

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Методичні вказівки
до самостійного вивчення курсу
«ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ МАТЕРІАЛИ»
(для студентів 2-3 курсів денної та заочної форм навчання
напрямів підготовки 6.050701 – “Електротехніка та електротехнології”,
6.050702 – “Електромеханіка”)

Харків
ХНУМГ
2014

Методичні вказівки до самостійного вивчення курсу «Електротехнічні матеріали» (для студентів 2-3 курсів денної та заочної форм навчання напрямів підготовки 6.050701 – “Електротехніка та електротехнології”, 6.050702 – “Електромеханіка”) / Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: Є. Д. Дьяков. – Х. : ХНУМГ, 2014. – 39 с.

Укладач: Є. Д. Дьяков

Рецензент: к.т.н., доц. Ю. П. Кравченко

Рекомендовано кафедрою електропостачання міст,
протокол №3 від 30.11.2012р.

Методичні вказівки складені у формі питань і відповідей на них. Питання розташовані в послідовності, що відповідає робочій програмі дисципліни «Електротехнічні матеріали». Наведені варіанти відповідей дозволять одержати попередню інформацію з питання, яке цікавить. Для детального вивчення матеріалу варто скористатися джерелами, рекомендований список яких додається.

1. Дайте визначення поняттю «електротехнічний матеріал» і назвіть класи матеріалів, які застосовують в електроенергетиці

Електротехнічними матеріалами називаються матеріали, що застосовують для створення електротехнічних та електроенергетичних виробів і конструкцій, що працюють в сильних електромагнітних полях і володіють заданими електромагнітними, тепловими і механічними властивостями. Електротехнічні матеріали поділяються на класи:

- діелектричні матеріали;
- провідникові матеріали;
- магнітні матеріали;
- напівпровідникові матеріали;
- конструкційні матеріали.

2. Назвіть три основних параметри, які характеризують електротехнічні властивості матеріалу

Електротехнічні властивості матеріалу виявляються при впливі на нього електромагнітного поля. Для чисельного визначення цих властивостей використовують наступні параметри:

- питомий електричний опір - ρ , або питома електрична провідність - γ , величина зворотна питомому електричному опору;
- відносна діелектрична проникність - ϵ_r , безрозмірна величина;
- відносна магнітна проникність - μ_r , безрозмірна величина.

Крім зазначених параметрів, кожен клас матеріалів має свої специфічні параметри, які використовують саме для цього класу.

3. Перерахуйте основні види хімічного зв'язку

Металевий, обумовлений великою концентрацією вільних електронів, що утворюють «електронний газ», в якому на певній відстані один від одного (у вузлах кристалічної решітки) утримуються позитивні іони. Приклади матеріалів, у яких спостерігається даний вид зв'язку: метали, сплави.

Ковалентний, обумовлений «усупільненням» електронів двома або кількома атомами. Приклади матеріалів: водень, хлор, алмаз.

Іонний, обумовлений передачею валентних електронів одного атома іншому і появою внаслідок цього позитивного і негативного іонів, які взаємодіють електростатичними силами. Приклади матеріалів: кухонна сіль, луги, кислоти.

Міжмолекулярний або зв'язок Ван-дер-Ваальса, обумовлений взаємодією поляризованих молекул або миттєвих молекулярних диполів. Приклади матеріалів: зріджені гази, полімери.

Крім цього, існує велика кількість різновидів і проміжних видів зв'язку, що володіють ознаками двох або більше із зазначених. Наприклад, водневий зв'язок, який пояснюється слабким зв'язком між протоном і електроном в атомі водню, внаслідок чого електрон зміщується до близько розташованому електронегативного (з великим спорідненістю до електрона) атому. Наслідком є зв'язок атомів і молекул між собою. Прикладом таких матеріалів є вода.

4. Перелічіть види будови твердих тіл

Аморфне - характеризується наявністю ближнього і відсутністю далекого порядків в будові, ізотропією властивостей і відсутністю точки плавлення.

Кристалічне - характеризується періодичної повторюваністю будови в трьох вимірах, наявністю точки плавлення і, в більшості випадків, анізотропією властивостей.

Полімерне - характеризується великою молекулярною масою, одномірним дальнім порядком, здатністю до великих, що довгостроково розвиваються оборотним деформаціям, відсутністю точки плавлення.

5. Поясніть вплив структури електронних оболонок атомів на властивості простих речовин

Від структури електронної оболонки атомів залежать багато властивостей речовин, що представляють собою за складом хімічні елементи. Вирішальний вплив мають зовнішні, найбільш віддалені від ядра електрони. Ці електрони слабкіше всіх пов'язані з ядром і називаються "валентними електронами". Шар, в якому знаходяться ці електрони, називається "валентним шаром". Кількість електронів у цьому шарі визначає валентність елемента і його здатність з'єднуватися з іншими елементами. Для електротехніки кількість валентних електронів важливо, головним чином, тому, що з ними тісно пов'язана здатність матеріалу проводити електричний струм. Елементи, атоми яких мають в валентному шарі мало електронів (від 1 до 3), називаються металами і відрізняються великою питомою електричною провідністю. Це пояснюється тим, що ці електрони в металі відносно вільні, не пов'язані ні з одним атомом жорстко і можуть вільно переміщатися між позитивними іонами, що утворюють кристалічну решітку металу. При дії зовнішнього електричного поля рух цих електронів стає спрямованим і виникає електричний струм.

Елементи, у яких валентний шар повністю зайнятий, не мають здатності легко звільняти електрони. Тому вони є поганими провідниками електричного струму, тобто діелектриками.

Між цими двома крайніми випадками лежить ряд речовин, які мають проміжні властивості. Більшість їх є напівпровідниками.

Зі структурою електронної оболонки атомів пов'язані і магнітні властивості. Матеріали, у яких в електронній оболонці однакову кількість електронів з позитивним і негативним спінами, тобто магнітні моменти яких скомпенсовані, є діамагнітними. Матеріали, у яких магнітні моменти не компенсуються, є парамагнітними. У деяких з них в області температур нижче точки Кюрі відбувається паралельна орієнтація магнітних моментів. Такі матеріали називаються

ферромагнітними. В деяких випадках при температурі нижче точки Кюрі відбувається антипаралельна орієнтація магнітних моментів. Такі матеріали називаються антиферромагнітними. При температурі вище точки Кюрі як ферромагнітні, так і антиферромагнітні матеріали ведуть себе як парамагнітні. Для атомів ферромагнітних елементів типове є те, що в їх електронній оболонці є не повністю зайнятий внутрішній шар, на якому є електрони з некомпенсованим спіновим магнітним моментом.

6. Поясніть, що таке «структура матеріалу»

Розрізняють мікроскопічну і макроскопічну структуру матеріалів. Під мікроструктурою розуміється характер упорядкованості елементарних частинок матеріалу - атомів, іонів або молекул. При кристалічній структурі частки в просторі розміщені впорядковано. При хаотичному, невпорядкованому розташуванні частинок структура матеріалу називається аморфною.

Під макроструктурою розуміється характер формування окремих областей в матеріалі, які володіють специфічними властивостями і розміри яких перевищують розміри молекул. Наприклад, розрізняють волокнисту, шарувату, пористу, доменну структури. Властивості матеріалів залежать від типу структури, а також від розмірів і форми структурних утворень. Такими структурними утвореннями можуть бути волокна, зерна, кристаліти, міцели, фібрили і т. п.

7. Перерахуйте способи, за допомогою яких можна змінювати структуру матеріалу

Основним способом зміни структури матеріалів являє термообробка. Режим термообробки залежить від типу структури, який слід отримати. У тому випадку, коли необхідно отримати матеріал з менш упорядкованою (аморфною) структурою, після розплавлення забезпечують швидке охолодження розплаву. Якщо необхідно отримати матеріал з упорядкованим розташуванням частинок, перехід з рідкого в твердий стан здійснюється дуже повільно, так як кількість дефектів кристалічної решітки зменшується в міру зменшення швидкості зміни температури при охолодженні.

Крім температури, для зміни структури матеріалів використовують магнітні й електричні поля. Особливо ефективним є спільний вплив температури і магнітного або електричного полів.

У деяких випадках, для зміни структури матеріалу, застосовують його механічну обробку при нормальній або підвищеній температурах. Недоліком цього способу є складність контролю механічних впливів для одержання заданих властивостей матеріалу.

Змінити структуру матеріалу можливо при впливі на нього іонізуючого випромінювання. Такий спосіб, наприклад, застосовується для зміни структури полімерів.

8. Поясніть, що розуміється під «структурою атома»

Під структурою атома розуміється характер упорядкованості елементарних частинок, з яких складається атом - електронів, протонів і нейтронів.

У зв'язку з тим, що характер розташування протонів і нейтронів в ядрі має незначний вплив на електричні, фізичні і хімічні властивості матеріалів, тому під структурою атома мається на увазі структура їх електронних оболонок. Розташування електронів в електронній оболонці підпорядковується певним закономірностям. Енергетичний стан кожного електрона характеризується за допомогою чотирьох квантових чисел. Відповідно до принципу Паулі в електронній оболонці не може бути двох електронів, у яких всі чотири квантових числа однакові. Причому, квантові числа і енергія електронів можуть приймати тільки дискретні значення.

Електронна оболонка кожного атома складається з певної кількості шарів. Кожен шар відповідає певному значенню головного квантового числа, яке може набувати значення натурних чисел 1, 2, 3 і т. д. Іноді ці шари позначаються літерами K, L, M і т. д.

Друге квантове число (ℓ) може набувати значення 0, 1, 2, ..., (n-1), де n - значення головного квантового числа. Енергетичні стани електронів на цих орбітах позначаються літерами s, p, d, f.

Третє квантове число m може приймати значення - ℓ , ..., 0 ..., + ℓ , де ℓ - значення другого квантового числа.

Четверте квантове число, яке називається спінове квантове число, може приймати лише значення +1 / 2 або -1 / 2.

Електрони на орбітах можуть відрізнятися тільки значенням третього квантового числа m або значенням четвертого квантового числа.

9. Поясніть, що розуміється під «структурою молекул»

Молекулою називається система, яка складається з однієї, двох або більше частинок, що характеризується мінімальною енергією, а тому хімічно стабільна.

Під структурою молекули розуміється характер упорядкованості частинок, з яких складаються молекули.

Частинками молекули можуть бути атоми чи іони, які взаємно пов'язані хімічними зв'язками. Розрізняють три основних типи хімічних зв'язків між атомами в молекулах - металевий, ковалентний і іонний зв'язки. Число матеріалів, в яких зв'язки цих типів існують у чистому вигляді, обмежена. У більшості матеріалів ми зустрічаємося з проміжними типами зв'язків, головним чином посередником між ковалентним і іонним зв'язками.

У поняття «структура молекули» входять і розмір, і форма молекули, які також пов'язані з характером хімічного зв'язку між частинками в молекулі.

Уявлення, що молекули є дуже малими частками не завжди правильно, так як розміри молекул різних матеріалів розрізняються на багато порядків. Деякі молекули дійсно дуже малі і їх розміри можна порівняти з розмірами атомів. Наприклад, розмір молекули води має порядок $2,5 \cdot 10^{-10}$ м. Небагато молекул мають макроскопічні розміри. Деталі з кристалічних матеріалів і термореактивних пластмас у затвердженому стані являють собою, власне, гігантську макромолекулу.

