

Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра металорізальних верстатів та обладнання автоматизованих вироб-
ництв

ЗАТВЕРДЖУЮ
Декан ФМТ
_____ Ю.А. Буренніков
Протокол засідання
Вченої ради ФМТ
№ ___ від _____ 20__ р.

Манжілевський О.Д.

Опорний конспект лекцій
з дисципліни «Мікропроцесорна техніка»
(електронний варіант)

для студентів напрямку підготовки: 6.050503 – «Машинобудування»

Розглянуто та схвалено
методичною комісією ФМТ
Протокол засідання
№ ___ від _____ 20__ р.
Заступник голова методичної комісії
_____ О.В. Петров

Розглянуто та рекомендовано
на засіданні кафедри МРВ та ОАВ
Протокол засідання
№ ___ від _____ 20__ р.
Завідувач кафедри МРВ та ОАВ
_____ Р.Д. Іскович-Лотоцький

Вінниця 20__

ЗМІСТ

ВСТУП. Лекція 1-2.....	3
Лекція 3.....	4
Лекція 4.....	5
Лекція 5.....	8
Лекція 6.....	10
Лекція 7.....	12
Лекція 8.....	14
Лекція 9.....	15
Лекція 10.....	17
Лекція 11.....	19
Лекція 12.....	21
Лекція 13.....	24
Лекція 14.....	25
Лекція 15.....	27
Лекція 16.....	29
Лекція 17.....	31
Лекція 18.....	32
Лекція 19.....	33
Лекція 20.....	34
Лекція 21.....	35
Лекція 22.....	39
Лекція 23.....	41
Лекція 24.....	42
ЛІТЕРАТУРА	47

ВСТУП. Лекція 1-2

Основні положення електроніки та мікропроцесорної техніки

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 (катушок), 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 ступінем 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 техні-

ки. Ці знання інженеру-машинобудівнику допомагають грамотно поставити 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.

Лекція 3

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 ($\rho=10^{-3}\dots 10^{10}$ Ом·см) займають проміжну область між провідниками електричного струму, з питомим опором $\rho=10^{-6}\dots 10^{-3}$ Ом·см., та діелектриками ($\rho=10^{10}\dots 10^{15}$ Ом·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, сульфід і карбід. 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

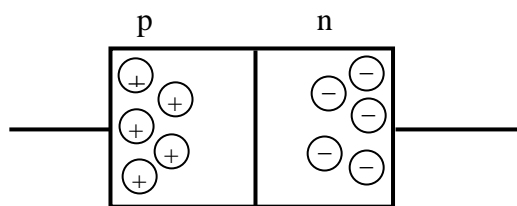


Рисунок 3.1 — Структура p-n переходу

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 р-провідністю, а інша — з n-провідністю. Між такими частинами напівпровідника виникає проміжний шар (рисунок 3.1), через який проходить дифузія позитивних та негативних носіїв електричних зарядів. Такий шар називають р-n переходом. Зовнішня напруга, що прикладається до р-n переходу по обидва його боки змінює товщину граничного шару і цим змінює його електропровідність. Якщо позитивний полюс джерела напруги з'єднати з р-частиною напівпровідника, а негативний полюс з n-частиною (рисунок 3.2), то більшість носіїв електричних зарядів дифундує в проміжний шар, де вони рекомбінують і створюють більш сприятливі умови для про-

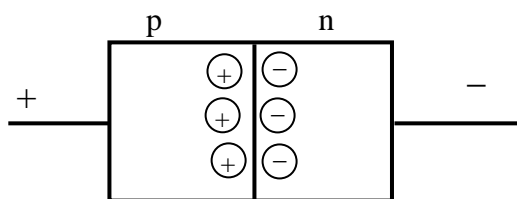


Рисунок 3.2 — Структура р-n переходу при протіканні прямого струму

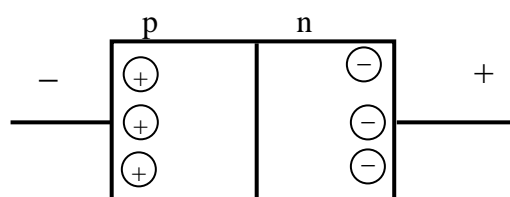


Рисунок 3.3 — Структура р-n переходу при протіканні зворотного струму

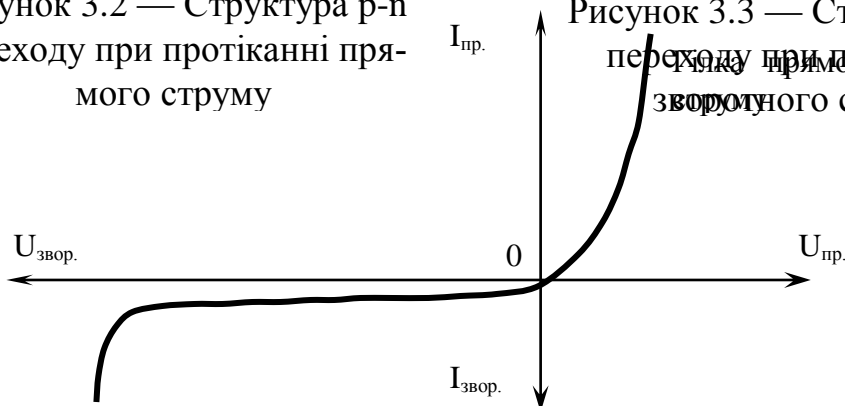


Рисунок 3.4 — Вольтамперна характеристика діода

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

Якщо ж напругу до р-n переходу прикласти в зворотному напрямку, тобто "плюс" до n-частини напівпровідника, а "мінус" до р-частини (рисунок 3.3), то носії електричних зарядів будуть відводитись від проміжного шару і на р-n переході буде відносно невеликий зворотний струм.

Напівпровідниковий прилад з р-n переходом називають діодом. При цьому р-шар напівпровідника діода називають емітером, а n-шар — базою. Діод характеризується так званою вольт-амперною характеристикою, загальний вигляд якої показано на рисунку 3.4.

Лекція 4

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.

В залежності від напівпровідникового матеріалу діоди підрозділяють на дві групи: германієві і кремнієві. Германієві діоди працюють при температурах не більше $+70\dots+80^{\circ}\text{C}$, а кремнієві — до $+123^{\circ}\text{C}$. Границя від'ємних робочих температур — мінус 60°C для обох груп діодів. За конструктивно-технологічним принципом діоди поділяються на площинні і крапкові. У площинних межа р-п переходу виконана у вигляді площини шляхом наплавлення або наросування, а в крапкових у вигляді вкраплення напівп-

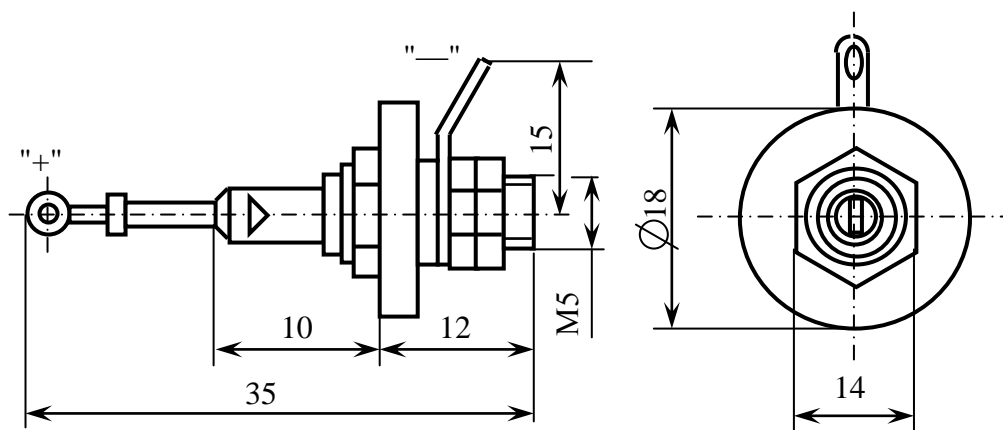


Рисунок 4.1 — Зовнішній вигляд випрямних діодів

ровідника з одним типом провідності в напівпровідник з іншим типом провідності.

Випрямні діоди. Зовнішній вигляд діодів показано на рисунку 4.1, а

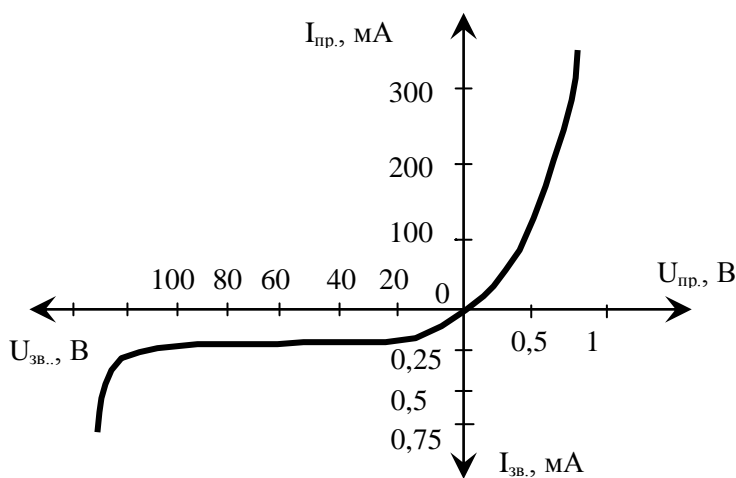


Рисунок 4.2 — Вольт-амперна характеристика випрямного діода

їх вольт-амперна характеристика — на рисунку 4.2.

Найбільш обширною областю використання випрямних діодів є випрямлячі змінного струму низької частоти (50...100000) Гц. Окрім того випрямлячі використовуються в схемах керування і комутації для обмеження паразитних викидів напруги в ланцюгах з індуктивними елементами та в інших ланцюгах електронної техніки, де немає жорстких вимог до частотних параметрів діода. Найбільш поширеними є кремнієві випрямні діоди з площинним р—n переходом, які мають у багато разів менші зворотні струми і великі зворотні напруги у порівнянні з германієвими.

Основним елементом випрямного діода є напівпровідникова пластинка (база) в якій методом сплавлення чи дифузії сформовано р—n перехід.

На схемах випрямний діод позначається як показано на рисунку 4.3.

Основними динамічними параметрами випрямних діодів, які характеризують їх роботу у випрямних схемах ,є:

$I_{пр.ср.}$ — середнє за період значення випрямленого струму, який може

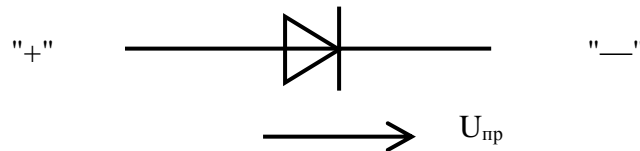


Рисунок 4.3 — Умовне позначення випрямного діода на схемах

тривалий час протікати через діод при допустимому його нагріві;

$U_{пр.ср.}$ — середнє за період значення прямої напруги, яке однозначно визначається за вольт-амперною характеристикою при заданому значенні струму $I_{пр.ср.}$;

$I_{зв.ср.}$ — середнє за період значення зворотного струму при заданому значенні зворотної напруги $U_{зв.}$;

Δf — діапазон робочих частот, в межах якого струм діода не зменшується нижче заданої величини;

f_{max} — гранична частота діапазону робочих частот;

Важливе значення мають також параметри граничного електричного режиму діода, а саме:

$U_{звmax}$ — максимально допустима постійна зворотна напруга, яка тривало витримується діодом без порушення нормальної роботи;

$I_{прmax}$ — максимально допустимий постійний прямий струм діода.

Випрямні діоди підрозділяють на діоди малої потужності ($I_{пр.ср} \leq 0,3A$), середньої потужності ($0,3A < I_{пр.ср} \leq 10A$) та великої потужності ($I_{пр.ср} > 10A$).

Лекція 5

Високочастотні діоди являють собою напівпровідникові прилади універсального призначення. Вони використовуються в тих же електричних

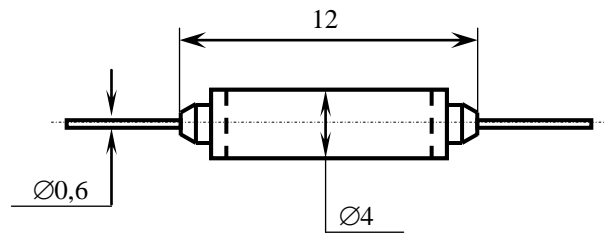


Рисунок 5.1 — Зовнішній вигляд високочастотних діодів

пристроях, що і випрямні діоди, однак при меншому електричному навантаженні, а також в модуляторах та перетворювачах частоти. Зовні високочастотні діоди виглядають, як показано на рисунку 5.1. Вольтамперна характеристика високочастотних діодів дещо відрізняється від відповідної характеристики випрямних і виглядає так, як показано на рисунку 5.2.

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 виводами. 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 приз-

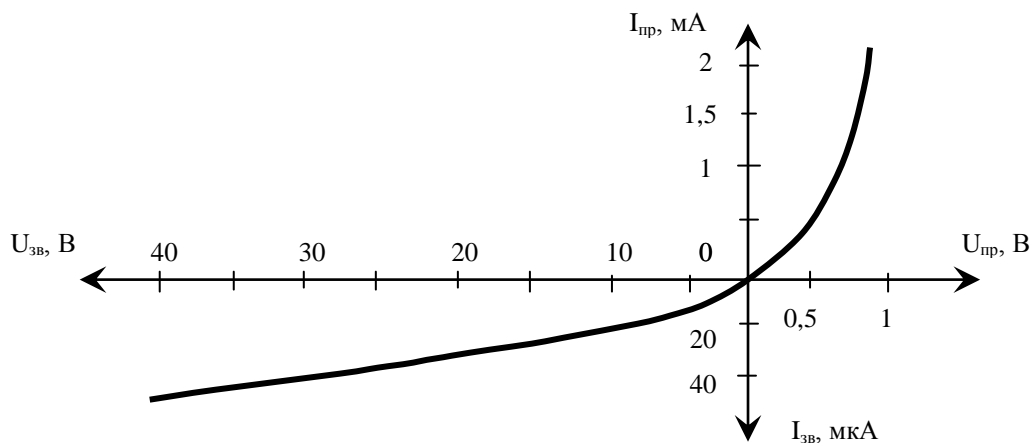


Рисунок 5.2 — Вольт-амперна характеристика високочастотних діодів

водить до того, що на дуже високих частотах амплітуди прямого і зворотного струмів стають близькими за значенням і діод втрачає властивість однобічної 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 вольтамперна 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 $I_{пр.мах.}$ та $U_{звор.мах.}$ (прямий максимальний струм та максимальна зворотна напруга). Основними ж параметрами імпульсного діода є:

C_d — ємність між зовнішніми виводами 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.

Стабілітрони

Стабілітроном називають площинний напівпровідниковий діод, на вольт-амперній характеристиці (рисунок 5.2) 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-n 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 (рисунок 5.3). Якщо зворотній струм через стабілітрон не перевищує деякого значення $I_{ст. мах.}$, то стан електричного пробію не призводить до псування стабілітрона. Незмінність рівня напруги на стабілітроні при зміні струму в

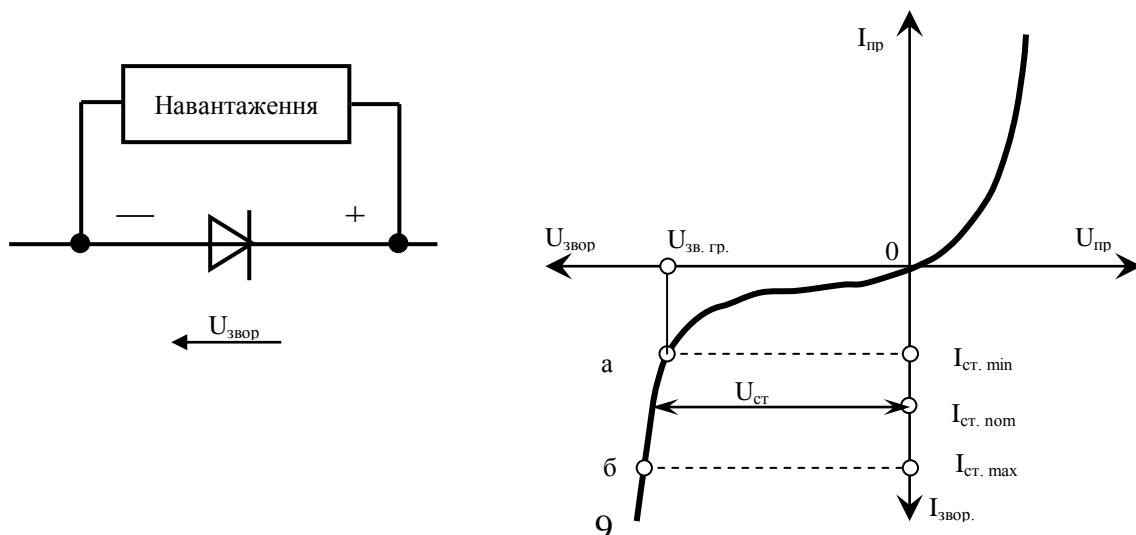


Рисунок 5.3 —Схема під'єднання та вольт-амперна характеристика стабілітрона

широких межах дозволяє використовувати стабілітрони для підтримання напруги на навантаженні, яке під'єднане паралельно.

