

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА  
ШЕВЧЕНКА**

**ФАКУЛЬТЕТ  
ВІЙСЬКОВОЇ ПІДГОТОВКИ**

**КАФЕДРА  
ВІЙСЬКОВО-ТЕХНІЧНОЇ  
ПІДГОТОВКИ**

**ПРЕДМЕТ**

**“ОСНОВИ ПОБУДОВИ ВІЙСЬКОВИХ  
ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ”**

**ТЕМА № 8**

**ВИМІРЮВАННЯ АЧХ  
ЧОТИРЬОХПОЛЮСНИКІВ**

**ЗАНЯТТЯ № 1**

**ВИМІРЮВАЧІ АЧХ  
ЧОТИРЬОХПОЛЮСНИКІВ**

## **НАВЧАЛЬНА МЕТА:**

- 1. Надати студентам поняття про АЧХ чотирьохполюсників та методи їх вимірювання.**
- 2. Розглянути основні принципи побудови вимірювачів АЧХ.**
- 3. Розглянути порядок метрологічного забезпечення вимірювачів АЧХ.**

# **ВИХОВНА МЕТА:**

- 1. Виховувати у студентів дисциплінованість і культуру поведінки.**
- 2. Виховувати впевненість і винахідливість при вивченні матеріалу.**
- 3. Виховувати і розвивати творчий підхід при вивченні матеріалу на занятті і самостійній підготовці.**

# НАВЧАЛЬНІ ПИТАННЯ

1. АЧХ та методи їх вимірювання.
2. Засоби вимірювань АЧХ чотирьохполюсників.
3. Автоматизація процесів вимірювання АЧХ.
4. Метрологічне забезпечення засобів вимірювань параметрів АЧХ.

# ПИТАННЯ 1

АЧХ

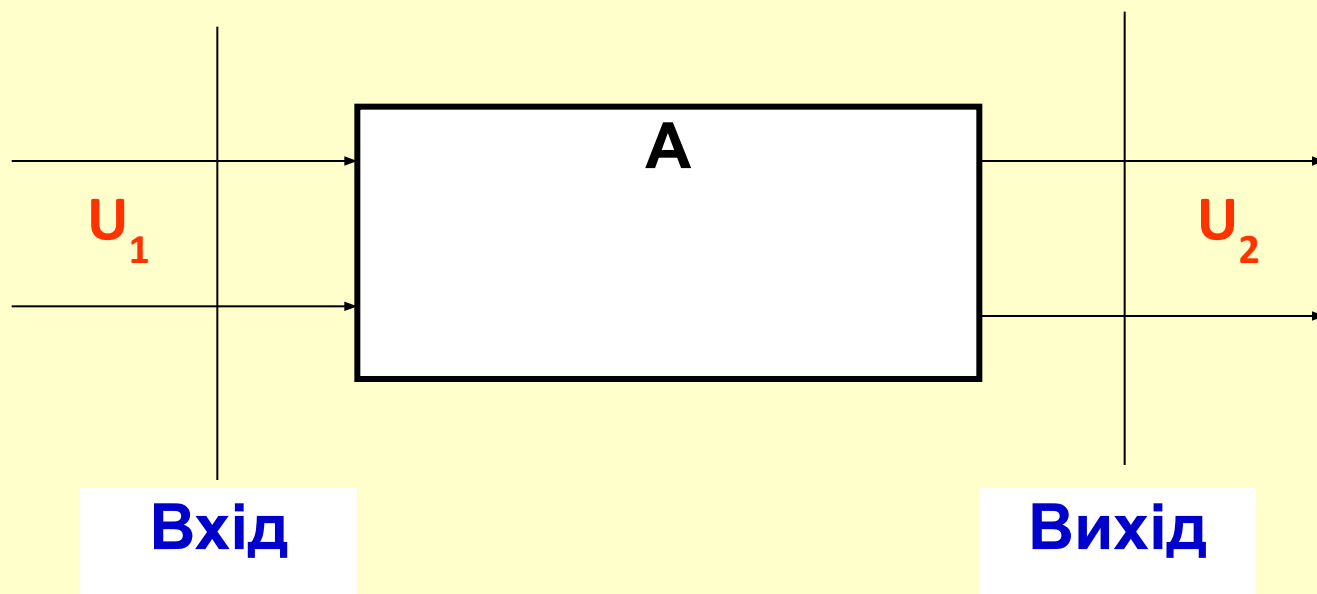
ТА МЕТОДИ ЇХ ВИМІРЮВАННЯ

Під час контролю технічного стану радіоелектронної апаратури важливе місце займає вимірювання частотних характеристик різних вузлів, в особливості амплітудно-частотних характеристик (АЧХ).

