відносна похибка. результ. вимір. $\delta(\%)$	Встановлені парам. сигналів генерат. Г4-102	
						Uд (В)	f (МГц)
1	2	3	4	5	6	7	8
В3-57							
В3-38							
В7-26							

4. Зібрати схему з'єднань №2 відповідно до рисунку 2.2 і, ввімкнувши генератор імпульсів, встановити параметри сигналів відповідно до заданого варіанта, а піддіапазони вимірювань вольтметрів - відповідно до значень напруги, зазначених у стовпці 9 таблиці 2.3 протоколу.



1а – генератор Г5-75; 1б – виносний блок генератора Г5-75;
 2 – кабель радіочастотний; 3 – навантаження проходне 50 Ом;
 4- вольтметр В3-57; 5 – вольтметр В3-38В; 6 – перехід трійниковий; 7а
 – ВЧ-пробник вольтметра В7-26; 7б – вольтметр В7-26.

Рисунок 2.2— Схема з'єднання №2

5. **Визначити вплив форми сигналів** на показання вольтметрів шляхом вимірювання вольтметрами **постійної діючої напруги** змінної складової сигналів при варіації параметрів форми.

Для цього, по черзі підключаючи вольтметри до навантаження генератора, виконати вимірювання напруги при двох комбінаціях параметрів сигналів генератора (t_i і U_m), при необхідності змінюючи положення перемикача вольтметрів піддіапазонів. Результати вимірювань внести до стовпчика 5 таблиці 2.3 протоколу. До кожного ЕВ визначити експериментальні додаткові похибки від форми сигналу за співвідношенням:

$$\delta_{\text{допф}} = \frac{\varphi_{\text{эв}} - U_{\text{д}}}{U_{\text{д}}} 100 \%,$$

де $\varphi_{\text{эв}}$ – показання ЕВ,

$U_{\text{д}}$ - діюча напруга змінної складової вхідного сигналу.

3 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Мета роботи.
2. Схеми сполук засобів вимірювань та відповідні їм таблиці 2.2, 2.3 з результатами вимірювань та обчислень.
3. Розрахунок похідних параметрів імпульсних сигналів.
4. Розрахунок похибок вимірів кожному за типу ЕВ.
5. Висновки щодо впливу неінформативних параметрів сигналів (частоти сигналів та параметрів форми) на показання ЕВ з різними видами вимірювальних перетворювачів.

4 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

4.1 Перелічіть параметри періодичних сигналів.

4.2 Запишіть математичні вирази, які описують наступні енергетичні параметри сигналів:

- середня напруга U_c ;
- середньовипрямлену напругу $U_{св}$;
- діючу напругу повного сигналу $U_{дп}$;
- напругу змінної складової сигналу $U_{д\sim}$;
- амплітудну напругу U_a .

4.3 Які параметри сигналу характеризують ступінь відмінності форми періодичного сигналу від суто синусоїдального сигналу?

4.4 Якими вольтметрами можна виміряти амплітудну напругу імпульсних сигналів?

4.5 Якими вольтметрами можна виміряти діючу напругу сигналів із формою, близькою до синусоїдальної?

4.6 Якими вольтметрами можна виміряти діючу напругу змінної складової сигналу, форма якого значно відрізняється від синусоїдальної?

4.7 Якими вольтметрами можна виміряти діючу напругу повного сигналу?

4.8 З якою метою вхід ЕР змінної напруги роблять «зачиненими»?

4.9 Перерахуйте види вимірювальних перетворювачів змінної напруги на постійну, що використовуються в ЕВ.

4.10 Перерахуйте нормовані метрологічні характеристики вольтметрів змінної напруги.

4.11 Перерахуйте складові загальної похибки вимірювань змінної напруги.

4.12 У яких формах може бути записано основну похибку вольтметра?

4.13 Як оцінити додаткову похибку від форми сигналу при вимірюванні напруги, що діє:

- вольтметром з перетворювачем амплітудної напруги?
- вольтметром з випрямляючим перетворювачем?

4.14 Якими вольтметрами можна виміряти діючу напругу сигналів надвисоких частот?

