



**Військовий інститут Київського національного університету  
імені Тараса Шевченка**

**Кафедра військово-технічної підготовки**

**“ОСНОВИ ПОБУДОВИ ВІЙСЬКОВИХ ЗАСОБІВ  
ВИМІРЮВАНЬ ”**

**Тема № 4    ГЕНЕРАТОРИ СИГНАЛІВ**

**для проведення занять з студентами  
з спеціальності “ Основи метрологічного забезпечення  
військ (сил)”**

**Заняття № 1    ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ГЕНЕРАТОРИ  
СИГНАЛІВ**

## НАВЧАЛЬНА МЕТА:

1. Вивчити загальні відомості про генератори сигналів.
2. Розглянути структурну схему генератора сигналів.
3. Надати метрологічні характеристики генераторів.

**1.** Загальні відомості про вимірювальні генератори.

**2.** Структурна схема генератора сигналів.

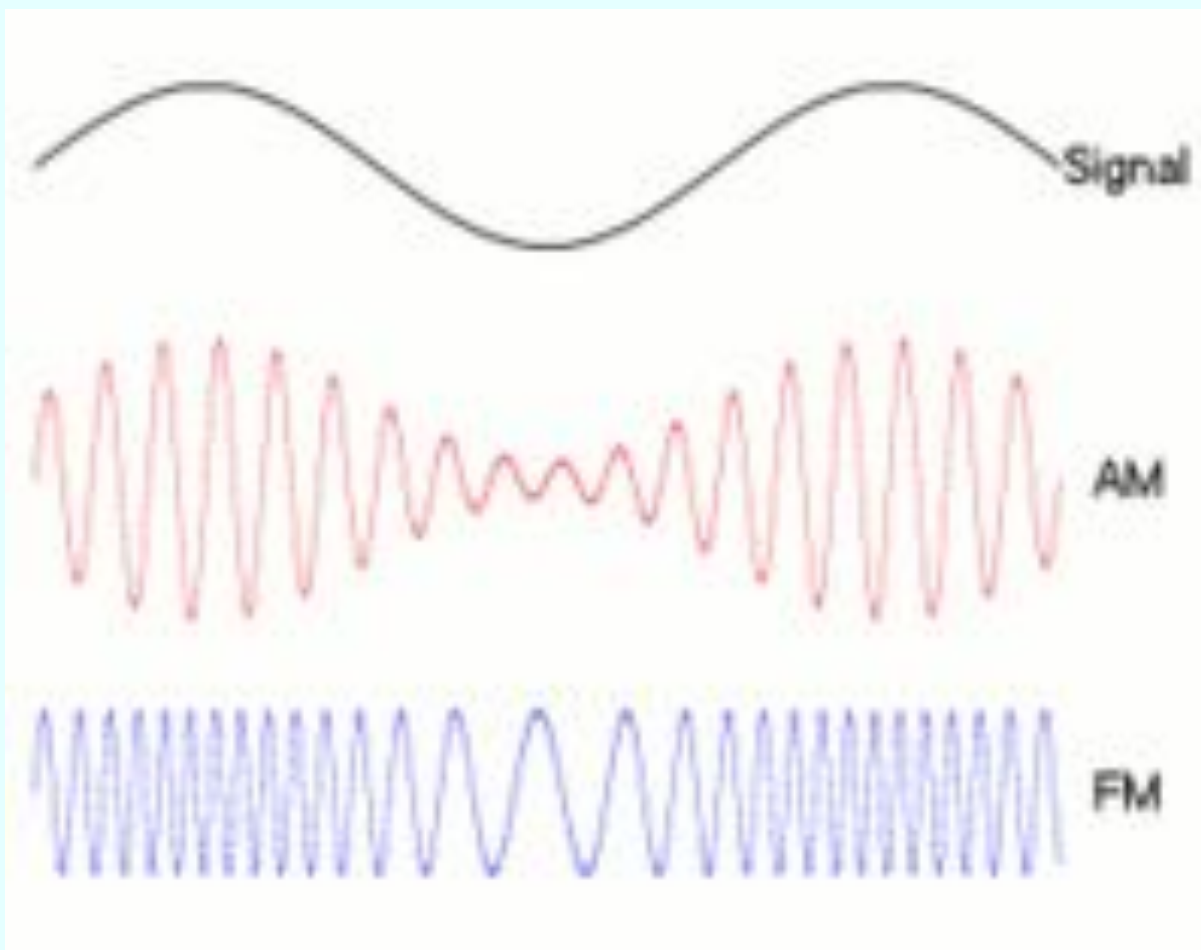
**3.** Метрологічні характеристики генераторів сигналів.

# *Питання для повторення попереднього матеріалу*

**1. Що називають модуляцією сигналу?  
Для чого використовують модуляцію  
сигналів?**

**Змінювання в часі за заданим законом параметрів (характеристик) якогось з регуляторних фізичних процесів.**

**Практичне значення має модуляція коливань — накладання низькочастотного інформаційного сигналу на високочастотний сигнал-носій для передачі на великі відстані.**



**Для передачі сигналів на великі відстані необхідно, щоб вони володіли великою енергією.**

**Енергія сигналу пропорційна четвертому ступеню його частоти, тобто сигнали з більшою частотою володіють більшою енергією.**

**На практиці часто сигнали, що несуть у собі інформацію, наприклад, мовні сигнали, мають низьку частоту коливань і тому, щоб передати їх на велику відстань необхідно частоту інформаційних сигналів підвищувати. Домагаються цього шляхом «накладання» інформаційного сигналу на інший сигнал, який має високу частоту коливань.**