АЧХ чотирьохполюсників визначається залежністю модуля коефіцієнта передачі від частоти сигналу.

Модуль коефіцієнта передачі  $A$  визначається як відношення потужності або напруги на виході чотирьохполюсника до потужності або напруги на його вході при умові відсутності відбиття на вході (рис.1).

$$A = \left| \frac{U_2}{U_1} \right|_{U_3 = 0} \quad (1)$$



**Рис.1**



При  $U_2 < U_1$  здійснюється послаблення сигналу під час проходження його через чотирьохполюсник, який у цьому випадку пасивний, і коефіцієнт передачі є коефіцієнтом послаблення.

При  $U_2 > U_1$  здійснюється підсилення сигналу, коефіцієнт передачі є коефіцієнтом підсилення, а чотирьохполюсник активний.

Значення коефіцієнта передачі чотирьохполюсників і значення частоти сигналу, на якій проводилось його визначення створюють точку в системі відповідних координат, а сукупність таких точок створюють криву АЧХ у визначеному діапазоні частот.

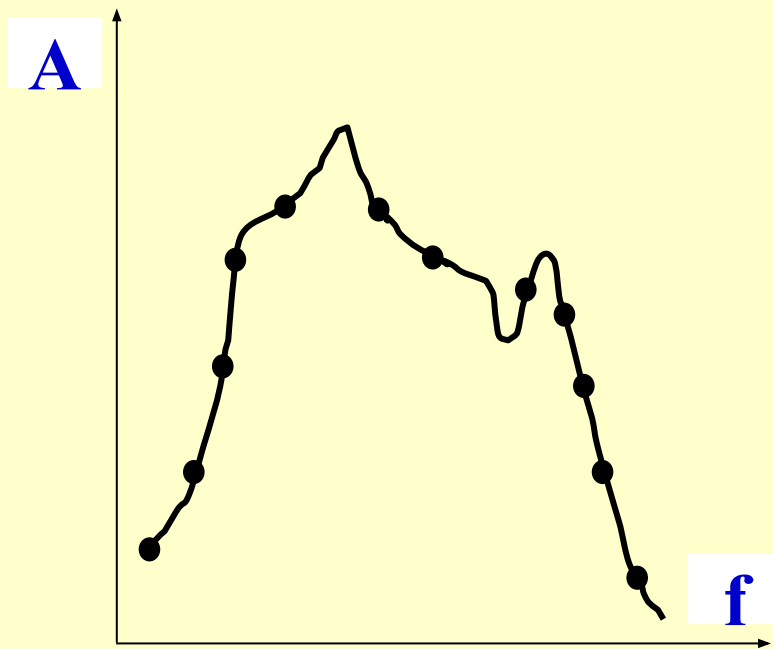
# **Вимірювання параметрів АЧХ можливе двома методами:**

- шляхом зняття залежності модуля коефіцієнта передачі від частоти по точках з наступною інтерполяцією кривої АЧХ;**
- шляхом одержання панорамного зображення АЧХ за допомогою генератора хитної частоти і індикаторного пристрою.**

