

Вінницький національний технічний університет
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем
Кафедра радіотехніки

Магістерська кваліфікаційна робота

**на тему: «ФЛУКТУАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ПЕРЕСТРОЮВАНИХ КВАЗІГАРМОНІЧНИХ
РС-АВТОГЕНЕРАТОРІВ»**

Виконав: студент 2-го курсу, групи ТКР–17м з/в

Квас С.Л.

Керівник: к.т.н., доцент каф. РТ

Воловик А.Ю.

Вінниця ВНТУ - 2019 рік

Мета роботи: є дослідження режимних та флуктуаційних характеристик принципів схем перестроюваних квазі-гармонічних RC-автогенераторів, їх теоретичне обґрунтування і перевірка результатів їх використання за допомогою моделювання.

Об'єкт дослідження: процеси перетворення аналогових сигналів в електричних колах перестроюваних квазі-гармонічних RC-автогенераторів.

Предмет дослідження: методи проектування, режимні й флуктуаційні характеристики перестроюваних квазігармонічних RC-автогенераторів.

Апробація результатів: Результати досліджень магістерської кваліфікаційної роботи доповідались і пройшли апробацію на «XLVIII Науково-технічній конференції ФІРЕН (2019)» ВНТУ, Вінниця, 2019.

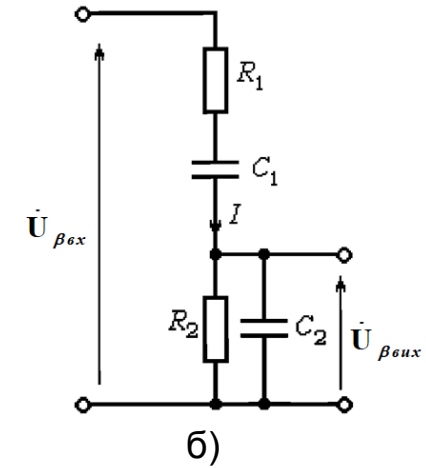
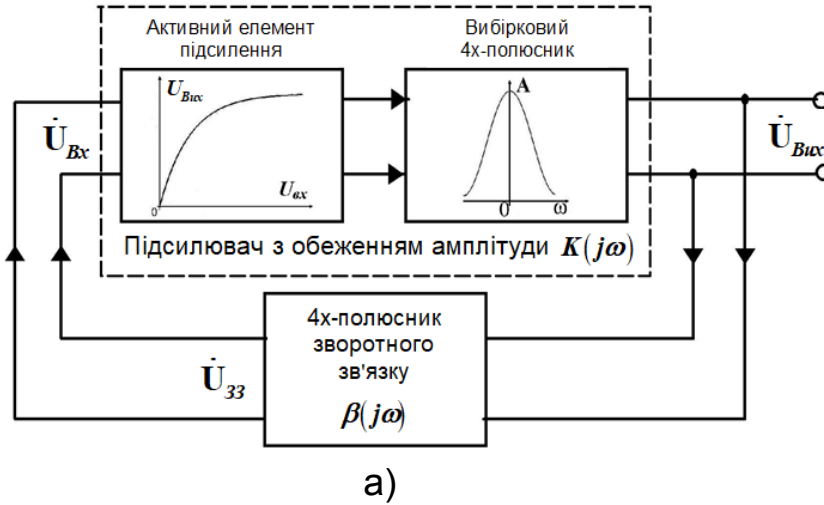


Рисунок 1. Узагальнена структурна схема автогенератора з зовнішнім ПЗЗ (а); послідовно-паралельна ланка Віна (б);

$$\beta(j\omega) = \frac{R_2 / j\omega C_2}{R_2 + 1 / j\omega C_2} \quad (1)$$

$$1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1} + j \left(\omega C_2 R_1 - \frac{1}{\omega R_2 C_1} \right)$$

$$|\beta(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{\left(1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1}\right)^2 + \left(\omega C_2 R_1 - \frac{1}{\omega R_2 C_1}\right)^2}} \quad (2)$$

$$\frac{d^2 U}{dt^2} + \frac{1}{RC} (3 - K + 3K U^2) \frac{dU}{dt} + \frac{1}{(RC)^2} U = 0 \quad (4)$$

$$\varphi_\beta = -\arctg \frac{\omega C_2 R_1 - \frac{1}{\omega R_2 C_1}}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1}} \quad (3)$$



Рисунок 2 - Узагальнена схема RC- автогенератора (а) ;
з еквівалентним джерелом природніх шумів (б)

$$T_{\varphi a} p U = \Phi V_1(U) - U \quad (5)$$

$$T_{a\varphi} p \varphi = r_{a\varphi} (\Phi H_1(U) - 1)$$

$$\left[T_{\varphi a} p + \Pi_{n\varphi} \right] m_{\varphi} = \Phi h_{1.cm} \frac{U_{\xi c}}{U_{cm}} - r_{a\varphi} \frac{U_{\xi s}}{U_{cm}} \quad (6)$$

$$T_{\varphi a} p \varphi_{\varphi} = \frac{U_{\xi s}}{U_{cm}} + r_{a\varphi} \Phi h_{1.cm} \frac{U_{\xi c}}{U_{cm}} - r_{a\varphi} \Pi_{n\varphi} m_{\varphi}$$

$$S_m(f) = \frac{\Phi^2 (h_{1.cm}^2 + r_{a\varphi}^2)}{\tau_{\varphi a}^2 (f^2 / f_3^2) + \Pi_{n\varphi}^2} \cdot \frac{2 S_u(f_3)}{U_{cm}^2} \quad (7)$$

$$S_{\varphi}(f) = \frac{f_3^2}{\tau_{\varphi}^2 f^2} \cdot \frac{M^2 \tau_{\varphi a}^2 (f^2 / f_3^2) + \Pi_{n\varphi}^2}{\tau_{\varphi a}^2 (f^2 / f_3^2) + \Pi_{n\varphi}^2} \cdot \frac{2 S_u(f_3)}{U_{cm}^2} \quad (8)$$

