

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інформаційних радіотехнологій та технічного захисту інформації

Кафедра Радіотехнологій інформаційно-комунікаційних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Передавач завад для активного маскуванню каналу керування БПЛА

(тема)

Виконав:
студент 4 курсу, групи ТРРТ-20-1
Лобов В.О.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 172 Телекомунікації та
радіотехніка

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Радіотехніка
(повна назва освітньої програми)

Керівник ст.викл. Алфьоров М.Є.

Допускається до захисту

В.о. зав. кафедри

(підпис)

Зарудний О.А.
(прізвище, ініціали)

2024 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інформаційних радіотехнологій та технічного захисту інформації

Кафедра Радіотехнологій інформаційно-комунікаційних систем

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Радіотехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри

(підпис)

«____» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Лобову Віктору Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Передавач завад для активного маскуванню каналу керування БПЛА

затверджена наказом університету № 499 Ст від 27.05.2024 р.

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 10.06.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи

Параметри каналу керування (НПУ) БПЛА: максимальна дальність зв'язку з БПЛА – 5 км; робочі частоти 900 МГц, 1800 МГц; потужність передавача НПУ – 100 мВт, чутливість приймача НПУ – -110 дБ; для управління БПЛА використовується дві антени з коефіцієнтами підсилення 2,15 дБі та 15 дБі.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі 4.1. Огляд методів та засобів активного радіомаскування.

4.2. Оцінка необхідної потужності передавача завад для активного маскуванню НПУ БПЛА.

4.3. Розробка структурної схеми двочастотного передавача завад.

4.4. Електродинамічне моделювання симетричного мікросмужкового випромінювача та схематехнічний аналіз у пакеті САПР MWO підсилювача потужності у діапазоні частот

890...910 МГц за вихідними даними отриманими у п.4.2 (вважати, що вхідна потужність дорівнює _____ 10 _____ дБ

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) _____

Комп'ютерна презентація _____

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Ознайомлення з літературними джерелами щодо теми кваліфікаційної роботи	06.05.24 – 19.05.24	вик.
2	Аналіз сучасного стану теорії і техніки активного радіомаскування	20.05.24 – 25.05.24	вик.
3	Розробка структурної схеми передавача завад	26.05.24 – 30.05.24	вик.
4	Моделювання підсилювача потужності та випромінювача	31.05.24 – 08.06.24	вик.
5	Оформлення кваліфікаційної роботи	08.06.24 – 10.06.24	вик.

Дата видачі завдання 06.05.2024

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____ ст.викл. Алфьоров М.Є.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 71 с., 34 рис., 2 табл., 1 додаток, 5 джерел.

РАДІОЕЛЕКТРОННА РОЗВІДКА, РАДІОРОЗВІДКА, СКРИТНІСТЬ,
АКТИВНЕ РАДІОМАСКУВАННЯ, БПЛА, ШИРИНА СПЕКТРУ,
ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ

Об'єкт дослідження – маскування випромінювань наземних пунктів управління від засобів радіорозвідки.

Предмет дослідження – методи активного радіомаскування випромінювань наземного пункту управління БПЛА.

Мета кваліфікаційної роботи – розрахунок передавача завад засобам радіорозвідки.

Методи дослідження – розрахунковий з застосуванням ЕОМ.

У роботі розглянуті методи, засоби та проблематика активного радіомаскування наземних пунктів управління БПЛА. Розроблена структурна схема передавача завад та проведено моделювання його підсилювача потужності й випромінювача.

Галузь використання – радіоелектронна боротьба.

ABSTRACT

Explanatory note of the qualification work: 71 p., 34 Figure, 2 Table, 1 application, 5 source.

RADIO ELECTRONIC INTELLIGENCE, RADIO SURVEILLANCE, STEALTH, ACTIVE RADIO CAMOUFLAGE, UAVS, SPECTRUM WIDTH, ELECTROMAGNETIC RADIATION

The object of the study is the masking of the radiation of ground control points from radio reconnaissance means.

The subject of the research is the methods of active radio masking of the radiation of the ground control point of the UAV.

The purpose of the qualification work is the calculation of the interference transmitter to the radio reconnaissance means.

The research methods are computational with the use of computers.

Methods, means and problems of active radio masking of UAV ground control points are considered in the work. The structural diagram of the interference transmitter was developed and its power amplifier and emitter were modeled.

The field of use is electronic warfare.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВИХ ПІЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛОВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	6
ВСТУП.....	7
1 МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ РАДІОЕЛЕКТРОННОГО МАСКУВАННЯ.....	8
1.1 Технічні основи протидії радіоелектронній розвідці.....	8
1.2 Основи протидії РРТР щодо виявлення випромінювань РЕЗ.....	11
1.3 Основи протидії розпізнаванню об'єктів та станів радіоелектронних за-собів та систем управління в РРТР.....	19
1.4 Математичне моделювання комплексної протидії технічним засобам розвідки.....	23
2 СТРУКТУРНА СХЕМА ПЕРЕДАВАЧА АКТИВНИХ ЗАВАД.....	24
2.1 Оцінка необхідної потужності передавача завад для активного радіомаскування НПУ БПЛА.....	24
2.2 Побудова структурної схеми передавача маскувальних завад.....	26
3 РОЗРАХУНОК І МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ БЛОКІВ ПЕРЕДАВАЧА ЗАВАД.....	33
3.1 Електродинамічне моделювання симетричного мікросмужкового вібратора.....	33
3.2 Схемотехнічний аналіз роботи симетричного мікросмужкового вібратора з колами узгодження.....	36
3.3 Оптимізація симетричного мікросмужкового вібратора з колами узгодження.....	38
3.4 Моделювання посилювача потужності.....	41
ВИСНОВКИ.....	51
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	52
ДОДАТОК А. ГРАФІЧНА ЧАСТИНА.....	53
ДОДАТОК Б. ВІДОМІСТЬ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ.....	69

ПЕРЕЛІК УМОВИХ ПІЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

А – антена

АГ – автогенератор

АЧХ – амплітудно-частотна характеристика

БПЛА – безпілотний літальний апарат

ДС – діаграма спрямованості

НПУ – наземний пункт управління

ПП – підсилювач потужності

ПЧ – помножувач частоти

РЕБ – радіоелектронна боротьба

РЕЗ – радіоелектронний засіб

РЕМ – радіоелектронне маскування

РПП – радіопередавальний пристрій

РР – радіорозвідка

РРТР – радіорозвідка та радіотехнічна розвідка

РТР – радіотехнічна розвідка

САЗ – станція активних завад

Ф – фільтр

ЧМШЗ – частотно-модульована шумова завада

ВСТУП

Нині триває інтенсивний розвиток інфокомунікаційних систем різного призначення, в яких використовують радіоканал як середовище передачі даних. При цьому застосовують комплекс технічних і організаційних заходів, вкладених у підвищення скритності корисного сигналу в радіоканалі. Спільно ці заходи називають радіомаскуванням. Метою радіомаскування є захист сигнальної інформації у каналах зв'язку.

Маскування здійснюють в залежності від інформаційних параметрів корисного сигналу по несучій частоті, амплітуді, фазі і спектру. Внаслідок маскування погіршуються параметри виявлення, збільшуються помилки визначення параметрів сигналів. Ефективність маскуючих радіозавад залежить від частотної і часової структури завади і корисного сигналу та їх енергетичного співвідношення на вході приймача.

Для здійснення радіомаскування використовують адитивні та мультиплікативні маскуючі та імітуючі завади. З метою радіомаскування застосовують як загороджувальні, і прицільні за частотою радіозавади. З точки зору якості завад переважними є прицільні завади, оскільки вони характеризуються більшою спектральною густиною потужності.

В інтересах радіомаскування ліній зв'язку останнім часом широко застосовують також вузькосмугові штучні шумові завади з кутовою модуляцією, що володіють хорошими властивостями, що маскують. При цьому методи формування сигналів радіозавад засновані на квадратурних схемах з частною, амплітудною і фазовою модуляцією.

У концепції розвитку безпілотних авіаційних комплексів пріоритетними напрямками є підвищення ефективності та завадостійкості радіозасобів. У рамках цієї тенденції розвитку актуальні завдання вдосконалення способів формування та передачі сигналів і завад у каналах з радіомаскуванням.

1 МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ РАДІОЕЛЕКТРОННОГО МАСКУВАННЯ

1.1 Технічні основи протидії радіоелектронній розвідці

Протидія технічним розвідкам у радіоелектронній боротьбі – сукупність узгоджених організаційних та технічних заходів кожної зі сторін у ході радіоелектронного конфлікту щодо скрути та зриву добування противником даних, що охороняються, про радіоелектронні засоби та системи управління. Тим самим ускладнюється або зривається поразка та радіоелектронне придушення цих РЕЗ та СУ. Протидія технічним розвідкам – складова частина РЕБ. Воно спрямоване на ослаблення чи спотворення ненавмисних інформаційних зворотних зв'язків від РЕЗ та СУ до супротивника. Заходи протидії так само, як і заходи з розвідки, проводяться цілеспрямовано, комплексно і безперервно. Їх проводять обидві протиборчі сторони, кожна проти свого супротивника на початок і протягом усього часу радіоелектронного конфлікту. Вміле володіння методами та керування засобами протидії значно знижує ймовірність постановки ефективних завад радіоелектронним засобам.

Протидія радіоелектронної розвідки досягається заходами щодо приховання демаскуючих ознак своїх РЕЗ, технічної дезінформації системи розвідки противника і спецзахисту інформації в технічних засобах її передачі, обробки та зберігання. Приховування випромінювань РЕЗ – це радіоелектронне маскування (РЕМ). Радіоелектронне маскування – це комплекс узгоджених організаційних і технічних заходів, що ускладнюють добування розвідкою супротивника даних про РЕЗ і СУ шляхом перехоплення та аналізу випромінювань РЕЗ. Вона включає в себе радіомаскування засобів радіозв'язку, радіорелейного та інших видів зв'язку, а також радіотехнічне маскування РЕЗ різного призначення.

РЕМ досягається введенням енергетичних, територіальних, частотних, часових, структурних обмежень, заборону роботи РЕЗ, застосуванням засекречувальних засобів зв'язку, передачею помилкових сигналів,

випромінюванням завад, що маскують випромінювання, що захищаються, й т.п. Засоби, що залучаються, та способи маскування залежать від результатів прогнозу та оцінки розвідувальної, радіоелектронної та електромагнітної обстановок і визначаються насамперед можливостями та слабкими сторонами засобів розвідки та ураження супротивника.

Дезінформація розвідки підвищує ймовірність помилкових рішень при розпізнаванні РЕЗ, у тому числі посиляє в аналізатор розвідки хибну інформацію про РЕЗ. До слабких сторін радіоелектронної розвідки, які використовуються при виборі засобів та способів протидії, слід зарахувати.

1. Винятково високу значущість попередньої розвідки. Зміст «навчання» систем та засобів виконавчої розвідки визначається даними комплексної технічної попередньої розвідки, що триває тривалий час за участю людини – оператора. У ході такого «навчання» закладаються переліки параметрів РЕЗ та діапазони можливих їх змін.

2. Попередню і первинну виконавчу технічну розвідку, як правило, змушені проводити за межами зони РЕЗ і СУ, що ефективно охороняється. Тому основна увага на початку радіоелектронного конфлікту приділяється технічним розвідкам із великих дальностей. Це змушує видобувати розвіддані при відношеннях сигнал/фон, близьких до порогових, і сильно обмежує пропускну здатність, точність визначення та достовірність розпізнавання РЕЗ.

3. У міру поглиблення носія технічної розвідки в зону, що охороняється, підвищується ймовірність застосування небезпечних технічних розвідок малої дальності (інфрачервоної, телевізійної, лазерної, фотографічної тощо). Слабкою стороною їх є необхідність допошуку розвідоб'єкту, іноді з використанням командної радіолінії.

4. Найбільш швидкодіюча і точна вторинна виконавча технічна розвідка виконується часто з борту рухомого носія, як правило, всередині зони, що охороняється. У цей час носій засобів розвідки може спостерігатися стороною, що захищається. Тому заходи щодо протидії суворо цілеспрямовані, узгоджені

(між собою і з заходами за іншими складовими РЕБ) і орієнтовані на конкретний засіб розвідки.

5. Малий час спостереження кожного елемента дозволу, неоптимальний прийом сигналів, складності у подоланні апріорної невизначеності, аномальні помилки вимірювання зумовили використання у розвідці високих порогів виявлення та підвищену чутливість до помилкових тривог та помилкових рішень. Тому в РРТР завищують порогові рівні вирішальних блоків, тим самим занижуючи ймовірність помилкових тривог. Наприклад, у РРТР ймовірності помилкових тривог на кілька порядків нижче, ніж у радіозв'язку і в радіолокації. Отже, підвищення інтенсивності фону на вході розвідприймача і застосування в РЕЗ шумоподібних сигналів є ефективними способами зриву розвідки.

6. Складнощі подолання апріорної невизначеності призводять до підвищення чутливості системи розпізнавання в радіоелектронній розвідці до щільності потоку об'єктів і сигналів, що розпізнаються. Отже, маскування, використання хибних об'єктів і сигналів ефективно ускладнюють розвідку.

7. На всіх етапах функціонування засобу технічної розвідки чутливі до динаміки змін простору ознак та класів розвідоб'єктів. Раптова стрибкоподібна за випадковим законом зміна структури і параметрів розвідувальних об'єктів, що розрізняються, змушує противника переходити в режим пошуку, іноді за участю оператора.

8. Виконавчу розвідку за умовами її застосування часто прагнуть проводити в автоматичному режимі. Це знижує якість розвідки непрогнозованих станів РЕЗ і СУ.

9. Переваги прихованої РРТР знижуються необхідністю використання засобів радіозв'язку, що демаскують ведення розвідки.

10. Переваги радіоелектронної розвідки значно знижуються активними та пасивними завадами.

Загалом кількісне обґрунтування технічних та організаційних заходів щодо протидії радіоелектронній розвідці за допомогою аналітичних методів та

математичного моделювання дозволяє вибрати найбільш ефективні та раціональні заходи щодо утруднення та зриву технічної розвідки.

1.2 Основи протидії РРТР щодо виявлення випромінювань РЕЗ

Розрізняють енергетичну, частотну, часову, просторову і структурну скритність демаскуючих ознак випромінювань РЕЗ залежно від цього, якими характеристиками полів сигналу і фону, що заважає, на вході розвідприймача керують з метою протидії розвідці. Приховування усуває або послаблює демаскуючі ознаки та закриває можливі канали витоку інформації.

Енергетична скритність забезпечує зрив або ускладнює розвідку зниженням відношення сигнал/фон q_1 нижче порогового $q_1(D,F)$.

Цю мету можна досягти рядом способів.