Розмір молекули може бути і критерієм для класифікації матеріалів. Розрізняються матеріали з малими молекулами, які називаються низькомолекуляр-

ними, і матеріали з великими молекулами, які називаються макромолекулярними або високомолекулярними.

10. Поясніть, як залежать властивості хімічних сполук від структури їх молекул

Існує очевидний зв'язок між типом хімічних зв'язків частинок молекули, структурою молекули і властивостями матеріалу. Для ілюстрації цього зв'язку покажемо, як впливає розподіл зарядів в молекулах хімічних сполук з ковалентним зв'язком, які є електроізоляційними матеріалами, на їх електрофізичні властивості.

Якщо розподіл зарядів в молекулі симетричний, тобто центр ваги позитивних і негативних зарядів збігаються, то молекула не має дипольного моменту. Матеріали, що складаються з таких молекул, називаються неполярними.

Якщо розподіл зарядів несиметричний, тобто центри ваги позитивних і негативних зарядів не збігаються, то молекула має постійний дипольний момент. Матеріали, що складаються з таких молекул, називаються полярними.

З точки зору електрофізичних властивостей, між полярними і неполярними молекулами є істотна різниця. Якщо порівнювати між собою неполярні матеріали, то побачимо, що властивості схожі. Те ж побачимо, якщо будемо порівнювати між собою полярні матеріали.

Буде чи не буде молекула мати дипольний момент, визначає характер хімічного зв'язку між частинками. Якщо мова йде про чисто ковалентний хімічний зв'язок, то молекула не має дипольного моменту, якщо характер зв'язку проміжний між ковалентним і іонним, молекула завжди має більший або менший дипольний момент, за винятком випадків, коли в молекулі існують симетричні хімічні зв'язки з протилежно орієнтованими дипольними моментами, які взаємно компенсуються.

Як приклад покажемо зв'язок між властивостями матеріалів і формою їх молекул для термопластичних і термореактивних пластмас. *Термопластичні матеріали* складаються з дуже великих молекул (макромолекул), зазвичай представляють собою довгі ланцюжки атомів вуглецю, з якими хімічно пов'язані інші атоми або групи атомів. Частинки в такому ланцюжку пов'язані відносно міцно, між окремими молекулами діють лише дуже слабкі міжмолекулярні зв'язки, які суттєво послаблюються при нагріванні матеріалів. Ці матеріали легко перевести шляхом нагрівання в пластичний стан, в якому їх легко пресувати або формувати іншим способом. Після охолодження вони знову переходять в первісний стан, причому цей перехід оборотний і його можна будь-яке число раз повторювати.

Термореактивні матеріали перед затвердінням мають властивості, аналогічні термопластичним. Однак якщо їх нагріти до певної температури, відбувається утворення поперечних зв'язків між окремими молекулами, внаслідок чого вся маса термореактивного матеріалу перетворюється в одну гігантську молекулу. Кажуть, що при затвердінні утворилася просторова структура, або відбулося утворення молекулярної решітки. Цей перехід має незворотний характер, і

після затвердіння терморективний матеріал повернути в пластичне стан неможливо.

Внаслідок відмінності у структурі молекул розрізняються і властивості терморективних і термопластичних матеріалів. Термопластичні матеріали витримують без пошкодження відносно великі деформації. На відміну від них терморективні матеріали крихкі і великих деформацій не витримують.

11. Поясніть, що розуміється під терміном «кристалічна структура матеріалу»

Про кристалічну структуру говорять в тому випадку, якщо елементарні частинки матеріалу, якими можуть бути атоми, іони або молекули, розташовані закономірно у вузлах кристалічної решітки. За ступенем досконалості розташування частинок в кристалічній решітці кристали розрізняються на ідеальні і реальні.

12. Дайте визначення поняття «композиційний матеріал»

Композиційним матеріалом називається матеріал, що складається з двох або більше компонентів, хімічно не зв'язаних між собою і володіє параметрами, відмінними від параметрів кожного з компонентів. Приклади: бетон, текстоліт, гетинакс, гума, склопластик, деякі матеріали для електричних контактів, магнітодіелектрики та ін.

13. Дайте визначення поняття «температурний коефіцієнт»

Температурний коефіцієнт будь-якого параметра «а», T_{Ka} - це відносна зміна цього параметра при зміні температури на 1К. Незалежно від розмірності параметра (питомий опір, довжина і т. д.) розмірність температурного коефіцієнта завжди однакова - $[K^{-1}]$.

$$T_{Ka} = \frac{1}{a} * \frac{\partial a}{\partial T} \approx \frac{1}{a_{cp}} \frac{a_2 - a_1}{T_2 - T_1} .$$

14. Наведіть визначення поняття «електропровідність» і назвіть величини, що визначають її чисельне значення

Електропровідність - це здатність речовини проводити електричний струм, внаслідок наявності частинок, що володіють електричними зарядами. Для чисельного визначення цієї здатності вводяться величини «питомий електричний опір» ρ і «питома електрична провідність» γ .

15. Перерахуйте типи електропровідності

Залежно від виду вільних носіїв зарядів, що знаходяться в речовині, розрізняють такі типи електропровідності:

- електронна (діркова),
- іонна,
- моліонна.

Моліонна електропровідність іноді називається електрофоретичною або електроосмотичною – за назвою явищ (електрофорез, електроосмос), пов'язаних з рухом моліонів в електричному полі.

16. Поясніть, що називається «моліоном»

Моліон - це заряджена мікроскопічна частка твердої речовини в рідкому середовищі. Заряд моліона обумовлений виборчою адсорбцією поверхнею частинки з розчину іонів одного знака. У водному середовищі частинки звичайно заряджаються негативно.

17. Дайте визначення параметра «питомий електричний опір»

Питомий електричний опір, ρ - це параметр речовини, чисельно рівний виміряним у плоско-паралельному полі опору зразка довжиною 1 м з площею поперечного перерізу 1 м².

18. Назвіть одиниці вимірювання питомого електричного опору та питомої електричної провідності

Питомий електричний опір вимірюється в Ом * м. Питома електрична провідність - См / м.

19. Вкажіть, в яких діапазонах знаходяться питомі електричні опори провідників, напівпровідників і діелектриків

Провідники = $10^{-8} - 10^{-6}$ Ом * м;

Напівпровідники = $10^{-6} - 10^{+7}$ Ом * м;

Діелектрики = $10^{+6} - 10^{+17}$ Ом * м.

20. Дайте визначення явища поляризації

Поляризацією називається зміщення під дією електричного поля пов'язаних в атоми, молекули, кристали зарядів речовини відповідно до знаків цих зарядів і напрямком поля.

21. Перерахуйте основні види поляризації і вкажіть їх основні особливості

Поляризацію можна розділити на наступні види і підвиди:

- *електронна поляризація* - це зміщення орбіт електронів щодо атомних ядер. Даний механізм поляризації спостерігається у всіх діелектриків незалежно від наявності в них та інших видів поляризації. При приміщенні діелектрика в зовнішнє електричне поле електронна поляризація встановлюється за час порядку 10^{-15} с. При підвищенні температури діелектрика, у зв'язку з тепловим розширенням речовини і зменшенням числа частинок в одиниці об'єму, дана поляризація зменшується. Електронна поляризація може бути пружною, при якій енергія електричного поля практично не переходить в тепло і релаксаційної, коли частина енергії електричного поля переходить в теплову за рахунок взаємодії атомів.
- *іонна поляризація* - це зсув один щодо одного іонів, що утворюють молекулу. Ця поляризація протікає за час порядку 10^{-13} с. При підвищенні температури іонна поляризація посилюється в результаті ослаблення пружних сил, що діють між іонами. Іонна поляризація може бути також пружною або релаксаційною.
- *дипольна поляризація* - це орієнтація дипольних молекул в полярних діеле-

триках під дією електричного поля. Вона належить до числа релаксаційних поляризацій. Діелектрики, які містять електричні диполі, здатні орієнтуватися в зовнішньому електричному полі називаються полярними. Очевидно, що дана поляризація буде проявлятися тим інтенсивніше, чим більше дипольний момент даного матеріалу. Залежно від величини електричних моментів диполів, в'язкості середовища, а також інтенсивності теплового руху молекул, час встановлення даної поляризації складає 10^{-6} - 10^{-10} с.

- *міграційна поляризація* характерна для неоднорідних діелектриків і обумовлена перерозподілом вільних зарядів у його об'ємі. Даний вид поляризації пов'язаний з наявністю в діелектрику шарів з різною діелектричною проникністю і провідністю, а також різних провідних і напівпровідних включень. На межі розділу між шарами в шаруватих матеріалах і в приелектродних шарах може відбуватися накопичення зарядів, повільно рухаючих іонів, що створює ефект міжшарової поляризації. У результаті цього в такому діелектрику при внесенні його в електричне поле, утворюються поляризовані області. При міграційної поляризації спостерігається значне розсіювання електричної енергії.
- *спонтанна поляризація* спостерігається в сегнетоелектриках. У цих речовинах існують окремі області, які мають електричний момент навіть при відсутності зовнішнього електричного поля. Орієнтація електричних моментів в доменах різна. При внесенні даного діелектрика в електричне поле відбувається орієнтація електричних моментів в напрямку поля, в результаті чого спостерігається сильна поляризація.

22. Наведіть визначення поняття «час релаксації»

Часом релаксації називається проміжок часу, протягом якого відхилення будь-якого параметра системи від його рівноважного стану зменшується в e (2,7183) раз. Розрізняють два часи релаксації: час встановлення поляризації та максвеллівський час діелектричної релаксації. Поняття «релаксація» можна трактувати як повернення в стан рівноваги після зникнення поля. Максвеллівський час релаксації для кожного матеріалу можна обчислити як добуток питомого опору, ρ на діелектричну проникність, ϵ_r (з урахуванням електричної постійної): $\tau = \epsilon_r \epsilon_0 \rho$. Фізично воно означає час розряду власної ємності через власний опір.

23. Вкажіть, в яких діапазонах змінюється час встановлення різних видів поляризації

електронної $\approx 10^{-16}$ - 10^{-15} ;
 іонної $\approx 10^{-13}$ - 10^{-12} ;
 дипольної $\approx 10^{-6}$ - 10^{-10} ;
 міграційної $\approx 10^{-4}$ - 10^{+4} ;
 спонтанної $\approx 10^{-9}$ - 10^{-4} .

24. Наведіть визначення «діелектричної проникності» як міри фізичних змін в речовині при додатку електричного поля

Діелектрична проникність є мірою поляризації речовини в електричному полі.

25. Наведіть визначення «діелектричної проникності» як міри зміни поля в речовині

Діелектрична проникність - це міра ослаблення поля в речовині у порівнянні зі зовнішнім полем; її значення показує у скільки разів поле в речовині слабкіше поля від того ж джерела (заряду) в вакуумі.

26. Наведіть визначення «діелектричної проникності» як міри ємності пристрою з даною речовиною

Значення діелектричної проникності речовини, можна визначити як відношення ємності конденсатора з даною речовиною (діелектриком) до ємності конденсатора тих же розмірів, діелектриком якого є вакуум.

27. Поясніть, які речовини називаються «сегнетоелектриками»

Сегнетоелектрики - це тверді речовини, для яких характерна спонтанна (мимовільна) поляризація. Сегнетоелектрики володіють найбільшими значеннями діелектричної проникності - до 1000 і більше. Наприклад, сегнетова сіль ($\text{NaKC}_4\text{H}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), має значення $\epsilon_{r, \text{сегн. солі}} = 500-600$, титанат барію (BaTiO_3) - $\epsilon_{r, \text{титанат барію}} = 1500 \dots 2000$.

