

## Лабораторна робота 6

### ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХРЕСНИХ ВИКРИВЛЕНЬ В РАДІОПРИЙМАЛЬНОМУ ПРИСТРОЇ

Метою роботи є дослідження перехресних викривлень в радіоприймальному пристрої (РПП), визначення коефіцієнту перехресних викривлень, динамічного діапазону та ефективної вибірконості РПП по перехресним викривленням.

#### Стислі теоретичні відомості

Проходження сигналу через тракт РПП з нелінійною вольт-амперною характеристикою (ВАХ) супроводжується розширенням частотного спектру. Якщо на вхід нелінійного тракту РПП надходить слабкий АМ-сигнал і модульована завада, причому несуча частота завади не співпадає з частотами основного і побічних каналів прийому, то на виході тракту виникає напруга, в спектрі якої міститься несуча частота сигналу, його бокові частоти і бокові частоти АМ-завади. В тому випадку, якщо корисний сигнал немодульований, в спектрі напруги на виході РПП присутні несуча сигналу і бокові частоти завади, тобто амплітуда несучої сигналу при цьому змінюється за законом огинаючої завади. Зміна структури спектру сигналу на виході тракту РПП під дією на його вході АМ-сигналу та АМ-завади, частота якої не співпадає з частотами основного та побічного каналів прийому, називається ефектом перехресних викривлень (перехресної модуляції). [1,3] Для кількісної оцінки цього ефекту вводиться коефіцієнт перехресних викривлень  $K_n$ , який визначається співвідношенням:

$$K_n = \frac{1}{2} \frac{m_n}{m_c} \frac{S''}{S} U_n^2 = \frac{U_{\Sigma \text{вих}} - U_{\text{свих}}}{U_{\text{свих}}} \quad (6.1)$$

де  $m_n$  та  $m_c$  – коефіцієнти глибини АМ завади та сигналу;

$U_n$  – амплітуда напруги завади;

$S$  та  $S''$  – крутість ВАХ нелінійного елемента на вході РПП та її друга похідна;

$U_{\Sigma \text{ вих}}$  та  $U_{c \text{ вих}}$  – вихідні напруги низької частоти РПП при наявності і відсутності завади на його вході відповідно. Зі співвідношення (4.1) випливає, що коефіцієнт перехресних викривлень не залежить від рівня сигналу на вході  $U_{c \text{ вх}}$  при умові  $U_{c \text{ вх}} \ll U_{z \text{ вх}}$ . Відношення  $S''/S$  характеризує властивості ВАХ нелінійного елемента, що впливає на ефект перехресних викривлень. Припустимим вважається  $K_{\Pi} = 0,1$  (-20 дБ) при  $m_3=0,3$  і модуляції завади напругою частоти 1000 Гц, при цьому сигнал немодульований. Здатність РПП приймати сигнал в присутності сильної завади з припустимими перехресними викривленнями визначається динамічним діапазоном РПП по перехресним викривленням :

$$D_{\Pi} = 20 \lg(U_{z \text{ доп}} / U_{c \text{ min}}), \quad (6.2)$$

де  $U_{z \text{ доп}}$  – допустима напруга завади, при якій коефіцієнт перехресних викривлень  $K_{\Pi}$  не перевищує допустимого значення;

$U_{c \text{ min}}$  – чутливість РПП.

В умовах двосигнального (багатосигнального) впливу на вхід нелінійного тракту РПП його частотні властивості залежать від рівня завади і значення різниці частот завади і сигналу  $\Delta f = f_3 - f_c$ . При цьому важливою характеристикою РПП є його частотна вибірковість по перехресним викривленням, яка визначається співвідношенням:

$$d = 20 \lg \frac{U_{z \text{ вх}}(f_3)}{U_{c \text{ вх}}(f_c)}, \text{ при } K_{\Pi} = \text{const}, \quad (6.3)$$

де  $U_{z \text{ вх}}(f_3)$  та  $U_{c \text{ вх}}(f_c)$  – амплітуди напруг завади та сигналу на вході РП на частотах  $f_3$  та  $f_c$  відповідно.

