

**Міністерство освіти і науки України
Запорізька державна інженерна академія**



**Є.М. Кісельов
М.В. Світанько
Л.Л. Верьовкін
Н.І. Строїтелева**

АВТОМАТИЗАЦІЯ СХЕМОТЕХНІЧНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

**методичні вказівки до лабораторних робіт
частина 2**

*для студентів ЗДІА напрямку підготовки
6.050801 Мікро- та наноелектроніка*

м. Запоріжжя
2014 р.

**Міністерство освіти і науки України
Запорізька державна інженерна академія**

АВТОМАТИЗАЦІЯ СХЕМОТЕХНІЧНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

**методичні вказівки до лабораторних робіт
частина 2**

*для студентів ЗДІА напрямку підготовки
6.050801 Мікро- та наноелектроніка*

*Рекомендовано до видання
на засіданні кафедри ФБМЕ
протокол № від*

Автоматизація схемотехнічного проектування. Методичні вказівки до лабораторних робіт для студентів ЗДІА напряму підготовки 6.050801 «Мікрота наноелектроніка», частина 2 / Укладачі: Є.М. Кісельов, М.В. Світанько, Л.Л. Верьовкін, Н.І. Строїтелева – Запоріжжя: Вид-во ЗДІА, 2014.- 50 с.

Розглянуті рекомендації до самостійної роботи студентів з методів синтезу топологічних рівнянь електронних схем.

Укладачі: ***Є.М. Кісельов, доцент***
М.В. Світанько, доцент
Л.Л. Верьовкін, доцент
Н.І. Строїтелева, доцент

Відповідальний за випуск: ***завідуючий кафедри ФБМЕ***
професор Є. Я. Швець

Зміст

Вступ	4
Лабораторна робота №1 «Розробка технічного завдання до проектує- мого пристрою»	7
Лабораторна робота №2 «Моделювання функціональних блоків ра- діоелектронних пристроїв у середовищі Electronics Workbench»	10
Лабораторна робота №3 «Моделювання параметричної чутливості функціональних блоків електронних схем»	14
Лабораторна робота №4 «Моделювання впливу зовнішньої темпера- тури на роботу функціональних блоків електронних схем»	17
Лабораторна робота №5 «Моделювання впливу статистичного відхи- лення параметрів елементів на роботу функціональних блоків елект- ронних схем»	20
Перелік рекомендованих джерел	25
Додаток А	26
Додаток Б	41
Додаток В	47

Вступ

Сьогодні в теорії автоматизованого проектування (АП) стосовно радіоелектроніки виділяють п'ять функціональних рівнів проектування, які створюють наступну ієрархію:

- перший рівень – рівень автоматизованого структурного проектування (АСтП);
- другий рівень – рівень автоматизованого функціонально-логічного проектування (АФЛП);
- третій рівень – рівень автоматизованого проектування схемотехніки (АСхП);
- четвертий рівень – рівень автоматизованого компонентного проектування (АКП);
- п'ятий рівень – рівень автоматизованого конструкторсько-технологічного проектування (АКТП).

Ці рівні розрізняються перш за все сутністю вирішуваних завдань і витікаючою звідси відмінністю математичних апаратів.

У АСхП розробляють складні електронні пристрої і вузли, для чого широко використовують теорію електричних ланцюгів із зосередженими параметрами разом з чисельними методами вирішення звичайних диференціальних рівнянь.

У АКП розробляються нові пасивні і активні компоненти, у тому числі пристрої на розподілених структурах і з використанням нових фізичних принципів, наприклад, пристрою на поверхневих акустичних хвилях (ПАХ), на приладах із зарядовим зв'язком та ін. Для цього широко застосовуються методи математичної фізики і фізики твердого тіла, а також чисельні методи вирішення рівнянь в частинних похідних.

Нарешті, в АКТП займаються конструкторсько-технологічним проектуванням.

Будь-які радіоелектронні пристрої (РЕП) можуть бути виготовлені тільки на підставі певних конструкторських документів.

До конструкторських документів відносяться графічні і текстові документи, які окремо або в сукупності визначають склад і принцип дії РЕП і містять необхідні дані для його розробки, виготовлення, контролю, приймання, експлуатації і ремонту.

До графічних документів відносяться різні види креслень, схем. У них міститься графічна інформація про РЕП.

Залежно від стадій розробки, що встановлюються ГОСТ 2.103 - 68, конструкторські документи підрозділяються на проектні і робочі.

До проектних відносяться технічна пропозиція, ескізний проект, технічний проект. Вхідні в технічний проект відомості містять початкові дані для виконання робочої документації - специфікацій, креслень схем і ін.

Згідно ГОСТ 2.103 - 68 встановлені наступні стадії розробки конструкторської документації:

1. Технічна пропозиція - сукупність конструкторських документів, що містять аналіз різних варіантів можливих вирішень технічного завдання замовника, техніко-економічні обґрунтування пропонованих варіантів, патентний пошук і тому подібне.

2. Ескізний проект - сукупність конструкторських документів, які повинні включати принципові конструктивні рішення, що дають загальне уявлення про пристрій і принцип роботи РЕП, а також дані, що визначають призначення, основні параметри і габаритні розміри РЕП, що розробляється.

3. Технічний проект - сукупність конструкторських документів, які повинні містити остаточні технічні рішення, що дають повне уявлення про пристрій РЕП, що розробляється, і початкові дані для розробки робочої документації.

Технічний проект служить підставою для розробки робочої конструкторської документації.

4. Робоча конструкторська документація - сукупність конструкторських документів, призначених для виготовлення і випробувань дослідного зразка, настановної партії, серійного (масового) виробництва РЕП.

Завданням наведених лабораторних робіт є формування практичних навичок студентів у схемотехнічному проектуванні РЕП і розробки відповідної конструкторської документації.

Лабораторна робота №1

«Розробка технічного завдання до проектуемого пристрою»

Мета роботи: отримання навичок структурної декомпозиції електронних пристроїв і формування приватних технічних завдань до структурних блоків

Короткі теоретичні відомості

Основними методами проектування є:

- декомпозиція (алгоритмічна або об'єктно – орієнтована);
- абстракція;
- визначення ієрархії (класифікація).

При алгоритмічній декомпозиції об'єкт поділяється на модулі, що виконують одну з функцій загального об'єкту. При об'єктно – орієнтованій декомпозиції складна система розглядається як впорядкована сукупність об'єктів, які у процесі взаємодії одне з одним зумовлюють поведінку системи.

Способами проектування є натурне макетування, фізичне моделювання і математичне моделювання із застосуванням багатоваріантного проектування та оптимізації. Сьогодні широко використовується проектування РЕС із застосуванням математичних методів і засобів обчислювальної техніки, комплексної автоматизації проектних робіт, що дозволило замінити макетування і фізичне моделювання математичним моделюванням.

На першому етапі проектування складний пристрій розбивається на функційно завершені блоки і розробляються приватні технічні завдання (ТЗ) до кожного блоку. ТЗ передбачає опис зовнішніх і внутрішніх параметрів: вхідних і вихідних сигналів, діапазону частот, споживаємої потужності, умов експлуатації, максимальних і мінімальних значень параметрів та інш.

На другому етапі після формування ТЗ на проектумий блок визначається його принципова електрична схема початкового рівня наближення. При цьому обриються компоненти схем: транзистори, діоди, ІМС, резистори, конденсатори, котушки індуктивності та інш., а також їх номінальні значення і допуски на параметри компонентів.

В процесі конструювання і розробки технології також може бути потрібна корекція принципів схем, структури системи і навіть вихідних даних. Тому процес проектування є не лише багатоетапним, але і багато разів коректованим, у міру його виконання, тобто процес носить ітераційний характер.

Порядок виконання роботи

1. Отримати у викладача, що проводить лабораторні заняття, завдання на виконання серії лабораторних робіт у вигляді ескізу схеми електричної принципової РЕП (Додаток А).
2. Зазначити номер отриманого варіанту, назву і стислий опис РЕП.
3. Шляхом аналізу електричної принципової схеми скласти опис її функціонування.
4. Розробити креслення схеми електричної принципової у середовищі sPlan.
5. Визначити загальне ТЗ до аналізованої схеми шляхом опису зовнішніх і внутрішніх параметрів: вхідних і вихідних сигналів, діапазону частот, споживаної потужності, умов експлуатації, граничних допусків на основні характеристики і тому подібне.
6. Методом об'єктно – орієнтованій декомпозиції виконати розділення схеми РЕП на функціональні блоки (ФБ). На основі цього скласти електричну функціональну схему РЕП і оформити її у середовищі sPlan.
7. Згідно розробленої функціональної схеми РЕП, скласти електричні принципові схеми до кожного ФБ і оформити їх у середовищі sPlan.
8. Розробити приватні ТЗ до кожного ФБ РЕП із зазначенням компонентів схем: транзисторів, діодів, ІМС, резисторів, конденсаторів, котушок індуктивності та інш., а також їх номінальних значень і допусків на параметри компонентів.
9. Оформити звіт з лабораторної роботи.

Зміст звіту

1. Титульний аркуш звіту
2. Мета роботи
3. Короткі теоретичні відомості
4. Порядок виконання роботи
5. Завдання до лабораторної роботи у вигляді ескізу схеми електричної принципової і її стислого опису.
6. Схема електрична принципова РЕП і опис її функціонування. Загальне ТЗ до проектування РЕП.
7. Функціональна схема РЕП
8. Принципові схеми, приватні ТЗ і із зазначенням елементної бази до кожного ФБ РЕП, відповідно до його функціональної схеми.
9. Висновки.

Контрольні питання

1. Рівні складності радіоелектронної апаратури (РЕА)
2. Рівні проектування
3. Основні стадії та етапи проектування РЕА
4. Методи проектування РЕА
5. Склад та стадії проектування конструкторської документації до РЕП

Лабораторна робота №2

«Моделювання функціональних блоків радіоелектронних пристроїв у середовищі Electronics Workbench»

Мета роботи: оптимізація параметрів ФБ РЕП шляхом схемотехнічного моделювання

Короткі теоретичні відомості

На третьому етапі проектування РЕП вибирається система автоматизованого проектування (моделювання) схемотехніки, а в ній програма, яка щонайкраще підійде для аналізу заданої електронної схеми і дозволить провести відповідність ТЗ обраній схемі. Часом у вибраному пакеті потрібна не одна, а група програм для проведення всіх необхідних обчислень. Наприклад, аналіз по постійному струму, аналіз в часовій і частотній областях.

Потім принципова схема проектованого блоку готується для проведення комп'ютерного аналізу і вводиться в пам'ять ПЕОМ текстовим або графічним способом.

Далі на підставі вбудованої бібліотеки моделей компонентів автоматично складається математична модель аналізованого пристрою за введеною принциповою схемою.

На наступному етапі виконується аналіз математичної моделі електронної схеми в діалоговому режимі. Наприклад, в разі аналізу схеми аналогового пристрою передбачається виконання наступних видів розрахунків:

- розрахунок схеми по постійному струму;
- розрахунок схеми в частотній області; наприклад, обчислення АЧХ і ФЧХ, спектральної щільності шуму;
- розрахунок в часовій області; наприклад, визначення перехідних і імпульсних характеристик, проведення спектрального аналізу.

Отримані в результаті аналізу характеристики схеми порівнюються з даними ТЗ і (або) з результатами випробувань макету.

На підставі цього порівняння приймається рішення про прийняття або відхилення розглянутого варіанту проекту. Таке рішення проводиться неформально, оскільки в деяких випадках інженерне розуміння суті справи дозволяє нехтувати деякою розбіжністю результатів комп'ютерного аналізу з ТЗ. Після прийняття проекту розробляється технічна документація для подальшого виготовлення розробленого пристрою і проведення випробувань.

Якщо характеристики незадовільні, то принципова схема і (або) моделі компонентів мають бути змінені. Цикл аналізу потім повторюється знову. Саме тут, при проведенні багатоваріантних розрахунків, комп'ютерні програми аналізу електронних схем особливо корисні: вони дають можливість автоматично протягом короткого часу провести аналіз багатьох варіантів. Модифікація схеми може вироблятися також за допомогою спеціальних програм оптимізації на ПЕОМ, в яких широко застосовуються методи оптимізації проектних рішень, заснованих на вирішенні завдань математичного (лінійного і нелінійного) програмування. У цих завданнях виробляється пошук мінімуму або максимуму деякої цільової функції, залежної від багатьох змінних за наявності обмежень на ці змінні. При проектуванні РЕА ця цільова функція відображає якість роботи, вартість апаратури і інші характеристики, залежні від параметрів компонентів, оптимальні значення яких потрібно знайти в результаті рішення задачі. Обмеження ж формулюються у вигляді системи співвідношень, що звужують допустиму область зміни параметрів компонентів при рішенні задачі оптимізації РЕП.

Методика моделювання складається з наступних етапів:

- 1) визначення властивостей об'єкту, які повинні відбиватися моделлю. (встановлюються вимоги до ступеня універсальності моделі);
- 2) збір апіорної інформації про властивості модельованого об'єкту (наприклад, довідкові дані, математичні моделі, результати експлуатації існуючих аналогічних об'єктів).

3) отримання загального виду рівнянь моделі (структури моделі). Часто зручно оперувати не рівняннями, а еквівалентними схемами, за допомогою яких простіше встановлювати фізичний сенс різних елементів моделі;

4) визначення чисельних значень параметрів моделі можливі наступні прийоми виконання цього етапу: а) використання розрахункових співвідношень з урахуванням відомостей, зібраних на етапі 2) рішення екстремальної задачі, в якій як цільова функція вибирається ступінь збігу відомих значень вихідних параметрів об'єкту, з результатами використання моделі; у) проведення експериментів і обробка отриманих результатів;

5) оцінка точності отриманої моделі і визначення області її адекватності. При незадовільних точностних оцінках виконують ітераційне наближення до бажаного результату повторенням етапів 3-5;

Порядок виконання роботи

1. За результатами виконання лабораторної роботи №1, для першого ФБ РЕП визначити моделі компонентів (аналоги компонентів) з бібліотек середовища Electronics Workbench.

2. Відповідно до отриманої принципової схеми ФБ №1 створити завдання до його моделювання у середовищі Electronics Workbench.

3. Шляхом аналізу приватного ТЗ і схеми ФБ №1 сформулювати перелік розрахунків і видів аналізу електронних схем, необхідних для перевірки працездатності і оптимізації цільової функції блоку.

4. Виконати моделювання у середовищі Electronics Workbench ФБ №1 відповідно до завдань зазначених у п.п. 3.

5. Оформити отримані результати і погодити їх з керівником лабораторного практикуму.

6. Зробити висновки щодо відповідності результатів моделювання приватному ТЗ ФБ №1.

7. Повторити виконання п.п. 1-6 відповідно до схем усіх інших ФБ РЕП.

8 . Оформити звіт з лабораторної роботи.

Зміст звіту

1. Титульний аркуш звіту
2. Мета роботи
3. Короткі теоретичні відомості
4. Порядок виконання роботи
5. Результати моделювання кожного ФБ РЕП у середовищі Electronics Workbench:
 - 5.1. Завдання для моделювання (схема ФБ у середовищі Electronics Workbench з позначенням моделей і параметрів компонентів);
 - 5.2. Результати перевірки працездатності ФБ;
 - 5.3. Результати розрахунків статичних і динамічних характеристик ФБ;
 - 5.4. Опис отриманих результатів і методів їх оптимізації;
 - 5.5. Висновки щодо відповідності результатів моделювання приватному ТЗ ФБ;
 - 5.6. Оцінка точності отриманої моделі ФБ і визначення області її адекватності;
6. Висновки.

Контрольні питання

1. Загальна характеристика основних математичних методів моделювання РЕА
2. Загальні відомості про математичні моделі компонентів і пристроїв
3. Поняття моделі та класифікація її параметрів
4. Вимоги до математичних моделей компонентів, класифікація моделей
5. Аналіз лінійних схем в частотній області

Лабораторна робота №3

«Моделювання параметричної чутливості функціональних блоків електронних схем»

Мета роботи: визначення і оптимізація елементів електронних схем, що мають найбільшу ступінь впливу на цільову функцію

Короткі теоретичні відомості

Якщо характеристики, що були отримані під час функціонального моделювання пристроїв є незадовільними, то принципова схема і (або) моделі компонентів мають бути змінені. Після цього цикл аналізу повторюється знову. Т.ч., при проведенні багатоваріантних розрахунків, комп'ютерні програми аналізу електронних схем особливо корисні: вони дають можливість автоматично протягом короткого часу провести аналіз багатьох варіантів.

Після закінчення оптимізації можна розрахувати чутливість схеми, оцінити вплив розходження параметрів компонентів і отримати інші важливі характеристики. Таким чином, при такому процесі проектування вирішуються завдання, пов'язані з розрахунком, аналізом і оптимізацією схемних рішень.

Аналіз нелінійних схем (необов'язково чисто аналогових) включає вирішення наступних завдань:

- розрахунок режиму по постійному струму при відключених джерелах змінного сигналу;
- розрахунок перехідних процесів під дією джерел змінного періодичного сигналу;
- пошук періодичних рішень при дії періодичного сигналу;
- пошук періодичних вирішень автоколивальних систем у відсутності зовнішніх сигналів;
- спектральний аналіз періодичних рішень;
- розрахунок чутливості, облік статистичного відхилення параметрів, аналіз найгіршого випадку;
- параметрична оптимізація.

Аналіз лінійних аналогових схем включає вирішення наступних завдань:

- розрахунок комплексного коефіцієнта підсилення (або передавальної функції), вхідних і вихідних опорів (провідності);
- розрахунок рівня внутрішніх шумів;
- дослідження стійкості;
- побудова перехідного процесу при гармонійній і довільній зовнішній дії;
- розрахунок чутливості, облік статистичного розкиду параметрів, розгляд найгіршого поєднання параметрів;
- параметрична оптимізація.

Аналого-цифрові (АЦП, ЦАП, компаратори, таймери) і чисто цифрові пристрої моделюються в режимі розрахунку перехідних процесів, тобто в часовій області. Проте інші режими також доступні. Наприклад, в режимі Dynamic DC (аналіз по постійному струму) часові затримки сигналів в цифрових пристроях ігноруються і розраховуються лише вихідні логічні рівні (логічна “1” і логічний “0”) в стаціонарному режимі.

Крім того в режимі AC (розрахунок частотних характеристик: АЧХ і ФЧХ) цифрові компоненти не беруть участі в аналізі малосигнальних частотних характеристик. Але для аналогових частин АЦ- і ЦА- інтерфейсів складаються лінеаризовані схеми заміщення їх вхідних і вихідних комплексних опорів.

Порядок виконання роботи

1. За результатами виконання лабораторної роботи №2, для першого ФБ РЕП визначити елементи, параметри яких мають найбільшу ступінь впливу на основні показники якості роботи схеми.

2. За допомогою виду аналізу Parameter Sweep у середовищі Electronics Workbench оцінити ступінь впливу елементів на основні показники якості роботи схеми.

3. За результатами виконання п.п.2. провести параметричну оптимізацію першого ФБ РЕП.
4. Повторити виконання п.п. 1-3 відповідно до схем усіх інших ФБ РЕП.
- 5 . Оформити звіт з лабораторної роботи.

Зміст звіту

1. Титульний аркуш звіту
2. Мета роботи
3. Короткі теоретичні відомості
4. Порядок виконання роботи
5. Результати моделювання кожного ФБ РЕП у середовищі Electronics Workbench:
 - 5.1. Завдання для моделювання (схема ФБ у середовищі Electronics Workbench з позначенням моделей і параметрів компонентів);
 - 5.2. Результати моделювання ФБ у режимі Parametr Sweep;
 - 5.3. Опис отриманих результатів;
 - 5.4. Результати параметричної оптимізації.
6. Висновки.

Контрольні питання

1. Вхідні параметри схем
2. Вихідні параметри схем
3. Параметри технічного завдання
4. Внутрішні та зовнішні параметри
5. Види аналізу електронних схем

Лабораторна робота №4

«Моделювання впливу зовнішньої температури на роботу функціональних блоків електронних схем»

Мета роботи: визначення впливу температури на якість роботи електронних схем

Короткі теоретичні відомості

Висока температура є одним з шкідливих чинників, що впливають на всі без виключення типи компонентів електронної схеми. Для запобігання відмовам компонентів із-за надмірного нагріву, тепловий аналіз проекту повинен бути виконаний так само ретельно, як і аналіз електричних схем. Аналогічно електричним струмам в ланцюгах, в системі існують теплові потоки від переходів в навколишнє середовище. Гранична температура переходу для напівпровідникових пристроїв загального призначення складає біля 150°C . Чим нижче робоча температура переходу, там вище надійність пристрою. Понизити температуру переходів під час функціонування апаратури можна за допомогою спеціальних тепловідводів, вентиляторів або просто отворів, що охолоджують, в корпусі для природної вентиляції повітря. Такі ж заходи застосовуються для охолодження і інших елементів схем: конденсаторів, трансформаторів, котушок, резисторів, реле і ін. Додатковими джерелами тепла можуть бути електричні перевантаження і ряд інших чинників, наприклад, процес паяння або близькість до елементів, що нагріваються, тому розробник повинен повністю оцінити теплову поведінку системи до початку виробництва.

На теплове навантаження електронних пристроїв великий вплив створює температура навколишнього середовища. Ситуація погіршується в області високих температур, а значить при моделюванні необхідно оцінювати весь діапазон температур в реальних умовах експлуатації. Не викликає сумніву той факт, що підвищена температура різко збільшує вірогідність виходу з ладу напівпровідникових приладів. Це пояснюється тим, що всі реакції мають фізико - хімічну природу і при підвищених температурах протікають швидше. Таким чином

переважна більшість механізмів відмов є залежною від температури. Непрямими причинами теплових пошкоджень є електричні перевантаження і електростатичні розряди, перегорання або плавлення провідників. Для запобігання таким пошкодженням необхідно експлуатувати пристрій в межах його робочої температури і відповідним чином захищати від дії статичної електрики, електромагнітних перешкод і теплових перевантажень. Останні можуть стати причиною термічної втоми матеріалів, теплових відходів параметрів, появи точок перегріву і деяких інших форм теплових пошкоджень, що кінець кінцем приводять до повної або часткової відмови устаткування.

Всі типи компонентів виділяють і розсіюють тепло. Деякі з них роблять це інтенсивніше, наприклад, дрітні резистори, потужні регулятори напруги, транзистори і діоди. До способів передачі тепла входять відведення тепла через матеріал і провідники печатні плати, конвекція навколишнього повітря і теплове випромінювання компонентів. Перегрів компонентів і ділянок плати під час паяння може викликати істотні їх пошкодження. У загальному випадку, теплові перевантаження викликають наступні пошкодження печатних плат: перегорання провідників унаслідок протікання великого струму, втрата адгезії і розшаровування, знебварвлення, деформація і, в надзвичайних випадках, обвуглювання плати. Компоненти можуть протистояти помірній тепловій дії в процесі монтажу і збірки, наприклад, при короткочасному нагріванні під час паяння. Проте, теплова дія понад встановлену норму викличе збої в роботі пристрою або його повну відмову.

Порядок виконання роботи

1. За результатами виконання лабораторної роботи №2, для першого ФБ РЕП визначити вихідні параметри і характеристики, які мають найбільшу ступінь впливу на основні показники якості роботи схеми.

2. За допомогою виду аналізу Temperature Sweep у середовищі Electronics Workbench оцінити ступінь впливу температури навколишнього середовища на вихідні параметри і характеристики.

3. За результатами виконання п.п.2. визначити діапазон робочих температур першого ФБ РЕП.
4. Повторити виконання п.п. 1-3 відповідно до схем усіх інших ФБ РЕП.
5. Узагальнити результати виконання п.п. 1-4 і визначити діапазон робочих температур усього пристрою.
- 6 . Оформити звіт з лабораторної роботи.

Зміст звіту

1. Титульний аркуш звіту
2. Мета роботи
3. Короткі теоретичні відомості
4. Порядок виконання роботи
5. Результати моделювання впливу температури навколишнього середовища на вихідні параметри і характеристики кожного ФБ РЕП у середовищі Electronics Workbench:
 - 5.1. Завдання для моделювання (схема ФБ у середовищі Electronics Workbench з позначенням моделей і параметрів компонентів);
 - 5.2. Результати моделювання ФБ у режимі Temperature Sweep;
 - 5.3. Опис отриманих результатів;
6. Узагальнення результатів дослідження усіх ФБ РЕП
7. Висновки.

Контрольні питання

1. Вплив температури на роботу електронних схем
2. Методи урахування вплив температури при моделюванні електронних схем
3. Класифікація моделей
4. Макромоделі активних компонентів електронних схем
5. Моделі пасивних компонентів електронних схем

Лабораторна робота №5

«Моделювання впливу статистичного відхилення параметрів елементів на роботу функціональних блоків електронних схем»

Мета роботи: визначення впливу статистичного відхилення параметрів елементів на якість роботи електронних схем

Короткі теоретичні відомості

При проектуванні і моделюванні радіоелектронних пристроїв і радіоелектронних систем впливи на входах і виходах їх функціональних елементів розглядаються як фазові змінні математичної моделі. Спосіб опису фазових змінних, що робить істотний вплив на склад моделі і макромоделі функціональних блоків, визначає фактично метод переходу від математичної моделі до цифрової. Існує декілька методів переходу від математичної моделі до цифрової:

- метод несучої, коли використовуються миттєві значення фазових змінних, вхідних сигналів і їх суміші з перешкодами;
- метод комплексної огибаючої, коли фазові змінні і вхідні сигнали описуються з точністю до їх комплексних огибаючих;
- метод статистичних еквівалентів, коли реальні випадкові процеси в радіоелектронній системі представляються своїми статистичними характеристиками, наприклад математичними очікуваннями і дисперсіями, або коли реальні процеси замінюються іншими, але статистично адекватними їм в рамках вибраного критерію, наприклад, по збігу певного числа моментів;
- метод інформаційного параметра, коли замість дослідження проходження реального сигналу в моделі системи розглядається проходження через модель інформаційного параметра, для прийому і обробки якого ця система призначена;
- комбіновані методи.

Метод несучої використовується для побудови моделей високочастотних і низькочастотних ланок радіоелектронних систем. Математичні моделі можуть

будуватися на основі як принципових, так і структурних (функціональних) схем. При цьому для опису перетворень сигналів і перешкод в елементах схеми можуть використовуватися спектральні або часові перетворення, а також диференціальні рівняння. Найширше використовуються при описі сигналів і перешкод диференціальні рівняння. Цей метод дозволяє з необхідною повнотою і заданою точністю реалізовувати в цифровій моделі операції, що виконуються кожним елементом.

Метод комплексної огинаючої застосовується тоді, коли інформаційний процес $X \rightarrow X(0)$, що характеризує перетворення інформації в системі, є комплексною огинаючою сигналу. При цьому необхідність відтворення в моделі несучої складової, що не містить інформації, відпадає. Формування моделі в цьому випадку полягає у відшукуванні алгоритмів, що дозволяють отримувати що комплексні огинаючі різних сигналів і перешкод і обчислювати миттєві значення таких комплексних огинаючих на виході будь-якого елементу системи по миттєвим значенням на вході. Для моделювання методом комплексною огинаючою сигналу розроблено ряд способів математичного опису типових елементів (ланок), сигналів і перешкод на основі методу доволі змінних амплітуд Вандер-Поля.

Сутність метода комплексної огинаючої зводиться до заміни елементу (ланки) радіоелектронної системи з вузькосмуговою вхідною дією еквівалентною низькочастотною ланкою з вхідною дією у вигляді комплексної огинаючої вузькосмугового сигналу. При відомих описах типових елементів радіоелектронних систем (генераторів, модуляторів, демодуляторів, підсилювачів, суматорів, інтеграторів і т. д.) моделювання методом комплексною огинаючої зводиться до комбінування відомих алгоритмів відповідно до функціональної схеми моделюючої системи.

