Міністерство освіти і науки України
ЧЕРНІГІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Навчально-науковий інститут технологій

ЕЛЕМЕНТНА БАЗА РАДІОЕЛЕКТРОННИХ АПАРАТІВ

Методичні вказівки до практичних занять та виконання розрахунково-графічної роботи для студентів напряму підготовки 6.050902 «Радіоелектронні апарати»

Обговорено та рекомендовано на засіданні кафедри промислової електроніки.
Протокол № 6 від 29.02.2016 р.

Чернігів – 2016

Елементна база радіоелектронних апаратів. Методичні вказівки до практичних занять та виконання розрахунково-графічної роботи для студентів напряму підготовки 6.050902 «Радіоелектронні апарати». – Чернігів: ЧНТУ, 2016. – 40 с.

Укладачі: ВОЙТЕНКО ВОЛОДИМИР ПАВЛОВИЧ, канд. техн. наук, доц.

Відповідальний за випуск: ДЕНИСОВ ЮРІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ, докт. техн. наук, проф., завідувач кафедри промислової електроніки

Рецензент: РЕВКО АНАТОЛІЙ СЕРГІЙОВИЧ, канд. техн. наук, доц., доцент кафедри промислової електроніки Чернігівського національного технологічного університету

Зміст

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ 4
ВСТУП 5
1 ОЗНАЙОМЛЕННЯ З ЗАВДАННЯМИ ДО РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ ТА ОСОБЛИВОСТЯМИ ЇЇ ВИКОНАННЯ 6
1.1 Загальна характеристика розрахунково-графічної роботи 6
1.2 План виконання розрахунково-графічної роботи 7
1.3 Етапи виконання розрахунково-графічної роботи та звітність 8
1.4 Запитання для самоперевірки 8
2 АНАЛІЗ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ МОДУЛЯ РЕА 9
2.1 Модифікація схеми модуля РЕА 9
2.2 Доопрацювання схеми модуля РЕА 11
2.3 Запитання для самоперевірки та завдання для вирішення 12
3 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ЗА ПОСТІЙНИМ СТРУМОМ 13
3.1 Приклад розрахунку схеми живлення світлодіода 13
3.2 Принципи побудови еквівалентної схеми підсилювача радіочастоти за постійним струмом 15
3.3 Розрахунок номіналів та вибір резисторів у схемі модуля РЕА 16
3.4 Запитання та завдання для самоперевірки 19
3.5 Приклади задач для модульного контролю МК1 20
4 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ЗА ЗМІННИМ СТРУМОМ 21
4.1 Особливості вибору блокувальних конденсаторів 21
4.2 Особливості вибору розділових конденсаторів 22
4.3 Розрахунок елементів резонансного контуру 23
4.4 Аналіз трансформатору зв’язку 25
4.5 Розрахунок котушок індуктивності 27
4.6 Запитання та завдання для самоперевірки 28
4.7 Приклад задачі для модульного контролю МК2 28
5 РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБКИ МОДУЛЯ РЕА 29
5.1 Особливості підготовки принципової електричної схеми 29
5.2 Особливості підготовки переліку елементів до принципової електричної схеми модуля РЕА 29
5.3 Особливості підготовки пояснювальної записки 33
5.4 Запитання для самоперевірки 34
5.5 Приклад задачі для модульного контролю МК3 34
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА 35
Додаток А. Приклад аркуша завдання на розрахунково-графічну роботу . 36
Додаток Б. Приклад титульного аркуша розрахунково-графічної роботи . 37
Додаток В. Ряди номінальних значень ЕРЕ 38
Додаток Г Приклад принципової електричної схеми модуля РЕА 39
Додаток Д Приклад переліку елементів до принципової схеми 40

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ЕРЕ – Електрорадіоелемент.
РЕА – радіоелектронний апарат.
ЄСКД – Єдина система конструкторської документації.
МКх – модульний контроль №х.
ТКО – температурний коефіцієнт опору.

ВСТУП

Незважаючи на розмаїття конструкцій, технологій та функціонального призначення, всі радіоелектронні апарати (РЕА) складаються з тих самих елементів (дискретних, інтегрованих, функціональних), які підбирають і підключають відповідно до вимог технічних умов [1].

Забезпечення якості як вперше розроблюваних, так і тих РЕА, що обслуговуються, має базуватися на знанні принципів роботи цих елементів, особливостей їхньої конструкції, а також функціональних можливостей. Вивчення дисципліни дозволяє отримати, як необхідні теоретичні знання про роботу елементної бази РЕА, так і набути практичних навичок конструювання і розрахунку спеціалізованих елементів. В подальшому в процесі проектування, виготовлення та експлуатації РЕА це дозволить робити свідомий, науково обґрунтований вибір такої елементної бази, яка забезпечить високу надійність і якість виробів.

Навчальною програмою дисципліни «Елементна база радіоелектронних апаратів» передбачено проведення практичних занять та розрахунково-графічної роботи [2]. Головна мета практичних занять полягає у практичному засвоєнні методики вибору різноманітних електрорадіоелементів (ЕРЕ) для застосування в РЕА. Цей вибір має ґрунтуватися, зокрема, на розрахунку параметрів та режимів роботи елементів електричної схеми. Для більшої актуалізації, наочності та конкретизації такі розрахунки під час практичних занять проводяться на прикладі вирішення завдань розрахунково-графічної роботи.

Метою виконання завдання з розрахунково-графічної роботи є визначення стану і ступеня підготовленості студентів із дисципліни, їх уміння самостійно опрацьовувати довідниковий та інформаційний матеріал; уміння формулювати логічно обґрунтовані відповіді при захисті завдання.

Дані методичні вказівки призначені для самостійної підготовки студентів до практичних занять, самоперевірки знань, вирішення завдань різного ступеня складності та виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни.

1 ОЗНАЙОМЛЕННЯ З ЗАВДАННЯМИ ДО РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ ТА ОСОБЛИВОСТЯМИ ЇЇ ВИКОНАННЯ

Мета заняття: ознайомлення із змістом розрахунково-графічної роботи та етапами її виконання.

1.1 Загальна характеристика розрахунково-графічної роботи

Розрахунково-графічна робота охоплює основні теми всієї дисципліни. Завдання на розрахунково-графічну роботу видається на початку семестру. Відповідно до варіантів завдань надається принципова схема модуля РЕА, яка містить, наприклад, транзистори, комутаційні пристрої (ключі, роз'єднувачі), резистори (постійні та змінні), конденсатори, котушки індуктивності (контури, трансформатори, дроселі) та інші ЕРЕ.

Метою розрахунково-графічної роботи є підбір певних ЕРЕ для застосування у складі РЕА. Цей підбір під час реального проектування має відбуватися відповідно до умов експлуатації РЕА:

температури зовнішнього середовища;

вологості повітря;

механічних впливів;

агресивних домішок у атмосфері тощо.

Теоретичною основою для виконання розрахунково-графічної роботи є навчальна література [2] та курс лекцій. Наприкінці семестру студент здає розрахунково-графічну роботу викладачу на перевірку та захищає її.

Пояснювальна записка на розрахунково-графічну роботу може включати такі структурні частини та розділи:

1) титульний лист;
2) лист завдання;
3) зміст;
4) вступ;
5) загальні відомості про застосовані ЕРЕ (класифікація, опис принципу їхньої дії та призначення);
6) відбір конкретних ЕРЕ;
7) розрахунок режимів роботи та визначення основних параметрів застосованих ЕРЕ згідно з технічною документацією на них;
8) моделювання роботи запропонованого модуля РЕА;
9) висновки;
10) список використаних інформаційних джерел;
11) додатки (електрична принципова схема, перелік елементів до неї, довідкова інформація про застосовані ЕРЕ тощо).

У процесі виконання розрахунково-графічної роботи студент має вивчити принцип дії та особливості застосування ЕРЕ, які наявні у запропонованому модулі РЕА. Крім того, треба навести основні співвідношення, необхідні для розрахунку режимів роботи конкретного ЕРЕ безпосередньо

у складі схеми модуля РЕА, що передбачає використання теоретичної та довідникової літератури, а також розв’язання практичних завдань. Студент зобов'язаний:

1. Ознайомитися з отриманим варіантом завдання.
2. Провести розрахунки режимів роботи та параметрів ЕРЕ відповідно до вимог завдання.
3. Скористатися навчальною літературою та довідковими джерелами інформації щодо вибору елементної бази, яка буде відповідати проведеним розрахункам.
4. Провести аналіз та зробити висновки щодо правильності розрахунків.
5. Оформити розрахунки у вигляді пояснювальної записки, електричної принципової схеми модуля РЕА та переліку елементів до цієї схеми.
6. Своєчасно надати на перевірку та захистити розрахунково-графічну роботу відповідно до графіку захисту.

1.2 План виконання розрахунково-графічної роботи

Орієнтовна послідовність дій під час виконання розрахунково-графічної роботи:

1) Проаналізувати схему (з’ясувати призначення, позначити всі елементи схеми відповідно до вимог стандартів [3]).
2) Записати назви всіх ЕРЕ (наприклад: *R*1 – резистор постійний (або змінний).
3) Перемалювати схему та заново позначити ЕРЕ відповідно до вимог стандартів.
4) Додати на схему вмикач (або декілька) живлення (*S*1, …).
5) Додати роз’єднувач для підключення живлення (*X*1, …).
6) Знайти сигнальний вхід пристрою (якщо він є) та додати коаксіальний з’єднувач.
7) Знайти сигнальний вихід (виходи) пристрою та додати з’єднувач.
8) Задати номінали ЕРЕ у першому наближенні.
9) Створити SPICE-модель пристрою.
10) Додати до моделі джерела живлення, генератори вхідних сигналів (якщо потрібні), навантаження.
11) Додати блоки візуалізації сигналів.
12) Промоделювати пристрій та за результатами скорегувати номінали ЕРЕ.

1 етап. «Нормальні умови» експлуатації. (+25ºС).

2 етап. «Розширені умови» експлуатації. Перевірка режимів шляхом моделювання при зміні температури оточуючого середовища в діапазоні (–40…+60) ºС.

3 етап. Зміна частотного діапазону.

Приклад (варіант схеми) модуля РЕА для виконання розрахунково-графічної роботи наведений на рисунку 1.1. Отриману схему необхідно

вклеїти у бланк завдання на розрахунково-графічну роботу, оформивши його відповідно до Додатку А. Завдання необхідно підписати та принести на наступне практичне заняття для затвердження. Разом із завданням треба принести також і титульний аркуш, оформлений відповідно до Додатку Б.

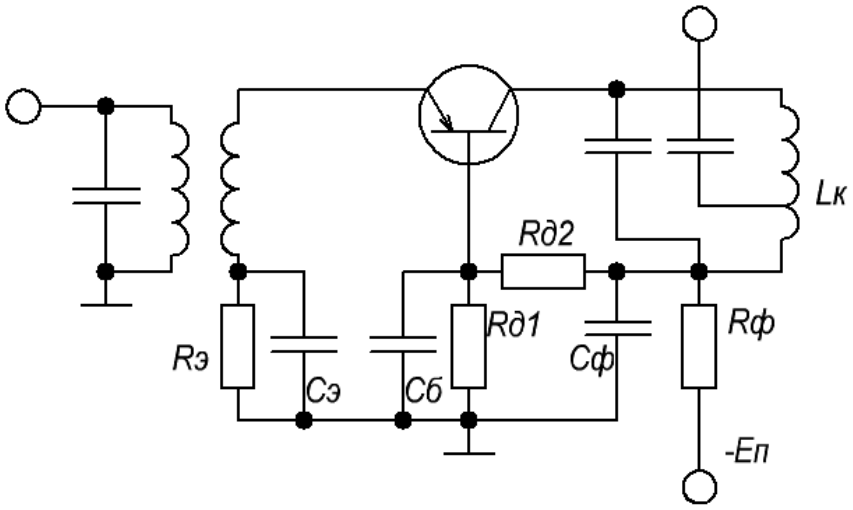


Рисунок 1.1 – Приклад електричної схеми модуля РЕА

1.3 Етапи виконання розрахунково-графічної роботи та звітність

Звітність з виконання розрахунково-графічної роботи проводиться поетапно:

1. Під час першого поточного контролю.
2. Під час другого поточного контролю.
3. Під час передостаннього навчального тижня семестру.