# *Питання для повторення попереднього матеріалу*

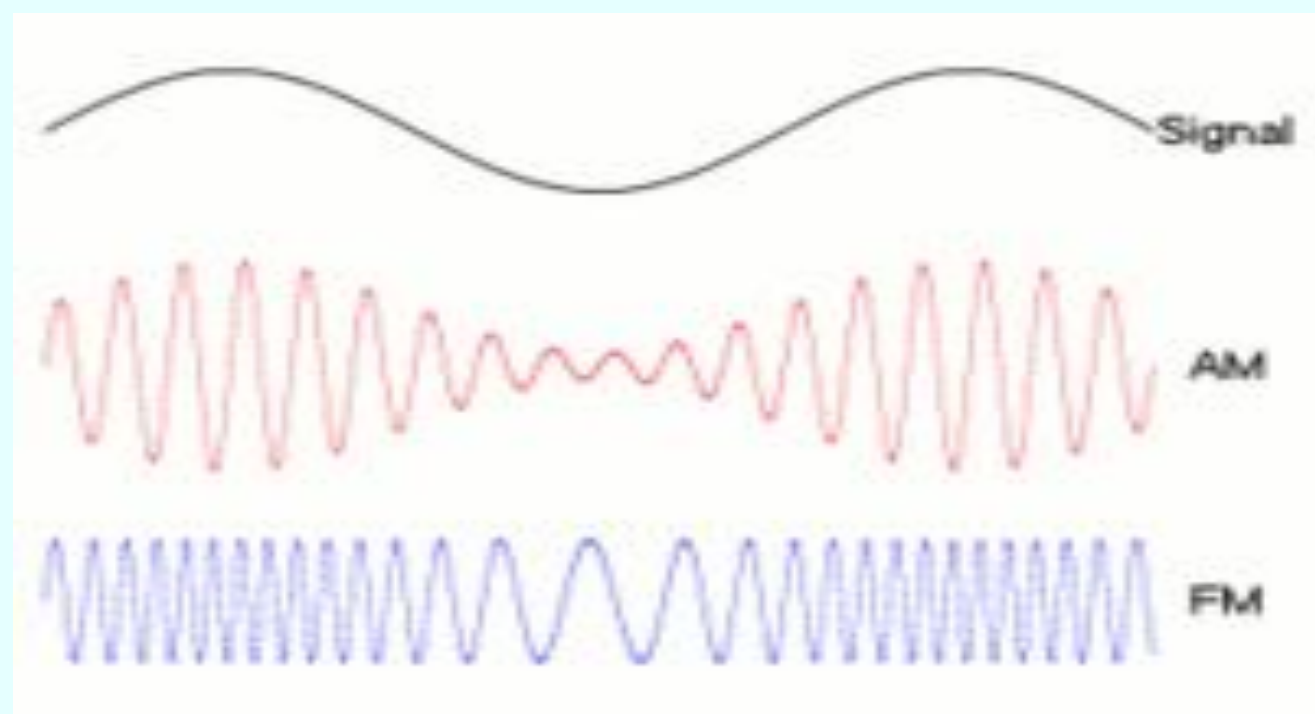
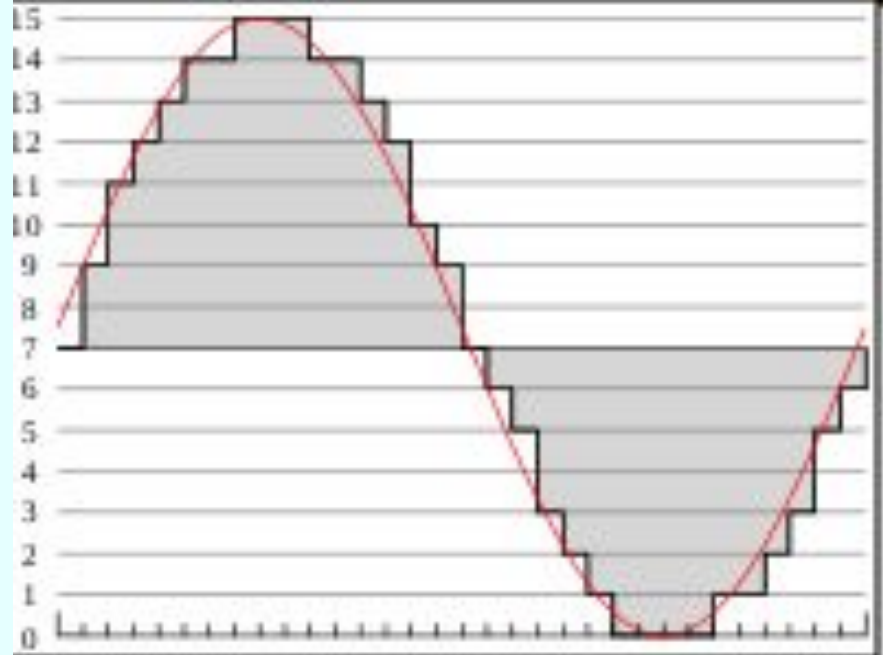
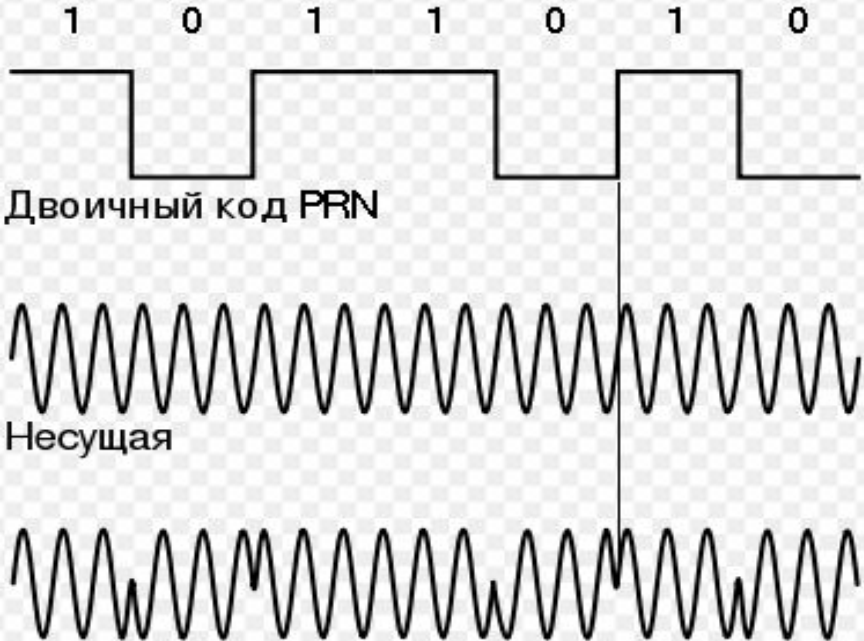
**2. Які види модуляції сигналів  
Ви знаєте?**

Розрізняють аналогову, цифрову та імпульсну модуляцію.

Аналогова модуляція: амплітудна модуляція, кутова модуляція, сигнально-кодова модуляція, сигма-дельта модуляція.

Цифрова модуляція (маніпуляція): амплітудна маніпуляція, фазова маніпуляція, частотна маніпуляція, квадратурна амплітудна маніпуляція тощо.

Імпульсна модуляція: широтно-імпульсна модуляція (ШІМ), імпульсно-кодова модуляція (ІКМ), частотно-імпульсна модуляція (ЧІМ), фазово-імпульсна модуляція (ФІМ).





# Питання 1.

## Загальні відомості про вимірювальні генератори



**Для контролю функціонування радіоелектронних засобів, перевірки їх працездатності і визначення характеристик, а також для калібрування ряду засобів вимірювань необхідні сигнали синусоїдальної, прямокутної та іншої форми з заданими параметрами.**

**Джерелами таких сигналів є вимірювальні генератори сигналів.**

**Розрізняють вимірювальні НЧ і ВЧ генератори, генератори імпульсів, комбіновані прилади, а також генератори спеціальної форми.**

# *Класифікація вимірювальних генераторів сигналів*

**Г2** - генератори шумових сигналів, які є джерелами електричних шумових сигналів з заданим значенням спектральної щільності потужності, або потужності шуму у відповідній смузі.

**Г3** - генератори сигналів низькочастотні, до яких відносяться джерела квазігармонічних немодульованих, або модульованих сигналів інфразвукових, звукових і ультразвукових частот /до **200** кГц/.