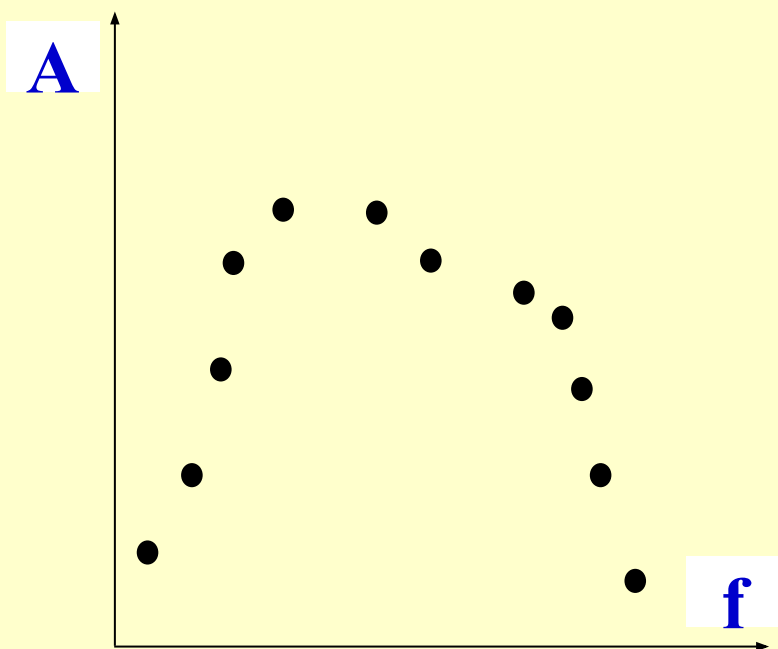
**Перший метод передбачає використання генератора синусоїдальних сигналів, вольтметра або вимірювача потужності.**

**Сигнал фіксованої частоти з генератора подається на чотирьохполюсник, який підлягає дослідженням, при цьому на вході і виході чотирьохполюсника вимірюється рівень сигналу. Модуль коефіцієнта передачі розраховується згідно (1). Цей метод має ряд недоліків:**

- зняття кривої АЧХ по точках, число яких в прямій залежності від потрібної точності вимірювання, займає тривалий час;**
- дискретність відтворення АЧХ породжує можливість різких змін кривої в проміжках між точками (рис.2);**
- зміна температури оточуючого середовища і напруг живлення, які спотворюють істинну криву.**



**а)**



**б)**

**Рис. 2. Істинна крива АЧХ (а),  
крива АЧХ, яка знята по точках (б)**

**Від цих недоліків вільний другий метод вимірювання АЧХ, але йому характерний свій недолік – зниження точності вимірювання, яке обумовлене коротким часом вимірювання в кожній точці кривої АЧХ.**

**При використуванні другого методу для вимірювання параметрів АЧХ необхідний генератор, частота якого плавно змінюється по визначеному закону в потрібній смузі частот, і індикатора, який відтворює криву АЧХ. В якості такого індикатора можна використовувати або осцилографічну установку, або двокоординатний самописець.**

**Структурна схема найпростішого автоматичного вимірювача АЧХ наведена на рис.3.**



**Рис. 3. Структурна схема найпростішого автоматичного вимірювача АЧХ**

**Сигнал з ГХЧ подається на вхід чотирьохполюсника, який підлягає дослідженням.**

**Через наявності у чотирьохполюсника залежності модуля коефіцієнта передачі від частоти сигналу на його виході сигнал буде модульований за амплітудою. Обвідна цього сигналу, яка виділяється на детекторній головці, що входить в склад індикаторного пристрою, керує відхиленням променя по вертикалі, зображаючи криву АЧХ.**

**Керування частотою ГХЧ і відхиленням променя індикатора по горизонталі здійснює блок модулюючої напруги, одночасно синхронізуючи роботу цих двох вузлів.**

**Положення променя по горизонталі на екрані індикатора відповідає частоті на вході чотирьохполюсника, а по вертикалі – значенню модуля коефіцієнта передачі на цій частоті.**

**Форма модулюючої напруги може бути довільною: пилкоподібною, трикутною, синусоїдальною.**

**Принципово важливо, щоб закон зміни частоти співпадав з законом відхилення променя індикатора по горизонталі, так як тільки у цьому випадку створюється лінійний частотний масштаб.**

**В якості модулюючої напруги в вимірювачах АЧХ найбільшого застосування знаходить сигнал з лінійно змінюваною формою, так як у цьому випадку забезпечується однакова яскравість усіх ділянок кривої АЧХ.**