Метод статистичних еквівалентів полягає в заміні реального елементу (ланки) радіоелектронної системи математичною моделлю, що є еквівалентом цієї ланки. При цьому статистичний еквівалент елементу системи забезпечує адекватність вихідного сигналу лише в статистичному сенсі, з точністю до

заданих статистичних характеристик. Найчастіше для оцінювання статистичних характеристик використовуються перші два моменти (вибіркові середні і дисперсії).

Заміна реальних елементів системи їх статистичними еквівалентами може проводитися на основі методу статистичної лінеаризації, формульного методу, методу гармонійної статистичної реалізації і ін. Так, наприклад, метод статистичної лінеаризації застосовується для моделювання низькочастотних нелінійних елементів шляхом заміни їх лінійними статистичними еквівалентами. Він забезпечує адекватність математичного очікування і флуктуації сигналу щодо математичного очікування. Цей метод є достатньо здійсненим лише при нормально розподілених випадкових діях.

Метод інформаційного параметра застосовується для побудови математичних моделей таких радіоелектронних систем і засобів, в яких здійснюється перетворення інформаційного параметра. Він широко застосовується при моделюванні наступних типів радіоелектронних систем і засобів:

- вимірювачів параметрів руху об'єктів (дальності, швидкості, напрямку, місцеположення і т. п.);
- РЛС - стеження за ціллю систем самонаведення;
- пристроїв автоматичного стеження за фазою або частотою сигналу.

У якості інформаційного параметру $X(0)$ може бути будь-який параметр, що відстежується системою: амплітуда, частота або фаза сигналу, кутове відхилення по азимуту і куту місця, дальність мети і ін. Суть методу інформаційного параметра полягає в заміні структурної схеми реальної системи з вхідним сигналом у вигляді суміші $x(Y, X)$ структурою еквівалентної системи автоматичного регулювання з вхідною дією у вигляді інформаційного параметра. При цьому головним питанням є забезпечення статистичної адекватності моделі і реальної системи. Як правило, адекватність моделі і системи забезпечується ідентичністю диференціальних рівнянь, що дозволяють знайти оцінку інформаційного параметра $X(0)$, або величиною сигналу помилки.

Метод інформаційного параметра є універсальним для радіоелектронних систем стежачого типу, оскільки він дозволяє здійснити їх моделювання з єдиних позицій.

Комбіновані методи застосовуються в тих випадках, коли метою моделювання є виявлення впливу параметрів окремих елементів радіоелектронної системи на її ефективність (показники якості), наприклад, при оптимізації систем.

При комбінованому методі розробки цифрової моделі частина елементів радіоелектронної системи (що неістотно впливає на її ефективність) представляється функціональними моделями вхідних в неї елементів, а інша частина відтворюється в моделі точніше, у вигляді диференціальних рівнянь, складених, наприклад, по принциповій схемі. Комбіновані методи дозволяють спростити модель радіоелектронної системи в цілому, істотно розширюючи при цьому можливості при дослідженні найбільш важливих з погляду внеску в ефективність системи характеристик.

Порядок виконання роботи

1. За результатами виконання лабораторної роботи №2, для першого ФБ РЕП визначити вихідні параметри і характеристики, які мають найбільшу ступінь впливу на основні показники якості роботи схеми.
2. За допомогою виду аналізу Monte-Carlo у середовищі Electronics Workbench оцінити випадкових розкидів параметрів елементів на вихідні параметри і характеристики першого ФБ РЕП.
3. За допомогою виду аналізу Worst Case у середовищі Electronics Workbench визначити найгірший випадок поєднання випадкових відхилень параметрів елементів першого ФБ РЕП.
4. Повторити виконання п.п. 1-3 відповідно до схем усіх інших ФБ РЕП.
5. Узагальнити результати виконання п.п. 1-4 і визначити діапазон працездатності пристрою при випадкових відхиленнях параметрів елементів схеми.
6. Оформити звіт з лабораторної роботи.

Зміст звіту

1. Титульний аркуш звіту
2. Мета роботи
3. Короткі теоретичні відомості
4. Порядок виконання роботи
5. Результати моделювання впливу температури навколишнього середовища на вихідні параметри і характеристики кожного ФБ РЕП у середовищі Electronics Workbench:
 - 5.1. Результати моделювання ФБ у режимі Monte-Carlo;
 - 5.2. Результати моделювання ФБ у режимі Worst Case;
 - 5.3. Опис отриманих результатів;
6. Узагальнення результатів дослідження усіх ФБ РЕП
7. Висновки.

Контрольні питання

1. Методи побудови цифрових моделей РЕП
2. Детерміновані джерела сигналів
3. Недетерміновані джерела сигналів
4. Макромоделі активних компонентів електронних схем
5. Моделі пасивних компонентів електронних схем

Міністерство освіти і науки України
Запорізька державна інженерна академія
Факультет автоматизованих систем управління виробництвом
Кафедра фізичної та біомедичної електроніки

Лабораторна робота № 1
«Розробка технічного завдання до проектуємого пристрою»
з дисципліни:
«Автоматизація схемотехнічного проектування»

Виконав:

ст. гр. МН-09-1д
Іванов П.Д.

Перевірив:

доц. Кісельов Є.М.

Запоріжжя

2014

Мета роботи: отримання навичок структурної декомпозиції електронних пристроїв і формування приватних технічних завдань до структурних блоків

Короткі теоретичні відомості

Основними методами проектування є:

- декомпозиція (алгоритмічна або об'єктно – орієнтована);
- абстракція;
- визначення ієрархії (класифікація).

При алгоритмічній декомпозиції об'єкт поділяється на модулі, що виконують одну з функцій загального об'єкту. При об'єктно – орієнтованій декомпозиції складна система розглядається як впорядкована сукупність об'єктів, які у процесі взаємодії одне з одним зумовлюють поведінку системи.

Порядок виконання роботи

1. Отримати завдання на виконання серії лабораторних робіт у вигляді ескізу схеми електричної принципової РЕП.
2. Зазначити номер отриманого варіанту, назву і стислий опис РЕП.
3. Шляхом аналізу електричної принципової схеми скласти опис її функціонування.
4. Розробити креслення схеми електричної принципової у середовищі sPlan.
5. Визначити загальне ТЗ до аналізованої схеми шляхом опису зовнішніх і внутрішніх параметрів: вхідних і вихідних сигналів, діапазону частот, споживаної потужності, умов експлуатації, граничних допусків на основні характеристики і тому подібне.
6. Методом об'єктно – орієнтованій декомпозиції виконати розділення схеми РЕП на функціональні блоки (ФБ). На основі цього скласти електричну функціональну схему РЕП і оформити її у середовищі sPlan.
7. Згідно розробленої функціональної схеми РЕП, скласти електричні принципові схеми до кожного ФБ і оформити їх у середовищі sPlan.

8. Розробити приватні ТЗ до кожного ФБ РЕП із зазначенням компонентів схем: транзисторів, діодів, ІМС, резисторів, конденсаторів, котушок індуктивності та інш., а також їх номінальних значень і допусків на параметри компонентів.

9. Оформити звіт з лабораторної роботи.

Результати виконання роботи

1. Варіант завдання №22 приведено на рис. 1.

Індикатор випромінювання сотового телефону може бути використано для сигналізації з функціонування передатчика мобільного телефону, пошуку прихованих радіо випромінювачів, оцінки напруженості полю поблизу від базових станцій мережі GSM. Прилад має чотирирівневу світлодіодну шкалу і звукову індикацію приймання GSM – сигналу.

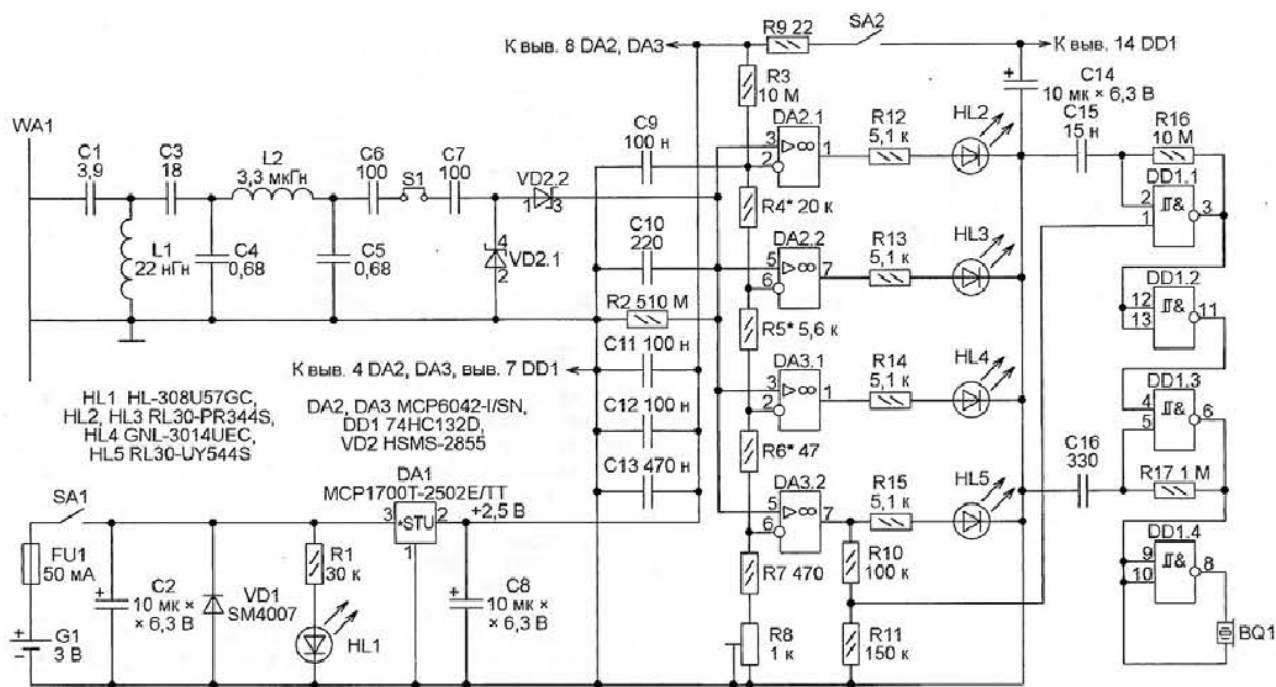


Рисунок 1 – Ескіз схеми електричної принципової індикатора випромінювання сотового телефону

2. Загальне ТЗ до проектування індикатора випромінювання сотового телефону

На основі завдання до лабораторної роботи, розроблено схему електричну принципову випромінювання сотового телефону, яка наведена на рис. 2., а пе-

релік елементів до якої знаходиться у Додатку А.

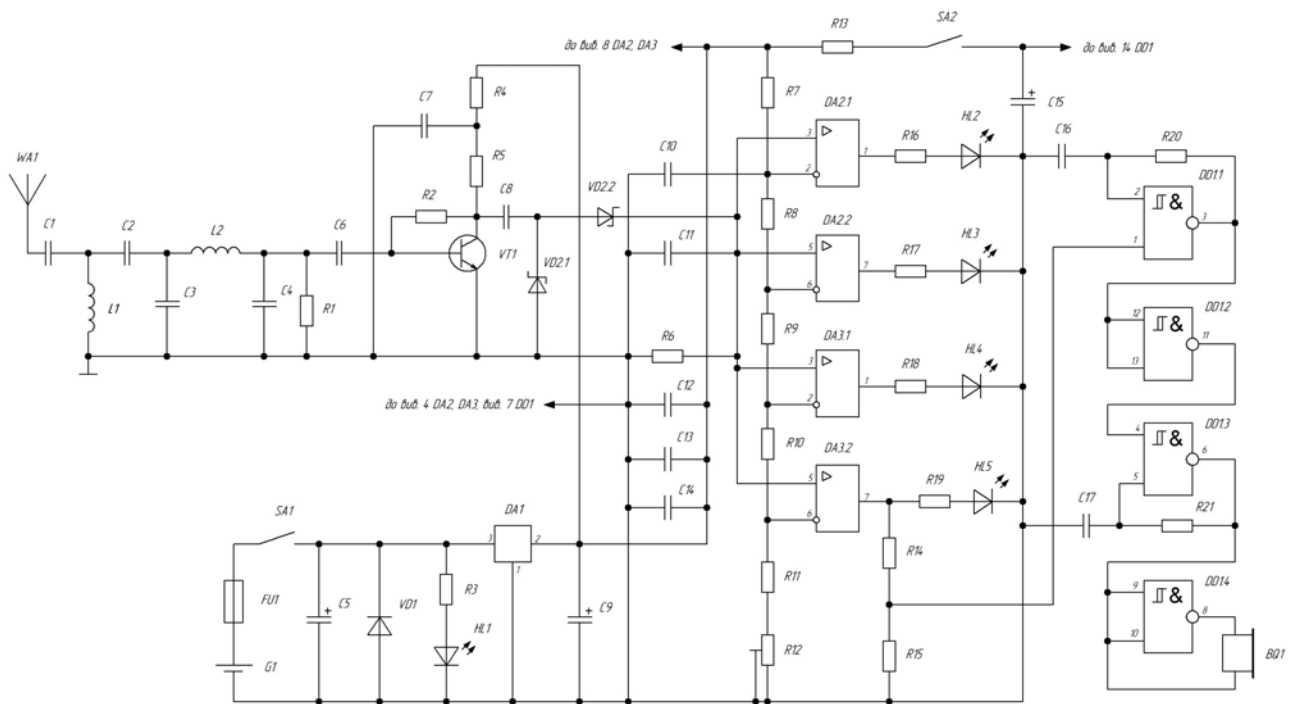


Рисунок 2 – Схеми електрична принципова індикатора випромінювання сотового телефону

Елемент G1 живить прилад через запобігач FU1 і перемикач SA1. Діод VD1 призначено для захисту від подання напруги живлення у зверненої полярності. Світлодіод HL1 показує, що прилад ввімкнено і одночасно свідчить про нормальну напругу елементу G1 - світлодіод перестає світитися, коли вона зменшується нижче 2,5 В.

На мікросхемі DA1 виконано стабілізатор напруги 2,5 В.

Напруга 2,5 В живить генератор звукового сигналу на мікросхемі DD1 і використовує у якості компараторів напруги операційні підсилювачі (ОП) DA2 і DA3.

На елементах C1- C4, C6, L1, L2 виконано вхідний фільтр.

На об'єднані неінвертуючі входи всіх ОП поступає напруга з високочастотного детектора на діодах Шоткі VD2, що мають низьке пряме падіння напруги. Постійна часу розрядження ланцюга навантаження детектора R6C11 – близько

0,1 с, що збільшує тривалість продетектованих імпульсів і полегшує їх спостереження на світлодіодному індикаторі.

Резисторами R3 – R8 задані пороги спрацювання компараторів, причому резистором R8 їх можливо регулювати. Виходи ОП навантажені світлодіодами HL2 – HL5 з додатковими резисторами R7 – R12. Поява високого рівня напруги на виході компаратора, що має самий низький рівень спрацювання DA3.2, дозволяє роботу генератора імпульсів з частотою близько 5 Гц, виконаного на тригері Шмітта DD1.1. Ці імпульси інвертуються елементом DD1.2 і подаються на вхід дозволу роботи генератора імпульсів частотою 2,7 кГц на елементі DD1.3. Інвертор на елементі DD1.4 потрібен для отримання протифазного сигналу, що подається на п'єзоелемент BQ1. Це збільшує гучність звукової сигналізації. При низькому рівні на виході ОП DA3.2 робота генератора імпульсів частотою 2,7 кГц заборонена низьким логічним рівнем на вході елементу DD1.3. Відключення звукової сигналізації виконується зняттям живлення з мікросхеми DD1 за допомогою перемикача SA2.

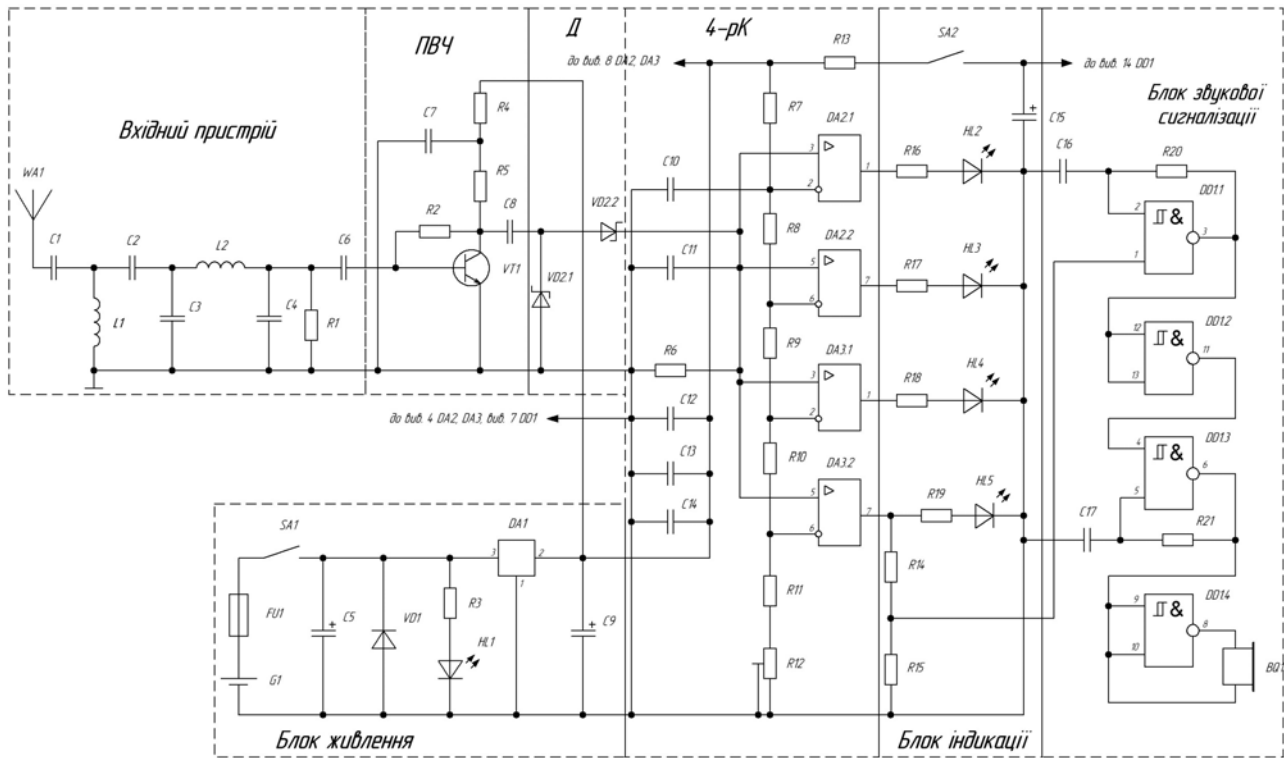
На основі цього розроблено загальне технічне завдання до проектування індикатора випромінювання сотового телефону, що наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Загальне технічне завдання до проектування індикатора випромінювання сотового телефону

Назва параметру (характеристики)	Значення
Напруга живлення	2,5 – 3,6 В
Споживаємий струм	22 мкА – 1 мА
Частота випромінювання, що реєструється	900 МГц
Тип модуляції сигналу	частотна
Діапазон робочих температур	0 – 50 °С
Частота генерації звукового сигналу	2,7 кГц
Припустимий діапазон відхилення параметрів елементів	± 10 %

3. Розробка функціональної схеми індикатора випромінювання сотового телефону

На основі електричної принципової схеми методом її декомпозиції (рис. 3) було розроблено функціональну схему, яка наведена на рис. 4.



*ПВЧ – підсилювач високої частоти 4-рК – чотирьохрівневий компаратор
Д – детектор*

Рисунок 3 – Приклад декомпозиції схеми електричної принципової індикатора випромінювання сотового телефону

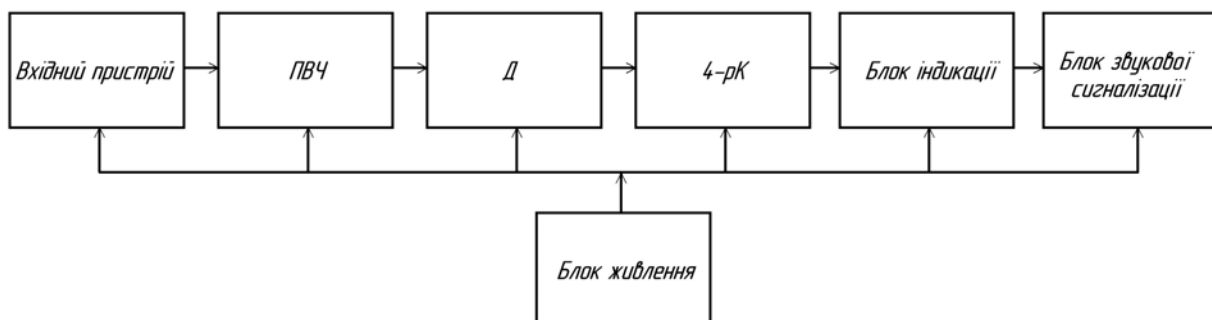


Рисунок 4 – Функціональна схема індикатора випромінювання сотового телефону

До схеми входять наступні функціональні блоки: вхідний пристрій; підсилювач високої частоти (ПВЧ); детектор (Д); чотирьохрівневий компаратор (4-рК); блок індикації; блок звукової сигналізації; блок живлення.

4. Приватне ТЗ до розробки вхідного пристрою

Схема електрична вхідного пристрою наведена на рис. 5., а перелік елементів до схеми – у табл. 2.

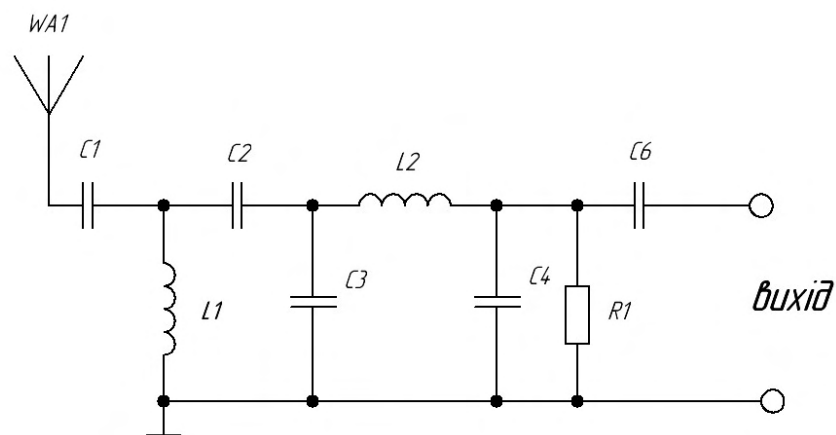


Рисунок 5 – Схема електрична принципова вхідного пристрою індикатора випромінювання сотового телефону

Таблиця 2 – Перелік елементів до схеми вхідного пристрою

Позиційне позначення	Номінальне значення
C1	0603-3,9 пФ $\pm$ 5%
C2	0805-18 пФ $\pm$ 5%
C3, C4	0603-0,68 пФ $\pm$ 5%
C6	0805-100 пФ $\pm$ 5%
L1	S0603-22 нГн $\pm$ 5%
L2	S0603-3,3 мкГн $\pm$ 5%
R1	0805-220 Ом $\pm$ 5%

На основі табл. 2, рис.5 і табл. 1 було розроблено приватне ТЗ до вхідного пристрою індикатора випромінювання сотового телефону, що наведено у табл.3.

Таблиця 3 – Приватне технічне завдання до проектування вхідного пристрою індикатора випромінювання сотового телефону

Назва параметру (характеристики)	Значення
Частота випромінювання, що реєструється	900 МГц
Тип модуляції сигналу	частотна
Центральна частота фільтрації	900 МГц
Смуга пропускання	800 – 1000 МГц
Нахил гілок АЧХ	4 дБ / 100 МГц
Діапазон робочих температур	0 – 50 °С
Припустимий діапазон відхилення параметрів елементів	± 10 %

5. Приватне ТЗ до розробки підсилювача високої частоти

Схема електрична ПВЧ наведена на рис. 6., а перелік елементів до схеми – у табл. 4.

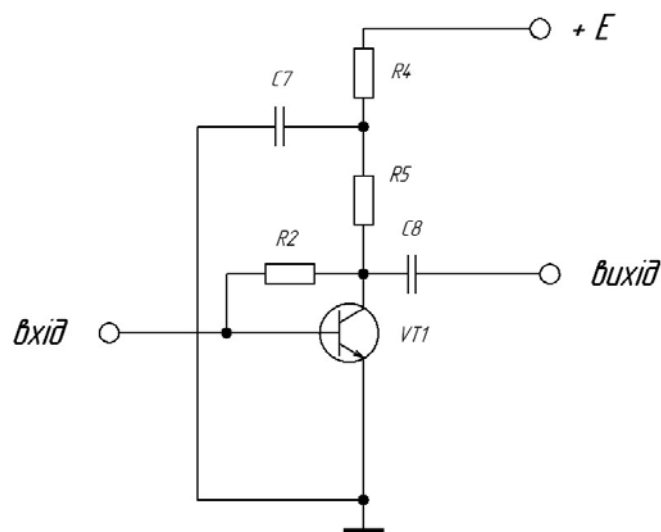


Рисунок 6 – Схема електрична принципова ПВЧ індикатора випромінювання сотового телефону

Таблиця 4 – Перелік елементів до схеми ПВЧ

Позиційне позначення	Номінальне значення	Номінальна потужність
C7	0805-100 нФ $\pm 5\%$	
C8	0805-100 пФ $\pm 5\%$	
R4	0805-22 Ом $\pm 5\%$	0,025 Вт
R5	0805-3 кОм $\pm 5\%$	0,025 Вт
R2*	0805-500 кОм $\pm 5\%$ ($U_{ке} = 1,25$ В)	0,025 Вт
VT1	BFP420	0,05 Вт

На основі табл. 4, рис.6 і табл. 1 було розроблено приватне ТЗ до ПВЧ індикатора випромінювання сотового телефону, що наведено у табл. 5.

Таблиця 5 – Приватне технічне завдання до проектування ПВЧ індикатора випромінювання сотового телефону

Назва параметру (характеристики)	Значення
Частота вхідного сигналу	900 МГц
Тип модуляції сигналу	частотна
Коефіцієнт підсилення	15
Коефіцієнт шумів на частоті 900 МГц	2 дБ
Динамічний діапазон	20 дБ
Смуга пропускання	800 – 1000 МГц
Нахил гілок АЧХ	10 дБ / 100 МГц
Діапазон робочих температур	0 – 50 $^{\circ}\text{C}$
Припустимий діапазон відхилення параметрів елементів	$\pm 10 \%$

Аналіз табл. 4 показує, що споживаєма потужність ПВЧ складає приблизно 0,125 Вт.

6. Приватне ТЗ до розробки детектора

Схема електрична детектора наведена на рис. 7., а перелік елементів до схеми – у табл. 6.

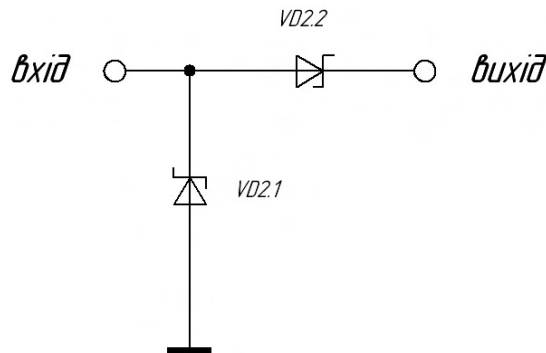


Рисунок 7 – Схема електрична принципова детектора індикатора випромінювання сотового телефону

Таблиця 6 – Перелік елементів до схеми детектора

Позиційне позначення	Номінальне значення	Номінальна потужність
VD2	NSMS-2855	0,015 Вт

На основі табл. 6, рис.7 і табл. 1 було розроблено приватне ТЗ до детектора індикатора випромінювання сотового телефону, що наведено у табл. 7.

