

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет \_\_\_\_\_ Інфокомунікацій \_\_\_\_\_

(повна назва)

Кафедра \_\_\_\_\_ Метрології та технічної експертизи \_\_\_\_\_

(повна назва)

## АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА

### Пояснювальна записка

\_\_\_\_\_ другий (магістерський) \_\_\_\_\_

(рівень вищої освіти)

\_\_\_\_\_ ГЮК.403548.001.ПЗ \_\_\_\_\_

(позначення документа)

\_\_\_\_\_ Методика та апаратура для перевірки модулометра \_\_\_\_\_

(тема)

Виконав: студент 2 курсу, групи МВТ<sub>М</sub>-19-1 \_\_\_\_\_

спеціальності \_\_\_\_\_ 152 Метрологія та \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ інформаційно-вимірювальна техніка \_\_\_\_\_

(код і повна назва спеціальності)

освітня програма \_\_\_\_\_ Метрологія та \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ вимірювальна техніка \_\_\_\_\_

(повна назва освітньої програми)

\_\_\_\_\_ Григошин О.Я. \_\_\_\_\_

(прізвище, ініціали)

Керівник \_\_\_\_\_ проф. Павленко Ю.Ф. \_\_\_\_\_

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри \_\_\_\_\_

(підпис)

\_\_\_\_\_ Захаров І.П. \_\_\_\_\_

(прізвище, ініціали)

2020р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет \_\_\_\_\_ інфокомунікацій  
(повна назва)  
Кафедра \_\_\_\_\_ метрології та технічної експертизи  
(повна назва)  
Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ другий (магістерський)  
Спеціальність \_\_\_\_\_ 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка  
(код і повна назва)  
Тип програми \_\_\_\_\_ освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)  
Освітня програма \_\_\_\_\_ «Технічна експертиза»  
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_

(підпис)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**  
НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Григошину Олександрю Ярославовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Методика та апаратура для перевірки модулометра

затверджена наказом по університету від «30» жовтня 2020 р. № 1483Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

3. Вихідні дані до роботи: Діапазон коефіцієнтів АМ 0 - 100%

Діапазон несучих частин: 1 – 500 МГц

Полоса модулюючих частот: 20 Гц – 200 кГц

Невизначеність вимірювань при калібровці: типу А 0.05 - 0.1 %

типу В 0.5 – 1 % (відн.)

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі: 2. Огляд існуючих приладів і методів їх калібрування. 2. Розробка методів перевірки і калібрування. 3. Розробка робочого еталону. 4. Оцінка невизначеностей калібрування 5. Перспективні напрямки розвитку методології в цій галузі. 6. Перспективи удосконалення методів і апаратури для калібрування модулометра 7. Основи безпеки життя і діяльності людини.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри)

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1 )

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата
	Проф. Павленко Юрій Федорович		

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Підбір матеріалів за темою	02.11.2020 – 10.11.2020	
2	Написання огляду приладів і методів калібрування	10.11.2020 – 17.11.2020	
3	Розробка методу перевірки	17.11.2020 – 25.11.2020	
4	Аналіз апаратури К2-34	25.11.2020 – 30.11.2020	
5	Аналіз невизначеності калібрування	30.11.2020 – 07.12.2020	
6	Аналіз розділу перспектив удосконалення методів і апаратури для калібрування модулометра	07.12.2020 – 11.12.2020	
7	Розробка розділу основ безпеки життя і діяльності людини	11.12.2020 – 14.12.2020	

Дата видачі завдання 02.11.2020 листопада 2020 р.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_ (посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 15 ілюстрацій, 10 таблиць, 28 використаних джерел, 67 сторінок.

Ключові слова: АМПЛІТУДНА МОДУЛЯЦІЯ, ВИМІРЮВАЧ МОДУЛЯЦІЇ, КОЕФІЦІЄНТ АМПЛІТУДНОЇ МОДУЛЯЦІЇ, КОЕФІЦІЄНТ ГАРМОНІК, ПОВІРКА, КВАРЦЕВИЙ ГЕНЕРАТОР, АМПЛІТУДНИЙ ШУМ, СИГНАЛ, ЕТАЛОН.

Дипломний проект присвячений розробці методики повірки (калібрування) вимірювача коефіцієнта АМ, а також принципів побудови апаратури для її реалізації. В проекті проведено детальний аналіз сучасного стану засобів, вимірювальної техніки у цій галузі, тенденції їх розвитку. Показано, що сьогодні в модулометрах нормується не тільки похибка вимірювання коефіцієнта АМ, а і ряд інших параметрів, зокрема коефіцієнт гармонік АМ-сигналу. В дипломі обґрунтовано вибір значень несучих, моделюючих частот, при яких необхідно проводити повірку, а також оптимальний метод повірки (калібрувань) – формування прецензійного АМ-сигналу з каліброваним значенням коефіцієнта АМ, рівним 100%. Розглянуто шляхи побудови повірочної апаратури, розроблена структура схема. Проведено докладний аналіз похибок і невизначеності повірки (калібрувань).

Створення безпечних умов праці при дослідженні еталона. визначення витрат на розробку і функціонування еталону.

## ABSTRACT

Explanatory note contains: 15 illustrations, 10 tables, 28 sources used, 67 pages.

Keywords: PEAK MODULATION, measuring DEVICE of MODUYACII, KOEFFICIENT of PEAK MODULATION, KOEFFICIENT of ACCORDIONS, CHECK, PEAK NOISE, SIGNAL, STANDARD.

A diploma project is devoted development of method of check (to calibration) of measuring device of coefficient of AM, and also principles of construction of apparatus for its realization. The detailed analysis of the modern state of facilities is conducted in a project, measuring technique, in this industry, their progress trend. It is rotined that today inv modulometrakh is rationed not only error of measuring of coefficient of AM but also row of other parameters, in particular coefficient of accordions of am-signal. In a diploma grounded choice of values of bearings, modulating frequencies at which it is necessary to conduct a check, and also an optimum method of check (calibrations) is forming of precenzionnogo am-signal with the kalibriruyuschim value of coefficient of AM, even 100%. The ways of construction of test apparatus are considered, razrabotanaya flow diagram. The detailed analysis of errors and vagueness of check is conducted (calibrations).

The safe terms of labour at research of standard are created. Charges are certain for development and functioning of standard.

## ЗМІСТ

Харківський національний університет радіоелектроніки .....	2
ВСТУП.....	8
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВИМІРЮВАЧІ МОДУЛЯЦІЇ .....	10
1.1 Параметри АМ.....	10
1.2 Структурна схема вимірювача модуляції (ВМ).....	15
1.3 Огляд приладів для вимірювання параметрів модуляції. Порівняння з аналогічними закордонними зразками.....	18
2 МЕТОДИ ПОВІРКИ ВИМІРЮВАЧІВ АМ .....	22
2.1 Операції повірки.....	24
2.2 Визначення похибки вимірювання коефіцієнта АМ .....	24
2.3 Осцилографічний метод вимірювання коефіцієнта АМ .....	28
2.4 Визначення коефіцієнта гармонік $K_{2,6}$ огинаючої амплітудно- модульованого сигналу, внесеного трактом ЗВ .....	32
2.4.1 Прямий метод .....	32
3 ЗАСОБИ ПОВІРКИ.....	33
3.1 Робочий еталон для повірки вимірювачів модуляції .....	33
3.2 Структурна схема установки К2-34 .....	34
4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ (МЕТОДИКА) ПОВІРКИ .....	37
4.1 Умови повірки й підготовка до неї.....	37
4.2 Порядок проведення повірки.....	37
4.2.1 Зовнішній огляд.....	37
4.2.2 Випробування .....	37
4.3 Визначення метрологічних характеристик .....	38

4.3.1	Визначення мінімальної напруги вхідного сигналу .....	38
4.3.2	Визначення похибки вимірювання коефіцієнтів АМ.....	38
4.3.3	Визначення $K_T$ огинаючої АМ сигналу, внесеного трактом ВМ .....	39
4.3.4	Визначення $M_u$ , обумовленим ЗВ .....	40
4.3.5	Визначення похибок внутрішніх пристроїв.....	40
4.4	Обробка результатів вимірювання .....	43
4.5	Оформлення результатів перевірки .....	43
5	АНАЛІЗ ПОХИБОК АПАРАТУРИ .....	44
6	ПЕРСПЕКТИВИ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ І АПАРАТУРИ ДЛЯ КАЛІБРУВАННЯ МОДУЛОМЕТРА.....	48
7	БЕЗПЕКА ЖИТТЯ І ДІЯЛЬНОСТІ ЛЮДИНИ .....	50
7.1	Аналіз умов праці в приміщенні науково-дослідницької лабораторії .....	50
7.2	Техніка безпеки в приміщенні науково-дослідницької лабораторії .....	55
7.3	Виробнича санітарія в приміщенні науково-дослідницької лабораторії ..	56
7.4	Пожежна профілактика приміщення науково-дослідницької лабораторії	63
7.5	Охорона навколишнього середовища .....	64
7.6	Цивільна оборона .....	64
	ВИСНОВОК .....	65
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	66

## ВСТУП

Одним з найважливіших і пріоритетних напрямків розвитку народного господарства країни є розвиток радіоелектроніки – сукупності ряду галузей науки й техніки, пов'язаних з передачею й перетворенням інформації. Крім областей людської діяльності, де радіоелектроніка використовується по прямому призначенню (зв'язок, інформатика), вона є особливою інфраструктурою, що пронизує багато інших сфер народного господарства й побуту людей, істотно впливаючи на рівень їхнього розвитку.

Фундаментальним поняттям радіоелектроніки є модуляція, за допомогою якої здійснюється передача різноманітної інформації, а також вирішуються багато задач керування, контролю, вимірювання, кодування, виявлення й т.і. На практиці використовуються досить різноманітні види модуляції (і маніпуляції).

Якість, глибина, швидкість й інші властивості модуляції характеризуються цілим рядом параметрів, для вимірювання яких існують спеціальні вимірювальні прилади – вимірювачі модуляції (амплітудної, частотної, фазової). До засобів вимірювання (ЗВ) належать також вимірювальні генератори, що здійснюють відтворення модульованих коливань із нормованими модуляційними параметрами.

Висока якість модуляції в різних пристроях прийому, передачі й обробки інформації є сьогодні визначальною вимогою всіх численних систем, що використовують модульовані коливання. Тому подальший розвиток цих систем самим безпосереднім образом пов'язано з підвищенням метрологічних характеристик засобів вимірювання параметрів модульованих коливань.

Необхідно відзначити, що останні 10 – 15 років двадцятого сторіччя й на початку цього сторіччя відбулася стрімка еволюція вимірювачів модуляції

(ВМ): істотно зросли точність вимірювання, частотні й динамічні діапазони, функціональні можливості, рівень автоматизації. По суті справи, відбулося перетворення порівняно простих засобів вимірювання у багатофункціональні вимірювально-обчислювальні системи, а задача повірки таких приладів переросла в комплексну проблему метрологічного забезпечення складних ЗВ різних видів, типів і класів.

Це зажадало розробки високоточних методів і засобів вимірювання, а також нормативних документів для забезпечення єдності вимірювання параметрів модульованих коливань у країні.

## 1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВИМІРЮВАЧІ МОДУЛЯЦІЇ

### 1.1 Параметри АМ

Нормовані параметри й характеристики модульованих коливань і засобів вимірювання для вимірювачів АМ коливань можна розділити таким чином[2]:

- параметри, що характеризують змушене (корисне) відхилення змінюваної при модуляції фізичної величини (амплітуди) від свого середнього значення. До цих параметрів відноситься коефіцієнт АМ;
- параметри, що характеризує нелінійні спотворення закону зміни амплітуди, що виникають у пристроях формування, прийому й передачі сигналів – коефіцієнт гармонік;
- параметри, що характеризують флуктуаційні явища (амплітудні шуми)– коефіцієнт амплітудного шуму.

Щоб дати визначення кожному параметру, розглянемо формулу (1.1) для ідеального АМ сигналу (дивитися рисунок 1.1).

$$u(t) = E(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (1.1)$$

де  $E(t)$  – миттєва амплітуда або огибаюча коливання.

Огибаючу коливання можна представити у вигляді наступної формули (1.2):

$$E(t) = E_0 [1 + M(t)], \quad (1.2)$$

де  $E_0$  – амплітуда немодульованого коливання;

$M(t)$  – закон зміни амплітуди.

При гармонійній АМ

$$M(t) = M \sin 2\pi Ft. \quad (1.3)$$

Середнє значення амплітуди за період модуляції  $T$  можна представити в такий спосіб

$$E = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} E(t) dt = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} E_0 \left[ 1 + M(t) \right] dt = E_0 + M E_0, \quad (1.4)$$

$$\text{де } M = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} M(t) dt.$$

Ця функція може не містити або містити постійну складову  $M_0$ . У першому випадку  $E = E_0$ , у другому  $E \neq E_0$ . Тоді

$$M(t) = M_0 + M_1(t), \quad (1.5)$$

де  $M(t)$  – змінна складова.

Коефіцієнт АМ “догори”, являє собою наступне вираження:

$$M_{\text{вн}} = \Delta E_{\text{в}} / E = (E_{\text{max}} - E) / E. \quad (1.6)$$

Модулюючий ( $u_F(t)$ ) та АМ ( $u(t)$ ) сигнали у функції часу наведено на рисунку 1.1.

Відповідно коефіцієнт АМ “униз”

$$M_{\text{вн}} = \Delta E_{\text{в}} / E = (E_{\text{min}} - E) / E. \quad (1.7)$$

Середньоквадратичний коефіцієнт АМ являє собою

$$M_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_t^{t+T} M^2(t) dt}. \quad (1.8)$$

У ряді випадків, наприклад при передачі цифрової інформації, використовується середнє значення коефіцієнта АМ

$$M_{\text{сп}} = \frac{E_{\text{max}} - E_{\text{min}}}{E_{\text{max}} + E_{\text{min}}}. \quad (1.9)$$

При симетричній АМ, тобто коли, модулююча напруга є гармонійною, а модуляційна характеристика лінійна, всі значення коефіцієнтів АМ збігаються:

$$M = M_{\text{вв}} = M_{\text{вн}} = M_{\text{сп}} = M_{\text{ск}} = \frac{E_{\text{max}} - E_{\text{min}}}{E_{\text{max}} + E_{\text{min}}}.$$

У тому випадку, коли огибаюча АМ містить гармоніки (нелінійні спотворення), тобто

$$E(t) = E_0 + E_1 \sin \Omega t + E_2 \sin 2\Omega t + \dots, \quad (1.10)$$

то маємо парціальні коефіцієнти АМ:

$$M_1 = E_1 / E_0;$$

$$M_2 = E_2 / E_0;$$

...

