

Лекція 7

ФОРМУВАННЯ ДИСКРЕТНИХ РАДІОСИГНАЛІВ

1. Формування частотно-маніпульованих сигналів

Нагадаємо, що радіосигнали з частотною маніпуляцією широко використовуються для телеграфного літеродрукуючого і факсимільного зв'язку у декаметровому діапазоні хвиль. Використовуються два види сигналів:

– сигнали одноканальної частотної телеграфії – ЧТ, клас випромінювань F1B;

– сигнали двоканальної частотної телеграфії – ДЧТ, клас випромінювань F7B.

При одноканальній роботі символи первинного сигналу «0» і «1» передаються коливаннями двох частот f_B і f_B ($f_B > f_B$).

Різниця $\Delta f_{зс} = f_B - f_B$ називається частотним зсувом, а частоти f_B , f_B – частотами маніпуляції.

При двоканальній роботі кожному сполученню символів в обох каналах відповідає випромінювання однієї частоти.

I канал	0	0	1	1
II канал	0	1	0	1
$f_{ман}$	f_A	f_B	f_B	f_Γ

При цьому

$$f_\Gamma > f_B > f_B > f_A, \text{ а } \Delta f_{зс} = f_\Gamma - f_B = f_B - f_B = f_B - f_A$$

Частоту, що дорівнює

$$\frac{f_B + f_B}{2} = f_H$$

називають номінальною або несучою частотою.

При формуванні сигналів частотної телеграфії пред'являються наступні вимоги:

- висока стабільність несучої частоти;
- висока стабільність Δf_x (частот маніпуляції);
- можливо вузький спектр сигналу.

Можливі два принципово різні способи формування сигналів з частотною маніпуляцією:

- частотна маніпуляція без розриву фази;
- частотна маніпуляція з розривом фази.

Розглянемо ці способи з урахуванням пред'явлених вимог.

1.1. Частотна маніпуляція без розриву фази

Маніпуляцію, тобто перехід від однієї частоти до другої без розриву фази в.ч. коливання," можливо розглядати як частотну модуляцію несучої сигналами прямокутної форми (рис. 2).

Структура і ширина спектру сигналу при цьому визначається індексом частотної модуляції

$$m_{\text{ЧГ}} = \frac{\Delta f_{\text{дев}}}{F_{\text{М}}} = \frac{\Delta f_{\text{ЗС}}}{2F_{\text{М}}} = \frac{\Delta f_{\text{ЗС}}}{B}$$

і відомою формулою Манаєва.

Ефективна ширина спектра сигналу без розриву фази менша за сигнал з розривом фази.

