

**ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА  
ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ**

УДК 621.396

**С.П. Кононов, к.т.н., доц.**  
*Вінницький національний технічний університет*  
**В.П. Манойлов, д.т.н., проф.**  
*Житомирський державний технологічний університет*  
**В.В. Чернига, к.т.н., доц.**  
*Вінницький національний технічний університет*

**ПІДВИЩЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ЧАСТОТИ ДІАПАЗОННОГО  
АВТОГЕНЕРАТОРА НА ВАРИКАПІ**

*Досліджений вплив температурної залежності ємності варикапа на частотну нестабільність діапазонного автогенератора. Визначені температурні коефіцієнти ємності додаткових конденсаторів термокомпенсації. Проаналізовано схему УКХ генератора з компенсацією у двох точках діапазону із застосуванням різних варикапів.*

**Постановка проблеми.**

Відомо, що в багатьох радіотехнічних пристроях використовуються варикапи – електронні ємності, керовані напругою. Зручним виявляється їх застосування, наприклад, в діапазонних автогенераторах супергетеродинних радіоприймальних пристроїв [1]. Перевагами є послаблення мікрофонного ефекту, можливість дистанційного керування, введення фіксованих налаштувань, спрощення конструкції пристрою та зменшення його ваги. Недоліком діапазонного автогенератора на варикапі є невисока частотна стабільність. Серед факторів, що її викликають, найбільш вагомим є вплив температури на варикап.

З метою покращення частотної стабільності автогенератора на варикапі, так звані ГКН (генератори, керовані напругою), охоплюють петлею частотної або фазової автопідстройки частоти, доповнюючи пристрої високостабільними кварцовими автогенераторами [2]. Відбувається це за рахунок ускладнення радіотехнічної схеми, конструкції, а, відповідно, і вартості пристроїв.

**Аналіз останніх робіт** [3], [4], [8] дозволяє виділити наступні тенденції в розвитку техніки діапазонних автогенераторів для радіоприймальної апаратури. По-перше, високочастотні вузли будуються на основі інтегральних схем, органами частотної настройки є як конденсатори змінної ємності, так і варикапи. По-друге, в автогенераторах з фіксованою настройкою частоту змінюють тільки варикапи, які суттєво програють у стабільності конденсаторам змінної ємності. Нарешті, для покращення стабільності таких автогенераторів їх вводять до складу цифрових частотних синтезаторів спеціальних інтегральних схем. Живлення кіл варикапа при цьому здійснюють від високоякісних інтегральних стабілізаторів напруги. У той же час, повна реалізація усіх можливостей, які надають різні способи термокомпенсації [6], дозволила б значно зменшити частотну нестабільність діапазонного автогенератора на варикапі без його помітного ускладнення.

**Метою даної статті** є розробка методики визначення параметрів конденсаторів термокомпенсації діапазонного автогенератора на варикапі та доведення можливості реалізації за цією методикою стабільного УКХ генератора радіоприймача з фіксованою настройкою.

Зміна основного параметра варикапа ємності відбувається через її великий температурний коефіцієнт (ТКЄ).

Крім того, ТКЄ змінюється від температури [5], але ця залежність слабка і в багатьох випадках нею можна нехтувати.

Покращити частотну стабільність автогенератора можна шляхом введення в LC-контур послідовно або паралельно з варикапом додаткового конденсатора (рис. 1, а, б).

