



**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.

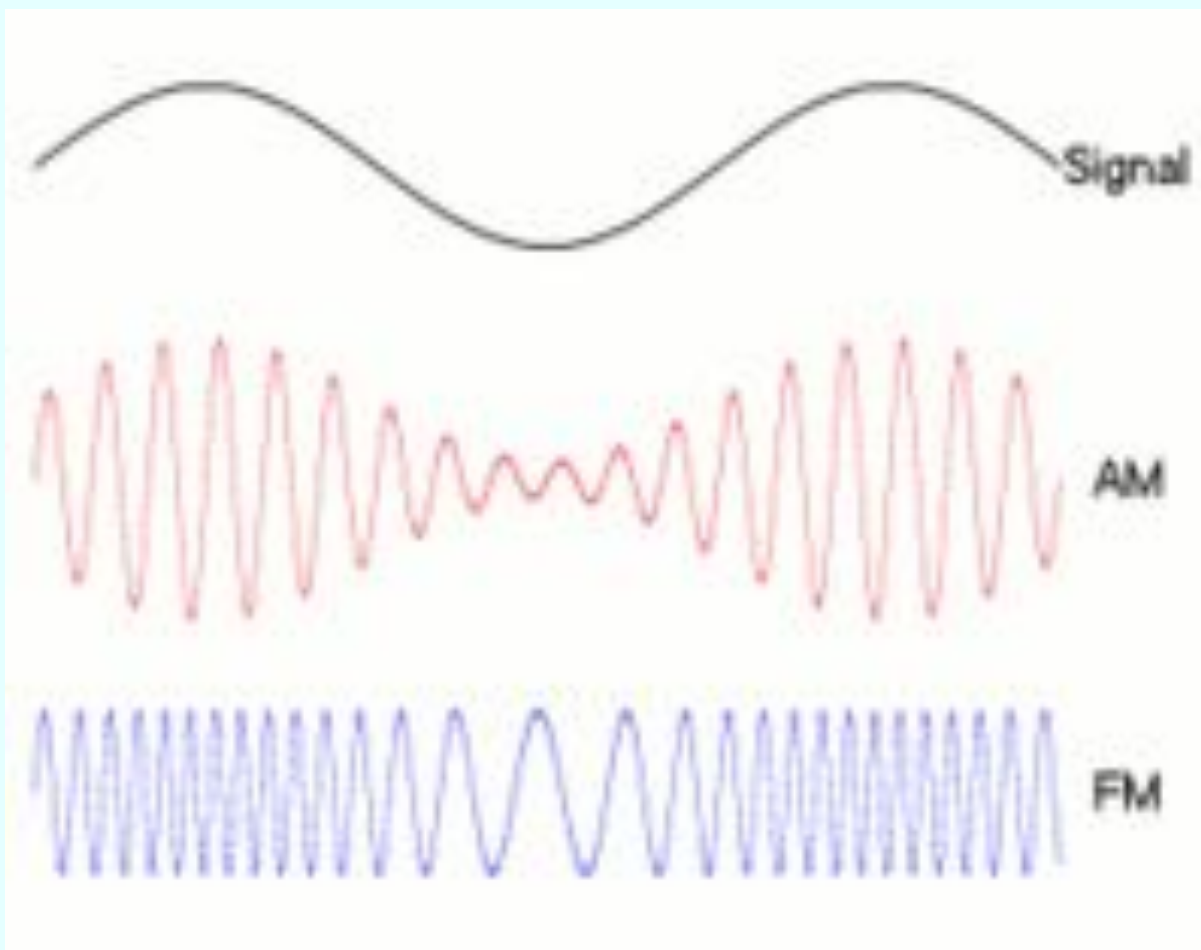
3. Метрологічні характеристики генераторів сигналів.

