Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
Кафедра радіотехнічних систем
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр
(назва освітнього ступеня)

на тему: Передавач FM сигналів

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи РАс-41
спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва спеціальності)

(підпис) Багрій М.В. (прізвище та ініціали)

Керівник (підпис) Дедів І.Ю. (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль (підпис) Марценюк А.С. (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри (підпис) Дунець В.Л. (прізвище та ініціали)

Рецензент (підпис) Дозорський В.Г. (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2022

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра радіотехнічних систем
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Дунець В.Л.
(підпис) (прізвище та ініціали)
«27» травня 2022 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва спеціальності)

студенту Багрій Микола Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Передавач FM сигналів

Керівник роботи Дедів Ірина Юріївна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «27» 05 2022 року № 4/7-445

2. Термін подання студентом завершеної роботи 21.06.2021 р.

3. Вихідні дані до роботи Діапазон реєстрованого гамма-випромінювання – 0,004-40 мкр/год; Час вимірювання – 10 с; Вихід на робочий режим – 30 с; Напруга живлення – 3 В; Максимальний струм споживання – 50 мА

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналіз технічного завдання;
2. Розробка схеми структурної цифрового детектора;
3. Проектування схеми електричної принципової;
4. Вибір і обґрунтування компонентної бази;
5. Розробка компоновки та монтажу цифрового детектора.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Структурна схема;
2. Схема електрична принципова;
3. Друкована плата;
4. Друкований вузол;

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	Гурик О.Я., доц. каф.МТ		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розробка та затвердження технічного завдання	22.02. 2022	Виконано
2	Аналіз технічного завдання, підбір бібліографічних матеріалів, необхідних для виконання роботи	1.03. 2022	Виконано
3	Вибір власних схемо-технічних рішень	16.03.2022	Виконано
4	Вибір елементної бази для розроблюваного пристрою;	29.03.2022	Виконано
5	Розрахунок основних вузлів у схемі пристрою.	12.04.2022	Виконано
6	Створення допоміжної документації	26.04.2022	Виконано
7	Розроблення креслень	26.04.2022	Виконано
8	Розділ охорони праці та безпеки життєдіяльності	10.06.2022	Виконано
9	Нормоконтроль	16.06.2022	Виконано
10	Попередній захист	16.06.2022	Виконано
11	Захист	21.06.2022	

Студент _____ Багрій М.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Дедів І.Ю.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Передавач FM сигналів». Кваліфікаційна робота бакалавра// ТНТУ імені Івана Пулюя, ФПТ, група РАс-41. // Тернопіль, 2022р. //с.-78, рис.- 29, бібліог.-15, додат.-3.

Ключові слова: ПЕРЕДАВАЧ, ЧАСТОТНА МОДУЛЯЦІЯ, ФАЗОВА МОДУЛЯЦІЯ, АВТОГЕНЕРАТОР.

Роботу присв’ячено побудові передавача FM сигналів. Проаналізовано методи отримання частотно модульованих сигналів, структурні та функціональні схемо пристроїв для отримання частотно модульованих сигналів, зокрема прямий та непрямий методи, автогенератори та LC контурах, на основі застосування варикапів в LC автогенераторах та автогенераторах, побудованих на кварцових резонаторах. Проведено розроблення структурної та електричної схеми передавача на дискретних елементах і проведено розрахунки окремих вузлів схеми електричної. Вибрано електрорадіоелементи. Розроблено креслення друкованої плати та кінцевого вузла передавача. Технічні вимоги до передавача: несуча частота 100 МГц; смуга модульованого сигналу 300-10000 Гц; схема частотно-модульованого автогенератора В; коефіцієнт фільтрації 25 дБ; потужність випромінювання 15 Вт; коефіцієнт нелінійних спотворень 1,4%.

SUMMARY

Theme of qualification work: "FM transmitter". Qualifying work of a bachelor // TNTU, FPT, group RAs-41. // Ternopil, 2021 //p.-78, fig.-29, bibliog.-15, appendix-3.

Key words: TRANSMITTER, FREQUENCY MODULATION, PHASE MODULATION, AUTO GENERATOR.

The work is devoted to the construction of an FM transmitter. Methods for obtaining frequency modulated signals, structural and functional diagrams of devices for obtaining frequency modulated signals, including direct and indirect methods, autogenerators and LC circuits, based on the use of varicaps in LC autogenerators and autogenerators based on quartz resonators. Development of the structural and electric scheme of the transmitter on discrete elements is carried out and calculations of separate knots of the electric scheme are carried out. Electroradioelements are selected. Drawings of the printed circuit board and the transmitter end unit have been developed. Technical requirements for the transmitter: carrier frequency 100 MHz; modulated signal band 300-10000 Hz; circuit of frequency-modulated autogenerator B; filtering factor 25 dB; radiation power 15 W; nonlinear distortion coefficient 1.4%.

Зміст

Вступ 7
1 Основна частина 9
1.1 Аналіз технічного завдання 9
1.2 Аналіз методів отримання FM сигналів 11
1.3 Проектування структурної та функціональної схеми 21
1.4 Побудова та параметричний синтез схеми електричної принципової 21
1.5 Вибір елементної бази 53
1.6 Розробка компоновки та монтажу 58
1.7 Висновки до розділу 1 65
2 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці 66
2.1 Основні вимоги до побудови і функціонування системи управління охороною праці 66
2.2 Надзвичайні екологічні ситуації та екологічний ризик 70
2.3 Висновки до розділу 75
Висновки 76
Список використаних джерел 77
Додатки

ВСТУП

Актуальність роботи. У зв'язку з швидким зростанням мережі радіопередаючих станцій, різким підсиленням вимог електромагнітної сумісності радіоелектронних пристроїв, підвищенням вимог до якості та надійності їх роботи особливо актуальною є необхідність використання при проектуванні радіоприймаючих та радіопередаючих засобів останніх досягнень техніки в галузі радіопередавачів, таких як застосування нових потужних радіоламп та "генераторних" транзисторів; вибір економічно більш вигідних режимів вихідного (колекторного, анодного) ланцюга (наприклад, ключового або бі-гармонічного); широке застосування транзисторів та мікросхем, екранованих ламп, у тому числі нових високоефективних ламп для лінійного та широкосмугового підсилення, швидкодіючого електронного захисту; застосування широкосмугових підсилювачів (наприклад, з розподіленим підсиленням) та ін.

Важливим є вибір ефективних з техніко-економічного погляду шляхів реалізації технічних умов на проектований пристрій. Обов'язкові вимоги щодо забезпечення електромагнітної сумісності. У відповідності з призначенням передавача та видами модуляції та маніпуляції слід вказати обмеження на якісні параметри (наприклад, глибини модуляції та допустимих нелінійних спотворень, смуги модулюючих частот та допустимої нерівномірності її відтворення), вказати також параметри джерела живлення, параметри окремих вузлів трактів передавача тощо.

Також важливим є визначення можливих шляхів реалізації кожного з пунктів технічних умов. Зазвичай, таких шляхів виявляється кілька. В результаті аналізу складається структурна та функціональна схема передавача, проводиться попередній вибір активних елементів каскадів тощо.

На наступному етапі проводиться розрахунок електричних режимів окремих ланок, контурв тощо, вибираються стандартні за нормалями та

ГОСТами деталі та вимірювальні прилади. При розрахунках слід скористатися обчислювальною технікою на основі стандартних програм.

Оскільки будь-яка система радіозв'язку включає радіопередаючий пристрій, функції якого полягають у перетворенні енергії постійного струму джерел живлення в електромагнітні коливання та керуванні цими коливаннями, в роботі проводиться проектування передавача FM сигналів.

Практичне значення отриманих результатів. Результати можна застосувати при проектуванні промислових малопотужних високоефективних передавачів FM сигналів.

1. Основна частина

1.1 Аналіз технічного завдання

В дипломному проекті я здійснюю проектування передавача FM сигналів. Основними електричними характеристиками передавачає потужність, значення несучої частоти або таких частот, якщо іх багато, типмодуляції, вимоги забезпечення ЕМС - допустимі нестабільність частоти та рівні побічних та позасмугових випромінювань.

Використовуватись передавачі можуть в наступних умовах, залежно від призначення:

- стаціонарно за наявності кваліфікованого персоналу;

- стаціонарно без постійної присутності обслуговуючого персоналу (передавач, що не обслуговується);

- на борту рухомого об'єкта (автомобіля, літака, судна, супутника) за наявності або відсутності спеціального працівника (радиста-оператора);

-у приміщенні диспетчерського пункту морського, річкового, авіапорту, кар'єру з видобутку корисних копалин чи великого будівництва;

- на основі геологічної експедиції; у приміщенні лісництва; в руках індивідуального користувача стільниковим або транкінговим зв'язком, геолога-розвідника, лісника-обхідника, укладача поїздів на сортувальній залізничній станції, лоцмана і т.д.

Різні типи передавачів можуть або тривалий час (роки) працювати на одній постійній частоті, залежно від призначення передавача та часу зміни частоти, або часто перебудовуватись на різні робочі частоти.

У широкосмугових передавачів, що часто перебудовуються, у передавачів рухомих об'єктів, де немає спеціального працівника — радиста, необхідно треба враховувати і простоту і швидкість перебудови. Для цього

можуть застосовуватися широкосмугові каскади підсилення, смугові фільтри, системи автоматичного налаштування та ін.

Дуже важливою є вимога всілякого підвищення промислового (повного) ККД передавача та його окремих каскадів, природно, не на шкоду іншим вимогам. Під час роботи елементів передавача за нормальної температури, близької до гранично допустимої, істотно знижується надійність як окремих елементів так і передавача загалом. Стосовно транзисторів і радіоламп найбільш доцільний граничний або злегка перенапружений режим при куті відсічення близько 90° або трохи менше. Там, де це можливо, застосовується ключовий або бігармонійний режим, а в модуляційних пристроях - режим D.

Проектований передавач повинен забезпечувати ряд характеристик, а саме:

- несуча частота: $f_O = 110\ \ МГц$;
- смуга модульованого сигналу: $\Delta F = 300...10000\ \ Гц$;
- схема частотно-модульованого автогенератора: B
- коефіцієнт фільтрації : $Ф = 25\ \ дБ$;
- потужність випромінювання: $P_A = 15\ \ Вт$;
- нестабільність несучої частоти: $\frac{\delta f}{f_O} = 5 \cdot 10^{-4}$;
- коефіцієнт нелінійних спотворень: $K_{НИ} = 1{,}4\%$;

Умови експлуатації:

- діапазон робочих температур в межах +5 ^{0}С...+ 40 ^{0}С;
- атмосферний тиск (760+30) мм рт. ст.,(101,3 +4) кПа.
- відносна вологість повітря до 80% при температурі до +25 ^{0}С;

1.2 Аналіз методів отримання FM сигналів

Головною перевагою частотної модуляції (ЧМ), поширеною абревіатурою якої в перекладі з англійської є FM, є ослаблення дії перешкод, що дозволяє поліпшити якість прийому. У порівнянні з амплітудною модуляцією при частотній модуляції краще використовується потужність передавача.

У радіозв'язку і радіомовленні успішно застосовується частотна модуляція. У нашій країні створена мережа УКХ радіомовних станцій, що працюють з частотною модуляцією в діапазоні 64,5 - 73 МГц. Для радіомовлення застосовується широкосмугова частотна модуляція, при якій найбільше відхилення частоти від первісного значення досягає десятків кілогерц (зазвичай + 75 кГц). Таке відхилення частоти допустиме тільки у разі, якщо частота несучих коливань досить велика. Тому радіомовлення з частотною модуляцією ведеться на ультракоротких хвилях, тобто на частотах не менше десятків мегагерц.

При частотній модуляції амплітуда несучого коливання залишається постійною, а несуча частота ω_0 змінюється в часі за законом модулюючого сигналу.

На рис. 1.1. показані графіки модулюючого синусоїдального звуку і коливання із змінною високою частотою, отриманого в результаті частотної модуляції. Під час першого додатнього напівперіоду звукового коливання частота несучого коливання зростає, доходить до найбільшого значення, а потім повертається до першого значенням. Протягом іншого від’ємного напівперіоду звуку частота несучого коливання зменшується, доходить до найменшого значення і знову приймає первинне значення. Чим більше амплітуда модулюючого сигналу, тим сильніше змінюється частота.

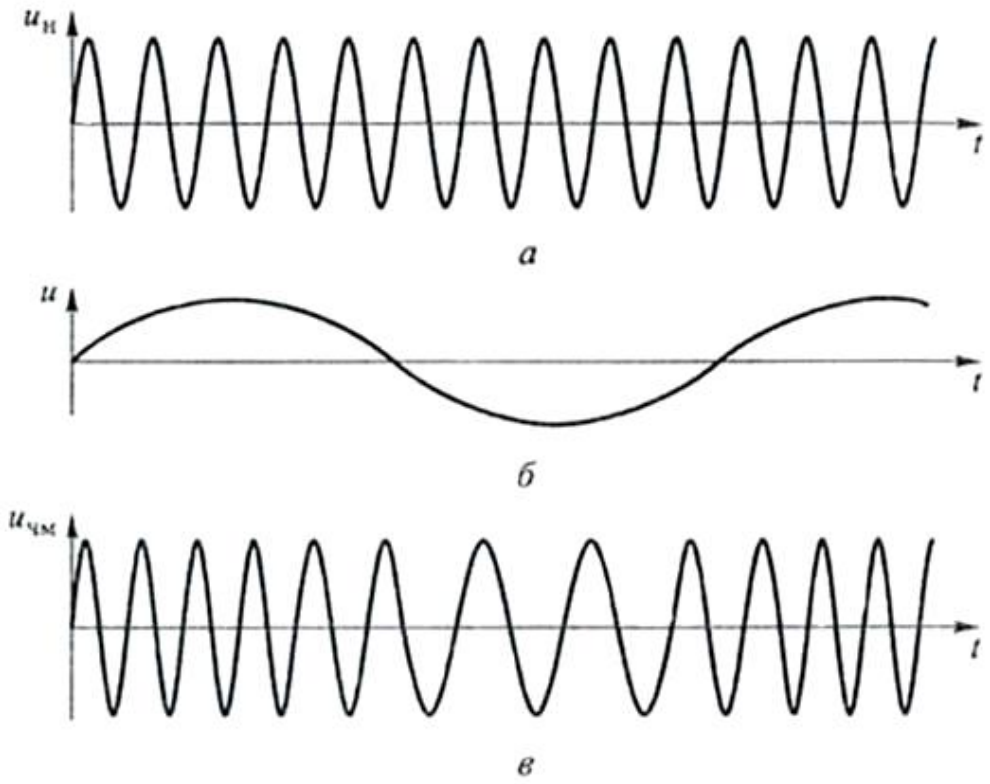

Рисунок 1.1 – Пояснення принципу частотної модуляції:
а - несуче коливання; б - модулюючий сигнал;
в - частотно-модульований сигнал.

При частотній модуляції модульованим параметром є частота гармонійного коливання ω_0, яка отримує приріст $\Delta\omega$, залежно від часу і пропорційно миттєвому значенню модулюючого сигналу U. У разі гармонійного коливання миттєва частота ω не змінюється в часі, вона дорівнює несучій частоті ω_0.

При частотній модуляції частота несучого коливання ω зв'язана з модулюючим сигналом U залежністю:

$$\omega = \omega_0 + k_ч U, \qquad (1.1)$$

де ω_0 - несуча частота несучого коливання; $k_ч$ - розмірений коефіцієнт пропорційності між частотою і напругою, рад / (В • с).

Максимальне відхилення миттєвого значення ЧМ коливання відносно середнього називається девіацією частоти:

$$\omega_д = \omega m_ф = k_ч U/\omega, \qquad (1.2)$$

де ω - миттєве значення кругової частоти; $m_ф$ - девіація фази несучого коливання (індекс частотної модуляції), U - амплітуда модулюючого сигналу.

Розрізняють два способи отримання ЧМ: прямий та непрямий.

Прямий метод отримання ЧМ полягає в тому, що модулююче коливання впливає безпосередньо на автогенератор і змінює його частоту. Структурна схема передавача із прямим методом отримання ЧМ наведена на рис. 1.2 а. Модуляція виробляється у генераторі Р з допомогою керованого реактивного елемента КРЕ. Для отримання ЧМ із допустимо малими лінійними спотвореннями використовують автогенератор із LC-контуром, що працює на частотах 1—10 МГц і при малих девіаціях частоти. Для збільшення девіації та отримання заданої робочої частоти застосовують кілька ступенів множення частоти У. Потім слідує тракт підсилення потужності радіочастоти.

Автогенератор із LC-контуром має низьку стабільність частоти. При підключенні до автогенератора КРЕ стабільність погіршується. Для забезпечення необхідної високої стабільності частоти застосовують системи автоматичного підстроювання середнього значення (несучої) частоти передавача (рис. 1.2, б). ЧМ-коливання з тракту посилення передавача спочатку подають на дільник частоти Д для зменшення індексу ЧМ та збільшення рівня середньої частоти ω0, потім вони надходять на фазовий детектор ФД, де порівнюються із частотою високостабільного кварцового опорного генератора ОГ. При рівності середньої частоти ЧМ-коливання і

частоти опорного генератора fог на виході ФД отримують постійну напругу, величина якої залежить від різниці фаз напруги на входах ФД.

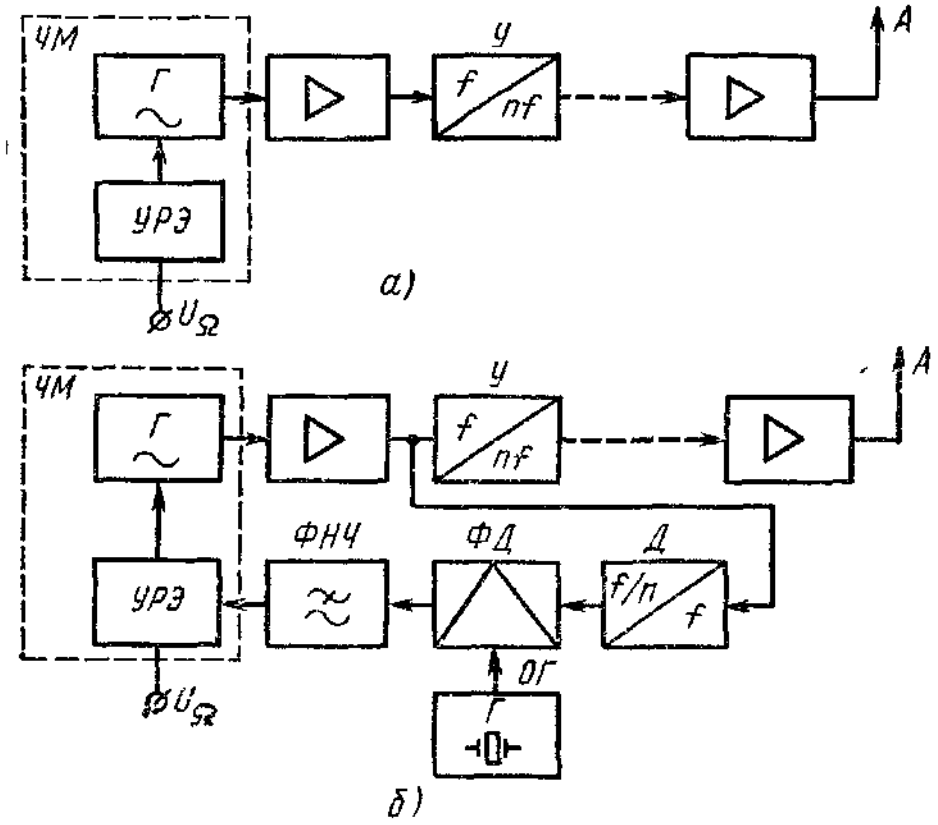

Рисунок 1.2 – Функціональна схема FM передавача

Якщо частоти не рівні, то на виході ФД з'являється змінна напруга, частота та фаза якої визначаються величиною та знаком різниці частот $\frac{f}{n} - f_{ог}$. Ця напруга подається на УРЕ у такій полярності, щоб середня частота ЧМ-генератора змінилася у бік зближення частот. Таким чином відбувається підстроювання середньої частоти ЧМ-генератора за частотою fог. Фільтр нижніх частот ФНЧ у тракті автопідстроювання частоти призначений для виключення від’ємного зворотного зв'язку за модулюючим коливанням. Фільтр пропускає лише постійну складову та дуже низькі частоти, але не пропускає частоти, що відповідають смузі модулюючого сигналу. Для отримання підвищеної стабільності середньої частоти при ЧМ без автоматичного підстроювання іноді застосовують ЧМ-автогенератор, що

стабілізується по частоті кварцовим резонатором. Однак при цьому стабільність частоти виходить нижче, ніж у кварцового генератора без ЧМ, девіація частоти - невеликі та нелінійні спотворення - близько 10%, що робить такий автогенератор придатним тільки для найпростіших систем низового зв'язку.