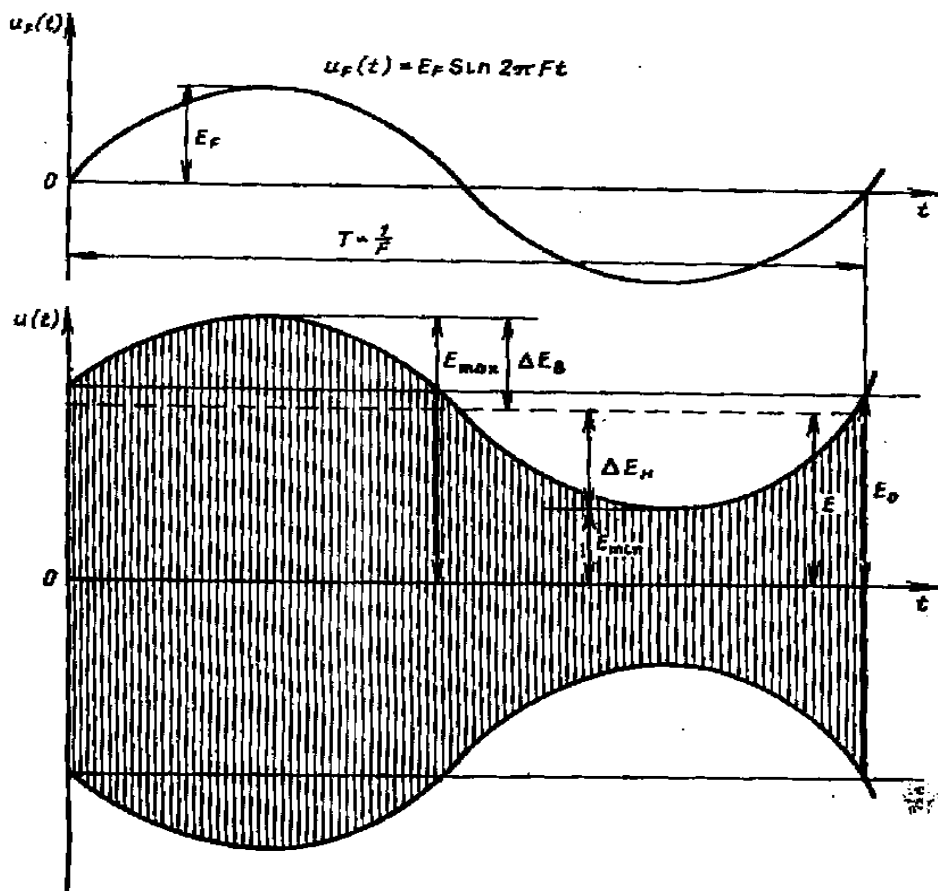


Рисунок 1.1 – Модулюючий ( $u_F(t)$ ) та АМ ( $u(t)$ ) сигнали у функції часу

Коефіцієнти гармонік АМ (огинаючої):

$$K_2 = M_2/M_0;$$

$$K_3 = M_3/M_0;$$

$$K = \sqrt{K_2^2 + K_3^2 + \dots} = \sqrt{\sum_{i=2}^N K_i^2}. \quad (1.11)$$

Корисна модуляція супроводжується, як правило, супутньою (паразитною) модуляцією: ампліудна - частотною (фазовою), частотна - ампліудною. При цьому супутня модуляція характеризується тими ж параметрами, що й корисна.

Супутня ЧМ (ФМ) в АМ сигналі при проходженні останнього через тракт вимірювача АМ приводить до перетворення ЧМ в АМ (фазоампліудної конверсії), що характеризується коефіцієнтом ЧМ-АМ переходу у вимірювачі модуляції

$$\xi_{HM} = M_{AM}/\Delta f, \text{ \%}/\text{Гц}. \quad (1.12)$$

Супутню АМ частотно-модульованого сигналу генератора можна трактувати так само, як перехід ЧМ в АМ у генераторі, і нормувати у формі аналогічного коефіцієнта для генератора ( $\xi_G$ ).

Розглянемо параметр, що характеризує флуктуації амплітуди. Приведемо лише ті параметри, які використовуються в техніці ампліудної модуляції й характеризують паразитну АМ або, як її прийнято називати, ампліудний шум. До них належать:

- спектральна щільність потужності флуктуації амплітуди  $S_u(F), \text{ В}^2/\text{Гц}$ ;
- середньоквадратичне значення коефіцієнта паразитної АМ (ампліудний шум)



амплітудної модуляції за звичай не перевищують 30 %. При цих вимірюваннях основною вимогою до них є малість власних амплітудних шумів.

## 1.2 Структурна схема вимірювача модуляції (ВМ)

При огляді існуючого парку робочих засобів вимірювання АМ відзначалося, що більшість вимірювачів будуються по єдиній структурній схемі широкодіапазонного супергетеродинного приймача, випускаються також прилади комбінованого типу, які вимірюють АМ, ЧМ (частотно-модульовані) і ФМ (фазо-модульовані) сигнали[2]. Структурна схема вимірювача модуляції наведена на рисунку 1.2.

АМ, ЧМ або ФМ сигнали через вхідний атенюатор надходять на вхід широкосмугового змішувача. За допомогою гетеродина модульований сигнал переноситься на проміжну частоту (ПЧ), підсилюється, фільтрується й надходить у тракт детектування.

Цей тракт містить у собі канали амплітудного й частотного детектування. У канал амплітудного детектування входять: підсилювач ПЧ, амплітудний детектор (АД) і схема автоматичного регулювання посилення (АРУ). Канал частотного детектування містить у собі підсилювач-обмежник, частотний детектор (ЧД) і диференціюючий ланцюг (для вимірювання ФМ). У тракті амплітудного детектування АМ сигнал підсилюється до рівня (1,5 – 3) В и детектується спеціальним лінійним АД. Амплітуда АМ сигналу підтримується на вході АД постійною за допомогою прецизійної системи АРУ. Тому амплітуда продетектованої огибаючої на виході детектора пропорційна коефіцієнту АМ.

У тракті частотного детектування ЧМ (ФМ) сигнал спочатку піддається амплітудному обмеженню (для усунення супутньої АМ) і далі

частотному детектуванню в ЧД. При вимірі ФМ продетектований сигнал з виходу ЧД пропускається через пристрій, що диференціює.

Низькочастотні сигнали з виходів АД, ЧД або з ланцюга, що диференціює (залежно від режиму виміру) через комутатор надходять на блок НЧ. Після проходження фільтрів НЧ і масштабного підсилювача (МУ) надходять на вхід пікового детектора й детектуються. Для виміру  $M$  та девіації частоти (ДЧ) “догори” й “униз” звичайно МУ містить керований фазоінвертор. Постійна напруга на виході пікового детектора вимірюється вольтметром постійного струму, шкала якого відградуєвана в одиницях вимірювання  $M$  та ДЧ. У сучасних приладах вольтметр.

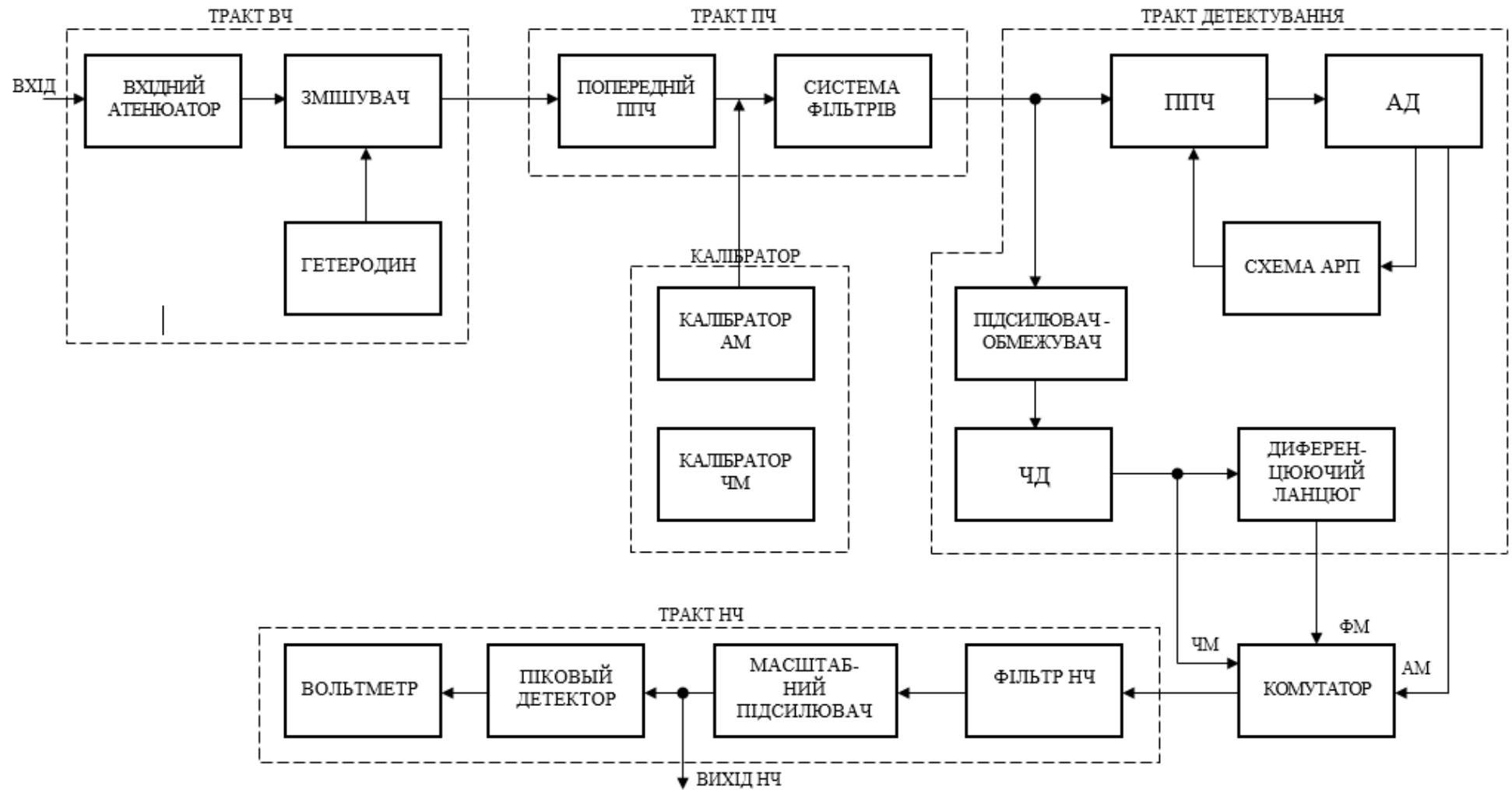


Рисунок 1.2 – Структурна схема вимірювача модуляції

### 1.3 Огляд приладів для вимірювання параметрів модуляції.

#### Порівняння з аналогічними закордонними зразками

Вимірювачі модуляції ставляться до груп С2, С3 і СК3 радіовимірювальних приладів. За вимірюваною величиною діляться на вимірювачі коефіцієнта амплітудної модуляції (модулометри) і вимірювачі девіації частоти (девіометри), одержали також поширення комбіновані прилади для виміру параметрів модуляції як амплітудної, так і кутової. Метою даної роботи є розгляд існуючої апаратури і методики перевірки модулометрів[2].

У цей час одержали широке поширення такі прилади – С2-23 (модулометр), СК3-43 (комбінований вимірювач), СК3-45 (комбінований вимірювач), СК3-46 (комбінований вимірювач), які випускають промислові підприємства країн СНД. У таблиці 1.1 наведені основні характеристики ВМ 4 покоління в режимі АМ, які випускаються на території країн СНД, а в таблиці 1.2 – кращі ВМ закордонних фірм. Їхній розгляд показує, що в ВМ останнього покоління істотно знижені похибки вимірювання коефіцієнта амплітудної модуляції (з 3 – 5 % до 1,5 – 2 %, у закордонних приладах до 0,5 – 1 %). В 1,5 – 3 рази зменшені нормовані значення коефіцієнта гармонік (КГ).

У закордонних приладів значно знижені значення коефіцієнтів переходів АЧ-ЧМ і ЧМ-АМ, а також паразитної девіації частоти (ДЧ).

Аналіз парку закордонних й країн СНД ВМ дозволяє виявити два основних напрямки їхнього розвитку: малогабаритні спрощені й багатофункціональні високоякісні.

Малогабаритні ВМ (масою 2,5 – 4 кг), що мають метрологічні характеристики на середньому рівні, обмежені частотні діапазони й межі виміру, призначені в основному для сервісного обслуговування рухливих

об'єктів і засобів зв'язку. За рубежом випускається близько 30 моделей ВМ такого класу. До приладів даного класу ставляться ВМ СКЗ-46 і СКЗ-46А.

Таблиця 1.1 – Характеристики вимірювачів модуляції, що випускають у країнах СНД

Основні технічні характеристики АМ	Вимірювач модуляції:		
	СКЗ-24	СКЗ-45	СКЗ-46 (СКЗ-46А)
1. Діапазон несучих частот $f$ , МГц	0,01 – 500		5 – 500 (1 – 500)
2. Діапазон модулюючих частот $F$ , кГц	0,03 - 600	0,02 – 200	0,02 – 30
3. Границі вимірювання, %	До 99	До 100	
4. Похибка вимірювання, %	1,5 $F = (0,2 - 20)$ кГц 3,0 $F = (0,03 - 200)$ кГц	2,0 $F = (0,4 - 30)$ кГц 5,0 $F = (0,2 - 60)$ кГц	1,5 $F = (0,4 - 6)$ кГц; $M = (5 - 95)$ % 5,0 $F = (0,4 - 6)$ кГц; $M = (95 - 100)$ %
5. Коефіцієнт гармонік, %	0,3 при $M = 30$ %	0,3 при $M \leq 30$ % 0,6 при $M \leq 90$ %	0,5 при $M = 30$ % 1,0 при $M = 90$ %
6. Паразитна АМ у смузі, %: (0,3 – 3,4) кГц (0,02 – 20,0) кГц (0,02 – 3,4) кГц	0,02 ( $f = 500$ МГц) 0,03 ( $f = 500$ МГц) –	0,02 ( $f = 500$ МГц) 0,05 ( $f = 500$ МГц) 0,1 ( $f = 500$ МГц)	0,1 ( $f = 500$ МГц) 0,3 ( $f = 500$ МГц) –

Багатофункціональні ВМ мають найвищий рівень метрологічних характеристик, розширені діапазони й межі вимірів. Як правило, прилади цієї групи мають широкі функціональні можливості й мають у своєму складі вбудовані засоби виміру частоти, коефіцієнта гармоніки, напруги або потужності ВЧ сигналу.

