

Висновки:

1. Завдяки регенеративному підсиленню коефіцієнт шуму приймача на основі автогенератора не перевищує коефіцієнт шуму радіоприймача з однокаскадним підсилювачем високої частоти.
2. Коефіцієнт шуму мінімальний за кутів відсікання близько 90° .
3. Амплітуда вхідних коливань у автогенератора на польовому транзисторі більша, ніж у аналогічного на біполярному, тому використання польового транзистора дає змогу отримати менший коефіцієнт шуму.
4. Задовільні амплітудно-частотні і шумові характеристики зберігаються у разі зміни опору навантаження автогенератора у 2–3 рази.

1. Желяк Р.І., Мельнь М.В., Павлов Б.О., Самсонюк О.В. Аналіз режимів генерування і перетворення частоти в транзисторному автодині // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" "Радіотехніка та телекомунікації". – 2006. – №557. – С. 10–15. 2. Когут В.М., Мельнь М.В., Павлов Б.О. Аналіз режиму регенеративного підсилення в транзисторному автодині // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" "Радіотехніка та телекомунікації". – 2006. – № 557. – С. 3–7. 3. Бокк О.Ф. Коэффициент шума транзисторного каскада при воздействии большого сигнала // Радиотехника. – 1980. – №5. – С. 12 – 16.

УДК 621.375

М.В. Мельнь, В.М. Когут*, Б.О. Павлов*

Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра теоретичної радіотехніки та радіовимірювань;
*Львівський державний інститут новітніх технологій
та управління ім. В. Чорновола,
кафедра комп'ютерних систем і мереж

АНАЛІЗ РЕЖИМУ РЕГЕНЕРАТИВНОГО ПІДСИЛЕННЯ В ТРАНЗИСТОРНОМУ АВТОДИНІ

© Мельнь М.В., Когут В.М., Павлов Б.О., 2007

На основі еквівалентної схеми автогенератора розрахований регенеративний коефіцієнт підсилення для високочастотного вхідного сигналу. Показано, що максимум цього підсилення не збігається з частотою генерації, що стало основою для вибору оптимальної проміжної частоти приймача. Визначені співвідношення між сталими часу коливального контуру автогенератора і ланки автозміщення, за яких забезпечується безумовна стійкість підсилення.

On the basis of the equivalent circuit of the oscillator is computed regenerative amplification factor for high-frequency input signal. It is shown, that the maximum of this amplification does not coincide with frequency of generation, that became a basis for a choice of optimum intermediate frequency of the receiver. The ratio between time constant of an oscillating circuit of the oscillator and automatic bias chain are determined, at which the unconditional stability of amplification is provided.

Вступ. Аналізується принципова схема, показана на рис. 1, для якої режими генерації і перетворення частоти розглянуто в [1].

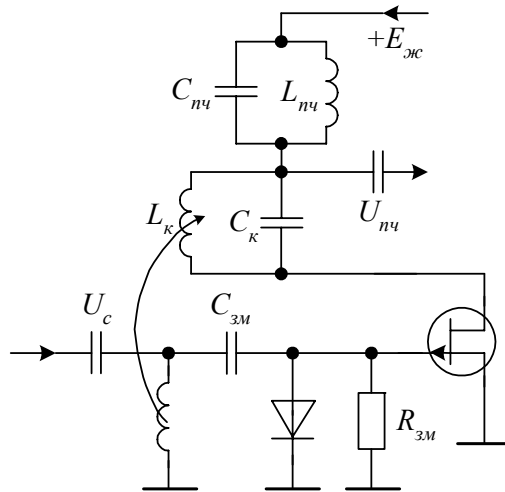


Рис. 1. Принципова схема автодина

Частота сигналу входить в смугу пропускання коливального контуру автогенератора. Наявність зворотного зв'язку дає змогу розглядати його як регенеративний підсилювач, причому середня крутість характеристики S_2 для коливань з частотою генерації відрізнятиметься від середньої крутості характеристики для частоти сигналу.

Питання суміщення функцій автогенератора, регенеративного підсилювача високої частоти, гетеродина і змішувача, що виконані на одному активному елементі, в літературі не розглядалися.

Низькочастотний еквівалент суміщеного регенеративного підсилювача, автогенератора і перетворювача частоти, які виконані на одному польовому транзисторі, показано на рис. 2.