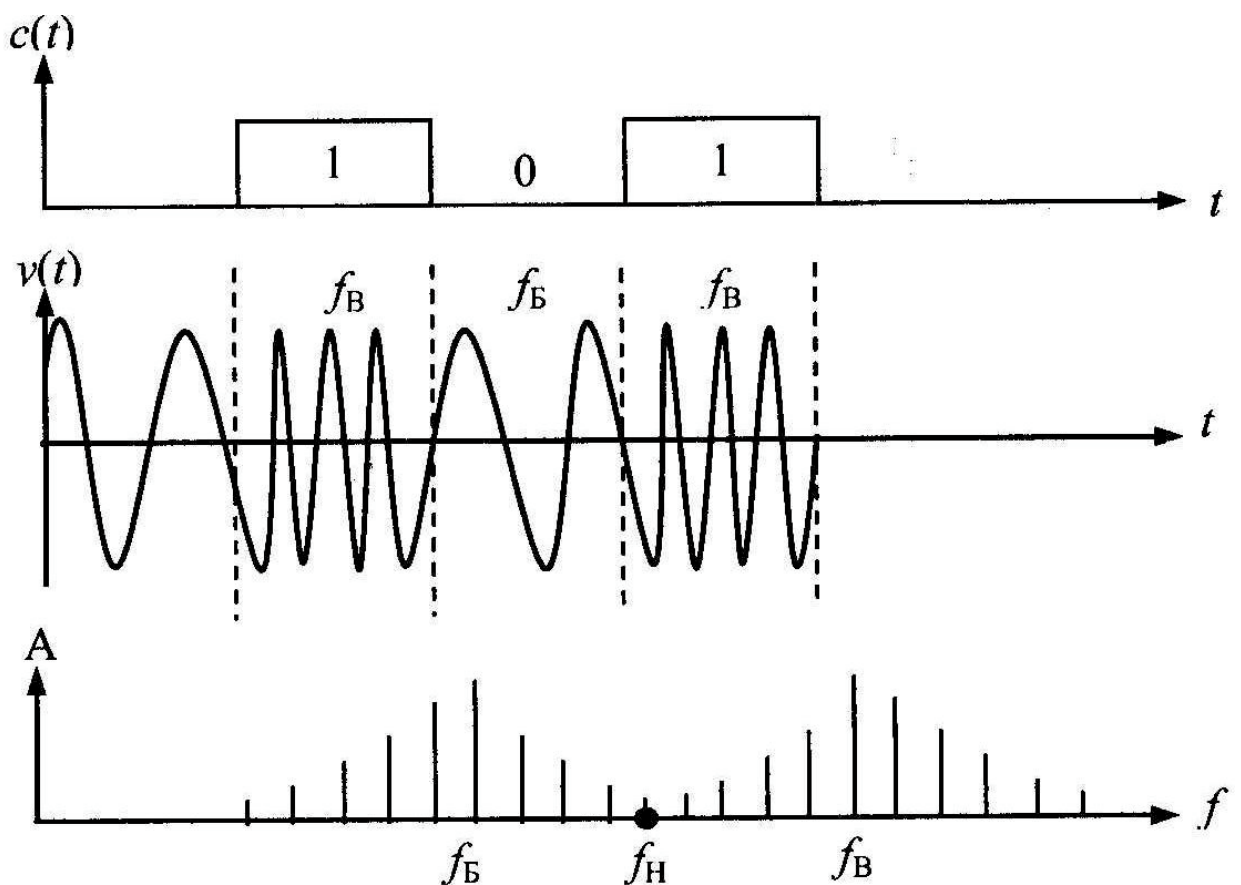


Рис. 2

Найпростіша технічна реалізація способу – дискретна зміна ємності коливального контуру автогенератора шляхом підключення додаткового конденсатора з допомогою маніпулятора (рис. 3).