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

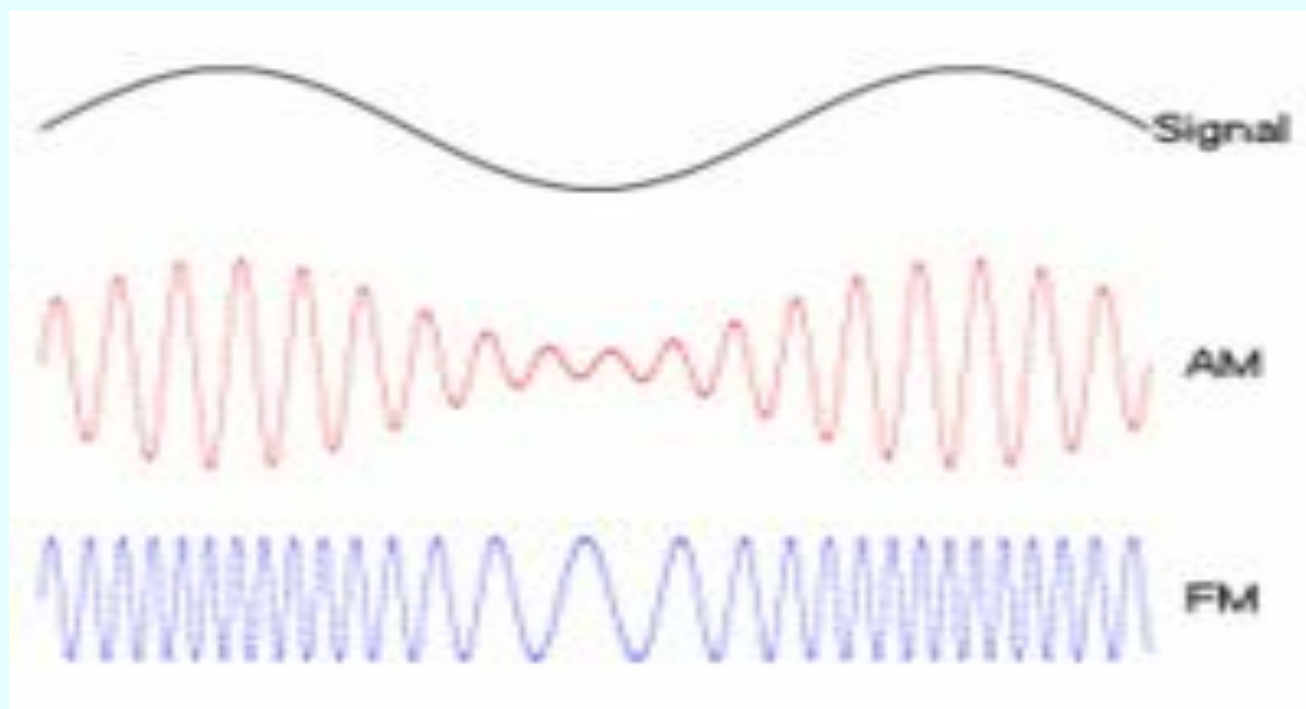
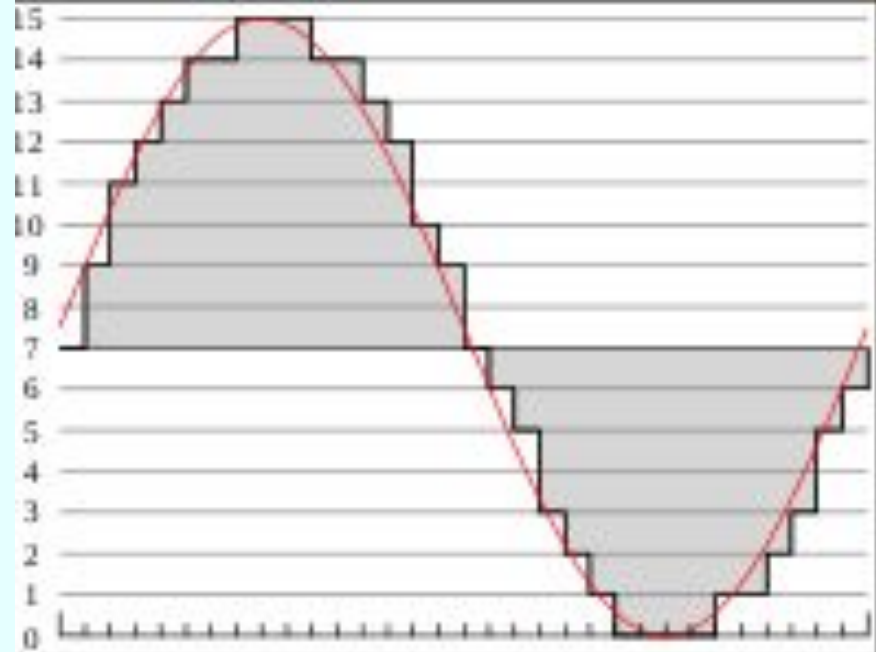
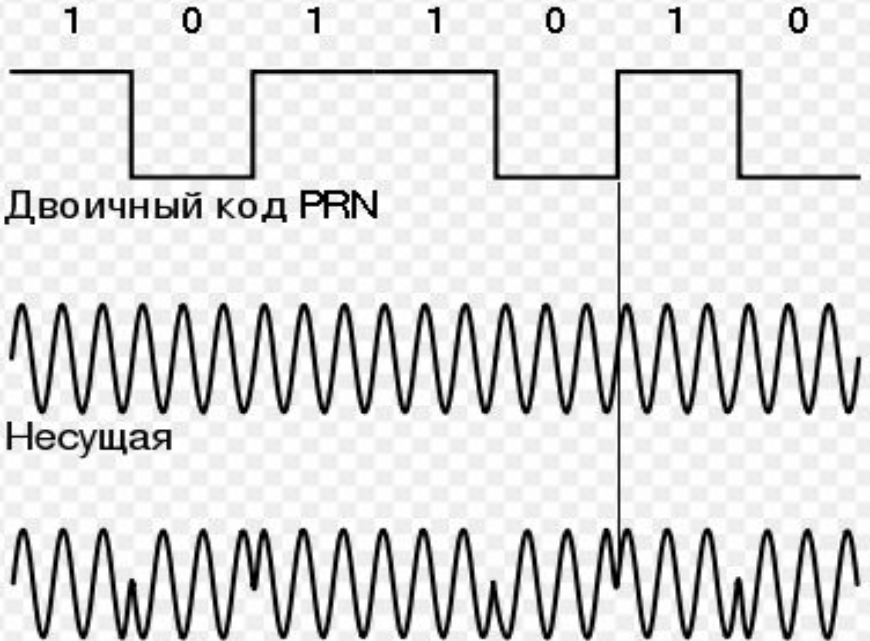
**2. Які види модуляції сигналів
Ви знаєте?**