За величиною допустимої потужності розсіяння P_{\max} , при якій забезпечується задана надійність, стабілітрони поділяються на стабілітрони малої потужності ($P_{\max} < 0,3$ Вт), середньої потужності ($0,3 < P_{\max} \leq 5$ Вт) та великої потужності ($P_{\max} > 5$ Вт). Стабілітрони характеризуються такими основними параметрами:

$U_{\text{ст}}$ — величиною напруги на стабілітроні під час протікання заданого струму стабілізації $I_{\text{ст. ном}}$;

$I_{\text{ст. min}}$ та $I_{\text{ст. max}}$ — значеннями постійних струмів на ділянці стабілізації, при яких забезпечується задана надійність стабілітрона, перевищення струму величини $I_{\text{ст. max}}$ призводить до теплового пробою р-п переходу. За величиною напруги стабілізації стабілітрони поділяються на низьковольтні ($U_{\text{ст}} < 5,4$ В) та високовольтні ($U_{\text{ст}} > 5,4$ В).

Лекція 6

Стабілізацію низьковольтної напруги в межах 0,3..1 В можна також одержати при використанні прямої гілки вольт-амперної характеристики, яка у кремнієвих діодів майже паралельна осі струмів. Такі діоди називають стабісторами. У них висока концентрація домішок в області бази р-п переходу (в області р-провідності напівпровідникового кристалу).

Окрім того, промисловістю виробляються двоанодні стабілітрони, які мають симетричну вольт-амперну характеристику відносно осі струмів (рисунок 6.1). При цьому напруга стабілізації у прямому зміщенні стабілі-

трона дорівнює напрузі стабілізації у зворотному зміщенні.

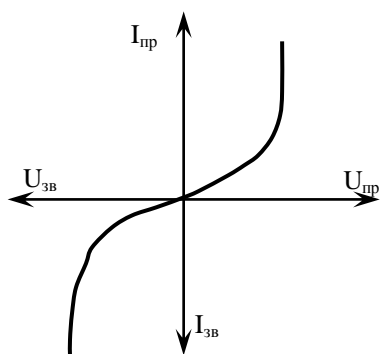


Рисунок 6.1 — Вольт-амперна характеристика двоанодного стабілітрона

Фотодіоди

Це закриті зворотньою напругою діоди, провідність яких залежить від опромінення їх світлом. Зі збільшенням потоку опромінення збільшується зворотний струм.

Світлодіоди

Це випромінювачі світла, які являють собою під'єднані до джерела струму діоди. Напруга до таких діодів прикладається у прямому напрямку. Виготовляються світлодіоди

із фосфорида галію, або із фосфіда галію і частіше вони випромінюють червоне світло, хоча існують світлодіоди, що випромінюють інші кольори, у тому числі й інфрачервоне світло. Останні, наприклад, використовуються в системах автоматичного керування верстатами з ЧПК.

Оптрони

Це прилади, які в одному корпусі містять оптичну пару — світлодіод та фотодіод. Зв'язок між входом (світлодіодом) і виходом (фотодіодом) здійснюється через світловий потік. При цьому електричний зв'язок між входом і виходом відсутній.

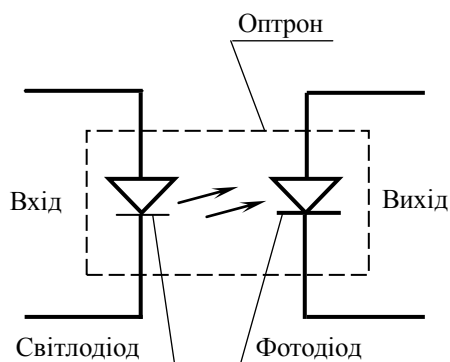


Рисунок 6.2 — Умовне позначення оптрона на схемах

Використовується такий прилад для розв'язки (ізоляції) електричних кіл різноманітних пристроїв з метою захисту від нережимних змін напруги. Наприклад, віддалений зв'язок між комп'ютерами та системою числового програмного керування (ЧПК) технологічним обладнанням; звороний зв'язок між низьковольтними та високовольтними частинами одного й того ж пристрою і таке інше. Умовне позначення оптронів показано на рисунку 6.2.

Найчастіше діоди використовуються у випрямлячах струму. Випрямляч — схема однобічного обмеження, яка

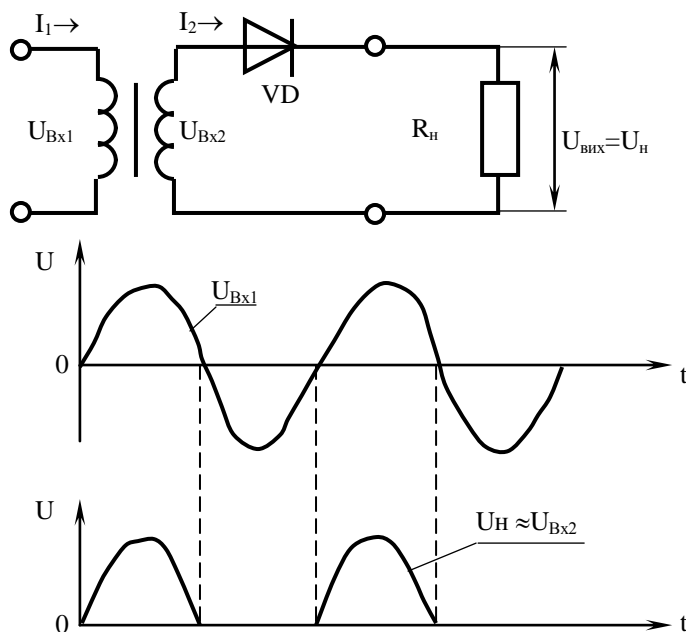


Рисунок 6.3 — Схема та часові діаграми однопівперіодного випрямляча, що працює на активне навантаження

перетворює сигнал змінного струму у вихідний сигнал постійного (пульсуючого) струму. Схеми випрямлячів поділяють на однопівперіодні та двопівперіодні. Однопівперіодна схема випрямляча показана на рисунку 6.3. Однопівперіодні випрямлячі здебільшого використовуються, коли навантаженням є електричні кола малої потужності, але високої напруги. Основним недоліком однопівперіодних випрямлячів є високий рівень пульсацій на виході та підмагнічування осердя трансформатора постійним струмом.

Двопівперіодна схема випрямляча, що працює на активне навантаження має вторинну обмотку трансформатора з відводом від її середини, який найчастіше заземлюється. У двопівперіодній схемі випрямляча магнітні потоки в осерді трансформатора, що обумовлені постійними складовими струму вторинних півобмоток, направлені зустрічно і взаємно компенсуються.

Лекція 7

Транзистори. Транзистори поділяються на два основних типи: біполярні та польові. Біполярні транзистори виділяються великим рівнем потужності і більш високочастотні у порівнянні з польовими. Однак польові транзистори мають такі переваги:

- здатні працювати у більш широкому динамічному діапазоні;
- мають більші можливості автоматичного регулювання підсилення.

Під час виготовлення біполярних та польових транзисторів використовуються одні і ті ж технологічні методи. Немає суттєвої відмінності і в загальних конструктивних принципах компоновки транзисторів обох типів.

Класифікація і будова біполярних транзисторів. Біполярним транзистором називають напівпровідниковий прилад з трьома шарами напівпровідників різного виду, по чергово розташованих між собою. Це прилад, призначений для підсилення потужності електричних сигналів. У біполярному транзисторі на межі розділу шарів утворюються два р-п переходи, а термін "біполярний" характеризує наявність у транзисторі двох типів носіїв заряду: дірок та електронів.

В залежності від характеру провідності шарів біполярні транзистори поділяються на два типи: р-п-р тип та n-р-n тип, що схематично показано на рисунку 7.1.

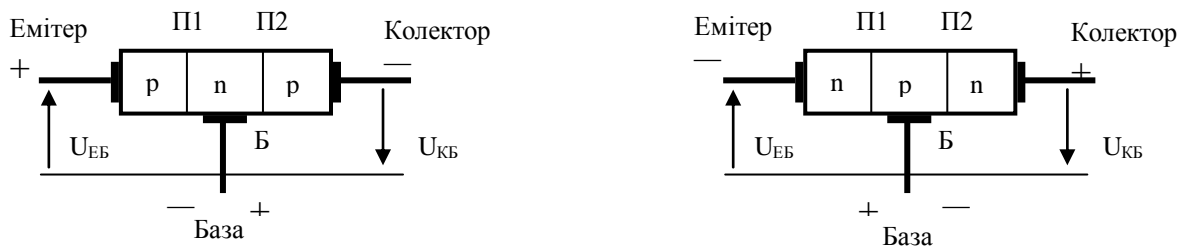


Рисунок 7.1 — Схеми будови біполярних транзисторів

Відповідні умовні позначення на схемах наведено на рисунку 7.2.

Внутрішню область монокристалу транзистора, яка розмежовує р-п переходи, називають базою. Зовнішній шар монокристалу, який призначений для інжектування (генерування і переносу) носіїв зарядів у базу, називають емітером, а р-п перехід, що межує з емітером, називають емітерним р-п переходом (П1).

Другий зовнішній шар, що екстрагує (втягує) носії заряду із бази, на-



Рисунок 7.2 — Умовні позначення транзисторів на схемах

зивають колектором, а перехід, що межує з колекторним, називають колекторним р-п переходом (П2).

База є електродом, який керує величиною струму, що проходить через транзистор. Це здійснюється завдяки тому, що зміна напруги між базою

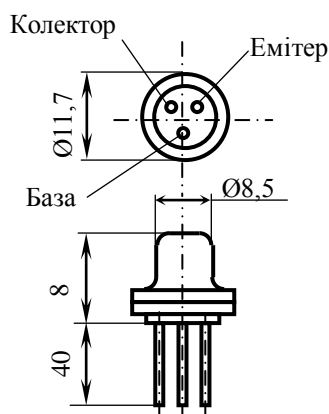


Рисунок 7.3 — Транзистор у корпусі

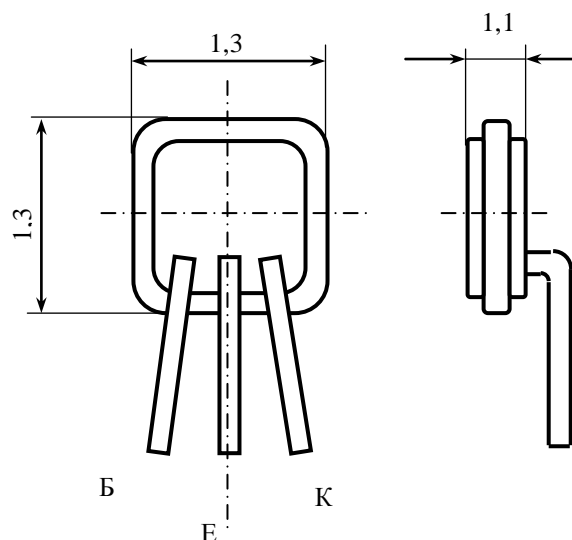


Рисунок 7.4 — Безкорпусний транзистор

та емітером керує густиною потоку інжекції, а тому, й потоком екстракції носіїв електронних зарядів. Якщо емітерний перехід за рахунок напруги $U_{ЕБ}$ зміщено у прямому напрямку, а колекторний перехід зміщено напругою $U_{КБ}$ у зворотному напрямку, то таке вмикання називають нормальним.

Якщо змінити полярність напруг $U_{ЕБ}$ та $U_{КБ}$, то виходить інверсне вмикання транзистора. Для захисту напівпровідникової структури кристала транзистора від зовнішнього середовища (вологи, механічних пошкоджень, соляного туману і т. ін.) кристал розміщують в корпус, який одночасно забезпечує механічну міцність приладу у цілому і створює умови для більш інтенсивного відведення тепла від р-п переходів працюючого транзистора.

Найбільш поширена циліндрична форма корпусу, який показано на рисунку 7.3. Зустрічається також безкорпусна герметизація транзистора за рахунок покриття кристала захисною облонкою (рисунку 7.4).

Лекція 8

Поєднання двох р-п переходів, розділених між собою базою, дозволила створити систему, в якій виявився ефект підсилення. Саме база стала тим електродом, за допомогою якого можна регулювати струм через тран-

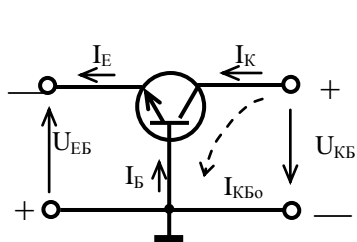


Рисунок 8.1 — Схема зі спільною базою

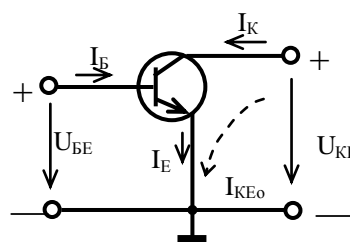


Рисунок 8.2 — Схема зі спільним емітером

зистор і, керуючи потужністю зовнішнього джерела напруги, підсилювати електричні сигнали. При вмиканні транзистора в конкретну схему виділяють його вхідне та вихідне електричні кола. При цьому два виводи транзистора є вхідним та вихідним затискачами відповідно вхідного та вихідного електричних кіл, а третій — є їх спільним затискачем.

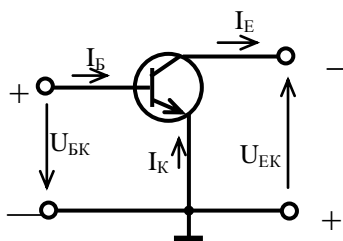


Рисунок 8.3 — Схема зі спільним колектором

Спільним може бути будь-який із виводів транзистора, оскільки в якості одного із вхідних затискачів чотириполюсника, який у даному випадку ототожнюється зі схемою вмикання транзистора, може бути емітер чи

база, а в якості одного із вихідних — емітер чи колектор. У зв'язку з цим можливі три схеми вмикання транзистора: зі спільною базою (СБ); зі спільним емітером (СЕ); зі спільним колектором (СК) (рисунки 8.1, 8.2 та 8.3).

Біполярний транзистор характеризується чотирма сімействами статичних характеристик, які визначають співвідношення між струмами, що протікають в електричних колах його електродів, та співвідношення між напругами, прикладеними до цих електродів. Такими характеристиками при сталій напрузі виходу є:

- 1) вхідна характеристика, що визначається залежністю

$$I_{\text{ВХ}} = \varphi(U_{\text{ВХ}})_{U_{\text{ВИХ}} = \text{const}},$$

де $I_{\text{ВХ}}$ — вхідний струм на транзисторі, $U_{\text{ВХ}}$ — вхідна напруга на транзисторі, $U_{\text{ВИХ}}$ — напруга на виході транзистора, яка для даної характеристики підтримується незмінною;

- 2) вихідна характеристика

$$I_{\text{ВИХ}} = \varphi(U_{\text{ВИХ}})_{I_{\text{ВХ}} = \text{const}},$$

де $I_{\text{ВИХ}}$ — струм виходу транзистора, $I_{\text{ВХ}}$ — струм на вході транзистора, який підтримується незмінним;

- 3) характеристика передачі за струмом при сталій напрузі виходу

$$I_{\text{ВХ}} = \varphi(U_{\text{ВХ}})_{U_{\text{ВИХ}} = \text{const}},$$

- 4) четверта характеристика визначає зворотний зв'язок у вигляді такої залежності

$$U_{\text{ВИХ}} = \varphi(U_{\text{ВХ}})_{I_{\text{ВХ}} = \text{const}}.$$

Лише перші дві характеристики є незалежними і, як правило, використовуються на практиці. Вони можуть бути побудовані за даними розрахунку, або за даними експерименту для кожної із схем увімкнення транзистора.

Лекція 9

Розглянемо вхідні характеристики транзистора із спільною базою. Ці характеристики являють собою залежність струму емітера I_E від напруги між емітером і базою U_{EB} при фіксованих значеннях напруги між колектором і базою U_{KB} . Воль-тамперна характеристика при $U_{KB}=0$ є звичайною характеристикою р-п переходу, зміщеного у прямому напрямку (рисунок 9.1). При цьому збільшення позитивної напруги на колекторі приводить до зміщення характеристики в область більших струмів.