Перший спосіб – це спосіб пасивного маскування. Усі випромінюючі об'єкти РЕЗ функціонують на мінімальних рівнях потужності випромінювань, достатніх для нормального функціонування об'єктів. Якщо необхідний напрямок основних випромінювань РЕЗ – об'єкта відрізняється від напрямку розвідки, то, природно, необхідно використовувати різні способи зниження енергії поля лише в секторі розвідки. Ця мета досягається для керованих адаптивних ФАР за допомогою діаграмоутворюючих процесорів, в інших випадках – застосуванням антен з низьким рівнем бічних пелюстків і використанням штучних або природних екранів на трасі поширення радіохвиль у бік РРТР. Можна висловити кількісну міру зниження потужності $\sigma_p^2 = \bar{E}_p^2/2$ до порогового рівня $\sigma_p^2(D,F)$ через необхідний коефіцієнт екранування

$$K_{\text{ез}} = 10 \lg \frac{\sigma_p^2}{\sigma_p^2(D,F)} = K_P + K_G + K_F \text{ (дБ)}, \quad (1.1)$$

де K_P , K_G , K_F – коефіцієнти зниження потужності випромінювань, бічного посилення антени і збільшення загасання в екрані, відповідно

$$K_P = 10 \lg \frac{P_0}{P_0}, \quad K_G = 10 \lg \frac{G_{\text{ППП}}^{\delta}}{G_{\text{СЕ}}}, \quad K_F = 10 \lg \frac{F^2(d, f_0)}{F_e^2(d, f_0)}.$$

Різниця реально досяжного коефіцієнта екранування $K_{\text{еп}}$ і необхідного $K_{\text{ез}}$ для даного РЕЗ

$$\Delta K_e = K_{\text{ез}} - K_{\text{еп}} \text{ (дБ)} \quad (1.2)$$

є вихідною для пошуку інших способів приховання. Зниження σ_p^2 призводить до скорочення дальності розвідки та приховує дійсний енергопотенціал РЕЗ. Завдання рівня $\sigma_p^2(D, F)$, відповідного дальності до межі зони, що охороняється, при $\Delta K_e = 0$ вирішує проблему енергетичної скритності.

Другий спосіб – це спосіб активного маскування. У бік РРТР навмисно під час функціонування РЕЗ, що приховується, випромінюється активна маскуюча завада від станції активних завод. Структура завади вибирається за критерієм забезпечення нерівності $q_w < q_{\text{впор}}$ на виході лінійної частини розвідприймача. Тут $q_w = \sigma_{\text{wc}}^2 / \sigma_{\text{ф}}^2$ – відношення сигналу/фону. Якщо завада прямошумова, то потрібно забезпечити $q_1 < q_1(D, F)$. Приклад заводової обстановки для РРТР умовно зображено на рисунку 1.1.

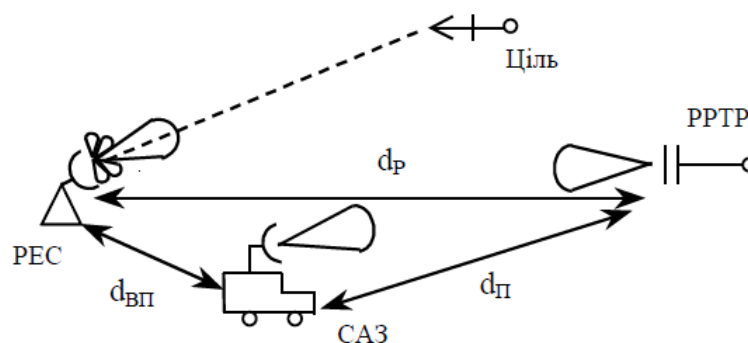


Рисунок 1.1 – Активне маскування випромінювань РЕЗ

Без урахування впливу поверхні землі та атмосфери у точці розвідки можна визначити:

$$\begin{aligned}
1) \sigma_p^2 &= \frac{P_0 G_c G_{\text{РПРП}} \lambda^2}{(4\pi)^2 d_p^2} \quad - \text{ потужність сигналу, що розвідується;} \\
2) \sigma_\Phi^2 &= \Delta f_{\text{шр}} N_{\text{оп}} \quad - \text{ потужність фону, що заважає;} \\
3) N_{\text{оп}} &= \frac{\rho_\Pi G_{\text{РПРП}} F(\epsilon_\Pi, \beta_\Pi) \lambda^2}{(4\pi)^2 d_\Pi^2} \quad - \text{ спектральну густину потужності фону,} \\
&\quad \text{що заважає на вході розвідприймача.}
\end{aligned} \tag{1.3}$$

де d_Π – відстань між САЗ та РРТР;

$\rho_\Pi = N_\Pi G_\Pi$ – енергетичний потенціал САЗ;

$F(\epsilon_\Pi, \beta_\Pi)$ – нормована ДС щодо максимального напрямку приймальної антени РРТР у бік САЗ.

Енергетичний потенціал станції активних завад ρ_Π повинен відповідати нерівності

$$\rho_\Pi < \frac{N_{\text{вп.доп}} 16\pi^2 d_{\text{вп}}^2}{F_p(\epsilon_\Pi, \beta_\Pi) F_\Pi(\epsilon_p, \beta_p) \lambda^2}, \tag{1.5}$$

де $N_{\text{вп.доп}}$ – допустиме для РЕЗ значення спектральної густини взаємної завади;

$d_{\text{вп}}$ – відстань між РЕЗ та САЗ;

$F_p(\epsilon_\Pi, \beta_\Pi)$ – нормована ДС приймальної антени РЕЗ (рецептора) у бік джерела взаємної завади;

$F_\Pi(\epsilon_p, \beta_p)$ – нормована ДС передавальної антени САЗ (джерела) у бік рецептора взаємної завади.

Спільний розв'язок нерівностей (1.4) і (1.5) пред'являє вимоги до технічних параметрів, що входять до них. За наявності хорошої розв'язки між РЕЗ та САП, а також при узгодженому управлінні випромінюваннями РЕЗ та високопотенційною САЗ завада може забезпечити прикриття не тільки бічних, а й основних випромінювань РЕЗ по головному променю антени РРТР. Просторова розв'язка досягається зменшенням рівня бічних пелюстків антен $F_p(\epsilon_\Pi, \beta_\Pi)$ і $F_\Pi(\epsilon_p, \beta_p)$, часова розв'язка – за рахунок короткочасного вимкнення випромінювання САЗ у момент приходу корисного сигналу на вхід приймача РЕЗ, структурна розв'язка – за рахунок формування в САЗ шумоподібної для

РРТР, але відомої для РЕЗ завади зі складним законом модуляції $U_{\text{ЛП}}(t)$, що не збігається із законом модуляції сигналу РЕЗ $U_{\text{К}}(t)$.

Частотна скритність створює невизначеність у точці розвідки щодо частоти розвідуваного РЕЗ. Ця мета зазвичай досягається низькою способів.

Перший спосіб – зміна піддіапазонів робочих частот щоразу перед початком наступного етапу розвідки. Цей технічний захід розриває дуже важливий для РРТР ланцюжок «навчання» аналізаторів (і класифікаторів системи розпізнавання) станції РРТР, знижує довіру до накопичених на попередніх етапах розвідданим, так як частота – перша за інформативністю та за швидкістю вимірювання демаструюча ознака. Спосіб змушує знову починати пошук по частоті в максимальному діапазоні. У кращому для РРТР випадку спосіб значно збільшує час розвідки і скорочує її пропускну здатність.

Другий спосіб – використання в РЕЗ таких випромінювань, які викликають значні похибки вимірювання частоти. Таку властивість має складний багаточастотний випромінюваний РЕЗ сигнал зі змінною структурою і часом формування свого частотного «образу», порівнянним з часом розвідки. Такий сигнал сприймається станцією РРТР як шумоподібний з широким спектром.

Третій спосіб – завдання в угрупованні РЕЗ певних частотних обмежень, що залежать від прогнозу частотної розвідомості та задуму РЕБ противника. План управління частотами, включаючи переваги першого способу, повинен бути спрямований на забезпечення в кінцевому підсумку частотної переваги в РЕБ перед супротивником.

Часова скритність спрямована на зменшення інформації про розвідоб'єкт шляхом застосування таких сигналів і режимів, за яких робота РЕЗ на випромінювання займає мінімальний час. Часова скритність реалізується запровадженням часових обмежень за даними оцінки розвідобстановки, застосуванням переривчастого режиму випромінювань, функціональним характером роботи РЕЗ. За оцінками, наведеними в [1], мінімальна тривалість виконавчої розвідки РЕЗ, що безперервно випромінюють, для їх вогневого

ураження високоточною зброєю в середньому становить $T_{\text{ри}}=15$ с. У переривчастому режимі цей час збільшується, ймовірність розвідки можна оцінити за емпіричною формулою

$$P_p \approx 1 - e^{-\left(\frac{T_p}{C_i T_{\text{ри}}}\right)}, \quad (1.6)$$

де C_i – коефіцієнт збільшення часу розвідки в переривчастому режимі.

Збільшення часу розвідки при переривчастому надходженні інформації призводить до зниження дальності достовірної розвідки. Якщо скорочення дальності суттєво, зростає ймовірність припинення самого процесу розвідки активними методами протидії.

Досягнення техніки формування, випромінювання, приймання та обробки складних широкосмугових сигналів дозволяють вирішувати інформаційні та управлінські завдання за малий інтервал часу. Наприклад, використання пакетного принципу зв'язку, коли накопичена за тривалий час інформація раптово для противника передається каналом радіозв'язку за допомогою широкосмугового зі складними законами модуляції сигналу, скорочує час випромінювання в сеансі зв'язку в сотні – тисячі разів.

Інтенсивно розвиваються в радіолокації принципи багатofункціональності, що спрямовані на використання кожного зондуючого сигналу одночасно для спільних процедур виявлення, розпізнавання та вимірювання координат цілей. Такі процедури багаторазово скорочують тривалість контакту радіолокації з об'єктом-носієм засобів РТР.

Традиційний ланцюг управління високоточною зброєю: «засоби розвідки та цілевказівки → стрільбові РЕЗ підготовки запуску та виведення на траєкторію польоту ракети → наведення ракети на великій частині траєкторії інерційними методами → короткочасне включення режиму точного наведення на ціль → включення радіопідричника тільки поблизу цілі». Застосування випромінювань високоінформативних РЕЗ лише корекції траєкторії руху керованого об'єкта широко використовуються для часової скритності.

Просторова скритність забезпечує просторову спрямованість основних випромінювань об'єкта розвідки, а також створює невизначеність щодо його розташування. Перше досягається відповідною конструкцією випромінюючих антен: підвищенням коефіцієнта спрямованої дії $G_{РПШ}$ та зниженням рівня бічних пелюсток $G_{РПШ}^{\delta}$. Друге досягається підсвічуванням основного випромінювання РЕЗ сильновідбиваючих місцевих предметів (рисунок 1.2), застосуванням безлічі дублюючих випромінювачів (рисунок 1.3), розміщенням переривчасто випромінюючого об'єкта на рухому платформу. Варіанти приховування на рисунках 1.2 та 1.3 досягають цілі, якщо на вході розвідприймача забезпечується спектральна та енергетична подібність сигналів від РЕЗ та дублюючих відбивачів або об'єктів випромінювачів.

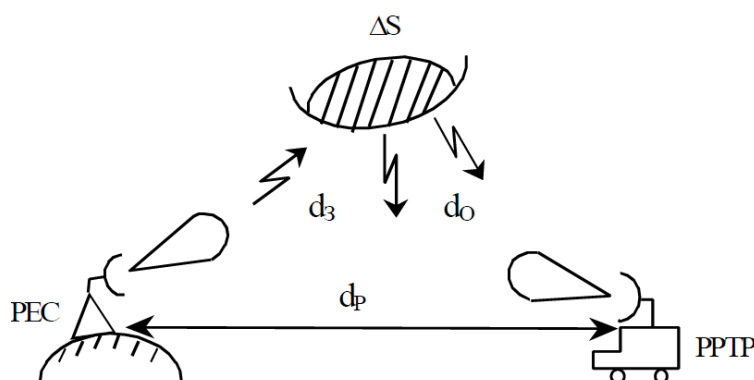


Рисунок 1.2 – Підсвічування місцевого предмета

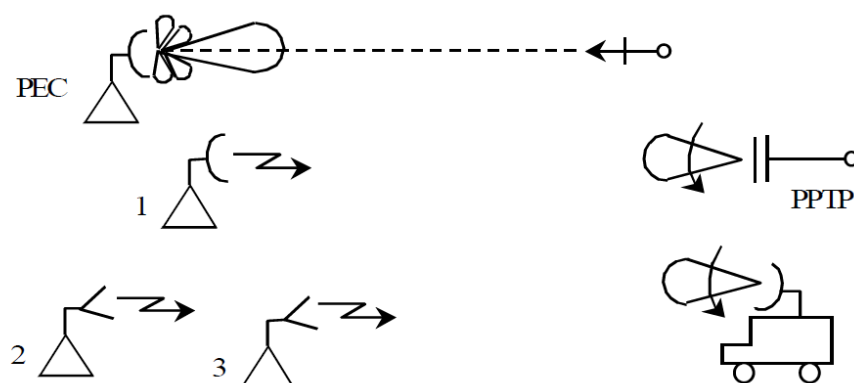


Рисунок 1.3 – Система дублюючих випромінювачів

Потужність сигналу σ_{ps}^2 від протяжного або зосередженого місцевого відбивача ΔS або випромінювача повинна бути приблизно рівна або перевищувати потужність бічних випромінювань РЕЗ σ_{pb}^2

$$\sigma_{pb}^2 = \frac{P_0 G_c^6 G_{PPpY} \lambda^2}{(4\pi)^2 d_p^2}, \quad \sigma_{ps}^2 = \frac{\Pi_\delta \sigma_\delta G_{PPpY} \lambda^2}{(4\pi)^2 d_0^2}, \quad \Pi_\delta = \frac{P_0 G_{PIV}}{4\pi d_3^2}, \quad (1.7)$$

де Π_δ – густина потоку потужності основних випромінювань, що підсвічують місцеві предмети;

σ_δ – ефективна відбивна площа (ЕВП) підсвіченої ділянки землі ($\sigma_\delta = \alpha_s \Delta S$);

ΔS – площа підсвіченої ділянки з питомою ЕВП α_s .

Ефективність ситуації на рисунку 1.2 різко зростає, якщо число перевідбивних ділянок $n \gg 1$. Обстановка на рисунку 1.3 реалізується та ефективно досягає цілі в щільних бойових порядках однотипних РЕЗ із випадковим для противника перериванням та включенням випромінювання щоразу на новій частоті.

Функції приховування демаскуючих ознак дублюючими джерелами легко реалізуються, якщо відмінності їх параметрів-ознак менше розміру елемента дозволу $\Delta \alpha_p$ перших найбільш інформативних ознак і менше розкиду їх значень.

Структурна скритність ускладнює розвідку законів модуляції випромінювань і приховує використання в РРТР вискоефективних, близьких до оптимальних методів обробки сигналів. Ці цілі досягаються розвиненим управлінням випромінюваннями, застосуванням складних шумоподібних сигналів, використанням таких випромінювань, для яких відсутній однозначний зв'язок між структурою сигналу розвідуваного і структурою каналу обробки корисного сигналу в РЕЗ. Подробиці такої скритності розглянемо на прикладах.

Управління частотою та параметрами закону модуляції $U_k(t)$ слід проводити за випадковим законом так, щоб реалізація процесу $Z(t)$ на вході вирішальної схеми виявника в розвідприймачі була повільним випадковим процесом. Це призводить до істотного збільшення порогових відносин

сигнал/фон у станції розвідки, значних енергетичних втрат і зниження дальності розвідки.

Застосування в РЕЗ шумоподібних, складних, з великою базою радіосигналів веде до значного ускладнення розвідприймача та аналізатора, вносить енергетичні втрати (пропорційно базі сигналу) на етапі виявлення, скорочує дальність розвідки, значно погіршує якість розпізнавання типу та стану, збільшує час розвідки, знижує пропускну спроможність станції РРТР. Цей метод приховання широко використовується для РЕЗ різного призначення. Структурні методи є основними для засекречених каналів радіозв'язку. Це головний спосіб зниження дальності розвідки до радіусу зони, що охороняється. Структурне приховування випромінювань зриває достовірне розпізнавання найбільш важливих РЕЗ в угрупованні військ, багаторазово знижує перелік небезпечних станів заводової обстановки, є однією з основних складових забезпечення живучості РЕЗ в умовах застосування противником високоточної самонавідної за випромінювання зброї.

