

Лабораторна робота 1

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОБІЧНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ РАДІОПЕРЕДАВАЧА

Мета лабораторної роботи - дослідження спектру радіовипромінювання передавачів, оцінка рівнів основного і побічних випромінювань, а саме випромінювань на гармоніках і субгармоніках несучої частоти.

Стислі теоретичні відомості

Формування сигналу в радіопередавальному пристрої (РПДП) супроводжується нелінійними перетвореннями різного функціонального призначення. При цьому відбувається зміна спектрального складу сигналу. Частина продуктів нелінійних перетворень, що не несуть інформацію, випромінюється антеною РПДП разом з корисним сигналом, і засмічуючи частотний спектр, викликає порушення в роботі інших незалежних радіоелектронних засобів.

Тому загальне випромінювання РПДП можна поділити на основне (корисне) та небажане. Небажані випромінювання, в свою чергу, діляться на позасмугові та побічні.

Побічні випромінювання - це небажані випромінювання, які викликані нелінійними процесами, що мають місце в передавачі при формуванні несучої частоти та при підсиленні високочастотних коливань.

К побічним випромінюванням відносяться гармоніки несучої частоти, субгармоніки, комбінаційні, паразитні, шумові та інтермодуляційні складові [1.2]. На рис.1.1 зображено приклад загального спектру випромінювання РПДП.

Найбільш загрозливими є гармоніки, які в ціле число раз перевершують частоти основного випромінювання та субгармоніки, які в ціле число раз менше за частоту основного випромінювання.

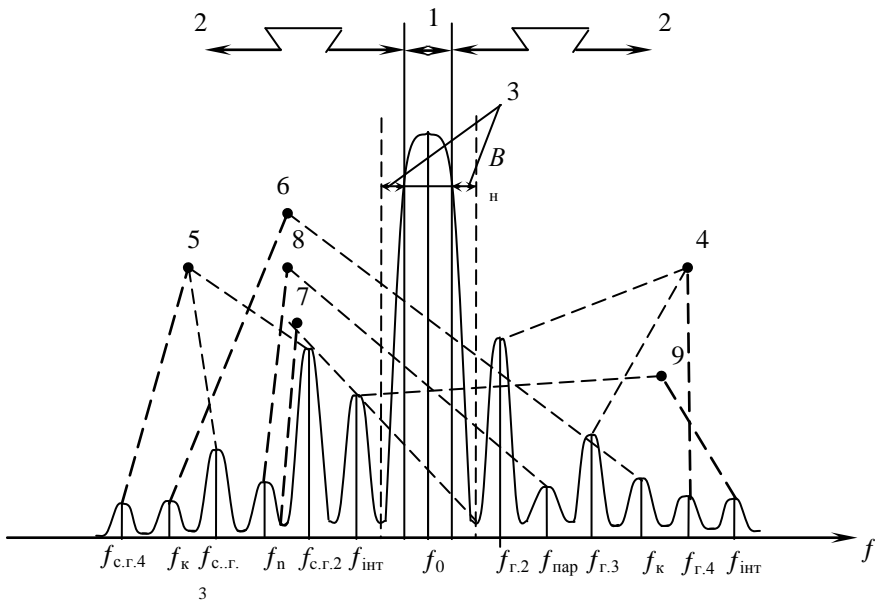


Рис.1.1 Спектр випромінювання радіопередавача:

1 – полоса основного випромінювання, $B_{н}$ – частотні інтервали небажаних випромінювань; 2 – частотні інтервали небажаних випромінювань; 3 – полоса позасмугового випромінювання; 4 – випромінювання на гармоніках, $f_{г}$; 5 – випромінювання на субгармоніках, $f_{с.г.}$; 6 – комбінаційні випромінювання, f_k ; 7 – шумове випромінювання; 8 – паразитне випромінювання, $f_{пар}$; 9 – інтермодуляційне випромінювання

Оскільки, прояв нелінійних властивостей передавачів різний і залежить від багатьох обставин, форма вихідного сигналу випадково змінюється і тому доцільно аналізувати тільки деякі середні (статистичні) характеристики сигналу та його спектральних складових. Тому в задачах, які пов'язані з оцінкою електромагнітної сумісності, часто використовується статистична модель побічних випромінювань, яка є адекватною для даного класу передавачів, або для конкретного передавача, оскільки створюється на основі статистичних даних, що були отримані при випробуванні переда-

