

**Міністерство освіти і науки України
Харківський державний політехнічний коледж**

КОМП'ЮТЕРНА ЕЛЕКТРОНІКА

**Конспект лекцій
для спеціалізації 5.123.1
“Обслуговування комп'ютерних систем і мереж”**

2019р.

ВСТУП

Електроніка як наука займається вивченням явищ і процесів, пов'язаних з рухом заряджених частинок в різних середовищах (вакуумі, газах, рідинах, твердих тілах). Завдання електроніки як галузі техніки – розробка, виробництво і експлуатація електронних приладів.

Електронні прилади та пристрої застосовуються практично в усіх галузях науки і техніки, промисловості і транспорту, зв'язку і побуту. Тому студенти будь-якої технічної спеціальності мають вивчити основи електронної техніки з метою подальшого застосування набутих знань при вивченні фахових дисциплін, в своїй практичній діяльності.

Програмою предмета, незалежно від його назви в навчальному плані конкретної спеціальності, передбачено вивчення елементної бази електроніки та сучасної схемотехніки.

Даний конспект лекцій є складовою частиною методичного забезпечення предмета, а також може бути використаний студентами в їх навчальній діяльності.

Основні етапи розвитку електронної техніки

Історію розвитку електроніки можна умовно поділити на чотири періоди.

Перший відноситься до кінця XIX століття і пов'язаний з рядом важливих відкриттів в науці і техніці:

- термоелектронна емісія (Т.Едісон, 1883 р.);
- фотоелектричний ефект (А.Г.Столетов, 1888 р.);
- радіозв'язок (О.С.Попов, 1895 р.).

Другий період охоплює першу половину XX століття:

- створення перших електронних ламп - діодів і тріодів (1904-1907 р.р.);
- створення багатосіткових електронних ламп (1924-1935 р.р.);
- створення високочастотних і надвисокочастотних електронних ламп (30 – 40 роки);
- створення напівпровідникового елемента (1920 р.).

Третій період (кінець 40-х – початок 50-х років) характеризується стрімким розвитком дискретної напівпровідникової техніки:

- створення біполярного транзистора (1948 р.);
- створення квантових оптичних генераторів (лазерів);
- розвиток телевізійної техніки.

Четвертий період бере початок в 60-і роки і характеризується мікромініатюризацією напівпровідникових пристроїв на базі

інтегральних мікросхем (мікроелектроніка), що викликано стрімким розвитком інформатики та обчислювальної техніки.

Подальший розвиток електроніки пов'язаний з поглибленням мікромініатюризації електронних виробів на основі фізичних процесів підсилення, генерування, які відбуваються на молекулярному рівні. Це дозволить створити електронні системи нового покоління.

Рекомендована література.

Руденко В.С. та ін. Промислова електроніка: Підручник / В.С.Руденко, В.Я.Ромашко, В.В.Трифонюк.-К.: Либідь, 1993.-432с.
(в подальшому в тексті- [Л.1])

Бодиловский В.Г. Полупроводниковые и электровакуумные приборы в устройствах автоматики, телемеханики и связи: Учебник для техникумов ж.-д. трансп.- 5-е изд.,- М.: Транспорт, 1986.-440с.
[Л.2]

Розділ 1. НАПІВПРОВІДНИКОВІ ПРИЛАДИ

1.1 Фізичні основи роботи напівпровідникових приладів

Власна та домішкова провідність напівпровідників.

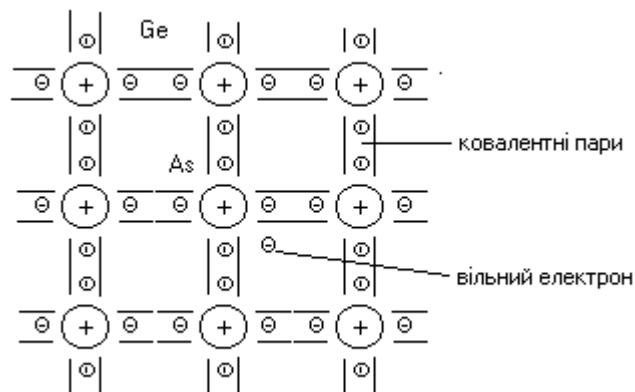
Всі речовини, які зустрічаються у природі, за спроможністю проводити електричний струм розділяються на провідники, діелектрики та напівпровідники.

Напівпровідникові матеріали мають тверду кристалічну структуру і за своїм питомим опором займають проміжне місце між провідниками і діелектриками. При виготовленні напівпровідникових приладів найчастіше використовують такі напівпровідникові матеріали, як германій (Ge), кремній (Si), арсенід галію (GaAs). Використовують також оксиди, карбіди, та сульфід деяких хімічних елементів.

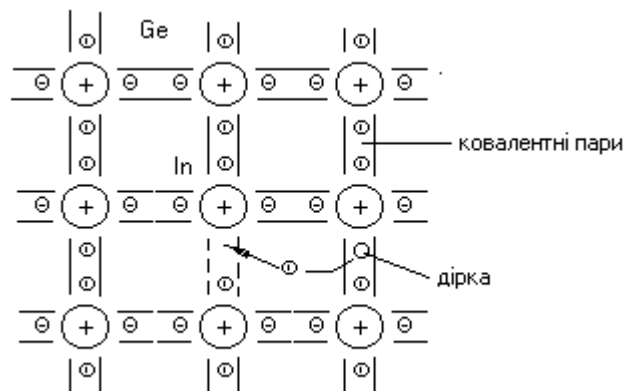
Типові напівпровідники – германій і кремній – чотирьохвалентні матеріали з ковалентними (парноелектронними) зв'язками між атомами. При нульовій абсолютній температурі всі електрони беруть участь у міжатомних зв'язках, вільні електрони відсутні і напівпровідник має нульову провідність. При температурах, вищих за абсолютний нуль, частина електронів може розірвати ковалентні зв'язки і стати вільними електронами провідності. На їх місці з'являються так звані “дірки”, які в електричному відношенні рівноцінні позитивним зарядам і які, подібно електронам, можуть рухатися в кристалі. Електрони і дірки називають носіями струму. В чистому напівпровіднику кількість дірок дорівнює кількості електронів, що їх утворили. Такий напівпровідник має власну провідність. *Власна провідність* має незначну величину.

Для збільшення провідності напівпровідників в них додають домішки (домішкова провідність). Існує два типи домішкової провідності:

- *електронна (тип n)*. Для її утворення в чистий напівпровідник додають 5-валентну домішку, наприклад, миш'як (As). При цьому 4 валентних електрони домішки утворюють ковалентні зв'язки з атомами напівпровідника, а п'ятий електрон стає надлишковим;
- *діркова (тип p)*. Для її утворення в чистий напівпровідник додають 3-валентну домішку, наприклад, індій (In). При цьому 3 валентних електрони домішки утворюють ковалентні зв'язки з атомами напівпровідника, а для утворення четвертого зв'язку індій запозичує електрон у сусіднього атома напівпровідника, де і з'являється дірка.



Мал.1 Утворення електронної провідності



Мал.2 Утворення діркової провідності

Основні та неосновні носії струму

Основними називають носії струму, які визначають тип провідності. Отже, в напівпровіднику типу "n" основними носіями є електрони, а дірки – неосновними. В напівпровіднику типу "p" – навпаки, основними носіями є дірки, а електрони – неосновними. Кількість основних носіїв значно перевищує кількість неосновних.

Генерація та рекомбінація носіїв струму

Генерацією називається процес розриву ковалентних зв'язків з утворенням вільних носіїв струму – електронів і дірок.

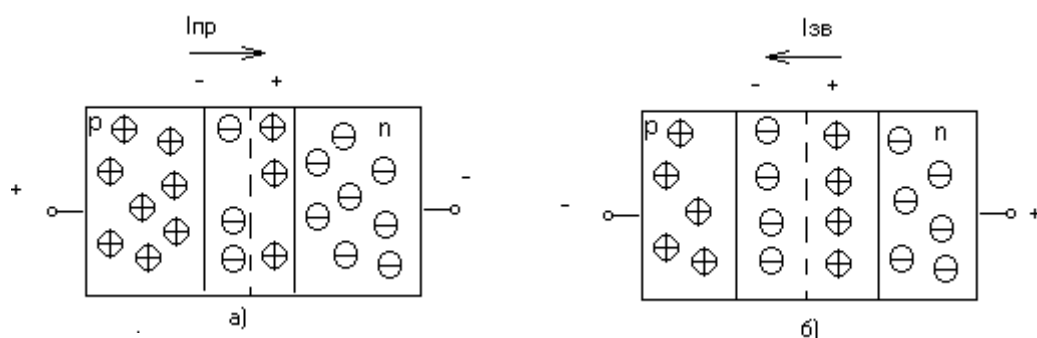
Рекомбінацією називається процес поновлення ковалентних зв'язків, коли вільний електрон займає вакантний енергетичний рівень.

Структура та властивості електронно-діркового переходу

Електронно-дірковим переходом (*p-n-переходом*) називається місце контакту двох напівпровідників з різним типом провідності. Процес утворення *p-n*-переходу починається з дифузії носіїв струму до сусідніх областей напівпровідникового кристалу, де вони рекомбінують з основними носіями. При цьому у приконтантному шарі напівпровідника значно зменшується концентрація основних носіїв (збіднений шар) і збільшується концентрація неосновних (збагачений шар). В результаті цього в місці контакту виникають дві заряджених зони: позитивного заряду і від'ємного заряду, електричне поле яких перешкоджає подальшій дифузії носіїв струму. Подвійний електричний шар в області *p-n*-переходу зумовлює контактну різницю потенціалів і називається *потенціальним бар'єром*. Найважливіша властивість *p-n*-переходу виявляється при підключенні його до зовнішнього джерела живлення. При прямому вмиканні ("+" до *p*-області, "-" до *n*-області) під дією електричного поля джерела основні носії наближаються до *p-n*-переходу, рекомбінують з неосновними носіями, внаслідок чого *p-n*-перехід звужується, його потенціальний бар'єр знижується і при певній напрузі він відкривається для проходження струму (прямий струм $I_{пр}$). При зворотному вмиканні ("-" до *p*-області, "+" до *n*-області) під дією електричного поля джерела *p-n*-перехід навпаки, розширюється, його потенціальний бар'єр підвищується і він закривається для руху основних носіїв струму.