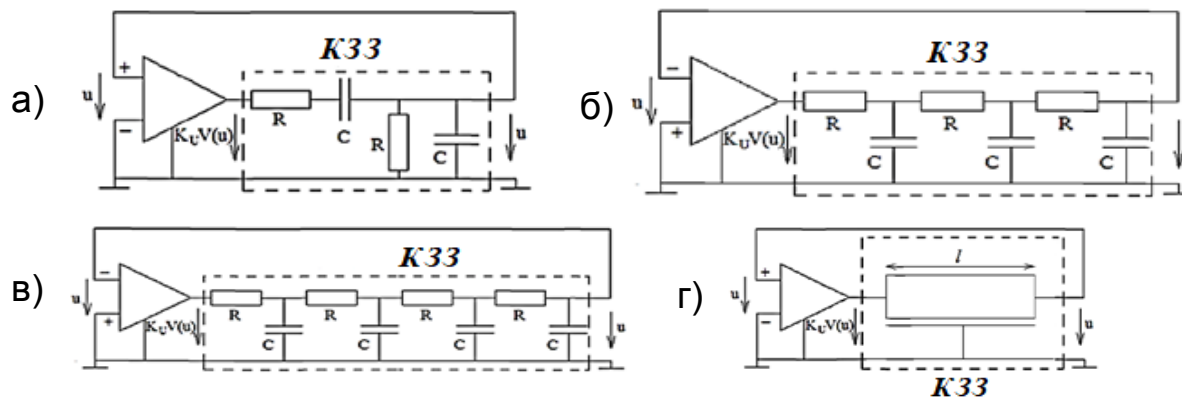


Рисунок 3 - Схеми RC-автогенераторів з різними фільтрами в колі ПЗЗ:
 а) з мостом Віна; б) з трьох-ланковим колом (АГЗ 3); в) з чотирьох-ланковим колом (АГЗ 4);
 г) з розподіленої RC-лінією (АГР 0).

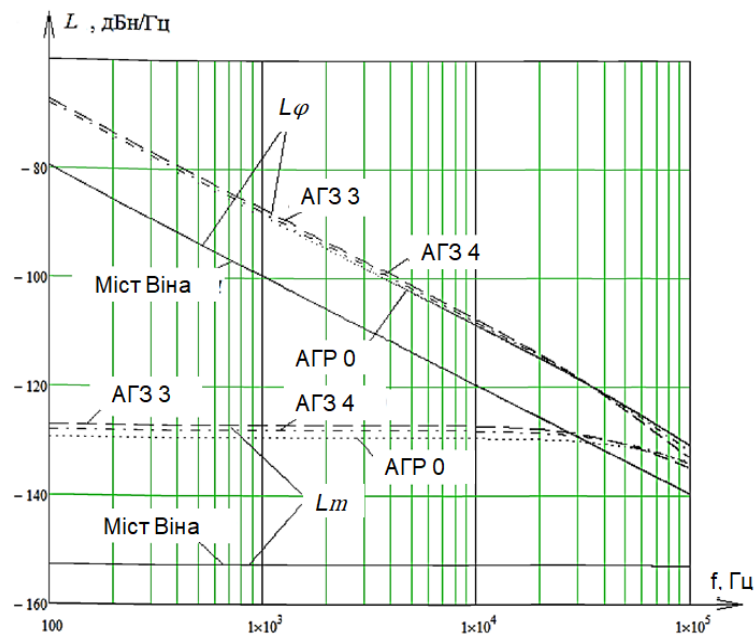


Рисунок 4 - Графік залежності рівня СЦП ФШ RC-автогенераторів від частоти відхилення з різними фільтрами в колі ПЗЗ