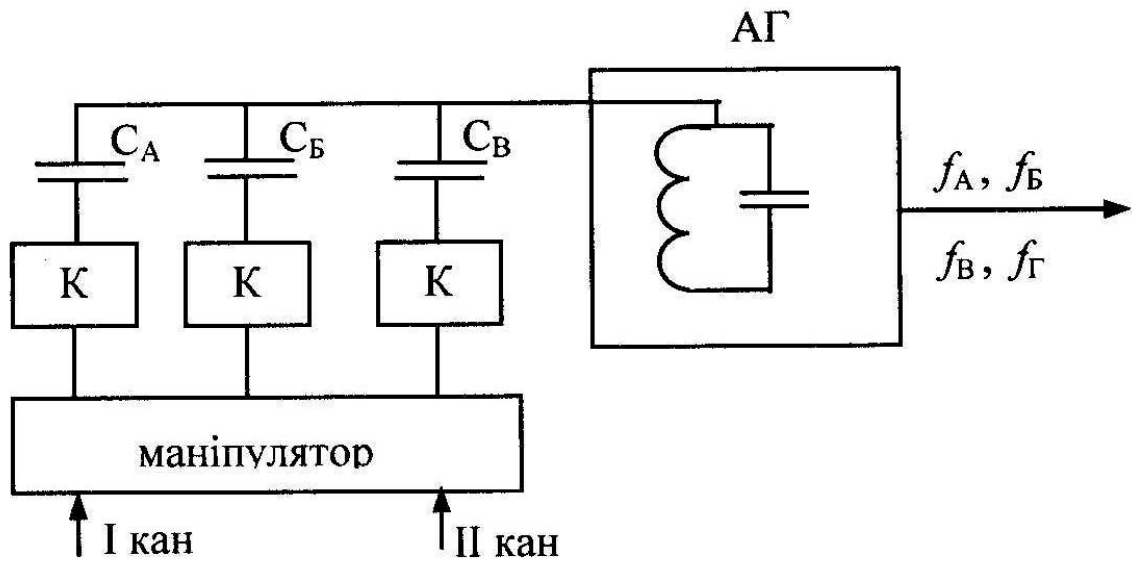
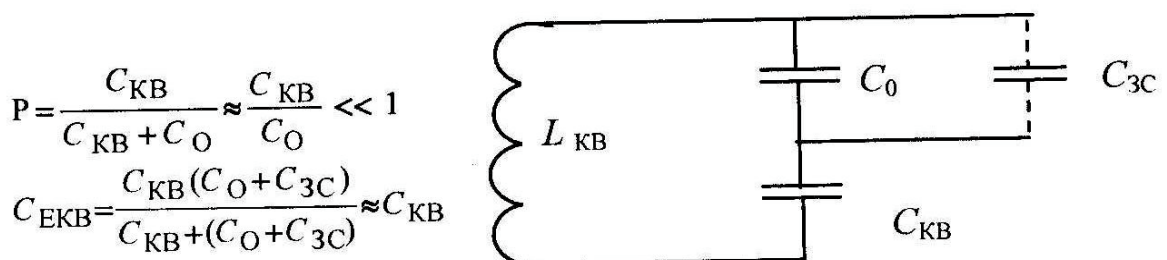


Рис. 3

Маніпулятор – це вирішуюча схема, яка вмикає той чи інший ключ (к) відповідно комбінації імпульсів первинного сигналу в телеграфних каналах.

Недоліком способу є неможливість отримання високої стабільності частоти сигналу, тому що зміна частоти автогенератора з метою маніпуляції дестабілізує і частоту коливань генератора.

Практичне застосування знайшли схеми частотно-маніпульованих кварцових автогенераторів. Але разом з деяким підвищенням стабільності частот маніпуляції виникли інші труднощі. Справа в тому, що для кварцового резонатора характерний малий коефіцієнт включення зовнішніх елементів в схему резонатора, тому що $C_{КВ} \ll C_0$ (C_0 – ємність кварцоутримувача (рис. 4).



$$P = \frac{C_{КВ}}{C_{КВ} + C_0} \approx \frac{C_{КВ}}{C_0} \ll 1$$

$$C_{ЕКВ} = \frac{C_{КВ}(C_0 + C_{ЗС})}{C_{КВ} + (C_0 + C_{ЗС})} \approx C_{КВ}$$

Рис. 4

Таким чином, підключення конденсатора зсуву $C_{ЗС}$ мало змінює еквівалентну ємність кварцового резонатора і частоту його власних коливань. Практично, в кварцових автогенераторах вдається отримати відносну зміну частоти порядку

Таким чином, підключення конденсатора зсуву $C_{ЗС}$ мало змінює еквівалентну ємність кварцового резонатора і частоту його власних коливань. Практично, в кварцових автогенераторах вдається отримати відносну зміну частоти порядку

$$\frac{\Delta f_{зс}}{f_0} = 10^{-3} \quad ; \quad \Delta f_{зс} = f_0 \cdot 10^{-3},$$

тобто великі частотні зсуви можуть бути отримані лише на високих частотах. Наприклад, для отримання

$\Delta f_{зс} = 1000$ Гц генератор, що маніпулюється, повинен мати частоту коливань не менше 1 МГц. При цьому нестабільність частотного зсуву досягає десятків Гц.

1.2. Частотна маніпуляція з розривом фази

В сучасних збуджувачах використовуються способи формування частот маніпуляції методом синтезу на основі частоти прецизійного кварцового генератора. Маніпуляція синтезованими частотами завжди пов'язана з розривом фази коливань і розширенням спектра сигналу. Однак, якщо формувати сигнал на достатньо високій частоті, а потім її поділити, то можна зменшити розрив фази до одиниць градусів. При цьому зберігається стабільність частот маніпуляції. Яка визначається стабільністю опорного генератора.

