

**ДНІПРОПЕТРОВСЬКЕ ВИЩЕ ПРОФЕСІЙНЕ  
УЧИЛИЩЕ БУДІВНИЦТВА**

**ЕЛЕКТРОТЕХНІКА З ОСНОВАМИ  
ПРОМИСЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ**  
*КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ*

**ДНІПРОПЕТРОВСЬК  
2013**

# **ЕЛЕКТРОТЕХНІКА**

**№ 1.** Електричне поле існує навколо нерухомих електричних зарядів. Умовно електричне поле зображують у вигляді електричних силових ліній. При позитивному заряді силові лінії спрямовані від зарядженого тіла, при негативному - до нього. Електричним полем називається матеріальне середовище, в якому проявляється силова дія на заряджені частинки або тіла. Сила взаємодії двох точкових електричних зарядів, що визначається законом Кулона, спрямована по прямій, яка з'єднує ці заряди.

**Закон Кулона:** сила взаємодії двох точкових зарядів прямо пропорційна величині кожного із зарядів і обернено пропорційна квадрату відстані між ними. Одноіменні заряди відштовхуються, а різноіменні - притягуються. Електричні властивості середовища характеризуються **абсолютною діелектричною проникністю**  $\epsilon_a$ , яка вимірюється у фарадах на метр ( $\Phi/m$ ).

Інтенсивність електричного поля визначається його напруженістю  $E$ , яка вимірюється у вольтах на метр ( $B/m$ ).

Напруженість поля - векторна величина, спрямована від позитивного заряду до негативного, і збігається із напрямком електричних силових ліній. Потенціал електричного поля  $\phi$  - є мірою потенціальної енергії поля в даній точці, вимірюється у вольтах ( $B$ ).

Електричне поле застосовують у:

- електричних фільтрах для очищення газової суміші від твердих або рідких частинок;
- електричних сепараторах для сортування, частинок за розміром або провідністю;
- електронно-променевих трубках для керування променем.

**№ 2.** Під дією зовнішнього електричного поля з напруженістю  $E_1$  у металевому тілі вільні електрони переміщуються до однієї поверхні, яка одержує негативний заряд, протилежна поверхня заряджується позитивно. В результаті розподілу зарядів у провіднику утворюється внутрішнє електричне поле з напруженістю  $E_2$ , спрямоване протилежно зовнішньому.

Рух вільних електронів у провіднику в даному випадку короточасний, поки напруженості зовнішнього і внутрішнього полів не зрівняються. При  $E_1=E_2$  напруженість електричного поля дорівнює нулю. Напруженість між двома будь-якими точками провідника також дорівнює нулю.

Отже, при наявності у провіднику вільних носіїв електричних зарядів електричне поле в ньому існувати не буде.

Якщо в електричному полі розмістити провідник з порожниною всередині, то в середині металу і порожнини електричне поле відсутнє. Це явище використовують при екрануванні проводів.

Діелектрик, внесений в електричне поле, так само як і провідник, електризується через вплив. Але між електризацією провідника і діелектрика існує велика різниця. Якщо в провіднику під впливом сил електричного поля вільні електрони переміщуються по всьому об'єму, то в діелектрику вільного переміщення електричних зарядів не відбувається. Проте в межах однієї молекули діелектрика виникає зміщення позитивного заряду вздовж напрямку електричного поля і негативного заряду в зворотному напрямку. В результаті на поверхні діелектрика виникають електричні заряди. Це явище називається **поляризацією діелектрика**.

Розрізняють **неполярні** та **полярні діелектрики**. У неполярних діелектриках

молекула в нейтральному стані має позитивні та негативні заряди, які настільки близько розміщені один до одного, що дія їх взаємно компенсується. Під впливом електричного поля позитивні і негативні заряди у межах молекули дещо зміщуються один відносно одного, утворюючи **диполь**.

У полярних діелектриках молекули і при відсутності електричного поля утворюють диполі.

З усуненням електричного поля поляризація діелектрика зникає. При деякій певній напруженості електричного поля зміщення зарядів досягає граничної величини, потім відбувається руйнування — **пробій діелектрика**, в результаті чого діелектрик втрачає свої ізолюючі властивості і стає струмопровідним.

**Ємність конденсатора  $C$**  характеризує властивість конденсатора нагромаджувати електричний заряд. Визначається вона відношенням заряду конденсатора до напруги на пластинах конденсатора.

При паралельному з'єднанні конденсаторів загальна ємність дорівнює сумі ємностей окремих конденсаторів і кожний конденсатор буде ввімкнений на повну напругу мережі.

При послідовному з'єднанні конденсаторів обернена величина загальної ємності дорівнює сумі обернених ємностей окремих конденсаторів. Кожний із конденсаторів увімкнений на меншу напругу, ніж напруга мережі.

**№ 3. Електричний струм** - це спрямований рух електричних зарядів по провіднику. **Сила струму  $I$**  - це кількість електричних зарядів, які протікають через поперечний переріз провідника за одиницю часу.

Відношення роботи  $A$  по переміщенню заряду  $Q$  між двома точками електричного поля до заряду називається **напругою** між цими точками.

**Електрорушійна сила  $A$**  - це напруга на клеммах джерела струму, якщо до нього не ввімкнений споживач. Напругу і електрорушійну силу вимірюють у вольтах ( $B$ ).

**Опір** провідника  $R$  залежить від його питомого опору  $\rho$ , прямо пропорційний довжині провідника  $l$  і обернено пропорційний площі поперечного перерізу провідника  $S$ .

**Провідність  $q$**  - це величина, зворотна опору, вимірюють її у сіменсах ( $См$ ).

Електричне коло складається з трьох основних елементів: джерела струму, споживача енергії та з'єднувальних проводів. Крім них, до кола можуть входити допоміжні елементи: вимикачі, вимірювальні прилади, плавкі запобіжники та ін.

Електричне коло поділяється на внутрішнє і зовнішнє. Внутрішнє - це само джерело струму, опір якого позначається  $r$ . До зовнішнього кола належать всі інші елементи, опір його позначається  $R$ .

**Закон Ома** для ділянки кола: струм на ділянці кола прямо пропорційний напрузі на цій ділянці та обернено пропорційний опору тієї ж ділянки.

Закон Ома для повного кола: струм в електричному колі дорівнює електрорушійній силі, поділеній на опір усього кола - суму внутрішнього і зовнішнього опорів.

**Робота електричного струму** дорівнює добутку сили струму, напруги і часу проходження струму. **Потужність** - це добуток сили струму на напругу. Роботу електричного струму вимірюють у джоулях ( $Дж$ ), а потужність - у ватах. ( $Вт$ ).

**Вітка** — ділянка кола, вздовж якої протікає один і той же струм і яка складається з послідовно з'єднаних елементів. **Вузол** - місце з'єднання трьох і більше віток. **Контур** — будь-який замкнений шлях кола, який можна обійти, рухаючись

по його вітках.

**Перший закон Кірхгофа:** алгебраїчна сума струмів для будь-якої вузлової точки кола дорівнює нулю.

**Другий закон Кірхгофа:** у будь-якому замкненому контурі алгебраїчна сума електрорушійних сил дорівнює алгебраїчній сумі спадів напруг на опорах цього контура.

**№ 4.** В електричних схемах зустрічаються **послідовні, паралельні** та **змішані** з'єднання резисторів (споживачів) і джерел електричного струму.

При послідовному з'єднанні резисторів загальний струм  $I$  дорівнює струмам, що протікають по кожному резистору; загальна напруга  $U$  дорівнює сумі спадів напруг на резисторах з'єднання; загальний опір  $R$  дорівнює сумі всіх послідовно з'єднаних опорів. При послідовному з'єднанні джерел електричного струму загальна електрорушійна сила  $E$  дорівнює сумі електрорушійних сил з'єднання. При паралельному з'єднанні резисторів загальний струм  $I$  дорівнює сумі струмів паралельних віток; загальна напруга  $U$  дорівнює напрузі на кожному з резисторів; загальна провідність  $1/R$  дорівнює сумі провідностей паралельних віток.

При паралельному з'єднанні джерел струму електрорушійна сила з'єднання дорівнює електрорушійним силам кожного джерела струму за умови, що електрорушійна сила всіх джерел струму однакова.

З'єднання, до якого входять послідовне і паралельне з'єднання резисторів, називається змішаним.

Щоб розрахувати складне коло методом контурних струмів, необхідно:

- довільно спрямувати струм у контурах;
- для кожного контура скласти рівняння згідно із другим законом Кірхгофа;
- розв'язати систему рівнянь і визначити струми в контурах;
- знайти струми, в усіх вітках. Якщо струм у вітці зі знаком «—», то напрямок його потрібно змінити на зворотний.

**№ 5.** Якщо складне електричне коло має тільки дві вузлові точки, то його зручно розраховувати методом вузлової напруги.