Таблиця 7 – Приватне технічне завдання до проектування детектора індикатора випромінювання сотового телефону

Назва параметру (характеристики)	Значення
Частота вхідного сигналу	900 МГц
Тип модуляції сигналу	частотна
Коефіцієнт шумів на частоті 900 МГц	2 дБ
Динамічний діапазон	20 дБ
Діапазон робочих температур	0 – 50 °С
Припустимий діапазон відхилення параметрів елементів	± 10 %

Аналіз табл. 7 показує, що споживаєма потужність детектора складає приблизно 0,03 Вт.

7. Приватне ТЗ до розробки компаратора

Схема електрична компаратора наведена на рис. 8., а перелік елементів до схеми – у табл. 8.

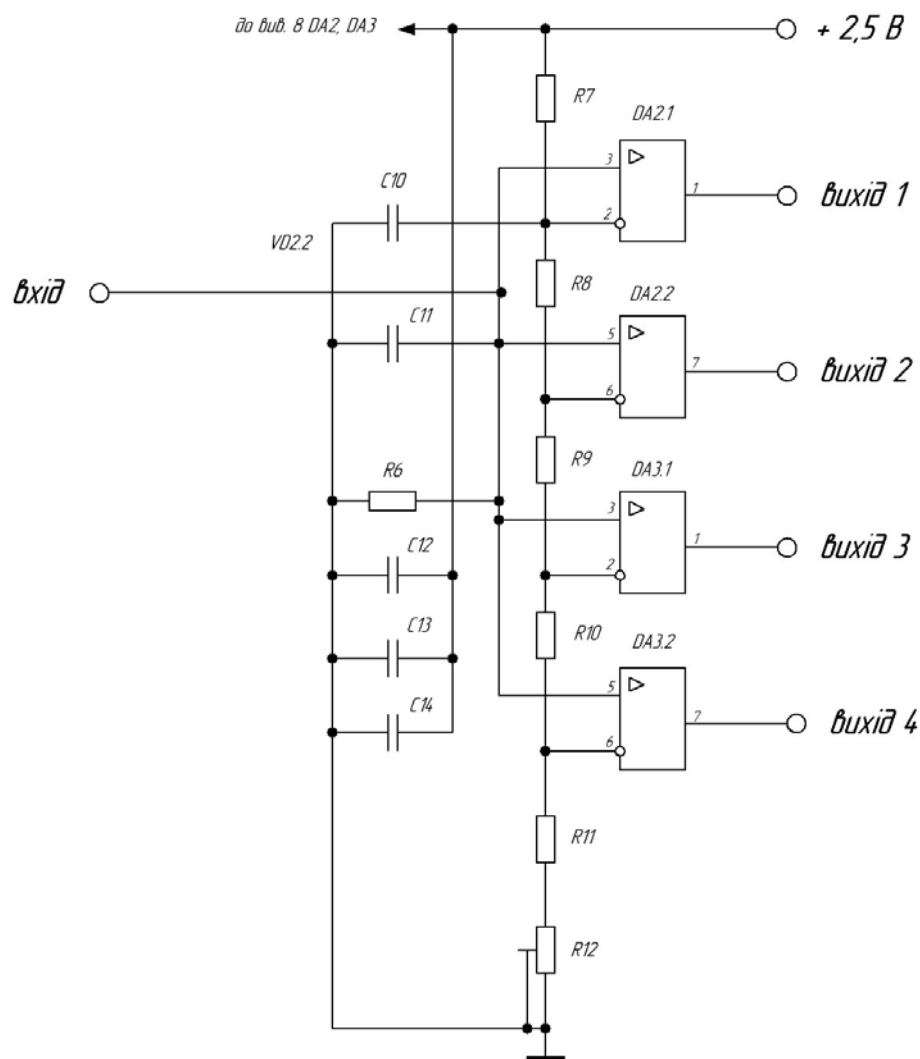


Рисунок 8 – Схема електрична принципова компаратора індикатора випромінювання сотового телефону

Таблиця 8 – Перелік елементів до схеми компаратора

Позиційне позначення	Номінальне значення	Номінальна потужність
DA2, DA3	MCP6042	0,000005 Вт
R6	P1-34-510МОм±5%	0,125 Вт

Позиційне позначення	Номінальне значення	Номінальна потужність
R7	0805-10МОм $\pm$ 5%	0,025 Вт
R8	0805-20кОм $\pm$ 5%	0,025 Вт
R9	0805-5,6кОм $\pm$ 5%	0,025 Вт
R10	0805-47Ом $\pm$ 5%	0,025 Вт
R11	0805-470 Ом $\pm$ 5%	0,025 Вт
R12	СПЗ-19А-10кОм	0,125 Вт
C10	0805-100нФ	
C12-13	1206-100нФ	
C11	0805-220нФ	
C13	0805-470нФ	

На основі табл. 8, рис.8 і табл. 1 було розроблено приватне ТЗ до компаратора індикатора випромінювання сотового телефону, що наведено у табл. 9.

Таблиця 9 – Приватне технічне завдання до проектування компаратора індикатора випромінювання сотового телефону

Назва параметру (характеристики)	Значення
Діапазон зміни входних сигналів	0-2,5В
Рівні опорних напруг	0,1В, 0,4В, 0,8В, 1,5В
Рівень вихідної напруги	2,5 В
Діапазон робочих температур	0 – 50 °С
Припустимий діапазон відхилення параметрів елементів	$\pm$ 10 %

Аналіз табл. 9 показує, що споживаєма потужність компаратором складає приблизно 0,375 Вт.

8. Приватне ТЗ до розробки блоку звукової сигналізації

Схема електрична блоку звукової сигналізації наведена на рис. 9., а перелік елементів до схеми – у табл. 10.

Таблиця 10 – Перелік елементів до схеми блоку звукової сигналізації

Позиційне позначення	Номінальне значення	Номінальна потужність
DD1	MCP6042	0,000005 Вт
R20	P1-34-510МО _м ±5%	0,125 Вт
R21	0805-10МО _м ±5%	0,025 Вт
C15	0805-100нФ	
C16	1206-100нФ	
C17	0805-220нФ	
BQ1	0805-470нФ	

На основі табл. 10, рис.9 і табл. 1 було розроблено приватне ТЗ до компаратора індикатора випромінювання сотового телефону, що наведено у табл. 11.

Таблиця 11 – Приватне технічне завдання до проектування блоку звукової сигналізації

Назва параметру (характеристики)	Значення
Діапазон зміни входних сигналів	0-2,5В
Рівні опорних напруг	0,1В, 0,4В, 0,8В, 1,5В
Рівень вихідної напруги	2,5 В
Діапазон робочих температур	0 – 50 °С
Припустимий діапазон відхилення параметрів елементів	± 10 %

Аналіз табл. 11 показує, що споживаєма потужність блоком звукової сигналізації складає приблизно 0,375 Вт.

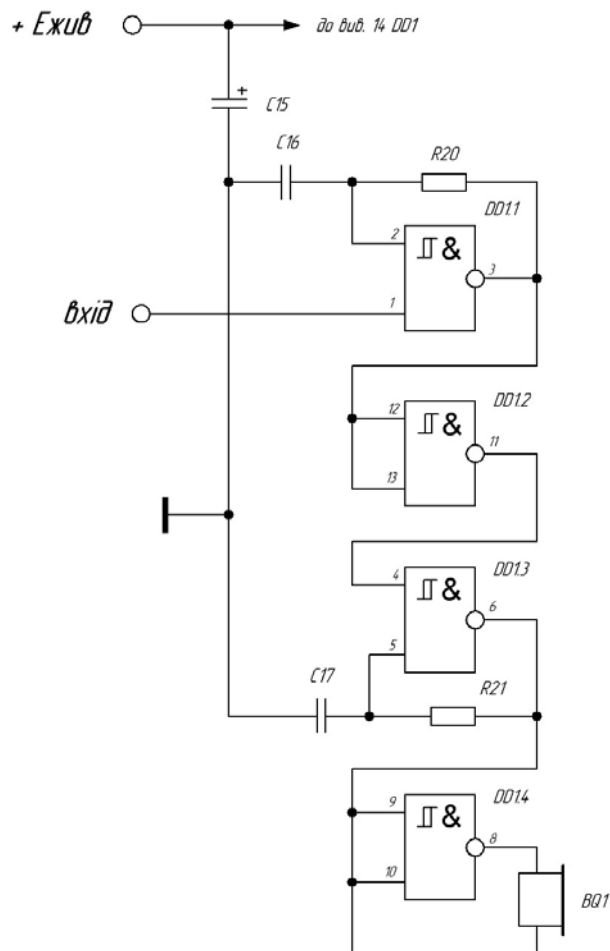


Рисунок 9 – Схема електрична принципова блоку звукової сигналізації

9. Приватне ТЗ до розробки блоку живлення

Схема електрична блоку живлення наведена на рис. 10., а перелік елементів до схеми – у табл. 12.

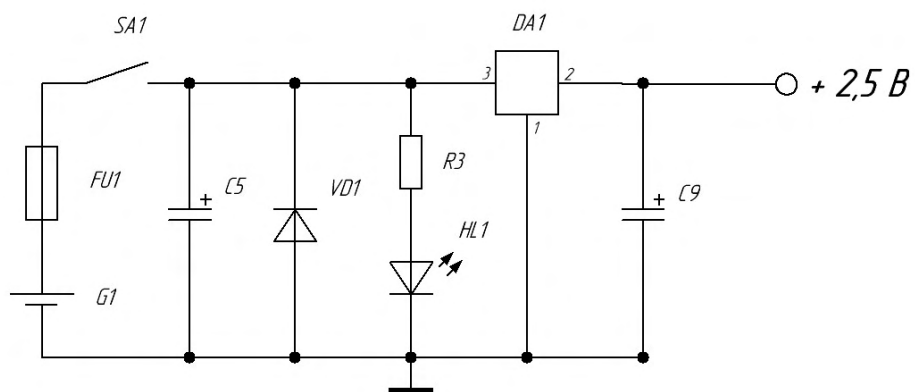


Рисунок 10 – Схема електрична принципова блоку живлення

Таблиця 12 – Перелік елементів до схеми блоку живлення

Позиційне позначення	Номінальне значення	Номінальна потужність
DA1	MCP1700T	0,000005 Вт
R3	1206-30кОм±5%	0,025 Вт
VD1	SM4007	0,025 Вт
C5, C9	typeA-10мкФ-6,3В	
G1	CR2032-3 В	
HL1	HL3008U	0.0006 Вт
FU1	1206-50мА	

На основі табл. 12, рис.10 і табл. 1 було розроблено приватне ТЗ до блоку живлення індикатора випромінювання сотового телефону, що наведено у табл.13.

Таблиця 13 – Приватне технічне завдання до проектування блоку живлення

Назва параметру (характеристики)	Значення
Вихідна напруга	2,5В
Споживаємий струм	2мкА
Діапазон робочих температур	0 – 50 °С
Припустимий діапазон відхилення параметрів елементів	± 10 %

Висновки: методом декомпозиції індикатор випромінювання сотового телефону поділено на 7 функціональних блоки. Результати роботи можуть бути використані для подальших схемотехнічних досліджень і конструкторського проектування індикатора. Рекомендується виконати моделювання і оптимізацію 5 функціональних блоків, виключаючи блок живлення і блок індикації.

Лабораторна робота № 2

«Моделювання функціональних блоків індикатора випромінювання сотового телефону у середовищі Electronics Workbench»

Мета роботи: оптимізація параметрів ФБ РЕП шляхом схемотехнічного моделювання

Короткі теоретичні відомості

Методика моделювання складається з наступних етапів:

- 1) визначення властивостей об'єкту, які повинні відбиватися моделлю. (встановлюються вимоги до ступеня універсальності моделі);
- 2) збір апіорної інформації про властивості модельованого об'єкту (наприклад, довідкові дані, математичні моделі, результати експлуатації існуючих аналогічних об'єктів.
- 3) отримання загального виду рівнянь моделі (структури моделі). Часто зручно оперувати не рівняннями, а еквівалентними схемами, за допомогою яких простіше встановлювати фізичний сенс різних елементів моделі;
- 4) визначення чисельних значень параметрів моделі можливі наступні прийоми виконання цього етапу: а) використання розрахункових співвідношень з урахуванням відомостей, зібраних на етапі 2) рішення екстремальної задачі, в якій як цільова функція вибирається ступінь збігу відомих значень вихідних параметрів об'єкту, з результатами використання моделі; у) проведення експериментів і обробка отриманих результатів;
- 5) оцінка точності отриманої моделі і визначення області її адекватності. При незадовільних точностних оцінках виконують ітераційне наближення до бажаного результату повторенням етапів 3-5;

Порядок виконання роботи

1. За результатами виконання лабораторної роботи №1, для першого ФБ РЕП визначити моделі компонентів (аналоги компонентів) з бібліотек середо-

вища Electronics Workbench.

2. Відповідно до отриманої принципової схеми ФБ №1 створити завдання до його моделювання у середовищі Electronics Workbench.

3. Шляхом аналізу приватного ТЗ і схеми ФБ №1 сформулювати перелік розрахунків і видів аналізу електронних схем, необхідних для перевірки працездатності і оптимізації цільової функції блоку.

4. Виконати моделювання у середовищі Electronics Workbench ФБ №1 відповідно до завдань зазначених у п.п. 3.

5. Оформити отримані результати і погодити їх з керівником лабораторного практикуму.

6. Зробити висновки щодо відповідності результатів моделювання приватному ТЗ ФБ №1.

7. Повторити виконання п.п. 1-6 відповідно до схем усіх інших ФБ РЕП.

8. Виконати параметричну і структурну оптимізацію схем ФБ РЕП шляхом моделювання.

9 . Оформити звіт з лабораторної роботи.

Результати виконання роботи

1. Результати моделювання вхідного пристрою індикатора випромінювання сотового телефону

Завдання для моделювання вхідного пристрою складено на основі рис.5 і табл. 3 (л.р. №1) та наведено на рис. 1.

Для дослідження амплітудно-частотних (АЧХ) і фазово-частотних (ФЧХ) характеристик вхідного пристрою, замість приймаючої антени до завдання для моделювання включено функціональний генератор. Також вхідний пристрій навантажено активним опором 1кОм. Для спостереження АЧХ і ФЧХ використовувався віртуальний прилад *Bode Plotter*. Отримані таким чином результати наведено на рис. 2.

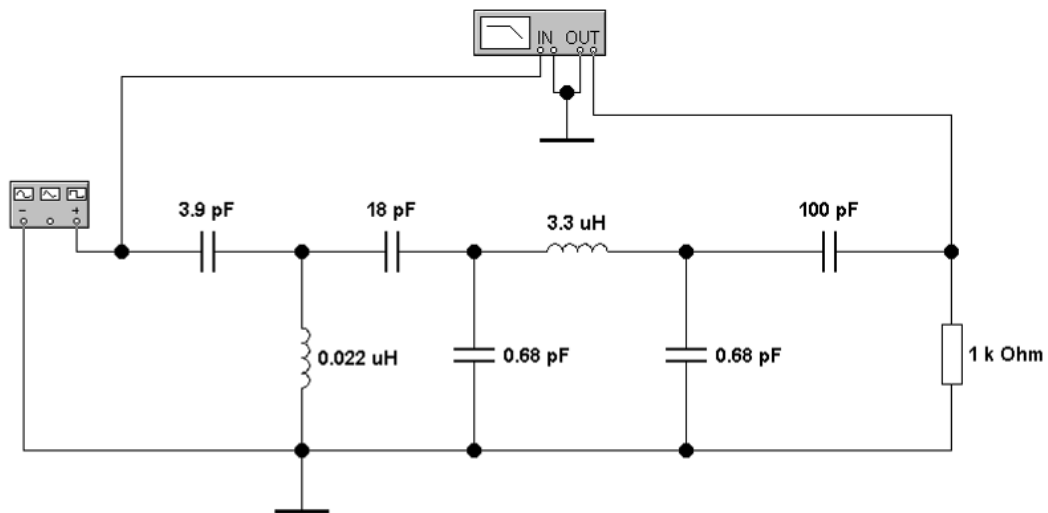


Рисунок 1 – Завдання для моделювання вхідного пристрою у середовищі Electronics Workbench

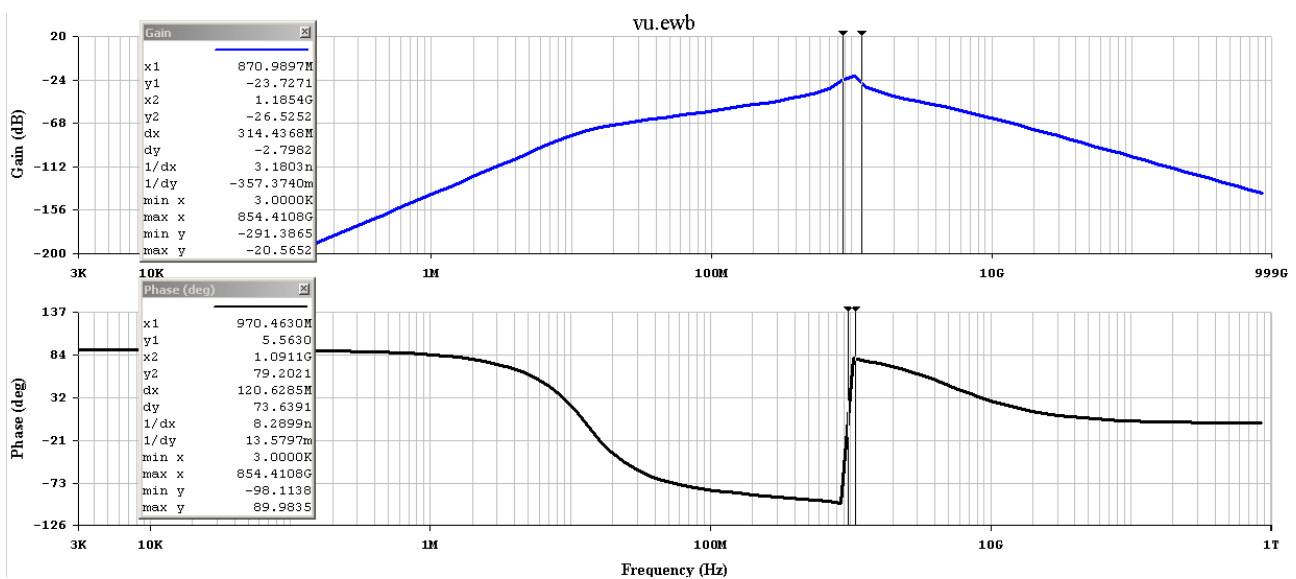


Рисунок 2 – АЧХ і ФЧХ вхідного пристрою у діапазоні частот 3кГц – 1ТГц

З метою більш точного визначення смуги пропускання вхідного пристрою слід масштабувати отримані характеристики у більш стислому діапазоні частот, що відповідає загальному ТЗ і приватному ТЗ. Такий вигляд характеристик показано на рис. 3.

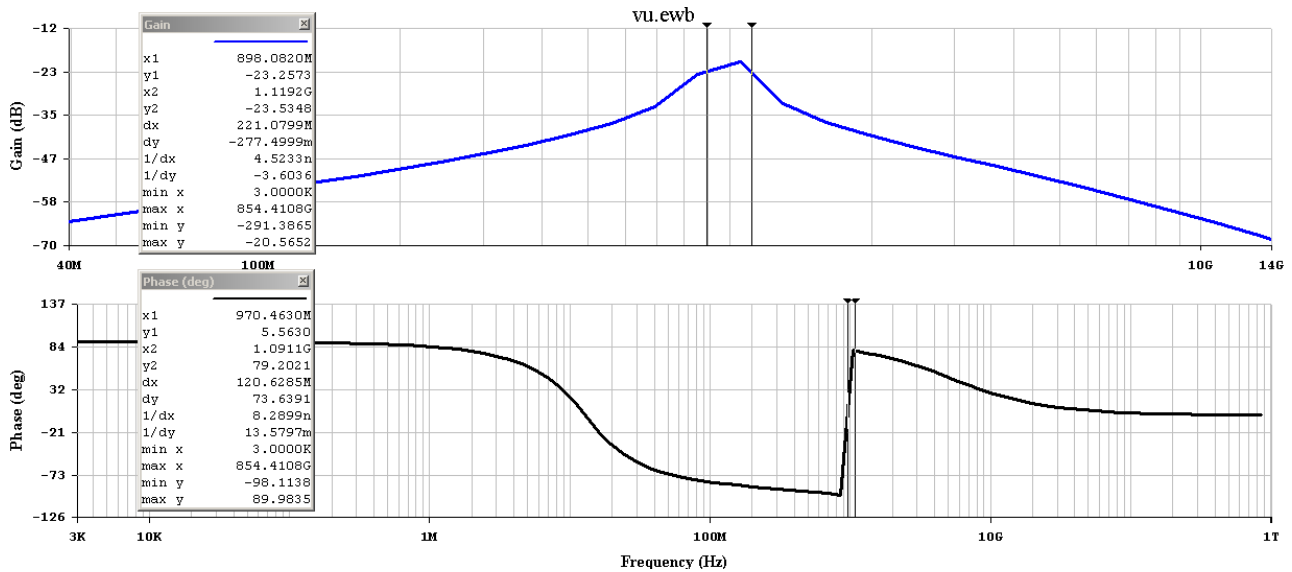


Рисунок 3 - АЧХ у діапазоні частот 40МГц – 14ГГц і ФЧХ у діапазоні частот 3кГц – 1ТГц

З рис. 3 слід, що смуга пропускання вхідного пристрою знаходиться у межах від 898МГц до 1,12ГГц. При цьому коефіцієнт підсилення на центральній частоті становить -20дБ. Нахил бокових гілок АЧХ складає -4,5дБ/100МГц у діапазонах частот 600-800МГц і 1,12-1,13ГГц, а у діапазонах більш низьких і більш великих частот – 2,7дБ/100МГц.

З метою отримання епюрів сигналів на виході вхідного пристрою було використано завдання для моделювання, що наведено на рис.4, де антена моделюється джерелом напруги частотно-модульованого сигналу амплітудою 5В, з частотою несучої – 900 МГц. До такого джерела підключено канал А віртуального осцилографу, а до резистора навантаження – канал В. Отримані таким чином епюри вхідних і вихідних сигналів пристрою показано на рис. 5.

З рис. 5 слід, що форма вихідного сигналу відхиляється від гармонічного вигляду у межах негативної напівхвилі. При цьому зсув фаз між вхідним і вихідним сигналами становить -135° , тоді як з ФЧХ (рис.6) це значення дорівнює -98° .

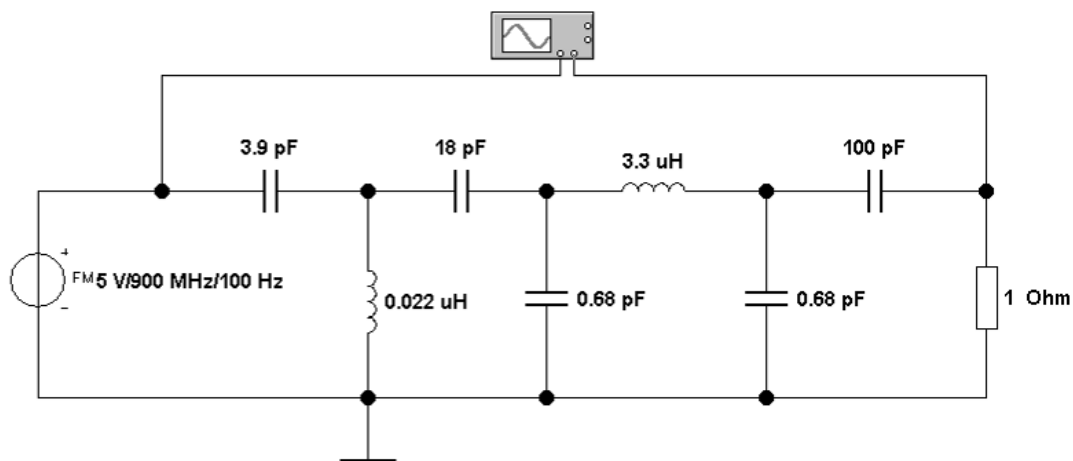


Рисунок 4 – Завдання для моделювання вхідного пристрою по змінному струму

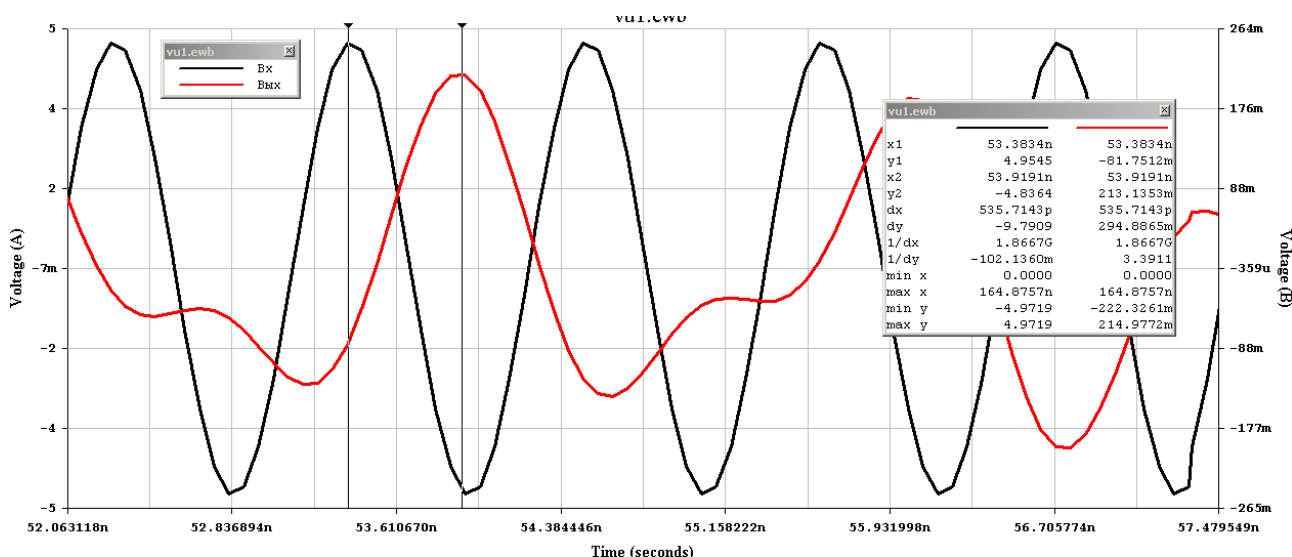


Рисунок 5 – Результати моделювання вхідного пристрою по змінному струму

Амплітуда вихідного сигналу дорівнює 213 мВ, а коефіцієнт передачі – 0,0426 (-27,5 дБ), тоді як за даними АЧХ ця величина становить -20 дБ.

Узагальнене порівняння отриманих характеристик і даних приватного ТЗ проектування вхідного пристрою наведено у табл. 1.

З табл. 1 слід, що точність визначення центральної частоти при моделювання дорівнює 0,11, нижньої частоти зрізу – 0,1215, верхньої – 0,12, нахилу гілок АЧХ – 0,125. За значенням меж АЧХ де нахил гілок відповідає ТЗ можливо

визначити область адекватності використаної моделі у частотній області: від 600МГц до 1,13ГГц.

Таблиця 1 – Приватне технічне завдання до проектування вхідного пристрою індикатора випромінювання сотового телефону

Назва параметру (характеристики)	Значення за ТЗ	Значення за результатами моделювання
Частота випромінювання, що реєструється	900 МГц	900 МГц
Центральна частота фільтрації	900 МГц	1 ГГц
Смуга пропускання	800 – 1000 МГц	898МГц - 1,12ГГц
Нахил гілок АЧХ	4 дБ / 100 МГц	4,5дБ/100МГц (600-800МГц і 1,12-1,13ГГц) 2,7дБ/100МГц (інш.)