Таблиця 1.2 – Характеристики кращих закордонних вимірювачів модуляції

Основні технічні характеристики АМ	Аналізатор модуляції HP 8901A (США)	Вимірювач модуляції TF 2305 Marconi Instruments (Англія)
1. Діапазон несучих частот $f$ , МГц	0,15 – 1300	0,5 – 2000
2. Діапазон модулюючих частот $F$ , кГц	0,02 – 200	0,02 – 275
3. Границі вимірювання, %	До 99	До 99,9
4. Похибка вимірювання, %	1,0 $f = (10 - 1300)$ МГц; $F = (0,05 - 50)$ кГц	1,0 $M \leq 99,9$ % $F = 1$ кГц
5. Коефіцієнт гармонік, %	0,3 при $M \leq 50$ % 0,6 при $M \leq 95$ %	0,3 $M \leq 95$ % $F = 1$ кГц
6. Коефіцієнт переходу ЧМ - АМ, % / кГц	0,004 при $\Delta f < 50$ кГц	0,07 при $\Delta f = 50$ кГц
7. Паразитна АМ у смузі, %: $F = (0,3 - 3,4)$ кГц	0,01 ( $f = 1300$ МГц)	0,02

Найбільше розходження між ВМ, наведеними в таблиці 1.1 та таблиці 1.2, у плані схемно-структурних рішень спостерігається в побудові перетворювача частоти й системи автонастроювання. У цілому ряді приладів (СКЗ-45, СКЗ-46 – прилади країн СНД; TF2305, Farnell – закордонні прилади) використовується стробоскопічне перетворення частоти (СПЧ), що забезпечує перекриття широкого діапазону несучих частот (до 18 ГГц і більше), висока швидкодія автоматизованого пошуку й настроювання на невідому частоту сигналу при досить малих масогабаритних характеристиках. СПЧ характеризується гарною лінійністю перетворення АМ сигналів. Але СПЧ властиві й певні недоліки. Головними з них є низька перешкодозахищеність від побічних складових у спектрі вхідного сигналу й незадовільні шумові характеристики при низьких частотах гетеродина (для перекриття діапазону частот з одиниць мегагерц). Через низьку перешкодозахищеність у ВМ зі СПЧ можливі помилкові настроювання на

побічні складові й гармоніки вхідного сигналу. Тому в кращих закордонних ВМ (HP8901A, MS616A) використовується перетворення на першій гармоніці частоти гетеродина з використанням діодних, балансових або кільцевих змішувачів і синтезованих гетеродинів. Застосування синтезованих гетеродинів крім істотного поліпшення шумових характеристик (зменшення паразитної девіації частоти) дозволяє кардинально розширити функціональні й сервісні можливості ВМ. Зокрема, при використанні малощумлячих синтезованих гетеродинів у ВМ можливо без більших апаратурних витрат сполучення функцій точного частотоміра, вимірювача ослаблення, вимірювача спектральної щільності потужності фазових флуктуацій і т.д.

З урахуванням бурхливого розвитку схемотехніки синтезу частоти й розробок спеціалізованої елементної бази застосування синтезованих гетеродинів у багатофункціональні висококласні ВМ у майбутньому, очевидно, стане безальтернативним. Областю застосування СПЧ залишаться малогабаритні сервісні ВМ.

## 2 МЕТОДИ ПОВІРКИ ВИМІРЮВАЧІВ АМ

Метрологічна діяльність регулюється Законом України про метрологію та метрологічну діяльність[1]. Цей Закон визначає правові основи забезпечення єдності вимірювань в Україні, регулює суспільні відносини в сфері метрологічної діяльності та захищає від наслідків недостовірних результатів вимірювань національну економіку та громадян. Необхідно зупинитися на загальних положеннях цього закону, у яких наведені основні терміни та їх визначення стосовно метрологічній діяльності в Україні:

Метрологія – наука про вимірювання, яка включає як теоретичні, так і практичні аспекти вимірювань у всіх галузях науки і техніки.

Вимірювання – відображення фізичних величин їхніми значеннями за допомогою експерименту та обчислень із застосуванням спеціальних технічних засобів.

Методика виконання вимірювань – сукупність процедурі правил, виконання яких забезпечує одержання результатів вимірювань з потрібною точністю.

Єдність вимірювання – стан вимірювання, за якого їхні результати виражаються в узаконених одиницях вимірювань, а характеристики похибок або невизначеності вимірювань відомі із заданої ймовірності та не виходять за встановлені границі.

Засіб вимірювальної техніки (ЗВТ) – технічний засіб, який застосовується під час вимірювань і має нормовані метрологічні характеристики.

Робочій еталон – еталон, призначений для повірки чи калібрування робочих засобів вимірювальної техніки.

Нормативний документ із метрології – документ, який встановлює правила, загальні вимоги чи норми, які стосуються метрології та метрологічної діяльності;

Повірка засобів вимірювальної техніки – встановлення придатності засобів вимірювальної техніки, на який поширюється державний метрологічний нагляд, до застосування на підставі результатів контролю їхніх метрологічних характеристик;

Калібрування засобів вимірювальної техніки – визначення в певних умовах або контроль метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки, на які не поширюється державний метрологічний нагляд.

Основною задачею перевірки або калібрування є встановлення придатності ЗВ до застосування на підставі експериментального визначення метрологічних характеристик і підтвердження їхньої відповідності встановленим вимогам[4]. Необхідно відзначити, що для проведення повірки необхідно вибрати (або розробити, якщо таких не існують) методи й засоби, які забезпечують визначення метрологічних характеристик ЗВ з точністю, принаймні, в 3 рази вище чим у модулометра, у необхідних діапазонах  $f$ ,  $F$ ,  $M$ . Завжди потрібно визначити параметри випробувального сигналу, що забезпечують адекватність режиму перевірки реальному режиму ЗВ, тобто знайти:

- вид випробувального сигналу (форму несучого й модулюючого сигналів) при визначенні кожного з параметрів;
- значення  $f$ ,  $F$ ,  $M$ , при яких проводиться повірка;
- припустимі вимоги до паразитних параметрів випробувального сигналу: КГ, супутня ЧМ і  $M_{ш}$ .

## 2.1 Операції повірки

При проведенні первинної або періодичної повірки вимірювачів АМ необхідно виконувати наступні операції[10]:

- 1) зовнішній огляд;
- 2) випробування;
- 3) визначення метрологічних характеристик, а саме
  - мінімальної напруги вхідного сигналу;
  - похибки вимірювання коефіцієнтів АМ;
  - коефіцієнта гармонік  $K_{гв}$  огинаючої амплітудно-модульованого сигналу, внесеного трактом ВМ;
  - коефіцієнта амплітудної модуляції  $M_{ш. в}$ , обумовленого шумом і фоном тракту ВМ;
  - похибки внутрішніх пристроїв (частотоміра, вольтметра й засобу вимірювання коефіцієнта гармонік), якщо вони входять до складу повіряемого ВМ.

## 2.2 Визначення похибки вимірювання коефіцієнта АМ

Похибка може бути визначена двома методами: безпосереднього звірення (вимірювання одного й того ж значення  $M$  двома ВМ – що перевіряють і зразковим) і прямого виміру (шляхом подачі на повіряемий ВМ вимірювального сигналу з відомим значенням  $M$  – порівняння з мірою).

Метод безпосереднього звірення використовується для повірки ВМ низьких класів точності й дана задача в основному зводиться до правильного вибору зразкового ВМ. Структурна схема методу безпосереднього звірення наведена на рисунку 2.1.

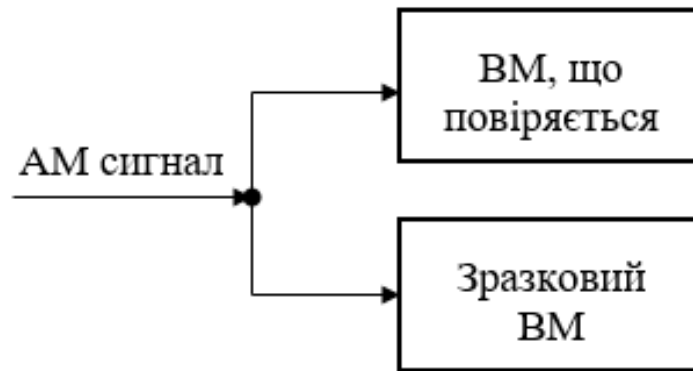


Рисунок 2.1 – Метод безпосереднього звірення

Структурна схема методу прямого вимірювання (порівняння з мірою коефіцієнта АМ) наведена на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Метод прямого вимірювання (порівняння з мірою коефіцієнта АМ)

Метод прямого вимірювання використовується для перевірки найбільш точних ВМ. Для здійснення даного методу повинні бути вирішені наступні задачі:

- 1) Знайдено модель вимірювального (випробувального) сигналу.

Дана задача зводиться до питання про адекватність вимірювального сигналу, застосовуваного для визначення різних параметрів ЗВТ (зокрема ВМ) при їхній перевірці, реальному АМ сигналу, для виміру параметрів якого призначений ВМ. У цьому випадку необхідно перевірити ВМ по всіх параметрах АМ, значення кожного з яких залежить від наступних змінних – несучої частоти  $f$ , модулюючої частоти  $F$ , коефіцієнта АМ  $M$ .

Необхідно знайти вид випробувального сигналу (форму несучого й модулюючого сигналів) при визначенні кожного з параметрів; значення  $f$ ,  $F$ ,  $M$  при яких проводиться перевірка.

- 2) Визначено паразитні параметри сигналу, що впливають на похибки

повірки, і обґрунтовані вимоги до них.

3) Сформовано необхідний вимірювальний сигнал.

4) Виміряне коефіцієнт АМ ( $M$ ) вимірювального сигналу з необхідною точністю (задача калібрування міри).

5) Проведено атестацію сигналу по паразитних параметрах.

Повірку ВМ по похибки вимірювання АМ можна представити у вигляді алгоритму зображеному на рисунку 2.3.

Проведені фахівцями ННЦ “Інститут метрології” дослідження в області радіотехнічних вимірювань показали, що як модель сигналу доцільно використати АМ сигнал із синусоїдальними несучої й модулюючими коливаннями. Коефіцієнт АМ повинен регулюватися від 0 до 100 %, а діапазон несучих  $f$  і модулюючих  $F$  частот повинен відповідати діапазонам перевіряємого ВМ.

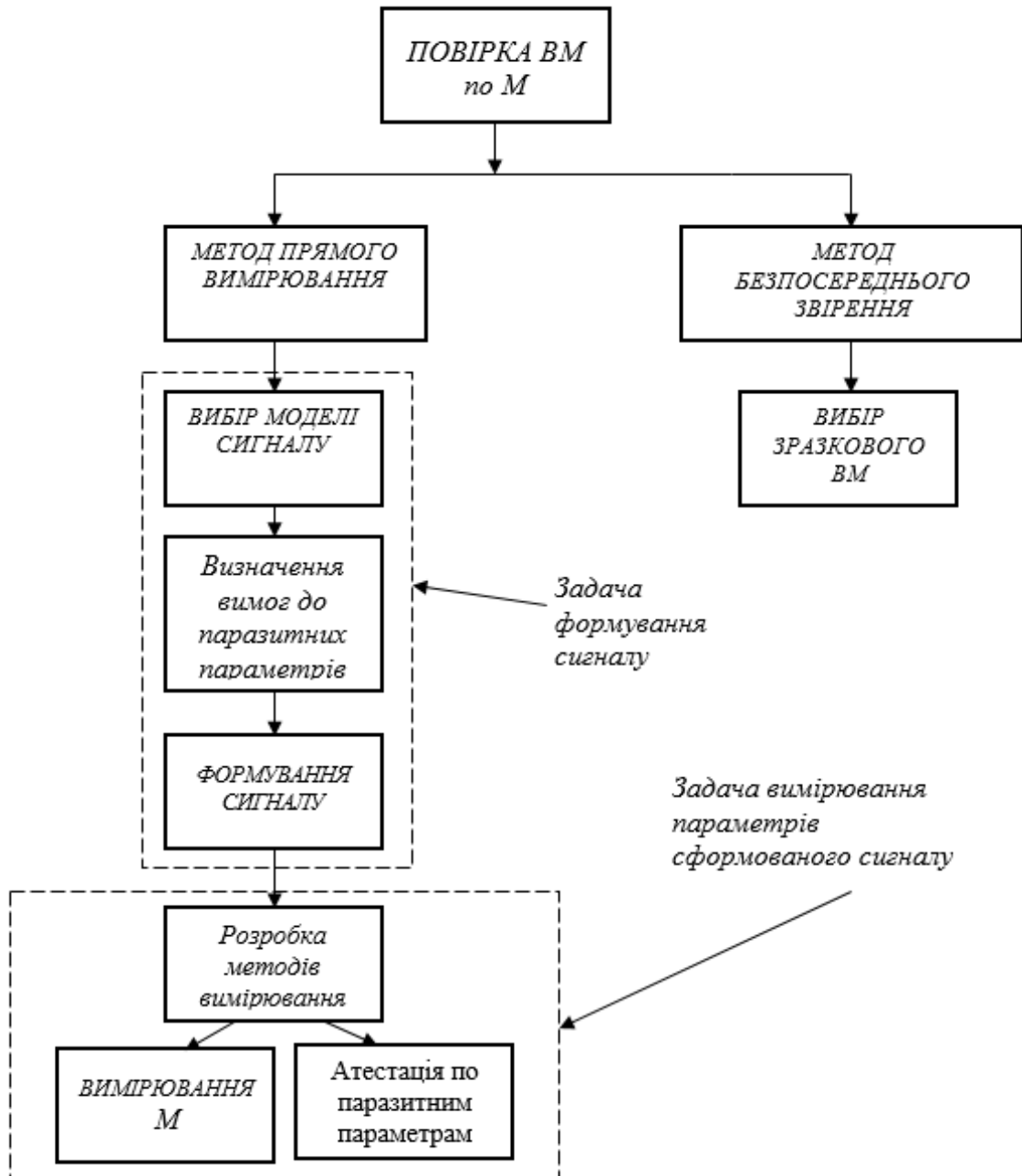


Рисунок 2.3 – Алгоритм повірки VM по похибці вимірювання коефіцієнта AM

Повірку доцільне проводити при декількох несучих і модулюючих частотах, включаючи нижчу і вищу.

Вимоги до паразитних параметрів залежать від їхнього впливу на похибки вимірювання коефіцієнта обраного методу перевірки.

Аналіз показав, що оптимальним методом перевірки за коефіцієнтом AM є метод виміру  $M_n = 100\%$  по характерній осцилограмі, а оптимальним

методом визначення  $K_r$  і  $M_{ш}$  – прямий метод з подачею на повітряний вимірювач коефіцієнта АМ зразкового сигналу з малими  $K_r$  і  $M_{ш}$ .

### 2.3 Осцилографічний метод вимірювання коефіцієнта АМ

Необхідно розглянути докладніше метод вимірювання  $M$  за допомогою осцилографа[4]. Правда, точність методів осцилографічного виміру, в загальному випадку, невелика (похибка досягає 5 – 10 %), але окупається в ряді випадків вона може бути значно підвищена. Застосування цих способів виправдано в тих випадках, коли  $A_{\text{вв}}=A_{\text{вн}}=A$ , як, наприклад, при гармонійному законі модуляції, тоді справедлива формула:

$$u_{AM}(t) = (A_0 + \Delta A \sin 2\pi F_0 t) \sin 2\pi f_0 t = A_0 (1 + (\Delta A/A_0) \sin 2\pi F_0 t) \sin 2\pi f_0 t = A_0 (1 + M \sin 2\pi F_0 t) \sin 2\pi f_0 t. \quad (2.1).$$

Одержавши на екрані осцилографа зображення коливання  $u_{AM}(t)$ , аналогічне зображенню на рисунку 2.4, і, вимірявши яким-небудь образом, наприклад за допомогою масштабної сітки, лінійки й т.п. значення  $A_{max}$  й  $A_{min}$  обчислюють  $M$  по формулі (2.1.).