Структурне поєднання основних функцій РЕЗ багаторазово скорочує тривалість випромінювання та маскує окремі стани РЕЗ. Структурна скритність може забезпечити значний ефект у груповому захисті РЕЗ від високоточної зброї на основі частотно-часової координації випромінювань однотипних РЕЗ. Приклад цього способу показано на рисунку 1.4.

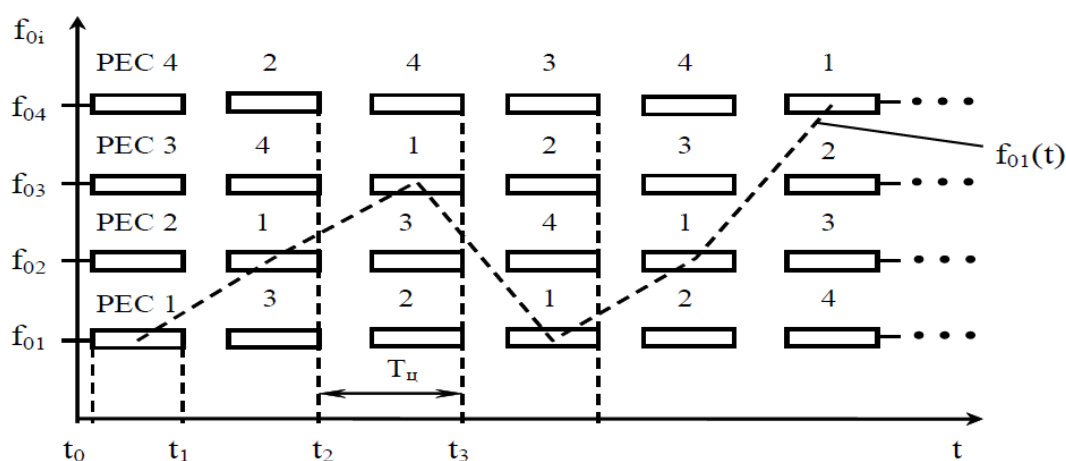


Рисунок 1.4 – Частотно-часова координація випромінювань групи РЕЗ

На рисунку 1.4 відтворено фрагмент плану-графіка управління частотами групи РЕЗ. Якщо час роботи РЕЗ $T_{\text{ц}}$ на фіксованій частоті менше часу розвідки, то станція або відстежує траєкторію зміни частоти, або сприймає весь фрагмент як єдиний складний сигнал. В обох випадках зривається точна пеленгація окремих РЕЗ та аналіз їх станів.

Формується просторова, частотна і структурна невизначеність про координати, типи, стани РЕЗ. У РРТР змушені різко прискорювати вимірювання ознак, що демаскують, і ускладнювати логіку аналізу сигналів. Скорочення величини стрибка частоти $\Delta f_{0i} = |f_{0i} - f_{0j}|$, збільшення числа цих стрибків спільно з іншими способами приховування роблять розвідку проблематичною.

Ефективність розглянутих методів приховування демаскуючих ознак випромінювань РЕЗ значно підвищується проведенням організаційних заходів: своєчасним припиненням технічної розвідки в зоні, що охороняється; маневром РЕЗ, їх дублюванням; дотриманням енергетичних, частотних, просторових, часових і структурних обмежень у групі РЕЗ та управлінням усіма заходами відповідно до розвідувальної обстановки. Відпрацювання кінцевого змісту організаційно-технічних заходів щодо скритності РЕЗ має йти шляхом найбільш раціональної реалізації їх можливостей відповідно до концепції радіоелектронного конфлікту і становить більше предмет мистецтва, ніж науки. Заключна редакція комплексу заходів захисту від технічної розвідки відпрацьовується на математичній моделі.

1.3 Основи протидії розпізнаванню об'єктів та станів радіоелектронних засобів та систем управління в РРТР

Метою протидії розпізнаванню є зниження якості аналізу випромінювань, точності вимірювання ознак, що демаскують, ймовірності розпізнавання найбільш важливих випромінюючих об'єктів РЕЗ; зрив режиму автоматичного розпізнавання, багаторазове збільшення часу розпізнавання та зниження

пропускної спроможності, внесення до системи РРТР неправдивої інформації про кількість і координати, про клас (вид, тип, стан) найбільш важливих РЕЗ та створення неправдивої радіоелектронної обстановки. Ці цілі досягаються сукупністю технічних та організаційних заходів щодо приховання, використанням засобів, що випромінюють імітуючі та хибні сигнали, розгортанням випромінюючих хибних позицій об'єктів РЕЗ та СУ, завданням відповідних режимів випромінювань РЕЗ, випромінюванням щільних потоків сигналів, що перевищують пропускну здатність РР.

Хибні позиції повинні імітувати позиції найважливіших РЕЗ щодо сукупності ознак, реєстрованих ефективними технічними розвідками. Якщо відмінності найбільш важливих ознак справжніх та хибних РЕЗ перевищують розмір роздільної здатності $\Delta\alpha_p$, то технічна дезінформація за допомогою хибних випромінювань досягається при їх вимірі. Для маскування відмінностей між одними й тими самими ознаками істинних і хибних РЕЗ залучаються методи приховання. Інтенсивність маскуючого фону значно менша за інтенсивність сигналу. Цим фоном розмивається відносна контрастність об'єктів різних класів у просторі ознак, підвищуються ймовірності помилкового розпізнавання P_ε . Проблема забезпечення подібності справжніх і хибних позицій практично традиційно є першочерговою. Тому сукупність заходів щодо приховання їх відмінностей проводиться узгоджено, цілеспрямовано та комплексно.

Підсвічена ділянка поверхні на рисунку 1.2 та дублюючі випромінювачі на рисунку 1.3. виконують дезінформуючу функцію, якщо їх координати відрізняються від координат РЕЗ на величину, що перевищує роздільну здатність визначення $\Delta\alpha_p$. Відмінності між рештою інформативних ознак справжніх і хибних РЕЗ повинні бути порівнянними з помилками їх вимірювання, але менше $\Delta\alpha_p$.

Стратегія вимог до хибних випромінюючих та дублюючих РЕЗ ускладнюється, якщо інформативні ознаки захищеного від засобів розвідки РЕЗ є охоронюваними. У цьому бажано забезпечити перенацілювання засобів

розвідки на хибні об'єкти, а найінформативніші ознаки справжніх РЕЗ спотворити чи приховати.

Проблема забезпечення подібності хибних позицій істинним іншим видів технічної розвідки має вирішуватися аналогічними шляхами. У цих цілях ефективні групові методи протидії розпізнаванню. До складу групи РЕЗ входять випромінюючі об'єкти, що імітують або спотворюють функціональне призначення РЕЗ. На їхньому фоні важливе РЕЗ випромінює лише у найбільш відповідальний період радіоелектронної боротьби. При тій же якості ознак збільшення числа РЕЗ, що розпізнаються, істотно збільшує ймовірності помилкових рішень і тривалість пошуку та аналізу. P_{ε}

Збільшенню сприяють групові варіації ознак у часі. Умисно розмиваються розподіл ознак РЕЗ – об'єкта розвідки та РЕЗ – імітаторів аж до перекриття розподілів їх ознак. Це веде до падіння стійкості інформативності ознак, різкого зниження їхньої значущості для «навчання» наступного етапу розвідки.

Завадова обстановка для протидії розвідці включає одне-два джерела активних завод, що імітують основні і побічні випромінювання РЕЗ, що захищається від розвідки. У цьому досягається зрив розпізнавання і супроводу РЕЗ, перенацілювання чи зрив наведення високоточної зброї, ускладнення загалом сигнальної обстановки на вході станції РРТР. Завадові коливання подібні до захищених за першими 3...4 інформативними ознаками. Потужність розвідуваного сигналу дорівнює

$$\sigma_p^2 = \frac{P_0 G_c G_{\text{РПРП}} \lambda^2}{(4\pi)^2 d_p^2} . \quad (1.8)$$

Потужність завади визначається формулою

$$\sigma_n^2 = \frac{P_n G_n G_{\text{РПРП}} \lambda^2}{(4\pi)^2 d_n^2} . \quad (1.9)$$

Для досягнення мети протидії необхідно, щоб $\sigma_n^2 \geq \sigma_p^2$.

Електромагнітна сумісність РЕЗ та САЗ у цьому випадку не є складною. Спільна синхронізація випромінювань та кодовий поділ сигналів у приймачі

РЕЗ знімають гостроту цієї проблеми. Відстань між РЕЗ та САЗ має перевищувати радіус дії засобів вогневого ураження РЕЗ. Застосування в РЕЗ антен з малими рівнями бічних пелюстків, вузькосмугової ріжекції в приймачі дозволяють формувати групи РЕЗ імітаторів також для РЕЗ з безперервним і квазінеперервним випромінюванням. Енергетична сторона проблеми змушує будувати або одне потужне джерело імітуючих випромінювань відразу групи однотипних РЕЗ для прикриття від розвідки їх основних випромінювань, або групу малопотужних прикриття бічних випромінювань РЕЗ.

Активні маскуючі завади створюють на вході приймача станції РТР фон, який ускладнює або виключає виявлення (виділення) корисних сигналів, що приховуються. До маскуючих заводових сигналів висувають вимогу, щоб вони виключали виявлення корисного сигналу з ймовірністю, яка перевищує граничне значення ймовірності виявлення. Для цього формують маскуючі радіозавади (маскуючі заводові сигнали), які створюють шумоподібне тло на додаток до тла, утвореного власними шумами приймача. При взаємодії на вході приймача маскуючі завади лінійно підсумовуються сигналом і власними шумами приймача і утворюють адитивну суміш. Тому приймач, отримавши такий сигнал, не може виділити з нього інформаційну складову, так як структура результуючого сигналу на вході приймача станції РТР може відрізнитися від структури корисного сигналу, сформованого в передавачі.

Маскування можна здійснювати в залежності від інформаційних параметрів корисного сигналу (по несучій частоті, амплітуді, фазі та спектру). Внаслідок маскування погіршуються параметри виявлення, збільшуються помилки параметрів сигналів.

Ефективність маскуючих радіозавад залежить від частотної та часової структури заводового та корисного сигналів та їх енергетичного співвідношення на вході.

Активні маскуючі завади ділять на три групи: безперервні шумові завади, хаотичні імпульсні завади, модульовані завади. Використання маскуючих завад будь-якого типу призводить до зменшення ймовірності правильного виявлення

корисного сигналу, збільшення ймовірності помилкової тривоги та зниження точності вимірювання його характеристик.

Аналогічна картина має місце під впливом завади на канал передач радіотелеграфних або радіотелефонних сигналів. Завада, складаючись з корисними сигналами, спотворює останні на виході приймача, що знижує можливість правильного розпізнавання переданих сигналів.

Ефективність маскуючих завад залежить від багатьох факторів і, в першу чергу, від часової та частотної структури як завади, так і сигналу, від енергетичного співвідношення енергії завади та сигналу на вході приймача станції РТР, від їх інформаційних параметрів (загалом, що мають імовірнісний характер).

Ідеальна шумова завада з погляду інформаційного критерію ефективності повинна мати нормальну (гаусову) густину розподілу миттєвих значень та рівномірний енергетичний спектр у заданій смузі частот. Найбільшою мірою до такої завади наближається прямошумова завада, яка виходить за рахунок прямого посилення шуму первинного джерела високочастотного шуму (наприклад, генератора шуму) або за рахунок перенесення спектру шуму створюваного джерелом низькочастотного шуму в задану високочастотну область діапазону радіохвиль. Такий шум за властивостями нагадує гармонійний сигнал, випадково модульований по амплітуді та фазі. Реальні станції завад першого покоління містили різні нелінійні пристрої, які знижують якість завади. Значний вплив на маскуючі властивості прямошумової завади надають обмежувачі, що застосовуються з метою підвищення ККД вихідних підсилювачів. Двостороннє обмеження шумів погіршує як ентропійний так і спектральний коефіцієнти якості завад.

1.4 Математичне моделювання комплексної протидії технічним засобам розвідки

Математичне моделювання комплексної протидії технічним засобам розвідки проводиться для визначення інформативності ознак, що демаскують, прогнозу розвідомості супротивника, уточнення найбільш небезпечного виду розвідки, оцінки ефективності заходів щодо зриву та технічної дезінформації розвідки. За допомогою моделі уточнюють також завдання, методи та ефективність комплексного технічного контролю якості організаційних та технічних заходів протидії. До складу моделі входять усі блоки моделі радіоелектронної розвідки та спрощені блоки моделі розрахунку ефективності інших небезпечних видів розвідки, а також моделі заходів протидії.

Кожен захід протидії має враховуватися одночасно у кількох показниках якості РЕР. Розрахунки повторюються для кожного виду небезпечної технічної розвідки за ознаками відомостей, що охороняються. Аналогічні завдання вирішуються за всіма заходами технічної дезінформації.

Конкретний зміст моделей протидії РЕР визначається заданими видами розвідоб'єктів та засобів РЕР.

2 СТРУКТУРНА СХЕМА ПЕРЕДАВАЧА АКТИВНИХ ЗАВАД

2.1 Оцінка необхідної потужності передавача завад для активного радіомаскування НПУ БПЛА

У випадках, коли пасивні заходи радіомаскування не можуть забезпечити потаємного функціонування РЕЗ, можна протистояти РРТР шляхом технічної дезінформації (створення хибних сигналів, маскуючих завад), тобто засобами активного радіомаскування. Методи технічної дезінформації спрямовані на те, щоб разом із сигналом від РЕЗ на вході приймача РРТР були присутні помилкові сигнали або маскуючий фон, які заважають розпізнаванню та вимірюванню дійсних параметрів сигналу РЕЗ, який приховується від РРТР. В результаті станція активних завад створює завади на частотах помилкових сигналів або маскуючі завади, оптимізовані під параметри помилкових сигналів. У бік РРТР навмисно під час функціонування РЕЗ, що приховується, випромінюється активна маскуюча завада від станції активних завад. Структура завади вибирається за критерієм забезпечення нерівності $q_w < q_w \text{ пор}$ на виході лінійної частини розвідприймача. Тут

$$q_w = \sigma_{wc}^2 / \sigma_{\phi}^2$$

відношення сигнал/фон.

Приклад завадової обстановки для РРТР умовно зображено на рисунку 2.1.

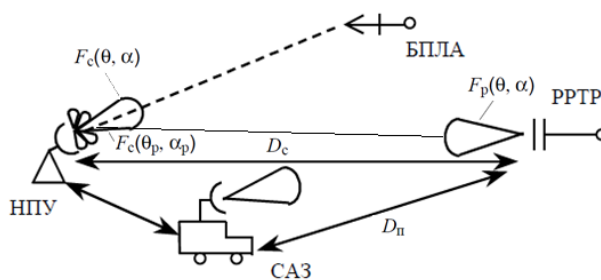


Рисунок 2.1 – Активне маскування випромінювань наземного пункту управління БПЛА завадами

Ефективність активного радіомаскування (рисунок 2.1) оцінюється коефіцієнтом маскування K_M

$$K_M = 10 \lg \frac{S_{c. \text{вх}}}{S_{п. \text{вх}}},$$

де

$$S_{c. \text{вх}} = \frac{P_{\text{и}} G_{\text{с}} G_{\text{р}} \gamma \lambda^2}{(4\pi D_{\text{с}})^2 \Delta f_{\text{с}}} F_{\text{с}}^2(\theta_{\text{р}}, \alpha_{\text{р}})$$

спектральна густина (Вт/МГц) сигналу РЕЗ на вході приймача станції РРТР без урахування загасання в атмосфері

$$S_{п. \text{вх}} = \frac{P_{\text{п}} G_{\text{п}} G_{\text{р}} \gamma \lambda^2}{(4\pi D_{\text{п}})^2 \Delta F_{\text{п}}} F_{\text{р}}^2(\theta_{\text{с}}, \alpha_{\text{с}})$$

спектральна густина (Вт/МГц) фону завади на вході приймача станції РРТР без урахування загасання в атмосфері; $D_{\text{п}}$ – відстань між РЕЗ та приймачем станції РРТР; $D_{\text{с}}$ – відстань між САЗ (станцією активних завод) та приймачем станції РРТР; $\Delta f_{\text{с}}$, $\Delta F_{\text{п}}$ – ширина спектрів сигналу та завади.