Таким чином, основна властивість *p-n*-переходу – його *одностороння провідність*.

При зворотному вмиканні через *p-n*-перехід протікає так званий *зворотний струм* $I_{зв}$, зумовлений рухом неосновних носіїв. Оскільки кількість неосновних носіїв значно менша, ніж основних, зворотний струм має незначну величину порівняно з прямим: $I_{пр} \gg I_{зв}$.



Мал.2 Пряме (а) і зворотне (б) вмикання р-п-переходу.

Ємність р-п-переходу

Р-п перехід має дві заряджених області, тобто, подібно конденсатору, здатний накопичувати електричні заряди. Ця властивість р-п-переходу визначає його електричну ємність. Електрична ємність враховується при конструюванні напівпровідникових приладів, їх розрахунках. Електрична ємність р-п-переходу використовується в конструкціях напівпровідникових конденсаторів інтегральних мікросхем та варікапів.

Пробій р-п-переходу

Пробоєм називається швидкопротікаючий процес значного збільшення зворотного струму р-п-переходу при перевищенні зворотною напругою певної величини (*пробивна напруга*).

При цьому значно зростає енергія носіїв струму, що приводить до *електричного пробоя*. Короткочасний електричний пробій може не руйнувати структуру р-п-переходу. Електричний пробій може супроводжуватись *тепловим пробоєм*, при якому р-п-перехід перегрівається і руйнується.

Запитання для самоперевірки:

- Назвіть найбільш поширені напівпровідникові матеріали.
- В чому полягають особливості структури напівпровідникових матеріалів?
- Які два типи носіїв струму існують в напівпровідниках?
- Поясніть механізм утворення електронної та діркової провідності в напівпровідниках.
- Що таке основні і неосновні носії струму?
- Що таке генерація і рекомбінація носіїв струму?
- Що називається р-п-переходом?
- Що означає пряме і зворотне включення р-п-переходу?
- Яка основна властивість р-п-переходу?

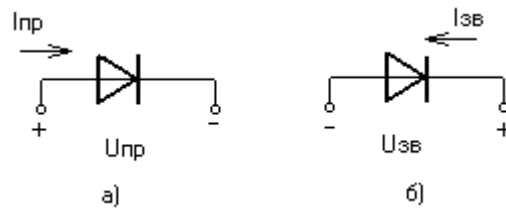
Література: [Л.1] с4-12,[Л.2] с.8-46.

1.2 Напівпровідникові діоди

Будова та принцип дії

Діодом називається напівпровідниковий прилад на основі одного р-п-переходу. Як і сам р-п-перехід, діод може вмикатися в *прямому* і *зворотному* напрямку. Принцип роботи діода базується на основній властивості р-п-переходу – його здатності пропускати струм тільки в одному напрямку. Таким чином, *діод має односторонню провідність*.

Є дві конструкції діодів: площинні і точкові. *Площинні* мають значну площу р-п-переходу і здатні пропускати струми різної величини.



Мал.3 Пряме (а) і зворотне (б) вмикання діода.

Точкові мають значно меншу площу р-п-переходу, розраховані на невеликі струми і характеризуються малою ємністю р-п-переходу, що важливо для роботи на високих частотах.

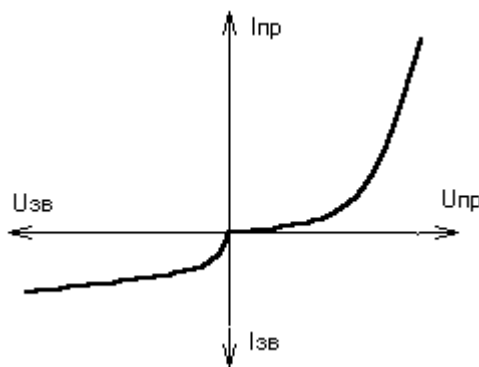
Вольт-амперна характеристика діода

Вольт-амперна характеристика діода – це графік залежності між струмом і напругою діода в прямому і зворотному напрямках. Прямі і зворотні вітки характеристики відображують властивість односторонньої провідності діода. Як свідчить характеристика, діод є нелінійним елементом. По характеристиці визначаються важливі параметри діодів:

- опір постійному струму прямий $R_{пр} = U_{пр} / I_{пр}$ та зворотний $R_{зв} = U_{зв} / I_{зв}$

- диференційний опір прямий $R_{пр(д)} = \Delta U_{пр} / \Delta I_{пр}$ та зворотний $R_{зв(д)} = \Delta U_{зв} / \Delta I_{зв}$

Очевидно, що $R_{пр} \ll R_{зв}$ і $R_{пр(д)} \ll R_{зв(д)}$



Мал.4 Вольт-амперна характеристика діода

Основні типи діодів

Випрямні діоди.

Використовуються в схемах випрямлення змінного струму, як елементи розв'язки в електричних колах та інш. Мають площинну конструкцію з використанням германію та кремнію.

Основні параметри випрямних діодів:

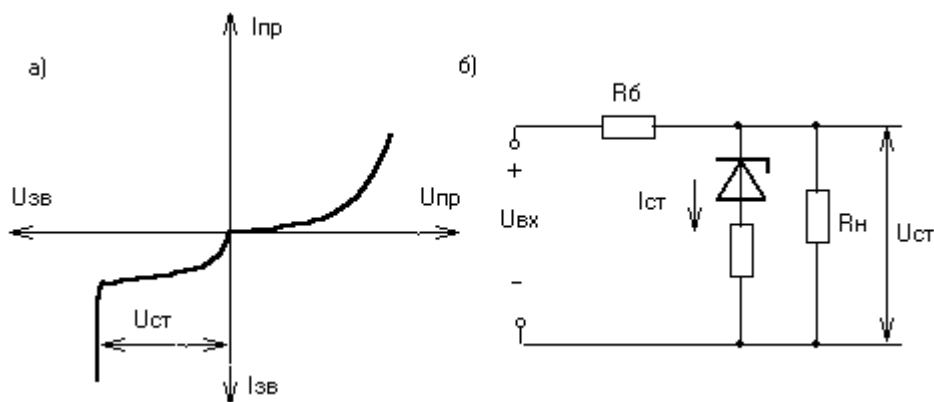
- середнє значення випрямленого струму I_{FAV} ;
- середнє значення прямої напруги U_{FAV} ;
- середнє значення зворотного струму I_{FRV} ;

- максимально допустима зворотна напруга U_{Rmax} .

Випрямні діоди підрозділяють на малопотужні (розраховані на струм до 0,3А), середньої потужності (до 10А) та великої потужності (більше 10А).

Стабілітрони.

Це кремнієві площинні діоди з підвищеною концентрацією домішок. При зворотному включенні відбувається електричний пробій р-п-переходу, який в певних межах не супроводжується тепловим пробоем, що відображається зворотною віткою вольт-амперної характеристики. Стабілітрони використовуються для стабілізації рівня постійної напруги на елементах електронної схеми.



Мал.5 Вольт-амперна характеристика (а) та схема вмикання (б) стабілітрона

Високочастотні діоди.

Мають точкову конструкцію і тому малу ємність р-п-переходу, що дозволяє використовувати їх у високочастотних пристроях – перетворювачах частоти, модуляторах, приладах для високочастотних вимірювань, імпульсних схемах.

Маркірування діодів здійснюється за загальноприйнятою для більшості напівпровідникових приладів системою літерно-цифрових позначень.

Перший елемент (літера або цифра) характеризує матеріал напівпровідника: Г або 1 – германій; К або 2 – кремній; А або 3 - арсенід галію. Другий елемент (літера) визначає групу приладів: Д – діоди; Ц – випрямні діоди та блоки; С – стабілітрони. Третій елемент (числа від 101 до 999) установлює належність прилада до певної групи за призначенням, потужністю, частотним діапазоном роботи тощо. Четвертий елемент (літера) визначає різновид приладів за технологічним типом. Наприклад, КД104А, КЦ401Г, КС156А...

Контрольні запитання.

- Поясніть особливості конструкції площинних і точкових діодів.
- Назовіть основні типи напівпровідникових діодів і поясніть їх призначення.

- Поясніть вольт-амперну характеристику випрямного діода.
- Поясніть особливості конструкції і роботи стабілітрона.
- Як розраховується опір діода постійному струму та диференційний опір в прямому та зворотному напрямку?
- В чому полягає сутність пробою діодів? Які існують види пробою?

Література: [Л.1] с.12-19,[Л.2] с.47-77.

1.3 Біполярні транзистори

Структури біполярних транзисторів

Біполярним транзистором називається напівпровідниковий прилад на основі двох близько розташованих р-п-переходів.

Для його виготовлення в кристалі германію або кремнію методами вплавлення або дифузії формується три області з різним типом провідності: база, емітер, колектор. Від кожної з областей є зовнішній вивід. Отже, транзистор має три зовнішніх виводи, які мають таку ж назву, як і самі області. Р-п-переходи транзистора мають назви: емітерний та колекторний.

Існує дві структури біполярних транзисторів: р-п-р та п-р-п.