4.15 Яке значення напруги покаже вольтметр ВЗ-38, якщо його вхід подати сигнал, зображений у рядку 3 таблиці 5.1, з параметрами:

$$U_a = 8 \text{ В}; Q = 4?$$

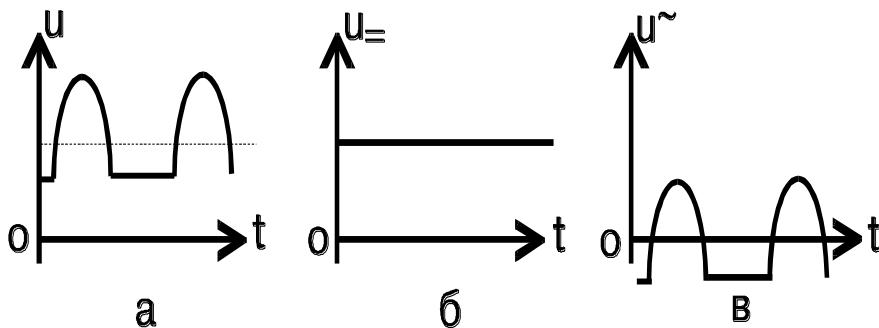
5 КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

5.1 Параметри періодичних електричних сигналів

Сигналом називають процес зміни у часі фізичної величини (напруги, струму, швидкості тощо), який використовується для відображення, реєстрації або передачі інформації..

Математичний опис сигналу є функціональною залежністю фізичної величини, в якій аргументом є час - $u(t)$, $i(t)$, $v(t)$ і т.п. Наприклад, математичний опис сигналу електричної напруги, що періодично змінюється за гармонічним (синусоїдальним) законом має вигляд: $u(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi)$.

У багатьох випадках вихідний повний сигнал (рис. 5.1 а) можна подати у вигляді суми постійної $U_=($ рис. 5.1 б) і змінної $U\sim(t)$ (рис. 5.1в) складових, тобто $u(t) = U_+ + U\sim(t)$, причому ці складові можуть становити самостійний інтерес для вимірювань.



а) повний сигнал; б) постійна складова сигналу $U_ =$
в) змінна складова сигналу $U\sim(t)$.

Рисунок 5.1 — Декомпозиція сигналу на постійну та змінну складові

Часто замість математичного опису сигналу через функціональну залежність користуються лише числовими параметрами, що дають уявлення лише про окремі властивості сигналу – амплітудною напругою U_a , частотою повторення f , тривалістю імпульсу t_i (якщо йдеться про імпульсні сигнали) тощо.

Всі параметри, за допомогою яких можна охарактеризувати властивості періодичних сигналів електричної напруги, можна умовно поділити на три групи:

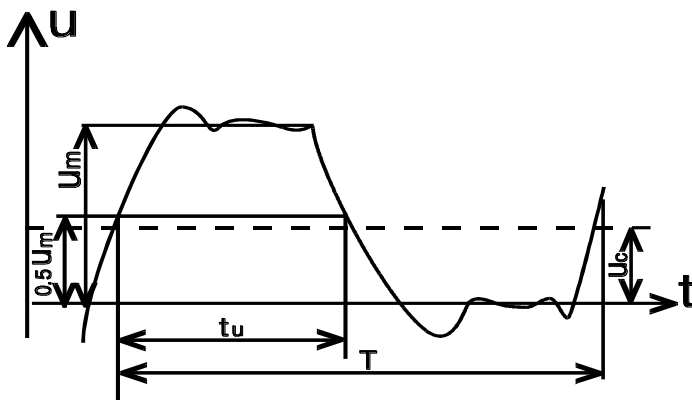
- енергетичні параметри сигналу - середня напруга $U_{ср}$, амплітудна напруга U_a , розмах коливань U_{mm} , напруга U_d , що діє, середньовипрямлена напруга $U_{св}$;

- тимчасові та частотні параметри – період повторення сигналів T , частота повторення f , тривалість імпульсу t_i , тривалість паузи, час наростання імпульсу та час спаду тощо;

- параметри форми сигналу – коефіцієнт гармонік, коефіцієнти амплітуди, усереднення та форми, прогальність (шпаруватість) та коефіцієнт заповнення – для імпульсних сигналів.