Висновки: т.ч., з результатів моделювання слід, що проектумий вхідний пристрів в цілому відповідає вимогам зазначеним у приватному ТЗ. Але необхідно провести додаткові дослідження пов’язані з підвищенням селективності, коефіцієнта передачі і впливом зовнішніх факторів на стабільність його функціонування.

2. Результати моделювання підсилювача високої частоти

.....

3. Результати моделювання детектора

.....

4. Результати моделювання компаратора

.....

5. Результати моделювання блоку звукової сигналізації

.....

Лабораторна робота № 3

«Моделювання параметричної чутливості функціональних блоків індикатора випромінювання сотового телефону у середовищі Electronics Workbench»

з дисципліни:

Мета роботи: отримання навичок структурної декомпозиції електронних пристроїв і формування приватних технічних завдань до структурних блоків

Короткі теоретичні відомості

Якщо характеристики, що були отримані під час функціонального моделювання пристроїв є незадовільними, то принципова схема і (або) моделі компонентів мають бути змінені. Після цього цикл аналізу повторюється знову. Т.ч., при проведенні багатоваріантних розрахунків, комп'ютерні програми аналізу електронних схем особливо корисні: вони дають можливість автоматично протягом короткого часу провести аналіз багатьох варіантів.

Порядок виконання роботи

1. За результатами виконання лабораторної роботи №2, для першого ФБ РЕП визначити елементи, параметри яких мають найбільшу ступінь впливу на основні показники якості роботи схеми.
2. За допомогою виду аналізу Parameter Sweep у середовищі Electronics Workbench оцінити ступінь впливу елементів на основні показники якості роботи схеми.
3. За результатами виконання п.п.2. провести параметричну оптимізацію першого ФБ РЕП.
7. Повторити виконання п.п. 1-3 відповідно до схем усіх інших ФБ РЕП.
- 8 . Оформити звіт з лабораторної роботи.

Результати виконання роботи

1. Результати моделювання компаратора індикатора випромінювання сото-

вого телефону

Завдання для моделювання компаратора складено на основі рис.8 і табл. 8 (л.р. №1) та наведено на рис. 1.

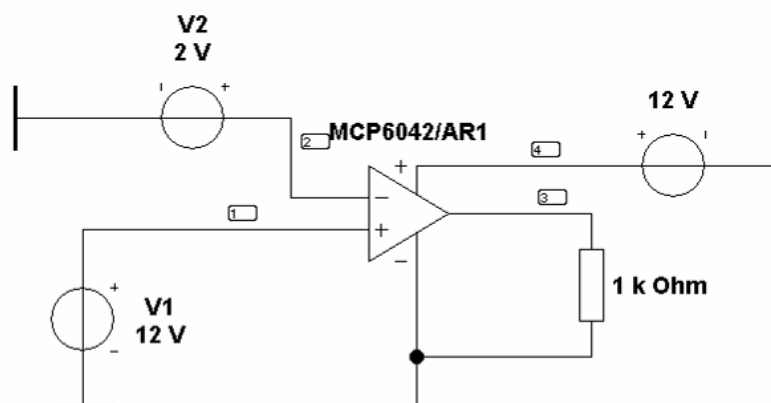


Рисунок 1 – Завдання для моделювання компаратора у середовищі Electronics Workbench

Для дослідження впливу параметрів компаратора замість дільника напруги живлення на резисторах R7-R12 було використано опорне джерело постійної напруги V2. При цьому в режимі Parameter Sweep у якості змінного параметра завдавалася напруга на прямому вході ОП. Отримані таким чином результати наведено на рис. 2.

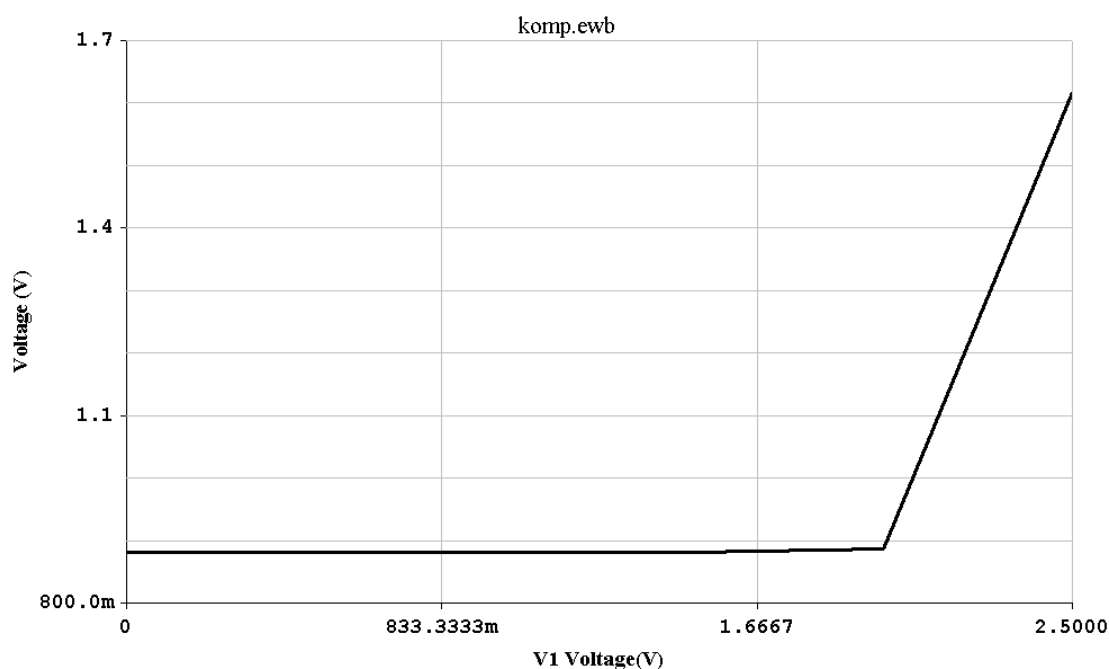


Рисунок 2 – Передавальна характеристика компаратора при опорній напрузі 2В

З рис. 2 слід, що під дією вхідного сигналу, який менш за порогову напругу, вихідний сигнал не змінюється і дорівнює 0,89В, що не дозволяє здійснити відповідні індикатори. При збільшенні вхідного сигналу спостерігається зростання вихідної напруги до рівня 1,62В, що достатньо для спрацювання індикаторів, навантажуючи виходи компаратора.

Узагальнений вигляд впливу напруги опорних джерел на передавальну характеристику компаратора наведено на рис. 3.

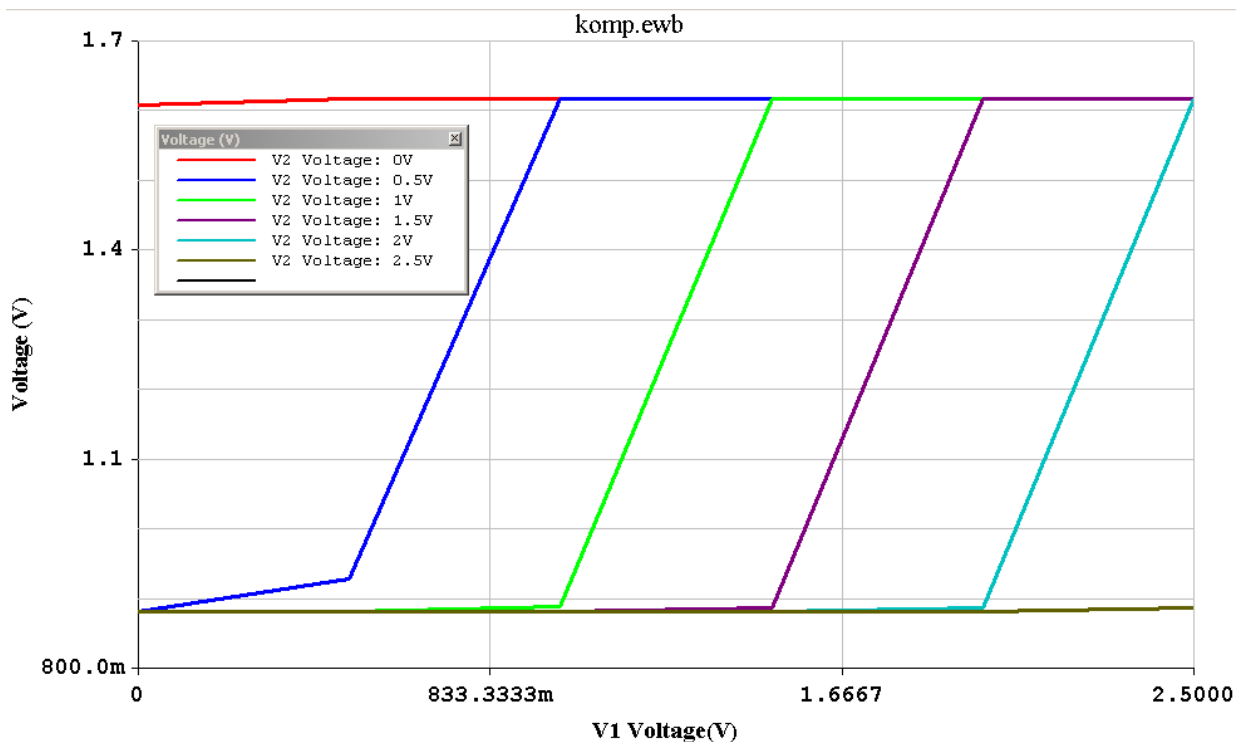


Рисунок 3 – Вплив зміни опорної напруги на передавальну характеристику компаратора

Т.ч., лімітуючою ланкою при роботі компаратора є резистивні ділянки напруги живлення, які використовуються у якості опорних джерел.

Висновки: за результатами дослідження параметричної чутливості елементів компаратора визначено, що стабільність його роботи визначається стабільністю завдання опорів резистивного діляника напруги живлення. У аналізованій схемі компаратора використовується сходовий діляник напруги, що призводить до впливу на опорну напругу кожного рівня компаратора усіх попередніх ланок

дільника. Тому пропонується у якості джерел опорної напруги використовувати незалежні джерела зразкової напруги. Так як вхідною напругою дільника є напруга джерела живлення, то стабільність роботи компаратора також залежить від стабільності напруги живлення.

2. Результати моделювання підсилювача високої частоти

.....

3. Результати моделювання детектора

.....

4. Результати моделювання вхідного пристрою

.....

5. Результати моделювання блоку звукової сигналізації

.....

Висновки: за результатами дослідження параметричної чутливості ФБ індикатора випромінювання сотового телефону визначено, що найбільший вплив на функціонування пристрою здійснюють наступні елементи схеми електричної принципової, які ранжуються наступним чином за значністю: G1, R7, R8,DA1,

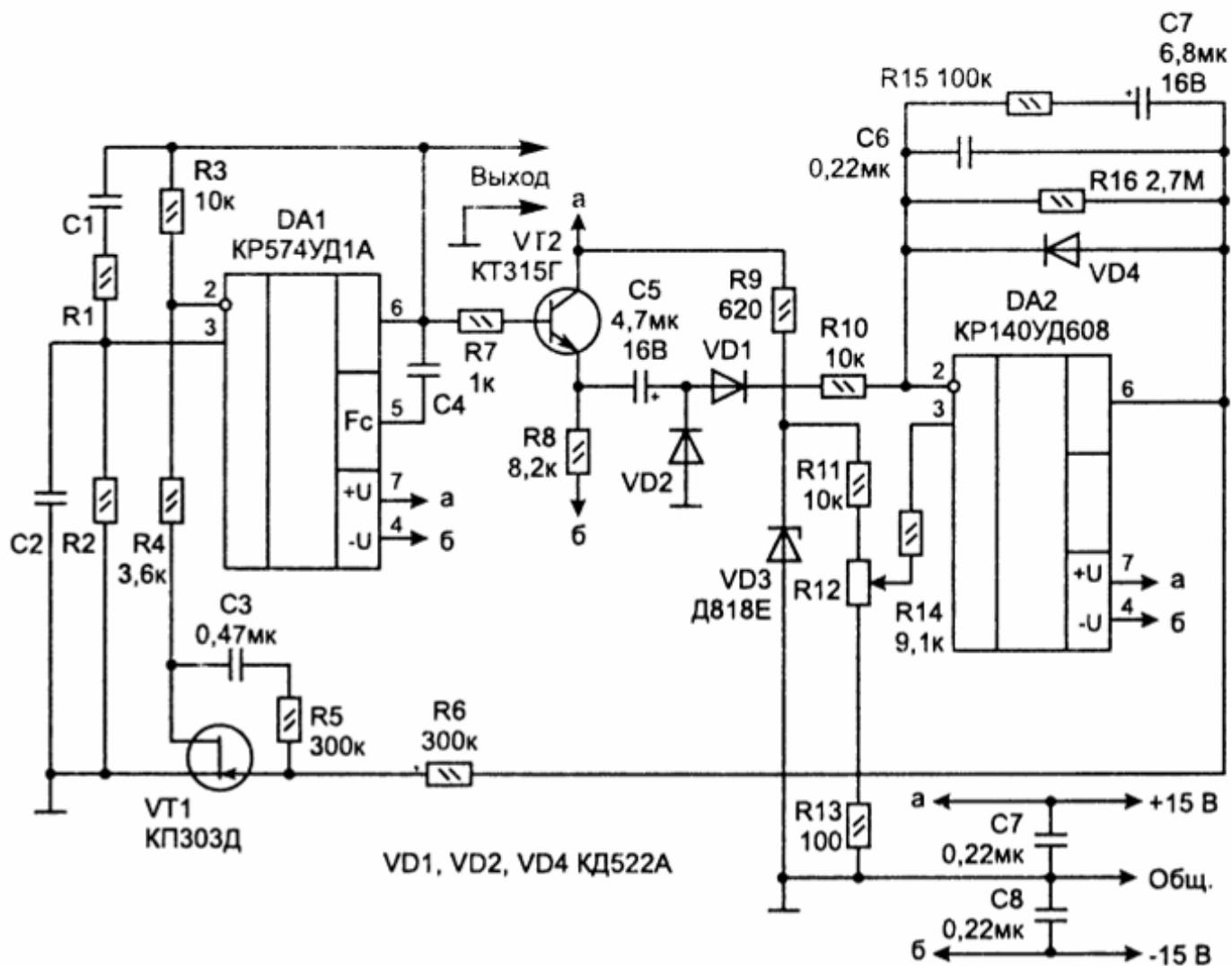


Рис. 4.12. Схема RC-генератора с усиленной автоматической регулировкой амплитуды
Вариант 1

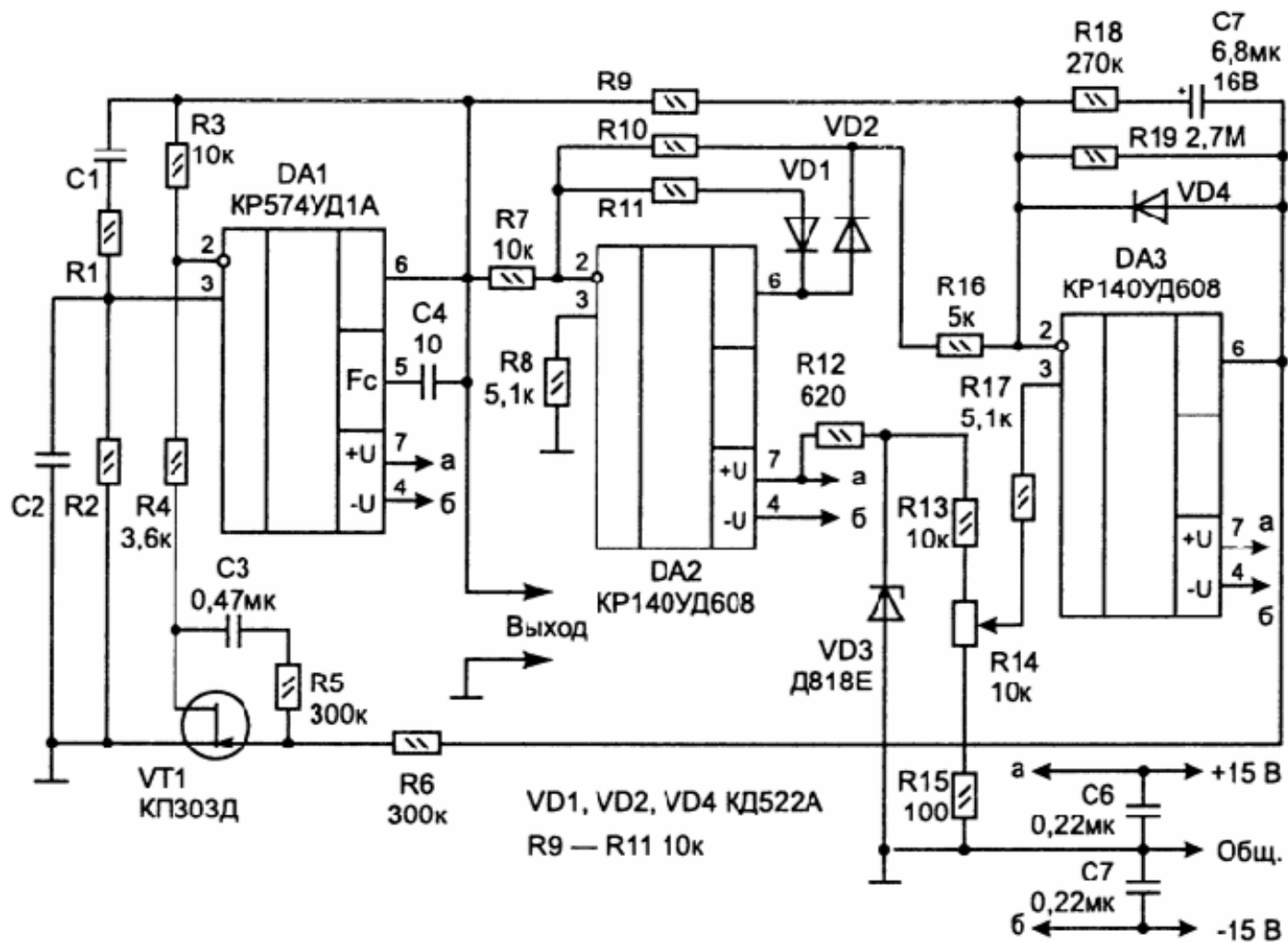


Рис. 4.13. Схема RC-генератора с прецизионным детектором

Вариант 2

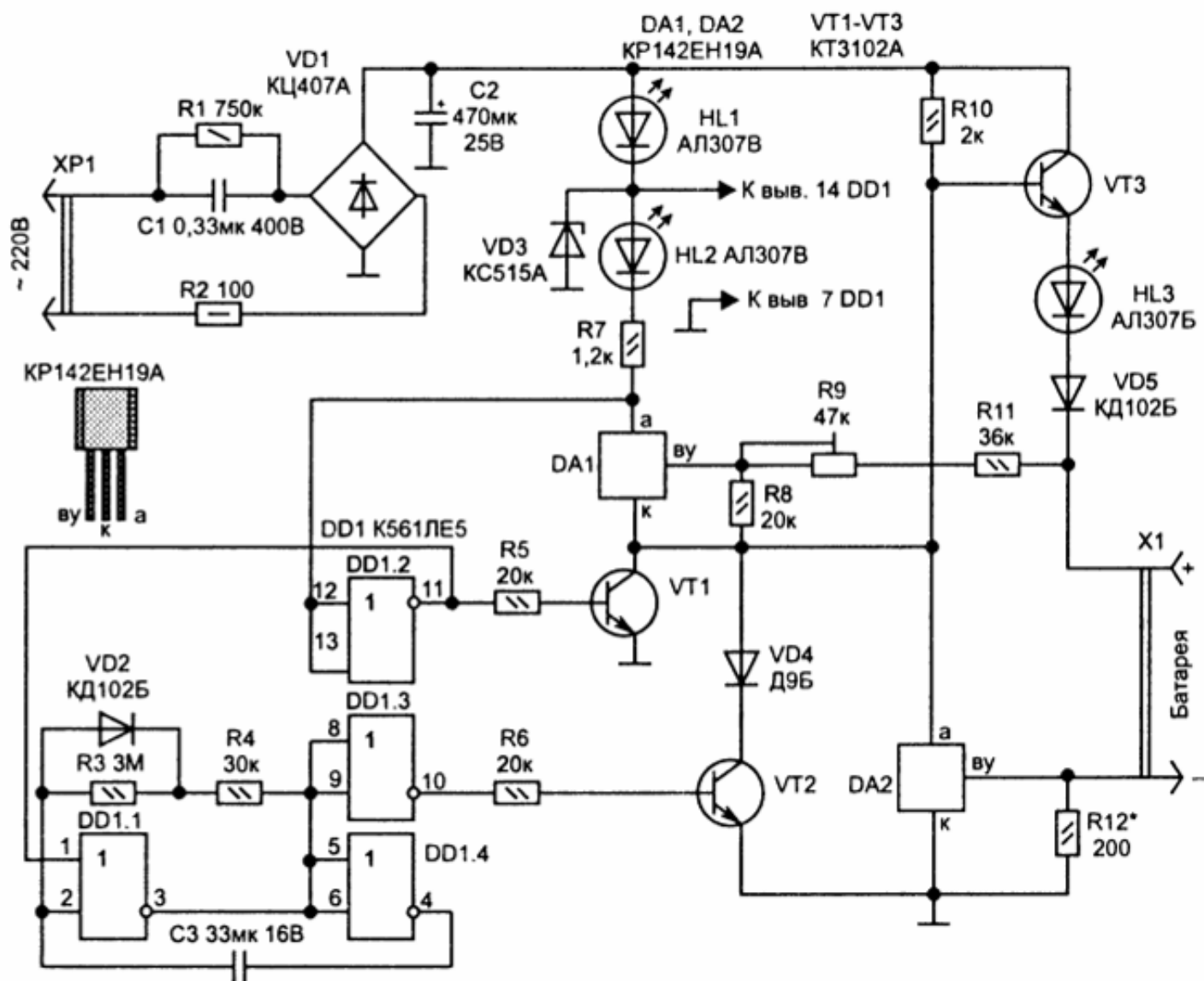
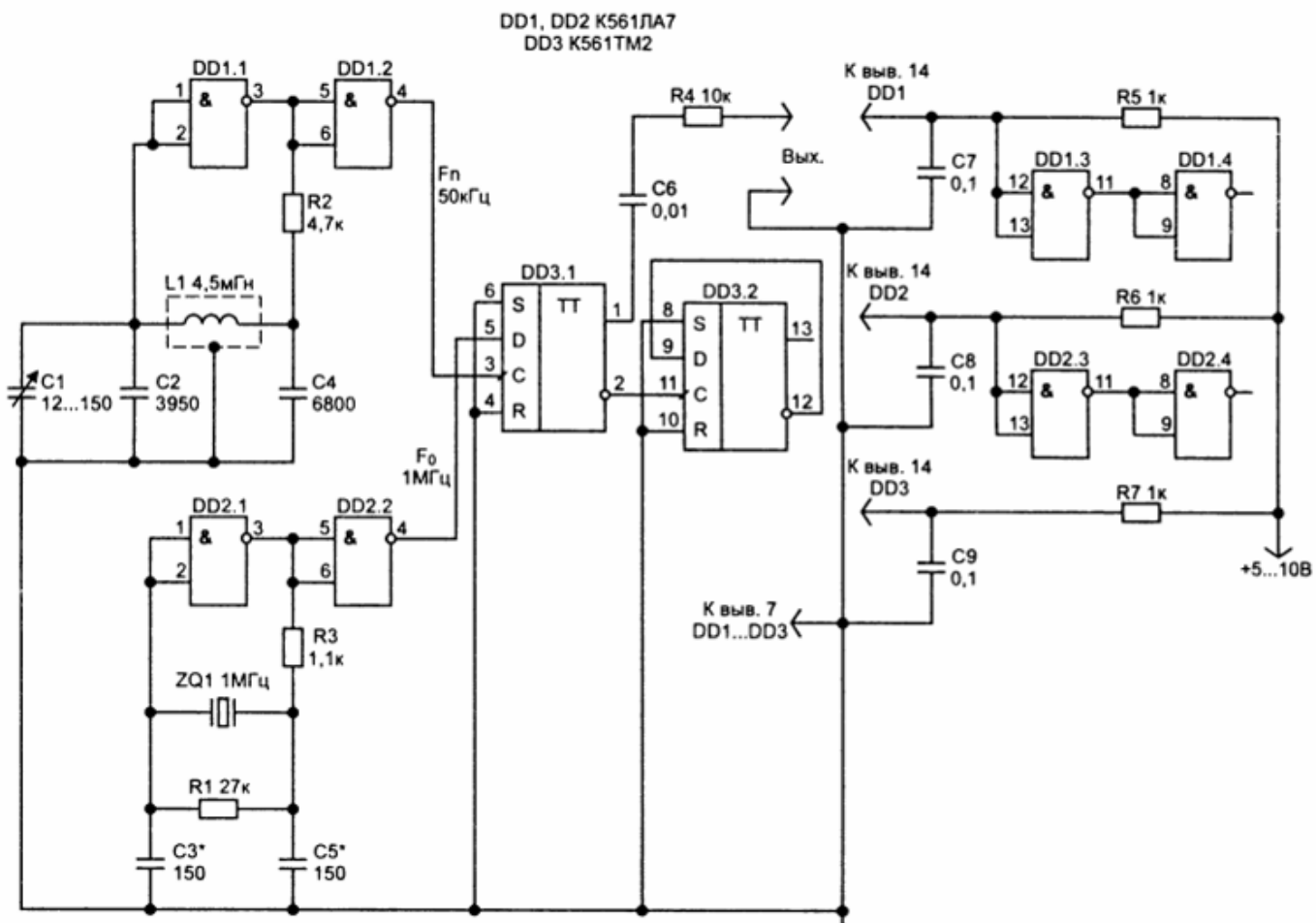


Рис. 5.24. Автоматическое зарядное устройство
Вариант 3

Рис. 5.34. Чувствительный металлоискатель



Вариант 5

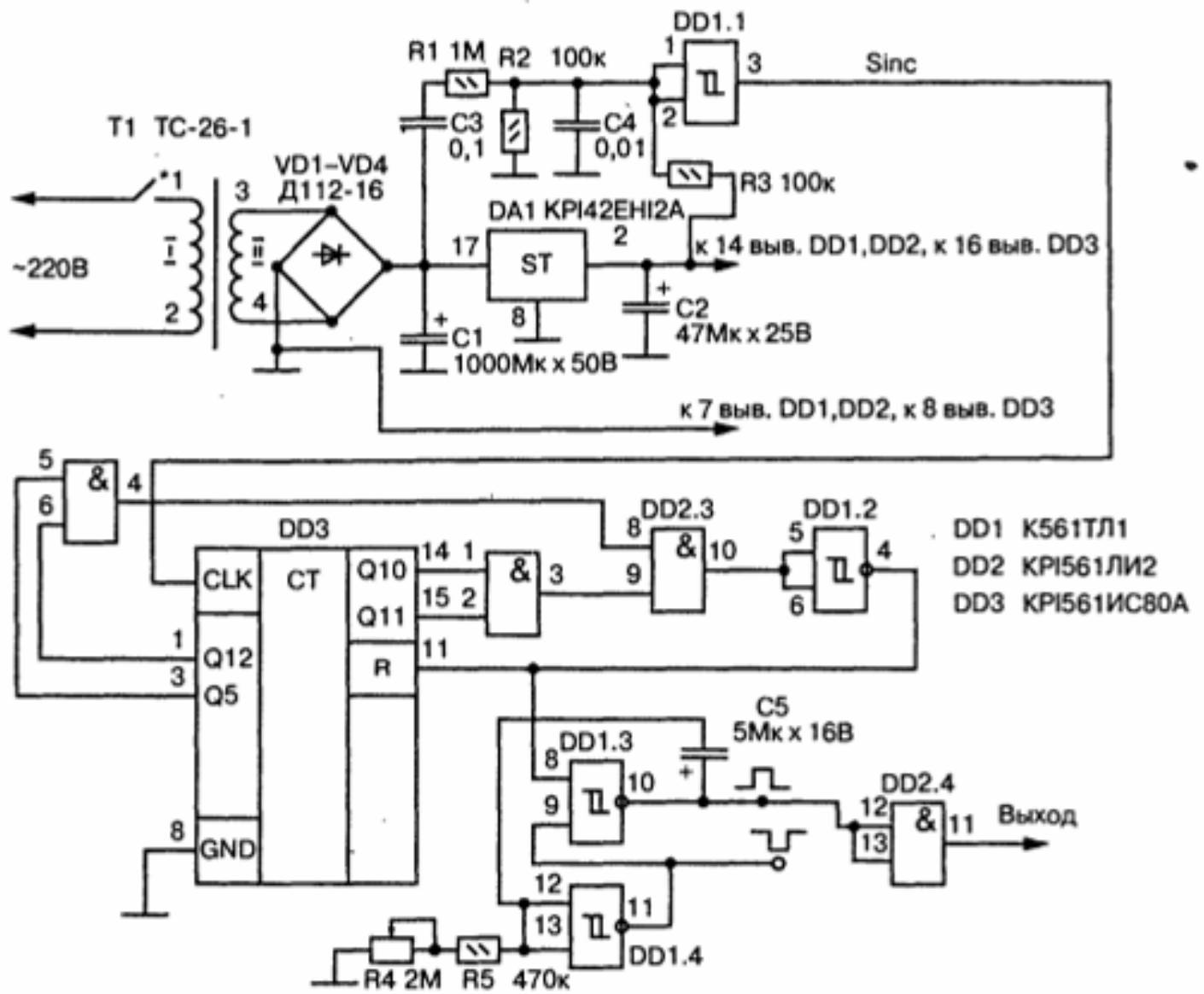


Рис. 1.45. Электрическая схема устройства преобразователя частоты осветительной сети