Найбільш просто висока стабільність середньої частоти досягається на основі непрямого методу ЧМ (рис. 1.3). У такому передавачі автогенератор не піддають модуляції і тому може бути досягнуто високої стабільності частоти. В одному з наступних ступенів передавача виробляються ФМ коливання генератора. Оскільки індекс ФМ зазвичай не перевищує 0,5-1 рад (30-60 °), що відповідає при заданій частоті модулюючої звукової напруги Fзв малій девіації радіочастоти $\Delta f = \Delta\varphi F_{зв}$, тракт передавача з ФМ доводиться вводити помножувачі частоти (значно більше, ніж у передавачах, що використовують прямий метод отримання ЧМ).

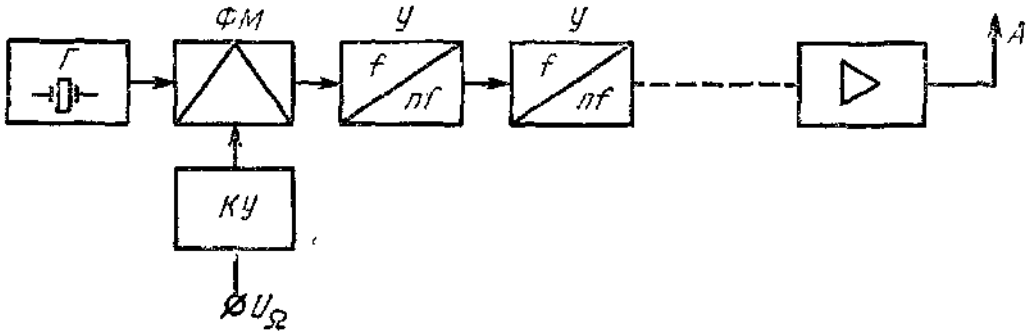

Рисунок 1.3 – Непрямий метод отримання ЧМ

Для того щоб при використанні ФМ отримати на виході передавача радіочастотну напругу, закон зміни частоти якої відповідає ЧМ, перед модулятором ставлять коригуючий пристрій КУ, що є частотно-залежним дільником напруги - інтегруючий ланцюжок. Чим вище модулююча частота, тим менший рівень напруги подається з його допомогою на ФМ.

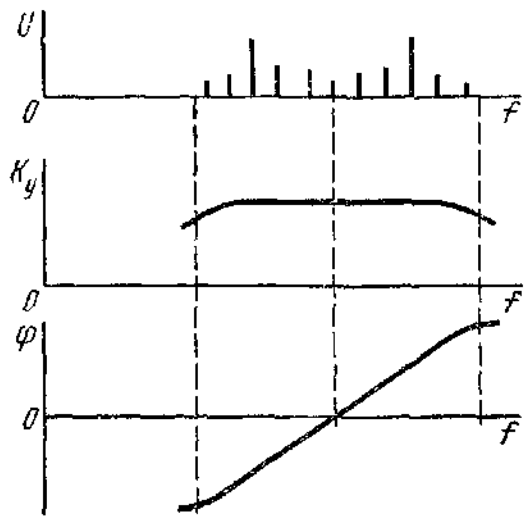

Рисунок 1.4 – Практична ширина смуги спектра ЧМ-коливань

ЧМ як при прямому, і при непрямому методі здійснюється у малопотужних ланках передавача. Після модулятора ставляться кілька ланок множення частоти та посилення потужності. Щоб уникнути нелінійних спотворень при посиленні ЧМ-коливань, підсилювачі та помножувачі повинні мати постійний коефіцієнт посилення Ку та лінійну фазову характеристику у всій смузі частот, що відповідає практичній (діючій) ширині смуги спектра ЧМ-коливань (рис. 1.4). Власна частота контуру повинна дорівнювати середній частоті ЧМ-коливань.

Оскільки ЧМ-коливання мають постійну амплітуду, нелінійність характеристик транзисторів не призводить до нелінійних спотворень.

Частотна модуляція за допомогою керованої ємності замкненого p-n-переходу варикапа знаходить все більше застосування в передавачах низового радіозв'язку, УКХ ЧМ радіомовлення, звукового супроводу телебачення та радіорелейних станцій.

Використання варикапів для здійснення ЧМ пояснюється їх високою механічною та електричною надійністю роботи, малі габарити, велика добротність ємності (більше 100 на частотах 50-100 МГц), можливість отримання широкосмугової ЧМ з малим значенням нелінійних спотворень.

Еквівалентна електрична схема p-n-переходу представлена на рис. 1.5 де rп - опір матеріалу напівпровідника; Сб - бар'єрна ємність, що становить кілька десятків-сот пікофарад; Сд - дифузійна ємність відкритого p-n-переходу; Rб - опір витоку, що визначається рекомбінацією неосновних носіїв заряду. За величиною Rб становить одиниці - десятки мегаом та практично не впливає на роботу варикапа на робочих частотах.

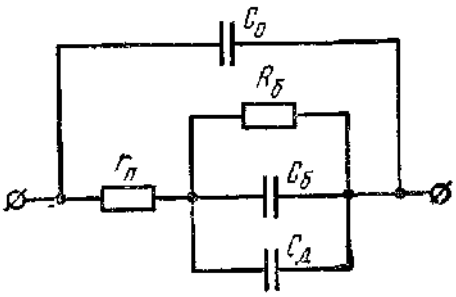

Рис. 12.11

Рисунок 1.5 – Еквівалентна електрична схема p-n-переходу представлена

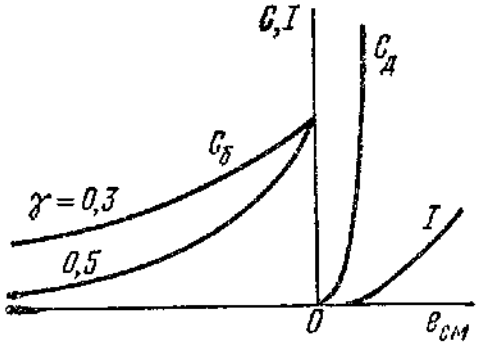

Рис. 12.12

Рисунок 1.6 – Вольт-фарадна характеристика

На радіочастотах електричні параметри p-n-переходу залежить тільки від Сб і rп.

Зміна замикаючої напруги на p-n-переході змінює бар'єрну ємність. Вольт-фарадна характеристика представлена на рис. 1.6. При есм <0 характеристика може бути представлена аналітично у вигляді виразу

$$C_б = A\,(e_{см} + \varphi)^{-\gamma}, \qquad (1.3)$$

де А - постійний коефіцієнт; φ = 0,5 В - контактна різниця потенціалів; γ – показник ступеня нелінійності характеристики.

Варикапи з γ≈0.3 називають варикапами з плавним n-p-переходом, варикапи з γ≈0.5 - варикапами з різким n-p-переходом, варикапи з γ>0.5 - варикапами з надрізким n-p-переходом.

Спочатку промисловість освоїла випуск варикапів із плавним p-n-переходом. Застосування їх для реалізації ЧМ не дозволяло отримати пристрої, що мають малий рівень нелінійних спотворень. Згодом було розроблено та випущено варикапи з різким n-p-переходом. На їх основі створено частотні модулятори з рівнем нелінійних спотворень у кілька відсотків. Варикапи з надрізким переходом, випуск яких освоюється промисловістю, дозволяють знизити рівень нелінійних спотворень до часток відсотків.

Схема транзисторного автогенератора з варикапом для реалізації ЧМ наведена на рис. 1.7. Резистори R1, R2 і R3 забезпечують режим роботи транзистора постійного струму. Дроселі L2, L3, L4 та конденсатори C3 - C7 - блокувальні. Автогенератор є ємнісною триточкою, що містить елементи схеми C1, C2 і L1. ЧМ здійснюють варикапом C8, включеним послідовно в контур. По ланцюгу C4, L4 на n-p-перехід подається модулююча напруга, а по ланцюгу R4, L4 - напруга зміщення. Напругу зміщення вибирають такою, щоб p-n-перехід завжди знаходився в закритому стані, тобто щоб виконувалася умова $|E_{см}| \geqslant U_{\omega} + U_{\Omega}$.

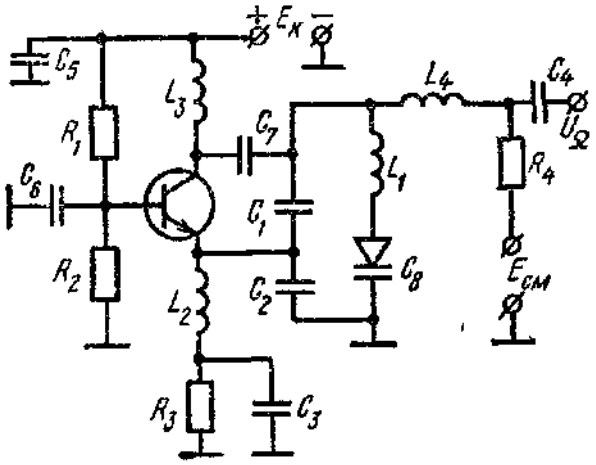

Рисунок 1.7 – Схема транзисторного автогенератора з варикапом для реалізації ЧМ

Крім того, максимальна величина зворотної напруги на варикапі не повинна перевищувати пробивної напруги. $|E_{см}| + U_\omega + + U_\Omega < U_{доп}$, Девіація частоти та рівень нелінійних спотворень визначаються нелінійністю характеристики бар'єрної ємності варикапа та впливом ємності варикапа на резонансну частоту контуру автогенератора. Варикапи з більш високою крутизною вольт-фарадної характеристики дозволяють за інших рівних умов змінювати робочу частоту автогенератора у великих межах за меншого рівня нелінійних спотворень.

Нелінійність характеристики варикапа проявляється як для модулюючої напруги, так і напруги робочої частоти автогенератора. В результаті протікання ВЧ-струму через нелінійну ємність виникають вищі гармонічні складові, кратні основний частоті: Напруга високої частоти прикладена до варикапів С1 та С2 протифазно. В результаті струми парних гармонік, що виникають за рахунок нелінійних властивостей ємностей діодів, мають різницю фаз 180 °. При повній ідентичності параметрів варикапів та режимів роботи струми парних гармонік повністю компенсують один одного. Для модулюючої напруги Ua варикапи включені паралельно, тобто така схема не зменшує рівня нелінійних спотворень при модуляції.

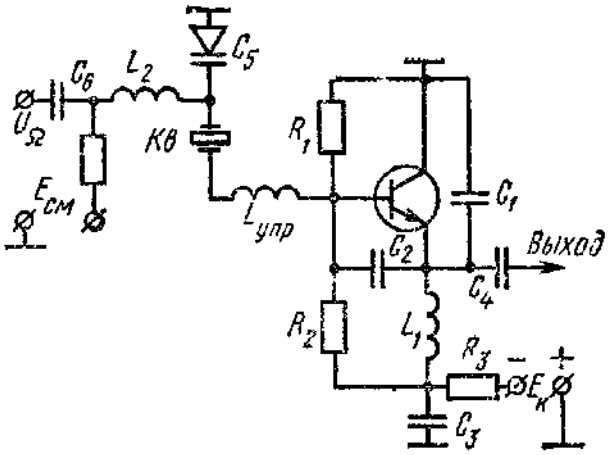

Рисунок 1.8 – Схема здійснення ЧМ у кварцовому автогенераторі

У ряді випадків варикапи застосовують для керування частотою кварцових автогенераторів передавачів низового радіозв'язку. При цьому вдається отримати відносну девіацію частоти при ЧМ до 1% $\left(\frac{\Delta f}{f_0} \leq 0{,}01\right)$, з нелінійністю модуляційної характеристики не нижче 10% та стабільністю частоти 10-5.

Введення варикапу у схему кварцового автогенератора погіршує стабільність частоти на один-два порядки. Для передавачів низового радіозв'язку малої потужності стабільність відповідає нормам допустимої нестабільності частоти.

Одна з можливих схем здійснення ЧМ у кварцовому автогенераторі показана на рис. 1.8. Варикап послідовно включений з кварцовим резонатором. Індуктивність Lпр забезпечує роботу генератора поблизу частоти послідовного резонансу кварцового резонатора. Ланцюжок із послідовно включених ємності варикапу, кварцу та котушки індуктивності Lпр має індуктивний опір певної величини.

1.3 Проектування структурної та функціональної схеми

Враховуючи все вище сказане, будуємо структурну схему передавача у вигляді, що наведений на рис.1.9.

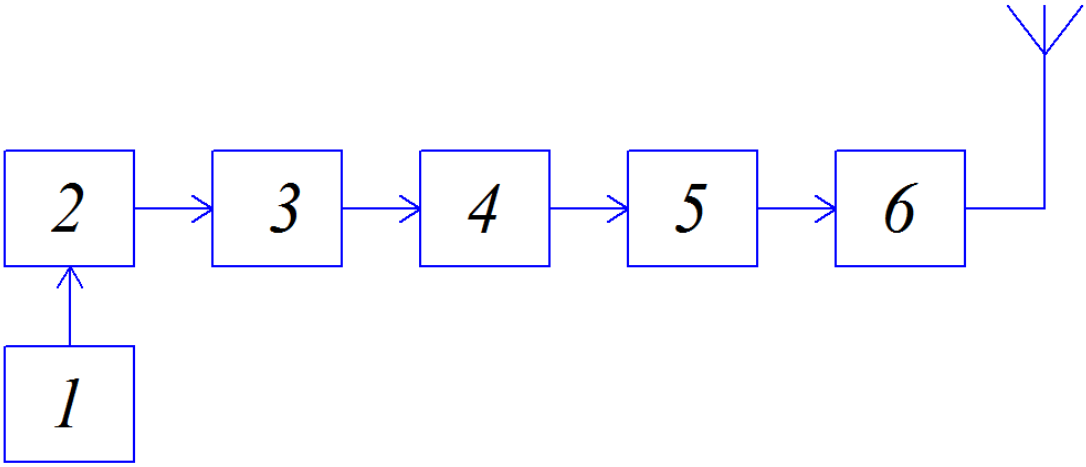

Рисунок 1.9 – Структурна схема передавача частотно-модульованого сигналу: 1 – джерело аналогового сигналу; 2 – частотно модульований автогенератор; 3 – емітерний повторювач; 4 – проміжний каскад; 5 – передкінцевий каскад; 6 – кінцевий каскад.

Відповідно до структурної схеми, аналоговий сигнал поступає на автогенератор, частота якого змінюється пропорційно до амплітуди аналогового сигналу. Емітерний повторювач включається безпосередньо після автогенератора і забезпечує йому постійність в часі навантаження, одночасно послабляючи вплив на нього наступних каскадів. Для досягнення необхідного значення вихідної потужності в структурній схемі використано проміжний, передкінцевий та кінцевий каскади.

1.4 Побудова та параметричний синтез схеми електричної принципової

Схема електрична принципова наведена на відповідному кресленні в додатках та на рис. 1.10.

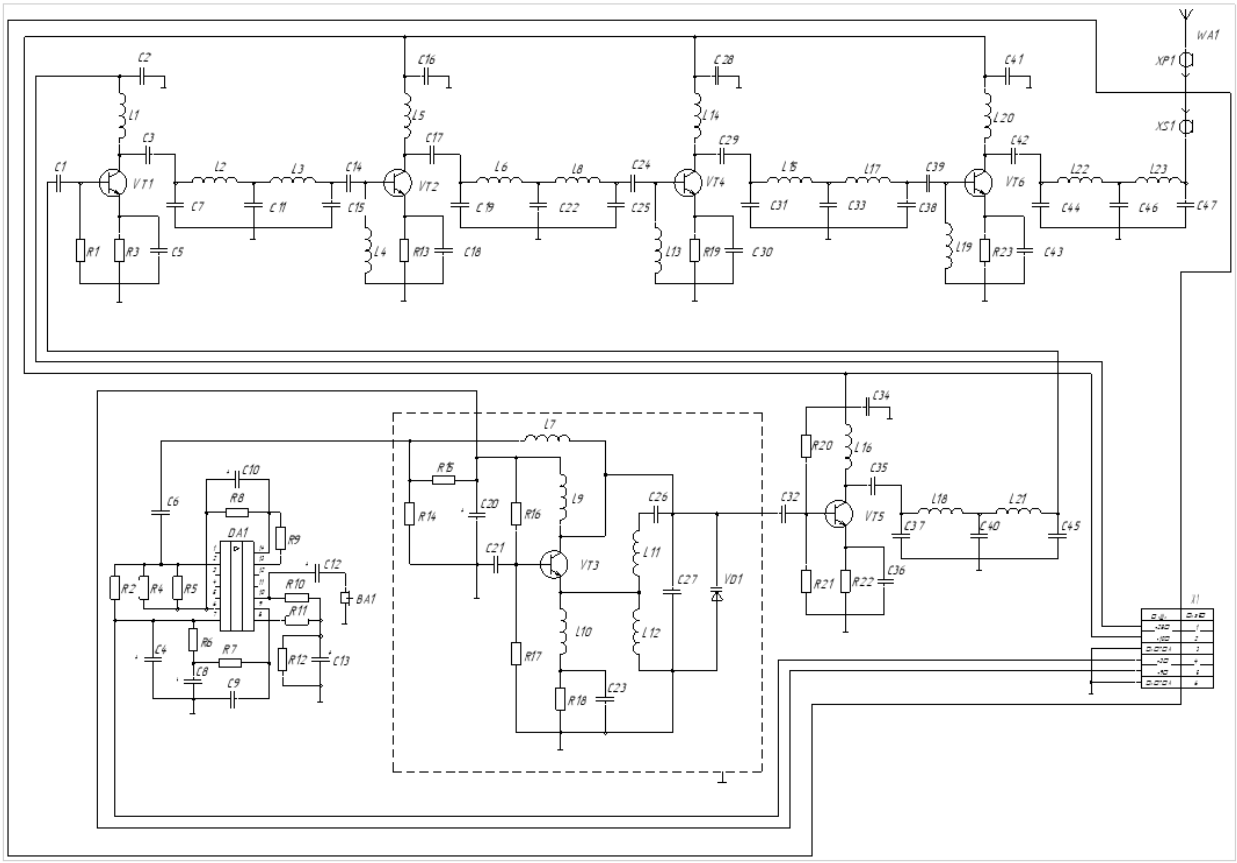

Рисунок 1.10 – Схема електрична принципова передавача

Проведемо розрахунки схеми електричної починаючи з останнього каскаду.

На основі антенної потужності P_A, обчислюємо потужність транзистора вихідного каскаду беручи до уваги втрати у фідері $\eta_ф = 0.8$ та коливному контурі $\eta_{КС} = 0.9$

$$P_{ОК} = \frac{P_A}{\eta_ф \cdot \eta_{КС}} = \frac{15}{0{,}8 \cdot 0{,}9} = 20{,}8 \ Вт; \qquad (1.4)$$

Відповідно:

$$P_{ВЫХ \quad ОК} = 20{,}8 \ Вт;$$

На основі наступних умов проведемо вибір транзистора:

$$0{,}3 f_T < f_O < f_T; \quad (1.5)$$

$$2P_{ВЫХ} \approx P_{К\ \ СПР}; \quad (1.6)$$

де f_O – робоча частота, f_T – максимальне значення частоти за схемою з СЕ, $P_{К\ \ СПР}$ – найбільша робоча розсіювана потужність, $P_{ВЫХ}$ – значення вихідної потужності даного кола.