**Г4** - генератори сигналів високочастотні (джерела квазігармонічних немодульованих або модульованих сигналів високих і надвисоких частот).

**Г5** - генератори імпульсів, тобто джерела одиночних або періодичних відеоімпульсних сигналів, форма яких близька до прямокутної.

**Г6** - генератори сигналів спеціальної форми, тобто джерела відеоімпульсних сигналів, форми яких відрізняються від прямокутної.

**Г7** — синтезатори частоти, використовують різні методи синтезу частоти із опорного сигналу, можуть мати у своєму складі модулятори

**Г8** - генератори хитної частоти /свіп-генератори/, які є джерелами квазігармонічних сигналів, частота яких автоматично змінюється в границях встановленої смуги частот.

**ОГ** — генератори оптичного діапазону  
приклад: **ОГ-2-1, ОГ4-163, ОГ5-87**

Джерела квазігармонічних сигналів /видів Г3 і Г4/ за діапазоном частот *поділяються (рис.1) на генератори:*

- низькочастотні /від **20** Гц до **300** кГц/;
- високочастотні /від **300** кГц до **300** МГц/;
- надвисокочастотні з коаксіальним виходом /від **300** МГц до **18** ГГц/;
- надвисокочастотні з хвилевідним виходом /більше **6** ГГц/.

Низькочастотні генератори, є джерелами електричних синусоїдальних сигналів на частотах від **20** Гц до **200...300** кГц /орієнтовно/; виробляють сигнали, калібровані за частотою, амплітудою і формою.

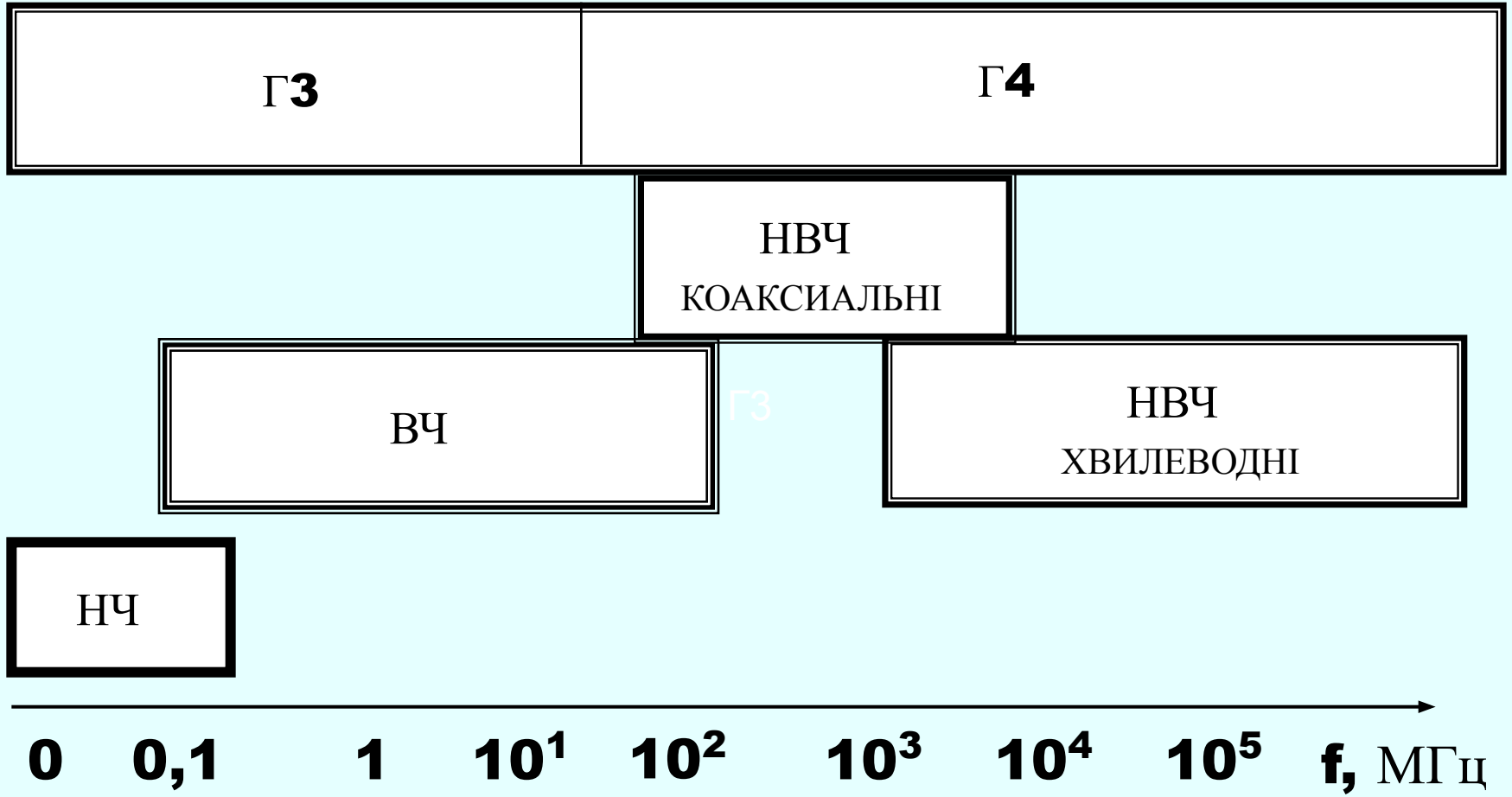


Рис. 1

Згідно з стандартом ГОСТ **10501-74** НЧ генератори розділяють на класи точності по частотним параметрам ***/F - параметрам/*** і параметрам вихідної напруги ***/U - параметрам/***.

За індекс класу приймається значення основної похибки встановлення частоти опорного рівня вихідної напруги в процентах.

Наприклад: позначення класу точності  **$F_2U_4$**  показує, що генератор має основну похибку по частоті  **$\pm 2\%$**  і основну похибку встановлення опорного рівня вихідної напруги  **$\pm 4\%$** .



Згідно ГОСТ **10501-74** встановлено шість класів з точності відліку частоти і п'ять класів з точності відліку вихідного сигналу:

$$\begin{array}{cccccc} F_{0,1} & F_{0,5} & F_1 & F_{1,5} & F_2 & F_3 \\ U_1 & U_2 & U_{2,5} & U_4 & U_6 & \end{array}$$

ГОСТ **10501-74** допускає клас генераторів без нормування основної похибки встановлення опорного рівня вихідної напруги /клас **U** /.

Це відноситься до простих, портативних генераторів, які не мають вмонтованого вольтметра або інших органів відліку рівня вихідного сигналу.