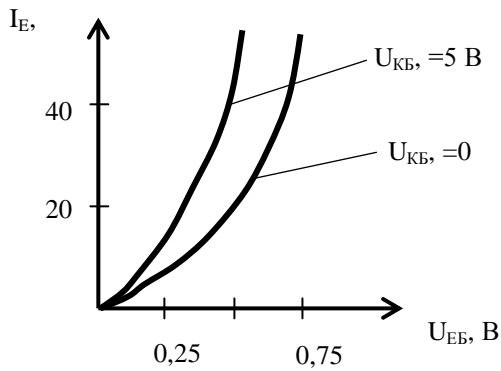


Рисунок 9.1 — Вхідні характеристики транзистора у схемі зі спільною базою

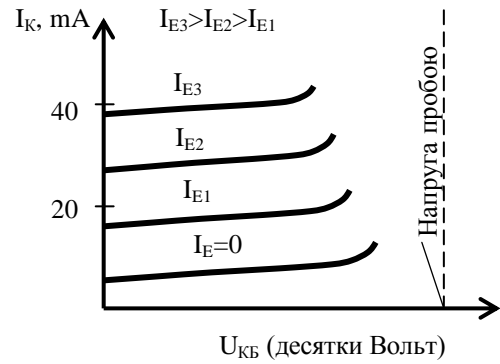


Рисунок 9.2 — Вихідні характеристики транзистора у схемі зі спільною базою

Вихідні характеристики транзистора у схемі зі спільною базою (рисунок 8.1), це залежності

$$I_K = \varphi(U_{KB})_{I_E = \text{const}},$$

які мають вигляд, показаний на рисунку 9.2.

У схемі зі спільним емітером (рисунок 1.19) вхідним струмом є струм бази I_B , а вихідним — струм колектора I_K . Емітер у цій схемі є спільним електродом для вхідного і вихідного електричних кіл транзистора. Вхідні характеристики біполярного транзистора у схемі його вмикання зі спільним емітером являють собою залежності

$$I_B = \varphi(U_{BE})_{U_{KE} = \text{const}},$$

де I_B — струм бази; U_{BE} — напруга між базою та емітером; U_{KE} — напруга між колектором та емітером. На діаграмі ці характеристики мають вигляд, показаний на рисунку 9.3.

Вихідні характеристики транзистора у схемі зі спільним емітером (рисунок 9.4) являють собою залежності колекторного струму I_K від напруги U_{KE} , прикладеної між колектором та емітером при якомусь певному значенні струму бази I_B

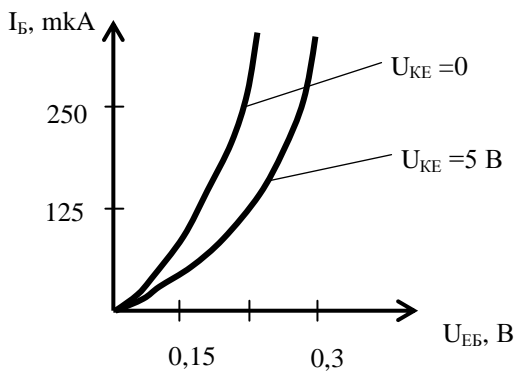


Рисунок 9.3 — Вхідні характеристики транзистора у схемі зі спільним емітером

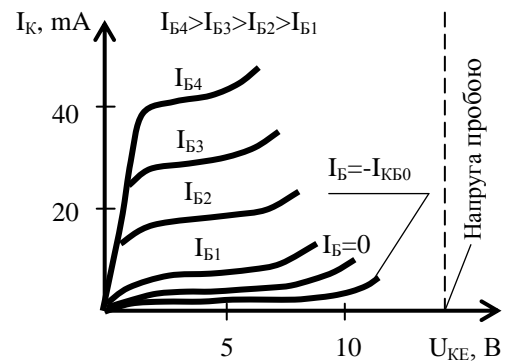


Рисунок 9.4 — Вихідні характеристики транзистора у схемі зі спільним емітером

$$I_K = \varphi(U_{KE})_{I_B = \text{const}}$$

де I_{KB0} — зворотний струм колектора при розімкненому виводі емітера.

Схема зі спільним колектором (рисунок 8.3) також має властивості підсилення потужності, але, оскільки струм емітера приблизно такий же, як струм колектора $I_E \approx I_K$, для графічного аналізу схеми зі спільним колектором використовують статичні характеристики схеми зі спільним емітером.

Лекція 10

У пристроях промислової електроніки найбільшого поширення знайшло під'єднання транзисторів за схемою зі спільним емітером (рисунок 8.2). Така схема має найбільше підсилення потужності. У більшості випадків ця схема використовується і під час розробки багатокаскадних інтегральних мікросхем, які побудовані на біполярних структурах, і називається схемою вмикання транзистора в динамічному режимі (рисунок 10.1).

В такій схемі в електричне коло вихідного електрода транзистора вмикається опір навантаження R_K , а у вхідне коло — вмикається джерело вхідного сигналу з миттєвим значенням електрорушійної сили e_{BX} і опором

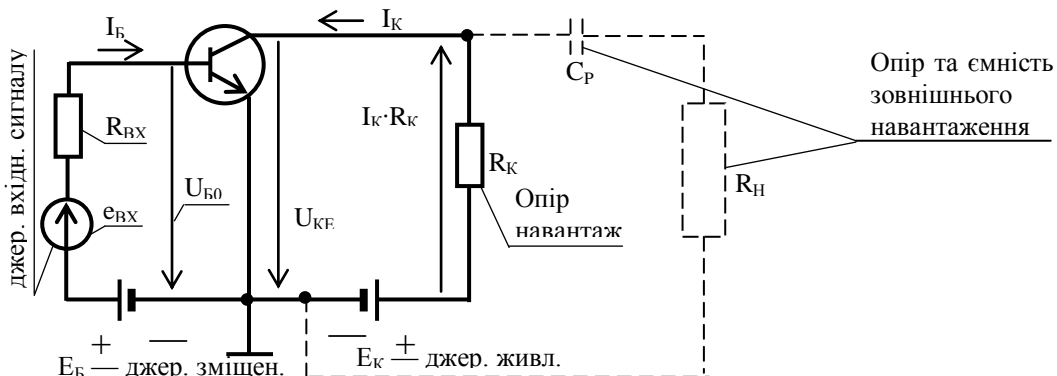


Рисунок 10.1 — Схема під'єднання транзистора в динамічному режимі

R_{BX} , та джерело зміщення E_B . Живлення схеми здійснюється від джерела живлення E_K . Слід зазначити, що тільки при наявності опору навантаження R_K можливий процес підсилення напруги і потужності вхідного сигналу.

За розглядуваною схемою зміни колекторного струму будуть залежати не тільки від змін базового струму, а й від змін напруги на колекторі, яка, у свою чергу, визначається змінами як базового, так і колекторного струмів у транзисторі.

$$U_{KE} = E_K - I_K \cdot R_K$$

(10.1)

Такий режим роботи транзистора називають динамічним, а харак-

теристики, які визначають зв'язок між струмами та напругами транзистора при наявності опору навантаження, називають динамічними характе-

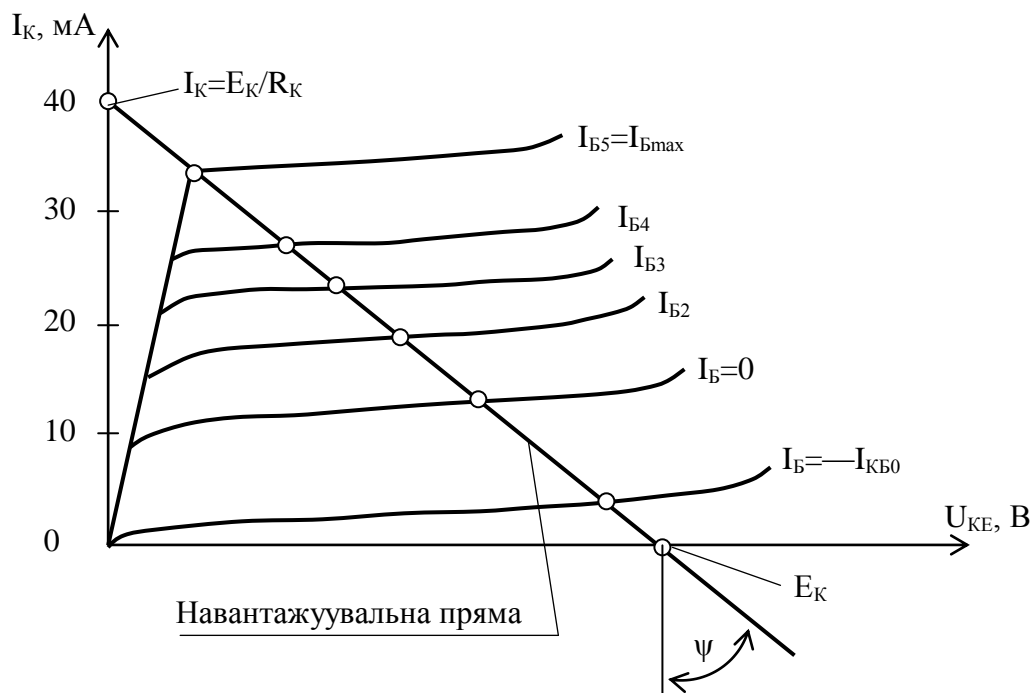


Рисунок 10. 2 — Динамічна вихідна колекторна характеристика транзистора

ристиками. Динамічні характеристики будують на сімействах статичних характеристик при заданих значеннях напруги джерела живлення колекторного кола E_K та опору навантаження R_K . Для побудови динамічної вихідної (колекторної) характеристики використовують рівняння (10.1) динамічного режиму, яке є рівнянням прямої, тому що біля змінної величини I_K стоїть постійний коефіцієнт, що дорівнює R_K (опору навантаження).

Отже для побудови динамічної характеристики (рисунок 10.2) достатньо знайти відрізки, які відтинаються прямою (10.1) на осях системи координат (I_K, U_K) . Відклавши на осі колекторних напруг точку, що відповідає напрузі живлення E_K , а на осі колекторних струмів точку, що відповідає відношенню напруги живлення транзистора до опору його навантаження (E_K/R_K) і, з'єднавши ці точки прямою, отримують навантажувальну пряму.

Вихідна динамічна (колекторна) характеристика транзистора (рисунок 10.2) є геометричним місцем точок перетину навантажувальної прямої зі статичними характеристиками. Використовуючи динамічну характеристику транзистора можна для будь-якого колекторного струму знайти відповідні йому величини напруги на колекторі та величини струму I_B у вхідному колі бази.

Навантажувальну пряму можна також побудувати, провівши пряму лінію з точки E_K під кутом $\psi = \arctg R_K$.

Лекція 11

Польові транзистори, на відміну від біполярних, основані на іншому методі керування в напівпровідникових приладах. В основі роботи польового транзистора лежить те, що зміна напруженості поперечного електричного поля змінює провідність каналу, яким протікає струм вихідного електричного кола.

У пристроях промислової електроніки використовуються два різно-

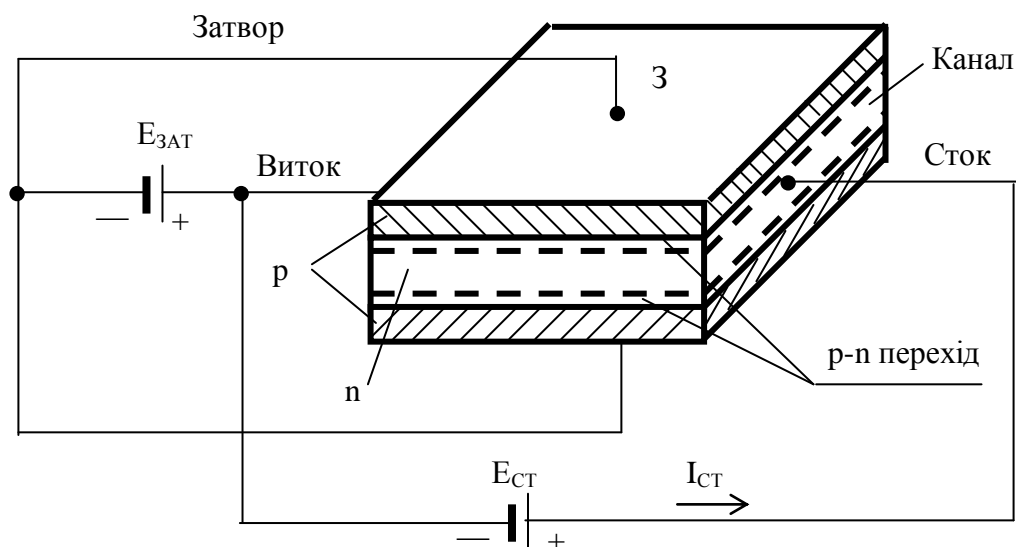


Рисунок 11.1 — Конструктивна схема польового транзистора

види транзисторів, а саме:

- із затвором у вигляді p-n переходу;
- з ізольованим затвором.

Принцип дії польового транзистора площинної конструкції (так званий унітрон) із затвором у вигляді керувального p-n переходу пояснюється конструктивною схемою на рисунку 11.1. Такий польовий транзистор складається із пластини кремнію, що має n-провідність. Ця пластинка і є каналом польового транзистора, до торців якої під'єднані два металевих контакти. Ці контакти називають витоком та стоком. Послідовно до цих електродів під'єднується джерело струму з напругою E_C , та опір навантаження R_H (рисунок 11.2)

Напруга джерела струму $E_{\text{сток}}$ має таку полярність, при якій потік носіїв заряду (а в каналі n-типу це електрони) переміщується від витоку до стоку.

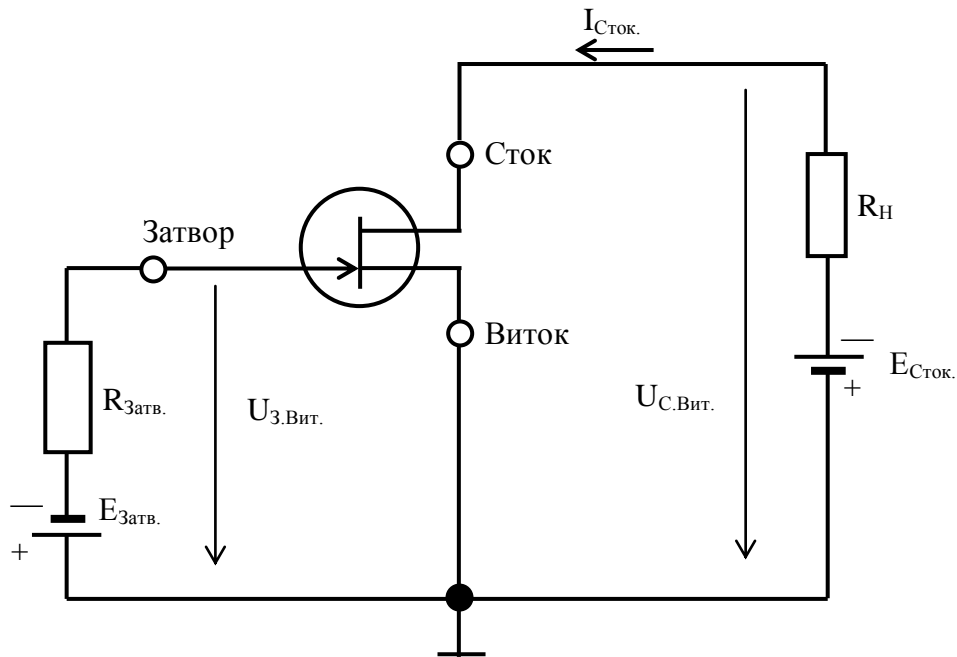


Рисунок 11. 2 — Схема вмикання польового транзистора із загальним витоком

У протилежні грані пластини, що розташовані над каналом та під ним, внесені акцепторні домішки, які перетворюють поверхневі шари в області напівпровідника р-типу. Ці протилежні грані з'єднують провідником і, таким чином, утворюють єдиний електрод, який називають затвором.

Провідність каналу визначається розміром його поперечного перерізу. Змінюючи напругу на затворі $U_{з.Вит.}$ (рисунок 11.3), яка зміщує р-n переходи у зворотному напрямку, можна змінювати площу поперечного перерізу каналу за рахунок розширення чи звуження шарів р-n переходів. Тобто можна таким чином змінювати електричний опір каналу, і цим змінювати величину струму, що протікає через канал.