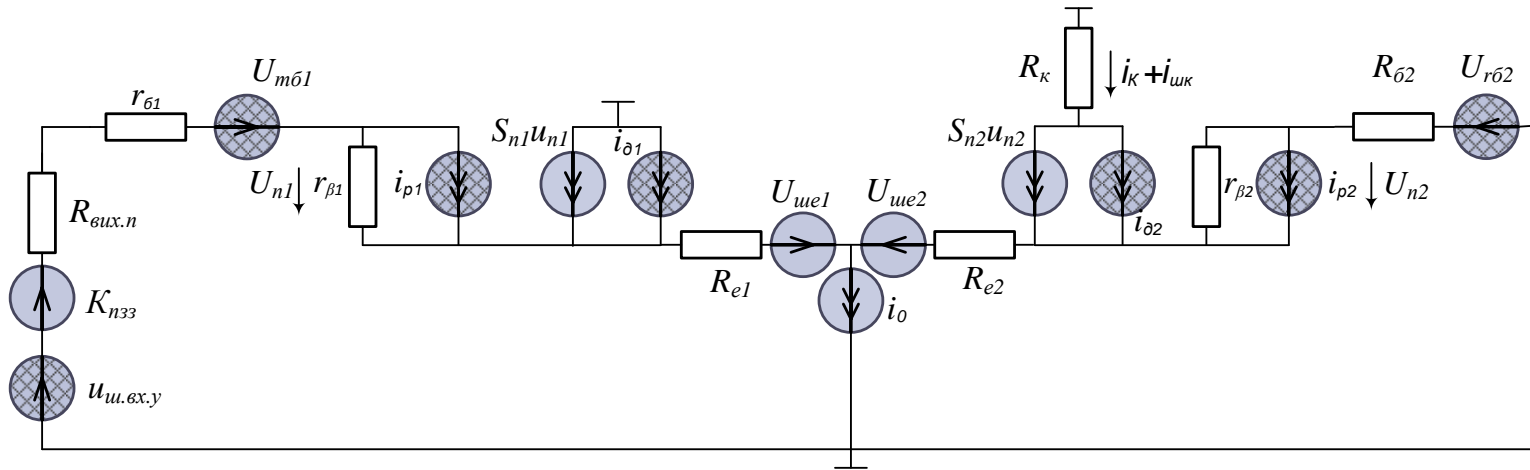


Рисунок 5 - Еквівалентна схема АГ з джерелами природних шумів

$$S_m(f) = \frac{\Phi^2 (h_{1.cm}^2 + r_{a\phi}^2)}{\tau_{\phi a}^2 (f^2 / f_3^2) + \Pi_{ny}^2} \cdot \frac{2 S_{\Sigma}(f_3)}{U_{cm}^2} \quad (9)$$

$$S_{\phi}(f) = \frac{f_3^2}{\tau_{\phi}^2 f^2} \cdot \frac{M^2 \tau_{\phi a}^2 (f^2 / f_3^2) + \Pi_{ny}^2}{\tau_{\phi a}^2 (f^2 / f_3^2) + \Pi_{ny}^2} \cdot \frac{2 S_{\Sigma}(f_3)}{U_{cm}^2} \quad (10)$$

Таблиця 1 – Відносні рівні СЦП фазових шумів

	Лф, дБн/Гц (без шумів АП)	Лф, дБн/Гц (з шумами АП)
міст Віна	-99.7	-97.0
3-х ланцюгове коло	-84.7	-82.9