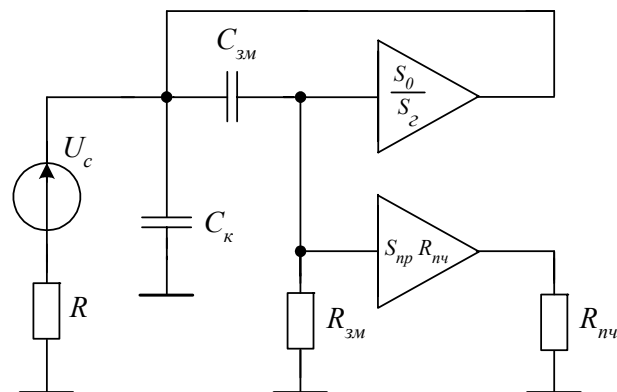


Рис. 2. Низькочастотний еквівалент суміщеного регенеративного підсилювача високої частоти, автогенератора і перетворювача частоти, виконаних на одному польовому транзисторі:

$C_{зм}$ – ємність конденсатора ланки автоматичного зміщення автогенератора; $C_к$ – ємність коливального контуру автогенератора, приведена до затвора; R – еквівалентний опір коливального контуру автогенератора, приведений до затвора; $R_{зм}$ – опір ланки автоматичного зміщення; $R_{нч}$ – опір навантаження перетворювача частоти; U_c – амплітуда напруги вхідного сигналу

Визначення коефіцієнта передачі регенеративного підсилювача. Активний елемент показаний на рис. 2 у вигляді двох підсилювачів відповідно для частоти вхідного коливання і для проміжної частоти. Оскільки коефіцієнт зворотного зв'язку для коливання з частотою генерації дорівнює одиниці, то коефіцієнт зворотного зв'язку на частоті сигналу або дзеркальній частоті можна подати у вигляді відношення відповідних крутостей $\frac{S_0}{S_2}$, а коефіцієнт підсилення на проміжній частоті, як і в звичайному перетворювачі частоти, дорівнює $S_{пр} \cdot R_{нч}$.

На схемі низькочастотного еквівалента (рис. 2) неважко побачити, що в пасивній частині кола є інтегруюча і диференціююча ланки. Тому максимальне підсилення вхідного коливання відбувається на частоті, яка істотно відрізняється від частоти генерації.

Нормовані амплітудно-частотні і фазо-частотні характеристики вхідного коливального контуру і ланки автоматичного зміщення показано на рис. 3.

