

Лекція 8 ФОРМУВАННЯ БЕЗПЕРЕРВНИХ РАДІОСИГНАЛІВ

1.Формування сигналів з односмуговою модуляцією

Односмугові радіосигнали (клас випромінювань НЗЕ, RЗЕ, ІЗЕ) широко використовуються у КХ діапазоні. Їх перевагами є відносно вузька смуга частот, яку займає сигнал, а також більш ефективне використання потужності радіопередавача.

При односмуговій модуляції здійснюється лінійний перенос спектра первинного сигналу на більш високу частоту - частоту формування сигналів в збуджувачі радіопередавача. Цей перенос досягається методом частотного перетворення. Тому сформований радіосигнал може мати як прямий, так і зворотній (інвертований) спектр (рис. 1).

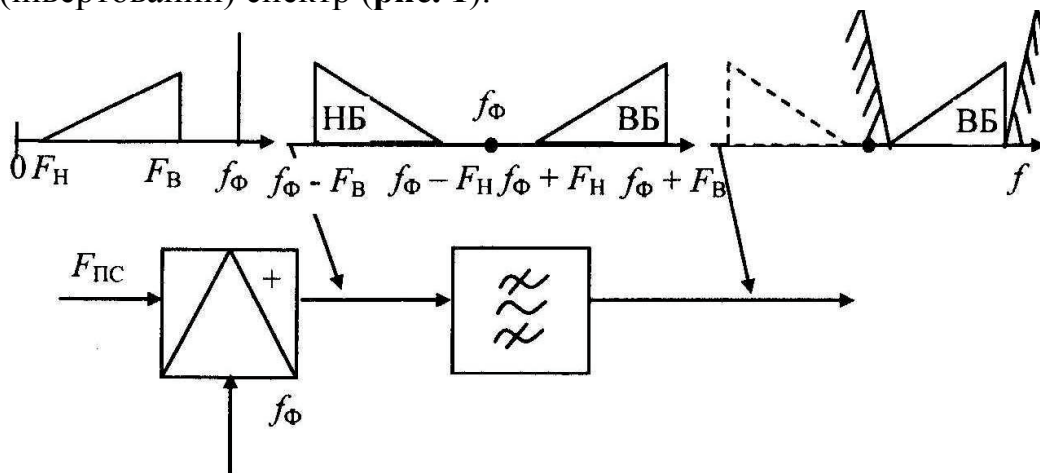


Рис.1

За структурою односмугові сигнали (ОСС) подібні структурі сигналу з амплітудною модуляцією і відрізняються лише рівнем несучого коливання (Н – 70%; R – 20%; І – 3%). Тому неінвертований сигнал називають сигналом на верхній бічній смузі, а інвертований – на нижній бічній смузі.

З декількох способів формування односмугових сигналів найбільш широко використовується фільтровий спосіб. Він реалізується шляхом виділення з допомогою фільтра однієї з бічних смуг амплітудно-модульованого сигналу.

В якості модулятора в тракті формування ОСС використовується балансний модулятор (балансний змішувач), в якому первинний сигнал $F_{\text{пс}}$ переноситься на частоту формування f_{ϕ} . На виході модулятора присутні лише бічні смуги сформованого сигналу, одна з яких виділяється смуговим фільтром.

До тракту формування ОСС пред'являються дві найважливіші вимоги:

1. Висока міра придушення коливання частоти формування і бічної смуги, яка не використовується.

2. Висока стабільність частоти формування.

Розглянемо шляхи виконання першої вимоги. Трудність придушення бічної смуги, яка не використовується, складається в тому, що смуга фільтрації бічних смуг вельми вузька. При стандартному телефонному сигналі, в якій

$F_H = F_{\text{мін}} = 300$ Гц і $F_B = F_{\text{макс}} = 3400$ Гц в сформованому ОСС смуга фільтрації ΔF_ϕ складає лише 600 Гц (рис. 2).