Обсяг звітності за першим та другим етапами визначається на практичних заняттях. Наприкінці передостаннього навчального тижня семестру надається на перевірку завершена розрахунково-графічна робота. На останньому навчальному тижні семестру проводиться захист розрахунково-графічної роботи.

1.4 Запитання для самоперевірки

1. Що може означати позначення ЕРЕ *Rэ* та *Сэ* на схемі рисунку 1.1?.
2. Що може означати позначення конденсатора *Сб* на схемі рисунку 1.1?
3. Що може означати позначення ЕРЕ *Сф*, *Rф* на схемі рисунку 1.1?
4. Що може означати позначення ЕРЕ *Rд1*, *Rд2* на схемі рисунку 1.1?
5. Яким чином на схемі можна вказати номінальний опір резистора?
6. Яким чином на схемі можна вказати номінальну ємність конденсатора?

2 АНАЛІЗ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ МОДУЛЯ РЕА

Мета заняття: з'ясування призначення окремих ЕРЕ в електричній схемі.

2.1 Модифікація схеми модуля РЕА

Взявши за основу приклад на рисунку 1.1, оптимізуємо зовнішній вигляд схеми модуля РЕА. З цією метою спрямляємо лінії, спрощуємо графічний образ відповідно до рисунку 2.1. Як можна побачити, деякі ЕРЕ на рисунку 1.1 не позначені жодним чином, що є порушенням стандарту. Позначимо усі ЕРЕ відповідно до вимог стандартів (латинськими буквами та арабськими цифрами зверху донизу, зліва праворуч [4-6]).

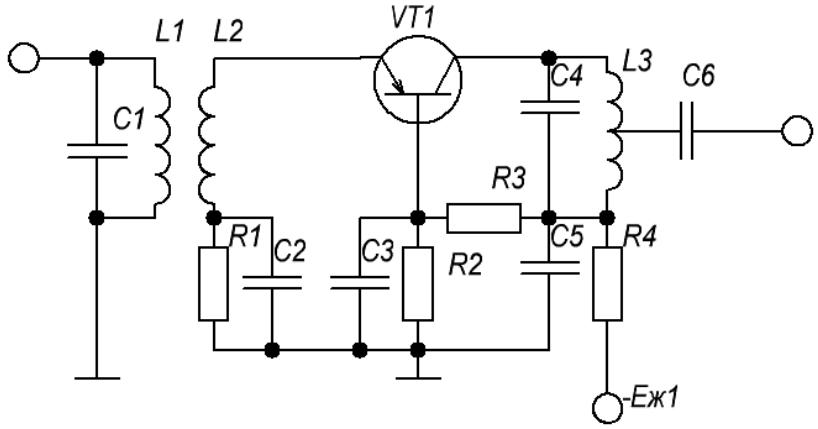


Рисунок 2.1 – Оптимізована електрична схема модуля РЕА

Попередній аналіз та порівняння з іншими подібними схемами дозволяють зробити висновок, що це – підсилювач радіочастоти (ПРЧ), наприклад – для радіоприймача. Припустимо, що розроблюваний модуль має працювати в діапазоні радіохвиль середньої довжини:

MW: 530…1610 *кГц*.

Звідси випливає, що середня частота цього діапазону складає приблизно:

f_0=1000 *кГц*=1 *МГц*.

Таблиця 2.1 – Діапазони радіохвиль

УКХ			**КХ**	**СХ**	**ДХ**
СМХ	ДМХ	МХ	ДкМХ	ГМХ	КМХ
1…10 *см*	10 *см*…1 *м*	1…10 *м*	10…100 *м*	100 *м*…1 *км*	1…10 *км*
30…3 *ГГц*	3 *ГГц*…300 *МГц*	300…30 *МГц*	30…3 *МГц*	3 *МГц*…300 *кГц*	300…30 *кГц*

В таблиці 2.1 позначені наступні діапазони радіохвиль:

УКХ – діапазон ультракоротких хвиль;

КХ – короткохвильовий діапазон;

СХ – середньохвильовий діапазон;

ДХ – діапазон довгих хвиль.

Слід зазначити, що радіомовні діапазони дещо вужчі та регламенту-

ються відповідними стандартами.

Крім того в таблиці 2.1 позначені радіохвилі, класифіковані за метричною довжиною:

СМХ – сантиметрові хвилі;

ДМХ – дециметрові хвилі;

МХ – метрові хвилі;

ДкМХ – декаметрові хвилі;

ГМХ – гектометрові хвилі;

КМХ – кілометрові хвилі.

Елементи $L1C1$ являють собою вхідний паралельний резонансний контур. Його треба налаштувати приблизно на центральну частоту діапазону, тобто резонансна частота контуру має дорівнювати f_0:

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L1C1}}. \qquad (1.1)$$

Таким чином, якщо обрати один з елементів $L1$ або $C1$, інший потрібно розрахувати, використавши (1.1).

$L1$, $L2$ – це повітряний трансформатор для зв'язку вхідного контуру з каскадом підсилення. Реальні значення індуктивності без осердя, які можна отримати, лежать у діапазоні від 1 до 100 *мкГн*. За межами цих значень суттєвий вплив зумовлюють конструктивні обмеження (габарити котушки, опір дроту, добротність тощо).

Отже, якщо, скажімо, обрати $C1$= 22 *пФ*,

то з (1.1) отримаємо $L1$ = 49 *мкГн*.

Східні міркування застосовуються під час вибору вихідного автотрансформатора $L3$.

Зазвичай каскади підсилювачів радіочастоти для радіоприймачів є малопотужними, працюють з радіосигналами, амплітуди яких складають від 100 *мкВ* до 100 *мВ*...1 *В*. Тому можна застосовувати низькі значення напруг джерела живлення. Як правило, це ±6 *В*, ±12 *В*, ±15 *В*. Для нашого прикладу оберемо $E_{ж1}$=–6 *В*.

Тепер ми наблизилися до вимог, які висуваються до транзистора підсилювача радіочастоти $VT1$. Це – біполярний *p-n-p*-транзистор малої потужності (з потужністю, що розсіюється на колекторі до 100 *мВт*). На середній частоті діапазону роботи підсилювача транзистор повинен мати запас коефіцієнта підсилення. Внаслідок наявності паразитних ємностей коефіцієнт підсилення струму бази із зростанням частоти сигналу має характерний спад порівняно з постійним струмом (рисунок 2.2). Звідси витікає, що транзистор має бути достатньо високочастотним. З довідників, наприклад, можемо обрати *КТ*3107, *КТ*361, *КТ*313 або *ГТ*318 з будь-якою літерою внутрішньої класифікації, або їхні аналоги.

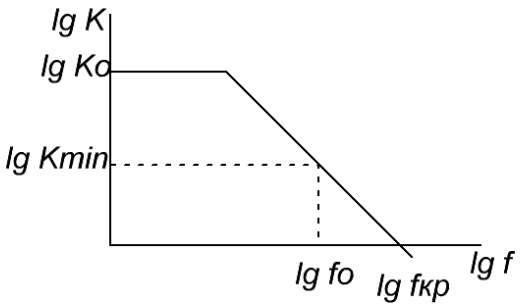


Рисунок 2.2 – Залежність коефіцієнту підсилення від частоти

Резистори у таких схемах, як у нашому прикладі, переважно, призначені для завдання режимів роботи активних ЕРЕ (в даному випадку – транзистора *VT*1, який включений у схемі зі спільною базою). Оскільки всі резистори незмінного номіналу, доцільно вибрати їх одного типу, наприклад, *С*2-23.

Усі конденсатори у схемі прикладу – постійної ємності, і мають працювати в певному діапазоні частот. Достатньо універсальним рішенням буде застосування високочастотних керамічних конденсаторів (наприклад, *К*10-17, *КМ*4, *КМ*5, *КМ*6 тощо).

2.2 Доопрацювання схеми модуля РЕА

Додаємо до схеми комутаційні пристрої, які полегшують інтеграцію нашого модуля до розроблюваного РЕА. В результаті схема модуля РЕА прийме вигляд, як на рисунку 2.3.

До реальної схеми, можливо, доведеться додати ще елементи, наприклад, фільтри кіл живлення, контактні точки тощо. У високочастотних схемах іноді доводиться додавати екрани, які на принциповій схемі позначають штриховими лініями.

У потужних схемах (наприклад, вихідні каскади радіопередавачів, підсилювачів потужності звукової частоти та ін.) транзистори можуть встановлюватися на тепловідводи (радіатори), які також позначають штриховими лініями.

На рисунку 2.3 *Х*1, *Х*2 – коаксіальні розетки для підключення вхідного та вихідного сигналів, відповідно (наприклад, *СР*-50-*ФВ*1). *Х*3 – роз'їм для живлення модуля РЕА.

Слід зазначити, що позначення ЕРЕ треба проставляти, як правило, вище та праворуч від нього.

Крім умовних графічних зображень, позначень ЕРЕ та ліній електричного зв'язку між ними на електричних принципових схемах може також розміщуватися й інша інформація: номінали ЕРЕ, напруги та потенціали у вузлах, струми в контурах, осцилограми сигналів, текстові пояснення тощо.

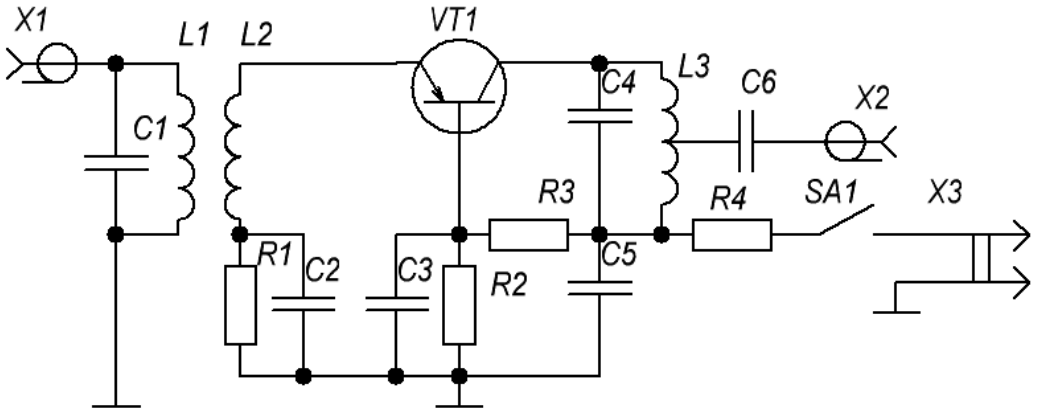


Рисунок 2.3 – Доопрацьована електрична схема модуля РЕА

2.3 Запитання для самоперевірки та завдання для вирішення

1. Навести умовні графічні зображення та позначення конденсаторів на принципових електричних схемах.

2. Навести основні розрахункові співвідношення, які визначають поведінку конденсатора в діапазоні частот сигналу.

3. Розрахувати реактивний опір конденсатора *КМ*-5*б*-1000 *пФ* на постійному струмі та на частоті $f_0 = 1$ *МГц*.

4. Навести умовні графічні зображення та позначення котушок індуктивності на принципових електричних схемах.

