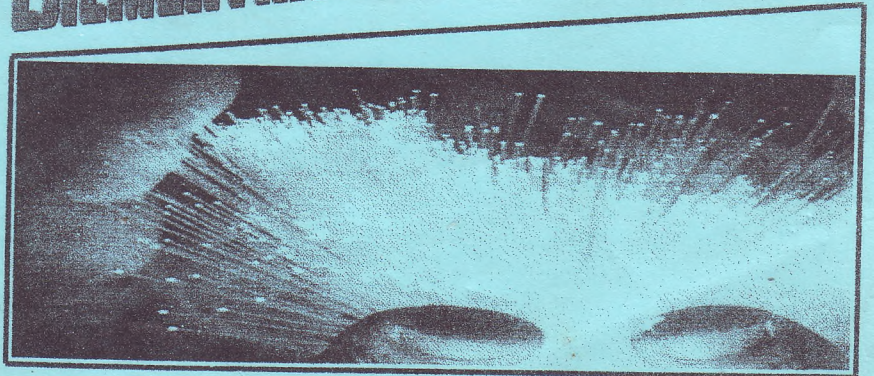


В. О. Пішенін
І. В. Коц
Н. В. Нікітіна

ЕЛЕКТРОНІКА І МІКРОПРОЦЕСОРНА ТЕХНІКА

Частина 1

ЕЛЕМЕНТНА БАЗА ЕЛЕКТРОНІКИ



Міністерство освіти і науки України
Вінницький державний технічний університет

В.О. Пішенін

І.В. Коц

Н.В. Нікітіна

ЕЛЕКТРОНІКА І МІКРОПРОЦЕСОРНА ТЕХНІКА

Частина 1

ЕЛЕМЕНТНА БАЗА ПРОМИСЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ

Затверджено Ученою радою Вінницького державного технічного університету як навчальний посібник для студентів денної та заочної форми навчання бакалаврського напрямку 6.0902 "Інженерна механіка" Протокол № 11 від липня 2001 р.

Вінниця ВДТУ 2001

Рецензенти:

П.С. Бернік, доктор технічних наук, професор

В.А. Гікавий, кандидат технічних наук, доцент

А. Я. Кулик, кандидат технічних наук, доцент

Рекомендовано до видання Ученою радою Вінницького державного технічного університету Міністерства освіти і науки України

Пішенін, В.О. Коц, І.В, Нікітіна Н.В.

Електроніка і мікропроцесорна техніка. Частина 1.

Елементна база промислової електроніки. Навчальний посібник. — Вінниця: ВДГУ, 2001. — 67 с.

У посібнику розглянуто питання вивчення конструкції, створення та розвитку елементної бази електроніки, що використовується в технологічному обладнанні машинобудівних галузей промисловості. Наведені основні параметри та характеристики електронних приладів на основі напівпровідникових структур та основи оптоелектронних пристроїв.

Посібник відповідає програмі дисципліни "Електроніка і мікропроцесорна техніка" для студентів машинобудівних спеціальностей і може бути використаний у вивченні дисциплін "Приводи верстатів та роботів" і "Приводи автоматизованого устаткування". Навчальний посібник може бути корисним, також, студентам будівельних спеціальностей у вивченні дисциплін з автоматизації технологічних процесів.

УДК 621.38(075.8)