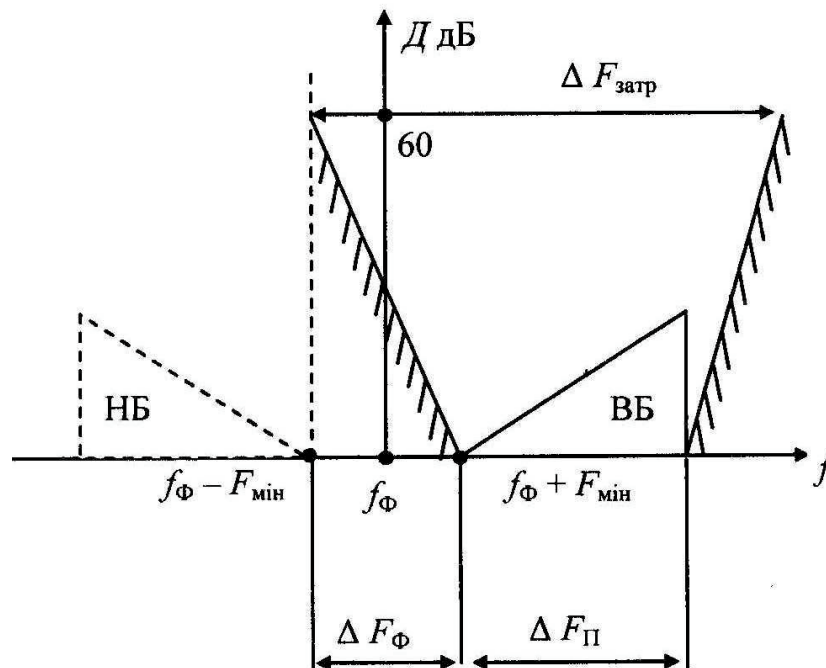


Рис. 2

Сучасні вимоги до ослаблення в смузі затримки складають не менше 60 дБ. Тому стрімкість спаду характеристики фільтру повинна бути

$$S = \frac{D(\text{дБ})}{\Delta F_\phi(\text{Гц})} \geq \frac{60}{600} = 0,1 \text{ дБ/Гц}.$$

Такі вимоги можуть задовольняти порівняльно низькочастотні кварцові, або електромеханічні фільтри. Тому частота формування ОСС береться не дуже високою (порядку 100 кГц). Якщо однократне формування ОСС не задовольняє вимоги по ослабленню другої бічної смуги, то застосовується багатократний перенос сформованого сигналу на більш високі частоти. При цьому збільшується смуга фільтрації і вимоги до фільтрів бічної смуги полегшуються.

Вимога до стабільності частоти формування впливає в зв'язку з методом прийому ОСС. В приймачі демодуляція ОСС здійснюється методом зворотного лінійного переносу сигналу з допомогою відтвореної несучої частоти. При цьому нестабільність частот несучої передавача і відтвореної несучої може викликати таке розходження їх частот, при якому виникнуть недопустимі спотворення сигналу на виході приймача. Це явище називають **асинхронізмом**.

Експериментально встановлено, що величина асинхронізму в радіолінії при передачі ОСС не повинна перевищувати:

- при передачі телефонних повідомлень з високою якістю відтворення $\Delta f_{\text{Ас}} = (30 \dots 50)$ Гц;
- при задовільній розбірливості мови $\Delta f_{\text{Ас}} = (100 \dots 250)$ Гц;
- в односмугоєвих каналах, в яких утворюються декілька телеграфних каналів $\Delta f_{\text{Ас}} = 6 \dots 12$ Гц.

Оскільки Δf_{Ac} залежить від нестабільності сигналу передавача і відтвореної несучої в приймачі, то можливо визначити вимоги до нестабільності частоти передавача припускаючи що

$$\Delta f_{Пер} = \Delta f_{Пр}; \quad \Delta f_{Ac} = \Delta f_{Пер} + \Delta f_{Пр} = 2 \Delta f_{Пер}.$$

Тоді
$$\Delta f_{Пер} = \Delta f_{Ac} / 2.$$

Приклад:

Радіопередавач КХ діапазону $f_{МІН} = 1,5$ мГц і $f_{МАКС} = 30$ мГц, $\Delta f_{Ac} = (6...12)$ Гц; $\Delta f_{Пер} = (3...6)$ Гц.

Відносна стабільність

$$\delta_{Пер} = \frac{\Delta f_{Пер}}{f_{макс}} = \frac{3...6}{30 \cdot 10^6} = (1...2)10^{-7}.$$

Таку нестабільність повинна мати і частота формування ОСС f_{ϕ} тому, що при подальшому переносі ОСС у діапазон робочих частот її нестабільність не змінюється.