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.

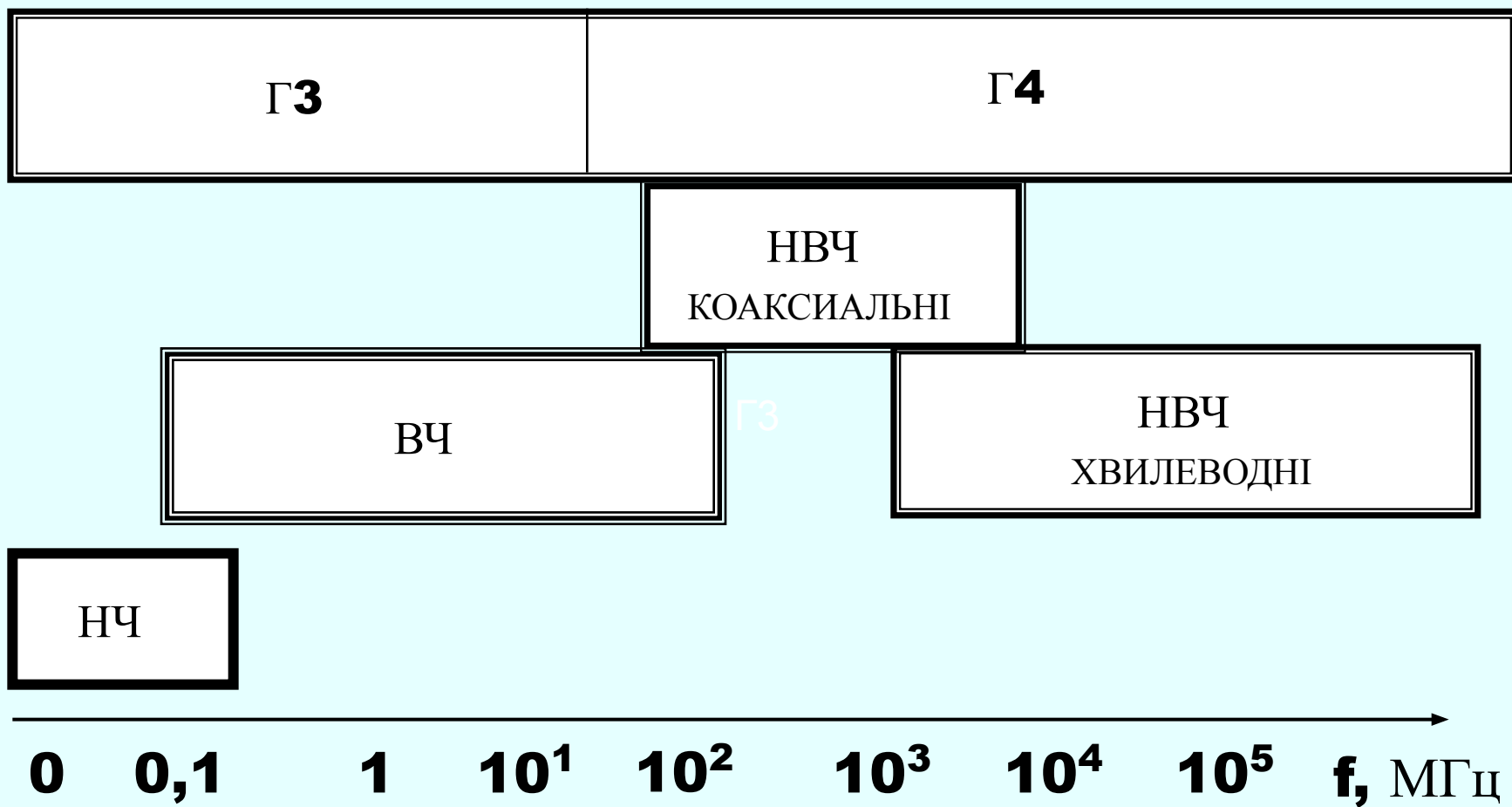


Рис. 1

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:

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

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 височастотного /ВЧ/ генератора наведена на рис. 2

