

**ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНІКИ ТА
ЗВ'ЯЗКУ**

Кафедра «Транспортний зв'язок»

О.В. Єлізаренко, А.О. Єлізаренко

МОДУЛЯТОРИ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

***„КАНАЛОУТВОРЮЮЧІ ПРИСТРОЇ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ”***

Частина 2

Харків 2011

УДК 656.25

Єлізаренко О.В., Єлізаренко А.О. Модулятори: Конспект лекцій з дисципліни „Каналоутворюючі пристрої телекомунікацій”. Частина 2. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. - 30 с.

Містить короткий виклад лекційних матеріалів з основних технічних характеристик та параметрів, принципів побудови та схемотехнічної реалізації АМ, ЧМ і ФМ модуляторів.

Рекомендується для студентів факультету АТЗ, які вивчають дисципліну „Каналоутворюючі пристрої телекомунікацій”, та може бути корисним при вивчанні відповідних розділів дисципліни „Технічні засоби автоматизації”.

Іл. 30, бібліогр.: 6 назв.

Конспект лекцій розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри „Транспортний зв’язок” 8 вересня 2010 року, протокол № 1.

Рецензент:

проф. О.П. Батаєв

О.В. Єлізаренко, А.О. Єлізаренко

МОДУЛЯТОРИ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

*„КАНАЛОУТВОРЮЮЧІ ПРИСТРОЇ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ”*

Частина 2

Відповідальний за випуск Єлізаренко О.В.

Редактор Решетилова В.В.

Підписано до друку 02.11.10 р.

Формат паперу 60x84 1/16 . Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 1,75. Тираж 100. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту
61050, Харків - 50, майдан Фейєрбаха, 7
Свідцтво суб’єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

**УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ**

**ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНІКИ ТА
ЗВ'ЯЗКУ**

Кафедра „Транспортний зв'язок”

**О.В.Єлізаренко
А.О.Єлізаренко**

МОДУЛЯТОРИ

Конспект лекцій

з дисципліни „Каналоутворюючі пристрої телекомунікацій”

Частина 2

Харків 2011

УДК 656.25

О.В.Єлізаренко, А.О.Єлізаренко. Модулятори. Конспект лекцій з дисципліни „Каналоутворюючі пристрої телекомунікацій”. Частина 2. –Харків: УкрДАЗТ, 2011. - 28 с.

Містить короткий виклад лекційних матеріалів з основних технічних характеристик та параметрів, принципів побудови та схемотехнічної реалізації АМ, ЧМ і ФМ модуляторів.

Рекомендується для студентів факультету АТЗ, які вивчають дисципліну „Каналоутворюючі пристрої телекомунікацій”, та може бути корисним при вивчанні відповідних розділів дисципліни „Технічні засоби автоматизації”.

Іл. 30, бібліогр.: 6 назв.

Конспект лекцій розглянуто і рекомендовано до дурку на засіданні кафедри „Транспортний зв’язок” 8 вересня 2010 року, протокол № 1.

Рецензент:

професор Батаєв О.П.

ЗМІСТ

Вступ	4
4 Модулятори	5
4.1 Амплітудні модулятори	5
4.1.1 Загальні відомості	5
4.1.2 Схеми амплітудних модуляторів	8
4.1.3 Передача однієї бічної смуги частот	12
Контрольні питання	14
4.2 Частотні і фазові модулятори	14
4.2.1 Загальні відомості	14
4.2.2 Принципи побудови модуляторів	19
4.2.3 Керовані реактивні елементи	21
Контрольні питання	25
5 Ескізне проектування передавальних пристроїв	26
Список літератури	30

ВСТУП

Конспект лекцій призначений для самостійної роботи при вивченні дисципліни „Каналоутворювальні пристрої телекомунікацій” і охоплює матеріал другої частини курсу з принципів побудови та основних технічних характеристик модуляторів передавальних пристроїв.

Техніка передачі інформації є одним із основних компонентів сучасних систем управління, в тому числі автоматизованих, і набуває особливого значення на залізничному транспорті з його розподіленою на великі відстані інфраструктурою. Тому матеріали посібника будуть корисними при вивченні відповідних розділів дисципліни „Технічні засоби автоматизації”.

Курс „Каналоутворювальні пристрої телекомунікацій” базується на знаннях, отриманих при вивченні фізики, електроніки і мікросхемотехніки, теорії електричних та магнітних кіл, теорії електричного зв'язку. При вивченні цієї частини дисципліни бажано попередньо ознайомитись з першою частиною конспекту лекцій [6].

У свою чергу, курс „Каналоутворювальні пристрої телекомунікацій” є базовим для вивчення дисциплін: „Радіотехнічні системи залізничного транспорту”, „Системи зв'язку з рухомими об'єктами”, „Системи передачі в електрозв'язку”, „Оперативно-технологічний зв'язок на залізничному транспорті”.

Вивчення в лекційному курсі теоретичних основ технічних засобів телекомунікацій доповнюється лабораторними роботами, мета яких – ознайомлення з методами досліджень і характеристиками типових елементів каналоутворювальних пристроїв телекомунікацій.

Метою практичних занять є набуття практичних навичок виконання інженерних розрахунків основних функціональних елементів каналоутворювальних пристроїв телекомунікацій.

Основи проектування та розрахунку елементів каналоутворювальних пристроїв засвоюються студентами при виконанні курсової роботи.

Матеріали конспекту лекцій враховують досвід і практику викладання дисципліни на кафедрі „Транспортний зв’язок” і забезпечують підготовку до виконання лабораторних і практичних завдань та тестового контролю знань.

4 МОДУЛЯТОРИ

4.1 Амплітудні модулятори

4.1.1 Загальні відомості

Модуляція – процес зміни одного або декількох параметрів несучого коливання відповідно до змін миттєвого значення сигналу, що передається.

Несуче коливання – це високочастотне електромагнітне коливання, призначене для отримання модульованого сигналу електрозв’язку.

Розрізняють значну кількість видів модуляції.

Амплітудною модуляцією називають такий вид модуляції, при якій амплітуда несучого коливання U_n з частотою ω змінюється пропорційно миттєвим значенням передаваного сигналу з частотою Ω .

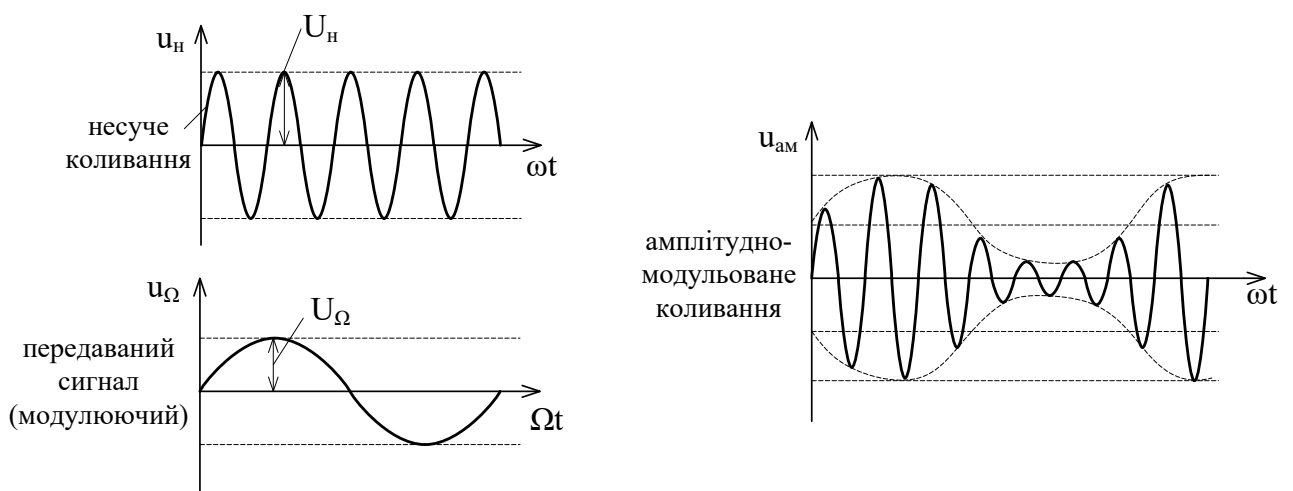


Рисунок 4.1 – Діаграми сигналів при амплітудній модуляції

Амплітудно-модульовані коливання (АМ) можна розглядати як коливання з частотою ω , у якого амплітуда змінюється з частотою Ω :

$$u_{\text{ам}} = (U_{\text{н}} + U_{\Omega} \cos \Omega t) \cos \omega t. \quad (4.1)$$

1) З аналізу графіків виходить, що частота несучого коливання істотно вище частоти передаваного сигналу $\omega \gg \Omega$.

Зазвичай $\omega > (8-10)\Omega$; або $f > (8-10)F$.

2) $U_{\text{н}} \geq U_{\Omega}$, а коефіцієнт модуляції m може змінюватися від 0 до 100 %.

$$m = \frac{U_{\Omega}}{U_{\text{н}}} \rightarrow \text{від } 0 \text{ до } 1 \text{ або [від } 0 \text{ до } 100\%].$$

3) $m = \frac{U_{\Omega}}{U_{\text{н}}}$ – залежить від U_{Ω} і не повинен залежати від частоти модулюючого сигналу Ω .