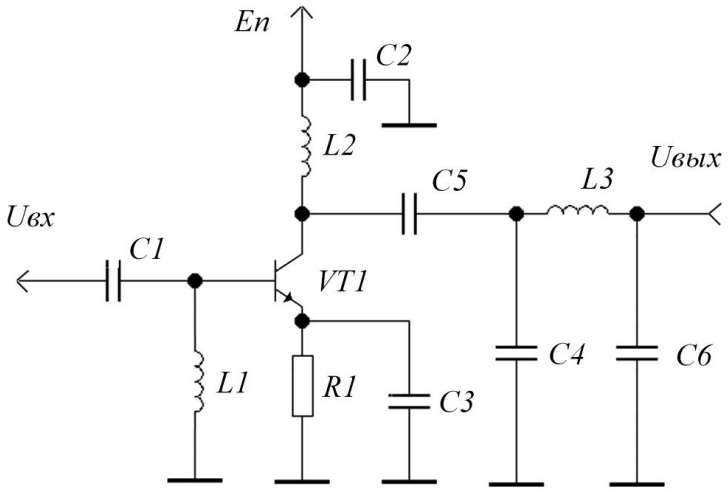

Рисунок 1.11 – Принципова схема кінцевого кола

В якості активного елемента у вихідному каскаді будемо використовувати кремнієвий епітаксійно-планарний n-p-n транзистор КТ 931А. Його електричними параметрами є наступні:

- найбільша робоча частота $f_T = 250\ \ МГц$;
- найбільший базовий струм $I_{Б\ \ МАХ} = 5\ \ А$;
- найбільший струм колектора $I_{К\ \ МАХ} = 15\ \ А$;
- кайбільша напруга КЕ $U_{КЭ\ \ МАХ\ \ ДОП} = 60\ \ В$;
- розсіювана потужність $P_{К\ \ СПР} = 150\ \ Вт$;
- $\beta_O = 5...100$;

Задаємося напругою джерела живлення:

$$E_K \le \frac{U_{КЭ\ \ MAX\ \ ДОП}}{2} = \frac{60}{2} = 30\ \ B; \qquad (1.7)$$

Вибираємо $E_K = 28\ \ B$;

Струм першої гармоніки:

$$I_{K1} \approx \frac{2P_1}{E_K} = \frac{2 \cdot 20.8Вт}{28B} = 1.485\ \ A; \qquad (1.8)$$

У підсилюючих каскадах для отримання максимального ККД при максимальній потужності задаються кутом відсічення:

$$\theta = 90°\ (\gamma_1 = 0.5; \gamma_0 = 0.32; \alpha_1 = 0.5; \alpha_0 = 0.32;). \qquad (1.9)$$

Амплітуда ІС колектора знайдеться, як

$$I_{K\ \ MAX} = \frac{I_{K1}}{\alpha_1} = \frac{1.485A}{0.5} = 2.97A < I_{K\ \ MAX\ \ ДОП} = 15A; (I_{K0} = \alpha_0 \cdot I_{K\ \ MAX} = 0.32 \cdot 2.97A = 0.954A);$$

Оскільки:

$$\beta = \frac{f_T}{f_O} = \frac{250МГц}{110МГц} = 2.273; \qquad (1.10)$$

визначимо максимальний базовий струм:

$$I_{Б\ \ MAX} = \frac{I_{K\ \ MAX}}{\beta} = \frac{2.97A}{2.27} = 1.307A < I_{Б\ \ MAX\ \ ДОП} = 5\ \ A; \qquad (1.11)$$

За вхідною характеристикою визначаємо крутизну за базовим переходом:

$$S_Б = \frac{I_{Б\ \ MAX}}{U_{Б\ \ MAX} - E'} = \frac{1.3A}{1.3B - 0.7B} = 2.19\ \ A/B; \qquad (1.12)$$

Крутизну по емітерному переходу знаходимо за формулою:

$$S_П = \frac{42{,}5 \cdot I_{K1}}{1 + 3{,}66 \cdot 10^{-3} \cdot t_П} = \frac{42{,}5 \cdot 1.485A}{1 + 3{,}66 \cdot 10^{-3} \cdot 160} = 39.8\ \ A/B; \qquad (1.13)$$

Тепер знайдемо опори:

• емітерного переходу: $r_Э = \frac{1}{S_П} = \frac{1}{39.8A/B} = 0.025\ \ Ом;$

• рекомбінації: $r_Р = \frac{\beta}{S_П} = \frac{2.273}{39.8A/B} = 0.057\ \ Ом;$

• бази: $r'_Б = \frac{1}{S_Б} - r_Р = \frac{1}{2.19A/B} - 0.057Ом = 0.4\ \ Ом;$

Коефіцієнт підсилення по потужності знайдемо за формулою:

$$K_P = \left(\frac{f_{MAX}}{f_O}\right)^2 = \left(\frac{179974925Гц}{110000000Гц}\right)^2 = 2.677; \qquad (1.14)$$

Тому, значення вхідної потужності повинне складати:

$$P_{BX\ \ OK} = \frac{P_{BЫX\ \ OK}}{K_P} = \frac{20.8Вт}{2.677} = 7.7\ \ Вт; \qquad (1.15)$$

Тоді вихідна потужність передвихідного каскаду:

$$P_{ВХ\ \ ПРОК} = \frac{P_{ВХ\ \ ОК}}{\eta_{КС}} = \frac{7.7Вт}{0,8} = 9.6\ \ Вт; \qquad (1.16)$$

Передкінцевий каскад має видавати вихідну потужність $7.7Вт$. Схема передкінцевого каскаду наведена на рис. 1.12.

В якості активного елемента в передкінцевому каскаді будемо використовувати кремнієвий епітаксіально-планарний n-p-n транзистор КТ922Б.

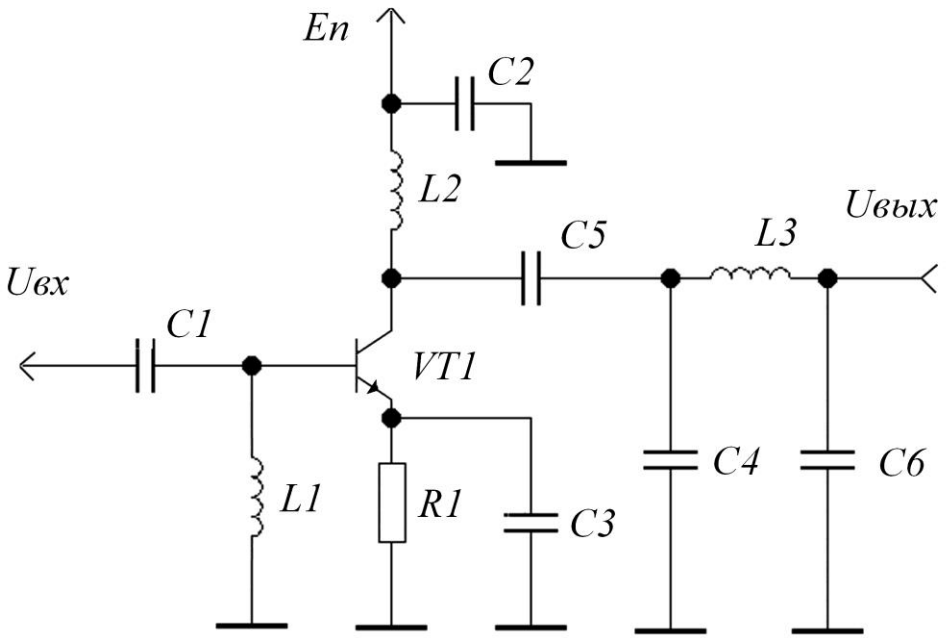

Рисунок 1.12 – Принципова схема передкінцевого каскаду.

Можна виділити наступні характеристики транзистора:

• найбільша частота $f_T = 300\ \ МГц$;

• найбільший струм бази $I_{Б\ \ МАХ} = 0.6\ \ А$;

• найбільший струм колектора $I_{К\ \ МАХ} = 1,5\ \ А$;

• найбільша напруга КЕ $U_{КЭ\ \ МАХ\ \ ДОП} = 65\ \ В$;

• потужність $P_{К\ \ СПР} = 20\ \ Вт$;

• $\beta_O = 10...150$;

Задаємося напругою джерела живлення:

$$E_K \le \frac{U_{КЭ\ \ МАХ\ \ ДОП}}{2} = \frac{65B}{2} 32{,}5\ \ B; \qquad (1.17)$$

Вибираємо $E_K = 28\ \ B$;

Тоді струм першої гармоніки буде:

$$I_{K1} \approx \frac{2P_1}{E_K} = \frac{2 \cdot 7{,}7Bm}{28B} = 0{,}55\ \ A; \qquad (1.18)$$

задаються кутом відсічки $\theta = 90°$ $(\gamma_1 = 0.5; \gamma_0 = 0.32; \alpha_1 = 0.5; \alpha_0 = 0.32;)$. Тоді амплітуда ІС колектора становитиме:

$$I_{K\ \ МАХ} = \frac{I_{K1}}{\alpha_1} = \frac{0{,}55A}{0.5} = 1{,}1A < I_{K\ \ МАХ\ \ ДОП} = 1.5A; (I_{K0} = \alpha_0 \cdot I_{K\ \ МАХ} = 0.32 \cdot 1.1A = 0.352A);$$

Оскільки:

$$\beta = \frac{f_T}{f_O} = \frac{300МГц}{110МГц} = 2.727; \qquad (1.19)$$

визначимо максимальний базовий струм:

$$I_{Б\ \ МАХ} = \frac{I_{K1}}{\beta} = \frac{0.55A}{2.727} = 0.2A < I_{Б\ \ МАХ\ \ ДОП} = 0.6A; \qquad (1.20)$$

За вхідною характеристикою визначаємо крутизну за базовим переходом:

$$S_Б = \frac{I_{Б\ \ MAX}}{U_{Б\ \ MAX} - E'} = \frac{0.2A}{1.25B - 0.8B} = 0.429\ \ A/B; \qquad (1.21)$$

Крутизну по емітерному переходу знаходимо за формулою:

$$S_П = \frac{42{,}5 \cdot I_{K1}}{1 + 3{,}66 \cdot 10^{-3} \cdot t_П} = \frac{42{,}5 \cdot 0.55A}{1 + 3{,}66 \cdot 10^{-3} \cdot 160} = 14.742\ \ A/B; \qquad (1.22)$$

Тепер знайдемо опори:

• емітерного переходу: $r_Э = \frac{1}{S_П} = \frac{1}{14{,}742A/B} = 0{,}068\ \ Ом;$

• рекомбінації: $r_Р = \frac{\beta}{S_П} = \frac{2{,}727}{14{,}742A/B} = 0{,}185\ \ Ом;$

• бази: $r'_Б = \frac{1}{S_Б} - r_Р = \frac{1}{0.22A/B} - 0{,}185Ом = 2{,}143Ом;$

Коефіцієнт підсилення по потужності знайдемо за формулою:

$$K_Р = \left(\frac{f_{MAX}}{f_O}\right)^2 = \left(\frac{210767690Гц}{110000000Гц}\right)^2 = 3.671; \qquad (1.23)$$

Таким чином вхідна потужність має бути:

$$P_{BX\ \ ПРОК} = \frac{P_{BЫX\ \ ПРОК}}{K_Р} = \frac{7.7Вт}{3.671} = 2\ \ Вт; \qquad (1.24)$$

Отже, вихідна потужність проміжного кола має становити:

$$P_{BЫX\ \ ПМК} = \frac{P_{BX\ \ ПРОК}}{\eta_{KC}} = \frac{2Вт}{0{,}8} = 2.5\ \ Вт; \qquad (1.25)$$

Схема проміжного каскаду наведена на рис. 1.13.

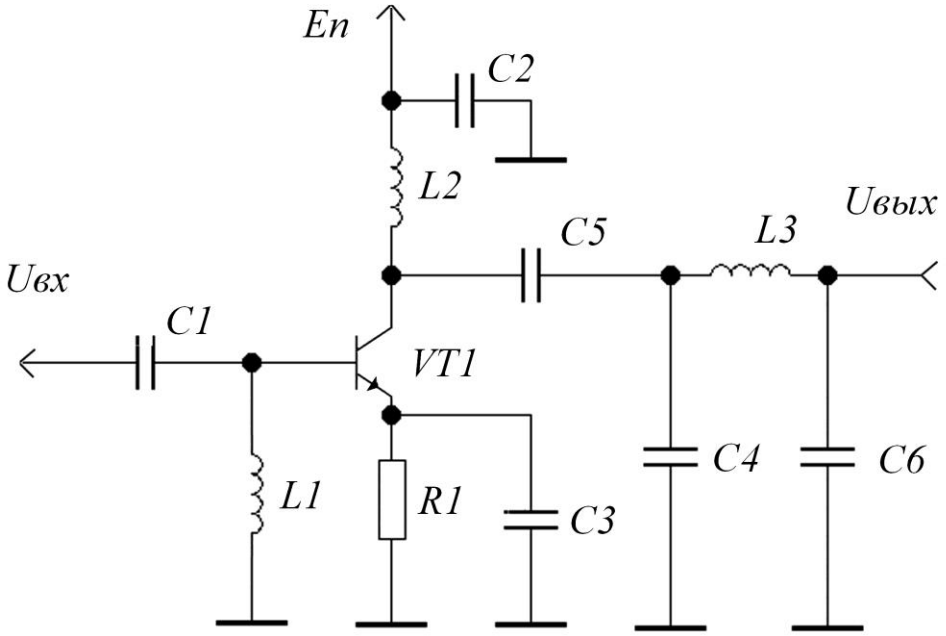

Рисунок 1.13 – Схема електрична проміжного каскаду

Використаємо в цьому колі кремнієвий епітаксіально-планарний n-p-n транзистор КТ922А.

Він має такі електричні параметри:

• найбільша робоча частота $f_T = 300$ *МГц*;

• Найбільший струм бази $I_{Б\ \ МАХ} = 0.4$ *А*;

• найбільший робочий струм колектора $I_{К\ \ МАХ} = 0.8$ *А*;

• найбільша напруга КЕ $U_{КЭ\ \ МАХ\ \ ДОП} = 65$ *В*;

• потужність $P_{К\ \ СПР} = 8$ *Вт*;

• $\beta_O = 10...150$;

Задаємося напругою джерела живлення:

$$E_K \le \frac{U_{КЭ\ \ МАХ\ \ ДОП}}{2} = \frac{65B}{2} 32{,}5\ \ B; \qquad (1.26)$$

Вибираємо $E_K = 28\ \ B$;

Струм першої гармоніки буде рівним:

$$I_{K1} \approx \frac{2P_1}{E_K} = \frac{2 \cdot 2.5Вт}{28В} = 0{,}179\ \ A; \qquad (1.27)$$

задамося кутом відсічки $\theta = 90°$ $(\gamma_1 = 0.5; \gamma_0 = 0.32; \alpha_1 = 0.5; \alpha_0 = 0.32;)$. Тоді амплітуда ІС колектора становитиме:

$$I_{K\ \ MAX} = \frac{I_{K1}}{\alpha_1} = \frac{0{,}179A}{0.5} = 0.358A < I_{K\ \ MAX\ \ ДОП} = 0.8A; (I_{K0} = \alpha_0 \cdot I_{K\ \ MAX} = 0.32 \cdot 0.358A = 0.114A);$$

Оскільки:

$$\beta = \frac{f_T}{f_O} = \frac{300МГц}{110МГц} = 2.727; \qquad (1.27)$$

визначимо максимальний базовий струм:

$$I_{Б\ \ MAX} = \frac{I_{K1}}{\beta} = \frac{0.179A}{2.727} = 0.131A < I_{Б\ \ MAX\ \ ДОП} = 0.4A; \qquad (1.28)$$

За вхідною характеристикою визначаємо крутизну за базовим переходом:

$$S_Б = \frac{I_{Б\ \ MAX}}{U_{Б\ \ MAX} - E'} = \frac{0.131A}{1.531B - 0.8B} = 0.179\ \ A/B; \qquad (1.29)$$

Крутизну по емітерному переходу знаходимо за формулою:

$$S_П = \frac{42{,}5 \cdot I_{K1}}{1 + 3{,}66 \cdot 10^{-3} \cdot t_П} = \frac{42{,}5 \cdot 0.179A}{1 + 3{,}66 \cdot 10^{-3} \cdot 160} = 4.786 \ A/B; \qquad (1.30)$$

Тепер знайдемо опори:

• емітерного переходу: $r_Э = \frac{1}{S_П} = \frac{1}{4{,}786A/B} = 0{,}209 \ Ом;$

• рекомбінації: $r_Р = \frac{\beta}{S_П} = \frac{2{,}727}{4.786A/B} = 0{,}570 \ Ом;$

• бази: $r'_Б = \frac{1}{S_Б} - r_Р = \frac{1}{0.179A/B} - 0{,}570Ом = 5 \ Ом;$

Знайдемо тепер значення наступних частот:

1. гранична частота по крутизні $f_S = \frac{f_T \cdot r_Э}{r'_Б} = \frac{300МГц \cdot 0{,}209Ом}{5Ом} = 12535567 \ Гц;$

2. частота $f_\beta = \frac{f_T}{\beta_O} = \frac{300МГц}{38.730} = 7745967 \ Гц;$

3. частота $f_\alpha = (1{,}6...1{,}8) f_T = 1{,}7 \cdot 300МГц = 510000000 \ Гц;$

Коефіцієнт підсилення потужності знайдемо за формулою:

$$K_P = \left(\frac{f_{MAX}}{f_O}\right)^2 = \left(\frac{255218154Гц}{110000000Гц}\right)^2 = 5.383; \qquad (1.31)$$

Таким чином вхідна для цього кола потужність повинна бути:

$$P_{ВХ \ \ ПРОК} = \frac{P_{ВЫХ \ \ ПРОК}}{K_P} = \frac{2.5Вт}{5.383} = 0.464 \ Вт; \qquad (1.32)$$

Таким чином вихідна потужність попереднього проміжного кола має становити:

$$P_{ВЫХ\ \ ПМК1} = \frac{P_{ВХ\ \ ПРОК}}{\eta_{КС}} = \frac{0.464Вт}{0,8} = 0.58\ \ Вт; \qquad (1.33)$$

Схема проміжного каскаду наведена на рис. 1.14.

