

Лекція № 1,2

Тема лекції: **Вступ. Електричне поле**

Література

1. *Данилов И.А., Иванов П.М.* Общая электротехника с основами электроники. 1989.
2. Общая электротехника с основами электроники. Учебник для техникумов. *В.А. Гаврилюк, Б.С. Гершунский, и др.*
3. *Евдокимов Ф. Е.* Общая электротехника: Учебник для учащихся неэлектротехнических специальностей техникумов.

Зміст лекції

Визначення електротехніки як галузі науки та техніки, що вирішує задачі перетворення та передачі енергії та інформації.

Магнітні та електричні явища лежать в основі різних напрямів науки та техніки. Вони є основою і електротехніки. А також електроніки та радіoeлектроніки.

В електроніці та радіoeлектроніці вирішується широке коло задач, пов'язаних з використанням електромагнітних явищ для передачі та обробки інформації (це зв'язок, вимірювання, керування, автоматизація технологічних процесів). І неможливо правильно сконструювати, модернізувати або просто відремонтувати будь-який прилад, що використовує електричну енергію, без уміння якісно і кількісно аналізувати його роботу в різних режимах і проводити необхідні обчислення, без навичок використання електричних і магнітних величин.

Функціонування сучасного суспільства без електричної енергії фактично стало неможливим. Це впливає хоча б з переліку основних напрямків її використання: побут, реклама, інформаційні технології, зв'язок, електричні технології (виплавка сталей, електрозварювання, електроліз і т. п.), електротранспорт, силовий електропривод, що перетворює електричну енергію в механічну. Немає жодної галузі господарювання, жодної науково-дослідної роботи технічного спрямування, де б в той чи інший спосіб не була використана електротехніка. Тому знайомство з електротехнікою як наукою про практичне застосування електричних та магнітних явищ природи та законів, що їх описують, стає нагальною потребою для будь-якого технічного спеціаліста.

На сучасному етапі можна виділити **три основні напрямки** електротехнічної галузі: *електротехніка, електроніка, мікропроцесорна техніка*.

Розвиток **електротехніки** практично почався після створення італійцем Алессандро Вольта у 1800 році хімічного джерела електричної енергії — електричної батареї. Наявність такого джерела відносно малої потужності дала можливість провести цілу низку наукових досліджень і відкрити фундаментальні правила та закони, що склали теоретичний фундамент електротехніки. Помітним практичним

наслідком цих досліджень стало широке застосування у першій половині XIX сторіччя дротяного електричного телеграфу, найбільш вдалий варіант якого розробив американець Семюель Морзе.

Створення наприкінці XIX сторіччя електричних машин постійного та змінного струму дозволило перетворювати механічну енергію в електричну, передавати її на велику відстань та знову перетворювати електричну енергію в механічну та інші види енергії в потрібному місті і в потрібній кількості. Широкого розповсюдження набули електричне освітлення та електропривод різноманітних виробничих машин з релейно-контакторним керуванням.

Згодом електричну енергію почали використовувати для виготовлення високоякісної сталі в електросталеплавильних печах, для електрозварювання металевих конструкцій. Для забезпечення всіх цих споживачів електричною енергією були створені потужні електричні станції та мереж. Елементною базою таких електротехнічних пристроїв є електромагнітні та електромеханічні перетворювачі, складовими яких є обмотки з міді або алюмінію та магнітопроводи з феромагнітних матеріалів, призначені для створення магнітних полів потрібної конфігурації та інтенсивності. В таких класичних електротехнічних пристроях використовуються явища електромагнітної індукції, взаємодії провідника із струмом з магнітним полем, взаємодії провідників із струмом між собою, електромагніти.

Одночасно розвиток електротехніки дав поштовх для виникнення спорідненої галузі — **електроніки**, яка займається вивченням та застосуванням фізичних явищ в електровакуумних та напівпровідникових приладах, характеристик та параметрів цих приладів, властивостей пристроїв та систем, заснованих на використанні цих приладів.

Можна вважати, що електроніку започаткували досліді Генріха Герца у 1688 р., які встановили наявність електромагнітного зв'язку між двома віддаленими один від одного коливними контурами. На питання "Яке значення будуть мати ваші досліді для практики?" Г. Герц якось відповів: "Ніякого". Але сталося зовсім інакше. Вже у травні 1895 р. російський винахідник О. С. Попов на засіданні російського фізико-хімічного товариства у С.-Петербурзі продемонстрував пристрій для реєстрації природних електромагнітних хвиль, створених блискавками. У березні 1896 р. він же передав на відстань біля 250 м першу бездротову телеграму з двох слів: "Генріх Герц".

У червні 1896 р. італійський інженер і підприємець Г. Марконі отримав перший патент з бездротової телеграфії і заснував компанію, яка багато зробила для широкого впровадження радіотелеграфії і передачі інформації на великі відстані. Почалися роботи по створенню потужних генераторів радіохвилі У 1904 р. в США було створено перший електровакуумний діод, а у 1907 р. — триод, принцип роботи яких був заснований на явищі електронної емісії, відкритого Т. Едісоном.

В наступні роки швидко розвішається радіотелеграф, радіозв'язок, виникає радіомовлення. Під час другої світової війни було створено радіолокатори, які відіграли величезну роль у боротьбі, наприклад, з германськими підводними човнами, які полювали на транспорт союзників. Радіолокатори використовували також: і для виявлення та винищення ворожих літаків. Електроніка забезпечила появу точних і чутливих вимірювальних приладів, електроніка надала можливість створити точну зброю.

Електроніка дозволила проводити обчислення, які раніше були недосяжні для вчених і змушували їх вести дослідження на спрощених моделях об'єктів: у 1946 р. у США було створено першу електронно-цифрову обчислювальну машину (ЕЦОМ), яка містила біля 18 000 ламп.

Таким чином електроніка перестала бути лише радіоелектронікою і знайшла широке застосування у техніці та промисловості. Галузь технічної електроніки, яка займається застосуванням електровакуумних і напівпровідникових приладів та створених на їх основі систем в промисловості, називають **промисловою електронікою**.

Основні напрямки промислової електроніки: інформаційна електроніка, до якої можна віднести обчислювальну та інформаційно-вимірювальну техніку; енергетична електроніка (потужні електровакуумні та напівпровідникові перетворювачі електричної енергії); електронна технологія (застосування електронних та іонних пучків, високочастотний нагрів і плавка, ультразвукове різання та зварювання).

З виникненням ЕЦОМ складність електронних пристроїв стала швидко зростати, а традиційна елементна база — електровакуумні лампи — не могли вже забезпечити їх надійність. Тимчасовий вихід з положення дало застосування напівпровідникових приладів — транзисторів, які за своїми функціональними можливостями могли замінити електровакуумні лампи. Поруч з транзисторами було розроблено багато

інших напівпровідникових приладів (діодів, тиристорів). Застосування напівпровідникових приладів у електроніці, обчислювальній техніці, автоматичній, енергетиці набуло масового характеру, оскільки вони мали ряд суттєвих переваг перед електровакуумними приладами: високий коефіцієнт корисної дії, довговічність, надійність, порівняно малі габарити та масу.

Подальший прогрес було забезпечено завдяки бурхливому розвитку у 1970—1980 роках мікроелектроніки на ґрунті об'єднання досягнень електроніки та інтегральної технології. Електронні пристрої, виготовлені з використанням інтегральних мікросхем, започаткували розвиток нової галузі електроніки — **мікроелектроніки**. На базі досягнень мікроелектроніки створені потужні швидкодіючі малогабаритні ЕЦОМ та мікропроцесорні системи. Сучасна обчислювальна техніка широко використовується не тільки для зберігання та обробки інформації, але й для керування технічними об'єктами за заданою програмою. Застосування мікропроцесорів дозволяє в багатьох випадках зменшити габарити виробів та споживання ними електричної енергії, поліпшити їх функціональні можливості. Основною перевагою мікропроцесорних систем є можливість зміни їх функцій шляхом лише зміни керуючої програми, що пояснює їх широке використання для автоматизації сучасного виробництва.

При вивченні теорії електромагнітних процесів треба брати до уваги:

по-перше, що ця теорія є об'єктивною, тобто її використання дозволяє (при певних умовах) правильно розуміти роботу електромагнітних пристроїв і експлуатувати їх;

по-друге, що окремі закони електромагнетизму відносні і діють лише в певній області, при певних умовах і обмеженнях, і це треба враховувати при їх використанні.

У загальному випадку електромагнітні явища описуються методами теорії електромагнітного поля. Вони універсальні, хоча і досить складні. Ми будемо розглядати менш універсальний, спрощений варіант дослідження процесів електромагнітних пристроїв.

Курс "*Основи електротехніки і електроніки*" являє собою вивчення основних закономірностей і параметрів електричних кіл, устрій та принцип дії деяких основних електротехнічних та електронних пристроїв і базових схем, спираючись на курси фізики та математики.

Цей курс є основою для вивчення в подальшому таких предметів як "Основи комп'ютерної схемотехніки" та "Архітектура ЕОМ".

Взаємодія зарядів за законом Кулона є експериментально встановленим фактом. Однак математичний вираз закону взаємодії зарядів не розкриває фізичного змісту самого процесу взаємодії, не пояснює, яким чином відбувається дія заряду q_1 на заряд q_2 .

Теорія близькодії, створена на основі дослідження англійського фізика М. Фарадея, пояснює взаємодію електричних зарядів тим, що навколо кожного електричного заряду існує електричне поле - особливий вид матерії, що існує незалежно від наших знань про нього і має енергію. Електричне поле неперервне в просторі і здатне діяти на інші електричні заряди.

Електричне поле нерухомих зарядів називають **електростатичним**. Воно не змінюється з часом. Це поле створюється тільки електричними зарядами. Воно існує в просторі, що оточує ці заряди, і нерозривно з ними пов'язане. Головна властивість електричного поля - здатність діяти на внесені в нього електричні заряди з деякою силою. Тому досліджують електричні поля за допомогою пробного точкового заряду. Пробний заряд q_0 має бути малим, щоб він не спотворював помітно досліджуваного поля.