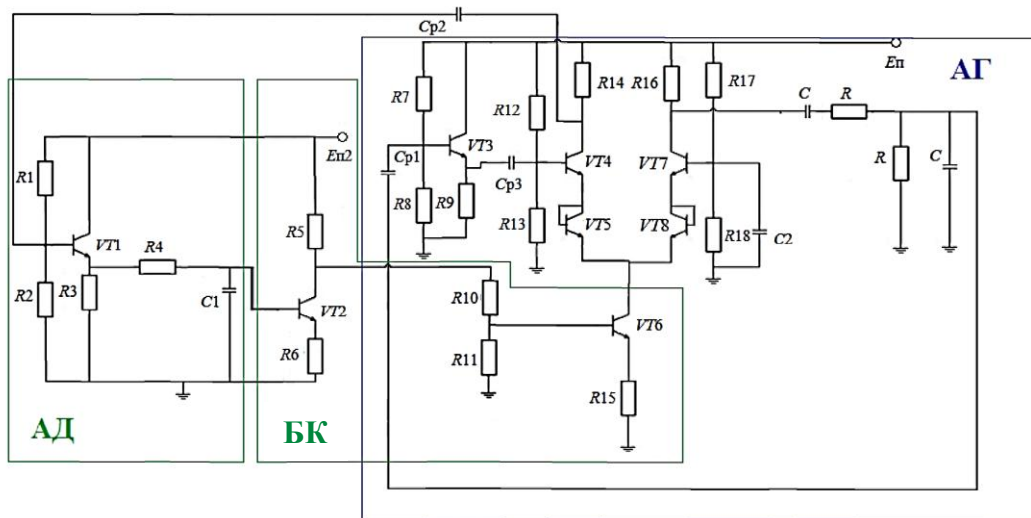


Рисунок 6 - Схема АГ з мостом Віна з АРА з керуванням по струму

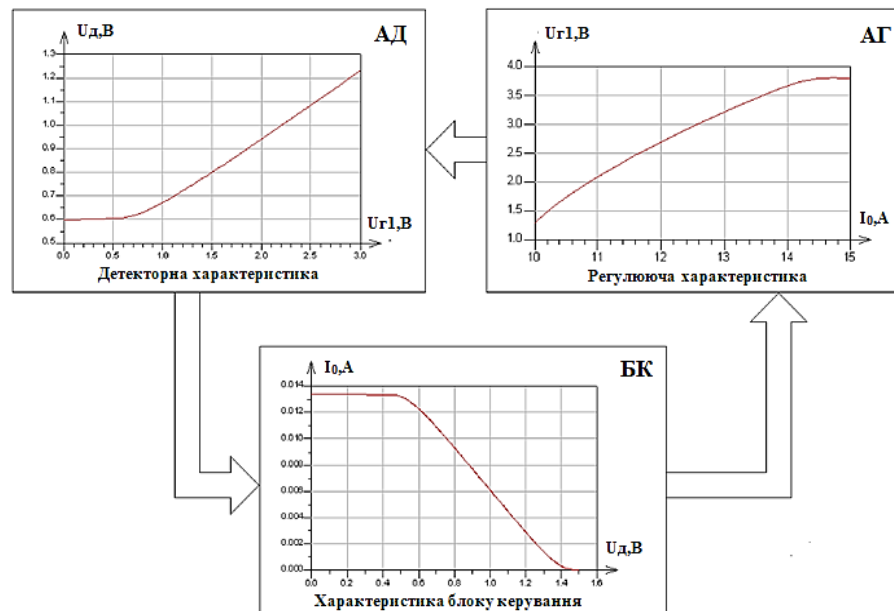
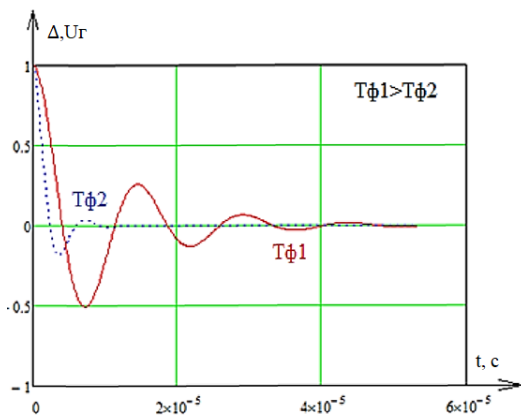
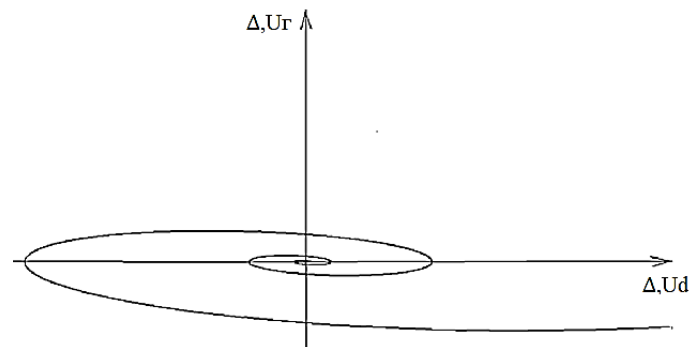


Рисунок 7 - Функціональна схема RC-автогенератора з мостом Віна й системою АРА



а)



б)

Рисунок 8 - Реакції системи на зміну амплітуди напруги АГ при двох значеннях постійної часу ФНЧ $T_{\phi 1} = 1$ мкс; $T_{\phi 2} = 0.2$ мкс (а); Фазовий портрет системи при постійній часі ФНЧ $T_{\phi 2}$ (б)

Таблиця 2 – Оцінка внеску шумів функціональних вузлів системи АРА у загальну СЦП фазових шумів АГ

Частота розладення, кГц	L_{ϕ} , дБ/Гц	
	АГ з АРА	АГ без АРА
0.1	-62.3	-62.4
1	-82.3	-82.4
10	-102.3	-102.4

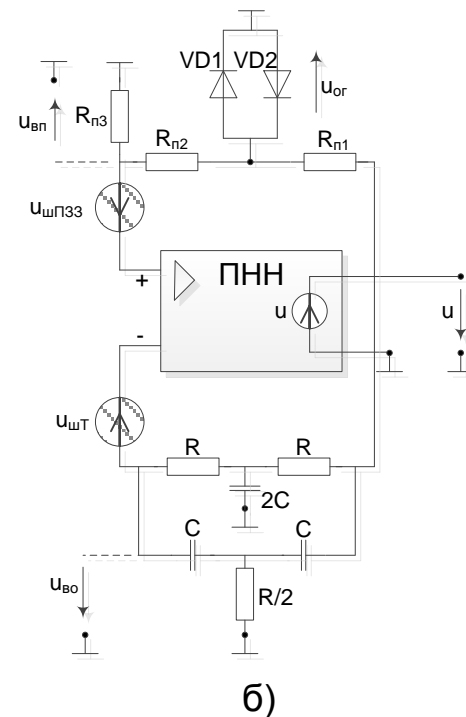
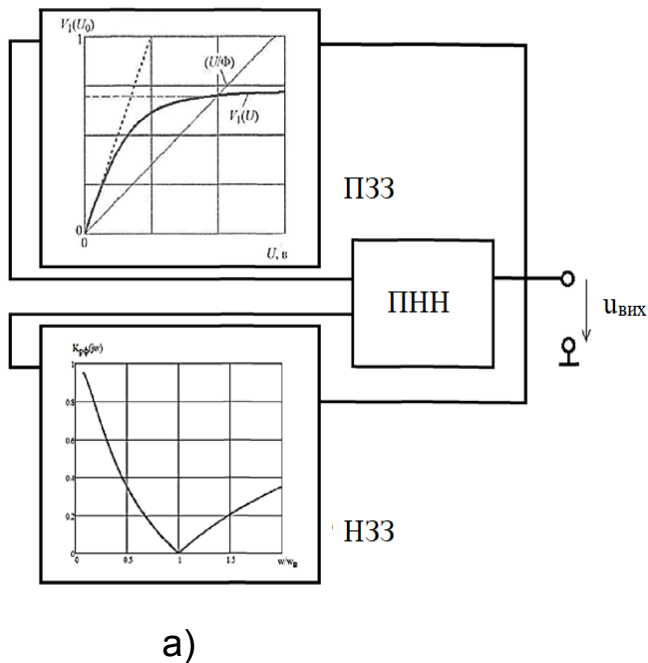