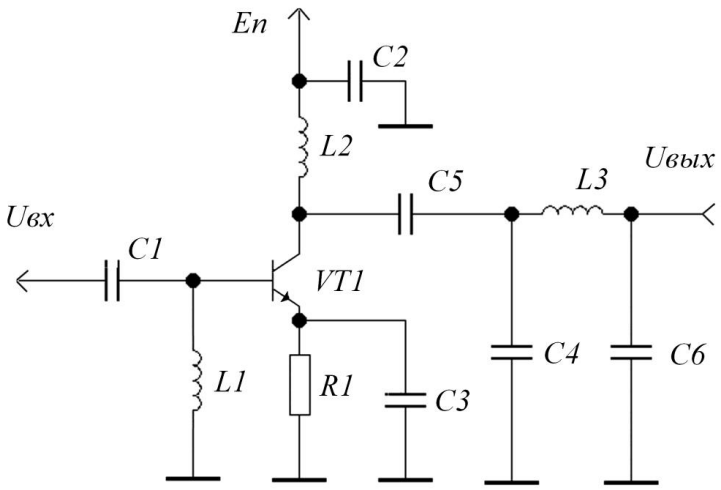

Рисунок 1.14 – Схема проміжного каскаду

Використаємо кремнієвий епітаксіально-планарний n-p-n транзистор КТ606А. Він має такі електричні параметри: $f_T = 300\ \ МГц$;

• найбільша робоча частота $I_{Б\ \ МАХ} = 0.1\ \ А$;

• найбільший струм бази $I_{К\ \ МАХ} = 0.4\ \ А$;

• найбільший струм колектора $U_{КЭ\ \ МАХ\ \ ДОП} = 65\ \ В$;

• найбільша напруга КЕ $C_К = 7\ \ пФ$;

• потужність $P_{К\ \ СПР} = 2.5\ \ Вт$;

• $\beta_O = 10...60$;

Задаємося напругою джерела живлення:

$$E_K \le \frac{U_{КЭ\ \ MAX\ \ ДОП}}{2} = \frac{65B}{2} 32{,}5\ \ B; \qquad (1.34)$$

Вибираємо $E_K = 15\ \ B$;

Струм першої гармоніки становитиме:

$$I_{K1} \approx \frac{2P_1}{E_K} = \frac{2 \cdot 0.58Bm}{15B} = 0{,}077\ \ A; \qquad (1.35)$$

задамося кутом відсічки $\theta = 90°$ ($\gamma_1 = 0.5; \gamma_0 = 0.32; \alpha_1 = 0.5; \alpha_0 = 0.32;$). Тоді амплітуда ІС колектора буде:

$$I_{K\ \ MAX} = \frac{I_{K1}}{\alpha_1} = \frac{0{,}077A}{0.5} = 0.155A < I_{K\ \ MAX\ \ ДОП} = 0.4A; (I_{K0} = \alpha_0 \cdot I_{K\ \ MAX} = 0.32 \cdot 0.155A = 0.049A);$$

Оскільки:

$$\beta = \frac{f_T}{f_O} = \frac{300МГц}{110МГц} = 2.727; \qquad (1.36)$$

визначимо максимальний базовий струм:

$$I_{Б\ \ MAX} = \frac{I_{K1}}{\beta} = \frac{0.077A}{2.727} = 0.028A < I_{Б\ \ MAX\ \ ДОП} = 0.1A; \qquad (1.37)$$

За вхідною характеристикою визначаємо крутизну за базовим переходом:

$$S_Б = \frac{I_{Б\ \ MAX}}{U_{Б\ \ MAX} - E'} = \frac{0.028A}{0.803B - 0.65B} = 0.182\ \ A/B; \qquad (1.38)$$

Крутизну по емітерному переходу знаходимо за формулою:

$$S_П = \frac{42{,}5 \cdot I_{K1}}{1 + 3{,}66 \cdot 10^{-3} \cdot t_П} = \frac{42{,}5 \cdot 0.077A}{1 + 3{,}66 \cdot 10^{-3} \cdot 120} = 2.284\ A/B; \qquad (1.39)$$

Тепер знайдемо опори:

• емітерного переходу: $r_Э = \frac{1}{S_П} = \frac{1}{2.284A/B} = 0{,}437\ Ом;$

• рекомбінації: $r_Р = \frac{\beta}{S_П} = \frac{2{,}727}{2.284A/B} = 1.194\ Ом;$

• бази: $r'_Б = \frac{1}{S_Б} - r_Р = \frac{1}{0.182A/B} - 1.194Ом = 4.286\ Ом;$

Знайдемо значення характерних частот:

1. гранична частота по крутизні $f_S = \frac{f_T \cdot r_Э}{r'_Б} = \frac{300МГц \cdot 0{,}437Ом}{4.286Ом} = 30652333\ Гц;$

2. частота $f_\beta = \frac{f_T}{\beta_O} = \frac{300МГц}{40} = 7500000\ Гц;$

3. частота $f_\alpha = (1{,}6...1{,}8) f_T = 1{,}7 \cdot 300МГц = 510000000\ Гц;$

Коефіцієнт підсилення потужності знайдемо за формулою:

$$K_P = \left(\frac{f_{MAX}}{f_O}\right)^2 = \left(\frac{380197007Гц}{110000000Гц}\right)^2 = 11{,}946; \qquad (1.40)$$

Таким чином, вхідна потужність для цього кола має бути рівною:

$$P_{BX\ \ ПМК1} = \frac{P_{BЫX\ \ ПРОК}}{K_P} = \frac{0{,}58Вт}{11{,}946} = 0.048\ Вт; \qquad (1.41)$$

Відповідно вихідна потужність попереднього проміжного каскаду має бути:

$$P_{ВЫХ\ \ ПМК2} = \frac{P_{ВХ\ \ ПМК1}}{\eta_{КС}} = \frac{0.048Вт}{0,8} = 0.06\ \ Вт; \qquad (1.42)$$

Схема автогенератора наведена на рис. 1.15.

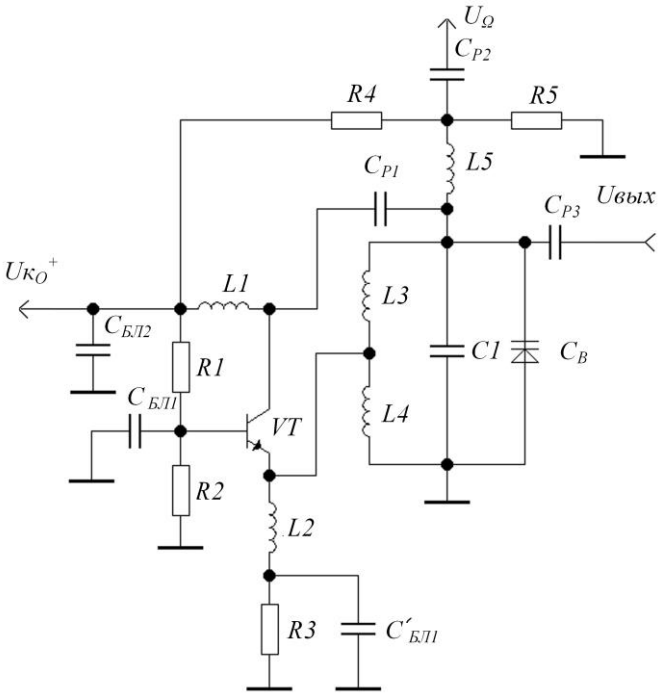

Рисунок 1.15 – Принципова схема автогенератора.

Для реалізації автогенератора скористаємося транзистором КТ610Б

• максимальна робоча частота $f_T = 1100\ МГц$;

• найбільша напруга база-емітер $U_{БЭ\ \ МАХ\ \ ДОП} = 4\ \ В$;

• найбільший струм колектора $I_{К\ \ МАХ} = 0.3\ \ А$;

• найбільша напруга КЕ $U_{КЭ\ \ МАХ\ \ ДОП} = 20\ \ В$;

• потужність $P_{К\ \ СПР} = 1.5\ \ Вт$;

• $\beta_O = 20...300$;

Визначаємо крутизну прохідної характеристики:

$$S = \beta S_Б, \tag{1.43}$$

де β - коефіцієнт передачі по струму на частоті генерації, $S_Б$-крутизна за базовим переходом.

$$\beta = \frac{f_T}{f_O} = \frac{1100 МГц}{110 МГц} = 10; \tag{1.44}$$

$$S_Б = \frac{1}{r'_Б + r_P}; \tag{1.45}$$

де $r'_Б$- омічний опір бази, r_P- опір рекомбінації.

$$r'_Б = \xi \frac{\tau_K}{C_K} = 3\frac{15nC}{4.1nC} = 10.976\ Ом;$$

$$r_P = \frac{\beta}{S_П} = \ ;$$

де $S_П$- крутизна по емітерному переходу,

$$S_П = \frac{42{,}5 \cdot I_{K1}}{1 + 3{,}66 \cdot 10^{-3} \cdot t_П}, \tag{1.46}$$

в автогенераторах для отримання високої стабільності частоти рекомендовано вибирати $I_{K1} = 13\ мА.$, тоді

$$S_П = \frac{42{,}5 \cdot I_{K1}}{1 + 3{,}66 \cdot 10^{-3} \cdot t_П} = \frac{42{,}5 \cdot 0.013A}{1 + 3{,}66 \cdot 10^{-3} \cdot 150} = 0.366\ A/B;$$

звідси

$$r_P = \frac{\beta}{S_П} = \frac{10}{0.366 A/B} = 27.335\ Ом;$$

$$S_Б = \frac{1}{r'_Б + r_P} = \frac{1}{10.976 + 27.335} = 0.026\ A/B;$$

$$S = \beta S_Б = 10 \cdot 0.026 = 0.26\ A/B$$

$$r_Э = \frac{1}{S_П} = \frac{1}{0{,}366 A/B} = 2{,}732\ Ом;$$

Визначимо граничну частоту по крутизні:

$$f_S = \frac{f_T \cdot r_Э}{r'_Б} = \frac{1100 МГц \cdot 2{,}732 Ом}{10.976 Ом} = 2737973376\ Гц;$$

Оскільки виконується умова $f_O(110 МГц) < 0{,}5 f_S(0{,}5 \cdot 273 МГц = 136 МГц)$, то ми можемо вважати наш транзистор неінерційним і можемо застосовувати викладену нижче методику розрахунку автогенератора.

Вибираємо напругу джерела живлення:

$$U_{К0} \le 0.5 U_{БЭ\ \ МАХ\ \ ДОП} = 10\ B; \qquad (1.47)$$

Задаємося напругою джерела живлення $U_{К0} =\ 9\ B$;

Задаємося кутом відсічки $\theta = 80°$, тоді

$$\cos\theta = 0.174, \alpha_O(\theta) = 0{,}286, \alpha(\theta)_1 = 0{,}472,$$

$$\gamma_O(\theta) = 0{,}236, \gamma_1(\theta) = 0{,}390,\ F_I(\theta) = 1.5;\ F_U(\theta) = 1.1;\ F_P(\theta) = 7.7;$$

Визначимо максимально допустимий коефіцієнт зворотного зв'язку:

$$k_I = \frac{I_{K\ \ MAX}}{SU_{KO}} F_I(\theta) = \frac{0{,}3A}{0{,}26A/B9B} \cdot 1.5 = 0{,}192;$$

$$k_U = \frac{U_{БЭ\ \ MAX} + U'}{U_{KO}} F_U(\theta) = \frac{4B + 0{,}6B}{9B} \cdot 1.1 = 0{,}562;$$

$$k_P = \frac{2P_{K\ \ MAX}}{SU^2{}_{KO}} F_P(\theta) = \frac{2 \cdot 1.5Bm}{0{,}26A/B(9B)^2} \cdot 7.7 = 1{,}096;$$

Таким чином, найбільш жорсткі вимоги по коефіцієнту зворотнього зв'язку (k) визначаються допустимим струмом $I_{K\ \ MAX}$ $(k < 0.192)$

Як було сказано вище, в автогенераторах вважається оптимальним режим з $I_{K1} \in (5...20мА)$. Ми задалися значенням $I_{K1} = 13\ мА$ (при куті відсічки $\theta = 80°$ $I_{K\ \ MAX} = 27мА$), коефіцієнт зворотного зв'язку, необхідний для забезпечення даного режиму:

$$k = k_I = \frac{I_{K\ \ MAX}}{SU_{KO}} F_I(\theta) = \frac{27мА}{0.26A/B9B} \cdot 1.5 = 0.017; \qquad (1.48)$$

Задаємося $k = 0.017$

Визначимо такі параметри, що характеризують режим роботи:

1. Амплітуда напруги збудження:

$$U_Б = kU_{KO}\sqrt{1 - \gamma_1(\theta)} = 0.017 \cdot 9B\sqrt{1 - 0.39} = 0.154\ B; \qquad (1.49)$$

2. Амплітуда колекторної напруги:

$$U_{KЭ} = \frac{U_Б}{k} = \frac{0.154B}{0.017} = 9.058\ B; \qquad (1.50)$$

3. Величина першої гармоніки струму колектора:

$$I_{K1} = SU_Б\gamma_1(\theta) = 0.26A/B \cdot 0.154B \cdot 0{,}39 = 0.015\ A;$$

4. Висота імпульсу колекторного струму:

$$I_{K\ \ MAX} = SU_Б(1-\cos\theta) = 0.26A/B \cdot 0.154B \cdot (1-0{,}174) = 0.04\ A < I_{K\ \ MAX\ \ ДОП} = 0.3\ A;$$

5. Постійний струм колектора:

$$I_{KO} = I_{K\ \ MAX} \cdot \alpha_O = 0{,}04A \cdot 0{,}286 = 0{,}011\ A;$$

6. Максимальна зворотна напруга БЕ:

$$U_{БЭ\ \ MAX} = \left|U' - U_Б(1+\cos\theta)\right| = \left|0.6 - 0.154(1+0.174)\right| = 0.523B < U_{БЭ\ \ MAX\ \ ДОП} = 4\ B;$$

7. Потужність, що віддається колом колектора:

$$P_{ВЫХ} = 0{,}5 \cdot I_{R1} \cdot U_{КЭ} = 0{,}5 \cdot 13мA9.058 \cdot B = 0.058\ Вт;$$

8. Потужність, що розсіюється колектором:

$$\eta = 0{,}5g_1\xi = 0{,}5\frac{I_{K1}}{I_{KO}} \cdot \frac{U_{КЭ}}{U_{KO}} = 0{,}5\frac{13мA}{11мA} \cdot \frac{9.058B}{9B} = 0.59;$$

$$P_K = P_{ВЫХ}\left(\frac{1}{\eta} - 1\right) = 0.058Вт\left(\frac{1}{0.59} - 1\right) = 1{,}1\ Вт < P_{K\ \ MAX\ \ ДОП} = 1{,}5\ Вт;$$

Для отримання заданого режиму потрібне навантаження з провідністю, рівною:

$$G_{КЭ} = S \cdot k \cdot \gamma_1(\theta) = 0{,}26 \cdot 0{,}017 \cdot 0{,}39 = 1{,}7 мСм. \Rightarrow R_Г = 700 \ Ом;$$

Тепер зробимо розрахунок параметрів коливальної системи.

Еквівалентна схема автогенератора наведена на рис.1.16.

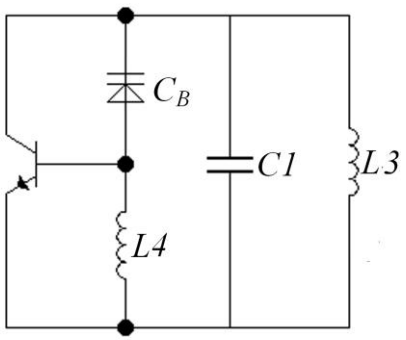

Рисунок 1.16 – Еквівалентна схема автогенератора.

Вибираємо ємність коливальної системи

$$C_{КС} \approx (5...10) \cdot C_К = 10 \cdot 4.1 пФ = 41 \ пФ;$$

Тоді індуктивність коливальної системи знайдемо за формулою:

$$L_{КС} = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f_O)^2 \cdot C_{КС}} = \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot 110 МГц \cdot 41 пФ} 63.88 \ нГн;$$

$$L_{КС} = L3 + L4;$$

Отримане значення задовольняє умові, що на частотах менше 150МГц індуктивність повинна бути виконана у вигляді котушок, і мати величину >50нГн

Тоді характеристичний опір контуру визначиться наступним чином:

$$\rho = \frac{1}{2\pi f_O C_{KC}} = \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot 110 МГц \cdot 41 пФ} = 44.128\ Ом;$$

Його величина повинна укладатися $(5...10) Ом > \rho > (500...1000) Ом$, що теж виконується.

Задаємося ненавантаженою добротністю $Q_{НЕН} = 100$.

Задаємося $L4 = 30\ нГн$;

Тоді: $X4 = \varpi_O L4 = 20.724\ Ом$;

тоді $k_{OC} = \frac{L4}{L3} = \frac{30 нГн}{33{,}88 нГн} = 0{,}885$;

Знаходимо коефіцієнт включення транзистора в контур:

$$\rho_{ТРАН} = \frac{L4}{L} = \frac{30}{63.88} = 0.47; \qquad (1.51)$$

Визначимо загасання навантаженого контура

$$\delta_H = \rho_{ТРАН}{}^2 \cdot G_{КЭ} \cdot \rho = 0{,}47^2 \cdot 1{,}7 мСм \cdot 44{,}128 Ом = 0{,}0165;$$

Відповідно добротність навантаженого контура складе:

$$Q_H = \frac{1}{\delta_H} = \frac{1}{0.0165} = 60 \qquad (1.52)$$

Для автогенераторів прийнятною вважається добротність

$$Q_H \geq 30..60,$$

тобто наша коливальна система задовольняє цій вимозі.

Зробимо розрахунок номіналів елементів коливальної системи:

$$L4 = \frac{X4}{\varpi_O} = \frac{20.724}{690800000} = 30\ нГн; \qquad (1.53)$$

$$L_{KC} = L3 + L4 \Rightarrow L3 = 63.88нГн - 30нГн = 33.88\ нГн; \Rightarrow X3 = \varpi_O L3 = 23.404\ Ом;$$

Вибираємо варікап: VD - КВ 110А

Відмітимо деякі його параметри

- $f_{СПР} = 50\ МГц;$
- $Q_{СПР} = 300;$
- $C_{B\ \ MAX} = 18\ пФ;$
- $C_{B\ \ MIN} = 12\ пФ;$
- $U_{ОБР\ \ MAX} = 45\ В;$

Необхідна умова при виборі варикапа $f_O < f_{ГР.ВАР}$ і $Q_{Bo} > 60$

Провіримо ці умови:

$$f_{ГР.ВАР} = Q_{СПР} \cdot f_{СПП} = 300 \cdot 50МГц = 15\ ГГц > f_O;$$

$$Q_{Bo} = \frac{Q_{СПР} \cdot f_{СПП}}{f_O} = \frac{15ГГц}{110МГц} = 136 > 60$$

Задаємося ємністю варікапа $C_B = 16\ пФ;\ X_B = \frac{1}{\varpi_O C_B} = 90{,}478\ Ом;$

Тоді, оскільки $C_{KC} = 41\ пФ$, то з $\Rightarrow C_{KC} = C1 + C_B$, що $C1 = C_{KC} - C_B = 41 - 16 = 25\ пФ;$ і її $X1 = \frac{1}{\varpi_O C1} = 57{,}903\ Ом;$

- $L3 = 33.88\ нГн;$
- $L4 = 30\ нГн;$
- $C1 = 25\ пФ;$

- $C_B = 16\ nФ;$
- $U_{B\,fO} = U_{KБ} = U_{KЭ} \cdot (1 - k_{OC}) = 9.058 \cdot (1 - 0.885) = 1\ B$
- Коефіцієнт перекриття: $K_Д = \dfrac{C_{B\ \ MAX}}{C_{B\ \ MIN}} = \dfrac{18\ nФ}{12\ nФ} = 1{,}5;$
- $E_B \le 0.2 \cdot U_{ОБР\ \ MAX} = 0.2 \cdot 45 = 9B \le U_{K0} = 9\ B;$ задаємося напругою зміщення на варікапі $E_B = 8\ B;$

Визначення відносної девіації частоти при неповному включенні варікапа в КС:

$$\frac{\Delta f}{f} = -\frac{1}{2} \cdot n \cdot x_m \left[p_1 \cdot p_2 - p_1^{\ 2} \cdot p_2 \cdot (1 - p_2) \cdot n \cdot x_m \right]; \qquad (1.54)$$

$$p_1 = \frac{CB}{C1 + CB} = \frac{16}{25 + 16} = 0{,}39; \quad p_2 = 1$$

$x_m = \dfrac{U_\Omega}{E_B + \varphi_K} = \dfrac{1{,}6B}{E_B + (0.5...0.75B)} = \dfrac{1{,}6B}{8B + 0{,}75B} = 0{,}182\ B;$ - відносна модулююча напруга.

$$U_\Omega = (0.1...0.4)E_B = 0{,}2 \cdot 8 = 1{,}6\ B;$$

$$\frac{\Delta f}{f} = -\frac{1}{2} \cdot n \cdot x_m \left[p_1 \cdot p_2 - p_1^{\ 2} \cdot p_2 \cdot (1 - p_2) \cdot n \cdot x_m \right] = -\frac{1}{2} \cdot 0.5 \cdot 0.182 \left[0.39 \cdot 1 - 0.39^2 \cdot 1 \cdot (1 - 1) \cdot 0.5 \cdot 0.182 \right] =$$

$$= -0.017745 = 177 \cdot 10^{-4};$$

$\dfrac{\delta f}{f_O} = 5 \cdot 10^{-4} \le \dfrac{\Delta f}{f} = 177 \cdot 10^{-4}$; умова, що пред'являється до девіації:

$20\dfrac{\delta f}{f_O} = 20 \cdot 5 \cdot 10^{-4} = 100 \cdot 10^{-4} \le \dfrac{\Delta f}{f} = 177 \cdot 10^{-4}$ виконується

Коефіцієнт нелінійних спотворень:

$$K_{НИ\,2} = \left[\frac{n-1}{4} - \frac{1}{2} p_1 \cdot (1 - p_2) \cdot n - \frac{3}{8} \cdot p_1 \cdot p_2 \cdot n \right] \cdot x_m = \left[\frac{0.5 - 1}{4} - 0 - \frac{3}{8} \cdot 0.39 \cdot 1 \cdot 0.5 \right] \cdot 0.0177 = -0{,}003;$$

Відносне зміщення частоти:

$$K_O = \left[\frac{1}{8} p_1 \cdot p_2 \cdot n \cdot (n-1) - \frac{3}{16} p_1^{\ 2} \cdot p_2^{\ 2} \cdot n^2\right] x_m^{\ 2} = \left[\frac{1}{8} 0.39 \cdot 1 \cdot 0.5(0.5-1) - \frac{3}{16} 0.39^2 \cdot 1^2 \cdot 0.5^2\right] 0.0177^2 = -0.000007;$$

Визначимо необхідний опір на навантаження автогенератора

$$Gн = \frac{\delta_H - p_{ТРАН}^{\ 2} k^2 S_Б \gamma_1(\theta)\rho - \delta_{НЕН}}{p_{ТРАН}^{\ 2} \rho} = \frac{0{,}0165 - 0{,}47^2 \cdot 0{,}017^2 \cdot 0{,}026 A/B \cdot 0{,}39 \cdot 44{,}128 Ом - 0{,}01}{0{,}47^2 44{,}128 Ом} =$$
$$= 0{,}66 \ мСм; \quad \Rightarrow (R_H = 1.5 \ кОм);$$

Потужність на навантаженні

$$P_H = 0{,}5 \cdot U^2{}_{КЭ} \cdot Gн = 0{,}5 \cdot 9{,}058^2 \cdot 0{,}66 мСм = 0{,}027 \ Вт < P_K = 1.1 \ Вт;$$

умова виконується, АГ розрахований правильно

Розрахунок ланки живлення АГ. Схема кола живлення АГ зображена на рис.1.17.