На **рис. 5** зображена схема синтезу сигналів ЧТ і ДЧТ за розглянутим способом формування.

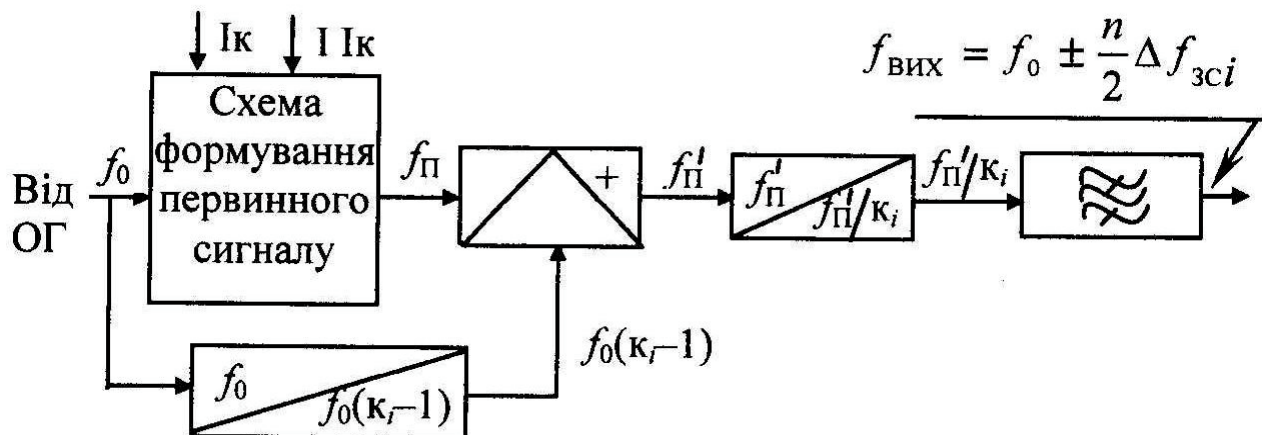


Рис. 5

Спочаку за допомогою прямих операцій синтезу формується так званий первинний ЧТ – ДЧТ сигнал виду

$$f_{\Pi} = f_0 \pm \frac{n}{2} \Delta F_{\Pi зс} , \quad (1)$$

де f_0 – номінальна частота сигналу; $\Delta F_{\Pi зс}$ – первинний частотний зсув;

$$n = \begin{cases} 1 & \text{– для сигналів ЧТ} \\ 3 & \text{– для сигналів ДЧТ.} \end{cases}$$

Частотний зсув в первинному сигналі обирається кратним кратним робочим частотним зсувом Δf_{3Ci}

$$F_{\Pi ЗС} = K_i \Delta f_{3Ci} \quad (2)$$

В змішувачі сигнал f_{Π} переноситься на частоту $K_i f_0$, тобто

$$f' = K_i f_0 \pm \frac{n}{2} \Delta F_{\Pi ЗС} \quad (3)$$

Після подільвача на виході смугового фільтру буде вихідний сигнал з робочим частотним зсувом

$$f_{\text{Вих}} = f_0 \pm \frac{n}{2} \frac{\Delta F_{\Pi ЗС}}{K_i} = f_0 \pm \frac{n}{2} \Delta f_{3Ci} \quad (4)$$

Розглянутий варіант схеми формування сигналів частотної телеграфії відноситься до схем з аналоговим перетворенням сигналу.

Застосування цифрової елементної бази дозволяє досить легко виконувати всі операції синтезу частот.

Синтез сигналів ЧТ - ДЧТ зводиться до формування частот виду

$$f = f_0 \pm \frac{n}{2} \Delta f_{3Ci} = f_0 \pm \begin{cases} \frac{\Delta f_{3Ci}}{2} \\ \frac{3}{2} \Delta f_{3Ci} \end{cases} \quad (5)$$

Це може бути виконано наступним чином (рис. 6).