Слід зазначити, що буває важко домогтися стійкої осцилограми в режимі внутрішньої синхронізації осцилографа синхронізацією досліджуваною напругою.

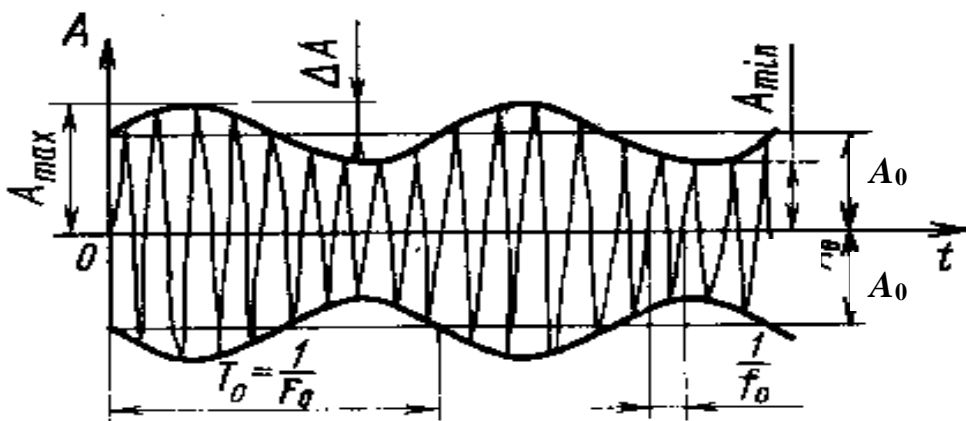
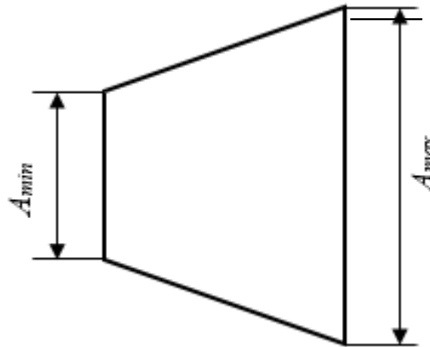


Рисунок 2.4 – АМ - коливання при гармонійному законі модуляції

Переважніше синхронізувати модулюючим сигналом (режим зовнішньої синхронізації осцилографа), якщо доступно джерело цього сигналу. В останньому випадку зручно здійснювати розгортку осцилографа по горизонталі модулюючим сигналом. Коли при модуляції не з'являються нелінійні спотворення огинаючої й відсутній фазовий зсув між модулюючою напругою й огинаючої сигналом  $u_{AM}(t)$ , то зображення на екрані осцилографа буде у вигляді трапеції, де підстави трапеції це  $-A_{max}$  й  $A_{min}$ . Тоді для визначення  $M$  досить вимірювати розміри підстав трапеції й зробити обчислення по формулі

$$M = \frac{A_{max} - A_{min}}{A_{max} + A_{min}} \times 100\% . \quad (2.2)$$

Осцилограма буде стійка, незалежна від положення органів синхронізації й частоти розгорнення. Осцилограма обмірюваного  $M$  методом трапеції наведено на рисунку 2.5.



Даних різновидів осцилографічного способу вимірювання  $M$  досить (трапеція,  $\epsilon$  ..... , ..... ) Рисунок 2.5 – Обмірюваний  $M$  методом трапеції ..... джень між собою. Похибка виміру визначається якістю фокусування променя, значенням спотворень у каналі  $Y$  осцилографа, точністю вимірів  $A_{max}$  й  $A_{min}$ .

Існує єдиний різновид осцилографічного способу вимірювання  $M$ , при якій можна одержати досить високу точність: вимірювання коефіцієнта глибини модуляції “униз”  $M_{вн} = 100\%$ , по характерної осцилограмі, зображеній на рисунку 2.6.

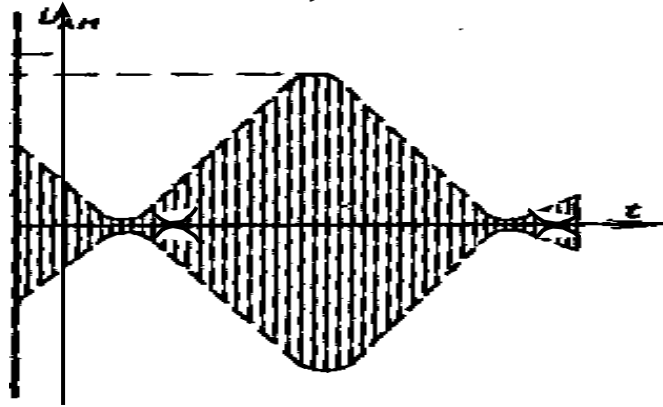


Рисунок 2.6 – Осцилограма АМ сигналу з коефіцієнтом АМ «униз»  $M_{вн} = 100\%$

Дане значення на осцилографічному індикаторі може бути зафіксоване з високою точністю. Для цього горизонтальне розгорнення, як вище відзначалося, синхронізують модулюючим сигналом, і встановлюють  $M_{вн} = 100\%$ , при максимальній чутливості вертикального відхилення. При цьому до джерела АМ сигналу пред'являються наступні вимоги:

- повинна забезпечуватись можливість одержання АМ сигналу із  $M_{вн} = 100\%$ ;

- АМ сигнал повинен мати малий коефіцієнт гармонік огибаючої;

- подільник повинен мати малу похибку установки  $K_{\text{деления}}$ .

Спрощена структурна схема реалізації методу наведена на рисунку 2.7.

Несуче коливання з АМ подається на осцилограф і регулюванням рівня модулюючого сигналу встановлюється  $M_{вн} = 100\%$  по характерній осцилограмі. Цьому коефіцієнту АМ відповідає рівень модулюючої напруги,  $U_{100\%}$ , Модуляційна характеристика генератора  $f$  зображена на рисунку 2.8.

Якщо ми тепер будемо ділити  $U_F$  за допомогою зразкового дільника у  $K$  раз, то при лінійної модуляційної характеристики генератора  $f$  у стільки ж раз поділиться коефіцієнт АМ:

$$M = \frac{M_{100\%}}{K} \quad (2.3)$$

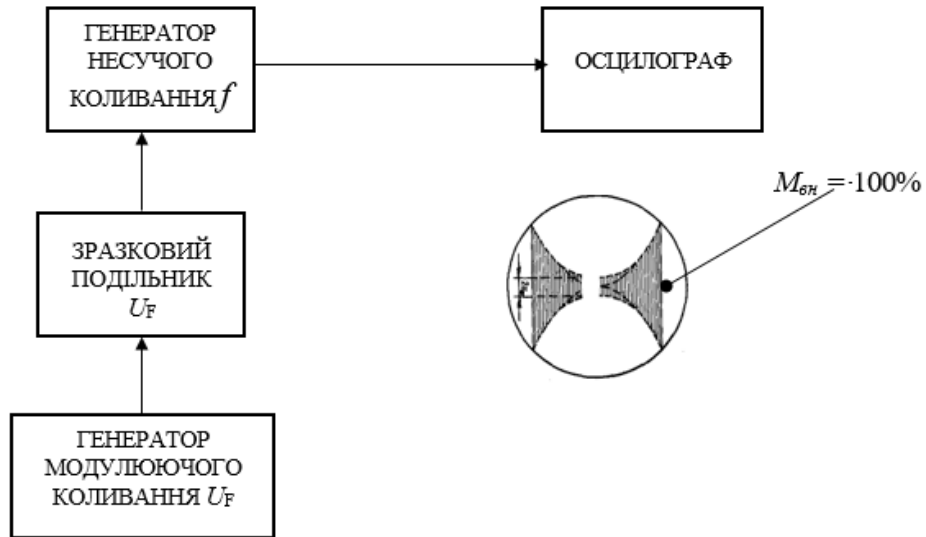


Рисунок 2.7 – Спрощена структурна схема реалізації осцилографічного методу

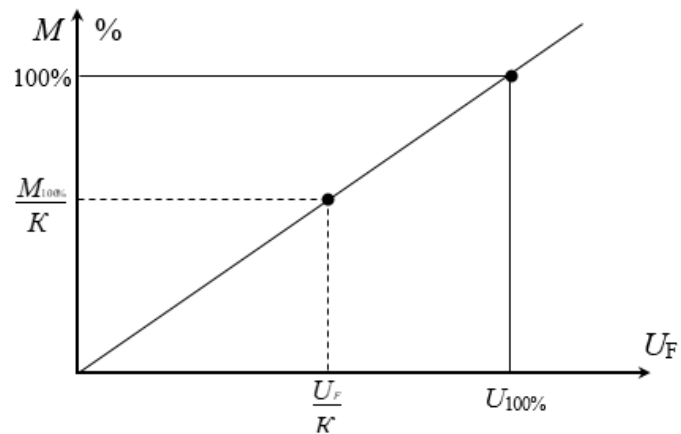


Рисунок 2.8 – Модуляційна характеристика генератора

Приклад:

$K = 20$	$M = 5 \%$ ;
$K = 10$	$M = 10 \%$ ;
$K = 5$	$M = 20 \%$ ;
$K = 2$	$M = 50 \%$ .

## 2.4 Визначення коефіцієнта гармонік $K_{2,6}$ огибаючої амплітудно-модульованого сигналу, внесеного трактом ЗВ

### 2.4.1 Прямий метод

Оптимальним методом визначення  $K_{2,6}$  є подача на вхід ЗВ зразкового амплітудно-модульованого сигналу з нормованим коефіцієнтом гармонік. На виході НЧ повіряемого ЗВ вимірюють коефіцієнт гармонік демодульованого сигналу. При цій операції коефіцієнт гармонік огибаючої зразкового амплітудно-модульованого сигналу  $K_{2,6}$  повинен бути принаймні в три рази менше, ніж припустиме значення  $K_{2,6}(K_{2,6,d})$ , тобто:

$$K_{K.O} < \frac{1}{3} K_{Г.Д} \quad (2.4)$$

Коефіцієнт гармонік демодульованого сигналу вимірюють за допомогою засобу вимірювання коефіцієнта гармонік або аналізатора спектра.

### 3 ЗАСОБИ ПОВІРКИ

Розглянуті вище методи повірки реалізовані в робочому еталоні для перевірки ВМ[6].

#### 3.1 Робочий еталон для повірки вимірювачів модуляції

Робочий еталон (зразковий засіб вимірювання), призначений для повірки засобів вимірів коефіцієнта АМ, повинен задовольняти наступним вимогам:

- а) діапазон несучих частот  $f$  – не менше діапазону модулюючих частот, що повіряє засоби вимірювання (ЗВ);
- б) діапазон модулюючих частот  $F$  – не менше діапазону модулюючих частот, що повіряє ЗВ;
- в) діапазон значень коефіцієнта АМ – не менше діапазону вимірювання коефіцієнта амплітудної модуляції, що перевіряє ЗВ;
- г) межа відносної похибки відтворених значень коефіцієнта АМ – не менше  $1/3$  відносної похибки вимірювання коефіцієнта АМ, яке повіряє ЗВ;
- д) коефіцієнт АМ, обумовлений власним фоном і шумом, менше  $1/3$  коефіцієнта АМ, обумовленого фоном і шумом, що перевіряє ЗВ, у відповідних смугах сигналу моделюючої частоти;
- е) коефіцієнт гармонік огинаючої амплітудно-модульованого сигналу менше  $1/3$  коефіцієнта гармонік, що обгинає амплітудно-модульованого сигналу, внесеного трактом. що перевіряє ЗВ.

Цим вимогам задовольняє апаратури для повірки вимірювачів коефіцієнта АМ К2-34[5].

Даним зразковим засобом вимірювання К2-34 оснащена більшість радіотехнічних підприємств, державних і відомчих центрів метрології й стандартизації, ведучих повірку в даній області вимірювання. У таблиці 3.1

наведено основні метрологічні й технічні характеристики зразкових ЗВ країн

Таблиця 3.1 – Основні метрологічні й технічні характеристики зразкових ЗВ країн СНД (К2-34) і США

Метрологічні й технічні характеристики	К2-34	11715 Hewlett-Packard (США)
Діапазон вимірювання (відтворення) АМ, %	0,1 – 100	0,1 – 99
Несуча частота $f$ , МГц	0,01 – 450	11 – 13,5
Діапазон модулюючих частот $F$ , кГц	0,01 – 200	0,03 – 100
Максимальна похибка, %	0,4 – 1	0,3 – 0,5
КГ закону АМ, %	0,2 ( $M = 100\%$ )	0,1 ( $M = 95\%$ )

Установка К2-34 серійно випускається з 1978 р. і забезпечує повірку ВМ поосновних параметрах АМ:

- похибки вимірювання коефіцієнта АМ,
- КГ закону АМ,
- коефіцієнту АМ-ФМ переходу.

### 3.2 Структурна схема установки К2-34

Спрощена структурна схема установки наведена на рис. 3.1, метрологічні характеристики установки наведені в таблиці 3.1. Установка складається із трьох приладів: генератора модулюючих напруг (ГМН), генератора АМ сигналів (АМГ), перетворювача частоти АМ сигналів (ПЧ)[5].

Принцип дії установки полягає у формуванні високоякісного АМ сигналу, калібрування його коефіцієнта АМ і лінійного переносу на ряд фіксованих частот у діапазоні від 0,01 МГц до 425 МГц.

Низькочастотна модулююча напруга, з малим КГ формується в ГМН на фіксованих частотах від 30 Гц до 200 кГц. У ГМН перебуває також прецизійний східчастий подільник модулюючої напруги, необхідний для установки коефіцієнта АМ  $M < 100\%$ .

У генераторі АМ сигналів здійснюється формування АМ сигналів на частотах 4 МГц, 10 МГц та 25 МГц на базі балансових модуляторів, що мають високу лінійність. Установка коефіцієнта АМ цих сигналів  $M_n = 100\%$  здійснюється з використанням описаного вище осцилографічного індикатора, а також переносу АМ сигналу із частотою 4 МГц у піддіапазон (10 – 1000) кГц.

ПЧ здійснює перетворення АМ сигналу із частотою 25 МГц на частоту 425 МГц із використанням широкодіапазонного балансового змішувача й кварцового гетеродина.