вачів даного класу [3.4]. Ця модель базується на таких припущеннях:

- відносна амплітуда гармонік (субгармонік, комбінаційних) складових випромінювання (дБ) є випадковою величиною, що розподілена за нормальним законом;

- середній рівень потужностей випромінювань на гармоніках $P(Nf_0)$ (субгармоніках, комбінаційних частотах) зменшується зі збільшенням номера гармоніки N при незмінному середньоквадратичному відхиленні σ . Тоді середнє значення рівня N -й гармоніки (субгармоніки) може бути виражено співвідношенням:

$$P(Nf_0) = P_{\text{осер}} + A \lg N + B; N \geq 2, \quad (1.1)$$

де $P_{\text{осер}}$ – середнє значення рівня потужності основного випромінювання;

A – нахил прямої лінії, що огинає спектральні складові дБ/дек;

B – ордината початкової точки прямої лінії при $N=1$ дБ.

Рівень потужності основного випромінювання $P_0(f_0)$ не є сталим при зміні частоти для різних зразків РПДП однієї серії, тому середнє значення потужності основного випромінювання $P_{\text{осер}}$ оцінюють співвідношенням

$$P_{\text{осер}} = \frac{1}{N \sum P_{oi}(f_{oi})}. \quad (1.2)$$

У виразі (1.2) f_{oi} – частота несучої i -го частотного каналу; P_{oi} – виміряна потужність основного випромінювання на частоті f_{oi} відносно одного мілівату, дБм.

Середньоквадратичне відхилення потужності основного випромінювання від середнього значення визначається співвідношенням:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [P_{\text{осер}} - P_{oi}(f_{oi})]^2}{n-1}}, \text{ дБ} \quad (1.3)$$

На рис.1.2 показано типовий вид моделі, що побудована за результатами вимірювань рівнів десяти гармонічних складових випромінювання передавача та розрахунків згідно (1.1).

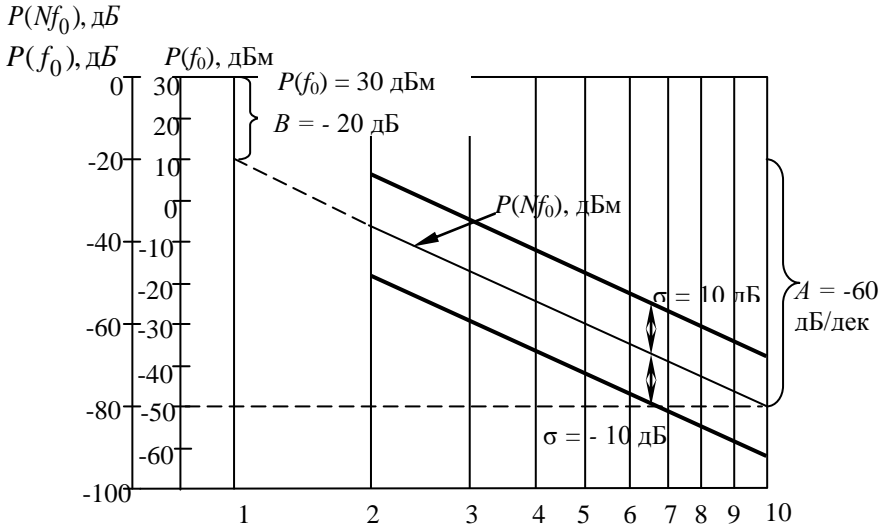


Рис. 1.2 Модель випромінювання РПДП на гармоніках для випадку коли $P(f_0) = 30 \text{ дБм}$, $A = -60 \text{ дБ/дек}$, $B = -20 \text{ дБ}$, $\sigma = 10 \text{ дБ}$

Коефіцієнти A , B , а також значення середньоквадратичного відхилення σ можна знайти, використовуючи результати вимірювань, за допомогою формул:

$$A = \frac{nN_{\max} \cdot \varepsilon - \gamma\alpha}{nN_{\max} \cdot \beta - \alpha^2}, \quad (1.4)$$

$$B = \frac{\gamma - A\alpha}{nN_{\max}}, \quad (1.5)$$

$$\sigma_N = \sqrt{\frac{\delta - B\gamma - A\varepsilon}{nN_{\max} - 1}}, \quad (1.6)$$