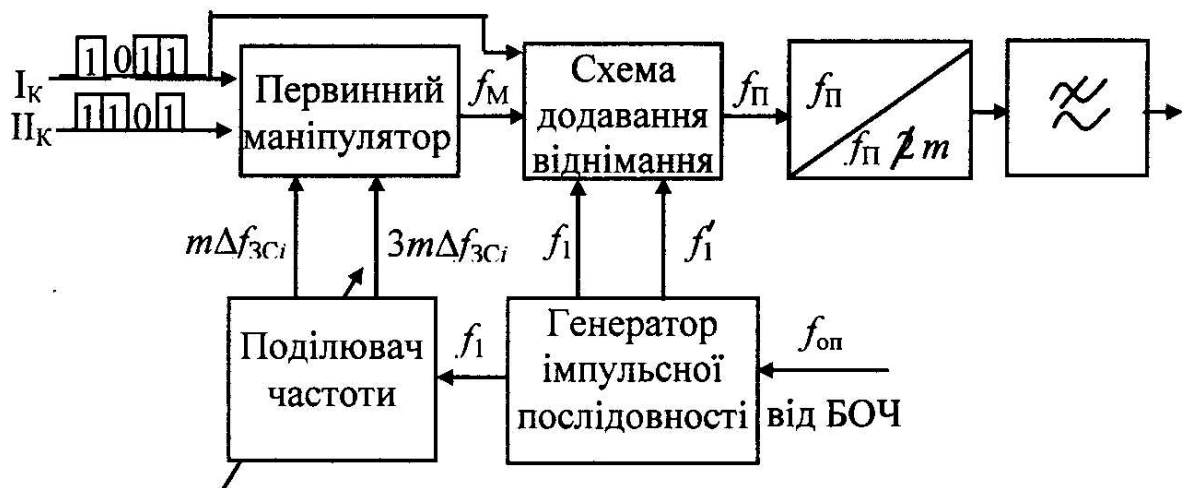


Рис. 6

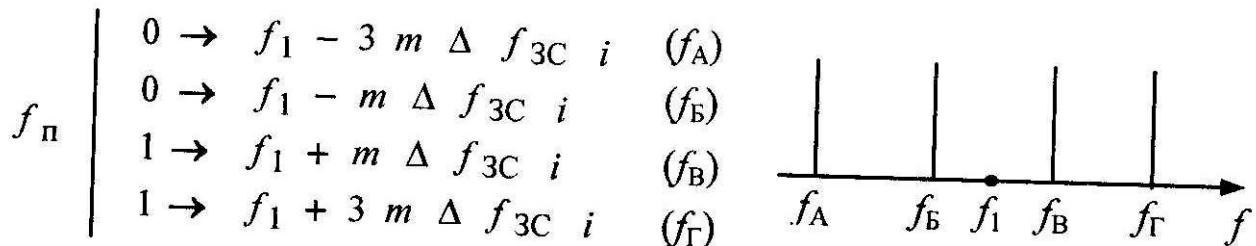
Коливання опорної частоти $f_{оп}$ перетворюється в імпульсні послідовності f_1 та f_1' , яка затримана відносно f_1 . Шляхом ділення частоти f_1 формуються дві імпульсні послідовності з частотами $m \Delta f_{3Ci}$ і $3m \Delta f_{3Ci}$ (m – постійне число).

Різні частотні зсуви Δf_{3Ci} отримуються зміною коефіцієнта ділення.

В первинному маніпуляторі здійснюється маніпуляція цими частотами за допомогою первинних сигналів за наступним правилом.

Частоти f_m, f_1, f_1' використовуються для формування первинного частотно-маніпульованого сигналу в схемі додавання – віднімання. Крім цих частот на схему Д.В. подаються імпульси телеграфного сигналу першого каналу, під дією якого, на виході формуються сигнали первинног частотно-маніпульованого сигналу за правилом.