## Питання 2.

# СТРУКТУРНА СХЕМА ГЕНЕРАТОРА СИГНАЛІВ

Узагальнена структурна схема вимірювального високочастотного /ВЧ/ генератора наведена на рис. 2

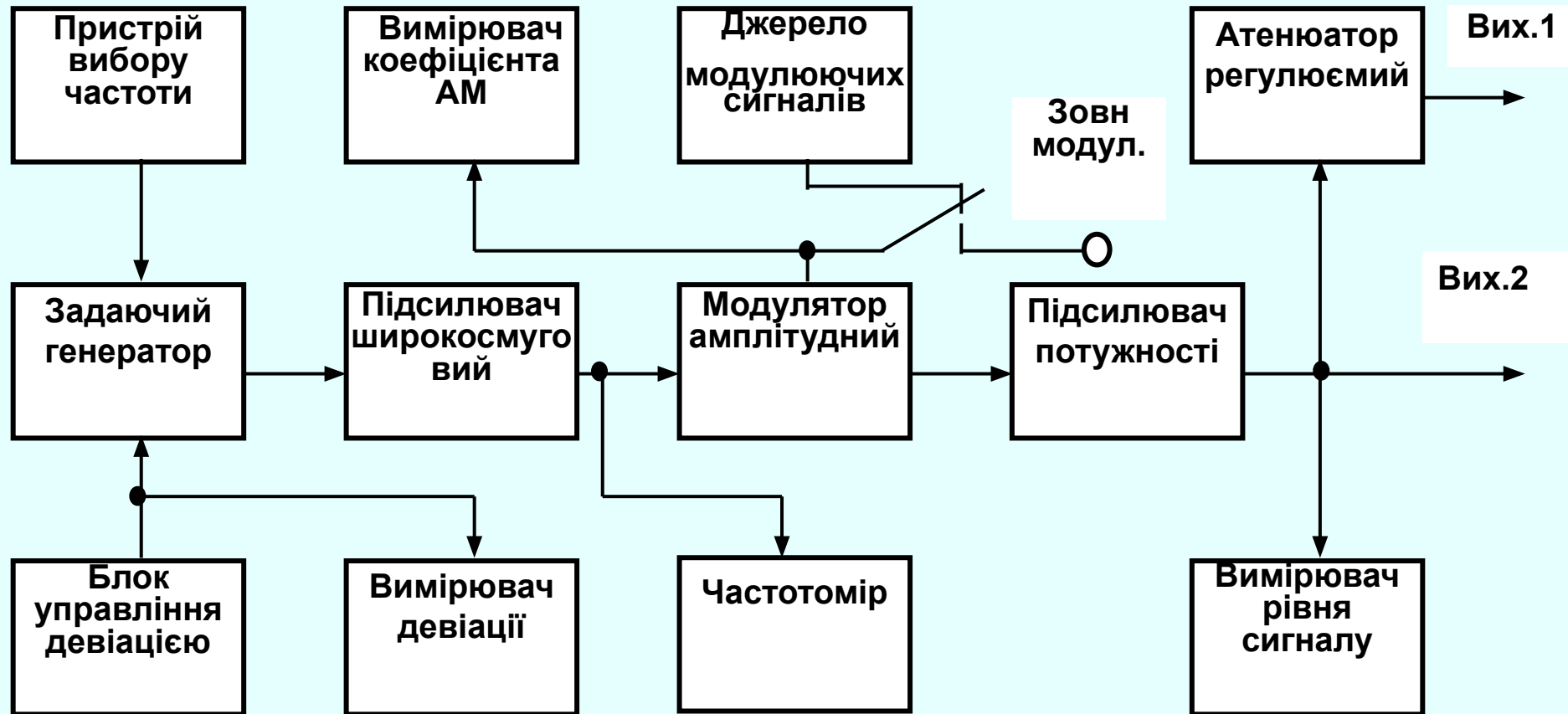


Рис. 2. Структурна схема вимірювального ВЧ генератора

**Задаючий ВЧ- генератор призначений для генерування коливань в широкому діапазоні частот.**

**Він повинен забезпечувати задану стабільність генерації, а його сигнал повинен мати коефіцієнт гармонік не вище допустимого значення.**

**Вимірювальні генератори сигналів крім неперервних гармонічних коливань забезпечують формування модульованих сигналів.**

**МОДУЛЯЦІЄЮ** називається фізичний процес одержання сигналу, математичне описання якого може бути одержане заміною параметра в математичному описанні модулюємого сигналу на функцію від модулюючого сигналу.

При цьому закон модуляції характеризується такими ж параметрами, як і модулюючий сигнал.

Нехай  $X_1(\mathbf{t}, \mathbf{a}_1, \dots, \mathbf{a}_k, \dots, \mathbf{a}_n)$  - модулюємий сигнал, а  $X_2(\mathbf{t})$  модулюючий сигнал.

Тоді при модуляції за параметром  $\mathbf{a}_k$  модульований сигнал має вигляд :

$X_1(\mathbf{t}, \mathbf{a}_1, \dots, \phi[X_2(\mathbf{t})], \dots, \mathbf{a}_n)$ , де  $\phi[X_2(\mathbf{t})]$  - закон модуляції.

Частотна модуляція може здійснюватись безпосередньо в задаючому генераторі або за допомогою спеціального модулятора. Режим ЧМ може забезпечуватись, наприклад, варікапом, увімкненим в контур генератора.

Принцип дії частотного модулятора заснований на зміні ємності **n-p** переходу в залежності від прикладеної до нього напруги. Зміна підсумкової ємності **C**- контуру генератора на величину  $\Delta C$  призводить до відносної зміни резонансної частоти контуру:

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta C}{2C} \quad (3)$$

**f** - несуча частота коливань контуру.

В амплітудному модуляторі здійснюється амплітудна модуляція ВЧ сигналу.

***АМПЛІТУДНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ ІАМІ*** називається процес за допомогою якого амплітуда несучої частоти змінюється згідно з певним законом.

Ступінь модуляції характеризується коефіцієнтом модуляції  $M$ , який дорівнює відношенню максимального прирощення амплітуди несучого коливання /пропорційного амплітуді модулюючої напруги  $\Delta U$  до її середнього значення  $U_0$ :

$$M = \frac{\Delta U}{U_0}, \quad U_0 = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt \quad (4)$$

Коли форма модульованого коливання несиметрична, вводиться поняття коефіцієнта модуляції "вверх"  $M_{BV}$  і коефіцієнт модуляції "вниз"  $M_{BH}$ .

$$M_{BV} = \frac{\Delta U_B}{U_0} \qquad M_{BH} = \frac{\Delta U_H}{U_0} \qquad (5)$$

де  $\Delta U_B$ ,  $\Delta U_H$  - максимальні прирощення амплітуди відповідно в верх і вниз.