**Для відліку значення частоти формуються система частотних міток, які можна одержати в результаті детектування сигналу, який пройшов через резонансний частотомір, або змішуванням сигналу ГХЧ з сигналом, який задається вмонтованим кварцовим генератором.**



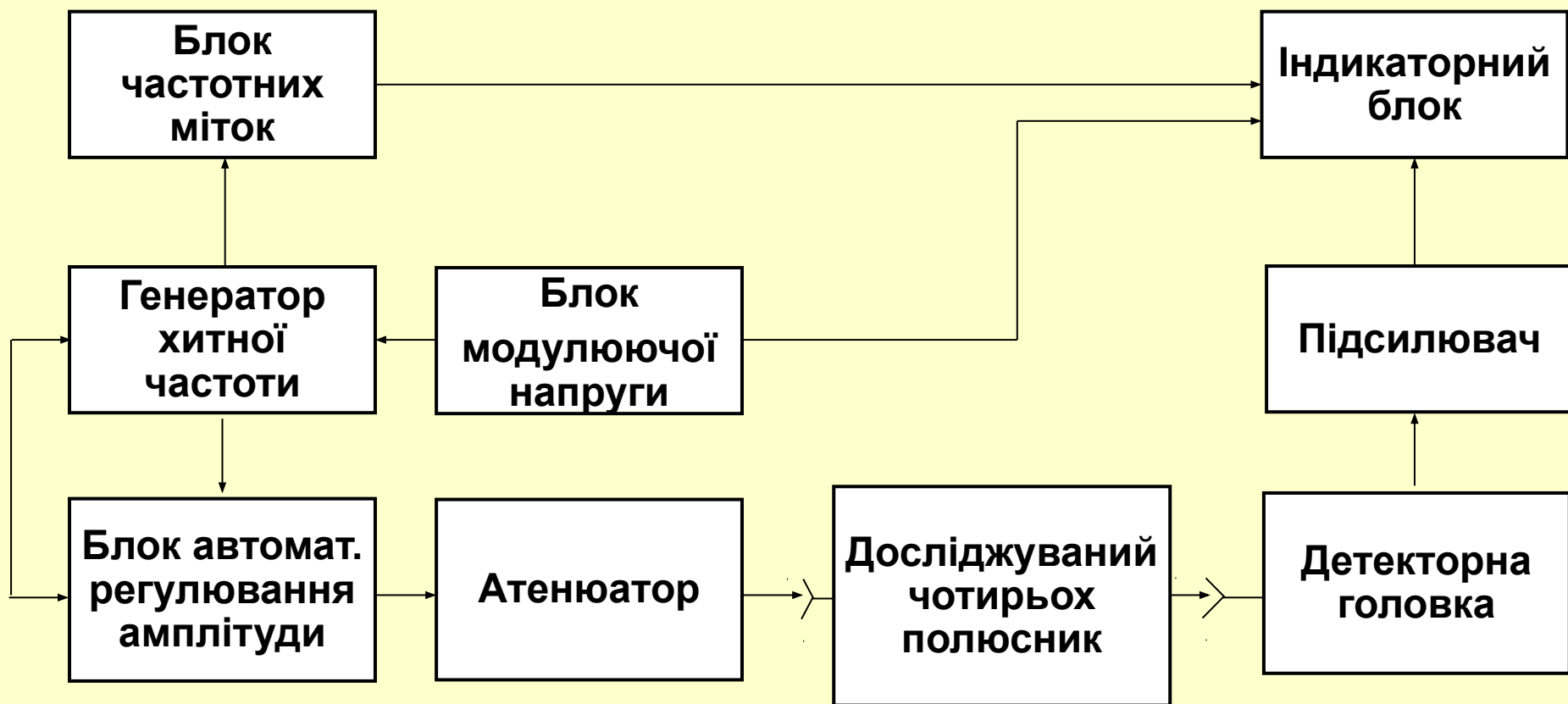
## **Вимірювання модуля коефіцієнта передачі засноване на методі заміщення**

**Перед початком вимірювання прилад калібрується шляхом подачі сигналу з ГХЧ безпосередньо на індикаторний блок. При цьому присутній на виході ГХЧ атенюатор встановлюється в положення максимального послаблення, яке умовно приймається за нуль.**