Фізичні процеси в транзисторі

На кожний з р-п-переходів транзистора подається напруга від зовнішнього джерела живлення. Найчастіше використовується так званий активний режим вмикання транзисторів, при якому емітерний перехід вмикається в прямому, а колекторний – в зворотному напрямку. Під дією прямої напруги емітерний перехід відкритий і через нього електрони переміщуються в область бази (струм емітера I_e), де вони частково рекомбінують з дірками бази. Більшість електронів переходить до колекторної області (струм колектора I_k). Крім того, в базі відбувається генерація носіїв і електрони виходять з бази у зовнішнє коло (струм бази I_b). Таким чином, у транзисторі протікає три струми, які знаходяться у співвідношенні:

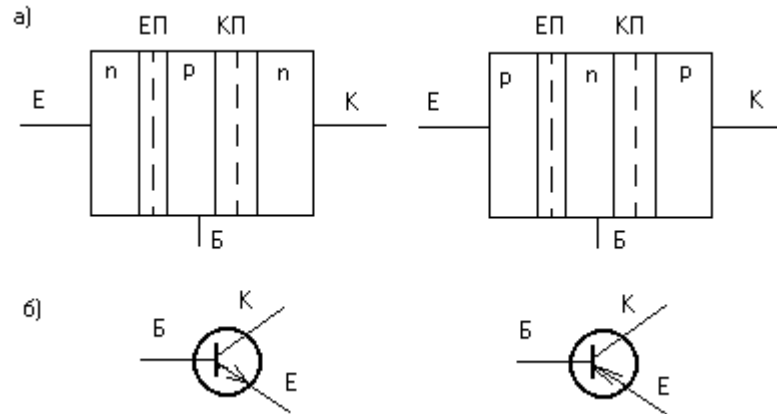
$$I_e = I_k + I_b ; \quad I_b \ll I_k$$

Важливою властивістю транзистора є його здатність керувати струмом колекторного кола. Адже цей струм залежить від стану емітерного переходу, який, в свою чергу, регулюється напругою між базою і емітером. Змінюючи цю напругу в незначних межах, можна від нуля до максимуму змінювати колекторний струм.

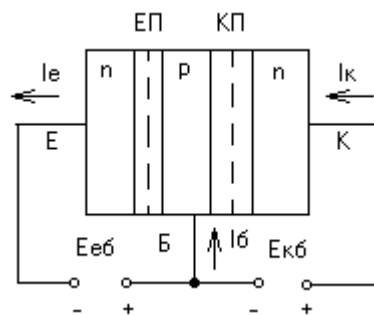
Схеми вмикання транзисторів

Як елемент електричного кола транзистор використовують таким чином, що один з його електродів є входним, другий вихідним, а третій – загальним для входу і виходу. В залежності від того, який з виводів є

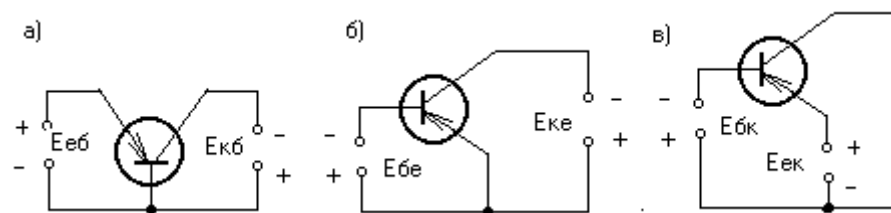
загальним, існує три схеми вмикання транзисторів: з загальним емітером (ЗЕ), загальним колектором (ЗК), загальною базою (ЗБ). Електронні пристрої, побудовані на різних схемах вмикання, мають різні параметри роботи та якісні показники.



Мал.6 Структури біполярних транзисторів та їх умовні позначення



Мал.7 Струми в транзисторі



Мал.8 Схеми вмикання транзисторів: а - ЗБ, б - ЗЕ, в - ЗК.

Статичні характеристики транзисторів

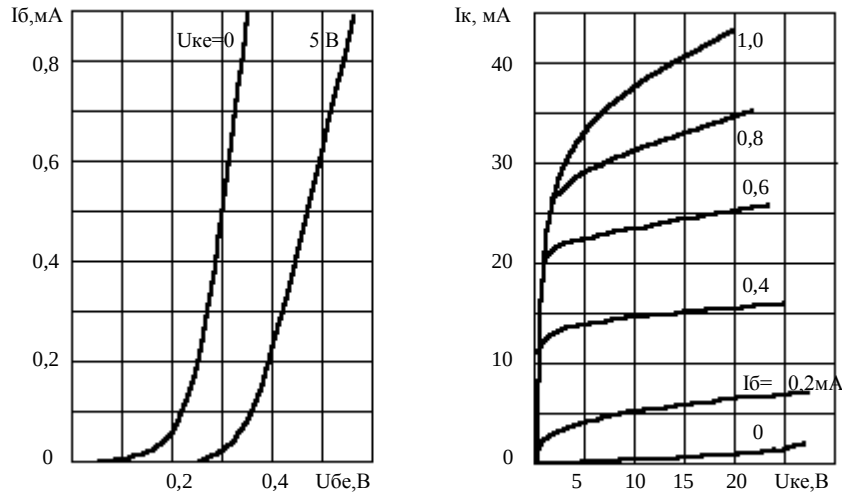
Характеристики графічно відображають залежність між величинами струмів транзистора і напругами на р-п переходах в різних схемах вмикання.

Для схеми з загальним емітером:

- вхідні характеристики – $I_b = f(U_{be})$ при $U_{ke} = \text{const}$;
- вихідні характеристики – $I_k = f(U_{ke})$ при $I_b = \text{const}$.

Характеристики використовуються для розрахунку параметрів транзисторів, визначення режимів їх роботи.

Наведені характеристики називають *статичними*, оскільки вони описують залежність між двома змінними величинами за умови постійності деякої третьої.



Мал.9 Вхідні і вихідні характеристики транзистора КТ312 А

Система h-параметрів транзистора

Властивості транзисторів характеризуються багатьма різноманітними параметрами, які, як правило, містяться в спеціальних довідниках з напівпровідникових приладів і використовуються при проектуванні електронних пристроїв, їх обслуговуванні і ремонті.

В подальшому при вивченні предмета, в практичних і лабораторних роботах, взагалі в практиці широко використовується так звана змішана, або гібридна (hybrid) система параметрів – h-параметрів.

При цьому транзистор в будь-якій схемі вмикання представляється як *чотирьополісник*, який має два вхідних виводи (1-1) та два вихідних (2-2).

Система має чотири h-параметри. Для схеми з ЗЕ вони визначаються так:

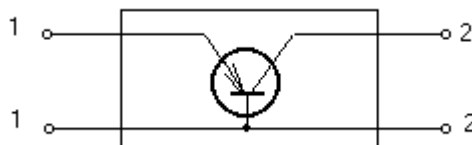
$h_{11} = \Delta U_{be} / \Delta I_b$ при $U_{ce} = \text{const}$ – вхідний опір транзистора;

$h_{21} = \Delta I_k / \Delta I_b$ при $U_{ce} = \text{const}$ - коефіцієнт передачі струму;

$h_{12} = \Delta U_{be} / \Delta U_{ce}$ при $I_b = \text{const}$ – коефіцієнт зворотного зв'язку за напругою;

$h_{22} = \Delta I_k / \Delta U_{ce}$ при $I_b = \text{const}$ - вихідна провідність.

Дані параметри розраховуються по статичним характеристикам транзисторів і є статичними параметрами.



Мал.10 Транзистор як 4-полісник

Робота транзистора в динамічному режимі

В реальних електронних схемах транзистори працюють в динамічному режимі.

Динамічним називається такий режим роботи транзистора, при якому в його вихідне коло вмикається опір навантаження, а у вхідне коло – джерело вхідного сигналу. Саме в динамічному режимі транзистор працює як підсилювальний елемент.

Залежність між струмом і напругою вихідного кола описується рівнянням динамічного режиму: $U_{ке} = E_{ке} - I_{к} R_{к}$.

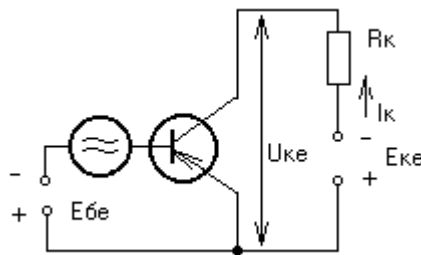
Динамічні характеристики транзистора:

- вхідна $I_{б} = f(U_{бе})$;
- вихідна характеристики $I_{к} = f(U_{ке})$.

Динамічні параметри транзистора:

- коефіцієнт підсилення струму $k_c = I_{км} / I_{бм}$;
- коефіцієнт підсилення напруги $k_H = U_{км} / U_{бм}$;
- коефіцієнт підсилення потужності $k_c k_H$;

де $I_{км}$, $I_{бм}$, $U_{км}$, $U_{бм}$ - амплітудні значення струмів і напруг відповідно кіл колектора і бази.



Мал.11 Робота транзистора в динамічному режимі

Вибір робочого режиму і розрахунок основних параметрів транзистора

Розглянемо методику вибору робочого режиму транзистора типу ГТ308А і розрахунку його основних параметрів за таких умов:

- напруга джерела колекторного живлення $E_{к}=12В$;
- опір колекторного навантаження $R_{к}=0,3 КОм$;
- струм бази в стані спокою $I_{б0}=600 мкА$;
- допустима потужність на колекторі транзистора $P_{к,доп}=150 мВт$;
- амплітуда змінного струму бази $I_{бм}=200 мкА$.

Характеристики транзистора, необхідні для розрахунку, наведено на мал.12.

Динамічна вихідна характеристика (навантажувальна) будується на підставі рівняння динамічного режиму

$$U_{к}=E_{к}-I_{к}R_{к}$$

Для побудови навантажувальної характеристики знаходять точки її перетину з осями координат на графіку вихідних статичних

характеристик. Для точки А на осі абсцис струм колектора $I_k=0$. Із рівняння необхідно знайти відповідну йому колекторну напругу $U_k=E_k=12\text{В}$. Для точки В на осі ординат напруга колектора $U_k=0$. З рівняння слід знайти відповідне значення колекторного струму:

$$I_k = E_k / R_k = 12 / 0,3 = 40 \text{ мА}$$

Точки А і В відмічають на осях вихідних характеристик і з'єднують прямою, яка і є навантажувальною характеристикою.