Порядок розрахунку:

1. Напругу між вузовими точками  $A$  та  $B$  позначимо  $U$ .
2. Знайдемо струм для кожної вітки.
3. Згідно із першим законом Кірхгофа алгебраїчна сума струмів у вузловій точці дорівнює нулю.
4. Підставивши у цю формулу значення струмів паралельних віток, знайдемо напругу між вузовими точками  $U$ . Ця напруга дорівнює алгебраїчній сумі добутків електрорушійної сили і провідностей усіх паралельних віток, ділених на суму провідностей усіх віток.
5. Підставляючи у формули (1, 2, 3) значення  $U$ , знайдемо струми у паралельних вітках.

При протіканні струму по провіднику електрони стикаються з рухомими молекулами провідника і підсилюють їх рух, що призводить до нагрівання провідника.

**Закон Джоуля-Ленца:** кількість теплоти, яка виділяється при протіканні струму по провіднику, прямо пропорційна силі струму в квадраті, опору провідника і часу протікання струму по провіднику.

Щоб запобігти надмірному нагріванню провідників, плавленню їх ізоляції,

допустимі для даної сили струму площі поперечних перерізів проводів визначають за таблицями допустимих струмових навантажень.

При пошкодженні ізоляції та з'єднанні проводів у точках  $A$  та  $B$  електричного кола утвориться коротке замикання. Струм буде проходити по шляху найменшого опору. Опір кола наблизатиметься до нуля, а струм у колі збільшуватиметься до нескінченності. Щоб захистити електричне коло і джерело електричного струму від короткого замикання, використовують плавкі запобіжники. При збільшенні струму понад допустимий перегорає плавка вставка запобіжника і вимикає пошкоджене коло від мережі.

Теплові реле використовують для захисту споживачів від перенавантаження. Основним елементом теплового реле є біметалева пластина, що складається з двох пластин з різним коефіцієнтом теплового розширення. При нагріванні біметалева пластина вигинається у бік пластини з меншим коефіцієнтом теплового розширення і розмикає контакти. При охолодженні біметалева пластина займає початкове положення і знову замикає контакти. Біметалеві пластини використовують також у терморегуляторах.

**№ 6. Магнітне поле** виникає у просторі, оточуючи рухомі електричні заряди та постійні магніти. Магнітне поле діє тільки на рухомі заряди.

Напрямок магнітних ліній навколо провідника із струмом знаходять за «Правилом свердлика». Якщо свердлик із правою різьбою рухається поступально за напрямком струму, то напрямок обертання ручки буде збігатися із напрямком магнітних ліній навколо провідника.

Магнітне коло складається із джерела магніторушійної сили (м.р.с), якою може бути котушка із струмом або постійний магніт, і магнітопровода, виготовленого з феромагнітного матеріалу.

Магнітне коло однорідне, якщо всі його ділянки мають однакову площу поперечного перерізу і виготовлені з одного матеріалу.

**Магніторушійна сила  $F$**  замкненого провідника із струмом дорівнює силі струму.

Магніторушійна сила котушки, по якій протікає струм, дорівнює добутку сили струму на число витків котушки.

**Інтенсивність магнітного поля** характеризується магнітною індукцією  $B$ , яка вимірюється в теслах ( $Tл$ ).

**Магнітна індукція** у будь-якій точці навколо прямолінійного провідника із струмом прямо пропорційна силі струму  $I$ , обернено пропорційна відстані  $r$  від осі провідника до даної точки і залежить від абсолютної магнітної проникності середовища, в якому знаходиться провідник із струмом.

**Напруженість магнітного поля  $H$**  — це відношення магніторушійної сили  $F$  до довжини магнітного кола  $l$  і вимірюється в амперах на метр ( $A/м$ ).

Магнітний опір  $R_m$  прямо пропорційний довжині магнітопроводу і обернено пропорційний площі його поперечного перерізу. Залежить він від абсолютної магнітної проникності матеріалу, з якого виготовлений магнітопровід.

**Магнітний потік  $\Phi$**  — це відношення магніторушійної сили до магнітного опору магнітопроводу.

Магнітний потік — це добуток магнітної індукції на площу, перпендикулярну вектору магнітної індукції, вимірюється він у веберах ( $Bб$ ).

Перший закон Кірхгофа для магнітного кола: у вузловій точці алгебраїчна сума магнітних потоків дорівнює нулю.

Другий закон Кірхгофа для магнітного кола (закон повного струму): магніторушійна сила дорівнює сумі добутків напруженостей поля на довжину відповідних ділянок магнітного кола.

Аналогія між електричними і магнітними величинами:

- |                      |  |
|----------------------|--|
| 1. $E$ – е.р.с       | $F$ – магніторушійна сила;   |
| 2. $I$ – сила струму | $\Phi$ – магнітний потік;  |
| 3. $R$ – опір        | $R_m$ – магнітний опір;  |
| 4. $U$ – напруга     | $HI$ – добуток напруженості магнітного поля на довжину магнітопроводу. |

№ 7. За характером магнітних властивостей усі речовини можна поділити на:

- **феромагнітні** — у яких відносна магнітна проникність у багато разів більша за одиницю;

- **парамагнітні** — у яких відносна магнітна проникність трохи більша за одиницю;

- **діамагнітні** — у яких відносна магнітна проникність менша від одиниці.

Котушка, намотана у вигляді спіралі, по якій протікає струм і в середині якої знаходиться феромагнітне осердя, називається **електромагнітом**. Полюси електромагніту можна визначати за «Правилом свердлика»: якщо розмістити свердлик уздовж осі котушки і обертати його за напрямком струму у витках, то поступальний рух свердлика показуватиме північний полюс. Розглянемо залежність магнітної індукції  $B$  від напруженості магнітного поля  $H$  у феромагнітному осерді. Напруженість магнітного поля будемо змінювати, змінюючи струм у котушці. Із збільшенням  $H$  магнітна індукція  $B$  спочатку швидко зростає, потім швидкість зростання магнітної індукції зменшується. І, нарешті, зростання  $B$  припиняється внаслідок магнітного насичення феромагнітного осердя. Якщо після намагнічування до стану насичення зменшити напруженість магнітного поля до нуля, то феромагнітне осердя стане джерелом магнітного поля за рахунок намагнічування (залишкова індукція). Для того, щоб магнітна індукція в осерді дорівнювала нулю, необхідно намагнічувати у зворотному напрямку, тобто перемагнічувати. Для цього необхідно змінити напрямок струму в котушці. При напруженості поля  $H=0$  індукція в осерді дорівнює нулю і воно повністю розмагнічується. Напруженість  $0<H<H_c$  при  $B=0$  характеризує матеріал осердя і називається **коерцитивною силою**.

Повторюючи процес перемагнічування, одержимо замкнену криву  $a, b, c, d, e, f, a$ , яка називається **петлею гістерезису**. Гістерезис — це відставання зміни магнітної індукції при зміні напруженості магнітного поля. Перемагнічування осердя пов'язане із затратою деякої кількості енергії, яка виділяється у вигляді теплоти, тому явище гістерезису шкідливе. Магнітом'які матеріали мають малу залишкову індукцію, невелику площу петлі гістерезису. З них виготовляють осердя трансформаторів, електричних машин та ін.

Магнітотверді матеріали мають значну залишкову індукцію, велику площу петлі гістерезису. Їх використовують для виготовлення постійних магнітів.

На провідник, по якому протікає струм, розміщений у магнітному полі, діє виштовхувальна сила, яка прямо пропорційна магнітній індукції поля  $B$ , силі струму  $I$ , довжині провідника  $l$  і залежить від синуса кута  $\alpha$  між вектором магнітної індукції і напрямком струму в провіднику.

Напрямок цієї сили можна визначити за **правилом лівої руки**: якщо ліву руку розмістити так, щоб магнітні лінії входили у долоню, а чотири пальці

показували напрямок струму в провіднику, то великий палець, відставлений на  $90^\circ$ , покаже напрямок сили  $F$ .

Якщо близько один до одного розмістити провідники із струмом одного напрямку, то магнітні лінії цих провідників, охоплюючи обидва провідники, примушують їх притягуватися.

Якщо по провідниках струм протікає у різні напрямки, то вони будуть відштовхуватися.

**№ 8.** Явище електромагнітної індукції полягає в тому, що при перетинанні провідника змінним магнітним полем у ньому індукується е.р.с. І це незалежно від того, змінюватиметься магнітне поле відносно провідника чи провідник буде рухатися у магнітному полі. Індукована е.р.с. прямо пропорційна магнітній індукції  $B$ , активній довжині провідника  $l$  і швидкості його переміщення  $V$ .

Напрямок ідукованої е.р.с. знаходять за **правилом правої руки**: якщо праву руку розмістити так, щоб магнітні лінії входили у долоню, великий палець, відставлений на  $90^\circ$ , показував напрямок руху провідника, то чотири пальці покажуть напрямок е.р.с.

Якщо вводити в котушку або виводити з неї магніт, то в котушці буде індукуватись е.р.с, прямо пропорційна швидкості зміни магнітного потоку -  $\Delta\Phi/\Delta t$  і числу витків котушки. Знак «мінус» відображає закон Ленца.