Максимальне (амплітудне, пікове) напруга U_m (U_a) - параметр сигналу, що представляє собою миттєву напругу максимального розміру (рис.5.2) на інтервалі часу, що розглядається (найчастіше на інтервалі, що дорівнює періоду повторення сигналів T):

$$U_m = \max u(t) \text{ при } t \in T. \quad (5.1)$$



U_m – максимальна (амплітудна) напруга; T – період проходження імпульсів; t_i – тривалість імпульсу; $U_{ср}$ – середня напруга (постійна складова сигналу U)

Рисунок 5.2 — Визначення деяких параметрів імпульсних сигналів

Розмах сигналу U_{mm} – параметр, що є сумою максимальної напруги сигналу обох знаків.

Середня напруга U_{cp} - параметр сигналу, що характеризує нерівність вольтсекундних площ сигналу щодо нульового значення та чисельно дорівнює середньої (за період) вольтсекундної площі сигналу з урахуванням знаків його миттєвих значень:

$$U_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt, \quad (5.2)$$

де T – період сигналу.

Якщо вольтсекундна площа позитивної частини сигналу дорівнює вольтсекундній площі негативної частини сигналу, то $U_{cp} = 0$. Середня напруга сигналу і є постійною складовою сигналу U_{\pm} , таким чином, змінна складова сигналу може бути записана у вигляді:

$$U^{\sim}(t) = U(t) - U_{\pm}. \quad (5.3)$$

Середньовипрямлена напруга (СВН) $U_{св}$ - параметр сигналу, що характеризує повну вольтсекундну площу сигналу незалежно від знака його миттєвих значень і чисельно дорівнює середньої (за період) вольтсекундної площі сигналу, взятому за модулем:

$$U_{св} = \frac{1}{T} \int_0^T |U(t)| dt. \quad (5.4)$$

Діюча (ефективна, середньоквадратична) напруга (ДН) U_d - параметр сигналу, що побічно характеризує потужність сигналу і чисельно дорівнює середньоквадратичній вольтсекундної площі від квадрата сигналу:

$$U_d = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U(t)^2 dt}. \quad (5.5)$$

Діюча напруга повного сигналу пов'язана з параметрами його складових співвідношенням:

$$U_d = \sqrt{U_d^{-2} + U_c^2}, \quad (5.6)$$

де $U_c = U_{\pm}$ - значення постійної складової сигналу;

$U_{\sim d}$ - діюча напруга змінної складової сигналу.

Коефіцієнт гармонік (КГ) – параметр, що характеризує не форму сигналу в цілому, а лише відмінність форми сигналу від суто гармонійної і чисельно рівний відношенню діючої напруги всіх вищих

гармонік, що містяться в спектрі сигналу, до напруги першої (основної) гармоніки, що діє:

$$K_r = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots}}{U_1} \cdot 100\% = \sqrt{m_2^2 + m_3^2 + \dots}, \quad (5.7)$$

де $m_i = \frac{U_i}{U_1} 100\%$ — відносний зміст і-ої гармоніки.

Коефіцієнти амплітуди K_a , усереднення K_y та форми K_f є параметрами форми, призначеними для наближеної характеристики форми будь-якого сигналу та визначаються співвідношеннями

$$K_a = \frac{U_a}{U_d}; \quad K_y = \frac{U_a}{U_{CB}}; \quad K_f = \frac{U_d}{U_{CB}}.$$

З цих співвідношень слід, що $K_y = K_a \cdot K_f$.

Прогальність (шпаруватість) Q імпульсних коливань характеризує ступінь їх уривчастості і чисельно дорівнює відношенню періоду проходження імпульсів T до тривалості імпульсу t_i :

$$Q = \frac{T}{t_i}.$$

У таблиці 5.1 наведено співвідношення параметрів деяких періодичних сигналів [1].

5.2 Номенклатура електронних вольтметрів та сфери їх застосування

Залежно від призначення група В- засобів вимірювань електричної напруги поділяється на такі різновиди:

- В2- вольтметри постійної напруги;
- В3- вольтметри змінної напруги;
- В4- вольтметри імпульсної напруги;
- В6- селективні (частотно-вибірчі) вольтметри;
- В7- універсальні вольтметри;
- В8- вимірники відношення напруг.

