

Міністерство освіти і науки України
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні
Запорізького національного університету

Верьовкін Л.Л., Світанько М.В., Критська Т.В.

АНАЛОГОВА ТА ОПТОСХЕМОТЕХНІКА
(Частина 1)

Методичні рекомендації до лабораторних занять
для здобувачів вищої освіти першого бакалаврського рівня
за спеціальністю 176 «Мікро- та наносистемна техніка» освітньо-професійної
програми «Мікро- та наносистемна техніка»

Міністерство освіти і науки України
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні
Запорізького національного університету

Верьовкін Л.Л., Світанько М.В., Критська Т.В.

АНАЛОГОВА ТА ОПТОСХЕМОТЕХНІКА
(Частина 1)

Методичні рекомендації до лабораторних занять
для здобувачів вищої освіти першого бакалаврського рівня
за спеціальністю 176 «Мікро- та наносистемна техніка» освітньо-професійної
програми «Мікро- та наносистемна техніка»

Затверджено
Вченою
радою ЗНУ
Протокол №
від

Запоріжжя
2024

УДК 621.38

В

Верьовкін Л.Л., Світанько М.В., Критська Т.В. Аналогова та оптосхемотехніка (Частина 1). Методичні рекомендації до лабораторних занять для здобувачів вищої освіти першого бакалаврського рівня за спеціальністю 176 «Мікро- та наносистемна техніка» освітньо-професійної програми «Мікро- та наносистемна техніка». Запоріжжя : ЗНУ, 2024. 74 с.

Методичні рекомендації до лабораторних занять з дисципліни «Аналогова та оптосхемотехніка» розроблено для студентів денної та заочної форм навчання інженерно-технічних спеціальностей та освітньо-професійних програм Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні. Викладена методика проведення експерименту і обробки його результатів. Для практичного виконання робіт та самостійної проробки матеріалу студенти можуть використати приведені теоретичні відомості з курсу.

Рецензент

Коваленко В.Л., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електричної інженерії та кіберфізичних систем

Відповідальний за випуск

Критська Т.В., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення.

Зміст

	Стор.
Вступ	5
Лабораторна робота №1. Дослідження схем включення чутливих елементів	8
Лабораторна робота №2. Дослідження характеристик напівпровідникових діодів	13
Лабораторна робота №3. Мостовий випрямляч	19
Лабораторна робота №4. Дослідження характеристик біполярного транзистора	23
Лабораторна робота №5. Дослідження характеристик полевих транзисторів	30
Лабораторна робота №6 Дослідження характеристик тиристорів	35
Лабораторна робота №7 Ключовий режим роботи транзисторів	42
Лабораторна робота №8. Дослідження схем включення світловипромінювальних діодів	49
Лабораторна робота №9. Дослідження включення оптоелектронних схем з фотоприймачами	55
Лабораторна робота №10. Дослідження параметрів оптоелектронних пар.....	59
Лабораторна робота №11 Дослідження схем включення оптоелектронних пар	64
Лабораторна робота №12 Дослідження схем управління семисегментними індикаторами	68

Вступ

Дисципліна «Аналогова та оптохемотехніка» є важливою для вирішення проблем проектування нових пристроїв електронної техніки.

Метою викладання дисципліни є засвоєння основ автоматичного проектування радіоелектронної апаратури (РЕА), щоб на основі набутих знань забезпечити необхідну інженерну підготовку майбутніх фахівців вказаної спеціальності.

Основними завданнями дисципліни «Аналогова та оптохемотехніка» є: ознайомлення з особливостями, конструкціями, застосуванням приладів аналогової електроніки в залежності від призначення, вимог до приладів електронної техніки та умов експлуатації.

- отримати знання із фізичних основ функціонування пристроїв аналогової електроніки,

- уміти використовувати фізичні та математичні моделі при проектуванні систем керування та обробки інформаційних сигналів аналогових та оптичних інформаційних систем;

- отримати навички із застосування приладів аналогової та оптичної електроніки в сучасних інформаційних системах.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен набути таких результатів навчання (знання, уміння тощо) та компетентностей:

- ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
- ЗК2. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

- ЗК3. Здатність до використання інформаційних і комунікаційних технологій.

- ЗК6. Здатність приймати обґрунтовані рішення.

- СК1. Здатність використовувати знання і розуміння наукових фактів, концепцій, теорій, принципів і методів для проектування та застосування мікро- та наносистемної техніки.

- СК5. Здатність ідентифікувати, класифікувати, оцінювати і описувати процеси у мікро- та наносистемній техніці за допомогою побудови і аналізу їх фізичних і математичних моделей.

- СК8. Здатність визначати та оцінювати характеристики та параметри матеріалів мікро- та наносистемної техніки, аналогових та цифрових електронних пристроїв, мікропроцесорних систем.

- СК12. Здатність використовувати знання з оптичної аналогової та цифрової схемотехніки, оптоелектроніки, фотовольтаїки та геліоелектроніки.

- СК13. Здатність застосовувати знання з моделювання функціональних вузлів мікроелектроніки та конструювання приладів на їх основі.

Виконання кожної лабораторної роботи складається з двох етапів.

1. Підготовка до лабораторної роботи, вивчення теоретичного матеріалу, виконання усіх розрахунків, складання плану досліджень.

2. Складання з розрахованих і підібраних елементів робочої схеми і дослідження її відповідності зі складеним планом, оформлення теоретичних і практичних результатів і їхній аналіз, оформлення звіту з лабораторної роботи.

У процесі підготовки до лабораторної роботи студент повинен чітко усвідомити собі кінцеву мету лабораторного дослідження, форму і характер зміни вхідних і вихідних параметрів досліджуваної схеми і виконати необхідні розрахунки.

Звіт, підготовлений до лабораторної роботи, повинний містити назву і мету роботи, розрахунки, досліджувані схеми і часові діаграми, що пояснюють їхню роботу, план досліджень.

Студент допускається до виконання чергової роботи практикуму після підтвердження наявності необхідних знань теоретичного матеріалу і послідовності виконання роботи .

Для заліку виконаної лабораторної роботи студент повинен надати викладачу і захистити індивідуальний звіт з виконаної роботи, обґрунтувавши отриманні результати та побудовані необхідні залежності.

Згідно з модульно-рейтинговою системою організації навчального процесу в робочій учбовій програмі приведено поділення максимальних балів рейтингу по всім видам учбової роботи приведеної дисципліни. Лектор конкретизує (в залежності від запланованої кількості лабораторних робіт, індивідуальних завдань і др.) поділ рейтингових балів поточного семестру про що студентів інформують на початку семестру.

Звіти до лабораторного практикуму виконуються згідно з загальними правилами оформлення науково-технічних звітів і відповідно до вимог Держстандарту і міжнародної системи одиниць СІ. Для написання звітів використовуються аркуші паперу формату А4, діаграми і графіки розміщують на міліметровому або спеціально розлінованому папері. Або роботи розміщаються у електронному вигляді (формати doc, pdf) у системі MOODL

Зараховані роботи зберігаються на кафедрі протягом навчального року.

Лабораторна робота №1

Дослідження схем включення чутливих елементів

Мета роботи – одержати навиків формування принципових електронних схем; введення значень параметрів і режимів з одночасним поглибленням знань по використуванню резистивних, і індуктивних датчиків місткостей.

1.1 Короткі теоретичні відомості

У роботі розглядаються схеми включення чутливих елементів у вигляді дільників напруги живлення E з баластним резистором $R1$, рис. 1.1

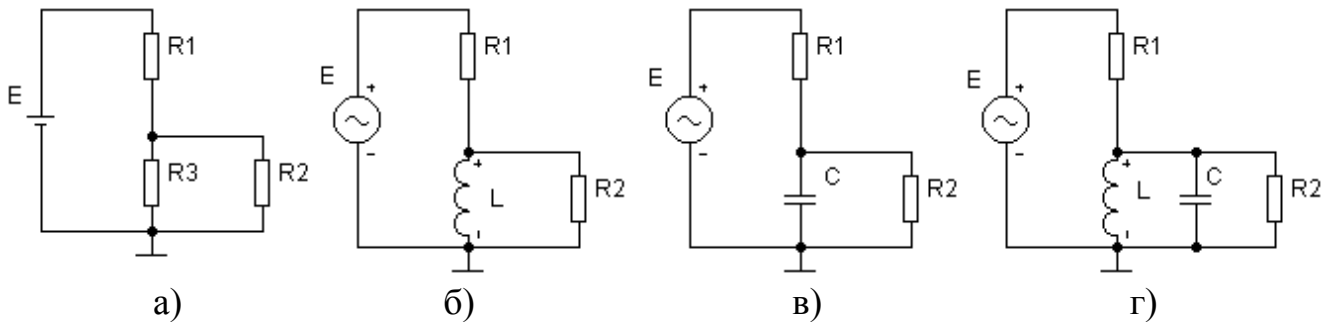


Рисунок 1.1 - Схеми підключення

Резистор $R2$ є вхідним опором подальшого підсилювача або опором навантаження, який повинен задовольняти наступним умовам:

$$R2 \gg R3; \quad R2 \gg \omega \cdot L; \quad R2 \gg \frac{1}{\omega \cdot C}; \quad R2 \gg R_{ze}; \quad (1.1)$$

Тут R_{ze} – еквівалентний опір резонансного контура включення чутливого елемента.

Якщо резистор $R2$ не враховувати, то схеми спрощуються, що важливе для розуміння їх роботи.

Розглянемо роботу схеми дільника (рис. 1.1 а), з резистивним чутливим елементом $R3$ без урахування опору навантаження $R2$. Вихідна напруга U складе:

$$U = E \cdot \frac{R_3}{R_1 + R_3} \quad (1.2)$$

При зміні опору $R2$ вихідна напруга дільника також змінюється (рис. 1.2 а).

Крутизна або нахил цієї залежності характеризує чутливість ξ схеми включення, яка знаходиться у вигляді:

$$\xi = \frac{dU}{dR_3} = E \cdot \frac{R_1}{(R_1 + R_3)^2} \quad (1.3)$$

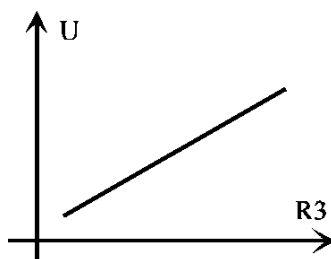


Рисунок 1.2 - Зміна вихідної напруги

Вибір величини $R1$ впливає на чутливість датчика. Дійсно, якщо знайти максимум цієї функції по її похідній, то він буде при

$$R1 = R3. \quad (1.4)$$

Вихідна напруга $U(\omega)$ схеми з індуктивним чутливим елементом (ЧЕ) (рис. 1.1 б) залежить від частоти ω , напруги живлення $E(\omega)$, частотні характеристики $K(\omega)$, $\theta(\omega)$, коефіцієнту посилення $K(u)$ і фазовому зсуву θ складають:

$$K(\omega) = \frac{U(\omega)}{E(\omega)} = \frac{\omega \cdot \tau}{\sqrt{1 + (\omega \cdot \tau)^2}}; \quad \theta(\omega) = \arctg(\omega \cdot \tau) \quad (1.5)$$

де $\tau = \frac{L}{R}$ – постійна часу кола; $\theta(\omega)$ – фазочастотна характеристика.

Для схеми “в” з місткістю ЧЕ частотні характеристики визначаються формулами:

$$K(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 \cdot \tau^2}}; \quad \theta(\omega) = -\arctg(\omega \cdot \tau); \quad \tau = R \cdot C; \quad (1.6)$$

Зміна значень чутливих елементів на величини ΔL або ΔC приводить до відповідних змін коефіцієнтів передачі ΔK на робочій частоті. При цьому можна оцінити диференціальну чутливість ξ схеми:

$$\xi_L = \frac{\Delta K}{\Delta L}; \quad \xi_C = \frac{\Delta K}{\Delta C} \quad (1.7)$$

Для резонансної схеми “г” розрахунок може проводитися по формулах аналогічних (1.2)...(1.4), але при цьому $R3$ повинне відповідати опору контура на робочій частоті.

Приведені схеми достатньо зручно дозволяють одержати навик вживання програми EWB–5.12 і використати основні види аналізу:

- по постійному струму (DC Analysis);
- по змінному струму (AC Analysis);
- аналіз перехідних процесів (Transient Analysis);

При цьому є можливість автоматичного завдання зміни параметрів системи і висновку графіків одночасної зміни напруг і струмів на декількох ділянках схеми.

1.2 Опис віртуального EWB стенду

Стенд містить дві схеми. Перша з них (рис. 1.3) призначена для аналізу роботи ділянки на постійному струмі.

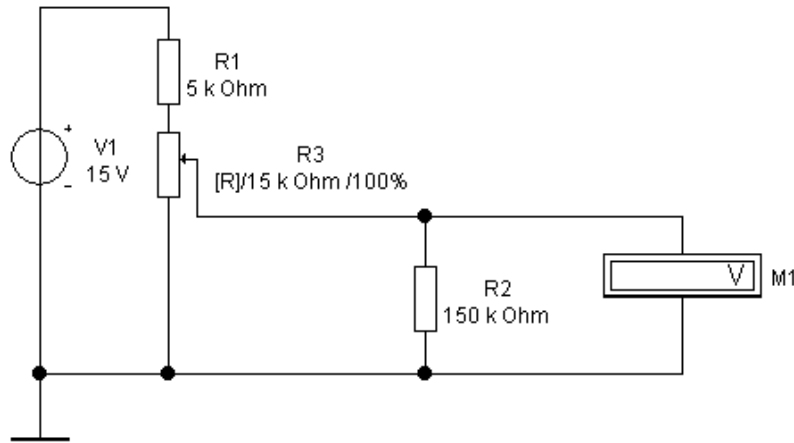


Рисунок 1.3 - Схема ділянки на постійному струмі

Потенціометр R3 регулюється натисненням клавіш «**R**» для збільшення або комбінацію клавіш «**SHIFT + R**» для його зменшення. Вольтметр M1 показує напругу на навантаженні ділянки. Інша частина стенду (рис. 1.4) включає всі кола, розглянуті вище.

Схема містить одне загальне джерело V1 і чотирьох різних ділянок по рисунку 1.1. Кожний з них підключається перемикачами S1, S2, S3, S4 шляхом натиснення клавіш «**1**», «**2**», «**3**», «**4**» відповідно. При виконанні роботи потрібно стежити, щоб був включений тільки один з них.

У схемі передбачений автоматичний вимірник частотних характеристик (ВЧХ) і двулучевой осцилограф. Вони можуть бути підключені до виходів ланцюжків за допомогою перемикачів S5, S6, S7, S8. Для цього потрібно натискувати клавіші «**5**», «**6**», «**7**», «**8**». Один з каналів осцилографа і ВЧХ підключені до джерела вхідного сигналу V1.

Управління осцилографом здійснюється клацанням лівої кнопки миші на відповідних органах управління. Вимірювання напруги за допомогою осцилографа виконується з урахуванням встановленої чутливості «**Вольт/дел.**» і розмірів зображення по вертикалі. Вид лицьової панелі ІЧХ показаний на рисунку 1.6.

ВЧХ дозволяє виміряти коефіцієнт передачі $K(f)$ схеми на різних частотах.

$$K(f) = \frac{U_{\text{вих}}(f)}{U_{\text{вх}}(f)}; \quad K_{\text{дб}} = 20 \lg \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх}}} \quad (1.8)$$

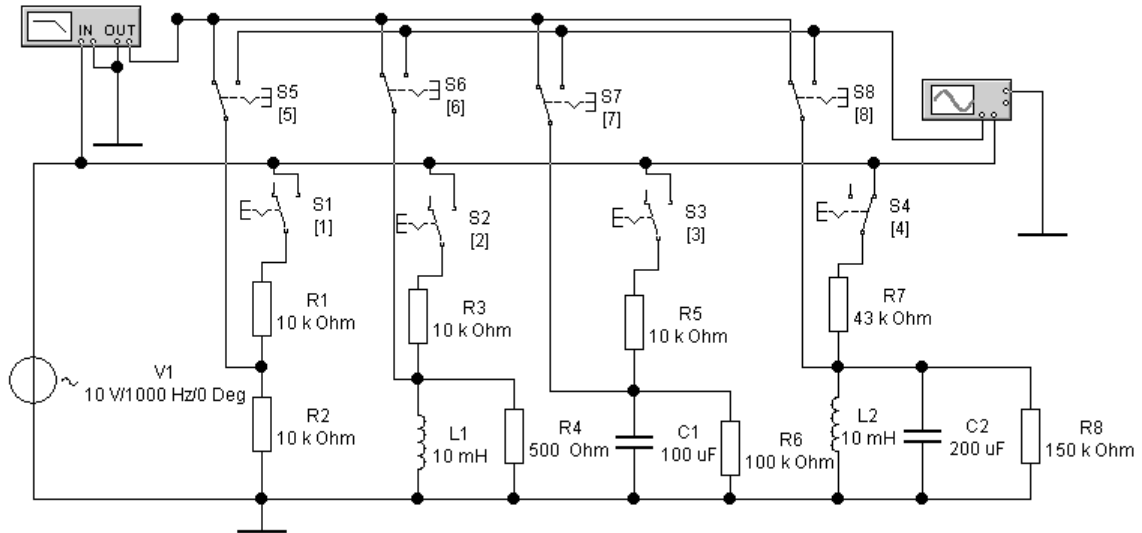


Рисунок 1.4 - Схема досліджень на змінному струмі

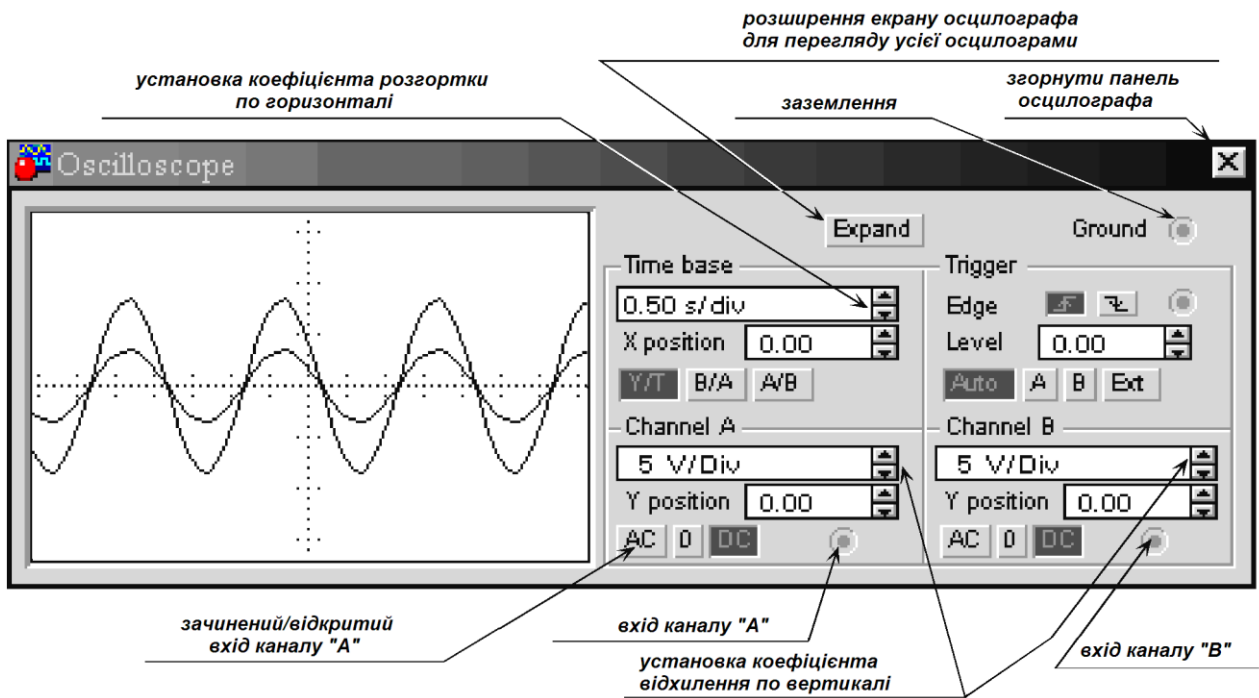


Рисунок 1.5 - Вид лицьової панелі осцилографа

Для аналізу частотної характеристики потрібно використовувати покажчики « \lll » або « \ggg » або клацнувши і утримуючи праву кнопку миші на вертикальному покажчику, який знаходиться у правого краю екрану приладу перетягнути його в потрібну позицію.

Для установки інших параметрів елементів схеми необхідно двічі клацнути на зображенні потрібного елементу і встановити у вікні властивостей необхідні параметри.

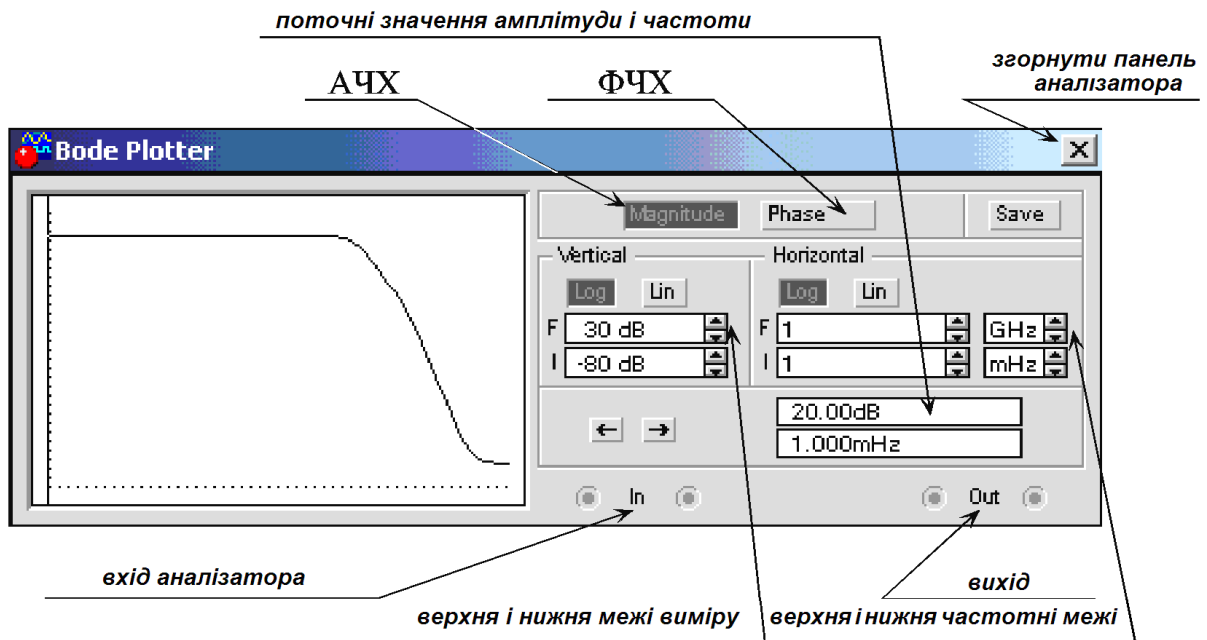


Рисунок 1.6 - Лицьова панель ВЧХ

1.3 Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему по рисунку 1.1а. При моделюванні прийняті: $R1 = 5 \text{ кОм}$, $R2 = 150 \text{ кОм}$, $E = 15 \text{ В}$. Змінюючи опір резистора $R3$ в межах $0...15 \text{ кОм}$ з числом точок $N = 11$, одержати і зарисувати залежність вихідної напруги, аналогічно рисунку 1.2. При цьому доцільно використовувати режим DC.

2. Змінити величину навантаження $R2=10 \text{ кОм}$ і повторити моделювання по пункту 1.

3. Зібрати схему по рисунку 1.1б. При моделюванні прийняті: $R1 = 10 \text{ кОм}$, $L1 = 0,05 \text{ Гн}$, $R2 = 0,5 \text{ кОм}$ і синусоїдальним напрузі живлення з амплітудою $E_m = 10...15 \text{ В}$ і частотою $f = 10...15 \text{ кГц}$. В режимі AC одержати частотні характеристики.

4. Зменшити індуктивність L до $0,005 \text{ Гн}$ і повторити роботу по пункту 3. Оцінити зміну коефіцієнта передачі.

5. З метою нагляду сигналів на вході і виході, перейти в режим роботи аналізу перехідних процесів і зарисувати вид сигналів E , U . Оцінити значення фазового зсуву θ .

6. Досліджувати схему "в" з чутливим елементом місткості при $R1 = 5...10 \text{ кОм}$, $R2 = 100 \dots 200 \text{ кОм}$, $3 = 100 \text{ мкФ}$ при амплітуді напруги $E_m = 10\text{В}$. В режимі AC одержати частотні характеристики в діапазоні частот $f = 1 \dots 10 \text{ МГц}$.

7. Ввести приріст місткості датчика $\Delta C=50 \text{ мкФ}$, встановивши $3 = 150 \text{ мкФ}$. Повторити роботу по пункту 6. Зарисувати значення $K(\omega)$. Оцінити зміну коефіцієнта передачі ΔK на одній з частот.

8. Перейти в режим нагляду перехідних процесів і вивести на друк вид напруг на вході і виході на одній з частот в збільшеному масштабі. Записати значення напруги, фазового зсуву θ , частоти f .

9. Досліджувати схему “г” резонансної системи при синусоїдальній напрузі E з амплітудою 10 В. Установить $R_1 = 43$ кОм, $R_2 = 150$ кОм, $L = 10$ мГн, $C = 200$ мкФ. В режимі АС одержати частотні характеристики і визначити резонансну частоту схеми. 10. Змінюючи R_2 в діапазоні 10 ... 100 кОм повторити досвід по пункту 9.

1.4 Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Основні режими моделювання і перелік необхідних команд для використання цих режимів.
3. Робота, коефіцієнт передачі і диференціальна чутливість схеми резистора включення.
5. Частотні характеристики схеми з індуктивним чутливим елементом.
6. Привести вид сигналів на вході і виході схеми за наслідками вимірювань в пункті 5.
8. Привести схему з елементом місткості і її частотні характеристики. По вимірюваннях (пункти 6, 7) знайти ΔK і визначити чутливість по формулі (1.7).
9. За наслідками моделювання резонансу схеми (пункти 9, 10) привести принципову схему і вид резонансних кривих.
10. Висновки по роботі.