5. Навести основні розрахункові співвідношення, які визначають поведінку котушок індуктивності в діапазоні частот сигналу.

6. Розрахувати реактивний опір котушки індуктивності 50 *мкГн* на постійному струмі та на частоті $f_0 = 1$ *МГц*.

7. Навести умовні графічні зображення та позначення резисторів на принципових електричних схемах.

8. Яким чином на схемі можна вказати номінальну потужність резистора?

9. Навести умовні графічні зображення та позначення транзисторів, діодів та тиристорів на принципових електричних схемах.

10. Навести схеми резонансних контурів і основні розрахункові співвідношення.

11. Які особливості резонансних контурів зумовлюють їхнє застосування у частотно-вибіркових електричних колах?

3 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ЗА ПОСТІЙНИМ СТРУМОМ

Мета заняття: практичне ознайомлення з методикою вибору ЕРЕ, які визначають режими роботи модуля РЕА за постійним струмом.

3.1 Приклад розрахунку схеми живлення світлодіода

Розглянемо приклад простої схеми живлення світлодіода від бортової мережі автомобіля +12 *В*. Пряме падіння напруги на світлодіоді суттєво нижче за напругу бортової мережі, і тому безпосереднє підключення анода до позитивної клеми акумулятора призведе до надмірного підвищення прямого струму та виходу світлодіода з ладу. Для того, щоб цього не відбулося, зайву напругу треба погасити на допоміжному ЕРЕ, наприклад, як це зроблено на рисунку 3.1.

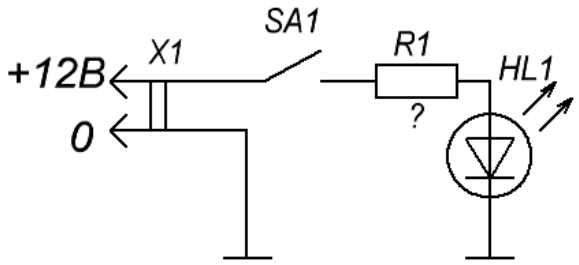


Рисунок 3.1 – Схема живлення світлодіода

Тут резистор *R*1 є простим баластом, на якому падає левова частка напруги акумулятора. Який резистор зможе виконати дану функцію? Для того, щоб вибрати цей ЕРЕ, треба знайти значення номінального опору резистора, а також деякі інші параметри.

Зазначимо, що наведена у прикладі мережа живлення є дуже потужною. Під час роботи стартера акумулятор здатен видати в навантаження струм у сотню ампер. Робочий струм світлодіода суттєво менший і не перевищує десятків міліампер. Для розрахунку номінального опору резистора обов'язково потрібна вольт-амперна характеристика світлодіода. Її можна віднайти у довіднику на оптоелектронні прилади. На рисунку 3.2 представлений вид вольт-амперної характеристики світлодіода червоного кольору свічення типу *АЛ*307*БМ*.

Максимальний прямий струм через світлодіод не повинен перевищувати 20 *мА*. При цьому на *p*-*n*-переході світлодіода падає пряма напруга близько 1,7 *В*. Оберемо робочу точку світлодіода $U_{пр}$=1,6 *В*, $I_{пр}$ =10 *мА*.

Отже, *R*1 гасить зайву напругу акумулятора та обмежує максимальний струм у колі світлодіода.

Для розрахунку електричних схем треба вміти складати еквівалентні схеми пристроїв, користуючись схемами заміщення ЕРЕ. На рисунку 3.3 наведена така схема, яка у спрощеному вигляді ілюструє роботу прототи-

пу, представленого на рисунку 3.1.

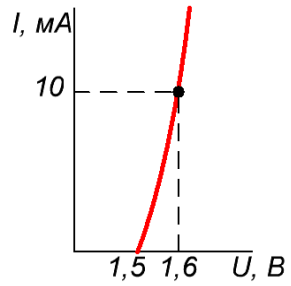


Рисунок 3.2 – Вольт-амперна характеристика світлодіода

Тут *E*1 – ідеальне джерело напруги;

Ri – внутрішній опір акумулятора. Його кінцеве значення обмежує максимальний струм у режимі короткого замикання *IAmax*. При цьому напруга на клемах батареї зменшується до величини *EAmin*.

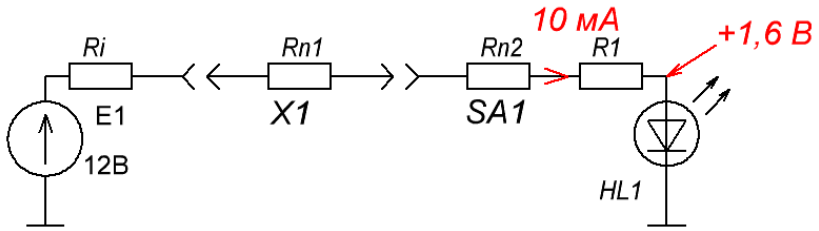


Рисунок 3.3 – Еквівалентна схема живлення світлодіода

Схема дослідження короткого замикання акумулятора показана на рисунку 3.4.

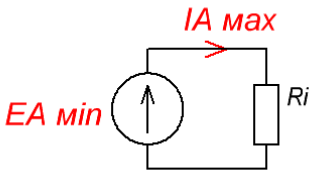


Рисунок 3.4 – Схема короткого замикання акумулятора

Наприклад, за паспортними даними (з довідника) знаходимо *EA min*=11,5 *B*; *IA max*=115 *A*. Звідси:

$$R_i = \frac{EA_{\min}}{IA_{\max}} = \frac{11{,}5B}{115A} = 0{,}1Ом.$$

R_{n1} та R_{n2} – перехідні опори контактів *X*1 та *SA*1, відповідно. З довідників знаходимо:

$$R_{n1} \approx R_{n2} \approx 0{,}05\ Ом.$$

Використовуємо закони Кірхгофа для замкненого кола:

$$EA = U_{Ri} + U_{Rn1} + U_{Rn2} + U_{R1} + U_{HL1},$$

де U_{Ri} – падіння напруги на внутрішньому опорі акумулятора;
U_{Rn1} – падіння напруги на перехідному опорі контактів $X1$;
U_{Rn2} – падіння напруги на перехідному опорі контактів $SA1$;
U_{R1} – падіння напруги на резисторі $R1$;
U_{HL1} – падіння напруги на світлодіоді.

Відповідно до закону Ома:

$$E_A = I_1\left(R_i + R_{n1} + R_{n2} + R1\right) + U_{HL1}.$$

Звідси знаходимо

$$R1 = \frac{E_A - U_{HL1}}{I_1} - \left(R_i + R_{n1} + R_{n2}\right).$$

Оскільки тепер акумулятор не є короткозамкненим,

$$R1 = (12 - 1{,}6)/10 \cdot 10^{-3} - 0{,}1 - 0{,}05 - 0{,}05 \approx 1\ кОм.$$

Окрім номінального опору при виборі постійного резистора маємо знати щонайменше розсіювану потужність:

$$P_{R1} = I^2 R1 = 100 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 0{,}1\ Вт.$$

Врешті-решт обираємо резистор

С2-23 – 0,125 Вт – 1 кОм ± 20%.

Примітки.

1. Для забезпечення високої надійності зазвичай обирають резистори з номінальною розсіюваною потужністю хоча б у двічі більшою за фактичну. В даному випадку можна обрати резистор на 0,25 *Вт*.

2. В переліку елементів до електричної принципової схеми також вказується посилання на документ, за яким конкретний ЕРЕ постачається виробником. Це може бути державний стандарт, технічні умови тощо.

3. В переліку елементів до електричної принципової схеми також треба вказати температурний коефіцієнт опору резистора, який зазвичай береться з довідника.

3.2 Принципи побудови еквівалентної схеми підсилювача радіочастоти за постійним струмом

Отримавши певний досвід розрахунку ЕРЕ на простому прикладі схеми живлення світлодіода, повернімося до базового прикладу і продовжимо аналіз та розрахунки ЕРЕ у підсилювачі радіочастоти. Отже, схема фрагменту каскаду підсилення на біполярному транзисторі, включеному з спільною базою, представлена на рисунку 3.5. Оскільки в рамках цієї теми йдеться про розрахунок за постійним струмом, одразу ж прибрані ті ЕРЕ, через які постійний струм не протікатиме ($L1$, $C1$, $C6$).

Для розрахунку елементів по постійному струму треба скласти еквівалентну схему для даного прикладу. При цьому зважаємо на те, що значення еквівалентних реактивних опорів має такі порядки величин:

$$X_L = \omega L = 2\pi \cdot 30 \cdot 10^{-6} \approx 200\ Ом;$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \approx \frac{1}{2\pi 10^6 \cdot 3 \cdot 10^{-8}} \approx 50 \hat{I}i \quad .$$

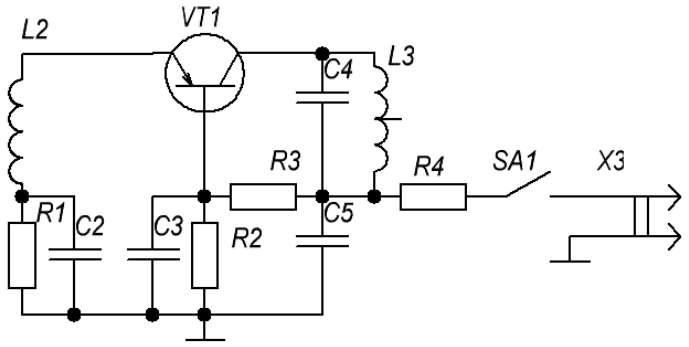


Рисунок 3.5 – Схема каскаду підсилення на біполярному транзисторі, включеному з спільною базою

Аналіз схеми свідчить про те, що завдання конденсаторів *C*2, *C*3, *C*5 полягає у фільтрації сигналу на високих частотах. Тобто, *C*2, *C*3, *C*5 мають шунтувати (закорочувати на землю) паралельні їм резистори. Таким чином, їхня ємність має бути достатньо великою. Сказане вище не стосується конденсатора *C*4, який разом із котушкою *L*3 утворює паралельний резонансний коливальний контур, який виконує функцію навантаження підсилювача. Водночас на постійному струмі $X_C(\omega=0)\rightarrow\infty$.

Висновок 3.1. Усі конденсатори з еквівалентної схеми по постійному струму можна прибрати взагалі.

Індуктивності, навпаки, на постійному струмі мають майже нульовий еквівалентний опір $X_L(\omega=0)\approx 0$. Проте повна схема заміщення індуктивності враховує омічний (активний) опір дроту, яким намотано котушку. Цей опір може бути чималим, враховуючи невеликий переріз дроту.

Висновок 3.2. Усі індуктивності з еквівалентної схеми по постійному струму можна наближено замінити короткозамкненими перемичками з $R \approx 0$.

3.3 Розрахунок номіналів та вибір резисторів у схемі модуля РЕА

З висновків 3.1 та 3.2 випливає перший варіант еквівалентної схеми каскаду підсилювача радіочастоти за постійним струмом, показаний на рисунку 3.6.

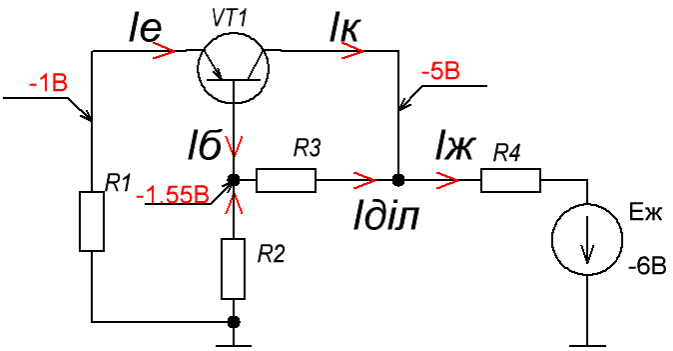


Рисунок 3.6 – Еквівалентна схема каскаду підсилювача радіочастоти за постійним струмом

На першому етапі треба обрати так звану «робочу точку» транзистора, тобто, – напруги між електродами та струм через електроди. Для підсилювача радіочастоти – малопотужного каскаду – можна задатися струмом емітера $Ie = 1\ мА$.