Вариант 7

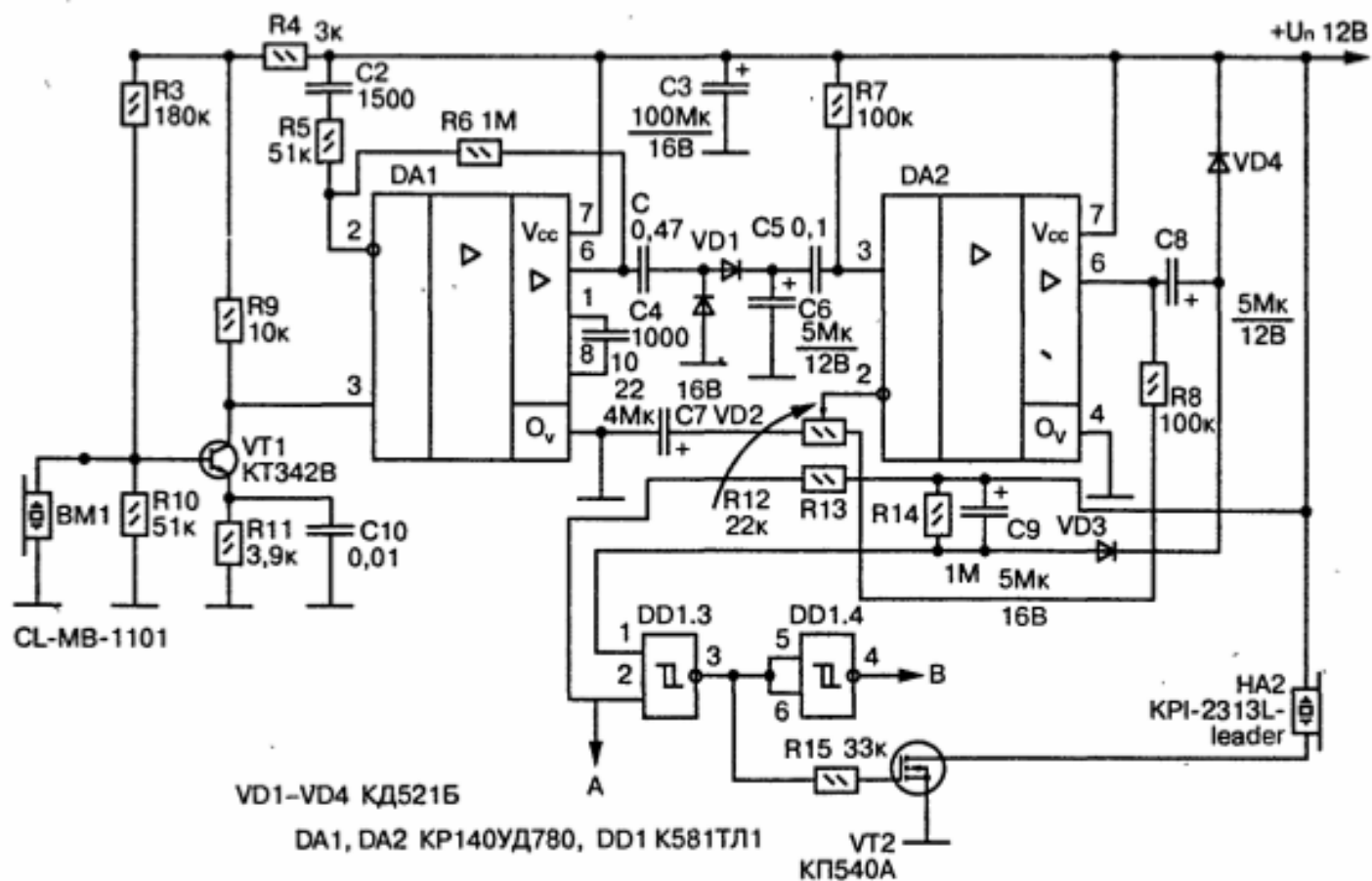
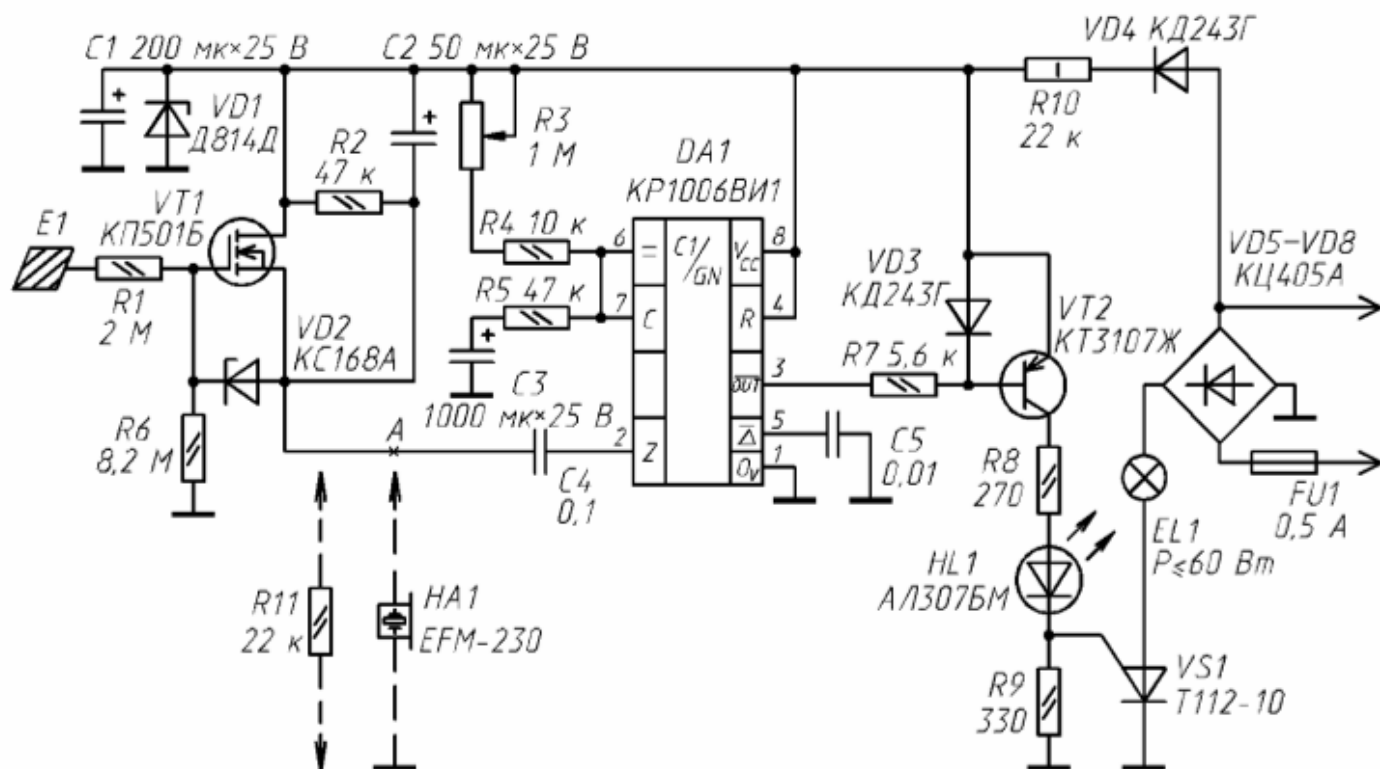


Рис. 1.68. Электрическая схема приемника ультразвуковых сигналов

Вариант 8



Устройство включает лампу накаливания *EL1* от любого прикосновения к контакту *E1* и оставит ее во включенном состоянии в течение установленного времени задержки. Это время настраивается переменным резистором *R3* и может изменяться от долей секунды до 22 мин (при указанной емкости оксидного конденсато-

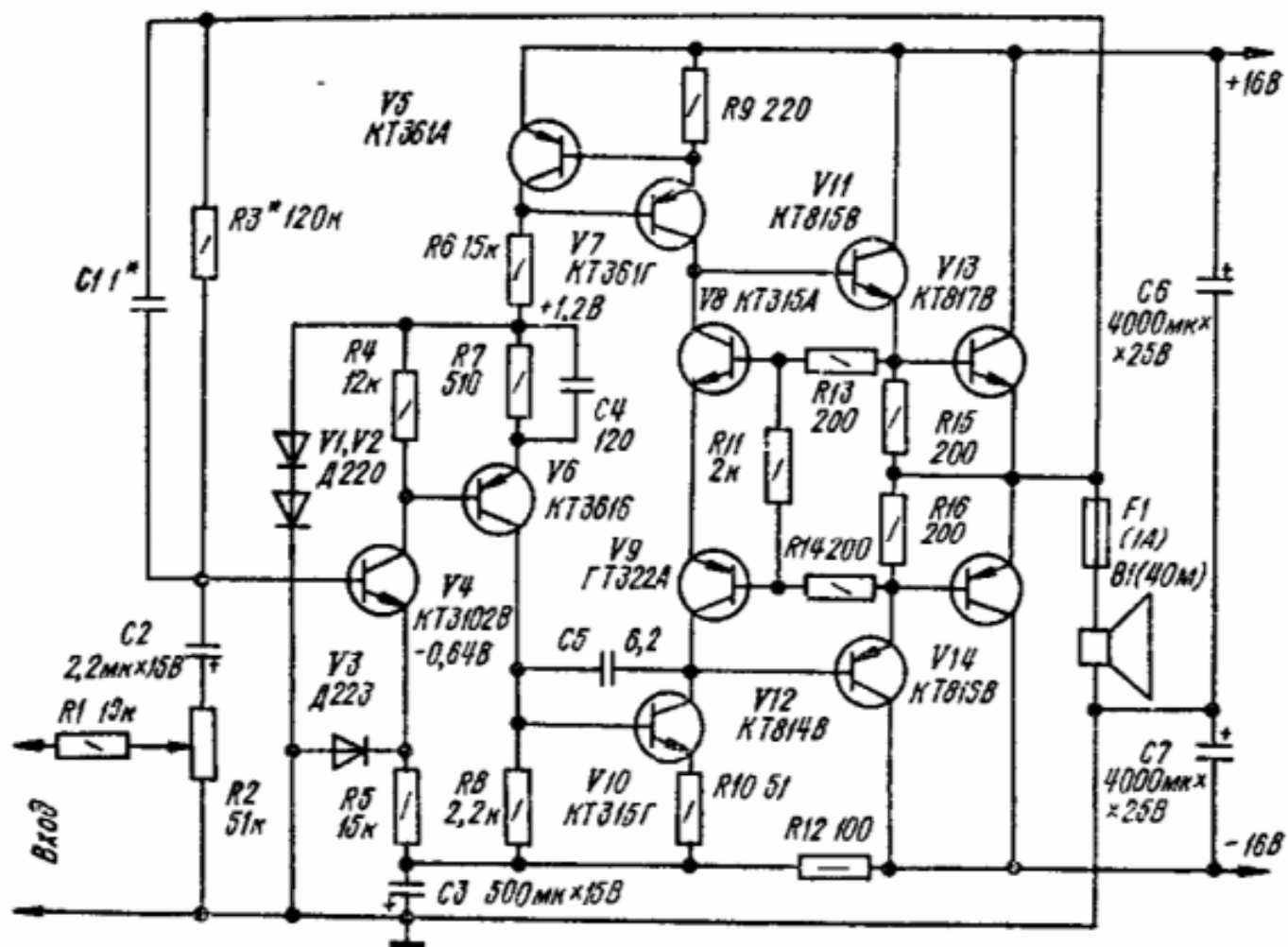


Рис. 11.7. Схема усилителя высококачественного воспроизведения сигналов при больших и малых уровнях громкости

Вариант 10

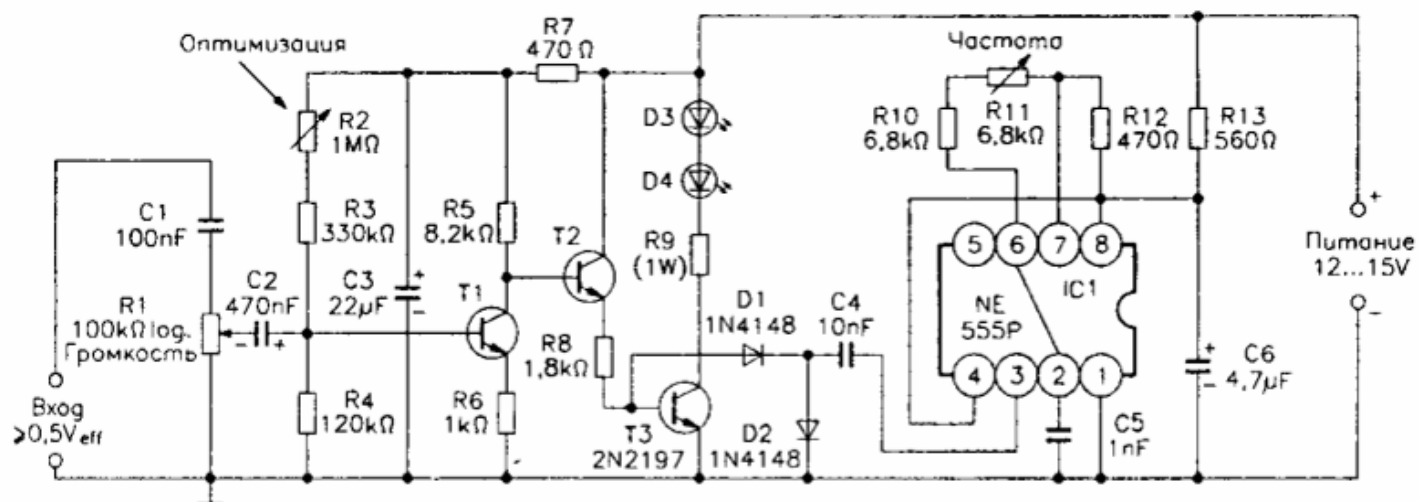


Рис. 7.9. Передатчик, работающий при модуляции излучения ИК диапазона с помощью поднесущей, которая, в свою очередь, модулирована акустическим сигналом

Вариант 11

Сенсор с задержкой в схеме управления вентилятором

В жаркий летний сезон продажи вентиляторов в магазинах существенно возрастают. Простые вентиляторы, которыми наводне рынок, имеют обычные функции управления (включить/выключить и несколько скоростей вращения). Добавив к такому вентилятор простую электрическую схему (рис. 1.26), можно управлять ег включением с помощью сенсора и не заботиться о выключени прибора, так как предусмотренный в схеме таймер автоматическ отключит вентилятор по прошествии заданного времени.

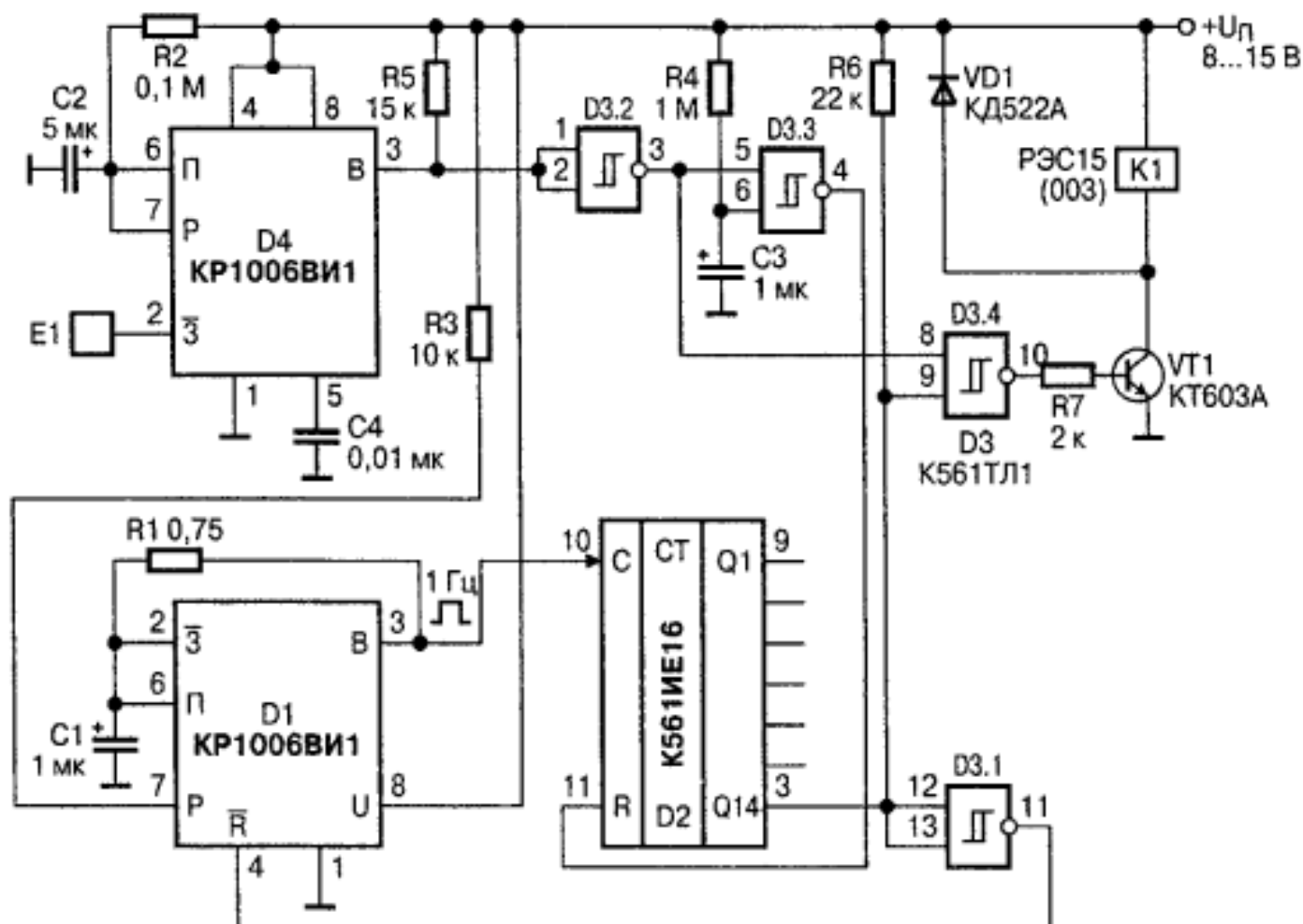
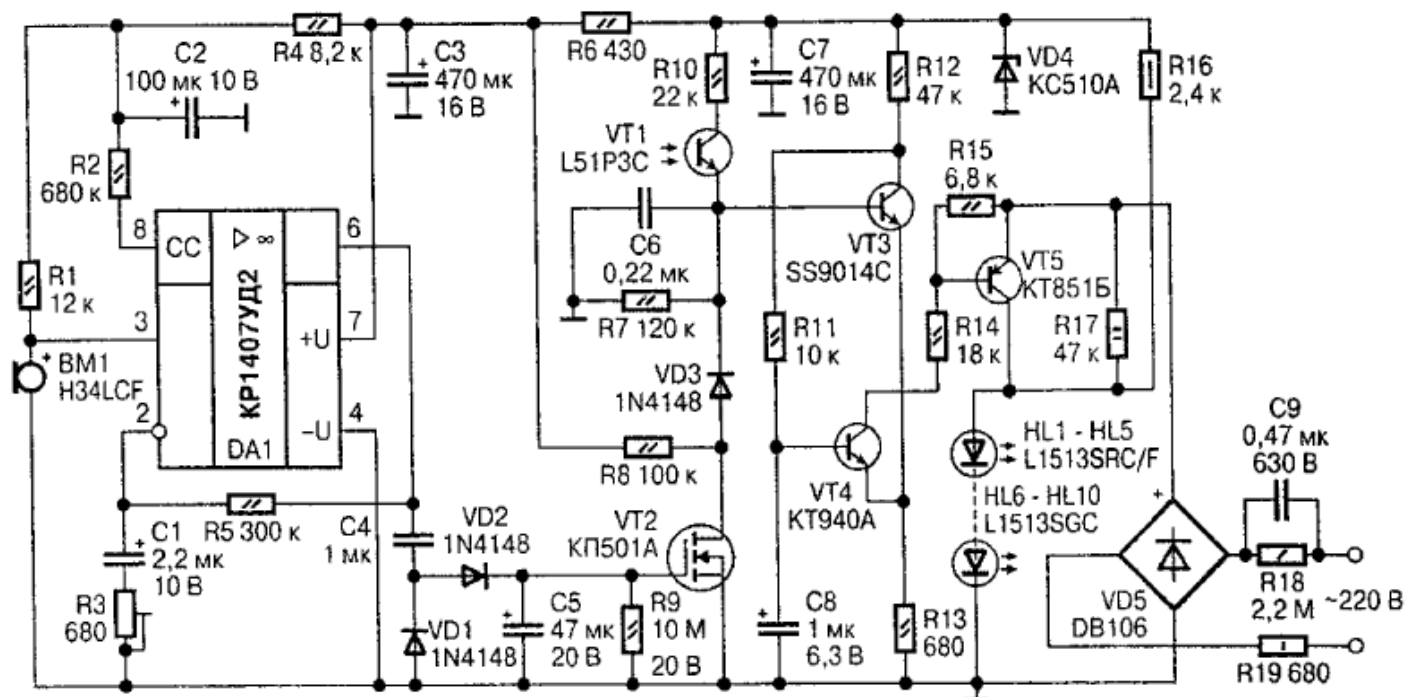


Рис. 1.26

Вариант 12



Автоматизированный ночник на ультраярких светодиодах

В последние годы для разработчиков электронной аппаратуры и радиолюбителей стала доступной новейшая элементная база ведущих зарубежных и отечественных производителей, что позволяет создавать новые версии привычных в быту устройств, значительно повышая их эксплуатационные характеристики.

Относительно недавно появившиеся в розничной продаже светодиоды с высокой светоотдачей почти всех основных цветов свечения позволяют создать компактную конструкцию домашнего ночника без использования архаичных ламп накаливания (рис. 1.40). Интенсивности светового потока, создаваемого описываемым устройством, достаточно, чтобы, как минимум не напрягая зрение, читать газетный текст на расстоянии двух-трех метров.

В процессе эксплуатации этого ночника не требуется его обслуживание. Он не боится тряски, падений, скачков напряжения. Для необслуживаемого использования он оснащен двумя видами электронных реле – фото и акустическим. Светодиоды светятся только с наступлением темноты, при условии, что на мембрану микрофона оказывается достаточное звуковое воздействие. Такой режим работы не только экономит электроэнергию, но и создает более комфортные условия для отдыха.

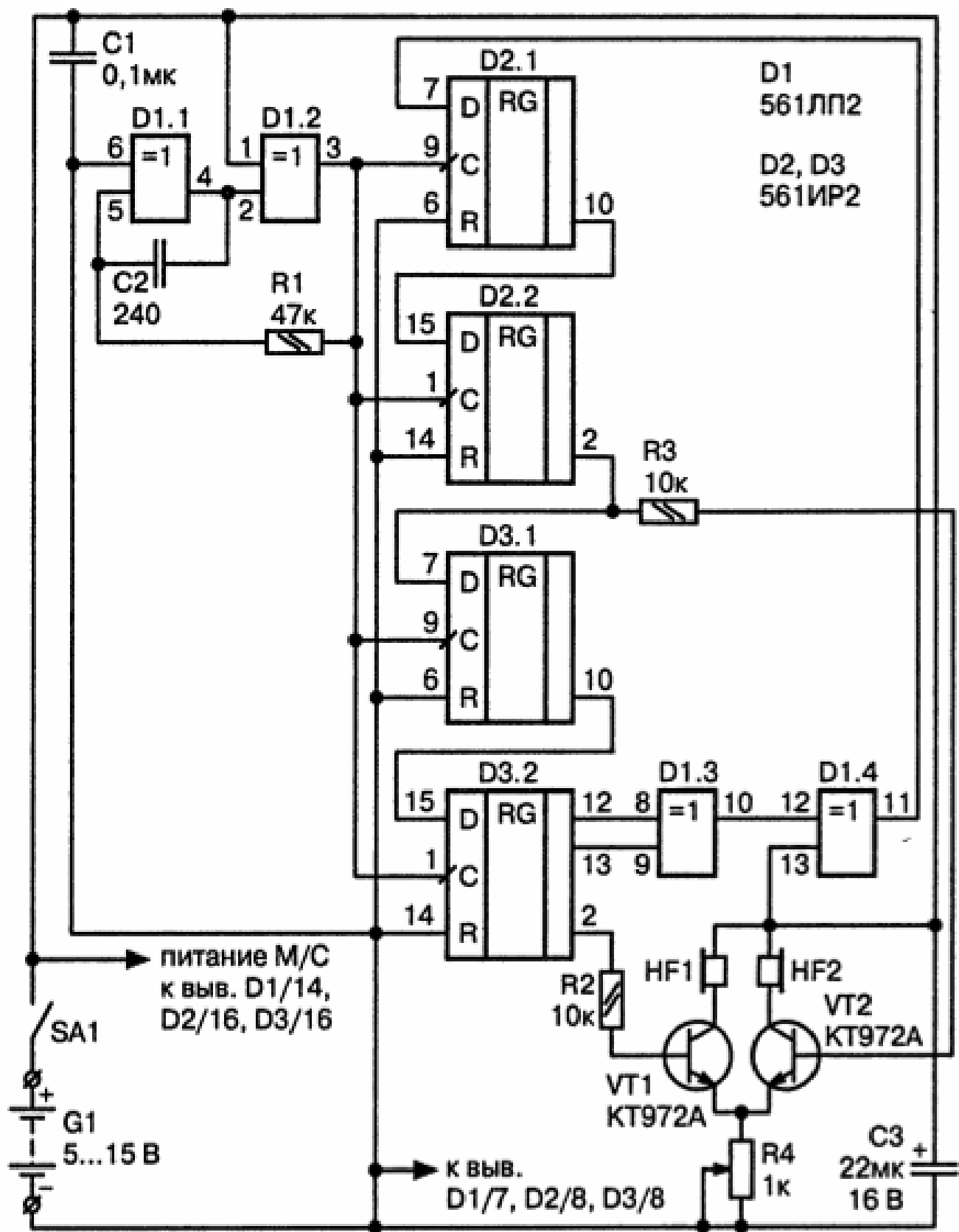


Рис. 5.7. Генератор шума
Вариант 14

Таймер для зубной щетки

А. ОЗНОБИХИН, г. Иркутск

Как известно, для достижения оптимального лечебно-профилактического эффекта минимальная продолжительность чистки зубов должна составлять около двух минут (два-три раза в день). Но многие делают это нерегулярно, и редко кто выдерживает минимально необходимое время. Обычно объясняется это ленью характера, отсутствием в ванной комнате часов, а без них при монотонном скучном занятии (чистке зубов) время течет субъек-

тивно медленно. Специально приносить и каждый раз уносить часы, да еще устанавливать их в режим таймера неудобно, требует дополнительного времени, которого и так постоянно не хватает.