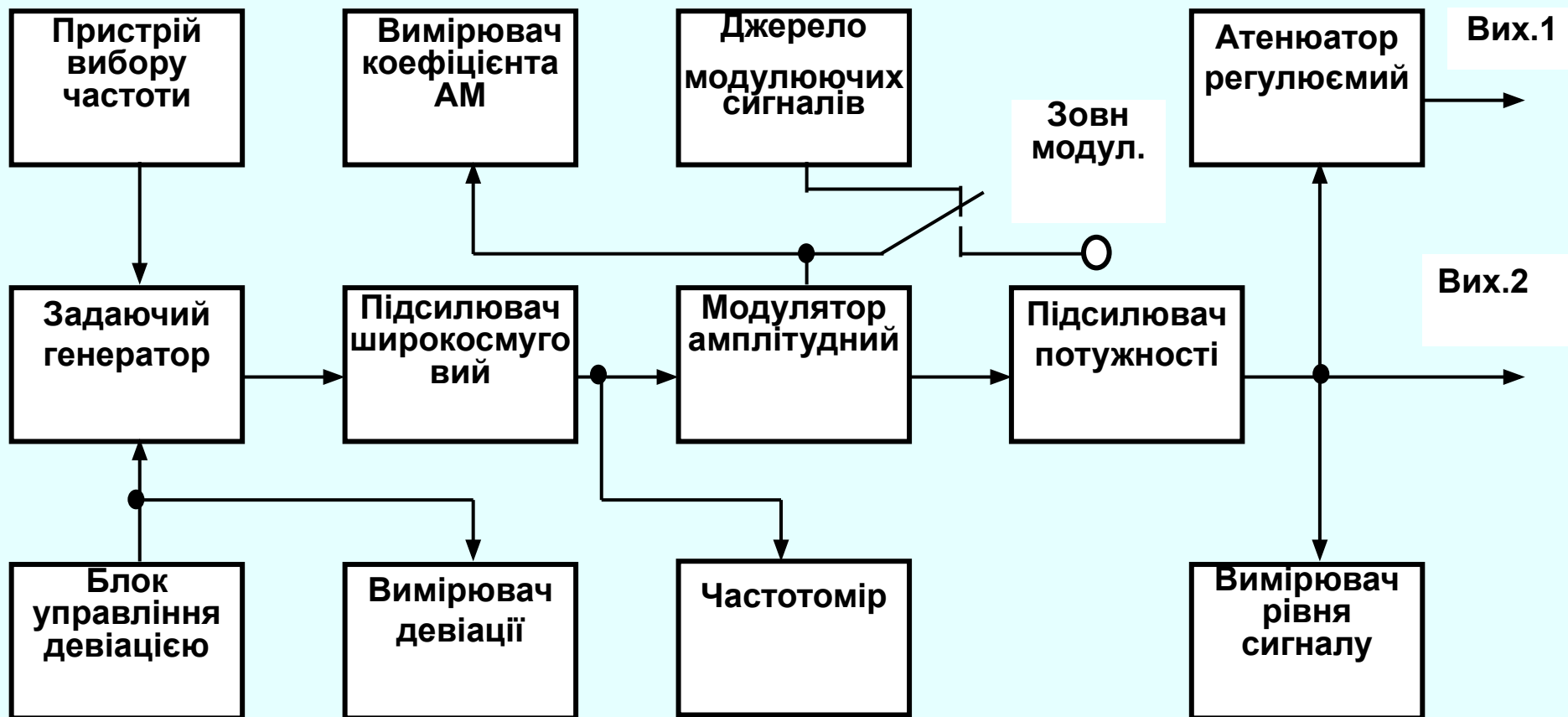


Рис. 2. Структурна схема вимірювального ВЧ генератора

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 $X_1(t, a_1, \dots, a_k, \dots, a_n)$ - модулюємий сигнал, а $X_2(t)$ модулюючий сигнал.

Тоді при модуляції за параметром a_k модульований сигнал має вигляд :

$X_1(t, a_1, \dots, \phi[X_2(t)], \dots, a_n)$, де $\phi[X_2(t)]$ - 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 ΔC 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 /АМ/ 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 ΔU 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 ΔU_B , ΔU_H - максимальні прирощення амплітуди відповідно вверх і вниз.