Враховуючи, що транзистор працює в лінійному режимі, частина струму Ie відгілковується в базу транзистора:

$$Iб = Ie/\beta,$$

де $\beta = 200$ – коефіцієнт підсилення струму бази у схемі з спільним емітером (взято з довідника для конкретного транзистора).

$$Iб = 1мА/200 \approx 5\ мкА.$$

Залишок струму емітера продовжує текти далі у колектор і через $R4$ та джерело живлення замикається на землю:

$$Ie = Iб + Iк \rightarrow Iк = Ie - Iб = 1\ мА - 5\cdot10^{-3}\ мА \approx 1\ мА.$$

Висновок 3.3. У «хорошому» транзисторі струмом бази можна знехтувати, оскільки він дуже малий порівняно із струмами $Ie \approx Iк$.

Із вольт-амперної характеристики прямо зміщеного база-емітерного переходу (рисунок 3.7) знаходимо напругу $U_{бе} \approx 0{,}55\ В$.

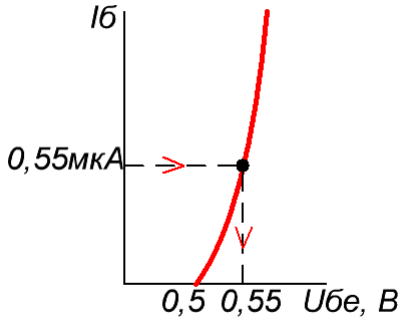


Рисунок 3.7 – Вольт-амперна характеристика база-емітерного переходу транзистора

Резистор $R1$ створює від'ємний зворотний зв'язок за постійним стру-

мом, який стабілізує роботу каскаду, робить її більш інваріантною відносно температурних ефектів (як коливань у залежності від зміни температури навколишнього середовища, так і саморозігріву транзистора під час протікання струму через нього).

Вибір $R1$ здійснюється з компромісних міркувань. Чим він більший, тим краще стабілізація режиму каскаду. Водночас збільшення падіння напруги на цьому резисторі зменшує (звужує) діапазон амплітуд вихідного сигналу. Досвід свідчить, що достатньо обмежитися падінням напруги $U_{R1} \geq U_{бе}$. Наприклад, задамося $U_{R1} = 1\ В$.

Тоді за законом Ома отримаємо:

$$R1 = U_{R1}/Ie = 1\ В/1\ мА = 1\ кОм.$$

Потужність, що розсіюється на $R1$:

$$P_{R1} = U_{R1} \cdot Ie = 1\ В \cdot 1\ мА = 1\ мВт.$$

Вибираємо $R1$ з довідника:

С2-23 – 0,125 Вт – 1 кОм ± 10%.

Примітки:

1. За необхідності після вибору всіх резисторів уточнення їхніх номіналів, режими роботи схеми можна скорегувати.
2. Всі подальші розрахунки треба вести, відштовхуючись від обраних раніше елементів.

Резистори $R2$, $R3$ являють собою дільник напруги, основна задача якого – стабілізація потенціалу бази відносно землі. Для того,щоб цей потенціал слабо залежав від струму бази, струм через дільник має бути значно більшим (хоча б на порядок) від струму бази:

$$Iділ \geq 10\ Iб = 10 \cdot 5\ мкА = 50\ мкА.$$

Обираємо струм дільника з запасом $I_{R2} = 0{,}5\ мА$.

Розраховуємо потенціал бази відносно землі:

$$\varphi_б = 0 - U_{R1} - U_{бе} = -1 - 0{,}55\ В = -1{,}55\ В.$$

Розраховуємо номінал резистора $R2$:

$$R2 = (0 - \varphi_б)/ I_{R2} = 1{,}55\ В/0{,}5\ мА = 3{,}1\ кОм.$$

Потужність, що розсіюється на $R2$:

$$P_{R2} = (0 - \varphi_б) \cdot I_{R2} = 1{,}55\ В \cdot 0{,}5\ мА = 0{,}775\ мВт.$$

Вибираємо $R2$ з довідника:

С2-23 – 0,125 Вт – 3,3 кОм ± 10%.

Примітки.

1. Щоб не розширювати кількість номіналів резисторів, намагаємося застосовувати ряд $E6$ у тих випадках, де точність номіналу некритична.

2. Робота каскаду та розрахунки режимів ЕРЕ виглядають більш наочними, якщо позначити безпосередньо вузлові потенціали та струми на схемі (як це зроблено на рисунку 3.6).

Уточнимо величину струму через $R2$:

$$I_{R2} = -\varphi_б/R2 = 1{,}55\ В/3{,}3\ кОм = 0{,}47\ мА \approx Iб = 5\ мкА.$$

Задача резистора $R4$ – спільна з конденсатором $C5$ фільтрація перешкод від інших кіл, які підключені до цього ж джерела живлення.

Аби не зменшувати максимальну амплітуду вихідного сигналу, обмежимо падіння напруги на *R*4 на рівні $U_{R1} \le 1\ B$, звідки вирахуємо номінальний опір резистора:

$$R4 = \frac{U_{R4}}{I_{R4}} = \frac{U_{R4}}{I_{діл} + I_к} = \frac{U_{R4}}{I_б + I_{R2} + I_к} \approx \frac{1B}{(0{,}47 + 1)мА} \approx 680\,Ом.$$

Потужність, що розсіюється на *R*4:

$$P_{R4} = U_{R4} \cdot I_{R4} = 1\ B \cdot 1{,}47\ мА = 1{,}47\ мВт.$$

Вибираємо *R*4 з довідника:

С2-23 – 0,125 Вт – 680 Ом ± 10%.

Розраховуємо номінал резистора *R*3:

$$R3 = \frac{U_{R3}}{I_{діл}} = -\frac{\varphi_б - U_{R4} - E_{ж}}{I_{R2} + I_б} \approx -\frac{(1{,}55 + 1 - 6)B}{0{,}47мА} = 7{,}34кОм.$$

Потужність, що розсіюється на *R*3:

$$P_{R3} = U_{R3} \cdot I_{R3} = 3{,}45\ B \cdot 1\ мА = 3{,}45\ мВт.$$

Найближчим номіналом з ряду *E*6 є резистор 6,8 *кОм* ± 20%. У найгіршому випадку фактичний опір цього резистора може скласти

80% від 6,8 *кОм* = 5,44 *кОм*.

В такому разі відносне відхилення номіналу від розрахованого значення складе

(7,34 – 5,44)/7,34 = 26%,

що може бути забагато для стабільної роботи модуля РЕА. Тому вибираємо більш точне значення номіналу *R*3 з ряду *E*24:

С2-23 – 0,125 Вт – 7,5 кОм ± 5%.

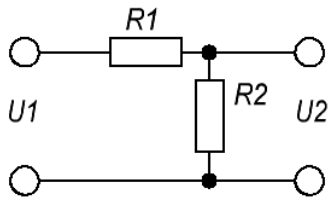
3.4 Запитання та завдання для самоперевірки

1. Яким чином можна виміряти перехідний опір контактів?
2. Що треба доопрацювати, якщо в схемі на рисунку 3.1 замість одного світлодіода буде підключено послідовно дві штуки?
3. Що треба доопрацювати, якщо в схемі на рисунку 3.1 замість світлодіода *АЛ*307*БМ* буде підключено прилад блакитного кольору свічення, для якого $U_{пр}$=1,6 *В* при струмі $I_{пр}$ =10 *мА*?
4. Розрахувати максимальну кількість світлодіодів, яку можна підключити послідовно у схемі на рисунку 3.1.
5. Яким чином зміниться робота схеми на рисунку 3.5, якщо прибрати резистор R1?
6. Яким чином в переліку елементів записати потрібну інформацію про резистор?
7. Яким чином можна представити конденсатори в еквівалентній схемі модуля РЕА за постійним струмом?
8. Які параметри треба розрахувати, аби вибрати резистор?
9. Яким чином можна представити індуктивності в еквівалентній схемі модуля РЕА за постійним струмом?

3.5 Приклади задач для модульного контролю МК1

1. Під час лабораторної роботи з'ясувалося, що через перемикач з мідними контактами, який має за довідником перехідний опір 0,05 *Ом*, протікає струм 5 *А*. Якою буде температура в точках контактування? Перегріванням тіла контакту можна знехтувати.

2. В переліку елементів до принципової електричної схеми РЕА наявна така інформація:



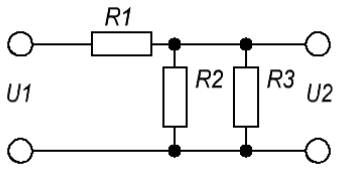
R1 С2-23 – 0,25 Вт – 6,8 кОм±10% – ТКО 1500·10-6К-1
R2 С2-29В – 0,5 Вт – 2,2 кОм±1% – ТКО 50·10-6К-1

РЕА помістили для випробувань у камеру штучного клімату та поступово змінили температуру від +20ºС до +80ºС. Чи буде змінюватися напруга U_2 і, якщо так, то яким чином? Як би Ви оцінили коректність обраної потужності резисторів?

3. Порахувати напругу U_2, якщо $U_1 = 6$ *В*.

4. Навести осцилограми U_1 та U_2, якщо $U_1\,(t) = (2 \sin 6280t + 2)$, *В*.

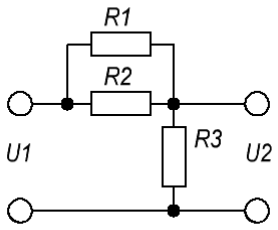
5. В переліку елементів до принципової електричної схеми РЕА наявна така інформація:



R1 С2-23 – 0,25 Вт – 3,3 кОм±5%
R2 С2-23 – 0,5 Вт – 2,2 кОм±5%
R3 С2-23 – 0,25 Вт – 4,7 кОм±10%

Визначити U_2, якщо $U_1 = 12$ *В*.

6. В переліку елементів до принципової електричної схеми РЕА наявна така інформація:



R1 С2-23 – 0,25 Вт – 10 кОм±5%
R2 С2-23 – 0,5 Вт – 10 кОм±5%
R3 С2-23 – 0,25 Вт – 10 кОм±10%

Визначити U_2, якщо $U_1 = 15$ *В*.

4 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ЗА ЗМІННИМ СТРУМОМ

Мета заняття: практичне ознайомлення з методикою вибору ЕРЕ, які визначають роботу модуля РЕА в діапазоні частот.

4.1 Особливості вибору блокувальних конденсаторів

Знову повертаємося до схеми підсилювача радіочастоти на рисунку 2.3. Реактивні опори *С*2, *С*3 на робочій частоті f_0 = 1 *МГц* мають бути суттєво меншими за відповідні паралельні резистори *R*1, *R*2. Тобто:

$$X_{C2} = \frac{1}{\omega_0 C_2} = \frac{1}{2\pi f_0 C_2} \le \frac{R_1}{10} = \frac{1кОм}{10} = 100\,Ом;$$
$$C_2 \ge = \frac{1}{2\pi \cdot 10^6 \cdot 100} \approx 1{,}5 \cdot 10^{-9}\,Ф = 1500\,пФ. \qquad (4.1)$$

$$X_{C3} = \frac{1}{\omega_0 C_3} = \frac{1}{2\pi f_0 C_3} \le \frac{R_2}{10} = \frac{3{,}3кОм}{10} = 330\,Ом;$$
$$C_3 \ge = \frac{1}{2\pi \cdot 10^6 \cdot 330} \approx 0{,}48 \cdot 10^{-9}\,Ф = 480\,пФ. \qquad (4.2)$$

Ці конденсатори в технічній літературі іноді називають блокувальними. Закорочуючи своїми маленькими реактивними опорами паралельно підключені до них резистори, такі конденсатори блокують змінну складову напруги у відповідній точці, прибирають зворотний зв'язок на робочих частотах схеми. Щоб зменшити кількість типономіналів ЕРЕ, які застосовуються, обираємо однакові:

С2, С3 КМ-5Б – 1500 пФ ± 10%.