© В. Пішенін, І. Коц, Н. Нікітіна, 2001

ВСТУП	4
1 ЕЛЕМЕНТНА БАЗА ЕЛЕКТРОНІКИ	6
1.1 Напівпровідники, структура р-п переходу	6
1.2 Різновиди напівпровідникових діодів	7
1.2.1 Випрямні діоди.....	8
1.2.2 Високочастотні та імпульсні діоди.....	9
1.2.3 Стабілітрони.....	11
1.2.4 Фотодіоди.....	12
1.2.5 Світлодіоди.....	12
1.2.6 Оптрони.....	12
1.3 Транзистори	14
1.3.1 Класифікація і будова біполярних транзисторів.....	14
1.3.2 Принцип дії біполярних транзисторів.....	15
1.3.3 Польові транзистори.....	20
1.4 Тиристори	29
1.4.1 Класифікація та позначення тиристорів.....	29
1.4.2 Робота та схеми під'єднання тиристорів.....	30
1.5 Інтегральні мікросхеми	35
1.5.1 Тенденції розвитку, основні визначення у мікроелектроніці та класифікація мікросхем.....	35
1.5.2 Технологія виготовлення напівпровідникових інтегральних мікросхем.....	37
1.5.3 Формування транзисторів в інтегральних мікросхемах.....	39
1.5.4 Формування діодів в інтегральних мікросхемах.....	40
1.5.5 Формування резисторів в інтегральних мікросхемах.....	40
1.5.6 Формування конденсаторів в інтегральних мікросхемах.....	41
1.5.7 З'єднання інтегральних елементів в мікросхемах.....	41
1.5.8 Технологія виготовлення гібридних інтегральних мікросхем.....	41
1.5.9 Конструктивне оформлення мікросхем.....	43
1.5.10 Аналогові (лінійні) інтегральні мікросхеми.....	44
1.5.11 Цифрові (логічні) інтегральні мікросхеми.....	45
1.6 Принципи та елементи оптоелектроніки	48
1.6.1 Особливості оптоелектроніки.....	49
1.6.2 Джерела (випромінювачі) світла.....	50
1.6.3 Електролюмінесцентні конденсатори.....	51
1.6.4 Світлодіоди.....	52
1.6.5 Лазери.....	55
1.6.6 Фотоприймачі.....	57
ЛІТЕРАТУРА	67

ВСТУП

Прогрес у всіх областях науки і техніки багато у чому обумовлений розвитком електроніки. Електроніка це наука, яка займається створенням та практичним використанням різноманітних пристроїв та приладів основаних на використанні змін концентрації і переміщенні заряджених частинок, в основному електронів, у вакуумі, газі або у твердих тілах.

Комплексна автоматизація виробничих процесів основана на застосуванні електронних пристроїв у мікромініатюрному виконанні. Такі пристрої мають високу чутливість, швидкодію, універсальність і малий об'єм.

Галузь електроніки, яка займається використанням різноманітних електронних схем у промисловості, називають промисловою електронікою. Загалом у промислову електроніку входять такі три складові:

— інформаційна електроніка, що складається із електронних пристроїв і систем контролю, вимірювання і керування виробничими процесами;

— енергетична електроніка, або ще як кажуть перетворювальна техніка, яка містить у собі перетворювачі електричного струму, наприклад для електроенергетики, електрифікованого транспорту, електроприводу, електротермічних установок тощо.

Сучасна промислова електроніка характеризується розробкою та використанням інтегральної елементної бази, де в одному кристалі напівпровідникового матеріалу (це здебільшого кремній та його окисли) створюється схема електронного пристрою, що складається із резисторів, конденсаторів, мініатюрних індуктивностей (котушок), провідників, напівпровідникових приладів (діоди, транзистори тощо).

Виготовлені таким чином інтегральні мікросхеми багато у чому вирішують задачі підвищення надійності роботи, зменшення споживаної потужності, зменшення габаритних розмірів, підвищення швидкодії, спрощення автоматизації технологічних процесів виробництва, зменшення вартості електронної апаратури і машин, в яких ця апаратура використовується. На основі технологій створення і виготовлення інтегральних схем для автоматизації технологічних процесів сучасною електронною промисловістю розробляються і виготовляються програмно керовані пристрої, які називають мікропроцесорами. Мікропроцесор — це пристрій, призначений для обробки цифрової інформації і керування процесом цієї обробки. Мікропроцесор конструктивно виконується у вигляді однієї або декількох схем з високим ступенем інтеграції електронних елементів (більше 30000).

Мікропроцесорна техніка та засоби електроніки настільки міцно увійшли до складу технологічного обладнання, що фахівці з машинобудування повинні мати знання в галузі електроніки та мікропроцесорної техніки. Ці знання інженеру-машинобудівнику допомагають грамотно поста-

вити задачу перед розробниками систем керування верстатами та іншим технологічним обладнанням, яке проектується.