При нульовій напрузі $U_{з.Вит.}$ струм $I_{сток.}$, який протікає через канал, має максимальне значення (рисунок 11.3). Це так званий струм насичення,

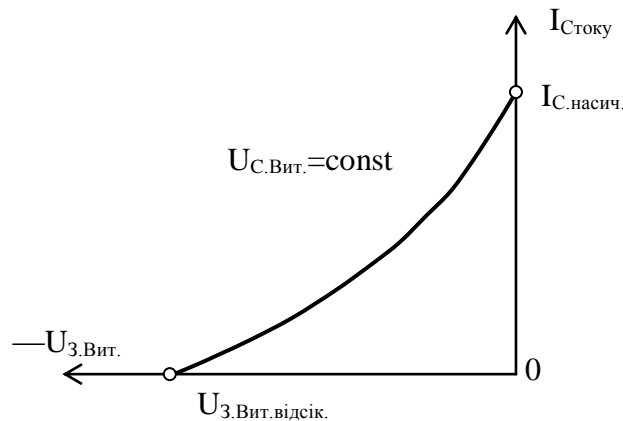


Рисунок 11.3 — Стоко-затворна вхідна характеристика польового транзистора

тому що поперечний переріз каналу при цьому максимальний. При збільшенні зворотної напруги $U_{3.Вит.}$ шари р-п переходів розширюються, зменшуючи поперечний переріз каналу. В результаті зменшується значення струму $I_{Сток.}$ При певному значенні напруги між затвором та виток $U_{3.Вит.}$, яке називають напругою відсікання, поперечний переріз каналу зменшується практично до нуля. Тоді струм $I_{Сток.}=0$.

Розглянута стоко-затворна вхідна характеристика

$$I_c = f(U_{Зат.Вит.})_{U_{Сток.Виток} = const}$$

описується наближеним параболічним рівнянням

$$I_{Сток.} = I_{Сток.Насич.} \cdot \left(\frac{U_{Зат.Вит.}}{U_{Зат.Вит.Відсік}} - 1 \right)^2, \quad (11.1)$$

яке ілюструє керувальні властивості затвора.

При цьому керування струмом $I_{Сток.}$, а це основний струм електричного кола польового транзистора, майже безструмове, тому що на затвор подається затворна напруга і через нього протікає тільки зворотний струм р-п переходу.

Лекція 12

Розглянемо сімейство стокових (тобто вхідних) характеристик польового транзистора (рисунок 12.1)

$$I_c = f(U_{Сток.Вит.})_{U_{Затв.Виток} = const}$$

Коли напруга між затвором і виток дорівнює нулю ($U_{3.Вит.} = 0$), при подачі на сток позитивної відносно виток напруги $U_{Сток.Вит.}$ та збільшенні її

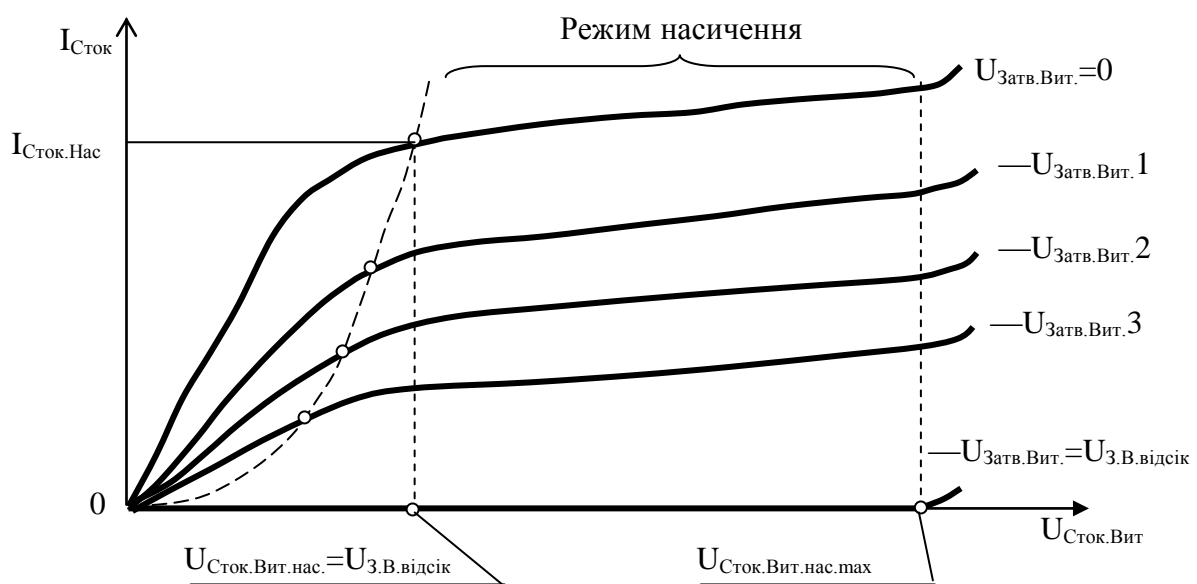


Рисунок 12.1 — Сімейство стокових (вхідних) характеристик польового транзистора

струм стоку збільшується за нелінійним законом. Нелінійний характер струму пояснюється тим, що з підвищенням напруги $U_{\text{Сток.Виток}}$, яка зміщує р-n переходи у зворотному напрямку, переріз каналу зменшується. Зменшення перерізу каналу тим більше, чим ближче до стоку (рисунок 12.2, а). При цьому провідність каналу зменшується і зростання струму, що проходить через нього, сповільнюється.

Коли напруга на стоку досягає рівня так званої напруги насичення (рисунок 12.2, б), настає повне перекриття каналу. Подальше підвищення напруги $U_{\text{Сток.Виток}}$ (рисунок 12.2, в) приводить до слабкого зростання струму, оскільки одночасно збільшується опір каналу через те, що повне перекриття каналу переміщується у бік виток. Струм стоку при цьому досягає величини струму насичення $I_{\text{Сток.Нас.}}$.

Якщо напруга між затвором та витком дорівнює нулю ($U_{\text{Затв.Вит.}}=0$), то напруга насичення дорівнює напрузі відскання між затвором та витком ($U_{\text{Сток.Вит.Нас.}}=U_{\text{Затв.Вит.Відс.}}$).

Режим пологої ділянки вольт-амперної характеристики називають режимом насичення. Струм стоку при $U_{\text{Затв.Вит.}}=0$ називають початковим. При напрузі між затвором та витком більшій нуля ($U_{\text{Затв.Вит.}}>0$) розширення збіднених шарів напівпровідника і відповідне зменшення перерізу каналу здійснюється під впливом двох напруг $U_{\text{Затв.Вит.}}$ та $U_{\text{Сток.Вит.}}$. У цьому випадку напруга насичення зменшується і для будь-якого значення напруги на затворі $U_{\text{Затв.Вит.}}$ може бути визначена рівнянням

$$U_{\text{Сток.Вит.Нас.}} = U_{\text{Затв.Вит.Відс.}} - U_{\text{Затв.Вит.}}$$

Штрихова лінія на сімействі стоківих характеристик польового тран-

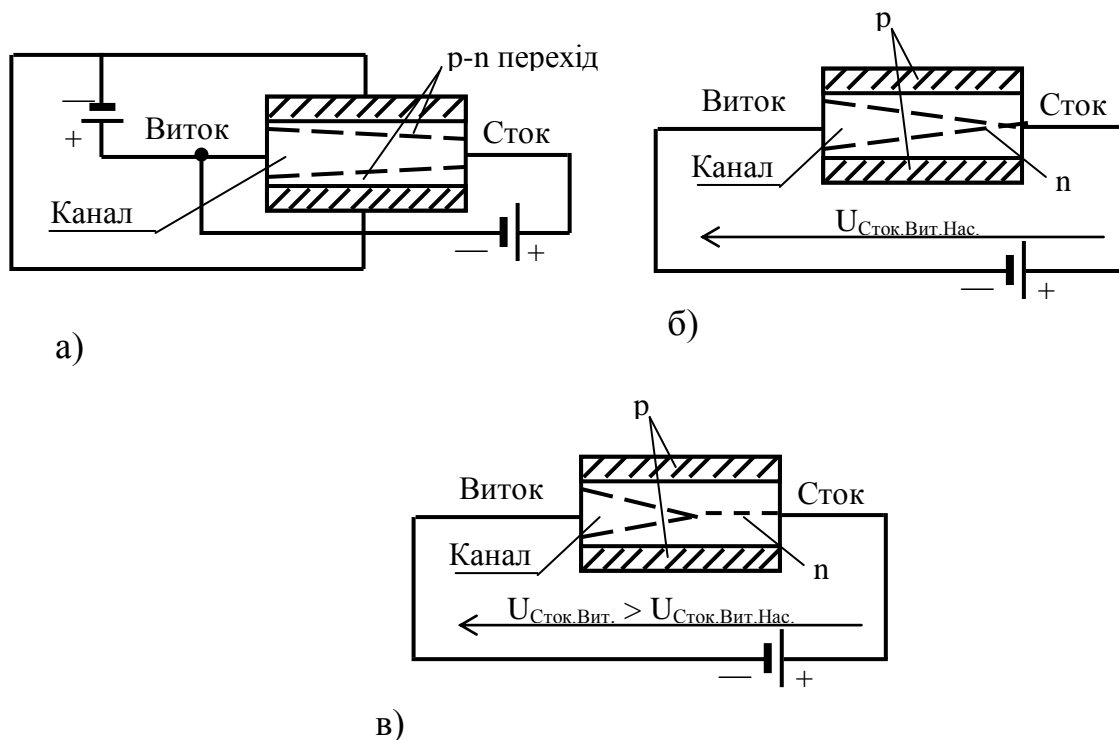


Рисунок 12. 2 — Схема роботи польового транзистора

зистора відповідає вищезазначеному рівнянню і показує зміну стокової напруги насичення, являючи собою окремий випадок так званої характеристики керування.

Зі зменшенням напруги насичення між стоком та витоком ($U_{\text{Сток.Вит.Нас.}}$) зменшується також струм насичення $I_{\text{Сток.Нас.}}$. У робочому режимі використовуються пологі ділянки вихідних характеристик (рисунки 1.30), зміни струму стоку яких на цих ділянках описуються, як і для стокозатворної характеристики, рівнянням (11.1).

При великих напругах на стоку виникає пробій напівпровідникової структури. Тому в робочому режимі перевищення максимально допустимої напруги стоку $U_{\text{Сток.Виток max}}$ недопустиме.

Основними параметрами польового транзистора є:

— крутизна характеристики керування

$$S = \left(\frac{\partial I_{\text{стоку}}}{\partial U_{\text{Затв.Вит.}}} \right)_{U_{\text{Сток.Вит.}} = \text{Const}} \approx \left(\frac{\Delta I_{\text{стоку}}}{\Delta U_{\text{Затв.Вит.}}} \right)_{U_{\text{Сток.Вит.}} = \text{Const}}$$

яка визначає підсилювальні властивості польового транзистора (чисельні значення крутизни характеристики S знаходяться в межах $0,1..10$ мА/В;

— вихідний (внутрішній) опір

$$R_i = \left(\frac{\partial U_{\text{Сток.Вит.}}}{\partial I_{\text{Сток}}} \right)_{U_{\text{Затв.Вит.}} = \text{Const}} \approx \left(\frac{\Delta U_{\text{Сток.Вит.}}}{\Delta I_{\text{Сток}}} \right)_{U_{\text{Затв.Вит.}} = \text{Const}},$$

оскільки на пологих ділянках вихідних характеристик (ділянка насичення) струм стоку змінюється мало, то параметр R_i може набувати значення від сотень кОм до декількох МОм;

— вхідний опір

$$R_{\text{вх}} = \left(\frac{\partial U_{\text{Затв.Вит.}}}{I_{\text{Затв.}}} \right)_{U_{\text{Сток.Виток}} = \text{Const}} \approx \left(\frac{\Delta U_{\text{Затв.Вит.}}}{\Delta I_{\text{Затв.}}} \right)_{U_{\text{Сток.Виток}} = \text{Const}},$$

який є диференціальним опором р-п переходу, зміщеного у зворотному напрямку (оскільки струм затвору $I_{\text{затв}}$ визначається, в основному, зворотним струмом р-п переходу, то вхідний опір польових транзисторів з керувальним р-п переходом дуже великий і може набувати значення від 10^6 до 10^9 Ом);

— вхідна та прохідна ємності, де вхідна ємність $C_{\text{Затв.Виток}}$ визначається частиною бар'єрної ємності р-п переходу між затвором та стоком, а прохідна ємність $C_{\text{Затв.Сток}}$ визначається частиною бар'єрної ємності р-п переходу між затвором та витоком, при цьому часто необхідно враховувати також вихідну ємність польового транзистора — це ємність між стоком та витоком $C_{\text{Сток.Вит.}}$.

— гранична частота f_s , що є верхньою частотою діапазону, на якій модуль крутизни характеристики керування зменшується в $1/\sqrt{2}$ разу.

Окрім розглянутих п'яти параметрів польові транзистори характеризуються допустимою потужністю розсіювання P_{max} , допустимим значенням

постійного струму стоку $I_{\text{Сток.мах}}$, а також допустимими напругами між електродами $U_{\text{Сток.Вит.мах}}$, $U_{\text{Затв.Вит.мах}}$, $U_{\text{Затв.Сток.мах}}$.

Лекція 13

Більш поширені у використанні польові транзистори з ізольованим

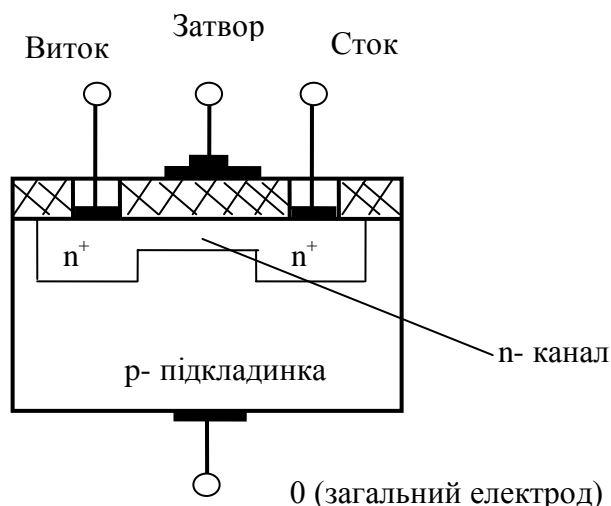


Рисунок 13.1 — Структура МОН-транзистора із вбудованим каналом

затвором, які мають кращі електричні властивості. У цих транзисторів між напівпровідниковим каналом і металевим затвором розташований шар із діелектрика. Така структура "метал-діелектрик-напівпровідник" (російською мовою "полупроводник") визначила назву — "МДН-транзистори". Оскільки в якості діелектрика, як правило використовують двоокис кремнію SiO_2 , транзистори зі структурою "метал-окисел-напівпровідник (полупроводник)" називають МОН-транзисторами.

Ця структура виготовляється на напівпровідниковій підкладинці з провідністю n - або p - типу. Мають місце два різновиди МОН-транзисторів:

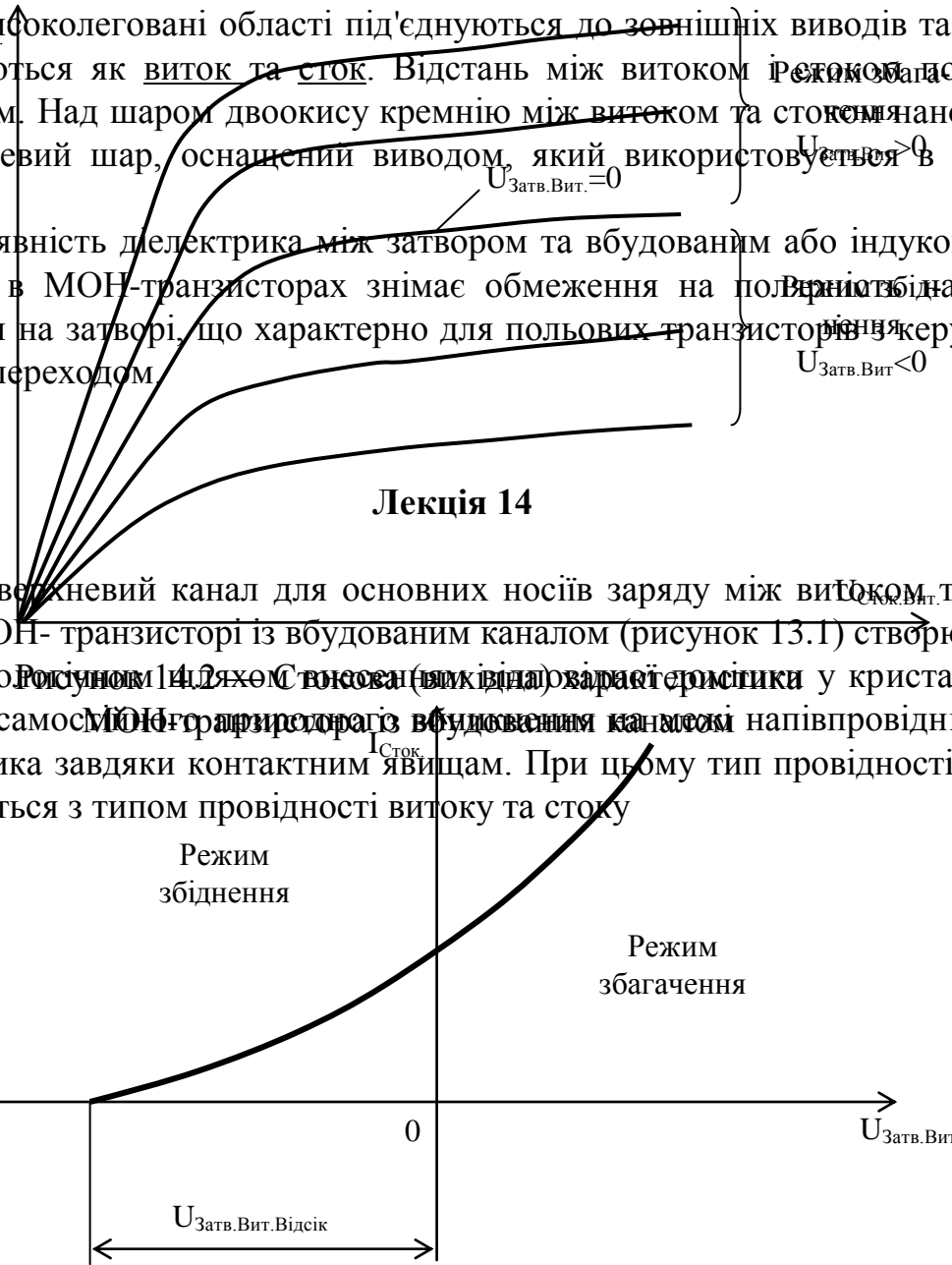
- із вбудованими каналами;
- з індукованими каналами.