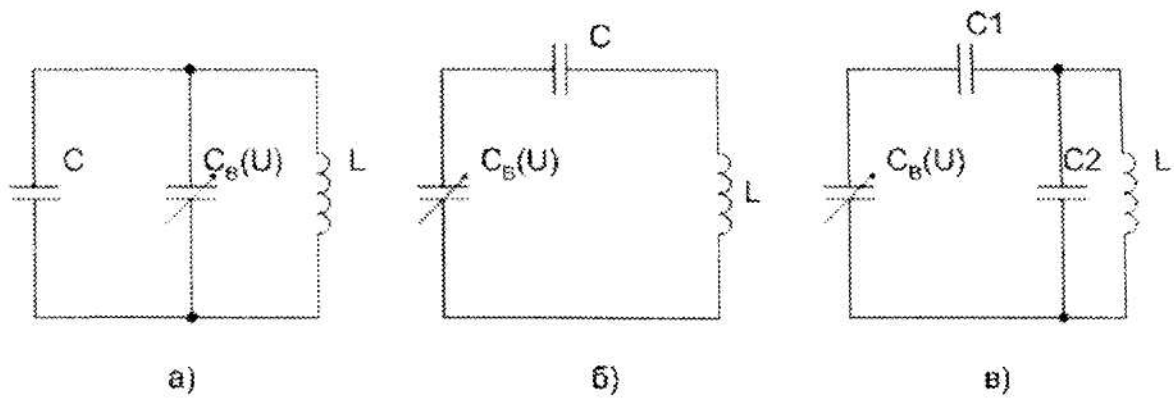


Рис. 1. Схеми температурної компенсації

Повна компенсація температурного коефіцієнта частоти (ТКЧ)  $\alpha_f$ , який визначається як відносна зміна частоти автогенератора при зміні температури на 1 °С, в таких схемах можлива тільки в одній точці діапазону (рис. 2, криві а, б) [6]. ТКЧ на краях діапазону значно зростає, в результаті температурний вибіг частоти діапазонного автогенератора стає неприпустимим. В схемі з двома додатковими конденсаторами (рис. 1, в) досягається повна термокомпенсація у двох точках діапазону (рис. 2, крива в) і, відповідно, значно зменшується ТКЧ  $\alpha_f$  на краях діапазону.

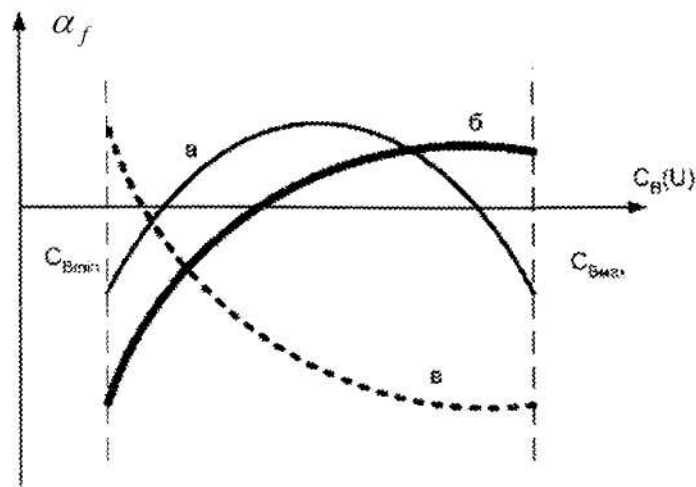


Рис. 2. ТКЧ генератора при різних схемах термокомпенсації

Коефіцієнт ТКЧ зв'язаний з коефіцієнтами ТКЄ і ТКІ  $\alpha_L$  (температурний коефіцієнт індуктивності) [6]:

$$\alpha_f = -\frac{1}{2}(\alpha_c + \alpha_L).$$

Умова термокомпенсації – це рівність  $\alpha_c = -\alpha_L$ .

Згадаємо [7], що для паралельного увімкнення двох ємностей  $C_1, C_2$  з ТКЄ  $\alpha_1, \alpha_2$  результуючий ТКЄ:

$$\alpha_c = \frac{\alpha_1 \cdot C_1 + \alpha_2 \cdot C_2}{C_1 + C_2},$$

а для послідовного з'єднання двох ємностей:

$$\alpha_c = \frac{\alpha_1 \cdot C_2 + \alpha_2 \cdot C_1}{C_1 + C_2}$$

Вираз повної термокомпенсації для схеми (рис 1, в):

$$\alpha_c = \frac{\frac{C_B \cdot C_1 (\alpha_B \cdot C_1 + \alpha_1 \cdot C_B)}{(C_1 + C_B)^2} + \alpha_2 \cdot C_2}{\frac{C_B \cdot C_1}{C_1 + C_B} + C_2} = -\alpha_1 \tag{1}$$

Для знаходження необхідних ТКЄ  $\alpha_1, \alpha_2$  конденсаторів  $C_1, C_2$  приведемо (1) до вигляду:

$$\alpha_1 \cdot \frac{C_B^2 \cdot C_1}{(C_1 + C_B)^2} + \alpha_2 \cdot C_2 = \frac{\alpha_c \cdot C_B \cdot C_1 + C_B \cdot C_2 + C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_B} - \alpha_B \cdot \frac{C_B \cdot C_1^2}{(C_1 + C_B)^2} \tag{2}$$

Нехай у двох точках частотного діапазону автогенератора, в яких реалізована повна термокомпенсація, ємність варикапа приймає значення  $C_{B1}, C_{B2}$ , а його ТКЄ – відповідно  $\alpha_{B1}, \alpha_{B2}$ .