Рисунок 9 - Принцип роботи АГ з РФ (а); схема RC-автогенератора із джерелами шумів КЗЗ (б)

$$S_{\varphi}(f) = \frac{\Phi^2 k_{33}^{-2}}{(2\pi fT)^2} \cdot \frac{8k_B T^\circ [0,5R + R_{n3}]}{U_0^2} \quad (11)$$

$$S_m(f) = \frac{\Phi^2 k_{33}^{-2}}{(2\pi fT)^2 + [1 - \Phi h(U_0)]^2} \cdot \frac{8k_B T^\circ [0,5R + R_{n3}]}{U_0^2} \quad (12)$$

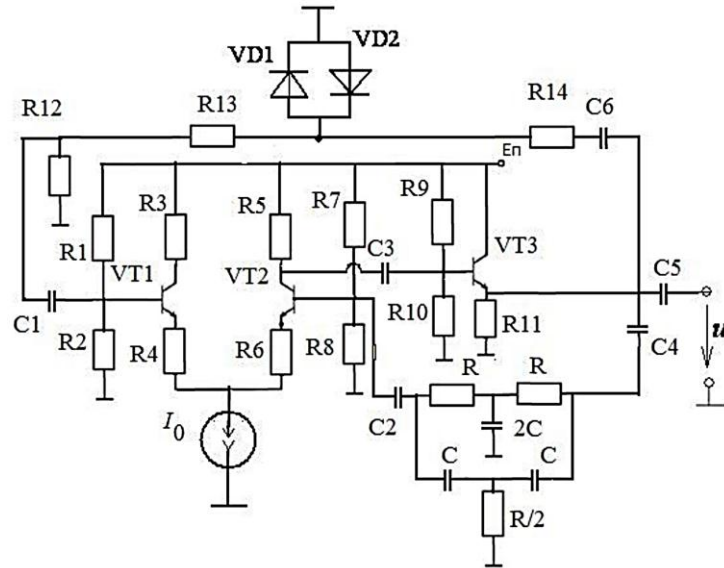


Рисунок 10 - Електрична схема RC-автогенератора із РФ у колі НЗЗ

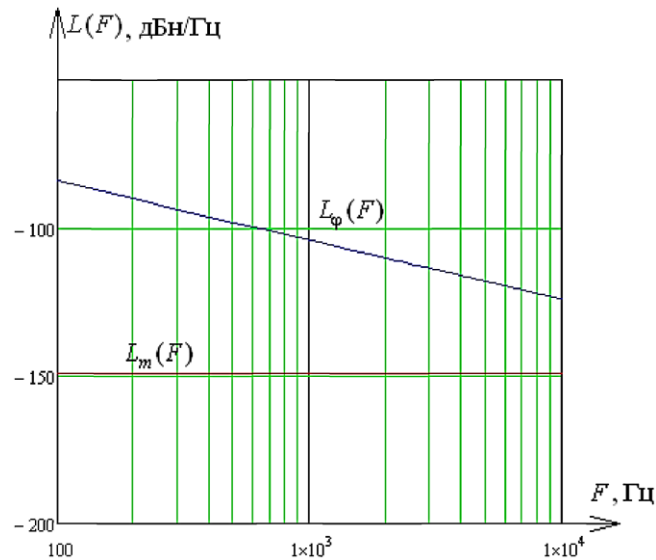


Рисунок 11 - Залежність СЩП фазових і амплітудних шумів АГ від частоти розладнання