У момент вмикання котушки до джерела струму в ній протікає змінний струм, який створює змінне магнітне поле. Це поле перетинає витки котушки й індукує в ній е.р.с. самоіндукції. Згідно із законом Ленца е.р.с. самоіндукції буде спрямована проти струму в колі, який зростає.

При розмиканні котушки від джерела струму струм у котушці буде зменшуватися, утвориться змінне магнітне поле, яке, перетинаючи котушку, буде індукувати в ній е.р.с. самоіндукції. Ця е.р.с. згідно із законом Ленца буде збігатися із струмом у котушці.

При послідовному з'єднанні котушок загальна індуктивність дорівнюватиме сумі індуктивностей усіх котушок.

При паралельному з'єднанні котушок загальна індуктивність буде меншою від найменшої індуктивності паралельно з'єднаних котушок. Обернена величина загальної індуктивності паралельного з'єднання дорівнює сумі обернених величин індуктивностей усіх котушок.

Для зменшення вихрових струмів в осердях електричних машин, трансформаторів їх виготовляють з електротехнічної сталі (сталь із домішками кремнію). Наявність кремнію збільшує опір осердя, що зменшує вихрові струми. Крім того, осердя виготовляють не суцільним, а з пластин товщиною  $0,35—0,5\text{мм}$ , ізолюваних між собою. Вихровим струмам доводиться замикатися окремо у кожній пластині. А оскільки площа поперечного перерізу пластин мала, то опір осердя буде великий, що і сприятиме зменшенню вихрових струмів. З вихровими струмами ведуть боротьбу тому, що вони нагрівають магнітопровід, призводять до розмагнічування і створюють додаткові втрати.

**№ 9.** Струм, який змінюється за силою і напрямком, називають **змінним**. Однофазний змінний струм змінюється за синусоїдальним законом.

Електровимірні прилади (амперметри, вольтметри), ввімкнені в коло змінного струму, показують діючі значення струму або напруги.

Діюче значення змінного струму дорівнює такому постійному струму, який,



проходячи по провіднику з таким же опором, що і змінний струм, за той самий час виділяє таку ж кількість теплової енергії.

У колі змінного струму з активним опором струм і напруга збігаються за фазою. Для цього кола справедливий закон Ома. У колі з індуктивним опором напруга випереджує струм на  $90^\circ$ .

Індуктивний опір  $X_L$  котушки прямо пропорційний частоті струму та індуктивності.

Поверхневий ефект полягає в тому, що змінний струм намагається протікати по зовнішніх шарах провідника. Це пов'язано з тим, що чим ближче до осі провідника, тим більший магнітний потік, а значить, більший індуктивний опір. При частоті  $50 \text{ Гц}$  ефект майже відсутній, але він сильно проявляється при високих частотах.

Для кола змінного струму з індуктивним опором справедливий закон Ома. У колі змінного струму з ємнісним опором струм випереджає напругу на  $90^\circ$ . Для цього кола справедливий закон Ома. Ємнісний опір  $X_C$  обернено пропорційний частоті струму та ємності.

Як правило, будь-яка котушка має як індуктивний, так і активний опір. Тому котушку, ввімкнену в коло змінного струму, слід розглядати як послідовне з'єднання активного та індуктивного опорів.

Побудуємо для цього кола векторну діаграму. Оскільки це з'єднання послідовне, то струм в активному, індуктивному опорах та загальний струм будуть однакові. Спад напруги по індуктивному опору  $U_L$  буде випереджати струм на  $90^\circ$ ; спад напруги на активному опорі  $U_R$  буде збігатися із струмом за фазою. Геометрично склавши два вектори  $U_L$  та  $U_R$ , одержимо загальну напругу  $U$ . Як видно із векторної діаграми, напруга  $U$  випереджає струм  $I$  на кут  $\varphi$ . Цей кут залежить від співвідношення активного та індуктивного опорів.

Із прямокутного трикутника напруг згідно з теоремою Піфагора знаходимо загальну напругу  $U$  для даного кола. Якщо сторони трикутника напруг розділити на струм, то одержимо трикутник опорів. Із прямокутного трикутника опорів знаходимо за теоремою Піфагора загальний опір  $Z$ . Струм у колі буде дорівнювати відношенню загальної напруги до загального опору.

**№ 10.** Для розрахунку кола змінного струму з послідовним з'єднанням активного  $R$ , індуктивного  $X_L$  і ємнісного  $X_C$  опорів побудуємо векторну діаграму. Оскільки це з'єднання послідовне, то загальний струм у всіх опорах буде однаковий. Спад напруги на активному опорі буде збігатися за фазою із струмом. Спад напруги на індуктивному опорі буде випереджати струм на  $90^\circ$ , а спад напруги на ємнісному опорі буде відставати від струму на  $90^\circ$ .

Домовимося, що  $X_L > X_C$ , тоді і  $U_L$  буде більшим за  $U_C$ . Склавши геометрично три вектори  $U_L$ ,  $U_C$ ,  $U_R$  одержимо загальну напругу  $U$ . Із прямокутного трикутника напруг за теоремою Піфагора знаходимо, чому дорівнює загальна напруга  $U$ . Розділивши сторони трикутника напруг на струм, одержимо прямокутний трикутник опорів, з якого за теоремою Піфагора знаходимо загальний опір  $Z$ .

Знаючи загальну напругу  $U$  і загальний опір  $Z$  кола за законом Ома визначимо струм у колі  $I$ . У колі змінного струму з послідовним з'єднанням активного, індуктивного та ємнісного опорів настане резонанс напруг за умови, що індуктивний опір буде дорівнювати ємнісному  $X_L = X_C$ . Цю умову можна виконати, змінюючи індуктивність котушки, ємність конденсатора або частоту струму. Вона має

становити:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

При резонансі напруг загальний опір кола зменшується і буде дорівнювати активному опору. Струм у колі збільшиться. Напруги на індуктивному і ємнісному опорах будуть дорівнювати одна одній і можуть у кілька разів перевищувати загальну напругу, прикладену до кола. Як видно із векторної діаграми, для резонансу напруг струм і напруга збігаються за фазою.

Резонанс напруг застосовують у радіоприймачах для вибору необхідного радіосигналу.

У колах змінного струму існує три види потужності: **активна**  $P$ , яка вимірюється у ватах ( $Вт$ ); **реактивна**  $Q$ , яка вимірюється у варах; повна  $S$ , яка вимірюється у вольтамперах ( $ВА$ ).

**Коефіцієнт потужності**  $\cos \varphi$  — це відношення активної потужності кола до повної або відношення активного опору до загального. Чим більший  $\cos \varphi$ , тим менший струм споживають споживачі й тим менші теплові втрати електроенергії у проводах, які з'єднують споживача із джерелом електроенергії.

**№ 11.** Розглянемо векторну діаграму кола змінного струму з активним і реактивним опорами. Проектуючи вектор струму  $I$  на вектор напруги  $U$ , розкладемо вектор струму на дві складові. Одна з них за напрямком збігається з вектором напруги і називається активною складовою струму  $I_A$ . Вона дорівнює добутку струму на  $\cos \varphi$ .

Друга складова, перпендикулярна вектору напруги, називається реактивною  $I_P$  і дорівнює добутку струму на  $\sin \varphi$ .

Струм у лівій вітці паралельного з'єднання  $I_1$  дорівнює напрузі, розділеній на опір цієї вітки  $Z_1$ . Аналогічно знаходимо струм у правій вітці  $I_2$ .

Із трикутника опорів знаходимо  $\cos \varphi_1$ ,  $\cos \varphi_2$ ,  $\sin \varphi_1$ ,  $\sin \varphi_2$  для обох віток. Знаходимо активні та реактивні складові обох віток  $I_{a1}, I_{a2}, I_{p1}, I_{p2}$ .

Активна складова струму в колі дорівнює сумі активних складових струму лівої та правої віток.

Реактивна складова струму в колі дорівнює сумі реактивних складових струму лівої та правої віток.

Знаючи активну та реактивну складові в колі, з трикутника струмів за теоремою Піфагора знайдемо загальний струм у колі  $I$ .

При паралельному з'єднанні котушки і конденсатора за умови  $X_L = X_C$  у колі змінного струму виникає резонанс струмів. При цьому загальний опір кола різко зростає і набуває активного характеру.

Струми, що протікають по котушці  $I_1$  і конденсатору  $I_2$ , однакові і можуть у кілька разів перевищувати загальний струм  $I$ . Як видно із векторної діаграми, при резонансі напруга і струм збігаються за фазою.

Резонансу струмів можна досягти, змінюючи індуктивність котушки ємність конденсатора або частоту струму. Вона повинна дорівнювати:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Резонанс струму широко застосовують в електротехніці для підвищення  $\cos \varphi$  у мережі.