Умова ефективного активного радіомаскування визначається нерівністю $S_{п. \text{вх}} \geq S_{c. \text{вх}}$, тобто для випадку, який наведений на рисунку 2.1 маємо

$$\frac{P_{\text{п}} G_{\text{п}} G_{\text{р}} \gamma \lambda^2}{(4\pi D_{\text{п}})^2 \Delta F_{\text{п}}} F_{\text{р}}^2(\theta_{\text{п}}, \alpha_{\text{п}}) \geq \frac{P_{\text{и}} G_{\text{с}} G_{\text{р}} \gamma \lambda^2}{(4\pi D_{\text{с}})^2 \Delta f_{\text{с}}} F_{\text{с}}^2(\theta_{\text{р}}, \alpha_{\text{р}}).$$

Звідси отримуємо потужність передавача завод необхідну для маскування сигналу наземного пункту управління

$$P_{п. \text{тр}} \geq \frac{\Delta F_{\text{п}}}{\Delta f_{\text{с}}} P_{\text{и}} \frac{G_{\text{с}} D_{\text{п}}^2}{G_{\text{п}} D_{\text{с}}^2} \frac{F_{\text{с}}^2(\theta_{\text{р}}, \alpha_{\text{р}})}{F_{\text{р}}^2(\theta_{\text{п}}, \alpha_{\text{п}})}.$$

На практиці ширину спектру завади $\Delta F_{\text{п}}$ обирають в 1,5–3 рази більше за ширину спектра маскованого сигналу $\Delta f_{\text{с}}$

$$F_{\text{п}} = (1,5 \dots 3) \Delta f_{\text{с}}.$$

В таблиці 2.1 наведені результати розрахунку потужності передавача радіозавод для активного маскування наземного пункту управління. Розрахунки наведені для двох відстаней розміщення передавача в тилу екіпажу БПЛА у випадку коли випромінювання передавача завод приймаються антеною станції РРТР в напрямку максимуму головної пелюстки діаграми спрямованості (ДС).

Розрахунки потужності передавача завад наведені для двох випадків використання антен: слабкоспрямованої (симметричного вібратора, коефіцієнт підсилення 1,64 або 2,15 дБ) та спрямованої антени (антена Уда-Ягі, коефіцієнт підсилення 15 дБ).

Таблиця 2.1 – Результати розрахунку потужності передавача завад для активного маскування наземного пункту управління БПЛА

Вихідні дані	$P_{\text{и}}=100$ мВт, $D_{\text{с}}=5$ км, $\Delta F_{\text{п}}=2\Delta f_{\text{с}}=40$ МГц, $G_{\text{п}}=10$ дБ	
Неспрямована антена	$G_{\text{с}}=2,15$ дБ, $D_{\text{п}}=5,5$ км	$P_{\text{п.тр}}= 770$ мВт
	$G_{\text{с}}=2,15$ дБ $D_{\text{п}}=6$ км	$P_{\text{п.тр}}= 920$ мВт
Спрямована антена	$G_{\text{с}}=15$ дБ $D_{\text{п}}=5,5$ км	$P_{\text{п.тр}}= 48$ мВт
	$G_{\text{с}}=15$ дБ $D_{\text{п}}=6$ км	$P_{\text{п.тр}}= 58$ мВт

2.2 Побудова структурної схеми передавача маскувальних завад

Радіопередавальні пристрої (РПП) призначені для виконання двох основних функцій – генерації електромагнітних коливань високої або надвисокої частоти та керування ними – модуляції. Радіопередавач характеризується набором показників, які повинні задовольняти певним вимогам. Усі ці показники (відповідно і вимоги до них) можна розділити на три основні групи.

1. Енергетичні показники.

- Вихідна потужність передавача $P_{\text{вих}}$ значною мірою визначає дальність дії.

- ККД передавача $\eta = P_{\text{вих}}/P_0$, де P_0 – сумарна потужність, що споживається від джерела живлення. ККД для малопотужних РПП багато в чому визначає

їхні габаритні розміри і масу, а для потужних і надпотужних – вартість їхнього створення та експлуатації. Наприклад, значення ККД сучасних РПП перебуває в межах від десятих часток до десятків відсотків. Вихідна потужність і ККД передавача визначаються насамперед режимом роботи кінцевого підсилювача як найпотужнішого та найбільш енергоспоживаючого.

2. Показники якості модуляції.

Вид і параметри модуляції (АМ, ЧМ, ФМ, ІМ та ін.). Лінійні та нелінійні спотворення під час модуляції. Відношення потужності корисного сигналу до потужності шуму. Ймовірність помилки під час передавання цифрової інформації. Ці показники визначаються якістю роботи модулятора і каскадів, на які він впливає.

3. Показники електромагнітної сумісності.

Робоча частота f_p . Діапазон робочих частот f_{\min} - f_{\max} . Робоча частота РПП визначається його призначенням та умовами роботи.

Відносна нестабільність частоти $\Delta f/f_p$. Стабільність робочої частоти сприяє підвищенню надійності роботи і завадостійкості РЕЗ передавання та спотворення інформації (оскільки дає змогу зменшити смугу пропускання приймача). Висока стабільність дає змогу збільшити кількість РЕЗ, які одночасно працюють у заданому діапазоні частот без взаємних завад. Сучасні РПП мають відносну нестабільність частоти 10^{-6} ... 10^{-3} . Стабільність частоти визначається якістю роботи збудника.

Відносний рівень побічних випромінювань $K_{\text{поб}} = 10 \lg P_{\text{поб}\Sigma} / P_{\text{вих}}$. За наявними нормами потужність будь-якого побічного випромінювання передавачів не повинна перевищувати $25 \cdot 10^{-6}$... 10^{-3} Вт залежно від діапазону частот, потужності та призначення передавача.

Сумарна потужність коливань, випромінюваних антеною поза робочою смугою частот, $P_{\text{поб}}$. Позасмугові та побічні випромінювання РПП не знижують якості роботи радіосистеми, до складу якої він входить. Однак ці випромінювання створюють завади іншим радіозасобам, знижують розвідзахищенність від засобів РРТР. З цих причин на рівень таких

випромінювань накладаються жорсткі обмеження, чим забезпечується одночасна робота радіоліній без взаємних завад, тобто вирішується проблема електромагнітної сумісності радіосистем.

Ширина смуги частот випромінювання, потужність позасмугових і побічних випромінювань визначаються якістю вихідної фільтрувальної системи.

До РПП висуваються й інші вимоги, які є як загальними для радіосистем загалом (надійність РПП, його габаритні розміри та маса), так і вимоги специфічні, зумовлені специфікою радіосистем (механічна міцність, вологостійкість, діапазон робочих температур, оптимальні для оператора умови в спеціальній обстановці).

Узагальнену схему передавача наведено на рисунку 2.2. Високочастотні коливання створюються в збуднику, який у найпростішому випадку являє собою автогенератор, а в складнішому – синтезатор частот. Збудники проектуються малопотужними, а необхідна вихідна потужність забезпечується шляхом підсилення створених коливань: спочатку в попередніх каскадах підсилення (а в низці випадків і множення частоти), а потім – у потужному кінцевому каскаді. На виході передавача, як правило, вмикається фільтр для придушення небажаних коливань.

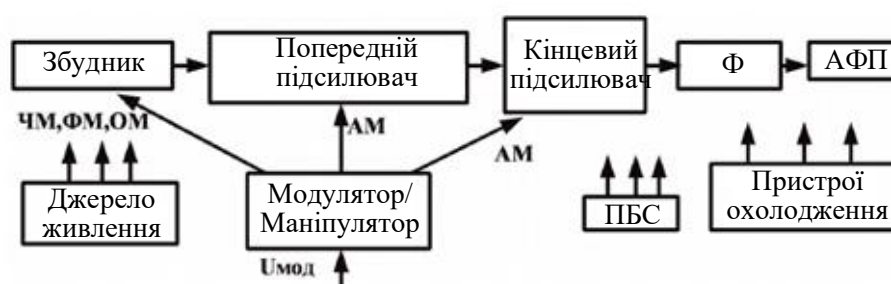


Рисунок 2.2 – Узагальнена схема радіопередавального пристрою

Передавачі є багатокаскадними. Керування коливаннями здійснюється за допомогою модулятора (під час передавання аналогових інформаційних сигналів) або маніпулятора (під час передавання дискретних інформаційних сигналів), на вхід якого і подається інформаційний модульований сигнал.

Якщо в передавачі використовується амплітудна модуляція, то модулятор впливає на кінцевий або попередній каскад підсилення потужності. В інших випадках (за частотної, фазової або односмугової модуляції) модулятор впливає на збудник. Сформовані та посилені за потужністю електромагнітні коливання передаються для випромінювання безпосередньо в антену, або антенно-фідерний пристрій (АФП), або в лінію зв'язку (кабельну або волоконно-оптичну). Розглянуті елементи схеми складають тракт радіопередавача.

Конкретні схеми передавачів можуть істотно відрізнятися залежно від пред'явлених до них технічних вимог – робочої частоти, вихідної потужності, стабільності частоти тощо. У вузькосмугових РПП метрових хвиль для підвищення стабільності частоти автогенератора збудник часто будують на зниженій частоті і використовують один або кілька проміжних помножувачів.

У малопотужних РПП ($P_{\text{вих}} < 1$ Вт) підсилювач зазвичай містить 2-3 каскади, у передавачах більшої потужності ($P_{\text{вих}} > 10$ Вт) кількість каскадів збільшується до 4-5. Збудник РПП найчастіше стабілізується кварцом і являє собою найпростіший автогенератор або складніший пристрій залежно від вимог до стабільності частоти, діапазону перебудови, а також від типу модуляції (у радіопередавачах із частотною та односмуговою модуляцією). Амплітудну модуляцію завжди проводять у кінцевих каскадах (в односмугових радіопередавачах підсилюються модульовані коливання). ККД передавачів цих діапазонів хвиль перебувають у межах 30...40 %.

Схему тракту НВЧ РПП дециметрових (300...3000 МГц) і сантиметрових (3...30 ГГц) діапазонів хвиль наведено на рисунку 2.3.

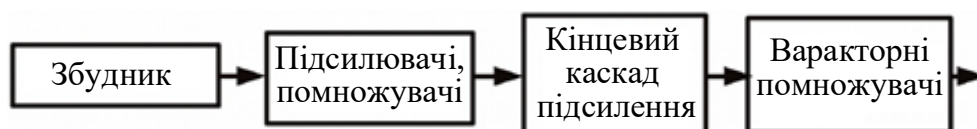


Рисунок 2.3 – Структура тракту НВЧ РПП

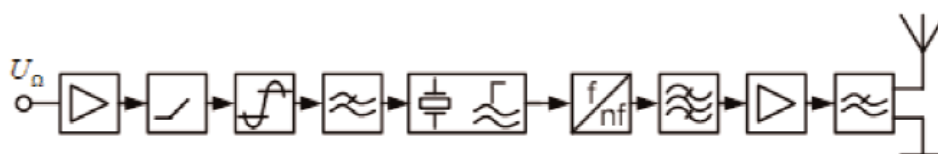
На виході тракту вмикається низка каскадів множення частоти (на варакторах, наприклад). Помножувачі частоти перетворюють коливальну

потужність, що віддається транзисторними каскадами на частотах 100–1000 МГц, на потужність більш високої частоти ціною деяких втрат потужності. Число каскадів зазвичай невелике (1...3) і залежить від заданої вихідної частоти, потужності та ККД.

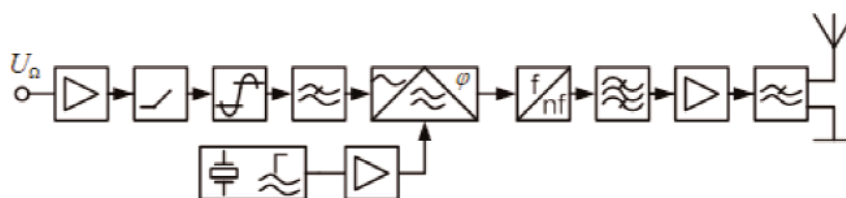
Для НВЧ РПП характерне також збільшення кількості транзисторних каскадів, оскільки транзистори тут працюють вже на частотах, де їхні коефіцієнти посилення потужності невеликі ($K_p - 2...4$). Втрати високочастотної потужності в помножувачах і погіршення роботи транзистора знижують ККД радіопередавачів дециметрового і особливо сантиметрового діапазонів до 8...12 %.

На рисунку 2.4 представлено типові функціональні схеми передавачів із кутовою модуляцією. Перша схема на рисунку 2.4,а використовує пряму частотну модуляцію варикапом у кварцовому автогенераторі.

Модулювальний сигнал посилюється в ПНЧ і піддається частотній передкорекції, потім проводиться обмеження його амплітуд (або стиснення динамічного діапазону) в обмежувачі. Фільтр нижніх частот обмежує спектр модулюючого сигналу. У кварцовому автогенераторі здійснюється пряма частотна модуляція, потім проводиться множення частоти для збільшення глибини модуляції і підвищення частоти до робочого діапазону радіосистеми. Смуговий фільтр послаблює небажані спектральні складові (зокрема й субгармоніки), що виникають під час множення частоти. Підсилювач потужності РЧ забезпечує необхідний рівень вихідної потужності передавача, Φ – ослаблення випромінювання вищих гармонік до допустимого рівня (приблизно -40...-60 дБ) і узгодження з антеною.



а

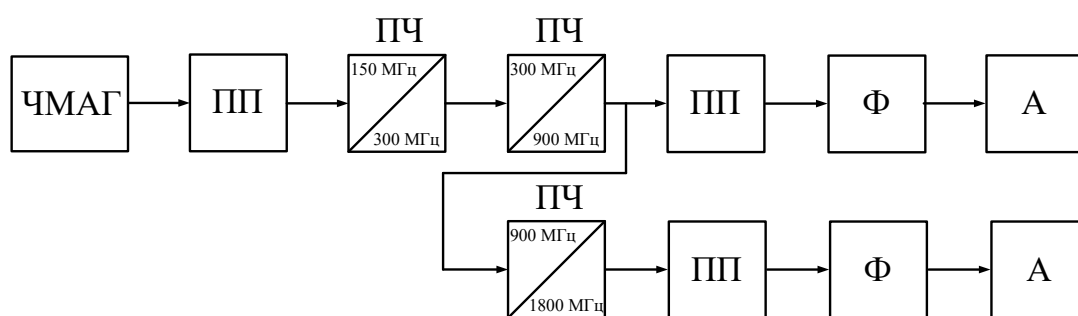


б

Рисунок 2.4 – Функціональні схеми передавачів із кутовою модуляцією

Структурну схему передавача, що використовує непрямий метод одержання ЧМ, зображено на рисунку 2.4, б, де у фазовому модуляторі здійснюється модуляція фази несучого коливання, спектр модулюючого сигналу перед входом модулятора може піддаватися додатковій корекції в інтеграторі. Частота задавального генератора стабілізується кварцовим резонатором, а буферний підсилювач зменшує вплив наступних ланцюгів на частоту автогенератора.

На підставі вище сказаного та аналізу технічного завдання було проведено розроблення узагальненої структурної схеми двосмугового передавача, що формує частотно-модульовану шумову заваду (рисунок 2.5).