28. Поясніть, у скільки разів збільшиться ємність конденсатора при заміні повітря між його пластинами на який-небудь діелектрик

Діелектричну проникність повітря можна прийняти рівною одиниці. Тому відносне збільшення ємності відповідає значенню діелектричної проникності обраного діелектрика. Наприклад, діелектрична проникність полівінілхлориду знаходиться в межах 3 - 5. Таким чином, при заміні в конденсаторі повітря на полівінілхлорид ємність конденсатора збільшиться в 3 - 5 разів.

29. Поясніть, як розподіляються напруженості поля в двошаровому діелектрику.

Напруженості поля в діелектрику, що складається з двох шарів різних матеріалів, і вміщеному в рівномірне електричне поле, розподіляються обернено пропорційно діелектричним проникностям матеріалів:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} .$$

30. Дайте класифікацію матеріалів за магнітними властивостями

За магнітною будовою і значенням магнітної проникності матеріали поділяються на:

- діамагнетики $\mu < 1$ (матеріал «чинить опір» магнітному полю);
- парамагнетики $\mu > 1$ (матеріал слабо сприймає магнітне поле);
- феромагнетики $\mu \gg 1$ (магнітне поле в матеріалі посилюється);
- феримагнетики $\mu \gg 1$ (магнітне поле в матеріалі посилюється, але магнітна структура матеріалу відрізняється від структури феромагнетиків);

- антиферромагнетики $\mu > 1$ (матеріал слабо реагує на магнітне поле, але магнітна структура подібна феримагнетикам).

31. Поясніть, що розуміється під терміном «магнітний момент»

Магнітний момент - це основна векторна величина, що характеризує магнітні властивості речовини. У зв'язку з тим, що джерелом магнетизму є замкнений струм, то значення магнітного моменту \mathbf{M} визначається як добуток сили струму I на площу, що охоплюється контуром струму S : $\mathbf{M} = I \cdot \mathbf{S}$ ($A \cdot m^2$). Магнітні моменти мають електронні оболонки атомів і молекул. Електрони та інші елементарні частинки мають спіновий магнітний момент, який визначається існуванням власного механічного моменту - спіна.

32. Наведіть визначення поняття «намагніченість» речовини

Намагніченість (\mathbf{J}) - це сумарний магнітний момент одиниці об'єму речовини:

$$\mathbf{J} = \frac{\sum \mathbf{M}}{V}, \text{ A / m}$$

33. Наведіть визначення поняття "магнітна сприйнятливість»

Магнітна сприйнятливість речовини, χ_v - відношення намагніченості одиниці об'єму речовини до напруженості магнітного поля:

$$\chi_v = \frac{\mathbf{J}}{\mathbf{H}}$$

Магнітна сприйнятливість - величина безрозмірна.

Питома магнітна сприйнятливість, χ - відношення магнітної сприйнятливості до щільності речовини, тобто магнітна сприйнятливість одиниці маси, яка вимірюється в m^3/kg .

34. Наведіть визначення поняття "магнітна проникність»

Магнітна проникність - це фізична величина, що характеризує зміну магнітної індукції в речовині при впливі магнітного поля. Для ізотропних середовищ магнітна проникність дорівнює відношенню індукції в середовищі \mathbf{B} до напруженості зовнішнього магнітного поля \mathbf{H} і до магнітної постійної μ_0 :

$$\mu = \frac{\mathbf{B}}{\mu_0 \mathbf{H}}$$

Магнітна проникність - величина безрозмірна. Її значення для конкретного середовища на 1 більше магнітної сприйнятливості того ж середовища:

$$\mu = \chi_v + 1, \text{ так як } \mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{J}).$$

35. Поясніть природу діамагнетизму

Діамагнетизм - це властивість речовини намагнічуватися назустріч направлінню зовнішнього магнітного поля, що на нього діє (відповідно до закону електромагнітної індукції і правила Ленца). Діамагнетизм властивий всім речовинам, але в «чистому вигляді» він проявляється у діамагнетиків. Діамагнетик -

речовини, молекули яких не мають власних магнітних моментів (їх сумарний магнітний момент дорівнює нулю), тому інших властивостей, крім діамагнетизму в них немає. Приклади діамагнетиків:

- Водень, $\chi = -2 \times 10^{-9} \text{ м}^3/\text{кг}$;
- Вода, $\chi = -0,7 \times 10^{-9} \text{ м}^3/\text{кг}$;
- Алмаз, $\chi = -0,5 \times 10^{-9} \text{ м}^3/\text{кг}$;
- Графіт, $\chi = -3 \times 10^{-9} \text{ м}^3/\text{кг}$;
- Мідь, $\chi = -0,09 \times 10^{-9} \text{ м}^3/\text{кг}$;
- Срібло, $\chi = -0,18 \times 10^{-9} \text{ м}^3/\text{кг}$;
- Золото, $\chi = -0,14 \times 10^{-9} \text{ м}^3/\text{кг}$.

36. Поясніть природу парамагнетизму

Парамагнетизм - це властивість речовин, званих парамагнетиками, які при приміщенні в зовнішнє магнітне поле, набувають магнітний момент, що співпадає з напрямком цього поля. Атоми і молекули парамагнетиків на відміну від діамагнетиків мають власні магнітні моменти. При відсутності поля орієнтація цих моментів хаотична (через тепловий рух) і сумарний магнітний момент речовини дорівнює нулю. При накладенні зовнішнього поля відбувається часткова орієнтація магнітних моментів частинок у напрямку поля. Індукція в речовині посилюється. Приклади парамагнетиків:

- Кисень, $\chi = 108 \times 10^{-9} \text{ м}^3/\text{кг}$;
- Титан, $\chi = 3 \times 10^{-9} \text{ м}^3/\text{кг}$;
- Алюміній, $\chi = 0,6 \times 10^{-9} \text{ м}^3/\text{кг}$;
- Платина, $\chi = 0,97 \times 10^{-9} \text{ м}^3/\text{кг}$.

37. Поясніть природу феромагнетизму

Феромагнетизм - це магнітовпорядкований стан речовини, при якому всі магнітні моменти атомів в певному обсязі речовини (домену) паралельні, що обумовлює мимовільно намагніченість домену. Поява магнітного порядку пов'язана з обмінною взаємодією електронів, які мають електростатичну природу (закон Кулона). У відсутності зовнішнього магнітного поля орієнтація магнітних моментів різних доменів може бути довільною, і розглянутий обсяг речовини може мати в цілому слабку або нульову намагніченість. При додатку магнітного поля магнітні моменти доменів орієнтуються в напрямку поля тим більше, чим вище напруженість поля. При цьому змінюється значення магнітної проникності феромагнетика і посилюється індукція в речовині. Приклади феромагнетиків: залізо, нікель, кобальт і сплави цих металів між собою та іншими металами (Al, Au, Cr, Si та ін.) Магнітна проникність феромагнетиків змінюється в межах $\mu \approx 100 - 100000$.

38. Поясніть природу феррімагнетизма

Феррімагнетизм - це магнітовпорядкований стан речовини, в якому магнітні моменти атомів утворюють в певному обсязі речовини (домени) магнітні

підгратки атомів або іонів з сумарними магнітними моментами не рівними один одному і спрямованими антипаралельно. Феррімагнетизм можна розглядати як найбільш загальний випадок магнітовпорядкованого стану, а феромагнетизм як випадок з однієї підгратки. До складу феримагнетиків обов'язково входять атоми феромагнетиків. Магнітна проникність феримагнетиків має той же порядок, що й у феромагнетиків: $\mu \approx 100 - 100000$. Приклади феримагнетиків: Fe_3O_4 ; MgFe_2O_4 ; CuFe_2O_4 ; MnFe_2O_4 ; NiFe_2O_4 ; CoFe_2O_4 .

39. Поясніть природу антиферомагнетизму.

Антиферомагнетизм - це магнітовпорядкований стан речовини, що характеризується тим, що магнітні моменти сусідніх часток речовини орієнтовані антипаралельно, і у відсутності зовнішнього магнітного поля сумарна намагніченість речовини дорівнює нулю. Антиферомагнетик у відношенні магнітної будови можна розглядати як окремий випадок феримагнетика, в якому магнітні моменти підграток рівні за модулем і антипаралельні. Магнітна проникність антиферомагнетиків близька до 1. Приклади антиферомагнетиків: Cr_2O_3 ; марганець; FeSi ; Fe_2O_3 ; NiO .

40. Вкажіть значення магнітної проникності, яке мають матеріали в надпровідному стані

Надпровідники нижче температури переходу у надпровідний стан є ідеальними діамагнетиками: $\chi = -1$; $\mu = 1$.

41. Перерахуйте основні параметри, що характеризують діелектрик

Такими параметрами є:

- питомий об'ємний опір ρ_v ;
- питомий поверхневий опір ρ_s ;
- відносна діелектрична проникність ϵ_r ;
- тангенс кута діелектричних втрат $\text{tg}\delta$;
- електрична міцність $E_{\text{пр}}$.

42. Наведіть визначення поняття «питомий поверхневий опір»

Питомим поверхневим опором, ρ_s , називається електричний опір квадратної поверхні діелектрика в рівномірному електричному полі, направленому паралельно поверхні, перпендикулярно одній із сторін квадрата. Значення питомого поверхневого опору залежить від властивостей поверхні (гідрофобна, гідрофільна і т.д.), а також від характеру і ступеня її зволоження та забруднення. Розмірність питомого поверхневого опору Ом.

43. Наведіть визначення поняття «питомий об'ємний опір»

Питомим об'ємним опором, ρ_v , називається електричний опір куба діелектрика в рівномірному електричному полі, направленому перпендикулярно будь-якої грані куба. Значення питомого об'ємного опору залежить від температури, вологості діелектрика і величини прикладеної напруги. Розмірність пито-

мого поверхневого опору $\text{Om} * \text{м}$.

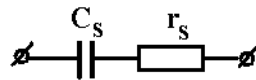
44. Наведіть визначення поняття «діелектричні втрати»

Діелектричні втрати - це потужність, що розсіюється в одиницю часу в діелектрику, який знаходиться в електричному полі і викликає нагрівання діелектрика.

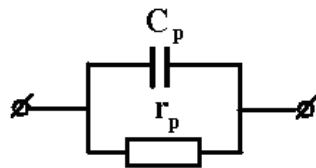
45. Наведіть схеми заміщення діелектрика

Схеми заміщення діелектрика обов'язково містять ємність та активний опір. Ємність відображає здатність діелектрика накопичувати заряди в постійному полі, а в змінному полі створює шлях для струму зміщення в діелектрику. Активний опір - це елемент схеми, виділення енергії в якому відображає діелектричні втрати. Для вивчення процесів, що протікають в діелектриках останні заміщуються еквівалентними схемами найбільш поширеними з яких є:

- послідовна схема заміщення діелектрика



- паралельна схема заміщення діелектрика

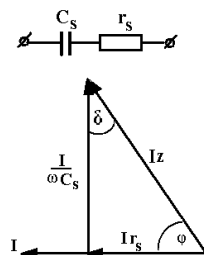


46. Поясніть, що називається «кутом діелектричних втрат»

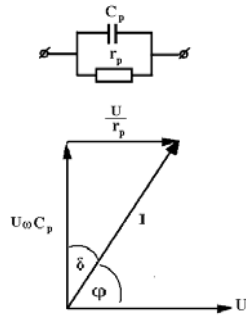
Кутом діелектричних втрат називається кут, який доповнює до 90° кут зсуву між струмом і напругою в діелектрику. Чим більше розсіюється потужність, тим менше кут фазового зсуву φ і тим більше кут діелектричних втрат. У разі ідеального діелектрика вектор струму випереджає вектор напруги на 90° і тому кут діелектричних втрат буде дорівнювати нулю.