де n – кількість результатів вимірювань для однієї частоти

N_{\max} – номер вищої гармоніки;

$\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon$ – визначаються співвідношеннями:

$$\alpha = n \sum_{N=2}^{N_{\max}} \lg N; \quad (1.7)$$

$$\beta = n \sum_{N=2}^{N_{\max}} (\lg N)^2; \quad (1.8)$$

$$\gamma = \sum_{N=2}^{N_{\max}} \sum_{i=1}^n P_{N_i}, \quad (1.9)$$

$$\delta = \sum_{N=2}^{N_{\max}} \sum_{i=1}^n P_{N_i}^2, \quad (1.10)$$

$$\varepsilon = \sum_{N=2}^{N_{\max}} \sum_{i=1}^n (P_{N_i} \lg N), \quad (1.11)$$

де: i – номер частоти настройки ($i = \overline{1, n}$);

P_{N_i} – виміряна потужність випромінювання i -тої гармоніки.

Випромінювання на субгармоніках з'являються в тих випадках, коли основне випромінювання РПДП формується з порівняно низькочастотних напруг з використанням множників частоти.

Рівень випромінювання на субгармоніках можна приблизно оцінити, використавши спрощене співвідношення для граничних значень:

$$P\left(\frac{1}{N} f_0\right) \sim P_{\text{осер}} + B. \quad (1.12)$$

Значення коефіцієнта B беруться з табл.1.1 в залежності від потужності випромінювання РПДП.

Таблиця 1.1

Потужність РПДП, дБмВт	20 дБ (10 мВт)	50 дБ (10 Вт)	70 дБ (10 кВт)	100 дБ (10 МВт)
B , дБ	-38	-80	-100	-118

Для інших значень потужності РПДП приблизні значення коефіцієнта B визначають методом лінійної інтерполяції.

Рівень випромінювання на комбінаційних та інтермодуляційних складових, а також рівень паразитних випромінювань значно менше рівня випромінювань на гармоніках і субгармоніках. Рівні побічних випромінювань лімітується регламентуючими документами. Так, наприклад, для передавачів потужністю до 25 Вт, працюючих в діапазоні частот 30...235 МГц, рівень побічних випромінювань повинен бути на 40 дБ нижче рівня середньої потужності на основній частоті і не повинен перевищувати 25 мкВт. [4]

Опис лабораторної установки

Структурна схема лабораторної установки, яка використовується для проведення лабораторних робіт 1 і 2, приведена на рис.1.3

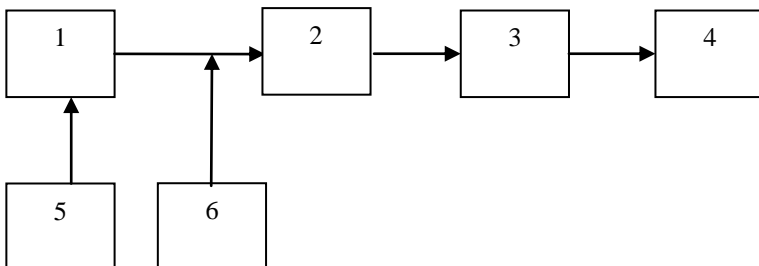


Рис 1.3 Структурна схема лабораторної установки для вимірювання рівнів небажаних випромінювань РПДП

Склад лабораторної установки:

- 1 – радіостанція типу Р-809 (Р-105);
- 2 – змінні режекторні фільтри;
- 3 – ослаблювач сигналів, що додається до аналізатору спектру;
- 4 – аналізатор спектру (С4-60);
- 5 – генератор стандартних низькочастотних сигналів;
- 6 – генератор стандартних сигналів Г4-151;

Режекторні фільтри 2 необхідні для того, щоб на вхід аналізатора спектру (АС) надходили тільки необхідні для вимірювань сигнали без гармонік.

Генератор стандартних високочастотних сигналів 6 необхідний для проведення калібровки АС.

Генератор 5 є джерелом сигналу, що модулює несучу РПДП.

За допомогою аналізатора спектру 4 проводять виміри частоти та рівнів основного та побічних випромінювань передавача.

Ослаблювач сигналів 3 зменшує рівень потужності сигналів РПДП, щоб не перевантажувати вхідні каскади АС.

При виконанні першої лабораторної роботи генератор модулюючих сигналів не використовується.