Скористуємось (2) і, розв'язавши систему рівнянь, отримаємо вираз для ТКЄ додаткових конденсаторів:

$$\alpha_{C1} = \frac{1}{Z} \{ \alpha_c [C_1(C_{B1}(C_1 + C_{B1}) - C_{B2}(C_1 + C_{B2})) + D \cdot R] + 2D \cdot C_1(\alpha_{B2} - \alpha_{B1}) - \alpha_{B1} \cdot C_{B1}(C_1^2 + C_{B2}^2) + \alpha_{B2} \cdot C_{B2}(C_1^2 + C_{B1}^2) \}; \tag{3}$$

$$\alpha_{C2} = \alpha_c + \frac{C_1}{C_2} \cdot \frac{D}{Z} (-C_{B1} \cdot \alpha_{B2} + C_{B2} \cdot \alpha_{B1} + \alpha_c \cdot R), \tag{4}$$

де  $D = C_{B1} \cdot C_{B2}$ ,  $R = C_{B1} - C_{B2}$ ,  $Z = R(C_{B1} \cdot C_1 + 2D + C_{B2} \cdot C_1)$ .

У [8] показано доцільність використання схеми (рис. 1, в) у дводіапазонному генераторі УКХ радіомовного супергетеродина на мікросхемі TDA 7088T. В роботі пропонується зменшити коефіцієнт перекриття по частоті радіоприймача в діапазоні УКХ2 із збереженням типової, тобто рекомендованої, еквівалентної ємності LC-контуру генератора на максимальній частоті настройки. Виконання цієї умови не змінює коефіцієнт зворотного зв'язку за частотою в петлі керування миттєвою частотою генератора. Залишається незмінною індуктивність котушки контуру, а комутація діапазонів спрощена і здійснюється шляхом розмикання (замикання) додаткової котушки індуктивності (рис. 3).

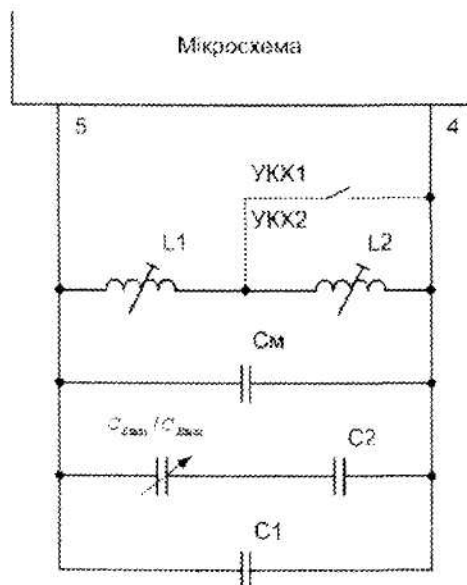


Рис. 3. Схема контуру дводіапазонного генератора

Ємності додаткових конденсаторів визначаються за формулами [4]:

$$C_1 = \frac{C_{B \min}^2 [C_{B \min}^2 - A - \frac{B}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{B^2 + 4E(C_{B \max} - C_{B \min})}]}{E};$$

$$C_2 = \frac{-B - \sqrt{B^2 + 4E(C_{B \max} - C_{B \min})}}{2(C_{B \max} - C_{B \min})},$$

де

$$A = C_M \cdot C_{B \max} (K - 1) + KC_{B \max}^2; \quad B = (C_{B \min}^2 - A) + \frac{E}{C_{B \min}};$$

$$E = (K - 1)(C_M + C_{B \max})C_{B \min}^2.$$

Коефіцієнт зменшення  $K = \left(\frac{K'_{f_2}}{K_{f_2}}\right)^2$  визначається як відношення заданого коефіцієнта

перекриття за частотою до початкового для діапазону УКХ2;  $C_M$  – монтажна ємність схеми, через яку позначена сума вихідної ємності мікросхеми і паразитної ємності монтажу. Не важко

побачити, що коефіцієнт зменшення  $K$  змінюється від  $\frac{1}{K_{f_2}^2}$  до 1.