Для синусоїдальної модуляції /рис. 3/

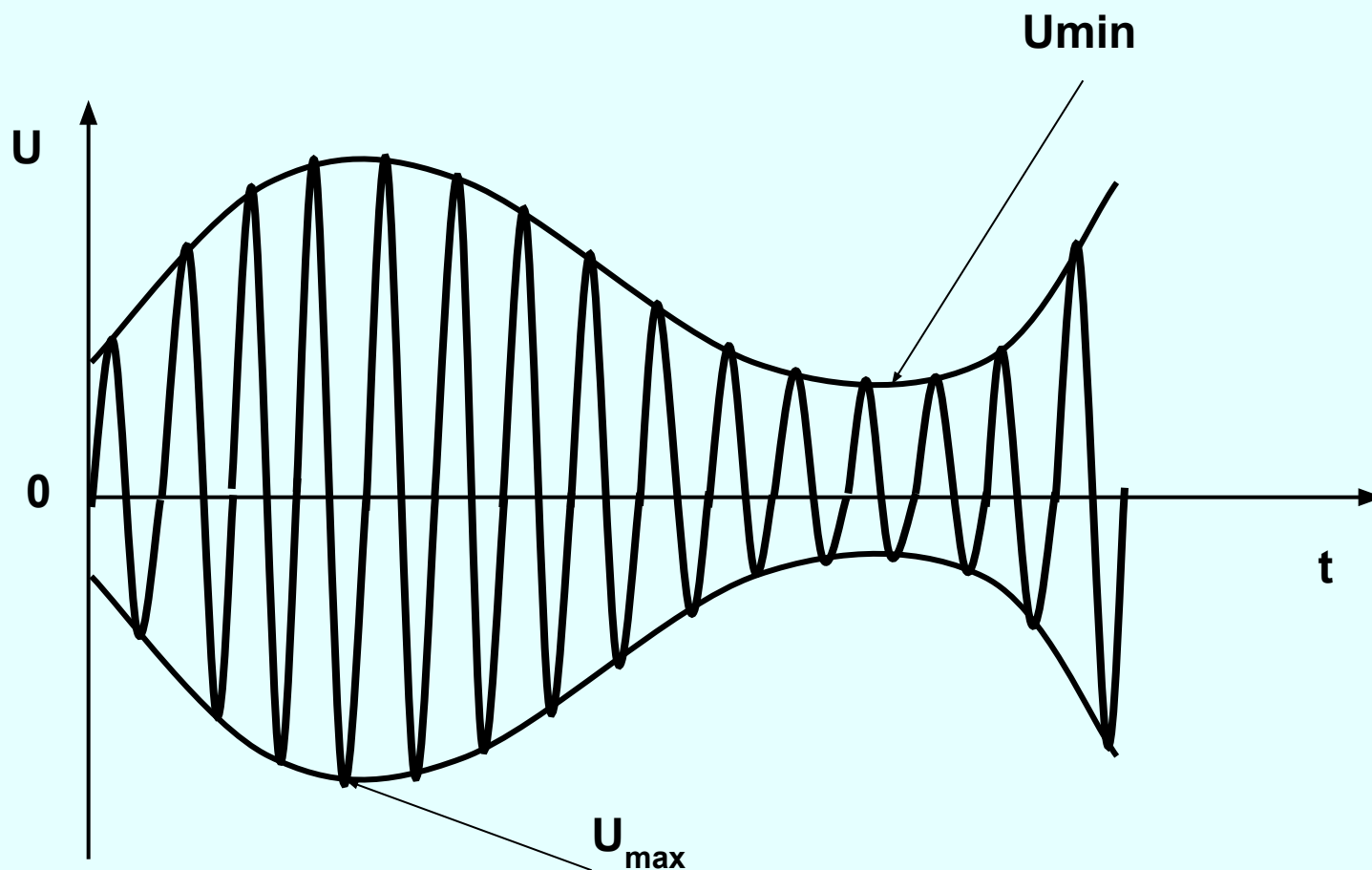


Рис. 3.

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.