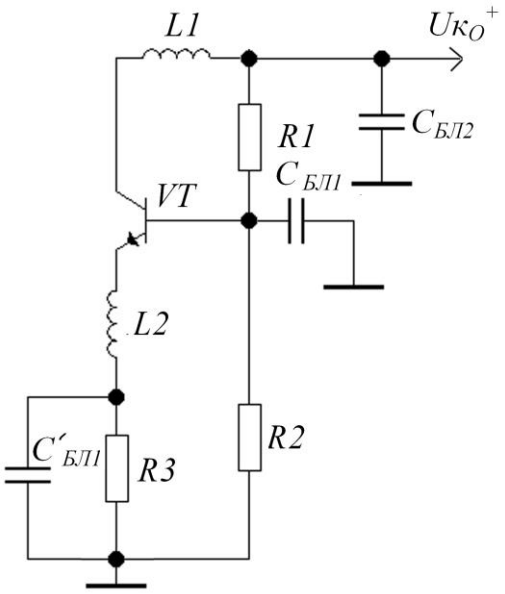

Рисунок 1.17 – Схема кола живлення АГ

Задаємося опором: $R3 = \frac{(25...50)}{S} = \frac{50}{0.26A/B} = 192\ Ом$

Вибираємо зі стандартного ряду опорів $R3 = 240\ Ом$, тому що паралельно опіру $R3$ в ланку між емітером і ланкою стабілізації включаємо дросель $L2$

$$X_{L2} = \varpi_O L2 = 4300\ Ом \geq (100...200)X4 = (2000...4000)Ом;\ \Rightarrow L2 = 6{,}22\ мкГн$$

Опір дільника має задовольняти наступній умові:

$$(100...200)X4 = (2000...4000)Ом < R_{ДЕЛ} < (3...5)R3 + X_{L2} = (720...1200) + 4300\ Ом;$$

При цьому ліва частина рівності служить для забезпечення високої добротності коливальної системи, а права - термостабілізації. Задаємося опором подільника $R_{ДЕЛ} = 4500\ Ом$;

Постійний струм бази рівний: $I_{БО} = \frac{I_{КО}}{\beta_O} =\ мА; \frac{11мА}{77{,}460} = 0{,}142\ мА;$

Постійний струм емітера рівний: $I_{ЭО} = (1 + \beta_O) \cdot I_{БО} = 0{,}01114\ мА;$

Знайдемо номінал резистора $R2$:

$$R2 = \frac{U_{КО} R_{ДЕЛ}}{E_К - E_Б - I_{БО} R_{ДЕЛ} - I_{КО} R3} = \frac{9В \cdot 4500\ Ом}{9В - 0.523В - 0{,}142мА \cdot 4500\ Ом - 11мА \cdot 240\ Ом} =$$
$$= \frac{40500}{5{,}198} = 7791\ Ом;$$

Вибираємо із стандартного ряду опорів $R2 = 7870\ Ом$ E192 $\pm 0.5\%$, тоді

$$R1 = \frac{R_{ДЕЛ} R2}{R2 - R_{ДЕЛ}} = \frac{4500 \cdot 7870}{7870 - 4500} = 10500\ Ом;$$

Вибираємо зі стандартного ряду опорів $R1 = 10500\ Ом$ Е192 $\pm 0.5\%$, тоді ємність конденсатора $C'_{БЛ1}$ знайдемо з умови:

$$\left(\frac{20}{2\pi f_O R3} = 120\ пФ\right) < C'_{БЛ1} < \left(\frac{2Q_H}{2\pi f_O R3} = 723\ пФ\right),$$

Ліва частина служить для забезпечення необхідної фільтрації коливальної системи, права - для усунення переривчастої генерації. Задаємося ємністю $C'_{БЛ1} = 422\ пФ$; згідно Е48

Тепер, розрахуємо номінал блокувального конденсатор $C_{БЛ1}$

$$\left(\frac{20}{2\pi f_O R_{ДЕЛ}} = 6{,}44\ пФ\right) < C_{БЛ1} < \left(\frac{2Q_H}{2\pi f_O R_{ДЕЛ}} = 38{,}7\ пФ\right)$$

Задаємося ємністю $C_{БЛ1} = 8{,}2\ пФ$; згідно Е24

Схема зміщення варікапа зображена на рис.1.18.

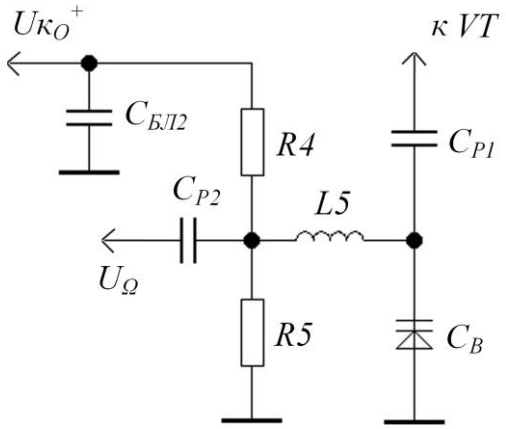

Рисунок 1.18 – Схема зміщення варикапа

Необхідно задатися струмом дільника напруги для забезпечення напруги на варикапі.

$I_{делВ} < I_{КО} = 0.011\ A \ \Rightarrow\ I_{делВ} = 3...5\ мА$ Вибираємо $I_{делВ} = 5\ мА;$

Резистори дільника:

$$R4 = \frac{U_{КО} - U_В}{I_{делВ}} = \frac{9-1}{0.005A} = 1600\ Ом; \qquad (1.55)$$

$$R5 = \frac{U_В}{I_{делВ}} = \frac{1}{0{,}005A} = 200\ Ом; >> \frac{1}{2\pi f_О \cdot C_В} = 90\ Ом;$$

Так як $R5$ невеликої величини, то включається дросель $L5 = 0.434\ мкГн;$, який розраховується так:

$$2\pi f_О L5 = 299\ Ом > \frac{R4 \cdot R5}{R4 + R5} = 177.7\ Ом;$$

$$2\pi F_В L5 = 0.027\ Ом < \frac{1}{2\pi F_В C_В} = 995\ кОм;,$$

де $F_В = 10000\ Гц$ - верхня частота модуляції.

Розділовий конденсатор $C_{Р2} = 5.6\ мкФ;$ Е12 підключається до джерела моделюючої напруги, і вибирається:

$$\frac{1}{2\pi F_Н \cdot C_{Р2}} = 100\ Ом < \frac{R4 \cdot R5}{R4 + R5 + R4 \cdot R5 \cdot (2\pi F_Н \cdot C_В)} = 177.7\ Ом; \qquad (1.56)$$

де $F_Н = 300\ Гц;$-нижня частота модуляціїї.

Розділяючий конденсатор $C_{Р1} = 3\ пФ;$, Е24 підключається між колектором і КС, розраховується на середній частоті ЧМ сигналу:

$$\frac{1}{2\pi f_О C_{Р1}} = 500\ Ом < R_К = 696\ Ом; \qquad (1.57)$$

При цьому на верхній модулюючій частоті має виконуватися нерівність:

$$\sqrt{\left(\frac{1}{2\pi F_B \cdot C_{P1}}\right)^2 + R^2{}_O} = 5509\ кОм\ >\ \frac{1}{2\pi F_B \cdot C_B} = 995\ кОм;$$

де $R_O = \frac{E_K}{I_{KO}} = \frac{9}{0.011A} = 820\ Ом;$

Блокувальний конденсатор $C_{БЛ2} = 5{,}6\ мкФ;$ E12

$$\frac{1}{2\pi F_B \cdot C_{БЛ2}} = 3\ Ом << r_{ИСТ} = (1...10) = 5\ Ом; \qquad (1.58)$$

Схема емітерного повторювача наведена на рис. 1.19.

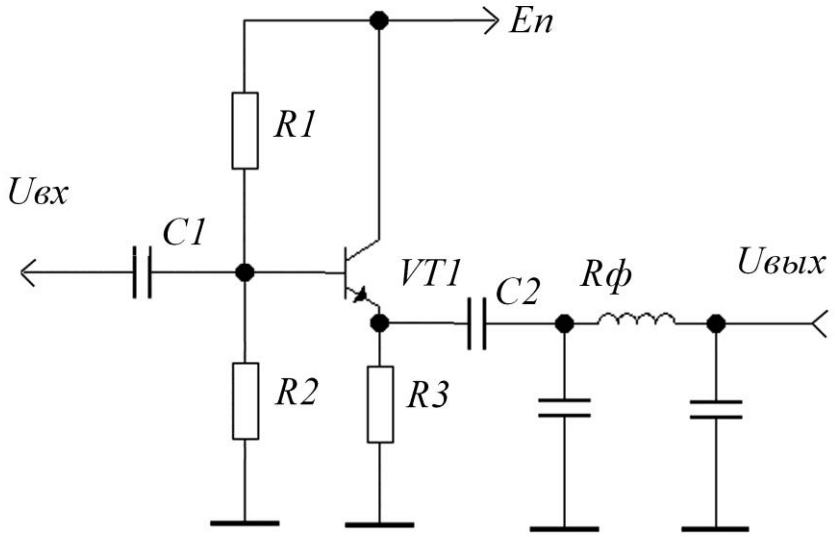

Рисунок 1.19 – Принципова схема емітерного повторювача

ЕП включається за АГ та забезпечує постійне в часі навантаження.

В якості активного елемента в буферному каскаді з СК будемо використовувати кремнієвий епітаксіально-планарний n-p-n транзистор КТ315И. Його електричні параметри є наступні:

• максимальна робоча частота $f_T = 250\ \ МГц$;

• найбільший струм бази $I_{Б\ \ МАХ} = 0.02\ \ A$;

• найбільший струм колектора $I_{К\ \ МАХ} = 0.05\ \ A$;

• найбільша напруга КЕ $U_{КЭ\ \ МАХ\ \ ДОП} = 65\ \ B$;

• потужність $P_{К\ \ СПР} = 0.1\ \ Вт$;

• $\beta_O = 5...250$;

Підвищення стабільності режиму транзистора досягається в цій схемі ціною підвищення витрати енергії і зменшення вхідного опору.

Визначимо такі характеристики активного елемента:

- опір бази: $r'_Б = \xi \dfrac{\tau_К}{C_К} = 3 \cdot \dfrac{950пс}{10пФ} = 285\ \ Ом$;

- опір рекомбінації: $r_P = \dfrac{2 \cdot \varphi_T}{I_{Б\ \ МАХ}} = \dfrac{2 \cdot 0.026}{0.012A} = 9\ \ Ом$;

- $\beta = \dfrac{f_T}{f_O} = \dfrac{250МГц}{110МГц} = 2.273$;

- крутизна прохідної характеристики: $S = \dfrac{\beta}{r'_Б + r_P} = \dfrac{2,273}{285Ом + 9Ом} = 0.007\ \ A/B$;

Задаємося опором R3 і опором подільника:

$$R3 = \frac{(25...30)}{S_{ПРОХ\ \ ХАР}} = \frac{28}{0.007} = 3500\ \ Ом; \text{E192}$$

$$R_{ДЕЛ} = (3...5) \cdot R3 = 3 \cdot 3500Ом = 10500\ \ Ом;$$

Вхідний опір емітерного повторювача визначається як:

$$R_{BX\ \ ЭП} = \left(R_{ДЕЛ} \| R_{BX}\right),$$

звідси

$$R_{BX} = \frac{R_{ДЕЛ} \cdot R_{BX\ \ ЭП}}{R_{ДЕЛ} - R_{BX\ \ ЭП}} = \frac{10{,}5 \cdot 1{,}5}{10.5 - 1.5} = 1750\ Ом;$$

$$R_{ЭП} = r'_Б + (1+\beta)\left(r'_K \| (r_Э + R_Э) \| R_H\right)$$

$r_Э, r'_K$- можна знехтувати бо $r_Э >> R_Э$, и $r'_K << R_Э$, тоді визначимо необхідне значення R_H. В нашому випадку $R_H = R_Ф$.

$$R_Ф = \frac{(R_{BX} - r'_Б)R3}{R3(1+\beta) - (R_{BX} - r'_Б)} = \frac{(1750 - 285)3500}{3500 \cdot (1 + 2.273) - (1750 - 285)} = 513\ Ом; \quad (1.59)$$

Визначимо коефіцієнт підсилення емітерного повторювача:

$$K_I = (1+\beta)\frac{R_Г}{R_Г + R_{BX}} \cdot \frac{R_Э \| r'_K}{R_Э \| r'_K + R_H} = (1 + 2.273)\frac{700Ом}{700Ом + 1750Ом} \cdot \frac{3500Ом}{3500Ом + 513Ом} = 2{,}58;$$

$$K_U = \frac{(1+\beta)\left(R_Э \| r'_K \| R_H\right)}{R_Г + r'_Б + (1+\beta)\left(R_Э \| r'_K \| R_H\right)} = \frac{(1 + 2{,}273)(3500Ом \| 513Ом)}{700Ом + 285Ом + (1 + 2{,}273)(350Ом \| 513Ом)} = 0{,}5;$$

Коефіцієнт передачі по потужності:

$$K_P = K_U \cdot K_I = 0.5 \cdot 2.58 = 1{,}29 \quad (1.60)$$

$$P_{ВЫХ} = P_{BX} K_P = 27мВт * 1{,}4 = 37\ мВт;$$

Вихідний опір емітерного повторювача:

$$R_{ВЫХ} = R_Э + \frac{R_Г + r'_Б}{1+\beta} = 3500Ом + \frac{700Ом + 285Ом}{1+2{,}273} = 3800\ Ом;$$

Розрахуємо елементи базового подільника:

$$I_{ЭО} = \frac{0{,}5E_К}{R_Э} = \frac{0{,}5 \cdot 28В}{3500Ом} = 4\ мА;$$

$$I_{БО} = \frac{I_{ЭО}}{\beta_О + 1} = \frac{4мА}{35+1} = 0{,}11\ мА;$$

$$R2 = \frac{E_К R_{ДЕЛ}}{E_К - E_Б - I_{БО}R_{ДЕЛ} - I_{"О}R3} = \frac{28В \cdot 10500\ Ом}{28В - 0.561В - 0{,}11мА \cdot 10500\ Ом - 4мА \cdot 3500\ Ом} =$$

$$= \frac{40500}{5{,}198} = 7800\ Ом;$$

$$R1 = \frac{R_{ДЕЛ} \cdot R2}{R_{ДЕЛ} - R2} = \frac{10500 \cdot 7800}{10500 - 7800} = 30333\ Ом;$$

Тепер зробимо розрахунок фільтра.

В якості фільтрів використовуємо систему з двох зв'язаних контурів рис. 1.20.

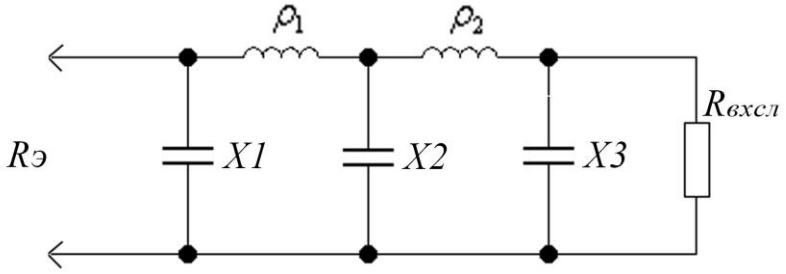

Рисунок 1.20 – Схема фільтра.

Задаємося добротністю навантаженого фільтра $Q_Н = 4$, і не навантаженого $Q_{НЕН} = 100$.

Визначаємо мінімальний опір на навантаженні

$$R_{H\ \ MIN} \geq \frac{R_Э}{\left(Q^2{}_{HEH} - 1\right)^2} = \frac{513}{(16-1)^2} = 2.28\ \ Ом \qquad (1.61)$$

Опір навантаження збігається з вхідним опором наступного каскаду

$$R_H = R_{вхсл} = r'_Б + r_P = 5Ом + 0{,}57Ом = 5{,}57\ \ Ом > 2.28\ \ Ом = R_{H\ MIN}$$

Зробимо розрахунок параметрів фільтра

1. $R_{CP} = \sqrt{R_Э \cdot R_H} = \sqrt{513Ом \cdot 5.57Ом} = 53\ \ Ом;$
2. $X1 = \frac{R_Э Q_H + R_{CP}}{Q^2 - 1} = \frac{513Ом \cdot 4 + 53Ом}{4^2 - 1} = 140\ \ Ом;$
3. $X3 = \frac{R_H Q_H + R_{CP}}{Q_H{}^2 - 1} = \frac{5{,}57Ом \cdot 4 + 53Ом}{4^2 - 1} = 5\ \ Ом;$
4. $X2 = \frac{X1X3}{R_{CP}} = \frac{140Ом \cdot 5Ом}{53Ом} = 13{,}2\ \ Ом;$
5. $\rho_1 = X1 + X2 = 140Ом + 5Ом = 145\ \ Ом;$
6. $\rho_2 = X2 + X3 = 13{,}2Ом + 5Ом = 18{,}2\ \ Ом;$

Визначимо добротність розрахованого фільтра:

$$Q = \frac{\sqrt{\rho_1 \rho_2}}{X2} = \frac{\sqrt{145Ом \cdot 18{,}2Ом}}{13{,}2Ом} = 1{,}99 = 3{,}89 \approx 4; \qquad (1.62)$$

ККД фільтра: $\eta = 1 - \frac{2Q}{Q_{XX}} = 1 - \frac{8}{100} = 0{,}92;$

Розрахунок номіналів елементів фільтра:

$$C1 = \frac{1}{2\pi f_O X1} - C_K = \frac{1}{6.28 \cdot 110 МГц \cdot 140 Ом} - 7 пФ = 108\ пФ;$$

$$C2 = \frac{1}{2\pi f_O X2} = \frac{1}{6.28 \cdot 110 МГц \cdot 13{,}2 Ом} = 109\ пФ;$$

$$C3 = \frac{1}{2\pi f_O X3} = \frac{1}{6.28 \cdot 110 МГц \cdot 5 Ом} = 289\ пФ;$$

$$L1 = \frac{\rho_1}{2\pi f_O} = \frac{145 Ом}{6.28 \cdot 110 МГц} = 20\ нГн;$$

$$L2 = \frac{\rho_2}{2\pi f_O} = \frac{18{,}2 Ом}{6.28 \cdot 110 МГц} = 26\ нГн;$$

Подібним чином проводяться розрахунки решти каскадів передавача.