З урахуванням добутку \cos у формулі (4.1) модульовані коливання можна розглядати як

$$u_{\text{ам}} = U_{\text{н}} \cos \omega t + \frac{1}{2} m U_{\text{н}} \cos(\omega + \Omega)t + \frac{1}{2} m U_{\text{н}} \cos(\omega - \Omega)t \quad (4.2)$$

суму трьох коливань: несучої частоти ($U_{\text{н}} \cos \omega t$), верхньої бічної частоти ($\omega + \Omega$) і нижньої бічної частоти ($\omega - \Omega$).

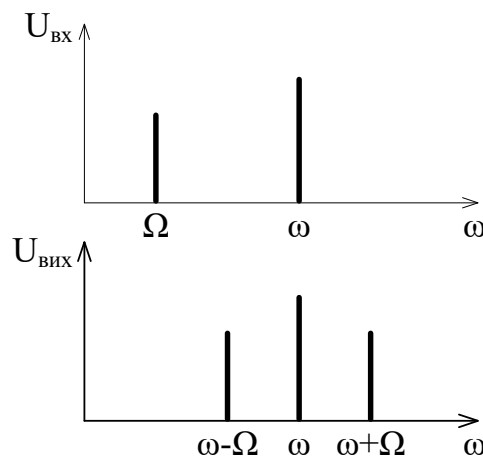


Рисунок 4.2 – Спектральний склад коливань при амплітудній модуляції

Таким чином, спектр коливань на виході амплітудного модулятора відрізняється від спектра коливань на вході, тому АМ може здійснюватися тільки в нелінійних колах.

У реальних системах електрозв'язку передають не окреме модулююче коливання, а певний спектр частот. Зазвичай спектр модулюючого коливання подають трикутником, де малий катет відповідає вищій частоті сигналу (рисунк 4.3).

Якщо в спектрі модульованого коливання вищій частоті відповідає вища частота модулюючого сигналу, то такий спектр називають прямим. Інакше спектр називають інверсним.

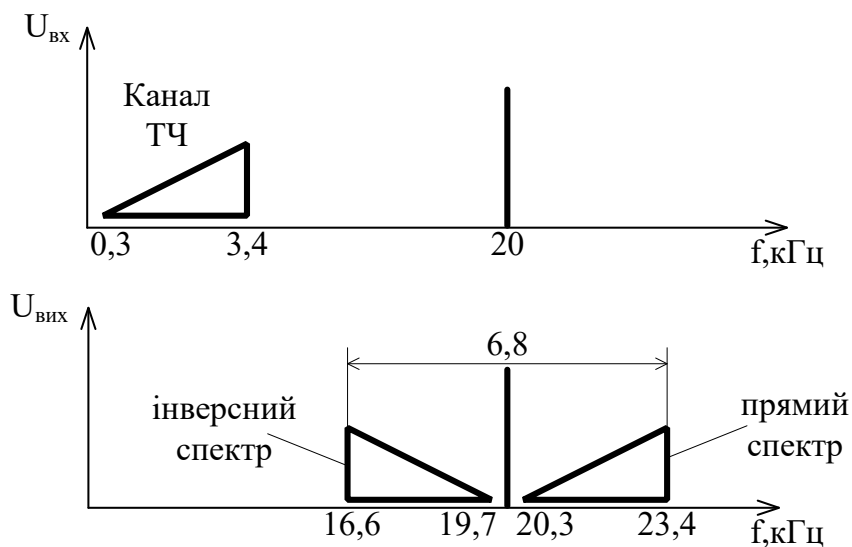


Рисунок 4.3 – Спектр АМ сигналу при передачі двох бічних смуг

Сигнал стандартного каналу ТЧ передається в смузі частот 0,3-3,4 кГц. В цьому випадку ширина спектра модульованого сигналу складе $2 \cdot F_{\text{max}} = 2 \cdot 3,4 = 6,8 \text{кГц}$, а рознесення бічних смуг – $2 \cdot F_{\text{min}} = 2 \cdot 0,3 = 0,6 \text{кГц}$.

Спектр сигналу у каналах звукового віщання I класу становить 0,05-15 кГц, тому ширина смуги частот модульованого коливання рівна $2 \cdot F_{\text{max}} = 2 \cdot 15 = 30 \text{кГц}$, а рознесення бічних смуг складає всього $2 \cdot F_{\text{min}} = 2 \cdot 0,05 = 0,1 \text{кГц}$.

4.1.2 Схеми амплітудних модуляторів

У радіотехнічних системах найбільшого поширення набули АМ модулятори на транзисторах за:

- базовою схемою модуляції із зміною напруги зміщення;
- колекторною схемою модуляції із зміною напруги живлення.

Схема модулятора на рисунку 4.4 є ГЗЗ з паралельним колекторним живленням і паралельною схемою зміщення від джерела E_6 . Але в коло бази модулятора, окрім зміщення E_6 і напруги несучого колювання $U_\omega \cos \omega t$, подається напруга модулюючого сигналу $U_\Omega \cos \Omega t$.

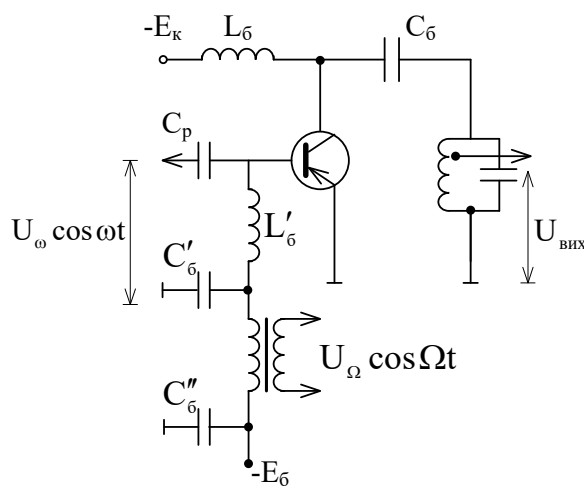


Рисунок 4.4 – Базова схема модулятора

$C'_6 \ll C''_6$ – це блокувальні елементи. C''_6 – створює шлях для струмів модулюючого сигналу низької частоти; C'_6 – створює шлях для струмів несучого сигналу, в обхід джерела напруги зміщення.

Пояснити роботу АМ можна з використанням прохідної характеристики транзистора.

У модуляторі встановлюють режим коливань II роду, оскільки схема повинна працювати в нелінійному режимі.

Під дією суми напруг, що подаються в коло бази, в колі колектора протікають імпульси струму, амплітуда і кут відсічення яких змінюється, оскільки змінюється напруга зміщення.

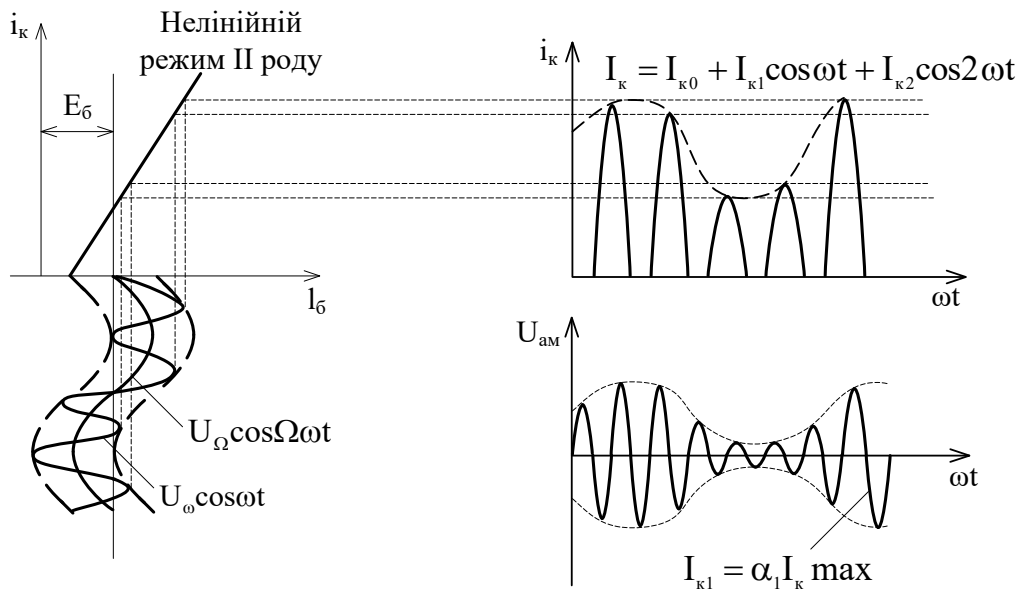


Рисунок 4.5 – Формування АМ коливань в базовій схемі модулятора

Періодична послідовність імпульсів колекторного струму містить суму складових

$$I_k = I_{k0} + I_{k1} \cos \omega t + I_{k2} \cos 2\omega t + \dots$$

На коливальному контурі в колекторному колі створює падіння напруги тільки струм першої гармоніки I_{k1} , на яку настроєний контур.

Амплітуда струму I_{k1} змінюється $I_{k1} = \alpha_1 I_{k \max}$, оскільки змінюється $I_{k \max}$ і кут відсічення. В результаті на контурі ми отримуємо коливання, що модулюються по амплітуді.