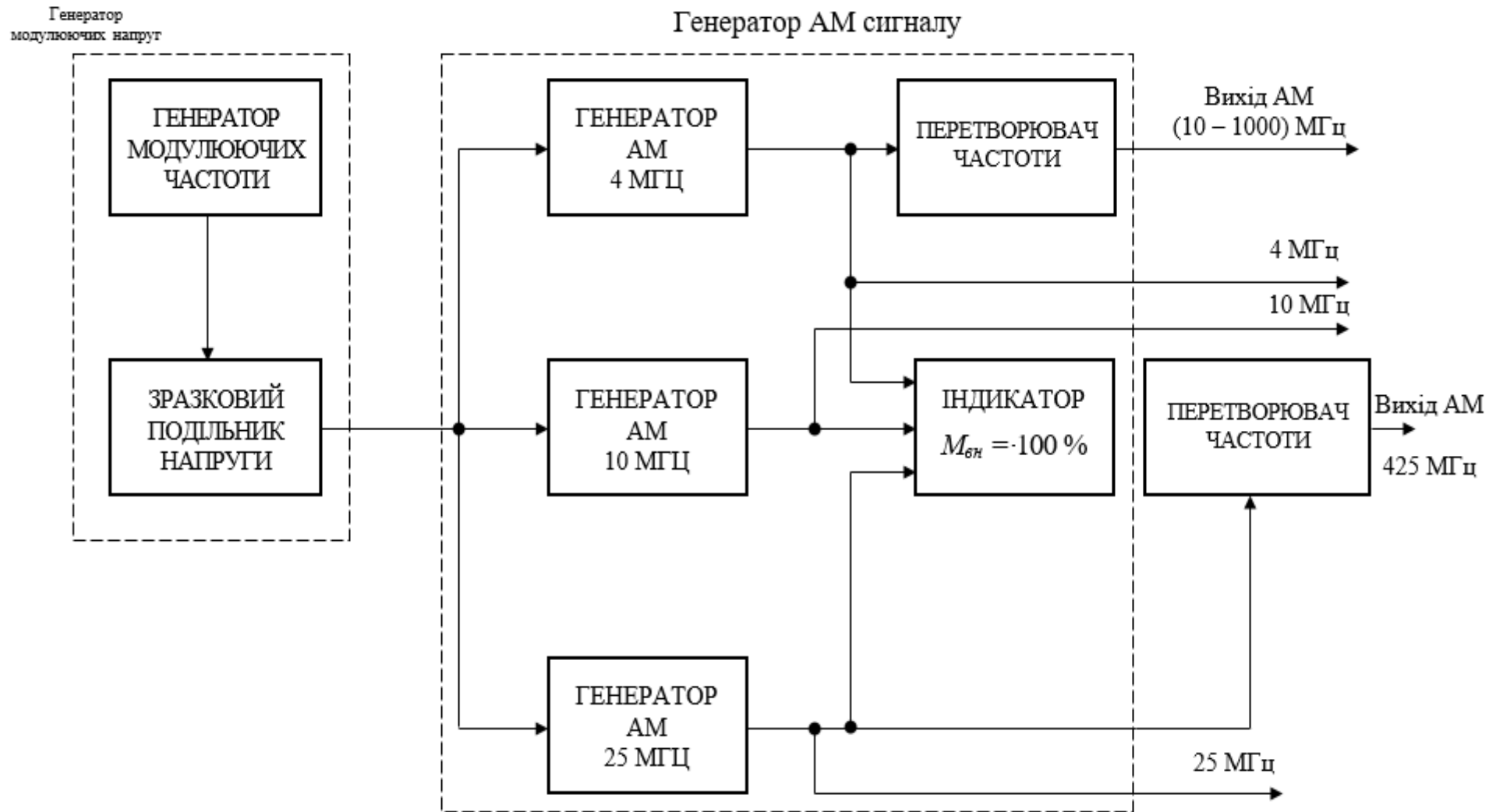


Рисунок 3.1 – Структурна схема установки К2-34

## 4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ (МЕТОДИКА) ПОВІРКИ

### 4.1 Умови повірки й підготовка до неї

При проведенні повірки необхідно підтримувати нормальні умови експлуатації згідно ГОСТ 22261-94 “Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия” (“Засоби вимірювання електричних і магнітних величин. Загальні технічні умови”) та експлуатаційної документації (ЕД) на ЗВ, яке повіряють.

Операції, необхідні при підготовці приладів до роботи й при роботі із цими приладами, повинні бути виконані відповідно до вимог ЕД на них[10].

### 4.2 Порядок проведення повірки

#### 4.2.1 Зовнішній огляд

Під час зовнішнього огляду необхідно перевірити:

- комплектність повіряемого ЗВ, на відповідність ЕД на нього (наявність запасних ЗІП не перевіряють);
- відсутність механічних ушкоджень, які можуть вплинути на нормальну роботу ЗВ (несправних елементів регулювання, індикації й з'єднання).

У випадку, коли виявлені дефекти, які можуть вплинути на роботу ЗВ, повірку не проводять і бракують ЗВ, яке повіряють.

#### 4.2.2 Випробування

Включають у мережу прилади, призначені для проведення повірки, і ЗВ, який повіряють.

Витримують всі прилади у включеному стані протягом часу

передбаченого ЕД у режимі прогрівання для кожного приладу.

Потім включають режим калібрування й проводять калібрування ЗВ, підлягаючого повірці.

Проводять перевірку на працездатність:

- на вхід ЗВ подають амплітудно-модульований сигнал з несучою та модулюючою частотами, які перебувають у його робочому діапазоні;
- перевіряють можливість відліку значень коефіцієнта АМ.

### 4.3 Визначення метрологічних характеристик

#### 4.3.1 Визначення мінімальної напруги вхідного сигналу

Мінімальна напруга вхідного сигналу визначають перевіркою можливості настроювання повіряемого ЗВ на частоту вхідного сигналу при мінімальній його напрузі й умові нормального функціонування індикаторів настроювання й рівня.

Якщо при проведенні повірки використовується апаратури К2-34, то необхідно:

Сигнал з виходу генератора через трійник 2.246.000 з комплекту апаратури К2-34 подати на ЗВ, а також на вольтметр.

При цьому за дійсне значення мінімальної напруги приймають покази вольтметра, підключеного на вхід ЗВ. Мінімальну напругу вимірюють на частотах, які відповідають нижній і верхній границям кожного піддіапазона.

#### 4.3.2 Визначення похибки вимірювання коефіцієнтів АМ

Похибка вимірювання коефіцієнтів АМ визначають при подачі на вхід ЗВ сигналів від робочого еталона з каліброваними значеннями  $M$  коефіцієнта АМ на певних значеннях несучих  $f$  і модулюючих частот,  $F$ .

Похибку вимірювання  $\Delta M_{вн}$  коефіцієнта модуляції “униз”  $M_{вн}$ , похибку вимірювання  $\Delta M_{вв}$  коефіцієнта модуляції “догори”  $M_{вв}$  і похибку вимірювання  $\Delta M_{ср}$  середнього значення коефіцієнта модуляції  $M_{ср}$  визначають при значеннях

*M*:

- одному – від 0,3 % до 5 %;
- одному – від 5 % до 10 %;
- трьох – від 10 % до 95 %;
- одному – від 95% до 100 %.

Похибку визначають:

– при значеннях несучих частот, які включають близькі до початку й кінця діапазону частот ВМ;

– на двох модулюючих частотах, близьких до початку й кінця діапазону

*F*.

При визначенні похибки вимірювання коефіцієнтів АМ смугу пропущення низької частоти (НЧ) повіряемого ЗВ вибирають так, щоб модулюючі частоти піддіапазону були в смугі пропущення НЧ, а верхня гранична частота смуги пропущення була в три рази більше максимальної модулюючої частоти піддіапазону.

Абсолютні похибки  $\Delta M_{вв}, \Delta M_{вн}, \Delta M_{ср}, \Delta M_{ск}$  вимірювання коефіцієнтів АМ визначають за формулами (4.1):

$$\left. \begin{aligned} \Delta M_{вв} &= M_{вв} - M, \\ \Delta M_{вн} &= M_{вн} - M. \end{aligned} \right\} \quad (4.1)$$

де  $M_{вв}$ – вимірюваний повіряємим ЗВ коефіцієнт модуляції “догори”;

$M_{вн}$ – вимірюваний повіряємим ЗВ коефіцієнт модуляції “униз”;

$M$ – номінальний коефіцієнт АМ сигналу робочого еталона.

#### 4.3.3 Визначення $K_T$ огинаючої АМ сигналу, внесеного трактом ВМ

Визначення  $K_T$  проводиться одним із методів, наведених в пунктах 2.4.2 та 2.4.2.

Коефіцієнт гармонік вимірюють:

- при значенні коефіцієнта АМ рівному 90 %;
- при одному значенні несучої частоти піддіапазону, якому відповідає певна ПЧ;
- при одному значенні несучої частоти кожного піддіапазона, де повіряєме ЗВ функціонує в режимі прямого підсилення;
- на максимальній моделюючій частоті, FM кожного піддіапазона, у якому  $K_{г.в}$  нормований.

При вимірюванні  $K_{г.в}$  аналізатором спектра вимірюють відношення напруги спектральних складових  $U_2$  й  $U_3$  із частотами  $2F$  й  $3F$  до напруги спектральної складової  $U_1$  із частотою  $F$  і визначають коефіцієнт гармонік по формулі (4.2):

$$K_{г.в} = \sqrt{\left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 + \left(\frac{U_3}{U_1}\right)^2} \times 100\% . \quad (4.2)$$

#### 4.3.4 Визначення $M_{ш}$ , обумовленим ЗВ

Визначення коефіцієнта амплітудної модуляції  $M_{ш.в}$ , обумовленого шумом і фоном тракту повіряємого ЗВ, проводять при одному значенні несучої частоти, найбільш близькому до максимальної несучої частоти повіряємого ЗВ, і на всіх смугах НЧ даного ЗВ, де  $M_{ш.в}$  нормований.

#### 4.3.5 Визначення похибок внутрішніх пристроїв

Визначення похибок внутрішніх пристроїв: частотоміра, вольтметра й засобу вимірювання коефіцієнта гармонік проводять у такий спосіб.

Внутрішній частотомір функціонує у двох режимах: вимірювання несучої частоти амплітудно-модульованого сигналу та вимірювання частоти модулюючого сигналу.

Похибка вимірювання несучої частоти й частоти модулюючого сигналу визначають за допомогою високочастотного генератора, який має режими безперервної генерації й амплітудної модуляції.

Похибку вимірювання несучої частоти амплітудно-модульованого сигналу  $\Delta f_{в.ч}$  визначають при трьох значеннях несучих частот діапазону, у якому  $\Delta f_{в.ч}$  нормована. На вхід повіряемого ЗВ подають сигнал від високочастотного генератора, який працює у режимі безперервної генерації, із частотою у діапазоні функціонування ЗВ. Одночасно частоту цього сигналу вимірюють зовнішнім частотоміром, який приймають у якості еталонного. Знімають покази внутрішнього  $f_{вн}$  і зовнішнього  $f_{ет}$  частотомірів.

Похибку вимірювання несучої частоти внутрішнім частотоміром визначають по формулі (4.3):

$$\Delta f_{в.ч} = f_{вн} - f_{ет}. \quad (4.3)$$

Похибку вимірювання частоти модулюючого сигналу  $\Delta F_{мод}$  визначають при трьох значеннях модулюючих частот діапазону, у якому  $\Delta F_{мод}$  нормована. Для цього сигнал високочастотного генератора модулюють по амплітуді за допомогою зовнішнього генератора НЧ й отриманий амплітудно-модульований сигнал подають на повіряемий ЗВ. До виходу генератора НЧ підключають зовнішній частотомір, який приймають у якості еталонного. Знімають покази внутрішнього  $F_{вн}$  і зовнішнього  $F_{ет}$  частотомірів.

Похибка вимірювання модулюючої частоти внутрішнім частотоміром визначають по формулі (4.4):

$$\Delta F_{мод} = F_{вн} - F_{ет}. \quad (4.4)$$

Повірку внутрішнього вольтметра  $\delta U$  проводять при двох значеннях несучих частот та при трьох значеннях напруги в діапазонах, у яких похибка  $\delta U$  нормована.

На вхід повіряемого ЗВ й на вхід зовнішнього цифрового вольтметра, який приймають за еталонний, через трійник 2.246. 000 з комплекту апаратури К2-34 подають сигнал від високочастотного генератора. Знімають покази внутрішнього  $U_{вн}$  і зовнішнього  $U_{ет}$  вольтметрів. Щоб уникнути помилки, обумовленої наявністю на вході ВЧ частини напруги гетеродина, при знятті показів необхідно виключити ЗВ, або, якщо можливо, виключити його

внутрішній гетеродин.

Відносну похибку внутрішнього вольтметра визначають по формулі (4.5):

$$\delta U = \frac{100(U_{ВН} - U_{ЭГ})}{U_{ЭГ}} \%, \quad (4.5)$$

якщо  $\delta U$  нормована у відсотках, або

$$\delta U = 20 \times \lg \left( \frac{U_{ВН} - U_{ЭГ}}{U_{ЭГ}} \right) \text{дБ}, \quad (4.6)$$

якщо  $\delta U$  нормована в децибелах.

Повірку внутрішнього вимірювача коефіцієнта гармонік  $\Delta K_G$  проводять у такий спосіб. На вхід повіряемого ЗВ, від робочого еталона К2-34, подають амплітудно-модульований сигнал,  $K_G$ огиноючої, якого вимірюють внутрішнім й зовнішнім ЗВ, підключеним до виходу НЧ повіряемого ЗВ й прийнятим у якості еталонного. При цьому робочий еталон К2-34 повинен працювати у режимі зовнішньої модуляції й на його вхід “ВНЕШ. МОДУЛ.” повинен бути поданий модулюючий сигнал від робочого еталона СК6-10.

Визначення похибки  $\Delta K_G$  проводять при значенні несучої частоти амплітудно-модульованого сигналу 25 МГц, при значенні коефіцієнта  $M = 90 \%$ , при трьох значеннях модулюючих частот і трьох значеннях  $K_G$  у діапазонах внутрішнього ЗВ коефіцієнта гармонік, у яких  $\Delta K_G$  нормована.

Покази внутрішнього ЗВ коефіцієнта гармонік  $K_{Г.ВН}$ . знімають при роботі повіряемого ЗВ у режимі вимірювання  $K_G$ , покази зовнішнього ЗВ коефіцієнта гармонік  $\Delta K_{Г.ЭГ}$ – при роботі повіряемого ЗВ у режимі вимірювання коефіцієнта АМ.

Похибка внутрішнього ЗВ коефіцієнта гармонік визначають по формулі:

$$\Delta K_G = K_{Г.ВН} - K_{Г.ЭГ}. \quad (4.7)$$

#### 4.4 Обробка результатів вимірювання

Всі вимірювання, що виконуються для визначення метрологічних характеристик, проводять із числом спостережень  $n$  не менше трьох[3].

За результат вимірювання приймають значення обчислене за формулою (4.8):

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n}, \quad (4.8)$$

де  $V$ – результат вимірювання;

$V_i$ – результат  $i$ -госпостереження,  $i=1, 2, \dots n$ .