Нехай в точці O знаходиться позитивний точковий заряд q (рис.1). У довільну точку поля C , створеного зарядом q , і яка знаходиться на відстані r від цього заряду, помістимо пробний заряд q_0 . Модуль сили взаємодії між цими зарядами визначаємо за законом Кулона

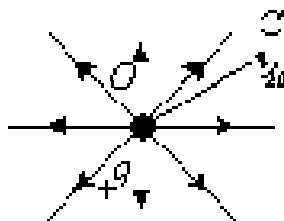


Рис. 1

Поділивши обидві частини формули (4.1.4) на q_0 і прирівнявши $q_1 = q$, отримуємо

$$\frac{F}{q_0} = k \frac{q}{\epsilon r^2} \quad (4.1.5)$$

Вираз правої частини формули (4.1.5) не залежить від заряду q_0 і має сталі значення для кожної точки поля, в якій цей заряд знаходиться. Отже, відношення F/q_0 є також сталим для кожної точки поля. Величину, що виражає це відношення, називають напруженістю електричного поля:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (4.1.6)$$

Електричне поле точкового заряду

Напруженістю електричного поля називають фізичну векторну величину $\vec{E}$, що є силовою характеристикою електричного поля в кожній його точці і чисельно дорівнює відношенню сили, з якою поле діє на точковий заряд, поміщений у цю точку, до значення цього заряду. Напрямок напруженості збігається з напрямком електричної сили, що діє на пробний позитивний заряд в цій точці:

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

Вектор напруженості в будь-якій точці (A , B) електричного поля напрямлений вздовж прямої, що сполучає цю точку і заряд, від заряду, якщо $q > 0$, і до заряду, якщо $q < 0$ (рис. 4.1.6).

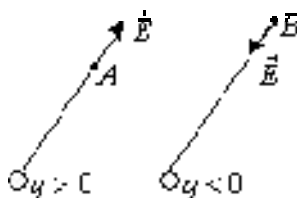


Рис. 2

Із формул (1) і (2) знайдемо, що модуль напруженості електричного поля, створюваного точковим електричним зарядом,

$$E = k \frac{q}{\epsilon r^2} \quad (4.1.7)$$

Одиницю напруженості електричного поля визначаємо із формули. У СІ:

$$1 \text{ Н/Кл} = 1 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{Кл} \cdot \text{м}} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{Кл} \cdot \text{м}} = 1 \text{ В/м}$$

Отже, за одиницю напруженості в СІ - вольт на метр - взято напруженість такого однорідного електричного поля, потенціал якого вздовж лінії напруженості змінюється на 1 В на відстані 1 м. У кожній точці такого поля на заряд, що дорівнює 1

Кл, діє сила 1 Н.

Повне уявлення про розподіл поля можна дістати з рисунка, на якому зобразити вектори напруженості, а також показати неперервні лінії, дотичні до яких в кожній точці, через яку вони проходять, збігаються з вектором напруженості. Ці лінії називаються **силовими лініями** або **лініями напруженості** (рис.4.1.7). Силкові лінії можна зробити видимими, якщо довгасті кристалики діелектрика, наприклад, хініну (ліків від малярії) добре перемішати у в'язкій рідині (рициновій олії) і помістити туди заряджені тіла; поблизу цих тіл кристалики "вишикуються" в ланцюжки вздовж ліній напруженості.

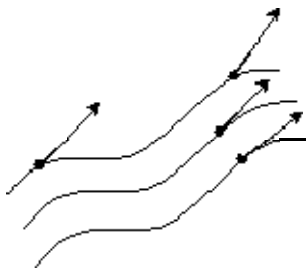


Рис. 3

Зобразимо поле різних тіл (рис. 4 - 7).

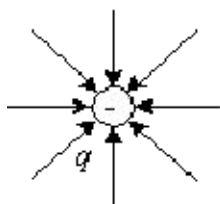


Рис. 4

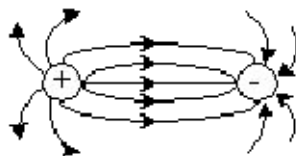


Рис. 5

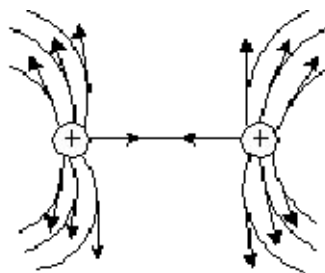


Рис. 6

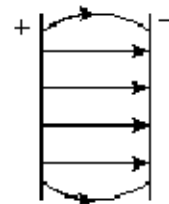


Рис. 7

Силкові лінії електричного поля точкових зарядів незамкнені. Вони починаються на позитивних електричних зарядах і закінчуються на негативних (рис. 4 - 7). Віддалік від країв пластин силкові лінії паралельні: електричне поле однакове у всіх точках (рис. 7).

Електричне поле, напруженість якого однакова у всіх точках простору, називають однорідним.

Провідники і діелектрики в електричному полі. Діелектрична проникність речовин

До провідників належать речовини, які мають заряджені частинки, що здатні рухатись впорядковано по всьому об'єму тіла під дією електричного поля. Заряди цих частинок називають вільними зарядами. Провідниками є всі метали, деякі хімічні

сполуки, водні розчини солей, кислот, лугів, розплави солей, іонізовані гази. Розглянемо поведінку в електричному полі тільки твердих металевих провідників. У металах носіями вільних зарядів є вільні електрони. Їх називають електронами провідності.

Під час утворення металу з нейтральних атомів внаслідок взаємодії між ними електрони зовнішніх оболонок атомів повністю втрачають зв'язки зі своїми атомами і стають "власністю" всього провідника в цілому. У результаті позитивно заряджені іони оточені негативно зарядженим газом, що утворюється колективізованими електронами. Вільні електрони беруть участь у тепловому русі і можуть переміщуватися по шматку металу в будь-якому напрямі.

Помістимо незаряджений металевий провідник в однорідне електростатичне поле (рис. 4.1.13).

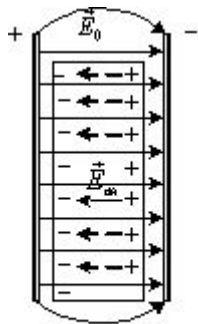


Рис.4.1.13.

Під дією поля в ньому виникне впорядкований рух вільних електронів у напрямі, протилежному напрямку напруженості E цього поля. Електрони накопичуватимуться на одному боці провідника й утворять там надлишковий негативний заряд, а їх недостача на іншому боці провідника приведе до утворення там надлишкового позитивного заряду, тобто в провіднику відбудеться розподіл зарядів. Ці некомпенсовані різнойменні заряди з'являться на провіднику лише під дією зовнішнього електричного поля, тобто такі заряди є індукованими, наведеними. А в цілому провідник лишається незарядженим. У цьому переконуємося, виймаючи провідник з електричного поля.

Такий вид електризації, за якого під дією зовнішніх електричних полів відбувається перерозподіл зарядів між частинами певного тіла, називають електростатичною індукцією. Нескомпенсовані електричні заряди, що з'явилися на протилежних частинах провідника, створюють своє власне електричне поле всередині

провідника напруженістю $E_{\text{вн}}$, яка напрямлена проти E_0 зовнішнього поля.

У результаті переміщення вільних носіїв заряду і накопичення їх на протилежних частинах провідника напруженість $E_{\text{вн}}$ внутрішнього поля збільшується і, нарешті, дорівнюватиме за модулем напруженості E_0 зовнішнього поля. Це приводить до того, що напруженість результуючого поля всередині провідника дорівнюватиме нулю:

$$E = E_0 - E_{\text{вн}}.$$

При цьому настає рівновага зарядів на провіднику. Таким чином, за умови рівноваги зарядів на провіднику весь нескомпенсований заряд знаходиться тільки на зовнішній поверхні провідника, а в середині провідника електричного поля немає. Це явище використовують для створення електростатичного захисту. На відміну від гравітаційного поля від електричного поля можна захиститися, якщо оточити провідник, наприклад, мідними листами. На практиці це використовується для захисту від потужного електричного поля радіолокаторів та радіостанцій, випромінювання яких може зашкодити здоров'ю; для запобігання дії електричного поля на чутливі прилади.

Явище електростатичної індукції дозволяє заряджати провідники, зокрема привівши їх в контакт, а потім відсунувши одне від одного, не виносячи із зовнішнього електричного поля.

Таким чином, ми з'ясували, що якщо помістити провідник в електричне поле, спостерігається його електризація. А як буде вести себе діелектрик в електричному полі?

Діелектриками або ізоляторами називають такі тіла, через які електричні заряди не можуть переходити від зарядженого тіла до незарядженого. Ця властивість діелектриків зумовлена тим, що у них за певних умов немає вільних носіїв заряду. Якщо умови змінюються, наприклад, під час нагрівання, в діелектрику можуть виникнути вільні носії заряду і він почне проводити електрику. Отже, поділ речовин на провідники і діелектрики є умовним.

До діелектриків належать усі гази за нормальних умов, рідини (гас, спирти, ацетон, дистильована вода та ін.), тверді тіла (скло, пластмаси, сухе дерево, папір, гума тощо).

У діелектриках електричні заряди не можуть (так як і вільні заряди провідника) переміщуватися під дією електричного поля по всьому об'єму тіла.

Усередині діелектрика електричне поле може існувати. Притягання незарядженого тіла (діелектрика) до зарядженого тіла пояснюється тим, що в електричному полі відбувається поляризація діелектрика, тобто зміщення в протилежні боки різнойменних зв'язаних зарядів, що входять до складу атомів і молекул таких речовини.