I к	II к	f_M
0	0	$3 m \Delta f_{3Ci}$
0	1	$m \Delta f_{3Ci}$
1	0	$m \Delta f_{3Ci}$
1	1	$3 m \Delta f_{3Ci}$



Операція додавання – віднімання не є операцією отримання сумарної або різносної частоти в звичайних перетворювачах.

Принцип роботи схеми додавання – віднімання заключається в наступному. На схему подаються дві імпульсні послідовності частоти f_1 , які зсунуті в часі відносно одна до одної одночасно на схему подаються імпульси частоти

$m \Delta f_{3Ci}$ або $3 m \Delta f_{3Ci}$. Якщо на інформаційний вхід схеми діє символ 0, то в час приходу імпульсу частоти $m \Delta f_{3Ci}$

($3 m \Delta f_{3Ci}$) внаслідок взаємодії останнього з черговим імпульсом однієї з послідовностей f_1 стирається поточний імпульс другої послідовності f_1 , яка використовується як вихідна.

Якщо на інформаційний вхід діє символ 1, то в час приходу імпульсу частоти $m \Delta f_{3Ci}$ ($3 m \Delta f_{3Ci}$) відбувається перезапис імпульсу з першої послідовності f_1 до другої — вихідної.

Таким чином, кількість імпульсів, які надійшли до виходу схеми за час подовженості елемента сигналу T , буде визначатися різницею частот $f_1 - m \Delta f_{3C}$

i або $f_1 - 3m \Delta f_{3Ci}$ при дії символу 0 і сумою $f_1 + m \Delta f_{3Ci}$ або $f_1 + 3m \Delta f_{3Ci}$ при дії символу 1.

Після ділення послідовності f_{Π} в $2m$ разів будуть отримані робочі частоти маніпуляції відповідно виразу (5). Фільтр нижніх частот на виході схеми перетворює імпульсні послідовності в синусоїдні коливання.

2. Формування фазоманіпульованих сигналів

Радіосигнали з фазовою маніпуляцією несучого коливання є вузькосмуговими завадостійкими сигналами. Інформаційним параметром такого сигналу є поточна фаза в.ч. коливання, яка змінюється стрибком за законом первинного сигналу. Спектр сигналу подібний спектру частотно-маніпульованого сигналу з розривом фази, або амплітудно-маніпульованого сигналу. Але при стрибку фази на 180° в ньому відсутня несуча частота. Практичне застосування знайшли сигнали з відносною фазовою маніпуляцією (ВФМ), в яких інформація про стрибок фази міститься в різниці фаз поточної і попередньої телеграфних посилок. В бінарній системі ВФМ різниця фаз коливань поточного і попереднього елементів сигналу приймають значення "0" і "180°". Алгоритм зміни фази можливо записати у вигляді різниці фаз попередньої $(n - 1)$ і наступної $(n - \text{й})$ посилок

$$\Delta \varphi = \varphi_n - \varphi_{n-1} = n_i \pi, \quad (6)$$

$$n_i = \begin{cases} 1 - \text{при передачі кожної "1"} \\ 0 - \text{при передачі кожного "0"} \end{cases}$$