**№ 12. Трифазний струм** одержують за допомогою трифазного генератора, основними частинами якого є рухомий ротор і нерухомий статор. **Ротор** — це постійний магніт або електромагніт. **Статор** складається з осердя і трьох обмоток (фаз). При обертанні ротора його магнітне поле перетинає трифазну обмотку і в кожній фазі індуктується е.р.с, яка буде зсунута відносно іншої за фазою на  $120^\circ$ .

Трифазний струм застосовують ширше порівняно з однофазним тому, що передача на відстань електричної енергії трифазним струмом більш економічна і трифазні електричні двигуни та генератори мають кращі якості, ніж однофазні.

За допомогою трифазного струму можна одержати обертове магнітне поле, яке застосовують у трифазних асинхронних двигунах. Щоб одержати обертове магнітне поле, необхідно по трифазній обмотці пропустити трифазний струм. Швидкість обертового магнітного поля  $n$  прямо пропорційна частоті струму  $f$  і обернено пропорційна числу пар полюсів трифазної обмотки.

Трифазні генератори і споживачі з'єднують зіркою або трикутником.

Щоб з'єднати генератор або споживач **зіркою**, необхідно всі кінці фаз ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) з'єднати в одну точку і до неї приєднати нульовий провід, а до початків фаз ( $A$ ,  $B$  і  $C$ ) приєднати лінійні проводи. Струм, який протікає по фазах, називається **фазним**  $I_\phi$ , а по лінійних проводах — **лінійним**  $I_L$ . Напряга між лінійним і нульовим проводами називається фазною  $U_\phi$ , а між двома лінійними проводами лінійною  $U_L$ .

При з'єднанні зіркою і симетричному навантаженні фаз (у кожній фазі однаковий споживач):

- лінійна напряга більша за фазну в  $\sqrt{3}$  разів;
- лінійні та фазні струми однакові;
- струм у нульовому проводі  $I_N$  дорівнює нулю.

При несиметричному навантаженні струм у нульовому проводі дорівнює геометричній сумі струмів у всіх фазах. Перевагою з'єднання зіркою є наявність двох напруг. Недоліком з'єднання зіркою є те, що при несиметричному навантаженні фазні напруги будуть різні (більше навантаження фази — менша напряга).

Щоб з'єднати генератор або споживач **трикутником**, необхідно до кінця першої фази  $X$  приєднати початок другої фази  $B$ , до кінця другої фази  $Y$  — початок третьої фази  $C$ , а до кінця третьої фази  $Z$  — початок першої фази  $A$ . Потім до цих трьох точок приєднати лінійні проводи.

При з'єднанні трикутником і симетричному навантаженні:

- лінійний струм більший за фазний у  $\sqrt{3}$  разів;
- лінійна напряга дорівнює фазній.

Недоліком з'єднання трикутником є одна напряга. Перевага з'єднання трикутником у тому, що навіть при несиметричному навантаженні напруги у фазах однакові.

**№ 13.** Щоб розрахувати трифазне коло з симетричним навантаженням, необхідно знайти загальний опір фази. Знайдемо косинус і синус кута зсування фаз. Струм у фазі дорівнює фазній напрузі, поділеній на загальний опір фази.

Активна потужність фази  $P_\phi$  дорівнює добутку фазного струму на фазну напругу і на косинус кута зсуву фаз. Реактивна потужність фази  $Q_\phi$  дорівнює добутку фазного струму на фазну напругу і на синус кута зсуву фаз.

Повна потужність фази  $S_\phi$  дорівнює добутку фазного струму на фазну напругу.

Активна потужність трифазного кола дорівнює добутку  $\sqrt{3}$  лінійної напруги, лінійного струму, косинусу кута зсуву фаз або трьом фазним активним потужностям.

Реактивна потужність трифазного кола дорівнює добутку  $\sqrt{3}$  лінійної напруги, лінійного струму і синусу кута зсуву фаз або трьом фазним реактивним потужностям.

Повна потужність трифазного кола дорівнює добутку  $\sqrt{3}$  лінійної напруги, струму або трьом повним потужностям фаз.

Розглянемо, як будуть вести себе трифазні несиметричні кола, з'єднані зіркою та трикутником при:

- обривах проводів;

- коротких замиканнях у лінії або фазах.

При з'єднанні споживача зіркою і обриві лінійного проводу фази  $B$  та  $C$  будуть послідовно ввімкнені під лінійну напругу  $U_{BC}$ . Якщо навантаження  $Z_B = Z_C$ , то напруги на них будуть однаковими і дорівнюватимуть  $\frac{U_{BC}}{2}$ .

Споживач у фазі  $A$  не працює. Якщо був би нульовий провід, то у фазах  $B$  та  $C$  залишився б нормальний режим роботи. Якщо навантаження з'єднане трикутником і обірвався лінійний провід, то у фазі  $Z_{BC}$  нормальний режим, а фази  $Z_{AB}$  та  $Z_{CA}$  будуть увімкнені послідовно під напругу  $U_{BC}$ . Якщо  $Z_{AB} = Z_{CA}$ , то напруга на них дорівнюватиме  $\frac{U_{BC}}{2}$ .

При обриві проводу у фазі й з'єднанні навантаження трикутником у фазі  $Z_{AB}$  струм відсутній, а у фазах  $Z_{CA}$ ,  $Z_{BC}$  буде нормальний режим роботи.

При з'єднанні навантаження зіркою і короткому замиканні однієї фази напруга в ній буде відсутня. Напруги у фазах  $B$  та  $C$  зростуть і дорівнюватимуть лінійним напругам  $U_B = U_{AB}$ ,  $U_C = U_{CA}$ .

При з'єднанні навантаження трикутником і короткому замиканні між лінійними проводами у фазах  $Z_{CA}$ ,  $Z_{BC}$  буде нормальний режим роботи, а напруга у фазі  $Z_{AB}$  дорівнюватиме нулю.

**№ 14. Електричні прилади** широко застосовують для вимірювання як електричних, так і неелектричних величин. Всі електровимірювальні прилади можна класифікувати за:

I. Видом вимірюваного струму.

II. Видом вимірюваних параметрів.

III. Принципом дії.

IV. Класом точності.

За видом вимірюваного струму прилади поділяються для вимірювання у колах постійного, змінного струму, постійного і змінного.

За видом вимірюваних параметрів на: амперметри, вольтметри, ватметри, омметри та ін.

За принципом дії на: магнітоелектричні, електромагнітні, електродинамічні, індукційні, вібраційні та ін.

За точністю прилади поділяються на 8 класів.

У приладах 1 класу (найточніших) відносна приведена похибка становить 0,05%, а 8 класу (найменш точних) — 4%.

**Відносна приведена похибка**  $\beta$  дорівнює показанню вимірювального приладу  $A_n$  мінус дійсне значення вимірювальної величини  $A_0$ , розділене на максимальне значення шкали приладу  $A_n$  і все це помножене на 100%.

**Магнітоелектричні прилади** працюють на взаємодії котушки, по якій протікає струм, з постійним магнітом. Це амперметри або вольтметри. Вони діють тільки у колах постійного струму, є найточнішими та чутливішими, але бояться перенавантаження.

**Електромагнітні прилади** працюють за принципом втягування феромагнітного осердя в котушку, по якій протікає струм. Такими приладами є амперметри і вольтметри, які можна використовувати як у колах постійного, так і змінного струму. Вони не бояться перенавантажень, але мають малу точність і нерівномірну шкалу.

**Прилади електродинамічної системи** працюють на взаємодії двох котушок, по яких протікає струм. Ці прилади використовуються як ватметри. Вони працюють в колах як постійного, так і змінного струму, точні, але бояться перенавантажень.

**Індукційні прилади** працюють на взаємодії вихрових струмів з обертовим магнітним полем і використовуються як лічильники електроенергії. Їх можна використовувати тільки у колах змінного струму. Ці прилади мають великий обертовий момент, здатний приводити в дію лічильний механізм, але вони дорогі.

**Прилади вібраційної дії** працюють за принципом механічного резонансу, їх використовують як частотоміри у колах змінного струму. У них малий діапазон вимірювання і вони бояться вібрації.

Силу струму вимірюють **амперметром**, який вмикають у коло послідовно. Для розширення меж вимірювання амперметра використовують шунти і трансформатори струму.

**Шунти** можна використовувати у колах постійного та змінного струму. Шунт — це невеликий опір, який вмикається паралельно амперметру. Щоб розрахувати опір шунта, необхідно опір амперметра  $R_a$  розділити на  $n-1$ . Число  $n$  показує, у скільки разів струм, який потрібно виміряти  $I$ , більший за струм, на який розрахований амперметр  $I_a$ .

**Трансформатор струму** призначений для розширення меж вимірювання амперметра у колах змінного струму. Трансформатор струму великий вимірюваний струм  $I_1$  зменшує до струму  $I_2=5A$ . Помноживши струм  $I_2$  на коефіцієнт трансформации, знайдемо вимірюваний струм  $I_1$ .