Умови роботи амплітудного модулятора можна оцінити за статичними (СМХ) і динамічними модуляційними характеристиками (ДМХ).

$$\text{СМХ: } U_{\text{вих}} = \varphi(E_6) \Big|_{U_{\text{вх}} = \text{const}}$$

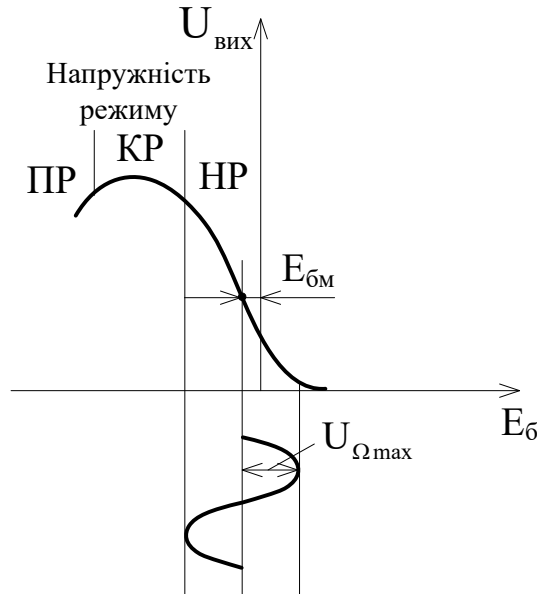


Рисунок 4.6 – Статична модуляційна характеристика при базовій схемі амплітудної модуляції

Базова схема модуляції працює в недонапруженому режимі (НР) в межах лінійної ділянки СМХ. Середня точка лінійної ділянки СМХ визначає початкову напругу зміщення $E_{бм}$. Межі лінійної ділянки визначають максимальну напругу модулюючого сигналу $U_{\Omega\max}$, при якій ще не буде спотворень.

Розрізняють ДМХ: амплітудну $m = \psi(U_{\Omega})$ і частотну $m = \psi(\Omega)$.

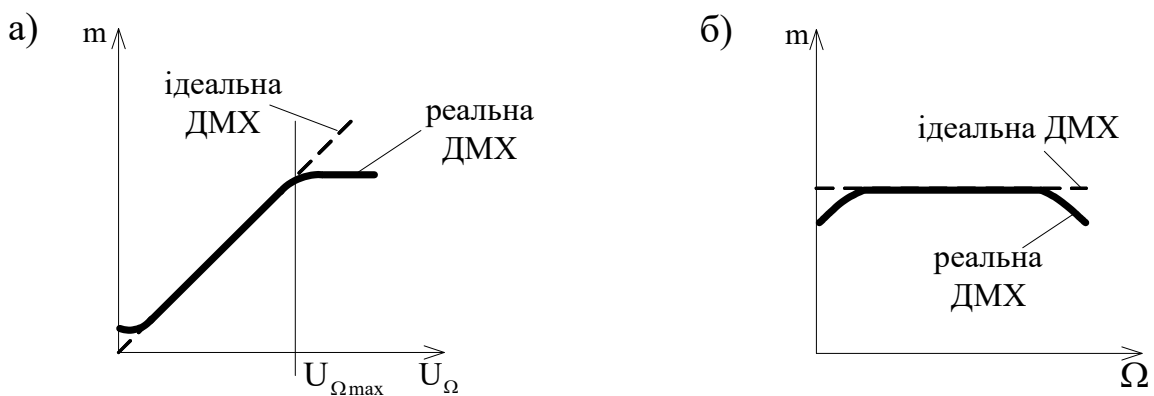


Рисунок 4.7 – Амплітудна (а) і частотна (б) динамічні модуляційні характеристики

У ідеалі коефіцієнт модуляції не повинен залежати від частоти модулюючого сигналу. Проте реально необхідно враховувати вплив реактивних елементів, що знаходяться в схемі. Їх вплив призводить до зменшення коефіцієнта модуляції в області низьких і високих частот.

В області низьких частот позначається падіння напруги на послідовно ввімкнених конденсаторах. У області високих частот позначається шунтуюча дія ємностей, які підключаються паралельно.

У колекторній схемі АМ модулюючу напругу $U_{\Omega} \cos \Omega t$ подають в коло колектора (рисунок 4.8). Це схема з послідовним живленням колекторного кола і паралельним зміщенням за рахунок окремого джерела E_{σ} .

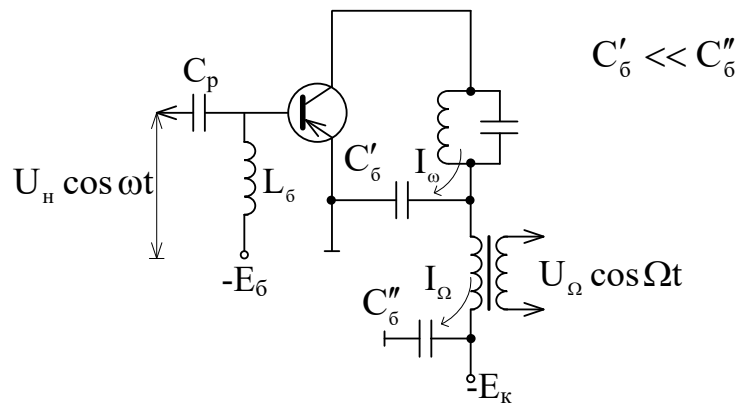


Рисунок 4.8 – Колекторна схема модулятора

C'_{σ} і C''_{σ} – блокувальні ємності, C'_{σ} – створює шлях для струмів високої частоти, C''_{σ} – створює шлях для модулюючого сигналу в обхід джерела E_{κ} .

У недонапруженому режимі (НР) i_{κ} мало залежить від напруги живлення E_{κ} . Але в перенапруженому режимі (ПР) i_{κ} може істотно змінюватися за рахунок зміни струму бази i_{σ} .

На рисунку 4.9 подано СМХ колекторного модулятора

$$i_{\kappa} = \varphi(E_{\kappa}) \Big|_{E_{\sigma} = \text{const}}$$

для двох режимів роботи модулятора за напруженістю: ПР і НР.

При $E_6 = 0\text{В}$ в схемі встановлюється недонапружений режим, при $E_6 = -0,5\text{В}$ істотно зростає струм бази, що призводить до зменшення i_k в перенапруженому режимі.

На графіках (рисунок 4.9) показано, як визначати параметри робочого режиму модулятора E_k і $U_{\Omega \max}$ по графіках СМХ.

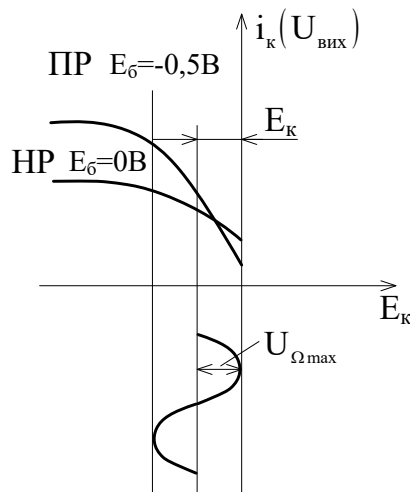


Рисунок 4.9 – Вибір режиму роботи в колекторній схемі модуляції

Глибока модуляція в цій схемі можлива при створенні перенапруженого режиму.

4.1.3 Передача однієї бічної смуги при АМ

При АМ навколо несучої частоти створюється верхня і нижня смуги бічних частот. У 1914 р. М.В. Шулейкін запропонував у системах електрозв'язку передавати тільки одну з бічних смуг: верхню (ВБС) або нижню (НБС) (див. рисунок 4.10).

Переваги передачі однієї бокової смуги (ОБС):

1) зменшення удвічі смуги частот, необхідної для передачі сигналу. Це дозволяє збільшити в два рази число каналів у тій же смузі частот. Зменшення смуги пропускання приймача дозволяє зменшити потужність завад на вході;

2) при передачі ОБС досягається великий енергетичний вигреш, оскільки в лінію не передаються несуче коливання і інша бічна, а потужність коливань однієї бічної смуги частот $P_{\text{бс}}$ невелика.

$$U_{\text{бс}} = \frac{1}{2} m U_{\text{н}}, \quad m \approx 0,3;$$

$$U_{\text{бс}} = \frac{1}{2} \cdot 0,3 U_{\text{н}} \approx 0,15 U_{\text{н}};$$

$$P_{\text{бс}} \rightarrow U_{\text{бс}}^2 \approx 0,025 U_{\text{н}}^2.$$

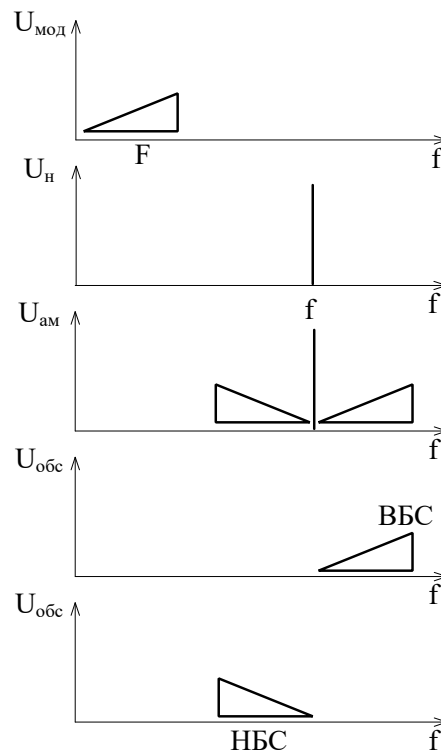


Рисунок 4.10 – Формування коливань однієї бічної смуги частот

Якщо врахувати, що в режимі мовчання бокові смуги (БС) відсутні, то енергетичний вигреш буде ще більше.