У процесі виготовлення МОН-транзисторів як із вбудованими, так і з індукованими каналами в якості підкладинки використовується низьколегована кремнієва пластинка з провідністю p - або n - типу. В процесі окислення на поверхні пластини утворюється тонкий (0,2..0,3 мкм) шар двоокису кремнію SiO_2 . Через пророблені у діелектрику отвори в тілі підкладинки створюються дві високолеговані області, які мають провідність протилежного типу по відношенню до провідності підкладинки (у даному випадку n^+ - типу).

Високолеговані області створюються, як правило, методом дифузії завдяки внесенню відповідних домішок (рисунок 13.1). Отримані таким

чином високолеговані області під'єднуються до зовнішніх виводів та використовуються як виток та сток. Відстань між витком та стоком порядку 5...10 мкм. Над шаром двоокису кремнію між витком та стоком наноситься металевий шар, оснащений виводом, який використовується в якості затвору.

Наявність діелектрика між затвором та вбудованим або індукованим каналом в МОН-транзисторах знімає обмеження на потенціал затвору, що характерно для польових транзисторів з керувальним р-n переходом.



Лекція 14

Поводження каналу для основних носіїв заряду між витком та стоком у МОН- транзисторі із вбудованим каналом (рисунком 13.1) створюється або технологічно (як відносно зарядів кристалику у кристал, або шляхом самосформованого каналу напівпровідника та діелектрика завдяки контактним явищам. При цьому тип провідності каналу збігається з типом провідності витку та стоку

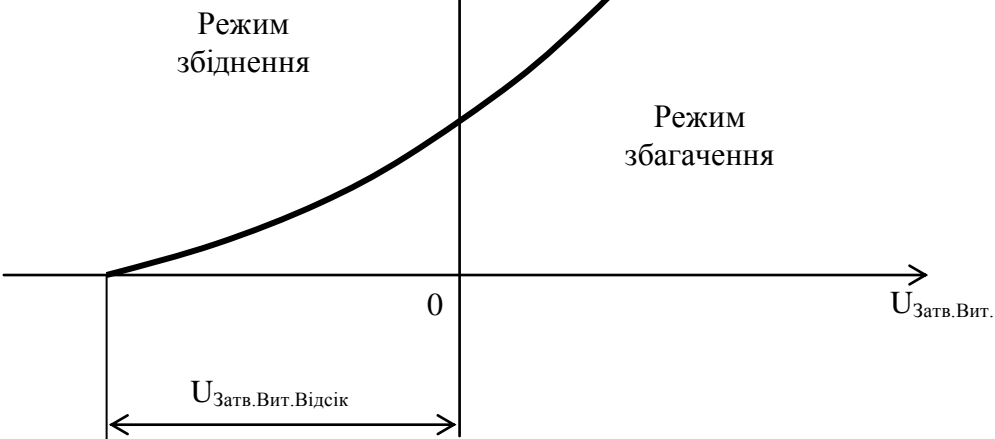


Рисунок 14.1 — Стоко-затворна (вхідна) характеристика МОН-транзистора із вбудованим каналом

При наявності напруги між витком та стоком струм в колі стоку (через канал) $I_{\text{сток}}$ буде протікати навіть при нульовому зміщенні на затворі (рисунком 14.1), коли $U_{\text{затв.Виток}}=0$. Якщо до затвору відносно витку і підкладинки прикласти негативну напругу, то носії діркових зарядів (+) із підкладинки будуть втягуватись в канал, а електрони — виштовхуватись. В результаті провідність каналу зменшиться, що викликає зменшення струму стоку. Виникає так званий режим збіднення. При $U_{\text{затв.Вит.}}=U_{\text{затв.Вит.Відсік}}$ канал зникає і струм стоку дорівнює нулю.

Позитивне зміщення на затворі $U_{\text{Затв.Вит.}} > 0$ викликає приплив в канал основних носіїв заряду (електронів), що приводить до зростання струму стоку. Такий режим роботи МОН-транзистора називають режимом збагачення. Графічно це відображають на стоко-затворній (вхідній) характеристиці, як показано на рисунку 14.1.

Відповідно стокова (вхідна) характеристика має вигляд, показаний на рисунку 14.2.

У МОН-транзистора з індукованим каналом (рисунок 14.3) при відсутності напруги зміщення на затворі канал відсутній і струм стоку ($I_{\text{Сток.}}$) практично дорівнює нулю. При деякій позитивній напрузі (для транзисторів з n-підкладкою — при негативній напрузі) відносно витоку, яка називається пороговою ($U_{\text{Пор.}}$), в поверхневому шарі між витком і стоком через наявність діелектрика SiO_2 (двоокис кремнію) проходить явище інверсії. В результаті утворюється тонкий канал інверсного шару, питомо провідність і товщина якого збільшуються з ростом напруги на затворі. Якщо при цьому до стоку прикласти напругу тієї ж полярності, що і на затворі, то струм стоку ($I_{\text{Стоку}}$) зі збільшенням напруги $U_{\text{Затв.Вит.}}$ зростає. Це видно із вхідної стоко-затворної (рисунок 14.4) та вихідної стокової (рисунок 14.5) характеристик МОН-транзистора з індукованим каналом. Напругу $U_{\text{Пор.}}$ можна розглядати як напругу відсікання $U_{\text{Затв.Вит.Відс.}}$ польового транзистора з керувальним p-n переходом.

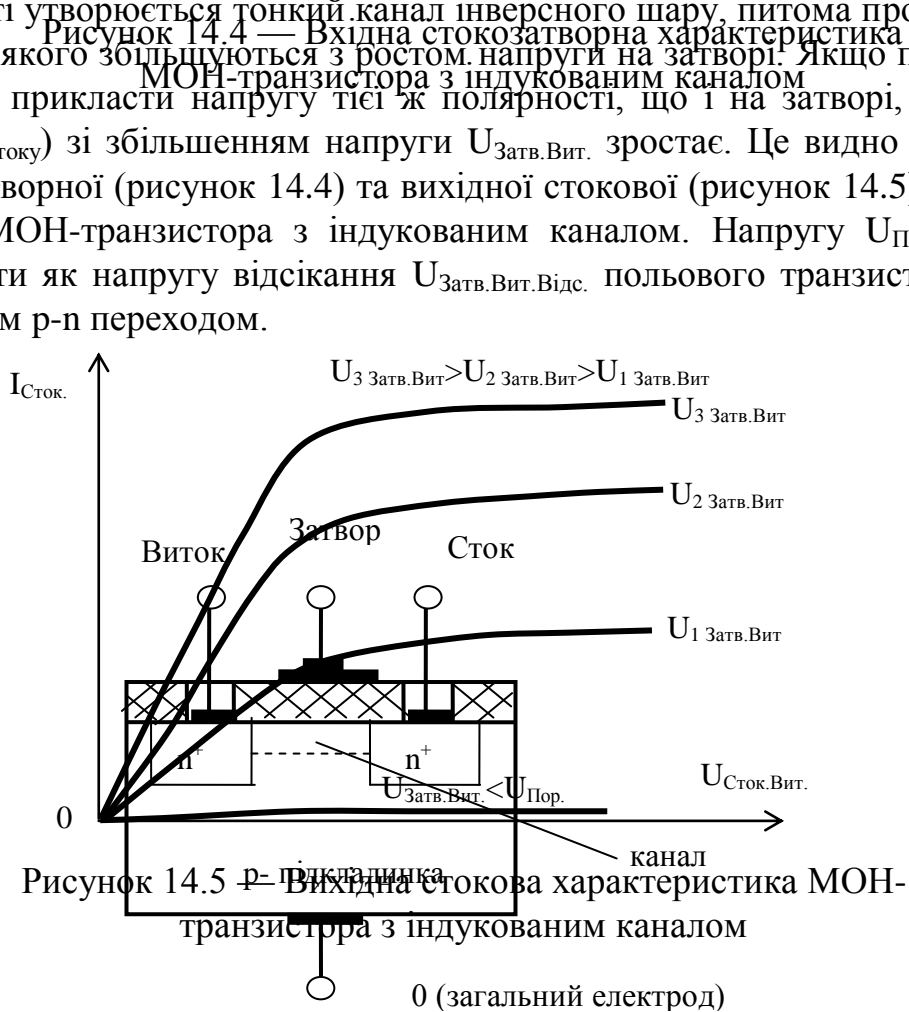


Рисунок 14.3 — Структура МОН-транзистора з індукованим каналом

Зацікавленість промисловості польовими транзисторами обумовлена головним чином їх малими власними шумами та високим вхідним опором.

Лекція 15

Класифікація та позначення тиристорів. Керований напівпровідниковий прилад з трьома або більше р-n переходами, вольт-амперна характеристика якого має ділянку від'ємного опору, називають тиристором. При вмиканні в коло змінного струму тиристор відкривається

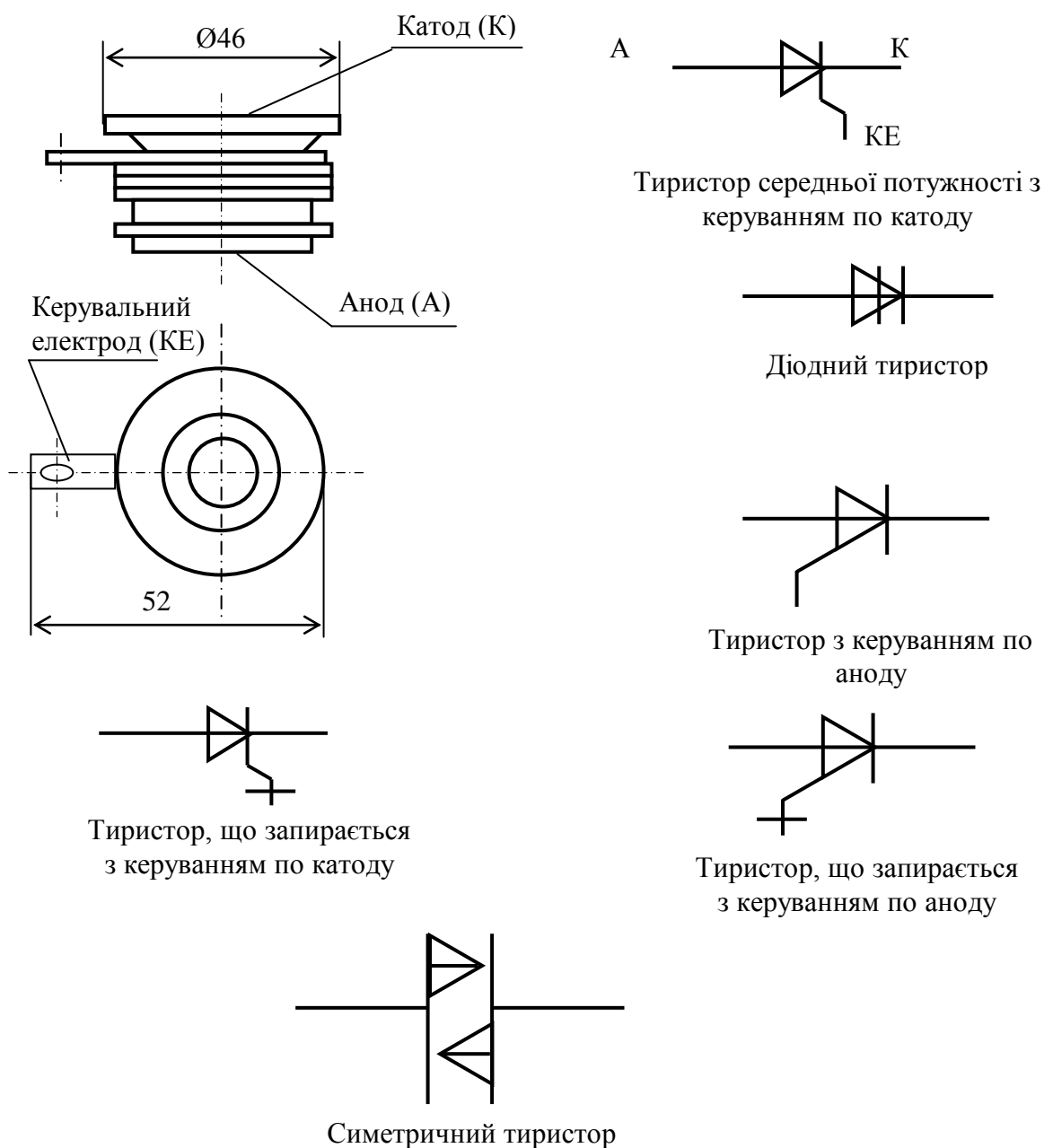


Рисунок 15.1 — Загальний вигляд та умовні позначення тиристорів

лише за умови досягнення напруги певного значення, або тоді, коли пода-
но напругу на керувальний електрод.

За числом зовнішніх електродів тиристори підрозділяються на дво-
електродні — це діодні тиристори (диністори), та триелектродні — тріодні
тиристори (триністори). Обидва ці типи тиристорів являють собою чоти-
ришарову структуру напівпровідника з послідовно розташованими типами
електропровідності. Крайні шари напівпровідника є анодом і катодом,

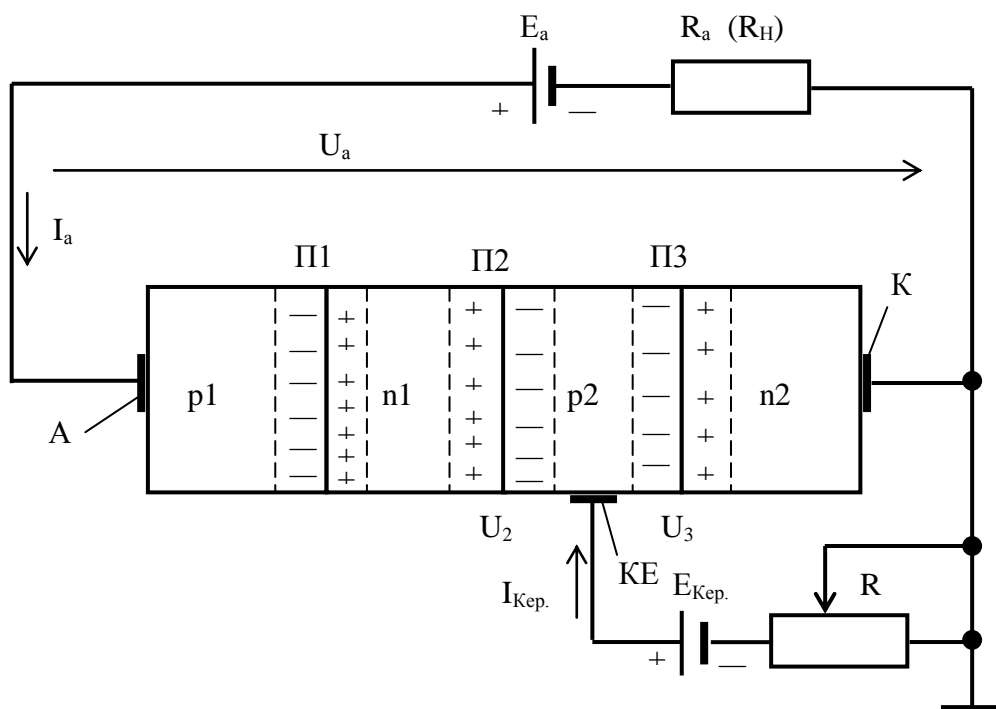


Рисунок 15.2 — Структурна схема під'єднання тиристора в елек-
тричне коло

а третій електрод у триністорів є кервальним електродом. Тому диністори є
перемикаючими діодами, а триністори — це керувані діоди.