Діелектрики поділяють на два види:

1) полярні, які складаються із молекул, у яких центри розподілу позитивних і негативних зарядів не збігаються (вода, спирти та ін.);

2) неполярні, що складаються з атомів або молекул, у яких центри розподілу позитивних і негативних зарядів збігаються (бензол, інертні гази, поліетилен та ін.).

Якщо полярний діелектрик опустити в електричне поле, то його молекули починають повертатися своїми позитивно зарядженими сторонами до негативно заряджених пластин зовнішнього поля, а негативно зарядженими - до позитивно заряджених пластин. У результаті на поверхні діелектрика виникає досить тонкий шар зарядів протилежних знаків, які й створюють зустрічне поле. Однак на відміну від провідників це поле вже нездатне повністю скомпенсувати зовнішнє, а лише послаблює його в разів.

Якщо ж в електричне поле помістити неполярний діелектрик, то його молекула деформується, в результаті чого він стає схожим на полярний.

Для характеристики електричних властивостей діелектриків уведено особливу величину, яку називають діелектричною проникністю. Це фізична стала, яка показує у скільки разів модуль напруженості електричного поля E всередині діелектрика менший від модуля напруженості E_0 у вакуумі:

$$\epsilon = \frac{E_0}{E_{\text{вн}}}$$

Діелектричну проникність знайдено для всіх діелектриків і занесено до таблиць. Для дистильованої води $\epsilon = 81$, а для гасу - 2.

Таким чином, в діелектриках, як і в провідниках, спостерігається індукція електричних зарядів. Однак, якщо в електричному полі розділити діелектрик на дві частини, то ми не одержимо різнойменно заряджених тіл. У цьому полягає відмінність

індукції в діелектриках від індукції в провідниках.

Діелектрик, поміщений в електричне поле, зумовлює зменшення напруженості поля і відповідно зменшення сили взаємодії між зарядами, що знаходяться в діелектрику, порівняно з силою взаємодії між зарядами у вакуумі.

Ємністю одного зарядженого провідника називають величину $C = \frac{q}{\Phi}$. У випадку двох провідників ; $C = \frac{q}{\Phi_1 - \Phi_2}$ (фарад).

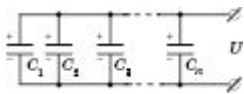
Ємність одного провідника мала. Для збільшення ємності провідника до нього наближають інший провідник, а між ними розташовують діелектрик. Така система називається конденсатором (накопичувачем).

Існують конденсатори з обкладками різної геометричної форми (плоскі, сферичні, циліндричні). Формула ємності плоского конденсатора $C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$, де S — площа однієї пластини, d — відстань між пластинами.

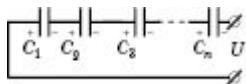
Часто використовують не окремі конденсатори, а кілька з'єднаних між собою.

1) Паралельне з'єднання конденсаторів дозволяє одержати великі ємності: $q = q_1 + q_2 + \dots + q_n$

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n \quad C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$



2) Послідовне з'єднання: $q = q_1 = q_2 = \dots = q_n \quad U = U_1 + U_2 + \dots + U_n \quad \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$



Призначення та класифікація електроізоляційних матеріалів, їх фізико-хімічні властивості.

Діелектричні матеріали називають клас електротехнічних матеріалів, призначених для використання їх діелектричних властивостей (великий опір проходження електричного струму і здатність поляризувати)

Електроізоляційними матеріалами називають діелектричні матеріали, призначені для створення електричної ізоляції струмоведучих частин в електротехнічних і радіоелектронних пристроях. Електрична ізоляція являється невід'ємною частиною електричного кола і передусім потрібна для того, щоб не пропускати струм по непередбачених електричною схемою колах.

Діелектрики, які використовуються в якості електроізоляційних матеріалів називають пасивними. Широко використовується так звані активні діелектрики, параметри, яких можна регулювати, змінюючи напруженість електричного поля, температуру, механічне напруження, та інші параметри факторів, що впливають на них. Наприклад конденсатор, діелектричним матеріалом в якому служить п'єзоелектрик, під дією прикладеного змінного струму змінює свої лінійні розміри і стає генератором механічних коливань.

За агрегатним станом діелектричні матеріали діляться на газовидні, рідкі і тверді. За походженням розрізняють діелектричні матеріали природні, котрі можуть бути використані без хімічної переробки та штучні, котрі виготовляються хімічною переробкою природної сировини і синтетичні, котрі отримуємо в ході хімічного синтезу.

За хімічним складом їх поділяють на органічні, що являють собою з'єднання вуглецю з воднем, азотом, киснем та іншими елементами; елементорганічні; в молекули яких входять атомикремнію, магнію, алюмінію, титану, заліза та інших елементів; неорганічні – не містять в своєму складі вуглецю.

З великої кількості властивостей діелектричних матеріалів, що визначають їх технічне застосування, головними являються електричні властивості-електропровідність, поляризація і діелектричні втрати, електрична міцність і електричне старіння.

Техніка, технологія виробництва і експлуатації електротехнічного і радіоелектронного обладнання ставить самі різноманітні вимоги до властивостей діелектричних матеріалів. Крім потрібних електричних властивостей діелектричні матеріали повинні володіти ще потрібними термічними, механічними та іншими властивостями.

Механічні і технологічні властивості електро ізоляційних матеріалів.

Механічні властивості діелектриків характеризують його здатність витримувати зовнішні статичні і динамічні навантаження без недопустимих змін попередніх розмірів і форми. Статичне навантаження на матеріал при експлуатації або випробовуваннях плавно зростає з обумовленою швидкістю, динамічні-діють миттєво, ривком, ударом та швидко змінюючись за силою, або напрямком.

Здатність діелектрика витримувати статичні навантаження характеризується руйнуючою напругою при розтягу, стиску або згині, межею текучості, відносним видовженням при розриві, відносною деформацією при стисканні та іншими характеристиками. Перераховані параметри визначаються стандартними методами.

Для випробувань використовують зразки певної форми і розмірів.

Здатність діелектрика витримувати динамічні і механічні навантаження характеризують ударною в'язкістю і стійкістю до вібрації. Питома ударна в'язкість - це відношення енергії удару при зломі зразка до площі його поперечного перерізу. Вона характеризує міцність матеріалу при динамічному згині. В такому режимі працює багато вузлів електротехнічного обладнання, виконаних з пластмас, шаруватих пластинів та інших матеріалів.

Стійкість матеріалів і виробів до вібрації визначається відсутністю механічних пошкоджень, порушення герметичності у випадку герметизованих конструкцій, збереженням в заданих межах електричних параметрів ізоляції після дії на протязі певного часу вібрації з заданими параметрами (амплітудою, прискоренням, діапазон частот та ін.)

Для вібраційних випробувань матеріалів і виробів використовуються спеціальні вібраційні стенди.

Термічні властивості діелектриків. Поведінка діелектриків при нагріванні характеризується рядом властивостей, які в сукупності визначають його допустиму робочу температуру. До найважливіших термічних властивостей матеріалу відносяться теплопровідність, теплоємність, плавлення і розм'якшення матеріалу, теплове розширення, нагрівостійкість та стійкість до термоударів.

Теплопровідність визначає процес відводу тепла від нагрітих провідників і магнітопроводів через шар електричної ізоляції, а також відвід тепла з товщі електричної ізоляції, нагрітої за рахунок діелектричних втрат.

Теплоємність C речовини визначає та кількість тепла Q , яка необхідна для нагрівання тіла масою m , від температури T_0 до T , то виходить рівняння $Q=Cm (T-T_0)$. Час нагрівання або охолодження електроізоляційних конструкцій залежить від теплоємності використаних в них матеріалів. Теплоємність визначає кількість тепла, необхідного для їх нагрівання в ході технологій виготовлення та інших процесів.

Нагрівостійкість електричної ізоляції визначається по змінах її $E_{міцн.}$, $tg \delta$, втраті маси, механічної міцності, а також інших параметрів в процесі витримки при підвищених по зрівняно з робочою температурах. Наприклад, при температурі розм'якшення сильно знижується механічна міцність діелектрика і деформація виробів збільшується до небезпечних меж, вони виходять з ладу.

Холодостійкість електричної ізоляції визначається в результаті порівняння механічних характеристик при нагativній і нормальній температурах.

Стійкість до термоударів визначається для крихких матеріалів та виробів з них. Наприклад ізолятори з електротехнічного фарфору повинні витримувати трьохкратне нагрівання без помітного погіршення основних властивостей. При визначенні стійкості до термоударів нагріті ізолятори погружаються в льодяну воду, де витримуються

певний час. Після витримки ізолятори кондиціонуються на повітрі при кімнатній температурі. Потім цикл нагрівання – охолодження повторяють. Після трьох циклів ізолятори кондиціонуються і піддаються електричним випробовуванням.

Фізико-хімічні властивості діелектриків. Електроізоляційні матеріали мають різну стійкість до руйнування (корозії) при контактуванні з водою, кислотами, лугами, соляними розчинами, маслами, паливом, газами. При визначенні хімічної стійкості зразки тривалий час витримуються в певних умовах, найбільш близьких до експлуатаційних, після чого визначають зміну їх зовнішнього виду, маси, електричних та інших параметрів. Наприклад в нафтових маслах при експлуатації проходить корозія пограничних в масло ізоляцій; металів, в процесі якої утворюються кислотні і масло старіє.

Вологостійкість діелектрика визначається його здатністю спробувати вологу з навколишнього середовища (вологого повітря). В процесі витримки у вологій атмосфері контролюють зміну таких параметрів діелектрика, як опір ізоляції виробу та інші. Паралельно визначають вологопоглинання зразка, %.

Контрольні питання.

1. Визначення електротехніки як галузі науки та техніки, що вирішує задачі перетворення та передачі енергії та інформації.
2. Електричне поле точкового заряду. Характеристики.
3. Електропровідність: провідники, діелектрики в електричному полі, електрична ємність, конденсатори, з'єднання конденсаторів, електроізоляційні матеріали.