З метою підвищення ефективності використання потужності радіопередавача сформований ОСС обмежують по амплітуді - знижують його пікфактор. Пікфактор – це відношення максимального (пікового) значення напруги сигналу до його ефективного значення

$$P = (u_{ОСС макс}) / (u_{ОСС макс})$$

Пікфактор мовного сигналу лежить в межах 3,3...4,2, тому при відсутності його обмеження середня потужність передавача буде в 11... 18 разів нижче пікової.

Експериментально встановлено, що обмеження ОСС на глибину 12...15 дБ суттєво не впливає на розбірливість повідомлення. Амплітудне обмеження ОСС називають кліпіруванням. Структурна схема тракту формування ОСС з кліпіруванням наведена на **рис. 3**.

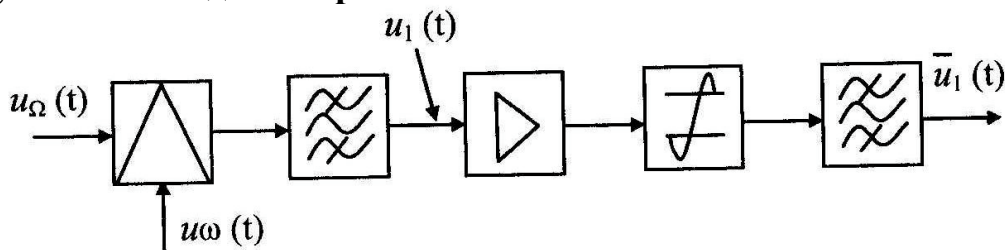


Рис. 3

В збуджувачах радіопередавачів, як правило, передбачається формування ОСС як верхньої, так і нижньої бічних смуг. Крім того, для роботи з різними рівнями несучої (пілот - сигналом) до сформованого ОСС додаються коливання несучої частоти. Структурна схема тракту формування ОСС з додаванням несучої і переносом сигналу в робочий діапазон зображена на **рис. 4**.

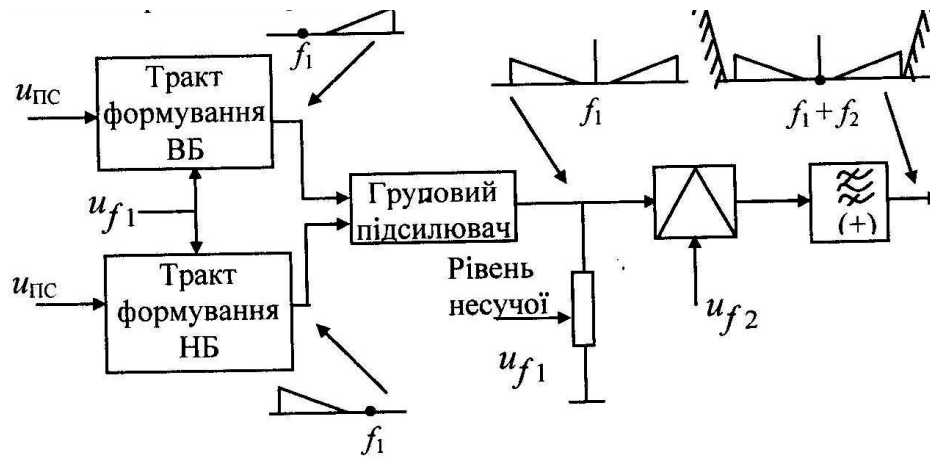


Рис. 4

2. Формування сигналів з частотною модуляцією

2.1. Вимоги до модуляторів ЧМ сигналів

Сигнали з частотною модуляцією (клас випромінювань F3E) широко використовуються у діапазоні УКХ. Їх перевагою є постійність амплітуди в.ч. коливань, що дозволяє ефективно використовувати потужність передавача. Крім цього, можливість використання амплітудного обмеження сигналу в радіоприймачі дозволяє отримати вигоду в завадостійкості прийому.