Напругу вимірюють **вольтметром**, який вмикається паралельно тієї ділянки кола, на якій потрібно виміряти спад напруги. Щоб розширити межі вимірювання вольтметра, використовують додаткові опори і трансформатори напруги. Додаткові опори у колах постійного і змінного струму вмикають послідовно з вольтметром. Щоб розрахувати додатковий, опір, необхідно опір вольтметра  $R_B$  помножити на  $n-1$ . Число  $n$  показує, у скільки разів напруга, яку потрібно виміряти  $U$ , більша за напругу, на яку розрахований вольтметр  $U_B$ .

**Трансформатори напруги** використовують для розширення меж вимірювання вольтметром тільки у колах змінного струму. Трансформатор напруги в ціле число разів зменшує високу напругу, яку потрібно виміряти  $U_1$  до більш низької напруги  $U_2=100 V$ . Помноживши  $U_2$  на коефіцієнт трансформації трансформатора, знайдемо вимірювану напругу.

**№15.** Для вимірювання опору використовують омметри однорамочні, дворамочні (логометри), вимірювальні мости.

**Однорамочні омметри** складаються з магнітоелектричного вимірювального приладу  $I$ , джерела постійного струму  $G$ , реостата для встановлення стрілки на нуль  $R$ , вмикача  $SA$  і двох клем  $1$  і  $2$ .

Перед вимірюванням опору клем  $1$  і  $2$  з'єднують, змінюючи опір реостата  $R$  встановлюють стрілку приладу на « $0$ ». Після цього клем роз'єднують і до них вмикають вимірювальний опір  $R_x$ . Недолік приладу, в тому, що перед кожним вимірюванням потрібно встановлювати стрілку на « $0$ ».

**Дворамочний омметр** (логометр) складається з двох простих рамок з котушками, до яких прикріплена стрілка постійного магніта і джерела постійного струму  $G$ . Послідовно з однією котушкою ввімкнений додатковий опір  $R$  для розширення межі вимірювання приладу, а послідовно з другою котушкою вмикають невідомий опір  $R_x$ . Струми, які протікають по обох котушках, взаємодіють із магнітним полем, утворюють обертові моменти, спрямовані у протилежні боки. Кут повороту стрілки залежить від співвідношень струму в котушках і не залежить від напруги джерела  $G$ . Логометри часто використовують як мегометри для вимірювання великих опорів.

Щоб виміряти опір **вимірювальним мостом**, необхідно до нього ввімкнути невідомий опір  $R_x$  і зрівноважити міст (встановити стрілку приладу на « $0$ »), змінюючи опори  $R_2$  та  $R_3$ . У зрівноваженому мості добуток опорів протилежних пліч однаковий. За формулою визначають невідомий опір  $R_x$ .

Для вимірювання індуктивності та ємності використовують **вимірювальні мости змінного струму**. Щоб урівноважити міст змінного струму, потрібно виконати дві умови: добутки загальних опорів протилежних пліч моста мають бути однаковими; сума зсувів фаз протилежних пліч повинна бути однаковою. Змінюючи опори  $R_1$  та  $R_2$  і ємність конденсатора  $C$ , врівноважують міст (встановлюють стрілку приладу на « $0$ »), а потім невідому індуктивність знаходять як добуток опорів  $R_1$ ,  $R_2$  і ємності конденсатора  $C$ .

Щоб виміряти ємність конденсатора вимірювальним мостом, необхідно його врівноважити (змінюючи опори, встановити стрілку приладу на « $0$ »). Після цього невідома ємність  $C_x$  дорівнює добутку відомої ємності  $C$  на опір  $R_1$ , поділеному на опір  $R_2$ .

Потужність у колах постійного і змінного струму вимірюють **ватметром**. Одна обмотка ватметра вмикається послідовно, а друга паралельно. Щоб стрілка від нуля відхилялася вправо, необхідно струм через котушки пропускати у певному напрямку. Для цього два зажими, які вказують початки обмоток і позначені зірочками (\*), з'єднуються між собою.

Для вимірювання потужності в колах трифазного змінного струму при симетричному навантаженні достатньо виміряти потужність однієї фази і помножити на три.

Для вимірювання потужності у колах змінного струму при несиметричному навантаженні можна використовувати два ватметри, показання яких підсумовують.

**№ 16.** Частоту струму вимірюють **частотометром**, який вмикається в мережу паралельно. Значення коефіцієнта потужності  $\cos \varphi$  в мережах однофазного змінного струму можна визначити за показаннями вольтметра, амперметра і ватметра. Для цього показання ватметра треба розділити на добуток показань

амперметра і вольтметра.

На практиці коефіцієнт потужності визначають за допомогою однофазних і трифазних **фазометрів**. Фазометри — це прилади електродинамічної системи. Вимірювальний механізм фазометра — логометр з двома рухомими котушками, скріпленими між собою під кутом  $90^\circ$ , і однією нерухомою. Нерухому котушку вмикають послідовно з навантаженням  $Z_B$ . В однофазного фазометра до однієї рухомої котушки ввімкнено активний опір  $R$ , а до другого — індуктивність  $L$ . Рухомі котушки вмикають у мережу паралельно навантаженню  $Z_H$ .

Як видно із схеми вмикання трифазного фазометра до обох рухомих котушок, тут послідовно ввімкнені активні опори  $R_1$  та  $R_2$ .

Електричну енергію в колах змінного струму вимірюють **лічильниками** індукційної системи. Схема вмикання однофазного лічильника в мережу така сама, як ватметра. Одна обмотка лічильника вмикається послідовно споживачу, а друга — паралельно.

Для вимірювання електричної енергії в колах трифазного змінного струму використовують спеціальні **трифазні лічильники**.

За допомогою електричних приладів можна вимірювати неелектричні величини, тільки для цього потрібні датчики, які перетворюють неелектричну величину в параметр електричного кола (опір, індуктивність, ємність) або в е.р.с. Відповідно до цього датчики поділяються на параметричні й генераторні.

Неелектричні величини зручно вимірювати електричними методами, оскільки процес може тривати безперервно, і з великою точністю, а, крім того, дистанційно на відстані.

Реостатний датчик використовують для вимірювання рівня рідини, із зміною якого змінюються положення поплавка і опір реостата.

Терморезисторний датчик використовують для вимірювання температури. Збільшення температури призводить до зменшення опору терморезистора.

Генераторний індукційний датчик використовують для вимірювання частоти обертання. Із збільшенням частоти обертання якоря датчика зростає е.р.с. За допомогою генераторних термоелектричних датчиків вимірюють температуру. Цей датчик являє собою дві пластини, виготовлені з різних металів, кінці котрих спаяні. Чим вища температура місця спаю, тим більша е.р.с.

У даний час застосовують цифрові вимірювальні прилади: вольтметри, амперметри, омметри, частотометри, фазометри або комбіновані прилади. Вони показують результати вимірювань у цифровій формі дуже точно і на відміну від стрілкових приладів не допускають похибок при знятті вимірюваних параметрів.

Цифрові прилади зручно використовувати в автоматичності, оскільки сигнал з цього приладу може безпосередньо подаватися на електронно-обчислювальні машини для автоматичного підтримання певного режиму роботи.

Недоліками цифрових приладів є їх складна конструкція і велика вартість.

**№ 17. Трансформатор** — електричний апарат, призначений для перетворення змінного струму однієї напруги у змінний струм іншої напруги при незмінній частоті. Винайшов трансформатор російський винахідник П. М. Яблочков. Однофазний трансформатор складається з осердя, виготовленого з листів електротехнічної сталі товщиною  $0,35-0,5$  мм, ізолюваних між собою, і двох обмоток. Обмотка вищої напруги має більше витків меншого поперечного перерізу проводу, а обмотка нижчої напруги, навпаки, має менше витків, але проводу з більшою площею поперечного

перерізу. Обмотки виготовлені з ізолюваного проводу та ізолювані від осердя і одна від одної. Обмотка, яка вмикається в мережу, називається *первинною*, а обмотка, до якої вмикають споживачів, — *вторинною*.

Принцип роботи понижуючого трансформатора такий. Якщо до первинної обмотки підвести змінну напругу  $U_1$ , то по ній потече змінний струм  $I_1$  та виникне змінний магнітний потік  $\Phi$ . Цей магнітний потік, перетинаючи вторинну обмотку, буде індукувати в ній е.р.с.  $E_2$ , яка у стільки разів менша за  $E_1$  у скільки разів число витків вторинної обмотки  $w_2$  менше за число витків первинної обмотки  $w_1$ .

Магнітний потік  $\Phi$ , перетинаючи первинну обмотку індукує в ній також е.р.с, яка приблизно дорівнюватиме  $U_1$  (трохи менша).

Відношення напруг первинної і вторинної обмоток дорівнює відношенню числа витків первинної до числа витків вторинної обмотки або відношенню струму у вторинній обмотці до струму в первинній. Це відношення називається *коефіцієнтом трансформації трансформатора*.

Трансформатор може працювати у трьох режимах роботи:

- робочий режим;
- режим холостого ходу;
- режим короткого замикання.