На навантажувальній характеристиці позначається робоча точка О, положення якої задається струмом бази у стані спокою $I_{b0}=600 \text{ мкА}$. Це є точка перетину навантажувальної прямої з статичною вихідною характеристикою, яка відповідає струмові бази $I_b=600 \text{ мкА}$.

В робочій точці визначають параметри спокою: колекторний струм спокою $I_{k0}=23 \text{ мА}$; колекторну напругу спокою $U_{k0}=5\text{В}$.

Потужність, що виділяється на колекторі в режимі спокою, визначається формулою:

$$P_{k0} = I_{k0} U_{k0} = 23 \times 5 = 115 \text{ мВт.}$$

Одержане значення потужності порівнюють з допустимим для даного транзистора:

$$P_{k0} < P_{k,\text{доп}}, \text{ тобто } 115 < 150.$$

По статичним вихідним характеристикам можна визначити статичний коефіцієнт передачі струму h_{21} . Для зменшення обсягу побудовань на графіках для цього можна скористатися робочою точкою О, хоча це й не обов'язково. Для визначення h_{21} через точку О проводиться вертикаль до перетину з сусідніми вихідними характеристиками в точках С і D і визначають приріст струму бази

$$\Delta I_b = I_{b(C)} - I_{b(D)} = 800 - 400 = 400 \text{ мкА},$$

а також відповідний приріст колекторного струму

$$\Delta I_k = I_{k(C)} - I_{k(D)} = 29 - 18 = 11 \text{ мА}.$$

Коефіцієнт передачі струму:

$$h_{21} = \Delta I_k / \Delta I_b = 11 / 400 \times 10^{-3} = 27,5$$

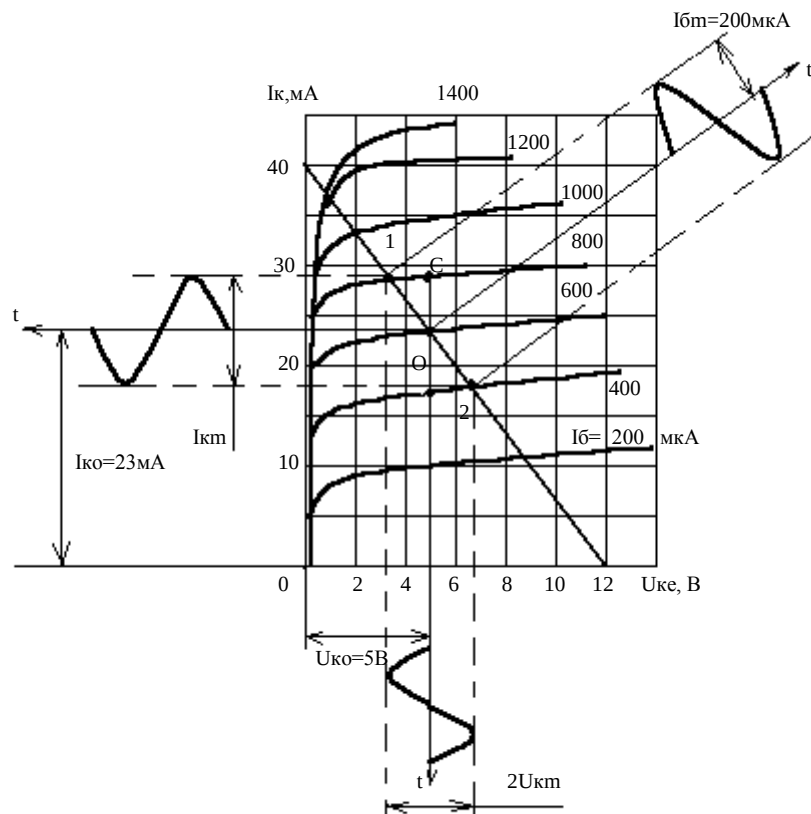
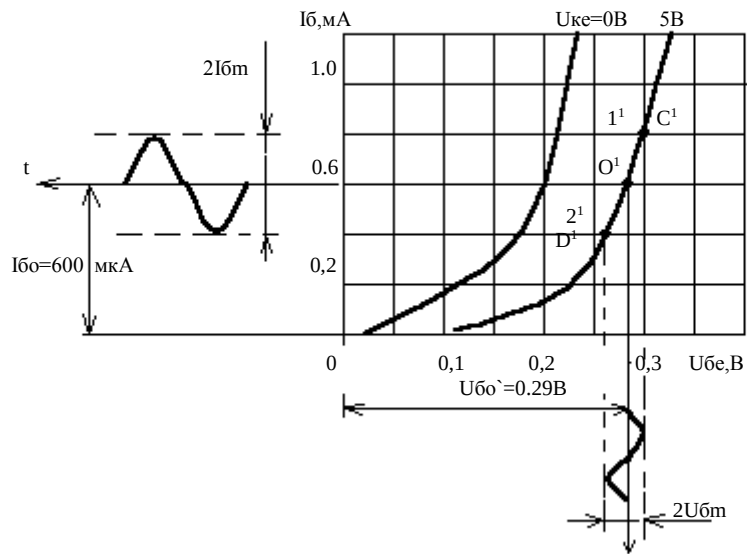
Вхідний опір транзистора h_{11} розраховується по вхідним статичним характеристикам. Для цього робоча точка О позначається на вхідній усередненій статичній характеристиці (в нашому прикладі для $U_{ke}=5\text{В}$). Позначаються також точки C^1 і D^1 , які відповідають точкам С і D на вихідних характеристиках. Отже, як і при розрахунку h_{21} , приріст струму бази $\Delta I_b = I_{b(C)} - I_{b(D)} = 0,8 - 0,4 = 0,4 \text{ мА}$. Розраховується відповідний приріст базової напруги:

$$\Delta U_b = U_{b(C)} - U_{b(D)} = 0,3 - 0,26 = 0,04 \text{ В}.$$

Вхідний опір транзистора:

$$h_{11} = \Delta U_b / \Delta I_b = 0,04 / 0,4 \times 10^{-3} = 100 \text{ Ом}$$

Переходимо до розрахунку динамічного режиму транзистора, при якому колекторне коло (вихідне) має навантажувальний резистор заданого опору R_k , а в коло бази (вхідне) подається сигнал для підсилення з заданою умовою задачі амплітудою струму I_{bm} .



Мал.12. Графічний аналіз динамічного режиму роботи транзистора.

На графіку вихідних характеристик в робочій точці O перпендикулярно навантажувальній прямій зображується вісь часу, на якій показують зміну вхідного струму (мал.12). При позитивній півхвилі

вхідного струму струм бази збільшується до $I_{б1} = I_{б0} + I_{бм} = 600 + 200 = 800$ мкА (точка 1). При негативній півхвилі струм бази зменшується до $I_{б2} = I_{б0} - I_{бм} = 600 - 200 = 400$ мкА. Ділянка навантажувальної характеристики між точками 1 і 2 називається *робочою*. На основі цих точок будують також графіки зміни колекторного струму і колекторної напруги, які відповідають графіку зміни струму бази, що видно на мал.12.

Визначається амплітуда колекторного струму:

$$I_{км} = (I_{к1} - I_{к2}) / 2 = (29 - 18) / 2 = 5,5 \text{ мА},$$

де $I_{к1}$ і $I_{к2}$ - значення струму колектора в точках 1 і 2.

Визначається амплітуда колекторної напруги:

$$U_{км} = (U_{к2} - U_{к1}) / 2 = (6,8 - 3,2) / 2 = 1,8 \text{ В},$$

де $U_{к1}$ і $U_{к2}$ - значення колекторної напруги в точках 1 і 2.

Для розрахунку амплітуди вхідної напруги робочу ділянку навантажувальної характеристики (точки 1 і 2) переносять на усереднену статичну вхідну характеристику, яка використовується в цьому випадку як вхідна динамічна. Точка 1¹ відповідає $I_{б1} = 800$ мкА = 0,8 мА, точка 2¹ відповідає $I_{б2} = 400$ мкА = 0,4 мА.

Для визначення напруги зміщення на базі $U_{бео}$ з робочої точки О опускають перпендикуляр на вісь абсцис. З графіка: $U_{бео} = 0,28$ В.

Визначається амплітуда змінної напруги на базі (вхідної напруги):

$$U_{бм} = (U_{б1'} - U_{б2'}) / 2 = (0,3 - 0,26) / 2 = 0,02 \text{ В},$$

де $U_{б1'}$ і $U_{б2'}$ – значення напруги база-емітер в точках 1¹ і 2¹.

Визначаються коефіцієнти підсилення напруги k_n , струму k_c , потужності k_p :

$$k_n = U_{км} / U_{бм} = 1,8 / 0,02 = 90;$$

$$k_c = I_{км} / I_{бм} = 5,5 / 0,2 = 27,5;$$

$$k_p = k_n k_c = 90 \times 27,5 = 2475.$$

Контрольні запитання.

- Дайте визначення біполярного транзистора.
- Які існують структури біполярних транзисторів?
- Назовіть і приведіть три схеми вмикання біполярних транзисторів.
- Що означає активний режим вмикання біполярного транзистора?
- Поясніть струмопроходження в транзисторі.
- Що являють собою вхідні і вихідні характеристики біполярного транзистора?
- Назовіть h-параметри транзистора, поясніть їх фізичну суть.
- Як розраховуються параметри h_{11} та h_{21} ?
- Що називається динамічним режимом роботи біполярного транзистора?
- Як будується вихідна динамічна характеристика транзистора (навантажувальна)?
- Поясніть підсилювальні властивості біполярного транзистора.
- Як біполярні транзистори маркують та позначають в схемах?