ЧМАГ – частотно-модульований автогенератор, ПП – підсилювач потужності,

ПЧ – помножувач частоти, Ф – фільтр, А – антена.

Рисунок 2.5 – Структурна схема передавача маскувальних завад

Принцип дії передавача маскувальних завад полягає в наступному. АГ виробляє високостабільні синусоїдальні коливання з частотою 150 МГц, які подаються на попередній підсилювач потужності (ПП). Далі сигнал подається

на два каскадно ввімкнені помножувачі частоти (ПЧ). У підсумку формується шумова завада з центральною частотою 900 МГц. Для забезпечення двочастотного режиму в схему передавача введено помножувач частоти з коефіцієнтом множення на 2, що забезпечує центральну частоту шумової завади 1800 МГц. Підсилювачі потужності, встановлені після помножувачів частоти, забезпечують розраховані рівні потужності завадових сигналів (див. таблицю 2.1). Фільтри необхідні для придушення позасмугових випромінювань, що виникають у процесі генерації шумової завади, і для узгодження кінцевих каскадів підсилювачів потужності з антенами.

У ЧМШЗ є безсумнівні переваги перед АМШЗ:

- зміною напруги модулюючих шумів можна в широких межах варіювати ширину спектра завадового сигналу, переводячи передавач у режим створення прицільних або загороджувальних за частотою завад;

- при достатньо глибокій модуляції, коли ширина спектра завадового сигналу перевищує ширину спектра модулюючих шумів у 2-3 рази, у отриманому сигналі відсутні коливання несучої, і, отже, вся потужність генератора використовується раціонально, тобто бере участь у створенні маскуючого ефекту для РРТР.

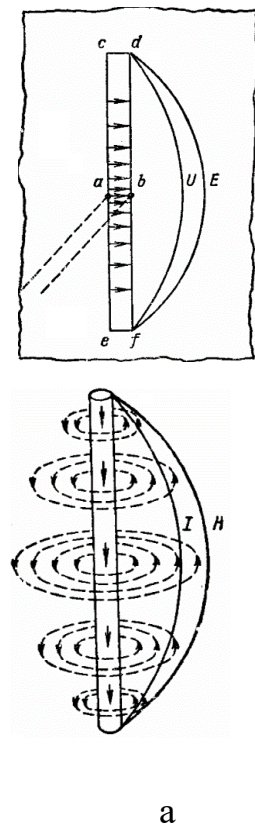
При ефективному значенні індексу частотної модуляції $m_{ЧМ} \gg 1$ ширина спектра завадового сигналу $\Delta f_n = 2\Delta F_{ш} m_{ЧМ}$.

Ефективне значення індексу частотної модуляції $m_{ЧМ}$ визначається як відношення ефективного значення відхилення частоти $\Delta\omega_{\text{еф}}$ від ω_0 до максимальної частоти модулюючого сигналу $F_{ш\text{max}}$.

3 РОЗРАХУНОК І МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ БЛОКІВ ПЕРЕДАВАЧА ЗАВАД

3.1 Електродинамічне моделювання симетричного мікросмушкового вібратора

Сучасні технології дослідження й оптимізації радіотехнічних пристроїв засновані на широкому використанні комп'ютерного моделювання. Одним із найефективніших методів оптимізації випромінювального мікросмушкового навантаження підсилювачів потужності мобільних передавачів є комп'ютерне моделювання на основі використання пакета програм Microwave Office. Проведемо комп'ютерну оптимізацію випромінювального навантаження підсилювача потужності передавача. У якості випромінювача використовуємо симетричний мікросмушковий вібратора.



б

Рисунок 3.1 – Магнітний та

електричний вібратори

За принципом дії напівхвильові вібратори підрозділяються на магнітні та електричні (рисунок 3.1а, б). Магнітні вібратори виконуються у вигляді вузької щілини на металевій поверхні і тому називаються щілинними. Вібратори в мобільній апаратурі мають часто мікросмужкову конструкцію. Спрямованість випромінювання щілинної антени в

площині ZY , що проходить через вісь щілини, описується вісімкою, а в площині ZX , перпендикулярній осі, антена має неспрямований характер випромінювання (рисунок 3.2).

Проведемо електродинамічний аналіз симетричного мікросмужкового вібратора за допомогою пакета програм Microwave Office. У вкладці Enclosure (див. рисунок 3.3) задамо параметри діелектричних шарів і граничні умови. Довжина плеча напівхвильового симетричного вібратора (рисунок 3.4), призначеного для роботи на частоті 900 МГц, визначається з умови $l = \lambda/4 = 83,3$ мм. Задаємося шириною і товщиною вібратора – 2,5 мм.

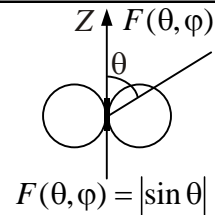
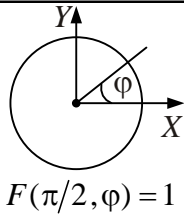
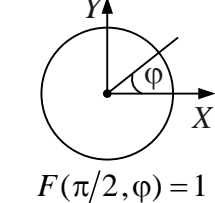
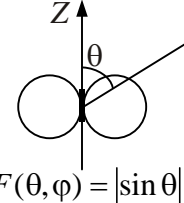
Тип випромінювача	Діаграма спрямованості	
	Електрична площина	Магнітна площина
Електричний вібратор	 $F(\theta, \varphi) = \sin \theta $	 $F(\pi/2, \varphi) = 1$
Магнітний вібратор	 $F(\pi/2, \varphi) = 1$	 $F(\theta, \varphi) = \sin \theta $

Рисунок 3.2 – Діаграми спрямованості електричного та магнітного

випромінювачів

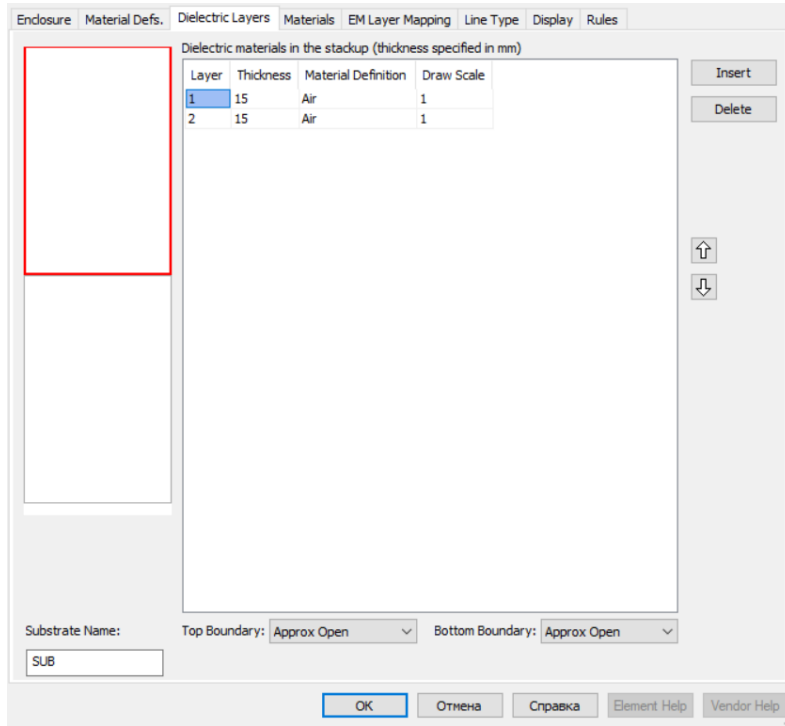


Рисунок 3.3. – Діалогове вікно для визначення параметрів діелектричних шарів



Рисунок 3.4 – Симетричний вібратор

На рисунку 3.5 наведено частотну залежність уявної та дійсної частини вхідного опору симетричного вібратора, а на рисунку 3.6 наведено результати оцінки вхідного опору симетричного вібратора на діаграмі Сміта.

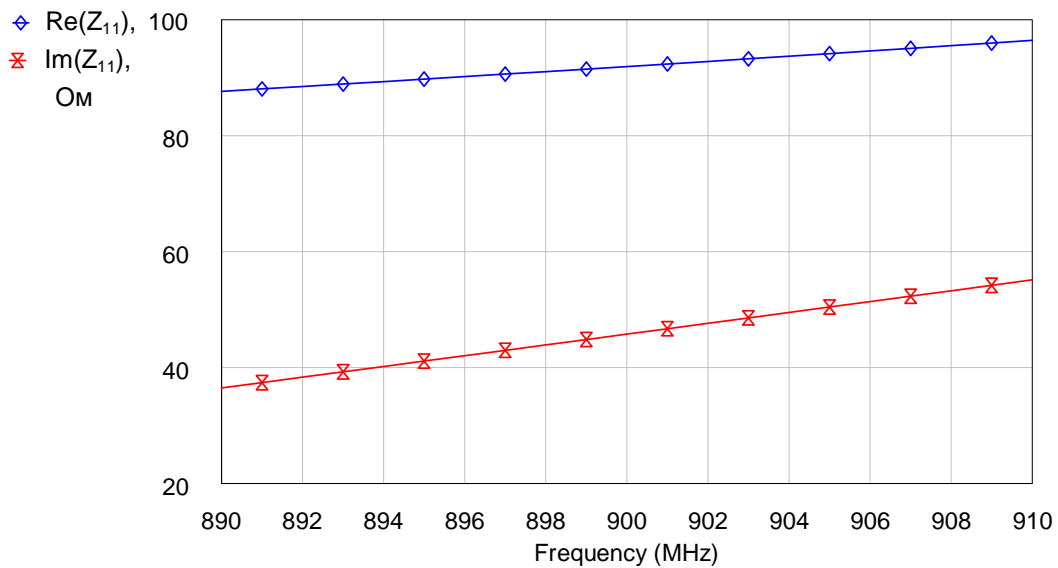


Рисунок 3.5 – Частотна залежність уявної та дійсної частини вхідного опору симетричного вібратора

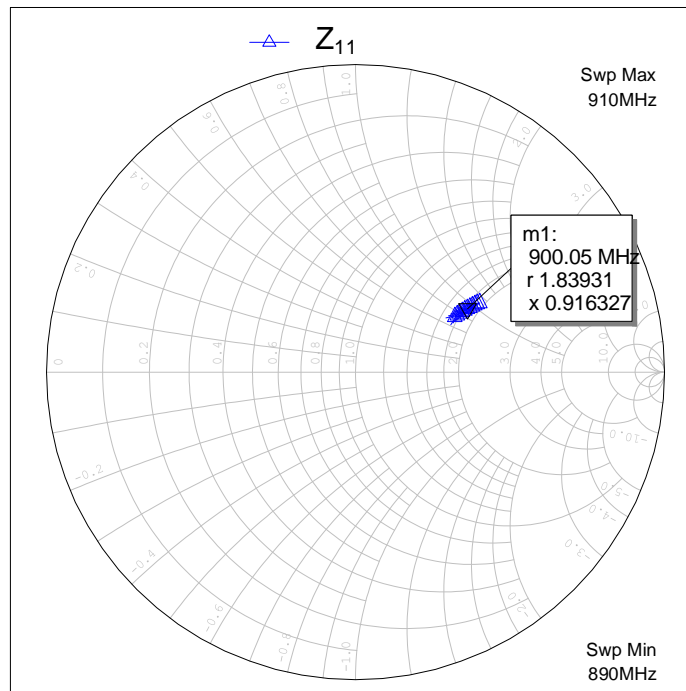


Рисунок 3.6 – Результати оцінки вхідного опору симетричного вібратора на діаграмі Сміта

Стрілки на годографі (рисунок 3.6) вказують напрямок, що відповідає збільшенню частоти. Встановивши курсор у будь-яку точку годографа, можна визначити нормовані опори r_{11} , x_{11} , на частоті збудження вібратора. На частоті 900 МГц годограф проходить через точку $r_{11}/50=1,84$, $x_{11}/50=0,92$, що відповідає вхідному опору симетричного вібратора $R_{11}=91,92$ Ом, $X_{11}= 45,73$ Ом. На інших частотах вище і нижче 900 МГц вхідний опір вібратора також має комплексний характер. Результати аналізу дають змогу дати кількісну оцінку величині вхідного опору симетричного вібратора в діапазоні частот і перейти до схемотехнічного аналізу мікросмужкової антени з колами узгодження.

3.2 Схемотехнічний аналіз роботи симетричного мікросмужкового вібратора з колами узгодження

Розглянемо алгоритм складання схемотехнічної моделі та аналізу роботи вібратора з колом узгодження. Перший крок це побудова схемотехнічної конструкції електродинамічної моделі. Для введення в схемотехнічне вікно елемента з описом параметрів симетричного вібратора необхідно спочатку натиснути кнопку SUB на панелі інструментів, потім у вікні, яке з'явилося, вибрати електродинамічну структуру, промодельовану раніше.

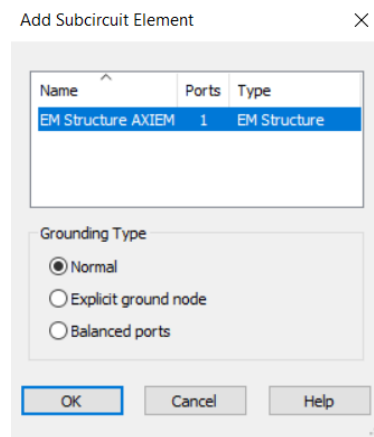


Рисунок 3.7 – Створення підсхеми

У схемотехнічному вікні з'являється елемент SUBCKT (рисунок 3.8) з параметрами симетричного вібратора, отриманими на основі електродинамічного аналізу.

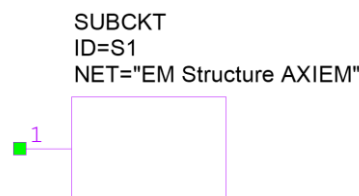


Рисунок 3.8 – Схемотехнічний елемент із параметрами симетричного вібратора

Для схемотехнічного аналізу роботи вібратора і синтезу оптимальних кіл узгодження необхідно побудувати комп'ютерну електричну модель досліджуваного пристрою в середовищі Microwave Office. На рисунку 3.9 наведено вихідну модель вібратора з триланковим колом узгодження

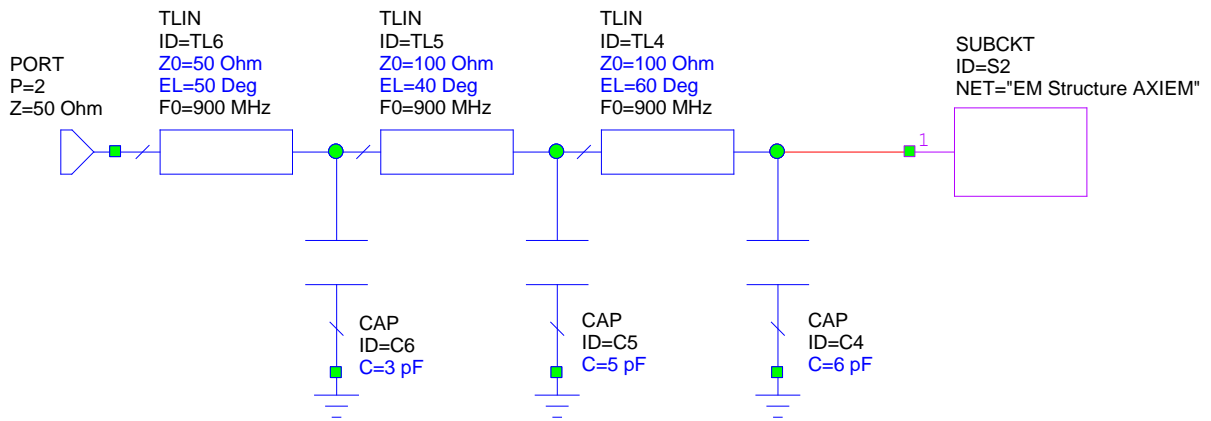


Рисунок 3.9 – Модель вібратора з триланковим колом узгодження

На рисунку 3.10 наведено залежності дійсної та уявної частини вхідного опору Z_{11} від частоти в діапазоні 890...920 МГц.