Підготовка апаратури до роботи

Вся апаратура, що використовується при виконанні роботи №1, потребує попередньої її підготовки, яка містить прогрівання і калібровку. Аналізатор спектру калібрується після 10-хвилинного прогрівання згідно інструкції з експлуатації прилада.

Порядок виконання роботи та зміст звіту

1. Виконати калібровку аналізатора спектру

1.1 Вивести всі регулюючі ручки в крайнє ліве положення, кнопки - в положення “ВЫКЛ”.

1.2. Включити всю апаратуру для прогрівання .

1.3. Намалювати в звіті табл.1.2.

1.4. Провести калібровку аналізатора спектру в одиницях потужності (дБм).

Для виконання цього пункту необхідно виконати налагодження логарифмічного масштабу амплітудної шкали.

Згідно інструкції до експлуатації аналізатора спектру необхідно подати на вхід АС” 10-1500 мГц” сигнал рівнем 10^{-8} Вт (-50дБм) на будь-якій частоті в діапазоні 100-150 МГц і встановити відгук сигналу в центрі екрану.

Змінюючи рівень сигналу на вході АС, встановити зображення відгуку рівним одному діленню масштабної сітки індикатору, що буде відповідати ступеню перемикання ручки “НОМИНАЛЬНИЙ УРОВЕНЬ 10дБ”.

Визначити потужність сигналу на вході АС, відповідного однієї клітині масштабної сітки, використовуючи для цього співвідношення:

$$P = U - 90 - 10 \lg R, \text{ дБм}$$

де U – напруга на виході генератора, дБмкВ;

R – вхідний опір АС (СЧ-60), який дорівнює 50 Ом.

1.5. Вимкнути генератор.

1.5.2. Вимірювання частот і середніх значень рівнів несучої частоти, її гармонік та субгармонік

1.1. Включити радіостанцію.

1.2. Підготувати до звіту табл.1.2, і табл. 1.3.

1.3. По вказівці викладача вибрати три робочі частоти f_{oi} , $i = 1, 2, 3$.

1.4. Налагодити РПДП на частоту, відповідно $i=1$ в режимі немодульованого сигналу. Розмістити відгук сигналу в центрі масштабної сітки індикатору АС.

1.5. Виміряти і зафіксувати рівень потужності основного випромінювання P_{01} на частоті f_{o1} , прирівнюючи її до 0 дБ.

Таблиця 1.2

№ гарм.	i	P_{N_i}		$P^2_{N_i}$	$\lg N$	$(\lg N)^2$	P_{N_i} $\lg N$	$P(Nf_0)$	σ , дБ
		мВт	дБ						
2	1								
	2								
	3								
3	1								
	2								
	3								
4	1								
	2								
	3								
...
N_{\max}	1								

1.6. Визначити в умовних одиницях (дБ) послідовно потужності випромінювання на гармоніках P_{N_i} ($N = 2 - 10$). Результати вимірювань занести в табл.1.2.

1.7. Використовуючи АС, перевірити наявність в спектрі випромінювання субгармонік на частотах $\frac{1}{M} f_0$, де $M = 2, 3, 4 \dots$ і занести значення їх потужності в табл.1.3.

1.8. Ввімкнути канал $i=2$ і повторити дії аналогічні пунктам 8, 9, 10, 11, 12.

1.9. Ввімкнути канал $i=3$ і повторити операції згідно пунктам 8, 9, 10, 11, 12.

Таблиця 1.3

Номер субгармоніки	i	$P_i(1/N)$		$P_i\left(\frac{1}{N}f_0\right)$, дБ
		мВт	дБ	
2	1			
	2			
	3			
3	1			
	2			
	3			
...
M_{\max}				

1.10. Використовуючи дані табл.1.2 та 1.3, а також співвідношення 1.1 – 1.12, провести розрахунки $P_{\text{осер}}$ (дБм), A (дБ/дек), B (дБ), а також визначити величину середньоквадратичного відхилення σ (дБ) для гармонічних складових, а для субгармонік необхідно використати співвідношення 1.13 та данні табл.1.1

Для розрахунків доцільно скористатися персональною ЕОМ. [4]

Вхідними даними для програми, алгоритм якої приведено на рис.1.4, є:

- кількість досліджених основних випромінювань радіопередавача, n ;
- максимальна кількість гармонік M_{\max} (субгармонік), що є загальним для заданих робочих частот;
- рівень випромінювань (P_{N_1}) РПДП на основних частотах;
- рівні випромінювань на гармоніках $P(Nf_{oi})$;
- рівні випромінювань $P\left(\frac{1}{N}f_{oi}\right)$ на субгармоніках, .