# Для синусоїдальної модуляції /рис. 3/

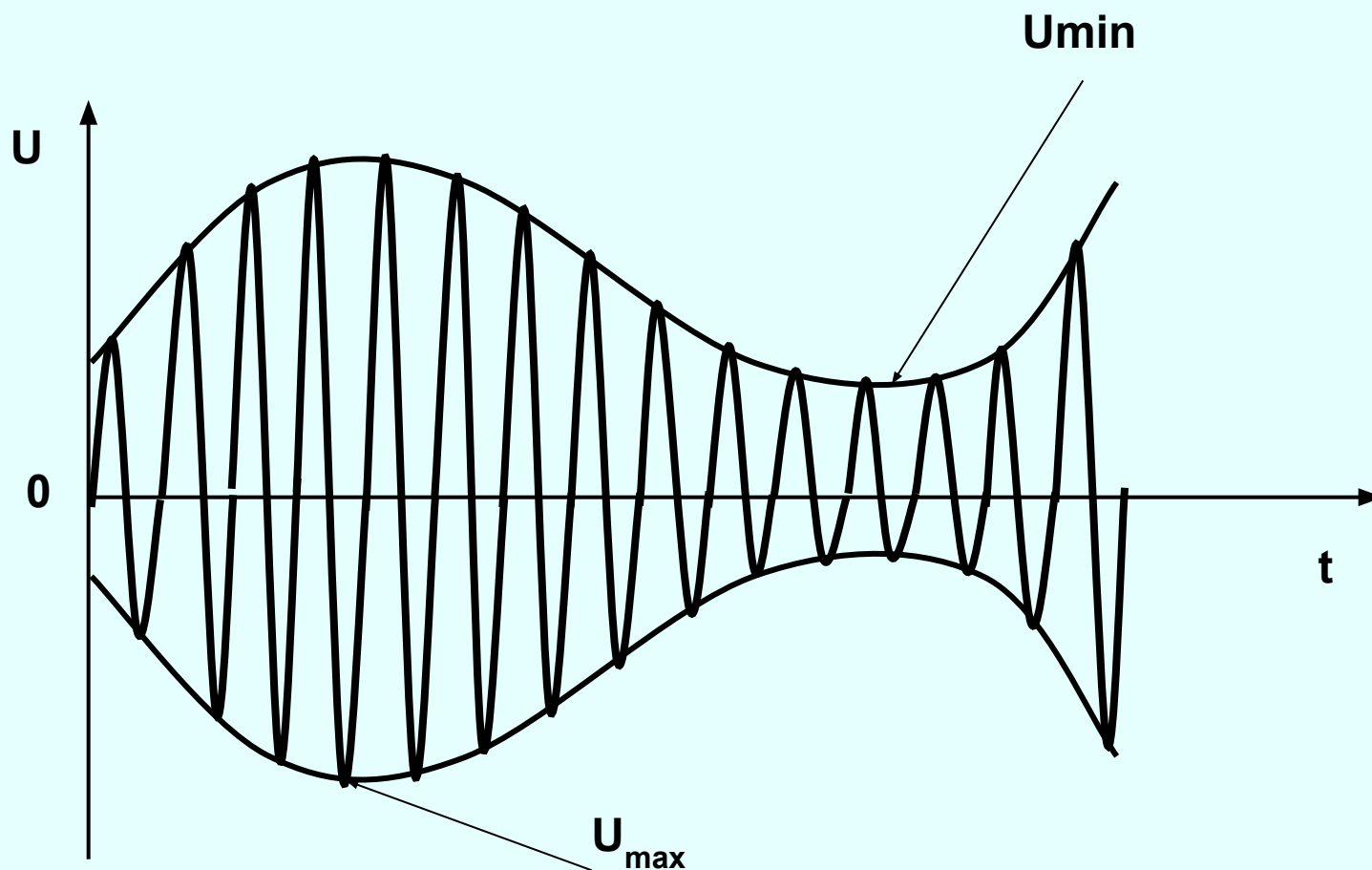


Рис. 3.

Коефіцієнт модуляції визначається як відношення половини різниці максимальної і мінімальної амплітуд коливань до середнього значення цих амплітуд:

$$M = \frac{\Delta U}{2U_{CP}} = \frac{(U_{MAX} - U_{MIN})}{(U_{MAX} + U_{MIN})} \quad (6)$$

## ***Особливості побудови задаючих генераторів***

**В вимірювальних НЧ і ВЧ генераторах знаходять застосування:**

- 1. LC - генератори;**
- 2. RC - генератори;**
- 3. Генератори гетеродинного типу /які працюють по методу биттів/;**
- 4. Цифрові генератори;**
- 5. Генератори з діапазонно-кварцевою стабілізацією /на базі цифрових синтезаторів частот/.**

**В НЧ вимірювальних генераторах в якості задаючих застосовуються перші чотири із названих вище типів генераторів.**

**В діапазонах частот до 300 МГц в ВЧ вимірювальних генераторах найбільшого розповсюдження знаходять LC - генератори.**

**Задаючий LC генератор - це автогенератор з коливальним контуром який складається з котушки індуктивності  $L$  і конденсатора  $C$ . В таких генераторах плавне перестроювання частоти, як правило, здійснюється конденсатором змінної ємності, а перехід від діапазону до діапазону - комутацією котушок індуктивності.**

**Задаючий RC- генератор - це підсилювач на резисторах із зворотним зв'язком.**

**Цифрові генератори - мають більшу стабільність і точність встановлення частоти. Такі генератори мають менший коефіцієнт гармонік і постійний рівень вихідного сигналу.**

**Робота цифрових генераторів заснована на принципі формування числового коду з подальшим перетворенням в аналогово-гармонічний сигнал. Останній апроксимується функцією, яка моделюється за допомогою цифро-аналогового перетворювача, який здійснює заміну ступінчатої напруги на синусоїдальну, рис. 4.**