**Потім підключається досліджуваній чотирьохполюсник. Відновлюючи покази індикатора, які відповідають положенню при калібруванні, по зміні послаблення атенюатора ГХЧ визначають послаблення або підсилення досліджуваного чотирьохполюсника. Крім цього, вимірювання АЧХ чотирьохполюсника можливе без його попереднього відключення по раніше прокаліброваній шкалі осцилографічного індикатора.**

**Для реалізації усіх вимог до вимірювачів АЧХ, їх структурна схема має ряд додаткових вузлів, які підвищують якість вимірювання і які розширюють функціональні можливості приладу.**

**Структурна схема такого вимірювача АЧХ наведена на рис. 4.**



**Рис. 4. Структурна схема вимірювача АЧХ**

**Основним вузлом вимірювача АЧХ залишається ГХЧ. В залежності від вимог, які висуваються до нього, можливе використання двох принципів його побудови. Для одержання великої вихідної потужності при малих нелінійних спотвореннях коливання генеруються безпосередньо автогенератором хитної частоти. Для перекриття широкого діапазону частот без розбиття його на діапазони використовується принцип змішування сигналів фіксованої і перестроюваної частот.**

**Для забезпечення постійності рівня вихідного сигналу у всьому діапазоні частот хитання частоти служить блок автоматичного регулювання амплітуди. Частина сигналу з ГХЧ подається на блок частотних міток, в якому виробляється цілий спектр каліброваних частотних поміток в межах робочого діапазону ГХЧ. В момент співпадання частоти ГХЧ з довільною із цих частот створюються сигнали, які подаються на індикаторний блок і спостерігаються на екрані у вигляді амплітудних поміток.**

**Для каліброваної зміни вихідної напруги ГХЧ служить атенюатор.**

**В приладі використовується декілька видів детекторних головок:**

- для вимірювання сигналів з мінімальним впливом на досліджуваний чотирьохполюсник використовуються високоомні головки;**
- при вимірюваннях на виході узгоджених трактів використовуються узгоджені детекторні головки, як і крім детектора мають ще і навантажувальний опір;**
- прохідні детекторні головки служать для вимірювання сигналу на виході вимірювача АЧХ або в узгоджених трактах без порушення їх однорідності.**

**Індикаторний блок призначений для відтворення АЧХ досліджуваного чотирьохполюсника.**

**В якості індикатора в основному використовують ЕПТ. В залежності від швидкості хитання частоти ГХЧ використовують ЕПТ з нормальним або тривалим післясвітінням.**

**На підвищення точності вимірювання параметрів АЧХ і роздільної здатності приладу великий вплив має розмір робочої частини екрану ЕПТ.**

**Для забезпечення можливості спостереження на екрані ЕПТ двох і більше кривих АЧХ використовують багатоканальні індикаторні блоки.**

## **ПИТАННЯ 2**

# **ЗАСОБИ ВИМІРЮВАНЬ АЧХ ЧОТИРЬОХПОЛЮСНИКІВ**



**Для вимірювання параметрів АЧХ служать вимірювачі АЧХ (підгрупа Х1 згідно з класифікацією засобів вимірювань), які призначені для спостереження і вимірювання залежності модуля коефіцієнта передачі активних і пасивних чотирьохполюсників від частоти.**

**В залежності від ширини смуги хитання прилади розділяються на наступні типи:**

- вузькосмугові (долі і одиниці відсотків центральної частоти);**
- середньосмугові;**
- широкосмугові;**
- комбіновані.**

**По допустимим значенням основних частотних параметрів ( $F$ -параметрів) і амплітудних параметрів ( $A$ -параметрів) вимірювачі АЧХ розділяються по класам точності.**

**При цьому визначаючими параметрами є похибки вимірювання частоти і коефіцієнта передачі.**

**По динамічному діапазону відтворення АЧХ прилади поділяються на вимірювачі АЧХ з лінійними і логарифмічними масштабами по амплітуді. Лінійний масштаб забезпечує динамічний діапазон амплітуди до 20дБ. Ці обмеження обумовлені такими причинами, як нелінійність амплітудної характеристики детекторної головки, значною товщиною лінії променя, обмежені розміри екрану приладу.**