Література: [Л.1] с.19-30, [Л.2] с.78-119.

1.4 Польові транзистори

Будова та принцип дії польового транзистора з керуючим р-п-переходом

Польовим (уніполярним) транзистором називається напівпровідниковий прилад на основі одного р-п-переходу.

Польовий транзистор має напівпровідниковий кристал, наприклад п-типу, в якому утворено два зовнішніх виводи – *витік і стік*. Третій вивід утворюється від області з протилежним типом провідності – так званого *затвору*. Рух носіїв струму відбувається в тій частині кристалу, що називається *каналом*. Між затвором і каналом утворюється р-п-перехід. Вихідним колом транзистора є коло витік – стік з джерелом живлення E_{cb} і опором навантаження R_c . Керуючою є напруга на затворі, тобто на р-п переході, який джерелом напруги E_{zb} вімкнутий в зворотному напрямку. Струм в колі стоку залежить від ширини каналу. При збільшенні зворотної напруги на затворі р-п-перехід розширюється і звужує канал, що приводить до зменшення струму стоку і навпаки. Таким чином здійснюється керування струмом в польовому транзисторі.

Подібно до біполярних транзисторів, існує три схеми вмикання польових транзисторів: з загальним витоком, загальним стоком і загальним затвором.

Польові транзистори можуть бути двох структур: з п-каналом та р-каналом.

Характеристики та параметри польових транзисторів

Основні характеристики польових транзисторів:

- вихідні (стокові) $I_c = f(U_{cb})$ при $U_{zb} = \text{const}$;
- перехідні (стокзатворні) $I_c = f(U_{zb})$ при $U_{cb} = \text{const}$.

Основні параметри польових транзисторів:

- крутість характеристики $S = \Delta I_c / \Delta U_{zb}$ при $U_{cb} = \text{const}$;
- коефіцієнт підсилення напруги $\mu = \Delta U_{cb} / \Delta U_{zb}$ при $I_c = \text{const}$;
- вхідний опір $R_{bx} = \Delta U_{zb} / \Delta I_z$ при $U_{cb} = \text{const}$.

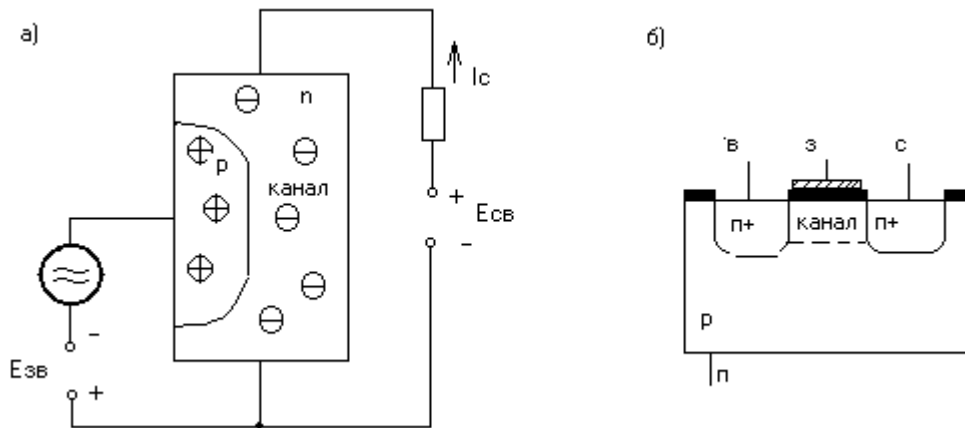
Порівняно з біполярними польові транзистори мають більший вхідний опір і більш високий рівень граничної частоти.

Польові транзистори з ізолюваним затвором

На відміну від польових транзисторів з керуючим р-п-переходом у польових транзисторів з ізолюваним затвором останній виготовляється у вигляді напилення металевої плівки на шар діелектрика, розташований над каналом напівпровідникового кристалу. Оскільки як діелектрик звичайно використовується двооксид кремнію SiO_2 , то такі транзистори із структурою метал-оксид-напівпровідник називають *МОН-транзисторами*. Є дві різновидності МОН-транзисторів: з вбудованим каналом та наведеним каналом. Відрізняються вони способом

формування каналу. МОН-транзистори, окрім виводів стоку, витoku та затвору, мають ще четвертий вивід – від підкладки (так зветься кристал, в якому сформована структура транзистора).

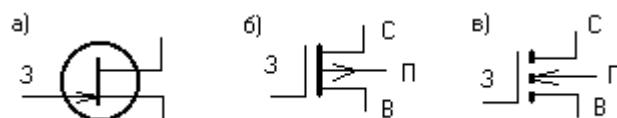
МОН-транзистори не потребують подачі напруги зміщення на затвор, що вигідно відрізняє їх від транзисторів з керуючим р-п-переходом.



Мал.13 Пільові транзистори з керуючим р-п-переходом (а) та ізолюваним затвором (б).

Маркірування транзисторів

Маркірування транзисторів здійснюється за тими ж принципами, що і діодів. В позначенні типу приладу для біполярних транзисторів використовують літеру Т, для пільових транзисторів – літеру П. Наприклад, ГТ109А, КП201Е...



Мал.14 Умовні позначення пільових транзисторів: а – з керуючим р-п-переходом, б – МОН-транзистор з вбудованим каналом, в – МОН-транзистор з наведеним каналом.

Контрольні запитання.

- Чим пільові транзистори відрізняються від біполярних?
- Поясніть будову і принцип роботи пільового транзистора з керуючим р-п-переходом.
- Поясніть особливості будови пільових транзисторів з ізолюваним затвором. Чому їх називають МОН-транзисторами?
- Чим відрізняються МОН-транзистори з вбудованим каналом та наведеним каналом?
- Назовіть основні схеми вмикання пільових транзисторів.
- Як пільові транзистори позначаються в схемах?

Література: [Л.1] с.30-35, [Л.2] с.120-126.

1.5 Оптоелектронні елементи

До оптоелектронних приладів відносяться фотоприймачі та світловипромінювачі, а також інші прилади на їх основі. Фотоприймачі перетворюють енергію світлового випромінювання в електричну, а світловипромінювачі – навпаки.

Фоторезистор

Фоторезистор - це напівпровідниковий оптоелектронний прилад, опір якого залежить від діючого на нього світлового випромінювання. В плівкових фоторезисторах використовують в якості напівпровідника серністий свинець, серністий вісмут, в кристалічних – германій або кремній. Принцип дії фоторезистора полягає в тому, що під дією енергії світла в напівпровіднику відбувається генерація носіїв струму, кількість яких, а отже і опір напівпровідника, залежить від світлового потоку. Фоторезистори використовуються як фотоелектричні давачі в різноманітних системах автоматичного керування.

Фотодіод

Фотодіод - це напівпровідниковий оптоелектронний прилад на основі одного р-п-переходу. Вмикається в зворотному напрямку. Принцип дії фотодіода полягає в тому, що під дією енергії світла зростає концентрація носіїв струму в р-п переході і збільшується його зворотний струм. Його величина залежить від світлового потоку. Фотодіоди, як і фоторезистори, теж використовують як фотоелектричні давачі, проте порівняно з фоторезисторами характеризуються більш високою швидкодією, що дозволяє використовувати їх на більш високих частотах.

Фотодіод може працювати в режимі фотогенератора (без зовнішнього джерела живлення) та в режимі фотоперетворювача (з зовнішнім джерелом живлення). Режим фотогенератора використовується для живлення малопотужних електронних пристроїв (сонячні батареї).

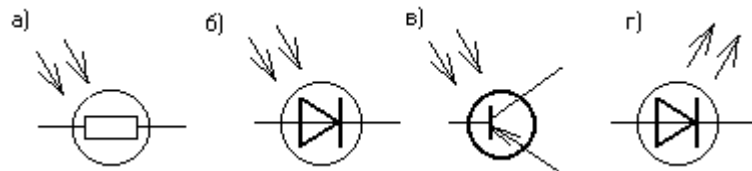
Фототранзистор

Фототранзистор - це напівпровідниковий оптоелектронний прилад на основі двох р-п-переходів. Принцип дії полягає в збільшенні генерації носіїв струму в області бази під дією світлового потоку, що приводить до зростання струму бази і струму колектора. Фототранзистор порівняно з фоторезистором і фотодіодом має більш високу чутливість завдяки підсилювальним властивостям транзистора.

Світловипромінюючий діод

Світловипромінюючий діод (світлодіод) перетворює електричну енергію в енергію світлового випромінювання. Має р-п-перехід,

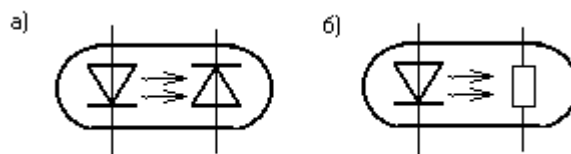
виготовлений на основі таких напівпровідників, як арсенід галію, карбід кремнію, фосфід кремнію. Під дією зовнішньої напруги в р-п-переході відбувається інтенсивний перехід носіїв струму до сусідніх областей, де вони рекомбінують з основними носіями. При цьому вивільняється енергія електромагнітних коливань, яка випромінюється в тому числі у видимому спектрі. Світловипромінюючі діоди використовуються як елементи індикації.



Мал.15 Умовні позначення фоторезистора (а), фотодіода (б), фототранзистора (в), світлодіода (г).