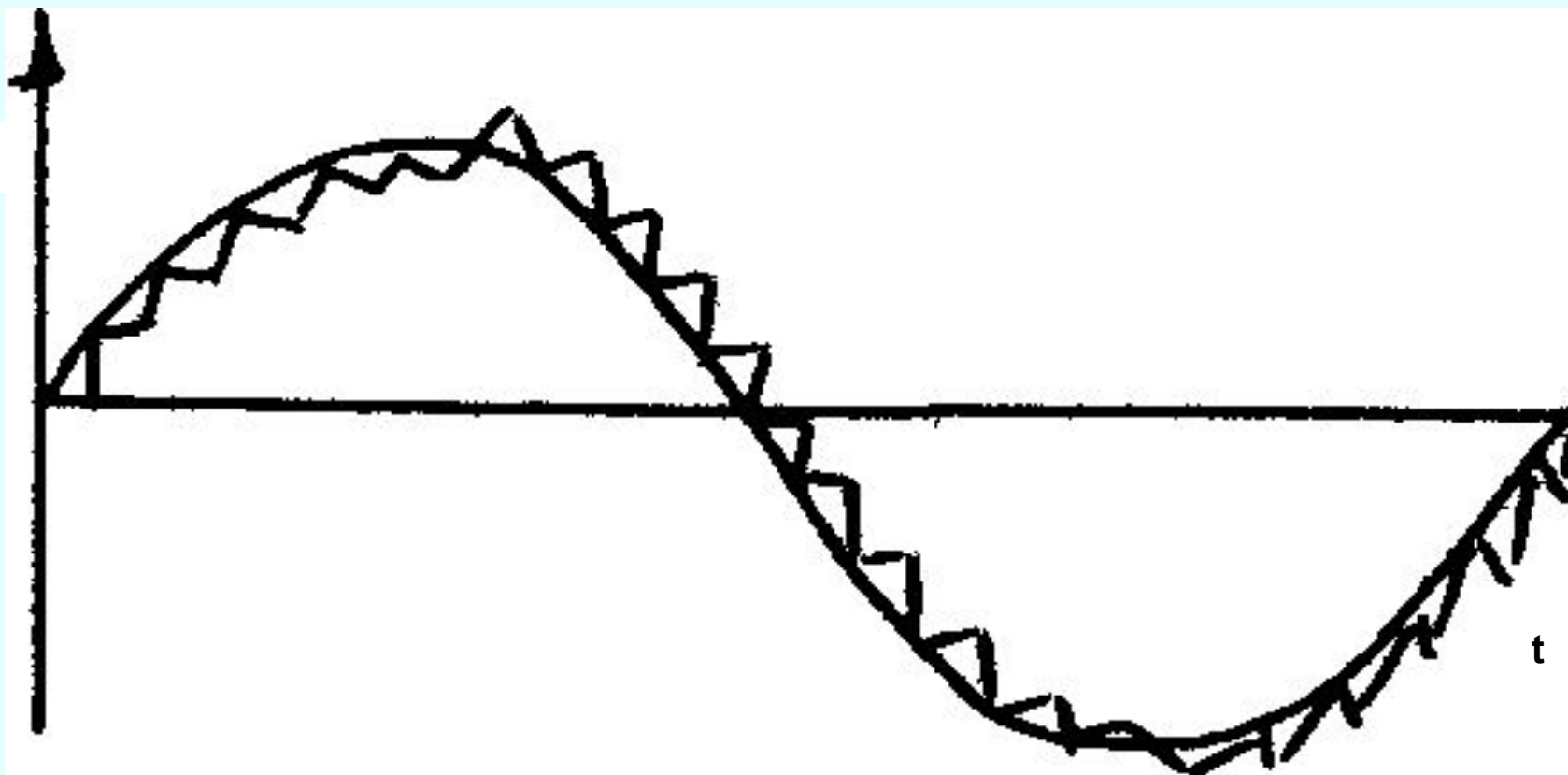


Рис. 4.

Ступінчата крива тим краще апроксимує синусоїду, чим більша кількість ступенів. Структурна схема пристрою формування ступінчатої кривої показана на рис. 5.

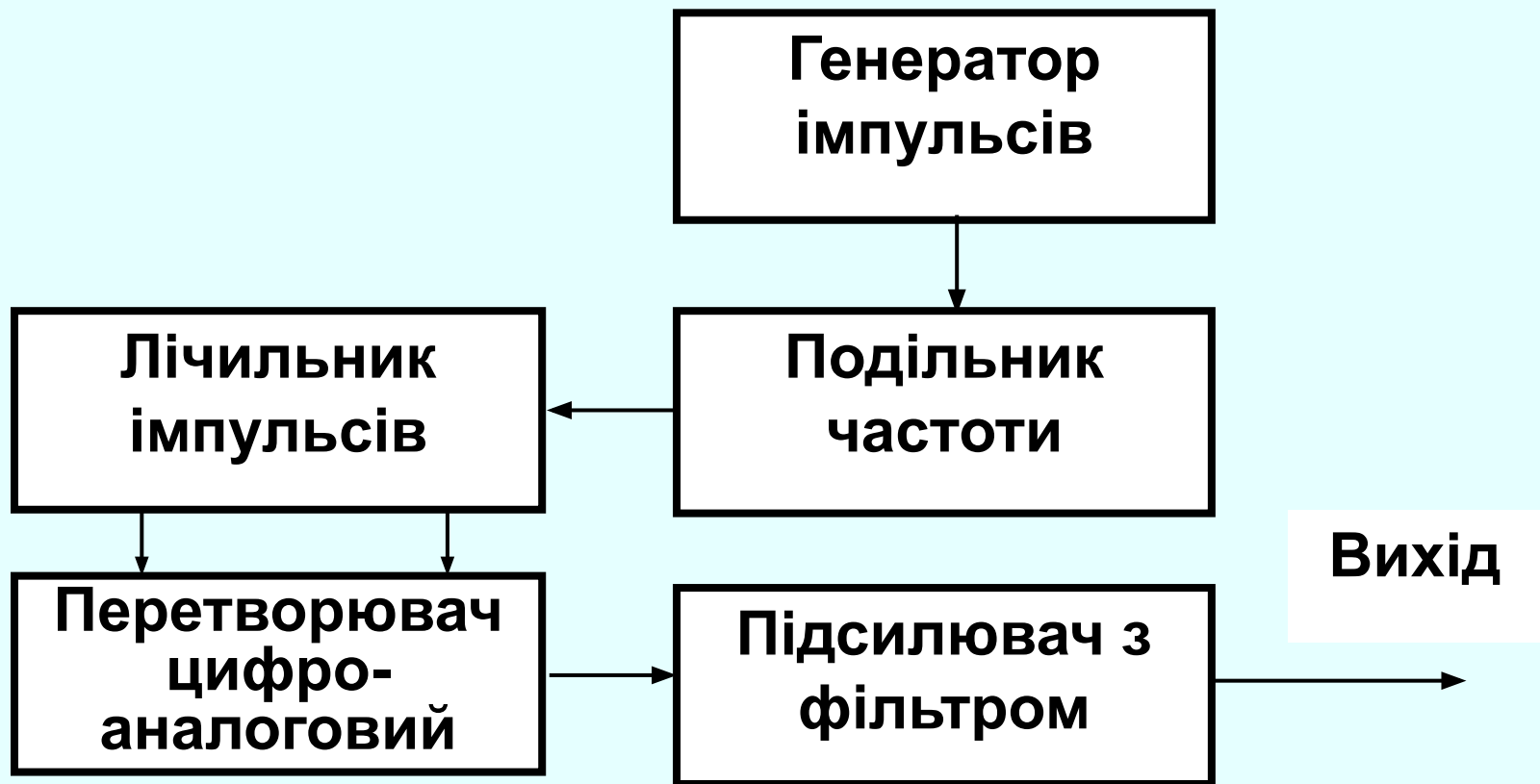


Рис. 5.

На виході подільника з регулюємим коефіцієнтом. поділу  $q$  маємо послідовність імпульсів з періодом  $\Delta T = T_{KB}/q$ , який задає крок дискретизації. Імпульси подаються на лічильник ємністю  $P$ .

Кодова комбінація визначається числом імпульсів  $i$ , накоплених в лічильнику

$$U(i\Delta T) = U_m \sin \left( \frac{2\pi \cdot i}{P} \right)$$



Генератори на биттях займають значне місце серед генераторів НЧ. Структурна схема такого генератора наведена на рис. 6.