Абсолютну похибку  $\Delta V$  ЗВ визначають за формулою (4.9):

$$\Delta V = V - V_{\text{ЭТ}}, \quad (4.9)$$

де  $V$ – результат вимірювання за формулою (4.8);

$V_{\text{ЭТ}}$ – покази робочого еталона.

Відносну похибку  $\delta V$  СИ визначають за формулою (4.10):

$$\delta V = \frac{V - V_{\text{ЭТ}}}{V_{\text{ЭТ}}}. \quad (4.10)$$

#### 4.5 Оформлення результатів повірки

Результати первинної й періодичної повірок засобів вимірювальної техніки оформлюють у встановленому порядку.

Форми оформлення свідоцтв про повірку в залежності від організації, яка проводили вимірювання, та від того, який засіб вимірювальної техніки піддавався контролю метрологічних характеристик наведено у ДСТУ 2708:2006 “Метрологія. ПОВІРКА ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ. Організація та порядок проведення”.

## 5 АНАЛІЗ ПОХИБОК АПАРАТУРИ

При коректній реалізації АМ генераторів похибка встановлення  $m_n = 100\%$  носить випадковий характер і визначається роздільною здатністю реєстрації характерної для  $m_n = 100\%$  осцилограмою. При установці оптимального коефіцієнта підсилення вертикального підсилювача осцилографа, коли ми можемо бачити на екрані відповідну ділянку (А) осцилограма представлена на рисунку 5.1 .

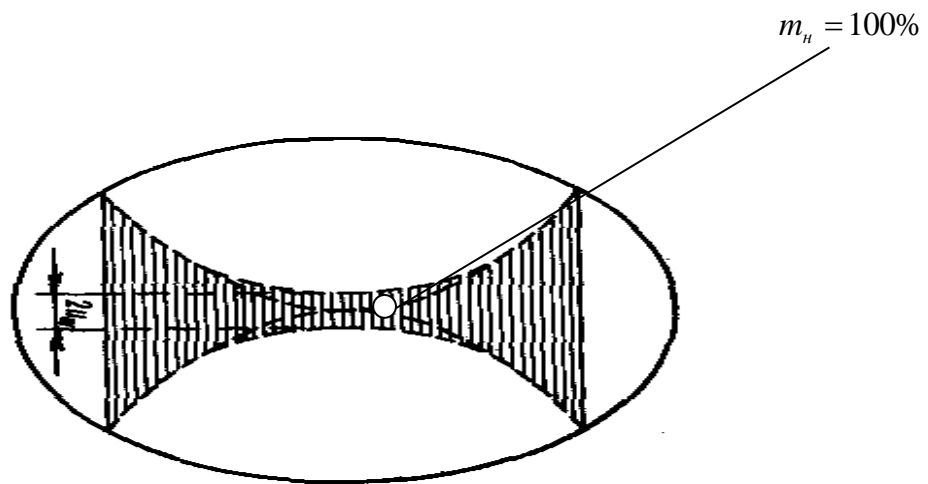


Рисунок 5.1 – Спрощена структурна схема реалізації осцилографічного методу

Випадкова похибка може бути оцінена методом багатократних вимірювань (шляхом вимірювання  $U_{\text{мод}}$  при  $m_n = 100\%$  , встановленим багато разів). Тоді СКВ вимірювання складає:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (U_{i \text{ min}} - U_{\text{мод}})^2}{(n-1)}}, \quad (5.1)$$

$$\overline{U_{\text{мод}}} = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{n}. \quad (5.2)$$

Як показав експеримент, при  $\Pi=10$  СКВ одного вимірювання не перевищує 0,1%. Приймаємо  $S \approx 0,1\%$  .

Як показує аналіз, при найбільш несприятливому співвідношенні фаз між першою і більш високими гармоніками похибка через  $K_r$  АМ сигналу може досягти значення  $K_r$  (при вимірюванні пікових значень КАМ) і носить систематичний характер (позначимо  $\Theta_1$ ), тобто  $\Theta_1 \leq K_r$ .  $K_r$  АМ сигналів установки К2 – 34 складає:

$$\Theta_1 \approx K_r < 0,1\% \text{ при } m = 30\%, \quad (5.3)$$

$$\Theta_2 \approx K_r < 0,2\% \text{ при } m = 100\% .$$

Похибку подільника є не вилученою систематичною похибкою, яка складається з двох складових частотно незалежної похибки коефіцієнта поділу напруги, пов'язаною не ідеальністю підгонки резисторів подільника, і частотної похибки. Ця похибка ( $\Theta_2$ ) оцінюється відносним значенням 0,05% в діапазоні частот до 2 кГц та 0,1% в діапазоні до 200кГц.

Похибка, пов'язана з перетворенням частоти АМ сигналу (при переносі частоти опорних сигналів 4, 10 і 25 МГц в піддіапазоні 10-100кГц і на частоту 425МГц) є НСП і оцінюється відносно значення 0,1%.

Наявність в сигналах апаратури, окрім корисної АМ також паразитної АМ шумового характеру є джерела систематичної адитивної похибки, яка не залежить від рівня корисної АМ, але залежить від смуги модулюючих частот. Абсолютне значення цієї похибки складає

$$M_{uu} = \Theta_{abc} = 0,05\% \text{ в смугі } 0,03 - 3,4 \text{ кГц}; \quad (5.4)$$

$$M_{uu} = \Theta_{abc} = 0,07\% \text{ в смугі } 0,03 - 20 \text{ кГц};$$

$$M_{uu} = \Theta_{abc} = 0,1\% \text{ в смугі } 0,03 - 200 \text{ кГц}.$$

Нагадаємо, що для зниження цієї похибки АМ генератором зроблені на кварцових генераторах.

Підсумуємо складові відносної систематичної похибки при цьому

$$\Theta = \pm \sum_i^N |\Theta_i| \text{ при } N \leq 3, \quad (5.5)$$

$$\Theta = k \sqrt{\sum \Theta_i^2} \text{ при } N \geq 4,$$

де  $K=1,1$  при  $P=0,95$ ;

$K=1,4$  при  $P=0,99$ .

В нашому випадку  $I=3$ , приймає таку форму:

$$\Theta = \Theta_1 + \Theta_2 + \Theta_3 = 0,35\% \text{ при } F < 20 \text{ кГц}, \quad (5.6)$$

$$0,4\% \text{ при } F < 200 \text{ кГц}.$$

Оскільки ці цифри близькі, приймаємо  $\Theta = 0,4\%$ . Запис одиниці НСП слід зробити з урахуванням адитивної похибки в абсолютній формі, тобто з урахуванням  $M_{uu}$ , яка складає  $M_{uu} = 0,1\%$ .

$$\Delta = 0,4\%M + M_{uu} \text{ або } (0,004M + M_{uu})\%. \quad (5.7)$$

При гистерезисі похибки в невизначеності враховується:

Ст.нев.типа А:  $U_a = S = 0,1\% \text{ отн.}$ ,

Ст.нев.типа В:  $U_B = \frac{\Theta}{\sqrt{3}} = \frac{0,4}{\sqrt{3}} = 0,23\% \text{ отн.}$ ,

Сум.станд.нев:  $U = \sqrt{U_a^2 + U_b^2} = 0,25\% \text{ отн.}$

Для визначення абсолютної невизначеності від  $M_{uu}$  закон розподілу шумів тому приймемо цю невизначеність рівної  $M_{uu}$ .

$$U = 0,25\%M + M_{uu} = (0,0025M + M_{uu})\%. \quad (5.8)$$

Всі описані вище дані занесені у таблицю 5.1

Таблиця 5.1 – Бюджет похибок (невизначеностей) засобу повірки модулометра

№	Складові похибки	Характер	Числова оцінка	Примітка
1	Похибка встановлена $m_n = 100\%$	Випадкова (типу А)	$S=0,1\%$	$U_A = S$
2	КГ відповідної АМ сигналу	НСП(типу В)	$\Theta_1 \leq 0,2\%$	$U_B = \frac{\Theta}{\sqrt{3}}$
3	Похибка подільника напруги	НСП(типу В)	$\Theta_2 = 0,05\%(F \leq 20 \text{кГц})$ $\Theta_2 = 0,1\%(F \leq 200 \text{кГц})$	$U_B = \frac{\Theta}{\sqrt{3}}$

4	КГ перетворювачів частоти АМ сигналів	НСП(типу В)	$\Theta_3 \leq 0,1\%$	$U_B = \frac{\Theta}{\sqrt{3}}$
5	Сумарна НСП	$\Theta_\Sigma$	$\Theta_\Sigma = 0,4\%$	$(U_B)_\Sigma = \frac{\Theta}{\sqrt{3}}$
6	Сумарна невизначеність	$U_\Sigma$	$U_\Sigma = 0,25\%$	$U_\Sigma = \sqrt{U_a^2} + \sqrt{U_B^2}$
7	Розширена невизначеність	$U_{0,95}$	$U_{0,95} = 0,5$	$U_{0,95} = 2 \cdot U_\Sigma$

## 6 ПЕРСПЕКТИВИ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ І АПАРАТУРИ ДЛЯ КАЛІБРУВАННЯ МОДУЛОМЕТРА

Дипломна робота відображає існуючий стан ЗВт в галузі АМ, методів і апаратури для калібрування. Але вже чітко проявляються нові тенденції як в принципах побудови модулометрів, так і в методології їх метрологічного забезпечення. Ось ці тенденції:

- Перехід до багатофункційних приладів з гнучкою структурою і великим набором вимірювальних і сервісних функцій;
- Широке використання цифрових технологій і програмно-комп'ютерних рішень замість апаратних;
- Широке використання вбудованих калібраторів.

Фактично сучасні радіовимірювальні прилади перетворюються в комп'ютеризовані прилади двох видів: приймального і генераторного.

А нове приладобудування вимагає нової метрології.

Суть нового підходу до їх метрологічного забезпечення полягає у використанні як існуючого методичного досвіду, так і схемно-технологічних рішень сучасного приладобудування. Можна сформулювати такі основні принципи побудови засобів метрології в цій галузі:

- перше – заміна, де можливо, аналогової техніки на цифрову. Так, цифрові генератори ( створені за технологіями DDS (прямого цифрового синтезу) і Trueform (довільна форма) і цифрові демодулятори, які використовуються в сучасному приладобудуванні) продемонстрували значно кращі метрологічні можливості за такими визначальними показниками як лінійність модуляційної і демодуляційної характеристик, чистота спектра, відсутність супутніх (паразитних) модуляцій, низький рівень шумів тощо.

- Друге – використання програмно-комп'ютерних технологій не тільки для автоматизації вимірювань, а й для реалізації «еталонних» методів вимірювання, у тому числі, «незручних» трудомістких методів, які завдяки

цьому одержують нове життя (метод «нулів функцій Бесселя», «метод комбінаційних частот» і інші). Саме з використанням цих принципів побудовано новий еталон параметрів ЧМ-ФМ коливань.

- Третє - доцільність переходу від одиночних еталонів (КАМ, ДЧ, КГ) до комплексних багатофункційних калібраційно-повірочних комплексів.

Цей новий підхід вже вбудовано в ННЦ «ІМ» при створенні нового еталона в галузі ЧМ, він повністю себе виправдав.

В ННЦ «Інститут метрології» були проведені розрахунки і експериментальні дослідження щодо заміни аналогового АМ-генератора К2-34 на генератор цифрового типу, було одержано такі результати:

Таблиця 6.2 – Порівняльна таблиця якісних показників

Параметри	АМ генератор К2-34	Цифровий генератор (DDS) Keysight 336НА
Коеф. АМ	0-100%	0-100%
Частота	До 425 МГц	Більш ніж 1 ГГц
Кг кр АМ	0.1% (m=50%)	0.02% (m=50%)
	0.2% (m=100%)	0.03% (m=100%)
Супут. ЧМ	20 Гц (m=50%)	Не виявлено
Ампл. шум	0.2%	0.1%

Як видно з цієї таблиці, цифровий генератор дозволяє одержати еталонні АМ сигнали значно вищої якості, зокрема Кг при АМ (джерело домінуючої похибки) в 10 разів якісніше ніж аналогічний генератор, а також повну відсутність сукупної ЧМ-ФМ модуляції і менший рівень амплітудних шумів. В ННЦ «ІМ» новий підхід вже релізовано при створенні нового еталона девіації частоти ЧМ сигналів.

## 7 БЕЗПЕКА ЖИТТЯ І ДІЯЛЬНОСТІ ЛЮДИНИ

### 7.1 Аналіз умов праці в приміщенні науково - дослідницької лабораторії

Дипломний проект виконувався в приміщенні науково – дослідницької лабораторії (НДЛ), в якій знаходиться еталон одиниці амплітудної модуляції. При розробці застосовувались ПОЕМ. Надалі, при розробці питань БЖД будемо використовувати джерела та нормативні документи, регулюючі питання безпеки охорони праці при експлуатації ПОЕМ.

Розміри приміщення складають 6х5х3 м (площа 30 м<sup>2</sup>). Розміри приміщення задовольняють встановленим нормам: виробнича площа, що приходить на одного працюючого, складає 15 м<sup>2</sup>, об'єм приміщення на одну людину – 45 м<sup>3</sup>, за ДСанПін 3.3.2-0.07-98 “Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислюваних машин” [7] ці параметри дорівнюють відповідно 6 м<sup>2</sup> та 20 м<sup>3</sup>. В приміщенні є вікно. Лабораторія знаходиться на третьому поверсі 8-поверхового будинку.

В лабораторії знаходяться два робочі місця. Одне з них включає в себе робочий стіл, розташований на ньому комп'ютер (монітор, системний блок, клавіатура і миша) і стілець; друге місце – стенд, розмірами 0,8 м×1,7 м, в якому знаходиться апаратура системи відтворення, зберігання та передачі еталона. В приміщенні є електромережа – трьохфазна чотирьохпровідна мережа з глухозаземленою нейтраллю змінного струму частотою 50 Гц і напругою в мережі 380/220 В.

Розглядаючи НДЛ як систему “Людина-Машина-Середовище” (“Л-М-С”), можна виділити 2 підсистеми “робоче місце”, в склад кожної із яких входять елементи “людина” (працівник), “машина” (ПОЕМ та стенд). Елемент

“середовище” (виробниче середовище в приміщені НДЛ) є загальним для підсистем “робоче місце” (рис. 7.1).

Елемент “людина” розділимо на наступні функціональні частини:

Л1 – людина, яка виконує цілеспрямовані функції;

Л2 – людина, яка розглядається з точки зору впливу на “середовище” зарахунок тепло- і вологовідділення та інш.;

Л3 – людина, яка розглядається з точки зору психофізіологічного стану;

ПП – предмет праці (проекування програмного продукту).

Предмет праці у всіх членів колективу будемо вважати однаковим – система відтворення, зберігання та передачі одиниці ЕРС.

Взаємодію працюючих з виробничим середовищем можна представити у вигляді системи Л-М-С (рис. 7.1).

Елемент “машина” розділимо на наступні частини:

М1 – елемент, який виконує основну технологічну функцію (програмний продукт);

М2 – елемент, функції аварійного захисту (ізоляція, запобіжники);

М3 – елемент, впливу на навколишнє середовище (тепло, шум, електромагнітне випромінювання).