Недоліки передачі ОБС: для детектування сигналів ОБС в пункті приймання необхідно мати несуче коливання. Несуче коливання в пункті приймання подають від місцевого генераторного обладнання. Причому частоти несучих коливань при передачі та прийомі повинні мало відрізнятися в багатоканальних системах (не більше ніж на 1 Гц). Це вимагає

високої стабільності частоти генераторів несучих частот. У необхідних випадках передбачається передача спеціального пілот-сигналу для синхронізації місцевого генератора.

Контрольні питання

1 Який вираз відноситься до несучої АМ коливання (до верхньої бічної, до нижньої бічної АМ коливання)?

2 Відтворіть осцилограму АМ коливання і вкажіть на ній точки пікового (П), середнього (телефонного) (С) і мінімального (М) режимів?

3 Наведіть спектральну діаграму амплітудно-модульованого коливання, якщо задані значення несучої частоти і смуга частот модулюючого сигналу.

4 Який вираз є рівнянням статистичної модуляційної характеристики СМХ (динамічної модуляційної ДМХ)?

5 Якому режиму повинна відповідати пікова точка СМХ (мінімальна точка СМХ) при модуляції на базу зміною напруги зміщення?

6 Якому режиму відповідає точка найбільших втрат на колекторі (максимуму корисної потужності, найбільшої величини ККД) при модуляції на базу зміною напруги зміщення?

7 Який вииграш при передачі однієї бічної смуги ОБС досягається за потужністю передавача?

4.2 Частотні і фазові модулятори

4.2.1 Загальні відомості

Частотну і фазову модуляції відносять до загального класу або виду кутової модуляції, оскільки зміни частоти і фази коливань завжди взаємопов'язані:

$$\omega = \frac{d\Phi}{dt}; \quad \Phi = \int \omega dt.$$

Проте це різні види модуляції, оскільки параметри модульованого сигналу по-різному залежать від частоти модулюючого сигналу.

1 Частотна модуляція – це кутова модуляція несучої, при якій частота несучого коливання змінюється пропорційно миттєвим значенням модулюючого сигналу (рисунок 4.11).

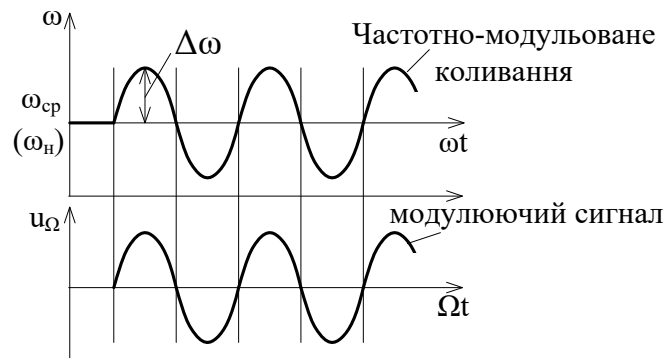
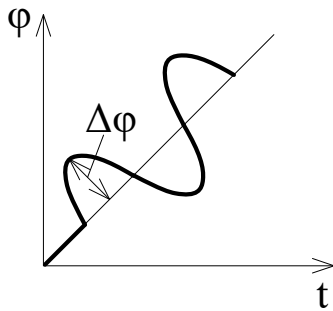


Рисунок 4.11 – Частотна модуляція коливань

$$\begin{aligned}
 \omega_{\text{чм}} &= \omega_{\text{ср}} + \Delta\omega \cos \Omega t; \\
 \Phi_{\text{чм}} &= \int (\omega_{\text{ср}} + \Delta\omega \cos \Omega t) dt; \\
 \Phi_{\text{чм}} &= \omega_{\text{ср}} t + \frac{\Delta\omega}{\Omega} \sin \Omega t; \\
 i_{\text{чм}} &= I \cos \left(\omega_{\text{ср}} t + \frac{\Delta\omega}{\Omega} \sin \Omega t \right).
 \end{aligned}
 \tag{4.3}$$

Таким чином, при ЧМ зміна частоти пропорційна: $\omega_{\text{чм}} \rightarrow kU_{\Omega} \cos \omega t$. Максимальне відхилення частоти модульованого коливання від середнього значення називають девіацією частоти ($\Delta\omega$): $\Delta\omega \rightarrow kU_{\Omega}$.

2 Фазова модуляція – це кутова модуляція несучої, при якій фаза несучого коливання змінюється пропорційно миттєвим значенням модулюючого сигналу: $\varphi_{\text{фм}} \rightarrow kU_{\Omega} \cos \omega t$ (рисунок 4.12).



$\Delta\varphi$ - девіація фази, максимальне відхилення фази коливання від середнього значення;
 $\Delta\varphi \rightarrow kU_{\Omega}$ - пропорційна амплітуді модулюючого сигналу.

Рисунок 4.12 – Фазова модуляція коливання

$$\begin{aligned} \Phi_{\text{фм}} &= \omega_{\text{ср}} t + \Delta\varphi \cos \Omega t; \\ i_{\text{фм}} &= I \cos(\omega_{\text{ср}} t + \Delta\varphi \cos \Omega t). \end{aligned} \quad (4.4)$$

Таким чином, струми коливань, модульованих по частоті (4.3) і фазі (4.4), описуються однаковими співвідношеннями, оскільки $\frac{\Delta\omega}{\Omega} = \Delta\varphi = m$ (m - індекс кутової модуляції).

При ЧМ індекс модуляції

$$m = \frac{\Delta\omega}{\Omega} = \frac{\Delta f}{F} = \Delta\varphi, \quad (4.5)$$

а при ФМ

$$m = \Delta\varphi. \quad (4.6)$$

Тому для будь-якого виду кутової модуляції (КМ) буде справедливим співвідношення (4.7)

$$i_{\text{ум}} = I \cos(\omega_{\text{ср}} t + m \cos \Omega t). \quad (4.7)$$

З рівняння (4.7) видно, що при однакових m , $\omega_{\text{ср}}$ і Ω коливання ЧМ і ФМ сигналів ідентичні.

Проте, якщо змінюється Ω , то по-різному змінюватимуться параметри модульованого коливання з урахуванням співвідношень (4.5) і (4.6).

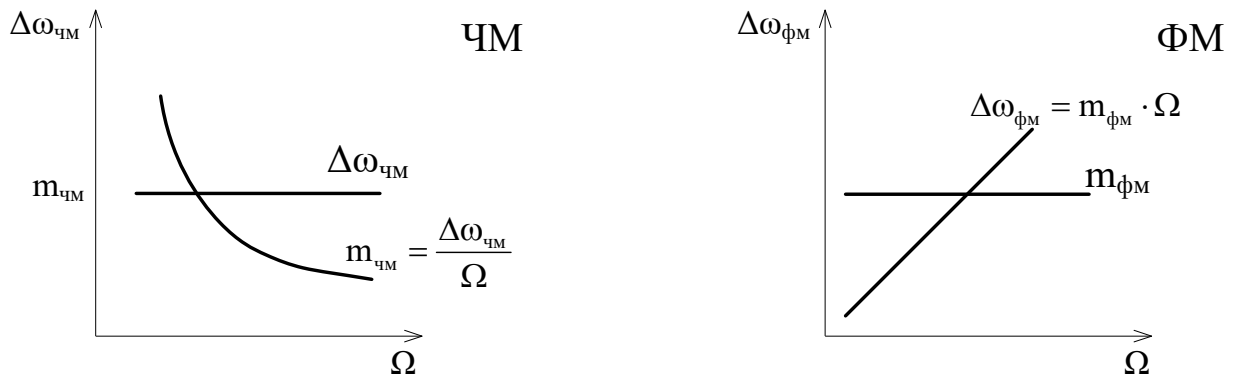


Рисунок 4.13 – Залежність параметрів модульованих коливань від частоти модулюючого сигналу при ЧМ і ФМ

При розкладанні в ряд Фур'є рівняння (4.7) спектр коливань з кутовою модуляцією можна подати у вигляді суми складових

$$i_{ym} = I \sum \text{In}(m) \cos(\omega_{cp} \pm n\Omega)t, \quad (4.8)$$

де $\text{In}(m)$ – значення функції Бесселя 1 роду n -го порядку від величини індексу модуляції m , які виконують роль амплітудних множників для складових струмів (рисунок 4.14); теоретично спектр модульованого КМ коливання містить несуче коливання і нескінченну безліч пар бічних частот при $n=0,1,2,3,\dots$:

$$\begin{aligned} n=0 & - \omega_{cp}; \\ n=1 & - \omega_{cp} + \Omega, \quad \omega_{cp} - \Omega; \\ n=2 & - \omega_{cp} + 2\Omega, \quad \omega_{cp} - 2\Omega, \end{aligned}$$

і так далі.

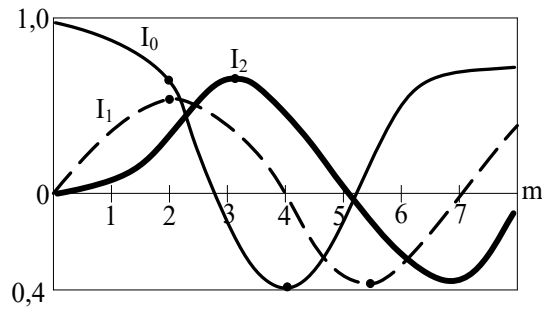


Рисунок 4.14 - Графіки перших членів функції Бесселя

Практично в спектрі коливань КМ враховують тільки основні складові, виходячи із значення індексу модуляції – m , обмеживши число складових $n=m$.

Якщо $m < 1$, то КМ - вузькосмугова, оскільки в спектрі коливань реально потрібно враховувати одну пару бічних частот, як і при АМ.