1.5 Контрольні питання

1. Позначення і введення елементів електронних схем.
2. Можливості і типові задачі по вживанню режимів моделювання.
3. Фізика роботи ділильних схем підключення чутливих елементів.
4. Диференціальна чутливість.
5. Переваги і недоліки резонансної схеми.

Література

1. Комп'ютерна схемотехніка : підручник / Азаров О. Д., Гарнага В. А., Клятченко Я. М., Тарасенко В. П. Вінниця : ВНТУ, 2018. 230 с.
2. Дмитрів В. Т. Схемотехніка систем керування. Навчальний посібник. Львів : СПОЛОМ, 2019. 636с.

Лабораторна робота №2

Дослідження характеристик напівпровідникових діодів

Мета роботи – дослідження характеристик, параметрів і схем включення напівпровідникових діодів.

2.1 Короткі теоретичні відомості

Напівпровідникові (ПП) діоди широко застосовуються в електронних пристроях як в інтегральному, так і в дискретному виконанні. Робота діода заснована на властивостях **p-n переходу**, який має односторонню провідність струму, рисунок 2.1.

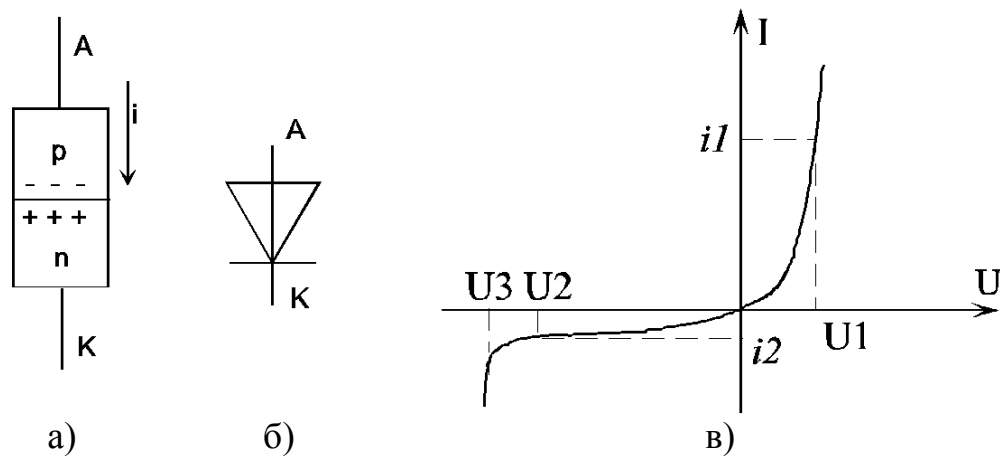


Рисунок 2.1 - Структура (а), умовне позначення (б) і ВАХ діода (в)

Матеріал з провідністю типу **p** утворює анод (А) діода, а матеріал типу **n** – його катод (К). За рахунок дифузії основних носіїв струму на межі **p** і **n** областей утворюється потенційний бар'єр, перешкоджаючий проходженню струму через p-n перехід.

При прямому включенні діода, коли плюс зовнішнього джерела живлення подається на анод, бар'єрний потенціал знижується і основні носії струму проходять через перехід. Тобто діод відкритий і його опір малий. Струм **i** через p-n перехід визначається формулою:

$$i = I_0 \cdot \left[\exp \cdot \left(\frac{e \cdot U}{k \cdot T} \right) - 1 \right], \quad (2.1)$$

де I_0 – тепловий струм насичення, створюваний неосновними носіями; e – заряд електрона, k - постійна Больцмана; T – абсолютна температура; U – напруга на діоді.

Використовуючи ВАХ, нескладно знайти опір діода $R_{пр}$ і $R_{зв}$ при прямому і зворотному включеннях:

$$R_{\text{пр}} = \frac{U_1}{i_1}; \quad R_{\text{зв}} = \frac{U_2}{i_2}; \quad R_{\text{пр}} \ll R_{\text{зв}} \quad (2.2)$$

Ці формули визначають опори діода при роботі з постійними струмами. Якщо необхідно розглянути роботу діода в області якої-небудь точки, слід застосовувати поняття «диференціальний опір» R_i :

$$R_i = \frac{\Delta U}{\Delta i}; \quad R_i \neq R_{\text{пр}} \quad (2.3)$$

При підвищенні температури струм через діод зростає, особливо на його зворотній гілці, приводячи до зниження $R_{\text{зв}}$.

При протіканні струму через діод, на аноді виділяється потужність P_a і відбувається нагрів діодної структури.

$$P_a = i \cdot U = i_2 \cdot R_{\text{пр}} \quad (2.4)$$

Тому потужні діоди виконуються з великою площею р-п переходу, низьким опором $R_{\text{пр}}$ і гарним тепловідводом. Такі діоди виготовляють, як правило, на основі кремнію (найбільша робоча температура $t_m = 135 \dots 140$ °С). Діоди на основі германію працюють при температурі до $50 \dots 60$ °С.

Знаючи допустиму максирисьну потужність розсіювану діодом P_{m20} при 20 °С і максимальну температуру t_m кристала, можна розрахувати максирисьну потужність P_m , яка допустима для зовнішнього середовища з температурою t_0 :

$$P_m = P_{m20} \cdot \frac{t_m - t_0}{t_m - 20} \quad (2.5)$$

Розглянемо роботу діода на зворотній гілці ВАХ (рис. 2.1в). В області зворотної напруги U_3 спостерігається значне наростання зворотного струму, що відповідає передпробійному стану діода. Розрізняють електричний і тепловий пробій діода. До першого типу відносять лавинний пробій – різке збільшення зворотного струму і тунельний ефект. Електричний пробій обриває і зникає при зниженні напруги. Тепловий пробій структури приводить до необоротних руйнувань. Тому максирисьна допустима зворотна напруга:

$$U_{m \text{ проб}} \leq 0,75 \cdot U_{\text{проб}}, \quad (2.6)$$

де $U_{\text{проб}}$ – напруга пробою діода.

При аналізі роботи високочастотних і імпульсних діодів істотний вплив грає бар'єрна ємність C_b переходу, рухливість носіїв струму і інші чинники, які спотворюють форму робочих імпульсів.

На рисунку 2.2 показані схеми пристроїв для проведення експериментів.

У схемі (а) значення струму виводиться програмними методами. Зміна полярності джерела E досягається завданням діапазону напруги живлення від $-U_3$ до $+U_1$.

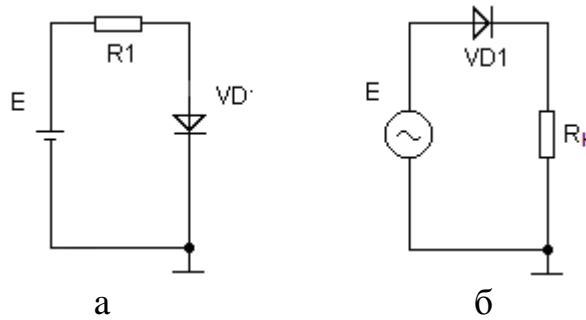


Рисунок 2.2 - Схема для зняття ВАХ (а) і спостереження сигналів на навантаженні (б)

Схема (б) дозволяє спостерігати проходження як синусоїдального, так і імпульсного сигналу. При цьому період повторення і тривалість імпульсів необхідно вибрати сумірними з тривалістю перехідних процесів, що забезпечить зручність спостереження.

2.2 Опис віртуального EWB стенду

Перша схема (рис. 2.3) призначена для аналізу характеристик діода на постійному струмі.

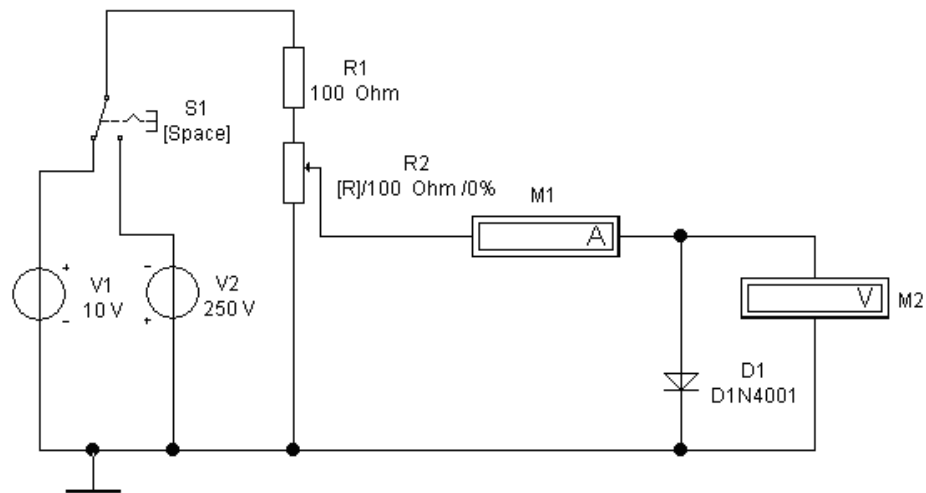


Рисунок 2.3 - Схема для дослідження та аналізу характеристик діода на постійному струмі

Вхідна напруга задається джерелами V1, V2. Перемикач S1 змінює полярність напруги живлення. Він управляється кнопкою «Пропуск» клавіатури. Регулювання величини напруги здійснюється потенціометром R2 дільника. Для його регулювання необхідно натискувати клавішу «R» для збільшення або комбінацію клавіш «SHIFT + R» для його зменшення.

Друга схема (рис. 2.4) дозволяє досліджувати роботу діода на змінному струмі.

Вона містить двохпроміневий осцилограф, який показує напругу джерела V1 і напругу на навантаженні R1. Вимірювання напруги проводиться по екрану осцилографа. При бажанні неважко викликати і підключити вольтметр. Крім того, в схемі передбачений частотний характеристикограф, який дозволяє дослідити роботу діода на різних частотах.

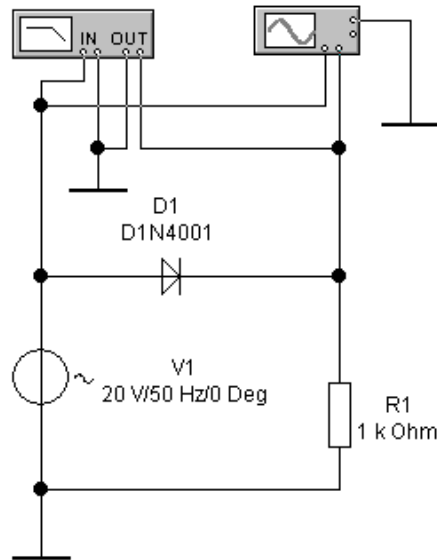


Рисунок 2.4 - Схема для дослідження та аналізу характеристик діода на змінному струмі

Третя схема (рис. 2.5) призначена для аналізу сумісної дії постійної та імпульсної напруг.

Схема дозволяє спостерігати сумісну дію джерела постійної напруги V2 і прямокутних імпульсів V1. Для контролю входної і вихідної напруг застосований двохпроміневий осцилограф.

2.3 Порядок виконання роботи

Виконання роботи зручно почати з виконання пунктів 2, 4, 5 на стендах EWB. Потім необхідно проаналізувати результати моделювання по решті пунктів.

1. Зібрати схему по рисунку 2.3. Вибрати з бібліотеки компонентів кремнієвий діод, наприклад 1N4001 або інший. Вузли схеми пронумерувати.

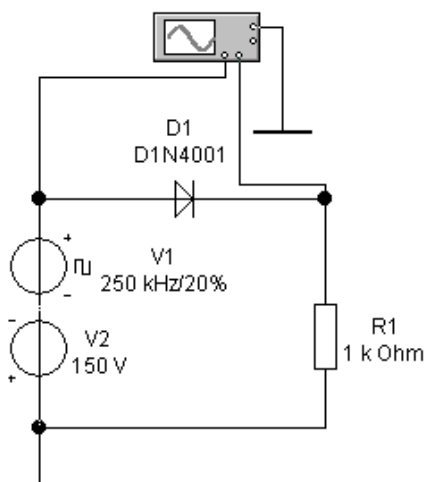


Рисунок 2.5 - Схема з комбінованим живленням

2. Для отримання ВАХ викликати режим DC (постійного струму). Встановити межі зміни напруги живлення $U_2 = -250$ В; $U_1 = +10$ В. Для аналізу вивести на екран струм у вихідній гілці. Провести обчислення і результати занести в таблицю 2.1. З метою можливої економії часу ознайомитися з пунктом 3.

Таблиця 2.1 – Значення струмів кремнієвого діода при різних температурах

Номер дослідження	Напруга анода, В					Температура, °С
	-250			0	+25	
1						-50
2						+27
3						+40
4						+100

За умовчанням моделювання проводиться для температури 27 °С. Тому результати заносяться в другий рядок.

3. Досліджувати залежність параметрів діода від температури за програмою пункту 2. При цьому необхідно встановлювати потрібні значення температури. Результати занести в таблицю 2.1.

4. Спостерігати проходження синусоїдального сигналу різних частот на навантаженні. Зібрати схему по рисунку 2.4. Встановити джерело U_1 з напругою 5 ... 20 В. Змінювати частоту в межах 50 Гц ... 100 МГц. Форму вихідної напруги U_2 замалювати.

5. Спостерігати проходження імпульсного сигналу прямокутної форми. Для цього необхідно зібрати схему по рисунку 2.5. Встановити температуру 27 °С. В режимі аналізу перехідних процесів запрограмувати джерело вхідної напруги U_1 так, щоб воно формувало короткі імпульси позитивної полярності від запираючого рівня U_2 по рисунку 2.5. Наприклад, нижній рівень $U_2 = -150$ В, амплітуда імпульсу $U_m = 160$ В, тривалість імпульсів $\tau_n = 1$ мкс, період повторюваності $T = 4$ мкс.

2.4 Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Схеми по яких проводилося моделювання.
3. ВАХ кремнієвого діода по таблиці 2.1
4. Розрахунок приростів струмів, напруг і величин $R_{пр}$, $R_{зв}$, R_i по формулах (2.2), (2.3) при різних температурах за даними таблиці 2.1.
5. Графік залежності $R_{зв}$ від температури при одній фіксованій зворотній напрузі.
6. Результати по пунктах 4 і 5 для германієвого діода.
7. Осцилограми вихідних сигналів.
8. Висновки.

2.5 Контрольні питання

1. Конструкції і типи сучасних діодів. Діодні складки. Силкові діоди.
2. Розрахунок потужності, що виділяється на діоді.
3. Вибір типу діода для конкретного виробу.
4. Паралельне і послідовне з'єднання діодів.
5. Охолодження діодів.

Література

1. Воробйова О.М. Основи схемотехніки: у 2-х ч. : навчальний посібник. Одеса : ОНАЗ ім. О.С.Попова, 2004, Ч.1. – С. 31 – 42

Лабораторна робота №3

Мостовий випрямляч

Мета роботи – вивчення схем побудови, характеристик і вживання мостових випрямлячів.

3.1 Короткі теоретичні відомості

Випрямлячем називається пристрій для перетворення змінної напруги в постійне. Такі пристрої дуже широко застосовуються для живлення різних електронних пристроїв від мережі змінної напруги. Наприклад, для живлення ПК від однофазної напруги мережі 220 В. В спеціальних технологічних установках застосовуються трифазні випрямлячі для отримання могутніх джерел постійної напруги. При цьому розрізняють однофазні і багатofазні випрямлячі. При необхідності схема випрямляча (В) доповнюється схемою згладжуючого фільтра (Ф) і стабілізатора (С) (рис. 3.1).

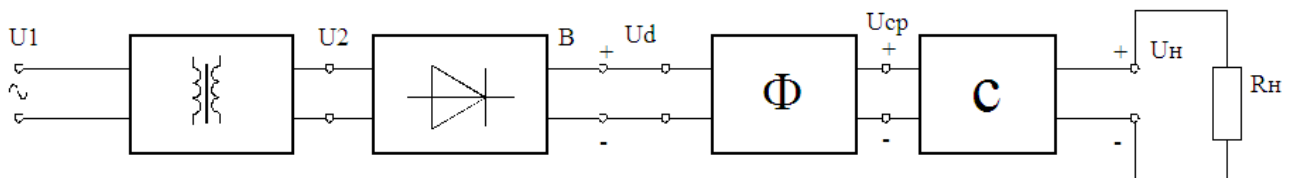


Рисунок 3.1 - Структурна схема джерела живлення

Випрямляч В звичайно містить трансформатор, який забезпечує потрібну напругу U_2 і діодну схему, яка перетворює його в постійну, але пульсуючу напругу U_d .

Для зниження пульсацій напруги застосовуються ємнісні С, індуктивні L і багатоланкові LC фільтри. При необхідності підтримки вихідної напруги U_H із заданою точністю застосовуються електронні схеми стабілізаторів С. У ряді випадків можна обійтися без використання фільтрів і стабілізаторів.

На рисунку 3.2 показана схема мостового однофазного випрямляча.

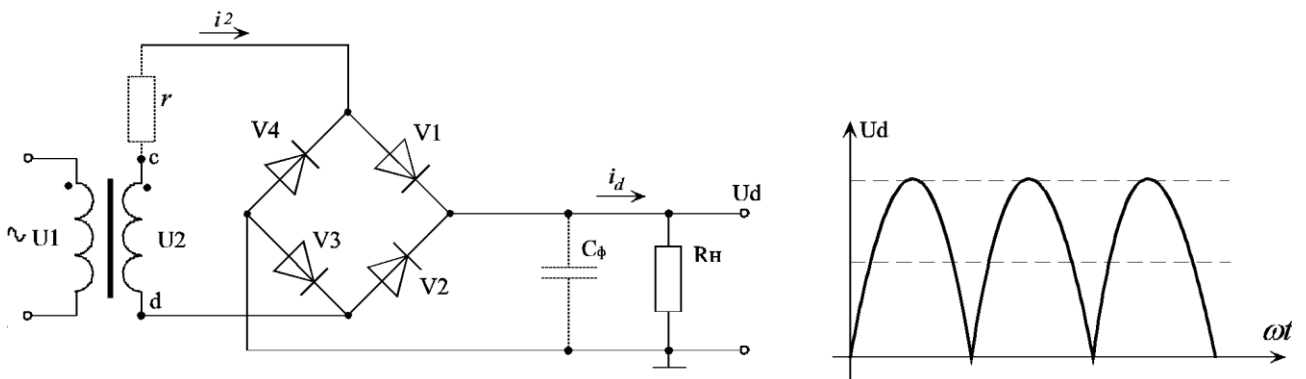


Рисунок 3.2 - Схема випрямляча (а) і вид вихідного (б) постійної напруги

Резистор r враховує опір активних втрат в схемі.

Зворотна або негативна напівхвиля змінної напруги U_2 комутується діодами так, що вихідна напруга використовує обидва напівперіоди.

Розглянемо процеси в мостовій діодній схемі випрямляча. Допустимий в якийсь напівперіод в точці c плюс, а в точці d мінус напруги U_2 . Тоді струм i_d проходить від точки c через V_1 , R_H і V_3 до виводу d , утворюючи першу напівхвилю напруги на навантаженні. При цьому проводять діоди V_1 , V_3 , а діоди V_2 , V_4 замкнуті.

При зміні полярності напруга U_2 плюс потенціалу знаходиться на виводі d і струм проходить через V_2 , навантаження R_H , через V_4 до точки c . Діоди V_1 , V_3 замкнуті.

Таким чином діодний міст працює як автоматичний швидкодіючий аперіодичний комутатор, який перемикає струм i_d так, що через навантаження R_H він проходить в одній і тій же напрузі, тобто є постійним.

Відомо, що діюча напруга U_2 , постійна напруга на виході U_d і зворотна максимальна напруга U_{dm} прикладені до діодів для цієї схеми зв'язані формулами:

$$U_{don} = \sqrt{2} \cdot U_2 = \frac{\pi}{2} U_d; \quad U_2 = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} U_d \quad (3.1)$$

Величина струму i_2 знаходиться через струм навантаження i_d

$$i_2 = \frac{U_2}{R_H} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} i_d \quad (3.2)$$

Робочий струм діодів визначається співвідношенням

$$i_p = \frac{i_2}{2} = \frac{\pi}{4\sqrt{2}} i_d \quad (3.3)$$

Розрахункова потужність обмотки трансформатора складає

$$P_m = 1,23 \cdot P_d = 1,23 \cdot U_d \cdot i_d \quad (3.4)$$

При введенні фільтрів, наприклад, конденсатора C_ϕ , вид вихідної напруги змінюється, росте середня напруга U_d і зменшується амплітуда U_m змінної складової вихідної напруги. Їх співвідношення визначає коефіцієнт пульсації (рис. 3.3)

$$q = \frac{U_m}{U_d} \quad (3.5)$$

При збільшенні струму навантаження i_d зростає падіння напруги на опорі r , а вихідна напруга зменшується, що показує зовнішньої характеристика навантаження випрямляча.

Для спрощення моделювання трансформатор можна виключити і розглянути схему, показану на рисунку 3.4.

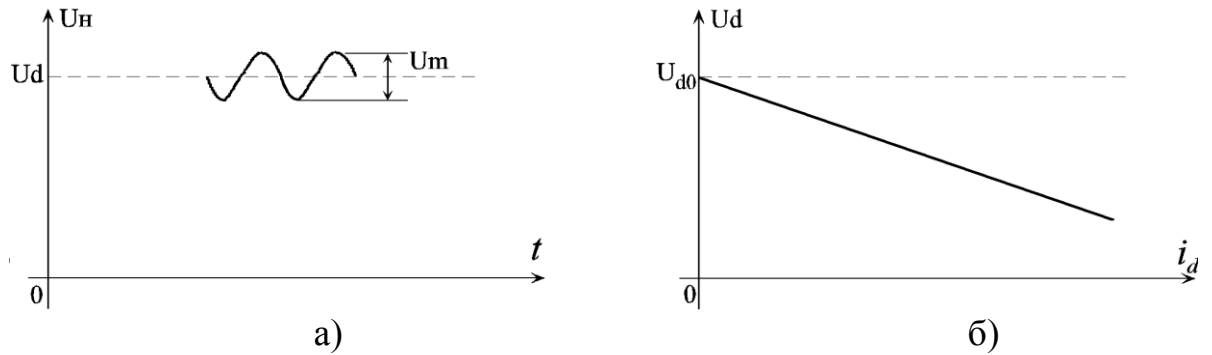


Рисунок 3.3 - Пульсація вихідної напруги а), і характеристика навантаження б) випрямляча

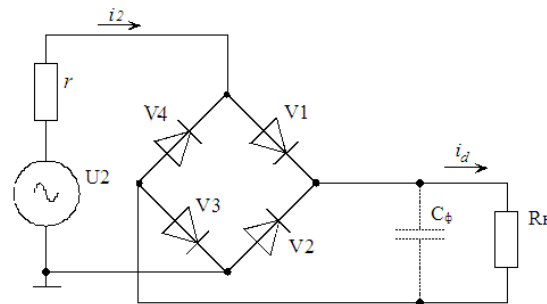


Рисунок 3.4 - Схема моделювання випрямляча

Значення струмів і напруг в гілках і на вузлах схеми контролюються програмними методами.

3.2 Опис віртуального EWB стенду

Схема стенду показана на рисунку 3.5. Як вхідна напруга застосовано джерело V2, кероване постійною напругою від джерела V1. Напруга пульсацій формується синусоїдальним джерелом V3. Регулювання напруги здійснюється потенціометром R1 за допомогою клавіш «R» і «SHIFT + R». Вольтметр M1 призначений для вимірювання змінної складової напруги живлення, а M2 для постійної.

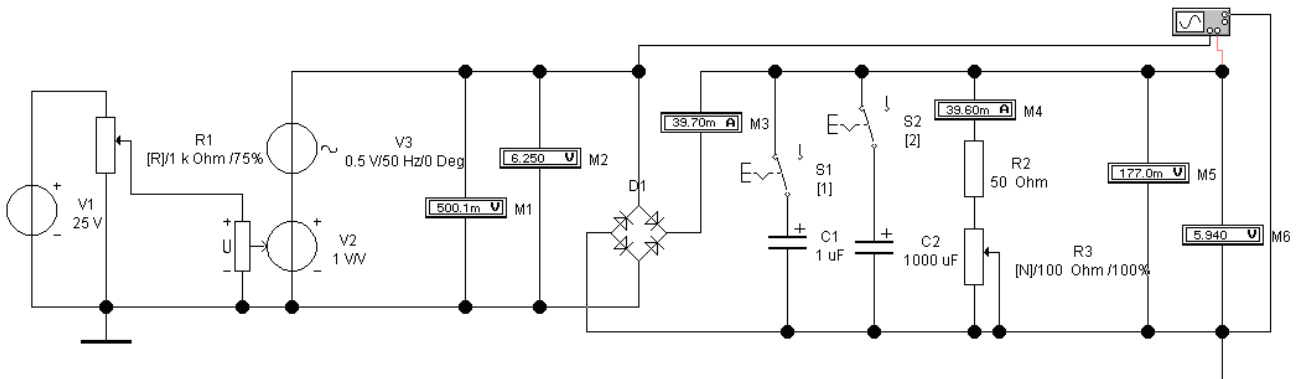


Рисунок 3.5 - Схема моделювання випрямляча

Вихідна напруга на опорі навантаження R2, R3 вимірюється одночасно двома вольтметрами M5 і M6. Один з них вимірює постійну напругу (M6), а інший – змінну складову (M5). Для виклику вікна властивостей приладу необхідно двічі клацнути кнопкою миші на його зображенні. Опір R3 служить для зміни навантаження і управляється клавішами «N» і «SHIFT+N».

Для підключення різних конденсаторів фільтру C1, C2 передбачені вимикачі S1, S2, керовані клавішами «1» і «2» відповідно.

Для нагляду форми напруги на вході і виході схеми передбачений двохпроменевий осцилограф.

3.3 Порядок виконання роботи

Виконання роботи на EWB здійснити по всіх пунктах, але в пункті 2 не знімати осцилограми струмів.

1. Зібрати схему, показану на рисунку 3.4. При моделюванні прийняті: $U_1 = 5 \dots 20$ В, з частотою 50 Гц, $r = 5 \dots 10$ Ом, $R_H = 50$ Ом, діоди, наприклад, 1N4001. Попереднє $C_f = 0$.