Конструктор механічних систем технологічного обладнання повинен мати достатню ерудицію для спілкування з фахівцями у галузі електроніки для плідної співпраці у створенні прогресивної техніки та засобів реалізації високопродуктивних технологій. Тому студенту-механіку необхідно знайомство з базою мікропроцесорної техніки та промислової електроніки в цілому, знайомство з електронними пристроями, що використовуються у промисловій електроніці.

Автори висловлюють глибоку вдячність редактору видання Дружиніній Валентині Олександрівні за кропітку і наполегливу роботу під час підготовки рукопису до друку та доброзичливе ставлення до них.

Глибоку вдячність автори також висловлюють І. В. Пішеніну за дизайн титульної сторінки та оформлення рисунків.



1.1 Напівпровідники, структура p-n переходу

Широке використання напівпровідників в електроніці почалося після винаходу транзистора у 1948 році. У подальшому з'явилися й інші електронні прилади, які використовують електрофізичні властивості твердого тіла. Напівпровідникові матеріали мають тверду кристалічну структуру і за своїм питомим електричним опором ($\rho=10^{-3} \dots 10^{10} \text{ Ом}\cdot\text{см}$) займають проміжну область між провідниками електричного струму, з питомим опором $\rho=10^{-6} \dots 10^{-3} \text{ Ом}\cdot\text{см}$, та діелектриками ($\rho=10^{10} \dots 10^{15} \text{ Ом}\cdot\text{см}$).

Для виготовлення дискретних напівпровідникових приладів (а це діоди, транзистори, тиристори й інші) найбільше використовується германій, кремній та арсенід галію. До напівпровідників відносяться також селен, телур та деякі окисли, сульфіді і карбіді. Механізм електропровідності напівпровідників та діелектриків приблизно однаковий і якісно відрізняється від механізму електропровідності провідників. Так з підвищенням температури питомий опір провідників збільшується, а у напівпровідників та діелектриків — зменшується.

Внесення домішок в чистий метал створює сплав, який має більший питомий опір. Внесення домішок в напівпровідник, навпаки, зменшує його питомий опір. Суттєво зменшується питомий опір напівпровідників під дією зовнішнього електричного поля, під дією опромінення світлом, або іонізованими частинками, що нехарактерно для провідників електричного струму.

Напівпровідники мають два типи провідності. Це електронна провідність, яку названо n-провідністю, та діркова провідність, яка називається p-провідністю. В одному і тому ж зразку напівпровідника одна ділянка може бути з p-провідністю, а інша — з n-провідністю. Між такими частинами напівпровідника виникає проміжний шар (рисунок 1.1), через який проходить дифузія позитивних та негативних носіїв електричних зарядів. Такий шар називають p-n переходом. Зовнішня напруга, що прикладається до p-n переходу по обидва його боки змінює товщину граничного шару і цим змінює його електропровідність. Якщо позитивний полюс джерела напруги з'єднати з p-частиною напівпровідника, а негативний полюс з n-частиною (рисунок 1.2), то більшість носіїв електричних зарядів дифундує в проміжний шар, де вони рекомбінують і створюють більш сприятливі умови для проведення

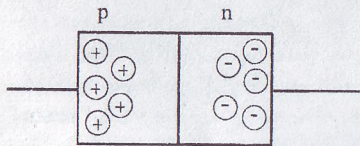


Рисунок 1.1 — Структура p-n переходу

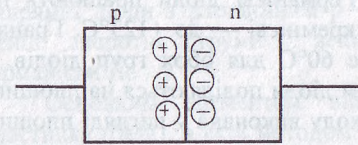


Рисунок 1.2 — Структура p-n переходу при протіканні прямого струму

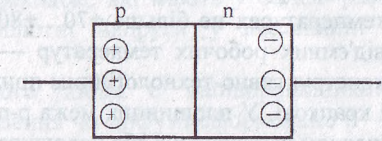


Рисунок 1.3 — Структура p-n переходу при протіканні зворотного струму

електричного струму. У такому випадку виникає відносно великий прямий струм.