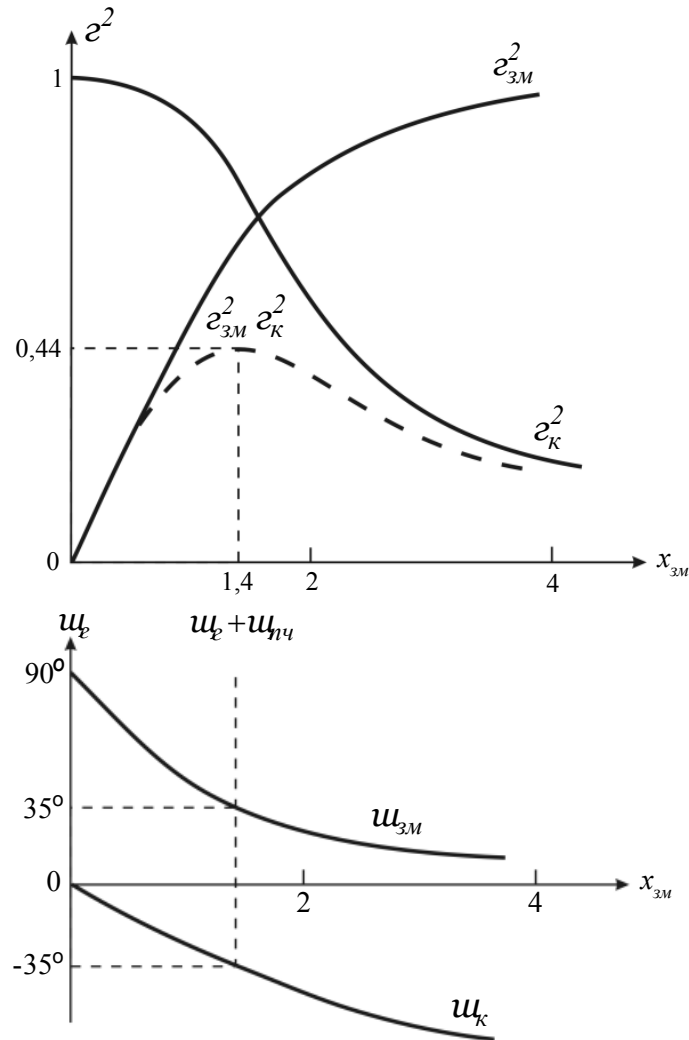


Рис. 3. Нормовані амплітудно-частотні γ і фазо-частотні ψ характеристики коливального контуру і ланки автоматичного зміщення автогенератора. Відношення сталих часу $2RC_k/R_{зм}C_{зм} = 0,5$: $\dot{\gamma}_к$ – нормований коефіцієнт передачі коливального контуру автогенератора; $\dot{\gamma}_{зм}$ – коефіцієнт передачі ланки автоматичного зміщення; $\psi_к$, $\psi_{зм}$ – фазові зсуви коливального контуру автогенератора і ланки автоматичного зміщення відповідно; $\omega_г$ – частота генерації; $\omega_{пч}$ – проміжна частота; x – узагальнене розстроювання частоти вхідного коливання стосовно резонансної частоти коливального контуру автогенератора в одиницях сталої часу коливального контуру за опору $R_{мін}$, який задовольняє умову виникнення генерації; $x_{зм}$ – це саме узагальнене розстроювання сталої часу ланки автоматичного зміщення

У такому разі результуючий коефіцієнт передачі інтегруючої і диференціюючої ланок дорівнює

$$\dot{\gamma}_к \dot{\gamma}_{зм} = \frac{1}{1 + j \frac{R}{R_{мін}} x} \cdot \frac{jx_{зм}}{1 + jx_{зм}} = \frac{1}{1 + \frac{x}{x_{зм}} \cdot \frac{R}{R_{мін}} - j \left(\frac{1}{x_{зм}} - \frac{R}{R_{мін}} x \right)},$$

звідки коефіцієнт передачі регенеративного підсилювача високої частоти

$$\dot{K}_{вч} = \frac{\dot{\epsilon}_к \dot{\epsilon}_{зм}}{1 - \dot{\epsilon}_к \dot{\epsilon}_{зм} \frac{S_0}{S_2}} = \frac{1}{\left(1 + \frac{x}{x_{зм}} \frac{R}{R_{мін}} - \frac{S_0}{S_2}\right) - j \left(\frac{1}{x_{зм}} - \frac{R}{R_{мін}} x\right)}$$

Квадрат модуля коефіцієнта передачі можна подати у вигляді

$$K_{вч}^2 = \frac{1}{\left(1 + \frac{x}{x_{зм}} \frac{R}{R_{мін}} - \frac{S_0}{S_2}\right)^2 + \left(\frac{1}{x_{зм}} - \frac{x}{x_{зм}} \frac{R}{R_{мін}}\right)^2},$$

де резонансний коефіцієнт підсилення

$$K_{0вч} = \frac{1}{1 + \frac{x}{x_{зм}} \frac{R}{R_{мін}} - \frac{S_0}{S_2}}$$

досягається за

$$x_{0зм} = \frac{1}{\sqrt{\frac{x}{x_{зм}} \frac{R}{R_{мін}}}},$$

що є основою для вибору оптимальної проміжної частоти радіоприймального тракту.

Залежності резонансного коефіцієнта підсилення від нормованого опору навантаження автогенератора для випадку кусково-параболічної апроксимації показано на рис. 4, а для кусково-лінійної – на рис. 5.