Результати аналізу дають змогу дати кількісну оцінку величині вхідного опору вібратора з колом узгодження в діапазоні робочих частот.

З наведеного аналізу роботи кола узгодження випливає, що необхідна параметрична оптимізація елементів схеми. У представленому вигляді схема непрацездатна, оскільки дійсна частина вхідного опору істотно відрізняється від 50 Ом. Крім того, уявна частина в робочому діапазоні частот має значний індуктивний опір.

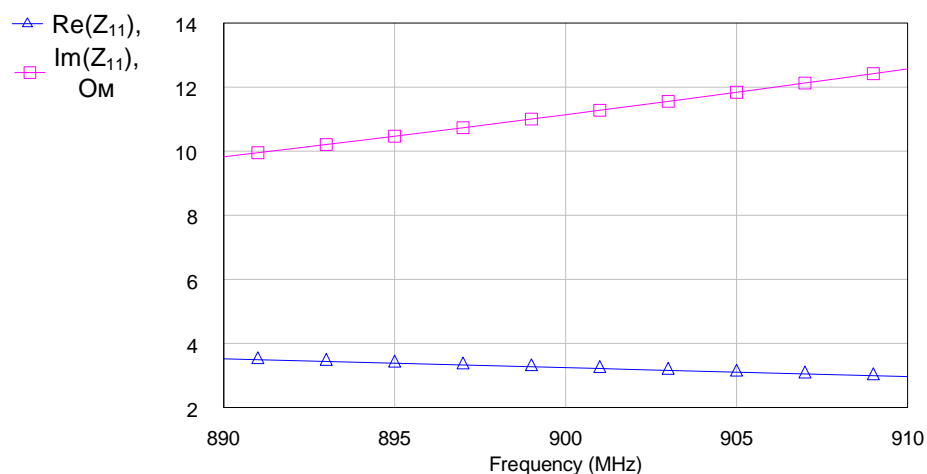


Рисунок 3.10 – Залежність дійсної та уявної частин вхідного опору Z_{11} від частоти

3.3 Оптимізація симетричного мікросмушкового вібратора з колами узгодження

Пакет програм AWR дає змогу провести параметричний синтез принципової схеми за заданими критеріями якості. Спочатку необхідно задатися критеріями оптимізації та ваговими коефіцієнтами для кожного з них, тобто сформулювати цільову функцію багатокритеріальної оптимізації. По-перше, необхідно мінімізувати відмінність від 50 Ом дійсної частини вхідного опору кола узгодження в робочому діапазоні частот 890...910 МГц. Прийmemo ваговий коефіцієнт для цього критерію оптимізації 0,9 (рисунку 3.11).

По-друге, необхідно мінімізувати відмінність від 0 Ом уявної частини вхідного опору кола узгодження в робочому діапазоні частот 890...910 МГц. Прийmemo ваговий коефіцієнт для цього критерію оптимізації 0,1 (рисунок 3.12).

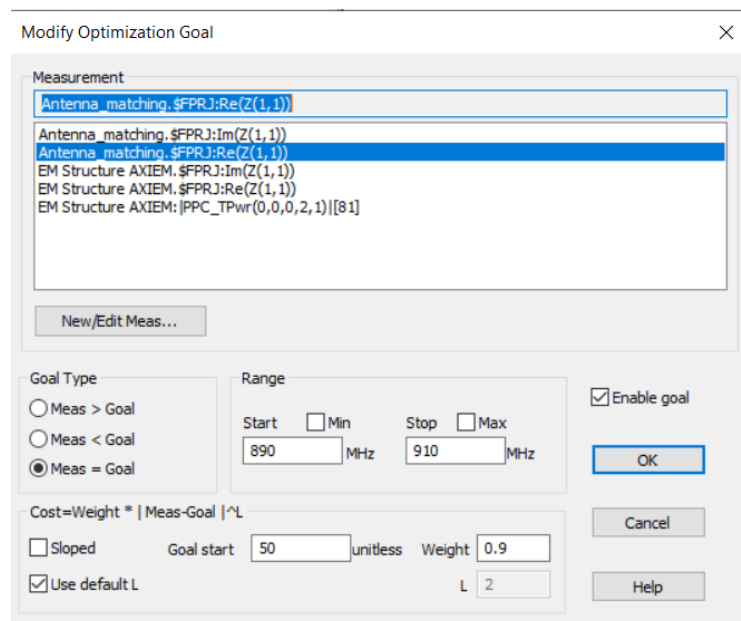


Рисунок 3.11 – Діалогове вікно для встановлення першої цілі оптимізації

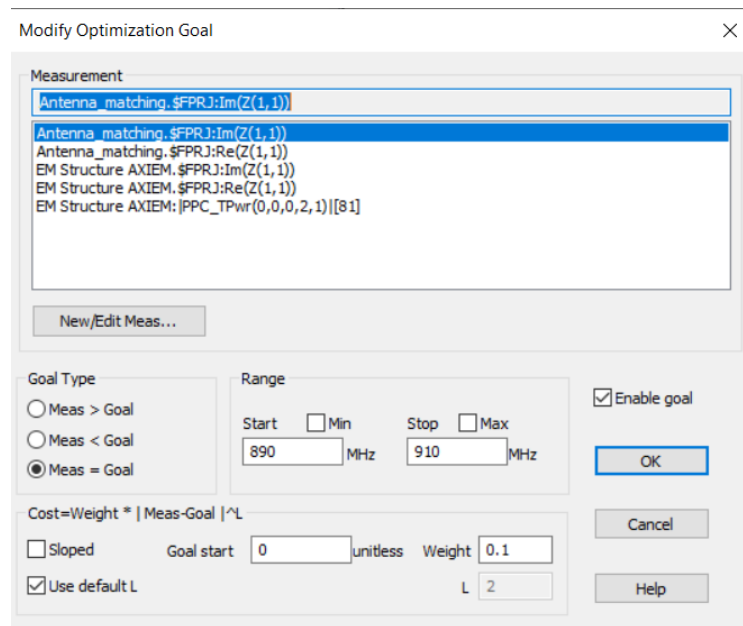


Рисунок 3.12 – Діалогове вікно для встановлення другої цілі оптимізації

У меню Simulate виберемо команду Optimize. В однойменному діалоговому вікні Optimize, що відкрилося, встановимо прапорець Show All Iterations (показати всі ітерації), виберемо метод оптимізації – Pointer Robust Optimization і задаємося максимальною кількістю ітерацій 5000 у вікні Maximum Iterations.

Результати оптимізації кола узгодження подано на рисунках 3.13 і 3.14.

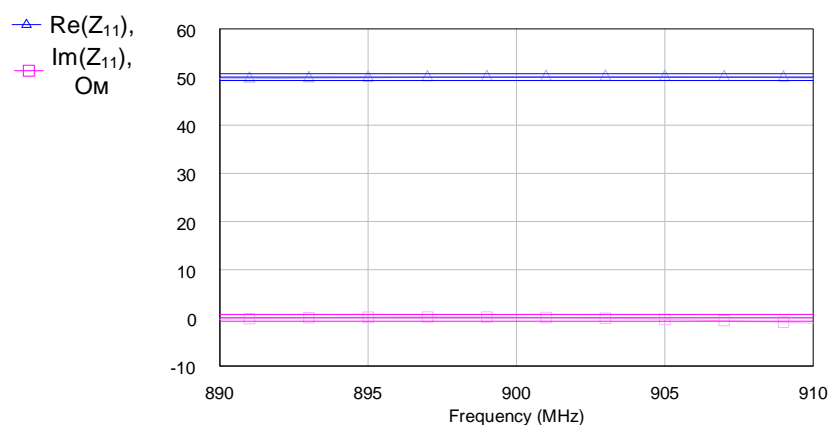


Рисунок 3.13 – Результат оптимізації дійсної та уявної частин вхідного опору кола узгодження

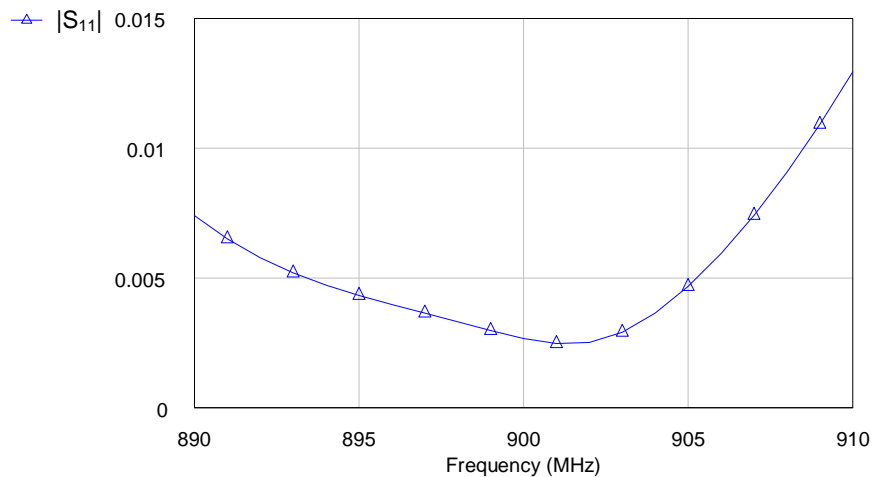


Рисунок 3.14 – Частотна характеристика коефіцієнта відбиття по входу кола узгодження навантаженого на симетричний вібратор

Результатом проведеної оптимізації є схема кола узгодження, що представлена на рисунку 3.15.

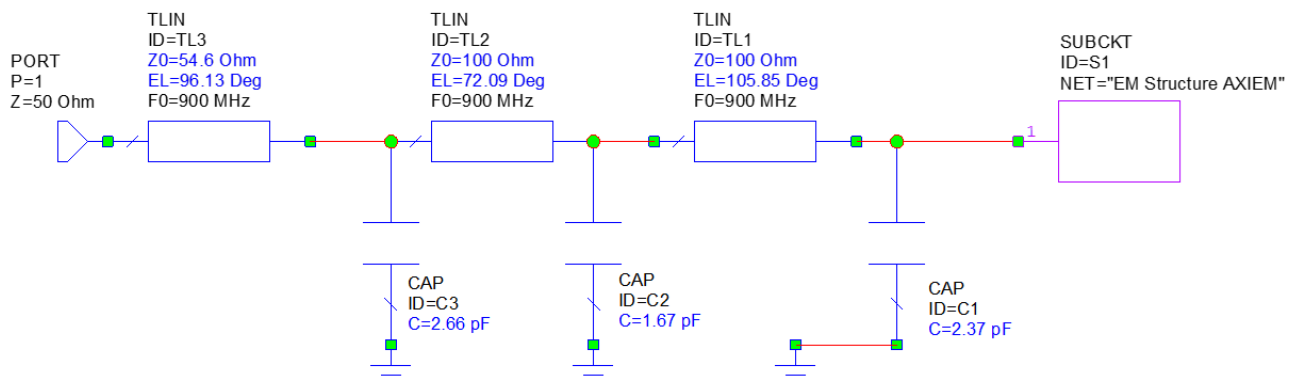


Рисунок 3.15 – Оптимальний симетричний мікросмужковий вібратор із колами узгодження

3.4 Моделювання посилювача потужності

Комп'ютерні методи проектування підсилювачів потужності, що використовують сучасні математичні моделі електронних приладів, дозволяють максимально враховувати особливості активних елементів на високих та надвисоких робочих частотах, використовувати нові зарубіжні технології в проектуванні та конструюванні радіопередавачів. Найефективнішим засобом дослідження та оптимізації складних радіотехнічних пристроїв, зокрема,

підсилювачів потужності у режимі великого сигналу є комп'ютерне моделювання на основі використання САПР Microwave Office.

Основними характеристиками транзистора є Spice-параметри, з якими можна ознайомитись на сайтах фірм виробників. Дані характеристики призначені для моделювання лінійних та нелінійних електричних схем у статичному режимі, часовій та частотній областях. У таблиці 3.1 подано Spice-параметри (із технічної документації) транзистора BFG591.

Таблиця 3.1 – Параметри транзистора BFG591

Им'я	Параметр	Одиниці вимірювання	Значення
IS	Струм насичення	мА	$1.3 \cdot 10^{-12}$
BF	Максимальний коефіцієнт підсилення струму бази в нормальному режимі у схемі з ОЕ	-	123.5
NF	Коефіцієнт неідеальності переходу в нормальному режимі	-	0.988
VAF	Напруга Ерлі в нормальному режимі	В	75.85
IKF	Струм початку спаду залежності BF від струму колектора в нормальному режимі	мА	9656
ISE	Обернений струм емітерного переходу	мА	$2.32 \cdot 10^{-12}$
NE	Коефіцієнт неідеальності емітерного переходу в нормальному режимі	-	2.13
BR	Максимальний коефіцієнт підсилення струму бази в інверсному режимі у схемі з ЗЕ	-	10.22
NR	Коефіцієнт неідеальності переходу в інверсному режимі.	-	1.02
IKR	Струм початку спаду залежності BF від струму емітера в інверсному режимі	мА	294.1
ISC	Обернений струм колекторного переходу	мА	$2.11 \cdot 10^{-13}$

Продовження таблиці 3.1

Им'я	Параметр	Одиниці вимірювання	Значення
NC	Коефіцієнт неідеальності колекторного переходу в нормальному режимі	-	997.2
RB	Об'ємний опір бази	Ом	5
IRB	Струм бази, при якому опір бази Rb зменшується на 50% повного перепаду між RB и RBM	мА	0.001
RBM	Мінімальний опір бази при великих струмах	Ом	5
RE	Об'ємний опір емітера	Ом	1.275

RC	Об'ємний опір колектора	Ом	0.921
CJE	Ємність емітерного переходу при нульовому зміщенні	пФ	3.82
VJE	Контактна різниця потенціалів переходу база-емітер	В	0.6
CJC	Ємність колекторного переходу при нульовому зміщенні	пФ	1.41

З урахуванням технічної документації на транзистор BFG591 (зокрема, значень паразитних елементів) складемо еквівалентну схему транзистора, що враховує паразитні реактивні елементи корпусу. Еквівалентна схема транзистора, яка враховує паразитні елементи корпусу, зображена на рисунку 3.16.

На рисунку 3.17 наведена принципова схема першого каскаду підсилювача потужності на базі біполярного транзистора BFG591. Вважаємо при цьому, що опір навантаження підсилювача потужності дорівнює 50 Ом. У параметрах порту збудження потрібно задати наступні значення $Z=50$ Ом – опір джерела збудження, $P_{\text{гв}}=10$ дБм (вхідна потужність задана у технічному завданні) – потужність, що підводиться від джерела.