Навчальний матеріал для груп 1Мс

Лекція №11-12

Тема лекції: Електричні вимірювання та прилади.

Рекомендована література:

1. Данилов И.А., Иванов П.М. Общая электротехника с основами электроники: Учебное пособие для неэлектротехнических специальностей техникумов. — Москва: Высшая школа, 1989. -752с.
2. Евдокимов Ф. Е. Общая электротехника: Учебник для учащихся неэлектротехнических специальностей техникумов. — Москва: Высшая школа, 1987. - 352 с.
3. Общая электротехника с основами электроники. Учебник для техникумов. В.А. Гаврилюк, Б.С. Гершунский, А.В. Ковальчук, Ю.А. Куницкий, А.Г. Шаповаленко — Киев: Вища школа, 1980. - 480 с.
4. Китаев В.Е. Электротехника с основами промышленной электроники: Учебник для проф.-техн. училищ.-М.:Высш. Шк.,1985.-224 с.

Зміст лекції

1. Поняття "вимірювання" та "електровимірювальні прилади"

Вимірювання – це процес порівняння фізичної величини з її значенням, прийнятим за одиницю.

Електровимірювальні прилади — це такі технічні засоби, які виробляють сигнали вимірювальної інформації у формі, що доступна для безпосереднього сприйняття спостерігачем.

Електровимірювальні прилади дають змогу вимірювати як електричні, так і неелектричні величини. На шкалі наводиться назва приладу або початкова латинська літера одиниці, що вимірюється.

Електровимірювальні прилади можна класифікувати:

- а) за родом вимірювальної величини;
- б) за фізичним принципом дії вимірювального механізму;
- в) за родом струму;
- г) за класом точності;
- д) за типом відлікового пристрою;
- е) за виконанням залежно від умов експлуатації;
- є) за стійкістю до механічних впливів;
- ж) за ступенем захисту від зовнішніх магнітних та електричних полів тощо.

2. Класифікація електровимірювальних приладів

2.1. *За вимірювальною величиною* електровимірювальні прилади поділяються на:

- вольтметри (позначаються літерою V);
- амперметри (A);
- ватметри (W);
- омметри (Ω);
- лічильники енергії (Wh);
- фазометри (ϕ);
- частотоміри (Hz) тощо.

До умовної літери може бути додано позначення кратності основної одиниці, наприклад: міліамперметр — mA ; кіловольтметр — kV ; мегомметр — $M\Omega$ тощо.

2.2. *За фізичним принципом дії* розрізняють такі системи електровимірювальних приладів:

- | | | |
|------------------------|---|------|
| а) магнітоелектрична |  | ---- |
| б) електромагнітна -- |  | — |
| в) електродинамічна |  | ---- |
| г) феродинамічна -- |  | |
| д) індукційна ----- |  | |
| е) електростатична --- |  | |
| є) вібраційна ----- | | |

тощо.

2.3. Умовні позначення на шкалі приладу характеризують класифікацію приладів **за родом струму:**

- а) постійний струм;
- б) змінний (однофазна система);
- в) постійний і змінний;
- г) трифазна система;
- д) трифазна несиметрична система.

2.4. **За класом точності** електровимірювальні прилади класифікуються відповідно до стандартів. Клас точності позначається цифрою, котра дорівнює зведеній похибці у відсотках, що допускає прилад. Випускають прилади таких класів точності: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. У лічильниках електроенергії класи точності такі: 0,5; 1,0; 2,0; 2,5.

2.5. **За типом відлікового пристрою** електровимірювальні прилади розрізняються. В залежності від призначення прилади можуть бути:

- показуючі;
- реєструючі;
- самопишучі;
- друкуючі;
- інтегруючі;
- підсумовуючі.

Більш поширені показуючі прилади, тобто прилади безпосередньої оцінки. Відліковий пристрій цих приладів складається звичайно з шкали і показника. Показником може бути стрілка або світлова пляма з рискою. Треба знати правила користування відліковим пристроєм. Такі показуючі прилади називаються **аналоговими**. Показання таких приладів — це безперервна функція величини, що вимірюється.

В **цифрових** електровимірювальних приладах показання наводяться у цифровому вигляді.

2.6. **У залежності від умов експлуатації, діапазону робочих температур та відносної вологості**, електровимірювальні прилади поділяються на п'ять груп:

- група А (температура +10...+35°C, вологість 80);
- група Б (температура -30...+40°C, вологість 90);
- група Б₁ (температура -40...+50°C, вологість 95);
- група В₂ (температура -50...+60°C, вологість 95);
- група В₃ (температура -50...+80°C, вологість 98).

2.7. **За стійкістю до механічних впливів** прилади підрозділяються в залежності від значення максимально допустимого прискорення при ударах та вібраціях (м/с²). За стандартом електровимірювальні прилади поділяються на групи:

- звичайні з підвищеною міцністю (ОП);
- нечутливі до вібрацій (ВН);
- віброміцні (ВП);
- нечутливі до трясіння (ТН);
- трясінняміцні (ТП);
- удароміцні (У).

Звичайні прилади групи ОП витримують прискорення до 15 м/с^2 .

2.8. *За ступенем захисту від зовнішніх магнітних та електричних полів* прилади поділяються на I і II категорії. Від зовнішніх полів прилади захищаються екранами.

2.9. У більшості показуючих електровимірювальних приладів *рухома частина пристрою переміщується внаслідок дії обертаючого моменту*. Обертаючий момент виникає внаслідок взаємодії магнітних або електричних полів та, до деякої міри, пропорційний вимірюваній величині. У вимірювальному пристрою завжди є **протидіючий момент**, що створюється механічною або електромагнітною силою.

Для створення механічної протидії використовується звичайно спіральна пружина, іноді для більшої чутливості—підвіси або розтяжки.

Прилади, в котрих створюється електромагнітний протидіючий момент, називають **логометрами**.

Позначення на шкалах приладу

Зміст умовного позначення	Умовне позначення
Прилад постійного струму	—
Прилад постійного та змінного струму	$\approx$
Прилад змінного струму	$\sim$
Прилад трифазного струму	$\approx$
Робоче положення шкали горизонтальне	$\perp$
Робоче положення шкали вертикальне	$\perp$
Прилад класу 0,5	0,5
Ізоляцію вимірювального кола відносно корпусу приладу випробувано напругою 2 кВ.	☆ ₂

Вимірювання струмів, напруг, потужностей та енергії

3.1. Для **вимірювання струму** будь-якої вітки електричного кола амперметр вмикають послідовно з елементами кола (рис.5.1). В колах постійного струму звичайно застосовуються прилади магнітоелектричної системи і нечасто — електромагнітної системи. Для зменшення похибки вимірювання треба, щоб опір амперметра був значно меншим (на два порядки) за опір елемента вітки, в котрій вимірюється струм.

Для **вимірювання напруги** вольтметр вмикають паралельно до елемента, напругу на якому треба визначити (рис.5.1). В колах постійного струму звичайно користуються приладами магнітоелектричної системи. Для зменшення похибки вимірювання опір вольтметра повинен бути великим (на два порядки більшим за опір елемента, на якому вимірюється напруга).

Потужність у колі постійного струму обчислюється за показаннями амперметра і вольтметра

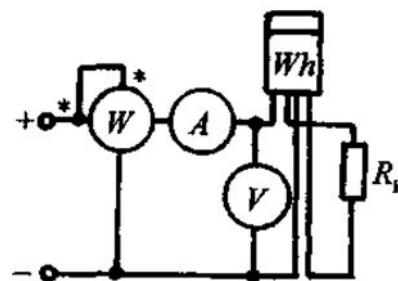
$$P = UI$$


Рис.5.1.

У випадках, коли немає змоги виміряти водночас напругу і струм, вимірюють потужність електродинамічним ватметром (рис.5.1).

Енергію в колах постійного струму вимірюють звичайно електродинамічним лічильником.

Схему вмикання вимірювальних приладів в коло постійного струму наведено на рис. 5.1.

3.2. Для розширення меж вимірювання амперметра використовують шунти (рис. 5.2).

Якщо I_A — максимально допустимий струм амперметра, то

можна записати $I_A R_A = I_{ш} R_{ш}$, тоді
$$I_{ш} = \frac{I_A R_A}{R_{ш}}.$$

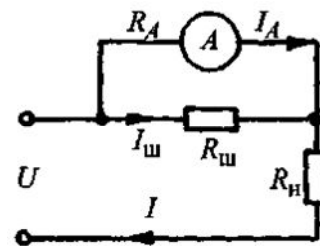


Рис.5.2.

За першим законом Кірхгофа $I = I_A + I_{ш}$, тобто
$$\frac{I}{I_A} = 1 + \frac{R_A}{R_{ш}}.$$

Відношення $n = \frac{I}{I_A}$ називається коефіцієнтом розширення меж вимірювання амперметром. У цьому разі можна визначити опір шунта, котрий забезпечує

$$R_{ш} = \frac{R_A}{n-1}.$$

розширення меж з коефіцієнтом

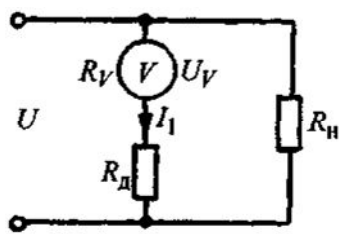


Рис.5.3.

Для розширення меж вимірювання вольтметра використовують додаткові опори, котрі вмикаються послідовно з обмоткою вольтметра (рис. 5.3).

Якщо U_V — максимально допустима напруга вольтметра,
$$U = I_1 R_V + I_1 R_д.$$

Величина $m = \frac{U}{U_V}$ називається коефіцієнтом розширення меж вимірювання

$$m = \frac{I_1}{U_V} (R_V + R_д).$$

вольтметром. Тоді

Оскільки $\frac{U_V}{I_1} = R_V$, можна визначити величину додаткового опору, котрий забезпечує розширення меж вимірювання вольтметра $R_д = R_V (m - 1).$

У приладах **магнітоелектричної системи** обертаючий момент створюється внаслідок взаємодії сталого магніту з провідником зі струмом. Рухомою частиною може бути або рамка зі струмом, або сталий магніт, розташований на осі.