Предлагаемый таймер помогает приучить пользователей, особенно детей, к рекомендуемой продолжительности чистки зубов и равномерного распределения времени для каждого участка полости рта.

При вынимании зубной щетки из цилиндрического отверстия стойки (держателя) включаются таймер и табло, состоящее из четырех светодиодов, поочередное их зажигание отображает четыре полуминутных временных интервала. Число светодиодов выбрано исходя из частей (сторон) полости рта: верхние (левая и правая), а также нижние (левая и правая). По окончании каждого полуминутного интервала звучит короткий (около 1 с) звуковой сигнал. По завершении работы таймера табло гаснет и устройство переходит в энергосберегающий режим, даже если зубная щетка не установлена на место или установлена неправильно. После ее

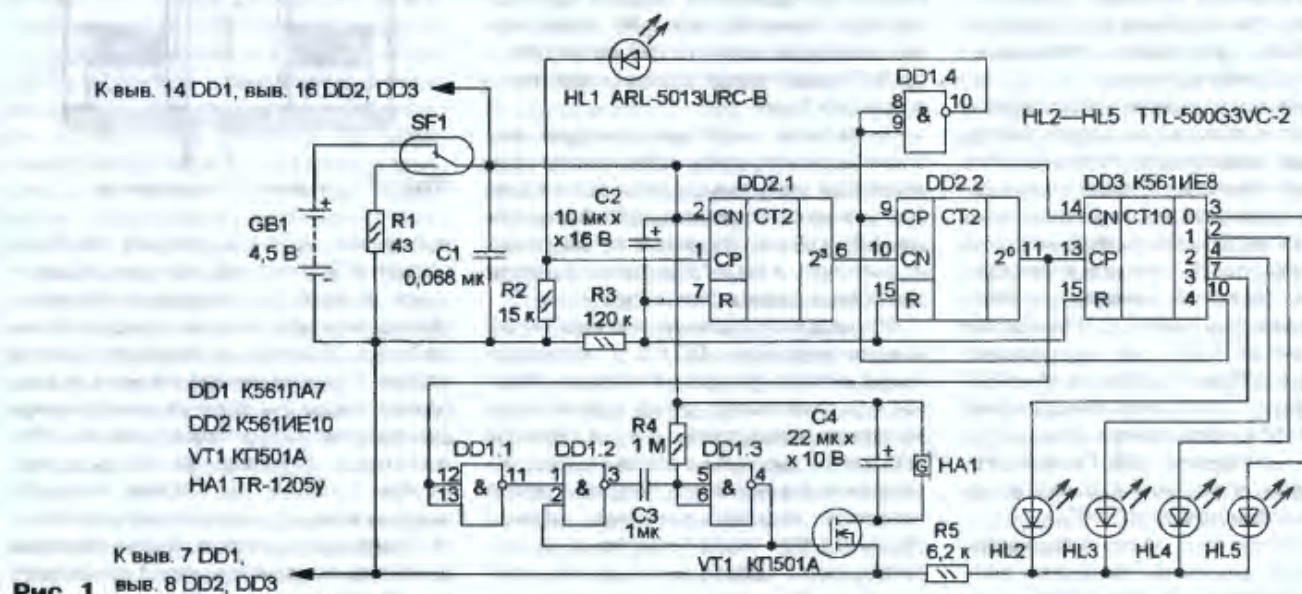


Рис. 1

Вариант 15

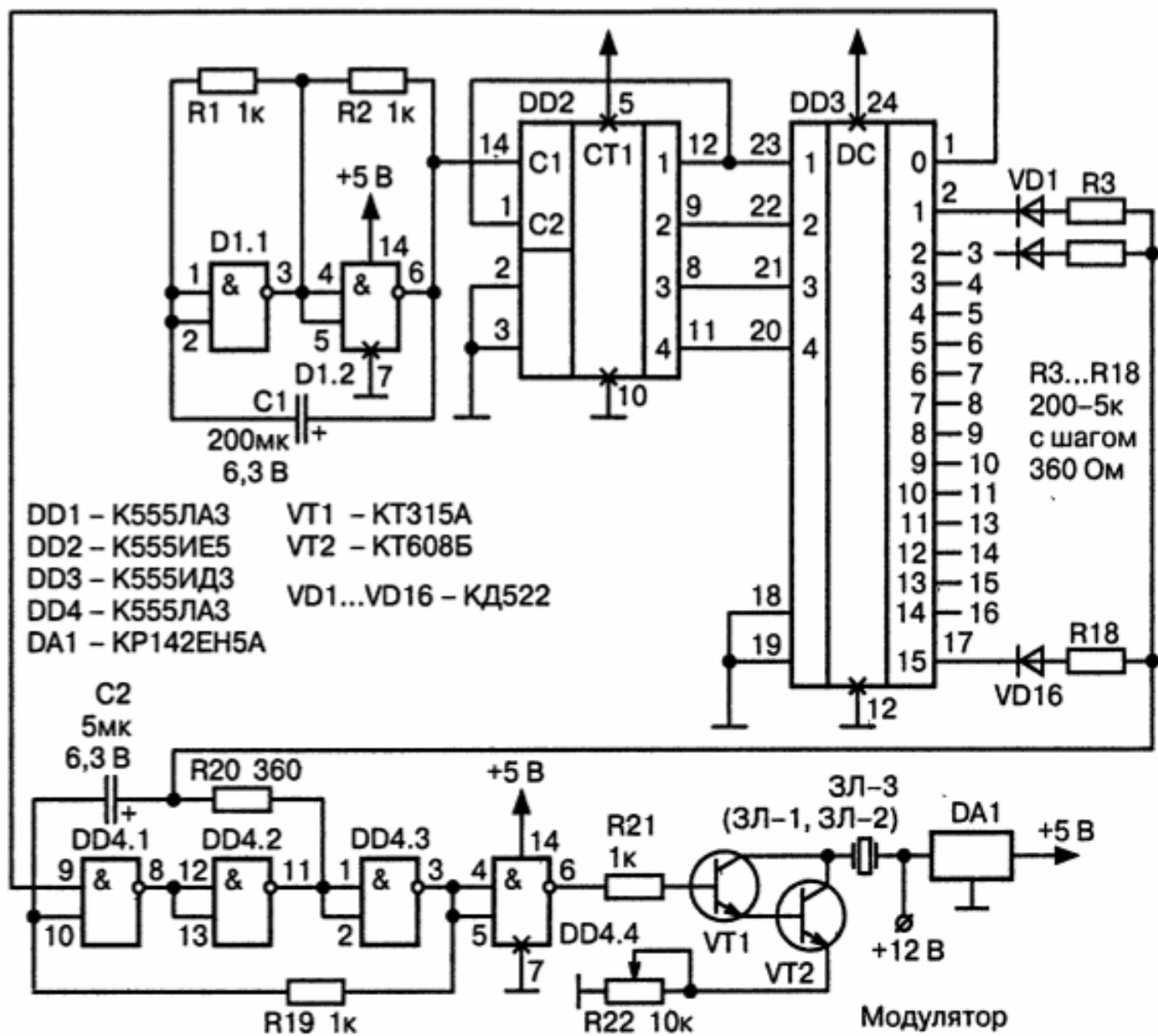


Рис. 6.3. Модулятор оконного стекла

Вариант 16

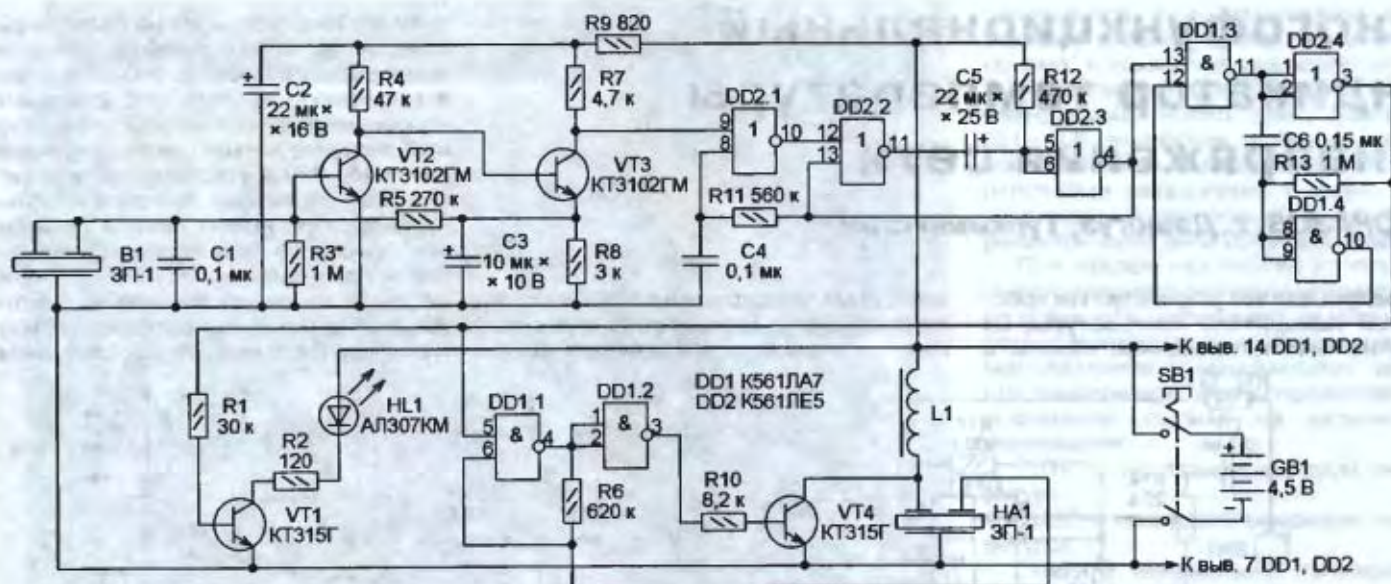


Рис. 3

Сигнализатор выполнен в виде подставки под удище (рис. 2). Сработав, он подает прерывистый звуковой сигнал, сопровождаемый вспышками светодиода. Когда рыбу подсекают, леска легко выдергивается из клипсы, что не требует лишних движений и не создает неудобства.



Рис. 2.11. Мостовой УМЗЧ на двух микросхемах TDA2003

Вариант 19

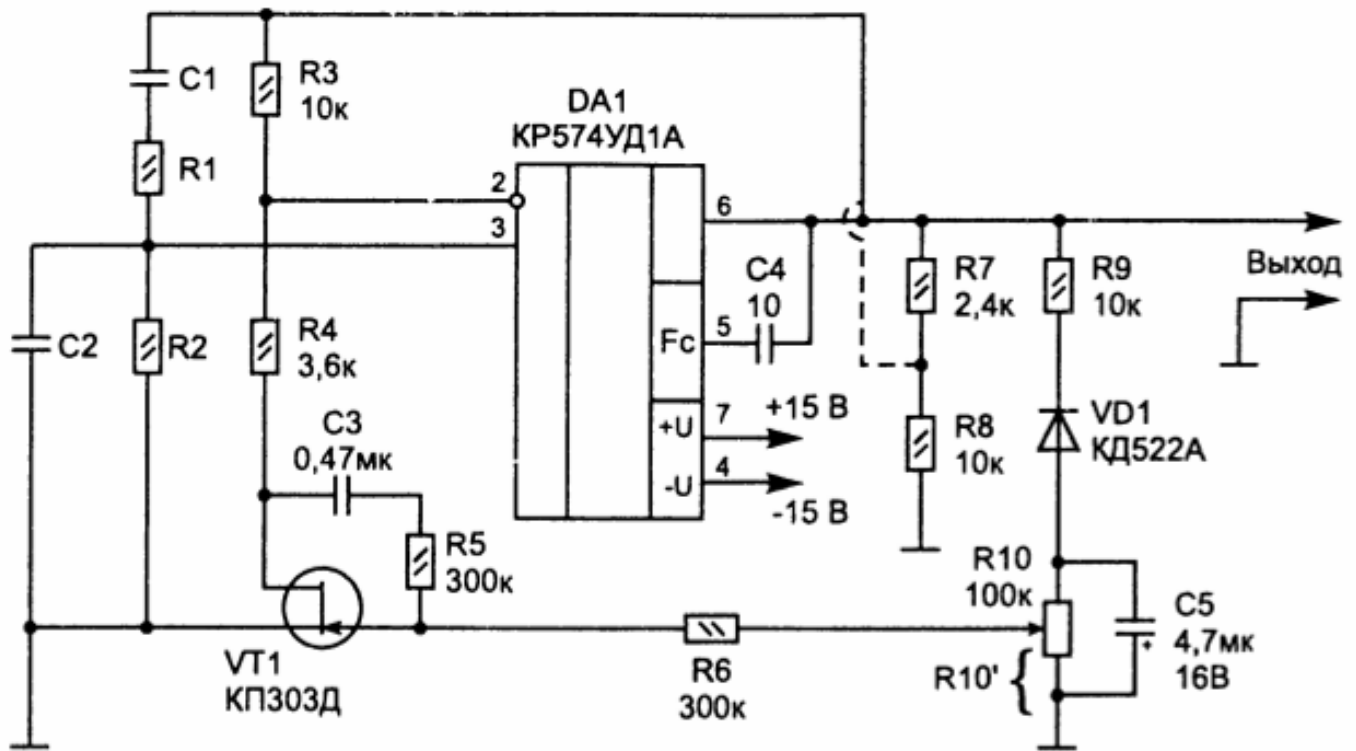


Рис. 4.10 Схема RC-генератора с автоматической регулировкой амплитуды

Вариант 20

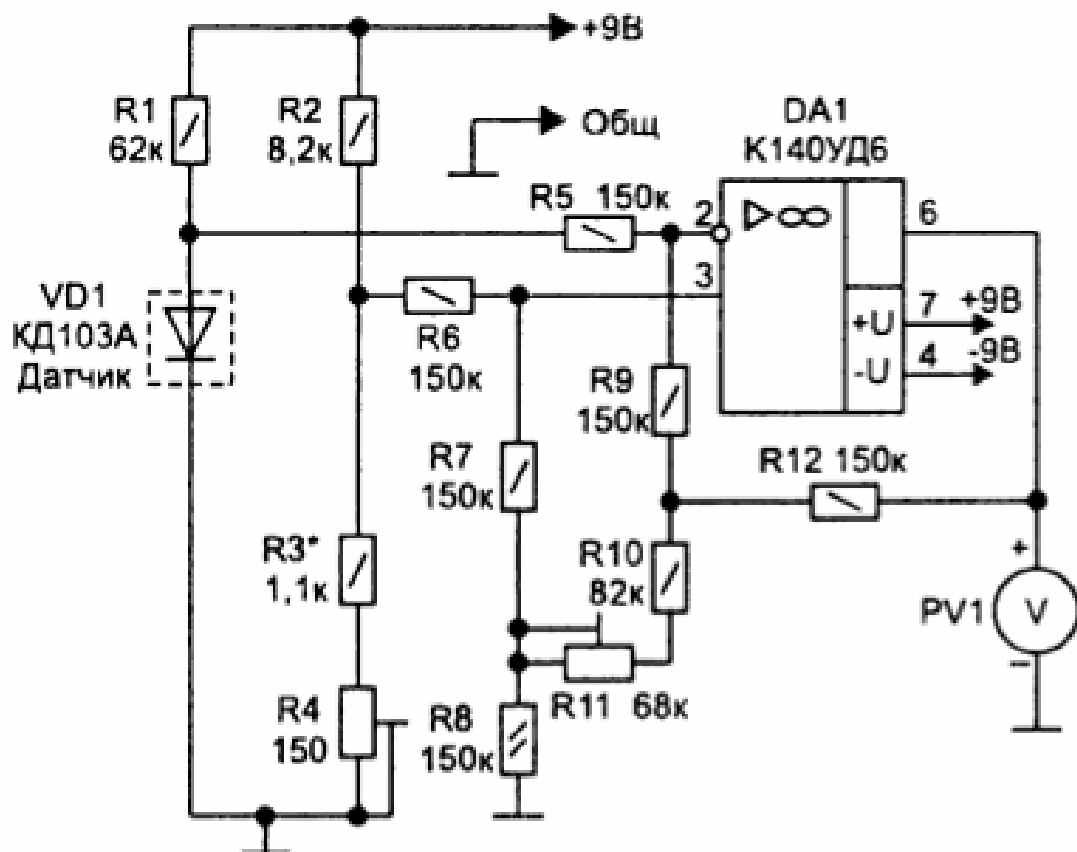


Рис. 5.3. Электронный термометр

Вариант 21

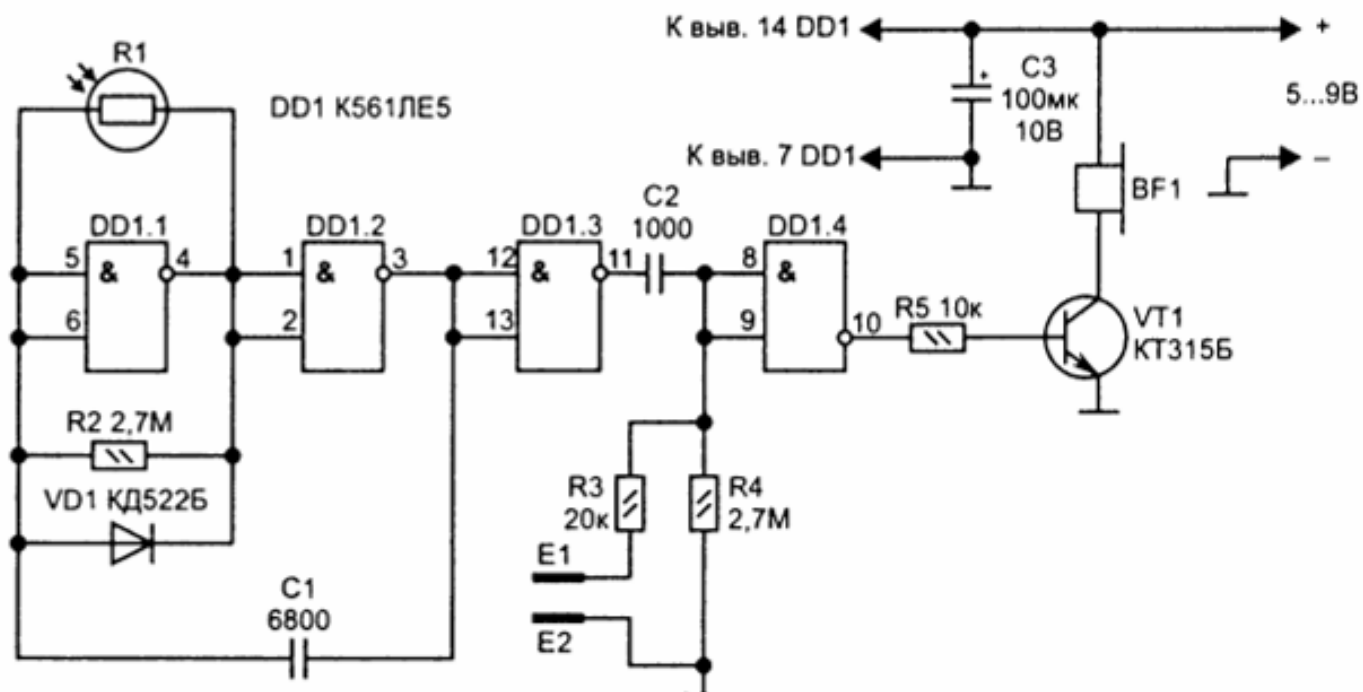
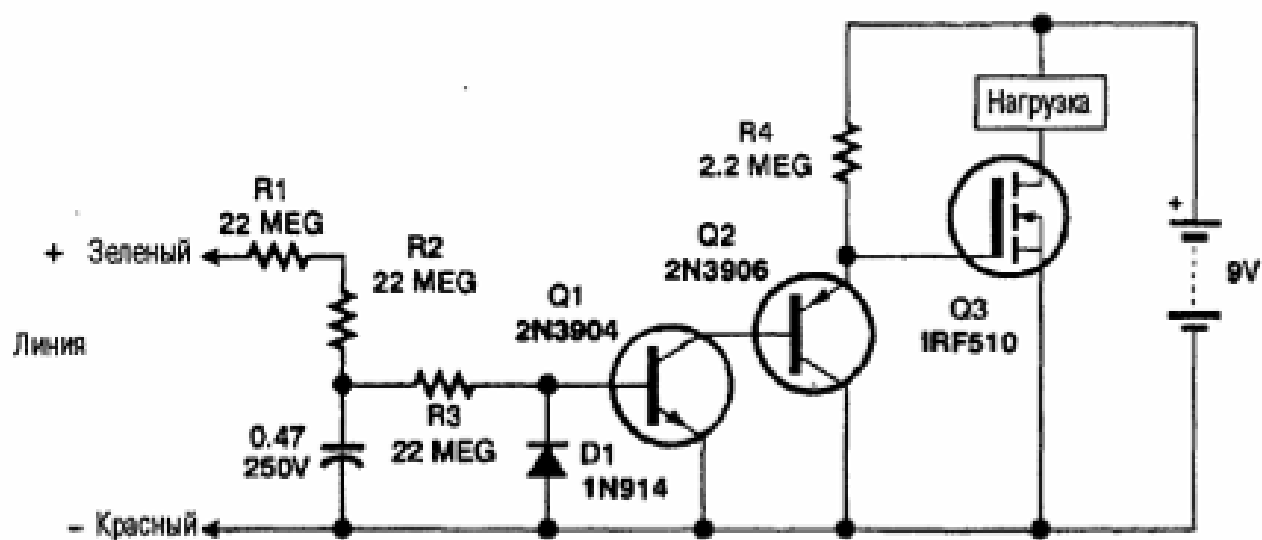


Рис. 5.44. Музыкальная игрушка «Светофон»

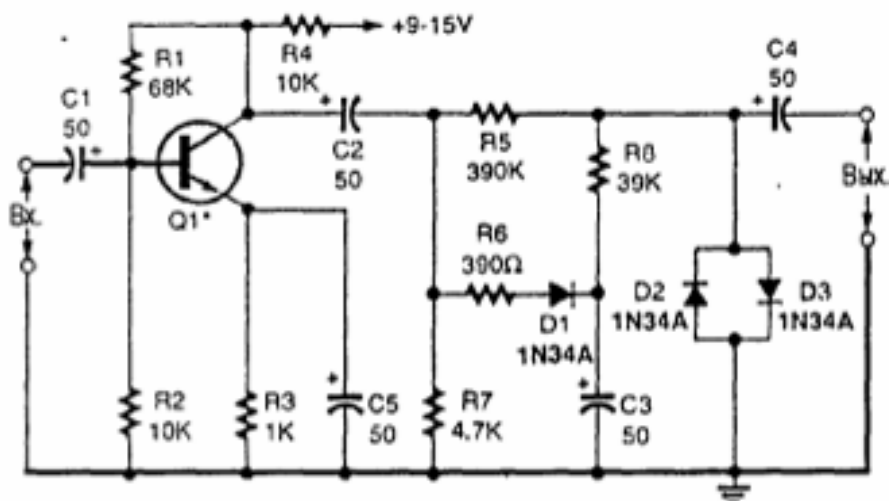
Вариант 22

СИГНАЛИЗАЦИЯ ОБРЫВА ТЕЛЕФОННОЙ ЛИНИИ II



Вариант 23

УСИЛИТЕЛЬ-КОМПРЕССОР



Popular Electronics

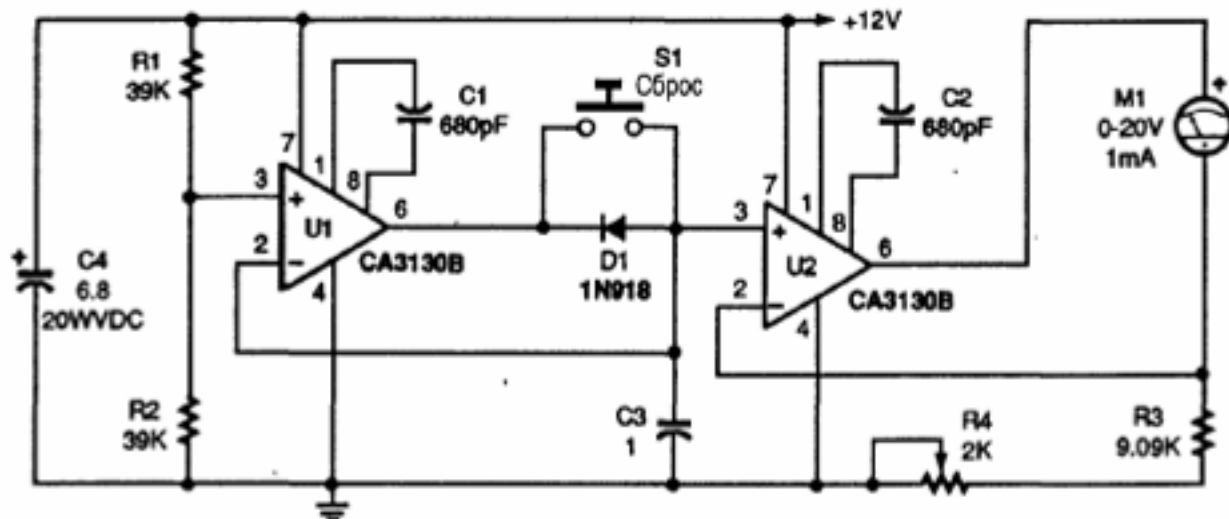
Рис. 6.5

На схеме представлен усилитель типа компрессора, который может быть использован для поддержания постоянного уровня громкости электрооргана. В отличие от компрессоров, применяемых в системах оповещения, студиях и радиовещании, органный выравнитель уровня эффективен в широкой полосе частот, генерируемых органом, и без искажения тембров. Он работает в широком диапазоне уровней входного сигнала, не входя в ограничение. Усилитель хорош и как микрофонный компрессор.

Вариант 24

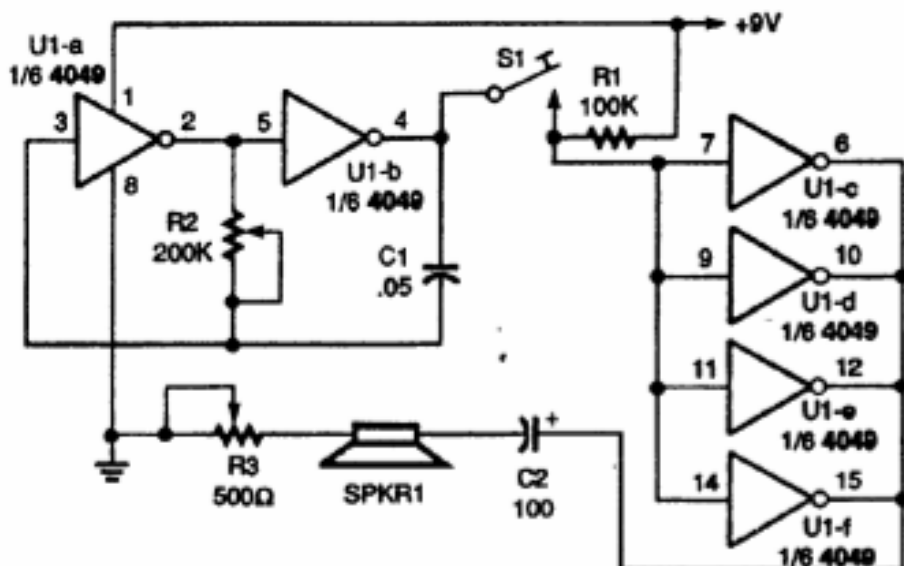
ПРОБНИК ДЛЯ ПРОВЕРКИ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

Прежде всего необходимо узнать, нормально ли заряжена аккумуляторная батарея и не закорочены ли провода стартера. Пробник, собранный по приведенной схеме, покажет на стрелочном индикаторе, насколько сильно уменьшается напряжение на аккумуляторной батарее во время пуска двигателя. Схема представляет собой пиковый вольтметр, измеряющий отрицательные пики напряжения.