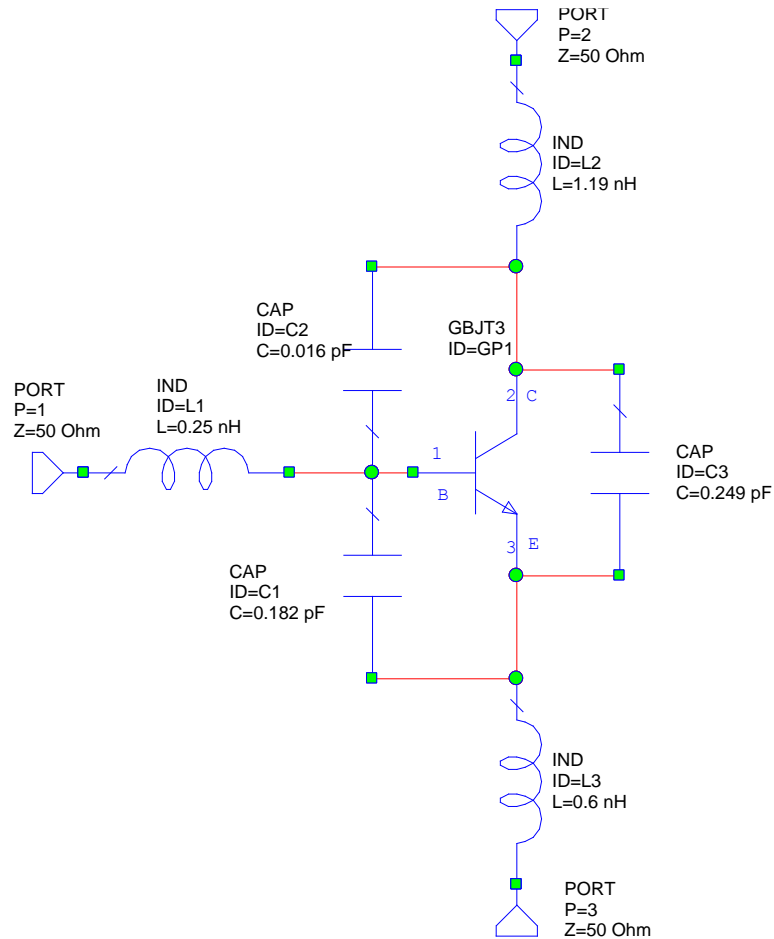


Рисунок 3.16 – Еквівалентна схема транзистора BFG591

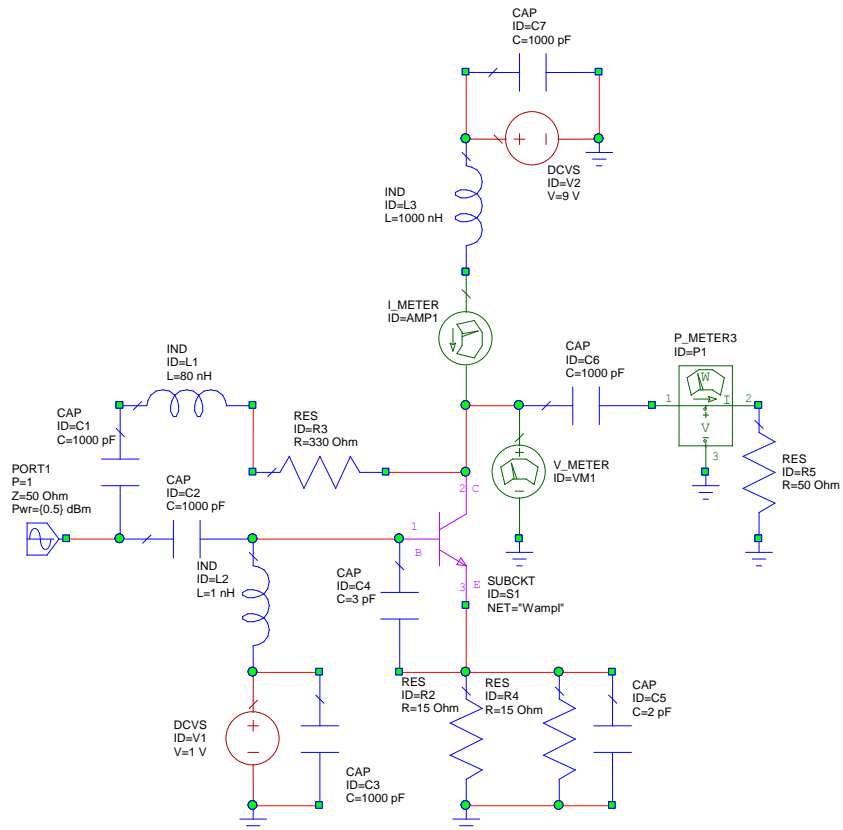


Рисунок 3.17 – Принципова схема підсилювача потужності у пакеті MWO

Проведемо оптимізацію схеми підсилювача потужності у режимі великого сигналу. Формулюємо критерії для оптимізації вхідного кола. MWO дозволяє провести оптимізацію принципової схеми підсилювача потужності за заданими критеріями якості. Спочатку потрібно сформулювати цільову оптимізацію. В нашому випадку необхідно мінімізувати відмінність від 0 Ом уявної частини вхідного опору підсилювача в робочому діапазоні частот 890...910 МГц. Прийємо ваговий коефіцієнт даного критерію оптимізації 0,1 (рисунок 3.18). Мінімізувати відмінність від 50 Ом дійсної частини вхідного опору підсилювача в робочому діапазоні частот 890...910 МГц. Прийємо ваговий коефіцієнт даного критерію оптимізації 0,9 (рисунок 3.19). На рисунку 3.20 показано діалогове вікно для встановлення цілі оптимізації, щодо досягнення 14 дБ коефіцієнту передачі за потужністю у робочій смузі частот.

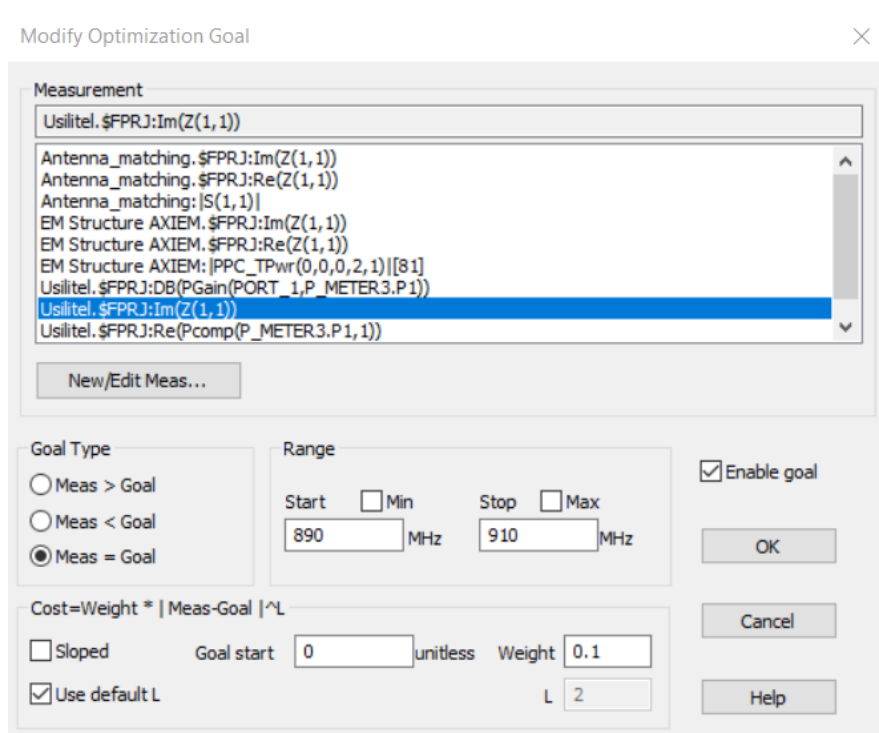


Рисунок 3.18 – Діалогове вікно для встановлення цілі оптимізації, щодо досягнення 0 Ом уявної частини вхідного опору підсилювача потужності

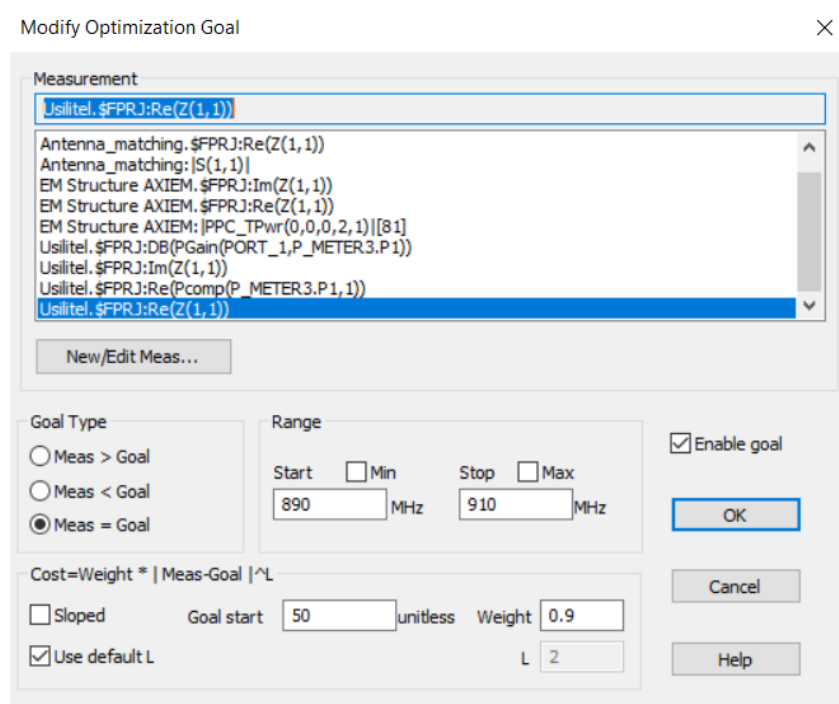


Рисунок 3.19 – Діалогове вікно для встановлення цілі оптимізації, щодо досягнення 50 Ом дійсної частини вхідного опору підсилювача потужності

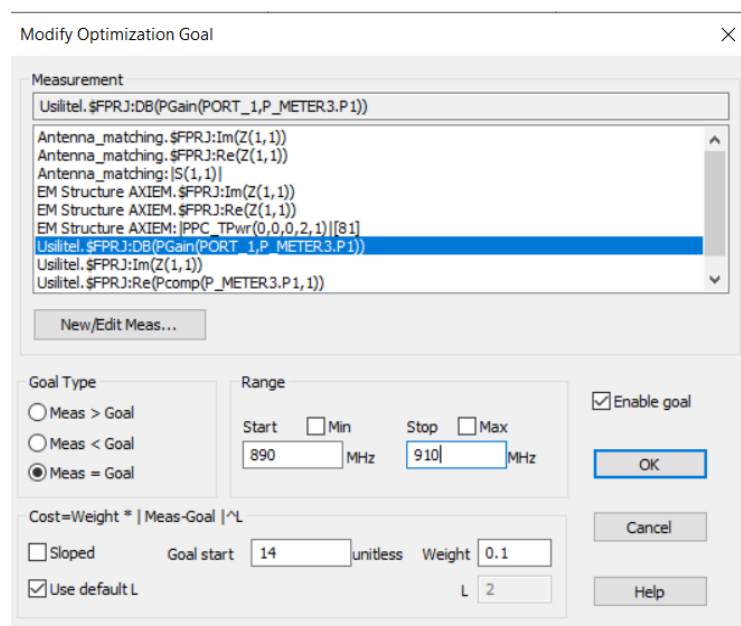


Рисунок 3.20– Діалогове вікно для встановлення цілі оптимізації, щодо досягнення 14 дБ коефіцієнту передачі підсилювача потужності

На рисунку 3.21 наведені результати оптимізації вхідного опору підсилювача потужності. З результатів, що наведені на рисунку бачимо, що цілі оптимізації досягнуті.

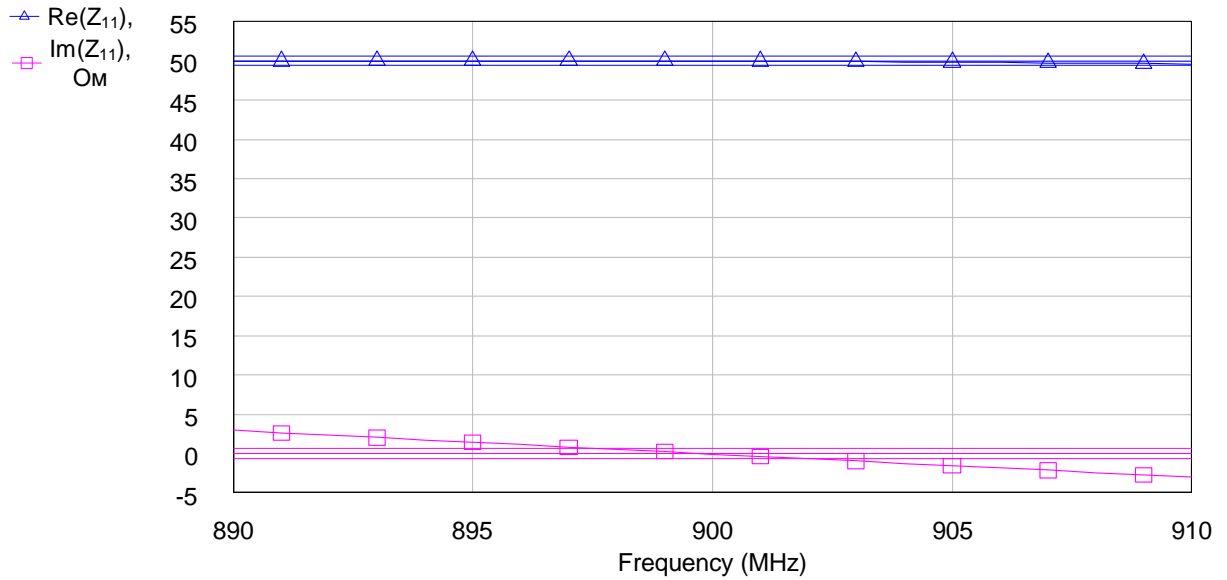


Рисунок 3.21 – Результати оптимізації вхідного опору підсилювача потужності

На рисунку 3.22 наведені результати оптимізації частотної характеристики коефіцієнту передачі за потужністю підсилювача.

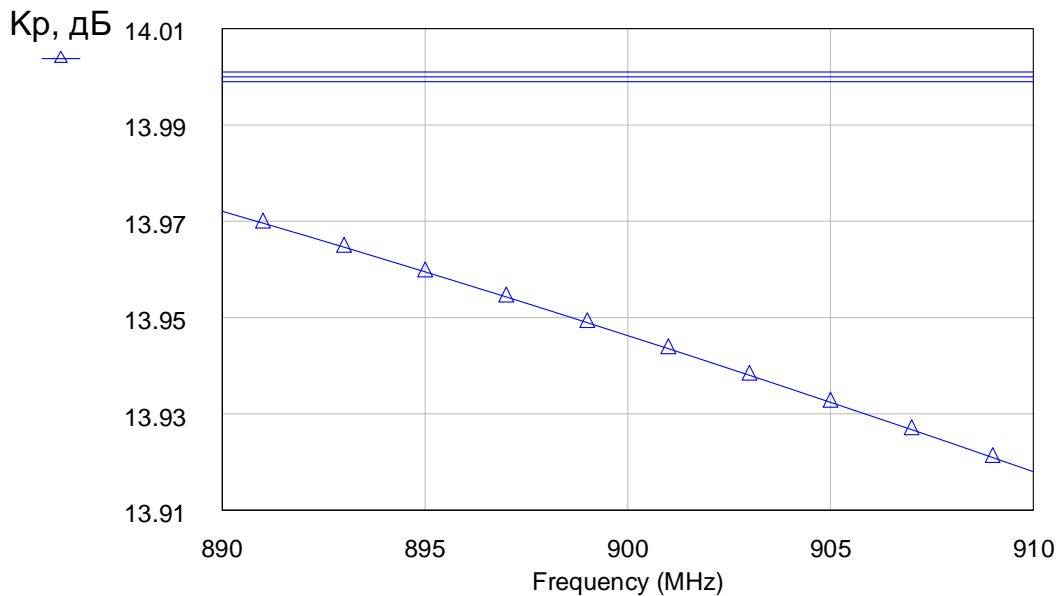


Рисунок 3.22 – Частотна характеристика коефіцієнту передачі за потужністю підсилювача

На рисунку 3.23 наведена залежність вихідної потужності від частоти.