Таким чином, кількість складових в спектрі залежить від значення індексу модуляції m , а густина ліній залежить від частоти модулюючого сигналу Ω (рисунок 4.15).

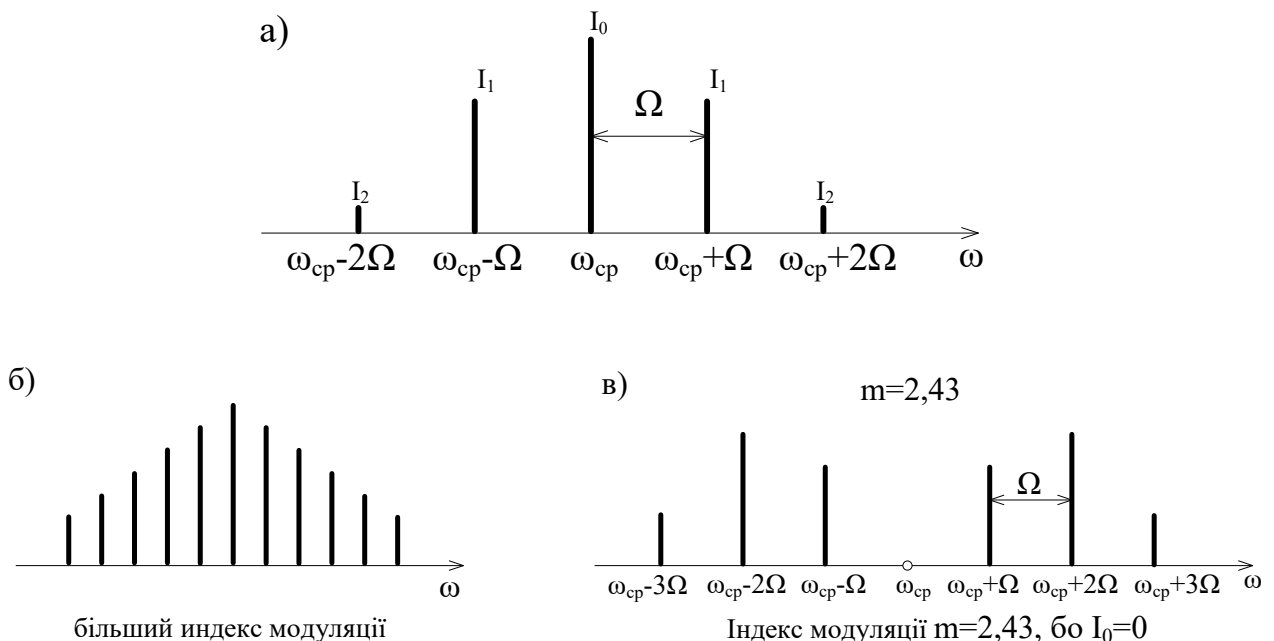


Рисунок - 4.15 – Спектри частотно-модульованих коливань з різними індексами модуляції m і різними частотами модулюючого сигналу Ω

Ширину смуги частот Π коливань з КМ можна приблизно визначити як

$$\Pi \approx 2 \cdot n \cdot \Omega = 2m \cdot \Omega = 2\Delta\omega, \quad (4.9)$$

де $\Delta\omega$ – девіація частоти.

4.2.2 Принципи побудови модуляторів

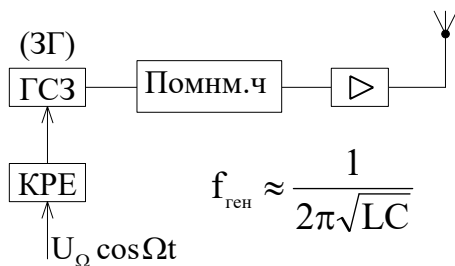
Розрізняють прямі і непрямі методи кутової модуляції.

При прямому методі потрібний вид модуляції здійснюють безпосередньо в схемі. При непрямому методі один вид модуляції перетворюють в інший.

Для здійснення кутової модуляції використовують керовані реактивні елементи (КРЕ).

КРЕ повинен мати індуктивний або ємнісний характер опору, величина якого змінювалася б пропорційно зміні миттєвих значень модулюючого сигналу.

а) прямий метод ЧМ



б) прямий метод ФМ

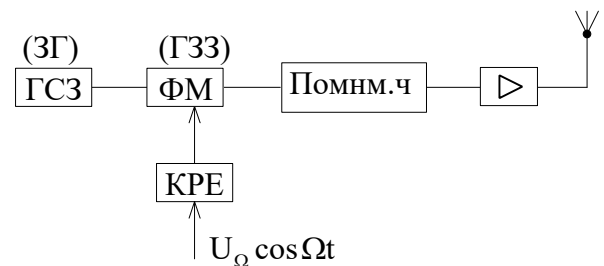


Рисунок 4.16 – Структурні схеми здійснення частотної (ЧМ) і фазової (ФМ) модуляції прямими методами

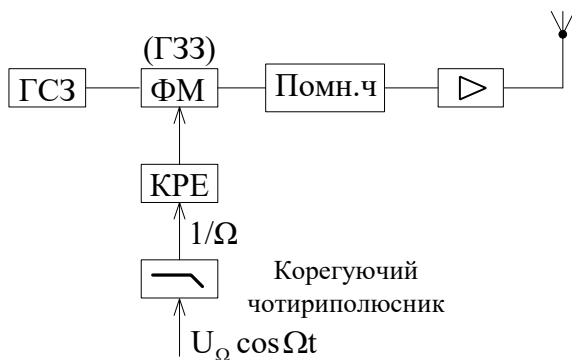
При прямому методі здійснення ЧМ керований реактивний елемент підключають до коливальної системи генератора із самозбудженням ГСЗ. Зміна миттєвого значення модулюючого коливання $U_{\Omega} \cos \Omega t$ викликає зміну величини L або C КРЕ, внаслідок чого змінюються параметри коливальної системи ГСЗ

і, як наслідок, змінюється частота генерованих коливань, тобто здійснюється ЧМ.

При прямому методі ФМ здійснюють в каскадах генератора із зовнішнім збудженням ГЗЗ. КРЕ змінює параметри L або C , що викликає розстроювання контуру ГЗЗ по відношенню до частоти коливань ГСЗ. В результаті розстроювання контуру виникають фазові зсуви між струмом і напругою в контурі ГЗЗ, що призводить до появи ФМ.

Непрямі методи кутової модуляції передбачають перетворення одного виду модуляції в іншій. Така процедура можлива при ввімкненні в тракт модулюючого сигналу відповідних коригуючих чотириполіусників (ЧП).

а) непрямий метод ЧМ



б) непрямий метод ФМ

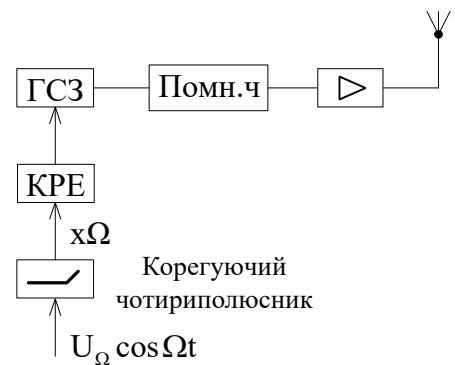


Рисунок 4.17 – Структурні схеми здійснення частотної і фазової модуляції непрямим методом

Так, ФМ може бути перетворена в ЧМ, якщо напруга модулюючого сигналу буде обернено пропорційна частоті. При цьому в схемі ФМ $m = (\Delta\varphi) = \frac{\Delta\omega}{\Omega} = \frac{kU_{\Omega}}{\Omega}$, що характерно для ЧМ.

Якщо напруга модулюючого сигналу пропорційна його частоті, то девіація частоти також буде пропорційна його частоті, що характерно для ФМ:

$$\Delta\omega_{\text{фм}} \rightarrow kU_{\Omega} \cdot \Omega.$$

Корегуючі ЧП є простими частотно-залежними колами в трактах модулюючого сигналу. Наприклад, на рисунку 4.18

наведено схему ланцюжка, напруга на виході якого обернено пропорційна до частоти.

У схемах залізничних радіостанцій широко використовують непрямий метод ЧМ, який забезпечує більш високу стабільність частоти несучих коливань в ГСЗ.

Недоліком непрямого методу ЧМ є малий індекс модуляції, оскільки лінійна ділянка ФЧХ контурів складає $40-50^\circ$, (менше 1 рад, $m < 1$), тобто модуляція є вузькосмуговою і не дозволяє забезпечити необхідне підвищення завадостійкості.

Проте в тракти передавачів з непрямим методом ЧМ включають помножувачі частоти. При проходженні через помножувач частоти в k раз зростає не тільки несуча частота коливань $f_{\text{нес}} \cdot k$, але й індекс модуляції $m \cdot k$.

$$R \gg C;$$

$$I = \frac{U_{\text{вх}}}{R} \approx \text{const};$$

$$U_{\text{вих}} = I \cdot \frac{1}{\omega C}.$$

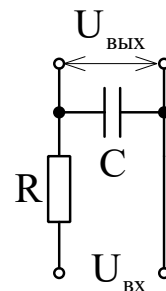


Рисунок 4.18 – Корегуючий чотирьополусник з АЧХ - $1/\Omega$

4.2.3 Керовані реактивні елементи

Найбільш поширеними КРЕ є варикапи, які підключають до коливального контуру модулятора. При зміні величини запірної напруги на варикапі $E_{\text{зап}}$ за рахунок подачі модулюючого коливання $U_{\Omega} \cos \Omega t$ змінюється його ємність, що призводить до зміни еквівалентної ємності коливальної системи.