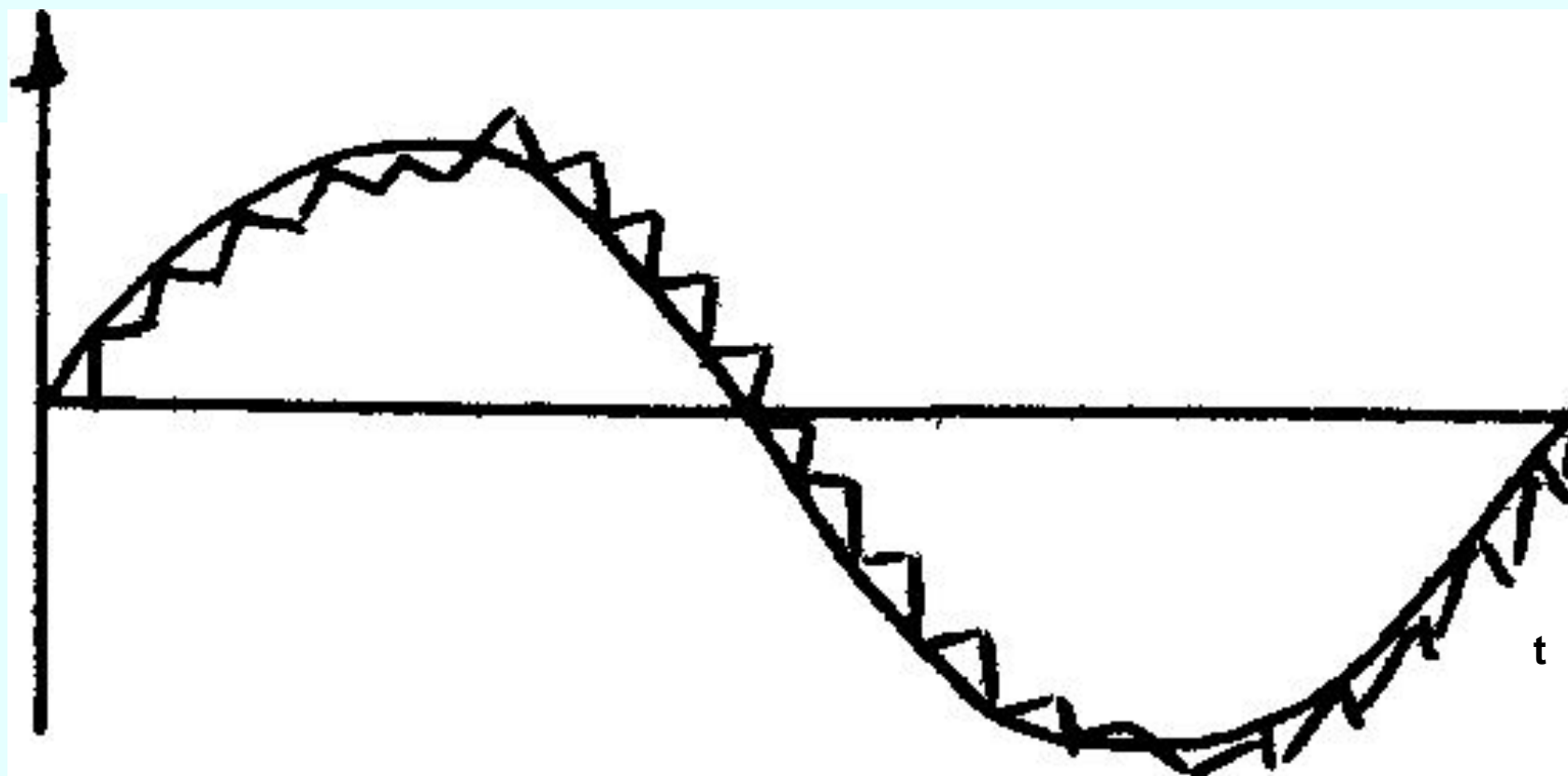


Рис. 4.