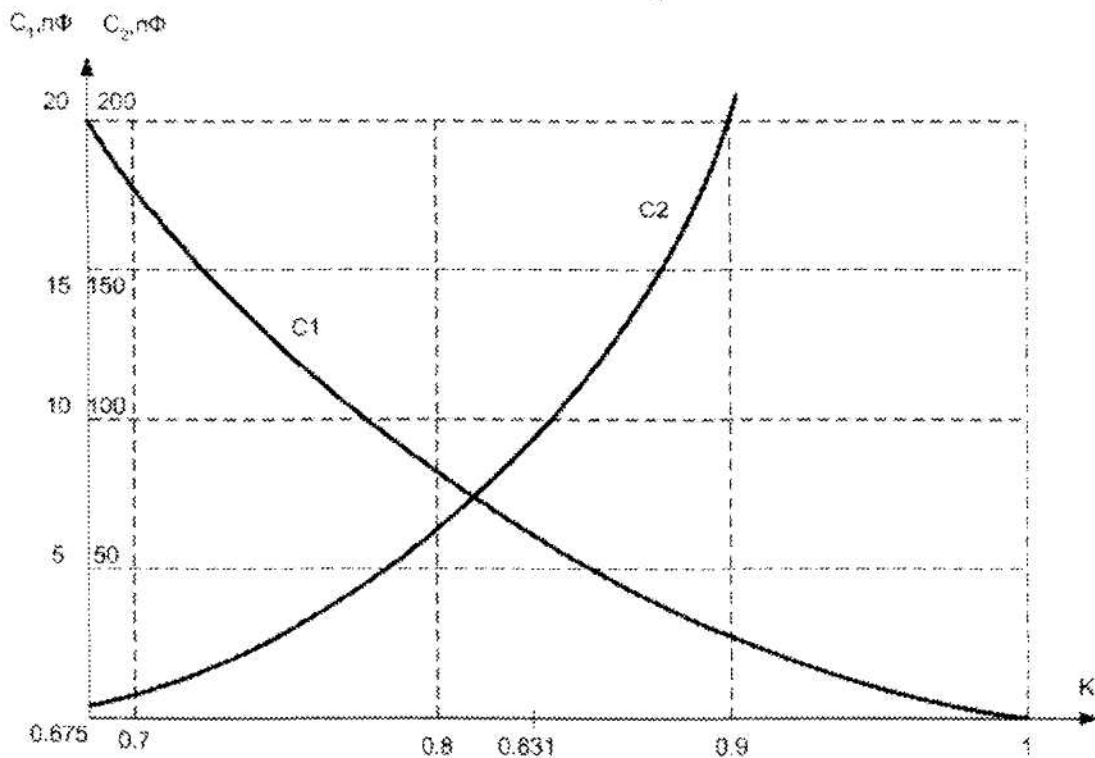


Рис. 4. Залежності ємностей конденсаторів від коефіцієнта зменшення

Вибір конденсаторів  $C_1, C_2$  схеми (рис. 3) в залежності від коефіцієнта зменшення  $K$  можна зробити з графіків, які зображені на рис. 4. Вони побудовані для випадку реалізації генератора, для якого  $C_M = 4,5$  пФ, і застосування варикапа з мінімальною і максимальною ємностями  $C_{B \min} = 28$  пФ,  $C_{B \max} = 45$  пФ.

Особливими є точки при коефіцієнті  $K = 0,831$ , який відповідає  $K'_{f_2} = K_{f_2} = 1,125$  (для діапазону УКХ1 65,8...74 МГц)  $K_{f_2} = 1,234$  (для діапазону УКХ2 87,5...108 МГц).

Вибір частоти генератора, не охопленого автовідстройкою, дводіапазонного УКХ приймача не повинен перевищувати 30–45 кГц при зміні температури експлуатації в межах 30 °С,

абсолютний ТКЧ  $A_f$  не повинен перевищувати  $1,5 \text{кГц}/^\circ\text{C}$ . Якщо не виконати цю умову, то не буде реалізовано безпошуковий режим роботи з фіксованими настройками.

Оцінімо можливість використання сучасних варіантів у такому генераторі.