2. У режимі Transient Analysis при максимальному часі аналізу 0,1 із спостерігати і зарисувати осцилограми величин U_2 , I_2 , U_d , I_d , напруги і струмів на діодах V1, V2. Записати максимальні значення і при необхідності осцилограми вивести на друк.

3. Ввести в схему конденсатор фільтру $C_f = 100$ мкФ. Побудувати роботу по пункту 2. Заміряти амплітуду U_m змінної складової вихідної напруги і його середнього значення U_d .

4. Для зняття зовнішньої характеристики випрямляча перейти в режим DC і змінювати вхідну напругу U_2 в межах 0..25 В з кроком 0,25..0,5 В при різних опорах навантаження в межах 5 .. 100 Ом. Використовуючи результати моделювання заповнити таблицю 3.1

Таблиця 3.1 – Зміна вихідної напруги

Струм i_d , мА	0				
U_d , В					

3.4 Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Схеми пристрою і моделі.
3. Осцилограми і параметри для роботи без фільтру.
4. Осцилограми і значення струмів і напруг по пункту 3.
5. Розрахунок коефіцієнтів пульсацій для моделювання по пункту 3.

6. Таблиця і зовнішня характеристика випрямляча по пункту 4 моделювання.

3.5 Контрольні питання

1. Пояснення форми імпульсів напруг і струмів у мостовій схемі.
2. Вибір типів діодів для конкретної задачі.
3. Характеристика навантаження пульсації.
4. Особливості побудови могутніх випрямлячів.
5. Трифазний мостовий випрямляч.
6. Роль трансформатора в багатоканальних схемах електроживлення.
7. Короткі відомості про фільтри і стабілізатори.

Лабораторна робота №4

Дослідження характеристик біполярного транзистора

Мета роботи – вивчення структури, параметрів, принципу дії і характеристик біполярного транзистора.

4.1 Короткі теоретичні відомості

Транзистор є керованим регулятором струму. Він має малі габарити, високу надійність, хорошу технологічність, високу економічність, вібростійкість і довговічність. До недоліків можна віднести невисоку радіаційну і термічну стійкість.

Транзистор має тришарову структуру з провідністю, яка чергується. Наприклад, n-p-n для приладів зворотної провідності або p-n-p для випадку прямої провідності. Розглянемо роботу транзистора типа n-p-n, структура якого показана на рисунку 4.1

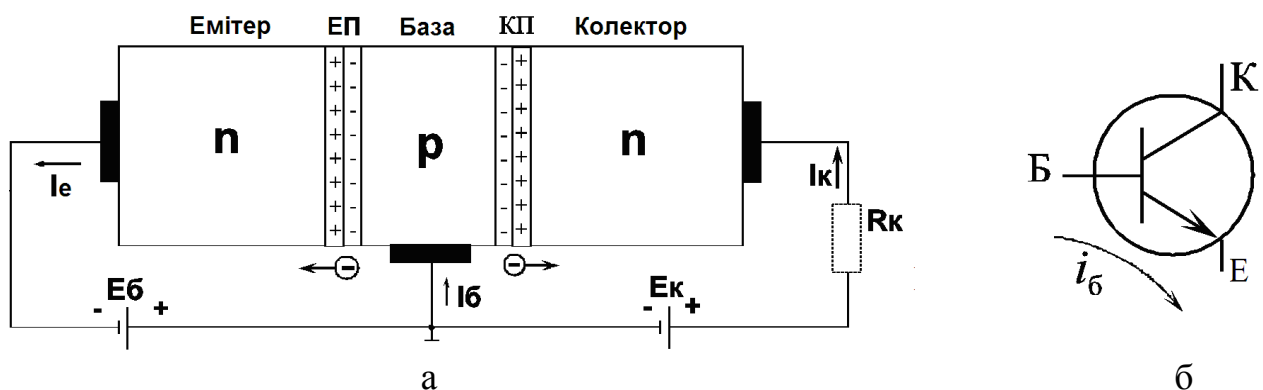


Рисунок 4.1 - Структура і підключення (а) n-p-n –транзистора і його позначення (б)

Перший електрод називають емітером (Е), середній – базою (Б), а третю ділянку називають колектором (К). Для транзистора основним носієм струму є основні носії струму в емітері. В даному випадку це електрони, оскільки емітер виконаний з матеріалу n-типа.

Транзистор має два переходи: емітерний – (ЕП) і колекторний – (КП) які, еквіваленти двом діодам.

Розглянемо випадок, коли джерела живлення відключені. Електрони з матеріалів n-типу через переходи дифундують в область бази, виконану з матеріалу р-типу. При цьому на обох переходах утворюються об'ємні заряди і створюється внутрішнє електричне поле, мінус якого розташовується в області бази (рис. 4.1а).

Розглянемо рух основного носія струму емітера. Об'ємний заряд ЕП гальмує рух електронів, відштовхуючи їх назад в емітер. Об'ємний заряд КП, навпаки прискорює електрони, рухомі з бази в колектор. Таким чином, для створення струму через транзистор необхідно понизити гальмуючу дію ЕП і усилити прискорюючу дію КП. Ця задача розв'язується шляхом підключення зовнішніх джерел живлення U_b , U_k . Якщо розглянути емітер і базу як діод, то джерело напруги U_b підключено плюсом до його анода і відкриває його, тобто замикаючи дію ЕП знижується і створюється контур струму бази I_b через цей діод. Джерело напруги U_k підключено до діода КП так, щоб усилити дію об'ємного заряду цього переходу. Зважаючи на малий об'єм бази основна частина носіїв струму з бази прискорюється до колектора, створюючи струм I_k . Неважко бачити, що струм I_e рівний:

$$I_e = I_b + I_k \quad (4.1)$$

Через малий об'єм бази, лише незначна частина (одиниці і частки відсотка) основних носіїв струму емітера I_e рекомбінує з носіями струму бази. При цьому:

$$I_b \ll I_k \quad \text{і} \quad I_e \approx I_k \quad (4.2)$$

Тому можна вважати, що практично всі носії струму емітера досягають колектора.

Для того, щоб змінити струм в транзисторі, необхідно змінити струм на його вході.

Вираз (4.1) можна записати у вигляді рівності приростів струмів:

$$\Delta I_e = \Delta I_b + \Delta I_k$$

Розділимо обидві частини цієї рівності на ΔI_k :

$$\frac{\Delta I_e}{\Delta I_k} = \frac{\Delta I_b}{\Delta I_k} + 1$$

Одержані вирази змін струмів називаються коефіцієнтами посилення (або передачі) струму емітера (α) і струму бази (β):

$$\alpha = \frac{\Delta I_k}{\Delta I_e} \leq 1; \quad \beta = \frac{\Delta I_k}{\Delta I_b} \gg 1 \quad (4.3)$$

Підставивши ці коефіцієнти в рівність, одержимо співвідношення:

$$\alpha = \frac{\beta}{1 + \beta}; \quad \beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad (4.4)$$

Для сучасних транзисторів коефіцієнт посилення струму бази β досягає декількох сотень, що забезпечує велике посилення. Дійсно, на підставі (4.3) запишемо зміну струму I_k :

$$\Delta I_k = \beta \cdot \Delta I_b \gg \Delta I_b \quad (4.5)$$

Якщо в коло колектора включений резистор R_k , то на ньому буде виділятися посилений сигнал:

$$\Delta U_k = \Delta I_k \cdot R_k = \beta \cdot R_k \cdot \Delta I_b \quad (4.6)$$

У схемі на рисунку 4.1 джерела напруги і транзистор мають одну загальну точку, яка сполучена з нулем і базою. Тому така схема називається схемою із загальною базою (ЗБ). Вхідним електродом тут є емітер.

На рисунку 4.2 показані схеми для зняття ВАХ n-p-n транзистора при включенні з ЗБ і загальним емітером (ЗЕ).

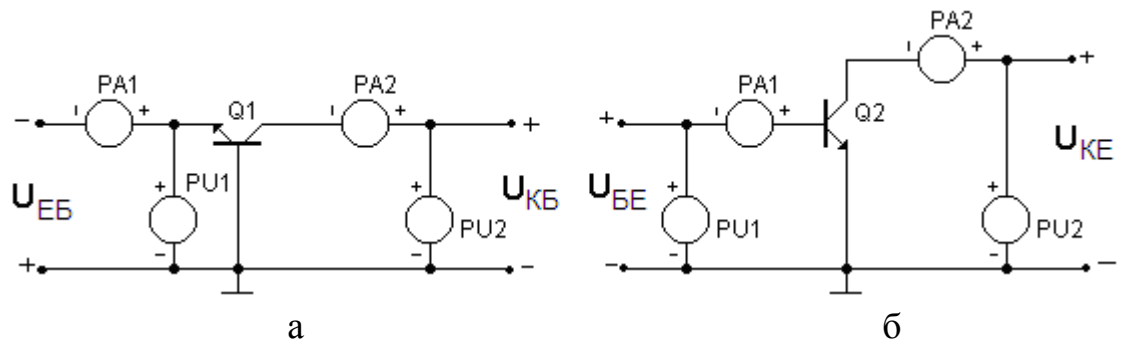


Рисунок 4.2 - Схеми для дослідження ВАХ транзисторів типу n-p-n при включенні з ЗБ (а) і ЗЕ (б)

Для транзисторів типу n-p-n необхідно змінити полярність джерел напруги, при цьому зміниться напрямки струмів I_b і I_k .

Для транзисторів розглядаються вхідні і вихідні характеристики при різних схемах включення. Наприклад, для схеми ЗБ вхідні характеристики це залежність (або функція) вхідного струму I_e від вхідної напруги $U_{eб}$, а вихідні – залежність I_k від $U_{кб}$, тобто:

$$I_e = \varphi(U_{eб}), \text{ при } U_k = \text{const}; \quad I_k = \varphi(U_{кб}), \text{ при } I_e = \text{const} \quad (4.7)$$

Такі характеристики показані на рисунку 4.3.

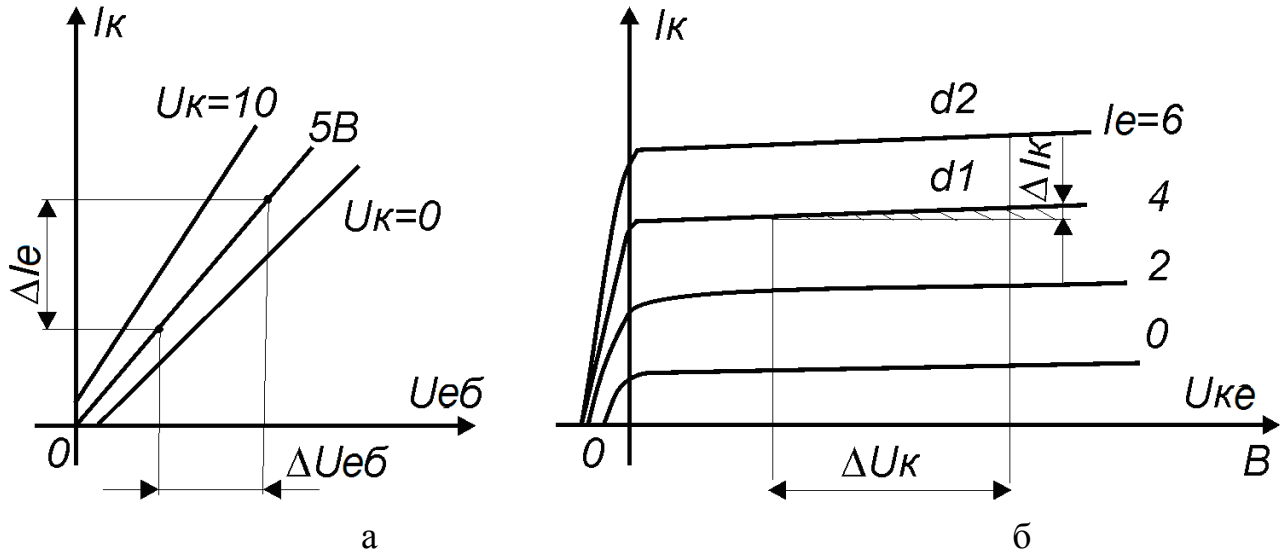


Рисунок 4.3 - Вхідні (а) і вихідні (б) n-p-n транзистори в схемі з ЗБ

Вхідні характеристики дозволяють визначити вхідний диференціальний опір:

$$R_{вх} = \frac{\Delta U_{вх}}{\Delta i_{вх}} = \frac{\Delta U_{eб}}{\Delta I_e} \quad \text{при } U_k = \text{const} \quad (4.8)$$

Тут вхідна напруга $U_{eб}$, а вхідний струм I_e . Вихідні характеристики дозволяють визначити диференціальний внутрішній або вихідний опір $R_{вих}$ транзистора:

$$R_{вих} = \frac{\Delta U_k}{\Delta I_k} \quad \text{при } I_{вх} = \text{const} \quad (4.9)$$

Використовуючи дві вихідні характеристики при постійному U_k , наприклад, точки d1, d2, по вісі I_k , можна знайти відповідний їм приріст струму колектора ΔI_k . Знаючи значення вхідних струмів при яких зняті характеристики з точками d1 і d2, нескладно знайти зміну вхідного струму ΔI_e і обчислити коефіцієнт передачі або посилення по струму:

$$\alpha = \frac{\Delta i_k}{\Delta i_e} \quad \text{при } U_k = \text{const} \quad (4.10)$$

Розглянемо характеристики для включення по схемі з ЗЕ (рис. 4.4).

Використовуючи ці характеристики можна визначити основні параметри транзистора. По вхідній характеристиці визначають $R_{вх}$, формула (4.8). По вихідній характеристиці можна знайти вихідний опір, формула (4.9). Коефіцієнт по-

силення β визначається по формулі (4.3) з використанням опорних точок $d1$ і $d2$ аналогічно (4.10).

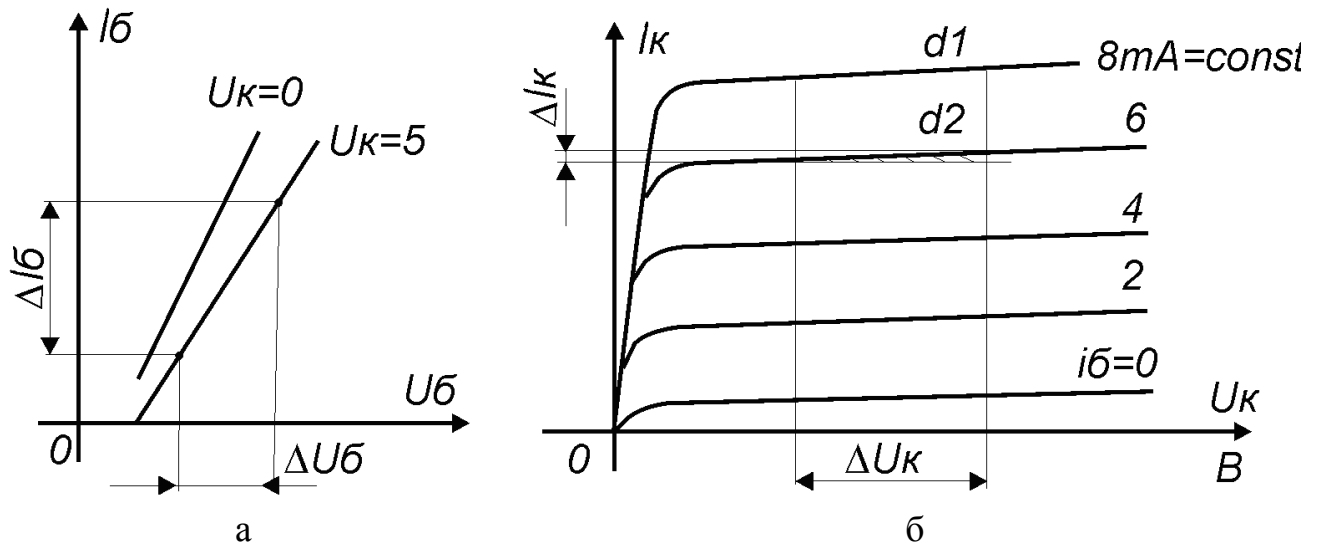


Рисунок 4.4 - Характеристики вхідні (а) і вихідні (б) n-p-n транзистора в схемі з ЗЕ

Оцінка потужності P_k , яка розсіюється колектором, проводиться по співвідношенню:

$$P_k = I_k \cdot U_k \leq P_{k \text{ доп}}, \quad (4.11)$$

де $P_{k \text{ доп}}$ – допустима потужність за паспортними даними транзистора.

При проведенні моделювання в ПК вводяться схеми, показані на рисунку 4.5.

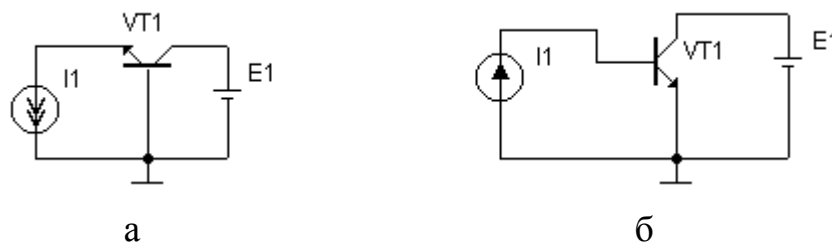


Рисунок 4.5 - Схеми для моделювання включення з ЗБ (а) і ЗЕ (б)

Для розрахунку вхідних характеристик джерело струму на вході замінюється на джерело напруги.

4.2 Опис віртуального EWB стенду

Стенд містить дві схеми. В першій з них (рис. 4.6) транзистор Q1 включений по схемі із загальною базою (ЗБ).

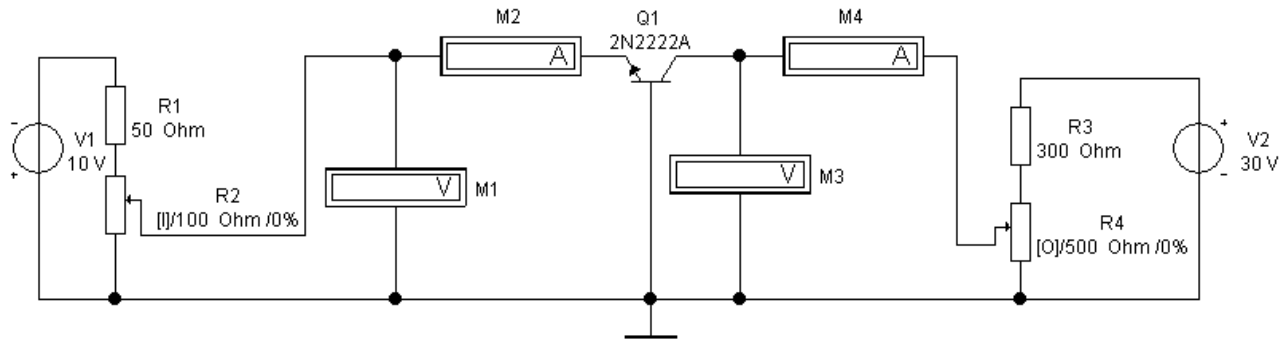


Рисунок 4.6 - Схема включення із загальною базою

Тут джерело вхідної напруги V1 живить дільник R1, R2, який регулює вхідну напругу. Регулювання потенціометра R2 виконується з клавіатури ПК шляхом зміни процентної частки його вихідної частини шляхом натиснення клавіші «I» або комбінації «SHIFT + I». Для вимірювання напруги і струму передбачені вимірювальні прилади M1-M4.

Живлення кола колектора здійснюється від окремого джерела живлення V2. Регулювання напруги колектора виконується дільником R3, R4. Зміна опорів R4 виконуються натисненням клавіші «O» або комбінацією «SHIFT + O».

Друга схема (рис. 4.7) має аналогічну побудову для випадку включення транзистора із загальним емітером (ЗЕ).

Побудова схеми і її робота аналогічна попередньому випадку.

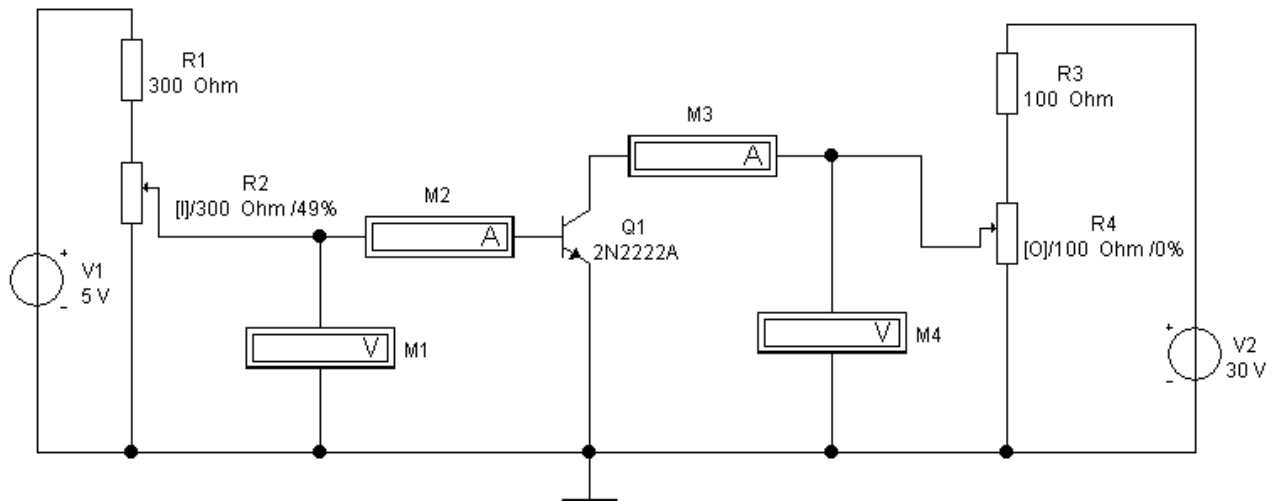


Рисунок 4.7 - Схема включення із загальним емітером

4.3 Порядок виконання роботи

При виконанні роботи зручно почати з пунктів 2, 3, 4, 5 на стендах EWB. Потім необхідно записати результати моделювання по інших пунктах.

1. Зібрати схему по рисунку 4.5 а, але з джерелом напруги. Вибрати транзистор, наприклад, 2N2222. Провести нумерацію вузлів.

2. Вхідні характеристики схеми з ЗБ з автоматичною зміною $U_c = E1$ в режимі DC. Напругу на вході міняти в межах $0 \dots 3$ В, на виході в межах $0 \dots 20$ В. Контролювати струм в колі бази (рис. 4.3). Результати записати.

3. Вихідні характеристики схеми з ЗБ одержують після заміни джерела напруги $E1$. Величина струму емітера в межах $0 \dots 0,25$ А. Результати моделювання вручно занести в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Значення вихідного струму схеми з ЗБ

№ виміру	Струм н. I_e , mA	Напруга колектора, В							Примітка
		0	5	10	15	20	25		
1	0								$t = 27^\circ\text{C}$
2	50								
3	100								
4	150								
5	200								

4. Вхідні характеристики в схемі з ЗЕ (рис. 3.5б) одержують, передбачивши на вході джерело напруги, яку змінюють в межах $0 \dots 3$ В. Очікуємий вид характеристик показано на рисунку 4.4. Результати моделювання зарисувати або занести в таблицю вигляду 4.1.

5. Вихідні характеристики в схемі ОЕ одержують встановивши на вході джерело струму. Одержати 3 ... 4 характеристики. Почати зміну струму I_b з нуля. Результати моделювання заповнити в таблицю вигляду 4.1.

6. Дослідження залежності коефіцієнта посилення β від температури виконують по методиці пункту 5.. Провести моделювання при декількох значеннях температур: 27°C , 50°C , 100°C , 150°C . За результатами знайти β по формулі (4.3).

4.4 Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Схеми включення транзисторів і моделювання.
3. Таблиці вигляду 3.1 для різних випадків.
4. Характеристики транзистора.
5. Залежність β від температури.
6. Висновки.

4.5 Контрольні питання

1. Сучасні транзистори і їх класифікація.
2. Фізика роботи.
3. Вплив схеми включення на характеристики.

4. Температурний діапазон транзисторів.
5. Шуми транзисторів.

Література

1. Бойко В. І., Гуржій А. М., Жуйков В. Я. Основи схемотехніки електронних систем: підручник. Київ : Вища шк., 2004. 527 с.
2. Гельжинський І. І., Голяка Р. Л., Готра З. Ю., Марусенкова Т. А. Мікросхемотехніка: підручник. Львів : Ліга - Прес, 2015. 492 с.
3. Бойко В. І., Зорі А. А. Основи електронних систем : вступ до фаху. Донецьк : ДНТУ, 2002. 207 с.

Лабораторна робота №5

Дослідження характеристик польових транзисторів

Мета роботи – вивчення побудови характеристик і особливостей вживання польових МДП транзисторів.

5.1 Короткі теоретичні відомості

Польові транзистори – сучасні напівпровідникові прилади, які володіють високим входним опором, малим рівнем шумів, зручні для конструктивного і технологічного вживання в мікроелектронних виробках. Структура польового транзистора показана на рисунку 5.1.

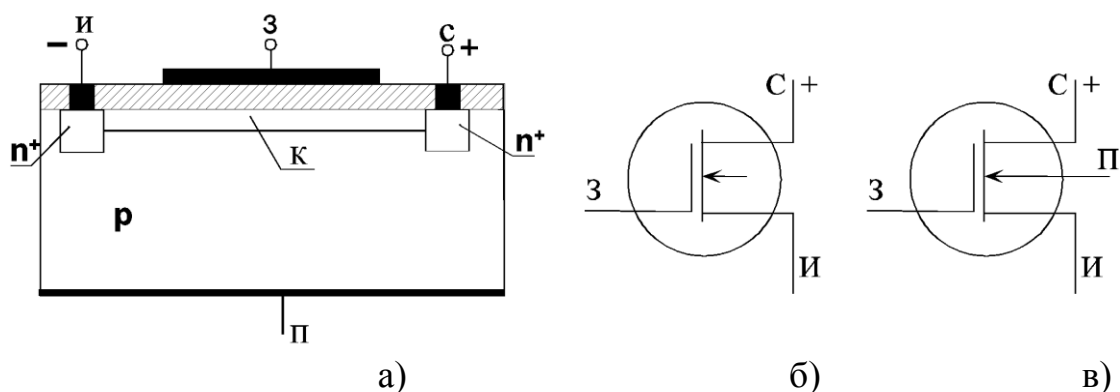


Рисунок 5.1 - Структура (а) польового МДП транзистора з вбудованим каналом *n*-типа; умовні позначення такого транзистора без вивода від підкладки (б) і з виводом від підкладки (в).