Вариант 25

ГЕНЕРАТОР ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ АЗБУКИ МОРЗЕ



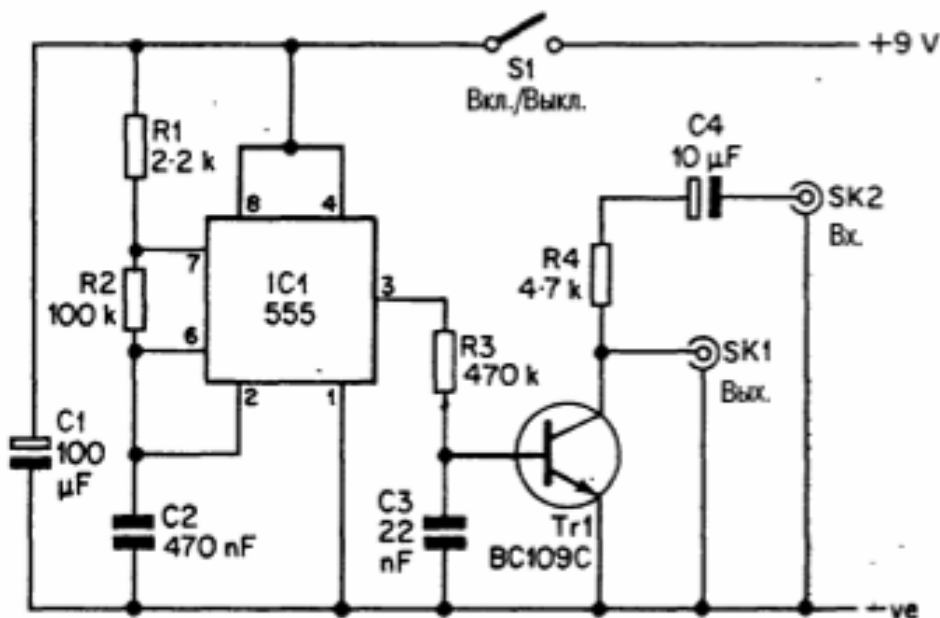
Popular Electronics

Рис. 18.7

Этот многоцелевой генератор, имитирующий телеграфный ключ, имеет пере-страиваемую частоту тона и регулируемую громкость. Прибор особенно удобен для использования при обучении небольших групп людей, интересующихся радиотелеграфией или желающих улучшить навыки работы на телеграфном ключе.

Вариант 26

«КОМПЬЮТЕРНЫЙ ГОЛОС»



Electronics Experimenters Handbook

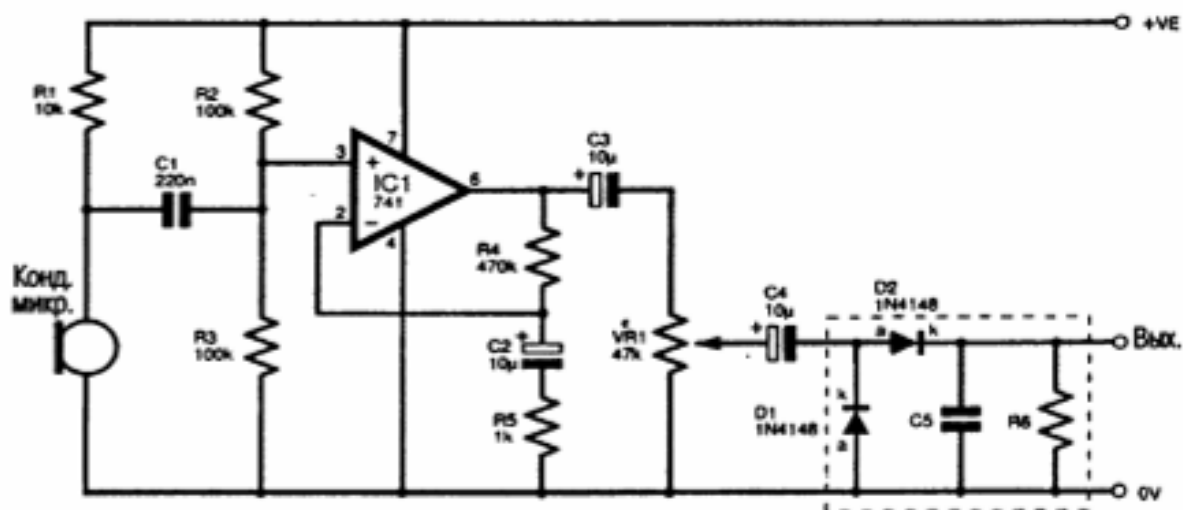
Рис. 20.9

Эта схема может пригодиться для имитации «голоса компьютера» – эффекта, часто используемого при съемках фильмов, в устройствах сигнализации и в теле-

Вариант 27

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ В ПОСТОЯННЫЙ ТОК

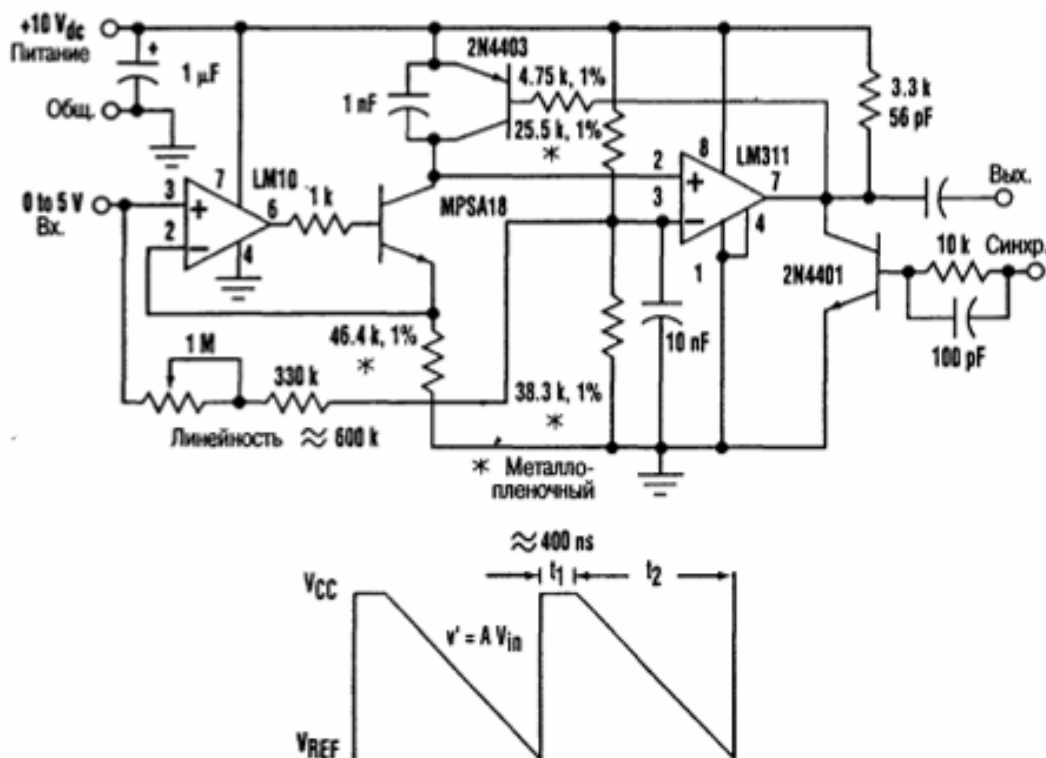
На рисунке приведена схема входного модуля, на выходе которого формируется постоянное напряжение, пропорциональное амплитуде входного звукового сигнала.



Вариант 28

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ОТНОШЕНИЯ НАПЯЖЕНИЙ В ЧАСТОТУ

Данный преобразователь отношения напряжений в частоту с $f_{\text{макс}} = 20 \text{ кГц}$ (ПНЧ) предназначен для работы с тензо- и другими датчиками, в которых измеряемые



величины определяются по соотношению сопротивлений – даже в условиях нестабилизированного напряжения возбуждения и заметного уровня шума. Отличная линейность, составляющая около 4 Гц, получена без применения обратной

Вариант 29



Вариант 30



Вариант 31



BM1 3П-22

VT1, VT2 C8550

VT3 KT815Б

K1

HL1 АЛ307Б

R1 210M

R2 200к

R3 12к

R4 10к

R5 1,2к

C1 0,1

C2 200Mк x 16B

C3 2,2Mк x 16B

-U_n 9В

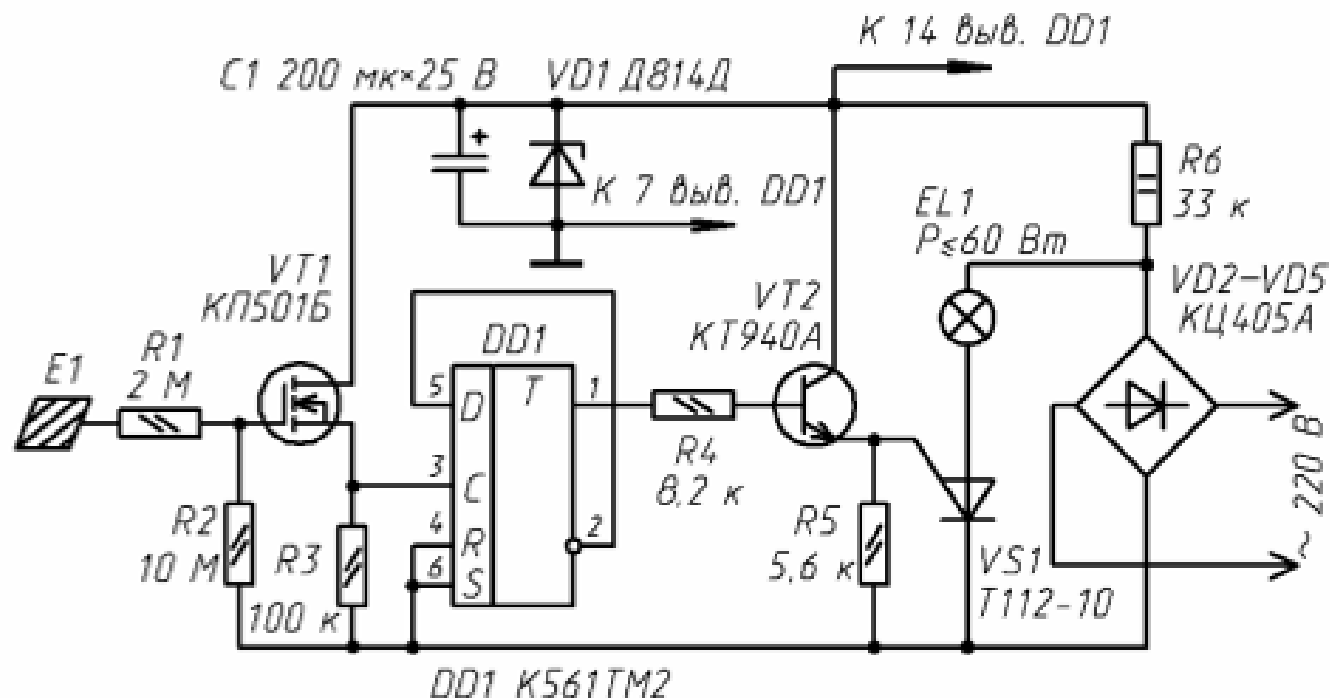
+U_n 9В

1 2

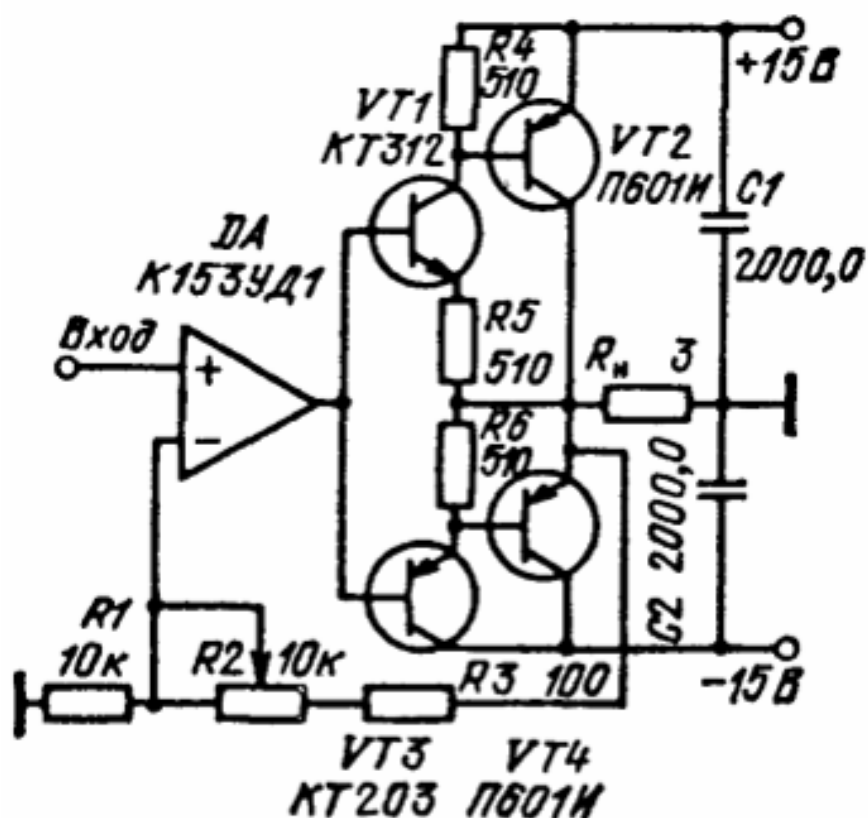
к уст-ву управления нагрузки

Рис. 1.64. Электрическая схема чувствительного акустического датчика

Вариант 33

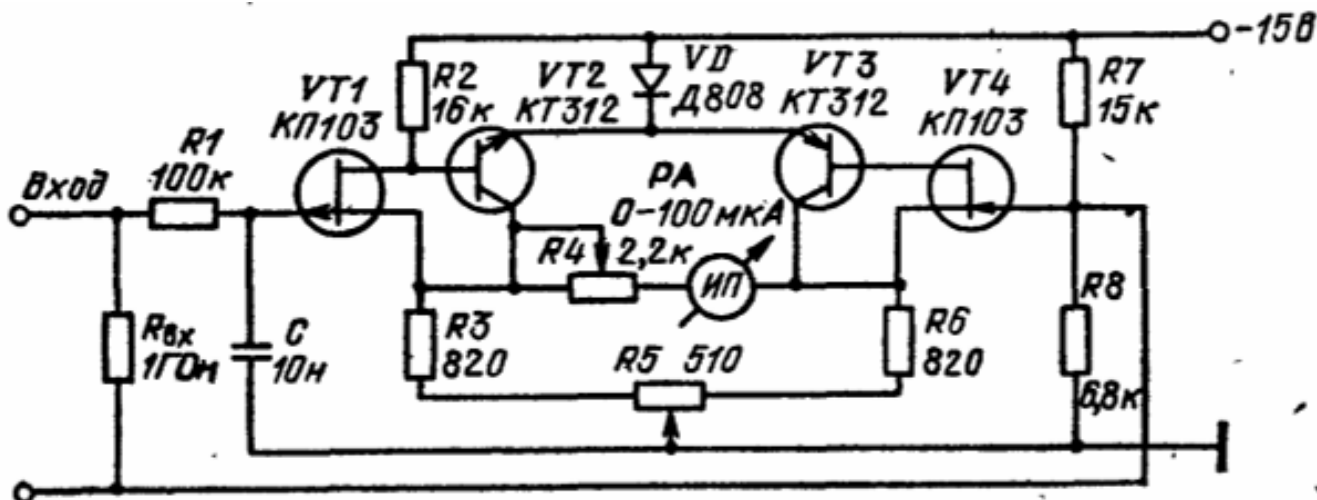


Сенсорное устройство с триггером
Вариант 34



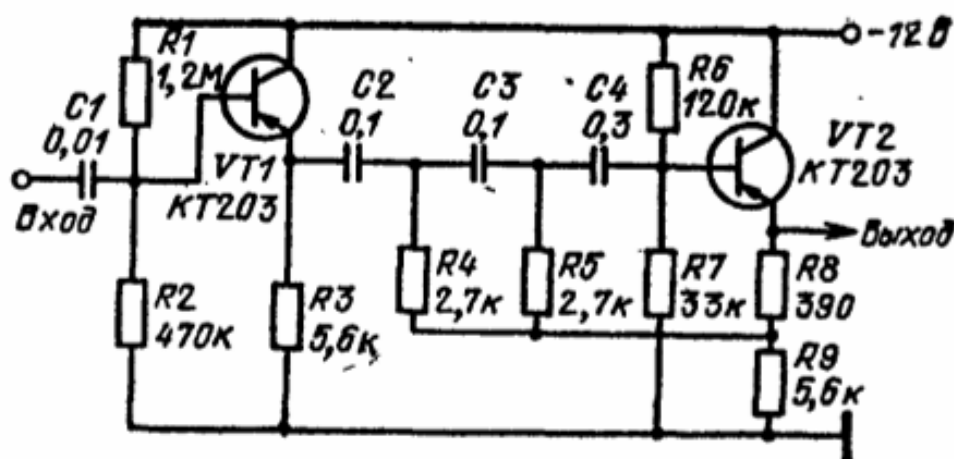
Усилитель мощности на 12 Вт. Усилитель (рис. 4.17) имеет полосу частот от 10 Гц до 20 кГц. В этой полосе частотная характеристика имеет неравномерность 2 дБ. Коэффициент передачи может меняться от 1 до 100. Амплитуда выходного сигнала на нагрузке 3 Ом

Вариант 35

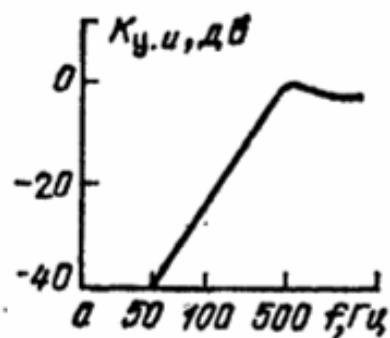


Дифференциальный электрометрический усилитель. С помощью усилителя (рис. 4.77) можно измерять токи до 10^{-10} А. Входное сопротивление равно 1 ГОм, так что от максимального тока на нем развивается напряжение 100 мВ. Это напряжение подается на измерительную схему. С помощью резистора R_4 устанавливается предел измерения. Нуль измерительного прибора или баланс усилителя осуществляется резистором R_5 . Верхний предел измеряемого тока можно увеличить, уменьшив включаемое на входе сопротивление. Суммарная погрешность усилителя не превышает 3 %.

Вариант 36



а)



б)

Фильтр высоких частот на транзисторах. Активный ФВЧ (рис. 5.19, а) имеет частоту среза 270 Гц. Вне полосы пропускания фильтра падение коэффициента передачи составляет 15 дБ/октава. Подавление сигналов с частотой ниже 50 Гц достигает 40 дБ. Для $R_4 = R_5 = 5,6$ кОм и $R_6 = 120$ Ом при неизменных емкостях конденсаторов частота среза будет составлять 150 Гц. На рис. 5.19, б приведена АЧХ фильтра.

Вариант 37

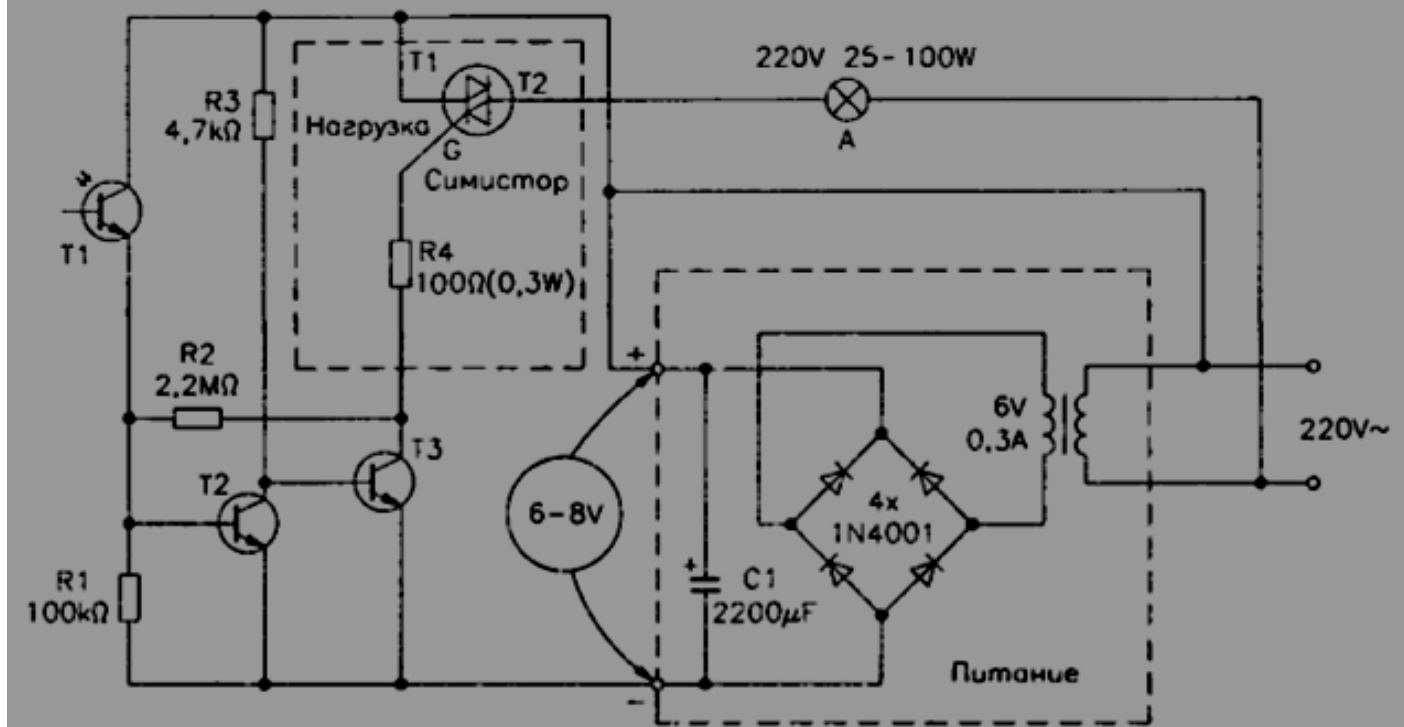
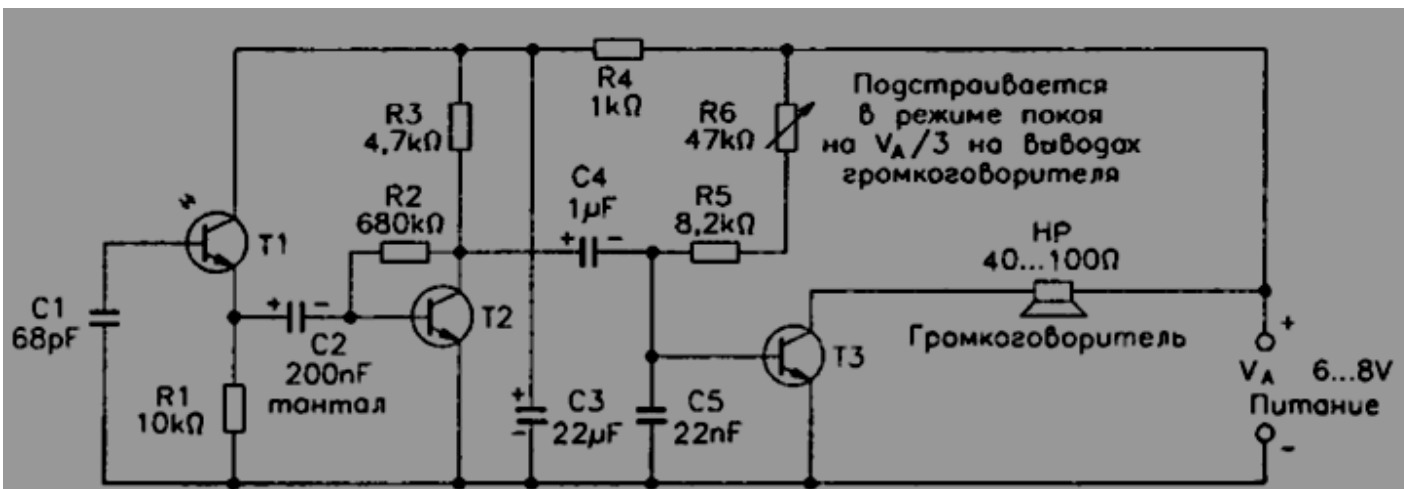