Оптрон

Оптрон конструктивно поєднує в собі світловипромінювач і фотоприймач. В якості світловипромінювачів можуть використовуватися світлодіоди або мініатюрні лампи розжарення. В якості фотоприймачів – фоторезистори (резисторні оптрони), фотодіоди (діодні оптрони), фототранзистори (транзисторні оптрони). Принцип роботи оптрона полягає в подвійному перетворенні енергії сигналу, який на нього подається: електричного в світловий за допомогою світловипромінювача і світлового в електричний за допомогою фотоприймача. Оптрони використовуються для гальванічного розв’язування електричних кіл в пристроях обробки інформації.



Мал.16 Умовні позначення оптронів: а – діодний, б – резисторний.

Контрольні запитання.

- В чому полягає фізична суть явища внутрішнього фотоефекту?
- Поясніть будову та принципи роботи фоторезистора, фотодіода, фототранзистора. Де використовуються ці прилади?
- Дайте порівняльну характеристику названих приладів щодо їх швидкодії, чутливості тощо.
- Поясніть будову і принцип дії світловипромінюючого діода.
- Поясніть конструкцію і принцип роботи оптрона. Назовіть основні види оптронів і приклади їх використання.
- Як позначаються в схемах оптоелектронні елементи різних видів?

Література: [Л.1] с.77-108, [Л.2] с.143-161.

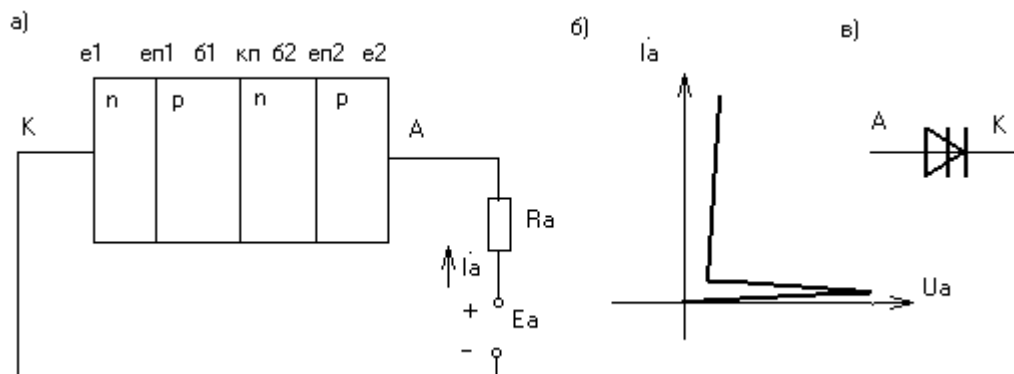
1.6 Тиристори

Тиристорами називаються напівпровідникові прилади з трьома р-п переходами.

Існує декілька різновидностей тиристорів. Найчастіше використовуються так звані некеровані тиристори (*діністори*) та керовані тиристори (*триністори*).

Будова і принцип роботи некерованого тиристора (діністора)

Діністор (діодний тиристор) – прилад з двома зовнішніми виводами – анодом і катодом. Виготовляється на основі кремнієвого кристалу, в якому сформовано чотири області з чередуванням в них електронної та діркової провідності. Крайні області мають назву емітери, внутрішні – бази. Крайні р-п переходи – емітерні, середній – колекторний. Діністори, як і всі типи тиристорів, є пристроями порогової дії, що видно з вольт-амперної характеристики. Джерело живлення увімкнене так, що емітерні переходи знаходяться під прямою напругою, а колекторний – під зворотною. При зростанні напруги між анодом і катодом спочатку відбувається перехід носіїв струму з емітерів до баз, де вони накопичуються. Анодний струм дуже малий. При певній величині анодної напруги енергія носіїв стає достатньою для лавинного процесу руху через колекторний перехід, внаслідок чого анодний струм різко зростає (це називається *вмиканням* тиристора). При цьому відбувається перерозподіл падіння напруги між діністором і анодним резистором, напруга на діністорі різко падає.



Мал.17 Структура (а), вольт-амперна характеристика (б)

та умовне позначення (в) діністора.

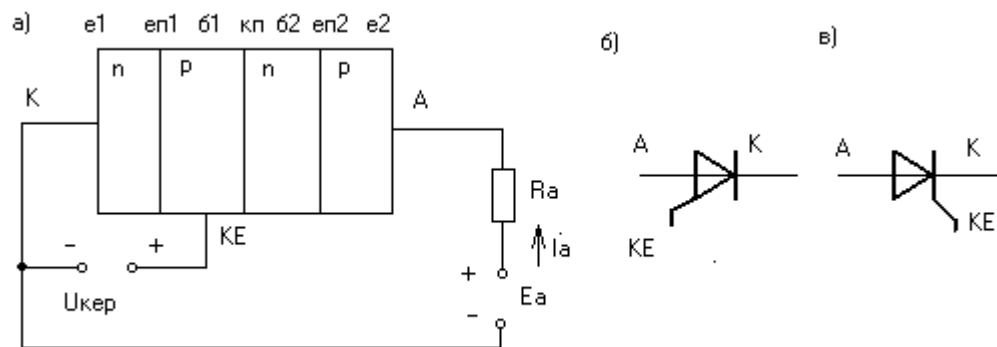
Будова і принцип роботи керованого тиристора (триністора)

Триністор, на відміну від діністора, крім анода і катода, має третій, так званий *керуючий електрод*. Він приєднується до однієї з баз, тому

існує два типи триністорів: керовані по аноду і керовані по катоду. Через керуючий електрод на емітерний перехід в прямому напрямку подається керуюча напруга, під дією якої і відбувається вмикання триністора. Оскільки керуюча напруга подається на емітерний перехід в прямому напрямку, її величина є незначною. При цьому сила струму в кристалі може сягати десятків і навіть сотень ампер. Таким чином, триністор дає змогу керувати колами значних струмів шляхом подачі порівняно невеликої напруги на керуючий електрод.

Тиристри використовуються в схемах випрямлячів, перетворювачів, електроприводі та інших пристроях силової електроніки.

Маркування тиристорів здійснюється за існуючою системою маркування напівпровідникових приладів. Тип тиристора помічається літерами Н (для діністорів) або У (для триністорів); наприклад, КН202Е, КУ102Б тощо.



Мал.18 Структура (а) та умовні позначення триністорів (б – керований по аноду, в – керований по катоду).

Контрольні запитання.

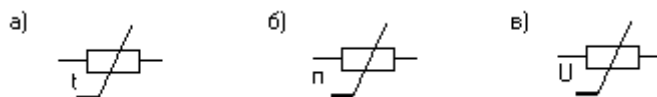
- Яку структуру мають тиристри?
- В чому різниця між діністорами і тріністорами?
- Які назви мають основні елементи тиристорів?
- Користуючись вольт-амперною характеристикою, поясніть принцип роботи тиристора.
- Чим відрізняються тиристри, керовані по аноду і керовані по катоду?
- Де використовуються тиристри і як позначаються в схемах?

Література: [Л.1] с.35-38, [Л.2] с.132-136.

1.7 Терморезистори

Терморезистором називається напівпровідниковий прилад, опір якого залежить від температури. Терморезистор має від'ємний температурний коефіцієнт опору (ТКО). В плівкових терморезисторах використовуються як напівпровідники оксиди ванадію, титанат барію, інш., в кристалічних – германій і кремній. Робота терморезисторів будується на процесі температурної генерації носіїв струму в

напівпровіднику. Розрізняють терморезистори, що реагують на зовнішню температуру (використовуються як термодавачі) і ті, що реагують на зміну температури від струму, який через них протікає (використовуються в схемах температурної стабілізації режимів роботи транзисторів).



Мал.19 Умовні позначення терморезисторів (а), позисторів (б), варисторів (в).

Позистор, на відміну від терморезистора, має додатний ТКО, тобто його опір збільшується при збільшенні температури. Позистори використовуються як температурні давачі, а також в схемах стабілізації струму, захисту елементів схем від перегрівання.

Контрольні запитання.

- Поясніть призначення, будову та принцип роботи терморезисторів.
- Накресліть графічно залежність опору терморезистора від температури.
- В чому полягає схожість і відміна між позисторами і терморезисторами?
- Наведіть приклади використання зазначених приладів.

Література: [Л.2] с.136-143.

1.8 Магнітоелектричні напівпровідникові прилади.

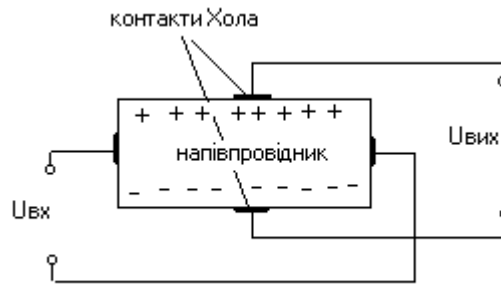
В основі роботи цих приладів лежить вплив магнітного поля на рух носіїв струму в напівпровідниках. До них належать давачі Хола, магніторезистори, магнітодіоди.

Давачі Хола мають пластинчасту або плівкову конструкцію. В пластинчатих використовують германій або кремній, в плівкових – селенід та телурід ртуті, нанесені на слюдяну або керамічну підкладку. При відсутності магнітного поля електрони рухаються в напівпровіднику під дією джерела живлення. Під впливом магнітного поля електрони відхиляються, що приводить до утворення на протилежних поверхнях напівпровідникової пластини або плівки об'ємних зарядів протилежних знаків. Між ними виникає електричне поле і на вихідних контактах з'являється електрорушійна сила (ерс Хола). Ерс Хола залежить від індукції магнітного поля. Давачі Хола використовуються для вимірювань магнітних полів, неелектричних величин (сили, тиску, переміщень тощо).

Магніторезистори є напівпровідниковими приладами, які здатні змінювати свій опір під впливом магнітного поля. Основа їх роботи – магніторезистивний ефект, який полягає в зміні питомого опору напівпровідника при зміні діючого на нього магнітного поля за рахунок викривлення траєкторії руху носіїв. Для виготовлення магніторезисторів

найчастіше використовують антимонід індію та арсенід індію. Магніторезистори використовують переважно у вимірювальній техніці.