**Використання логарифмічного масштабу дозволяє проводити вимірювання АЧХ з перепадом рівнів в 60-80 дБ.**

**Вимірювачі АЧХ мають дві групи параметрів: частотні і амплітудні.**

**До основних частотних параметрів відносять:**

- діапазон частот – діапазон, в межах якого можливі вимірювання даним приладом;**
- максимальна і мінімальна смуги хитання частоти – ділянка діапазону частот, яка одночасно спостерігається на екрані приладу, в якій забезпечуються нормовані характеристики;**
- тривалість періодів автоматичного хитання частоти – час відображення на екрані приладу кривої АЧХ;**
- похибка вимірювання частоти на екрані приладу за допомогою власних частотних поміток;**
- нелінійність частотного масштабу %, яка характеризує спотворення відтворення АЧХ по горизонталі і визначається формулою (2).**

$$k_M = \frac{\pm \Delta f_{\max} \cdot 100}{\Delta f}$$

де  $\Delta f_{\max}$  - максимальне відхилення частоти від лінійного закону її зміни;

$\Delta f$  – встановлена смуга хитання.

## До основних амплітудних параметрів відносять:

- амплітуда вихідної напруги ГХЧ при роботі його на узгоджене навантаження;
- нерівномірність рівня вихідної напруги ГХЧ при роботі його на узгоджене навантаження;
- чутливість по каналу вертикального відхилення;
- вихідний опір ГХЧ, який завдає впливу на АЧХ досліджуваного чотирьохполюсника;
- динамічний діапазон відтворення АЧХ чотирьохполюсників в лінійному і логарифмічному масштабі;
- нерівномірність власної АЧХ в максимальній смузі хитання, величина, яка виражається в децибелах і визначається за допомогою формули (3).

$$G = \pm 10 \lg \frac{U_{\max}}{U_{\min}} \quad (3)$$

де  $U_{\max}$  і  $U_{\min}$  – відповідно максимальна і мінімальна амплітуди вихідної напруги власного ГХЧ в максимальній смузі хитання, яка виміряна на власному індикаторі вимірювача АЧХ.

**Найбільш широкого застосування знайшли універсальні вимірювачі АЧХ, які дозволяють вирішувати широке коло вимірювальних задач. Низькочастотні прилади Х1-46, Х1-48, Х1-49 і високочастотні Х1-42 і Х1-43. До складу приладів Х1-43 і Х1-49 на відміну від базових моделей Х1-42 і Х1-48 входять лінійно-логарифмічний перетворювач (Х1-43) і селективний перетворювач (Х1-49), які розширяють динамічний діапазон відтворення АЧХ до 40 і 70 дБ відповідно.**

**Дані прилади призначені для досліджень в лабораторних умовах. Для роботи в жорстких умовах експлуатації при температурі оточуючого середовища до  $-30^{\circ}\text{C}$  призначені прилади Х1-40 і Х1-47. Вимірювач АЧХ Х1-50 застосовується для налаштування і випробовування телевізійної техніки.**

**Вимірювач АЧХ Х1-53 це – представник нового покоління вимірювачів АЧХ.**

**Вмонтована мікропроцесорна система забезпечує покращення технічних характеристик, розширює функціональні можливості приладу і скорочує тривалість вимірювання за рахунок автоматизації вимірювальних процесів.**