Трансформатор працює в робочому режимі (основний режим), якщо його первинна обмотка ввімкнена в мережу, а до вторинної ввімкнений споживач. Як видно із зовнішньої характеристики трансформатора, із збільшенням навантаження напруга  $U_2$  на вторинній обмотці падає. Якщо навантаження має індуктивний характер, то спад напруги більший порівняно із активним навантаженням.

Для регулювання напруги вторинної обмотки змінюють число витків первинної обмотки  $w_1$  спеціальним перемикачем.

У трансформаторі бувають електричні втрати  $\Delta P_{ел}$ , які йдуть на нагрівання обмоток трансформатора, і магнітні  $\Delta P_m$  на утворення вихрових струмів в осерді і розсівання магнітного потоку.

Коефіцієнт корисної дії трансформаторів дуже високий і дорівнює відношенню корисної енергії, яку віддає трансформатор  $P_2$ , до енергії, яка підводиться, до трансформатора  $P_1$ .

Трансформатор працює в режимі холостого ходу, якщо первинна його обмотка ввімкнена в мережу, а вторинна розімкнена. У цьому режимі струм, який протікає по первинній обмотці, становить 3-10 % номінального. При холостому ході коефіцієнт потужності трансформатора дуже низький і дорівнює 0,2-0,3. Приблизно можна вважати, що потужність  $W_{xx}$ , яку споживає з мережі трансформатор в режимі холостого ходу, йде на покриття магнітних втрат  $\Delta P_m$ .

Трансформатор працює в режимі короткого замикання, коли первинна його обмотка ввімкнена в мережу, а вторинна закорочена. Це аварійний режим, тому що струм в обмотках трансформатора зростає в 30-45 разів, і обмотки перегорають, якщо відсутній захист трансформатора від короткого замикання.

**Трифазний трансформатор** складається з магнітопроводу, виготовленого з листів електротехнічної сталі, трьох обмоток вищої напруги з виводами  $AХ, ВУ, СZ$  і трьох обмоток нижчої напруги з виводами  $ax, by, cz$ . Принцип роботи трифазного трансформатора аналогічний однофазному. Обмотки трифазного трансформатора з'єднують  $Y/Y, Y/Y-, Y/\Delta$ . У чисельнику зазначені з'єднання обмоток вищої напруги, у знаменнику – нижчої.

Група з'єднання (від першої до дванадцятої) обмоток трансформатора показує



зсування фаз між високою і низькою лінійними напругами. Паралельне вмикання трансформаторів застосовують при змінному графіку навантаження підстанції. При найменшому навантаженні працює тільки один трансформатор, а при збільшенні навантаження вмикають усі інші трансформатори. Це значно зменшує витрати енергії і підвищує ККД підстанції.

Для нормальної паралельної роботи трансформаторів слід дотримуватись таких вимог. Мають бути однаковими: номінальні первинні та вторинні напруги, напруги короткого замикання, групи та схеми з'єднань. Необхідно забезпечити правильне чергування фаз паралельно ввімкнених трансформаторів.

**Автотрансформатор** — це такий трансформатор, у якого обмотка нижчої напруги становить частину обмотки вищої напруги.

Електрична енергія в автотрансформаторах передається не тільки електромагнітним способом, але й за рахунок безпосереднього з'єднання обмоток.

Коефіцієнт трансформації автотрансформатора визначається так само, як і трансформатора. Автотрансформатор при коефіцієнті трансформації від 1,25 до 2 має переваги порівняно із трансформатором:

- менше витрачається міді на виготовлення обмоток;
- менше витрачається сталі на виготовлення магнітопроводу;
- можна плавно регулювати напругу, змінюючи число витків вторинної обмотки.

Недоліком автотрансформаторів є наявність електричного з'єднання між його обмотками, великі струми короткого замикання. Автотрансформатори можуть бути однофазні і трифазні.

**№ 18. Трифазний асинхронний двигун** з короткозамкненим ротором складається з нерухомої частини статора, рухомого ротора та двох підшипникових щитів. Статор має станину, осердя, виготовлене з листів електротехнічної сталі, у пазах якого знаходиться трифазна обмотка. Ротор складається із вала, осердя, виготовленого з листів електричної сталі, в пазах якого розміщена неізольована короткозамкнена обмотка, виготовлена з алюмінію або міді. На роторі розташований вентилятор для кращого охолодження. У підшипникових щитах закріплені підшипники ротора.

Трифазний асинхронний двигун з фазним ротором використовують у тих випадках, коли потрібно регулювати частоту обертання ротора або поліпшити пускові властивості двигуна.

Статор асинхронного двигуна з фазним ротором такий самий, як в асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором. Фазний ротор складається з вала, осердя і трифазної обмотки, з'єднаної зіркою. Початки обмотки ротора припаяні до трьох контактних кілець, через які за допомогою графітних щіток до обмотки ротора приєднують регульовальний реостат.

Якщо по трифазній обмотці асинхронного двигуна пропустити трифазний струм, то утвориться обертове магнітне поле, яке, пересікаючи обмотку ротора, буде індукувати в ній струм. Взаємодія обмотки ротора, по якій протікає струм, з обертовим магнітним полем змусить ротор обертатися у той же бік, що і обертове магнітне поле, але з меншою частотою.

**Ковзання** — це різниця між частотою обертання обертового магнітного поля і ротора, розділена на частоту обертання обертового магнітного поля. Обертовий момент асинхронного двигуна прямо пропорційний магнітному потоку ротора  $\Phi$ , струму в обмотці ротора  $I_2$  та коефіцієнту потужності в роторі  $\cos \varphi_2$ .

Обертовий момент асинхронного двигуна прямо пропорційний напрузі мережі в квадраті і залежить від ковзання. У момент пуску асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором, коли ковзання  $S=1$ , обертовий момент  $M$  невеликий. Із зменшенням ковзання обертовий момент зростає, а потім зменшується.

В асинхронних двигунах з фазним ротором у момент пуску обертовий момент максимальний, при цьому в коло обмотки ротора вводять реостат, який підвищує  $\cos \varphi_2$ . Для збільшення пускового моменту в асинхронних двигунах з короткозамкненим ротором обмотку ротора роблять подвійною (з робочої та пускової). У момент пуску робоча обмотка має великий індуктивний опір, і струм в основному протікає по пусковій обмотці. У пускової обмотки активний опір великий, в результаті чого підвищується  $\cos \varphi_2$  і пусковий момент. Із підвищенням частоти обертання ротора частота струму в роторі зменшується, що призводить до зменшення індуктивного опору робочої обмотки, і струм протікатиме по ній. Для збільшення пускового моменту короткозамкнену обмотку ротора виготовляють також глибокопазною.

У момент пуску асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором струм в обмотці статора зростає у 5-7 разів. Цей великий струм не шкідливий для обмотки статора, оскільки пуск триває короткий час, але в момент пуску падає напруга в мережі, що призводить до зменшення обертового моменту асинхронних двигунів, які працюють і можуть вийти з ладу. При пуску асинхронних двигунів малої потужності з пусковими струмами боротьбу не проводять. При пуску двигунів великої потужності зменшують пусковий струм, знижуючи за допомогою автотрансформатора напругу на двигуні або перемикаючи обмотку статора із зірки на трикутник.

Хоч пускові струми не шкідливі для обмотки статора, проте слід пам'ятати, що не можна пускати двигун підряд більше трьох разів, оскільки великий струм, що протікає тривалий час по обмотці статора дуже нагріє її і призведе до згоряння ізоляції обмотки.

У двигунах з фазним ротором пусковий струм зменшують за допомогою реостата, який вводять в обмотку ротора в момент пуску.

Частота обертання ротора асинхронних двигунів прямо пропорційна частоті струму і обернено пропорційна числу пар полюсів обмотки статора і ковзанню.

У двигунах з фазним ротором частоту обертання регулюють, змінюючи опір реостата, ввімкненого в фазну обмотку ротора. Із збільшенням опору ковзання збільшується, а частота обертання зменшується.

Для плавного регулювання частоти обертання в асинхронних двигунах з короткозамкненим ротором використовують спеціальні тиристорні перетворювачі, які змінюють частоту струму. Для ступінчастої зміни частоти обертання ротора використовують спеціальні двох-, трьох- та чотирьохшвидкісні двигуни. На їх статорах розміщують обмотки з різним числом пар полюсів. Крім того, можна використовувати перемикання фазних обмоток статора з послідовного з'єднання на паралельне. При цьому число полюсів зменшується і відповідно зростає частота обертання ротора.

Щоб зреверсувати трифазний асинхронний двигун (змінити напрямок обертання ротора), необхідно змінити напрямок обертання обертового магнітного поля. Цього досягають перемиканням двох фаз, які з'єднують обмотку статора з мережею.