Прилади магнітоелектричної системи з рухомим магнітом є приладами низьких класів точності і застосовуються як вказівні на транспортних засобах тощо.

Електровимірювальні прилади з рухомою рамкою мають високу точність і застосовуються при більш точних вимірюваннях.

На рамку зі струмом у магнітному полі діє електромагнітна сила. Оскільки сила визначається за законом електромагнітної сили, то й обертаючий момент буде пропорційний струму, що протікає в рамці. Якщо протидіючий момент створюється пружиною

$$M_{np} = m\alpha,$$

то кут повороту рамки (стрілки приладу) α пропорційний струму в рамці

$$\alpha = cI,$$

де m — питомий протидіючий момент,

c — постійна величина.

Величина $c = \alpha/I$ — називається чутливістю приладу і характеризує клас точності.

Оскільки кут повороту стрілки пропорційний струму, шкала приладів магнітоелектричної системи рівномірна, що є перевагою таких приладів.

Магнітоелектричні прилади застосовують для вимірювання постійних струмів та напруг. Вони також можуть використовуватися для вимірювання опорів як гальванометри.

Позитивними особливостями приладів магнітоелектричної системи є високий клас точності (до 0,1) і порівняно малі внутрішні втрати енергії.

Недоліком приладів цієї системи можна вважати непридатність до роботи в полях змінного струму, чутливість до перевантажень і залежність від температури оточення. Магнітоелектричним приладом можна виконувати вимірювання в полях змінного струму, якщо в коло рухомої котушки ввімкнути перетворювач змінного струму на постійний.

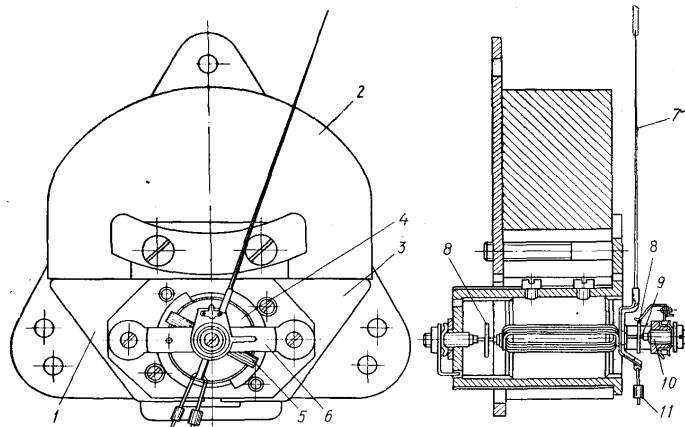


Рис. 8.1. Измерительный механизм магнитоэлектрической системы.

2. Електровимірювальний прилад **електромагнітної системи** має нерухому котушку і розташовану на осі феромагнітну пластинку. Якщо в котушці протікає струм, що вимірюється, то створене котушкою поле втягує всередину феромагнітну пелюстку. Якщо вимірюється величина в полі постійного струму, то обертаючий момент пропорційний квадрату струму. Якщо в котушці протікає синусоїдний струм, то обертаючий момент пропорційний квадрату діючого значення цього струму

$$M_{об} = kI^2,$$

де k — коефіцієнт пропорційності.

Кут відхилення рухомої частини також пропорційний квадратові струму

$$\alpha = cI^2.$$

Спеціальна форма феромагнітної пелюстки може трохи поліпшити нерівномірність. Створюють прилади, у котрих шкала нерівномірна тільки в початковій частині.

Квадратова пропорційність означає, що напрямок відхилення стрілки не залежить від напрямку струму, тобто **приладами електромагнітної системи можна вимірювати як в колах постійного, так і в колах змінного струму.**

Прилади електромагнітної системи можуть безпосередньо вимірювати значні струми (до 300 А) та напруги (до 600 В). Вимірювальний механізм амперметра на великий струм має котушку у вигляді одного витка мідної шини. Електромагнітний

вольтметр на велику напругу має котушку з великою кількістю витків дроту малого перерізу з додатковими резисторами, котрі компенсують температурні похибки.

Точність електромагнітного приладу значно обмежується належністю феромагнітного осердя через явище залишкового намагнічування. Для зменшення впливу гістерезису (тобто підвищення класу точності приладу) осердя виготовляють зі спеціальних феромагнітних сплавів (наприклад, пермалоїв) з невеликою коерцитивною силою.

Такі прилади мають високий клас точності, до 0,2.

Основними **перевагами** приладів електромагнітної системи можна вважати:

- а) простоту, надійність, дешевизну;
- б) спроможність використання в колах постійного та змінного струму;
- в) високу перевантажувальну здатність.

До **недоліків** приладів електромагнітної системи відносять:

- а) невисоку точність;
- б) невисоку чутливість;
- в) велике власне споживання електроенергії (0,5... 15 Вт);
- г) обмежений частотний діапазон вимірювальних величин;
- д) нерівномірність шкали;
- е) чутливість до впливу зовнішніх магнітних полів.

Власне магнітне поле приладу дуже слабке, тому зовнішнє поле значно впливає на його показання. Для зменшення впливу зовнішнього поля вимірювальний механізм захищають сталевим екраном.

Значно менше впливає зовнішнє поле на прилади електромагнітної системи з астатичним вимірювальним механізмом.

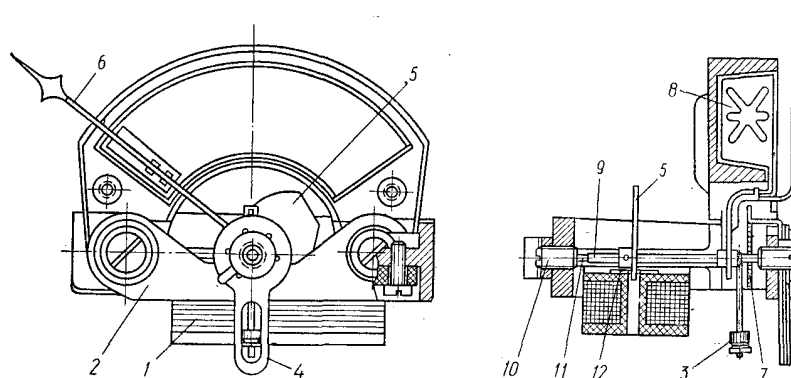


Рис. 8.2. Измерительный механизм электромагнитной системы.

Астатичний вимірювальний механізм має дві нерухомі обмотки та два осердя на одній осі. Обмотки вмикаються послідовно у такий спосіб, що їх потоки зустрічні, а моменти, що діють на осердя, — узгоджені. В цьому разі зовнішній магнітний потік підсилює обертаючий момент одного осердя і водночас послаблює момент другого осердя. Тому в астатичних електромагнітних приладах загальний обертаючий момент не залежить від зовнішнього магнітного поля.

Прилади електромагнітної системи застосовуються в промислових електротехнічних пристроях низької частоти та постійного струму, а також — досить широко — як щитові амперметри і вольтметри класів 1,0; 1,5; 2,0.

3. Прилади **електродинамічної системи** мають вимірювальний механізм, що складається з двох котушок: нерухомої і рухомої. Нерухома котушка має дві секції,

всередині котрих на осі розташована рухома котушка. За наявності струму у котушках виникають електромагнітні сили взаємодії, що прагнуть повернути рухому котушку, тобто обертаючий момент пропорційний (для постійних струмів і відповідної конструкції механізму) добутку струмів:

$$M_{об} = k I_1 I_2.$$

Якщо прилад вмикається у коло синусоїдного струму, то обертаючий момент пропорційний добутку діючих значень струму і косинусу зсуву фаз між ними

$$M_{об} = k I_1 I_2 \cos \alpha.$$

Електродинамічні прилади можна використовувати як амперметри, вольтметри та ватметри у колах постійного та змінного струмів.

Протидіючий момент створюється двома пружинами, по котрих здійснюється й підвід струму до рухомої котушки. Підбираючи форми котушок та їх розташування, можна одержати майже лінійну шкалу вольтметрів і амперметрів, починаючи з 20% верхньої межі вимірювання.

Використовуючи електродинамічний прилад, котушки вмикають паралельно амперметру тому, що обмежене підведення великого струму до рухомої котушки через пружини. Обидві обмотки вмикаються через додаткові резистори.

При вимірюванні напруги обмотки вмикаються послідовно і також з додатковим резистором.

Якщо прилад використовується як ватметр, то нерухому обмотку вмикають послідовно, а рухому з додатковим резистором — паралельно до навантаження. Кут відхилення стрілки пропорційний потужності навантаження, тому шкала ватметрів електродинамічної системи завжди рівномірна. Напрямок відхилення рухомої частини залежить від відносного напрямку струму в котушках. Тому затискачі струмової обмотки і обмотки напруги, котрі вмикаються на джерело живлення, позначаються зіркою (*). Ці затискачі називаються **генераторними**.

Прилади електродинамічної системи мають **переваги** над приладами інших систем:

а) дуже високу точність (класи 0,1; 0,2; 0,5);

б) можливість використання в колах постійного і змінного струму.

Висока точність цих приладів обумовлена тим, що магнітні потоки замикаються повітрям, а не в феромагнітних осердях, тобто виключається вплив та похибки явища гістерезису, вихрових струмів тощо. Тому прилади електродинамічної системи у вигляді переносних широко застосовуються в точних лабораторних дослідженнях.

Основними **недопiками** приладів електродинамічної системи вважають:

а) залежність показання від впливу зовнішніх магнітних полів через слабе власне магнітне поле;

б) слабку перевантажувальну спроможність через обмеження струмопідводу до рухомої котушки;

в) значну споживану потужність;

г) незначний обертаючий момент.