Графічна ілюстрація характеристики частотної вибірковості по перехресним викривленням приведена на рис. 6.1.

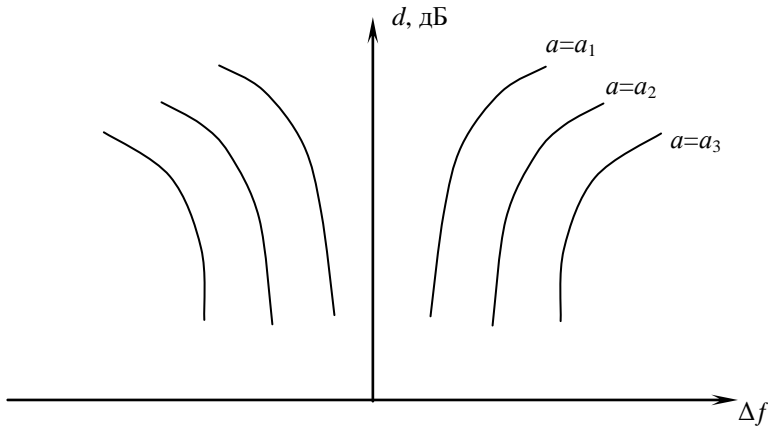


Рис.6.1 Зразковий вид характеристики ефективної вибірковості РПП по перехресних викривленнях:  $\Delta f$  – частотна розстройка між сигналом та завадою:  $a = U_{c \text{ вх}} / U_{z \text{ вх}}$   $a_1 > a_2 > a_3$

З розгляду рис.6.1 випливає, що зі зменшенням відношення сигнал/завада вибірковість РПП погіршується.

### Опис лабораторної установки

Схема установки для дослідження перехресних викривлень в РПП приведена на рис.6.2. До її складу входять:

- генератор низької частоти ГЗ,
- генератори стандартних сигналів Г1 та Г2,
- фільтри несучих частот Ф1 і Ф2,
- радіостанція Р-809,
- суматор, узгоджуючий елемент,
- вольтметр,
- осцилограф.

Генератор стандартних сигналів Г1 імітує сигнал, генератор Г2 – заваду. І сигнал і завада модулюються по амплітуді: сигнал модулюється напругою частоти 1500 Гц від низькочастотного ге-

нератора, завада модулюється напругою частоти 1000 Гц внутрішнім модулятором генератора Г2.

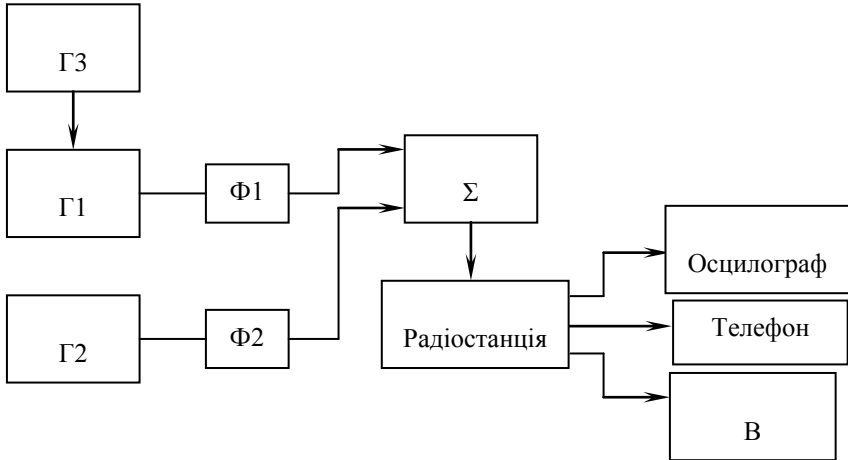


Рис.6.2. Схема лабораторної установки

На суматорі відбувається лінійне додавання сигналу та завади. Вихід суматора підключений до антенного входу радіостанції. До низькочастотного виходу радіостанції підключені вольтметр, осцилограф і телефони для слухової та візуальної реєстрації ефекту перехресних викривлень. Вихідне становище апаратури - всі регульовальні ручки в крайньому лівому положенні, всі тумблери і кнопки – в положенні “ВЫКЛЮЧЕНО”.