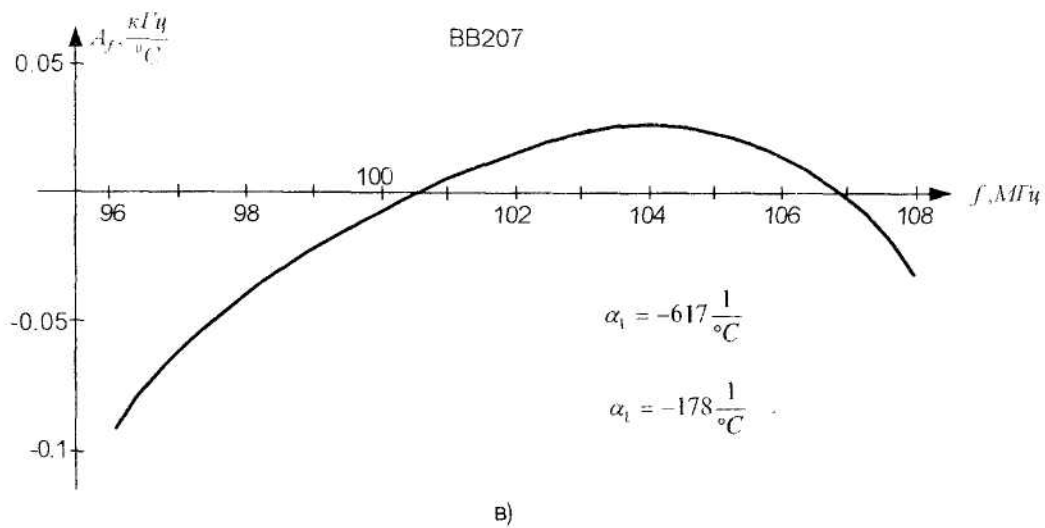
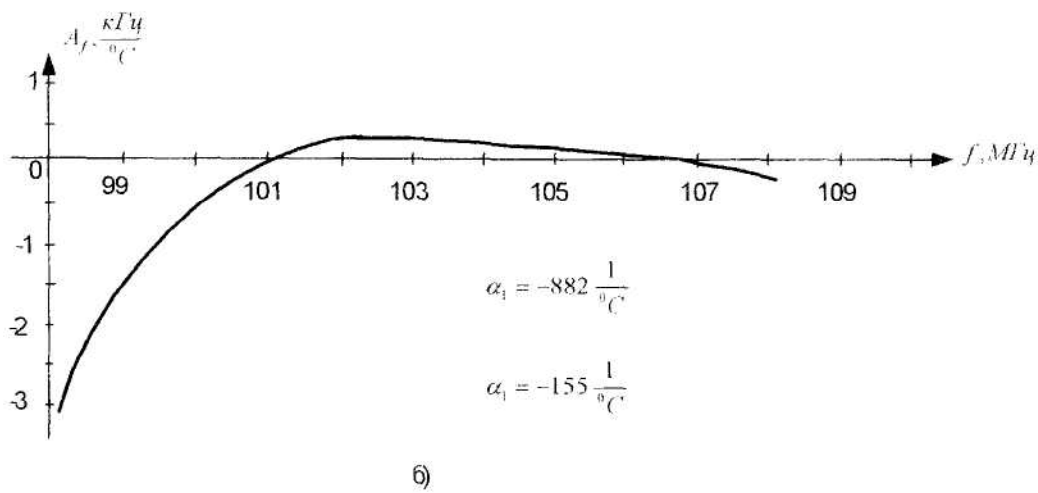
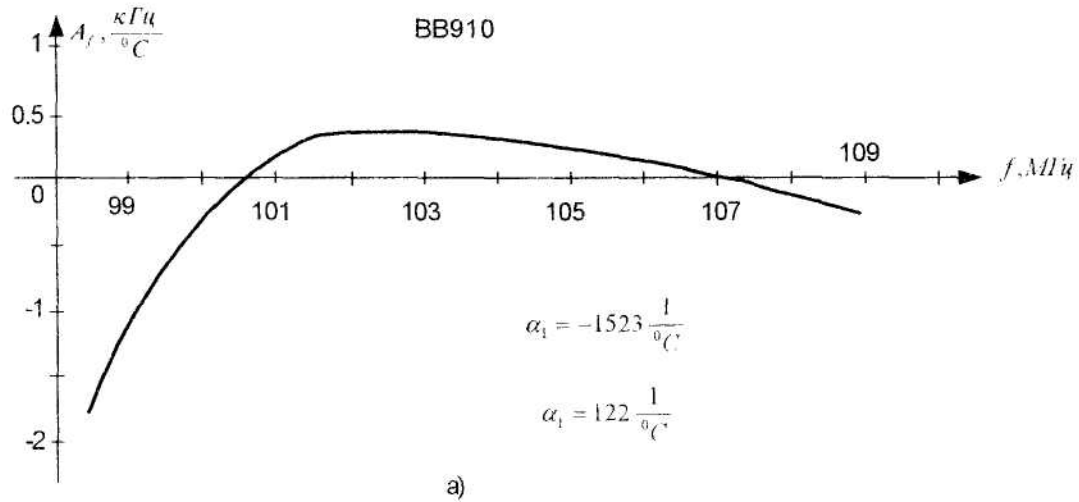