В ЧМ сигналі за законом модулюючої напруги змінюється миттєва частота несучих коливань. Так при модуляції гармонічною напругою $u(t) = U_{\Omega} \cos \Omega t$ коливання з частотою ω_0 миттєве значення напруги модульованого коливання буде

$$u(t)_{\text{ЧМ}} = U_0 \cos \left(\omega_0 t + k \frac{U_{\Omega}}{\Omega} \sin \Omega t \right),$$

де $k U_{\Omega} = \Delta \omega_m$ – амплітуда девіації частоти;

$$\frac{\Delta \omega_m}{\Omega} = m_{\text{ЧМ}} \text{ – індекс частотної модуляції.}$$

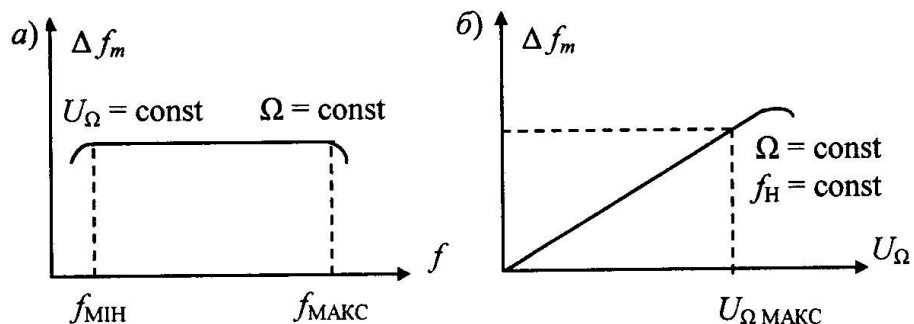


Рис. 5

При формуванні ЧМ сигналів до модуляторів пред'являються наступні основні вимоги:

1. Висока стабільність середньої (несучої) частоти модульованих коливань.

2. Постійність девіації частоти при роботі передавача у діапазоні частот (рис. 5, а).

3. Лінійність модуляційної характеристики (рис. 5, б).

4. Відсутність паразитної амплітудної модуляції.

Крім розглянутих вимог в модуляторах ЧМ сигналів повинен бути передбачений підйом характеристики залежності девіації частоти від частоти модулюючого сигналу (рис. 6).

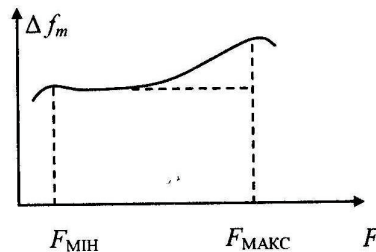


Рис. 6

Це пояснюється тим, що інтенсивність складових спектра мовного сигналу зменшується з ростом частоти, тобто зменшується індекс частотної модуляції

$$m_{\text{ЧМ}} = \frac{\kappa U \Omega}{\Omega}$$

Це призводить до зменшення завадостійкості прийому.

Штучне збільшення девіації на верхніх частотах мовного сигналу називають передспотворенням.

2.1. Способи формування ЧМ сигналів

Існують декілька способів здійснення частотної модуляції. Практичне застосування знайшли:

- прямі способи – зміною частоти коливань автогенератора;
- непрямі способи – зміною фази коливань частоти формування сигналу.

В подальшому будуть розглянуті лише прямі способи.

Найбільше застосування знайшов спосіб модуляції коливань автогенератора шляхом зміни частоти його коливального контуру з допомогою варікапа, який управляється модулюючим сигналом.

Варікап являє собою ємність запертогоР-П переходу, яка включається безпосередньо в контур автогенератора. Початкова ємність варікапу C_B визначається напругою зсуву, якою обирається робоча точка на вольтфарадній характеристиці (рис. 7).

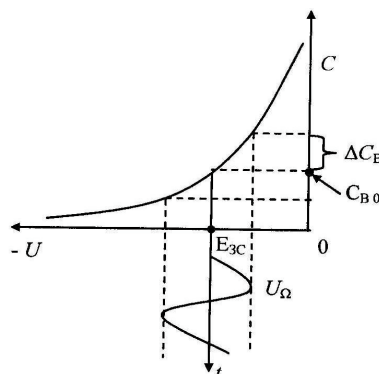


Рис. 7

Ця ємність входить в еквівалентну ємність контуру C_K . Під дією модулюючої напруги U_Ω ємність варикапу змінюється на $\pm \Delta C_B$. Якщо автогенератор працює на одній частоті і його коливальний контур настроєний на частоту

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_K C_K}},$$

то можливо довести, що при модуляції в контур вноситься змінна ємність $\Delta C = p^2 \Delta C_B$, яка викликає девіацію частоти

$$|\Delta \omega_m| = \frac{1}{2} \frac{\Delta C}{C_K} = \frac{1}{2} p^2 \frac{\Delta C_B}{C_K}. \quad (1)$$

У виразі (1) величина p – є коефіцієнтом включення (зв'язку) варикапа в коливальний контур.