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

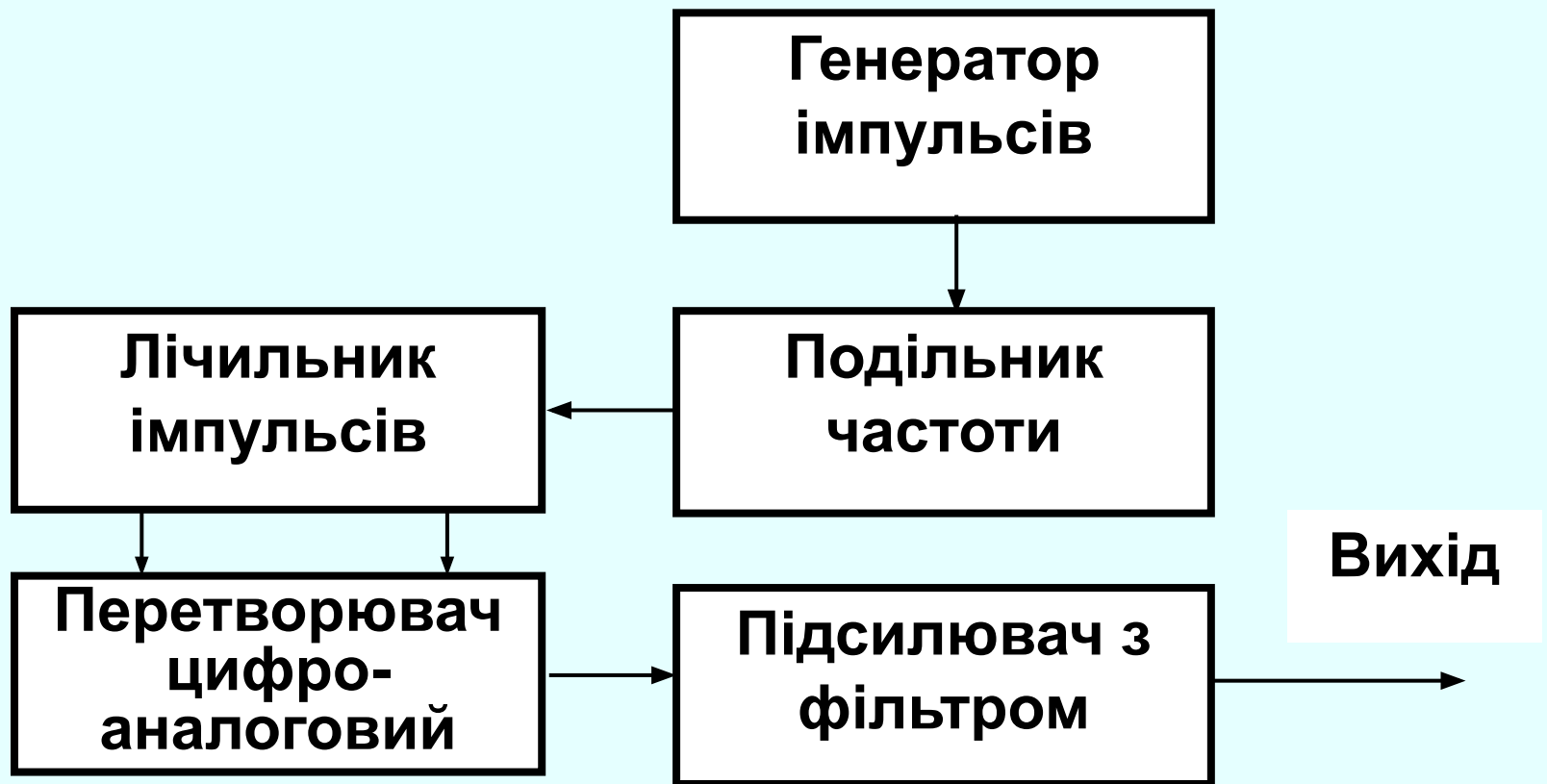


Рис. 5.

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.

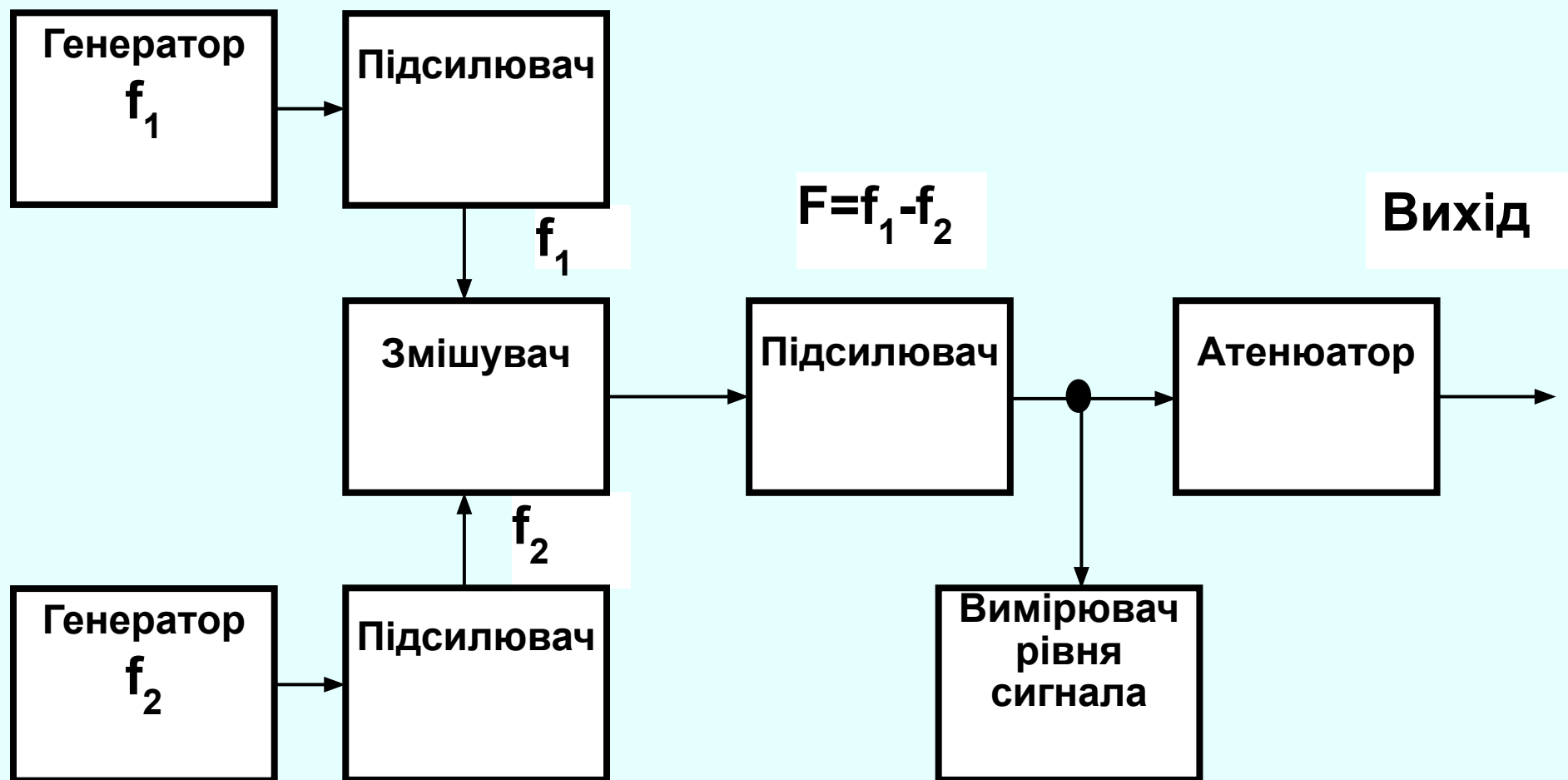


Рис. 6.