Якщо ж напругу до p-n переходу прикласти в зворотному напрямку, тобто "плюс" до n-частини напівпровідника, а "мінус" до p-частини (рисунок 1.3), то носії електричних зарядів будуть відводитись від проміжного шару і на p-n переході буде відносно невеликий зворотний струм.

Напівпровідниковий прилад з p-n переходом називають діодом. При цьому p-шар напівпровідника діода називають емітером, а n-шар — базою. Діод характеризується так званою вольт-амперною характеристикою, загальний вигляд якої показано на рисунку 1.4.

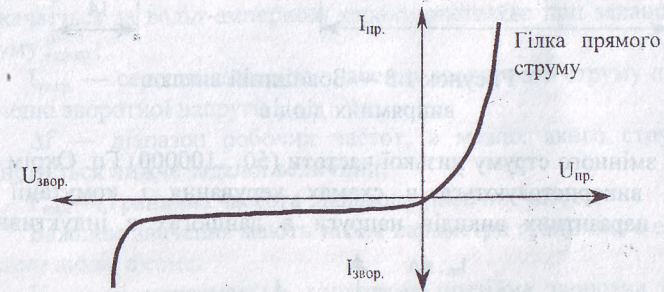


Рисунок 1.4 — Вольт-амперна характеристика діода

1.2 Різновиди напівпровідникових діодів

За своїм призначенням напівпровідникові діоди підрозділяються на випрямні (як різновид випрямних — силові), високочастотні та надвисокочастотні, імпульсні, опорні (стабілітрони), чотиришарові перемикачі, фото- та світлодіоди.

модуляторів та перетворювачів частоти. Зовні високочастотні діоди виглядають, як показано на рисунку 1.8. Вольт-амперна характеристика

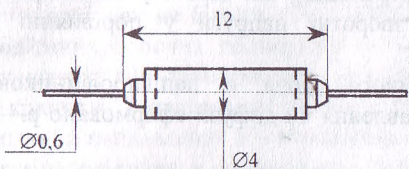


Рисунок 1.8 — Зовнішній вигляд високочастотних діодів

високочастотних діодів дещо відрізняється від відповідної характеристики випрямних і виглядає так, як показано на рисунку 1.9.

Пряма гілка вольт-амперної характеристики не відрізняється від відповідної гілки вольт-амперної характеристики

випрямного діода, а зворотна гілка рівномірно зростає та показує значно менші зворотні струми через те, що площа р-п переходу високочастотних діодів значно менша у порівнянні з випрямними діодами. Основним параметром високочастотних діодів є статична ємність C_d між зовнішніми

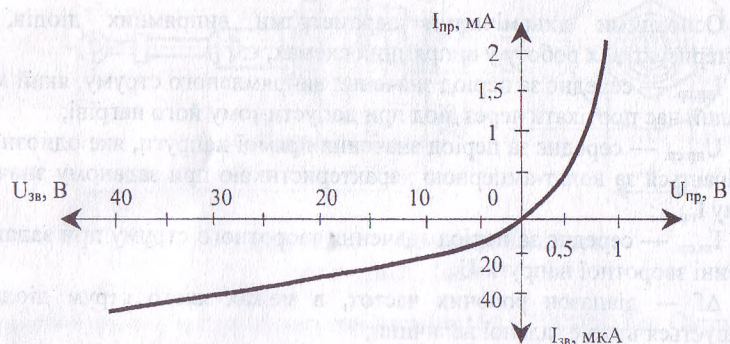


Рисунок 1.9 — Вольт-амперна характеристика високочастотних діодів

выводами. Чим менша величина C_d , тим ширше діапазон робочих частот діода.

Під час роботи в діапазоні підвищених частот проявляється інерційність діода, в основі якої лежать процеси накопичення заряду в областях р-п переходу. Інерційність діода а також наявність статичної ємності C_d призводить до того, що на дуже високих частотах амплітуди прямого і зворотного струмів стають близькими за значенням і діод втрачає властивість односторонньої провідності.