1.5 Вибір елементної бази

Для реалізації передавача обрано резистори С2–23 тому, що вони за своїми параметрами (потужність розсіювання, габаритні розміри, напрацювання на відмову, робочій температурі) підходять найкраще, вони є найбільш поширеними і дешевшими в порівнянні з аналогами. Це є постійні резистори з металодіелектричним провідним шаром, загального призначення.

Використаємо резистори потужністю 0,125 Вт. При цьому діапазонон опорів становить від 1 Ом до $3 \cdot 10^6$ Ом. Шуми не перевищують 5 мкВ/В. Найбільша робоча напруга становить 100 В.

В передавачі використано конденсатори постійної ємності К10–17 та полярні конденсатори К50–35.

Конденсатори К10–17–2б – керамічні постійної ємності. Призначені для роботи в електричних колах постійного та пульсуючого струмів.

Для них робоча напруга сановить 25 В; діапазон ємностей становить від $2{,}2–1 \cdot 10^4$ пФ (проміжні значення номінальних ємностей для допуску ±10% відповідають ряду Е24), найбільша напруга 100 В;

Конденсатори К50–35 – оксидні полярні.

Добре праюють в електричних колах постійного та пульсуючого струму, робоча напруга становить 25 або 50 В, діапазон ємностей становить від 10 то 10000 мкФ

Вибрані типи резисторів і конденсаторів володіють хорошими температурними і іншими параметрами, тому їх застосування є обґрунтованим.

Варикап вибрано типу КВ110.

КВ110 – варикапи кремнієві епітаксійно-планарні. Випускаються в скляному корпусі з гнучкими виводами (рис. 1.21).

Маса варикапа не більше 0,25 м.

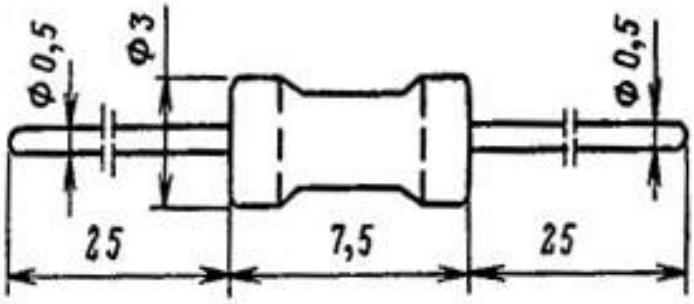

Рисунок 1.21 – Габаритні розміри варикапа КВ110

Технічні характеристики:

- ємність варикапа при Uзвор = 4 В, f = 1 ÷ 10 МГц:

2В110А, 2В110Г, КВ110А, КВ110Г - від 12 до 18 пФ;

2В110Б, 2В110Д, КВ110Б, КВ110Д - від 14,4 до 21,6 пФ;

2В110В, 2В110Е, КВ110В, КВ110Е - від 17,6 до 26,4 пФ;

- добротність при Uзвор = 4 В, f = 50 МГц, не менше:

2В110А, 2В110Б, 2В110В, КВ110А, КВ110Б, КВ110В – 300;

2В110Г, 2В110Д, 2В110Е, КВ110Г, КВ110Д, КВ110Е – 150;

- постійний зворотний струм при Uзвор = 45 В:

при 298 К - 1 мкА;

при 213 К - 15 мкА;

при 398 К - 100 мкА;

- ємність корпусу, не більше 0,1 пФ;

- індуктивність виводів на відстані 5 мм від корпусу – 10 нГн.

Граничні експлуатаційні дані:

- постійна зворотна напруга – 45 В;

- постійна розсіювана потужність при температурі:

від 213 до 323 К - 10 мВт;

при 398 К - 25 мВт.

Транзистори вибрано КТ931А, КТ922Б, КТ606А, КТ610Б та КТ315И.

Транзистори КТ931А – кремнієві епітаксійно-планарні, генераторні (рис. 1.22).

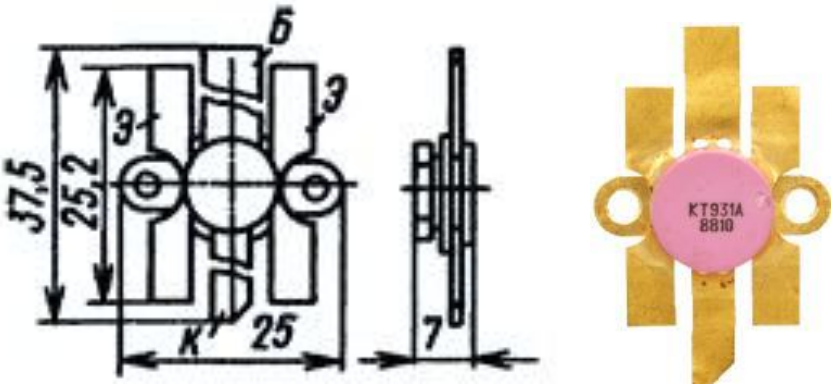

Рисунок 1.22 – Габаритні розміри транзистора КТ931

Призначені для застосування в широкосмугових підсилювачах потужності, помножувачах частоти і автогенераторах на частотах 50 ... 200 МГц.

Мають металокерамічний корпус. Усередині корпусу є узгоджуюча LC-ланка.

Маса транзистора не більше 7 м.

Основні технічні характеристики транзистора КТ931А:

- структура n-p-n;

- найбільша потужність розсіювання колектора: 150 Вт;

- найбільша частота для схеми СЕ більше 250 МГц;

- найбільша напруга КЕ 60 В;

- найбільша напруга ЕБ 4 В;

- найбільший струм колектора: 15 А;

- зворотний струм КЕ до 30 мА;

- h_{21e} більше 25;

Транзистори КТ922Б – кремнієві епітаксійно-планарні, генераторні (рис. 1.23).

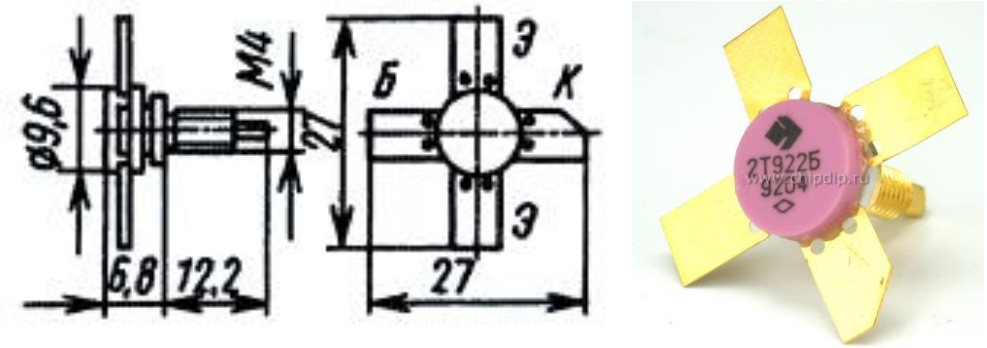

Рисунок 1.23 – Габаритні розміри транзистора КТ922

Електричні параметри транзистора були наведені вище.

Транзистори КТ606А – кремнієві епітаксійно-планарні, генераторні (рис.1.24).

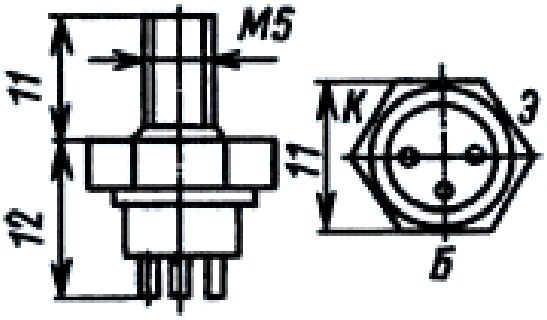

Рисунок 1.24 – Габаритні розміри транзистора КТ606А

Електричні параметри транзистора були наведені вище.

Транзистори КТ610Б – кремнієві епітаксійно-планарні, підсилювальні (рис.1.25).

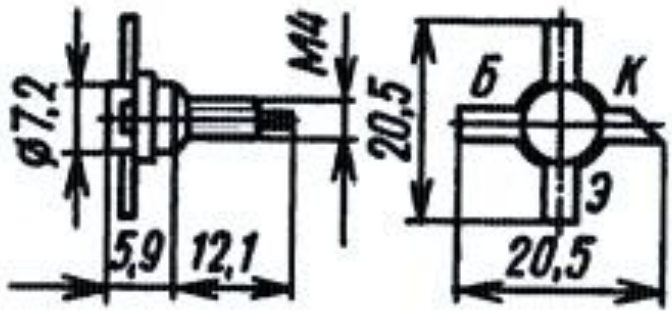

Рисунок 1.25 – Габаритні розміри транзистора КТ610Б

Призначені для застосування в підсилювачах напруги та потужності.

Електричні параметри транзистора були наведені вище.

Транзистор КТ315 – кремнієвий високочастотний біполярний транзистор малої потужності n-p-n провідності в корпусі КТ-13 (рис.1.26).

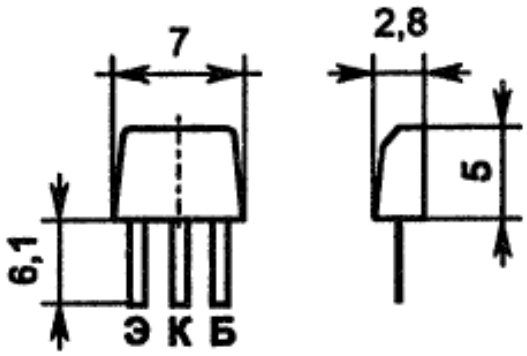

Рисунок 1.26 – Габаритні розміри транзистора КТ315

Технічні характеристики:

- зворотний струм колектора при $U_{КБ}$ = 10 В – 1 мкА;
- зворотний струм емітера при $U_{ЕБ}$ = 5 В – 30 мкА;
- вихідний опір $h11_Б$ – 40 Ом;
- коефіцієнт передачі струму $h21_Е$ – 50 ... 350;
- вихідна повна провідність $h22_Б$ – 0.3 мкСм;
- режим вимірювання h-параметрів:

  напруга колектора $U_К$ – 10 В,

  струм колектора $I_К$ – 1 мА;

- гранична частота коефіцієнта передачі $f_{гр}$ – 250 МГц;
- ємність колекторного переходу $C_К$ – 7 пФ;
- постійна часу $\tau_К$ – 300 пс;
- діапазон робочих температур – +100 ... -55 ˚С.

1.6 Розробка компоновки та монтажу

В роботі використано склотекстоліт – СФ-2-35 двосторонній. Для автоматизації процесу виготовлення плати на станках з комп'ютерним управлінням компоненти розміщуються по сітці з кроком 0,5 мм. Діаметр усіх отворів вибирати з умови: при діаметрі виводу радіоелементу до 0,8мм діаметр отвору на 0,2-0,3мм більший діаметру виводу, при діаметрі виводу більше 0,8мм – на 0,3-0,5мм більше, що забезпечує надійну фіксацію компонентів на друкованій платі. Для виключення можливості відривання контактних площадок від друкованої плати потрібно вибрати мінімальний їх діаметр, що забезпечує потрібну міцність кріплення.

Усі технічні вимоги для виготовлення друкованих плат повинні відповідати ОСТ4.ГО.005.051.

Розглянемо детальніше конструктивні особливості розроблюваного пристрою. В конструкції друкованого вузла використані радіоелементи тільки з штирьовими виводами, як це показано на рис. 1.27 (встановлені з одного боку ДП).

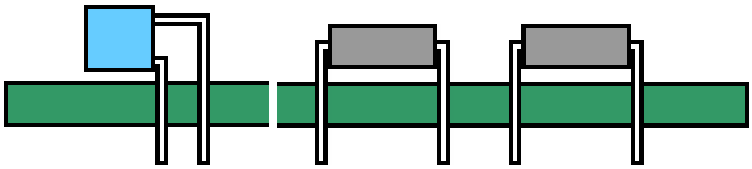

Рисунок 1.27 – Встановлення елементів з штирьовими виводами

В результаті розрахунку друкованої плати розраховуються параметри провідників плати: іаметри отворів, розміри контактних площадок, мінімальні відстані для прокладки даного числа провідників між двома отворами.

Діаметри монтажних отворів для другого класу точності, якоу повинна задовольняти топологія друкованої плати проектованого передавача, знаходяться наступним чином:

$$d = d_e + |\Delta d_{н.в}| r, \qquad (1.63)$$

де d_e – найбільший можливий діаметр виводу;

$\Delta d_{н.в..}$ – нижній допуск діаметра отвору;

r – різниця між діаметрами отвору і виводу (0,1÷0,4 мм).

Найбільші значення діаметрів виводів:

- для резисторів:

$$d_e = 0{,}6\ мм;$$

- для конденсаторів:

$$d_e = 0{,}5\ мм;$$

- для діодів:

$$d_e = 0{,}6\ мм;$$

- для транзисторів:

$$d_e = 0{,}6\ мм;$$

- для мікросхеми:

$$d_e = 0{,}5\ мм.$$

r приймаємо 0,2 мм, і приймаємо $\Delta d_{н.в.} = 0{,}1 мм$. Тоді діаметри монтажних отворів:

- для резисторів $d_1 = 1 мм$;

- для конденсаторів $d_2 = 0{,}8 мм$; $d_3 = 0{,}8 мм$;

- для діодів $d_4 = 1мм$;

- для транзисторів $d_5 = 1мм$; $d_6 = 1мм$; $d_7 = 1{,}1мм$; – приймаємо 1,3 *мм;*

- для мікросхеми $d_8 = 0{,}8мм$;

Діаметри контактних площадок знаходимо наступним чином:

$$D = \left(d + \Delta d_{в.в.}\right) + 2в + \Delta t_{в.в.} + 2\Delta d_{тр} + \sqrt{\delta d^2 + \delta p^2 + \Delta t_{н.в.}}, \qquad (1.64)$$

де d – діаметр отвору,

$\Delta d_{в.в.}$ – верхній допуск діаметру отвору;

$в$ – гарантований поясок;

$\Delta t_{в.в}$ – верхній допуск ширини провідника,

$\Delta d_{тр}$ – допуск підтравлення діелектрика;

δd – допуск позиціонування отворів;

δp – допуск позиціонування контактних площадок;

$\Delta t_{н,в,}$ – нижній допуск ширини провідника.

Для отворів d= 0,8 *мм*, 1 *мм*:

δd=0,3 *мм;* δp=0,2 *мм;* $d_{в.в.}$=0,1 *мм*; $\Delta t_{в.в}$= 0,1 *мм;* $\Delta t_{н,в,}$=0,1 *мм;*

$\Delta d_{тр}$ =0,03 *мм;* $в$=0,2 *мм.*

Отже, найменший діаметр контактної площадки для отвору d=0,8 *мм,* становитиме:

$$D_1 = (0.8 + 0.1) + 2 \cdot 0.2 + 0.1 + 2 \cdot 0.03 + \sqrt{0.2^2 + 0.3^2 + 0.1^2} = 1.8мм,$$

а для отворів діаметром d=1*мм*

$$D_2 = (1 + 0.1) + 2 \cdot 0.2 + 0.1 + 2 \cdot 0.03 + \sqrt{0.2^2 0.3^2 0.1^2} = 2мм.$$

Для отворів діаметром d=1,3*мм:*

δd=0,2 *мм;* δp=0,3 *мм;* $d_{в.в.}$=0,15 *мм*; $\Delta t_{в.в}$ = 0,1 *мм;* $\Delta t_{н,в,}$=0,1 *мм;*

$\Delta d_{тр}$ =0,03 *мм;* *в*=0,2 *мм*..

Тому, найменший діаметр площадки для отвору діаметром d=1,3*мм,* обчислений за формулою (1.64), буде рівний

$$D_3 = (1{,}3 + 0{,}15) + 2 \cdot 0{,}2 + 0.1 + 2 \cdot 0{,}03 + \sqrt{0{,}2^2 \cdot 0{,}3^2 \cdot 0{,}1^2} = 2.4мм.$$

Визначення номінального значення ширини провідника t здійснюється за формулою:

$$t = t_{м.д.} + |\Delta t_{н.о}|, \qquad (1.65)$$

де $t_{м.д.}$ – мінімальна допустима ширина провідника,

$\Delta t_{н.о.}$ – допуск на ширину провідника, $\Delta t_{н.о.}$ = 0.1 *мм.*

Сумарний струм споживання, при споживаній потужності 36 Вт, становить:

$$I_{сп\Sigma} = 0{,}17A$$

Приймаємо t=0,3*мм.* Згідно вибраного 2–го класу точності друкованої плати вибираємо $t_{м.д.}$=0,45 *мм*, тоді:

$$t = 0{,}45 + 0{,}1 = 0{,}55(мм)$$

Відстань між провідними елементами визначаємо, користуючись формулою :

$$S = S_{м.д.} + \Delta t_{в.в.} \delta\ell, \qquad (1.66)$$

де $S_{м.д}$ – мінімальна допустима віддаль між сусідніми елементами провідного рисунку;

$\delta\ell$ – допуск на розміщення провідників.

Вибираємо $\delta\ell - 0.1мм, \Delta t_{в.в.}, S_{м.д.} = 0{,}45мм.$ Тоді, за формулою знайдемо відстань між провідними елементами:

$$S = 0{,}45 + 0{,}1 + 0{,}1 = 0{,}65(мм)$$

Для знаходження мінімальної відстані ℓ для прокладки n провідників, які проходитимуть між сусідніми контактними площадками D_1 і D_2 визначаються за формулою :

$$\ell = \frac{D_1 + D_2}{2} + t_n + S(n+1) + \delta\ell, \qquad (1.67)$$

де n – число провідників,

t_n – найменша ширина провідника;

$\delta\ell$ – допуск на розміщення провідників;

S –відстань між близькими провідними елементами.

Для D_1=1,8 *мм* і D_2=2 *мм.*

$$\ell = \frac{1{,}8+2}{2} + 0{,}45 + 0{,}45 \cdot 2 + 0{,}1 = 3.35(мм)$$

Для отворів D_1=2 *мм* і D_2=2,4 *мм.*

$$\ell = \frac{2+2{,}4}{2} + 0{,}45 + 0{,}45 \cdot 2 + 0{,}1 = 3{,}65(мм)$$

Для отворів однакового діаметру:

$$D_1 = D_2 = 1{,}8мм : \ell_{11} = 3{,}25(мм), \quad D_1 = D_2 = 2мм : \ell_{22} = 3{,}45(мм),$$
$$D_1 = D_2 = 2{,}4 : \ell_{33} = 3{,}85(мм),$$

Знаючи всі конструктивні параметри елементів друкованого вузла проведено проектування топології друкованої плати та власне друкованого вузла передавача з допомогою САПР P-CAD 2002. Оформлення кінцевих креслень проводилось із використанням програми Компас. Так, на рис. 1.28 наведено креслення друкованої плати.