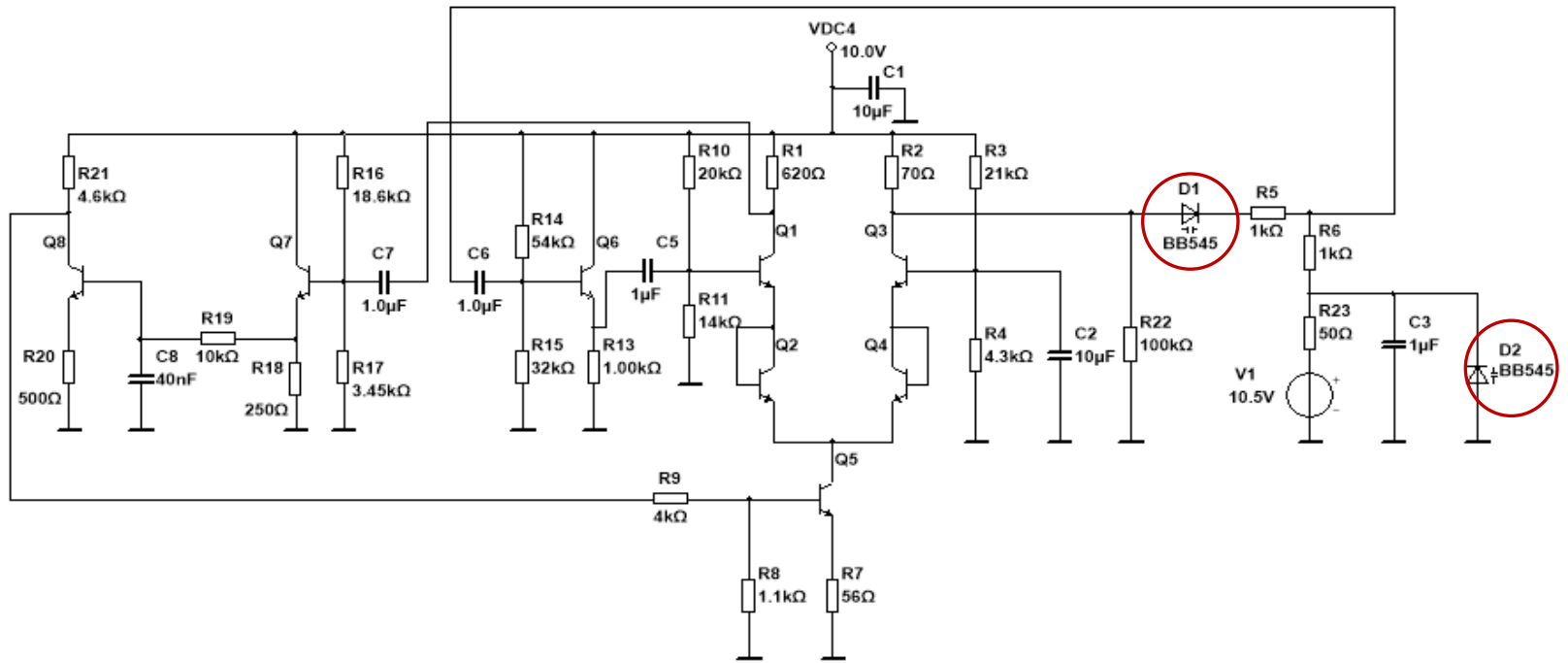


Рисунок 12 - Перестроюваний квазігармонічний RC-автогенератор з мостом Віна керований напругою.

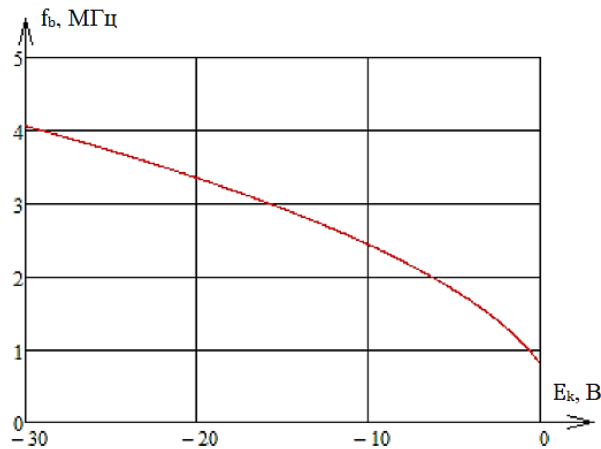


Рисунок 13 - Модуляційна характеристика RC-ГКН

Таблиця 3 – Кількісна оцінка внеску шуму ланок керування у загальну СЦП фазових шумів АГ

СПМ фазових шумів		Частота автоколивань	
		1МГц	4МГц
$L_{фгкн}$ дБ/Гц	$Re(Z_{вх})=50\text{Ом}$	-182.0	-187.8
	$Re(Z_{вх})=1\text{кОм}$	-169.0	-174.8

$$S_{\varphi.B}(f, E_k) = \frac{1}{\left((2\pi RC_b(E))^2 T_\varphi f \right)^2} \cdot \frac{8k_B T^\circ R}{3(U_0/K_U)^2} \cdot S_{\Phi.зкн}(f, E_k) \quad (12)$$

$$S_{\varphi.P\Phi}(f, E_k) = \frac{1}{\left(1 + K_U^{-1}/2 \right)^2 (2\pi RC_b(E_k) f)^2} \cdot \frac{8k_B T^\circ [R/2 + R_{n3}]}{U_0^2} \cdot S_{\Phi.зкн}(f, E_k) \quad (13)$$

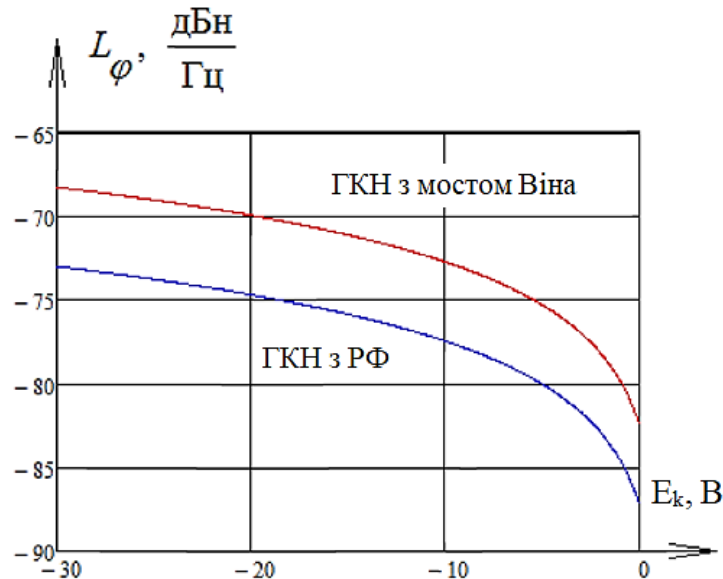


Рисунок 14 - Залежність рівня СЦП ФШ від керуючої напруги на частоті розладнання 1 кГц