Вихідними даними програми повинні бути $P(Nf_{oi})$, $P(\frac{1}{N}f_{oi})$, коефіцієнти A , B і σ . Спілкування з ЕОМ повинно відбуватися в діалоговому режимі.

1.11. За результатами розрахунків побудувати графік статистичної моделі випромінювання передавача на гармоніках (субгармоніках).

1.12. Зробити необхідні висновки за результатами досліджень.

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Опис лабораторної установки.
3. Експериментальні данні.
4. Програма алгоритму розрахунків коефіцієнтів A , B і σ .
5. Розрахунки величин A , B , σ , $P_o(f_{ni})$, $P(Nf_0)$, $P\left(\frac{1}{N}f_0\right)$.
6. Модель побічних випромінювань передавача.
7. Основні висновки.

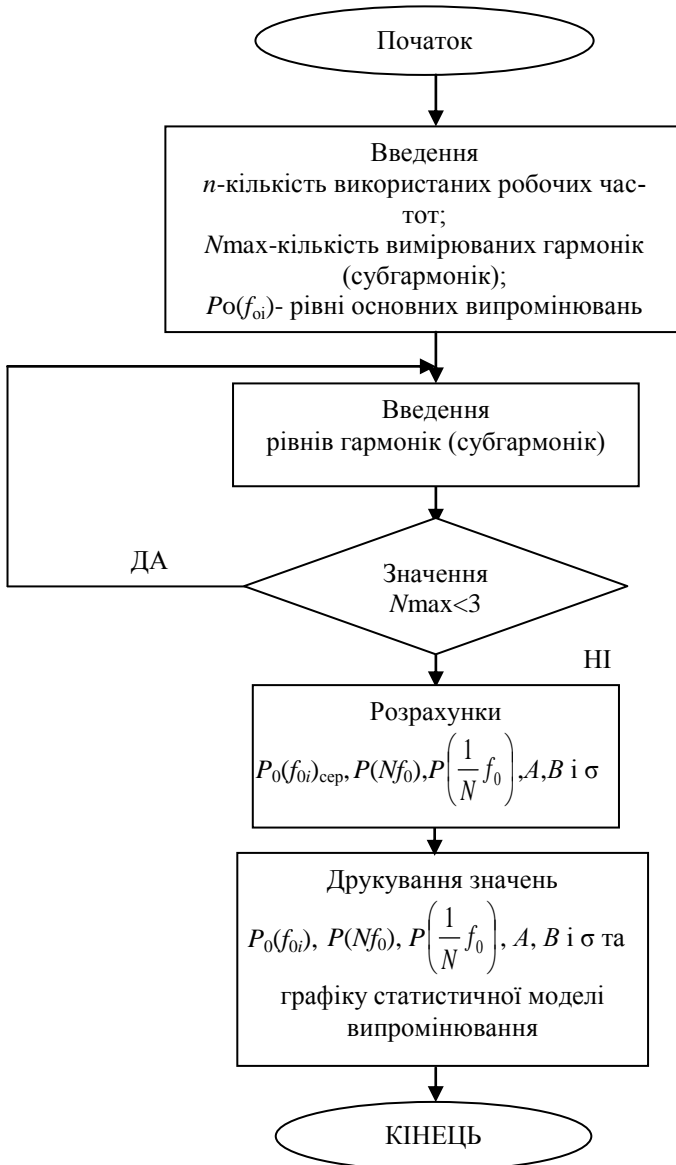


Рис. 1.4. Алгоритм розрахунку коефіцієнтів A , B і δ та побудови графіку статистичної моделі випромінювання

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. З яких компонентів складається спектр випромінювання РПДП?
2. Що таке основне випромінювання?
3. Що таке побічне випромінювання?
4. Зобразити загальну статистичну модель випромінювання радіопередавача.
5. У чому полягають причини виникнення побічних випромінювань РПДП?
6. У чому полягають причини виникнення гармонік та субгармонік в загальному спектрі радіовипромінювань?
7. Назвіть відомі методи боротьби з побічними випромінюваннями.