Імпульсні діоди є різновидом високочастотних діодів і призначені для використання в якості ключових елементів у швидкодійних

імпульсних схемах. Окрім високочастотних властивостей імпульсні діоди мають зведений до мінімуму час перехідних процесів вмикання і вимикання. Імпульсні діоди виробляються як точкові, так і площинні. Загальна конструкція і зовнішній вигляд імпульсних діодів а також їхня вольт-амперна характеристика практично такі ж, як у високочастотних.

Імпульсні діоди аналогічно випрямним характеризуються статичними параметрами $I_{пр.ср.}$ та $I_{звор.}$ (прямий середній та зворотний струми), а також параметрами граничного режиму $I_{пр.макс.}$ та $U_{звор.макс.}$ (прямий максимальний струм та максимальна зворотна напруга). Основними ж параметрами імпульсного діода є:

C_d — ємність між зовнішніми выводами діода у статичному режимі;

$T_{відн.}$ — час відновлення, тобто проміжок часу з моменту припинення прямого струму до моменту встановлення зворотного струму;

$I_{i\max}$ — імпульсна величина прямого струму, яка може значно перевищувати середній струм.

1.2.3 Стабілітрони.

Стабілітроном називають площинний напівпровідниковий діод, на вольт-амперній характеристиці (рисунку 1.9) якого є ділянка зі слабкою залежністю напруги від величини струму, що протікає через діод. Коли зворотна напруга перевищує деяке граничне значення $U_{звор. гр.}$, здійснюється лавинний пробій р-п переходу, під час якого зворотний струм різко зростає при майже незмінній зворотній напрузі. Це явище використовується в стабілітронах, нормальним під'єднанням якого є зворотне під'єднання (рисунку 1.10). Якщо зворотний струм через стабілітрон не перевищує деякого значення $I_{ст. макс.}$, то стан електричного пробую не призводить до псування стабілітрона. Незмінність рівня напруги на стабілітроні при зміні струму в широких межах дозволяє використовувати стабілітрони для підтримання напруги на навантаженні,

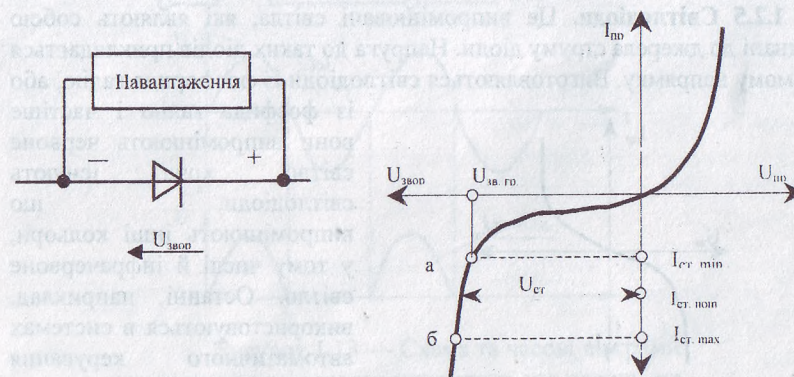


Рисунок 1.10 — Схема під'єднання та вольт-амперна характеристика стабілітрона

показано на рисунку 1.68. На цій діаграмі збільшення освітленості фототранзистора, що викликає пропорційне збільшення фотоструму, приводить

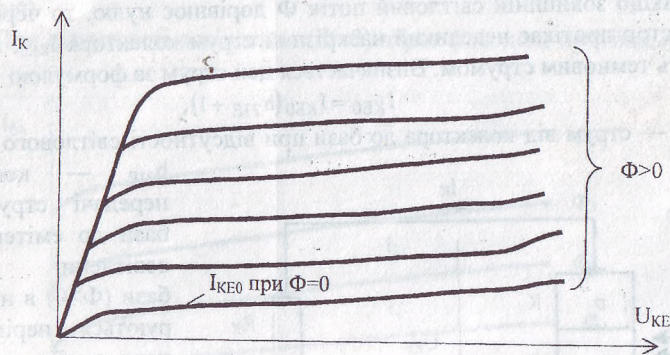


Рисунок 1.68 — Сімейство вольт-амперних характеристик фототранзистора

до зростання струму колектора у відповідності з рівнянням (1.7).