47. Побудуйте векторні діаграми еквівалентних схем заміщення діелектрика

Векторна діаграма для послідовної схеми заміщення діелектрика має вигляд:



- для паралельної схеми заміщення



48. Наведіть формули для визначення діелектричних втрат при послідовній схемі заміщення діелектрика і при паралельній

При змінній напрузі втрати активної потужності визначаються за формулою: $P = UI \cos \varphi$. Перепишуючи цей вираз з використанням параметрів схем заміщення, отримаємо

- для послідовної схеми заміщення:

$$P = \frac{U^2}{Z^2} r_s = \frac{U^2 r_s}{x^2 + r_s} = \frac{r_s U^2}{x^2 \left(1 + \frac{r_s}{x^2}\right)} = \frac{U^2 \omega C \operatorname{tg} \delta}{1 + \operatorname{tg} \delta}$$

- для паралельної схеми заміщення:

$$P = U^2 \omega C \operatorname{tg} \delta$$

49. Наведіть формулу для визначення питомих діелектричних втрат

Питомі діелектричні втрати визначаються за формулою:

$$p = E^2 \omega \epsilon_0 \epsilon_r \operatorname{tg} \delta$$

Таким чином, діелектричні втрати в діелектрику прямо пропорційні:

- квадрату напруженості прикладеного електричного поля, E^2 ,
- відносної діелектричної проникності матеріалу, ϵ_r ,
- тангенсу кута діелектричних втрат в матеріалі, $\operatorname{tg} \delta$.

50. Поясніть, що називається «коефіцієнтом діелектричних втрат»

Коефіцієнтом діелектричних втрат називається параметр, який утворюється множенням відносної діелектричної проникності на тангенс кута діелектричних втрат ($\epsilon_r \operatorname{tg} \delta$).

51. Перелічіть види діелектричних втрат

Розрізняють такі види діелектричних втрат:

- втрати, обумовлені поляризацією;
- втрати, обумовлені електропровідністю;
- іонізаційні діелектричні втрати;
- втрати, обумовлені неоднорідністю структури.

52. Назвіть діапазон, в якому може змінюватися значення $\operatorname{tg} \delta$ для різних матеріалів і наведіть конкретні приклади

Приклади значення $\text{tg}\delta$ для різних матеріалів змінюється в межах 0,3 - 0,0005. Наприклад:

- електротехнічне скло $\text{tg}\delta = 0,0005 - 0,025$;
- трансформаторне масло $\text{tg}\delta = 0,01 - 0,25$;
- поліетилен $\text{tg}\delta = 0,00007 - 0,0002$.

53. Поясніть, що називається «пробоем діелектрика»

Пробоем діелектрика називається процес утворення струмопровідного каналу, який супроводжується стрибкоподібним збільшенням електропровідності матеріалу при впливі певної напруги.

54. Поясніть, що називається «електричної міцністю»

Електричною міцністю, $E_{\text{пр}}$ називається середня напруженість електричного поля, при якій відбувається електричний пробій. Напруга, при якому відбувається електричний пробій, називається «напругою пробою» або «пробивною напругою», $U_{\text{пр}}$.

$$E_{\text{пр}} = \frac{U_{\text{пр}}}{h} ,$$

де h - товщина діелектрика (проміжок між електродами, розрядний проміжок). Пробивна напруга залежить від розміру розрядного проміжку. При збільшенні проміжку пробивна напруга зростає, а електрична міцність знижується.

55. Поясніть, як розвивається електричний пробій в газах

Електричний пробій газового проміжку складається з послідовно протікаючих наступних стадій:

1. Поява вільного електрона в газовому проміжку (випадкового, з металевго електрода, в результаті фотоіонізації молекули газу тощо).
2. Збільшення швидкості вільного електрона електричним полем до енергії, достатньої для того, щоб при зіткненні з нейтральним атомом іонізувати останній (ударна іонізація).
3. Розвиток електронної лавини, як наслідок множинних актів ударної іонізації.
4. Зростання стримера – провідникового плазмового каналу, що формується з позитивних іонів, які залишилися після проходження лавини, і негативних зарядів, що втягуються в позитивну плазму.
5. Перетворення стримера в лідер за рахунок термоіонізації, спричиненою проходженням ємнісного струму по стримеру.
6. Виникнення головного розряду, що відбувається при замиканні каналом розряду розрядного проміжку.

При малих проміжках процес пробою може завершитися на стадіях 3 (лавинний пробій) або 4 (виникнення стримера, іскри).

56. Перелічіть види пробойів різних діелектриків

Розрізняють такі види пробою: чисто електричний, електротепловий, електромеханічний, електрохімічний, іонізаційний.

Чисто електричний пробій є безпосереднє руйнування структури діелектрика силами електричного поля, які впливають на електрично заряджені частинки в діелектрику. Цей вид пробою розвивається практично миттєво. Якщо відразу після прикладення напруги не стався електричний пробій, то теоретично цю напругу діелектрик повинен витримувати тривалий час. Це положення не відноситься до пробою діелектрика короткочасними імпульсами.

Електротепловий пробій пов'язаний з нагріванням діелектрика в електричному полі в результаті діелектричних втрат. Процес нагрівання діелектрика протікає постійно посилюючись. Це призводить до істотної зміни структури діелектрика (розплавлення, обвуглювання, розтріскування) і зменшення його електричної міцності. При цьому достатньо, щоб розігрілося якесь місце діелектрика, в якому тепловіддача гірше або підвищені питомі втрати, а середня температура всього діелектрика може практично не відрізнятись від початкової. При хорошому тепловідводі може наступити рівновага між теплом, яке виділяється в діелектрику і його відведенням в навколишнє середовище. У цьому випадку діелектрик може тривалий час працювати під напругою. Якщо відвід тепла утруднений, то навіть незначна напруга, прикладена до діелектрика, через деякий час може викликати пробій.

Електромеханічний пробій виникає в результаті механічного руйнування діелектрика (виникнення макроскопічних тріщин) силами електричного поля. У ряді випадків механічні руйнування в діелектриках виникають в результаті тиску електродів.

Електрохімічний пробій - вид пробою, який повільно розвивається та пов'язаний з хімічною зміною матеріалу в електричному полі. Цей вид пробою спостерігається як при постійному, так і при змінній напрузі внаслідок розвитку в матеріалах електролітичних процесів.

Іонізаційний пробій пояснюється дією на діелектрик хімічно агресивних речовин, що утворюються в газових порах діелектрика при часткових розрядах, а також ерозією діелектрика на кордоні пір іонами газу.

57. Поясніть, як змінюється відповідно до закону Пашена напруга пробою газового проміжку в однорідному електричному полі

Відповідно до закону Пашена в однорідному електричному полі при незмінній температурі напруга пробою є функцією добутку тиску газу, що наповнює і відстані між електродами $U_{пр} = f(ph)$. Ця залежність наведена на рис 1.

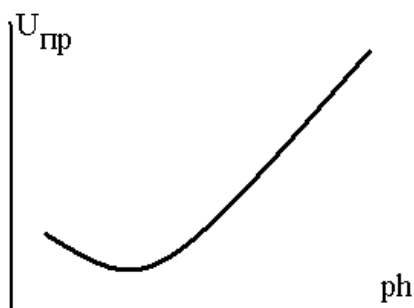


Рис. 1 – Залежність $U_{пр\ max} = f(ph)$.

Мінімальне значення пробивних напруг для різних газів становить 280 - 420В. Для повітря - близько 300 В.

При підвищенні тиску понад 100кПа відстань між молекулами зменшується, в результаті чого зменшується довжина вільного пробігу електронів і відповідно збільшується електрична міцність. Падіння напруги спостерігається при зменшенні тиску нижче атмосферного до певної величини. Подальше зменшення тиску призводить до зростання електричної міцності у зв'язку зі зменшенням вірогідності зіткнення електронів з молекулами газу.

58. Наведіть чисельні значення величини електричної міцності різних газів

Електрична міцність повітря в проміжку 1 см при нормальній температурі і тиску становить 3 кВ / мм. При тиску 0,3 МПа електрична міцність повітря може досягати 10 кВ / мм. Електрична міцність елегазу (SF₆) при нормальній температурі і тиску становить 8,7 кВ / мм. При тиску 0,3 МПа електрична міцність елегазу може досягати 20 кВ / мм.

59. Поясніть, що називається «коефіцієнтом імпульсу»

Коефіцієнтом імпульсу називається відношення напруги пробою при імпульсній напрузі до напруги пробою при постійній напрузі або змінній напрузі з частотою 50 Гц.

$$\beta = \frac{U_{\text{примп}}}{U_{\text{пр}}}$$

Регламентуються дві форми випробувальних імпульсів:

- 1) грозовий імпульс з тривалістю переднього фронту 1,2 мкс і тривалістю імпульсу 50 мкс;
- 2) комутаційний імпульс з тривалістю переднього фронту імпульсу 250 мкс і тривалістю імпульсу 2500 мкс.

Грозовий імпульс умовно позначають символом 1,2 / 50, а комутаційний - 250/2500.

60. Поясніть, як розвивається електричний пробій в рідких діелектриках

Електрична міцність рідкого діелектрика не пов'язана безпосередньо з хімічною будовою рідин. Через близьке розташування молекул в рідкому діелектрику не спостерігається ударна іонізація. На значення електричної міцності впливає в першу чергу кількість газу в рідині і стан поверхні електродів. Електричний пробій рідкого діелектрика починається, як правило, з пробою мікроскопічних газових бульбашок. Через низьку діелектричну проникність газу напруженість в бульбашці вище, ніж у рідині, а електрична міцність газу - нижче. Часткові розряди в бульбашках призводять до зростання останніх, що в результаті призводить до пробою рідкого діелектрика.

61. Перерахуйте способи підвищення електричної міцності рідкого діелектрика

Для підвищення електричної міцності рідкого діелектрика на практиці застосовуються такі способи:

- очищення від твердих мікрочастинок (сажа, вугілля тощо);
- сушка рідини (видалення води);
- дегазація рідини (вакуумування);
- підвищення тиску.

62. Поясніть, як розвивається електричний пробій в твердих діелектриках

Електричний пробій за своєю природою є електронним процесом, коли з небагатьох початкових електронів в твердому тілі створюється електронна лавина. Він обумовлений ударною іонізацією чи розривом зв'язків між частками діелектрика під дією електричного поля. У рівномірному електричному полі вільні електрони, появі яких сприяє автоелектронна емісія, прискорюються і, стикаючись з вузлами кристалічної решітки, віддають їм накопичену енергію. Електрони, що досягли критичної швидкості, чинять відщеплення нових електронів і стаціонарний стан порушується внаслідок виникнення ударної іонізації. У процесі ударної іонізації при взаємодії носіїв зарядів з електронами відбувається порушення хімічних зв'язків і перехід твердої речовини в стан частково іонізованої газової плазми, яка поширюється в напрямку потоку носіїв заряду. Потенціал заряду виноситься в головну частину каналу. Процес далі йде до тих пір, поки канал не перетне весь розрядний проміжок.