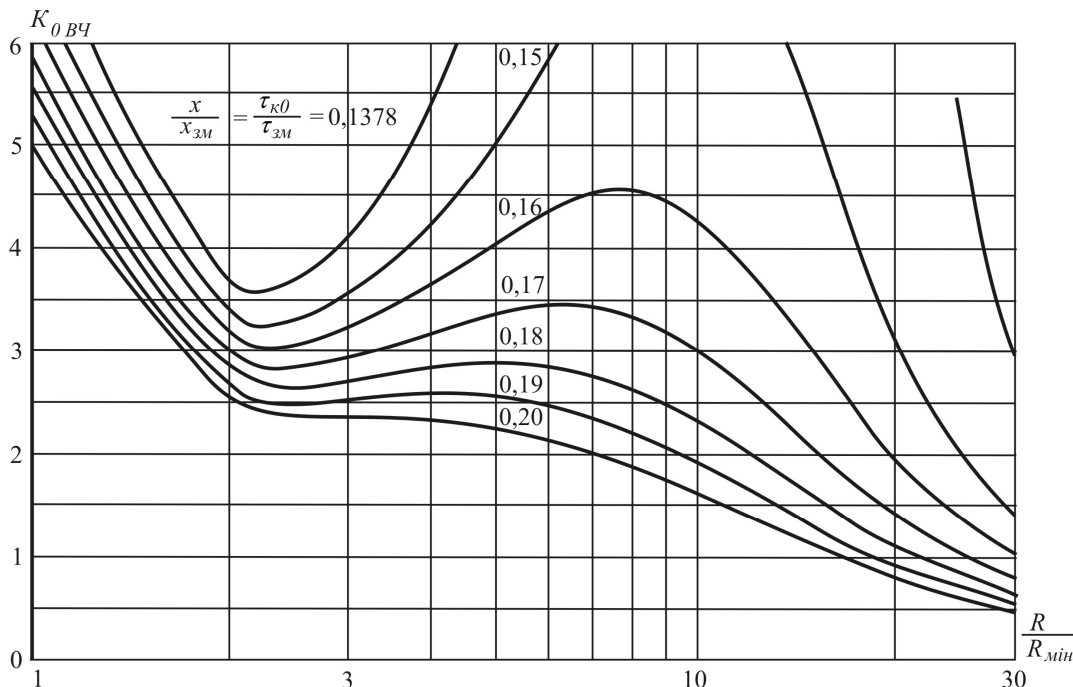


Рис. 4. Залежності резонансного коефіцієнта передачі регенеративного підсилювача високої частоти від опору навантаження автогенератора за кусково-параболічної апроксимації характеристики транзистора ($\tau_{к0}/\tau_{зм}$ – відношення мінімальної сталої часу коливального контуру до сталої часу ланки автоматичного зміщення)