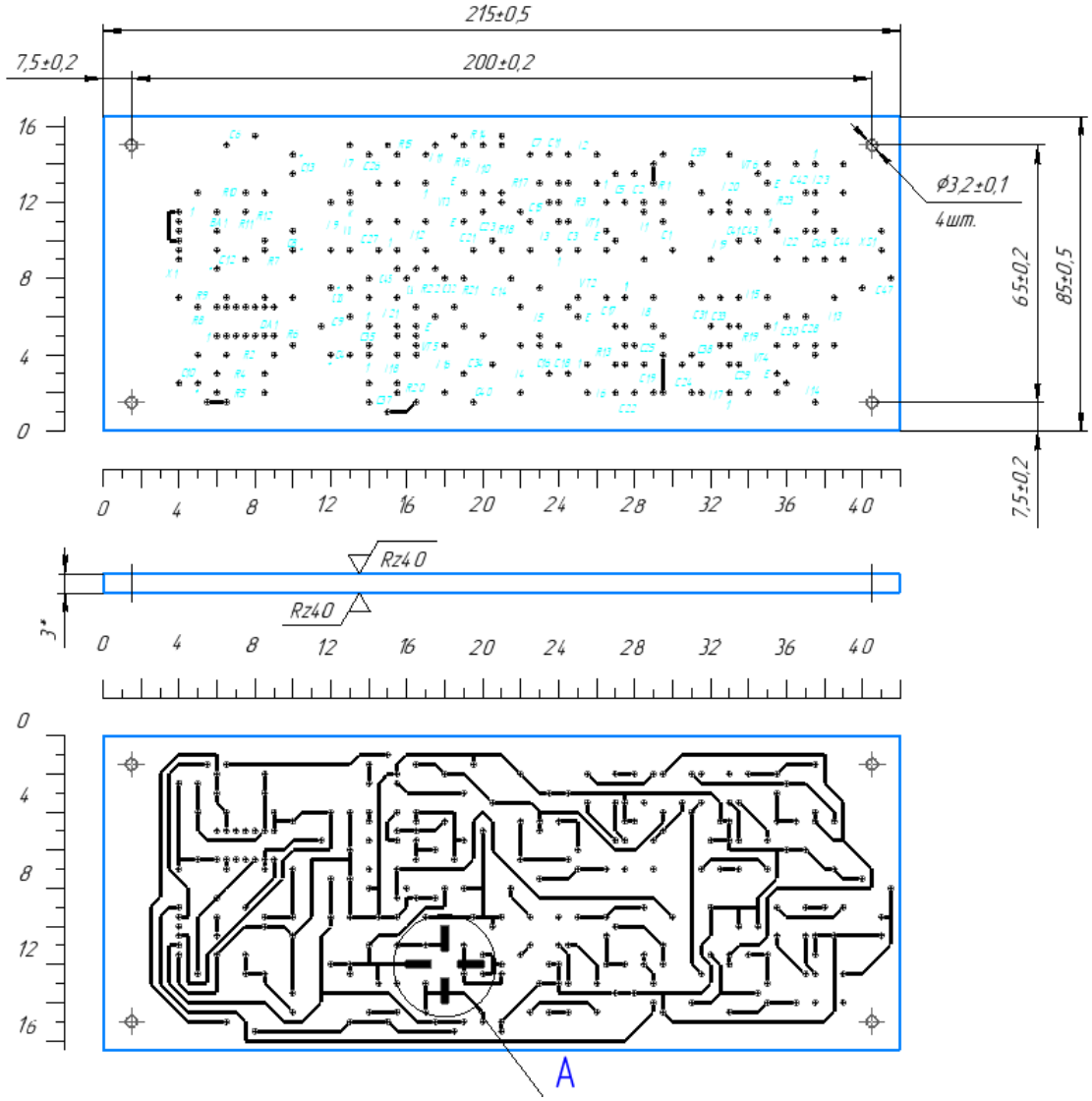

Рисунок 1.28 – Креслення друкованої плати

Топологія друкованої плати фактично є односторонньою, за винятком чотирьох провідників з протилежної сторони друкованої плати. При проектуванні елементи розміщувались на поверхні друкованої плати блоково: екремо елементи вихідного каскада, окремо елементи проміжних каскадів, окремо елементи автогенератора тощо. В результаті отримано складальне креслення друкованого вузла. Воно наведене на рис. 1.29.

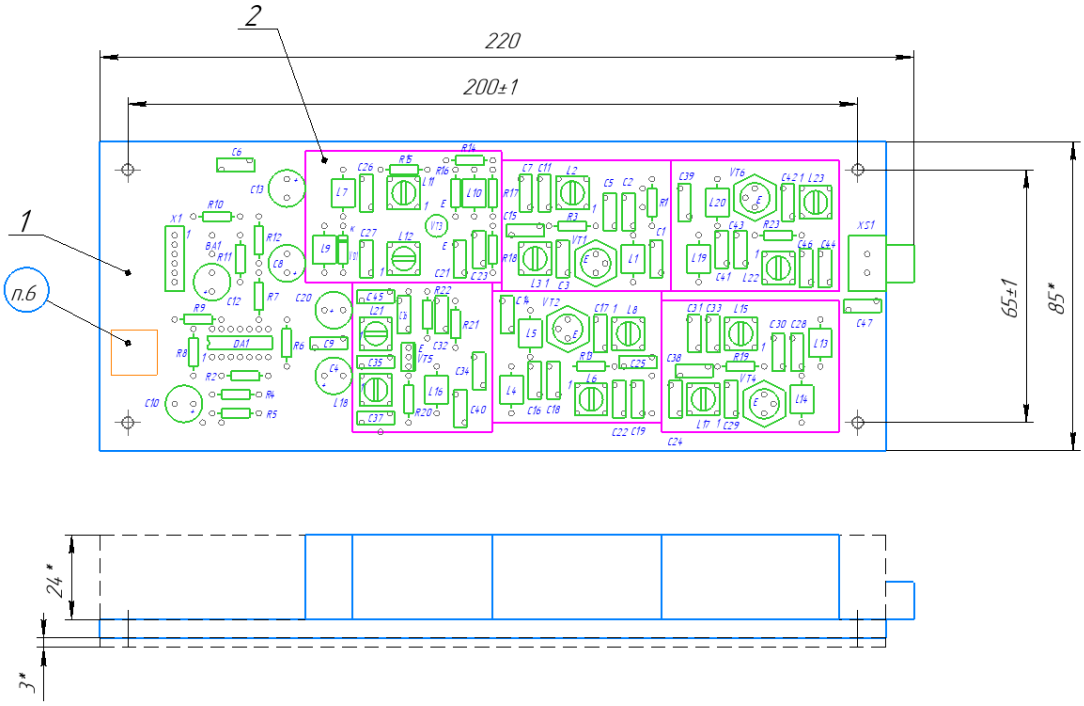

Рисунок 1.29 – Креслення друкованого вузла

Додатково на кресленні вказано способи встановлення нестандартних елементів, маркування, позначення децимальних номерів, габаритні та кріпильні розміри тощо.

1.7 Висновки до розділу 1

В основній частині проведено: аналіз технічного завдання, аналіз методів отримання FM сигналів, проектування структурної та функціональної схеми детектора, побудова та параметричний синтез схеми електричної принципової, вибір елементної бази та розробка компоновки та монтажу приймача FM сигналів.

2 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

2.1 Основні вимоги до побудови і функціонування системи управління охороною праці

Забезпечення функціонування та побудова системи управління охороною праці (СУОП) в організації. Положення про СУОП, структура та зміст його розділів.

В Україні функціонує багаторівнева СУОП, функціональними ланками якої є відповідні структури державної законодавчої і виконавчої влади різних рівнів, управлінські структури підприємств і організацій, трудових колективів.

Залежно від спрямування вирішуваних завдань всі ланки СУОП можна розділити на дві групи:

• ланки, що забезпечують вирішення законодавчо-нормативних, науково- технічних, соціально-економічних та інших загальних питань охорони праці;

• ланки, до функціональних обов'язків яких входить забезпеччення безпеки праці в умовах конкретних організацій, підприємств.

До першої групи належать органи державної законодавчої ініціативи та органи державного управління охороною праці:

- Верховна Рада України;
- Кабінет Міністрів України;
- Державна служба гірничого нагляду та промислової безпеки України (Держгірпромнагляд України);
- міністерства та інші центральні органи державної виконавчої влади;
- Фонд соціального страхування від нещасних випадків і профзахворювань;
- місцева державна адміністрація, органи місцевого самоврядування.

Верховна Рада України зі своєї ініціативи у взаємодії з відповідними структурами державної виконавчої влади визначає державну політику в сфері охорони праці, вирішує питання щодо удосконалення і розвитку законодавчої бази охорони праці, соціальні питання, пов'язані зі станом умов і охорони праці.

Кабінет Міністрів України забезпечує реалізацію державної політики в сфері охорони праці, виходячи із стану охорони праці в державі, організує розробку загальнодержавних програм відповідно до поліпшення цього стану, затверджує ці програми і контролює їх виконання, визначає функції органів виконавчої влади щодо вирішення питань охорони праці і нагляду за охороною праці.

Для вирішення цих питань при Кабінеті Міністрів України функціонує Національна рада з питань безпечної життєдіяльності населення, яку очолює віце- прем'єр-міністр України.

Держгірпромнагляд України здійснює комплексне управління охороною праці на державному рівні, реалізує державну політику в цій сфері, розробляє за участі відповідних органів державної програми в сфері охорони праці, координує роботу державних органів і об'єднань підприємств із питань безпеки праці, розробляє і переглядає разом з компетентними органами систему показників і обліку умов і безпеки праці, здійснює міжнародне співробітництво з питань охорони праці і нагляд за охороною праці в державі тощо.

Рішення Держгірпромнагляду України, що відноситься до її компетенції, обов'язкові для виконання всіма міністерствами, іншими центральними органами державної виконавчої влади, місцевими державними адміністраціями, місцевими радами народних депутатів і підприємствами.

Фонд соціального страхування від нещасних випадків здійснює профілактику нещасних випадків і профзахворювань, а також координацію всієї страхової діяльності, пов’язаної з охороною праці.

Міністерство праці і соціальної політики України здійснює також державну експертизу умов праці, визначає порядок і здійснює контроль за якістю проведення атестації робочих місць згідно з їх відповідністю нормативним актам про охорону праці, бере участь у розробці нормативних документів про охорону праці.

Інші міністерства і центральні органи державної виконавчої влади як ланки системи управління охороною праці визначають науково-технічну політику галузі з питань охорони праці, розробляють і реалізують комплексні заходи щодо поліпшення безпеки праці, здійснюють методичне керівництво діяльністю підприємств галузі з охорони праці, співробітничають з галузевими профспілками щодо вирішення питань безпеки праці, організовують у встановленому порядку навчання і перевірку знань правил і норм охорони праці керівниками і фахівцями галузі, створюють, у разі необхідності, професійні воєнізовані аварійно-рятувальні формування, здійснюють внутрішній контроль за станом охорони праці.

Для забезпечення виконання перелічених функцій в апаратах міністерств і інших центральних органів державної виконавчої влади створюються служби охорони праці.

Місцеві державні адміністрації й органи місцевого самоврядування в межах підвідомчої їм території забезпечують реалізацію державної політики в сфері охорони праці, формують за участі профспілок місцеві програми заходів щодо поліпшення безпеки, гігієни праці і виробничого середовища, здійснюють контроль за дотриманням нормативних актів про охорону праці. Для забезпечення виконання названих функцій при місцевих органах державної виконавчої влади створюються відповідні структурні підрозділи.

Управлінські структури підприємств забезпечують в умовах конкретних виробництв реалізацію вимог законодавчих і нормативних актів про охорону праці з метою створення безпечних і нешкідливих умов праці, попередження виробничого травматизму і професійних захворювань, вирішують весь

комплекс питань з охорони праці, пов'язаних з даним виробництвом. У своїй діяльності стосовно охорони праці управлінські структури підприємств взаємодіють з комісією з питань охорони праці підприємства (за наявності такої), з профспілками підприємства та уповноваженими трудових колективів.

СУОП в умовах конкретної організації, на конкретному об'єкті завжди є багаторівневою системою управління, у якій верхнім рівнем є державне управління, а нижнім - управління охороною праці на конкретному об'єкті. Як проміжні рівні управління можуть виступати відомче, регіональне управління, а також управління в об'єднанні, тресті тощо.

Слід зазначити, що вихідні параметри СУОП визначаються, виходячи з вимог норм, правил, проектної документації, аналізу фактичного стану виробничої ситуації і ряду факторів виробничого середовища, тому СУОП варто віднести до категорії звичайних, багатоконтурних систем, які піддаються програмуванню. Багатоконтурність систем управління в даному випадку пояснюється складністю об'єкта управління, його великою інерційністю, складністю і інерційністю реалізації управліньських впливів.

Правовою основою СУОП є: Конституція України, Кодекс законів про працю України, Закони України «Про охорону праці» і «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві і професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності», накази і розпорядження Президента України, розпорядження і постанови Кабінету Міністрів, Держгірпромнагляд, Міністерства охорони здоров'я, Міністерства праці і соціальної політики, а також інших директивних органів України з питань охорони праці (органи Державного управління охороною праці).

Позитивна дія впровадження систем управління охороною праці (СУОП) на рівні організації як на зниження небезпек і ризиків, так і на продуктивність, нині визнана урядами, роботодавцями і працівниками.

2.2 Надзвичайні екологічні ситуації та екологічний ризик

Особливу роль у житті людини відіграють надзвичайні ситуації, що виникають під час стихійних лих або техногенних катастроф. Разом із соціальними та економічними збитками надзвичайні ситуації завдають також екологічної шкоди, що відображається в руйнуванні й деградації природних систем, забрудненні повітря, водойм і ґрунтів. У результаті виникають надзвичайні екологічні ситуації. Надзвичайні екологічні ситуації — ті ситуації, що виникають унаслідок раптових природних лих або техногенних аварій і супроводжуються великими збитками. Характерними особливостями цих ситуацій є велика гострота прояву, значні відхилення показників навколишнього середовища від норми (перевищення граничнодопустимих концентрацій (ГДК) забруднювальних речовин у сотні, тисячі й навіть десятки тисяч разів); ураганні швидкості вітру; затоплення селітебних територій (населених пунктів); виникнення катастрофічних селевих потоків та ін.

Звичайно, такі відхилення тривають недовго — години, дні, десятки днів, іноді більше. Потім ступінь гостроти екологічного стану зменшується, хоча може залишатися досить високим. Отже, поняття надзвичайна екологічна ситуація та катастрофічна екологічна ситуація розрізняються тим, що перша триває порівняно недовго, але настає раптово та характеризується виключно високими відхиленнями стану навколишнього середовища від норми, а друга — досить тривала (як правило, роки), але має меншу гостроту прояву.

Надзвичайна ситуація за певних обставин може перетворитися на катастрофічну. Наприклад, ситуація у Чорнобильській зоні. Протягом майже місяця радіаційна обстановка в Чорнобилі була надзвичайною. Після спорудження саркофага викиди радіоактивних елементів різко зменшилися, але забруднення до того часу охопило великі території. Таке високе радіаційне забруднення продовжується вже понад два десятиріччя. За оцінкою спеціалістів, екологічна ситуація в Чорнобильській зоні є катастрофічною.

Таким чином, надзвичайні екологічні ситуації відображаються у порушенні нормального функціонування природних і природно-антропогенних систем, пов'язаних із раптовими природними або техногенними впливами (стихійні лиха, катастрофи, аварії), що супроводжуються соціальними, економічними та екологічними збитками і потребують для ліквідації особливих управлінських рішень (рис. 1.2). Збитки виявляються у загибелі та пораненні людей, погіршенні їх здоров'я, руйнуванні матеріальних об'єктів, структури природних і природно-антропогенних систем, втраті їх природно-ресурсного і екологічного потенціалу. Довготривала надзвичайна ситуація зумовлює формування зони екологічної катастрофи або екологічного лиха.

Надзвичайні екологічні ситуації виникають унаслідок дії трьох основних груп факторів:

— свідомого руйнування природного середовища, походження техніки, погіршення становища економічних об'єктів під час війн і диверсійних актів;

— руйнівних катастроф, які виникають у зв'язку з некомпетентними та помилковими технічними рішеннями (наприклад, Чорнобильська аварія);

— природних стихійних явищ. Той факт, що різко збільшилися їх частота та інтенсивність в останні десятиріччя, спеціалісти пов'язують з антропогенною стимуляцією, що спричинює посилення відхилень природних процесів від нормального рівня коливань.

Економічні збитки, завдані у зв'язку з несприятливими і небезпечними природними процесами та явищами, значно збільшилися. За деякими оцінками, вони зростають швидше, ніж показники світового валового продукту, тобто може бути досягнута межа просторового і технологічного розвитку виробництва за його здатністю компенсувати збитки, які збільшуються, від несприятливих і небезпечних явищ. Первинні процеси, що виникають у природному середовищі внаслідок цих факторів, посилюватимуться або послаблюватимуться залежно від природної

обстановки (стійкість ландшафтів, погод ні умови, фаза коливань екосистеми тощо) і соціально-економічних умов (психологічна готовність і неготовність населення до ліквідації наслідків надзвичайної ситуації, технічна оснащеність спеціальних служб, економічні можливості та ін.). Таким чином, надзвичайні екологічні ситуації в більшості випадків мають комплексну природу.

Заходи щодо запобігання надзвичайним екологічним ситуаціям або подолання їх наслідків можна згрупувати у три класи:

— організаційні, серед яких розрізняють планувальні та оперативні;

— інженерно-технічні;

— технологічні.

Отже, заходи, спрямовані на запобігання надзвичайним екологічним ситуаціям та подолання, їх можна поділити на два типи: заходи, спрямовані на зниження піддатливості об'єктів небезпечним впливам, і заходи, спрямовані на зниження чутливості об'єктів до небезпечних впливів. У першому випадку здійснюють заходи з метою зовнішнього захисту об'єктів, виключення тих чи інших територій з використання у виробничих цілях тощо. Зниження чутливості об'єктів до небезпечних впливів досягається, насамперед, за рахунок досконаліших технологій, шляхом регулювання технологічних режимів у зв'язку з природними циклами, створення системи дублювання об'єктів, інформаційних систем і систем швидкого реагування.

Основні функції щодо запобігання надзвичайним екологічним ситуаціям та подолання їх на державному рівні виконують міністерства з надзвичайних ситуацій.

Ризик — це об'єктивне поняття, він пов'язаний практично з будь-якою діяльністю людини. Уміння усвідомлювати ступінь ризику дає змогу людині оцінити власні можливості й вибрати напрями поведінки при цьому. Під сутністю терміна ризик розуміють імовірність, по-перше, будь-якої небезпечної події; по-друге, негативних наслідків від неї та обсягу очікуваних збитків. Одні ризики конкретні, інші — не мають такого визначення. Існують

професійні ризики (наприклад, небезпека професійних захворювань) і такі, яких зазнає все населення (екологічний, економічний, геологічний, політичний ризики).

Предметом нашого дослідження є екологічний ризик, чіткого визначення якого досі немає. М.Ф. Реймерс вважає, що це ймовірність наслідків будь-яких (специфічних або випадкових, поступових або катастрофічних) антропогенних змін природних об'єктів і факторів[*22]. З екологічним ризиком пов'язані поняття екологічної безпеки і небезпеки. Ці альтернативні категорії стосуються населення як реципієнта дії навколишнього середовища за його відповідно несприятливого чи сприятливого статусу.

Екологічний ризик пов'язаний із такими групами факторів: 1) техногенними; 2) природними; 3) військовими; 4) соціально-економічними; 5) політичними; 6) тероризмом.

Техногенний екологічний ризик виникає у зв'язку з аваріями на ЛЕС, аваріями танкерів, на небезпечних хімічних виробництвах, під час руйнування гребель водосховищ тощо. Причинами аварій є інтенсивність технологічних процесів та зв'язків, висока концентрація виробництва, ресурсомісткість і багатовідходність технологій, погана оснащеність очисними й утилізаційними пристроями.

Природний екологічний ризик пов'язаний із ймовірністю вияву багатьох несприятливих природних явищ, таких як землетруси, вулканізм, селі, повені, цунамі та ін. Потрібно враховувати особливості геологічної будови (властивості гірських порід, наявність або відсутність розламів тощо), рельєфу (наприклад, посилення ризику забруднення в улоговинах), ландшафтів (ступінь їх стійкості до техногенних навантажень). Варто також зважати на сусідство цінних та унікальних природних об'єктів, територій особливого режиму охорони. Екологічний ризик збільшується за високої густоти населення, а також залежить від характеру сприйняття населенням подій, що

відбуваються. Відомо, що катастрофічні наслідки аварій і стихійних природних явищ різко зростають у результаті психологічної неготовності населення до таких подій.