63. Поясніть, як розвивається тепловий пробій в твердих діелектриках

Даний вид пробою виникає в тому випадку, коли кількість теплової енергії, що виділяється в діелектрику внаслідок діелектричних втрат, стійко перевищить ту кількість енергії, яку діелектрик здатний передати в навколишнє середовище. Необмежене зростання температури закінчується тепловим руйнуванням діелектрика. Таким чином, тепловим пробоем називається пробій, обумовлений порушенням теплової рівноваги діелектрика внаслідок діелектричних втрат.

Пробій, як правило, відбувається в тому місці діелектрика, де умови тепловідведення найгірші, тому величина $U_{пр}$ залежить від властивостей того середовища, в якому знаходиться діелектрик. Зі зростанням температури навколишнього середовища пробивна напруга експоненціально зменшується, що пов'язано з кількості енергії, що виділяється в діелектрику в результаті діелектричних втрат і зменшенням кількості енергії, яку діелектрик здатний відводити в навколишнє середовище.

При пробії товстих зразків тепловідвід від внутрішніх областей утруднений, тому вони перегріті більше, і в результаті цього в міру збільшення товщини зразків $E_{пр}$ зменшується.

Зменшення $E_{пр}$ спостерігається також при тривалій витримці зразка під напругою, так як діелектрик за цей час нагрівається більше за рахунок діелектричних втрат.

64. Поясніть, що називається «частковим розрядом»

Частковим розрядом (ЧР) називають розряд, що проходить у будь-якій обмеженій області ізоляційного проміжку, і не замикає весь проміжок між електродами. Одним із прикладів часткового розряду є коронний розряд в газах в нерівномірному електричному полі, коли стримером пробивається лише область поблизу електрода з напруженістю поля вище електричної міцності газу, наприклад, у проводу високовольтної лінії електропередачі. У твердих тілах ЧР - це локальний багатоланний розряд, який виникає в газових порах діелектрика.

65. Вкажіть умови виникнення часткових розрядів в твердих діелектриках

Для виникнення часткового розряду в твердому діелектрику необхідні дві умови:

- наявність повітряного включення, напруженість поля в якому завжди вище, ніж у самому діелектрику;
- напруга, яка прикладена до діелектрика, повинна бути достатньою для того, щоб напруженість поля в повітряному включенні перевищила електричну міцність повітря. При змінному полі, прикладеному до діелектрика, часткові розряди виникають кожний напівперіод при досягненні напругою пробивного значення. Тривалі періодичні ЧР хімічно руйнують діелектрик, збільшують діелектричні втрати, що і призводить до пробою діелектрика.

66. Наведіть чисельні значення електричної міцності для кількох твердих діелектриків

Електрична міцність твердих діелектриків змінюється в широкому діапазоні, наприклад:

- поліетилен ≈ 30 кВ / мм;
- полівінілхлорид ≈ 40 кВ / мм;
- ізоляційне скло ≈ 70 кВ / мм.

67. Опишіть методику визначення вологопоглинання зразка матеріалу

Попадання води в пори твердого діелектрика призводить до різкого зниження їх електричних властивостей. Розмір молекул води становить $\approx 2,5 \cdot 10^{-10}$ м, що дозволяє їм проникати навіть у внутрішні пори електроізоляційних матеріалів.

Зразок досліджуваного матеріалу поміщають у вологе середовище. Після витримки протягом певного часу в даному середовищі визначають його масу і порівнюють її з масою зразка, яку він мав до випробування. Вологопоглинання зразка матеріалу визначають за формулою, $\omega_a = 100(m_t - m) / m$, де m - початкова маса зразка, m_t - маса зразка після його витримки протягом t часу у вологому середовищі.

68. Назвіть параметри, які змінюються при зволоженні діелектрика

У тому випадку, якщо поглинена волога здатна утворювати всередині ізо-

ляції нитки або плівки, які можуть пронизувати весь проміжок між електродами, вже мала кількість вологи призводить до різкої зміни електричних властивостей ізоляції. Якщо волога розподіляється за обсягом матеріалу у вигляді окремих, не з'єднаних між собою малих включень, то вплив вологи на електричні властивості матеріалу менш істотно. Аналогічно для незмочувальних матеріалів зменшення питомого поверхневого опору при витримці у вологому середовищі незначне, оскільки волога, навіть в разі утворення окремих крапель, не створює суцільну плівку.

При змінній напрузі найбільш чутливим до зволоження параметром діелектриків є $\text{tg}\delta$, який помітно зростає при зволоженні. Менш чутлива величина ϵ , однак у зв'язку з великим значенням діелектричної проникності води ($\epsilon \approx 80$), при зволоженні матеріалу його ϵ , як правило, зростає.

Крім зазначених параметрів, при зволоженні зразка зменшується його питомий об'ємний опір, а також електрична міцність.

69. Поясніть, що розуміється під «вологопроникністю»

Вологопроникність - це здатність електроізоляційних матеріалів пропускати крізь себе пари води. Даний параметр застосовується для оцінки якості матеріалів, які застосовуються для захисних покривів (оболонки кабелів, компанідні заливки, лакові покриття і т.д.)

Кількість вологи m , що проходить за час t через ділянку поверхні шару S ізоляційного матеріалу товщиною h під дією різниці тисків водяної пари p_1 і p_2 з двох сторін шару, визначається за формулою:

$$m = \Pi \frac{(p_1 - p_2) S t}{h}$$

Коефіцієнт Π є вологопроникність даного матеріалу.

Вологопроникність ізоляційних матеріалів змінюється в широких межах. Так, наприклад, для парафіну значення Π дорівнює 0,0007; для полістиролу - 0,03; для триацетату целюлози - близько 1 мкг / (см · ч · м.рт.ст.). Зменшити гігроскопічність і вологопроникність ізоляційних матеріалів можна в результаті їхнього просочення. Проте, враховуючи, що молекули рідини, що просочується значно більше молекул води, просочення не дозволяє повністю закрити доступ вологи в пори матеріалу.

70. Сформулюйте закон Пуазейля

Відповідно до закону Пуазейля, об'єм рідини V з динамічною в'язкістю η , що протікає за час τ під дією тиску p крізь капіляр довжиною l і радіусом r дорівнює

$$V = \frac{1}{8} \frac{\pi p r^4 \tau}{\eta l}$$

71. Сформулюйте закон Стокса

Швидкість руху твердої кульки радіусом r в неорганічному середовищі з динамічною в'язкістю η під впливом безперервного зусилля, що впливає F

постійна і має величину, рівну

$$v = \frac{1}{\eta} \frac{F}{6\pi r}$$

72. Перерахуйте параметри, за допомогою яких можна оцінити теплові властивості діелектриків

Дані властивості характеризуються такими параметрами: нагрівостійкістю, морозостійкістю, теплопровідністю і тепловим розширенням.

Нагрівостійкістю називається здатність електроізоляційних матеріалів без шкоди для них як короткочасно, так і довго витримувати вплив високої температури, а також різкі зміни температури.

Морозостійкість - це здатність ізоляції працювати без погіршення експлуатаційної надійності при низьких температурах. Електричні властивості ізоляції при низьких температурах, як правило, поліпшуються, проте, багато матеріалів при зниженні температури стають крихкими і жорсткими, що ускладнює їх використання.

Теплопровідність матеріалів характеризують питомою теплопровідністю γ_T , яка може бути визначена відповідно до рівняння Фур'є

$$\Delta P_T = \gamma_T \frac{dT}{dl} \Delta S,$$

де ΔP_T - потужність теплового потоку через площу ΔS , нормально розташовану до потоку енергії; $\frac{dT}{dl}$ - градієнт температури.

Електроізоляційні матеріали мають значно меншу питому теплопровідність, ніж метали. Найменше значення γ_T мають пористі електроізоляційні матеріали з повітряними включеннями. При просочуванні, а також при ущільненні матеріалів зовнішнім тиском γ_T збільшується. Як правило, кристалічні діелектрики мають більш високе значення γ_T , ніж аморфні.

Теплове розширення діелектриків оцінюють температурним коефіцієнтом лінійного розширення:

$$TKI = \frac{1}{l} \frac{dl}{dt}$$

Матеріали, що володіють малим значенням коефіцієнта лінійного розширення, як правило, мають високу нагрівостійкість. Органічні діелектрики володіють великими значеннями температурного коефіцієнта лінійного розширення, ніж неорганічні. Визначити значення TKI можна за методом аналогічного для визначення $TK\epsilon$.

73. Вкажіть способи визначення нагрівостійкості електроізоляційних матеріалів

Нагрівостійкість неорганічних матеріалів визначають за зміною їх електричних властивостей ($tg\delta, \rho$). Величину нагрівостійкості оцінюють відповідними значеннями температури, при якій сталися ці зміни.

Нагревостійкість органічних діелектриків можна визначати на початку механічних деформацій і за зміною електричних характеристик.

74. Перерахуйте класи нагревостійкості електроізоляційних матеріалів

Матеріали, що використовують для ізоляції електричних машин, трансформаторів і апаратів по нагревостійкості, поділяються на класи. Для кожного класу встановлюється певна максимальна температура, при якій матеріал може довго працювати без погіршення своїх властивостей (табл. 1).

Таблиця 1- Класи нагревостійкості матеріалів

Позначення класу	Y	A	E	B	F	H	C		
Температура, що характеризує клас (°C)	90	105	120	130	155	180	>180	220	250

75. Поясніть, що розуміється під «твердістю» матеріалу

Твердість - це здатність поверхневого шару матеріалу протистояти деформації від стискаючого зусилля, що передається за допомогою предметів малих розмірів. Даний параметр можна визначити різними методами: для неорганічних діелектриків - за мінералогічною шкалою, для органічних - за способом Бринелля або за допомогою маятника Кузнецова.

В основі мінералогічної або умовної десяткової шкали твердості лежить ряд природних матеріалів, розташований за їх зростаючою твердістю. Твердість тальку прийнята за одиницю.

1. Тальк	1	6. Ортоглаз	900
2. Гіпс	1,4	7. Кварц	1500
3. Кальцит	10	8. Топаз	5500
4. Флюорит	27	9. Корунд	360000
5. Апатит	44	10. Алмаз	5000000

Твердість речовини визначають за опором нанесення на її поверхні подряпин. Наприклад, корундом можна нанести подряпини на поверхні зразків мінералів 1 - 8. Слід зазначити, що наведені цифри приблизно характеризують справжні співвідношення твердості окремих мінералів.

Спосіб Бринелля полягає в тому, що загартовану кульку діаметра D вдавлюється в зразок з певним зусиллям P. Після зняття навантаження, вимірюється глибина h відбитка кульки на поверхні матеріалу або діаметр d лунки. Твердість по Брінеллю визначається за формулою:

$$T_B = \frac{P}{\pi Dh}$$

76. Поясніть, які матеріали відносяться до напівпровідникових і укажіть основні їх особливості

До напівпровідникових матеріалів відносяться речовини, які за своєю питомою провідністю займають проміжне місце між діелектриками і провідника-

ми. Питомий електричний опір напівпровідників знаходиться в межах від 10^{-6} до 10^{+7} Ом * м.