Згідно виразу (1) величина девіації частоти $\Delta \omega_m$ залежить від співвідношення $\frac{\Delta C_B}{C_K}$. При роботі в діапазоні частот і перестройці

контура автогенератора ємністю величина C_K буде змінюватися, буде змінюватися і $\Delta \omega_m$.

Характер зміни $\Delta \omega$ від частоти настройки контура буде різним в залежності від способу включення варикапа (рис. 8).

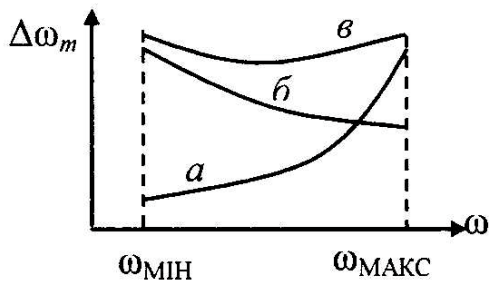


Рис. 8

пів (рис. 9). При цьому можливо досягти відхилення девіації частоти, яке не перебільшує 10% при коефіцієнті перекриття діапазону

$$\frac{\omega_{\text{макс}}}{\omega_{\text{мін}}} = 2.$$

При паралельному підключенні варикапа до контура автогенератора (рис. 8, а) зі збільшенням робочої частоти девіація зростає; при послідовному включенні в контур (рис. 8, б) $\Delta \omega_m$ зменшується. Для вирівнювання величини $\Delta \omega_m$ у діапазоні частот (рис. 8, в) застосовується комбіноване включення варикапів

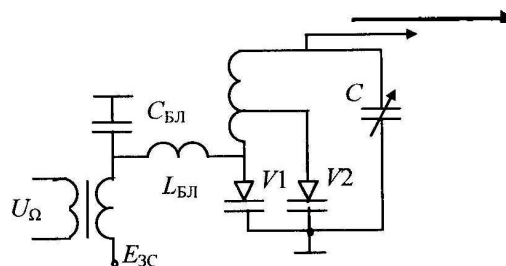


Рис. 9

Частотна модуляція генератора, який працює безпосередньо на робочій частоті збуджувача, завжди пов'язана з погіршенням стабільності частоти передавача. Це пояснюється тим, що внаслідок не- лінійності вольтфарадної характеристики варіапу під дією модулюючої напруги буде змінюватись величина $C_{в0}$. Для зменшення впливу цього фактора застосовують частотну модуляцію в кварцовому автогенераторі, як це робиться при формуванні сигналів ЧТ. Але це не є кардинальним вирішенням проблеми. Тому при високих вимогах до стабільності частоти вихідних коливань збуджувача генератор, що модулюється, і генератор вихідних коливань збуджувача різні. Причому генератор вихідних коливань стабілізується з допомогою системи ФАПЧ по стабільному опорному коливанню. В якості прикладу розглянемо структурну схему збуджувача метрового діапазону хвиль, яка приведена на рис. 10.