#### Підготовка апаратури до роботи

Для підготовки апаратури до роботи потрібно:

6.4.1. Скласти схему установки відповідно до рис. 6.2.

6.4.2. Ввімкнути на всій апаратурі живлення.

6.4.3. На генераторах Г1 та Г2 натиснути кнопки “ГВЧ” та ввімкнути під діапазон “70-140”.

6.4.4. На генераторі Г1 перемикач “М%” встановити в положення “0”, а на генераторі Г3 встановити частоту 1500 Гц, напругою 2–7 В.

6.4.5. На генераторі Г2 натиснути кнопку “АМ.внутр.” та перемикач “М%” встановити в положення “30”.

6.4.6. Ручку “ГРОМКОСТЬ” радіостанції повернути на 5...10° вправо, перемикач “ВО-НО” встановити в положення “НО”.

6.4.7. Перемикачем “N” радіостанції встановити задану робочу частоту.

6.4.8. На осцилографі ручку “V/ДЕЛ” встановити в положення “50mV”, ручку “ЧАС/ДЕЛ” – в положення “1 ms”.

6.4.9. Встановити рівень вихідної напруги Г2 250 мкВ; налагодити його на робочу частоту радіостанції, контролюючи по максимуму показів вольтметра та осцилографу. Зафіксувати значення вихідної напруги Г2. Змінити вихідну напругу Г2 до 25 мкВ, повернувши його в початкове становище.

6.4.10. Встановити рівень вихідної напруги Г1 250 мкВ; налаштувати його на робочу частоту радіостанції, контролюючи по максимуму показів вольтметра і осцилографу.

6.4.11. Зміною вихідної напруги Г1 досягти такого значення вихідної напруги РПП, яке було зафіксоване в п.6.4.10 в момент налаштування генератора Г2. Після цього змінити вихідну напругу Г1 до 25 мкВ, повернувши його в початкове становище.

## Порядок виконання роботи

### 6.5.1. Визначення реальної чутливості РПП

Для визначення реальної чутливості РПП необхідно:

6.5.1.1. За показами вольтметра і осцилографу оцінити рівень шуму на виході РПП.

6.5.1.2. Збільшити рівень вихідної напруги Г1  $U_{с\text{ вх}}$  до такого значення, при якому рівень сигналу на виході РПП перевищить рівень шуму в два рази (на 6дБ). По шкалах “ВЫХОД” генератора Г1

зафіксувати значення вхідного сигналу, який дорівнюватиме реальній чутливості РПП  $U_{c\text{вх}}$ .

6.5.1.3. Зменшити вихідну напругу Г1, повернувши генератор в початкове становище.

6.5.2. Вимірювання рівнів сприйнятливості РПП до перехресних викривлень

Для проведення вимірювань необхідно керуватися рекомендаціями, що наведені на рис. 6.3, де показано взаємне початкове розташування частот корисного сигналу  $f_0$ , верхньої  $f_{1В}$  та нижньої  $f_{1Н}$  частот заважаючого сигналу від Г2, рівні корисного сигналу  $U_{c\text{вх}}^0 + 20$  дБ, реальної чутливості  $U_c^0$ , завади  $U_c^0 + 60$  дБ, а також діапазон зміни частоти завади  $f_{1В} + f_{п.ч.}$  і  $f_{1Н} - f_{п.ч.}$  для випадків  $f_3 > f_c$  і  $f_3 < f_c$ .

6.5.2.1. Налаштувати РПП на частоту  $f_0$ .

6.5.2.2. При вимкненому генераторі Г2 налаштувати генератор Г1 на частоту  $f_0$  (див. рис. 6.3.). Генератор Г1 повинен бути промодульований частотою  $F_1 = 1500$  Гц з коефіцієнтом глибини модуляції  $m = 30\%$ .

6.5.2.3. Встановити вихідний рівень Г1 таким, щоб на виході РПП отримати вихідний відгук  $U_c = U_c^0 + 20$  дБ.

6.5.2.4. Зафіксувати значення  $U_{c\text{вих}}$  і  $f_0$  в протоколі досліджень.