В якості КРЕ певне застосування знаходять схеми, що дістали назву реактивний транзистор (РТ).

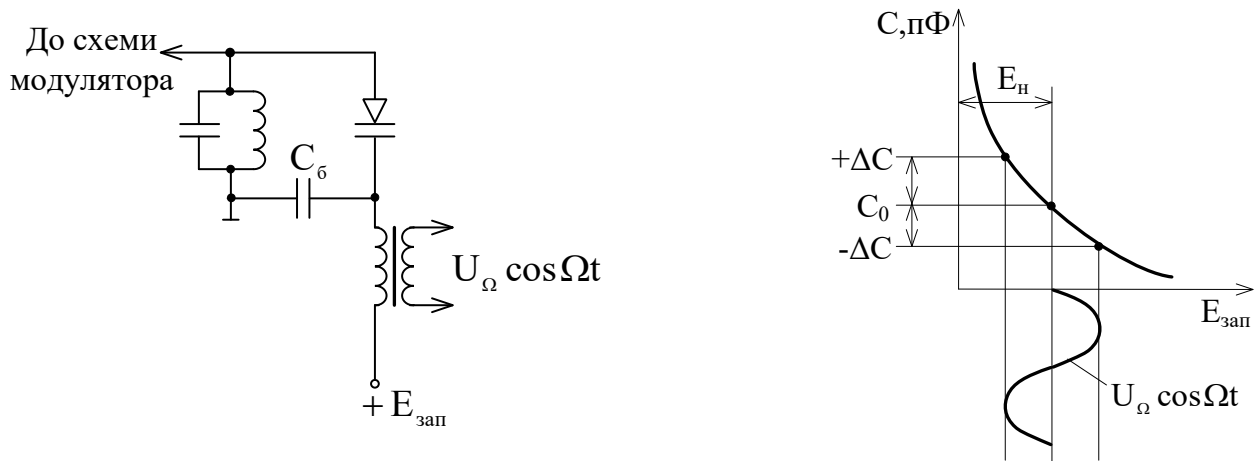


Рисунок 4.19 – Застосування варикапів в схемах коливальної системи модуляторів КМ

Схема РТ на рисунку 4.20 виконуватиме роль ємнісного опору, якщо між напругою на колекторі U_k і струмом I_k буде забезпечено зсув по фазі $+90^\circ$. Струмом I_k управляє напруга на базі. Тому для досягнення необхідного фазового зсуву між U_k і I_k в коло бази включають фазозсувний ланцюжок RC за умови, що $R \ll \frac{1}{\omega C}$. Таким чином, фазозсувний ланцюжок має ємнісний характер опору для струму I_ϕ .

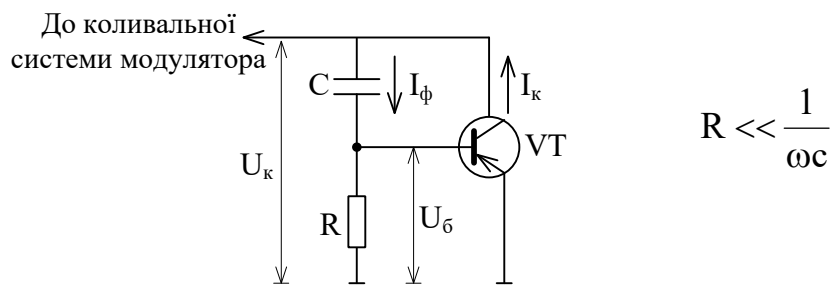
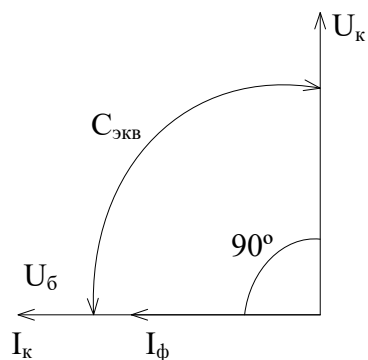


Рисунок 4.20 – Схема реактивного транзистора, еквівалентна керуваному ємнісному опору

Принцип дії реактивного транзистора можна пояснити за допомогою векторної діаграми струмів і напруги в схемі: I_ϕ , I_k , U_k і U_ϕ .



$$I_{\phi} \approx \frac{U_{\kappa}}{\frac{1}{\omega C}} = U_{\kappa} \omega C - \text{бо } R \ll \frac{1}{\omega C};$$

$$U_{\text{б}} = I_{\phi} R = U_{\kappa} \omega C R;$$

$$I_{\kappa} = U_{\text{б}} S_{\text{ср}} = U_{\kappa} \omega C R S_{\text{ср}};$$

$$x_{\text{с}} = \frac{U_{\kappa}}{I_{\kappa}} = \frac{1}{\omega C R S_{\text{ср}}} = \frac{1}{\omega C_{\text{экв}}}.$$

Рисунок 4.21 – Векторна діаграма струмів і напруги в схемі реактивного транзистора на рисунку 4.20

$C_{\text{екв}} = C R S_{\text{ср}}$ - еквівалентна ємність, що створюється схемою реактивного транзистора на рисунку 4.20;

$S_{\text{ср}} = \frac{S_{\kappa}}{\alpha_i}$ - еквівалентна крутизна характеристики транзистора в режимі коливань II роду;

$\alpha_i = \varphi(\theta)$ - функція кута відсічення, що враховує зменшення струму колектора в режимі коливань II роду.

Таким чином, $\theta = \psi(E_{\text{б}})$; $C_{\text{екв}} = \varphi(\theta) \rightarrow \varphi(E_{\text{б}})$.

Для здійснення модуляції треба подавати модулюючий сигнал в коло бази реактивного транзистора (РТ), що викличе зміну напруги зміщення $E_{\text{б}}$ і, як наслідок, зміну величини струму колектора I_{κ} і відповідну зміну реактивного опору (рисунок 4.22).

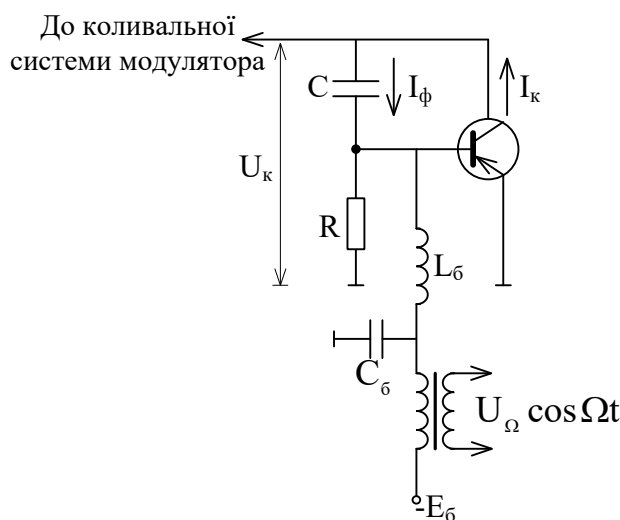


Рисунок 4.22 – Схема подачі модулюючого коливання у коло реактивного транзистора

Реактивний транзистор може бути реалізований і за схемою на рисунку 4.23. Цей РТ буде еквівалентний індуктивному опору за умови, що $R \gg \frac{1}{\omega C}$. В цьому випадку характер опору фазозсувного кола буде практично активним і струм I_Φ збігатиметься за фазою з напругою на колекторі U_k . Напруга на базі U_δ відставатиме від струму на кут 90° (як напруга на ємності C), а струм I_k збігається за фазою з напругою на базі U_δ .

Величина еквівалентної індуктивності може бути розрахована за формулою $L_{\text{екв}} = \frac{CR}{S_{\text{сп}}}$.

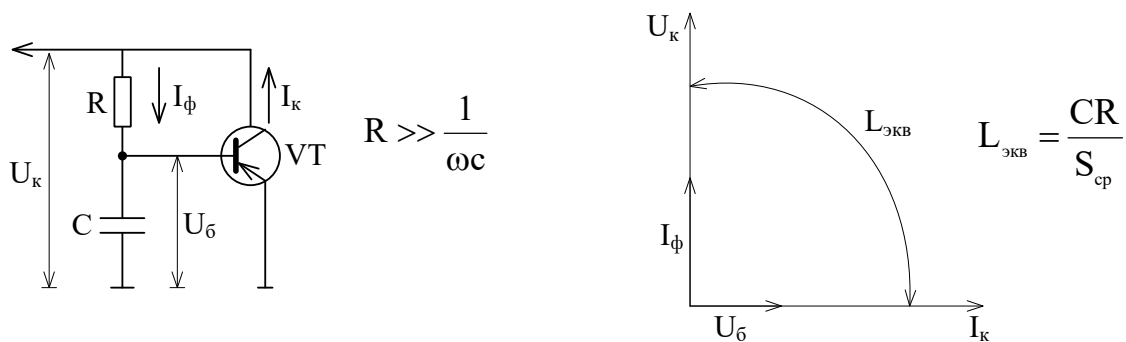


Рисунок 4.23 – Схема і векторна діаграма струмів і напруги реактивного транзистора, еквівалентного індуктивному опору

В принципі фазозсувні ланцюжки в схемах реактивних транзисторів можуть бути виконані на основі кіл LR. Схеми таких кіл і еквівалентні реактивні опори, що реалізуються ними, подано на рисунку 4.24.