Магнітодіод – це магнітоелектричний напівпровідниковий прилад з р-п-переходом, який вмикається в прямому напрямку. Струм р-п-переходу залежить від магнітного поля. Давачі на основі магнітодіодів характеризуються високою чутливістю. Як і магніторезистори, вони використовуються у вимірювальній техніці.



Мал.20 Давач Холла.

Література: Овечкин Ю.А. Полупроводниковые приборы: Учебник для техникумов. – 2-е изд., перераб. и доп.. – М.: Высш.школа, 1979, с.188 – 202.

1.9 Напівпровідникові тензометри

Тензометрами називаються напівпровідникові прилади, призначені для реєстрації або вимірювання деформацій.

Опір напівпровідникових матеріалів змінюється при механічній деформації. Це явище отримало назву “*тензоефект*”. Він пов’язаний з деформацією кристалічних ґраток напівпровідника, зміною міжатомних відстанів, що приводить до зміни концентрації і рухливості носіїв струму. Тензочутливість напівпровідника залежить від матеріалу, його питомого опору, напрямку дії механічної сили.

Тензоефект лежить в основі роботи таких приладів, як *тензорезистори*, *тензодіоди*, *тензотранзистори*, *тензотиристори*. Основним напівпровідниковим матеріалом для виготовлення тензоприладів є кремній.

Тензометри використовуються в давачах тиску, механічних напруг, сейсмографах, клавішних панелях ЕОМ та інших приладів.

Література: Овечкин Ю.А. Полупроводниковые приборы: Учебник для техникумов. – 2-е изд., перераб. и доп.. – М.: Высш.школа, 1979, с.203 – 210.

1.10 Варистори.

Варистором називається напівпровідниковий нелінійний резистор, опір якого залежить від напруги, яка до нього прикладена. При збільшенні напруги опір зменшується. Основний матеріал для виготовлення варисторів – карборунд (хімічна сполука кремнію з вуглецем) зі зв'язуючою речовиною. Варистори використовують для захисту високовольтних ліній від перенапруги, елементів схем від перевантажень, в схемах електронних стабілізаторів напруги.

Література: Овечкин Ю.А. Полупроводниковые приборы: Учебник для техникумов. – 2-е изд., перераб. и доп.. – М.: Высш.школа, 1979, с.210 – 214.

Контрольні запитання.

- Поясніть фізичні процеси, на яких базується робота магнітоелектричних приладів.
- Назовіть основні різновиди магнітоелектричних напівпровідникових приладів і поясніть їх роботу.
- В чому полягає принцип роботи тензометрів?
- Поясніть принцип роботи варисторів.
- Наведіть приклади використання магнітоелектричних приладів, тензометрів, варисторів.

Розділ 2. МІКРОЕЛЕКТРОНІКА

2.1 Напівпровідникові інтегральні мікросхеми

Загальні відомості

Інтегральною мікросхемою (ІМС) називається мікроелектронний пристрій, що складається з електрично зв'язаних між собою компонентів, виготовлених у єдиному технологічному циклі, розташованих на одній підкладці і поміщених у загальний корпус.

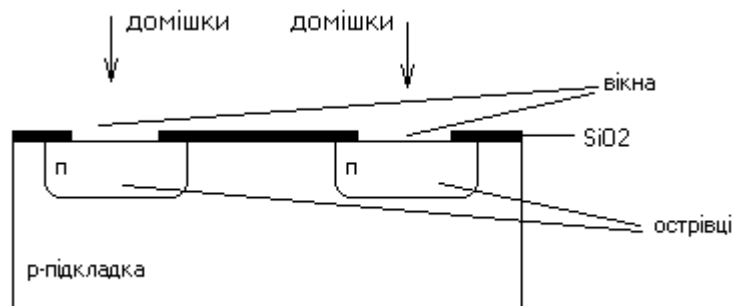
На відміну від електронних пристроїв, складених методом монтажу окремих (дискретних) елементів, ІМС є закінченими функціональними виробами, які виконують функції підсилювачів, генераторів, регістрів, лічильників імпульсів тощо.

ІМС дають змогу створювати складні електронні пристрої, для яких потрібна велика кількість елементів. При цьому пристрої на основі ІМС мають високі якісні показники роботи і надійність, що не можуть забезпечити схеми на дискретних елементах.

Складність ІМС характеризується ступенем інтеграції, яка відображує щільність пакування її елементів.

За технологією виготовлення *розрізняють напівпровідникові монолітні (НІМС) та гібридні (ГІМС) мікросхеми.*

За видом сигналів, які обробляються мікросхемою, ІМС бувають аналоговими та цифровими. Аналогові обробляють сигнали, які мають характер безперервної функції. Цифрові ІМС обробляють сигнали, які мають двійковий характер.



Мал.21 Утворення острівців в планарно-дифузійних НІМС.

Основні технологічні операції при виготовленні планарно-дифузійних ІМС

Напівпровідниковими монолітними називають ІМС, всі елементи яких і з'єднання між ними формуються в об'ємі кремнієвого кристалу (підкладці). Основою виготовлення НІМС є так звана планарна технологія, суть якої полягає в формуванні елементів мікросхеми обробкою однієї площини підкладки.

Існує два різновиди планарної технології: *планарно-дифузійна* і *планарно-епітаксійна*.

Основні технологічні операції при планарно-дифузійній технології:

- заготівельні операції (отримання кремнієвих заготовок у вигляді пластинок);
- дифузія (введення в кристал або окремі його ділянки донорної чи акцепторної домішки для створення електронної або діркової провідності);
- окислення (створення на поверхні підкладки захисного шару двооксиду кремнію);
- фотолітографія (комплекс технологічних операцій для видалення захисного шару двооксиду кремнію з тих ділянок підкладки, на яких буде відбуватися дифузія, тобто виготовлення так званих “вікон” для утворення методом дифузії “острівців”, в яких будуть розміщені елементи мікросхеми);
- металізація (утворення на поверхні підкладки тонких металевих плівок для міжелементних з’єднань і контактних площинок).

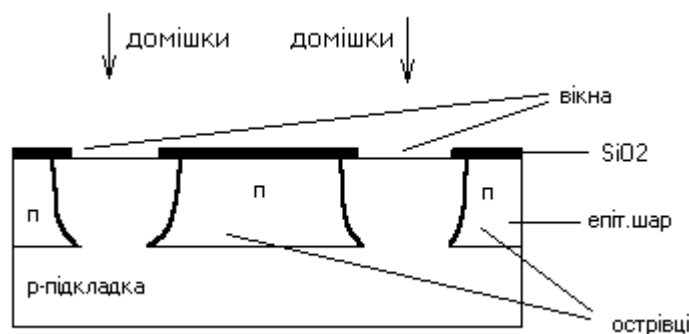
Таким чином, головна особливість планарно-дифузійних ІМС – формування елементів у дифузійних острівцях підкладки.

Планарно-епітаксійні ІМС

Недоліком планарно-дифузійних ІМС є нерівномірність концентрації домішок по глибині острівців, що знижує якісні показники елементів і в цілому мікросхеми.

Більш високу якість мають планарно-епітаксійні ІМС, в яких острівці формуються не в підкладці, а в так званому *епітаксійному шарі*. Епітаксійний шар нарощується на підкладці і являє собою шар кремнію, який має таку ж структуру, як і підкладка, але протилежний тип провідності.

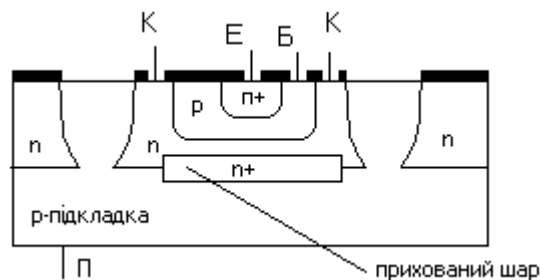
Формування самих острівців здійснюється такими ж технологічними засобами, як і при планарно-дифузійній технології. Таким чином, острівці планарно-епітаксійних ІМС мають рівномірну концентрацію домішок по їх глибині.



Мал.22 Утворення острівців в планарно-епітаксійних ІМС.

Характеристика основних елементів НІМС

Найбільш складними є *біполярні транзистори*, для яких в острівці утворюють два р-п-переходи. Колектор формується епітаксійним способом, база і емітер – послідовно дифузією домішок в колекторний острівець. Для збільшення провідності колектора в ньому може бути передбачений так званий “прихований шар” з підвищеною концентрацією носіїв. У цифрових ІМС використовуються також багатоемітерні транзистори.



Мал.23 Біполярний транзистор в структурі НІМС.

Польові транзистори в НІМС найчастіше виготовляються МОН – типу. Вони можуть формуватися одночасно з біполярними транзисторами п-р-п – структури.

Для виготовлення *діодів* можуть бути використані поодинокі р-п-переходи, сформовані в острівцях. Однак, виходячи з конструктивно-технологічних умов, доцільно як діоди використовувати р-п-переходи біполярних транзисторів, які для цього вмикаються за діодними схемами.

В НІМС як *резистори* використовують тонкий шар напівпровідника емітерної або базової області транзисторної структури, опір якого залежить від концентрації домішки (так званий “дифузійний резистор”). Високоомні резистори виготовляють на основі біполярної структури або МОН-транзистора.

За зазначеними вище принципами планарної технології одночасно з формуванням транзисторів і резисторів виготовляють і *конденсатори*, використовуючи для цього ємності р-п-переходів транзисторів.

Міжелементні з'єднання і контактні площинки виготовляють після завершення формування елементів в острівцях. Для цього використовують напилені на поверхню тонкі плівки алюмінію, хрому, танталу, золота. Контактні площинки приєднують до зовнішніх виводів золотими провідничками ультразвуковим або термокомпресійним зварюванням.