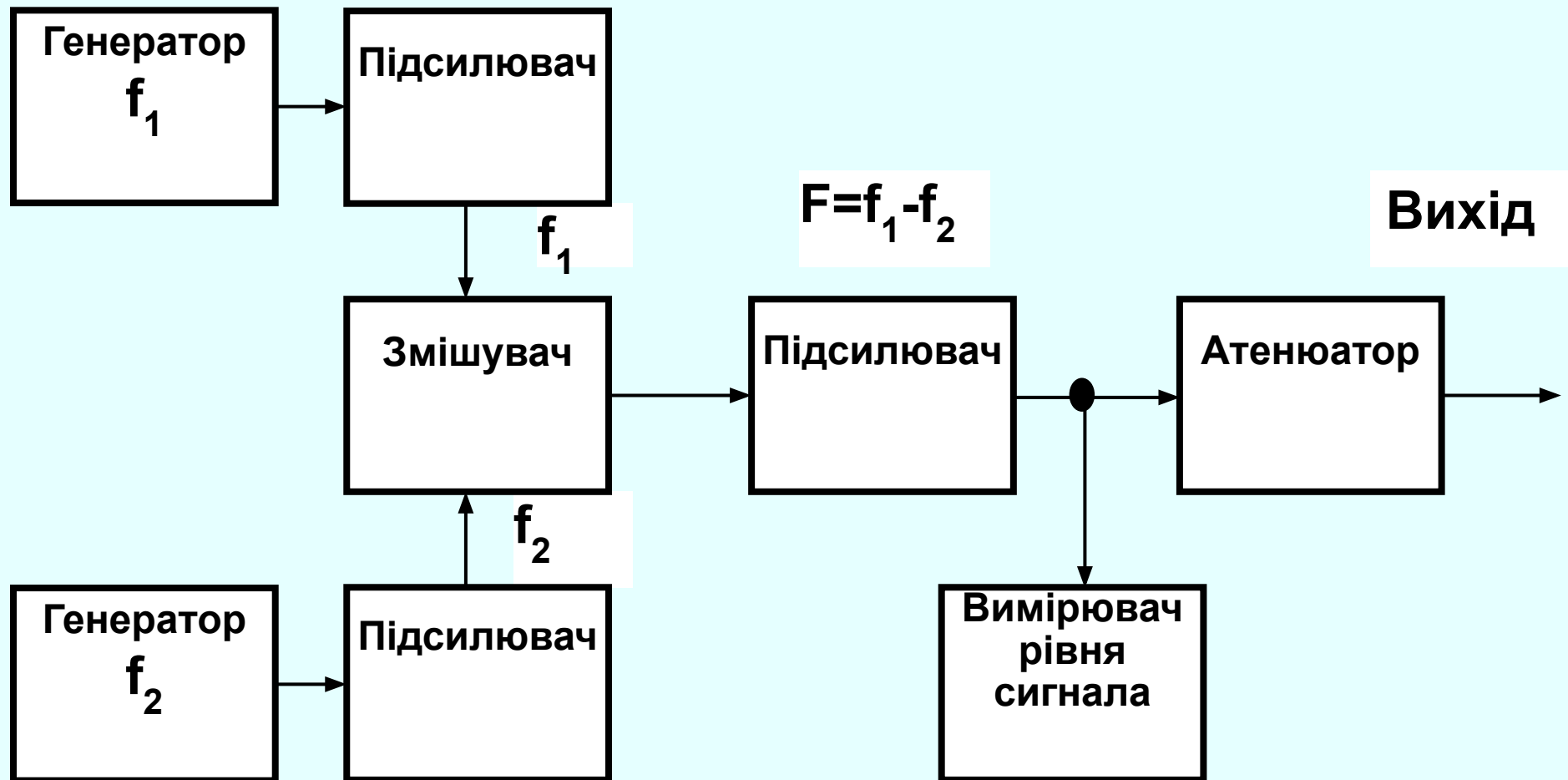


Рис. 6.

Одна з частот, наприклад  $f_1$  , є фіксованою, а інша може змінюватись в деякому діапазоні  $f_2 = f_1 + \Delta f$ .

На виході змішувача виділяється напруга різницевої частоти  $F = f_1 - f_2$ , яка регулюється в діапазоні від 0 до  $\Delta f$  .

Перевагою такого генератора є стабільність частоти, можливість плавного регулювання частоти і амплітуди вихідного сигналу.

Вимірювальні генератори сигналів з діапазонно-кварцевою стабілізацією мають ряд переваг, таких як висока стабільність генеруємої частоти, висока точність встановлення параметрів сигналу, велике перекриття по діапазону частот, незалежність параметрів модуляції від частоти вихідного сигналу і ін.

Структурна схема такого генератора наведена на рис.7.

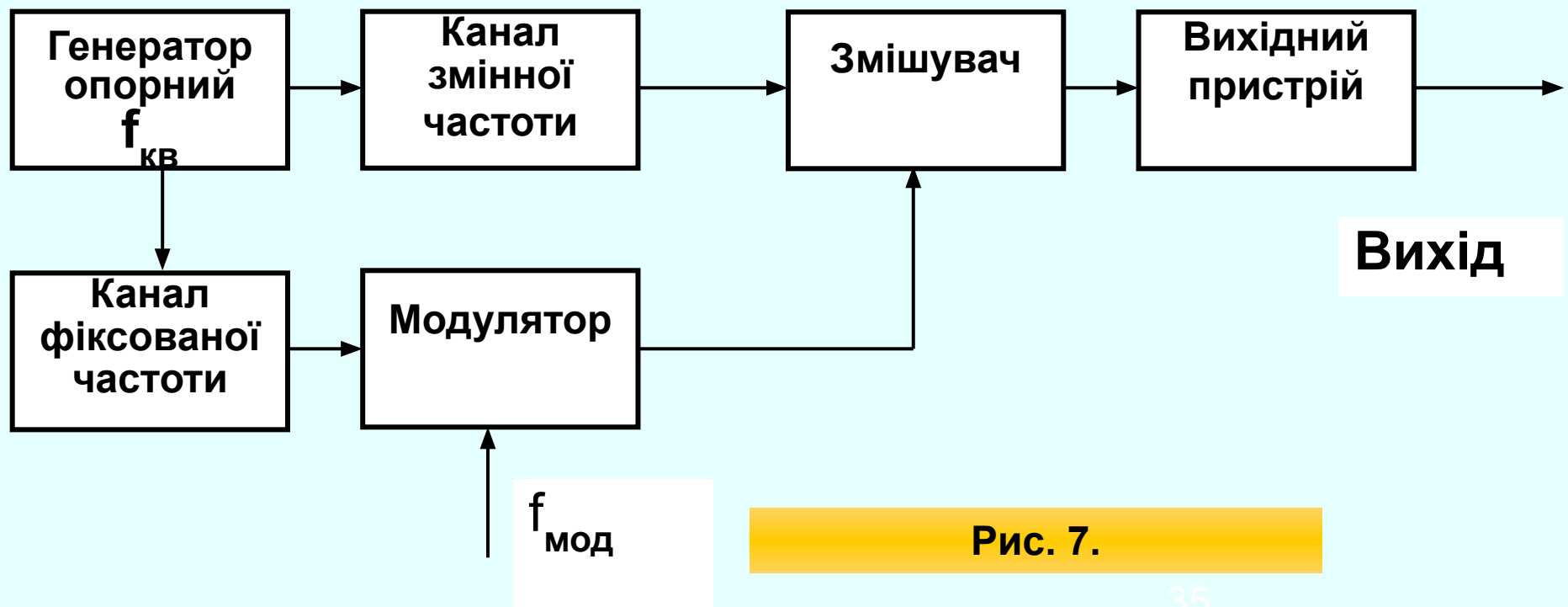


Рис. 7.