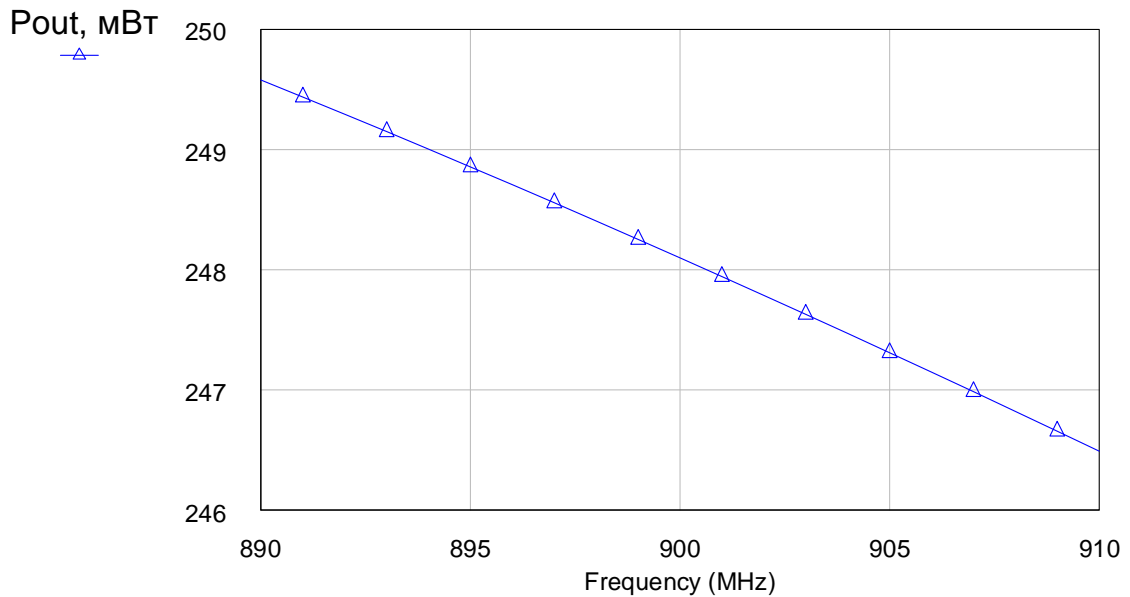


Рисунок 3.23 – Залежність вихідної потужності від частоти

Результатом проведеної оптимізації є схема підсилювача потужності, що представлена на рисунку 3.24.

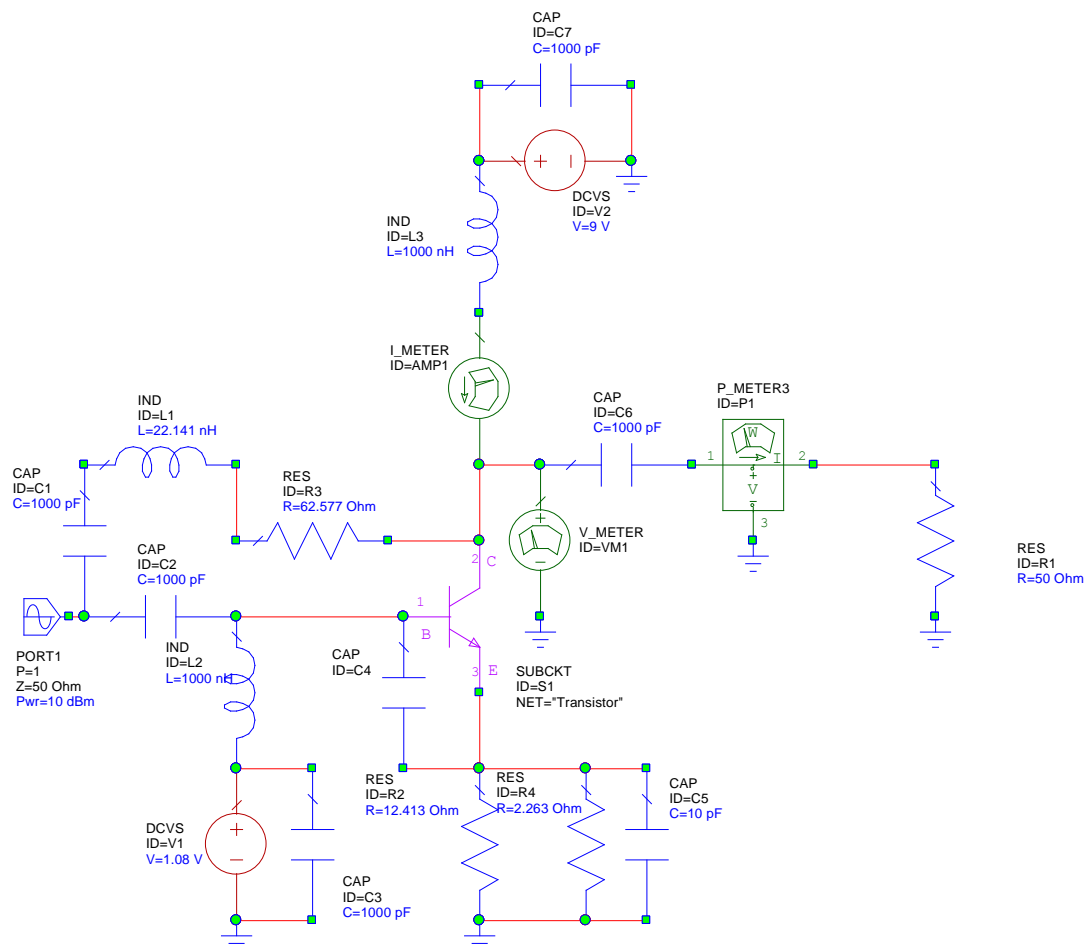


Рисунок 3.24 – Схема підсилювача потужності після оптимізації

За аналогією проведемо моделювання та оптимізацію кінцевого каскаду підсилювача потужності. Метою оптимізації кінцевого каскаду підсилювача потужності є забезпечення вихідної потужності 920 мВт (див. таблицю 2.3). Результати оптимізації кінцевого каскаду підсилювача потужності наведено на рисунках 3.25-3.27.

Результатом проведеної оптимізації є схема кінцевого каскада підсилювача потужності, що представлена на рисунку 3.28.

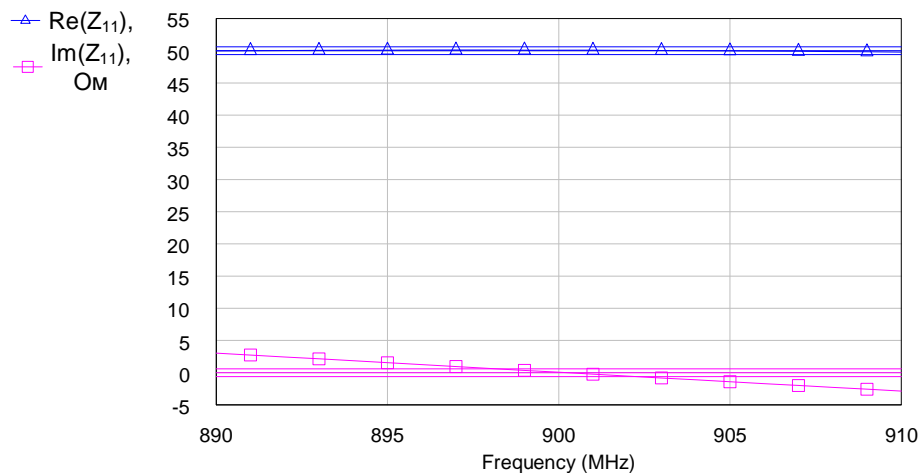


Рисунок 3.25 – Результати оптимізації вхідного опору кінцевого каскаду підсилювача потужності

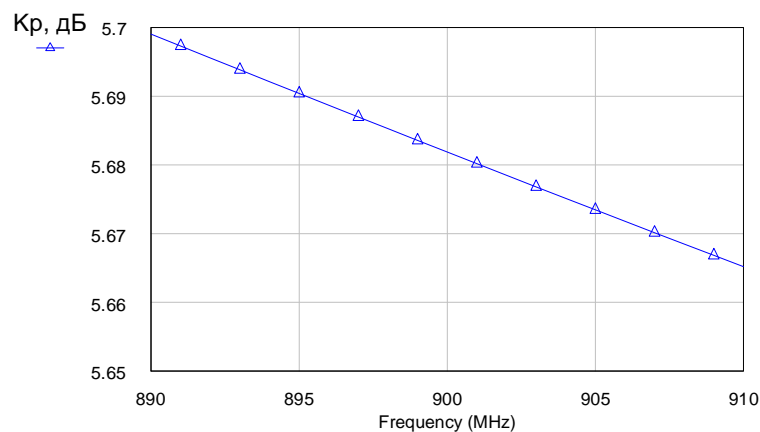


Рисунок 3.26 – Частотна характеристика коефіцієнту передачі за потужністю кінцевого каскаду підсилювача

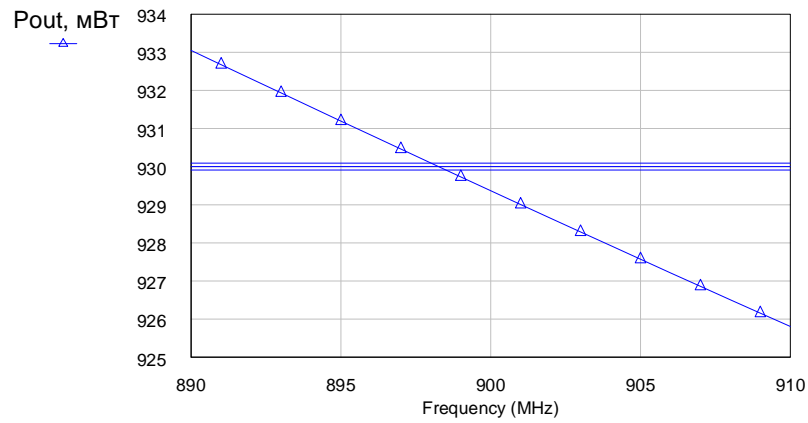


Рисунок 3.27 – Залежність вихідної потужності від частоти кінцевого каскаду підсилювача

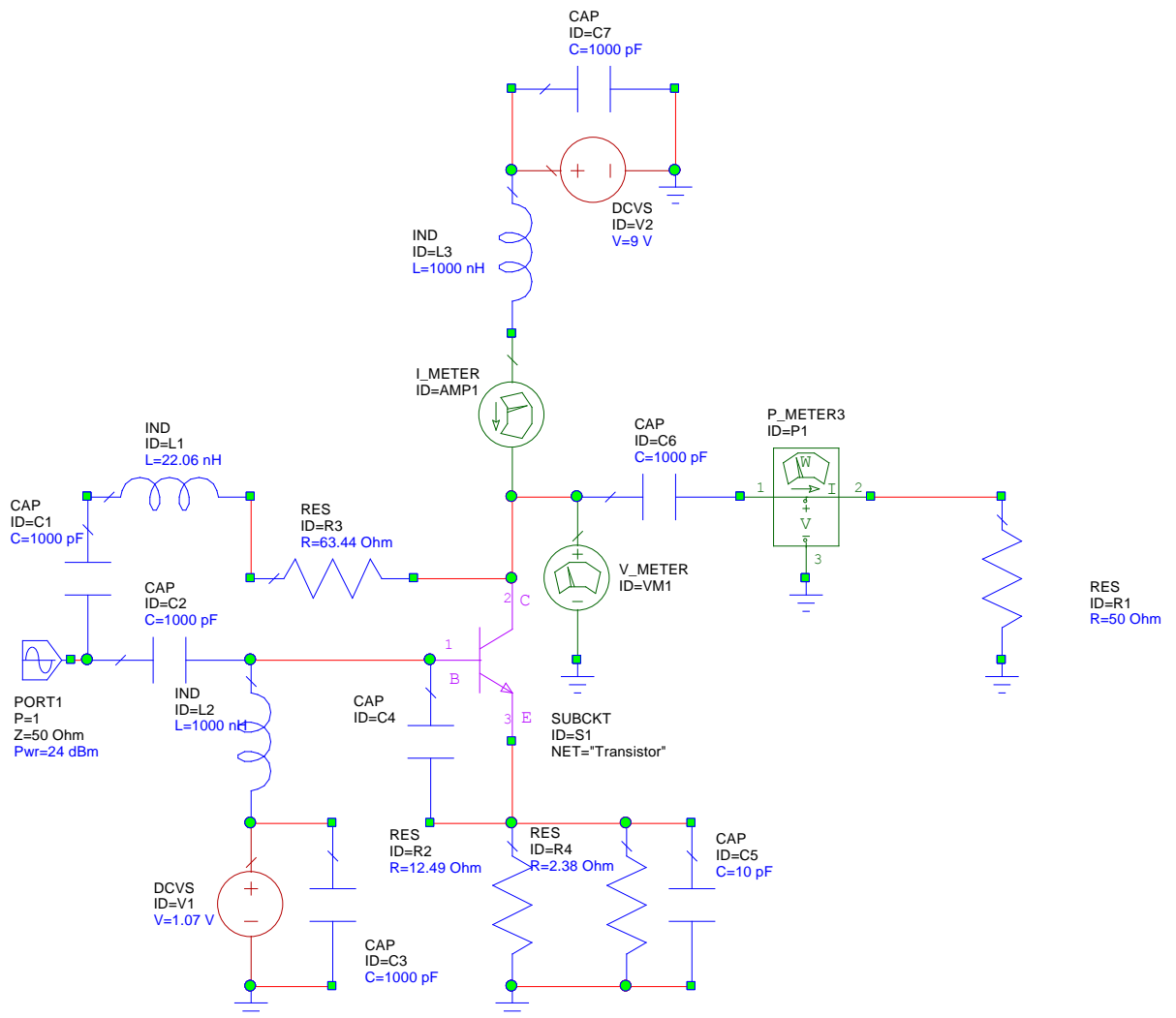


Рисунок 3.28 – Схема кінцевого каскаду підсилювача потужності після оптимізації

Аналіз отриманих результатів показує, що цілі оптимізації досягнуті й отримані в результаті багатоцільової параметричної оптимізації параметри передавача завод задовольняють технічному завданню на кваліфікаційну роботу.

ВИСНОВКИ

Активне радіомаскування підвищує радіобезпеку і утруднює визначення місця розташування працюючого наземного пункту управління (НПУ) БПЛА. Завдяки використанню засобів активного радіомаскування можна суттєво ускладнити визначення супротивником місця, звідки дійсно працює екіпаж БПЛА тобто НПУ.

У кваліфікаційній роботі проведено огляд методів та засобів активного радіомаскування.

Проведено оцінку необхідних рівнів потужностей передавача маскуючих завад для активного маскування НПУ від засобів РРТР. Розроблено структурну схему дводіапазонного передавача завад.

Проведено електродинамічне моделювання симетричного мікросмушкового вібратора та багатоцільова параметрична оптимізація підсилювача потужності передавача завад навантаженого на симетричний вібратор у діапазоні частот 890...910 МГц.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Гордей В.В. Основы информационного обеспечения и радиоэлектронной борьбы. Основы радиоподавления радиосвязи / Минск: ВА РБ, 2006. – 310 с.
2. Журавський Ю.В., Жовноватюк Р.М., Носова Г.Д. Аналіз впливу заходів радіомаскування на розвідзахищеність радіоелектронних засобів // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем. 2015. Вип. 10. С. 43–50.
3. Ткачук В.М., Цирульник С.М., Петренко Т.А. Радіопередавальні пристрої: навчальний посібник / Вінниця: 2015. – 188 с.