4. Для зменшення впливу зовнішніх магнітних полів та з метою підвищення обертаючого моменту в приладах **фeрoдинамічної системи** застосовується

ферромагнітне осердя. Нерухома котушка цих приладів розташована на сталевому магнітопроводі. Прилад створює потужний магнітний потік, що захищає його від впливу зовнішніх полів і підвищує обертаючий момент.

Вимірювальні прилади феродинамічної системи мають порівняно низьку точність вимірювання і обмежений діапазон частот. Прилади цієї системи використовують в основному як щитові в колах змінного струму. Великий обертаючий момент дає змогу використовувати феродинамічні системи в самописних приладах у колах з частотою від 10 до 1500 Гц.

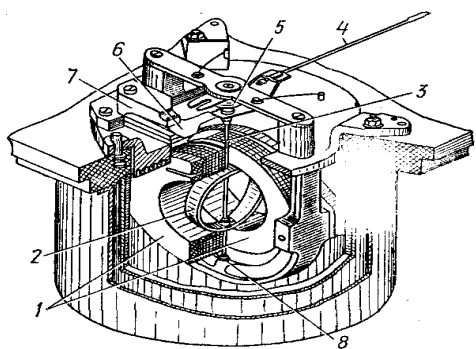


Рис. 8.3. Измерительный механизм электродинамической системы.

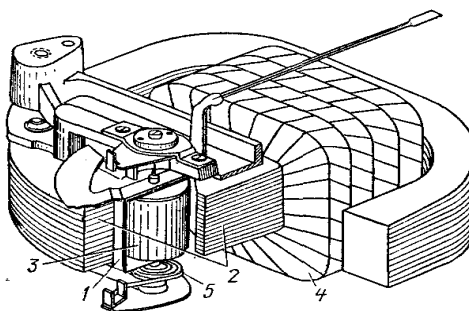


Рис. 8.4. Измерительный механизм ферродинамической системы.

5. Принципово прилади *індукційної системи* можна зробити будь-якого призначення (амперметри, вольтметри, ватметри тощо). Але найбільшого розповсюдження *набули індукційні лічильники електричної енергії*.

Індукційний лічильник — це маленький двигун змінного струму. Принцип дії ґрунтується на взаємодії обертового (або біжучого) магнітного поля з вихровими струмами у рухомій частині приладу.

Біжуче поле створюється двома магнітними потоками, що зсунуті на деякий кут за фазою. Ці потоки створюються двома електромагнітами. Обмотка одного електромагніту (з великою кількістю витків) увімкнена паралельно навантаженню. Обмотка другого має малу кількість витків і вмикається послідовно щодо навантаження, тобто один потік пропорційний напрузі, а другий — струму навантаження. Створюється обертаючий момент, що пропорційний потужності змінного струму

$$M_{об} = kP$$

Протидіючий момент створюється сталим магнітом, в полі котрого обертається рухома частина — алюмінієвий диск. Взаємодія сталого магнітного потоку з вихровими струмами зумовлює гальмівний момент $M_{Г}$.

При сталій частоті обертання $M_{об} = M_{Г}$, а $W = c n$, де W — енергія, що споживається навантаженням,

n — кількість обертів лічильника,

c — сталий коефіцієнт (стала лічильника показує кількість кіловат-годин електроенергії, що відповідає одному обертку диска).

Перевагами приладів індукційної системи можна вважати:

- а) порівняно великий обертаючий момент;
- б) стійкість до значних перевантажень (по струму до 300%);
- в) незалежність від зовнішніх магнітних полів.

Взагалі лічильники індукційної системи дуже надійні в експлуатації. Вони випускаються промисловістю класів 1,0; 2,0; 2,5 (лічильники активної енергії) і 2,0; 3,0 (лічильники реактивної енергії). Бувають лічильники однофазні і трифазні.

До **недоліків** приладів цієї системи можна віднести те, що лічильники індукційної системи використовуються для змінного струму лише однієї частоти. Показання приладів цієї системи залежать значною мірою від температури оточуючого середовища.

Для розширення меж вимірювання енергії змінного струму за напругою і струмом використовують вимірювальні трансформатори напруги і струму.

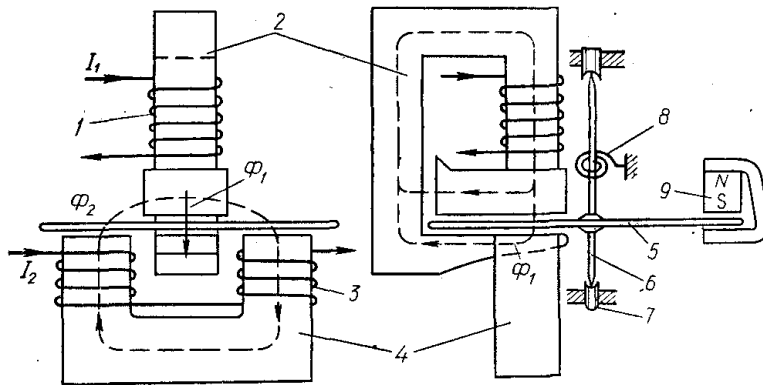


Рис. 8.5. Измерительный механизм индукционной системы.

6. Вимірювальний механізм приладу **електростатичної системи** складається з металевих ізольованих пластин. Під дією потенціалу рухома пластина відхиляється, тобто створюється обертаючий момент

$$M_{об} = cU^2,$$

що пропорційний квадрату постійної напруги, або квадрату діючого значення синусоїдної напруги.

Підбиранням форми і розмірів пластин можна отримати рівномірну шкалу.

Прилади електростатичної системи використовуються тільки як вольтметри постійної і змінної напруги.

До **переваг** електростатичних вольтметрів можна віднести:

- а) мале власне споживання електричної енергії;
- б) нечутливість до зовнішніх магнітних полів та коливань температури;
- в) можливість вимірювати високі напруги без застосування вимірювальних трансформаторів напруги.

До **недоліків** приладів цієї системи можна віднести порівняно низьку чутливість приладів.

Для розширення меж вимірювання електростатичними вольтметрами застосовують ємнісні та резистивні подільники напруги.

7. Цифрові прилади вимірюють значення безперервної електричної величини в окремі моменти часу. Результат вимірювання подається в цифровій формі.

Промисловість виготовляє цифрові вольтметри постійної напруги від 1 мкВ до 1000 В. Завдяки застосуванню каліброваних шунтів ці прилади можна використовувати як цифрові амперметри до 7500 А, крім того, як вольтметри змінної напруги, частотомери, омметри тощо.

Переваги:

Ці прилади мають дуже велику точність вимірювання (похибки від 0,1 до 1%), велику швидкодію, широкі межі вимірювань. Цифрові прилади можна комутувати з обчислювальними машинами.

До **недоліків** цифрових приладів треба віднести їх високу вартість та порівняну складність.

Контрольні запитання:

1. Класифікація вимірювальних приладів, похибки, класи точності.
2. Основні вимірювальні механізми.
3. Вимірювання струму, напруги, опорів, потужності енергії.
4. Шунти та додаткові опори.
5. Поняття про цифрові вимірювальні прилади.

Навчальний матеріал для груп 2р

Лекція №21

Тема лекції: **Напівпровідникові прилади.**

Рекомендована література:

1. Данилов И.А., Иванов П.М. Общая электротехника с основами электроники: Учебное пособие для неэлектротехнических специальностей техникумов. — Москва: Высшая школа, 1989. -752с.
2. Евдокимов Ф. Е. Общая электротехника: Учебник для учащихся неэлектротехнических специальностей техникумов. — Москва: Высшая школа, 1987. - 352 с.
3. Общая электротехника с основами электроники. Учебник для техникумов. В.А. Гаврилюк, Б.С. Гершунский, А.В. Ковальчук, Ю.А. Куницкий, А.Г. Шаповаленко — Киев: Вища школа, 1980. - 480 с.
4. Китаев В.Е. Электротехника с основами промышленной электроники: Учебник для проф.-техн. училищ.-М.:Высш. Шк.,1985.-224 с.

Зміст лекції

1. Напівпровідники та їх властивості.

Напівпровідниками прийнято називати матеріали кристалічної структури, в яких значно змінюється провідність під дією тепла, світла, електричних та магнітних полів, радіаційного опромінення, а також в результаті додавання в них у вигляді домішок інших матеріалів. До числа напівпровідників відносяться окисли металів, сірчисті з'єднання, з'єднання з селеном. Типові напівпровідники: селен, германій, кремній, телур. Напівпровідники відрізняються від провідників та діелектриків провідністю. Особливістю металевих провідників є – наявність вільних електронів, які являються носіями електричних зарядів, а у діелектриків вільних електронів не має, тому вони не проводять електричний струм. На відміну від провідників, напівпровідники мають не тільки «електрону» провідність, а й «дірочну», яка залежить від температури, освітлення, стиснення, електричного поля та інших факторів.

2. Залежність провідності напівпровідників від домішок.

При відсутності домішок і температурі $T=0$ (абсолютний нуль), усі валентні електрони зв'язані і вільних не має, германій не проводить електричний струм, при збільшенні температури, або при опроміненні збільшується провідність (оскільки збільшується енергія електронів). При кімнатній температурі в кристалі виникає струм.

Електропровідність зумовлена переміщенням вільних електронів називається електронною провідністю, або провідністю n- типу.

Після того як з'явилися вільні електрони в ковалентних зв'язках утворюється вільне і незаповнене електроном (вакантне) місце – «електронна дірка», яка має позитивний заряд і будь-який з електронів може зайняти це місце (дірки). Один ковалентний зв'язок буде встановлено, але буде порушено в іншому місці.

Переміщення «дірок» подібно переміщенню позитивних зарядів – називають «дірковою провідністю».

Провідність, яка виникає в результаті переміщення «дірок», називається «дірковою провідністю», або провідністю p- типу.