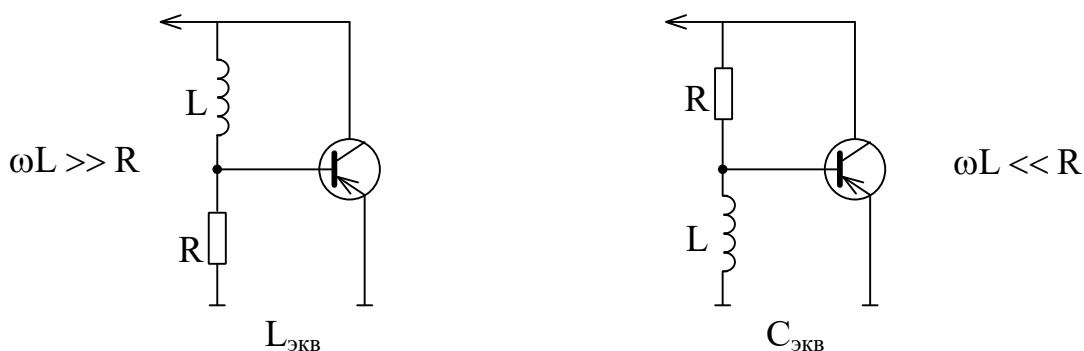


Рисунок 4.24 – Схеми реактивних транзисторів на основі LR фазозсувних кіл

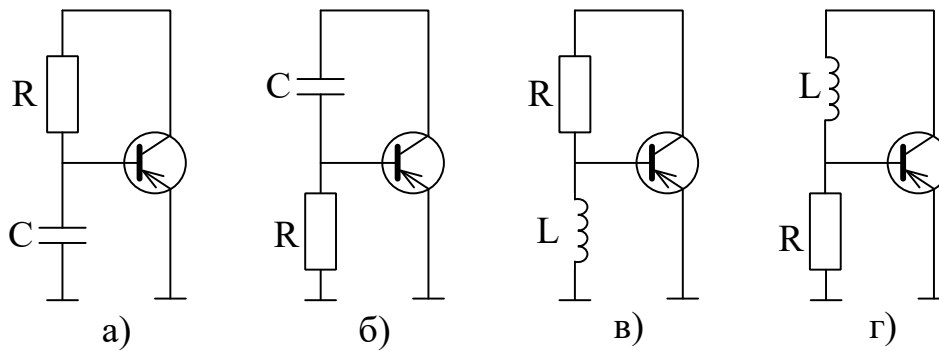
Контрольні питання

1 Який різновид кутової модуляції характеризується девіацією частоти (індексом модуляції), пропорційною тільки амплітуді (амплітуді і частоті) модулюючого сигналу?

2 Як зміниться девіація частоти при ЧМ (ФМ), якщо станеться зміна амплітуди (частоти) модулюючого сигналу?

3 Вкажіть спектр ЧМ із заданим індексом модуляції, з найбільшим індексом модуляції, з найбільш високою модулюючою частотою.

4 Які схеми зображених на рисунку а-г реактивних транзисторів забезпечують ємнісний (індуктивний) характер опору? Побудуйте векторні діаграми цих реактивних елементів.



5 Для якої еквівалентної схеми реактивних транзисторів на рисунках а-г повинні виконуватися умови

$$R \gg 1/\omega C; \quad R \ll 1/\omega C; \quad R \gg \omega L; \quad R \ll \omega L?$$

6 Як зміниться частота автогенератора, якщо збільшиться (зменшиться) запірна напруга на варикапі, приєднаному паралельно контуру?

7 Як зміниться частота автогенератора, якщо до його контуру паралельно підключити реактивний елемент за схемою на рисунках а-г?

8 Визначте смугу частот, займану ЧМ сигналом (девіацію частоти), якщо заданий спектр модулюючого сигналу і індекс модуляції.

9 Як зміниться частота автогенератора, якщо на базі реактивного транзистора, підключеного паралельно контуру, збільшити (зменшити) абсолютну величину негативної

напруги зміщення? Дайте усі необхідні пояснення до вибраної відповіді.

10 Визначте величину еквівалентної ємності (індуктивності) реактивного транзистора, якщо відомі параметри діляника в колі бази R і C , крутизна струму колектора S_k і кут відсічення Θ .

11 Визначте частоту (як зміниться частота) автогенератора при підключенні до його контуру (з відомими L_k і C_k) реактивного транзистора із заданими параметрами.

5 ЕСКІЗНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ПЕРЕДАВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

Передбачається розроблення структурної схеми передавального пристрою заданого типу і побудова діаграм, що характеризують перетворення сигналів. Задаються, відповідно до варіанта, значення несучої частоти $f_{\text{нес}}$, смуги частот передаваного сигналу $F_{\text{min}} - F_{\text{max}}$, вид і параметри модуляції.

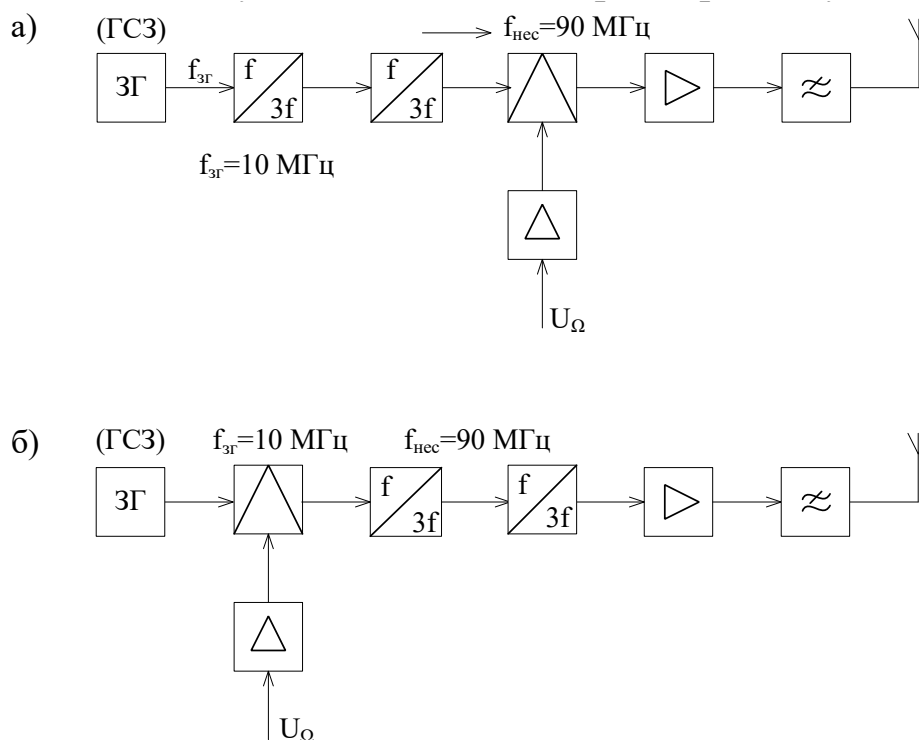


Рисунок 5.1 – Структурні схеми передавачів з амплітудною модуляцією на частоті несучого коливання (а) і на частоті задаючого генератора (б)

Тракт передавача будується за багатокаскадною схемою з урахуванням множення частоти у $n=3-12$ разів. При цьому $f_{зг}$ визначають як $\frac{f_{нес}}{n} = f_{зг}$ - з тим, щоб $f_{зг}$ лежала в межах 2-12 МГц.

Вибір такого значення $f_{зг}$ пояснюється оптимальними розмірами кварцових резонаторів у цій смузі частот.

Діаграми перетворення сигналів будуються у відносному масштабі, тобто із збереженням співвідношень між частотами і амплітудами коливань.

На діаграмах необхідно вказати значення усіх частотних складових у кілогерцах (кГц).

Передавачі АМ можуть будуватися з модуляторами на частотах $f_{зг}$ або на частоті несучого коливання $f_{нес}$.

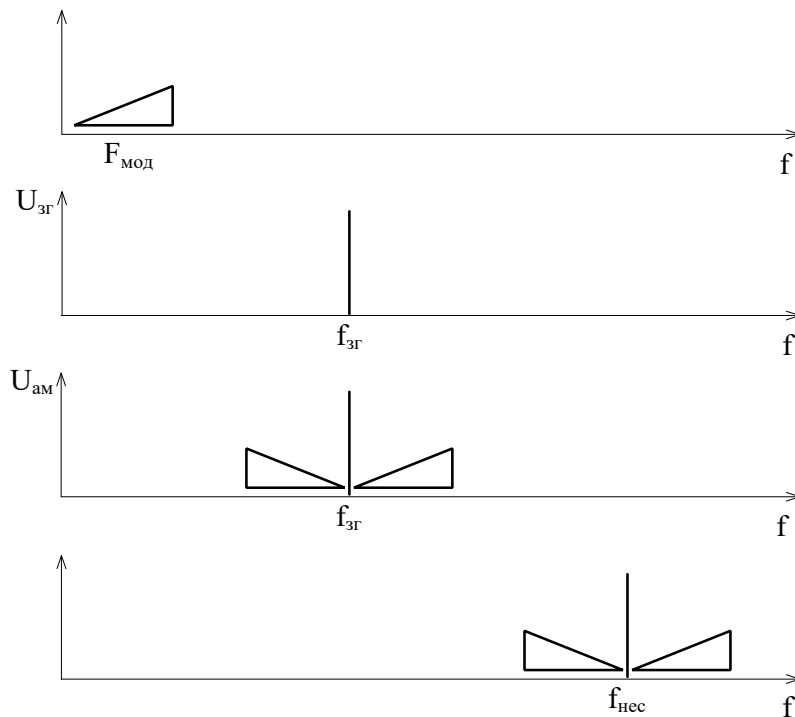


Рисунок 5.2 - Діаграми перетворення сигналів у передавачі з модуляцією на частоті задаючого генератора (рисунок 5.1, б)

У передавачах з АМ, що реалізують метод передачі однієї бічної смуги, необхідно враховувати труднощі розподілу бічних смуг в області високих частот.