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 Δf .

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.

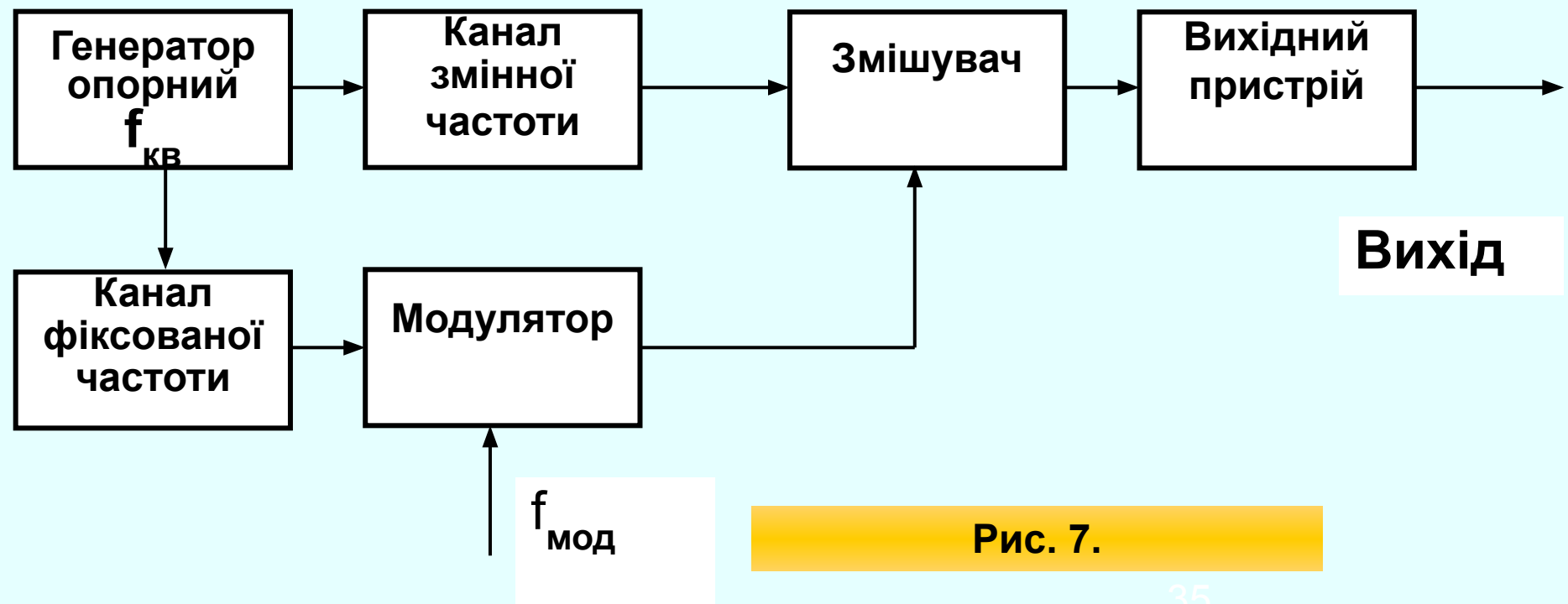


Рис. 7.

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

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

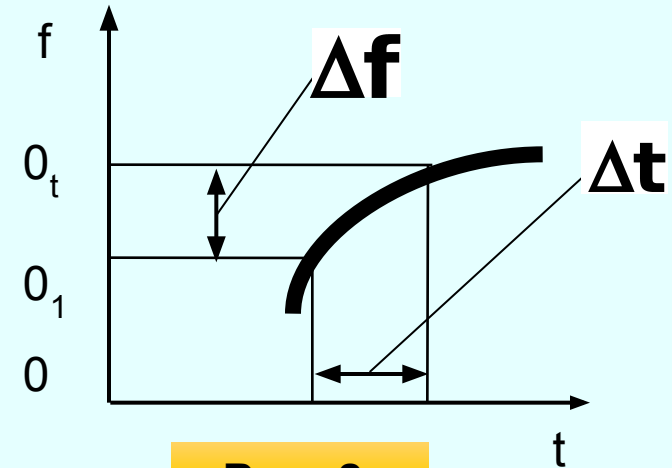


Рис. 8.

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

f_{0t} - значення частоти генератора через проміжок часу Δt .

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 спотворення 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