Однофазний асинхронний двигун відрізняється від трифазного з

короткозамкненим ротором тим, що на статорі в нього не трифазна обмотка, а дві обмотки: пускова та робоча. Пускова обмотка має активний опір, а робоча — індуктивний. Пускова обмотка вмикається тільки під час пуску, щоб створити обертове магнітне поле.

Конденсаторний (двофазний) асинхронний двигун відрізняється від однофазного тим, що на статорі в нього дві однакові обмотки. В одну з них вмикається конденсатор. Обидві обмотки робочі.

Щоб зреверсувати однофазний або конденсаторний двигун, достатньо поміняти місцями кінці однієї з обмоток, які приєднані до однофазної мережі.

**№ 19. Синхронні трифазні генератори** використовують на електростанціях для одержання електричної енергії. Трифазний синхронний генератор складається з нерухомої частини статора, рухомої частини ротора і двох підшипникових щитів. Статор має станину, осердя, виготовлене з листів електротехнічної сталі, в пазах якого розміщена трифазна обмотка. Ротор складається з вала, полюсних осердь, обмотки збудження, кінці якої припаяні до двох контактних кілець. Об контактні кільця труться графітні щітки, за допомогою яких до обмотки збудження підводиться постійний струм. Постійний струм, протікаючи по обмотці збудження, намагнічує полюси ротора. При обертанні ротора його магнітне поле буде перетинати трифазну обмотку й індуктувати в ній трифазну зміну е.р.с.

Е.р.с, яка індуктується в трифазній обмотці  $E$ , прямо пропорційна частоті обертання ротора  $n$  і магнітному потоку ротора  $\Phi$ .

У синхронних генераторах, з машинним збудженням постійний струм для обмотки збудження виробляється генератором постійного струму, вал, якого з'єднаний з валом генератора.

У генераторах із самозбудженням частина трифазного змінного струму, який виробляється генератором, випрямляється і подається на обмотку збудження.

Як видно з характеристики холостого ходу генератора, із збільшенням струму збудження е.р.с. генератора зростає. Змінюючи струм збудження, регулюють напругу генераторів.

Із зовнішньої характеристики синхронного генератора видно, що із збільшенням навантаження активного  $R$  і індуктивного  $X_L$  навантаження напруга на генераторі зменшується, а при збільшенні ємнісного навантаження  $X_C$  — зростає. Причина цьому — реакція якоря, яка виникає в генераторі, коли він працює під навантаженням. На електростанціях, як правило, не один, а кілька генераторів, які ввімкнені паралельно. Щоб увімкнути генератори на паралельну роботу, необхідно виконати такі умови:

- частоти струмів генераторів повинні бути однаковими (змінюють частоту, змінюючи частоту обертання ротора генератора);

- напруги генераторів повинні бути однаковими (змінюють напругу генератора, змінюючи струм в обмотці збудження);

- повинне бути правильне чергування фаз (щоб виконати цю умову, користуються фазопоказчиками);

- у момент вмикання генераторів на паралельну роботу напруги повинні бути у протифазі (цієї умови досягають за допомогою синхроскопа, який зображений на рисунку). Рубильник вмикають у той момент, коли лампочки гаснуть.

Трифазний синхронний двигун за будовою нічим не відрізняється від будови

трифазного синхронного генератора.

Якщо по трифазній обмотці статора пропустити трифазний струм, то утвориться обернене магнітне поле. По обмотці збудження ротора, пропускають постійний струм і ротор намагнічується. Взаємодія обертового магнітного поля з магнітним полем ротора примусить ротор обертатися у той бік, що й обертове магнітне поле, і з такою ж частотою. Синхронні двигуни мають такі властивості:

- частота обертання ротора не залежить від навантаження;
- високий  $\cos \varphi$ ;
- використовуються як компенсатори для підвищення  $\cos \varphi$  (для цього двигун працює без навантаження і на обмотку збудження дають великий струм);
- відсутній пусковий момент.

Для пуску синхронних двигунів використовують асинхронний пуск синхронного двигуна. Для цього на роторі, крім обмотки збудження, встановлюють короткозамкнену обмотку. В момент пуску на обмотку збудження не подають постійний струм і двигун працює, як асинхронний. Після пуску двигуна подають постійний струм на обмотку збудження і він починає працювати як синхронний.

Крім трифазних синхронних двигунів, застосовують синхронні двигуни малої потужності. До них належать синхронні двигуни з постійними магнітами і реактивні синхронні двигуни.

Синхронний двигун з постійними магнітами складається із статора, ротора та двох підшипникових щитів. Статор має станину, осердя, дві обмотки, в одну з яких увімкнено конденсатор. Ротор являє собою постійний магніт і короткозамкнену обмотку. При протіканні однофазного струму по обмотках статора утворюється обертове магнітне поле, яке, взаємодіючи з магнітним полем ротора, примусить його обертатися.

Реактивний синхронний двигун відрізняється від попереднього тільки ротором.

**Ротор** — це сталевий циліндр з осьовими вирізами. Завдяки їм магнітне поле статора, протікаючи по шляху найменшого опору, примусить обертатися ротор з такою ж швидкістю, з якою обертається магнітне поле статора.

**№ 20. Генератор постійного струму** складається із статора, якоря та двох підшипникових щитів. Якщо по обмотці збудження статора пропустити постійний струм, то утвориться магнітне поле. При обертанні якоря його обмотка буде перетинатися магнітним полем статора і в ній індуктуватиметься змінна е.р.с, яка за допомогою колектора і графітних щіток перетвориться на постійну.

Е.р.с.  $E$ , яка індукується в генераторі, прямо пропорційна частоті обертання якоря  $n$  і магнітному потоку статора  $\Phi$ . Як видно з характеристики холостого ходу, е.р.с. генератора прямо пропорційна струму в обмотці збудження. Генератори постійного струму бувають із збудженням: незалежним, паралельним, змішаним.

У генераторі з незалежним збудженням струм на обмотку збудження подається від стороннього джерела постійного струму. За допомогою реостата, ввімкненого послідовно з обмоткою збудження, регулюють напругу генератора. Як видно із зовнішньої характеристики цього генератора, із збільшенням навантаження на генератор напруга на ньому спадає тільки на 5-6 %.

У генераторі з паралельним збудженням частина постійного струму, який виробляє генератор, подається на обмотку збудження. Ця обмотка ввімкнена паралельно обмотці якоря. Реостатом  $R$  регулюють напругу генератора. Із збільшенням навантаження на генератор з паралельним збудженням напруга падає на

8-15 %.

У генераторі із змішаним збудженням є дві обмотки збудження, одна з них увімкнена послідовно з обмоткою якоря, а друга – паралельно. У цьому генераторі, підбираючи число витків обмоток збудження, можна досягти, щоб із збільшенням навантаження напруга генератора трохи зростала.

Двигуни постійного струму за своєю будовою нічим не відрізняються від генераторів постійного струму. Якщо по обмотці збудження двигуна пропустити постійний струм, то утвориться магнітне поле статора. Через графітні щітки і колектор підводять постійний струм до обмотки якоря, по якій протікає струм, що взаємодіє з магнітним полем статора і примушує якір обертатися. За допомогою колектора і графітних щіток змінюється напрямок струму у витках обмотки якоря, коли вони виходять із зони дії одного полюса і входять у зону дії іншого.

Обертний момент двигуна постійного струму прямо пропорційний магнітному потоку  $\Phi$  і струму в обмотці якоря  $I_a$ . При роботі двигуна постійного струму в обмотці якоря індуктується протидіюча е.р.с.  $E_{np}$ . Вона буде трохи менша за напругу, прикладену до обмотки якоря, і спрямована у протилежний бік. Струм, який протікає по обмотці якоря двигуна, дорівнює різниці напруги  $U$ , прикладеної до обмотки якоря і протидіючої е.р.с.  $E_{np}$ , розділеній на опір обмотки якоря. Частота обертання якоря  $n$  двигуна постійного струму прямо пропорційна напрузі мережі  $I$  обернено пропорційна магнітному потоку статора  $\Phi$ .

Регулюють частоту обертання якоря, змінюючи струм збудження. Із збільшенням струму збудження зростає магнітний потік статора, а частота обертання якоря зменшується і навпаки.

У двигунах постійного струму відбуваються такі втрати:

- $\Delta P_{el}$  електричні, на нагрівання обмоток якоря і збудження;
- $\Delta P_{mag}$  магнітні, на розсіювання магнітного потоку і утворення вихрових струмів в осерді якоря;
- $\Delta P_{mex}$  механічні, на тертя у підшипниках ротора і опір повітря обертанню якоря.

Двигуни постійного струму бувають із збудженням: паралельним, послідовним, змішаним. У двигунах постійного струму з паралельним збудженням обмотка увімкнена паралельно обмотці якоря. Реостат  $R_n$  вмикають у момент пуску, щоб не згоріла обмотка якоря. Реостатом  $R_p$  регулюють частоту обертання якоря двигуна. Як видно з характеристики цього двигуна, із збільшенням навантаження частота обертання якоря знижується на 3-5 %, а обертний момент, навпаки, зростає. Недоліком цих двигунів є те, що вони ідуть в рознос при обриві в колі обмотки збудження. У двигунах з послідовним збудженням обмотка збудження увімкнена послідовно з обмоткою якоря. Реостат  $R_{n,p}$  використовується як пусковий та для регулювання частоти обертання якоря.