Транзистор складається з пластини напівпровідника *p*-типу з відносно високим питомим опором, в якій створено дві області з протилежним типом провідності. На ці області нанесені металеві електроди – витік (В) і стік (С). Поверхня пластини між витіком і стоком покрита шаром діелектрика, зазвичай ок-

сидом кремнію. На цей шар нанесений металевий електрод – затвор (З). Виходить тришарова структура (метал – діелектрик – напівпровідник), яка визначає назву: МДП транзистор або МОП транзистор. Між витоком і стоком технологічним шляхом створюється канал (К) n-типа, який проводить електричний струм. Міняючи напругу між затвором і витоком $U_{ЗВ}$, можна регулювати цей струм.

У загальному випадку МДП транзистори є чотирьохелектродними приладами. Четвертим електродом є підкладка (П), яка виконує допоміжну функцію.

Принцип дії МДП транзисторів заснований на ефекті зміни провідності приповерхневого шару напівпровідника під впливом поперечного поля затвора. Цей шар і є струмопровідний канал (К). МДП транзистори виконують двох типів: з вбудованим і індукованим каналом. При цьому канал може бути n- або p-типа. Вивід підкладки, якщо він є, іноді підключають до витоків.

На рисунку 5.2 показані вихідні або стічні характеристики МДП транзистора з вбудованим каналом n-типа і його вхідні або стік-затворні характеристики.

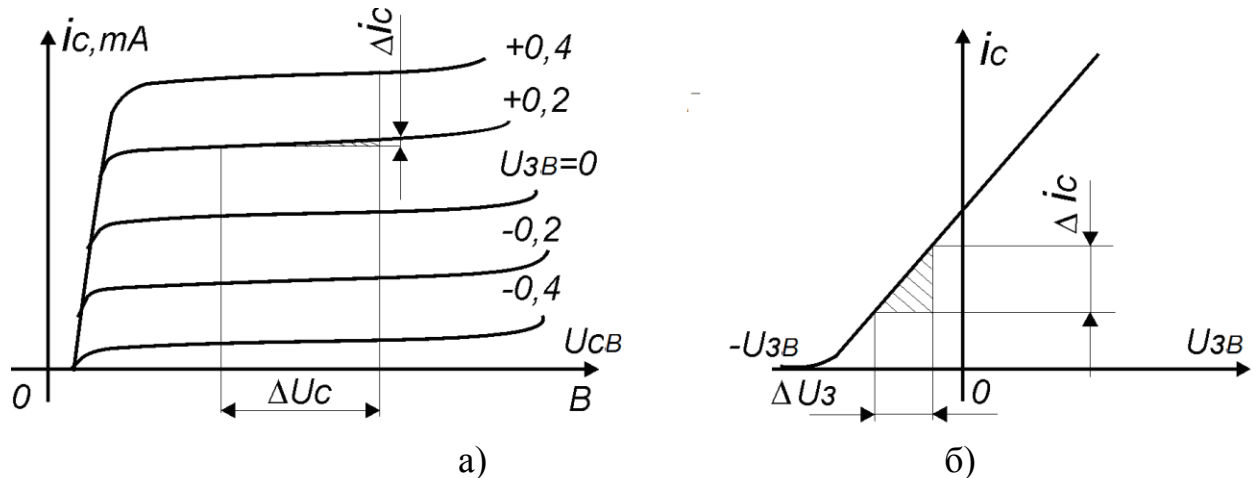


Рисунок 5.2 - Вихідні (а) і вхідні (б) характеристики МДП транзистора з вбудованим n-каналом.

При збільшенні позитивної напруги U_{cb} стік – витік, струм стоку i_c наростає і сильно залежить від напруги U_{zb} затвор – витік. При цьому виділяється ділянка пропорційної залежності струму від напруги U_{cb} . Вихідні характеристики дозволяють визначити вихідну провідність $g_{вих}$ і внутрішній опір R_i . Використовуючи приріст струму Δi_c і напруги ΔU_{cb} з виділеного трикутника, можна одержати:

$$R_i = \frac{\Delta U_{cb}}{\Delta i_c} ; \quad g_{вих} = \frac{1}{R_i} \quad (5.1)$$

Вхідна характеристика (рис. 5.1б) показує залежність струму i_c від вхідної напруги U_{zb} . Вона дозволяє оцінити діапазон зміни вхідної напруги, напруга відсічення і знайти крутизну характеристики транзистора:

$$S = \frac{\Delta i_c}{\Delta U_{зв}}, \quad \text{при } U_{св} = \text{const} \quad (5.2)$$

Розглянемо характеристики МДП транзисторів з індукованим каналом, схематичне позначення яких показано на рисунку 5.3.

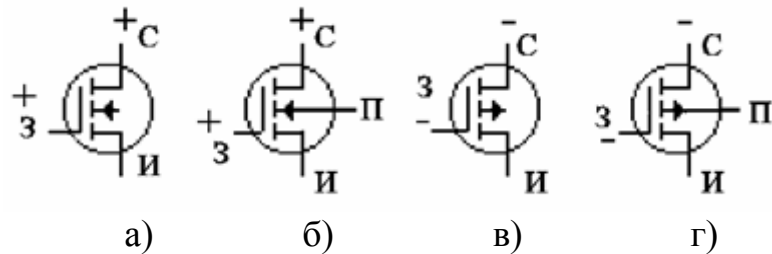


Рисунок 5.3. Позначення МДП транзисторів з індукованим каналом *n*-типу (а, б) і каналом *p*-типу (в, г).

Позначення а і в відповідають транзисторам, в яких вивід підкладки відсутній. На схемах приведені полярність необхідних робочих напруг щодо витоків.

У цих транзисторах на відміну від рисунку 5.1а, канал **К** не створюється технологічним шляхом. Він утворюється (індукується) за рахунок притоку носіїв струму з напівпровідникової пластини при додатку до затвора управляючої напруги. Тобто провідність каналу зростає із зростанням напруги затвора і транзистор працює в режимі збагачення каналу носіями струму.

На рисунку 5.4 показані характеристики МДП транзистора.

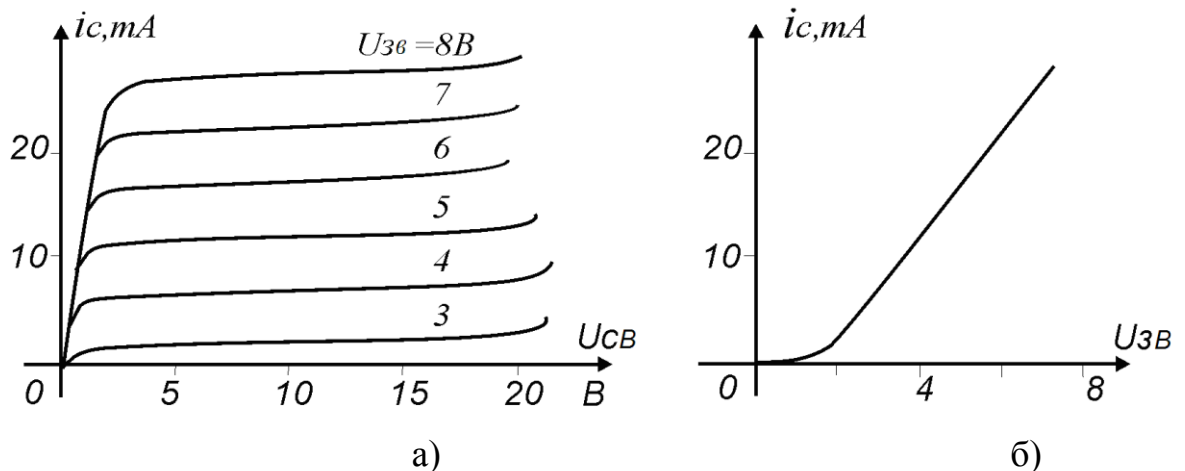


Рисунок 5.4. Вихідні (а) і вхідні (б) характеристики МДП транзистора з індукованим каналом *n*-типу.

Для каналу *p-типу* полярність напруг живлення змінюється. По цих характеристиках нескладно знайти крутизну характеристики S і внутрішній опір R_i , формули (5.1), (5.2).

Особливості характеристик МДП транзисторів визначають відмінності в схемах їх підключення. Наприклад, МДП транзистор з вбудованим каналом може працювати при напрузі затвора рівним нулю. Транзистор з індукованим каналом вимагає спеціальної напруги зсуву, що визначає режим роботи. Для знаходження характеристик МДП транзистора можна використовувати схему, показану на рисунку 5.5.

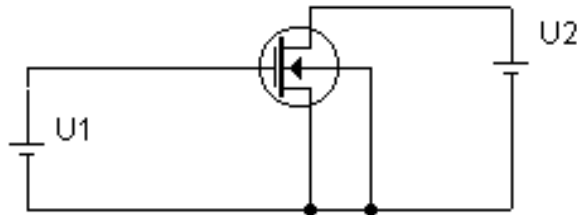


Рисунок 5.5 - Схема дослідження характеристик транзистора з *n*-каналом.

Струм в гілці стоку контролюється при моделюванні. Значення напруг U_1 і U_2 змінюються за програмою для отримання характеристик, вигляд яких показаний на рисунку 5.2.

4.2 Опис віртуального EWB стенду

Стенд містить схему, яка призначена для дослідження характеристик **n**-МОП і **p**-МОП транзисторів одночасно (рис. 5.6).

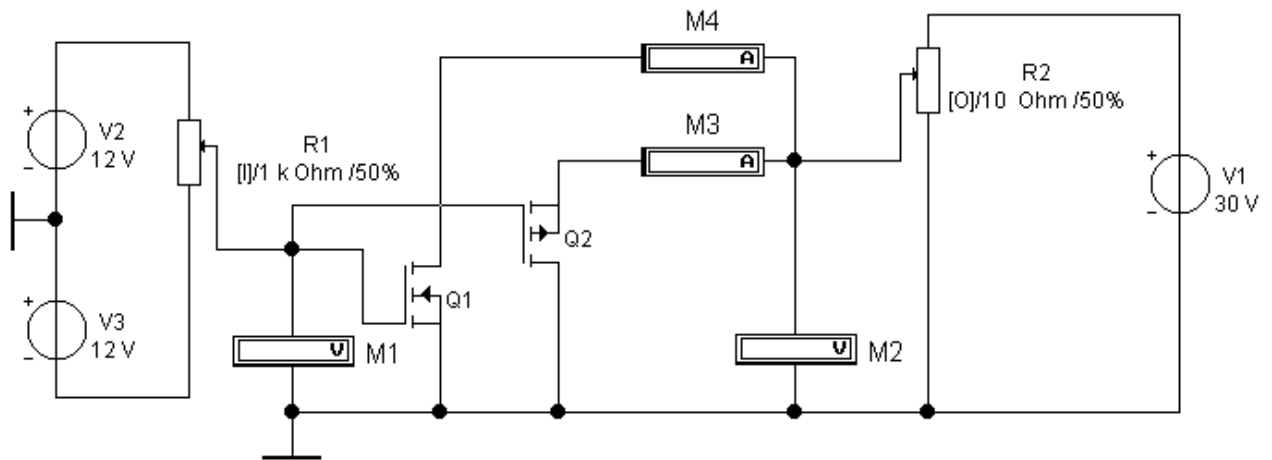


Рисунок 5.6 - Схема дослідження параметрів МДП транзисторів

Транзистор Q_1 використовується для зняття характеристик **n**-МОП, а Q_2 для **p**-МОП приладів. Регулювання входної напруги здійснюється резистором R_1 , шляхом натиснення клавіш «**R**» для збільшення напруги, або «**SHIFT+R**»

для зменшення у бік негативних величин. Аналогічно проводиться регулювання напруги живлення від джерела V1. Тільки для регулювання використовуються клавіші «O» і комбінація «SHIFT+O». Для вимірювання вхідної напруги використовується вольтметр M1. Напруга стік-витік транзисторів вимірюється вольтметром M2. Струми через транзистори вимірюються амперметрами M3, M4.

5.3 Порядок виконання роботи

Виконання роботи на EWB стенді зручніше, якщо виконати пункти 3-6, але замість транзистора з вбудованим каналом n-типа використати прилад р-типа з індукованим каналом (рис. 5.6).

1. Зібрати схему по рисунку 5.6. Вибрати з бібліотеки ПК МОП транзистор з вбудованим каналом n-типу.

2. Вибрати в меню **Analysis** режим **DC Analysis**, перейти в режим розрахунку по постійному струму.

3. Для аналізу вихідних характеристик задати межі вимірювання напруги затвора $U_1 = -3,0 \dots +3,0$ В і напруги стоку U_2 від 0 до 15 ... 20 В. Виконати моделювання. Результати записати в таблицю 5.1 для декількох характеристик.

Таблиця 5.1 – Значення струму стоку (мА)

Напруга затвора, В	Напруга стік-витік, В				
	0	1	5	10	15
-2,0					
-1,0					
0					
1,0					
2,0					

4. Вхідні характеристики транзистора по рисунку 5.2 б, при $U_{cb} = \text{const}$ можуть бути побудовані по значеннях одного із стовпців таблиці 5.1. Для моделюванні вхідної характеристики задати $U_2 = 5\text{В} = \text{const}$. Змінювати вхідну напругу U_1 і вивести на дисплей значення струму стоку.

5. Досліджувати вихідні характеристики МДП транзистора з індукованим каналом. Для цього вибрати з бібліотеки елементів один з транзисторів. Повторити моделювання по пункту 3.

6. Аналогічно досліджувати вхідні характеристики транзистора (рис. 5.4 б) (по пункту 4).

5.4 Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Структура і позначення МДП транзисторів.
3. Вхідні і вихідні характеристики МДП транзисторів з вбудованим каналом, по таблиці 5.1.
4. Розрахунок крутизни і внутрішнього опору по формулах (5.1) і (5.2).
5. Вихідні і вхідні характеристики МДП транзистора з індукованим каналом.
6. Розрахунок крутизни і внутрішнього опору транзистора з індукованим каналом.
7. Висновки.

5.5 Контрольні питання

1. Структура і фізика роботи МДП транзисторів.
2. Переваги і недоліки МДП транзистора.
3. Еквівалентна електрична схема транзистора.
4. Відмінності характеристик МДП транзистора з вбудованим і індукованим каналами.

Література

1. Бойко В. І., Гуржій А. М., Жуйков В. Я. Основи схемотехніки електронних систем: підручник. Київ : Вища шк., 2004. 527 с.
2. Бойко В. І., Зорі А. А. Основи електронних систем : вступ до фаху. Донецьк : ДНТУ, 2002. 207 с.

Лабораторна робота № 6

Дослідження характеристик тиристорів

Мета роботи – вивчення принципу дії і властивостей, дослідження характеристик, ознайомлення з основними параметрами і використанням тиристорів.

6.1 Короткі теоретичні відомості

Тиристор (від грецького “thyra”- двері) – напівпровідниковий прилад, виконаний на основі монокристала напівпровідника з трьома або більш р-п переходами і який має два стійкі стани:

- «закритий» стан – стан низької провідності;
- «відкритий» стан – стан високої провідності.

Основне використання триністорів (тиристорів з трьома електричними виводами: анодом, катодом і управляючим електродом) – управління потужним навантаженням за допомогою слабкого сигналу, який подається на управляючий електрод.

Основою тиристорів є структура типу р-п-р-п (рис. 6.1) з чотирьох шарів. Крайні області тиристорної структури називають емітерами (п і р), сусідні до них р-п переходи: П₁ і П₃ – емітерними, центральний перехід (П₂) – колекторним. Поміж переходами знаходяться базові області (р і п), або просто – бази. Електрод, який забезпечує контакт з п-емітером, називають катодом, з р-емітером – анодом.

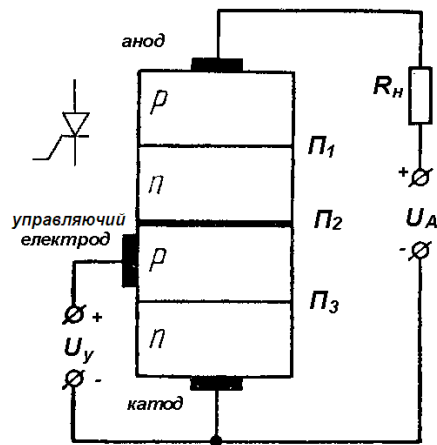


Рисунок 6.1 - Система р-п- переходів тиристора

Існують три типи тиристорів:

- діодний тиристор – його бази не мають виводів;
- тріодний тиристор – має додатковий вивід від р-бази, який зветься керуючим електродом;
- тетродний тиристор – обидві бази мають виводи, тобто у приладу є два керуючих електроди.

Тиристори отримали широке застосування в радіо- та електротехніці у якості швидкодіючих перемикаючих пристроїв. Вони використовуються при конструюванні генераторів імпульсів різної форми, у схемах випрямлячів, для регулювання потужності змінного струму. Тиристори є напівпровідниковими аналогами лампових тиратронів.

Вольт-амперною характеристикою (ВАХ) тиристора називають залежність анодного струму від анодної напруги при сталому значенні струму управління

$$I_A = f(U_A) \Big|_{I_y = \text{const}}$$

На ВАХ тиристора (рис. 6.2) можна відмітити три основні області: область 1 – на аноді позитивне значення напруги, яке може сягати сотень вольт,

але опір тиристора великий (декілька мегом), тому анодний струм порівняно малий (декілька мікроампер), у такому стані тиристор замкнений; область 2 – тиристор має негативний опір, ця ділянка відповідає нестійкому стану тиристора; область 3 – анодна напруга не перевищує 1 – 2 В, але анодний струм порівняно великий – тиристор у відкритому стані.

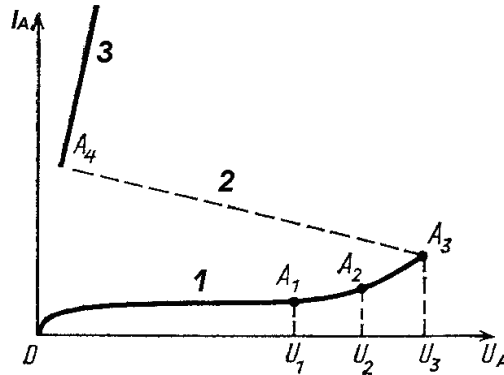


Рисунок 6.2 - Вольт-амперна характеристика тиристора

Переходи Π_1 та Π_3 при поляризації напруги, яка показана на рисунку 6.1, зміщені у прямому напрямку (відкриті), а перехід Π_2 – в зворотному (закритий). При малому значенні напруги на тиристорі, струм, який тече через нього, буде визначатися переходом Π_2 : переходи Π_1 та Π_3 відкриті, тому їхній опір порівняно малий, а опір закритого переходу Π_2 навпаки, великий. Тому початкова ділянка $0A_1$ вольт-амперної характеристики тиристора (рис. 6.2) подібна до ВАХ р-n переходу зміщеному в зворотному напрямку. Струм через перехід Π_2 утворюється переміщенням через нього неосновних носіїв у прилеглих базових областях: електрони є неосновними носіями у середній р- області, а дірки – у середній n-області.

При збільшенні напруги, прикладеної до тиристора, зростають прямі струми через переходи Π_1 і Π_3 (точка A_2 на рисунку 6.2). Внаслідок цього у середню р-область через перехід Π_1 інжектується (вприскується, поступає) зростаюча кількість електронів, а у середню n-область – зростаюча кількість дірок через перехід Π_3 . Таким чином, концентрація неосновних носіїв у прилеглих до переходу Π_2 областях зростає. Це призводить до зменшення опору переходу Π_2 та перерозподілу падіннь напруг між переходами Π_1 , Π_2 , Π_3 : на переході Π_2 падіння напруги зменшується, а на переходах Π_1 і Π_3 – зростає. При деякому критичному значенні зовнішньої напруги на тиристорі

$$U_3 = U_{\text{вкл}}$$

процес зростання струму через переходи Π_1 і Π_3 приймає лавиноподібний характер – тиристор відкривається.

Струм різко, стрибком, зростає (ділянка $A_3 - A_4$), його величина обмежується головним чином опором навантаження R_n , яке увімкнено послідовно до

тиристор. При цьому опір переходу Π_2 і тиристора у цілому зменшується настільки, що на тиристорі падає лише близько одного вольту напруги, а основна частина напруги падає на опорі навантаження R_H . Неосновних носіїв у прилеглих до переходу Π_2 областях тепер велика кількість і тому цей перехід можна вважати зміщеним у прямому напрямку. Таким чином, коли тиристор відкривається, то усі три переходи є зміщеними у прямому напрямку.

Якщо через управляючий електрод (рис. 6.1) подати пряму напругу на перехід Π_2 , то можна регулювати величину $U_{вкл}$ – напруги, при якій тиристор відкривається. Ця властивість тиристора ілюструється вольт-амперними характеристиками, які на рисунку 8.3.

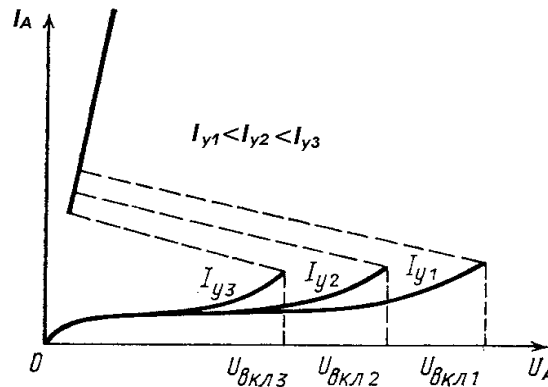


Рисунок 6.3 - Вольт-амперні характеристики тиристора при різних струмах управління

Чим більше струм управління I_y , тим сильніша інжекція неосновних носіїв до середнього переходу, і тим меншу напругу необхідно подати на тиристор, щоб його відкрити. При достатньо великому значенні струму управляючого електроду, ВАХ тиристора вироджується у характеристику звичайного діода, втрачаючи ділянку негативного опору. Залежність поміж струмом управління I_y та напругою, при якій тиристор відкривається $U_{вкл}$, називається пусковою характеристикою тиристора (рис. 6.4).

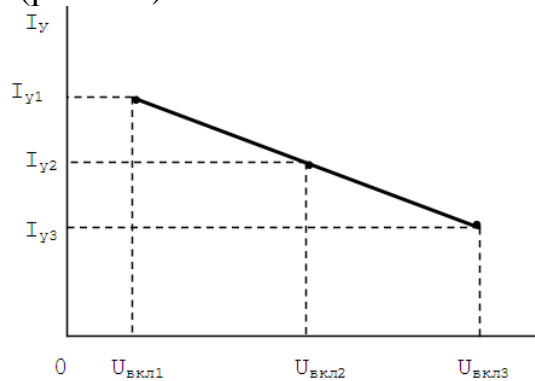


Рисунок 6.4 - Пускова характеристика тиристора

6.2 Опис віртуального EWB стенду

На рисунку 6.5 приведені позначення перемикальних діодів, моделі яких є в програмі EWB: діод Шотки, симетричний диністор, триністор і симетричний триністор.

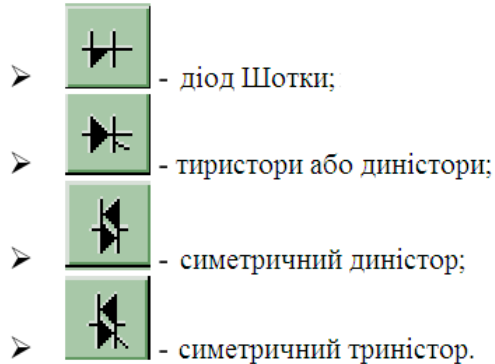


Рисунок 6.5 – Позначення моделей перемикальних діодів

Для перемикальних діодів можна задати значення наступних параметрів (для EWB їх позначень вказуються в квадратних дужках):

- Saturation current I_s [IS], A – зворотний струм диністора;
- Peak Off-state Current I_{drm} [IDRM], A – зворотний струм триністора;
- Switching voltage V_s [VS], B – напруга, при якій диністор перемикається у відкритий стан;
- Forward Breakover voltage V_{drm} [VDRM], B – те ж саме, але для триністора при нульовій напрузі на управляючому електроді;
- Peak On-State Voltage V_{tm} [VTM], B – падіння напруги у відкритому стані;
- Forward Current at which V_{tm} is measured I_{trn} [ITM], A – струм у відкритому стані;
- Turn-off time T_g [TG], c – час перемикання в закритий стан;
- Holding current I_h [IH], A – мінімальний струм у відкритому стані (якщо він менше встановленого, то прилад переходить в закритий стан);
- Critical rate off-state voltage rise dv/dt [DV/DT], B/мкс – допустима швидкість зміни напруги на аноді триністора, при якому він продовжує залишатися в закритому стані (при більшій швидкості триністор відкривається);
- Zero-bias junction capacitance C_j [CJO], Ф – бар'єрна ємність диністора при нульовій напрузі на переході;
- Gate Trigger voltage V_{gt} [VGT], B – напруга на управляючому електроді відкритого триністора;
- Gate Trigger current I_{gt} [IGT], A – струм управляючого електрода;
- Voltage at which I_{gt} is measured V_d [VD], B – відмикаюча напруга на управляючому електроді.

Перераховані параметри можна задати за допомогою діалогових вікон (рис. 6.6).