Конденсатор фільтра *С*5 працює спільно з резистором *R*4, створюючи дільник сигналу змінного струму, який може попадати до даного модуля РЕА від джерела живлення та інших модулів по колах спільного живлення. Ємність конденсатора фільтра *С*5 можна обрати наступним чином:

$$X_{C5} = \frac{1}{\omega_0 C_5} = \frac{1}{2\pi f_0 C_5} << R_4; \quad \Rightarrow \quad C_5 >> \frac{1}{2\pi f_0 R_4} \approx \frac{10}{2\pi f_0 R_4};$$
$$C_5 >> \frac{1}{2\pi \cdot 1 \cdot 10^6 \cdot 680} \approx 234\,пФ. \qquad (4.3)$$

Для того, щоб фільтр прибирав паразитні сигнали також і з більш низькою частотою, обираємо:

С5 КМ-5Б – 0,15 мкФ – Н90.

Примітки.

1. В переліку елементів до електричної принципової схеми номінали конденсаторів можна вказувати у пікофарадах, нанофарадах та мікрофарадах. Проте, якщо номінали додатково наводяться й на самій схемі, вони вказуються цілим числом у пікофарадах, або числом з комою – у мікрофарадах.

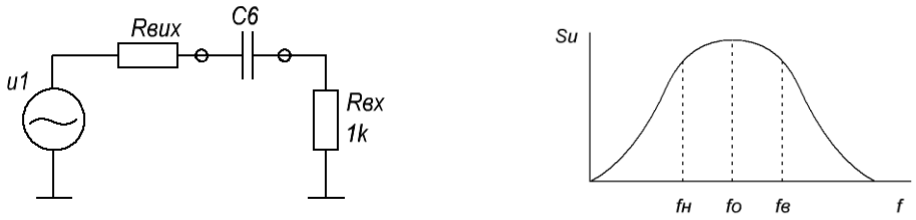
2. Оскільки номінал даного конденсатора взятий із суттєвим запасом, точність та стабільність його значення некритична. Тому обраний найменш

габаритний та дешевий конденсатор з групою за коефіцієнтом ємності Н90.

Конденсатори *С*1 та *С*4 (контурні) оберемо після розрахунку *L*1…*L*3.

4.2 Особливості вибору розділових конденсаторів

Конденсатор *С*6 – розділовий. Його призначення полягає у пропуску корисного радіосигналу з виходу каскаду підсилення, одночасно відсікаючи постійну складову струму, таким чином розділяючи постійні складові напруг каскадів. Еквівалентна схема включення *С*6 виглядає відповідно до рисунку 4.1, а. Тут u_1 – це корисний сигнал, який каскад підсилення виділив з усього радіоспектру. Спектр цього сигналу *Su* (рисунок 4.1, б) несе корисну інформацію в полосі частот від $f_н$ до $f_в$.



а) *б)*

а) еквівалентна схема підключення; б) спектр радіосигналу

Рисунок 4.1 – До розрахунку розділового конденсатора

Реактивний опір *С*6 на нижній частоті діапазону $f_н$ $X_{C6} = \dfrac{1}{\omega_í C_6}$ має бути суттєво меншим за інші опори в схемі:

а) $R_{вих}$ – вихідний опір каскаду підсилення. Оскільки власний вихідний опір каскаду за схемою з спільною базою дуже великий, визначається, в основному, еквівалентним опором контуру *L*3, *С*4;

б) $R_{вх}$ – вхідний опір наступного каскаду. Має бути якомога більшим, аби не розстроювати резонансний контур *L*3, *С*4.

Якщо в якості наступного каскаду застосовувати емітерний повторювач, можна отримати $R_{вх}$ = 10…100 *кОм*.

Якщо f_0 = 1 *МГц*, а ширина спектру радіосигналу (рисунок 4.1, б)

$$\Delta f = f_в - f_н = 10\ кГц, \text{ то } f_н \approx 995\ кГц.$$

тоді

$$X_{C6} = \frac{1}{2\pi f_н C_6} << R_{вх\ \min} \approx 10 \cdot 10^3\ Ом;$$

$$C_6 >> \frac{1}{2\pi f_н R_{вх\ \min}} \geq \frac{10}{2\pi f_н R_{вх\ \min}} = \frac{1}{2\pi \cdot 995 \cdot 10^3 \cdot 10^4} \approx 1{,}5\ нФ.$$

Обираємо

С6 = С5 КМ-5Б – 150 нФ ± 10%.

4.3 Розрахунок елементів резонансного контуру

Розрахунок елементів вихідного контуру підсилювача радіочастоти *L*3, *C*4 спирається на визначення резонансної частоти, яка має дорівнювати $f_0 = 1$ *МГц*:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_3 C_e}}, \qquad (4.4)$$

де C_e – еквівалентна ємність, яка підключена паралельно до *L*3 і впливає на процеси у контурі. Цю ємність можна визначити з еквівалентної схеми, яку представлено на рисунку 4.2. Зважаючи на те, що реальні ЕРЕ містять паразитні параметри (вхідні та вихідні ємності, індуктивності, опори тощо, які мають розброс номіналів), а також паразитні ємності монтажу схеми, для забезпечення бажаної частотної характеристики підсилювача радіочастоти доповнимо схему підстроювальним конденсатором *С*п. Під час регулювання цей конденсатор допоможе виставити максимальне значення коефіцієнту підсилення саме на потрібній частоті f_0.

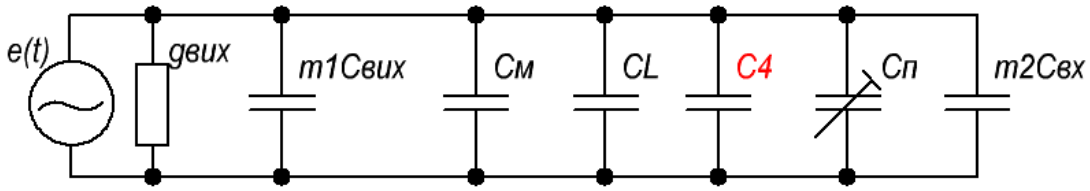


Рисунок 4.2 – Еквівалентна схема елементів, підключених до вихідного контуру підсилювача радіочастоти

На схемі позначку *e*(*t*) має ЕРС корисного радіосигналу, який підсилений даним каскадом. У схемі, що розглядається, амплітуда синусоїдального сигналу, який може відтворюватися без обмеження, складає приблизно 1,5 *В*. Це визначається напругою живлення каскаду, вихідними характеристиками транзистора, а також параметрами його робочої точки. Приклад вихідних характеристик транзистора, навантажувальної прямої та форми вихідного сигналу підсилювача радіочастоти показаний на рисунку 4.3.

На рисунку 4.2 також позначені:

$g_{вих}$ – вихідна провідність каскаду з спільною базою (дуже мала);

$C_{вих} \approx 2$ *пФ* – вихідна ємність транзистора;

$m_1 = 1$ – коефіцієнт підключення транзистора до контуру;

$C_м \approx 5\ldots10$ *пФ* – паразитна ємність монтажу;

$C_L \approx 5\ldots10$ *пФ* – паразитна ємність котушки *L*3;

$C_n = C_{n\,min} \ldots C_{n\,max}$ (6…60 *пФ*) – ємність конденсатора підстроювання;

$C_{вх} \approx 60$ *пФ* – вхідна ємність наступного каскаду (або ємність навантаження);

$m_2 = 0{,}3\ldots0{,}5$ – коефіцієнт підключення навантаження (транзистора

наступного каскаду) до контуру. Зменшує шунтування контуру.

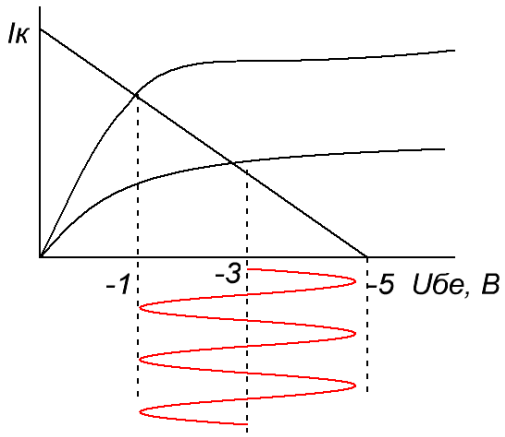


Рисунок 4.3 – Вихідні характеристики транзистора, навантажувальна характеристика та вихідний сигнал підсилювача радіочастоти

Підстроювальна ємність C_n у середньому положенні бігунка конденсатора складає:

$$C_{n0} = C_{n\min} + \frac{C_{n\max} - C_{n\min}}{2} = 6 + \frac{60-6}{2} = 33\,пФ.$$

Тоді з (4.4) випливає значення еквівалентної ємності в середньому положенні бігунка конденсатора підстроювання:

$$C_{e0} = \frac{1}{4\pi^2 f_0^2 L_3}. \qquad (4.5)$$

Для даного діапазону частот реально виготовити котушку з індуктивністю

$$L3 \approx 50\ мкГн.$$

Тоді з (4.5) можна розрахувати

$$C_{e0} = \frac{1}{4\pi^2 \left(1\cdot 10^6\right)^2 \cdot 50 \cdot 10^{-6}} = 506\,пФ.$$

З еквівалентної схеми витікає, що

$$C4 = C_{e0} - (m_1^2 C_{вих} + C_м + C_L + C_{n0} + m_2^2 C_{вх}) =$$
$$= 506 - (2 + 10 + 5 + 33 + 0{,}25\ 60) = 447\ пФ.$$

Обираємо:

С4 КМ-5Б – 430 пФ ± 5% – МП0.

Перевіримо діапазон перестроювання контуру. Мінімальна ємність підстроювального конденсатора $C_{e\,min}$

$$C_{e\,\min} = C_{e0} - \frac{C_{n\max} - C_{n\min}}{2} = 506 - \frac{60-6}{2} = 479\,пФ$$

забезпечує максимальну частоту резонансу контуру:

$$f_{0\ \max} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_3 C_{e\ \min}}}. \qquad (4.6)$$

Відносне переналаштування контуру вище частоти резонансу складе

$$\frac{f_{0\ \max}}{f_0} = \frac{2\pi\sqrt{L_3 C_{e0}}}{2\pi\sqrt{L_3 C_{e\ \min}}} = \sqrt{\frac{C_{e0}}{2C_{e\ \min}}} = \sqrt{\frac{506}{479}} = 1{,}03 \quad (+3\%).$$

$$C_{e\,max} = C_{e0} + 20 = 506 + 20 = 526\ пФ.$$

Максимальна ємність підстроювального конденсатора

$$C_{\text{e max}} = C_{e0} + \frac{C_{ï\ \max} - C_{ï\ \min}}{2} = 506 + \frac{60-6}{2} = 533 ïÔ$$

забезпечує мінімальну частоту резонансу контуру:

$$f_{0\ \min} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_3 C_{e\ \max}}}. \qquad (4.7)$$

Відносне переналаштування контуру нижче частоти резонансу складе

$$\frac{f_{0\ \min}}{f_0} = \frac{2\pi\sqrt{L_3 C_{e0}}}{2\pi\sqrt{L_3 C_{e\ \max}}} = \sqrt{\frac{C_{e0}}{2C_{e\ \max}}} = \sqrt{\frac{506}{533}} = 0{,}97 \quad (-3\%).$$

Таким чином, за допомогою *С*п контур можна підлаштувати на ±3% по частоті або в межах діапазону

$$1{,}0\ МГц \pm 30\ кГц.$$

З довіднику обираємо підстроювальний, керамічний, дисковий конденсатор

КПК-2 6/60 пФ – М750 – 350 В

Цей конденсатор призначений для роботи в колах постійного, змінного та імпульсного струму. Має номінальну напругу 350 *В* і дозволяє змінювати ємність від 6 до 60 *пФ*.