В залежності від допустимого значення прямого струму тиристори
поділяються на малопотужні $I_{\text{відкр. max}} \leq 0,3 \text{ А}$, тиристори середньої потужно-
сті $0,3 \text{ А} < I_{\text{відкр. max}} \leq 10 \text{ А}$ та тиристори великої потужності $I_{\text{відкр. max}} = 10 \text{ А}$.
Тиристори великої потужності називають також силовими.

Робота та схеми під'єднання тиристорів. Загальний вигляд та
умовні позначення тиристорів показано на рисунку 15.1, а структурна схе-
ма та схема під'єднання тиристора в електричне коло — на рисунку 15.2.
На структурній схемі зображено чотиришарову структуру тиристора типу p-
n-p, до якої підводяться металеві контакти А та К, що називаються,
відповідно, анодом та катодом. Відповідні шари є емітерними шари-
ми, а p-n переходи П1 та П3 називають емітерними переходами. До аноду
та катоду під'єднують зовнішнє джерело струму E_a . Середні шари
напівпровідника n1 та p2 являють собою базові області. База p2 має мета-

левий контакт, який називають керувальним електродом КЕ і під'єднують до зовнішнього джерела керувальної напруги $E_{кер.}$.

Таким чином, чотиришарова структура є, так би мовити, поєднанням двох транзисторів в одному приладі, де комбінація шарів **p1-n1-p2** — це один транзистор, а **n1-p2-n2** — другий. Перехід **П2** є колекторним для обох транзисторів.

Лекція 16

Розглянемо вольт-амперну характеристику тиристора (рисунок 16.1). Якщо струм в колі керувального електрода дорівнює нулю ($I_{кер.}=0$, тобто

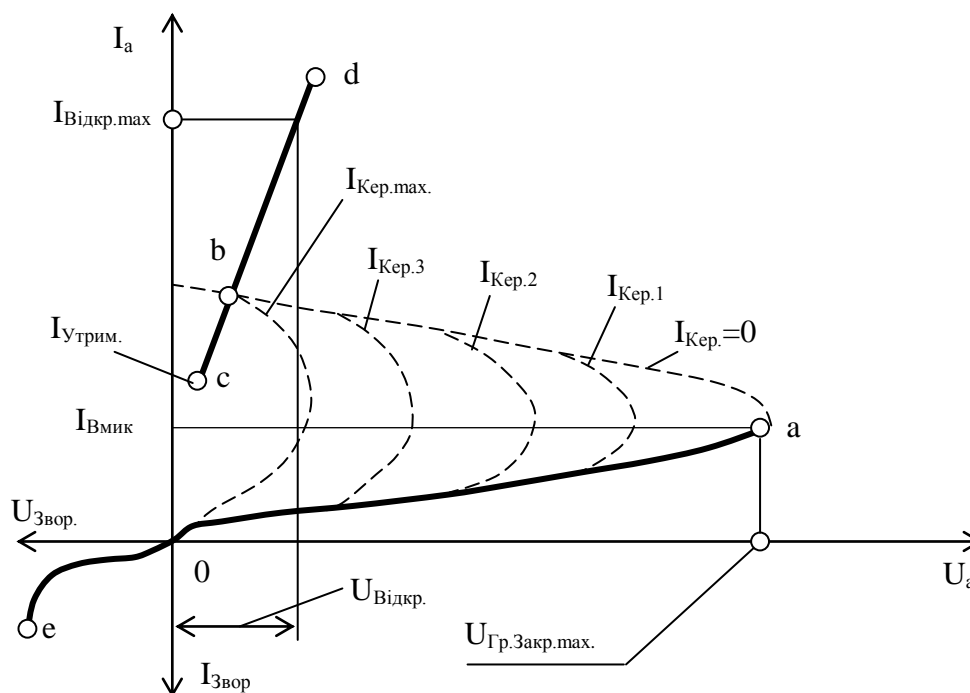


Рисунок 16.1 — Вольт-амперна характеристика тиристора

має місце диністорний режим), а між анодом та катодом прикладено невелику постійну напругу зазначеної на схемі тиристора полярності і ця напруга менша від граничної напруги закритого тиристора $U_{гр.закр.мах}$, то переходи **П1** та **П3** зміщуються у прямому напрямку, а перехід **П2** — зміщується у зворотному напрямку.

Слід зазначити, що при відсутності зовнішньої напруги в p-n переходах тиристора виникають потенціальні бар'єри, так само як у діода чи біполярного транзистора. При прямому зміщенні переходів **П1** та **П3** знижуються їх потенціальні бар'єри, а це створює умови для інжектування (введення) дірок із емітера **p1** в базу **n1** та інжектування електронів із емітера **n2** в базу **p2**. При цьому падіння напруги за рахунок зовнішнього джерела

струму на прямозміщених переходах **П1** та **П3**, які у даному випадку мають невеликий опір, невелике і більша його частина сприймається зворотно зміщеними переходами **П2**.

Струм, який протікає через тиристор у цьому випадку, залежить від зовнішньої напруги і визначається такими факторами: струмами інжекції емітерних переходів, струмами рекомбінації неосновних носіїв заряду в базах а також ефектом лавинного розмноження носіїв заряду у зворотно зміщеному колекторному переході **П2**.

Величина струму, що протікає через тиристор, визначається формулою

$$I_a = \frac{I_{ко}}{(1 - h_{2161} - h_{2162})},$$

де $I_{ко}$ — сума струму термогенерації та теплового струму в переході **П2**; h_{2161} та h_{2162} — коефіцієнти передачі емітерних струмів від переходів **П1** та **П3** до переходу **П2**. При диністорному вмиканні тиристора вищерозглянута формула є основною.

Оскільки при малих зовнішніх напругах струми інжекції емітерних переходів невеликі, то сума коефіцієнтів передачі емітерних струмів набагато менша одиниці, тобто $h_{2161} + h_{2162} \ll 1$, тому й струм тиристора мало відрізняється від струму $I_{ко}$ на переході **П2**. З підвищенням зовнішньої напруги струм I_a через тиристор зростає, тому що збільшується зміщення переходів **П1** та **П3** у прямому напрямку. При цьому в структурі тиристора розвивається лавиноподібний процес зростання струму, що аналогічно позитивному зворотному зв'язку за струмом.

На вольт-амперній характеристиці цей процес відображається ділянкою **oa**. Одночасно з ростом емітерних струмів збільшуються коефіцієнти передачі струмів h_{2161} та h_{2162} . Коли напруга на аноді (тиристорі) U_a досягає граничного значення ($U_a = U_{Гр.Закр.мах}$), внутрішній позитивний зв'язок у тиристорі викликає лавиноподібний процес інжекції основних носіїв зарядів із емітерних областей у базові.

Різке збільшення концентрації електронів у базі $n1$ та дірок у базі $p2$ призводить до швидкого зниження напруги U_2 зворотнозмщеного переходу **П2**, а, відповідно, і до зменшення напруги U_a на всьому тиристорі, тому що $U_a = U_1 + U_2 + U_3$.

Це означає, що пряма гілка вольт-амперної характеристики чотиришарової структури має ділянку від'ємного опору, яка на діаграмі показана штриховою лінією **ab**. На цій ділянці зростання струму обумовлене зменшенням напруги. Умовою вмикання тиристора зі зростанням зовнішньої напруги U_a є виконання співвідношення коефіцієнтів передачі струмів $h_{2161} + h_{2162} \geq 1$ при розвитку лавиноподібного процесу, в результаті якого струм у зовнішньому електричному колі тиристора зростає до величини, яка визначається навантаженням електричного кола R_a та напругою джере-

ла живлення E_a .

Робочою ділянкою вольт-амперної характеристики тиристора є ділянка **cd**. При цьому падіння напруги між анодом та катодом тиристора невелике, тому що всі переходи зміщені у прямому напрямку. Для вмикання тиристора необхідно зменшити значення прямого струму I_a до величини, що не більша струму утримання $I_{yтр.}$ (точка **c**), або подати на тиристор напругу зворотної полярності.

При зміні полярності зовнішньої напруги переходи **П1** та **П3** зміщуються у зворотному напрямку, а перехід **П2** залишається прямозміщеним. У цьому випадку вольт-амперна характеристика виходить такою ж, як і для звичайного діода при його зворотному під'єднанні. На діаграмі характеристики це ділянка **oe**.

Напругу вмикання тиристора $U_{Гр.Закр.мах}$ можна зменшити, якщо в коло якої-небудь із баз (частіше в базу **p2**), що примикають до переходу **П2**, внести від зовнішнього джерела $E_{Кер.}$ додаткову кількість носіїв заряду за рахунок струму керування $I_{Кер.}$ (триністорний режим роботи тиристора).

Регулюючи величину струму кола керування, можна змінювати рівень напруги перемикання ($U_{Гр.Закр.ьфч}$), при якому виникає лавиноподібний процес розмноження носіїв заряду. При цьому основне рівняння, що визначає струм тиристора, буде мати такий вигляд

$$I_a = \frac{I_{ко} + h_{2162} + I_{Кер.}}{1 - h_{2161} - h_{2162}}.$$

Лекція 17

Основними статичними параметрами тиристора, що визначаються його вольт-амперною характеристикою, є:

- максимально допустимий постійний струм $I_{Відкр.мах}$ у відкритому стані тиристора, при якому забезпечується задана надійність тиристора;
- напруга у відкритому стані тиристора $U_{Відкр.}$, тобто основна напруга при певному струмі (наприклад, $I_{Відкр.мах}$) відкритого тиристора;
- максимально допустима напруга тиристора $U_{Звор.мах}$, при якій забезпечується задана надійність тиристора і яка приблизно у два рази менша пробивної напруги;
- зворотний струм тиристора $I_{Звор.}$, який є анодним струмом при певній зворотній нарузі $U_{Звор.}$;
- максимально допустима постійна пряма напруга $U_{Гр.Закр.мах}$, при якій тиристор знаходиться у закритому стані (при деякому режимі в електричному колі керувального електрода) і при якій забезпечується задана надійність тиристора;

- струм вмикання тиристора $I_{\text{Вмик.}}$, тобто основний струм у точці вмикання тиристора;
- струм утримання тиристора в робочому режимі $I_{\text{Утр.}}$, тобто мінімальний основний струм, який потрібен для підтримання тиристора у відкритому стані при певному режимі у колі керувального електрода.

Параметрами граничного режиму роботи тиристора є:

- максимально допустимий імпульсний струм $I_{\text{Відкр. i max}}$ при відкритому стані тиристора з певною скважністю та тривалістю (як правило $t=10$ мс), при якому забезпечується задана надійність, де скважність — це проміжок часу між імпульсами струму;
- максимально допустима середня розсіювана тиристором потужність, $P_{\text{ср.max}}$, при якій забезпечується задана надійність тиристора.

Лекція 18

Коло керування тиристора характеризується сталим або імпульсним струмами $I_{\text{Кер.Відкр.}}$ ($I_{\text{Кер.Відкр.i}}$), що відпирають тиристор і проходять через його керувальне коло. Ці струми є мінімальними значеннями, відповідно, сталого та імпульсного струмів, які забезпечують перемикання тиристора із закритого стану у відкритий при певних режимах в електричних колах основних та керувальних електродів. Цим струмам відповідають постійні або імпульсні напруги $U_{\text{Кер.Відкр.}}$ (або $U_{\text{Кер.Відкр.i}}$), що відпирають тиристор.

Імпульси керування тиристором вибирають короткими з крутими фронтами, тому що при цьому зменшується тривалість вмикання $t_{\text{ВМК.}}$ та тривалість вимикання $t_{\text{Вим.}}$ тиристора, які є важливими його динамічними параметрами. У цьому випадку зменшується потужність комутаційних втрат на перемикання тиристора.

Однак тривалість імпульсного керування повинна бути більше тривалості вмикання тиристора. Мінімальна тривалість керувального імпульсу як правило складає 15...20 мкс. Від'ємний опір тиристора надає цим приладам ряд важливих переваг. Щоб увімкнути тиристор, достатньо подати на керувальний електрод короткий імпульс струму керування. Далі відкритий стан тиристора підтримується внутрішнім зворотним зв'язком. Тому тиристори мають дуже високий коефіцієнт підсилення потужності — порядку сотень тисяч. Це дозволяє використовувати сигнали керування дуже малої потужності у порівнянні з потужністю енергії, яка передається через структуру тиристора.

Лекція 19

Тенденції розвитку, основні визначення у мікроелектроніці та класифікація мікросхем. Процес розвитку електронної апаратури супроводжується постійним її ускладненням та відповідним збільшенням кількості дискретних елементів (транзисторів, діодів, ємностей, резисторів) з одночасним підвищенням вимог до якості апаратури, тобто до зменшення її маси, габаритних розмірів, зменшення енергоспоживання та підвищення надійності. При цьому виникає протиріччя, яке полягає у тому, що збільшення кількості дискретних елементів підвищує ймовірність виходу якогонебудь елемента із ладу, тобто знижує надійність апаратури, окрім того збільшуються габаритні розміри, маса та споживана потужність.

Це протиріччя можна подолати шляхом удосконалення елементної бази, конструкції та технології виробництва апаратури. Цей шлях розвитку електронної техніки привів до створення мікроелектроніки.

Мікроелектроніка — це напрямок електронної техніки, який охоплює проблеми та задачі розробки, проектування, виготовлення і використання мікроелектронних пристроїв. До мікроелектронних пристроїв відносяться і інтегральні мікросхеми.

Інтегральна мікросхема — це пристрій з високою щільністю упакування електронно пов'язаних елементів, який виконує певну функцію обробки і перетворення електричних сигналів. Такий пристрій, з точки зору конструктивно-технологічних та експлуатаційних вимог, розглядається як єдине ціле.

Елемент інтегральної мікросхеми є її частиною, виконаною невіддільно від кристала чи підкладки. Ця частина з точки зору експлуатаційних вимог та вимог до випробувань, упакування і поставки, не може розглядатись як самостійний виріб.

На відміну від елемента компонент є частиною інтегральної схеми, яку можна виділити як самостійний комплектувальний виріб (наприклад, безкорпусний транзистор в гібридній інтегральній мікросхемі).

В залежності від технології виготовлення інтегральні мікросхеми поділяються на напівпровідникові, плівкові та мікроборки. Плівкові інтегральні схеми підрозділяються у свою чергу на тонкоплівкові та товстоплівкові і, як правило, мають у своєму складі як елементи, так і компоненти і називаються у цьому випадку гібридними інтегральними схемами.

Напівпровідниковою інтегральною схемою називається інтегральна схема, у якій всі активні і пасивні елементи та їх з'єднання виконані у вигляді нероз'ємно пов'язаних р-п переходів в одному вихідному напівпровідниковому кристалі.

Напівпровідниковий кристал, в об'ємі та на поверхні якого за допомогою планарної технології формуються елементи мікросхеми та контактні площадки, виконує, таким чином, активну роль.

Гібридною інтегральною схемою називається інтегральна схема, яка вміщує у собі діелектричну основу (підкладинку), усі пасивні елементи на поверхні якої виконуються у вигляді одношарових або багатошарових плівкових структур, з'єднаних нерозривними плівковими провідниками, а напівпровідникові прилади, у тому числі інтегральні мікросхеми та інші компоненти (мініатюрні керамічні конденсатори, індуктивності), розміщені на підкладинці у вигляді дискретних навісних деталей.

Транзистори та інші напівпровідникові прилади у плівковому виконанні не знайшли використання, тому що отримання у виробничих умовах монокристалічних тонких плівок напівпровідника із задовільною структурою є дуже складною задачею.

На практиці поширене застосування знайшли інтегральні схеми, виготовлені із застосуванням як напівпровідникової, так і плівкової технологій. Оскільки кожен із згаданих способів виготовлення інтегральних схем має свої переваги, то обидва вони взаємно доповнюють один одного. Наприклад, безкорпусні напівпровідникові інтегральні схеми в багатьох випадках є компонентами гібридних інтегральних схем, що особливо характерно для мікрозборок.

Лекція 20

Мікрозборка, на віміну від напівпровідникових та гібридних інтегральних схем, виконує ту чи іншу більш складну функцію і складається із необхідного для цього поєднання елементів, компонентів та інтегральних схем.