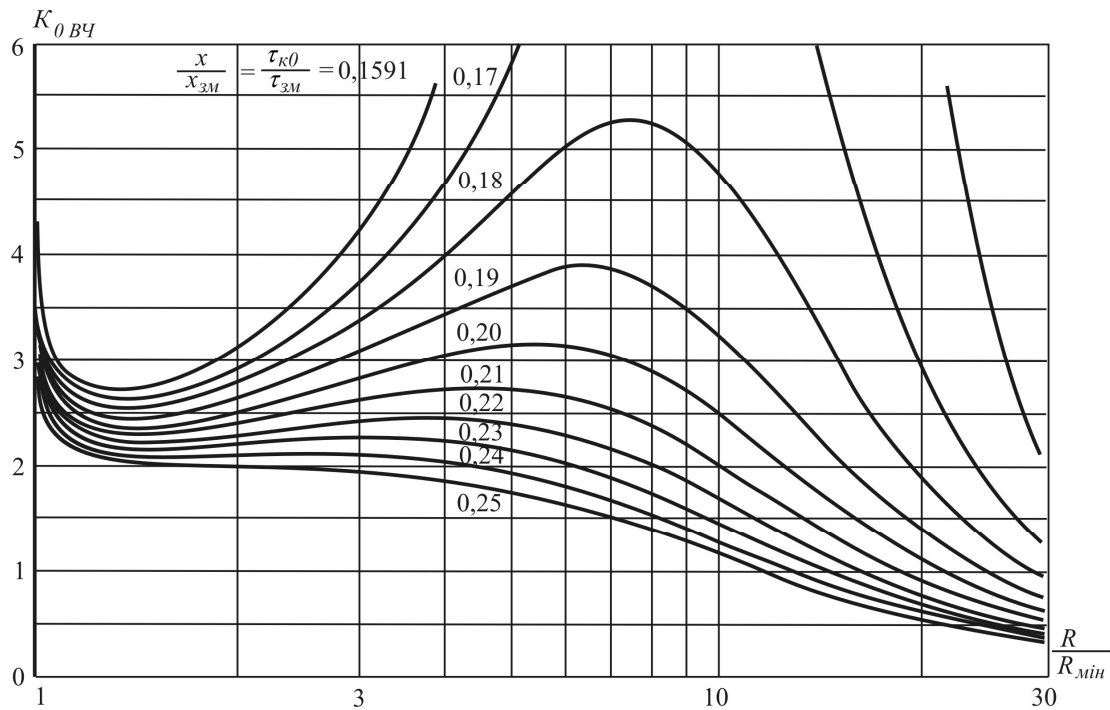


Рис. 5. Залежності резонансного коефіцієнта передачі регенеративного підсилювача високої частоти від опору навантаження автогенератора за кусково-лінійної апроксимації характеристики транзистора (τ_{k0}/τ_{3m} – відношення мінімальної сталої часу коливального контуру до сталої часу ланки автоматичного зміщення)

Визначення умови стійкості регенеративного підсилювача. Підсилювач стійкий за умови

$$1 + \frac{x}{x_{3m}} \frac{R}{R_{\text{мін.}}} > \frac{S_0}{S_2}.$$

Враховуючи, що

$$\frac{R}{R_{\text{мін.}}} = \frac{S_M}{S_2},$$

можна знайти мінімальне відношення сталих часу коливального контуру і ланки автоматичного зміщення автогенератора, що задовольняє умові стійкості:

$$\frac{x}{x_{3m}} = \frac{S_0}{S_M} \frac{S_2}{S_M}.$$

Підставляючи з [1, табл. 1] вирази для крутостей характеристик залежно від кута відсікання, одержимо для випадку кусково-параболічної апроксимації

$$\frac{x}{x_{3m}} = \frac{1}{3\pi} \frac{\sin^3 \theta}{1 - \cos \theta},$$

для випадку кусково-лінійної апроксимації

$$\frac{x}{x_{3M}} = \frac{\sin 2u}{2p}$$

Ці значення, але залежно від нормованого опору навантаження, показані на рис. 6.

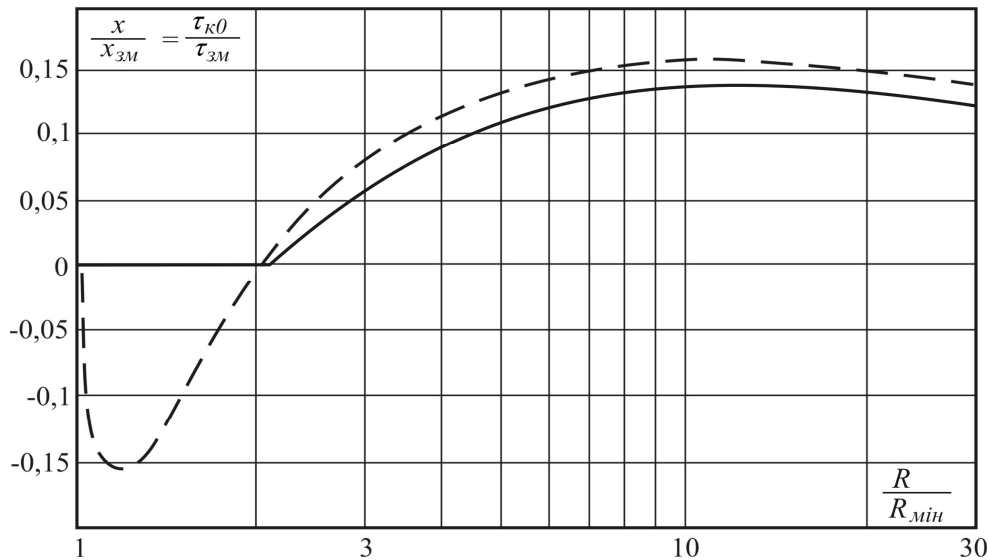


Рис. 6. Відношення мінімальної сталої часу коливального контуру до сталої часу ланки автоматичного зміщення, за якого виконується умова стійкості регенеративного підсилювача, залежно від опору навантаження автогенератора (суцільна лінія – для кусково-параболічної апроксимації, штрихова – для кусково-лінійної)

Для визначення екстремумів $\frac{x}{x_{3M}} = \frac{\mathcal{G}_{k0}}{\mathcal{G}_{3M}}$ в попередніх двох виразах прирівнюємо до нуля