Рис. 5. Залежності абсолютного ТКЧ у випадку точної термокомпенсації

На рис. 5 зображені залежності ТКЧ  $A_f$  від частоти настрійки генератора у випадку точної термокомпенсації у двох точках. Криві побудовані для варикапів ВВ910 (рис. 5, а), ВВУ40 (рис. 5, б), ВВ207 (рис. 5, в) [9]. Ємність варикапів змінюється в однакових межах від  $C_{Bmin} = 28$  пФ до  $C_{Bmax} = 45$  пФ. Для цього кожному встановлюються власні межі зміни зворотної напруги  $U$ . Вибір частот точної термокомпенсації не випадковий, його обумовлено можливістю реалізації конденсаторів з потрібним ТКЄ. Зсув першої точки компенсації нижче 100 МГц призводить до різкого зростання ТКЄ, підбір конденсаторів  $C1$ ,  $C2$  для практичної схеми генератора стає неможливим.

Аналогічні залежності (рис. 6) побудовані для генератора, в якому встановлені конденсатори  $C1$ ,  $C2$  з найближчими до точних значень групами ТКЄ. Частотна нестабільність зростає.

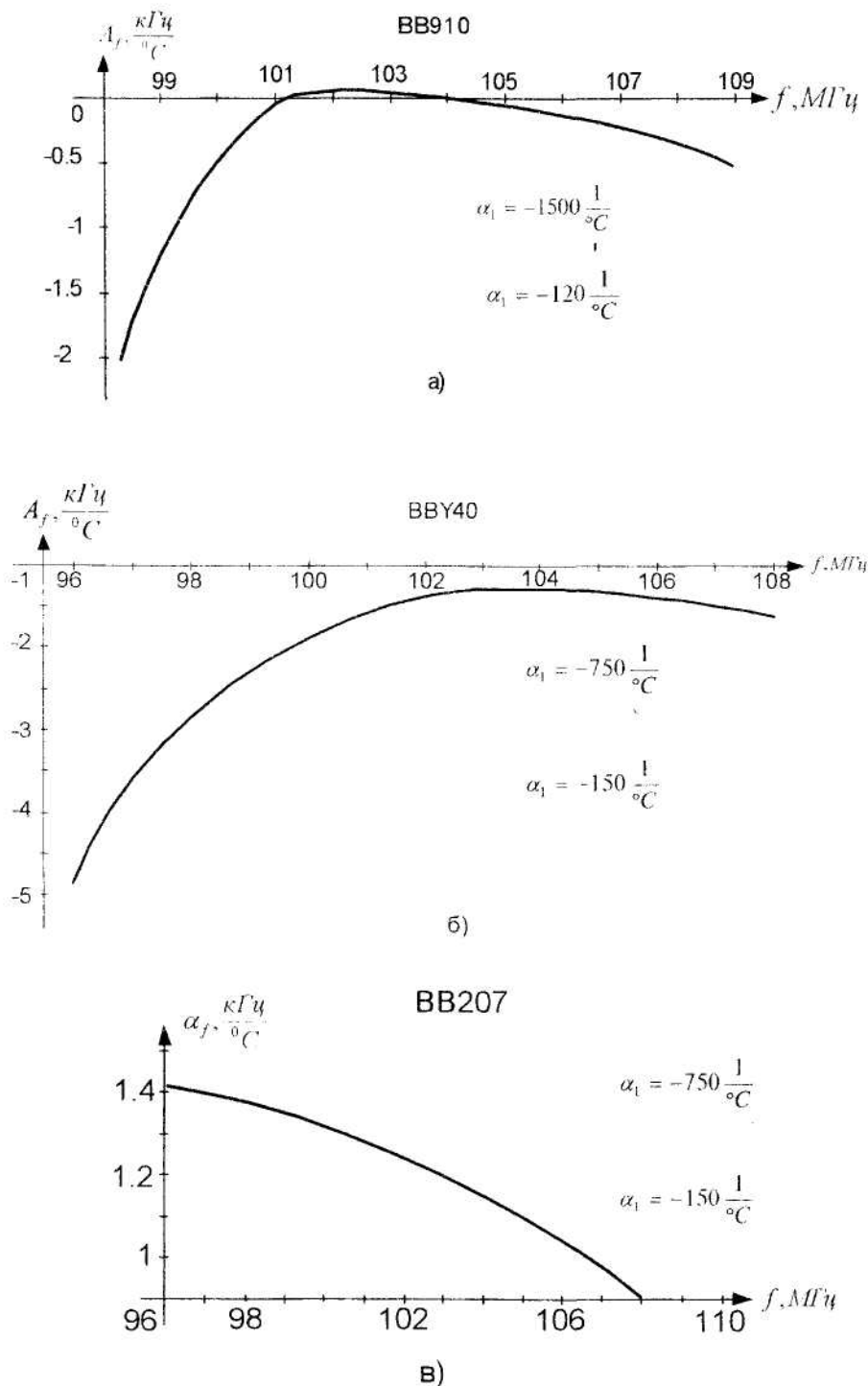


Рис. 6. Залежності абсолютного ТКЧ для практичної схеми генератора.

Для порівняння, на рис. 7 наведені залежності  $A_f$  у випадку, коли конденсатори С1, С2 не підбиралися і мали нульовий ТКЄ. Спостерігається різке зростання ТКЧ.

ТКЧ термокомпенсованого УКХ генератора, побудованого на основі варикапа ВВ207, задовольняє вимогам до температурної стабільності радіоприймача. Два інших варикапа, що досліджувалися, не можуть бути застосовані у запропонованій схемі через перевищення ТКЧ на окремих ділянках частотного діапазону. Аналогічно, за запропованою методикою можна побудувати залежності ТКЧ для інших варикапів іноземного та вітчизняного виробництва.