Рис. 5.2. Приемник для барьера непрерывного излучения,

Вариант 38



Приемник излучения ИК диапазона, модулированного акустическим сигналом

Вариант 39

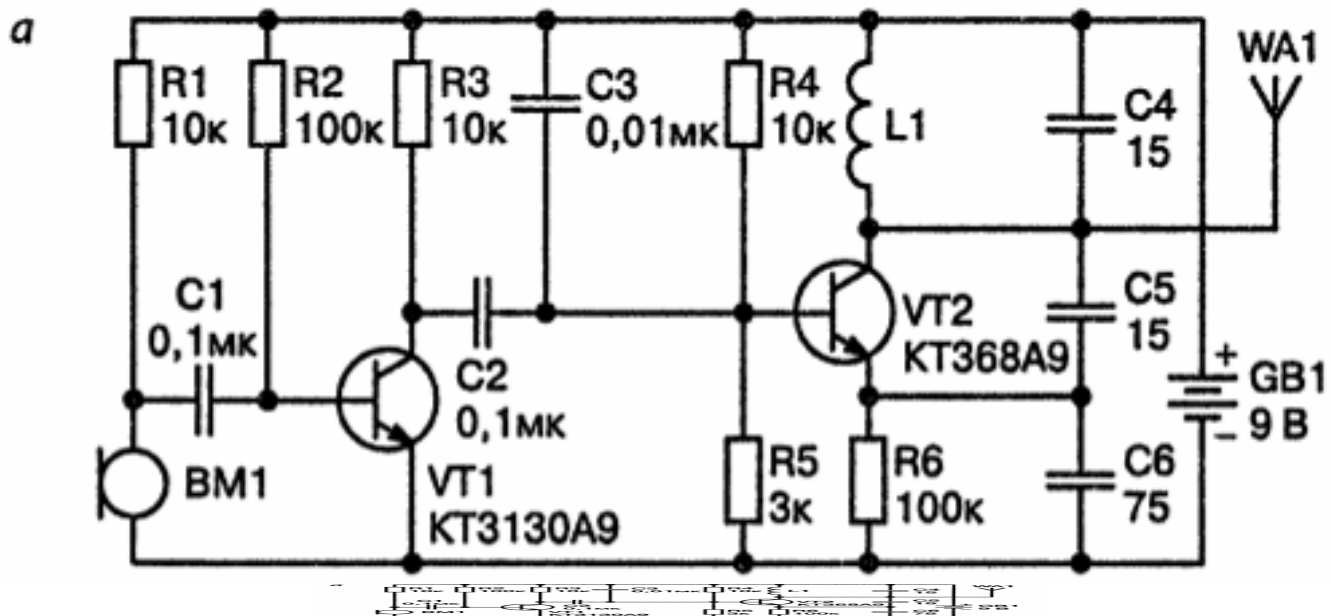


Рис. 2.36

Рис. 2.36

Приемник ИК-излучения

Вариант 41



Вариант 42

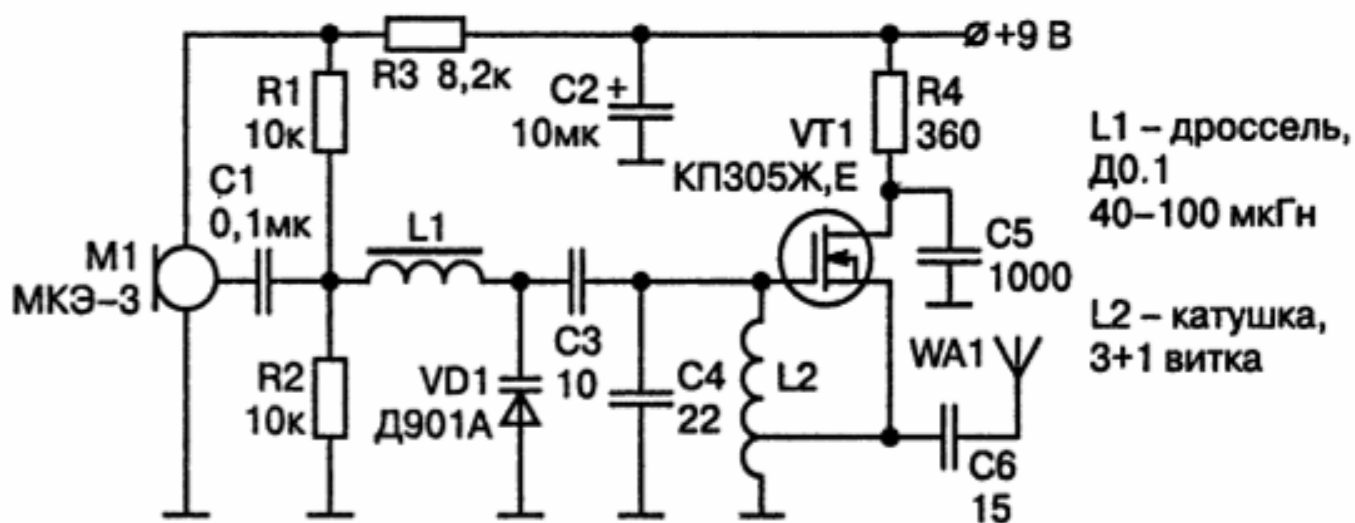


Рис. 3.5. Схема радиомикрофона на полевом транзисторе

Вариант 43

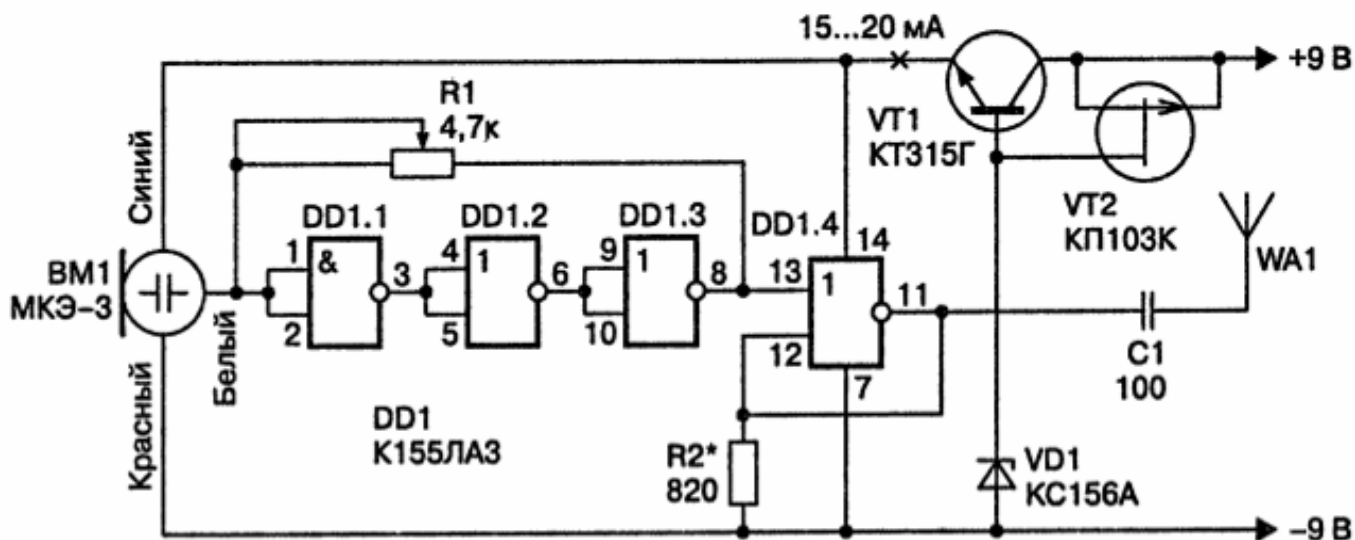


Рис. 3.14. Схема радиомикрофона на микросхеме 155ЛА3

Схема № 11. Микромощный радиопередатчик, не имеющий катушек индуктивности, на диапазон 66—100 МГц, можно построить на микросхеме 155ЛА3. Дальность действия такого передатчика будет составлять 50—100 м. А его сигнал можно услышать на обычном УКВ приемнике.

Вариант 44

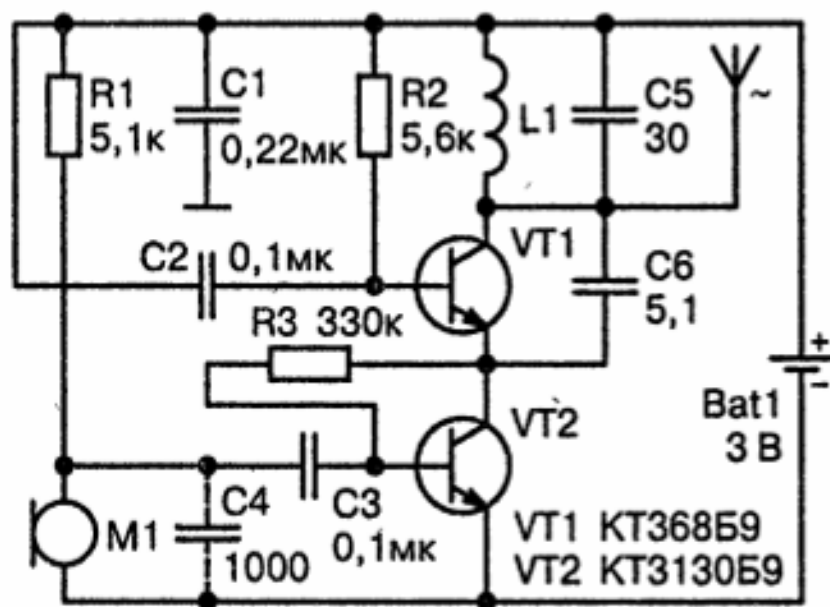


Рис. 3.20. Схема жучка-радиомикрофона

Вариант 45

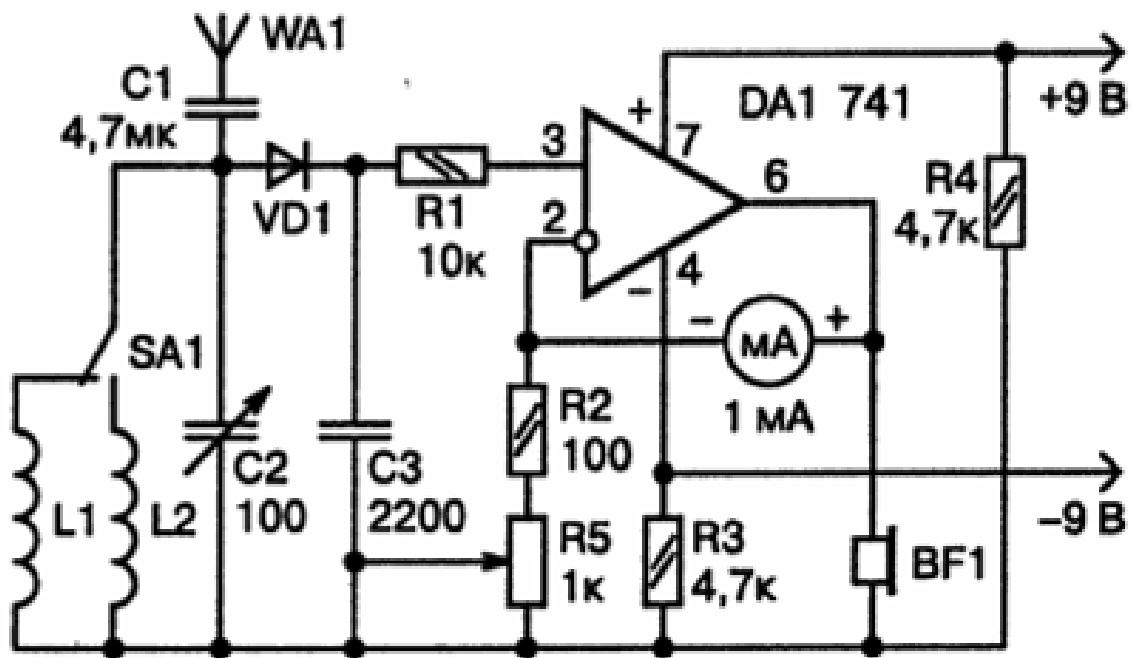


Рис. 4.1. Схема простого индикатора поля

Вариант 46

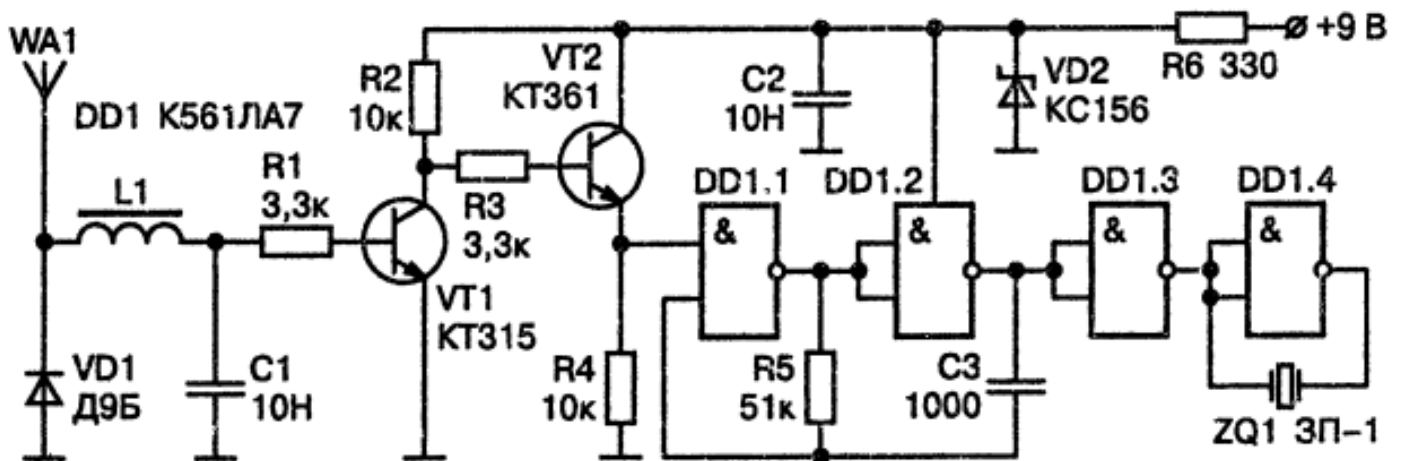


Рис. 4.5. Схема детектора радиоволн на ИМС К561ЛА7

Вариант 47

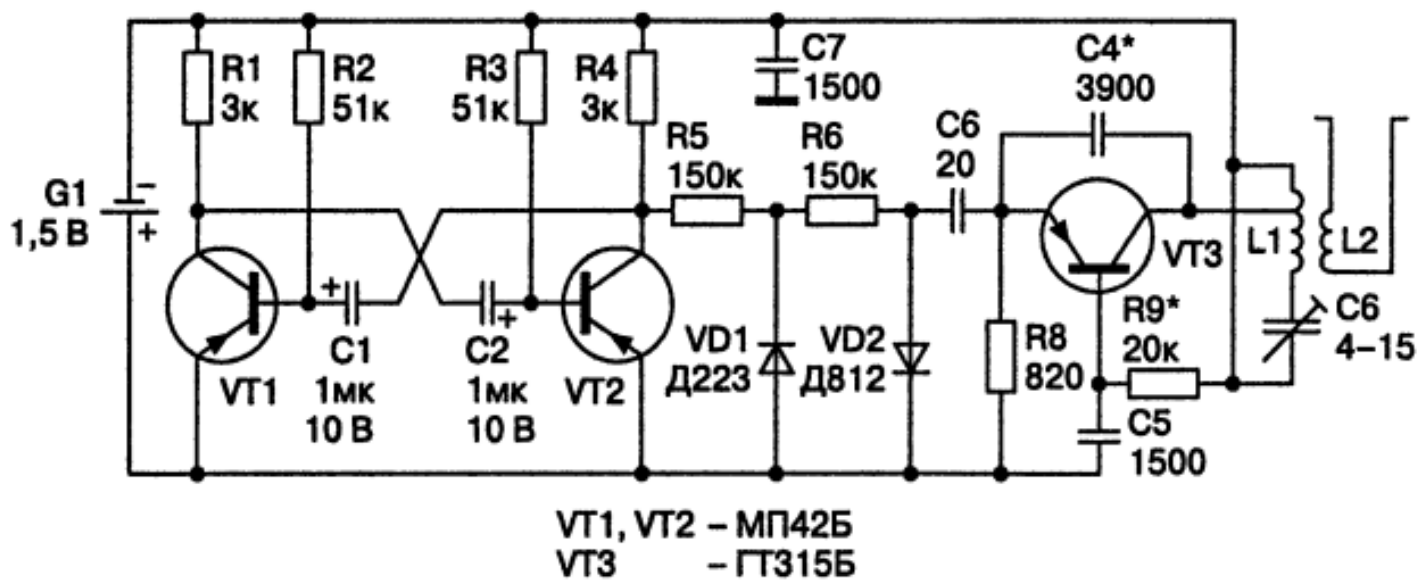


Рис. 5.1. Схема передатчика помех для радиозакладок

Вариант 48

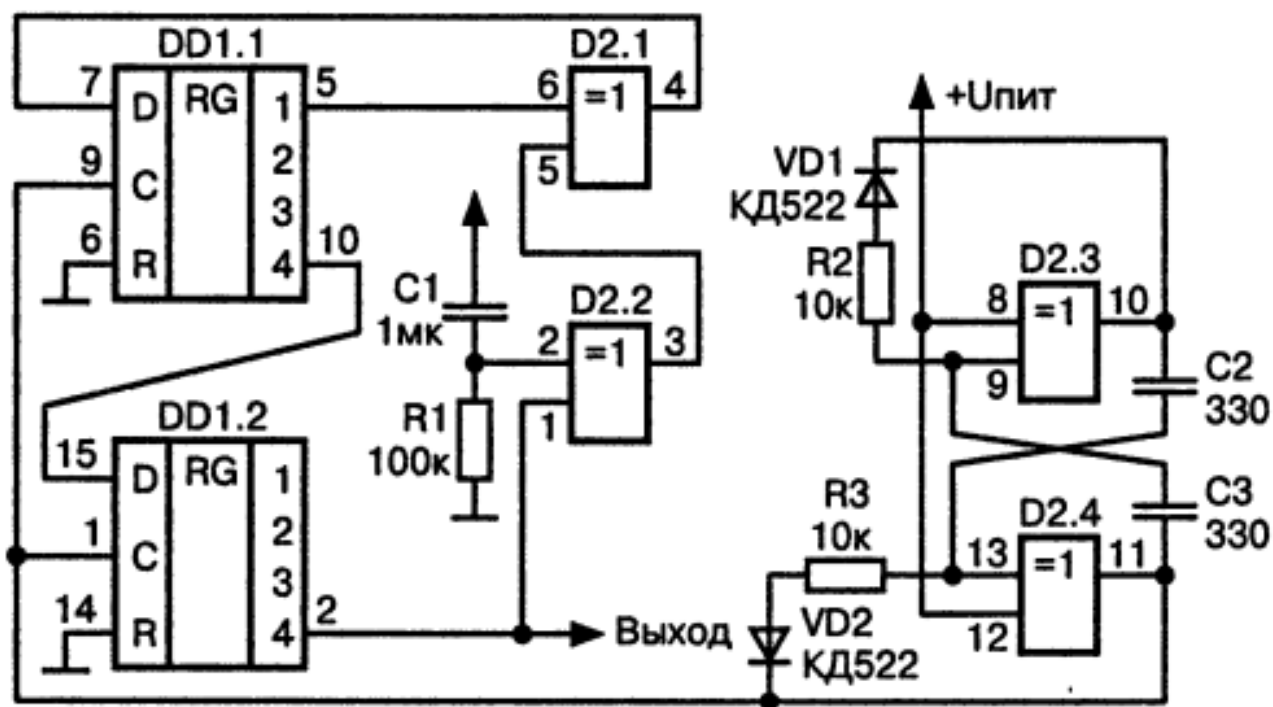


Рис. 5.9. Цифровой генератор шума

Вариант 49

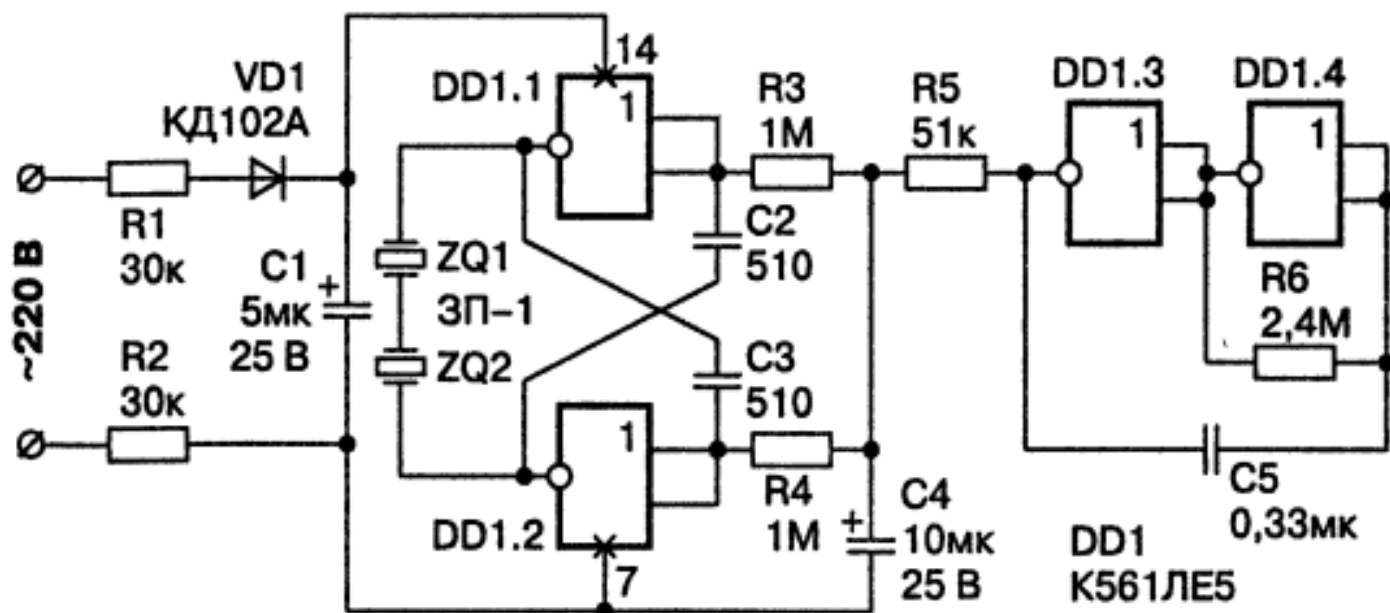


Рис. 6.8. Схема модулятора стекла

Вариант 50

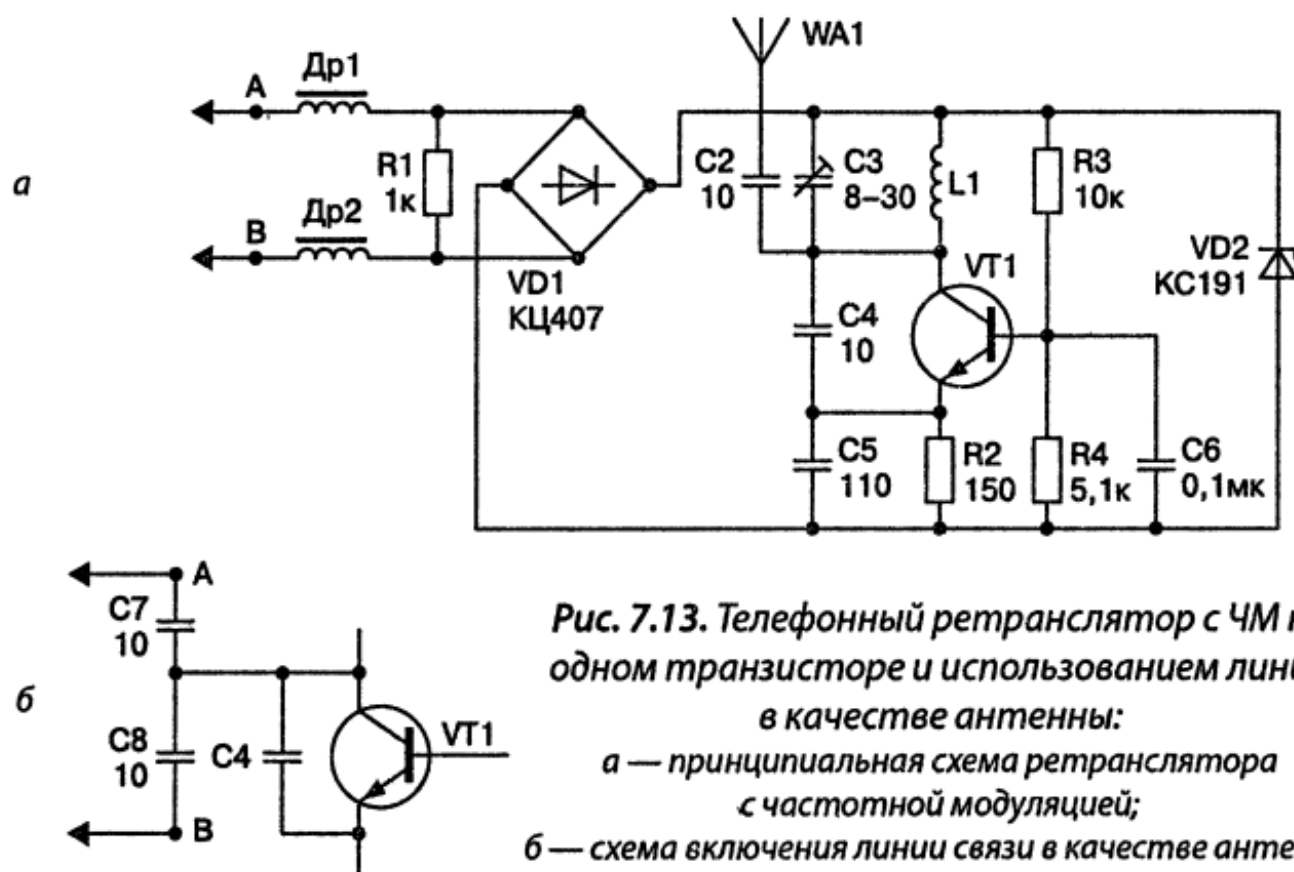


Рис. 7.13. Телефонный ретранслятор с ЧМ на одном транзисторе и использовании линии в качестве антенны:

а — принципиальная схема ретранслятора с частотной модуляцией;

б — схема включения линии связи в качестве антенны

Вариант 51

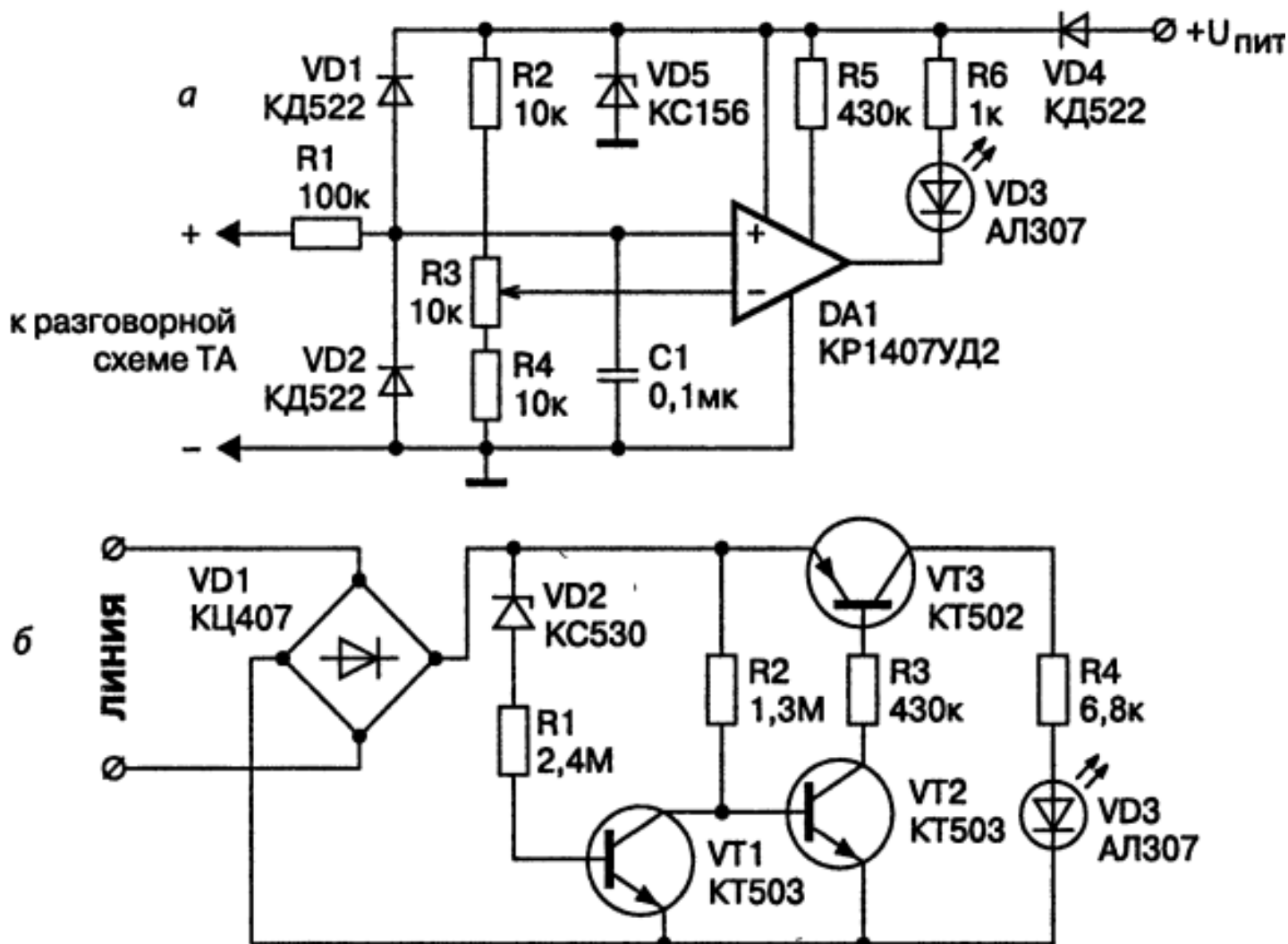


Рис. 7.20. Индикаторы состояния линии:
а — схема индикатора состояния линии на микросхеме KP1407UD2;
б — схема светового анализатора телефонной линии