Іноді універсальні вольтметри позначаються як ВК-вольтметри комбіновані, наприклад, ВК3-61.

Таблиця 5.1 — Параметри деяких періодичних сигналів

Форма сигналу	Енергетичні параметри					Параметри форми			
	U_{\sim}	$U_{\text{св}}$	$U_{\text{св}^-}$	$U_{\text{дп}}$	$U_{\text{д}^-}$	$K_{\text{а}^-}$	$K_{\text{у}^-}$	$K_{\text{ф}^-}$	Q
	0	$\frac{2U_m}{\pi}$	$\frac{2U_m}{\pi}$	$\frac{U_m}{\sqrt{2}}$	$\frac{U_m}{\sqrt{2}}$	$\sqrt{2} \approx 1,414$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}} \approx 1,111$	-
	0	$\frac{U_m}{2}$	$\frac{U_m}{2}$	$\frac{U_m}{\sqrt{3}}$	$\frac{U_m}{\sqrt{3}}$	$\sqrt{3}$	2	$\frac{2}{\sqrt{3}}$	-
	$\frac{U_m}{Q}$	$\frac{U_m}{Q}$	$\frac{2U_m(Q-1)}{Q^2}$	$\frac{U_m}{\sqrt{Q}}$	$\frac{U_m\sqrt{Q-1}}{Q}$	$\sqrt{Q-1}$	$\frac{Q}{2}$	$\frac{Q}{2\sqrt{Q-1}}$	$\frac{T}{t_u}$

Вольтметри виду В2 використовують для вимірювань постійної напруги. У тому випадку, якщо вольтметр В2 має достатню інерційність в порівнянні з періодом сигналу змінної напруги, він може бути використаний і для вимірювань постійної складової (середньої напруги) сигналу.

Якщо вольтметр не має необхідної інерційності, на його вході необхідно включити інтегруючий ланцюг, який може виділити з сигналу його постійну складову. Як інтегруючий ланцюг, що реалізує перетворення сигналу за формулою (5.2), може бути використана звичайна RC-ланцюг, зображена на рисунку 5.3.

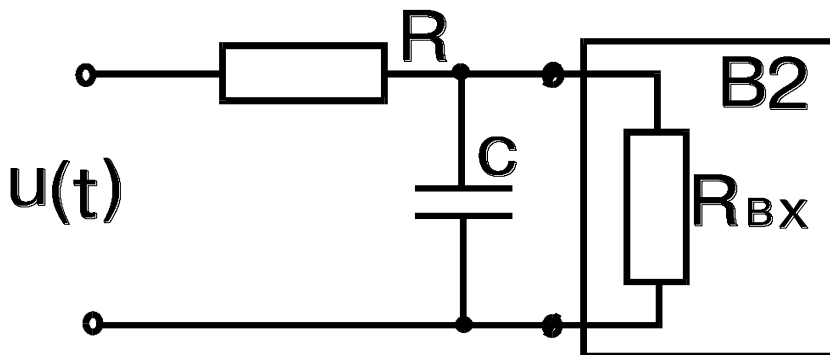


Рисунок 5.3 — Схема вимірювання постійної складової сигналу

Значення RC компонентів цього ланцюга вибирають таким чином, щоб постійна часу $\tau = RC \gg T$, де T -період сигналу, а $R \ll R_{вх}$ де $R_{вх}$ - вхідний опір вольтметра.

Вольтметри типу В3 – використовують для вимірювань діючої напруги змінної складової періодичних сигналів широкому діапазоні значень частоти їх повторення. Для виділення змінної складової вхідний пристрій вольтметрів містить розділовий RC ланцюг. Деякі з вольтметрів цього виду здатні вимірювати $U_{д\sim}$ тільки у сигналів, форма яких близька до синусоїдальної, а деякі - у сигналів довільної форми.