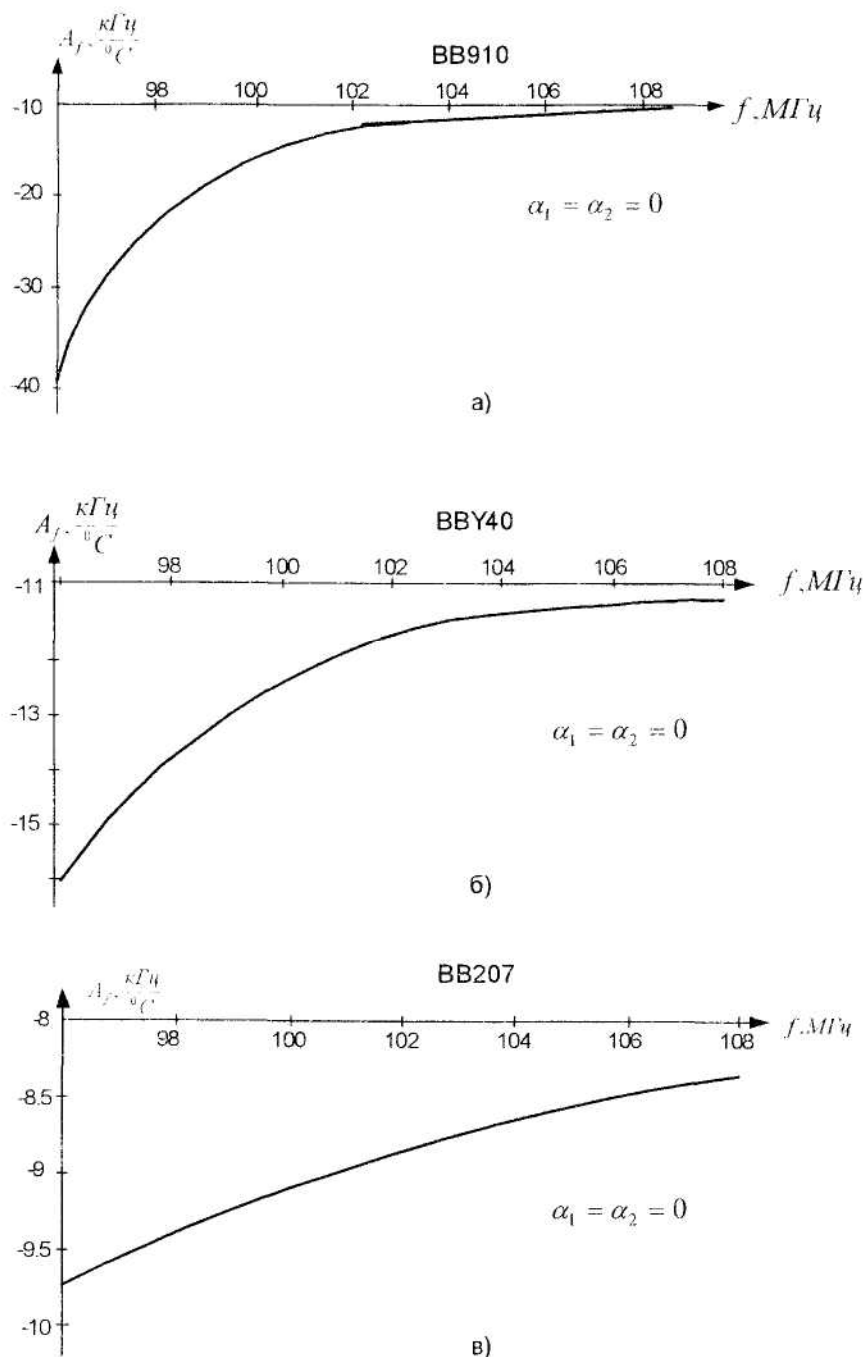


Рис. 7. Залежності абсолютного ТКЧ з нульовим ТКЄ конденсаторів

Підбір конденсаторів згідно з розглянутим способом термокомпенсації дозволяє значно покращити температурну стабільність діапазонного автогенератора на варикапі. Проведений аналіз дозволив запропонувати практичну схему УКХ генератора радіоприймача, в якому забезпечена довготривала температурна стабільність фіксованої настройки.

**Висновки.**

1. Використання термокомпенсації у двох точках частотного діапазону суттєво зменшує температурну залежність частоти автогенератора на варикапі.

2. Визначення ТКЄ додаткових конденсаторів термокомпенсації за пропонуваними формулами для різних варикапів дає відповідь про можливість їх використання в діапазонному автогенераторі із заданими параметрами частотної нестабільності. Шляхом зміни положення по осі частоти точок повної термокомпенсації здійснюється підбір реальних значень ТКЄ додаткових конденсаторів.

3. Проведені розрахунки показали, що можливо виконати стабільний діапазонний автогенератор на варикапі ВВ207 в радіоприймальному пристрої з фіксованою настройкою без застосування спеціальних схем стабілізації, таких, як синтезатори частоти.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. *Калихман С.Г., Левин Я.М.* Радиоприёмники на полупроводниковых приборах. Теория и расчёт. – М.: Связь, 1979–352 с.
2. *Воллерьер П.П.* Радиоприёмальні пристрої. – К.: Вища школа, 1993. – 391 с.
3. *Куликов Г., Парамонов А.* Микросхеми для построения радиоприёмных трактов аудиоаппаратуры // Электронные компоненты. – 2000. – № 1. – С. 51–54.