Особливістю більшості простих і складних напівпровідників є наявність забороненої зони енергії, «ширина» якої становить від 0,3 до 3 еВ. Крім того, у багатьох напівпровідникових матеріалів вольтамперна характеристика нелінійна. До напівпровідникових матеріалів, що знайшли застосування в електроенергетиці та силовій електротехніці, відносяться:

- кремній (силові випрямлячі на кремнієвих діодах);
- оксидно-цинкова кераміка (нелінійні обмежувачі перенапруг);
- вліт (вентильні розрядники);
- бетел (шунтуючі резистори високовольтних вимикачів);
- еком (резистори, низькотемпературні нагрівачі).

77. Поясніть, що таке варистор

Варистором називають резистор з різко нелінійною вольтамперною характеристикою (рис. 2):

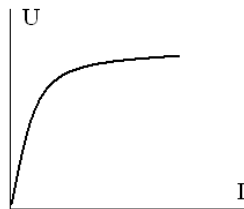


Рис.2 – Вольтамперна характеристика варистора

78. Поясніть, що таке «статичний опір нелінійного резистора»

Статичним опором нелінійного резистора, $R_{ст}$ в заданій точці вольтамперної характеристики називається відношення напруги на резисторі, U до струму, I , що протікає через нього:

$$R_{ст} = \frac{U}{i}$$

79. Поясніть, що таке «динамічний опір нелінійного резистора»

Динамічним опором нелінійного резистора $R_{дин}$ називають похідну напруги по струму в заданій точці вольтамперної характеристики:

$$R_{дин} = \frac{\partial U}{\partial I}$$

80. Поясніть, що таке «коефіцієнт нелінійності»

Коефіцієнтом нелінійності називають відношення статичного опору до динамічного:

$$\beta = \frac{R_{ст}}{R_{дин}}$$

81. Поясніть, що таке «вліт» і область його застосування

Вліт - це композиційний матеріал, провідниковим наповнювачем якого

служить карбід кремнію (SiC, чорний карборунд), а зв'язуючою речовиною - рідке скло (75% SiO₂ + 24% Na₂O + вода) з емульгованих в ньому крейдою (CaCO₃). Чорний карборунд застосовується у вигляді дрібнодисперсного (10⁻² - 10⁻¹ мм) порошку з питомим опором менше 0,01 Ом *м. Зерна карборунда покриті зовні тонкою плівкою окису кремнію, питомий опір якої 10⁴-10⁶ Ом *м. Співвідношення компонентів в віліте наступне : 84% - карборунд, 16% - зв'язка.

Із вказаної маси пресують циліндричні вироби і обпалюють при температурі 380 °С. Вілітові диски використовують у вентилях розрядниках - апаратах для захисту від перенапруг. Коефіцієнт нелінійності варистора з віліта лежить в межах 4,5 ... 5,6. Вольтамперна характеристика віліта представлена на рис. 3

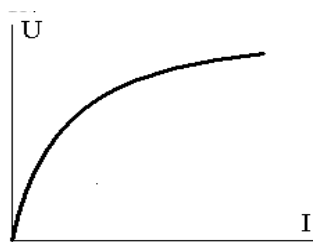


Рис.3 – Вольтамперна характеристика віліту

Завдяки такій вольтамперній характеристиці струм в іскрових проміжках розрядника різко знижується при відновленні в мережі нормального напруження і гасне при проходженні через нуль.

82. Розкажіть про застосування в енергетиці оксидно-цинкової кераміки

Оксидно-цинкову кераміку застосовують в так званих нелінійних обмежувачах перенапруг без іскрових проміжків (ОПН). Ці пристрої дозволяють зменшити кратність перенапружень до 2 - 2,5.

У складі цієї кераміки більше 96% ZnO. Вольтамперна характеристика оксидно-цинкової кераміки має коефіцієнт нелінійності $\beta = 15 - 50$, значення якого зменшується зі зростанням струму. Вольтамперна характеристика ZnO надана на рис.4.

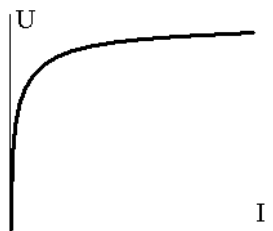


Рис.4 – Вольтамперна характеристика оксидно-цинкової кераміки

83. Поясніть який матеріал називається «бетелом» і де він застосовується в електроенергетиці

Бетел (бетон електропровідний) – це композиційний слабкопровідниковий матеріал з лінійною вольтамперною характеристикою. Провідниковим наповнювачем бетела є дрібнодисперсний полікристалічний графіт з добавкою

декількох відсотків сажі. Зв'язкою бетела служить цементний камінь. Бетел, як правило, містить інертний наповнювач - пісок. Діапазон значень питомого опору бетела: $0,01 - 10 \text{ Ом} \times \text{м}$. Бетел застосовують для виготовлення потужних резисторів з короткочасним режимом роботи, наприклад, для шунтування контактів високовольтного вимикача. Недоліком бетела є швидке старіння, в результаті якого зростає його опір.

84. Поясніть який матеріал називається «Еком» і де він застосовується в електроенергетиці

Еком (електропровідна композиція) – це композиційний слабкопровідниковий лінійний матеріал. Провідниковим наповнювачем «Екома» є дрібнодисперсний силіцирований графіт (графіт з невеликим вмістом карборунда). Зв'язкою «Екома» є фосфат заліза, який одержується при виготовленні матеріалу в результаті реакції окису заліза з ортофосфорною кислотою. До складу «Екома» також входить порошок корунду (Al_2O_3), який служить додатковим поглиначем і розподільником тепла, що виділяється в «Екомі» при протіканні струму. «Еком» можна отримати з питомим опором від 10^{-3} до $10^6 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. В електроенергетиці «Еком» використовується в низькотемпературних нагрівачах і потужних резисторах, призначених для тривалого протікання струму.

85. Перерахуйте основні параметри, що характеризують магнітні матеріали

До магнітних матеріалів відносяться матеріали з упорядкованою магнітною структурою і великим значенням магнітної сприйнятливості: феромагнетики і феримагнетики. Комплекс магнітних властивостей магнітного матеріалу описується кривими намагнічування-розмагнічування - петлями гістерезису. Найбільш інформативною є гранична петля гістерезису, коли індукція в матеріалі досягає максимально можливого значення для взятого зразка. Використовуючи граничну петлю гістерезису, можна визначити наступні параметри магнітного матеріалу:

- початкову магнітну проникність $\mu_{\text{нач}}$, (при напруженості магнітного поля на початковій кривій намагнічування близькою до нуля);
- максимальну магнітну проникність $\mu_{\text{макс}}$, (в точці кривої намагнічування з максимальним значенням похідної);
- індукцію насичення $\mathbf{B}_{\text{нас}}$, (індукція повного намагнічування зразка);
- залишкову індукцію, $\mathbf{B}_{\text{ост}}$ (індукція на кривій розмагнічування при напруженості магнітного поля, рівної нулю);
- коерцитивну силу, \mathbf{H}_c (напруженість магнітного поля на кривій розмагнічування при індукції у зразку рівною нулю);
- магнітні втрати на гістерезис - втрати енергії на перемагнічування, пропорційні площі, охопленої петлею гістерезисом.

Петля гістерезису надана на рис.5:

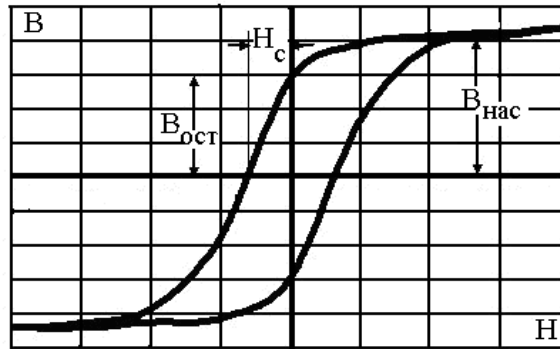


Рис. 5 – Гранична петля гістерезису

86. Наведіть формулу для визначення статичної магнітної проникності і розкажіть методику визначення даного параметра з основної кривої намагнічування

Статичну магнітну проникність визначають за формулою: $\mu = \frac{B}{\mu_0 H}$.

Вона пропорційна тангенсу кута нахилу січної, проведеної з початку координат через відповідну точку на основній кривій намагнічування.

87. Наведіть формулу для визначення динамічної магнітної проникності

Диференціальну магнітну проникність визначають за формулою:

$$\mu_{\text{диф}} = \frac{1}{\mu_0} \frac{dB}{dH}$$

Даний параметр характеризує крутизну окремих ділянок кривої намагнічування і гілок петлі гістерезису. В одному і тому ж зразку максимальне значення диференціальної магнітної проникності завжди перевищує максимальне значення статичної магнітної проникності.

88. Нарисуйте графік залежності магнітної проникності від напруженості магнітного поля і поясніть його

Графік залежності $\mu = f(H)$ наведено на рис.6



Рис. 6 – Графік залежності магнітної проникності від напруженості магнітного поля

Висхідна ділянка цієї кривої обумовлена сильними змінами намагніченості при невеликій зміні H за рахунок необоротних процесів технічного намагні-

чування ферромагнетика. Подальше зменшення в області більш сильних магнітних полів пояснюється технічним насиченням намагніченості.

89. Назвіть параметр, за допомогою якого можна оцінити поведінку ферромагнетика при одночасному впливі на нього сильного постійного і змінного слабкого магнітних полів

Відношення приросту індукції $\Delta B \sim$ до приросту напруженості поля $\Delta H \sim$ при фіксованому підмагнічувальному полі H_{\sim} називають обертальною або реверсивною магнітною проникністю

$$\mu_p = \frac{1}{\mu_0} \frac{\Delta B_{\sim}}{\Delta H_{\sim}} \bigg|_{\substack{H_{\sim} \\ H_{\sim} \rightarrow 0}}$$

Реверсивна магнітна проникність зменшується зі збільшенням напруженості постійного зміщуючого поля H_{\sim} , за винятком області дуже слабких полів.

90. Наведіть визначення поняття «коерцитивна сила»

Коерцитивною силою називається напруженість розмагнічувального поля ($-H_c$), при якій індукція у ферромагнетику, попередньо намагніченого до насичення, звертається в нуль.

91. Наведіть визначення поняття «залишкова індукція»

Значення індукції, що зберігається в магнітному матеріалі при напруженості зовнішнього магнітного поля, рівної нулю, отримане в процесі розмагнічування зразка, попередньо намагніченого до насичення, називається залишковою індукцією (B_r).

92. Наведіть еквівалентну схему і векторну діаграму індуктивної котушки з магнітним осердям

Індуктивну котушку з осердям із магнітного матеріалу, як правило, подають у вигляді послідовного ланцюжка з індуктивності L і активного опору r , еквівалентного всіма видами втрат на перемагнічування. Власною ємністю і опором індуктивної котушки нехтують. Еквівалентна схема і векторна діаграма індуктивної котушки з магнітним осердям представлена на рис 7.