Діюча напруга повного сигналу $U_{дп}$ можна виміряти за допомогою вольтметрів ВК3- (наприклад, ВК3-61) і деяких вольтметрів В7- (наприклад, В7-39, В7-40), що мають "відкритий" вхід.

Вольтметри В4 – використовують для вимірювань амплітудної напруги імпульсних сигналів. Більшість з вольтметрів В4 здатні вимірювати U_m тільки у імпульсів, форма яких близька до прямокутної, а деякі (В4-24) - у сигналів довільної форми.

Селективні вольтметри В6 – використовують для вимірювань діючої напруги будь-який гармонік, що утворюють спектр сигналу, і призначені для дослідження сигналів в частотній області. По структурі побудови є високоякісний вимірювальний приймач.

Універсальні вольтметри В7 – дозволяють вимірювати постійну напругу, діючу напругу змінної складової сигналів, електричний опір резисторів на постійному струмі. Деякі з вольтметрів В7 дозволяють

вимірювати діючу напругу повного сигналу (В7-39, В7-40), при цьому їх вхід є відкритим і для постійної, і для змінної складових.

Вимірники відношення напруг В8 – призначені для вимірювань відношення або двох постійних напруг, або відношення напруги, що діє двох змінних складових сигналів [2].

5.3 Загальна характеристика вольтметрів змінної напруги

Більшість вольтметрів змінної напруги (В3) має структуру, спрощена схема якої представлена на рисунку 5.4.

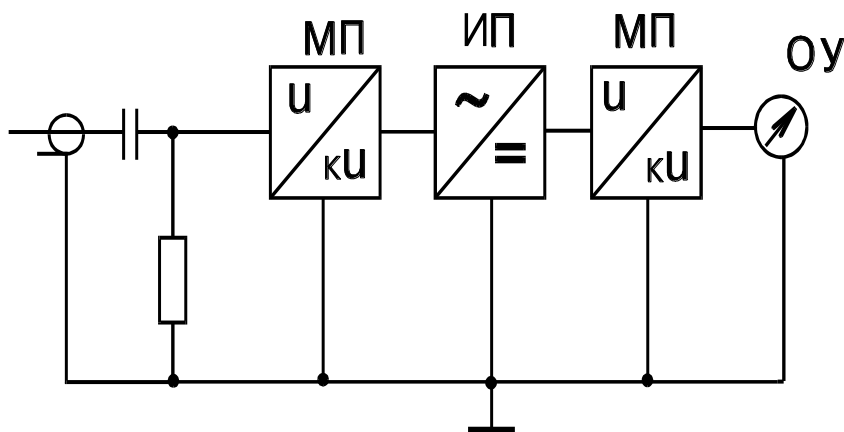


Рисунок 5.4 — Спрощена структурна схема аналогових вольтметрів В3-

Роздільна RC-ланцюг вольтметра обумовлює «закритий» вхід вольтметра для постійної складової сигналу, тобто. виділяє із сигналу для вимірювання його змінну складову. Значення R і C компонентів розділової ланцюга вибираються під час проектування вольтметра з умови неспотвореної передачі змінної складової сигналу найнижчої частоти діапазону, тобто. $\tau = RC > (10-20)/f_{\min}$, де f_{\min} - найменша частота сигналу, що вимірюється.

Масштабний перетворювач МП, який може бути включений як до, так і після вимірювального перетворювача (ВП), призначений для забезпечення необхідного діапазону значень напруги вимірювання (наприклад, від 100 мкВ до 300 В) і для вибору піддіапазону вимірювань (наприклад, від 3 до 10 В).

Вимірювальний перетворювач (ВП) перетворює промасштабовану змінну складову сигналу $kU_{\sim}(t)$ у постійну напругу, яка надходить на відліковий пристрій (ВП). Останнє є або стрілочний електромеханічний вимірювальний механізм, або цифровий індикаторний пристрій.

Найбільш важливим елементом структури вольтметра, що значною мірою зумовлює його властивості: діапазон частот вхідних сигналів, межі значень, що вимірюються, похибка, є **вимірювальний перетворювач (ВП)** змінної напруги в постійну, яку називають також детектором. Як вимірювальні перетворювачі в вольтметрах змінної напруги найбільш часто використовуються:

- амплитудні (пикові) детектори – ВП АН;
- випрямні детектори – ВП СВН;
- квадратичні детектори – ВП ДН (СКН).