4. *Малашевич Б.* Новые ИС для аудиоаппаратуры // Электронные компоненты. – 2000. – № 2. – С. 50–54.
5. Полупроводниковые приборы: Диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы: Справочник / Под общ. ред. Н.Н. Горюнова. – М.: Энергоиздат, 1982. – 744 с.
6. Справочник по радиоэлектронным устройствам в 2-х томах. Т. 1 / Под ред. Д.П. Линде. – М.: Энергия, 1978. – 440 с.
7. Радиодетали, радиокомпоненты и их расчёт / Под ред. А.В. Ковалю. – М.: Сов. радио, 1977. – 368 с.
8. *Копонов С.П., Куровський В.В., Федченко С.В.* Покращення стабільності роботи приймача ефірного мовлення // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах: Збірник наукових праць. – Хмельницький: ТУП, 2002. – С. 157.
9. Каталог SC01 "Discrete Semiconductors" ф. Philips. – 2003.

**КОНОЦОВ** Сергій Павлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри телекомунікаційних систем та телебачення Вінницького національного технічного університету.

Наукові інтереси:

– радіомовлення та електроакустика;

– електромагнітна сумісність.

Тел.: (0432) 21-02-30.

**МАНОЙЛОВ** В'ячеслав Пилипович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри медичних приладів і систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– антени і пристрої НВЧ.

E-mail: [prof.manoylov@list.ru](mailto:prof.manoylov@list.ru)

**ЧЕРНИГА** В'ячеслав Васильович – кандидат технічних наук, доцент кафедри радіотехніки Вінницького національного технічного університету.

Наукові інтереси:

– антени і пристрої НВЧ;

– електромагнітна сумісність.

Тел.: (0432) 32-11-52.