Тому в передавачах з ОБС модуляція здійснюється в два етапи. На відносно низьких частотах можна надійніше розділити бічні смуги. Після цього одна з бічних використовується як модулююча частота в другому модуляторі. При цьому бічні смуги виявляються достатньо рознесеними і їх розділення не становить труднощів.

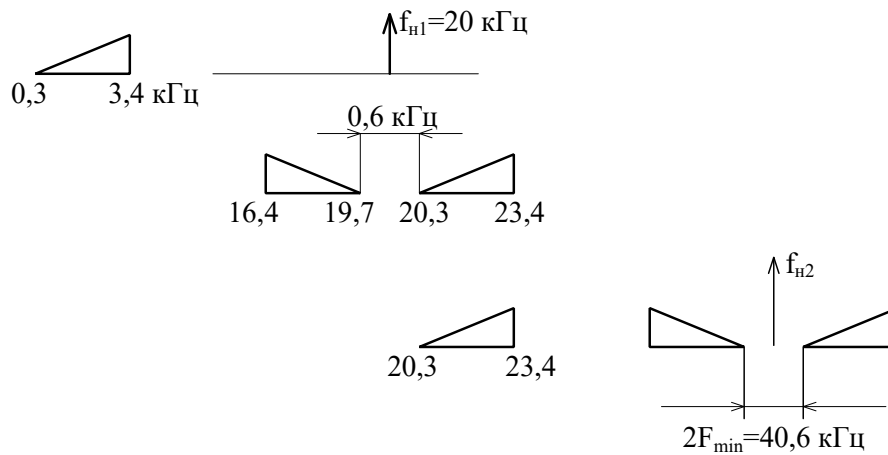


Рисунок 5.3 – Схема формування сигналів у передавачах з ОБС

У передавачах з ОБС треба використовувати балансні схеми модуляторів (БМ), на виході яких відсутня несуча частота. Розділ бічних смуг в схемі на рисунку 5.4 здійснюють смугові фільтри.

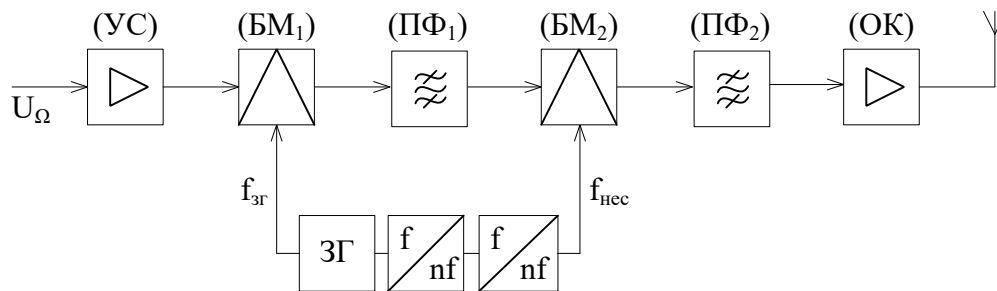


Рисунок 5.4 – Структурна схема передавача з передачею однієї бічної смуги

У багатьох випадках для синхронізації генераторів у пунктах приймання в передавачах передбачають передачу спеціального синхронізуючого "пілот-сигналу" або ослабленого несучого коливання.

На діаграмах необхідно подати значення усіх частотних складових сигналу. Необхідно пояснити призначення кожного функціонального елемента передавача, переваги і недоліки вибраної схеми.

У ПРД з ЧМ можна використовувати непрямий (рисунок 5.5) або прямий метод здійснення ЧМ.

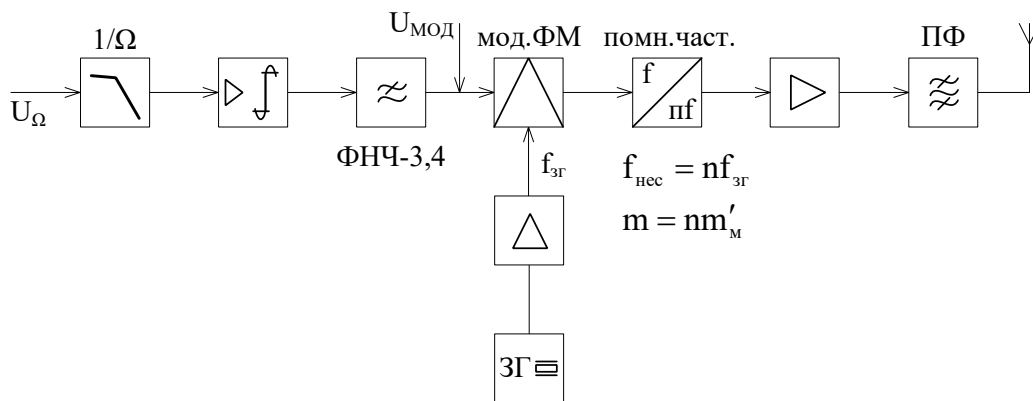


Рисунок 5.5 – Структурна схема передавача з непрямим методом ЧМ

На рисунку 5.5 корегуюче коло в тракті модулюючого сигналу формує вихідну напругу, обернено пропорційну частоті $\frac{1}{\Omega}$. Така залежність потрібна для перетворення ФМ в ЧМ. Підсилювач-обмежувач потрібний для того, щоб напруга сигналу не перевищувала встановлені величини, оскільки від U_{Ω} залежить девіація частоти $\Delta f \rightarrow \kappa U_{\Omega}$ і ширина смуги частот модульованого сигналу $\Pi \approx 2\Delta f$. Фільтр ФНЧ-3,4 обмежує спектр модулюючого сигналу і виключає вищі гармоніки, які могли виникнути в результаті нелінійних спотворень при обмеженні амплітуди сигналу.

У модуляторі здійснюється фазова модуляція, яка в результаті коригування частотної характеристики модулюючого сигналу еквівалентна ЧМ. У помножувачі відбувається множення частоти $f_{зг}$ і індексу модуляції m' :

$$f_{нес} = n \times f_{зг}$$

$$m = n \times m'$$

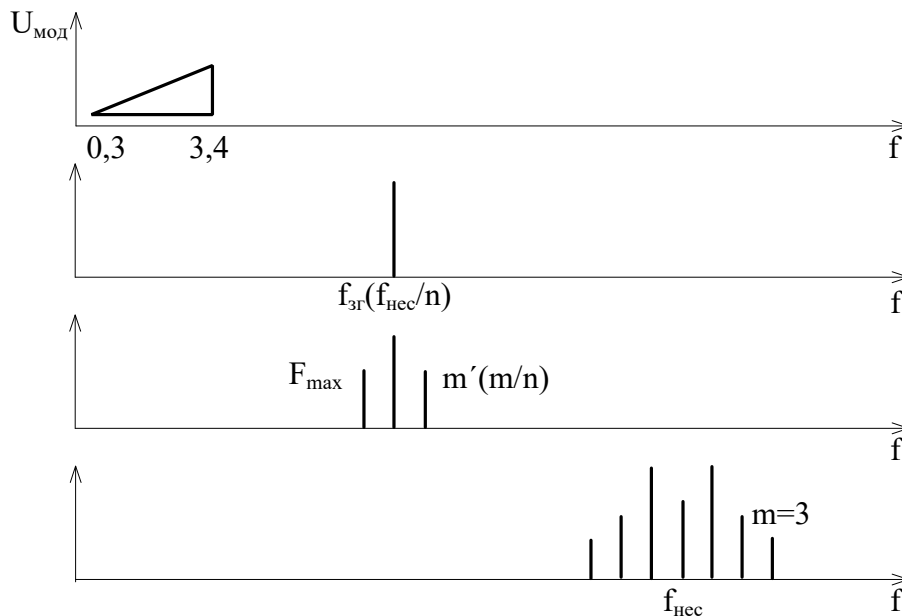


Рисунок 5.6 – Діаграми перетворення сигналів у передавачі з частотною модуляцією за схемою на рисунку 5.5

Діаграми модульованих сигналів будуються для складових з частотою F_{\max} з урахуванням індексу модуляції безпосередньо в модуляторі $m' = m/n$ і після множення частоти $m = m' \times n$.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Горелов Г.В., Волков А.А., Шелухин В.И. Каналообразующие устройства железнодорожной телемеханики и связи: Учеб. для вузов ж.-д. транспорта. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2007.
- 2 Радиосвязь на железнодорожном транспорте / Под ред. П.Н. Рамлау. – М.: Транспорт, 1983.
- 3 Радиопередающие устройства: Учеб. для вузов связи / Под ред. В.В. Шахгильдяна. – М., 1980.
- 4 Муравьев О.Л. Радиопередающие устройства. Учеб. программное пособие для техникумов. – М.: Связь, 1978. – Ч. 2:
- 5 Волков А.А. Радиопередающие устройства. – М.: Маршрут, 2002.

6 Єлізаренко О.В., Єлізаренко А.О. Коливальні кола і генератори: Конспект лекцій з дисципліни „Каналоутворюючі пристрої телекомунікацій”. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Ч. 1.