Деякі варіанти їх спрощених важливих схем представлені на рисунках 5.5 а,б відповідно.

При використанні ВП АН (вольтметри В3-43, В7-26, В3-52 та ін..) вихідна постійна напруга перетворювача пропорційно до амплітудної напруги змінної складової сигналу, тобто, $U_{вих} = k U_m \sim$.

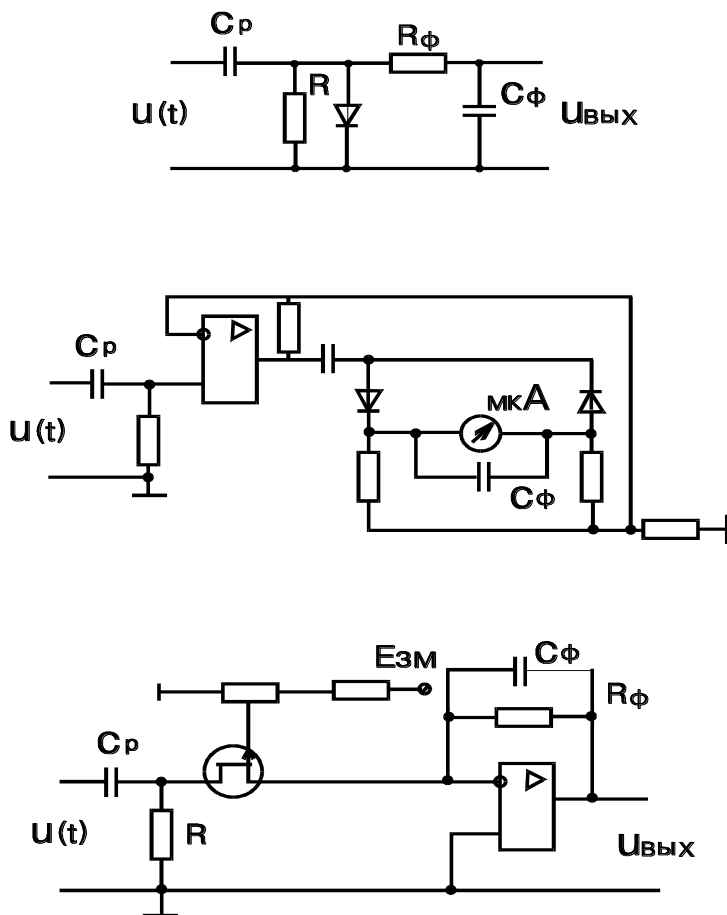
При використанні ВП СВН (вольтметри В3-38, В3-39, В3-44 та ін..) вихідна напруга перетворювача пропорційно середньовипрямленій напрузі змінної складової сигналу: $U_{вих} = k U_{св\sim}$.

У вольтметрах з ВП ДН (В3-40, В3-48А, В3-57 та ін.): $U_{вих} = k U_d \sim$.

Оскільки з усіх енергетичних параметрів сигналів найчастіше цікавляться діючою напругою, *незалежно від виду градування вольтметрів змінної напруги, що використовується III виконується в значеннях діючої напруги при вхідному градуовальному сигналі строго синусоїдальної форми.*

Градування вольтметрів зводиться до встановлення залежності значень напруги, що визначаються по відлікового пристрою ЕВ, від значень напруги, що подаються на вхід вольтметра з виходу калібратора (міри напруги), які позначаються як В1-. Якщо від калібратора на вхід ЕВ, що містить ВП АН, надходить синусоїдальний сигнал, у якого напруга $U_d \sin = 10 \text{ В}$, то на виході ВП АН встановиться постійна напруга, пропорційна амплітудному напрузі

вхідного сигналу, тобто. $U = U_m = K_{\text{асин}} * U_{\text{дсин}} = 14.142\text{В}$ (див. рядок 1 табл. 5.1 для синусоїдального сигналу).



- а - ВП амплітудної напруги (піковий детектор);
 б - ВП середньовипрямленої напруги (випрямляючого детектора);
 в - ВП напруги (квадратичний детектор).