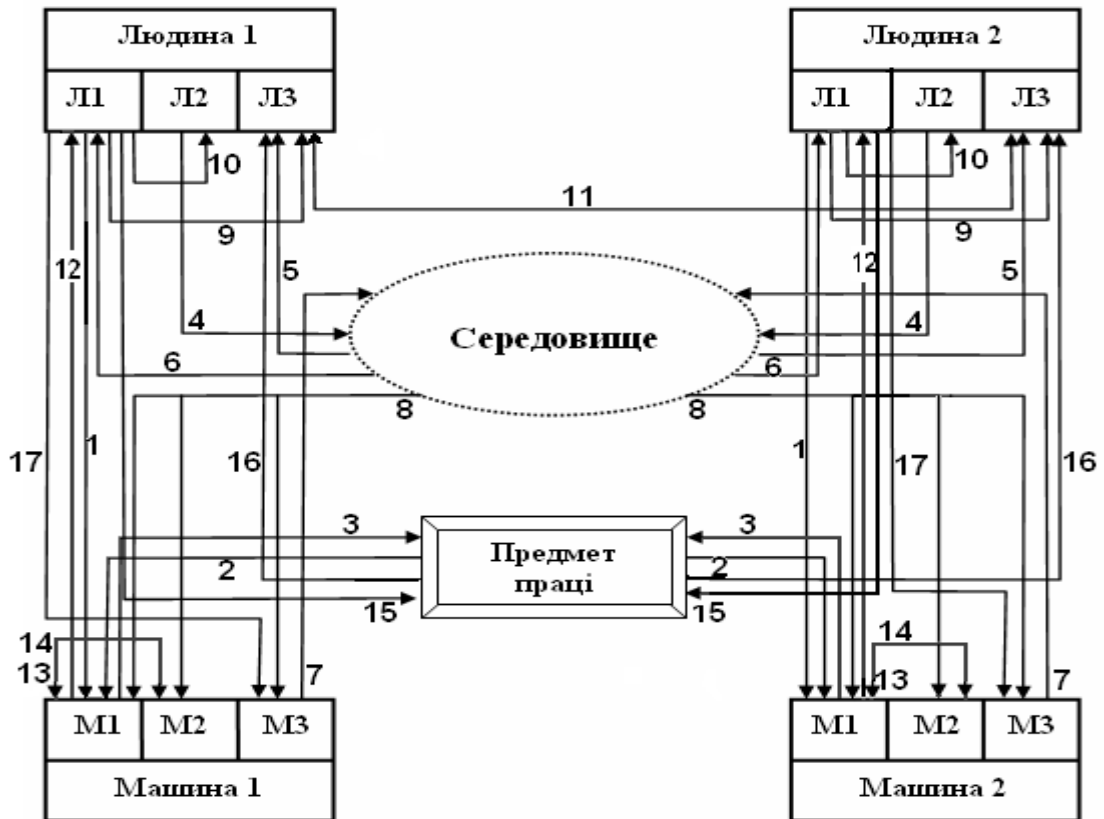


Рисунок 7.1 – Система “Людина-Машина-Середовище” для НДЛ

Зв’язки в системі Л-М-С:

- 1) Л1-М1: вплив людини на управління машиною та її налагодження (програмування, аудит, налагодження, зчитування показань);
- 2) М1-М2: інформація про стан предмета праці, одержана машиною (вихідні дані програми);
- 3) М1-М3: вплив машини на предмет праці (компіляція програмного коду, розробка програмного забезпечення);
- 4) Л2-С: вплив людини як біологічного об’єкта на середовище (теплообмін, шум, вологість, температура тіла);
- 5) С-Л3: вплив середовища на психофізіологічний стан людини (втома, перенапруга аналізаторів);
- 6) С-Л1: інформація про стан середовища, що опрацьовується людиною;
- 7) М3-С: вплив машини на стан середовища (електромагнітне

випромінювання, тепло);

8) С-М1, С-М2, С-М3: вплив середовища на якість роботи машини (підвищення температури деталей комп'ютера);

9) Л1-Л3: зв'язок роботи, що виконана з психофізіологічним станом організму (втома, розумова перенапруга);

10) Л1-Л2: вплив характеру праці на інтенсивність обміну речовин (зміна тепловиділення та виділення вологи);

11) Л3-Л3: взаємний вплив психофізіологічного стану людей один на одного (при негативному відношенні в колективі можливе погіршення продуктивності праці);

12) М1-Л1: інформація про стан машини, оброблена людиною (програмний код, зображений на моніторі);

13) М1-М2: інформаційний зв'язок між комп'ютером та системою завантаження;

14) М2-М1: аварійний керуючий вплив;

15) Л1-ПП: вплив людини на продукт праці (людина розробляє програмне забезпечення);

16) ПП-Л3: вплив предмету праці на психофізичний стан людини;

17) Л1-М3: вплив людини на техніку (перегрів).

За певних умов можливі виникнення небезпечних і шкідливих виробничих факторів, здатних привести до зниження працездатності, травми або захворювання людини, перерахуємо небезпечні та шкідливі виробничі фактори відповідно до ГОСТ 12.003-74.ССБТ. "Опасные и вредные производственные факторы. Классификация" [16]. Можна виділити наступні небезпечні і шкідливі виробничі чинники (НШВЧ) в приміщенні НДЛ.

Фізичні [Таблиця 1.1]:

- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- отсутствие или недостаточность естественного освещения;
- недостаточное освещение в рабочей зоне;

- підвищена або понижена температура повітря в робочій зоні;
- підвищене значення напруги в електричній мережі, замикання якої може статися через тіло людини;
- підвищена напруженість електричного і магнітного поля;
- підвищений рівень іонізуючого випромінювання.

Психофізіологічні:

- статичні навантаження;
- умовні перевантаження, емоційні перевантаження.

Таблиця 7.1 – Фактори виробничого середовища трудового процесу

Фактори виробничого середовища трудового процесу	Значення фактора (ПДК, ПДУ)		З класу ступень			Тривалість дії фактора, в % зміни
	Норма	Факт	1ст	2ст	3ст	
1	2	3	4	5	6	7
1. Шум, дБ	60	60	-	-	-	-
2. Неіонізуюче випромінювання: - промислової частоти, В/м	25	<20	-	-	-	-
- радіочастотного діапазону, В/м	2,5	<1,8	-	-	-	-
3. Рентгеновське випромінювання, мкР/ч	100	17	-	-	-	-
4. Мікроклімат:						
- температура повітря (влітку), °С	23-25	24	-	-	-	-
- швидкість руху повітря, м/с	0,1	0,1	-	-	-	-
- відносна вологість, %	40-60	55	-	-	-	-
5. Атмосферний тиск, мм.рт.ст.	750	750	-	-	-	-
6. Освітлення: природне, %	≥ 1,5	1,5	-	-	-	-
- штучне, лк	300-500	237	+	-	-	60%
7. Важкість праці: малі стереотипні рухи кистей і пальців рук (кількість заміну)	20-40	20	-	-	-	-
- нахили корпусу (раз за зміну)	До 100	30	-	-	-	-

8. Напруженість праці:						
а) увага, тривалість зосередження, в % від зміни	До 75	80	-	-	-	-
б) напруженість зорових аналізаторів, категорія робіт	точна	високоточна	+	-	-	75%
в) емоціональне інтелектуальне навантаження	робота повстанова графіку	робота повстанова графіку	-	-	-	-
9. Зміна	2 зміна	1 зміна	-	-	-	-
Загальна кількість факторів	-	-	2	-	-	-

З таблиці 7.1 видно, що домінуючим ШВЧ є недостатність освітлення робочої зони, так як фактичне значення (237 лк) менше встановленої норми (300 – 500 лк).

Згідно гігієнічної оцінки робоче місце відноситься до 3 класу 1-го ступеня шкідливості. Тому необхідно розрахувати систему штучного освітлення (яка розраховується в підрозділі 7.3).

## 7.2 Техніка безпеки в приміщенні науково – дослідницької лабораторії

Приміщення НДЛ відноситься до класу приміщень без підвищеної безпеки згідно з НПАОП 40.1-1.21-98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів [8]. Електропостачання НДЛ здійснюється від трьохфазної чотирьохпровідної мережі з глухозаземленою нейтраллю, струм змінний, частота 50 Гц, напруга 220/380 В.

Для занулення, згідно з НПАОП 40.1-1.32-01, електрично об'єднані на ввіді в НДЛ з нульовим провідником мережі корпуси всіх ПОЕМ. Об'єднання виконане нульовим захисним провідником, повна провідність якого не менше 50% повної провідності фазового проводу. Для відключення ушкодженого участку мережі і на ввіді електромережі в НДЛ встановлений

автомат захисту, струм якого обирається поструму короткого замикання. Занулення перетворює замикання на корпус ПОЕМ в однофазне коротке замикання, в результаті чого спрацьовує автомат захисту. Час відключення ушкодженого участка мережі не більш 0,1-0,2 с.

Для зменшення напруги, доданого до тіла людини в момент замикання, та обриву нуля виповнено повторне заземлення нульового проводу. Для цього нульовий захисний провідник заземлен за допомогою природних і штучних заземлювачів. Сумісний опір повторного заземлення не перевищує 10 Ом відповідно вимогам НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

Проводиться вступний, первинний, повторний, позаплановий і цільовий інструктажі на робочому місці. Інструктаж організовує і проводить служба охорони праці. Проводяться у відповідності до НПАОП 0.00-4.12-05 “Типове положення про навчання, інструктаж та перевірку знань працівників з питань охорони праці”[9]. Вступний інструктаж проводиться при вступі на роботу. Факт інструктажу фіксується в журналі вступного інструктажу.

Первинний інструктаж проводиться безпосередньо на робочому місці. Факт інструктажу фіксується у журналі первинного інструктажу. Аналогічно з періодичністю в пів року проводяться повторні інструктажі.

Внеплановий інструктаж проводиться при зміні умов праці, введення в експлуатацію нової техніки, а також при нещасних випадках.

Цільовий інструктаж в НДЛ проводиться при виконанні робіт, не пов’язаних з їх основними обов’язками.

### 7.3 Виробнича санітарія в приміщенні науково – дослідницької лабораторії

В залежності від енерговитрат організму, згідно зДСН 3.3.6.042-99 “Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень”[10], робота в НДЛ відноситься до категорії робіт за енерговитратам організму “легка 1а” - роботи, які

виконуються сидячи і супроводжуються незначними фізичними навантаженнями. З метою створення нормальних умов для персоналу встановлені наступні параметри мікроклімату згідно з ДСН 3.3.6.042-99 “Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень”, які наведені в таблиці 7.2.

Для забезпечення встановлених параметрів мікроклімату в приміщеннях, оснащених вимірювальною технікою використовують вентиляцію, кондиціонування та опалення згідно зі СНиП 2.04.05-91 “Отопление, вентиляция и кондиционирование”[18].

В лабораторії параметри мікроклімату задовольняють нормам.

Таблиця 7.2 -Оптимальні параметри мікроклімату

Пора року	Температура повітря, град. С	Відносна вологість повітря, %	Скорість руху повітря, м/с
Холодна	22-24	40-60	не більш 0.1
Тепла	23-25	40-60	не більш 0.1

Загальне освітлення повинно бути виконано у вигляді єдиних або переривчастих ліній світильників, які розміщуються збоку робочих місць (зліва) паралельно лінії погляду працівників. Метою розрахунку є забезпечення нормального освітлення в приміщенні науково – дослідницької лабораторії. Для цього треба визначити кількість люмінесцентних ламп, їх світовий потік. Розрахунок штучного освітлення виконується за методом використання світлового потоку, з джерела методики – збірник задач з охорони праці.

В якості джерела світла використовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ. До того ж лампи цього типу за спектральними характеристиками максимально наближаються до природного освітлення і енергетично є більш економічними.

Стіни приміщення пофарбовані світло-жовтою фарбою, стеля – побілена. Коефіцієнт відбиття стін  $\rho_{стен} = 50 \%$ , стелі  $\rho_{стел} = 70 \%$ , підлоги  $\rho_{під} =$

30 %. Крива сили світла – косинусна (Д). Відповідно до цих даних обираємо світильники ЛСП16 з люмінесцентними лампами ЛБ 40.

Проведемо розрахунок штучного освітлення, так як його недостатність є ШВЧ. А характеристика зорових робіт – високої точності, підрозряд зорових робіт – в. В табл. 7.3 наведені норми штучного освітлення для даних робіт згідно з ДБН В.2.5-28-2006 “Природне і штучне освітлення”[19].

Таблиця 7.3 – Норми штучного освітлення (для люмінесцентних ламп) виробничих приміщень

Найменший об'єкт розпізнання, мм	Розряд зорової роботи	Освітленість при загальному освітленні, лк
0,3 – 0,5	III	300-500

Розрахунок штучного освітлення виконується за методом використання світлового потоку [Охрана труда. Сборник задач].

Метою розрахунку є вибір джерела освітлення, кількість світильників та їх вид для забезпечення нормірованого освітлення.

#### 1. Висота підвісу світильників над робочою поверхнею

$$h_n = H - h_p \text{ м, (7.1)}$$

де  $H$  - висота приміщення;  $H = 3 \text{ м}$ ;

$h_p$  - висота робочих поверхонь;  $h_p = 0,8 \text{ м}$ .

$$h_n = 3 - 0,8 = 2,2 \text{ м. (7.2)}$$

#### 2. Індекс приміщення

$$i = \frac{A \cdot B}{h_n (A + B)} \text{ м, (7.3)}$$

де  $A$  - довжина приміщення;  $A = 6 \text{ м}$ ;

$B$  - ширина приміщення;  $B = 5$  м;

$h_n$ - висота підвісу світильника;  $h_n = 2,2$  м.

$$i = \frac{6 \cdot 5}{2,2(6+5)} = 1,24 \text{ м.} \quad (7.4)$$

Враховуючи встановлені коефіцієнти відбиття світлового потоку від стелі, стін та підлоги та враховуючи криву силу світла світильника Д-1 з довідкових даних знаходимо  $\eta = 58\%$ , додаток 51 [Охрана труда. Сборник задач].