Таблиця 4 – Порівняння результатів отриманих за допомогою розрахунків і комп'ютерного моделювання

	Міст Віна		Трьохланкове RC-коло	
	Розрахунок	Моделювання	Розрахунок	Моделювання
L_{φ} , дБ/Гц	-97.0	-97.1	-80.9	-81.0
$U_{\text{вих.АП}}$, В	1	0.86	1	0.875
K_U	3	2.7	29	27.1

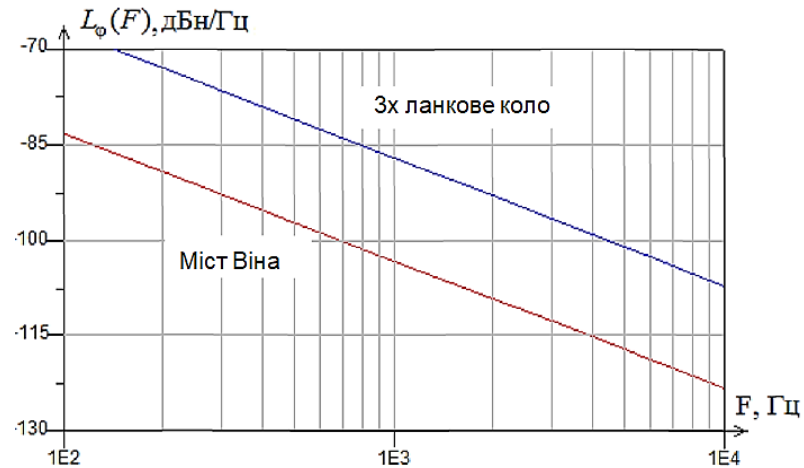
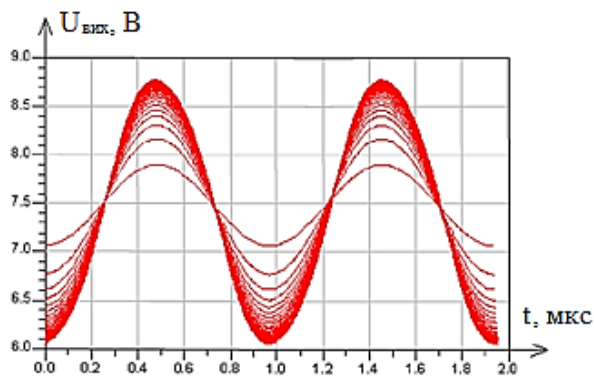
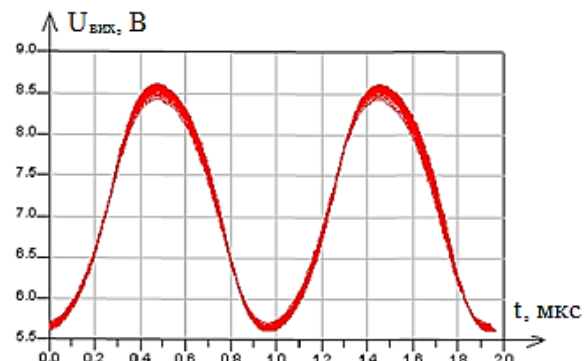


Рисунок 15 - Залежність рівня СЦП ФШ від частоти розладу

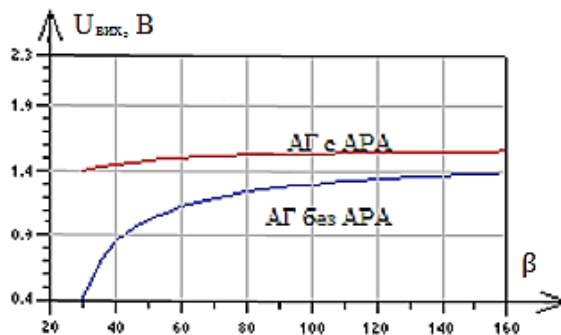


(a)

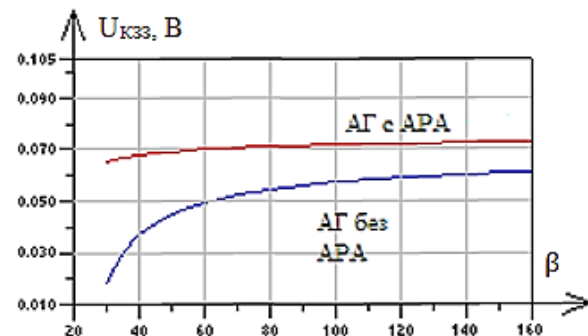


(б)

Рисунок 16 - Епюри напруг RC-автогенератора з мостом Віна без АРА (а); з АРА (б)



(a)



(б)

Рисунок 17 - Залежність амплітуди напруг RC-автогенератора з мостом Віна з АРА та без АРА при різних значеннях β : а) на виході RC-автогенератора; б) на виході КЗЗ