6.5.2.5. При вимкненому генераторі Г1 налаштувати генератор Г2 на частоту  $f_0$ , використовуючи АМ сигнал з частотою  $F_2 = 1000$  Гц і з коефіцієнтом глибини модуляції  $m = 60\%$ .

6.5.2.6. Записати рівень  $U_3$  в протокол досліджень.

6.5.2.7. Зменшити рівень завади  $U_3$  до мінімального значення.

6.5.2.8. Ввімкнути генератор Г1 і встановити рівень сигналу  $U_c = U_c^0 + 20$  дБ.

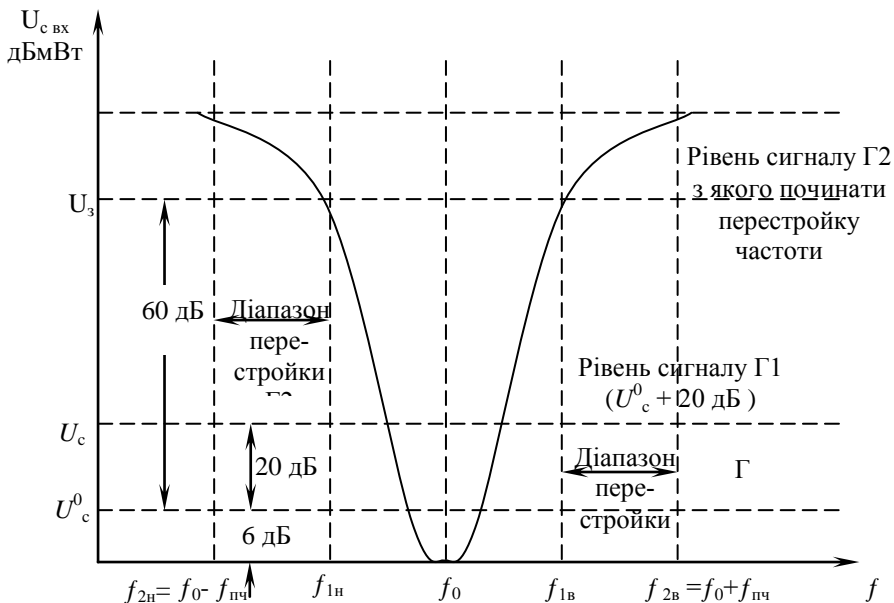


Рис.6.3 Зміна частоти настройки генераторів сигналів, а також рівні сигналу завади при виміру рівней сприйнятливості по перехрестним викреленням

Вихідні дані для проведення досліджень

Таблиця. 6.1

$f_0$	$F_c$	$F_3$	$m_c$ %	$m_3$ %	$U_c = U_c^0$ + 20 дБ	$U_3 = U_c^0$ + 60 дБ	$f_{1в}$	$f_{2в} = f_0 +$ $f_{пч}$	$f_{2н} = f_0 -$ $f_{пч}$

6.5.2.9. Встановити рівень модульованої завади  $U_3 = U_c^0 + 60 \text{ дБ}$ .

6.5.2.10. Отримані дані по п.п. 6.5.2.1 – 6.5.2.9 занести в табл. 6.1.

6.5.2.11. Повільно змінювати частоту завади у бік збільшення до тих пір, поки на екрані осцилографу, що підключений до виходу РПП, не залишиться тільки відгук корисного сигналу. На рис.6.3 це положення позначено частотою  $f_{1В}$ .

6.5.2.12. Повільно збільшити частоту від  $f_{1В}$  до  $f_{2В} = f_0 + f_{пч}$ , підтримуючи постійним рівень вихідного сигналу.

6.5.2.13. При появі відгуку на виході РПП перевірити наявність перехресної модуляції. Для цього необхідно зняти модуляцію з Г2 і якщо відгук на екрані осцилографу зникне, то це і буде свідомством наявності перехресної модуляції.

6.5.2.14. При наявності відгуку  $U_{пм}$  на частоті  $f_i$  ( $f_{2В} \leq f_i \leq f_{1В} + f_{пч}$ ), що викликано перехресною модуляцією, необхідно зменшити рівень завади на вході РПП  $U_3$  до моменту зникнення впливу завади на корисний сигнал, значення якого було встановлено в п. 6.5.2.3.