Ізоляція елементів здійснюється зворотним вмиканням р-п-переходів між острівцями і підкладкою або діелектричним способом з використанням двооксиду кремнію.

2.2 Гібридні інтегральні мікросхеми

Характеристика основних елементів плівкових ГІМС

Гібридними називаються інтегральні мікросхеми, в конструкції яких поєднані плівкові пасивні елементи та навісні активні компоненти.

Розрізняють тонкоплівкові (з товщиною плівок 1 мкм) і товстоплівкові (до 70 мкм) ГІМС.

Основою ГІМС є підкладка з ізоляційного матеріалу (скло, кераміка, а найчастіше – склокристалічний матеріал – ситал). Підкладка повинна мати високу теплопровідність, електричну та механічну міцність, хімічну стійкість до матеріалів, які напиляються та сприяти їх адгезії.

Резистори виготовляють методами вакуумного напилення або катодного розпилення з використанням як чистих металів (хром, тантал), так їх сплавів (ніхром), а також мікрокомпозицій, до складу яких крім металів входять діелектрики або напівпровідники.

Конденсатори виготовляють тришарової або гребінчатої конструкції з використанням для обкладок алюмінію і танталу, а для діелектрика – їх оксидів.

Міжелементні з'єднання і контактні площинки виготовляють у вигляді плівок золота, срібла, міді, алюмінію.

Дискретними навісними компонентами ГІМС найчастіше є корпусні або безкорпусні діоди і транзистори, мікрозбірки, невеликі НІМС.

Маркірування ІМС

Для маркірування ІМС використовується літерно-цифровий код, наприклад К140УД1, К153ЛБ2 тощо.

Перший елемент – літера К – ставиться для мікросхем широкого використання. До неї може додаватися друга літера для позначення корпусу ІМС.

Другий елемент – трьохзначне число – так звана “серія”. Серією називається сукупність мікросхем різного функціонального призначення, поєднаних спільною технологією. Перша цифра серії означає конструктивно-технологічні ознаки ІМС (1,5,7 – НІМС, 2,4,6,8 – ГІМС, 3 – інші), дві інших цифри – порядковий номер серії.

Третій елемент – дві літери – показують функціональне призначення мікросхеми.

Четвертий елемент – цифра – позначає номер мікросхеми в даній серії.

Контрольні запитання.

- В чому полягає суть поняття “мікроелектроніка”?
- Що являє собою інтегральна мікросхема?
- Що означає “ступінь інтеграції”?
- В чому полягає різниця між монолітними і гібридними ІМС?
- В чому полягає суть планарної технології виготовлення ІМС?
- Чим відрізняються планарно-дифузійні ІМС від планарно-епітаксійних?
- Дайте коротку характеристику основних технологічних операцій при виготовленні ІМС (дифузія, окислення, епітаксія, фотолітографія, металізація).
- Дайте коротку характеристику основних елементів монолітних ІМС (біполярні та МОН-транзистори, діоди, резистори, конденсатори, міжелементні з’єднання та контактні площадки).
- Які існують методи ізоляції елементів монолітних ІМС?
- Дайте коротку характеристику основних плівкових пасивних елементів та навісних активних компонентів гібридних ІМС.
- Яке конструктивне оформлення мають інтегральні мікросхеми?
- Поясніть систему маркірування ІМС.

Література: [Л.1] с.39-73, [Л.2] с.161-189.

Розділ 3. ПРИЛАДИ ВІДОБРАЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ

До приладів відображення інформації належить численна група пристроїв, які за принципом роботи розділяються на електровакуумні (високовакуумні та низьковакуумні або іонні) та напівпровідникові.

3.1 Електронно-променеві трубки

Електронно-променева трубка (ЕПТ) являє собою високовакуумний прилад, в якому сфокусований електронний промінь, падаючи на люмінесцентний екран, викликає його світіння. Основні різновидності ЕПТ: з електростатичним керування та фокусуванням і з електромагнітним керування та фокусуванням.

Основні елементи ЕПТ з електростатичним керування та фокусуванням:

- електронний прожектор;
- відхильна система;
- люмінісцентний екран.

Електронний прожектор призначений для утворення потужного сфокусованого електронного променя. Має термокатод для емісії електронів, керуючий електрод для регулювання струму променя і яскравості його зображення на екрані, систему анодів для створення прискорюючого електричного поля, фокусування променя на екрані (електростатична лінза) і відведення вторинних електронів, вибитих з екрану.

Відхильна система призначена для переміщення електронного променя по екрану по горизонталі (X) та вертикалі (Y). Складається з двох пар пластин: горизонтально-відхильних та вертикально-відхильних. На горизонтально-відхильні подаються пилоподібні імпульси (імпульси горизонтального розгортання), на вертикально-відхильні – сигнал, який має спостерігатися на екрані.

Екрани більшості осцилографічних ЕПТ виготовляють з люмінофором на основі сульфіду цинку та кадмію, що має зеленуватий колір світіння. У трубках з тривалим післясвітінням використовуються екрани з кількома шарами люмінофору різного складу.

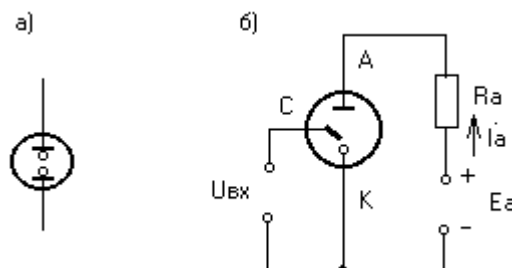
3.2 Газорозрядні та вакуумні люмінісцентні індикатори

Газорозрядні індикатори відносяться до низьковакуумних або іонних приладів, струм в яких зумовлений рухом як електронів, так і

іонів, які виникають в процесі газового розряду. Газорозрядний індикатор має скляний балон, наповнений інертним газом або їх сумішами, всередині якого розміщується електродна система (катод, анод, одна чи декілька керуючих сіток). При певному значенні напруги між електродами відбувається ударна іонізація газу, при якій його атоми розщеплюються на електрони і іони. Цей процес супроводжується світінням, що й використовується в приладах індикації.

Основні різновиди газорозрядних індикаторів:

- *неонова сигнальна лампа*. Має анод і катод (нікель, молібден, алюміній), розташовані в скляному балоні, який наповнюється частіше всього неоном з домішками аргону та гелію. Використовується як індикаторний прилад.
- *тиратрон*. Окрім анода і катода має керуючий електрод (сітку). Світіння інертного газу відбувається після подачі імпульсу напруги на керуючий електрод.
- *цифрові та знакові індикатори*. Використовуються для відображення інформації у вигляді цифр, знаків, літер. В скляному балоні розташовані один або два аноди та декілька катодів, які мають потрібну конфігурацію. Під дією напруги між анодом і одним з катодів навколо останнього відбувається газовий розряд і світіння у формі відповідного катода.



Мал.24 Умовне позначення неонові лампи (а) та схема вмикання тиратрона МТХ-90 (б)

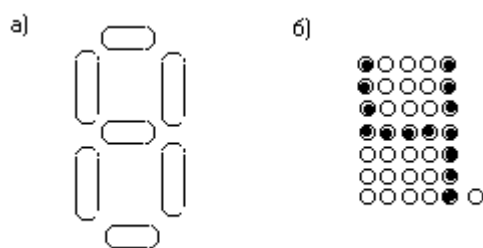
Вакуумний люмінісцентний індикатор (ВЛІ) – це високовакуумний прилад з оксидним катодом прямого розжарювання, керуючою сіткою та анодом, який складається з кількох ізольованих один від одного елементів. Останні покриті шаром люмінофору, який світиться при попаданні від катода електронів. Оскільки світяться ті елементи, на які подано анодну напругу, можна дістати зображення цифр, літер, інших знаків. Багаторозрядні ВЛІ дають змогу відображувати більш складну інформацію.

3.3 Напівпровідникові та рідиннокристалічні індикатори

Напівпровідникові індикатори (НПІ) будуються на основі світловипромінюючих діодів. Вони бувають *семисегментними* та

матричними. Семисегментні НПІ можуть відображувати десять цифр та декілька літер, матричні мають 36 світлодіодних точок ($7 \times 5 + 1$) і є універсальними для зображення всіх цифр, літер, знаків. НПІ порівняно з іншими типами індикаторів є більш економічними.

Рідиннокристалічні індикатори, на відміну від попередніх, самі не випромінюють світло; для зчитування з них інформації потрібне або природне освітлення, або додаткове джерело світла. В рідиннокристалічних індикаторах використовуються властивості рідинних кристалів, в яких змінюється ступінь прозорості під дією електричного поля. Внаслідок цього в тонкому шарі речовини, який має певну конфігурацію (цифр, літер, інших символів і знаків) збільшується контрастність зображення і він стає розпізнаним. Перевагою рідиннокристалічних індикаторів є їх висока контрастність, незначна напруга живлення, економічність.



Мал.25 Семисегментний (а) та матричний (б) світлодіодні індикатори

Контрольні запитання.

- Поясніть призначення і назовіть основні типи електронно-променевих трубок (ЕПТ).
- Назовіть і покажіть на малюнку основні елементи осцилографічної ЕПТ і охарактеризуйте їх призначення.
- Поясніть роботу відхильної системи ЕПТ.
- Наведіть вольт-амперну характеристику газорозрядного прилада і охарактеризуйте основні види розрядів.
- Поясніть будову і принцип роботи неонових ламп, тиратронів, цифрових та знаколітерних індикаторів, а також вакуумних люмінесцентних індикаторів.
- Поясніть будову і принцип роботи світлодіодних та рідинно-кристалічних індикаторів.
- Охарактеризуйте використання зазначених приладів відображення інформації.

Література: [Л.1] с.97-103, [Л.2] с.229-311,316-322.