4.4 Аналіз трансформатору зв'язку

Намотку котушок зв'язку *L*1, *L*2 можна вести «в навал» на єдиному каркасі (спочатку – первинну обмотку, а поверх неї – вторинну). Це забезпечує достатньо великий коефіцієнт зв'язку між обмотками. Недоліком такого способу намотки є велика паразитна ємність між обмотками, що призводить до розстроювання вхідного контуру та ін. Альтернативним способом намотки може бути використання двох секцій на одному каркасі та феромагнітного осердя.

*L*1, *L*2 утворюють повітряний трансформатор. Його ідеалізований коефіцієнт трансформації складає

$$n = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{u_1}{u_2}, \qquad (4.8)$$

де ω_1 та ω_2 – кількість витків у первинній та вторинній обмотках;

u_1 та u_2 – напруга на первинній та вторинній обмотках (рисунок 4.4).

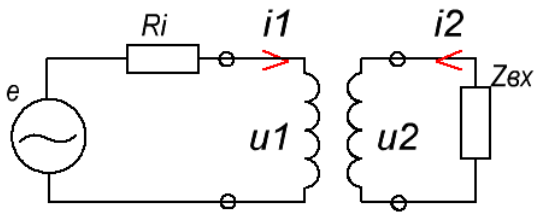


Рисунок 4.4 – Еквівалентна схема включення трансформатора зв'язку

Більш реальний коефіцієнт трансформації має враховувати втрати сигналу

$$n = \eta \frac{\omega_1}{\omega_2} = \eta \frac{u_1}{u_2}, \tag{4.9}$$

де $\eta < 1$ – коефіцієнт втрат.

Потужність сигналу у первинній обмотці складає $P_1 \approx u_1 i_1$;

потужність сигналу у вторинній обмотці складає $P_2 \approx u_2 i_2$.

Тут i_1 та i_2 – струми первинної та вторинної обмоток (рисунок 5.2).

Виходячи з балансу потужностей, $P_2 \approx P_1$, звідки

$$u_1 i_1 = u_2 i_2 = \frac{u_2^2}{z_{вх}} = \frac{u_1^2}{z_{1e}}, \tag{4.10}$$

де $z_{вх} = r_{вх} \parallel X_{Cвх}$ – еквівалентний вхідний імпеданс каскаду підсилення;

$r_{вх}$ – вхідний опір каскаду з спільною базою;

$X_{Cвх} = \dfrac{1}{2\pi f_0 C_{вх}}$ – еквівалентний реактивний опір, зумовлений вхідною ємністю каскаду з спільною базою $C_{вх} \approx 5$ *пФ*;

z_{1e} – еквівалентний імпеданс первинної обмотки, який враховує внесок первинної обмотки.

$r_{вх}$ можна розрахувати, як величину, зворотну крутизні транзистора

$$r_{вх} = 1/S = 25\ мВ/I_e = 25/1 = 25\ Ом,$$

а $X_{Cвх}$ складе

$$X_{Cвв} \approx \frac{1}{2\pi \cdot 1 \cdot 10^6 \cdot 5 \cdot 10^{-12}} \approx 30\,кОм.$$

Масштаби двох останніх величин добре ілюструють перевагу каскаду з спільною базою при роботі на високих частотах, а саме – шунтування вхідної ємності низьким вхідним опором.

Оскільки

$$u_2 = \frac{u_1}{n}\eta \Rightarrow \frac{u_1^2 \eta^2}{z_{вх} n^2} = \frac{u_1^2}{z_{1e}}, \tag{4.11}$$

то

$$z_{1вх} = \frac{z_{вих} n^2}{\eta^2}. \tag{4.12}$$

Таким чином, трансформатор виконує важливу роль узгодження опорів. Те, що підключено до вторинної обмотки, перераховується у первинну, і у масштабі n^2 разів підвищується опір. Активна складова опору також відповідно масштабується

$$r_{1e} = r_{вх} \frac{n^2}{\eta^2} . \qquad (4.13)$$

Так, якщо коефіцієнт трансформації $n = 5$, $r_{вх}$ перераховується приблизно у 25 разів:

$$r_{вх} = 25\ Ом \cdot 25 = 625\ Ом.$$

Отже, вплив на вхідне коло нашого модуля РЕА зменшується. При цьому, однак, зменшується і вхідний сигнал, проте за лінійним законом відносно n

$$u_2 = u_1/n = u_1/5,$$

що можна компенсувати відповідним підсиленням.

4.5 Розрахунок котушок індуктивності

Задаємося номінальною індуктивністю $L1 = 50\ мкГн$. Візьмемо каркас діаметром 7 *мм*. Користуючись *on-line* калькулятором (наприклад, [7]), і, обравши провід ПЭ-0,1 з товщиною ізоляції 0,01 *мм*, отримаємо:

1) кількість витків $\omega_1 = 135$;
2) довжину намотки 14,8 *мм*.

Враховуючи раніше обраний коефіцієнт трансформації $n = 5$, можна розрахувати параметри вторинної обмотки:

$$\omega_2 = \omega_1/n = 135 / 5 = 27.$$

Тобто, треба намотати 27 витків того ж самого проводу ПЭ-0,1 другим шаром поверх первинної обмотки.

Оскільки магнітний зв'язок між обмотками $m < 1$, це треба врахувати за допомогою поправкових коефіцієнтів. Так, для $m = 0,8$ отримаємо:

$$\omega'_2 = \omega_2/m = 27 / 0,8 \approx 34 \text{ витка.}$$

Подібно до $L1$ можна розрахувати параметри котушки $L3$. Її особливістю є автотрансформаторне підключення навантаження підсилювача. З цією метою спочатку намотуються певна частина загальних витків (наприклад, 70%), потім до кінця проводу напаюється решетка проводу (30%), і намотка продовжується до закінчення.

Оскільки вхідний контур має бути налаштованим на резонанс на частоті f_0, це дає можливість підібрати потрібний номінал конденсатора $C1$:

$$f_{0\ \min} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_3 C_{e\ \max}}}.$$

$$C_1 = \frac{1}{4\pi^2 f_0^2 L_1}.$$

$$C_1 = \frac{1}{4\pi^2 1 \cdot 10^{12} \cdot 50 \cdot 10^{-6}} \approx 500 пФ.$$

Обираємо

С1 КМ-5Б – 470 пФ ± 5% – МП0.

Тепер ми маємо номінали всіх елементів принципової схеми підсилювача радіочастоти, а отже можемо:

а) скласти перелік елементів;

б) провести моделювання схеми;

в) оформити пояснювальну записку до розрахунково-графічної роботи;

г) зробити висновки по роботі.

4.6 Запитання та завдання для самоперевірки

1. Визначити поняття та навести вимоги до розділових конденсаторів.

2. Охарактеризувати поняття та описати вимоги до блокувальних конденсаторів.

3. Описати призначення резонансних контурів у РЕА.

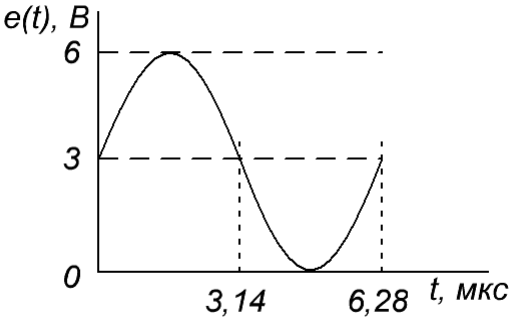
4. Охарактеризувати елементи, які треба враховувати під час розрахунку резонансних контурів у РЕА.

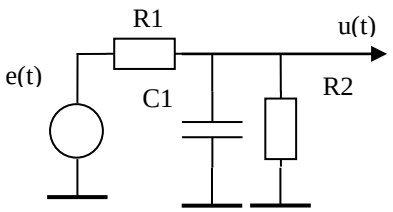
5. Яким чином можна підстроїти частоту резонансу контуру на центральну частоту діапазону?

6. Які функції виконують високочастотні трансформатори?

7. З якою метою застосовуються полярні конденсатори?

4.7 Приклад задачі для модульного контролю МК2





В переліку елементів до принципової електричної схеми РЕА наявна така інформація:

С1 КМ-5б – 0,1 мкФ±10%

R1 С2-23 – 0,125 Вт – 2,2 кОм±10%

R2 С2-23 – 0,125 Вт – 1,5 кОм±10%

Оцінити числом та зобразити вигляд u(t) в такому ж масштабі, як і $e(t)$. Фазові зсуви не враховувати.

5 РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБКИ МОДУЛЯ РЕА

Мета заняття: практичне ознайомлення з підготовкою звітної документації з розробки модуля РЕА.

Після закінчення розрахунків та вибору елементів електричної схеми необхідно підготувати комплект технічної документації на модуль РЕА, який зазвичай містить:

1) принципову електричну схему модуля;
2) перелік елементів до принципової електричної схеми модуля;
3) пояснювальну записку;
4) додатки.

Розглянемо деякі основні правила та рекомендації щодо підготовки комплекту технічної документації на модуль РЕА.

5.1 Особливості підготовки принципової електричної схеми

Цей документ виконується відповідно до вимог діючих стандартів. До 1.01.2016 застосовуються стандарти Єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД), термін дії яких автоматично продовжується до прийняття інших стандартів. Стандарти ЄСКД містять кодову назву *ГОСТ 2.ххх – уу*, де *ххх* – номер стандарту, а *уу* – рік його вступу в дію. Деякі з цих стандартів доступні на [8]. Приклад принципової електричної схеми модуля РЕА наведений у Додатку Г.

Відповідно до стандартів на принциповій електричній схемі модуля РЕА окрім умовних графічних зображень ЕРЕ та електричних зв’язків між ними може наводитися й інша текстова та графічна інформація, яка допомагає у сприйнятті схеми, розумінні принципів її роботи, настроювання, модернізації та ремонту. Так, зокрема, умовні графічні зображення ЕРЕ можуть супроводжуватися позначеннями їхніх номінальних значень (Додаток Г). Дуже зручним для користування схемою є наявність на ній напруг у вузлах та струмів у замкнених колах, форма сигналів у конкретних точках тощо.

5.2 Особливості підготовки переліку елементів до принципової електричної схеми модуля РЕА

Перелік елементів до принципової електричної схеми модуля РЕА виконується на аркушах текстових документів:

№1 за формою 20 (ГОСТ 2.004-88) – тільки для першого (або єдиного) аркушу переліку елементів;

№2 за формою 21 (ГОСТ 2.004-88) – для другого (та усіх наступних) аркушів переліку елементів.

Приклад переліку елементів до принципової електричної схеми модуля РЕА наведений у Додатку Д. В переліку обов’язково треба зазначити назву модуля РЕА (аналогічно такій на схемі), а також – вид документу

(перелік елементів).

У Таблиці 5.1 наведені буквені коди, які використовують для позначення конкретних ЕРЕ на електричних схемах. Перша буква коду є обов'язковою. За нею має йти арабська цифра порядкового номеру ЕРЕ у застосованій групі.