Рисунок 5.5 — Вимірювальні перетворювачі вольтметрів змінної напруги

Але, оскільки відліковий пристрій ЕВ градуують у значеннях напруги, що діють, то домагаються, щоб показання ЕВ дорівнювало ϕ

= 10В, хоча на вхід відлікового пристрою з виходу ВП АН надходить постійна напруга $U = 14.142$ В.

Таким чином, значення напруги, що зчитується з відлікового пристрою ЕВ АН при вхідних сигналах будь-якої форми, завжди в $K_{\text{sin}} = 1,41$ разів менше, ніж вихідна постійна напруга ВП АН:

$$\varphi = \frac{U_{\text{ВП}}}{K_{\text{a sin}}}$$

Якщо на вхід ЕВ АН подати сигнал, зображений у рядку 3 таблиці 5.1, у якого прогальність $Q = 2$, а амплітуда $U_m = 20$ В, то встановлення показань ЕВ буде відбуватися наступним чином.

За рахунок роздільного ланцюга на вхід ВП АН надійде тільки змінна складова сигналу, у якої максимальна напруга дорівнює $U_m = 10$ В.

На виході ВП АН постійна напруга набуде значення $U = 10$ В, а відліковий пристрій покаже значення $\varphi = U_{\text{ин}}/K_{\text{a sin}} = 10 \text{ В}/1,414 = 7,07$ В.

Насправді діюча напруга змінної складової сигналу виду «квадратна хвиля»:

$$U_{\text{д}} = \frac{U_m \sqrt{(Q-1)}}{Q} = \frac{20\sqrt{(2-1)}}{2} = 10\text{В},$$

а похибка вимірювання напруги, що діє, за рахунок відмінності форми вимірюваного сигналу від форми градуовального сигналу складає:

$$\delta_{\text{доодф}} = \frac{\varphi_{\text{эв}} - U_{\text{д}}}{U_{\text{д}}} 100\% = \frac{7.07 \text{ В} - 10 \text{ В}}{10 \text{ В}} 100\% = -29.3\%.$$

Ця похибка є додатковою, оскільки викликана відхиленням умов виміру (робочих умов) нормальних умов, відповідних умовам градування формою сигналу.

У загальному випадку, за відомого значення коефіцієнта амплітуди вимірюваного сигналу K_{ax} , додаткова похибка для ЕВ АН може бути оцінена за виразом:

$$\delta_{\text{доодф}} = \left(\frac{K_{\text{ax}}}{K_{\text{a sin}}} - 1 \right) \cdot 100\%. \quad (5.8)$$

Зазвичай при технічних вимірах параметри K_{a} , $K_{\text{ф}}$ вимірюваних сигналів невідомі, а засоби їх вимірів відсутні. Тому на практиці

додаткову похибку від форми вимірюваного сигналу для ЕВ АН оцінюють за виразом:

$$\delta_{\text{дооф}} \leq \pm \sum_{i=1}^n m_i .$$

Відносний вміст гармонік m_i може бути вимірний за допомогою селективних вольтметрів В6- (до 35 МГц) або аналізаторів спектру С4-.

Аналогічна ситуація виникає і для вольтметрів з ІІ СВН, хоча додаткова похибка від форми сигналу у них менша і за відомого значення коефіцієнта форми вимірюваного сигналу $K_{\text{фх}}$ може бути визначена за співвідношенням:

$$\delta_{\text{дооф}} = \left(\frac{K_{\text{фsin}}}{K_{\text{фх}}} - 1 \right) \cdot 100 \% . \quad (5.9)$$

На практиці цю похибку ЕВ СВН оцінюють за виразом:

$$\delta_{\text{допф}} \leq \pm \frac{K_{\text{Г}}}{3} .$$

При цьому коефіцієнт гармонік $K_{\text{Г}}$ може бути вимірний за допомогою вимірювачів коефіцієнта нелінійних спотворень С6 (до 1 МГц).

Оскільки показання вольтметрів напруги ЕВ ДН, що містять квадратичні перетворювачі, пропорційні діючому напрузі сигналів будь-якої форми, вони не мають методичної похибки від форми вхідних сигналів ($\delta_{\text{допф}} = 0$).