### 3. Світловий потік, що випромінюється світильником

$$F_{cv} = 2F_l \text{ лм,} \quad (7.5)$$

де  $F_l$  - номінальний світловий потік лампи ЛБ-40;  $F_l = 3120$  лм.

$$F_{cv} = 2 \cdot 3120 = 6240 \text{ лм.} \quad (7.6)$$

### 4. Відстань між рядами світильників

$$L = \lambda \cdot h_n \text{ м,} \quad (7.7)$$

де  $\lambda$  – характерна відстань між світильниками (для даного світильника  $\lambda = 1,3$ ).

$$L = 1,3 \cdot 2,2 = 2,86 \text{ м.} \quad (7.8)$$

### 5. Відстань між стінами і крайніми рядами світильників

$$l = (0,3 \dots 0,5)L = (0,86 \dots 1,43) \text{ м.} \quad (7.9)$$

## 6. Числорядів світильників

$$n = \frac{B}{L}, \quad (7.10)$$

де  $B$ - ширина приміщення;  $B = 5$  м;

$L$ - відстань між рядами світильників;  $L = 2,86$  м.

$$n = \frac{5}{2,86} \approx 2 \text{ ряди} . \quad (7.11)$$

## 7. Необхідна кількість світильників в ряду

$$N = \frac{E \cdot S \cdot z \cdot k}{\eta \cdot n \cdot F_{ce}}, \quad (7.12)$$

де  $E$ - встановлена нормаосвітленості;  $E = 300$  лк;

$S$  - площа приміщення, яке освітлюється;  $S = 30$  м<sup>2</sup>;

$z$ - коефіцієнт мінімальної освітленості;  $z = \frac{E_{cp}}{N\eta} \approx 1,1 \dots 1,5$ ;

$k$ - коефіцієнт запасу, який враховує погіршення характеристик джерел при експлуатації;  $k = 1,4$ ;

$\eta$ - коефіцієнт використання світлового потоку,  $\eta = 0,58$ , додаток 51 [Охрана труда. Сборник задач].

$$N = \frac{300 \cdot 30 \cdot 1,1 \cdot 1,4}{0,58 \cdot 2 \cdot 6240} \approx 2. \quad (7.13)$$

8. При довжині одного світильника типу ЛСП16 з лампами ЛБ-40  $l_{ce} = 1,5$  м, їх загальна довжина дорівнює

$$Nl_{cb} = 2 \cdot 1,5 = 3 \text{ м.} \quad (7.14)$$

9. При довжині одного світильника  $l_{cb} = 1,5$  м, відстань між світильниками знаходиться за формулою

(7.15)

$$R = (B - N \cdot l_{cb}) / (N + 1) \text{ м,}$$

де  $B$  - ширина приміщення;  $B = 5$  м;

$N$  - кількість світильників;  $N = 2$  шт;

$l_{cb}$  - довжина одного світильника;  $l_{cb} = 1,5$  м.

$$R = (5 - 2 \cdot 1,5) / (2 + 1) = 0,6 \text{ м.} \quad (7.16)$$

Схема розташування світильників представлена на рис. 7.2.

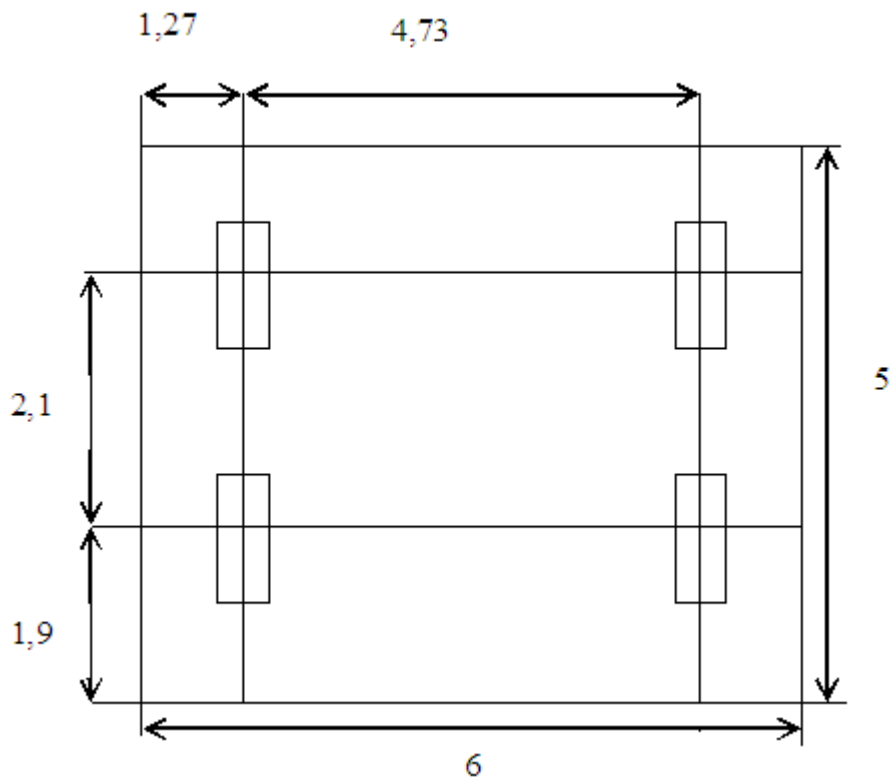


Рисунок 7.2 – Розташування світильників на стелі: масштаб 1 см : 1 м

Робочі місця з відеотерміналами відносно світових проємів повинні розташовуватися так, щоб природне світло падало зі сторони, переважно зліва. При розташуванні робочих місць з відеотерміналами та ПЕОМ необхідно дотримуватися наступних вимог:

- робочі місця розташовуються на відстані не менше 1 м від стін зі світовими проємами;
- прохід між рядами робочих місць повинен бути не менше 1 м.

Висотаробочої поверхні столу для відео терміналу повинна бути в межах 70 см, ширина – 120 см, глибина – 80 см. Всі норми наведені згідно ГОСТ 12.2.0323-78 “Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования”. Відповідно до норм, розташування робочих місць показано на рис. 7.3.

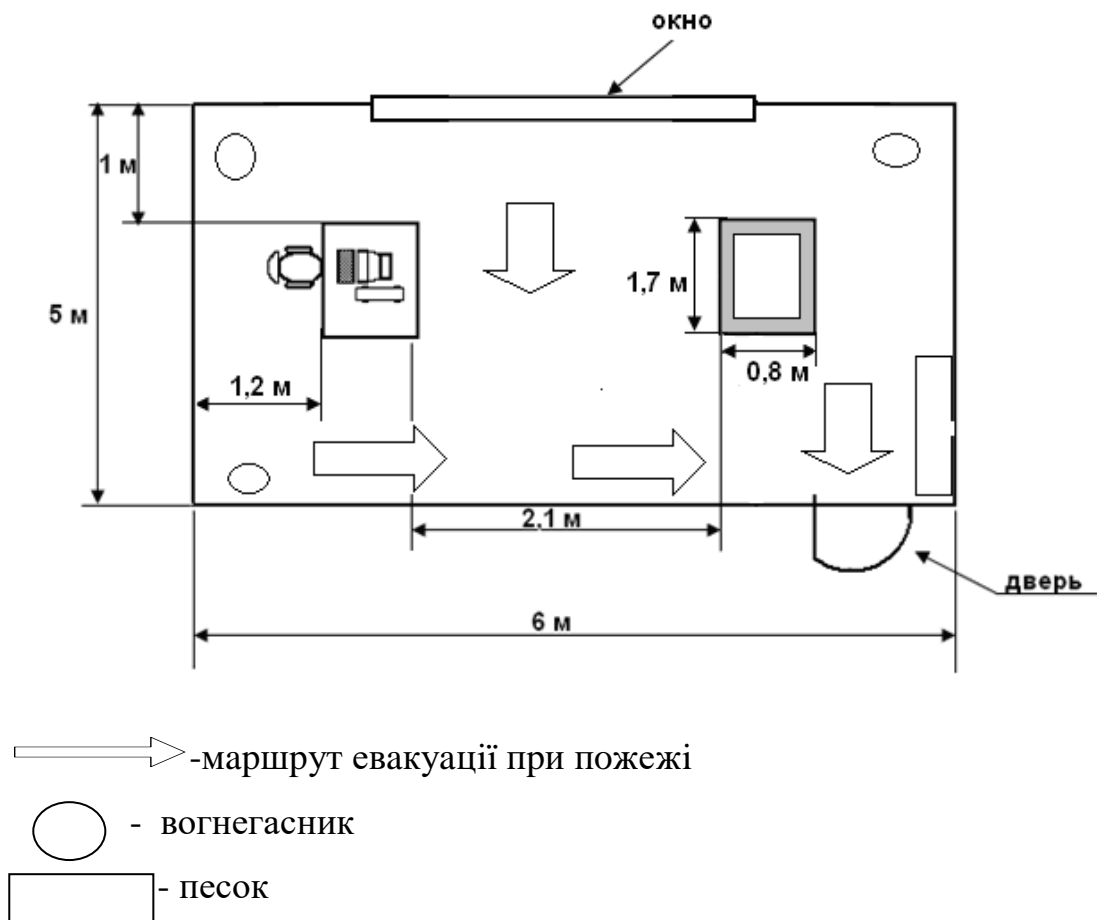


Рисунок 7.3 – Схемарозташування робочих місць та схема евакуації при пожежі

Для того, щоб огородити працюючих від психофізичних перенавантажень необхідно раціонально спланувати робочий день: при 8-му робочому дні – одна перерва впродовж 60 хвилин, та 10-хвилинні технологічні перерви через кожну годину праці, загальна тривалість технологічних перерв повинна становити 60 хвилин. Необхідна також наявність кімнати відпочинку.

#### 7.4 Пожежна профілактика приміщення науково – дослідницької лабораторії

НДЛ розташована в цегляній будівлі. При роботі застосовуються тверді матеріали в холодному вигляді, що згоряють, в приміщенні знаходяться тверді волокнисті горючі речовини. Тому за, “ДБН В.1.1.7-2002. Защита от пожара. Пожарная безопасность объектов строительства” [12], будівлямає ступінь вогнестійкості П. Виробництво в НДЛ за пожаровибухонебезпечності відноситься до категорії В та до класу П-Па, згідно за СНІП 2.09.02-85.

Причинами пожежі в НДЛ можуть бути несправність ПОЕМ і іншого електроустаткування; нагрів провідників; куріння в недозволеному місці.

Згідно вимогам ГОСТ 12.1.004-91 “ССБТ.Пожарная безопасность. Общие требования “[20] проведені наступні заходи:

Організаційні:

- призначений відповідальний по НДЛ за пожежну безпеку;
- питання по пожежній профілактиці включені у всі інструктажі по техніці безпеки;
- заборонено в НДЛ куріння;
- заборонено використання нагрівальних приладів;
- призначені заходи адміністративної відповідальності за порушення вимог пожежної безпеки.

Технічні:

- в приміщенні НДЛ розміщені 2 димових пожежних звукові оповісвача типа ИПХ2Х4Х6-Х4Х5 згідно зДБН В.2.5-13-98, “Інженерне обладнання будинків і споруд. Пожежна автоматика будинків і споруд”;

- в приміщенні НДЛ розміщені 2 вуглекислотних переносних вогнегасника типа ВВК-1,4, згідно зНАПБ Б.03.001-2004, “Типові норми належності вогнегасників”.

В приміщенні НДЛ 2 працюючих, тому евакуацію при пожежі можна проводити через робочий вихід. Додаткового евакуаційного виходу приміщення не має і його не вимагається. Схему евакуації розмістити навидному місці біля виходу з приміщення.

#### 7.5 Охорона навколишнього середовища

Розробка програмного забезпечення не має негативного впливу нанавколишнє середовище, тому питання захисту навколишнього середовища у дипломній роботі не розглядаються. Необхідність в спеціалізованих умовах утилізації люмісентних ламп пояснюється перш за все їх високою токсичністю та жорсткими вимогами з боку перевіряючих органів.

#### 7.6 Цивільна оборона

Найбільш ймовірною для існуючих умов надзвичайною ситуацією (НС) може бути пожежа, яка за характером дій відноситься до НС техногенної по масштабах дій об’єктногорівня. НС об’єктногорівня виникає на території об’єкту, чи на самому об’єкті і наслідки якої, не виходять за його межій санитарно захисні зони.

## ВИСНОВОК

В дипломній роботі проведено розгляд параметрів АМ, що нормуються у відповідних засобах вимірювання АМ коливань – модулометрах і АМ-генераторах. Проведено огляд існуючого парку робочих засобів вимірювання АМ, наведена структурна схема сучасного вимірювача АМ модуляції. Зроблено порівняльний аналіз парку закордонних та країн СНД ВМ. Визначено основні методи, які за всіма параметрами використовують для проведення повірки або калібрування ВМ. Наведена структурна схема робочого еталона, який забезпечує проведення повірки та калібрування з необхідною точністю. Проаналізовані значення несучих частот  $f$ , модулюючих частот  $F$  та значень коефіцієнтів АМ, при яких необхідно проводити повірку для всіх метрологічних характеристик ВМ. Наведена практична методика реалізації повірки, включаючи повірку внутрішніх (вбудованих) засобів вимірювання: частотоміра, вольтметра, вимірювача КГ. Наведені правила обробки результатів та оформлення результатів повірки у відповідності до чинних нормативних документів.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Закон України “Про метрологію та метрологічну діяльність”
2. Ю.Д. Болмусов, Ю.Ф. Павленко, Н.П. Соколовский “Метрологическое обеспечение измерителей модуляции”, Военное издательство, Москва, 1992
3. Аппаратура для поверки измерителей амплитудной модуляции К234// Техническое описание
4. ДСанПін 3.3.2-0.07-98 “Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислюваних машин”
5. НПАОП 40.1-1.21-98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.
6. НПАОП 0.00-4.12-05 “Типове положення про навчання, інструктаж та перевірку знань працівників з питань охорони праці”
7. ГОСТ 12.2.0323-78 “Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования”
8. ГОСТ 12.1.004-91 “ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования”
9. ДБН В.2.5-13-98, “Інженерне обладнання будинків і споруд. Пожежна автоматика будинків і споруд”
15. НАПБ Б.03.001-2004, “Типові норми належності вогнегасників”.
16. ГОСТ 12.003-74.ССБТ. “Опасные и вредные производственные факторы. Классификация”
17. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломних проєктів(робіт).
19. ДБН В.2.5-28-2006 “Природне і штучне освітлення”
20. ГОСТ 12.1.004-91 “ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования”

21. Закон України «Про вищу освіту» від 01.07.2014 № 1556-VII із змінами. / (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2014, № 37-38, ст. 2004.

22. Стандарт вищої освіти України: другий (магістерських) рівень вищої освіти, галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування», спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка», Київ, 2019. – 18 с.

23. Освітньо-професійна програма «Метрологія та вимірвальна техніка» другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 152 «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка» галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування». – Харків: ХНУРЕ, 2020. – 13 с.

24. Освітньо-професійна програма «Якість, стандартизація та сертифікація» другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 152 «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка» галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування». – Харків: ХНУРЕ, 2020. – 15 с.

25. Положення про атестаційну роботу здобувачів вищої освіти на другому (магістерському) рівні, затверджене наказом ХНУРЕ від 01.11.2019 № 419

26. ДСТУ 3008:2015 Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлювання. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 31 с.

27. ДСТУ 8302:2015 Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 20 с.

28. Методичні вказівки до організації виконання та захисту атестаційної роботи на здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» за освітньою програмою «Комп'ютеризовані системи управління та автоматика» / Упорядники: І.В. Гребеннік, Н.І. Калита, Б.О. Колесник, А.С. Нечипоренко, П.Е.Ситнікова, І.А. Урняєва. – Харків: ХНУРЕ, 2019. – 52 с.