Таблиця 5.1 – Буквені коди ЕРЕ на електричних схемах

Перша буква коду	**Група видів елементів**	**Приклади видів елементів**
1	**2**	**3**
A	Пристрої	Підсилювачі, прилади телекерування, лазери, мазери
B	Перетворювачі неелектричних величин в електричні (крім генераторів та джерел живлення) або навпаки аналогові або багаторозрядні перетворювачі або датчики для показання або вимірювання	Гучномовці, мікрофони, термоелектричні чутливі елементи, детектори іонізуючих випромінювань, звукознімачі, сельсини
C	Конденсатори	
D	Схеми інтегральні, мікрозборки	Схеми інтегровані аналогові та цифрові, логічні елементи, пристрої пам'яті, пристрої затримки
E	Елементи різні	Освітлювальні пристрої, нагрівальні елементи
F	Розрядники, запобіжники, пристрої захисні	Дискретні елементи захисту по струму та напрузі, плавкі запобіжники, розрядники
G	Генератори, джерела живлення, кварцові осцилятори	Батареї, акумулятори, електрохімічні та електротермічні джерела
H	Пристрої індикаційні та сигнальні	Прилади звукової та світлової сигналізації, індикатори
K	Реле, контактори, пускачі	Реле струмові та напруги, реле електротеплові, реле часу, контактори, магнітні пускачі
L	Котушки індуктивності, дроселі	Дроселі люмінесцентного освітлення
M	Двигуни	Двигуни постійного та змінного струму
P	Прилади, вимірювальне устаткування	Показуючі, реєструючі та вимірювальні прилади, лічильники, годинники
Q	Вимикачі та роз'єднувачі у силових колах	Роз'єднувачі, короткозамикачі, автоматичні вимикачі (силові)
R	Резистори	Змінні резистори, потенціометри, варистори, терморезистори
S	Пристрої комутаційні в колах керування, сигналізації та вимірювальних	Вимикачі, перемикачі, вимикачі, які спрацьовують від різних впливів
T	Трансформатори, автотрансформатори	Трансформатори струму та напруги, стабілізатори
U	Перетворювачі електричних величин в електричні, пристрої зв'язку	Модулятори, демодулятори, дискримінатори, інвертори, перетворювачі частоти, випрямлячі

1	2	3
V	Прилади електровакуумні, напівпровідникові	Електронні лампи, діоди, транзистори, тиристори, стабілітрони
W	Лінії та елементи надвисокої частоти, антени	Хвилеводи, диполі, антени
X	З'єднувачі контактні	Штирі, гнізда, розбірні з'єднання, струмознімачі
Y	Пристрої механічні з електромагнітним приводом	Електромагнітні муфти, гальма, патрони
Z	Пристрої кінцеві, фільтри, обмежувачі	Лінії моделювання, кварцові фільтри

Стандарт також допускає застосування двобуквених кодів ЕРЕ, деякі з яких наведені в Таблиці 5.2. Перша буква коду є обов'язковою.

Таблиця 5.2 – Приклади деяких двобуквених кодів ЕРЕ

Перша буква коду	**Група видів елементів**	**Приклади видів елементів**	**Двобукв. код**
1	**2**	**3**	**4**
B	Перетворювачі неелектричних величин в електричні (крім генераторів та джерел живлення) або навпаки аналогові або багаторозрядні перетворювачі або датчики для показання або вимірювання	Гучномовець	BA
		Тепловий датчик	BK
		Фотоелемент	BL
		Мікрофон	BM
		Датчик тиску	BP
		П'єзоелемент	BQ
		Датчик частоти обертання (тахогенератор)	BR
		Датчик швидкості	BV
D	Схеми інтегровані, мікрозборки	Схема інтегрована аналогова	DA
		Схема інтегрована, цифрова, логічний елемент	DD
		Пристрої зберігання інформації	DS
E	Елементи різні	Нагрівальний елемент	EK
		Лампа освітлювальна	EL
F	Розрядники, запобіжники, пристрої захисні	Дискретний елемент захисту за струмом миттєвої дії	FA
		Дискретний елемент захисту за струмом інерційної дії	FP
		Запобіжник плавкий	FU
		Дискретний елемент захисту за напругою, розрядник	FV
G	Генератори, джерела живлення	Батарея	GB
H	Пристрої індикаційні та сигнальні	Прилад звукової сигналізації	HA
		Індикатор символьний	HG
		Прилад світлової сигналізації	HL
K	Реле, контактори, пускачі	Реле струмове	KA
		Реле вказуюче	KH
		Реле електротеплове	KK

1	2	3	4
		Контактор, магнітний пускач	KM
		Реле часу	KT
		Реле напруги	KV
L	Котушки індуктивності, дроселі	Дросель люмінесцентного освітлення	LL
P	Прилади, вимірювальне устаткування *Примітка*. Сполучення PE застосовувати не допускається	Амперметр	PA
		Лічильник імпульсів	PC
		Частотомір	PF
		Лічильник активної енергії	PI
		Лічильник реактивної енергії	PK
		Омметр	PR
		Реєструючий прилад	PS
		Годинник, вимірювач часу дії	PT
		Вольтметр	PV
		Ватметр	PW
Q	Вимикачі та роз'єднувачі в силових колах (енергопостачання, живлення устаткування тощо)	Вимикач автоматичний	QF
		Короткозамикач	QK
		Роз'єднувач	QS
R	Резистори	Терморезистор	RK
		Потенціометр	RP
		Шунт вимірювальний	RS
		Варистор	RU
S	Пристрої комутаційні в колах керування, сигналізації та вимірювальних. *Примітка*. Позначення SF застосовують для апаратів, які не мають контактів силових кіл	Вимикач або перемикач	SA
		Вимикач кнопковий	SB
		Вимикач автоматичний	SF
	Вимикачі, які спрацьовують від різних впливів:	від рівня	SL
		від тиску	SP
		від положення (шляховий)	SQ
		від частоти обертання	SR
		від температури	SK
T	Трансформатори, автотрансформатори	Трансформатор струму	TA
		Електромагнітний стабілізатор	TS
		Трансформатор напруги	TV
U	Пристрої зв'язку Перетворювачі електричних величин в електричні	Модулятор	UB
		Демодулятор	UR
		Дискримінатор	UI
		Перетворювач частотний, інвертор, генератор частоти, випрямляч	UZ
V	Прилади електровакуумні та напівпровідникові	Діод, стабілітрон	VD
		Прилад електровакуумний	VL
		Транзистор	VT
		Тиристор	VS
W	Лінії та елементи НВЧ	Відгалужувач	WE
		Короткозамикач	WK
		Вентиль	WS

1	2	3	4
		Трансформатор, неоднорідність, фазообертач	WT
		Атенюатор	WU
	Антени	Антена	WA
X	З'єднання контактні	Струмознімач, контакт ковзний	XA
		Штир	XP
		Гніздо	XS
		З'єднання розбірне	XT
		З'єднувач високочастотний	XW

5.3 Особливості підготовки пояснювальної записки

Пояснювальна записка – це документ, який зазвичай надає наступну інформацію про розроблений модуль РЕА: призначення, основні характеристики та параметри, розрахунки режимів роботи та обґрунтування вибору ЕРЕ, рекомендації з регулювання та експлуатації, використані та рекомендовані джерела інформації за темою розробки, довідкову інформацію тощо.

Складові пояснювальної записки до розрахунково-графічної роботи можуть (в залежності від варіанта завдання) містити наступну інформацію:

ВСТУП

Цей ненумерований розділ може займати від половини до двох аркушів формату А4. Студентом самостійно формулюється актуальність (важливість, потрібність) даної роботи. Далі одним реченням визначається мета (наприклад, суто навчальна) цієї роботи. У наступних абзацах перераховують задачі, які потребують вирішення задля досягнення поставленої мети. Наприкінці вступу стисло (одним – двома реченнями) описується зміст пояснювальної записки (наприклад, складається з п'яти розділів, списку джерел інформації з 12 назв, чотирьох додатків; містить 5 рисунків, 2 таблиці; усього 14 сторінок).

1 АНАЛІЗ СХЕМИ МОДУЛЯ РЕА

2 РОЗРАХУНОК (ВИБІР) ЕЛЕМЕНТІВ ЗА ПОСТІЙНИМ СТРУМОМ

3 РОЗРАХУНОК (ВИБІР) ЕЛЕМЕНТІВ ЗА ЗМІННИМ СТРУМОМ

ВИСНОВКИ

В цьому ненумерованому розділі, який може займати до одного аркушу формату А4, підсумовуються основні результати: що зроблено, чи вдалося досягти мети роботи. Також надаються пропозиції (рекомендації) щодо вдосконалення методики вибору ЕРЕ в контексті основної мети навчальної дисципліни «Елементна база радіоелектронних апаратів».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

Наводяться пронумеровані джерела інформації, які реально були використані під час підготовки розрахунково-графічної роботи. Слід зазначити, що використання інформації інших авторів можливе тільки за умови

посилання на джерела у тексті пояснювальної записки. Такі посилання робляться у вигляді арабських цифр-номерів джерел у квадратних скобках. Порядок джерел у списку може бути або за алфавітом (кирилиця, потім – латиниця), або у порядку посилань.

Використання інформації без посилання на джерела вважається плагіатом і призводить до відхилення розрахунково-графічної роботи.

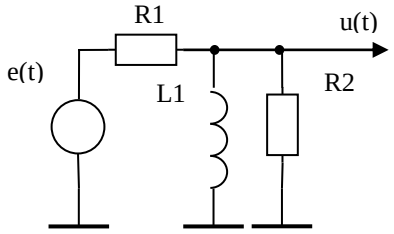
ДОДАТКИ

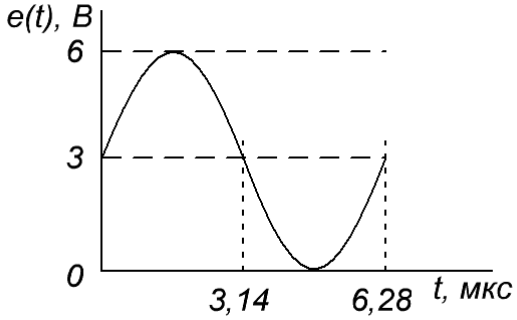
В додатках до пояснювальної записки до розрахунково-графічної роботи наводиться доопрацьована принципова електрична схема модуля РЕА, отримана під час видачі завдання, перелік елементів до цієї схеми, а також інша (довідкова) інформація. Додатки нумеруються буквами українського алфавіту.

5.4 Запитання для самоперевірки

1. Що вказує на приналежність стандарту до Єдиної системи конструкторської документації?
2. Яку інформацію допускають розміщувати стандарти ЄСКД на електричних принципових схемах?
3. Яким чином оформлюється перелік елементів до електричної принципової схеми?
4. Яку інформацію треба навести у ВСТУПІ до пояснювальної записки?
5. Яким чином оформлюється список джерел та посилання на них?

5.5 Приклад задачі для модульного контролю МКЗ





В переліку елементів до принципової електричної схеми РЕА наявна така інформація:

L1 100 мкГн±10%

R1, R2 С2-23 – 0,125 Вт – 1 кОм±5%

Оцінити числено та зобразити вигляд u(t).

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Матвійків М.Д. та ін. Елементна база електронних апаратів: Підручник /М.Д.Матвійків, В.М. Когут, О.М. Матвійків. – 2-ге вид. – Львів: Видавництво Національного ун-ту "Львівська політехніка", 2007. – 428 с.

2. Елементна база радіоелектронних апаратів. Методичні вказівки до самостійної роботи студентів напряму підготовки 6.050902 – Радіоелектронні апарати/ Укл. В.П.Войтенко. – Чернігів: ЧНТУ, 2016.