6.5.2.15. Занести нові отримані значення напруги генератора Г2 і його частоту  $f_i$  в табл. 6.2.

6.5.2.16. Для визначення відносного рівня сприйнятливості (6 дБ) необхідно взяти різницю між  $U_3$  на частоті  $f_i$  при перехресній модуляції і значенням напруги Г2 на частоті  $f_1$ .

6.5.2.17. Повторити експеримент для випадку  $f_3 < f_0$  згідно п.п. 6.5.2.10 – 6.5.2.16. Пункт 6.5.2.16 виконується за погодженням з викладачем.

6.5.2.18. Порівняти отримані значення відносних рівнів сприйнятливості РПП до перехресних викривлень з нормою, що відповідає зменшенню рівня завади в смузі частот  $f_0 \pm f_{пч}$  на 66 дБ.

Таблиця 6.2

№	$f_i$	$U_{пм}$	$\Delta U(\text{дБ}) = U_{пм} - U_c$
1			
2			
3			
4			
5			



6.5.3. Зняття амплітудної характеристики РПП по перехресним викривленням.

При знятті амплітудної характеристики РПП по перехресним викривленням необхідно виконати наступні операції:

6.5.3.1. Ручкою “ГРОМКОСТЬ” РПП встановити рівень вихідного низькочастотного шуму 25 мВ.

6.5.3.2. Встановити вихідну напругу Г1  $U_{c\text{ вх}} = 50$  мВ, коефіцієнт глибини модуляції  $m_c = 30\%$ .

6.5.3.3. Встановити вихідну напругу Г2  $U_{3\text{ вх}} = 2,5$  мВ.

6.5.3.4. Підтримуючи значення частоти Г2  $f_3$ , по максимуму  $U_{\Sigma\text{ вих}}$  і при постійності  $U_{c\text{ вх}}$  збільшувати поступово вихідну напругу Г2  $U_{3\text{ вх}}$ . Зняти амплітудну характеристику РПП по перехресним викривленням у вигляді залежності  $U_{\Sigma\text{ вих}} = \varphi(U_{3\text{ вх}})$ . В ході вимірювань заповнити графи  $U_{3\text{ вх}}$  та  $U_{\Sigma\text{ вих}}$  табл. 6.3.

6.5.3.5. За даними табл.6.3. побудувати графік амплітудної характеристики РПП по перехресним викривленням.

6.5.3.6. Зменшити вихідну напругу Г2 до 25 мкВ, зареєструвати значення вихідної напруги РПП при практичній відсутності завади  $U_{c\text{ вих}}$ .

6.5.3.7. Розрахувати коефіцієнт перехресних викривлень за формулою (6.1) для кожного рядка табл. 6.3; заповнити графу “ $K_{\Pi}$ ” табл 6.3.

6.3.5.8. Побудувати графік залежності  $K_{\Pi} = \varphi(U_{3\text{ вх}})$  при  $U_{c\text{ вх}} = \text{const}$ .

Таблиця 6.3.

Номер вимірювання	$U_{3\text{ вх}}$ , мВ	$U_{\Sigma\text{ вих}}$ , мВ	$K_{\Pi}$
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			

6.3.5.9. По графіку залежності  $K_{\Pi} = \varphi(U_{3 \text{ вх}})$  визначити припустимий рівень завади, який відповідає значенню  $K_{\Pi} = 0,1$ ; порівняти його з  $U_{3 \text{ доп}}$ , що був виміряний раніше.

6.5.3.10. Зменшити вихідну напругу Г1 до 25 мкВ, повернувши апаратуру в початкове становище.

6.5.4. Оцінка ефективної вибіркості РПП по перехресним викривленням.

Для оцінки ефективної вибіркості РПП по перехресним викривленням необхідно виконати такі дії:

6.5.4.1. Встановити вихідну напругу Г1  $U_{\text{с вх}} = 50$  мВ.

6.5.4.2. З графіку залежності  $K_{\Pi} = \varphi(U_{\text{п вх}})$  визначити три значення  $U_{3 \text{ вх}}$ , що відповідають значенням  $K_{\Pi} = 0,1; 0,5; 1,0$ .