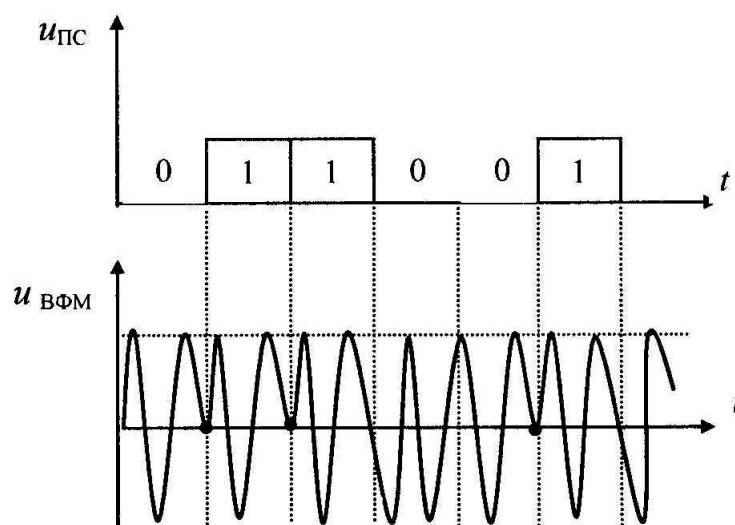


Рис. 7

З алгоритму (6) і **рис.7** видно, що закон зміни фази ОФМ сигналу не відповідає закону зміни первинного телеграфного сигналу (фаза змінюється при передачі одиниць і не змінюється при переході від “1” до “0”). Тому для отримання алгоритму (6) первинний сигнал перекодується в сигнали Q_1 і Q_2 (**рис. 8, 9**). Перекодованим сигналом здійснюється маніпуляція несучого коливання по фазі.

Фільтри нижніх частот, які включені в ланцюги перекодованого сигналу Q_1 і Q_2 , округлюють форму імпульсів, за рахунок чого усувається розширення спектра маніпульованого сигналу.

На **рис. 9** зображено процес формування ВФМ сигналу за правилом: фаза в.ч. коливання змінюється на 180° при кожному переході на «0» (нарисну показані лише перші на півперіоди в. ч. коливань).