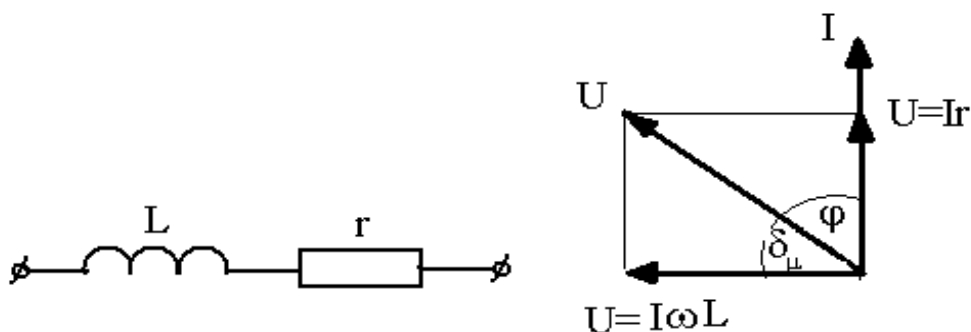


Рис. 7 – Еквівалентна схема і векторна діаграма індуктивної котушки з магнітним осердям.

93. Наведіть формулу для визначення активної потужності індуктивної котушки з магнітним осердям

Активну потужність розраховують за формулою:

$$P = I^2 \omega L \operatorname{tg} \delta_{\mu} ,$$

де $\operatorname{tg} \delta_{\mu}$ - тангенс кута магнітних втрат. $\operatorname{tg} \delta_{\mu} = r / \omega L$.

94. Поясніть, що називається «добротністю індуктивної котушки з магнітним осердям»

Добротністю індуктивної котушки з магнітним осердям називається величина зворотна $\operatorname{tg} \delta_{\mu}$

$$Q = \omega L / r .$$

95. Назвіть параметр, за допомогою якого розрізняють магнітом'які і магніотверді матеріали

Магнітом'які і магніотверді матеріали розрізняють за значенням коерцитивної сили. Умовна межа - 4000 А / м. У магнітом'яких матеріалів коерцитивна сила, як правило, нижче 40 А / м. Ці матеріали використовують, наприклад, для магнітопроводів електричних машин змінного струму. Малі значення коерцитивної сили в цих матеріалах обумовлює малі втрати на перемагнічування.

Магніотверді матеріали мають коерцитивну силу більше 4000 А / м. Вони мають також велику залишкову індукцію і використовуються як матеріали для постійних магнітів.

Магнітом'які матеріали мають малу площу петлі гістерезису, а магніотверді - велику.

96. Назвіть види магнітних втрат

Існують наступні види магнітних втрат:

- втрати на перемагнічування (на гістерезис) - втрати енергії, що супроводжуються нагріванням магнітного матеріалу і пов'язані з перебудовою доменів в змінному магнітному полі. Питома потужність втрат, які витрачаються на гістерезис, пропорційна максимальному значенню індукції B_{\max} виникає в матеріалі при перемагнічуванні в ступені 1,6 ... 2,0 і частоті, f :

$$P_{\text{гіст}} \sim B^{(1,6-2)} f$$

- втрати на вихрові струми - втрати енергії, що нагрівають магнітний матеріал і зумовлені індуктивними в ньому змінним магнітним полем вихровими струмами. При збільшенні електропровідності матеріалу збільшуються дані втрати. Питома потужність втрат, які витрачаються на вихрові струми, пропорційна квадрату максимального значення індукції B_{\max} , яка виникає у матеріалі при перемагнічуванні і квадрату частоти, f :

$$P_{\text{вихр}} \sim B^2 f^2$$

- втрати на магнітну післядію, які обумовлені відставанням магнітної індукції від зміни напруженості магнітного поля. Однією з основних причин магнітної післядії є теплова енергія, яка допомагає слабо закріпленим домен-

ним кордонам долати енергетичні перешкоди, що заважають їх вільному зміщення при зміні поля. Цявище називають «магнітною в'язкістю».

97. Поясніть, що таке «електротехнічна сталь»

Електротехнічна сталь - це магнітом'який матеріал, що представляє собою сплав заліза з кремнієм (0,3 - 4,8%), вуглецем (0,035 - 0,040%) і марганцем (<0,3%). Електротехнічні сталі бувають сортовими (кована, калібрована) і тонколистовими (гарячекатана і холоднокатана). З електротехнічної сталі виконуються магнітопроводи всіх видів для приладів, апаратів і електричних машин постійного і змінного (промислової частоти) струму. В електричних машинах змінного струму для зниження втрат на вихрові струми магнітопровід виконується з ізольованих один від одного тонких листів електротехнічної сталі. Початкова магнітна проникність електротехнічної сталі лежить в межах 200 - 300, максимальна магнітна проникність може досягати десятка тисяч; індукція насичення не перевищує 2 Тл.

98. Поясніть, що таке «ферит»

Ферит - це керамічний магнітний матеріал, кристалічна решітка якого складається з оксиду заліза (Fe_2O_3) і оксидів інших (одного-трьох), як правило, двовалентних металів. Початкова магнітна проникність феритів лежить в межах від 10 до кількох тисяч, максимальна магнітна проникність може досягати десятка тисяч; індукція насичення не перевищує 1 Тл.

99. Наведіть класифікацію провідникових матеріалів за величиною питомої провідності

Класифікацію провідникових матеріалів за їх питомої провідності можна подати в наступному вигляді:

1. Надпровідники;
2. Кріопровідники;
3. Метали;
4. Сплави металів;
5. Електроліти;
6. Напівпровідники.

100. Перелічіть, на які групи за призначенням можна розділити провідникові матеріали

Провідникові матеріали можна розділити на такі групи:

- матеріали для проводів (мідь, алюміній, сталь);
- матеріали для електричних контактів (мідь, срібло, золото, контактні композиції);
- матеріали для термопар (платина, платино-родієвий сплав, хромель, алюмель, копель і т.д.);
- матеріали з високим опором для нагрівачів, резисторів (ніхром, вольфрам, кремнієві сплави, манганін, константан, вуглеграфітових матеріалів і т.д.).

101. Поясніть відмінність між провідниками першого і другого роду

Різниця між провідниками полягає не тільки в значеннях їх питомої провідності, а й у механізмі електропровідності. Для багатьох матеріалів характерна електронна електропровідність. Такі матеріали називаються провідниками першого роду. В електролітах і деяких інших провідниках проявляється іонна електропровідність. Вони називаються провідниками другого роду. Молекулярна (електрофоретична) електропровідність також характерна для провідників другого роду.

102. Назвіть матеріали, які можуть використовуватися в якості рідких провідників

До рідких провідників відносяться розплавлені метали і різні електроліти. При нормальній температурі в якості рідкого провідника може використовуватися тільки ртуть, яка має температуру плавлення мінус 39°C, або галій (-29.8°C). Інші метали можуть бути рідкими провідниками тільки при підвищених або високих температурах.

103. Поясніть, що називається «рухливістю носія заряду»

Рухливістю носіїв заряду, називається величина, чисельно рівна середній швидкості руху зарядів у речовині v , [м / с], при напруженості поля $E = 1$ В / м.

$$u = \frac{v}{E}, [m^2/Vc].$$

Очевидно, що для зв'язаних зарядів $u = 0$, а для вільних зарядів u відмінно від нуля, причому для позитивних зарядів u позитивно, а для негативних - негативно.

104. Наведіть формулу для визначення питомої провідності провідникових матеріалів

Загальна формула для питомої провідності в найпростішому вигляді має вигляд

$$\gamma = n * q * u .$$

За цією формулою впливає, що незалежно від знаку носіїв заряду, провідність завжди позитивна. Якщо в речовині присутній одночасно m носіїв зарядів різного виду, то незалежно від їх знаку внески різних видів носіїв в питому провідність речовини підсумовуються арифметично:

$$\gamma = \sum_{i=1}^m n_i q_i u_i .$$

Дана формула справедлива для ізотропних речовин. Якщо речовина анізотропна, то формула прийме вигляд:

$$J_x = \gamma_{xx} E_x + \gamma_{xy} E_y + \gamma_{xz} E_z$$

$$J_y = \gamma_{yx} E_x + \gamma_{yy} E_y + \gamma_{yz} E_z$$

$$J_{zy} = \gamma_{zx} E_x + \gamma_{zy} E_y + \gamma_{zz} E_z$$

105. Наведіть формулу, за допомогою якої можна визначити величину питомого опору провідникового матеріалу при зміні температури

Для практичних розрахунків використовують формулу:

$$\rho_2 = \rho_1 \left[1 + \bar{\alpha}_\rho (T_2 - T_1) \right],$$

де $\bar{\alpha}_\rho$ – середнє значення температурного коефіцієнта питомого опору металу в діапазоні температур від T_1 до T_2 .

106. Наведіть формулу, за допомогою якої можна визначити величину термо-ерс.

Термо-ерс визначають за формулою:

$$U = \frac{k}{e} (T_2 - T_1) \ln \frac{n_{oa}}{n_{ob}} = \phi(T_2 - T_1),$$

де n_{oa} і n_{ob} - відповідно концентрації електронів в металі А і В; k -постійна Больцмана; ϕ - постійний для даної пари коефіцієнт термо-ерс; e - заряд електрона.

107. Перерахуйте марки міді, на які вона розділяється за хімічним складом

За хімічним складом мідь підрозділяється на наступні марки: М1, М00к, М0к, М0ку, М00б, М0б, М1б, М1у, М1к, М1ф, М1р. Цифри 00, 0, і 1 характеризують вміст міді, букви **к, ку** позначають катодну мідь, **б** - безкисневу, **у** - катодну переплавлену, **р, ф** - розкислену.

Зміст міді в цих марках становить від 99,9 до 99,99%. Максимальний вміст міді містять марки М00к і М00б. Як провідникові матеріали використовують мідь М1 і М0.

108. Перерахуйте марки міді, на які вона розділяється за механічними характеристиками

За механічними характеристиками розрізняють мідь марок МТ і ММ.

Мідь МТ (твердотягнута) отримують методом холодної протяжки. Завдяки впливу наклепу вона має високу межу міцності при розтягуванні і мале відносне подовження, а також володіє твердістю і пружністю.

Мідь ММ (м'яка відпалена) має малу твердість, невелику міцність і значне подовження при розриві.

109. Наведіть чисельні значення основних електричних характеристик провідникової міді

Питомий опір міді складає 0,017 мкОм * м. У твердого мідного дроту воно може підвищуватися до 0,018 мкОм * м. Допустима за умовами втрат щільність тривалого струму в мідних проводах становить 7 - 10 А/мм². Гранична щільність струму, який «перепалює» мідний провідник за долі секунди, приблизно в 20 разів вище.

110. Назвіть сплави міді і вкажіть області їх застосування

Замість чистої міді, як провідникового матеріалу застосовують її сплави з оловом, кремнієм, фосфором, берилієм, хромом, магнієм, кадмієм. Такі сплави, які називаються бронзами, мають більш високі механічні характеристики, ніж чиста мідь. Відповідно до нормативних документів бронзи, які застосовуються

для виготовлення конструкційних і струмопровідних частин приладів та апаратів, поділяються на такі групи:

- бронзи олов'яні, що оброблені тиском;
- бронзи олов'яні ливарні;
- бронзи безолов'яні ливарні.

Провідникові бронзи (кадмієві, фосфористі, берилієві, хромисті) застосовують для виготовлення контактних проводів, колекторних пластин, струмопровідних пластин, контактів і т.д.

Сплави міді з цинком - латуні як і бронзи володіють у порівнянні з міддю більш високими механічними характеристиками, зокрема, великим відносним подовженням перед розривом і великою межею міцності при розтягуванні. Ця властивість забезпечує латуням технологічну перевагу в порівнянні з міддю при штампуванні, глибокий витяжці і т.п.

В основному латуні застосовують при виготовленні різних струмопровідних деталей.