Особливу групу факторів виникнення екологічного ризику становлять воєнні дії, які зумовлюють різноманітні зміни навколишнього середовища та безпосередньо впливають на людину й інші суб'єкти. Екологічний ризик пов'язаний також із соціально-економічними факторами. Йдеться про ймовірність виникнення несприятливих екологічних ситуацій у разі прийняття рішень про будівництво тих чи інших небезпечних об'єктів у зв'язку з соціальною й економічною потребами такого будівництва. До цієї категорії належить будівництво багатьох АЕС, створення небезпечних хімічних виробництв, транспортних систем. У деяких випадках аналогічні рішення пов'язані з політичними факторами.

Нині є та розробляється велика кількість науково обґрунтованих постанов, нормативів, правил, державних стандартів, за якими регламентується господарська діяльність, встановлюються граничнодопустимі концентрації шкідливих і токсичних компонентів у ґрунтах, підземних і поверхневих водах тощо. На основі цих документів та екологічного законодавства в Україні розроблено систему заходів на державному, відомчих та об'єктних рівнях, що регламентують ведення екологічно безпечної господарської діяльності, будівництво різних споруд, межі забруднення природного середовища в рамках не лише окремих локальних систем, а й великих регіонів, держави в цілому. Такі заходи можна об'єднати у три основні групи — соціально-організаційні, оцінювально-прогнозні та технічні. Усі види заходів взаємопов'язані і є основою для організації безпечної життєдіяльності. Якщо їх правильно дотримуватися, можна не тільки зберегти стан навколишнього середовища, а й поліпшити його, уникнути екологічно небезпечних явищ і катастроф, зумовлених антропогенно-техногенною діяльністю.

2.3 Висновки до розділу

В розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» описано основні вимоги до побудови і функціонування системи управління охороною праці, а також надзвичайні екологічні ситуації та екологічний ризик.

Висновки

В роботі проведено проектування передавача FM сигналів.

На основі аналізу існуючих способів побудови структурних схем подібних пристроїв розроблено структурну схему передавача FM сигналів.

Була проведена розробка та розрахунок схеми електричної принципової. Вибір компонентної бази проводився з врахуванням технічних та експлуатаційних характеристик пристрою.

Проведено розробку друкованої плати та друкованого вузла пристрою. При здійснені розробки пристрою було застосовано системи автоматизованого проектування. До них входять пакети програм Компас та P-Cad 2002. За допомогою середовища P-Cad проведено трасування друкованої плати та одержано складальне креслення друкованого вузла. В середовищі Компас проведено оформлення всієї графічної документації згідно діючих вимог ЄСКД.

Проведено аналіз охорони праці та безпеки в надзвичайних.

Список використаних джерел

1. Семенов Б.Ю. Силовая електроника для любителей и профессионалов.-М.:СОЛОН Р, 2001. - 321с.

2. Полупроводниковые приемно-усилительные устройства:Справ, радиолюбителя/ Р.М. Терещук, К.М. Терещук, С.А. Седов. - 4-е изд,, стер.- Киев: Наук. думка, 1988,-800с.: ил.-Библиогр.: с. 765-800.

3. П. Хоровиц, У. Хилл. Искусство схемотехники. 2.М: Мир, 1986. - -590 с.

4. Технологія і автоматизація виробництва радіоелектронної апаратури- М.: Радіо і зв'язок, 1989 - 263 с.: Іл.

5. Радиопередающее устройства : Учебник для вузов. / Л. А. Белов, М. В. Благовещенский, В. М. Богачев и др.; Под ред. М. В. Благовещенского, Г. М. Уткин. – М.: «Радио и связь», 1982. – 408 с., ил.

6. Радиопередающие и радиоприемные устройства / В. Г. Левичев. – М., «Воениздат», 1974. – 510 с.

7. Радиопередающее устройства : Учебник для техникумов / М. С. Шумилин, В. П. Севальнев, Э. А. Шевцов. – М.: «Высш. Школа», 1981.-293 с., ил.

8. Основа теории транзисторов и транзисторных схем. / И.П.Степаненко. - М., «Энергия», 1977. – 672 с. с ил.

9. Мощные полупроводниковые приборы. Транзисторы: Справочник. / Б. А. Бародин, В. М. Ломакин, В. В. Мокряком и др.; Под ред. А.В. Голомедова. - М., «Радио и связь», 1985. – 560 с., ил.

10. Полупроводниковые приборы. Транзисторы: Справочник. / В.А. Аронов, А. В. Баюков, А. А.Зайцев и др. Под общей редакцией Н. Н. Горюнова - М., «Энергоиздат», 1982. – 904 с., ил.

11. Транзисторы для аппаратуры широкого применения: Справочник. / К. М. Бережнева, Е. И. Гантман, Т. И. Давыдова и др. Под общей редакцией Б. Л. Перельман – М., «Радио и связь», 1981. – 656 с., ил.

12. Проектирование радиопередающих устройств: Учебник для вузов. / В. В. Шахгильдян, И. А. Попов и др.: Под редакцией В. В. Шахгильдяна. – М., «Радио и связь», 1984. – 424 с., ил.

13. Радиопередающие устройства связи и вещания: Учебник для техникумов. / О. Л. Муравьев – М., «Радио и связь», 1983. – 352 с., ил.

14. Проектирование радиопередающих устройств малой и средней мощности. / М. В. Верзунов, Е.Г. Лапицкий, А.М. Семеновский, Л.Н. Сосновский. - Л., «Энергия», 1967. – 376 с. с ил.

15. Справочник по акустике / Под ред. М. А. Сапожкова ; – М., «Связь», 1983. – 352 с., ил.

ДОДАТКИ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедрою РТ
_____ к.т.н. Дунець В.Л.
“27” травня 2022 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

На тему: «Передавач FM сигналів»

Узгоджено:

Керівник кваліфікаційної роботи

Дедів І.Ю._____

“____”_____2022 р.

“ВИКОНАВЕЦЬ”

Студент групи РАс-41

Багрій М.В. _____

“____”_____2022 р.

Тернопіль 2022

1 НАЗВА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ Й ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

1.1 Назва: “Передавач FM сигналів”

1.2 Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ по університету на затвердження дипломного проекту № 4/7-445 від 27.05.2021 р.).

2 ВИКОНАВЕЦЬ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

2.1. Студент Багрій М.В. групи РАс-41, кафедри радіотехнічних систем, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

3 МЕТА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Метою роботи є розробка передавача FM сигналів, що включає в себе:

– вибір апаратного забезпечення для даного пристрою;

– вибір елементної бази розроблювального пристрою;

– розрахунок і вибір компонентів для оптимальної роботи пристрою;

– розробку друкованої плати та друкованого вузла.

4 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

- несуча частота: $f_O = 110\ \ МГц$;

- смуга модульованого сигналу: $\Delta F = 300...10000\ \ Гц$;

- схема частотно-модульованого автогенератора: B

- коефіцієнт фільтрації : $\Phi = 25\ \ дБ$;

- потужність випромінювання: $P_A = 15\ \ Вт$;

- нестабільність несучої частоти: $\frac{\delta f}{f_O} = 5 \cdot 10^{-4}$;

- коефіцієнт нелінійних спотворень: $K_{НИ} = 1{,}4\%$;

5 ВИМОГИ ДО ДОКУМЕНТАЦІЇ

5.1 Конструкторська документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ.

5.2. Комплект конструкторської документації повинен складатися з:

– Пояснювальна записка;
– Структурна схема пристрою;
– Функціональна схема пристрою;
– Принципова схема пристрою;
– Друкована плата;
– Друкований вузол.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Таблиця 6.1 - Стадії та етапи виконання кваліфікаційної роботи

№ етапу	Назва етапу виконання	Термін виконання
1	Розробка та затвердження технічного завдання	22.02. 2022
2	Аналіз технічного завдання, підбір бібліографічних матеріалів, необхідних для виконання роботи	1.03. 2022
3	Вибір власних схемо-технічних рішень	16.03.2022
4	Вибір елементної бази для розроблюваного пристрою;	29.03.2022
5	Розрахунок основних вузлів у схемі пристрою.	12.04.2022
6	Створення допоміжної документації	26.04.2022
7	Розроблення креслень	26.04.2022
8	Розділ охорони праці та безпеки життєдіяльності	10.05.2022
9	Нормоконтроль	24.05.2022
10	Попередній захист	31.05.2022
11	Захист	23.05.2022

ДОДАТКОВІ УМОВИ ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

.1 Під час виконання кваліфікаційної роботи в дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.

Поз. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
	Конденсатори		
	К50-35 ОЖ0.460.079 ТУ		
	К10-17 ОЖ0.460.084 ТУ		
C1,C14	К10 -17-35 -1,9 нФ-А-В	2	
C2,C16	К10 -17-35 -1,9 нФ-А-В	2	
C3,C17	К10 -17-35 -62 пФ-А-В	2	
C4	К50-35-2,2 мкФ-16В±20%	1	
C5,C18	К10 -17-35 -62 пФ-А-В	2	
C6	К10 -17-35 -1,9 нФ-А-В	1	
C7,C19	К10 -17-35 -23 пФ-А-В	2	
C8	К50-35-1 мкФ-16В±20%	1	
C9	К10 -17-35 -100 нФ-А-В	1	
C10	К50-35-4,7 мкФ-16В±20%	1	
C11,C22	К10 -17-35 -148 пФ-А-В	2	
C12	К50-35-1 мкФ-16В±20%	1	
C13	К50-35-10 мкФ-16В±20%	1	
C15,C24	К10 -17-35 -274 пФ-А-В	2	
C20	К10 -17-35 -56 нФ-А-В	1	
C21	К10 -17-35 -8,2 пФ-А-В	1	
C23	К10 -17-35 -422 пФ-А-В	1	
C25,C39	К10 -17-35 -1,9 нФ-А-В	2	
C26	К10 -17-35 -3 пФ-А-В	1	
C27	К10 -17-35 -25 пФ-А-В	1	
C28,C41	К10 -17-35 -1,9 нФ-А-В	2	
C29,C42	К10 -17-35 -62 пФ-А-В	2	
C30,C43	К10 -17-35 -62 пФ-А-В	2	
C31,C44	К10 -17-35 -23 пФ-А-В	2	

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БМВ 3.020.087.000 ПЕ3			
Розроб.		Багрій М.В.			Передавач FM сигналів	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Дедів І.Ю.						
Н. Контр.		Марценюк А.С			Перелік елементів	ФПТ, гр. РАс-41		
Зав. каф.		Дунець В.Л.						
Рецензн.		Дозорський В.Г.						

Поз. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
C32	К10 -17-35 -274 пФ-А-В	1	
C33,C46	К10 -17-35 -56 нФ-А-В	2	
C34	К10 -17-35 -62 пФ-А-В	1	
C35, C36	К10 -17-35 -6 мкФ-А-В	2	
C37	К10 -17-35 -108 пФ-А-В	1	
C38,C47	К10 -17-35 -274 пФ-А-В	2	
C40	К10 -17-35 -109 пФ-А-В	1	
C45	К10 -17-35 -289 пФ-А-В	1	
	Мікросхеми		
DA1	К174УН3	1	
	Резистори		
	С2-23-0,125 ОЖО.464.080 ТУ		
R1	С2-22-23-0.125-23 Ом±5%	1	
R2	С2-22-23-0.125-1,2 кОм±5%	1	
R3,R13	С2-22-23-0.125-51 кОм±5%	2	
R4	С2-22-23-0.125-100 кОм±5%	1	
R5	С2-22-23-0.125-100 кОм±5%	1	
R6	С2-22-23-0.125-9,1 кОм±5%	1	
R7	С2-22-23-0.125-47 кОм±5%	1	
R8	С2-22-23-0.125-680 Ом±5%	1	
R9	С2-22-23-0.125-6.8 кОм±5%	1	
R10	С2-22-23-0.125-12 кОм±5%	1	
R11	С2-22-23-0.125-12 кОм±5%	1	
R12	С2-22-23-0.125-9,1 кОм±5%	1	
R14	С2-22-23-0.125-1,6 кОм±5%	1	
R15	С2-22-23-0.125-200 Ом±5%	1	
R16	С2-22-23-0.125-200 Ом±5%	1	
R17,R18	С2-22-23-0.125-7,8 кОм±5%	2	
R19,R23	С2-22-23-0.125-51 кОм±5%	2	

Поз. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
R20	С2-22-23-0.125-30 кОм±5%	1	
R21	С2-22-23-0.125-7,8 кОм±5%	1	
R22	С2-22-23-0.125-3,5 кОм±5%	1	
	Котушки індуктивності		
	ТПП 3.020.087.000		
L1,L5,L14	85 нГн ±10%	3	
L2,L6,L15	20 нГн ±10%	3	
L3,L8,L17	26 нГн ±10%	3	
L4,L13,L19	100 нГн ±10%	3	
L7	85 нГн ±10%	1	
L9	434 нГн ±10%	1	
L10	6,22 мкГн ±10%	1	
L11	33.88 нГн ±10%	1	
L12	30 нГн ±10%	1	
L16,L20	85 нГн ±10%	2	
L18	20 нГн ±10%	1	
L21	26 нГн ±10%	1	
L22	20 нГн ±10%	1	
L23	26 нГн ±10%	1	
	Діоди		
VD1	КВ110А	1	
	Транзистори		
VT1	КТ610Б ЖК3.362.200 ТУ	1	
VT2	КТ606А ЖК3.362.200 ТУ	1	
VT3	КТ922Б ЖК3.362.200 ТУ	1	
VT4	КТ922Б ЖК3.362.200 ТУ	1	
VT5	КТ315И ЖК3.362.200 ТУ	1	
VT6	КТ931А ЖК3.362.200 ТУ	1	

Поз. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
	Роз’єм		
X1	PLS-1-5	1	

Формат	Зона.	Поз.	Найменування	Найменування	Кіл.	Примітка
				Документація		
А1			БМВ 6.020.087.000 СК	Складальне креслення		
А2			БМВ 3.020.087.000 Е3	Схема електрична принципова		
А2			БМВ 3.020.087.000 Е1	Схема структурна		
				Деталі		
		1	БМВ 7.020.087.000	Плата друкована	1	
				Стандартні вироби		
				Інші вироби		
		2		Екран	6	
		3		Прокладка	5	
				Конденсатори		
				К50-35 ОЖ0.460.079 ТУ		
				К10-17 ОЖ0.460.084 ТУ		
		4		К10-17 – 1,9 нФ±5%	2	С1, С14
		5		К10-17 – 1,9 нФ±5%	2	С2,С16
		6		К10-17 – 62 пФ±5%	2	С3,С17
		7		К50-35-35В – 2,2 мкФ±20%	1	С4
		8		К10-17 – 62 пФ±5%	2	С5,С18
		9		К10-17 – 1,9 нФ±5%	1	С6

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	БМВ 3.020.087.000			
Розроб.		Багрій М.В.			Передавач FM сигналів	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Дедів І.Ю.			Друкований вузол	ФПТ, гр. РАс-41		
Н. Контр.		Марценюк А.С.						
Затверд.		Дунець В.Л.						
Рецензент		Дозорський В.Г.						

Форма	Зона.	Поз.	Позначення	Назва	Кіл.	Примітка
		10		К10-17 – 23 пФ±5%	2	С7,С19
		11		К50-35-35В – 1 мкФ±20%	1	С8
		12		К10-17 – 100 нФ±5%	1	С9
		13		К50-35-35В – 4,7 мкФ±20%	1	С10
		14		К10-17 – 148 пФ±5%	2	С11,С22
		15		К50-35-35В – 1 мкФ±20%	1	С12
		16		К50-35-35В – 10 мкФ±20%	1	С13
		17		К10-17 – 274 пФ±5%	2	С15,С24
		18		К10-17 – 56 нФ±5%	1	С20
		19		К10-17 – 8,2 пФ±5%	1	С21
		20		К10-17 – 422 пФ±5%	1	С23
		21		К10-17 – 1,9 нФ±5%	2	С25,С39
		22		К10-17 – 3 пФ±5%	1	С26
		23		К10-17 – 25 пФ±5%	1	С27
		24		К10-17 – 1,9 нФ±5%	2	С28,С41
		25		К10-17 – 62 пФ±5%	2	С29,С42
		26		К10-17 – 62 пФ±5%	2	С30,С43
		27		К10-17 – 23 пФ±5%	2	С31,С44
		28		К10-17 – 274 пФ±5%	1	С32
		29		К10-17 – 56 пФ±5%	2	С33,С46
		30		К10-17 – 62 пФ±5%	1	С34
		31		К10-17 – 6 мкФ±5%	2	С35, С36
		32		К10-17 – 108 пФ±5%	1	С37
		33		К10-17 – 274 пФ±5%	2	С38,С47
		34		К10-17 – 109 пФ±5%	1	С40
		35		К10-17 – 289 пФ±5%	1	С45
				Резистори		
				С2-23-0,125 ОЖО.464.080 ТУ		
		36		С2-22-23-0.125-23 Ом±5%	1	R1

Форма	Зона.	Поз.	Позначення	Назва	Кіл.	Примітка
		37		С2-22-23-0.125-1,2 кОм±5%	1	R2
		38		С2-22-23-0.125-51 кОм±5%	2	R3, R13
		39		С2-22-23-0.125-100 кОм±5%	1	R4
		40		С2-22-23-0.125-100 кОм±5%	1	R5
		41		С2-22-23-0.125-9,1 кОм±5%	1	R6
		42		С2-22-23-0.125-47 кОм±5%	1	R7
		43		С2-22-23-0.125-680 Ом±5%	1	R8
		44		С2-22-23-0.125-6.8 кОм±5%	1	R9
		45		С2-22-23-0.125-12 кОм±5%	1	R10
		46		С2-22-23-0.125-12 кОм±5%	1	R11
		47		С2-22-23-0.125-9,1 кОм±5%	1	R12
		48		С2-22-23-0.125-1,6 кОм±5%	1	R14
		49		С2-22-23-0.125-200 Ом±5%	1	R15
		50		С2-22-23-0.125-200 Ом±5%	1	R16
		51		С2-22-23-0.125-7,8 кОм±5%	2	R17, R18
		52		С2-22-23-0.125-51 кОм±5%	2	R19, R23
		53		С2-22-23-0.125-30 кОм±5%	1	R20
		54		С2-22-23-0.125-7,8 кОм±5%	1	R21
		55		С2-22-23-0.125-3,5 кОм±5%	1	R22
				Котушки індуктивності		
				ТПП 3.020.087.000		
		56		85 нГн ±10%	3	L1,L5,L14
		57		20 нГн ±10%	3	L2,L6,L15
		58		26 нГн ±10%	3	L3,L8,L17
		59		100 нГн ±10%	3	L4,L13,L19
		60		85 нГн ±10%	1	L7
		61		434 нГн ±10%	1	L9
		62		6,22 мкГн ±10%	1	L10
		63		33.88 нГн ±10%	1	L11

Формат	Зона.	Поз.	Позначення	Назва	Кіл.	Примітка
		64		30 нГн ±10%	1	L12
		65		85 нГн ±10%	2	L16,L20
		66		20 нГн ±10%	1	L18
		67		26 нГн ±10%	1	L21
		68		20 нГн ±10%	1	L22
		69		26 нГн ±10%	1	L23
				Діоди		
		70		КВ110А	1	VD1
				Транзистори		
		71		КТ610Б ЖК3.362.200 ТУ	1	VT1
		72		КТ606А ЖК3.362.200 ТУ	1	VT2
		73		КТ922Б ЖК3.362.200 ТУ	1	VT3
		74		КТ922Б ЖК3.362.200 ТУ	1	VT4
		75		КТ315И ЖК3.362.200 ТУ	1	VT5
		76		КТ931А ЖК3.362.200 ТУ	1	VT6
				Роз’єм		
		77		PLS-1-5	1	X1