У чистого напівпровідника при порушенні ковалентних зв'язків, виникає однакова кількість вільних «електронів» і «дірок».

Електропровідність напівпровідника при відсутності в ньому домішок називають власною провідністю.

У випадку коли в кристалі будуть атоми інших елементів, можна отримати перевагу електронів над дірками, або навпаки.

Домішки, що віддають початковому матеріалу електрони називають донорами.

Домішки, які призводять до виникнення дірок називають акцепторами.

3. Пряме і зворотне зміщення (вмикання) р-п-переходу.

Якщо до напівпровідникового кристалу з двома типами провідності прикласти зовнішню напругу так, як це показано на рис. 8.2,а ("+" до структури *n*-типу і "-" до структури *p*-типу), то вона створить у запираючому шарі електричне поле напруженістю $E_{зовн}$, яке співпадає з напрямком поля нерухомих іонів $E_{зан}$. Це

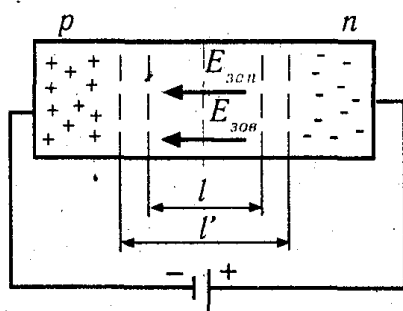


Рис. 8.2. а)

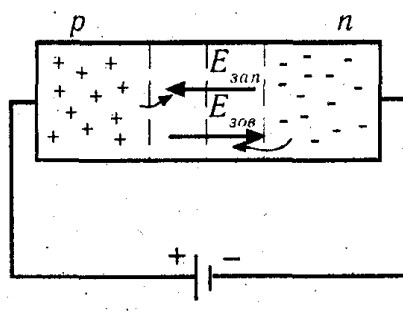


Рис. 8.2. б)

приводить до розширення запираючого шару (рис. 8.2, а), збільшення опору *p*—*n*-переходу. Струм через нього дуже малий, оскільки він створюється неосновними носіями зарядів, тобто електронами в *p*-шарі і дірками в *n*-шарі. Цей струм називають **зворотним**, а *p*—*n*-перехід у такому стані — **закритим**.

Якщо змінити полярність зовнішньої напруги (рис. 8.2, б), то зовнішнє поле буде спрямоване назустріч запираючому; запираючий шар стає вужчим і, при наявності напруги 0,3 ÷ 0,5 В, опір *p*—*n*-переходу різко зменшується і виникає відносно великий струм.

Повна вольт-амперна характеристика (ВАХ) *p*—*n*-переходу показана на рис. 8.3. Вона є суттєво нелінійною.

На ділянці 1 $E_{зовн} < E_{зан}$ і прямий струм малий. На ділянці 2 $E_{зовн} > E_{зан}$, *p*—*n*-перехід відкритий і струм обмежено лише опором самого напівпровідника. На ділянці 3 існує лише зворотний струм за рахунок наявності невеликої кількості неосновних носіїв зарядів, тобто електронів в *p*-зоні і дірок в *n*-зоні. Із збільшенням зворотної напруги $E_{зовн}$ стає такою великою, що неосновні носії починають рухатися з великою

швидкістю, достатньою для лавиноподібного розмноження носіїв зарядів — електронів і дірок. Цей вид пробою $p-n$ - переходу називають *лавинним*.

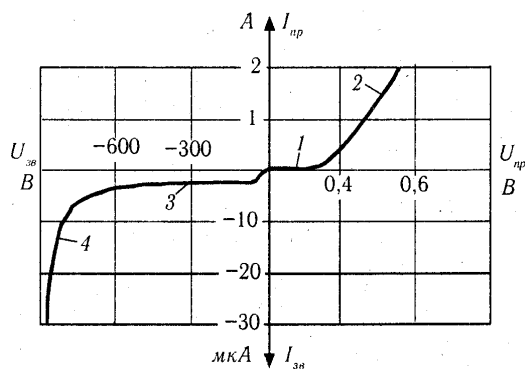


Рис.

Властивості чистих та легованих напівпровідників, а також $p-n$ -переходу використовують в двохелектродних напівпровідникових приладах — резисторах та діодах. У більш складних приладах — транзисторах і тиристорах — використовують електричні властивості, які утворюються взаємодією декількох $p-n$ - переходів.

Контрольні питання

1. Властивості напівпровідників.
2. Власна та домішкова провідність.
3. $P-n$ переходи.

Лекція №22

Тема лекції: **Напівпровідникові прилади.**

Рекомендована література:

1. Данилов И.А., Иванов П.М. Общая электротехника с основами электроники: Учебное пособие для неэлектротехнических специальностей техникумов. — Москва: Высшая школа, 1989. -752с.

2. Евдокимов Ф. Е. Общая электротехника: Учебник для учащихся неэлектротехнических специальностей техникумов. — Москва: Высшая школа, 1987. - 352 с.
3. Общая электротехника с основами электроники. Учебник для техникумов. В.А. Гаврилюк, Б.С. Гершунский, А.В. Ковальчук, Ю.А. Куницкий, А.Г. Шаповаленко — Киев: Вища школа, 1980. - 480 с.
4. Китаев В.Е. Электротехника с основами промышленной электроники: Учебник для проф.-техн. училищ.-М.:Высш. Шк.,1985.-224 с.

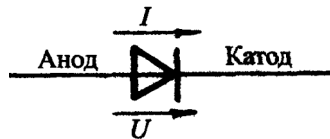
Зміст лекції

1. Напівпровідникові діоди

Напівпровідниковий діод має один *p-n-перехід* та два виводи (електроди). **Робота діодів ґрунтується на одnobічній провідності *p-n-переходу*.** Звичайно діоди мають герметичні корпуси, що сприяють відведенню тепла.

Напівпровідникові діоди класифікуються за різними ознаками:

- а) типом конструкції переходу (точкові, площинні),
- б) функціональними ознаками (випрямні, стабілітрони, варикапи, імпульсні, детекторні, перетворювальні тощо);
- в) основним матеріалом (германієві, кремнієві та деякі інші);
- г) фізичними процесами (лавинно-пролітні, тунельні, діоди Шоткі, фотодіоди, світлодіоди та інші);
- д) граничними технічними параметрами (малострумні, малопотужні, середньої потужності, великої потужності, низькочастотні, надвисокочастотні та інші).



Умовне позначення діода:

Прямий струм діода спрямований від анода до катода.

Пряме увімкнення діода (коли на анод подається позитивний заряд джерела живлення) *характеризується дуже малим опором *p-n-переходу*.*

Зворотне увімкнення (на аноді – негативний потенціал) *характеризується великим опором переходу.*

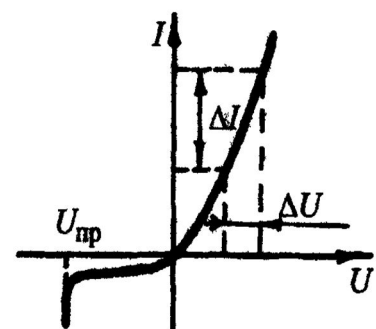
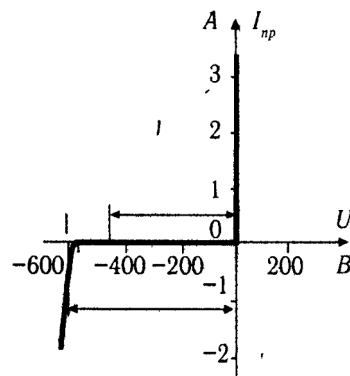


Рис.8.2. Вольт-амперна характеристика діода

Вольт-амперна характеристика діода (рис. 8.2) показує, що при зворотному увімкненні при деякому значенні зворотного струму можливий **електричний пробій *p-n-переходу*** – створення провідного каналу в *p-n-переході*. При пробії зворотний струм діода різко зростає за величиною.

Випрямні напівпровідникові діоди призначені для випрямлення змінного струму (перетворення його на струм одного напрямку).

Якщо скористатися однаковим масштабом струмів і напруг для прямого і зворотного напрямків, ВАХ діода буде мати вигляд:



Стабілітрони.

Для стабілізації напруги використовують напівпровідникові діоди, що називаються стабілітронами.

Робочою ділянкою ВАХ стабілітрона є ділянка

зворотної вітки ВАХ $p-n$ —переходу у зоні електричного пробоя.

Під час зміни струму через стабілітрон від $I_{cm.min}$ до $I_{cm.max}$ напруга на стабілітроні незначно зростає на $2\Delta U$. Середньому значенню струму стабілітрона I_{cm} відповідає напруга стабілізації U_{cm} . Можливі

відхилення від напруги стабілізації складають звичайно $\Delta U = (0,05 \div 0,2) U_{cm}$.

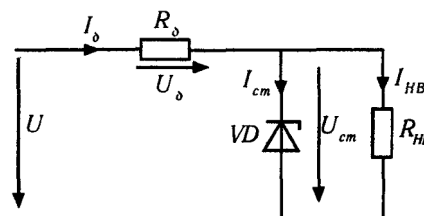
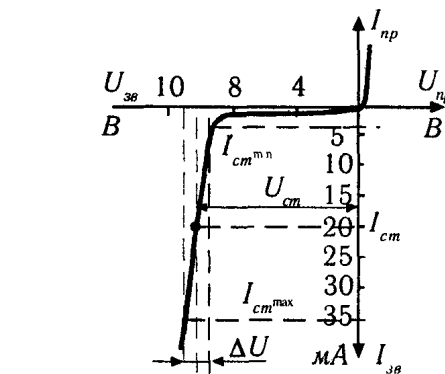
Таким чином, **досить великі зміни зворотного струму майже не змінюють напругу на стабілітроні.**

Мінімальні і максимальні робочі струми напівпровідникових стабілітронів дорівнюють $I_{cm} = 1 \div 10 \text{ мА}$, а $I_{cm.max} = 50 \div 2000 \text{ мА}$.