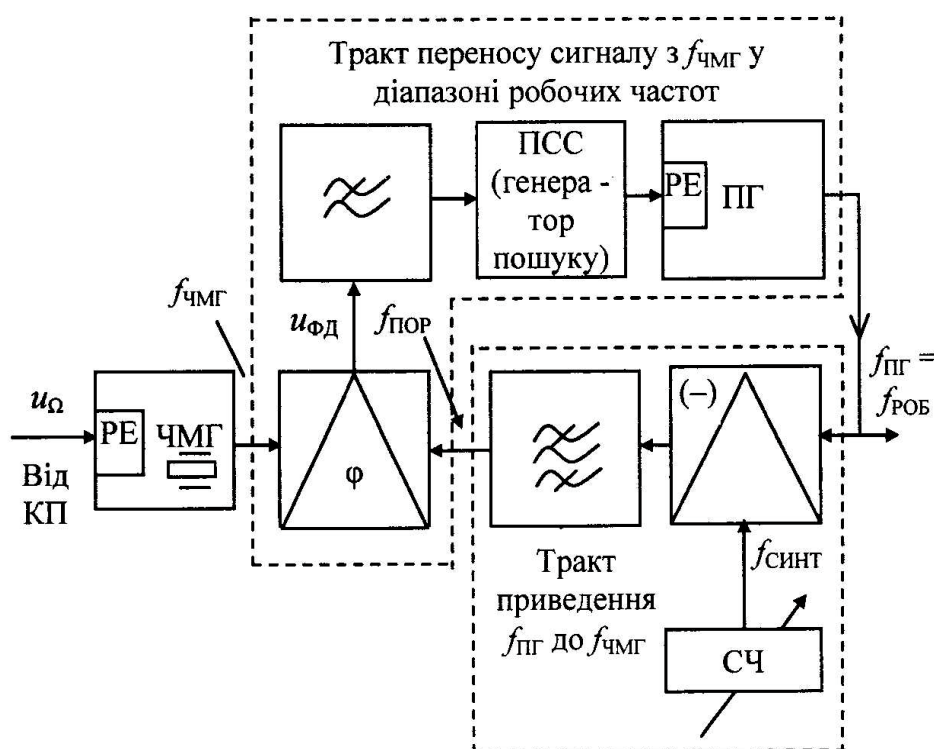


Рис. 10

Частотно-модульований сигнал формується шляхом модуляції частоти кварцового автогенератора (ЧМГ), який одночасно є опорним генератором в системі ФАПЧ генератора вихідних коливань збуджувача. Діапазон робочих частот визначається діапазоном сітки частот синтезатора, а крок дискретності $f_{РОБ}$ – кроком дискретності $f_{СИНТ}$.

Джерелом вихідних коливань збуджувача є генератор, що перестроюється (ПГ). Його частота синхронізується коливаннями сітки частот від синтезатора. Для цього частота $f_{ПГ}$ в тракті приведення перетворюється в частоту $f_{ПОР}$, яка є частотою порівняння у фазовому детекторі з частотою $f_{ЧМГ}$

$$f_{ЧМГ} = f_{ПГ} - f_{СИНТ} = f_{ПОР}$$

або

(2)

$$f_{\text{ЧМГ}} = f_{\text{СИНТ}} - f_{\text{ПГ}} = f_{\text{ПОР}}.$$

Якщо $f_{\text{ПОР}}$ не дорівнює $f_{\text{ЧМГ}}$ НА ВИХОДІ Ф.Д. буде напруга, яка пропорційна різниці фаз коливань і ПГ перетворюється доки не будуть виконуватись рівняння (2).

З рівняння (2) випливає

$$f_{\text{ПГ}} = f_{\text{РОБ}} = f_{\text{СИНТ}} + f_{\text{ЧМГ}}$$

або

(3)

$$f_{\text{ПГ}} = f_{\text{РОБ}} = f_{\text{СИНТ}} - f_{\text{ЧМГ}},$$

тобто нестабільність $f_{\text{РОБ}}$ у режимі синхронізації визначається як нестабільністю коливань синтезатора $f_{\text{СИНТ}}$ так і ЧМГ – $f_{\text{ЧМГ}}$. Тому коливання як того так і другого стабілізовані кварцовими резонаторами.

Сітка частот $f_{\text{РОБ}}$ повністю визначається сіткою частот синтезатора, тобто діапазон робочих частот визначається діапазоном сітки частот синтезатора, а крок дискретності $f_{\text{РОБ}}$ – кроком дискретності $f_{\text{СИНТ}}$.

Генератор пошуку необхідний для швидкої перестройки ПГ коли $f_{\text{ПОР}}$ знаходиться поза смугою захвату кільця ФАПЧ. При захваті $f_{\text{ПОР}}$ генератор переводиться в режим підсилювача сталого струму (ПСС).

За наявності модулюючого коливання $I_{\text{П}}$ частота $f_{\text{ЧМГ}}$ буде змінюватися, буде змінюватися і амплітуда напруги на виході Ф.Д – $u_{\text{фд}}$, що, в свою чергу, приведе до частотної модуляції ПГ. Смуга пропускання фільтра нижчих частот будується таким чином, щоб система ФАПЧ не відстежувала зміну частоти $f_{\text{РОБ}}$ за рахунок модуляції.

Питання для власного контролю та повторення

1. В чому є сутність формування ОСС фільтровим способом, які труднощі мають місце при цьому?
2. Що таке асинхронізм і чим він обумовлений в лініях радіозв'язку?
3. Чому кліпірування ОСС одно смугового сигналу здійснюють після його формування?
4. Як формуються сигнали АЗЕ в тракці формування ОСС?
5. Навіщо в модуляторі ЧМ сигналу здійснюється передспот-ворення?
6. Навіщо в схемі **рис. 9** використовується два варікапа?
7. Який загальний недолік формування ЧМ сигналів прямим способом?