## Основні технічні і експлуатаційні характеристики вимірювачів АЧХ

Тип	Діапазон частот, Гц	Смуга хитання, Гц	Похибка вимірювання частоти Гц	Динамічний діапазон відтворення АЧХ, дБ	Похибка вимірювання модуля коефіцієнта передачі, дБ	Габаритні розміри, мм, маса, кг
X1-4 2	$5 \cdot 10^5 - 1,25 \cdot 10^9$	$6 \cdot 10^6 - 1,25 \cdot 10^9$	$\pm(3 \cdot 10^{-4}f + 0,05\Delta f)$	14	$\pm(0,4 + 0,1A)$	490x255x x475; 35
X1-4 7	$10^6 - 2,5 \cdot 10^8$	$2 \cdot 10^5 - 2,49 \cdot 10^8$	$\pm(10^{-3}f + 0,2\Delta f)$	14	$\pm(0,4 + 0,1A)$	490x175x x486; 22
X1-5 0	$3,6 \cdot 10^5 - 1,002 \cdot 10^9$	$5 \cdot 10^5 - 1,00 \cdot 2 \cdot 10^9$	$\pm(3 \cdot 10^{-4}f + 0,1\Delta f)$	-	-	308x133x x304; 8,5
X1-5 3	$2 \cdot 10 - 2 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10 - 1,99 \cdot 8 \cdot 10^5$	$\pm(10^{-4}f + 0,02\Delta f)$	24- лінійний масштаб 72 – логарифмі чний масштаб	$\pm(0,25 + 0,09A)$ – лінійний масштаб $\pm 1,5$ – логарифмічн ий масштаб	488x253x x537; 44

## **ПИТАННЯ 3**

# **АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ВИМІРЮВАННЯ АЧХ**

**Найбільш перспективним шляхом підвищення рівня автоматизації вимірювачів АЧХ є використання у складі приладів вмонтованих засобів обчислювальної техніки, яка здатна виконувати наступні функції:**

- замінити жорстку логіку на програмну, в результаті чого прилад володіє меншими малогабаритними характеристиками і більш високою надійністю;**
- забезпечувати діалог оператора з приладом;**
- підвищувати точність вимірювання і інше.**