Частотний діапазон ЕВ ДН досягає 100 МГц (ВК3-61, В3-59).

Незважаючи на значну додаткову похибку від форми вхідних сигналів, ЕВ АН набули широкого поширення з таких причин. ВП АН має просту схему (рис. 5.1а), що дозволяє реалізувати його у вигляді виносного пробника (щупа) з малою вхідною ємністю $C_{\text{вх}}=4-6$ пФ. При цьому відпадає необхідність використання коаксіального сполучного кабелю з погонною ємністю $C_{\text{каб}} = 80$ пФ/м, здатного вносити додаткові похибки на високих частотах. Частотний діапазон ЕВ АН досягає 1-2 ГГц (В7-26).

Частотний діапазон ЕВ СВН досягає 15-20 МГц.

Різноманітні властивості електронних вольтметрів виражають у вигляді наступних технічних та метрологічних характеристик:

- діапазон вимірюваних значень та верхні межі піддіапазонів;
- нормальні значення зовнішніх впливових величин (температури, напруги живлення, часу) та неінформативних параметрів вхідних сигналів (частоти, відносного змісту гармонік);
- межі основної допустимої похибки, що виражаються у формі абсолютної, відносної або наведеної похибки;
- робочі області значень впливових величин та неінформативних параметрів вхідних сигналів;
- вхідна ємність та вхідний активний опір;
- час встановлення показань.

5.4 Похибки вимірювань діючої напруги

Загальна похибка вимірювань напруги вольтметрами складається з таких складових:

- основної похибки вольтметра, що відповідає нормальним значенням зовнішніх факторів, що впливають, і нормальним значенням неінформативних параметрів сигналу;
- додаткових похибок вольтметра, спричинених відхиленням зовнішніх факторів та неінформативних параметрів сигналу від своїх нормальних значень;
- похибки взаємодії вольтметра з об'єктом вимірювань, обумовленої співвідношенням вихідного опору об'єкта та вхідним опором вольтметра.

Основну похибку E_B , відповідну умовам градування, записують у нормативно-технічній документації (НТД) найчастіше як у вигляді **наведеної похибки, тобто. виражають її у % від кінцевого значення встановленого піддіапазону U_k :**

$$\gamma = \pm p\% = \pm \frac{\Delta}{U_k} 100\%. \quad (5.10)$$

Допускається основну похибку виражати також у формі абсолютної (Δ, V) або відносної ($\delta, \%$) похибки.

Іноді замість основної похибки E_B в НТД вказують межі похибки, що допускається, в робочих областях частот (тобто суму основної похибки і додаткової похибки від частоти).

Вплив зовнішніх факторів і неінформативних параметрів сигналу на показання E_B нормують або у вигляді додаткової похибки

на інтервал зміни впливу, або у вигляді функції впливу, що виражається в аналітичній, графічній або табличній формі.

Похибка взаємодії обумовлена співвідношенням опору вхідного ланцюга ЕВ $Z_{вх}(j\omega)$ та вихідного опору об'єкта вимірювань $Z_{вих}(j\omega)$ і може бути визначена із співвідношення:

$$\delta_{\epsilon z}(\%) = \left\{ \frac{Z_{\epsilon x}(j\omega)}{Z_{\epsilon вх}(j\omega) + Z_{\epsilon x}(j\omega)} - 1 \right\} \cdot 100\%.$$

Кожна із зазначених складових може мати як систематичний, так і випадковий характер. Загальна систематична похибка вимірів визначається алгебраїчним підсумовуванням систематичних складових, а загальна випадкова похибка вимірів - статистичним підсумовуванням складових.

Перелік джерел посилань

1. Основи метрології та вимірювальної техніки: у 2 т. Т. 2: Вимірювальна техніка: навч. посіб. / М. М. Дорожовець, В. П. Мотало, Б. І. Стадник та ін.; за ред. Б. І. Стадника. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017. 652 с.

2. Кошевий В. М. Метрологія в електрозв'язку: навч. посіб. Одеса: ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2014. 188 с.