Напруга стабілізації U_{cm} може знаходитись у межах $U_{cm} = 1 \div 1000 \text{ В}$. Але найчастіше в електронних пристроях систем автоматизації застосовуються стабілітрони з $U_{cm} = 3,3 + 24 \text{ В}$ і з $I_{cm.max} = 5 \div 70 \text{ мА}$.

Застосовуються і більш потужні стабілітрони, наприклад, Д815, які мають $U_{cm} = 4,7 \div 15 \text{ В}$ і струм $I_{cm} = 0,5 \div 1 \text{ А}$.

Стабілітрони використовують у параметричних стабілізаторах напруги. Приклад найпростішої схеми вмикання стабілітрона наведено:



паралельно до резистора навантаження $R_{нв}$ під'єднано стабілітрон VD ; баластний резистор R_s застосовується для досягнення робочого режиму стабілітрона. 8.4.1.

2. Транзистором називається напівпровідниковий триелектродний прилад, призначений для підсилення, генерування або перетворення електричних сигналів і перемикання електричних імпульсів у схемах.

Транзистори підрозділяються на біполярні та уніполярні.

Біполярні транзистори (або просто транзистори) — це прилади, в яких струм зумовлений рухом носіїв зарядів обох знаків (електронів та дірок).

В **уніполярних** (або *польових*) транзисторах струм зумовлений рухом носіїв зарядів лише одного знаку (електронами чи дірками).

Біполярний транзистор — це напівпровідниковий прилад, що має два p - n -переходи та три електроди.

Середній електрод називається **базою (Б)**, два крайніх — **емітером (Е)** та **колектором (К)**. Емітер позначають стрілкою.

Треба пам'ятати, що завжди **стрілка спрямована із p -області у n -область**.

Розрізняють два типи біполярних транзисторів: p - n - p -типу та n - p - n -типу.

Умовне позначення біполярних транзисторів:

Транзистор умовно можна уявити як два послідовно з'єднаних діоди в одному корпусі. Якщо діоди мають спільні катоди, вони створюють транзистор типу p — n — p , а якщо спільні аноди — транзистор типу n — p — n .

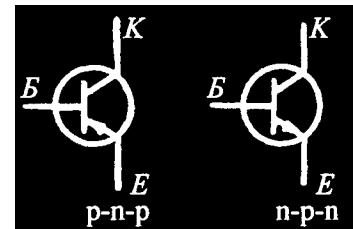


Рис. 8.2.7.

Завжди емітерний перехід увімкнений прямо, а колекторний — зворотно.

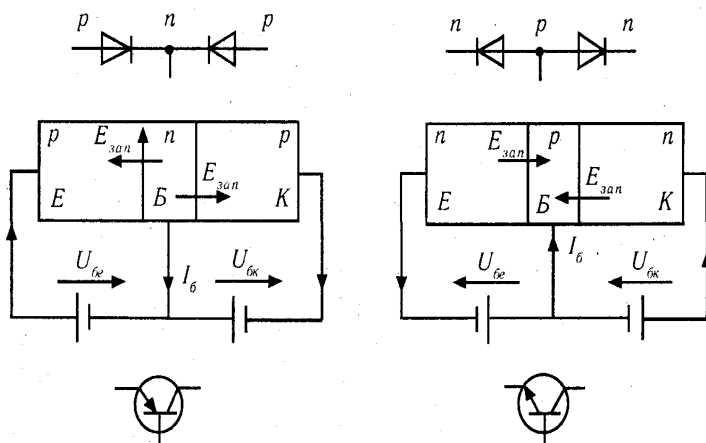


Рис.

Через те, що емітерний перехід вмикається прямо, то він має малий опір. Колекторний перехід умикається зворотно і має дуже великий опір. До емітера прикладається невелика напруга, а до колектора дуже велика (десятки вольт). Малою зміною струму емітерного переходу можна керувати великими змінами струму у колі колектора, тобто навантаження. Таким чином, транзистор підсилює потужність.

У якості підсилювального елемента транзистор застосовується в схемах підсилювачів електричних сигналів.

Змінна електрична величина подається на вхід підсилювача. За допомогою енергії джерела живлення підсилювач забезпечує на навантаженні форму вхідного сигналу, величина якого підвищується.

Транзистор може бути ввімкнений у схему підсилювача (підсилювальний каскад) трьома різними способами:

- а) за схемою із загальною базою,
- б) із загальним емітером,
- в) із загальним колектором.

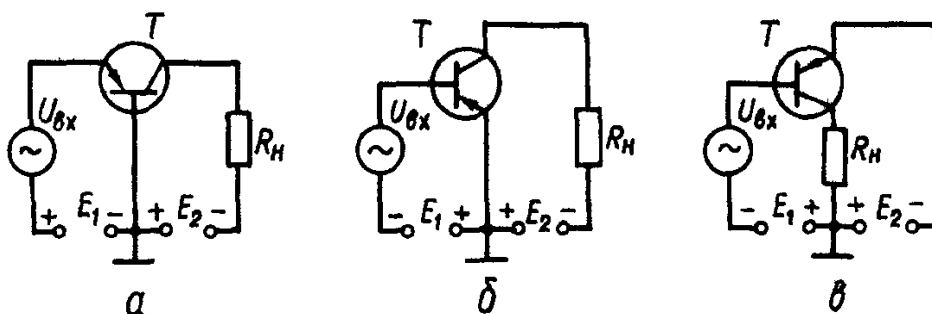


Рис. 8.2.9.

Принцип
підсилювання
електричних

коливань у різних схемах однаковий, але кожна із схем має відмінні від інших властивості.

В схемі *із загальною базою* транзистор має великий коефіцієнт підсилення за напругою і потужністю (до тисячі).

Важливою перевагою схеми *із загальним емітером* порівняно зі схемами із загальною базою та загальним колектором є велике підсилення за струмом.

Коефіцієнт підсилення за напругою для схеми із загальним емітером приблизно такий, як і в схемі з загальною базою.

Коефіцієнт підсилення за потужністю для схеми із загальним емітером досягає декількох тисяч.

У схемі з загальним колектором вхідний опір дуже великий (десятки й сотні кілоом), а вихідний — дуже малий (десятки або сотні Ом). Тому каскад із загальним колектором має коефіцієнт підсилення за напругою менше одиниці, за струмом — більше десяти, а за потужністю — менше, ніж за струмом.

Ця схема використовується в основному для узгодження опорів між окремими каскадами або між виходом підсилювача і низькоомним навантаженням.

Характеристики транзисторів.

Важливим показником підсилювальних і інших властивостей транзистора є сімейство його характеристик: статичних і динамічних.

Статичною називається характеристика транзистора, що описує взаємозв'язок між вхідними та вихідними струмами та напругами, коли у вихідному колі немає навантаження.

Застосовуються такі статичні характеристики біполярних транзисторів:

- а) вхідні;
- б) вихідні;
- в) перехідні.

Вхідна характеристика — це залежність $I_{\text{вх}} = f(U_{\text{вх}})$ при сталій напрузі на виході ($U_{\text{вих}} = \text{const}$).

Вихідна характеристика — це залежність $I_{\text{вих}} = f(U_{\text{вих}})$ при сталому вхідному струмі ($I_{\text{вх}} = \text{const}$).

Перехідна характеристика (характеристика підсилення) — це залежність $I_{\text{вих}} = f(I_{\text{вх}})$ при сталій напрузі на виході ($U_{\text{вих}} = \text{const}$).

Вхідні і вихідні характеристики будують експериментально, а перехідні можна побудувати за допомогою сім'ї вихідних характеристик.

Статичні характеристики біполярних транзисторів різні для кожної зі схем вмикання транзисторів.

На рис. 8.2.10 наведено **вхідні статичні характеристики** транзистора *p-n-p*-типу, що увімкнений за схемою із спільним емітером.

Вхідна характеристика (вольт-амперна характеристика

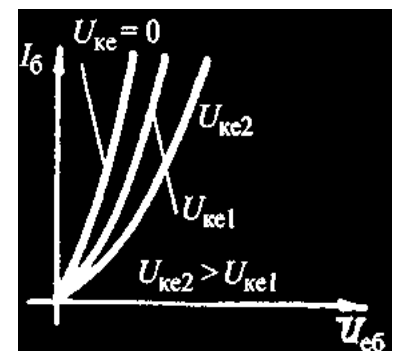


Рис. 8.2.10.

емітерного переходу) являє собою звичайну праву вітку вольт-амперної характеристики діода. Напівпровідниковий транзистор не можна чисто механічно уявляти у вигляді двох діодів, тому що процеси в одному переході впливають на процеси в іншому. Вигляд вхідної характеристики залежить від напруги між емітером та колектором.

Вихідна характеристика нагадує вольт-амперну характеристику діода, що увімкнений зворотно. На струм колектора значною мірою впливає струм бази. У робочій області струм колектора незначно залежить від напруги між колектором та емітером (рис. 8.2.11).

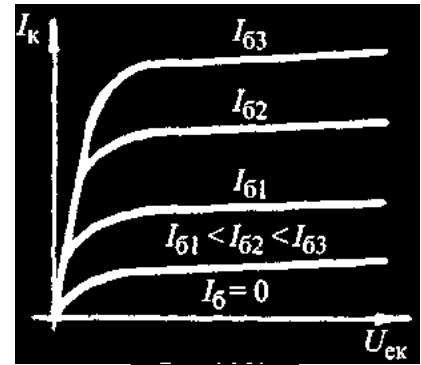


Рис. 8.2.11.

Контрольні питання

1. Випрямні діоди, стабілітрони, умовні позначення, будова, принцип дії, вольт-амперні характеристики, параметри.
2. Біполярні транзистори: типи, умовні позначення, будова, принцип дії, схеми включення, характеристики, параметри.