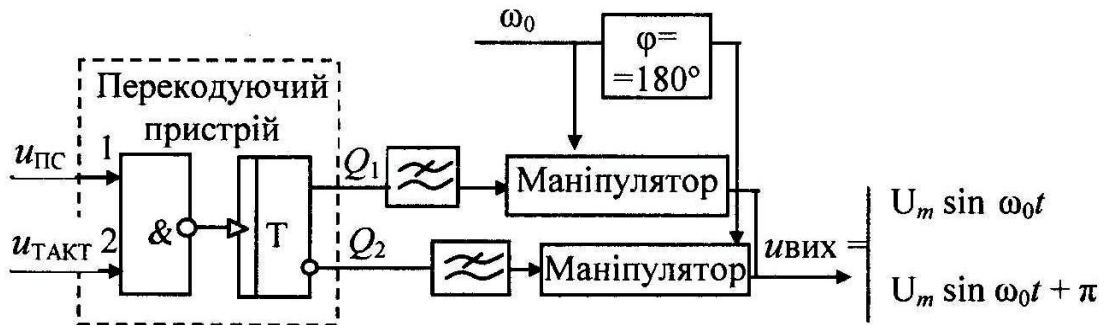


Рис. 8

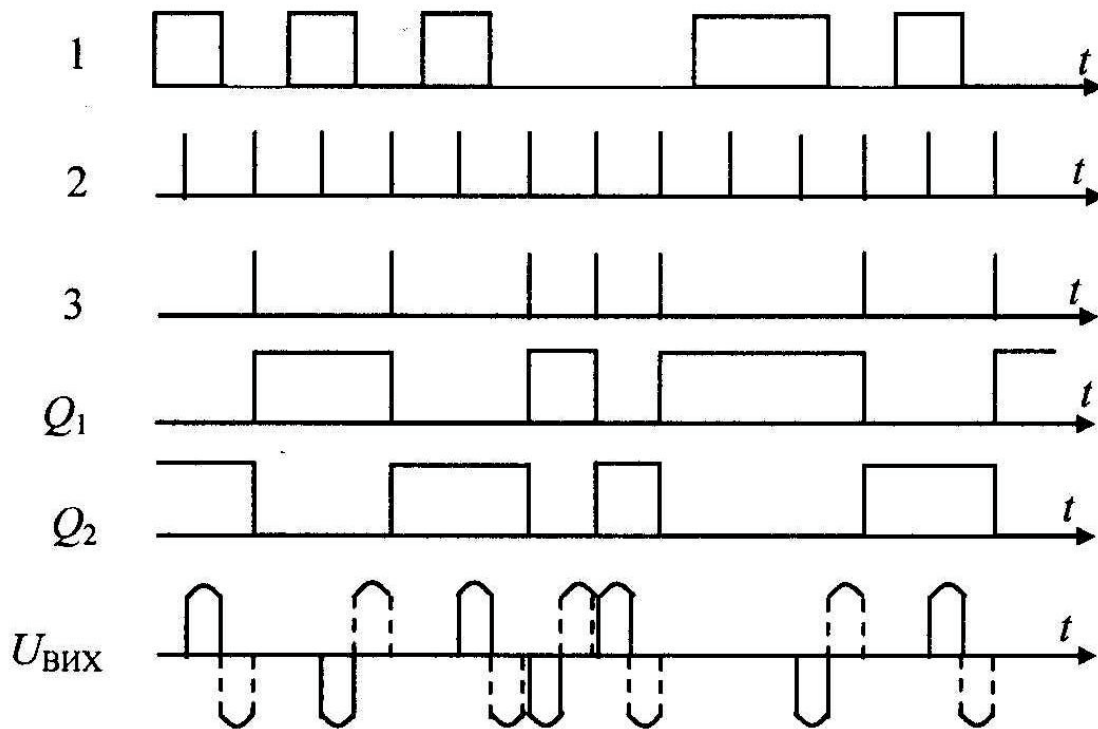


Рис. 9

3. Формування амплітудно-маніпульованих коливань

Радіосигнали з амплітудною маніпуляцією (вид випромінювання АЗА) використовуються в радіозв'язку для передачі повідомлень кодом "Морзе". Передача здійснюється телеграфним ключем або автоматичним датчиком коду "Морзе" зі швидкістю 20 - 25 Бод. При такій швидкості сигнал АЗА є самим вузькосмуговим.

Сигнал АЗА - сигнал з пасивною паузою. Тому його формування здійснюється шляхом запирання передавача при передачі "0" і відпирання при передачі "1". Це робиться, як правило, в збуджувачі у ланцюгах формування незатухаючих коливань. З метою звуження спектра сигналу імпульси маніпуляції округлюються, наприклад, за допомогою ФНЧ (рис. 10).

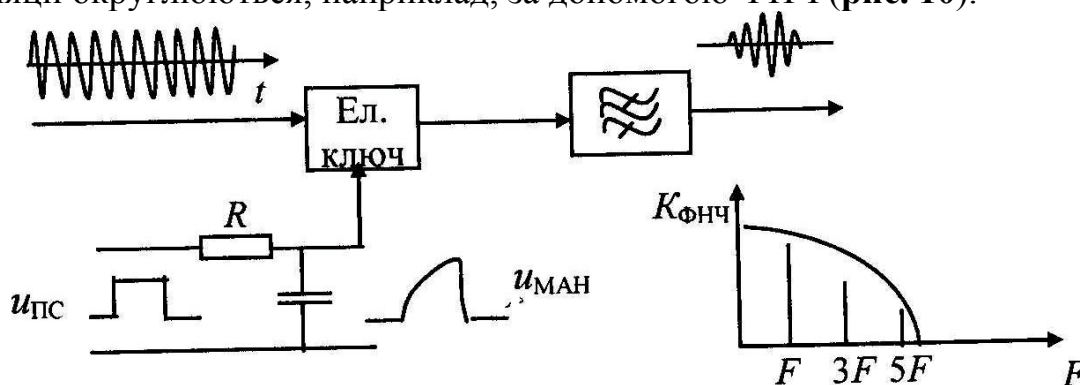


Рис. 10

Питання для власного контролю та повторення

1. Які основні вимоги пред'являються до збуджувачів радіопередавачів?
2. Як реалізується формування сигналів ЧТ без розриву фази?
3. Чому при маніпуляції кварцового автогенератора потрібна висока частота його коливань?
4. Недоліки способу формування ЧТ сигналів без розриву фази?
5. Як усувається розрив фази при синтезованому способі формування ЧТ сигналів?
6. Чому в радіозв'язку застосовуються сигнали не з фазовою а відносно-фазовою маніпуляцією?
7. Для чого округлюються імпульси первинного телеграфного сигналу?