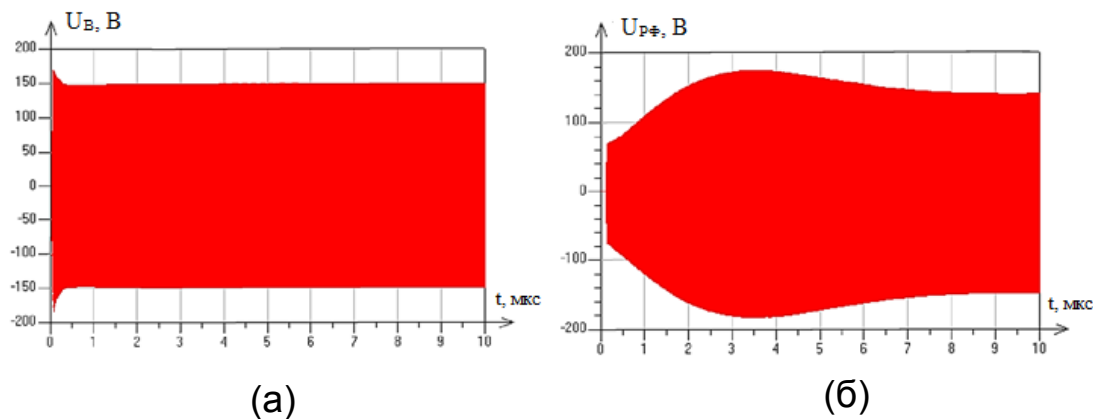


Рисунок 18 - Процес встановлення коливань ГКН а) з мостом Віна; б) із РФ.

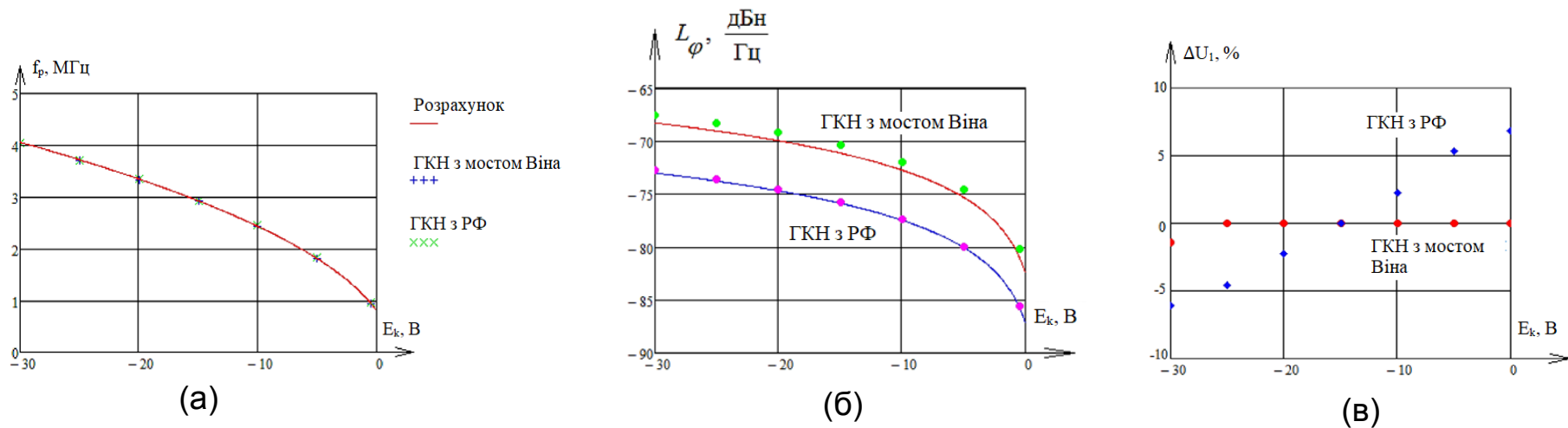


Рисунок 19 - а) Модуляційна характеристика ГКН; б) залежність рівня СЦП ФШ від керуючої напруги на частоті розладнання; в) залежність амплітуди першої гармоніки від керуючої напруги ГКН.

1. Досліджений метод розрахунків режимних і флуктуаційних характеристик у двох класах перестроюваних квазігармонічних RC-автогенераторів, заснований на розвитку методу вкорочених символічних рівнянь застосованого до автоколивальних систем з нерезонансними колами зворотного зв'язку;
2. Отримані рівняння для розрахунків і аналізу СЦП фазових і амплітудних шумів перестроюваних квазігармонічних RC-автогенераторів. Досліджено вплив режиму АГ на рівень СЦП цих шумів;
3. Досліджені внески в загальний рівень СЦП фазових шумів RC-автогенераторів джерел адитивних шумів кіл ЗЗ, активного приладу, функціональних вузлів системи автоматичного регулювання амплітуди й кіл керування частотою;
4. З використанням комп'ютерного моделювання доведена застосовність розглянутого методу для інженерних розрахунків із прийнятною для практики точністю;
5. Проведений порівняльний аналіз декількох варіантів побудови RC-автогенераторів по сукупності режимних і флуктуаційних характеристик. Алгоритмів.

ДОПОВІДЬ ЗАВЕРШЕНО,

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