Інтегральна чутливість фототранзистора K_T в $(1+h_{21E})$ разів більша, ніж у фотодіода. Це пояснюється тим, що у фототранзисторі поряд з утворенням струму I_{Φ} здійснюється його підсилення в $(1+h_{21E})$ разів.

1.6.6.4 Фототиристри. Це приймачі з ключовою пороговою характеристикою і характеризуються здатністю перемикання значних за величиною струмів та напруг.

Вольт-амперна характеристика з відпиральною дією світлового потоку Φ показана на рисунку 1.69. Освітлення базової області тиристора,

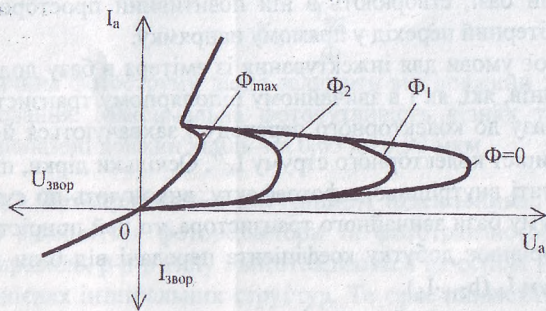


Рисунок 1.69 — Вольт-амперна характеристика фототранзистора з відпиральною дією світлового потоку

яке обумовлює генерацію надлишкових носіїв зарядів, приводить до пере-

микання чотиришарової напівпровідникової структури із запертого стану у відкритий стан так само, як це має місце при перемиканні керувальним струмом.

Завдяки наявності підсилювальних властивостей фототранзистори і фоторезистори є універсальними фотоприймачами для оптоелектронних приладів та систем. Фототранзистори широко використовуються при створенні ключових пристроїв з пам'яттю. Фототиристри використовуються у силовій оптоелектроніці при проектуванні безконтактних пристроїв керування випрямлячами, в системах контролю високовольтних ліній електропередач тощо.

ЛІТЕРАТУРА

1. Скаржепа В.А. и др. Электроника и микросхемотехника : Лабораторный практикум — К.: Выща шк., 1989.
2. Основы промышленной электроники. Руденко В.С., Сенько В.И., Трифонюк В.В. — К.: Выща шк., Головное изд.-во, 1985 — 400 с.
3. Токхейм Р. Основы цифровой электроники: Пер. с англ. — М.: Мир, 1988 — 392 с. ил.
4. Микроэлектронные устройства автоматики: Учеб. Пособие для вузов / А.А. Сазонов, А.Ю. Лукичев, В.Т. Николаев и др.; Под ред. А.А. Сазонов — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 384 с.: ил.
5. Королёв Г.В. Электронные устройства автоматики: Учеб. пособие. — 2-е изд., пераб. и доп. М.: Высш. шк. — 1991. — 256 с., ил.
6. Электронные промышленные устройства: Учеб. для студ. вузов спец. "Пром. электрон" / В.И. Васильев, Ю.М. Гусев, В.М. Миронов и др. — М.: Высш. шк., — 1988. — 303 с.: ил.
7. Руденко В.С. та ін. Промислова електроніка: Підручник / В.С. Руденко, В.Я. Ромашко, В.В. Трифонюк. — К.: Либідь, 1993. — 432 с. іл.

Навчальне видання

Пішенін В. О. Коц І. В. Нікітіна Н. В.

ЕЛЕКТРОНІКА І МІКРОПРОЦЕСОРНА ТЕХНІКА

Частина 1

ЕЛЕМЕНТНА БАЗА ПРОМИСЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ

Навчальний посібник

Оригінал-макет підготовлено авторами
Дизайн титульної сторінки — І.В. Пішенін

Редактор В. О. Дружиніна

Підписано до друку 31.10.2004р.

Формат 29,7×42¹/₄ Гарнітура Times New Roman

Друк різнографічний Ум. друк. арк. 443

Тираж 75 прим.

Зам. № 2001- 207

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького державного технічного університету
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВДТУ, ГНК, 9-й поверх
Тел. (0432) 44-01-59