3. Перелік стандартів Єдиної системи конструкторської документації. Доступно на: http://www.rugost.com/files/eskd.pdf

4. ГОСТ 2.701-84. Правила выполнения схем.

5. ГОСТ 2.702-75. Правила выполнения электрических схем.

6. ГОСТ 2.710-81. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах.

7. *On-line* калькулятор котушки індуктивності. Доступно на: http://coil32.ru/calc/one-layer.html

8. Стандарти, застосовувані в галузі електроніки. Доступно на: \\inel\incoming\Госты, стандарты\ ...

9. Горячева Г.А., Добромыслов Е.Р. Конденсаторы: Справочник. – М.: Радио и связь, 1984. – 88 с.

10. Гендин Г.С. Все о резисторах: Справочник. – М.: Горячая линия – Телеком, 1999. – 192 с.

11. Аксенов А.И., Нефедов А.В. Элементы схем бытовой радиоаппаратуры. Конденсаторы. Резисторы: Справочник. – М.: Радио и связь. 1995. – 272 с.

12. Садченков Д.А. Маркировка радиодеталей отечественных и зарубежных. Справочное пособие. Том 1. – М.: СОЛОН-Р, 2002. – 208 с.

13. Мукосеев В.В. Маркировка и обозначение радиоэлементов. Системы цветовой и буквенно-цифровой маркировки отечественных и зарубежных электронных элементов: справочник /Мукосеев В.В., Сидоров И.Н. – М.: Радио и связь, 1999. – 349с.(Массов. радиобибл. Вып. 1240.)

14. Маркировка электронных компонентов. — 9-е изд., стер. - М.: Издательский дом «Додэка-XX1», 2004. — 208 с : ил.

15. Нестеренко И.И. Цвет, код, символика электронных компонентов/ Нестеренко И.И. . – М.:СОЛОН, 2004. -213с.

16. Коммутационные устройства радиоэлектронной аппаратуры/ Г.Я.Рыбин, Б.Ф.Ивакин и др.; Под ред. Г.Я.Рыбина. – М.: Радио и связь, 1985. – 264 с.

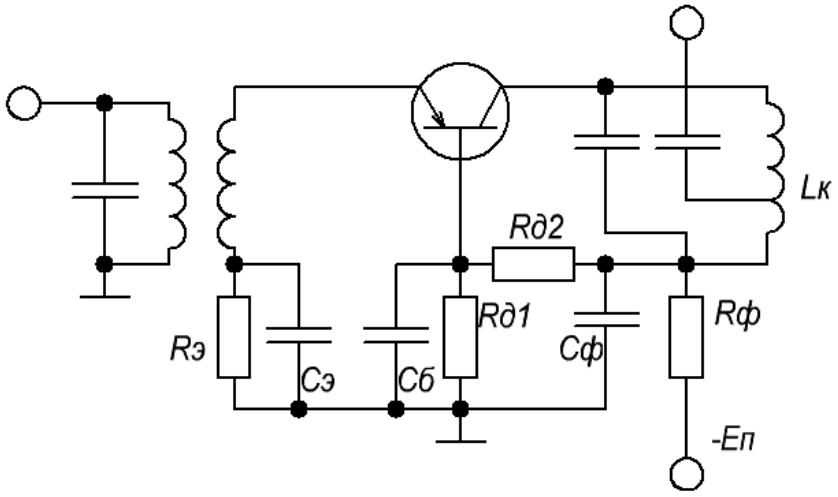
Додаток А
Приклад аркуша завдання на розрахунково-графічну роботу

ЗАВДАННЯ

на розрахунково-графічну роботу

з дисципліни «Елементна база радіоелектронних апаратів»

Обрати електрорадіоелементи у складі схеми модуля РЕА.



Завдання отримав «___» ___ _____ 201_ р.

Ст. гр. РА-1_1 _____ І.Ф.Петренко

Керівник _____ В.П.Войтенко

Додаток Б
Приклад титульного аркуша розрахунково-графічної роботи

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРНІГІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра промислової електроніки

Розрахунково-графічна робота

з дисципліни «Елементна база радіоелектронних апаратів»

Виконав ст.. гр. РЕА-151 _____ І.Ф.Петренко
«___» _____ 201_ р.

Перевірив _____ В.П.Войтенко
«___» _____ 201_ р.

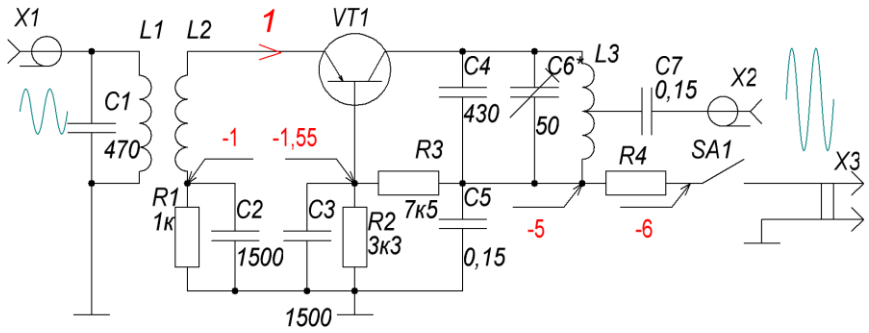
Чернігів -201_

Додаток В
Ряди номінальних значень ЕРЕ

Таблиця В.1 – Стандартні ряди номінальних значень резисторів

Ряд	Номінальні значення											
E3	1,00				2,2				4,7			
E6	1,00		1,5		2,2		3,3		4,7		6,8	
E12	1,00	1,2	1,5	1,8	2,2	2,7	3,3	3,9	4,7	5,6	6,8	8,2
E24	1,00	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	3,0
	3,3	3,6	3,9	4,3	4,7	5,1	5,6	6,2	6,8	7,5	8,2	9,1
E48	1,00	1,05	1,10	1,15	1,21	1,27	1,33	1,40	1,47	1,54	1,62	1,69
	1,78	1,87	1,96	2,05	2,15	2,26	2,37	2,49	2,61	2,74	2,87	3,01
	3,16	3,32	3,48	3,65	3,83	4,02	4,22	4,42	4,64	4,87	5,11	5,36
	5,62	5,90	6,19	6,49	6,81	7,15	7,50	7,87	8,25	8,66	9,09	9,53
E96	1,00	1,02	1,05	1,07	1,10	1,13	1,15	1,18	1,21	1,24	1,27	1,30
	1,33	1,37	1,40	1,43	1,47	1,50	1,54	1,58	1,62	1,65	1,69	1,74
	1,78	1,82	1,87	1,91	1,96	2,00	2,05	2,10	2,15	2,21	2,26	2,32
	2,37	2,43	2,49	2,55	2,61	2,67	2,74	2,80	2,87	2,94	3,01	3,09
	3,16	3,24	3,32	3,40	3,48	3,57	3,65	3,74	3,83	3,92	4,02	4,12
	4,22	4,32	4,42	4,53	4,64	4,75	4,87	4,99	5,11	5,23	5,36	5,49
	5,62	5,76	5,90	6,04	6,19	6,34	6,49	6,65	6,81	6,98	7,15	7,32
	7,50	7,68	7,87	8,06	8,25	8,45	8,66	8,87	9,09	9,31	9,53	9,76
E192	1,00	1,01	1,02	1,04	1,05	1,06	1,07	1,09	1,10	1,11	1,13	1,14
	1,15	1,17	1,18	1,20	1,21	1,23	1,24	1,26	1,27	1,29	1,30	1,32
	1,33	1,35	1,37	1,38	1,40	1,42	1,43	1,45	1,47	1,49	1,50	1,52
	1,54	1,56	1,58	1,60	1,62	1,64	1,65	1,67	1,69	1,72	1,74	1,76
	1,78	1,80	1,82	1,84	1,87	1,89	1,91	1,93	1,96	1,98	2,00	2,03
	2,05	2,08	2,10	2,13	2,15	2,18	2,21	2,23	2,26	2,29	2,32	2,34
	2,37	2,40	2,43	2,46	2,49	2,52	2,55	2,58	2,61	2,64	2,67	2,71
	2,74	2,77	2,80	2,84	2,87	2,91	2,94	2,98	3,01	3,05	3,09	3,12
	3,16	3,20	3,24	3,28	3,32	3,36	3,40	3,44	3,48	3,52	3,57	3,61
	3,65	3,70	3,74	3,79	3,83	3,88	3,92	3,97	4,02	4,07	4,12	4,17
	4,22	4,27	4,32	4,37	4,42	4,48	4,53	4,59	4,64	4,70	4,75	4,81
	4,87	4,93	4,99	5,05	5,11	5,17	5,23	5,30	5,36	5,42	5,49	5,56
	5,62	5,69	5,76	5,83	5,90	5,97	6,04	6,12	6,19	6,29	6,34	6,42
	6,49	6,57	6,65	6,73	6,81	6,90	6,98	7,06	7,15	7,23	7,32	7,41
	7,50	7,59	7,68	7,77	7,87	7,96	8,06	8,16	8,25	8,35	8,45	8,56
	8,66	8,76	8,87	8,98	9,09	9,20	9,31	9,42	9,53	9,65	9,76	9,88

Додаток Г
Приклад принципової електричної схеми модуля РЕА



					РА12.060306.041 Е3		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Модуль підсилювача радіочастоти. Схема електрична принципова	Лит	Маса / Масштаб
Розроб.		Петренко		15.05.16			
Перевір.		Войтенко				Лист	Листів 1
Т. контр.							
Реценз.						ЧНТУ	
Н. контр.							
Затверд.							

Додаток Д
Приклад переліку елементів до принципової схеми

Поз.позначення	Найменування	Кільк.	Примітка
	Конденсатори КМ-5б ОЖ 0.460.161 ТУ		
C1	КМ-5б-470 пФ ± 5% – МП0	1	
C2, C3	КМ-5б -1500 пФ ± 5% – М750	2	
C4	КМ-5б-470 пФ ± 5% – МП0	1	
C5	КМ-5б – 0,15 мкФ – Н90	1	
C6*	КПК-2 6/60 пФ ОЖ 0.460.10 ТУ	1	Див. поясн. запис., стор. 5
C7	КМ-5б – 0,15 мкФ – Н90	1	
	Котушки індуктивності		
L1	50 мкГн. 135 витків проводу ПЭ-0,1 на каркасі Ø7 мм.	1	Поясн. запис., стор. 8
	ЧНТУ 060636.002 ТУ		
L2	34 витка проводу ПЭ-0,1 поверх L1.	1	Поясн. запис., стор. 8
L3	50 мкГн. 135 витків проводу ПЭ-0,1 на каркасі Ø7 мм.	1	Поясн. запис., стор. 9
	Резистори С1–4–0,125 ОЖО.467.173 ТУ		
R1	0,125 Вт – 1 кОм±5%	1	
R2	0,125 Вт – 3,3 кОм ± 5%	1	
R3	0,125 Вт – 7,5 кОм ± 5%	1	
R4	0,25 Вт – 680 Ом ± 5%	1	
S1	Перемикач движковий ESP1010	1	ECE
VT1	Транзистор КТ361Б ФЫ0.336.201 ТУ/02	1	
X1, X2	Роз'єднувач СР-50-73-ФВ-1	2	
X3	Роз'єднувач МРН-4-1В СМ 5.035.078 ТУ	1	

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	РА12.060306.041 ПЕ3		
Розробив		Петренко			Модуль підсилювача радіочастоти.	Літера	Аркуш 1 / Аркушів 1
Перевірив.		Войтенко					
Н.контр					Перелік елементів до електричної принципової схеми	ЧНТУ	
Затвердив							