Кількісна оцінка рівня розвитку інтегральної техніки здійснюється за допомогою показника, який має назву рівень інтеграції. Він є сумарною кількістю елементів N , що входять до інтегральної схеми. Десятковий логарифм від рівня інтеграції N , округлений до найближчого цілого числа

$$K = \lg N,$$

характеризує ступінь складності інтегральної схеми і називається ступенем інтеграції інтегральної схеми. При цьому інтегральні схеми з $N < 10$ є схемами 1-шого ступеня інтеграції, з N від 11 до 100 — другого ступеня, з N від 101 до 1000 — третього ступеня, з N від 1001 до 10000 — четвертого ступеню, з N від 10001 до 100000 — п'ятого ступеня інтеграції.

Складні інтегральні схеми з високим ступенем інтеграції (3..5) складають окрему групу великих інтегральних мікросхем.

За характером виконуваних функцій інтегральні мікросхеми поділяються на дві категорії — аналогові та цифрові. Аналогова інтегральна мікросхема виконує функції перетворення та обробки сигналів, які змінюються за законом неперервної функції. Такі інтегральні схеми використовуються в якості підсилювачів, генераторів гармонічних сигналів, фільтрів, детекторів

тощо.

Цифрова інтегральна мікросхема призначена для перетворення та обробки електричних сигналів, які змінюються за законом дискретної функції (двійкового або іншого цифрового коду). Варіантом терміна "цифрова інтегральна мікросхема" є термін "логічна інтегральна мікросхема".

Аналогові та цифрові інтегральні мікросхеми розробляються та виготовляються у вигляді серії. Серія інтегральних мікросхем — це сукупність інтегральних мікросхем, які виконують різноманітні функції, але мають єдине конструктивно-технологічне виконання та призначені для сумісного використання в електронній апаратурі.

Лекція 21

Вихідним матеріалом для виготовлення напівпровідникових інтегральних мікросхем є платівки кремнію завтовшки не більше 30..50 мкм та діаметром 50...100 мм, які називають підкладкою. На поверхні, або в

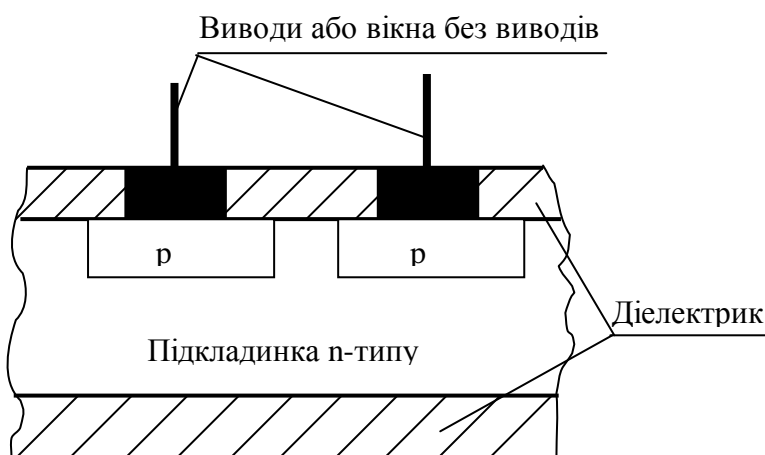


Рисунок 21.1 — Схема планарно-дифузійної технології виготовлення напівпровідникових інтегральних мікросхем

об'ємі таких підкладок формуються елементи напівпровідникової інтегральної мікросхеми. В основі формування елементів на підкладці лежить планарна технологія, яка дозволяє груповим методом обробляти одночасно декілька десятків підкладок в кожній із яких сотні і тисячі напівпровідникових інтегральних мікросхем.

Суть планарної технології (див. рисунок 21.1) полягає у тому, що на підкладку наноситься захисний шар діелектрика (часто це двоокис кремнію SiO_2), на який шляхом фотолітографії наноситься так звана маска. Тобто поверхню захисного шару покривається тонким шаром світлочутливої емульсії, яку називають фоторезистом, а на поверхню фоторезиста проєк-

тується потрібний рисунок маски. Після цього зображення проявляється і засвічені ділянки фоторезиста зтравлюються хімічним реагентом. При цьому оголюється захисний шар.

Далі шляхом хімічного травлення оголені ділянки розчиняються, створюючи сукупність вікон у діелектричному шарі. Через отримані таким чином вікна проводиться дифузія із газової фази домішок n- або p- типу у підкладинку іншого (відповідно) типу провідності. При цьому створюються потрібні p-n переходи, які і являють собою елементи мікросхеми.

Це так звана планарно-дифузійна технологія, яка схематично ілюструється рисунком 21.1.

Існує інший різновид планарної технології — планарно-епітаксіальна. Така технологія дозволяє нарощувати тонкий напівпровідниковий шар на напівпровідникову підкладинку з будь-яким типом провідності, при якому кристалічна ґратка нарощеного шару є точним продовженням кристалічної ґратки підкладинки. При цьому склад нарощеного шару (епітаксіальної плівки) може відрізнятись від складу матеріалу підкладинки.

Нарощуючи епітаксіальний шар n-типу на підкладинку з провідністю p-типу можна виготовляти p-n переходи. При цьому епітаксіальний шар n-типу, будучи однорідним за структурою, може слугувати для виготовлення інших p-n переходів, якщо його покрити захисним шаром, а потім здійснити технологічний процес за розглянутою вище планарно-дифузійною технологією.

Після закінчення групового технологічного циклу створення інтегральних мікросхем підкладинки розрізаються алмазним різцем або лазерним променем на окремі кристали, які і являють собою напівпровідникові інтегральні мікросхеми. Ще перед розрізанням підкладинки на окремі кристали проводиться вимірювання електричних параметрів напівпровідникових інтегральних мікросхем, непрацездатні мікросхеми відмічаються фарбою і відбраковуються.

Формування транзисторів в інтегральних мікросхемах. Найчастіше використовуються такі елементи напівпровідникових інтегральних схем, як транзистори. Домінуюче положення в напівпровідникових інтегральних мікросхемах займають біполярні та польові транзистори (з МОН-структурою).

Для виготовлення транзисторів, так само, як і інших елементів напівпровідникових інтегральних схем та міжелементних з'єднань, використовується декілька різновидів планарної технології. Відмінність цих технологій полягає, головним чином, у способах створення ізоляції між елементами інтегральної мікросхеми. Найбільш поширена планарно-дифузійна і планарно-епітаксіальна технології з ізоляцією елементів за допомогою зміщених p-n переходів.

Формування біполярних транзисторних елементів n-p-n типу в інтег-

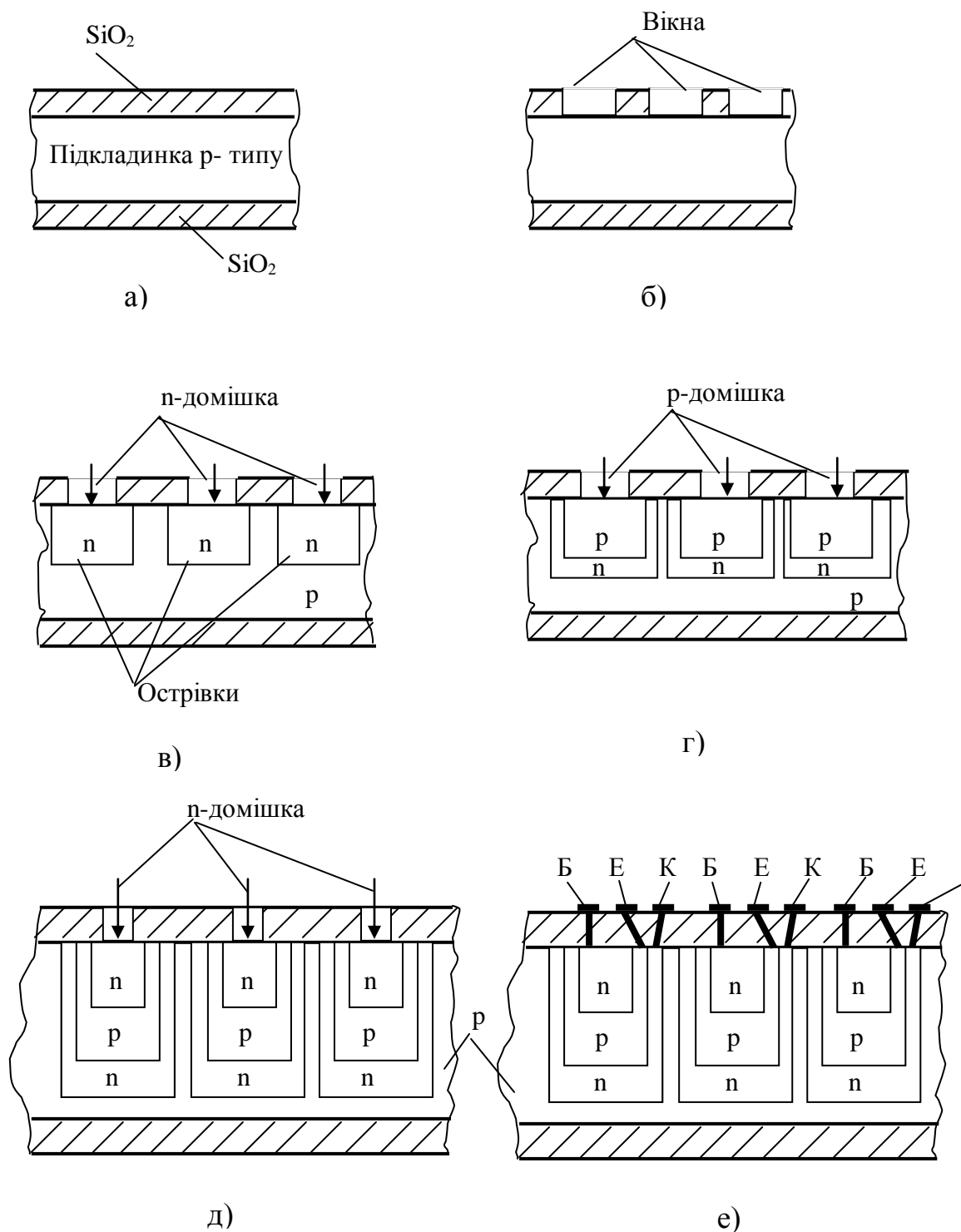


Рисунок 21.2 — Схема планарно-дифузійної технології виготовлення інтегральних транзисторів

ральній мікросхемі здійснюється методом планарно-дифузійної технології. Для цього (див. рисунок 21.2, а,б,в) шляхом термічного окислення кремнію на поверхні підкладинки формується тонка захисна плівка двоокису крем-

нію SiO_2 . Потім способом фотолітографії виготовляється перша оксидна маска, в результаті чого в оксидній плівці створюється сукупність отворів (вікон) необхідної конфігурації в кількості, яка відповідає заданому числу транзисторів інтегральної мікросхеми. ^К

Через отримані вікна проводиться дифузія домішки n-типу, яка проникає в глибину підкладинки. Внаслідок цього створюються шари n-типу (острівки), які ізольовані від підкладинки і від сусідніх островків за допомогою запертих p-n переходів. Такі островки є основою для створення усіх елементів інтегральної мікросхеми.

Для формування планарних транзисторів виготовляється друга оксидна маска, через яку в глибину острівка здійснюють дифузію домішки p-типу (рисунок 21.2, г). Потім виготовляється третя (рисунок 21.2, д) оксидна маска, через яку вводяться домішки n-типу. На заключному етапі через четверту оксидну маску напильються (рисунок 21.2, е) металізовані контакти на отримані раніше шари напівпровідника та напильються необхідні з'єднувальні доріжки.

Для виготовлення інтегральних мікросхем використовують ще процес епітаксії, при якому тонкий напівпровідниковий шар на підкладинці нарощується із газової фази.

Формування діодів в інтегральних мікросхемах. Діоди напівпровідникових інтегральних мікросхем на одинарних p-n переходах формують за такою ж технологією, як і транзистори на острівках підкладинки, або епітаксіального шару напівпровідника.

Однак із конструктивно-технологічних міркувань в якості діодів, як правило, використовують емітерний або колекторний p-n переходи інтегральних транзисторів.

Формування резисторів в інтегральних мікросхемах. Створення інтегральних резисторів у вигляді тонкого (порядку 3 мкм) шару напівпровідника здійснюється за планарною технологією в процесі дифузії домішки в острівки підкладинки чи епітаксіального шару одночасно з формуванням транзисторів та діодів в інших острівках пластинки.

Такі резистори називаються дифузійними. Ізоляція дифузійних резисторів від інших елементів та підкладинки здійснюється так само як і в інтегральних транзисторах — за допомогою запертого p-n переходу.

Формування конденсаторів в інтегральних мікросхемах. В якості конденсаторів в напівпровідникових інтегральних мікросхемах використовують ємності зворотно ввімкнених p-n переходів (бар'єрні ємності) біполярних транзисторів. Використовують також ємності МОН-транзисторів, які виготовляються в ізольованих від інших елементів острівках в єдиному технологічному циклі з іншими транзисторними

структурами.

Переважно інтегральні конденсатори формуються на основі бар'єрних ємностей емітерного та колекторного р-n переходів біполярних транзисторів. Індуктивні інтегральні елементи практично не використовуються через великі труднощі реалізації навіть дуже малих величин індуктивності.

З'єднання інтегральних елементів в мікросхемах. Після виготовлення усіх елементів (транзисторів, діодів, резисторів) напівпровідникових інтегральних схем необхідно створити міжелементні з'єднання, що формують кінцеву структуру принципової схеми певного призначення, також необхідно створити контактні площадки для під'єднання зовнішніх виводів корпусу мікросхеми. Для цього попередньо окислена поверхня пластини кремнію покривається шаром осадженого алюмінію (наприклад, методом вакуумного напилення) товщиною 0,5...2 мкм, який після заключної операції фотолітографії через вікна фоторезиста в непотрібних місцях стравлюється.

На поверхні напівпровідника залишається необхідний рисунок алюмінієвих провідників шириною біля 10 мкм та контактні площадки. З'єднання контактних площадок з виводами корпусу здійснюється у більшості випадків за допомогою золотих дротиків діаметром 25...50 мкм, закріпленних ультразвуковим або термокомпресійним зварюванням.

Лекція 22

Плівкова технологія, що використовується у виробництві гібридних інтегральних мікросхем, дозволяє виготовляти з достатньо стабільними параметрами пасивні елементи — резистори, конденсатори, індуктивності. Тому чисто плівкові інтегральні мікросхеми являють собою набори резисторів, конденсаторів або резистивно-ємнісних електричних кіл, тобто є пасивними інтегральними мікросхемами.

Активні компоненти в гібридних інтегральних мікросхемах виконуються у вигляді дискретних (окремих) приладів. При виготовленні гібридних інтегральних мікросхем забезпечується більш високий процент виходу придатних виробів (60...80)% у порівнянні з напівпровідниковими інтегральними мікросхемами (5...3)%.

Пасивні елементи гібридних мікросхем виготовляються як на основі тонких (до 1мкм), так і на основі товстих (від 1 до 50мкм) плівок. Товстоплівкові елементи поступають тонкоплівковим у стабільності параметрів та за допусками на номінальні значення параметрів. Основними компонентами гібридних інтегральних мікросхем є:

— підкладинка; система пасивних елементів (резистори, ємності, індуктивності) та їх з'єднання; активні навісні компоненти.

Найбільш поширені прямокутні підкладинки з габаритними розмірами від 6x15 до 48x60 мм при товщині 0,52 мм. Найбільш придатними для підкладинки є три групи матеріалів: різні види скла; склокерамічні матеріали; різновиди кераміки.

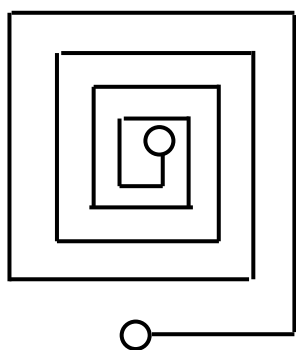
Для виготовлення плівкових резисторів використовуються резистивні матеріали з різним поверхневим питомим опором. Такі матеріали можна поділити на три основні групи: чисті метали; сплави металів; мікрокомпозиції. В якості резистивних матеріалів на основі чистих металів використовуються хром і тантал. Резистивні матеріали на основі сплавів — це ніхром, а також нітриди, карбіди та силіциди хрому, танталу і вольфраму.

Мікрокомпозиції за електричними властивостями наближаються до сплавів металів. Нанесення тонких плівок на підкладинку здійснюється з використанням різноманітних технологічних методів, які разом із методом фотолітографії дозволяють отримати резистори необхідної конфігурації та розмірів.

Найбільш поширені методи вакуумного напилення та катодного або іонно-плазмового розпилення. Діапазон номінальних значень тонкоплівкових резисторів має порядок 100 Ом ... 50 кОм при номінальній потужності 0,2 Вт.