похідні по θ :

$$3\sin^2\theta \cos\theta(1 - \cos\theta) - \sin^4\theta = 0;$$

$$\cos^2\theta - 3\cos\theta + 1 = 0;$$

$$\cos\theta = \begin{cases} 1; \\ 1/2; \end{cases}$$

$$\theta_1 = 180^\circ; \quad \theta_2 = 60^\circ$$

або

$$\cos 2\theta = 0;$$

$$\theta_1 = 135^\circ; \quad \theta_2 = 45^\circ.$$

Згідно з розв'язками [1] $\theta_1 = 180^\circ$ або $\theta_1 = 135^\circ$ відповідають

$$1 < \frac{R}{R_{\min}} < 2;$$

$$K_{0\text{вч}} = \frac{1}{1 + \frac{x}{x_{3\text{м}}} \frac{R}{R_{\text{мін}}}}$$

або

$$\frac{R}{R_{\text{мін}}} = 1,1;$$

$$K_{0\text{вч}} = \frac{1}{0,175 + 1,1 \frac{x}{x_{3\text{м}}}}$$

Із загального виразу для резонансного коефіцієнта передачі $K_{0\text{вч}}$ знаходимо, що мінімальному коефіцієнту відповідає кут відсікання, за якого

$$\frac{S_0}{S_2} = \frac{1}{1 - \frac{\sin 2u}{2u}}$$

набуває мінімального значення.

Згідно з [2, с. 27, табл. 7] функція $\frac{\sin x}{x}$ має перший від'ємний мінімум $-0,2172$ за $x = 4,4934$, звідки з [1] одержимо

$$\theta = 128,7^\circ;$$

$$\frac{S_0}{S_2} = 0,8215;$$

$$\frac{R}{R_{\text{мін}}} = 1,149;$$

$$K_{0\text{вч}} = 5,60;$$

$$\frac{S_{\text{нр}}}{S} = 0,2483.$$

Ця робоча точка відповідає як умові максимального запасу за стійкістю, так і доволі великим значенням резонансного коефіцієнта підсилення на високій частоті та крутості перетворення.

В межах зміни фактора регенерації від одиниці до двох регенеративний підсилювач стійкий за будь-яких значень сталих часу коливального контуру і ланки автоматичного зміщення.

Другий розв'язок $\theta_2 = 60^\circ$ або $\theta_2 = 45^\circ$ відповідає

$$\frac{x}{x_{3\text{м}}} = \frac{\phi_{k0}}{\phi_{3\text{м}}} = 0,1378$$

за

$$\frac{R}{R_{\text{мін}}} = 12,48$$

або

$$\frac{x}{x_{3\text{м}}} = \frac{\phi_{k0}}{\phi_{3\text{м}}} = 0,1591$$

за

$$\frac{R}{R_{\text{мін}}} = 11,01,$$

тобто регенеративний підсилювач стійкий за будь-яких значень фактора регенерації, якщо відношення сталих часу більше від вищевизначених величин.

Висновки:

1. Регенеративний підсилювач високої частоти стійкий за будь-якого фактора регенерації, якщо відношення мінімальної сталої часу коливального кола, яка задовольняє умову виникнення генерації, до сталої часу ланки автоматичного зміщення автогенератора більше від 0,16.

2. Якщо прохідна характеристика транзистора припускає кусково-лінійну апроксимацію, регенеративний підсилювач стійкий незалежно від співвідношення сталих часу ланок коливального контуру і автоматичного зміщення, якщо фактор регенерації менший від 2, тобто кут відсікання більший за 90° .

3. На цій ділянці характеристики найбільший запас по стійкості за великих сталих часу ланки автоматичного зміщення одержується за фактора регенерації 1,15, тобто кута відсікання $128,7^\circ$. За таких умов коефіцієнт регенеративного підсилення дорівнює 5,6, а крутість перетворення становить 0,78 від максимально можливого значення.

4. У звичайних радіоприймальних пристроях, виконаних за схемою із суміщеними гетеродином і змішувачем, вибірність погіршується на частотах, які входять в смугу пропускання коливального контуру гетеродина.

1. Желяк Р.І., Мельнь М.В., Павлов Б.О., Самсонюк О.В. Аналіз режимів генерування і перетворення частоти в транзисторному автодині // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" "Радіоелектроніка та телекомунікації". – 2006. – №557. – С. 10–15. 2. Янке Е., Эмде Ф., Лёш Ф. Специальные функции. Формулы, графики, таблицы. – М.: Наука, 1977. – 344 с.