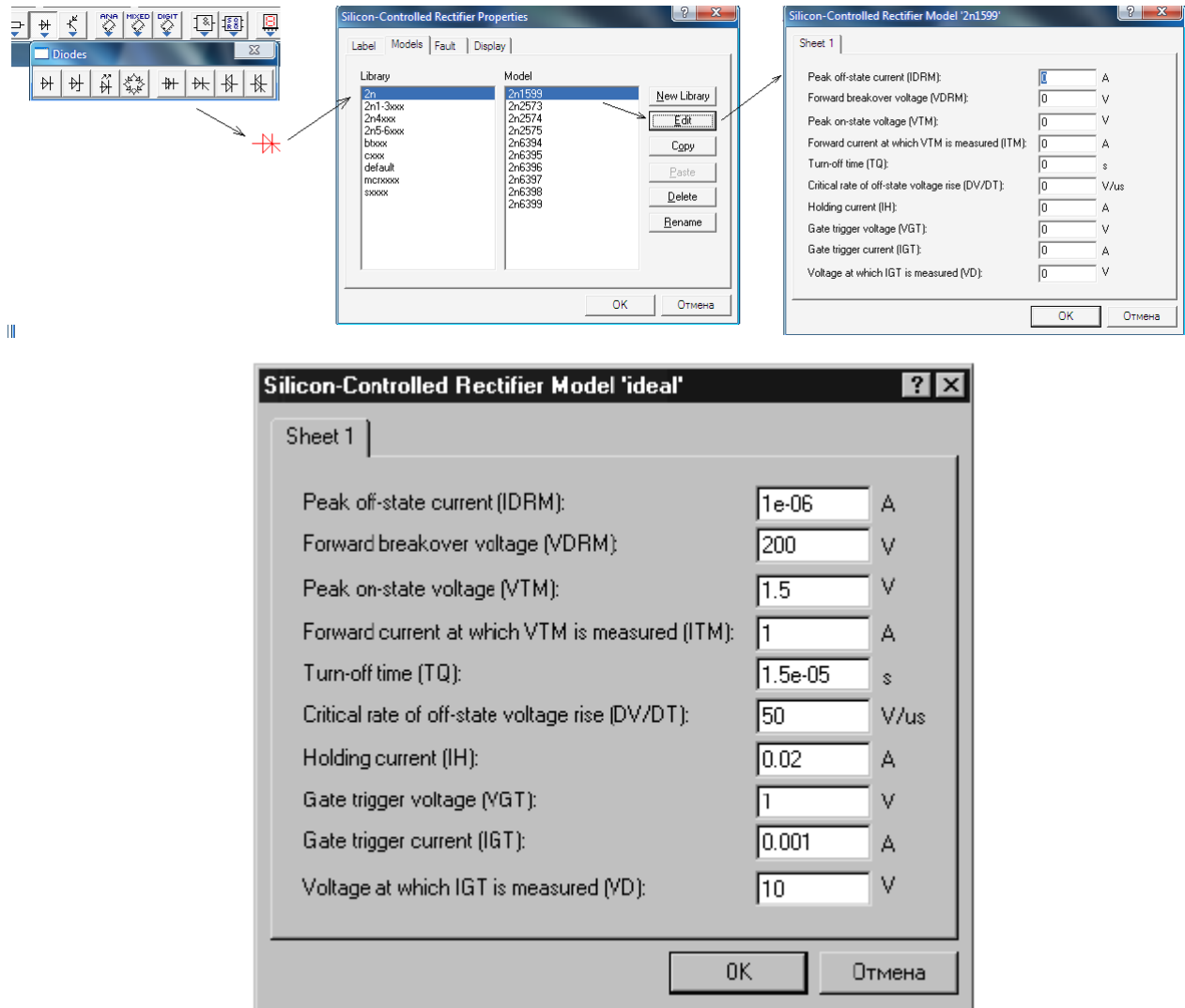


Рисунок 6.6 – Діалогове вікно установки параметрів триністора

6.3 Порядок виконання роботи

1. Запустіть програму Electronics Workbench.
2. Підготуйте новий файл для роботи.

Побудова прямої гілки ВАХ тиристора.

3. У новому файлі програми Electronics Workbench зберіть схему за рисунком 6.7.
4. Коли схема зібрана і готова до запуску, натисніть кнопку включення живлення на панелі інструментів. У разі серйозної помилки в схемі (коротке за-

микання елементу живлення, відсутність нульового потенціалу в схемі) буде видано попередження.

5. Вимірюйте значення напруги і струмів тиристора при значеннях ЕРС джерел, приведених в таблиці 6.1. У разі потреби можна користуватися кнопкою Pause. Отримані дані занесіть в таблицю 6.1.

6. За даними таблиці побудуйте пряму гілку вольтамперної характеристики тиристора.

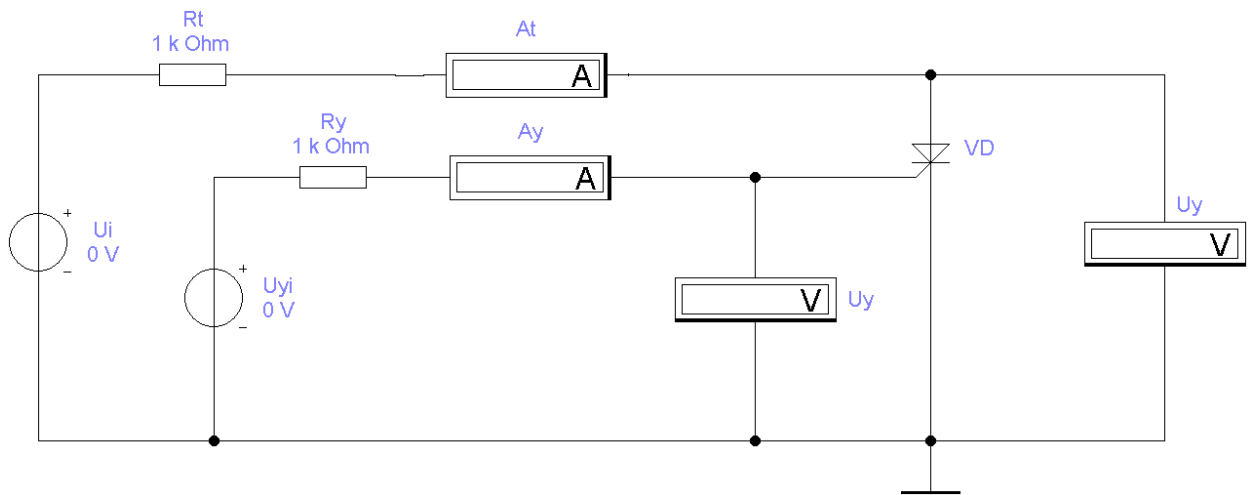


Рисунок 6.7 – Схема дослідження параметрів тиристора

Таблиця 6.1 – Данні для побудови ВАХ тиристора

		U _i , В												
		0	25	49	60	80	105	120	132	150	180	201	250	320
U _{y.i} =0,5 В	U _t , В													
	I _t , А													
	U _y , В													
	I _y , А													
U _{y.i} =1 В	U _t , В													
	I _t , А													
	U _y , В													
	I _y , А													
U _{y.i} =10 В	U _t , В													
	I _t , А													
	U _y , В													
	I _y , А													

7. Оцініть по вольтамперній характеристиці тиристора напругу включення приладу.

Побудова зворотної гілки ВАХ тиристора.

8. На схемі (рис. 6.7) змініте полярність джерела ЕРС U_i.

9. Виміряйте значення напруги і струмів тиристора при значеннях ЕРС джерел. Отримані дані занесіть в таблицю 6.2.

Таблиця 6.2 - Данні для побудови ВАХ тиристора

		U _i , В												
		0	25	49	60	80	105	120	132	150	180	201	250	320
U _{y.i=0,5 В}	U _t , В													
	I _t , А													
	U _y , В													
	I _y , А													

3. За даними таблиці побудуйте зворотню гілку вольтамперної характеристики тиристора.

4. Зробіть висновки відносно зробленої роботи.

6.5 Контрольні питання

1. Пояснити будову та принцип дії тиристора.
2. Який вигляд має вольт-амперна характеристика тиристора?
3. Пояснити дію керуючого електроду тиристора.
4. Що називають пусковою характеристикою тиристора? Як на її підставі побудувати ідеалізовану ВАХ тиристора?
5. Якими є практичні застосування тиристорів?

Література

1. Бойко В. І., Гуржій А. М., Жуйков В. Я. Основи схемотехніки електронних систем: підручник. Київ : Вища шк., 2004. 527 с.
2. Бойко В. І., Зорі А. А. Основи електронних систем : вступ до фаху. Донецьк : ДНТУ, 2002. 207 с.

Лабораторна робота № 7

Ключовий режим роботи транзисторів

Мета роботи – навчитись визначати та реалізувати ключові режими роботи біполярних і польових транзисторів.

7.1 Короткі теоретичні відомості

Ключі в основному призначені для замикання та розмикання електричних кіл, а також для переключення струму з одного кола в інше. Ключі бувають аналоговими та дискретними.

У транзисторному ключі біполярний транзистор працює в ключовому режимі, який складається з режиму насичення та режиму відсікання.

У режимі насичення транзистор повністю відкритий і пропускає колекторний струм, а в режимі відсікання транзистор повністю закритий і колекторний струм практично відсутній.

Таким чином, транзистор у схемі ключа відіграє роль металевих контактів: у відкритому стані він замикає коло “колектор-емітер”, а у закритому стані розриває його.

Транзисторний ключ (рис. 7.1) є подільником напруги E_{KE} , верхнім плечем якого є опір резистора навантаження R_K , а нижнім - транзистор VT.

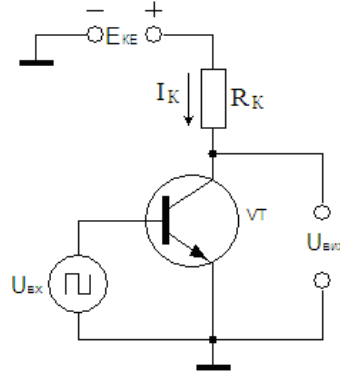


Рисунок 7.1 – Транзисторний ключ

Вихідна напруга ключа становить

$$U_{\text{вих}} = E_{KE} \frac{R_{VT}}{R_K + R_{VT}}, \quad (7.1)$$

де R_{VT} - опір ділянки колектор - емітер транзистора VT.

У відкритому стані транзистора VT його опір нехтовно малий: $R_{VT} \ll R_K$, через що з (7.1) одержуємо $U_{\text{вих}} \approx 0$.

У закритому стані транзистора VT його опір великий: $R_{VT} \gg R_K$, через що з (7.1) одержуємо $U_{\text{вих}} \approx E_{KE}$.

Вихідна напруга VT за законом Кірхгофа становить

$$U_{\text{вих}} = E_{KE} - I_K R_K. \quad (7.2)$$

В режимі насичення вихідна напруга $U_{\text{вих}}$ практично не залежить від амплітуди вхідного сигналу через те, що струм $I_{K\text{max}}$ не залежить від струму бази I_B . Дійсно, струми бази $I_B (S>1)$ та $I_B (S=1)$ створюють практично один і саме той струм колектора $I_{K\text{max}}$ (рис. 7.2).

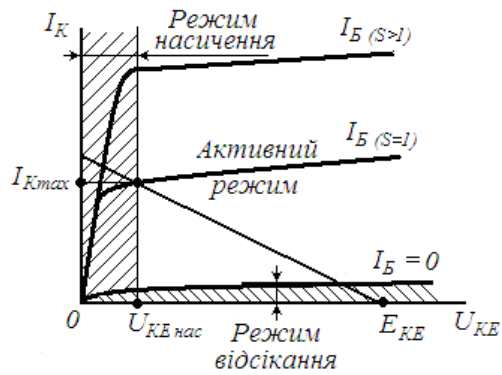


Рисунок 7.2 – Визначення коефіцієнта насичення

Ключі на польових транзисторах, як і на біполярних, призначені для обробки цифрових сигналів. Ключ на польовому транзисторі, як і на біполярному, є подільником напруги, у верхньому плечі якого опір навантаження R_C , а в нижньому - транзистор VT (рис. 7.3).

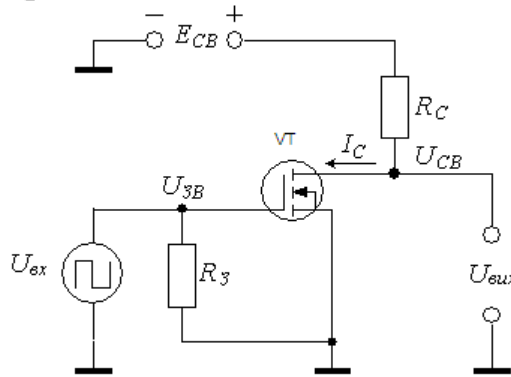


Рисунок 7.3 – Схема ключа на польовому транзисторі

Вихідна напруга за законом Кірхгофа становить

$$U_{\text{вих}} = E_{\text{CB}} - I_C R_C. \quad (7.3)$$

У ключовому режимі на польовому транзисторі, як і на біполярному, розсіюється нехтовно мала енергія $P_C = U_{\text{CB}} I_C$. Коли струм $I_{C\text{max}}$, то напруга стоку мінімальна U_{CBmin} . Коли ж напруга стоку максимальна, то струм стоку $I_C = 0$.

МОН-транзистор має бути з індукованим каналом. Це пояснює його ВАХ прямого передавання (рис. 7.4), з якої видно, що напруга затвору $U_{\text{ЗВ}}$ має поріг $U_{\text{пор}}$. Цей поріг забезпечує підвищену завадостійкість, так як напруга завади, яка менша за $U_{\text{пор}}$, не відкриває транзистор і не сприймається ключем.

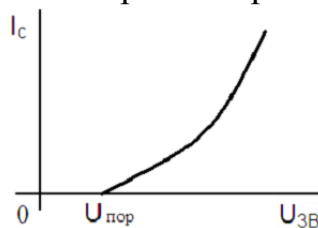


Рисунок 7.4 – ВАХ МОН-транзистора

7.2 Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему для дослідження режиму насичення біполярного транзистора (рис. 7.5). У запропонованій схемі застосувати транзистор 2N2222 (аналог КТ3117), який має коефіцієнт підсилення у схемі із загальним емітером $\beta = 100$. Вольт-амперні характеристики приведені на рисунках 7.6 - 7.7).

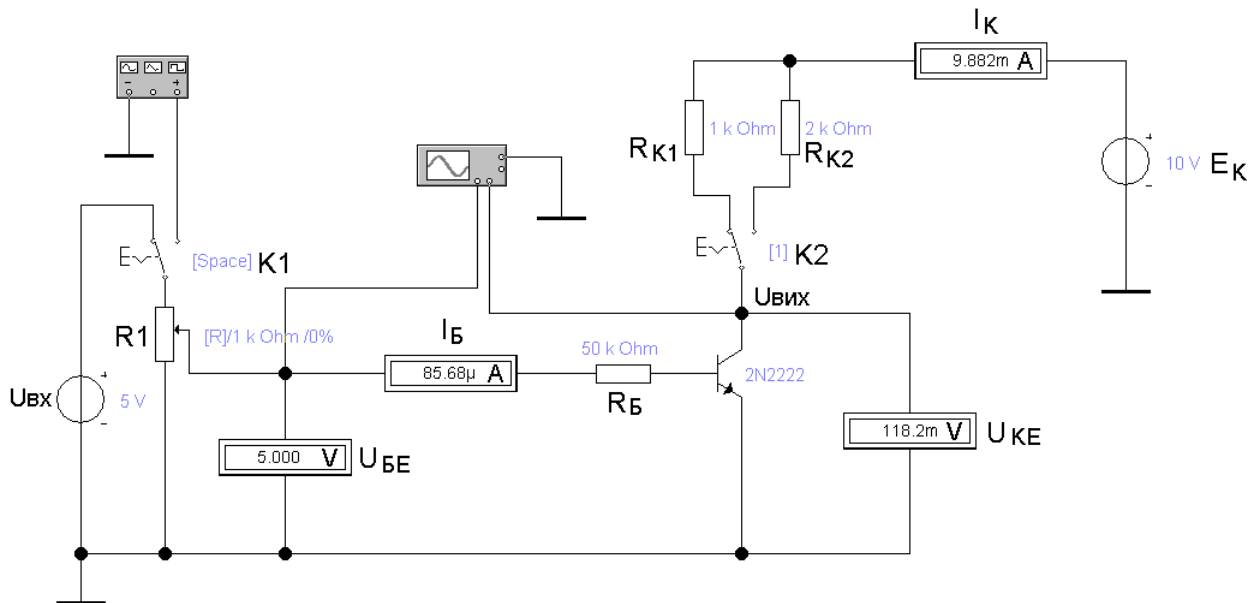


Рисунок 7.5 – Схема дослідження ключового режиму біполярного транзистора

2. Користуючись сімейством вольт-амперних характеристик біполярного транзистора (рис. 7.7), розрахувати мінімальне значення струму бази $I_{Бi}$, який забезпечує режим насичення при заданих колекторних опорах $R_{K1} = 1\text{k}\Omega$ і $R_{K2} = 2\text{k}\Omega$. Значення електрорушійної сили (ЕРС) джерела живлення $E_K = 10\text{В}$. Необхідні розрахункові формули:

$$I_K \approx \frac{E_K}{R_K}; \quad I_B = \frac{I_K}{\beta}; \quad U_{вх} = U_{БК} \approx (0,7 + I_B R_B).$$

3. За допомогою перемикача $K2$ (рис. 7.5) вмикати $R_{K1} = 1\text{k}\Omega$. Виставити опір $R1$ 0%. Поступово збільшуючи $U_{вх}$ (1...6 В) зафіксувати показники вимірювальних приладів.

Потім повторити те саме при $R_{K2} = 2\text{k}\Omega$ (табл. 7.1).

4. За результатами експериментів визначити струм бази $I_{Бi}$, як значення I_B , яке вже не відповідає умові $I_K = \beta \cdot I_B$, і визначити експериментально значення мінімальної вхідної напруги $U_{вх}$, яка забезпечує режим насичення транзистору. Порівняти значення $I_{Бi}$, отримані при розрахунках і експериментально. Визначити, як впливає величина R_K на значення $I_{Бi}$ і $U_{БЕi} = U_{вх}$.

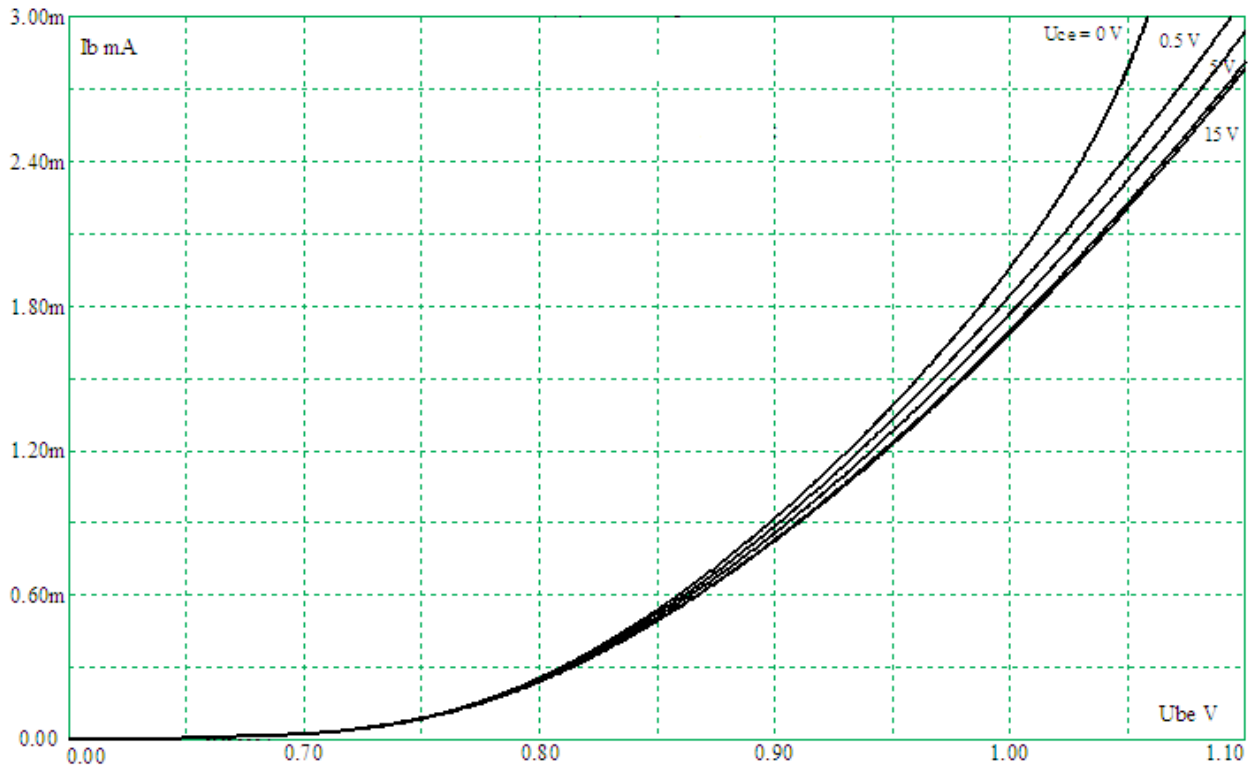


Рисунок 7.6 – Вхідна вольт-амперна характеристика транзистора 2N2222

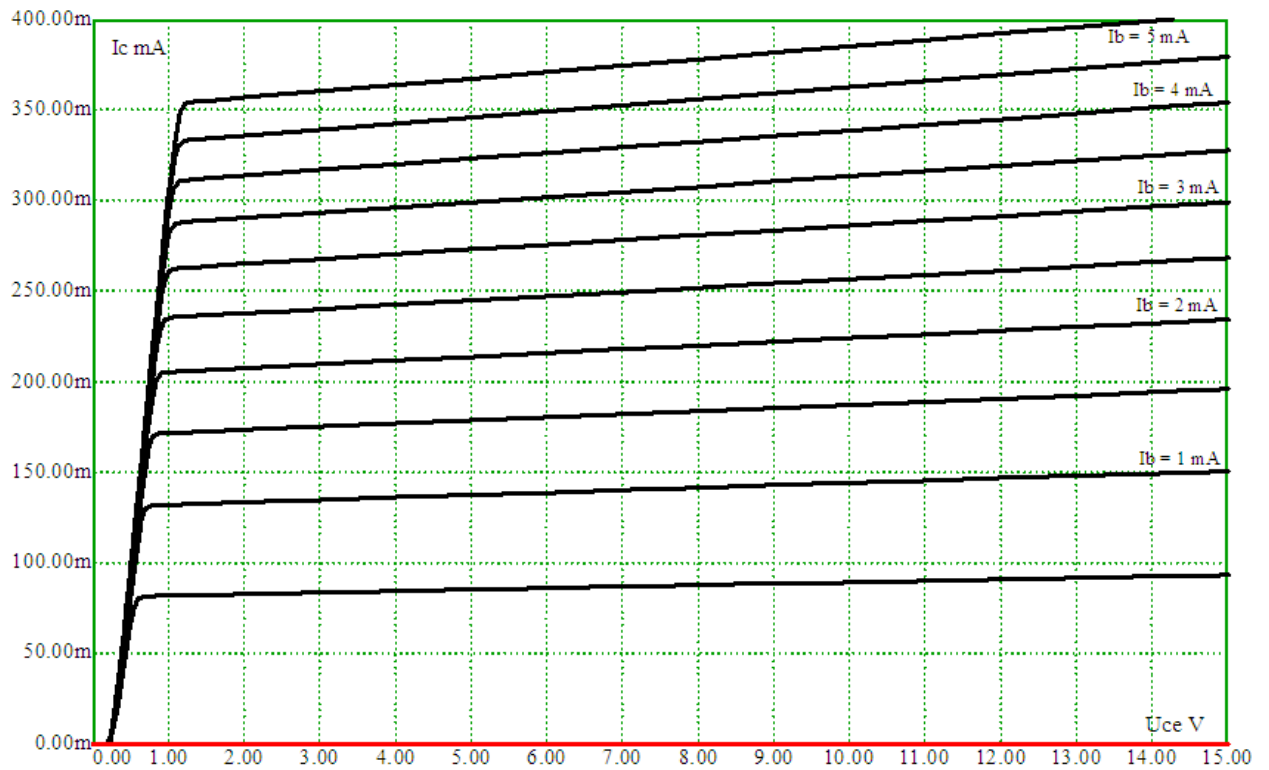


Рисунок 7.7 – Вихідна вольт-амперна характеристика транзистора 2N2222

Таблиця 7.1 – Показники вимірювальних приладів

$R_{K1} = 1\text{к}\Omega$	$U_{\text{ВХ}}, \text{В}$	1	2	3	4	5,4	5,5	6,6	6
	$I_{\text{Б}}, \mu\text{А}$								
	$I_{\text{К}}, \text{mA}$								
	$U_{\text{КЕ}}, \text{В}$								
$R_{K2} = 2\text{к}\Omega$	$U_{\text{ВХ}}, \text{В}$								
	$I_{\text{Б}}, \mu\text{А}$								
	$I_{\text{К}}, \text{mA}$								
	$U_{\text{КЕ}}, \text{В}$								

5. За допомогою перемикача $K1$ підключити до схеми генератор синусоїдальних імпульсів (рис. 7.5). $U_{\text{ВХ}}$ виставити 5В, перемикач $K2$ переключити на $R_{K1} = 1\text{к}\Omega$. Змінюючи резистором $R1$ (у межах 0...100%) рівень напруги вхідного сигналу $U_{\text{ВХ}}$ зняти на осцилографі діаграми $U_{\text{ВХ}} = f(U_{\text{ВИХ}})$ (рис. 7.8).

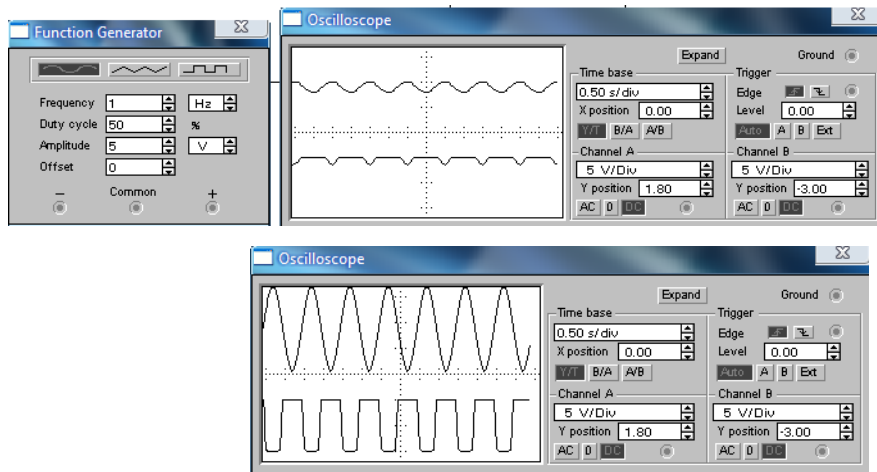


Рисунок 7.8 – Діаграми функціонування ключа на біполярному транзисторі

6. Дослідити спрацювання ключа у моменти перемикання і зафіксувати їх. Зробити відповідні висновки.