6.5.4.3. З графіку залежності  $U_{\Sigma \text{вих}} = \varphi(U_{3 \text{ вх}})$  визначити три значення  $U_{\Sigma \text{вих}} = U_{\Sigma \text{вих}1}; U_{\Sigma \text{вих}2}; U_{\Sigma \text{вих}3}$ , що відповідають заданим значенням  $K_{\Pi}$ .

6.5.4.4. Встановити вихідну напругу Г2  $U_{3 \text{ вх}}$  відповідну  $K_{\Pi} = 0,1$  і зміною частоти Г2 досягти на виході РПП значення  $U_{\Sigma \text{вих}} = U_{\Sigma \text{вих}1}$ ; оцінити значення різниці  $\Delta f = [f_3 - f_c]$ . Результат занести до табл. 6.4.

6.5.4.5. При поступовому збільшенні різниці  $\Delta f$  зміну рівня  $U_{\Sigma \text{вих}}$  компенсувати зміною рівня  $U_{3 \text{ вх}}$  підтримуючи  $U_{\Sigma \text{вих}} = U_{\Sigma \text{вих}1} = \text{const}$ . Зафіксувати не менше трьох точок  $\Delta f$  та  $U_{3 \text{ вх}}$  для випадків  $f_3 < f_c$  і  $f_3 > f_c$ , тобто для правої та лівої гілок характеристики ефективної вибіркості. Отримані дані занести до табл. 6.4.

6.5.4.6. Повторити вимірювання по п.6.5.4.4 – 6.5.4.5 для двох інших значень  $K_{\Pi}$ . Дані занести до табл. 6.4.

6.5.4.7. За формулою (6.3.), використовуючи дані табл. 6.4, розрахувати значення ефективної вибіркості  $d$  для заданих значень коефіцієнта перехресних викривлень; одержані дані занести в графу “ $d$ ” табл. 6.4.

Таблиця 6.4

№ вимі- рю- ван- ня	$K_{п1}$				$K_{п2}$				$K_{п3}$			
	$f$ , кГц	$U_{3\text{ ВХ}}, \text{ мВ}$		$d$ дБ	$f$ , кГц	$U_{3\text{ ВХ}}, \text{ мВ}$		$d$ дБ	$f$ , кГц	$U_{3\text{ ВХ}}, \text{ мВ}$		$d$ дБ
		$f_3 < f_c$	$f_3 > f_c$			$f_3 < f_c$	$f_3 > f_c$			$f_3 < f_c$	$f_3 > f_c$	
1												
2												
3												
4												
5												

6.5.4.8. Побудувати графік ефективної вибіркості РПП по перехресних викривленнях у вигляді залежності  $d = \varphi(\Delta f_3)$  при  $K_{п} = \text{const}$  для заданих трьох значень  $K_{п}$ .

6.5.4.9. Повторити вимірювання та розрахунки по п.п. 6.5.4.2 – 6.5.4.8 для випадків, коли коефіцієнт глибини модуляції завади дорівнює 60% та 90%. Пункт виконується за вказівкою викладача.

6.5.4.10. Вимкнути апаратуру, попередньо вивівши в крайнє ліве положення всі регульовальні ручки та відтиснувши всі кнопки та клавіші.

6.5.4.11. Зробити висновки за результатами роботи.

### Зміст звіту

1. Мета досліджень.
2. Опис лабораторної установки.
3. Схеми вимірювань.
4. Проведення експериментів.
5. Експериментальні дані.
6. Основні висновки.

## ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Чим зумовлен ефект перехресних викривлень в РПП і як він виявляється?
2. Чи впливають коефіцієнти модуляції сигналу та завади на ефект перехресних викривлень в РПП і чому?
3. Який спектральний склад продукту перехресних викривлень при модульованому та немодульованому сигналі?
4. Чи впливає ширина динамічного діапазону РПП на ефект перехресних викривлень?
5. Якими критеріями оцінюють ефект перехресних викривлень і ефективну вибірковість РПП по перехресним викривленням?