# Питання 3

**Метрологічні характеристики генераторів сигналів.**

**1. ДІАПАЗОН ГЕНЕРУЄМИХ ЧАСТОТ** від  $f_{\min}$  до  $f_{\max}$  - частотний інтервал, в якому сигнал вимірювального генератора відповідає всім нормам точності, які вказані в нормативно-технічній документації /НТД/ на прилад.

**2. ВІДНОСНА ПОХИБКА ВСТАНОВЛЕННЯ ЧАСТОТИ СИГНАЛА** - це відношення абсолютної похибки до номінального значення частоти:

$$\delta_f = \frac{\Delta f}{f_{НОМ}} \cdot 100 = \frac{f_{НОМ} - f_0}{f_{НОМ}} \cdot 100$$

де  $f_{НОМ}$  - номінальне значення частоти, відраховане по шкалі генератора /вмонтованого частотоміра/;

$f_0$  - істинне значення генеруємої частоти (на практиці значення, яке виміряне зразковим частотоміром).

**3. СТАБІЛЬНІСТЬ ЧАСТОТИ ГЕНЕРАТОРА** - здатність генератора зберігати відтворене значення частоти на протязі деякого оговореного часу при незмінних інших умовах, рис.8.

Відносну нестабільність частоти в процентах за час визначають

$$\delta_f = \frac{\Delta f}{f_{01}} 100 = \frac{f_{01} - f_{0t}}{f_{01}} 100$$

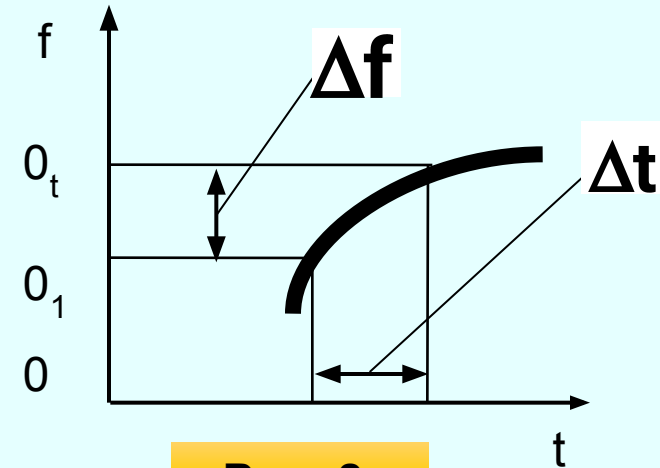


Рис. 8.

де  $f_{01}$  - значення частоти сигналу генератора на початку проміжку часу для вимірювання  $\delta_f$  /після часу прогріву генератора/;

$f_{0t}$  - значення частоти генератора через проміжок часу  $\Delta t$ .

$f_{0t}$  - приймають - 15 хв., для стабільних генераторів  $\Delta t > 15$  хв.

## **4.МАКСИМАЛЬНИЙ РІВЕНЬ І ГРАНИЦІ РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ СИГНАЛА НА НЕКАЛІБРОВАНОМУ ВИХОДІ.**

**Максимальний рівень сигналу на некаліброваному виході генератора вимірюють з метою визначення мінімального значення максимального рівня вихідного сигналу в діапазоні частот генератора.**

**Границі регулювання рівня сигналу характеризують динамічний діапазон амплітуд сигналів на некаліброваному виході:**

$$D = 20 \lg \frac{U_{\max}}{U_{\min}}$$

або  $D = 10 \lg(P_{\max} / P_{\min})$  (9)

## **5. ПОХИБКА ВСТАНОВЛЕННЯ ОПОРНОГО РІВНЯ СИГНАЛУ І ПОХИБКА ВСТАНОВЛЕННЯ ПОСЛАБЛЕННЯ НА КАЛІБРОВАННОМУ ВИХОДІ ГЕНЕРАТОРА.**

Під опорним рівнем сигналу розуміють величину вихідного сигналу при нульовому або якому-небудь іншому значенні послаблення в тракті.

Для ВЧ генераторів з коаксіальним виходом опорне значення рівня вихідної потужності вибирається з ряду:  $10^{-3}$ ;  $10^{-4}$ ;  $10^{-5}$  Вт; з хвилевідним виходом - з ряду:  $10^{-2}$ ;  $10^{-3}$ ;  $10^{-4}$ ;  $10^{-5}$  Вт.

**Похибку встановлення опорного рівня сигналу в процентах визначають за формулою:**



$$\delta_{P0} = \frac{P_{НОМ} - P_{ВИИ}}{P_{НОМ}} 100$$

де  $P_{НОМ}$  - номінальне значення опорної потужності або напруги.

$P_{ВИИ}$  - дійсне значення опорної потужності або напруги.

Похибку встановлення опорного рівня в децибелах можна обчислити за допомогою формули:

**Похибку встановлення опорного рівня в децибелах можна обчислити за допомогою формули:**

$$\delta_P = 20 \lg \frac{P_{НОМ}}{P_{ВИИ}}$$

**6. ПОХИБКИ ВСТАНОВЛЕННЯ В РЕЖИМАХ ІМПУЛЬСНОЇ МОДУЛЯЦІЇ, АМПЛІТУДНОЇ СИНУСОЇДАЛЬНОЇ МОДУЛЯЦІЇ ТА ЧАСТОТНОЇ МОДУЛЯЦІЇ** характеризують спотворення форми модулюючого сигналу в модуляторі, тобто відхилення закону, за яким здійснюється зміна деякого параметра сигналу на виході генератора від заданого закону.

В режимі імпульсної модуляції ці спотворення проявляються в затягуванні фронтів імпульсу, нерівномірності вершин імпульсу, в виникненні викидів на вершині імпульсу і після нього.

В режимах амплітудної і частотної модуляції ці спотворення виникають за рахунок нелінійних спотвореннях форми обвідних модульованого вихідного сигналу при синусоїдальному модулюючому сигналі.

В режимі ІМ якість генеруємого сигналу оцінюється згідно ГОСТ **8.322-78** "Генераторы сигналов измерительные. Методы и средства поверки в диапазоне частот 0,03-17,44 ГГц".

В цьому стандарті замість термінів "тривалість фронту" і "тривалість зрізу" використовуються терміни "тривалість наростання", і "тривалість спаду" імпульсів.

*ПИТАННЯ ?*

## Література:

**1.** Измерения в электронике, энергоатомиздат, **1987.**

**2.** Федоров А.М., Циган Н.Я., Мичурин В.И.,  
Метрологическое обеспечение электронных средств  
измерений электрических величин, довідкова  
книга, Електроатомиздат **1987.**

**3.** Конспект лекцій