7. Зібрати схему для дослідження режиму насичення польового транзистора МОП-технології (рис. 7.9).

8. За допомогою перемикача $K1$ (рис. 7.9) вмикати $R_{K1} = 100\text{к}\Omega$. Поступово збільшуючи $U_{\text{вх}}$ (1...6 В) зафіксувати показники вимірювальних приладів.

Потім повторити те саме при $R_{K2} = 200\text{к}\Omega$ (табл. 7.2).

9. Пояснити відсутність струму I_3 в режимі насичення. Порівняти U_{CB} і E_{CB} для режиму насичення. Зробити відповідні висновки.

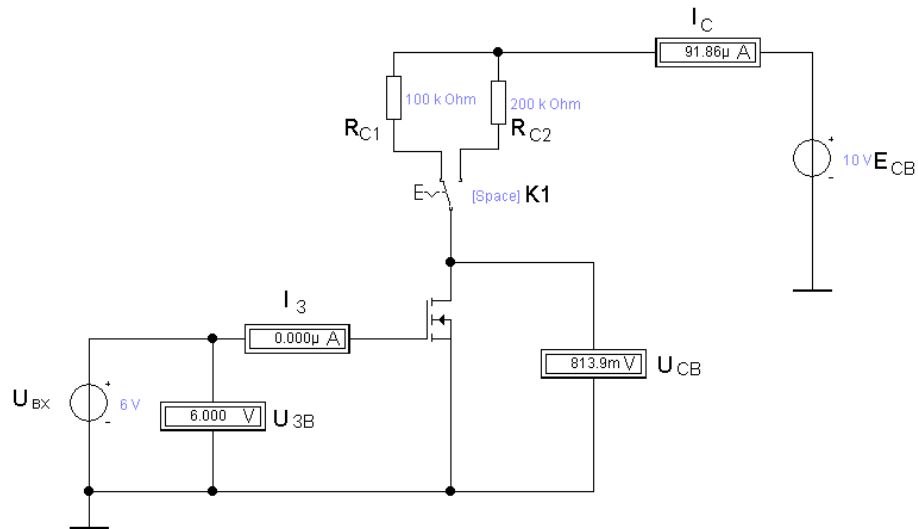


Рисунок 7.9 - Схема дослідження ключового режиму польового транзистора

Таблиця 7.2 – Показники вимірвальних приладів

$R_{K1} = 100 \text{ k}\Omega$	$U_{BX}, \text{ B}$	1	2	3	4	5,4	5,5	6,6	6
	$I_3, \mu\text{A}$								
	$I_C, \text{ mA}$								
	$U_{CB}, \text{ B}$								
$R_{K2} = 200 \text{ k}\Omega$	$U_{BX}, \text{ B}$								
	$I_3, \mu\text{A}$								
	$I_C, \text{ mA}$								
	$U_{CB}, \text{ B}$								

7.3 Контрольні питання

1. Як впливає колекторний опір інвертора на біполярних транзисторах на мінімальний рівень вхідного сигналу насичення, а також на навантажувальну здатність інвертора?
2. В якому інверторі значення вихідної напруги, що відповідає логічному рівню "0", є більшим – в інвертора на біполярному чи на польовому транзисторі?
3. Чому навантажувальна здатність інвертора на польовому транзисторі більша, ніж на біполярному?
4. Чому застосування динамічного опору стоку польового транзистора різко зменшує вихідну напругу?
5. Як впливає на навантажувальну здатність інверторів вхідний опір елементів навантаження?

Література

1. Бойко В. І., Гуржій А. М., Жуйков В. Я. Основи схемотехніки електронних систем: підручник. Київ : Вища шк., 2004. 527 с.
2. Бойко В. І., Зорі А. А. Основи електронних систем : вступ до фаху. Донецьк : ДНТУ, 2002. 207 с.

Лабораторна робота № 8

Дослідження схем включення світловипромінювальних діодів.

Мета роботи – вивчення класифікації, основних параметрів і характеристик світлодіодів; дослідження схем включення світлодіодів у вихідних каскадах оптоелектронних схем.

8.1 Короткі теоретичні відомості

Світлодіод - це діод, який перетворює електричну енергію на енергію некогерентного світлового випромінювання. Світлодіоди працюють як у діапазоні видимого світла, так і в інфрачервоному та ультрафіолетовому діапазонах.

Частота випромінювання ν кванта $h\nu$ пов'язана з шириною забороненої зони ΔW співвідношенням

$$\Delta W = h\nu, \quad (8.1)$$

де h - стала Планка.

Для випромінювання видимого світла ширина забороненої зони має становити $1,8 \text{ eV} < \Delta W < 3,2 \text{ eV}$. Такі властивості мають арсенід галію GaAs, фосфід галію GaP, карбід кремнію SiC та ін.

Умовне позначення та основні схеми включення світлодіода наведені на рисунку 8.1.

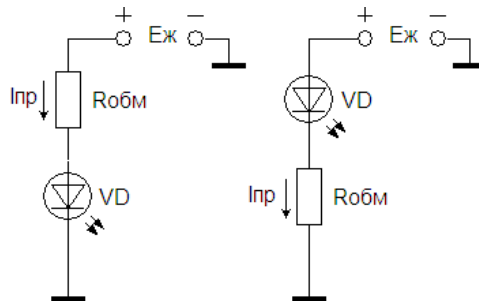


Рисунок 8.1 – Схеми включення світлодіода

Під прямим струмом $I_{пр}$ р-п перехід світлодіода збагачується електронами та дірками. При рекомбінації кожна пара “електрон-дірка” випромінює квант $h\nu$, тобто випромінює світло.

Резистор $R_{обм}$ необхідний для регулювання яскравості світіння і зберігає світлодіод від перегорання. Чим менше опір $R_{обм}$, тим більший прями́й струм $I_{пр}$, і тим яскравіше світіння.

Світлодіоди використовують для світлової сигналізації та індикації станів цифрових пристроїв.

Схемотехніка включення світлодіодів повинна задовольняти таким основним вимогам:

- максимальна потужність випромінювання світлодіода;
- глибина модуляції світлового потоку 100%;
- максимальна частота перемикань до 1 ГГц.

На рисунку 8.2 зображені варіанти включення світлодіодів. Схеми передбачають використання не форсованих режимів вмикання світлодіодів за струмом.

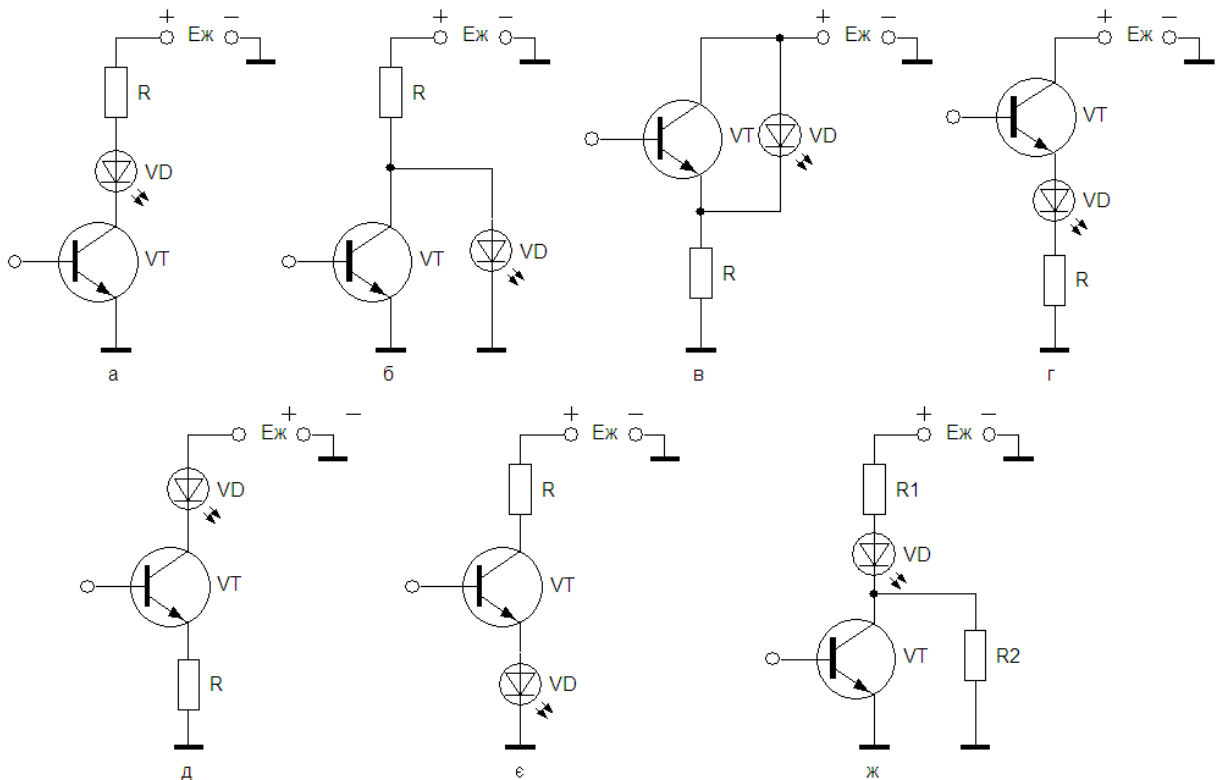


Рисунок 8.2 – Варіанти включення світлодіодів у вихідних каскадах оптоелектронних схем

Опір резистора R в схемах на рисунках 8.2 а,г,д,е вибирається відповідно до нерівності

$$R \geq \frac{E_{ж} - U_{КЕ.Н} - U_{VD}}{I_{VD}}, \quad (8.1)$$

де $E_{\text{жс}}$ – напруга живлення; $U_{KE.H}$ – напруга між колектором та емітером насиченого транзистора; U_{VD} – прямий спад напруги на світлодіоді; I_{VD} – прямий струм через світлодіод.

В схемах на рисунках 8.2 б,в опір резистора R повинен задовольняти двом нерівностям:

$$\begin{cases} R \geq \frac{E_{\text{жс}} - U_{VD}}{I_{VD}} \\ R > \frac{E_{\text{жс}} - U_{KE.H}}{I_{K.H}} \end{cases} \quad (8.2)$$

де $I_{K.H}$ – колекторний струм насиченого транзистора.

У схемі на рисунку 8.2 а існує зона нечутливості, яка призводить до затримки фронту. Цей недолік усувається резистором $R2$ в схемі на рисунку 8.2 ж, опір якого визначається, виходячи із заданого початкового струму світлодіода

$$I_{0VD} - R_2 = \frac{E - U_{0VD} - R_1 \cdot I_{0VD}}{I_{0VD}},$$

де U_{0VD} – напруга на світлодіоді при початковому струмі I_{0VD} .

Резистор $R1$ вибирають з умови (8.1). У цьому випадку ємність випромінювального діода підзаряджається, отже, зменшується час вмикання схеми. Крім того, після закриття транзистора, ємність світлодіода розряджається не через закритий транзистор, як у схемі на рисунку 8.2 а, а через резистор $R2$, який має значно менший опір. У результаті істотно зменшується час розряду ємності діода.

При необхідності мати на виході прямий і інверсний світлові потоки використовується схема, зображена на рисунку 8.3.

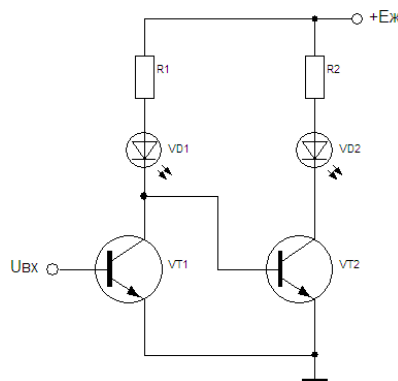


Рисунок 8.3 – Схема з прямим та інверсним оптичними виходами

При подачі на вхід схеми напруги високого рівня транзистор $VT1$ відкривається. Струм через резистор $R1$ збільшується, а потенціал колектора зменшується. Транзистор $VT2$ закривається, струм через $R2$ зменшується.

При виконанні умови

$$I_{VDнор} R1 + U_{VD1} = E - U_{KE},$$

де $I_{VDнор} \leq I_{VD1}$ граничне значення струму світлодіода $VD1$, світлодіод $VD1$ засвічується – збуджується прямий оптичний вихід. Світлодіод $VD2$ не світиться.

Якщо на вхід схеми подана напруга близька до нуля, транзистор $VT1$ закривається, струм через резистор $R1$ зменшується. У результаті потенціал колектора підвищується, транзистор $VT2$ відривається. Внаслідок цього світлодіод $VD1$ гаситься, а світлодіод $VD2$ засвічується. Оптичний сигнал з'являється на інверсному оптичному виході.

Значення опорів резисторів визначаються із системи рівнянь

$$\begin{cases} R1 \geq \frac{E - U_{VD1} - U_{KE.H}}{I_{VD1}} \\ R2 \geq \frac{E - U_{VD2} - U_{KE.H}}{I_{VD2}} \end{cases},$$

де U_{VD1}, U_{VD2} – напруги, при яких починає випромінювати відповідно перший та другий світлодіоди; $U_{KE.H}$ – напруга насичення транзисторів; I_{VD1}, I_{VD2} – струм відповідно першого і другого світлодіода.

8.2 Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему для дослідження варіанта схеми включення світлодіода у колекторне коло транзистора (рис. 8.4). У запропонованій схемі застосувати транзистор 2N2222.

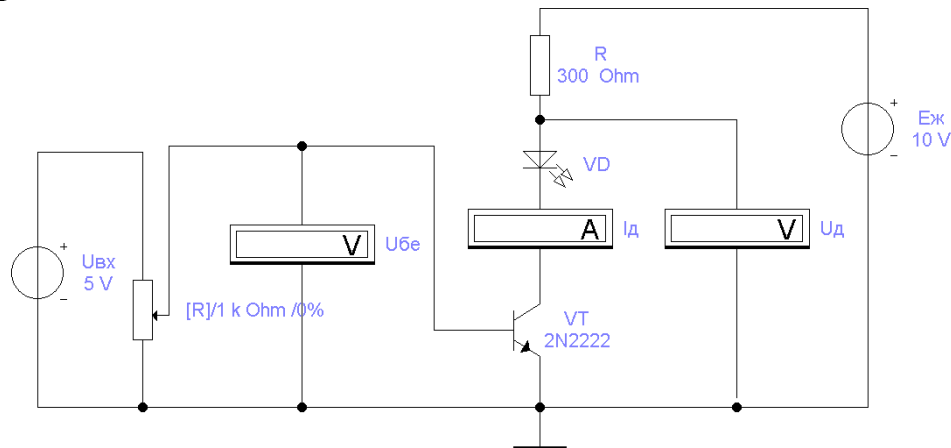


Рисунок 8.4 - Варіант схеми включення світлодіода у колекторне коло транзистора

2. Змінюючи вхідну напругу від 0 до 5 В зняти показання вимірювальних приладів і занести їх у таблицю.

U_{be} , В	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
I_d , мА											
U_d , В											

3. Побудувати графіки залежностей $I_d = f(U_{be})$ та $U_d = f(U_{be})$.

4. Зробити аналітичні висновки.

5. Зібрати схему для дослідження варіанта схеми включення світлодіода у коло паралельно транзистору (рис. 8.5). У запропонованій схемі застосувати транзистор 2N2222.

6. Змінюючи вхідну напругу від 0 до 5 В зняти показання вимірювальних приладів і занести їх у таблицю.

U_{be} , В	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
I_d , мА											
U_d , В											

7. Побудувати графіки залежностей $I_d = f(U_{be})$ та $U_d = f(U_{be})$.

8. Зробити аналітичні висновки.

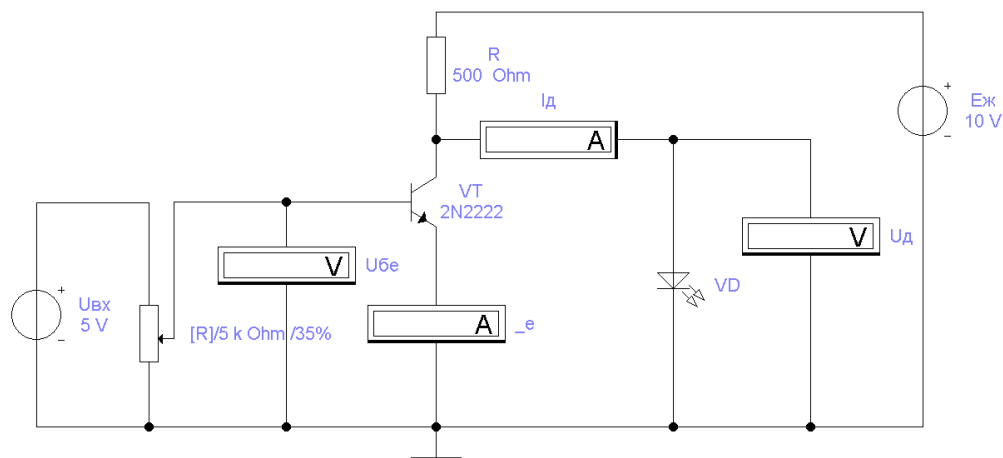


Рисунок 8.5 - Варіант схеми включення світлодіода у коло паралельно транзистору

9. Для дослідження зібрати схему з прямим та інверсним оптичними виходами (рис. 8.6). У запропонованій схемі застосувати транзистори 2N2222.

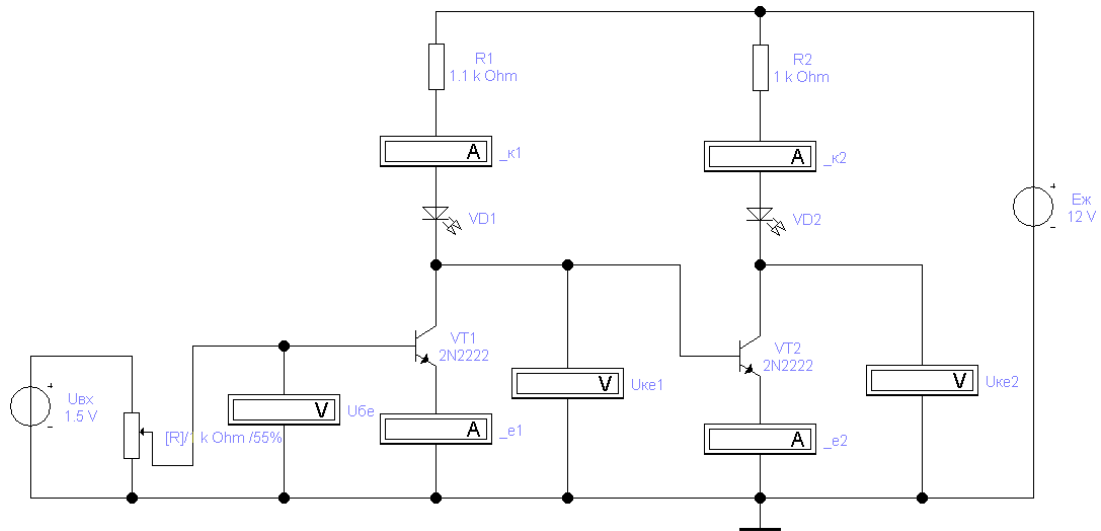


Рисунок 8.6 - Схема з прямим та інверсним оптичними виходами

10. Змінюючи вхідну напругу від 0 до 1,5 В зняти показання вимірювальних приладів і занести їх у таблицю.

U _{бе} , В	0	0,15	0,3	1,45	0,6	1,75	0,9	1,05	1,2	1,35	1,5
I _{д1} , мА											
U _{д1} , В											
I _{д2} , мА											
U _{д2} , В											

7. Побудувати графіки залежностей $I_{\partial 1} = f(U_{бе})$, $U_{\partial 1} = f(U_{бе})$,
 $I_{\partial 2} = f(U_{бе})$, $U_{\partial 2} = f(U_{бе})$.

8. Зробити аналітичні висновки.

8.3 Контрольні питання

1. Дати визначення і пояснити фізичні основи роботи світловипромінювальних діодів.
2. Дати визначення люмінесцентних матеріалів та назвати вимоги до них.
3. Пояснити поняття інжекції та рекомбінації носіїв електричного струму, тунельного струму.
4. Назвати основні параметри і характеристики СД.
5. Які оптоелектронні пристрої створені на основі СД?
7. Перелічити галузі застосування та назвати перспективи розвитку світлодіодної техніки.
8. Схеми включення світлодіодів.

Література

1. Бойко В. І., Гуржій А. М., Жуйков В. Я. Основи схемотехніки електронних систем: підручник. Київ : Вища шк., 2004. 527 с.
2. Бойко В. І., Зорі А. А. Основи електронних систем : вступ до фаху. Донецьк : ДНТУ, 2002. 207 с.

Лабораторна робота № 9

Дослідження включення оптоелектронних схем з фотоприймачами

Мета роботи – ознайомитись з принципом дії та різновидами фотоприймачів, набути практичних навичок у побудові схем, вимірюванні основних характеристик та розрахунку основних параметрів фотоприймачів резистивного, діодного та транзисторного типу.

9.1 Короткі теоретичні відомості

Фотоелектричними називаються напівпровідникові прилади, які призначені для перетворення променевої енергії в електричну. До фотоелектричних приладів належать фоторезистори, фотодіоди, фототранзистори та фототиристри.

Фоторезистор – це напівпровідниковий резистор, дія якого заснована на фоторезистивному ефекті.

При опроміненні фоторезистора фотонами в напівпровідниковому фоточутливому шарі виникає надлишкова концентрація носіїв заряду. Якщо до фоторезистора прикладена напруга, то через нього буде проходити додаткова складова струму – фотострум, обумовлений надлишковою концентрацією неосновних носіїв заряду.

Фоторезистори використовують для приймання світлових сигналів, інтенсивність яких може бути незмінною за часом (не модульований сигнал), або змінюватись за часом (модульований сигнал) (рис. 9.1).

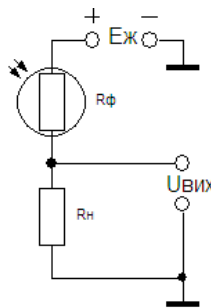


Рисунок 9.1 – Схема включення фоторезистора

9.2 Порядок виконання роботи

Дослідження оптоелектронних схем з фотоприймачами виконується на віртуальних лабораторних стендах у програмному забезпеченні Proteus.

1. Використання фоторезисторів для виявлення та реєстрації світлових сигналів.

1.1 Дослідити схему з послідовним з'єднанням фотоприймача та опору навантаження (рис. 9.2).

1.2 Зібрати експериментальний стенд. Розташувати на креслярському полі Proteus: джерело живлення (Компоненти: P → Miscellaneous (Різне) → BATTERY (9В)), земляну клему (ліва панель: Terminal → GROUND), змінний резистор (Компоненти: P → Resistors → Variable → POT HG), фоторезистор (P → Miscellaneous → TORCH LDR), резистори (Компоненти: P → Resistors → 0,6w Metal Film → MINRES 10k), вимірювальні прилади (ліва панель: Віртуальні інструменти → DC VOLTMETER, DC AMMETER). З'єднати компоненти у схему віртуального лабораторного стенда (рис. 9.3).

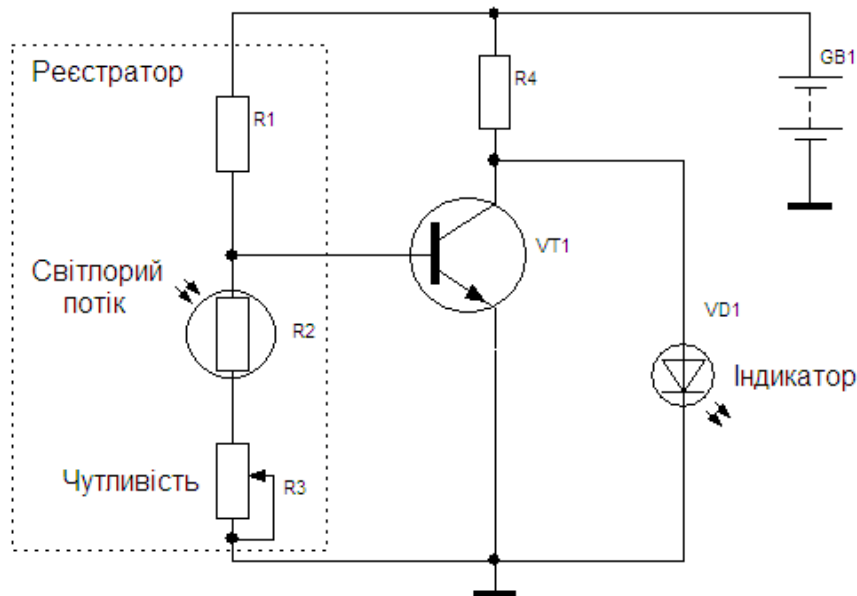


Рисунок 9.2 – Фоторезистивна схема реєстрації світлового сигналу

1.3 Збільшуючи освітленість фоторезистора (покроково), зняти показання вимірювальних приладів і занести їх у експериментальну таблицю 9.1.

1.4 Змінюючи опір змінного резистора (чутливість) та резистора R2 експериментально досягти оптимального результату чутливості схеми реєстрації світлових сигналів.

1.5 Зробити розгорнутий висновок.