111. Перерахуйте марки алюмінію, які застосовуються в електротехнічній промисловості

У електротехнічній промисловості використовуються алюмінії марки А1, що містить не більше 0,5% домішок. Більш чистий алюмінії марки АВ00 (не більше 0,03% домішок) застосовують для виготовлення алюмінієвої фольги, електродів, корпусів оксидних конденсаторів. Найвищою чистоти алюмінії марки АВ0000 містить домішок не більше 0.004%.

112. Наведіть чисельні значення основних електричних характеристик алюмінію

Питомий опір алюмінію складає 0,028 мкОм * м. В алюмінієвому дроті марки АТ воно може підвищуватися до 0,032 мкОм * м. Допустима за умовами втрат щільність тривалого струму в алюмінієвих проводах становить 5-7 А/мм². Гранична щільність струму, який «перепалює» алюмінієвий провідник за долі секунди, приблизно в 20 разів вище.

113. Розкажіть про області застосування провідникової сталі

Для провідників зазвичай використовують сталі звичайної якості. Провідникову сталь застосовують в основному для заземлюючих провідників і заземлювачів, грозозахисних тросів ПЛ, контактних рейок метро і т.п. Питомий опір провідникових сталей складає приблизно 0,1- 0,3 мкОм * м. Допустима щільність струму для сталевих проводів не нормується.

Переріз заземлюючих провідників і грозозахисних тросів, S вибирається за значенням струму короткого замикання, $I_{кз}$ і часу його протікання.

$$S = I_{кз} \frac{\sqrt{\tau + 0,1}}{60},$$

де τ - час відключення короткого замикання захистом.

При тривалому протіканні струму по сталевим провідникам щільність струму не повинна перевищувати 1-2 А/мм².

114. Назвіть приклади сплавів з високим опором

- Ніхром: сплав заліза, нікелю і хрому має питомий опір порядку $1 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$, робочі температури $1000\text{-}1100^\circ\text{C}$, і робочі щільності струму від 15 до 25 А/мм^2 .
- Константан: сплав міді з нікелем і кобальтом має питомий опір близько $0,5 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$, робочу температуру до 500°C і дуже низький температурний коефіцієнт опору.
- Манганін: сплав міді з марганцем і добавками нікелю і кобальту, має питомий опір близько $0,5 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$ і дуже низький температурний коефіцієнт опору.
- Фехраль - залізохромоалюмінієвий сплав, що складається з наступних елементів: хром Cr (22-24%); алюміній Al (5 - 5,8%); інше Fe. Слід зазначити, що вміст нікелю не більше 0,6%. Низький вміст нікелю робить сплав дешевшим порівняно з ніхромом. Питомий опір фехралі (номінальне значення) $1,39 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$, щільність - $7,21 \text{ г/см}^3$, робоча температура (до 1400°C).

115. Назвіть матеріали, які використовують для виготовлення термопар

- "Мідь-константан": $\text{ТЕРС} = +0,06 \text{ мВ/}^\circ\text{К}$, $\text{T}^\circ\text{C} = -200 - +700$;
- "Хромель-копель": $\text{ТЕРС} = +0,082 \text{ мВ/}^\circ\text{К}$, $\text{T}^\circ\text{C} = -50 - +800$;
- "Хромель-алюмель": $\text{ТЕРС} = +0,04 \text{ мВ/}^\circ\text{К}$, $\text{T}^\circ\text{C} = -50 - +1300$;
- "Платина - платино-родієвий сплав": $\text{ТЕРС} = -0,0095 \text{ мВ/}^\circ\text{К}$, $\text{T}^\circ\text{C} = -50 - +1600$.

116. Розташуйте відомі Вам метали за ознакою збільшення питомого опору

- Срібло - $0,015 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$;
- Мідь - $0,017 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$;
- Золото - $0,022 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$;
- Алюміній - $0,028 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$;
- Вольфрам - $0,055 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$;
- Залізо - $0,1 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$;
- Олово - $0,113 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$;
- Свинець - $0,190 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$;
- Титан - $0,47 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$.

117. Поясніть, що називається явищем «надпровідності»

Надпровідністю називається явище стрибкоподібного зникнення електричного опору матеріалу при певному поєднанні значень зовнішніх факторів, зокрема, при зниженні температури до значення температури надпровідного переходу T_c .

Речовина виходить з надпровідного стану, якщо стають вище критичних значення температури або магнітної індукції. Діаграма стану наведена на рис.8.



Рис.8 - Фазові діаграми для надпровідників першого роду

118. Назвіть відомі Вам речовини, що володіють властивістю надпровідності

Властивістю надпровідності володіють двадцять сім металів. Серед них: алюміній, ртуть, свинець, та ін. Не вдається перевести в надпровідний стан срібло, мідь, платину, лужні і лужноземельні метали, а також феромагнітні матеріали.

Відомо також кілька десятків сплавів, які мають властивість надпровідності. Наприклад, сплави "Ніобій (50%) + Титан (50%)", "Ніобій (50%) + Стронцій (50%)", "НТ-50 (Ni-Ni-Sr)" та ін.

119. Наведіть значення температури переходу різних матеріалів в надпровідний стан

Приблизні значення температур надпровідного переходу (при $B = 0$) і критичних значень індукції магнітного поля (при $T = 0$) для деяких надпровідників приведені в табл.2 .

Таблиця 2 - Значення температур надпровідного переходу для деяких надпровідників

Найменування матеріалу	T_c °К	B_c
При температурах, коли випаровується рідкий гелій ($T_{вип} = 4,22^\circ\text{К}$)		
Ртуть	4,20	0,046
Ніобій	9,40	0,195
Сплав НТ-50	9,70	10
Станід ніобію	18,0	25
При температурах, коли випаровується рідкий водень ($T_{вип} = 20,28^\circ\text{К}$)		
Германід ніобію	23,0	40
При температурах, коли випаровується рідкий азот ($T_{вип} = 77,40^\circ\text{К}$)		
Кераміка $YBa_2Cu_3O_6$	90	5,7

120. Поясніть поняття «старіння матеріалу»

Старінням матеріалу називаються незворотні процеси фізичних і хімічних перетворень матеріалу, які відбуваються під дією зовнішніх фізичних і (або) бі-

ологічних факторів і викликають погіршення електричних і механічних характеристик матеріалу.

121. Перерахуйте фактори, які викликають старіння матеріалів

Фактори, які викликають старіння матеріалів можна розділити на дві групи: природні та техногенні. До природних факторів належать:

- сонячна радіація;
- ґрунтові солі і пил;
- змінна температура повітря;
- змінний тиск повітря;
- біологічні фактори (цвілеві гриби тощо).

Техногенні фактори:

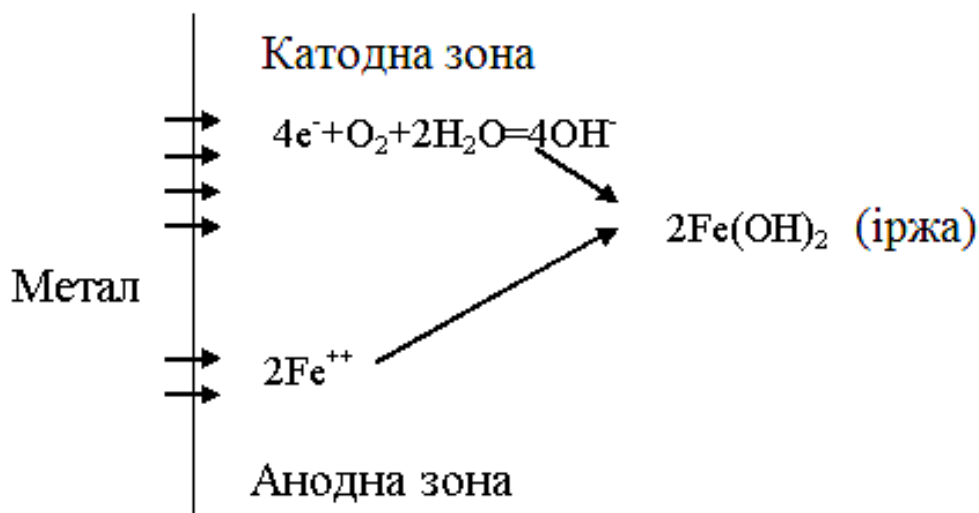
- електрична напруга (ЧР, трек, дуга);
- аномальні температури;
- хімічно активні речовини;
- іонізуюче випромінювання;
- механічні навантаження.

122. Поясніть поняття «корозія» матеріалу

Корозією матеріалу називаються хімічні перетворення матеріалу (насамперед окислення), що відбуваються за участю зовнішнього середовища. Корозія характерна для матеріалів, склад і структура яких не схожі на природні.

123. Назвіть види електрохімічної корозії металів в електроустановках

Корозія у вологому середовищі (у ґрунті, при зволоженні туманом, дощем і т.п.). Відбувається при поділі поверхні металу на ділянки з різними електрохімічними характеристиками (анодні і катодні зони). В анодній зоні йде вихід іонів металу з кристалічної решітки в навколишнє середовище і з'єднання з присутніми там іонами. У катодній зоні приелектродна реакція зводиться до відновлення негативних гідроксильних іонів:



Контактна корозія. Відбувається при контакті між собою різних металів у вологому середовищі. Більш "благородні" з цих металів є катодом в парі з менш "благородним" кородуючим анодом. Електрохімічний ряд металів, що застосовуються в електроенергетиці має такий вигляд (вище розташовані метали більш "шляхетні" у порівнянні з нижче розташованими): мідь; свинець; сталь в бетоні; сталь у ґрунті; алюміній; цинк.

Електрокорозія (корозія під дією блукаючих струмів). Відбувається в водних та ґрунтових середовищах у зонах, прилеглих до електрифікованому транс-порту на постійному струмі (залізниця, трамвай, метро). Передбачає наявність протяжних підземних комунікацій, в які потрапляє блукаючий струм. Місця "входу" струму (катодні зони) не піддаються корозії, у місцях "виходу" струму метал розчиняється за законом Фарадея. У зв'язку з рухом джерела струму (електровоз) катодні і анодні зони на комунікації змінюють своє місцеположення.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Богородицкий Н. П. Электротехнические материалы / Н. П. Богородицкий, В. В. Пасынков, Б. М. Тареев. - Л.: Энерго-атомиздат, 1985.
2. Справочник по электротехническим материалам : в 3 т. / Под ред. Ю. В. Корицкого и др.. - М.: Энергоатомиздат, 1986.
3. Колесов С. Н. Электротехнические и конструкционные материалы / С. Н. Колесов, И. С. Колесов. – К.: Транспорт, 2003.

Навчальне видання

Методичні вказівки до самостійного вивчення курсу
«ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ МАТЕРІАЛИ»
(для студентів 2-3 курсів денної та заочної форм навчання
напрямів підготовки 6.050701–“Електротехніка та електротехнології”,
6.050702 – “Електромеханіка”)

Укладач: **Дьяков Євген Дмитрович**

Відповідальний за випуск *Ю. П. Кравченко*

Редактор *З. І. Зайцева*

Комп’ютерне верстання *Н. В. Зражевська*

План 2012, поз. 297М

Підп. до друку 10.12.2012 р.

Друк на ризографі.

Тираж 50 пр.

Формат 60x84/16

Ум. друк. арк. 2,3

Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб’єкта видавничої справи:

ДК № 4705 від 28.03.2014 р.