**Структурна схема вимірювача АЧХ з мікропроцесором наведена на рис. 5.**

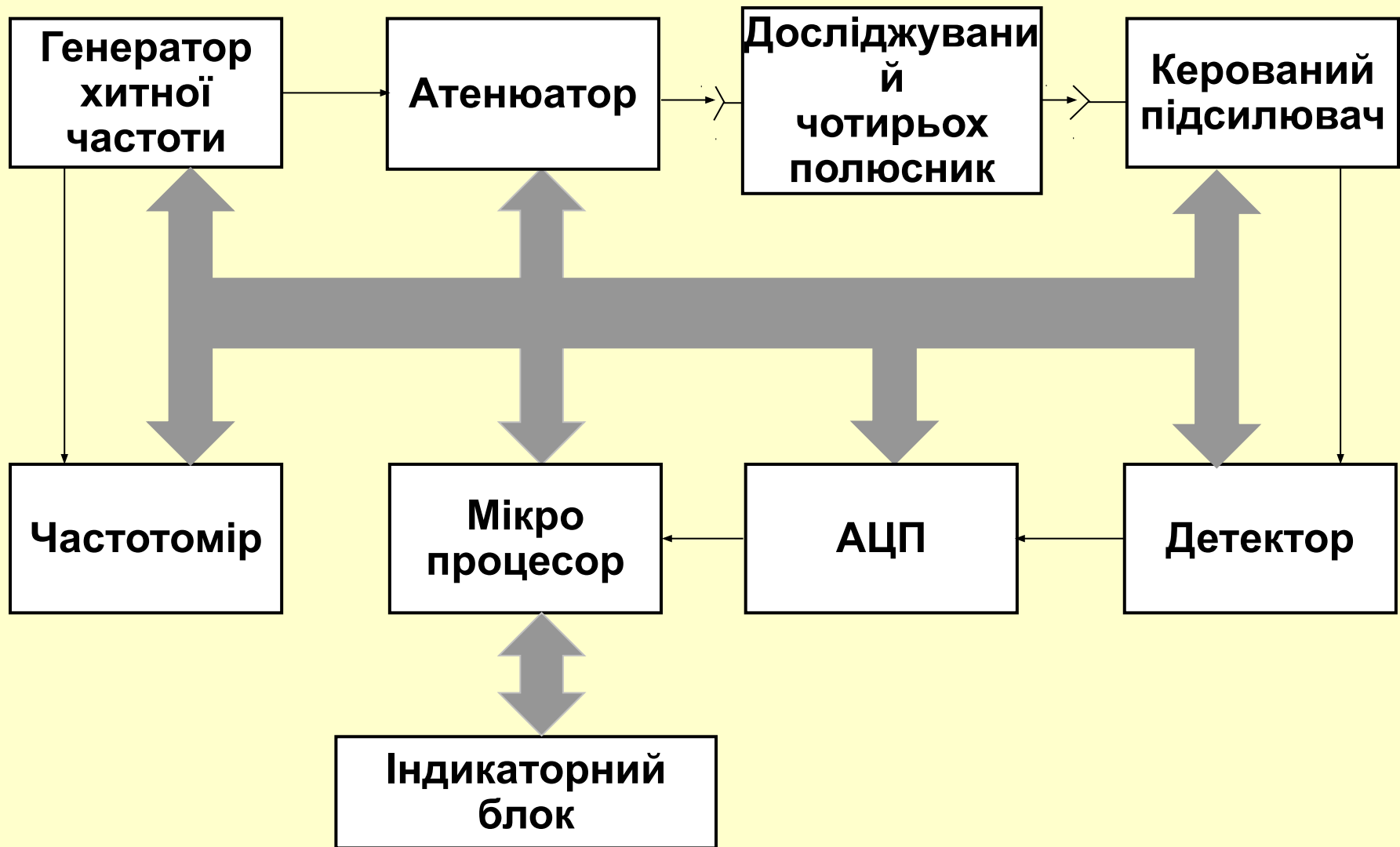


Рис.5. Структурна схема вимірювача АЧХ з мікропроцесором

**Мікропроцесорна система виконує функції керування приладом і обробки вимірювальної інформації.**

**Вона вирішує наступні задачі:**

- встановлення діапазонів частот і перестроювання частоти в смузі хитання;**
- запуск частотоміра;**
- встановлення коефіцієнта передачі керованого підсилювача;**
- встановлення діапазону детектора;**
- індикація результатів вимірювання і функціонування приладу.**

**Функціонування приладу здійснюється згідно з наступними алгоритмами:**

- набору частот хитання ГХЧ;
- розподіл кодів перестроювання і перестроювання ГХЧ;
- збір та обробка даних;
- керування керованим підсилювачем;  
індикації;
- керування режимами роботи приладу.

**Керування функціонуванням приладу здійснюється за допомогою клавіатури на передній панелі приладу.**

# **ПИТАННЯ 4**

## **МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ ПАРАМЕТРІВ АЧХ**

**Повірка вимірювачів АЧХ передбачає визначення похибок вимірювання і перевірку параметрів приладу, які впливають на точність вимірювання.**

**До операцій повірки відноситься визначення:**

- діапазону робочих частот;**
- смуги хитання;**
- похибки вимірювання частоти;**
- максимального рівня вихідної напруги ГХЧ, границь його регулювання і похибки послаблення;**
- похибки вимірювання модуля коефіцієнта передачі;**
- нерівномірності рівня вихідної напруги;**
- нерівномірності власної АЧХ.**



**В якості засобів повірки для визначення частотних параметрів використовуються електронно-лічильні частотоміри, для визначення амплітудних параметрів – вольтметри і зразкові атенюатори.**

**Діапазон робочих частот перевіряється за допомогою частотоміра шляхом вимірювання граничних частот діапазону.**

**Цей метод також використовується для визначення смуги хитання, яка визначається як різниця частот на початку і в кінці смуги хитання.**

**При наявності в приладі власних частотних міток, визначення смуги хитання визначається за допомогою останніх.**

**Вихідна напруга ГХЧ на узгодженому навантаженні перевіряється методом заміщення.**

**До виходу ГХЧ підключається узгоджена детекторна головка, і регулюванням чутливості на екрані встановлюється потрібний розмір зображення. Потім детекторна головка підключається до генератора сигналів і регулюванням його вихідної напруги встановлюється зображення того ж розміру.**

**Похибка вимірювання модуля коефіцієнта передачі перевіряється спостереженням АЧХ зразкового атенюатора на екрані повіряємого вимірювача АЧХ.**

**Нерівномірність власної АЧХ в максимальній смузі хитання перевіряється шляхом вимірювання на екрані власного індикатора АЧХ вихідної напруги власного ГХЧ.**