Конденсатори. В найпростішому випадку плівкові конденсатори мають тришарову структуру: два металевих шари (обкладинки конденсатора) з діелектричним шаром між ними. У більш складних конструкціях конденсатори мають багатошарову структуру.

Котушки індуктивності в гібридних інтегральних схемах виконують на підкладинці у вигляді круглої або прямокутної спіралі (рисунк 22.1). Максимальне значення індуктивності для плівкових схем не перевищує 5 мкГн (мікроГенрі) при порівняно невеликій добротності ($Q=50$), яка обумовлена втратами в омичному опорі котушок. У зв'язку з цим в гібридних інтегральних схемах часто використовують дискретні котушки індуктивності в мікромініатюрному виконанні.



Рисунк 22.1 — Конструктивна схема індуктивності в гібридних інтегральних схемах

Активні компоненти в гібридних інтегральних схемах виконують у вигляді дискретних напівпровідникових діодів, транзисторів, напівпровідникових інтегральних схем, гібридних інтегральних схем, як правило, у безкорпусному виконанні.

З'єднання пасивних елементів та навісних компонентів в гібридних інтегральних схемах виконуються у вигляді плівкових провідників та контактних площадок. Для напилення плівкових провідників та контактних площадок найбільш придатним матеріалом є золото, срібло, мідь та алюміній. Ці матеріали використовуються у поєднанні з підшарами

(прошарками) нікелю, хрому та ніхрому.

Кріплення навісних компонентів з жорсткими виводами до контактних площадок здійснюють пайкою, ультразвуковим зварюванням, термокомпресією, променем лазера.

Компоненти з гнучкими виводами припаюються або приклеюються за допомогою епоксидних клеїв.

Лекція 23

Для захисту елементів та компонентів інтегральних схем від дії зовнішнього середовища (пил, волога, механічні пошкодження) здійснюється герметизація кристала (підкладинки). Герметизацію інтегральної мікросхеми здійснюють або за допомогою ізоляційних матеріалів, або з використанням принципів вакуум-щільної герметизації.

Герметизація ізоляційними матеріалами здійснюється шляхом покриття кристала напівпровідника чи підкладинки гібридної інтегральної мікросхеми шаром органічного діелектрика: лаку або компаунда. Вакуум-щільна герметизація здійснюється розміщенням кристала в герметизований корпус.

Промисловістю випускаються корпуси прямокутної та круглої форми (рисунок 23.1 та рисунок 23.2). В залежності від матеріалу розрізняють чотири типи корпусів: металоскляні; металокерамічні; керамічні; пластмасові.

Металоскляний корпус складається з металеві кришки і скляної або металеві основи, обладнаної виводами через скляні ізолятори. В металокерамічному корпусі основа виконана із кераміки, з'єднаної з металевим корпусом шляхом заливки компаундом. Керамічний корпус складається із керамічної кришки та основи, які з'єднуються паянням. Пластмасовий корпус отримують опресовуванням кристала (підкладинки) в пластмасу, оснащену рамкою з ви-водами.

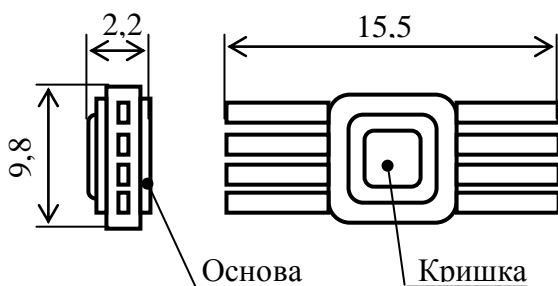


Рисунок 23.1 — Прямокутна форма корпусу напівпровідникового кристала інтегральної мікросхеми

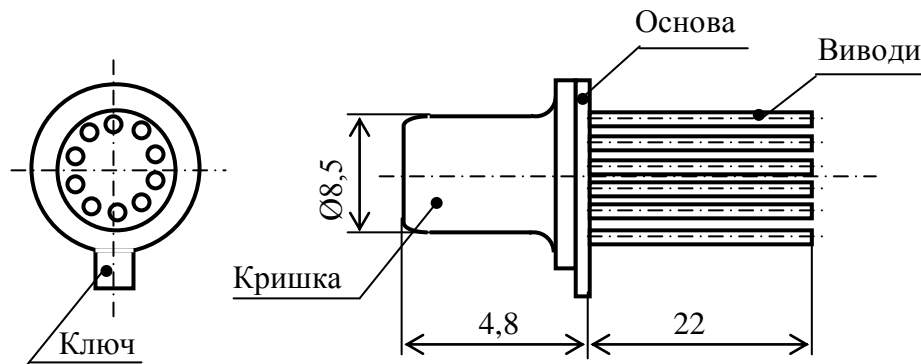


Рисунок 23.2 — Кругла форма корпусу напів-провідникового кристала інтегральної мікросхе-

Таким чином, головним елементом конструкції корпусу є металева або керамічна кришка та армована виводами основа, на якій за допомогою додаткових конструктивних елементів кріпиться кристал (підкладинка мікросхеми).

Лекція 24

Аналогові інтегральні мікросхеми підрозділяються на інформаційні та силові. Інформаційні реалізують функції підсилення, генерації, фільтрації, порівняння, модуляції, детектування, що властиве інформаційній електроніці.

Силові аналогові мікросхеми реалізують функції випрямлення змінного струму у постійний; функції перетворення постійної напруги у змінну; функції стабілізації напруги, що властиве енергетичній електроніці.

Реалізація як завгодно складних аналогових функцій здійснюється шляхом з'єднання як аналогових інтегральних схем між собою, так і зв'язків із зовнішніми пасивними елементами (резисторами, конденсаторами, індуктивними елементами). Найбільш поширеними серед інтегральних мікросхем є інтегральні підсилювачі. Вони підрозділяються за кількістю входів і виходів на три групи: з одним входом і одним виходом; з двома входами і двома виходами; з двома входами і одним виходом.

Умовні позначення інтегральних підсилювачів показані на рисунку 24.1. На цих умовних позначеннях кружечками на контурі показано інвертувальний вхід. Без кружечка вхід прямий (не інвертувальний).

Під інвертувальним розуміють вхід, збільшення напруги на якому викликає зменшення напруги на виході, тобто здійснюється поворот фази. Підсилювачі першої групи є підсилювачами змінної або постійної напруги. Вони також є підсилювачами потужності (ПП), за допомогою яких збільшується напруга та потужність електронних сигналів без зміни їх частоти

та форми. Такі підсилювачі, як правило, складаються з дво- або трикаскадного підсилювача на біполярних транзисторах, або на МДН-транзисторах (транзисторах типу "метал-діелектрик-напівпровідник" (польові транзистори)).

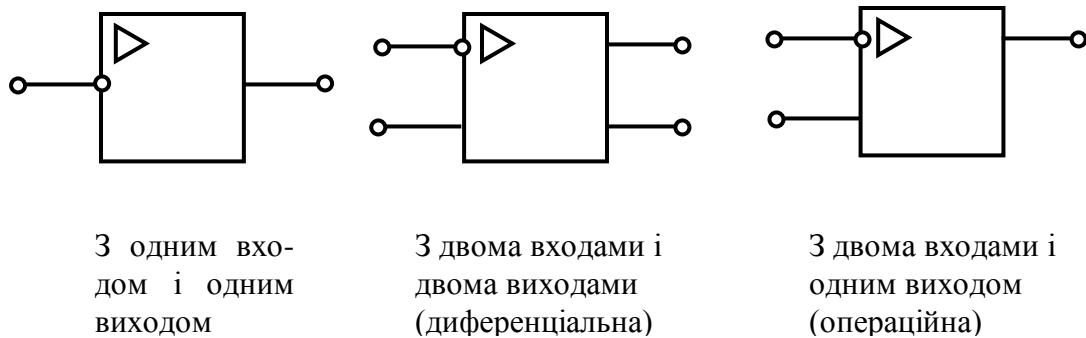


Рисунок 24.1 — Умовні позначення інтегральних підсилювачів

До другої групи інтегральних схем підсилювачів відносяться диференціальні підсилювачі (ДП). Їх основне призначення — це підсилення двох сигналів, що подаються на входи відносно загальної точки — корпусу.

До третьої групи входять операційні підсилювачі (ОП), які є підсилювачами постійного струму з дуже великим входним опором та дуже малим опором на виході.

Силкові інтегральні мікросхеми з'явилися значно пізніше інформаційних. Найбільш перспективним розвитком аналогових інтегральних мікросхем є розвиток стабілізаторів напруги.

Цифрові (логічні) інтегральні мікросхеми. Цифрові інтегральні мікросхеми являють собою основу цифрових пристроїв обробки інформації. Особливо це стосується електронно-обчислювальних комплексів. Аналіз цифрових інтегральних схем базується на використанні апарату математичної логіки, тобто розділу математики про розв'язання логічних задач. В основі математичної логіки лежить поняття події. Це поняття оцінюється тільки з позиції його настання. Подія може статися (відбутися) або не статися (не відбутися). Подій, які б одночасно і настали, і не настали не існує. Виходячи з цього, кожній події можна приписати значення істинності, яке дорівнює або одиниці, або нулю. Це дуже зручно для операцій в двійковій системі числення, де мають місце тільки дві цифри — одиниця та нуль. Будь-яку величину, яка може мати два значення — 1 чи 0, називають змінною.

Якщо над простими подіями провести ті чи інші логічні операції, можна отримати складну подію, тобто функцію, яку називають двійковою функцією. Виконання логічних операцій над двійковими змінними є основою обробки інформації.

Цифрові інтегральні схеми (елементи) являють собою ключі, які мають у загальному випадку m входів та n виходів, де ($m \geq 1$ та $n \geq 1$). Кожна з цих схем реалізує певну логічну функцію, яку можна подати у такому вигляді

$$y_j = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_m), \quad (1.3)$$

де $j=1,2,3,\dots,n$; x_i — інформаційне значення вхідних сигналів, яке дорівнює логічній одиниці, або логічному нулю; y_j — інформаційне значення сигналів на виході, які, в залежності від x_i , можуть приймати лише значення 1 або 0. При цьому для подання двійкових змінних в електронних системах використовують електричні сигнали.

Мають місце два способи подання двійкових змінних: потенціальний та імпульсний. При потенціальному способі двом значенням істинності, що дорівнюють 1 чи 0, відповідають два різних потенціали, які можуть бути як позитивними, так і негативними.

Наприклад, якщо транзистор закритий, то на його колекторі високий рівень напруги (має місце логічна одиниця), якщо транзистор повністю відкритий, то на його колекторі низький рівень напруги (має місце логічний нуль).

При імпульсному способі подання двійкових змінних двом значенням істинності відповідає наявність або відсутність імпульсного сигналу в моменти, які відповідають тактовим (головним) імпульсам.

Для кращого сприйняття суті логічної дії, що виражається логічною функцією (1.3), її задають у вигляді таблиці стану вхідних x_i та вихідних y_j змінних. Таку таблицю називають таблицею істинності. Ключі, що перемикають стан елементів в логічних інтегральних схемах, можуть бути виконані на різних напівпровідникових приладах: діодах; біполярних транзисторах; МОН-транзисторах; чи на їх поєднаннях.

Найпростішою логічною функцією є функція НЕ, яка називається також логічним запереченням, або інверсією і позначається рискою над логічною змінною: $y = \bar{x}$, тобто y не дорівнює x .

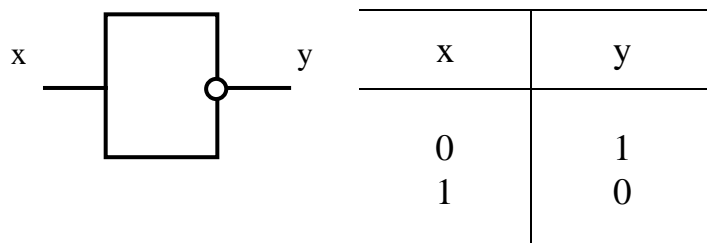


Рисунок 24.2— Графічне зображення схеми НЕ та її таблиця істинності

Логічну функцію НЕ реалізують логічні інтегральні схеми, які містять електронний ключ з одним входом та одним виходом. При цьому сигнал на

виході завжди протилежний вхідному. При відсутності сигналу на вході, тобто при логічному нулю, на виході буде високий рівень напруги, тобто буде логічна 1, і навпаки.

Графічне зображення хеми НЕ та її вихід і таблиця істинності показані на рисунку 24.2, де логічний індикатор "0" (кружечок) вказує на інверсний вихід.

Логічна функція АБО називається логічним додаванням (диз'юнкцією) і позначається символами "+" або \vee (від латинського слова *vel* — або). У вигляді виразу логічне додавання записується так

$$y = x_1 \vee x_2 \dots \vee x_m.$$

Реалізація логічної функції АБО здійснюється логічними інтегральними схемами (які ще називають схемами збирання) на основі електронних ключів з двома та більше входами і одним виходом. У цьому випадку сигнал на виході (y) дорівнює одиниці, якщо хоча б один із вхідних сигналів (x_i) дорівнює одиниці.

Графічне зображення схеми АБО має вигляд, показаний на рисунку 24.3. Символ 1 на зображенні позначає логічну функцію АБО.

Логічна функція І (ТА) називається логічним множенням (кон'юнкцією) і позначається ця логічна операція $\&$ або символом \wedge . Приклад логічної функції І:

$$y = x_1 \wedge x_2 \wedge \dots \wedge x_m$$

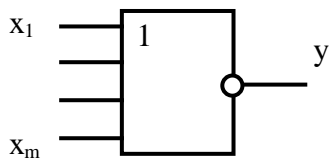


Рисунок 24.3 — Графічне зображення схеми АБО

Логічну функцію І реалізують логічні інтегральні схеми, які так і називаються "інтегральна схема І". Таку схему ще називають схемою збігання і реалізують її на основі електронних ключів з двома або більше входами та одним виходом. На цьому виході з'являється сигнал 1 тільки тоді, коли на всі входи одночасно подані сигнали логічної одиниці. В іншому випадку, навіть за

наявності на вході лише одного нуля, сигнал на виході дорівнюватиме логічному нулеві.

Графічне позначення схеми І показано на рисунку 24.4. Символ $\&$ (амперсанд) означає логічну функцію І.

Використовуючи логічні інтегральні схеми НЕ, АБО, І, можна реалізувати логічну функцію будь-якої складності, тобто створити як завгодно складний у функціональному відношенні цифровий пристрій. Тому схеми НЕ, АБО та І називають функціонально повною системою логічних елементів. Окрім того доведено, що для побудови будь-яких цифро-

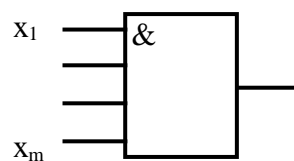


Рисунок 24.4 — Графічне зображення схеми І

вих систем достатньо використовувати тільки дві схеми із трьох основних: це схеми АБО та НЕ, попарно об'єднуючи які, отримують два універсальних логічних елементи І-НЕ та АБО-НЕ.

Елемент І-НЕ виконує функцію логічного добутку вхідних сигналів (це так званий штрих Шеффера). У вигляді логічного виразу його дію можна записати як

$$y = \overline{x_1 \wedge x_2 \wedge \dots \wedge x_m}.$$

Елемент АБО—НЕ виконує функцію заперечення логічного додавання (це так звана стрілка Пірса), яку у вигляді логічного виразу можна подати як

$$y = \overline{x_1 \vee x_2 \vee \dots \vee x_m}.$$

Реалізувати такі елементи можна на електронних ключах різних типів: діодних, транзисторних, діодно-транзисторних та інших. Графічне зображення логічної інтегральної схеми І-НЕ на електронних принципових схемах показано на рисунку 24.5.

Для інтегральної схеми АБО—НЕ графічне зображення показано на рисунку 24.6.

Логічні інтегральні схеми різноманітних серій мають, як правило, більше двох виводів. Число їх виходів обмежується числом зовнішніх виводів стандартних корпусів і здебільшого не перевищує восьми.

Слід зазначити, що напівпровідникові логічні інтегральні схеми ма-

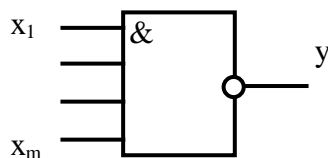


Рисунок 24.5 — Графічне зображення схеми І—НЕ

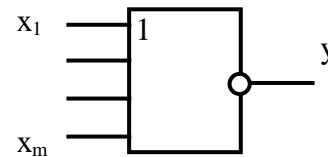


Рисунок 24.6 — Графічне зображення схеми АБО—НЕ

ють більш стабільні параметри і меншу вартість у порівнянні з гібридними та товстоплівковими.

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., перераб. 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.