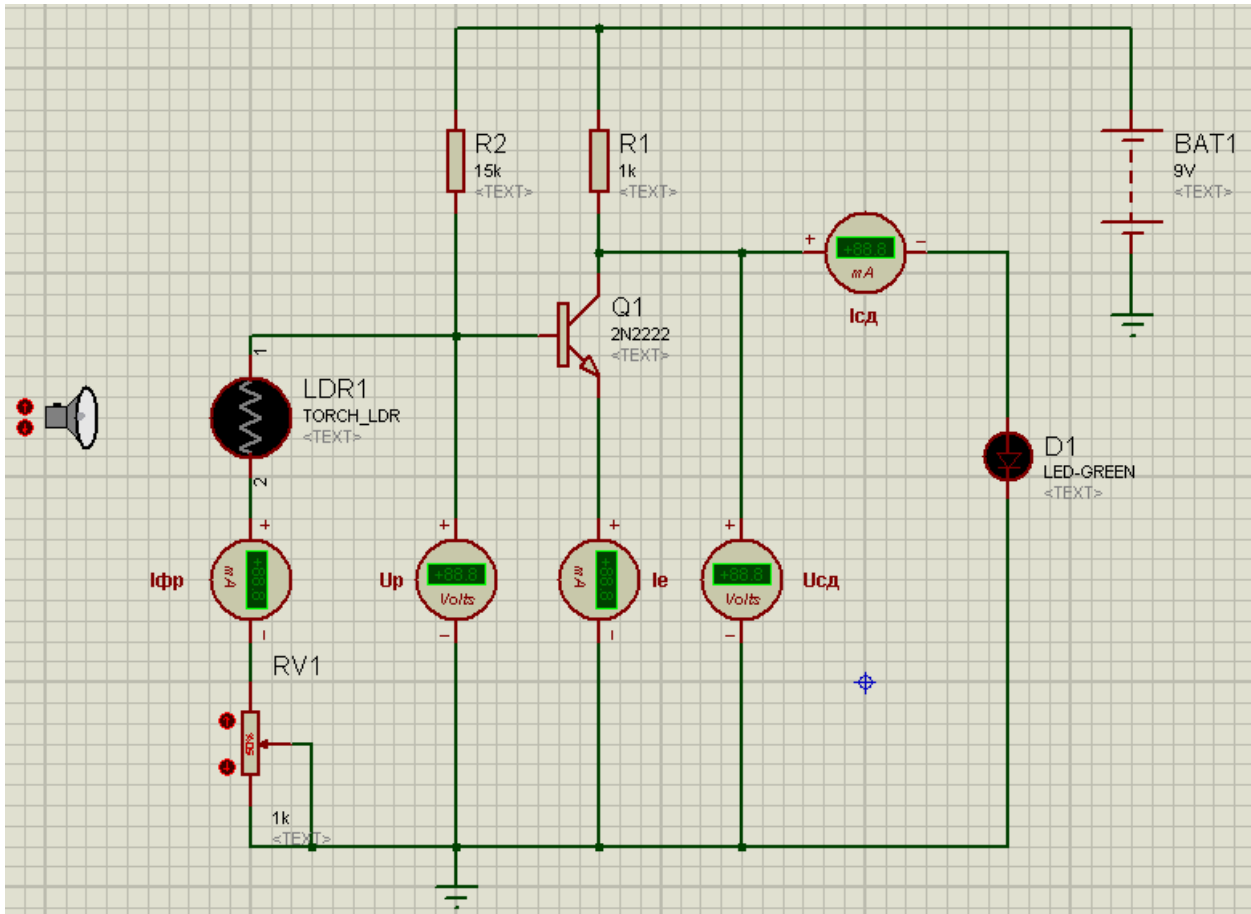


Рисунок 9.3 – Експериментальна схема для дослідження схеми з послідовним з’єднанням фотоприймача та опору навантаження

Таблиця 9.1 – Результати проведених вимірів на лабораторному стенді

Крок освітленості	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I _{фр}										
U _р										
I _{сд}										
U _{сд}										
I _е										

2. Використання схем на основі фотодіодів.

2.1 Дослідити схему включення фотодіода у ключовому режимі.

2.2 Розташувати на креслярському полі: джерело живлення постійного струму (ліва панель: Generator → DC → указати назву E_{св} та напругу 5В), джерело живлення змінного струму (ліва панель: Generator → Синусоїдальний → указати назву E_{св} та напругу 5В), перемикач (P → Switches & Relays → SW SPDT), земляну клему, змінний резистор (P → Resistors → Variable → POT HG), оптопару (P → Optoelectronics → Optocouplers → HCNR200), джерело жи-

влення постійного струму (ліва панель: Generator \rightarrow DC \rightarrow указати назву Ефд та напругу 12В), резистор 600 Ом, вимірювальні прилади. З'єднати компоненти у схему віртуального лабораторного стенда (рис. 9.4).

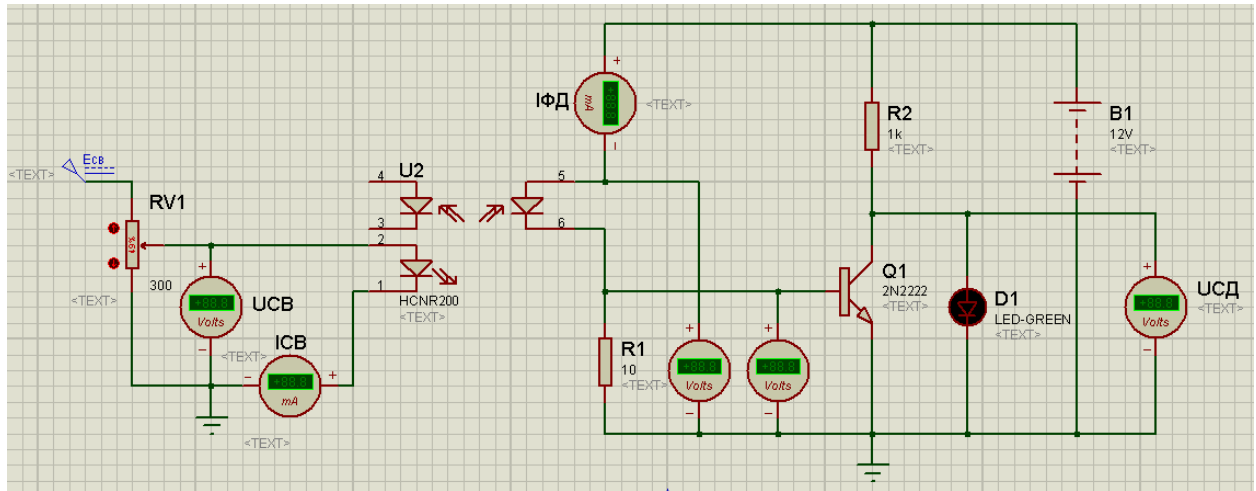


Рисунок 9.4 – Схема віртуального лабораторного стенда для зняття характеристик $U_{фд} = f(U_{св})$, $I_{фд} = f(I_{св})$

2) Зняти параметри передавальних характеристик схеми включення фотодіода у ключовому режимі (табл. 9.2).

Таблиця 9.2 – Результати проведених вимірів на лабораторному стенді

$I_{св}$									
$I_{фд}$									
$U_{св}$									
$U_{фд}$									

3) Побудувати графіки залежностей $U_{фд} = f(U_{св})$, $I_{фд} = f(I_{св})$.

5) Зробити аналітичні, розгорнуті висновки.

9.3 Контрольні питання

1. Дати визначення і пояснити фізичні основи роботи світловипромінювальних діодів.
2. Дати визначення люмінесцентних матеріалів та назвати вимоги до них.
3. Пояснити поняття інжекції та рекомбінації носіїв електричного струму, тунельного струму.
4. Назвати основні параметри і характеристики СД.
5. Які оптоелектронні пристрої створені на основі СД?
7. Схеми включення світлодіодів.

Література

1. Бойко В. І., Гуржій А. М., Жуйков В. Я. Основи схемотехніки електронних систем: підручник. Київ : Вища шк., 2004. 527 с.
2. Бойко В. І., Зорі А. А. Основи електронних систем : вступ до фаху. Донецьк : ДНТУ, 2002. 207 с.

Лабораторна робота № 10

Дослідження параметрів оптоелектронних пар.

Мета роботи – ознайомитись з принципом дії та різновидами оптопар, набутти практичних навичок у вимірюванні основних характеристик оптронів.

10.1 Короткі теоретичні відомості

Оптоелектронна пара (оптопара), яку ще називають оптронном - це напівпровідниковий прилад, який містить світловипромінювач та світлоприймач, які зв'язані через оптичне середовище, але розв'язані гальванічно.

Основним джерелом випромінювання, яке використовується в оптронах, є інфрачервоний світлодіод.

Як фотоприймач можуть бути використані фоторезистори, фотодіоди, фототранзистори, фототиристри. Відповідно до цього розрізняють резисторні, діодні, транзисторні та тиристорні оптрони. Саме фотоприймач є тим основним елементом оптопари, що визначається її схемотехнічним застосуванням (рис. 10.1).

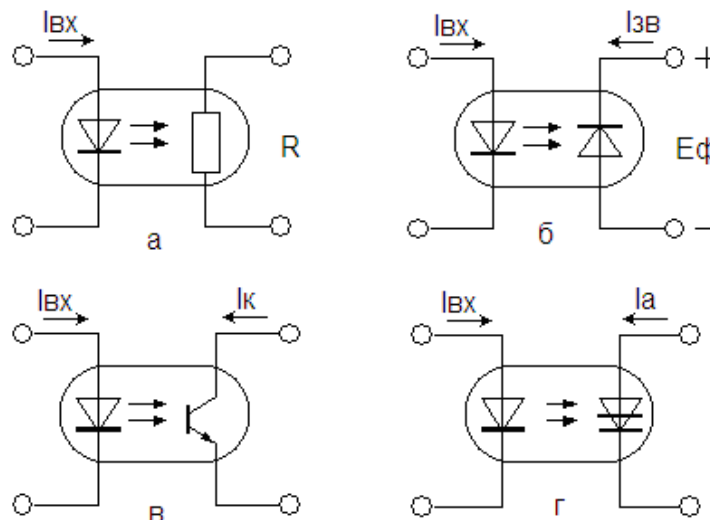


Рисунок 10.1 – Умовні позначення елементарних оптронів: а – резисторний, б – діодний, в – транзисторний з біполярним фототранзистором; г – тиристорний

Принцип дії оптопарі оснований на подвійному перетворенні енергії. У світловипромінювачі енергія вхідного електричного сигналу перетворюється в оптичне випромінювання, а у фотоприймачі, навпаки, оптичний сигнал викликає електричний струм або напругу. Таким чином оптопара являє собою прилад з електричними вхідними та вихідними сигналами, тобто зв'язок із зовнішньою схемою для оптопарі є електричним. Всередині оптопарі зв'язок входу з виходом здійснюється за допомогою оптичних сигналів.

Резисторні оптопарі (рис. 10.1 а) принципово відрізняються від усіх інших видів оптопар фізичними і конструктивно-технологічними особливостями, а також складом і значеннями параметрів. В основі принципу дії фоторезистора лежить ефект фотопровідності – зміни опору напівпровідника при освітленні.

Діодні оптопарі (рис. 10.1 б) у великій мірі, ніж будь-які: інші прилади, характеризують рівень оптронної техніки. За величиною коефіцієнта передачі можна судити про досягнуті ККД перетворення енергії в оптроні; значення часових параметрів дозволяють визначити граничні швидкості поширення інформації. Підключення до діодної оптопарі тих чи інших підсилювальних елементів, дуже корисне і зручне, не може проте дати виграшу ні з енергетики, ні за граничними частотами.

Транзисторні оптопарі (рис. 10.1 в) низкою своїх властивостей вигідно відрізняються від інших видів оптронів. Це перш за все схемотехнічна гнучкість, яка виявляється в тому, що колекторним струмом можна управляти як по колу світлодіода (оптично), так і по базовому колу (електрично), а також в тому, що вихідне коло може працювати і в лінійному, і в ключовому режимі. Механізм внутрішнього посилення забезпечує отримання великих значень коефіцієнта передачі струму, так що наступні підсилювальні каскади не завжди необхідні. Важливо, що при цьому інерційність оптопарі не дуже велика і для багатьох випадків цілком допустима. Вихідні струми фототранзисторів значно вище, ніж, наприклад, у фотодіодів, що робить їх придатними для комутації широкого кола електричних кіл.

Тиристорні оптопарі (рис. 10.1 г) найбільш перспективні для комутації сільноточних високовольтних кіл. Оптопарі типу АОУ103 призначені для використання в якості безконтактних ключових елементів в різних радіоелектронних схемах: в колах управління, підсилювачах потужності, формувачах імпульсів та інших.

В системі параметрів оптопар можна виділити чотири групи: вхідні параметри (електричні параметри випромінювача), вихідні параметри (електричні параметри фотоприймача), передатні параметри (параметри передачі сигналу з входу на вихід) та параметри ізоляції.

Передатні параметри характеризують ефективність передачі електричного сигналу з входу оптопарі на вихід. Ефективність передачі енергії сигналу опи-

сують коефіцієнтом передачі (зазвичай за струмом), а швидкість передачі сигналу – часовими параметрами.

Коефіцієнт передачі є основним параметром, який характеризує передачу електричного сигналу з входу оптопари на її вихід, і визначається відношенням вихідного струму оптопари $I_{\text{вих}}$ до її вхідного струму $I_{\text{вх}}$:

$$K_I = \frac{I_{\text{вих}}}{I_{\text{вх}}}.$$

Залежність $I_{\text{вих}} = f(I_{\text{вх}})$ називається передавальною функцією.

10.2 Порядок виконання роботи

Дослідження передавальних характеристик оптопар на віртуальному лабораторному стенді у програмному забезпеченні Proteus.

1. Розташувати на креслярському полі: джерело живлення постійного струму (ліва панель: Generator → DC → указати назву $E_{\text{св}}$ та напругу 5В), джерело живлення змінного струму (ліва панель: Generator → Синусоїдальний → указати назву $E_{\text{св}}$ та напругу 5В), перемикач (P → Switches & Relays → SW SPDT), земляну клему, змінний резистор (P → Resistors → Variable → POT HG), оптопару (P → Optoelectronics → Optocouplers → HCNR200), джерело живлення постійного струму (ліва панель: Generator → DC → указати назву $E_{\text{фд}}$ та напругу 12В), резистор 600 Ом, вимірювальні прилади. З'єднати компоненти у схему віртуального лабораторного стенда (рис. 10.2).

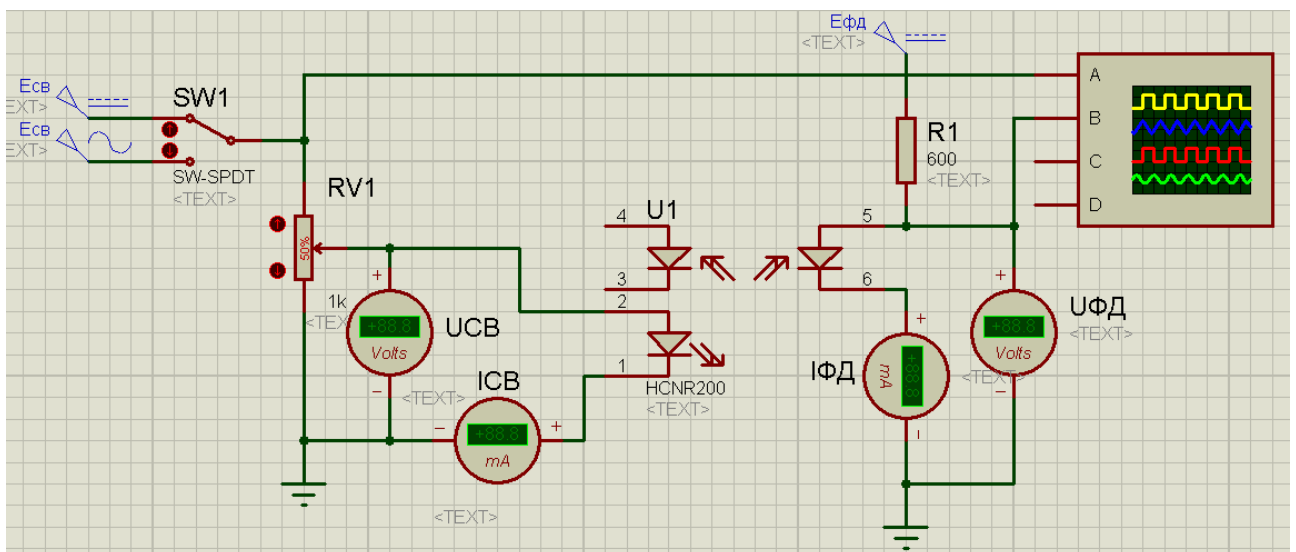


Рисунок 10.2 – Схема віртуального лабораторного стенда для зняття передавальних характеристик $U_{\text{фд}} = f(U_{\text{сд}})$, $I_{\text{фд}} = f(I_{\text{сд}})$

1.1 Зняти параметри передавальних характеристик (табл. 10.1).

Таблиця 10.1 – Результати проведених вимірів на лабораторному стенді

I _{сд}										
I _{фд}										
U _{сд}										
U _{фд}										

1.2 Побудувати графіки залежностей $U_{фд} = f(U_{сд})$, $I_{фд} = f(I_{сд})$.

1.3 Зняти осцилограми функціонування.

1.4 Зробити аналітичні, розгорнуті висновки.

2. Розташувати на креслярському полі: джерело живлення постійного струму (P → Simulator Primitives → BATTERY → указати назву +Еж та напругу 9В), земляну клему (ліва панель: TERMINALS → GROUND), джерело вхідного сигналу (ліва панель: Generator → DC → указати назву U_{вх} та напругу 5В), джерело живлення змінного струму (ліва панель: Generator → Синусоїдальний → указати назву Е_{св} та напругу 5В), перемикач (P → Switches & Relays → SW SPDT), змінний резистор (P → Resistors → Variable → POT HG (100R)), оптопару (P → Optoelectronics → Optocouplers → OPTOCOUPLER NPN), резистор (P → Resistors → 0,6w Metal Film → MINRES 300R), світлодіодний індикатор (P → Optoelectronics → LEDs → LED GREEN), вимірювальні прилади (ліва панель: Віртуальні інструменти → DC VOLTMETER, DC AMMETER) (рис. 10.3).

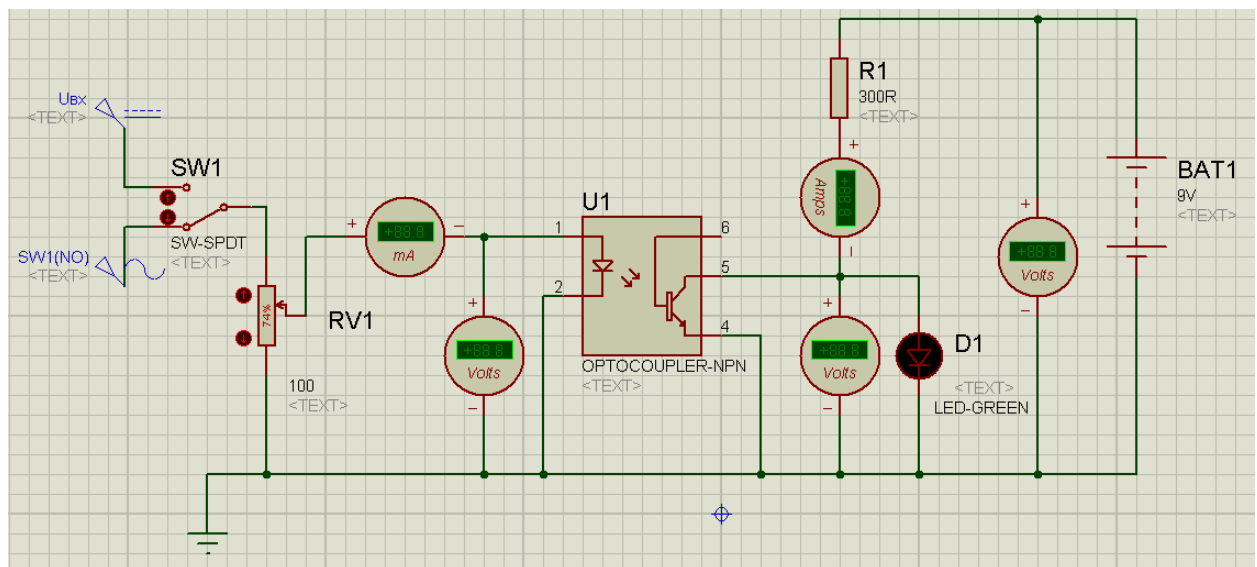


Рисунок 10.3 – Стенд для зняття передавальної характеристики

2.1 Зняти залежність параметрів вихідної напруги від параметрів вхідної напруги.

2.2 Занести отримані параметри у експериментальну таблицю 10.2.

Таблиця 10.2 – Результати проведених вимірів на лабораторному стенді

$U_{вх}, В$	$U_{вих}, В$

2.3 Зняти залежність параметрів вихідного струму від параметрів вихідного струму

2.4 Занести отримані параметри у експериментальну таблицю 10.3.

Таблиця 10.3 – Результати проведених вимірів на лабораторному стенді

$I_{вх}, В$	$I_{вих}, В$

2.5 Побудувати графіки залежностей $U_{вих} = f(U_{вх})$, $I_{вих} = f(I_{вх})$.

2.6 За результатами досліджень зробити аналітичні розгорнуті висновки.

10.3 Контрольні питання

1. Наведіть визначення оптрона.
2. Наведіть класифікацію оптронів.
3. Наведіть умовні позначення оптопар.
4. Назвіть вхідні параметри оптрона.
5. Назвіть вихідні параметри оптрона.
6. Назвіть передавальні параметри оптрона.
7. Назвіть параметри, які характеризують швидкодію оптрона.

Література

1. Бойко В. І., Гуржій А. М., Жуйков В. Я. Основи схемотехніки електронних систем: підручник. Київ : Вища шк., 2004. 527 с.
2. Бойко В. І., Зорі А. А. Основи електронних систем : вступ до фаху. Донецьк : ДНТУ, 2002. 207 с.

Дослідження схем включення оптоелектронних пар

Мета роботи – ознайомитись з принципом дії та різновидами оптопар, набути практичних навичок у вимірюванні основних характеристик та схемотехніки включення оптронів.

11.1 Короткі теоретичні відомості

Застосування оптоелектронних елементів – один із шляхів створення багатофункціональних однорідних обчислювальних середовищ, швидкодія яких була б - порядку $10^{-9} \dots 10^{-10}$ с. Для підтримання однорідності при побудові пристроїв керування різноманітних оптоелектронних операційних систем обробітки інформації необхідні оптоелектронні логічні схеми.

В оптоелектронних функціональних пристроях керування може здійснюватися як оптичними, так і електричними сигналами. Оскільки електричний сигнал може бути легко перетворений в оптичний за допомогою світлодіода, то оптоелектронні логічні елементи з електричним та оптичним керуванням будуть розрізнятися тільки входним колом: логічні вентиля з електричним керуванням будуть містити на вході світлодіод, оптично зв'язаний оптично керованим комутуючим елементом, наприклад з фототранзистором.

На рисунку 11.1 зображені оптоелектронні елементи, які дозволяють реалізувати основні логічні функції в оптоелектронних пристроях. Так, схема, наведена на рисунку 11.1 а, реалізує операцію логічного множення, а на рисунку 11.1б – операцію логічного додавання.

У першому випадку вихідна напруга $U_{\text{вих}}$ буде мати високий рівень, близький до напруги живлення E , тільки якщо обидва фототранзистори будуть увімкнені, коли потужність оптичного випромінювання на обох входах буде відрізнятися від нуля. У другому випадку вихідна напруга буде за рівнем близькою до E , якщо освітлюється хоча б один з фототранзисторів.

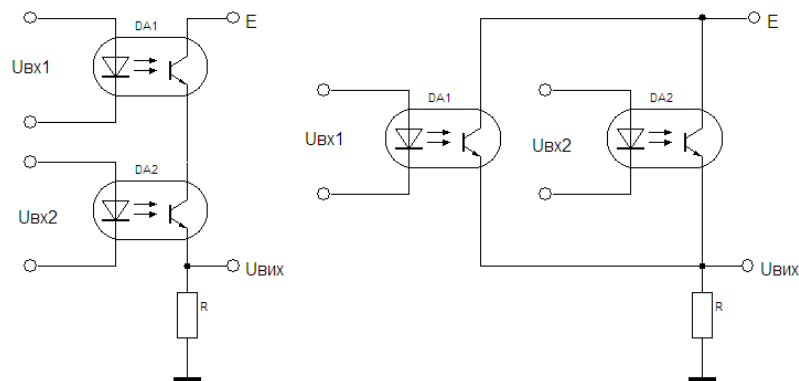


Рисунок 11.1 – Оптоелектронні логічні елементи

Оптоелектронні ключі можуть бути реалізовані елементами, зображеними на рисунку 11.2.

Схема на рисунку 11.2 а складається з двох каскадів. Перший каскад на транзисторному оптроні DA1 виконує функції повторювача – напруга на резисторі R1 має високий рівень при наявності вхідного оптичного сигналу і низький рівень при його відсутності.

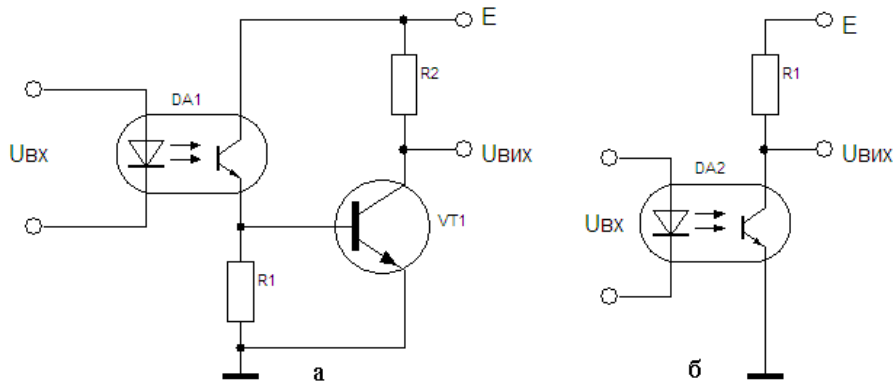


Рисунок 11.2 – Оптоелектронні ключі

Другий каскад – інвертуючий, зібраний на транзисторі VT1. При високому рівні напруги на базі транзистора VT1 (на резисторі R1), транзистор відкритий і вихідна напруга $U_{\text{ВИХ}}$ близька до нуля. Коли напруга на базі VT1 буде приблизно дорівнювати нулю, транзистор VT1 закритий і вихідна напруга за рівнем близька до E.

Для реалізації ключової схеми можна використовувати один інвертуючий каскад, зібраний на транзисторному оптроні DA2 (рис. 11.2 б).

11.2 Порядок виконання роботи

Дослідження схем логічних елементів виконується у програмному забезпеченні для схемотехнічного моделювання Proteus.

1. Для дослідження схеми логічного інвертора побудувати експериментальна модель лабораторного стенду (рис. 11.3).

1.1 За допомогою індикаторів D1...D3 та чотирьохканального осцилографу (перевірити функціонування схеми інвертора у режимах: з оптоелектронним управлінням (генератор 1, кнопка 1 ввімкнена, кнопка 2 вимкнена; з зовнішнім управлінням (генератор 2, кнопка 2 ввімкнена, кнопка 1 вимкнена). Зняти діаграми функціонування.

2. Для дослідження схеми елемента логічного множення побудувати експериментальну модель лабораторного стенду (рис. 11.4)

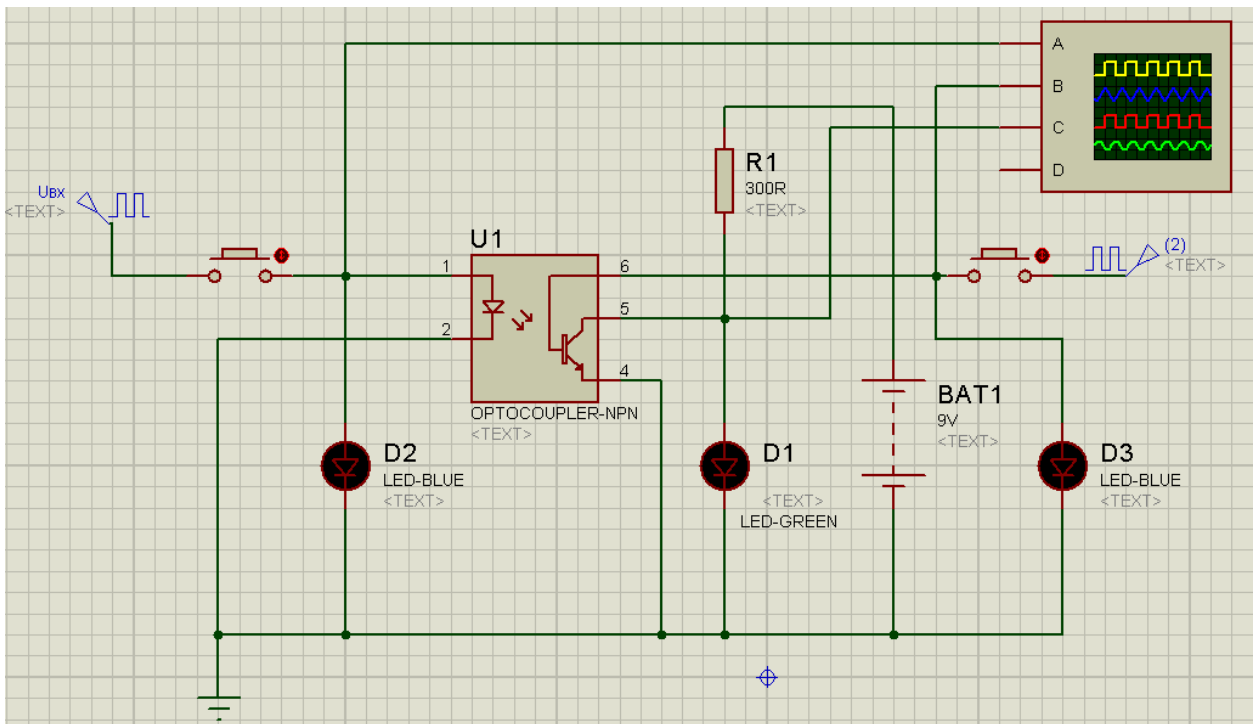


Рисунок 11.3 – Стенд для експериментальних досліджень логічного інвертора

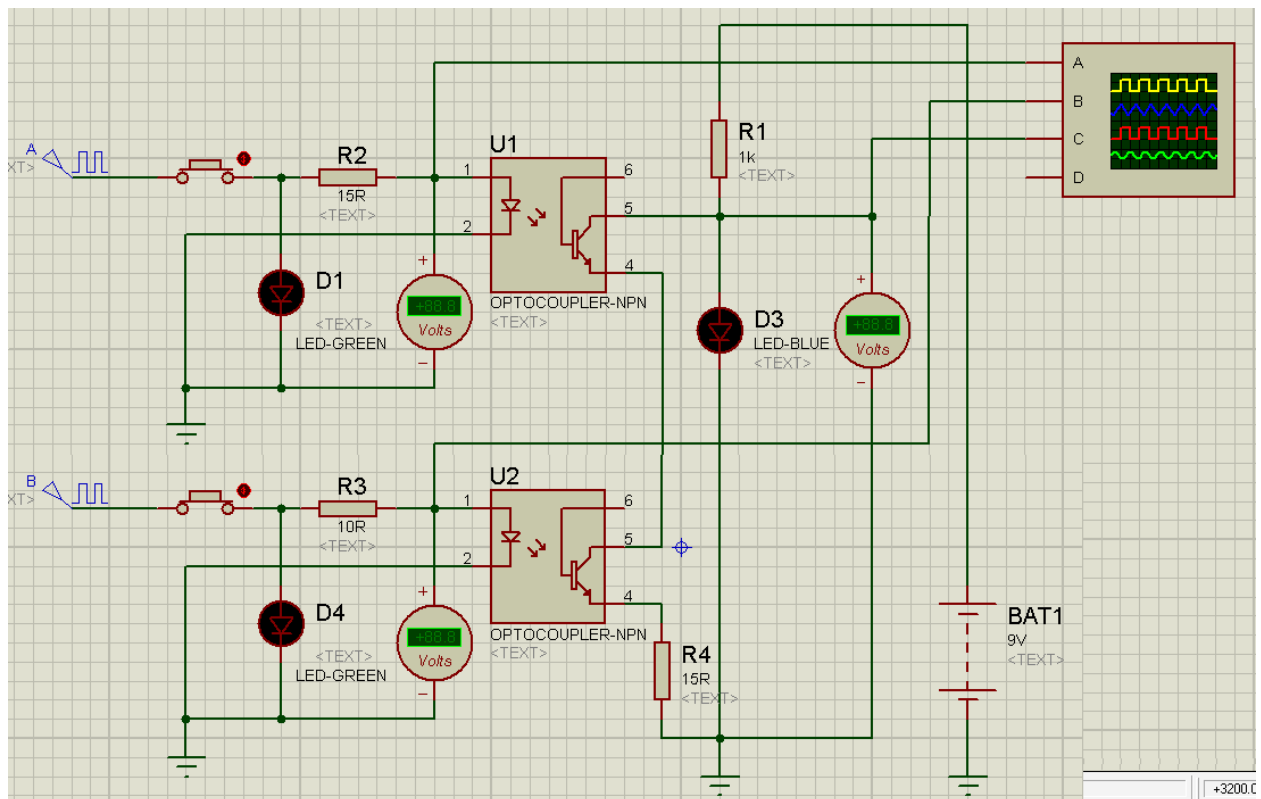


Рисунок 11.4 – Дослідження функціонування оптоелектронного елемента, який реалізує операцію логічного множення

2.1 Зняти діаграми функціонування та перевірити правильність виконання операції логічного множення згідно з таблицею істинності

A	B	$F = A \cdot B$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

3. Для дослідження схеми елемента логічного додавання побудувати експериментальну модель лабораторного стенда (рис. 11.5).

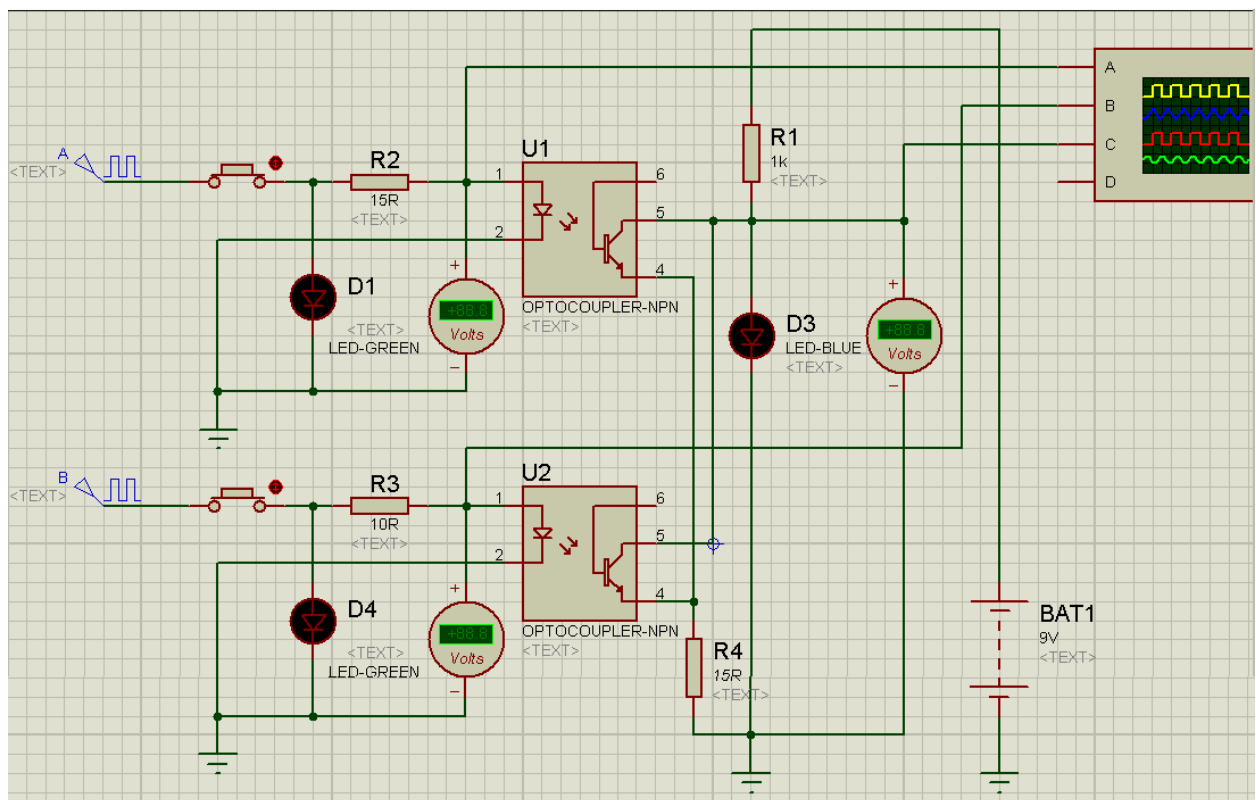


Рисунок 11.5 – Дослідження функціонування оптоелектронного елемента, який реалізує операцію логічного додавання

3.1 Зняти діаграми функціонування та перевірити правильність виконання операції логічного додавання згідно з таблицею істинності

A	B	$F = A + B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

4. За результатами досліджень зробити аналітичні розгорнуті висновки.

11.3 Контрольні питання

1. Охарактеризуйте оптопару як оптоелектронний прилад.
2. Наведіть можливу схему оптоелектронного елемента логічного інвертора.
3. Наведіть можливу схему оптоелектронного елемента логічного множення.
4. Наведіть можливу схему оптоелектронного елемента логічного додавання.

Література

1. Верьовкін Л.Л., Світанько М.В., Кісельов Є.М., Хрипко С.Л. Цифрова схемотехніка : підручник. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 214 с. ISBN 978-617-685-023-6.
2. Рябенський В.М., Жуйков В.Я., Гулий В.Д.. Цифрова схемотехніка: Навчальний посібник. Львів : "Новий Світ-2000", 2019. 736 с. ISBN 978-966-418-067-9.

Лабораторна робота № 12

Дослідження схем управління семисегментними індикаторами

Мета роботи – ознайомитись з принципами функціонування пристроїв відображення інформації та моделювання схем управління семисегментними індикаторами.

12.1 Короткі теоретичні відомості

Індикатори призначені для відображення інформації у сигнальному призначенні, у вигляді цифр, літер і різних символів, екранів, табло, панелей.

За способом передачі інформації:

- аналогові – передають інформацію яскравістю або відтінком кольору.
- дискретні – передають інформацію кількістю і сукупністю елементів.

Найбільшого поширення набули світлодіодні і рідкокристалічні індикатори завдяки низькій напрузі і слабким струмам в робочому режимі. Використання подібних індикаторних елементів полегшується завдяки наявності безлічі інтегральних драйверів.

Крім світлодіодів в електронних системах для візуального відображення інформації часто використовуються знаковисинтезуючі матриці, які називають цифровими індикаторами. Найпростішим прикладом цифрового індикатора є семисегментний індикатор. Він широко використовується для виводу цифрової інформації в пристроях різноманітного призначення, наприклад калькуляторах, електронних годинниках. Семисегментний індикатор представляє собою матрицю з семи світлодіодів прямокутної форми, розташованих таким чином, щоби їхнє засвічування в різних комбінаціях дозволяло відобразити будь, яку арабську цифру. Крім того сім вказаних сегментів часто доповнюють восьмим маленьким сегментом, призначеним для відображення десяткової коми. Розташувавши в ряд декілька таких індикаторів можна виводити десяткові числа з плаваючою комою.

На рисунку 12.1 представлено зовнішній вигляд семисегментного індикатора. Прийнято кожен його сегмент позначати літерою латинського алфавіту.

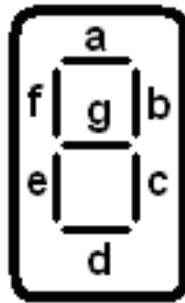


Рисунок 12.1 – Вигляд семисегментного світлодіодного індикатора

Конструктивно такі індикатори виконуються у вигляді окремого компонента, який має 7 сигнальних виводів. За внутрішньою схемою включення світлодіодів сегментів індикатори поділяються на індикатори зі загальним анодом та індикатори зі загальним катодом (рис. 12.2).

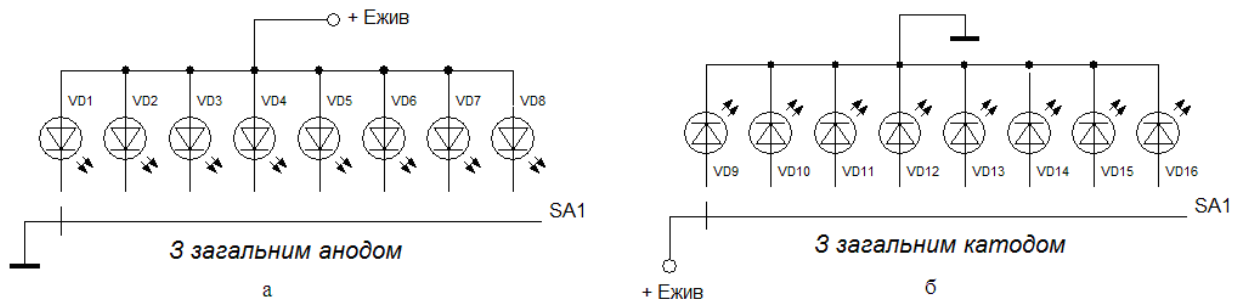


Рисунок 12.2 – Схема включення світлодіодів семисегментних індикаторів: а – з загальним анодом, б – з загальним катодом

При підключенні індикатора з загальним анодом на нього подається позитивний потенціал, а сигнали управління подаються на катоди, при чому низький

потенціал на катоді світлодіода сегмента призводить до його свічення, а високий – не свічення. Для підключення індикаторів з загальним катодом – на катод подається негативний потенціал, а на аноди – сигнали управління. Високий потенціал – призводить до свічення відповідного сегменту, а низький – не свічення. При підключенні семи сегментних світлодіодних індикаторів послідовно з кожним світлодіодом необхідно включити струмообмежуючий резистор.

Управління світлодіодами в індикаторах здійснюється за допомогою ключових схем. Існує матрична структура управління. Але вона не дозволяє одночасно включати всі рядки (розряди), якщо цифри (набори сегментів) відрізняються один від одного. Тому схема управління передбачає часове розділення включення кожного з рядків. За допомогою розгалужувача в кожен даний момент до джерела струму підключається лише один розряд індикатора. Одночасно на іншу координату матриці подають інформацію, яка підлягає відображенню, у вигляді якого-небудь коду.

12.2 Порядок виконання роботи

Мікросхема 7447РС являє собою перетворювач логічних сигналів з двійкового коду 8-4-2-1 в семисегментний (рис. 12.3). Мікросхема має виходи з відкритим колектором і підвищеною навантаженою здатністю. Призначення виводів представлено в таблиці 12.4. Схема знаходиться в працездатному стані, коли на виводі управління VI/RBO присутній високий рівень.

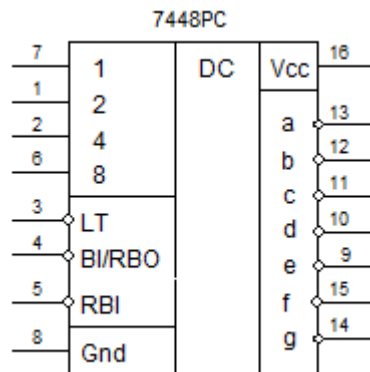


Рисунок 12.3 – Мікросхема 7447РС

1. Дослідити призначення та принцип функціонування мікросхеми 7447РС – перетворювача двійкового коду чисел в коди семисегментного індикатора (рис. 12.4).

2. Провести аналіз функціонування перетворювача в програмному забезпеченні Electronics Workbench (рис. 12.5).

2.1 Запрограмувати Word Generator згідно з рисунком 12.6.

Таблиця 12.1 – Призначення виводів мікросхеми 7447РС

№ вивода	Призначення
1	Вхід з ваговим значенням розряду (2)
2	Вхід з ваговим значенням розряду (4)
3	Вхід контролю індикатора (LT)
4	Вихід сигналу схеми послідовного погашення (BI/RBO)
5	Вхід сигналу схеми послідовного погашення (RBI)
6	Вхід з ваговим значенням розряду (8)
7	Вхід з ваговим значенням розряду (1)
8	Загальний (Gnd)
9	Вихід сегменту (e)
10	Вихід сегменту (d)
11	Вихід сегменту (c)
12	Вихід сегменту (b)
13	Вихід сегменту (a)
14	Вихід сегменту (g)
15	Вихід сегменту (f)
16	Напруга живлення (+Vcc)

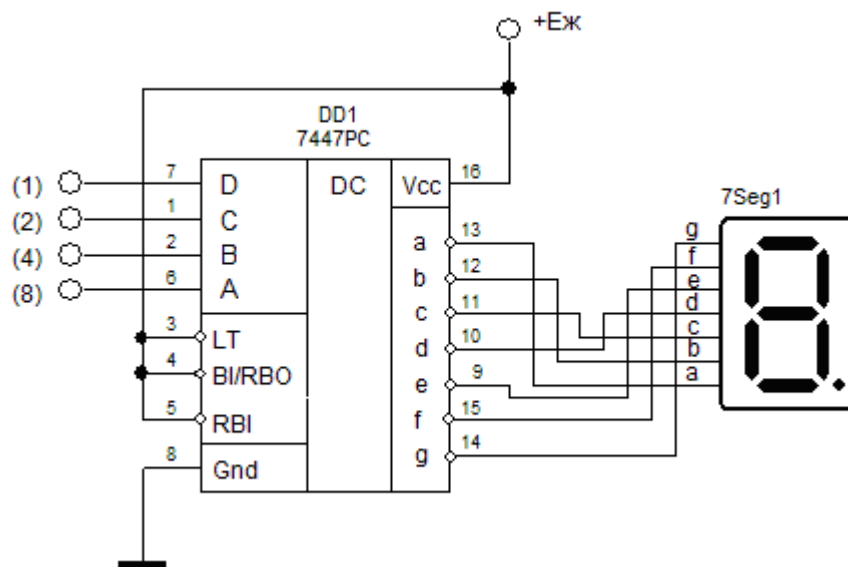


Рисунок 12.4 – Схема перетворення двійкового коду 8-4-2-1 в код семисегментного індикатора на мікросхемі 7447РС

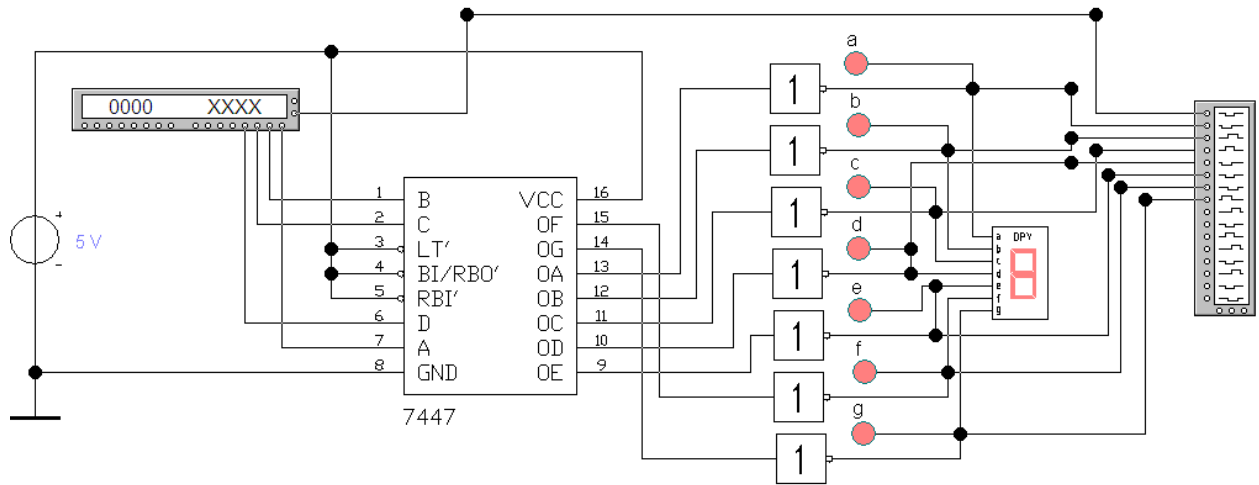


Рисунок 12.5 - Аналіз функціонування перетворювача двійкового коду 8-4-2-1 в код семисегментного індикатора

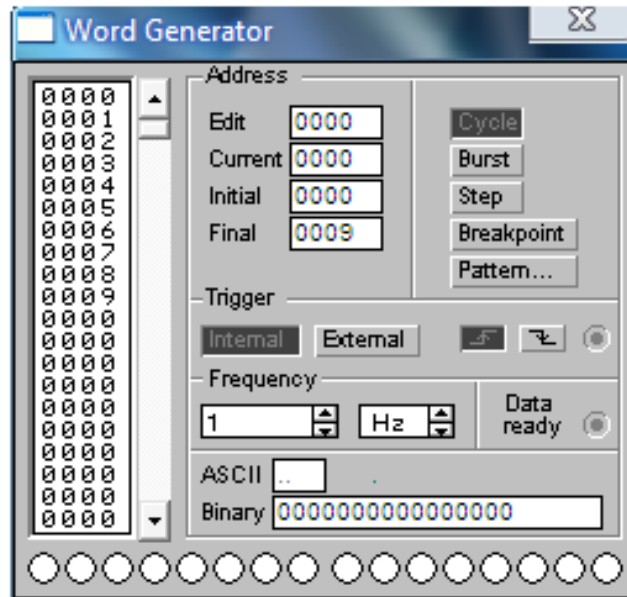


Рисунок 12.5 – Програмування Word Generator

2.2 Активний рівень сигналу на виходах мікросхеми 7447 логічний 0, так як схема з відкритим колектором. В програмному забезпеченні Electronics Workbench використовується семисегментний індикатор з загальним катодом, тому виходи мікросхеми (OA OB OC OD OE OF OG) необхідно інвертувати.

2.3 Провести аналіз функціонування схеми на відповідність таблиці функціонування (табл. 12.2), згідно з показаннями світлодіодних індикаторів сегментів a, b, c, d, e, f, g.

Таблиця 12.2 - Таблиця функціонування перетворювача двійкового коду в код управління семисегментними світлодіодними індикаторами

DEC цифра	Входи				Виходи						
	A	B	C	D	a	b	c	d	e	f	g
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
2	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1
3	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1
4	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1
5	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
6	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1
7	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
8	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
9	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1

2.4 Провести аналіз функціонування схеми за допомогою Logic Analyzer. Виконати установки:



Отримати діаграму функціонування (рис. 12.6)

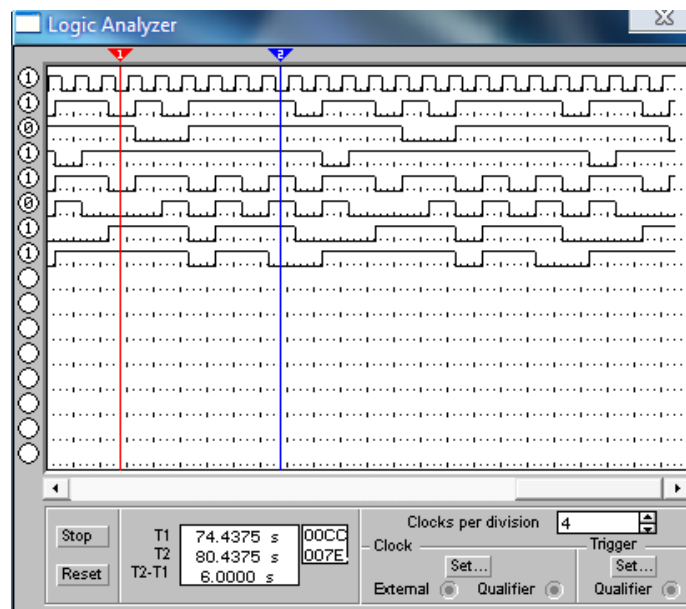


Рисунок 12.6 – Діаграма функціонування перетворювача двійкового коду в код управління семисегментними світлодіодними індикаторами

3. Зробити розгорнутий аналітичний висновок.

12.3 Контрольні питання

1. Поясніть роботу газорозрядного індикатора.
2. Поясніть роботу люмінесцентного індикатора.
3. Поясніть роботу напівпровідникового індикатора.
4. Поясніть роботу рідкокристалічного індикатора.

Література

1. Верьовкін Л.Л., Світанько М.В., Кісельов Є.М., Хрипко С.Л. Цифрова схемотехніка : підручник. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 214 с. ISBN 978-617-685-023-6.
2. Рябенський В.М., Жуйков В.Я., Гулий В.Д.. Цифрова схемотехніка: Навчальний посібник. Львів : "Новий Світ-2000", 2019. 736 с. ISBN 978-966-418-067-9.