Як видно з характеристик цього двигуна, із збільшенням навантаження обертний момент різко зростає, а частота обертання якоря, навпаки, зменшується. Двигун з послідовним збудженням може йти в рознос при роботі без навантаження. У двигуні постійного струму із змішаним збудженням одна обмотка збудження увімкнена послідовно, а друга — паралельно до обмотки якоря.

Перевага цього двигуна у тому, що він не йде в рознос, недоліком є його складна конструкція. Двигуни постійного струму широко застосовують на електротранспорті.

# **РАДІОЕЛЕКТРОНІКА**

**№ 1.** На електрон, розміщений в електричному полі, діє сила, внаслідок чого електрон рухається назустріч електричному полю в напрямку, протилежному вектору напруженості поля.

Швидкість електрона в електричному полі зростає прямо пропорційно кореню квадратному з напруги між початковою і кінцевою точками шляху.

Якщо початкова швидкість електрона спрямована перпендикулярно лініям електричного поля, то під дією цього поля траєкторія руху електрона буде відхилятися в бік анода. **Анод** — позитивний електрод, **катод** — негативний.

На електрон, який рухається в магнітному полі, діє сила  $F$ . Напрямок її знаходять за правилом «свердлика»: якщо обертовий рух свердлика спрямований від вектора напруженості магнітного поля  $H$  до напрямку початкової швидкості електрона  $v_0$ , то поступальний рух свердлика збігається з напрямком дії сили  $F$ .

В електричному полі сила  $F$  на електрон не діє, якщо початкова швидкість електрона дорівнює нулю  $v_0=0$  або коли електрон рухається паралельно вектору напруженості магнітного поля  $H$ .

Якщо початкова швидкість руху електрона перпендикулярна вектору напруженості магнітного поля, то на електрон буде діяти сила  $F$ , що примусить електрон рухатися по колу.

Якщо початкова швидкість руху електрона спрямована під кутом  $\alpha$  до вектора напруженості магнітного поля, то на електрон буде діяти сила, яка примусить його рухатися по спіралі від північного полюса до південного.

**Електронною емісією** називається виривання електронів з поверхні металу. Термоелектронна емісія виникає внаслідок нагрівання металу до певної температури. Вторинною електронною емісією називається вибивання електронів внаслідок ударів їх об метал. Фотоелектронна емісія виникає внаслідок дії на деякі метали світлової енергії. Автоелектронна емісія відбувається під дією сильного електричного поля.

**Лампа діод** має скляний або металевий балон з вакуумом, анод, катод і нитку розжарювання катода. Якщо між катодом і анодом прикласти пряму напругу  $U_a$  (до анода плюс, а до катода мінус), а до нитки розжарювання напругу  $U_n$ , то з нагрітого катода вириватимуться електрони, які під дією електричного поля будуть рухатися від катода до анода і в анодному колі діода протікатиме анодний струм  $I_a$ .

Якщо між катодом і анодом прикласти зворотну напругу (до анода мінус, а до катода плюс), то електрони, які вириваються з катода під дією електричного поля, спрямовуються до катода. В анодному колі струм не протікає. Лампу діод використовують для випрямлення змінного струму на постійний.

Електрони, які рухаються від катода до анода, утворюють негативний просторовий заряд (електронну хмарку), який дещо гальмує рух електронів від катода до анода. Із збільшенням анодної напруги  $U_a$  анодний струм  $I_a$  зростає, але при дальшому збільшенні анодної напруги електричне поле настільки зростає, що електронна хмарка зникає, і всі електрони, які вирвалися з катода, потрапляють на анод, а анодний струм не зростає.

У **ламні триоді** між катодом і анодом є сітка, яка керує анодним струмом. Електрони, що вириваються з нагрітого катода, пролітають крізь сітку до анода. Кількість електронів, що долетіли до анода, залежить від напруги на сітці. Як правило, до керуючої сітки прикладають невелику негативну напругу  $U_c$ , яка гальмує рух електронів від катода до анода. Чим більша негативна напруга на сітці, тим менше електронів переходить до анода і тим менший анодний струм.

Якщо між катодом і сіткою ввімкнути джерело малої змінної напруги  $U_{ex}$ , то потенціал сітки буде змінюватися, що призведе до зміни анодного струму. Цей анодний струм, протікаючи по резистору  $R_a$ , створить на ньому спад напруги, яка за своєю формою буде така сама, як  $U_{ex}$ , тільки значно більша, тобто лампа тріод підсилить вхідний сигнал.

**№ 2. Лампа тетрод** відрізняється від лампи тріода наявністю між анодом  $A$  і керуючою сіткою  $УС$  екрануючої сітки  $ЕС$ . На цю сітку подають позитивну напругу, яка становить  $(0,5-0,8)U_a$ . У лампі тетроді порівняно із лампою, тріодом, більший коефіцієнт підсилення і менша ємність між керуючою сіткою і анодом. Використовується тетрод для підсилення електричних сигналів високої частоти.

Недоліком тетрода є динатронний ефект, який полягає в тому, що збільшення анодної напруги понад  $10-20 В$  призводить до зменшення анодного струму.

У променевих тетродах для зменшення динатронного ефекту збільшують просторовий заряд між анодом і екрануючою сіткою. Для цього збільшують відстань між екрануючою сіткою і анодом та встановлюють спеціальні екрани  $E$ , з'єднані з катодом.

У **пентодах** динатронний ефект зменшують встановленням між анодом і екрануючою сіткою захисної сітки  $ЗС$ , яка з'єднана з катодом.

Променеві тетроди і пентоди використовують як підсилювачі електричних сигналів.

**Багатосіткові лампи** — гексоди, октоди, гептоди — використовують у перетворювачах частоти. У комбінованих лампах в одному балоні знаходяться дві, три, чотири лампи.

**Електронно-променева** трубка складається зі скляного балона, з якого викачане повітря, екрана  $E$ , вкритого люмінофором, катода  $K$ , керуючого електрода  $KE$ , двох анодів  $A_1$ ,  $A_2$ , пластин, що відхиляють електронний промінь вертикально  $ВВП$  і горизонтально  $ГВП$ . З нагрітого катода вириваються вільні електрони. Аноди фокусують ці електрони в промінь і прискорюють їх рух до екрана. Вдаряючись об екран, електронний промінь примушує його світитися. На пластини, що відхиляють промінь горизонтально і вертикально, подають змінну напругу, яка відхиляє електронний промінь зліва направо і зверху вниз. Змінюючи негативну напругу на керуючому електроді, змінюють кількість електронів у промені, що приводить до зміни яскравості світіння екрана.

Прилади, в яких носіями електричних зарядів є електрони і іони, називаються **іонними** або **газорозрядними**. В іонних приладах балон заповнений інертним газом або парама ртуті із пониженим тиском. У балоні іонного приладу з холодним катодом завжди є певна кількість вільних електронів у результаті іонізуючої дії космічних променів. Якщо між катодом і анодом прикласти анодну напругу  $U_a$ , то електрони, рухаючись від катода до анода, на своєму шляху будуть стикатися з атомами інертного газу та іонізувати його. Вибиті з атомів електрони спрямовуються до анода, а іони — до катода. Позитивні іони, ударяючись об катод, вибивають із нього вторинні електрони. Одночасно з іонізацією в приладі відбувається рекомбінація електронів та іонів. При цьому виділяється енергія у вигляді світла.

**Стабілітрон** — іонний прилад тліючого розряду. Він складається з балона, заповненого інертним газом, анода і холодного катода. На деякій ділянці характеристики стабілітрона спад напруги на ньому не залежить від струму, що протікає по ньому. Стабілітрони використовують для стабілізації напруги в колах



постійного струму.

**Тиратрон** — це трьохелектродний іонний прилад з холодним або розжарювальним катодом. Сітка тиратрона потрібна для того, щоб його запалити (на неї подають позитивну напругу). Після цього сітка втрачає свої керуючі властивості, оскільки її заряд нейтралізується електронами, які йдуть від катода до анода. Погасити тиратрон можна лише зменшенням анодної напруги. Тиратрони використовують у швидкодіючих реле, для регулювання випрямленої напруги.

**Знаковий індикатор** — це іонний прилад, призначений для відображення цифрової або іншої інформації. У знакових індикаторах анод у вигляді сітки з тонкого дроту розміщують з боку зчитування, а катоди 0...9 у вигляді плоских цифр встановлюють паралельно аноду один за одним. **Індикатори тліючого розряду** — це двохелектродні іонні лампи. Їх використовують як індикатори напруги.

**№ 3. Фотоелементами** називаються прилади, які перетворюють світлову енергію в енергію електричного струму. Дія фотоелементів ґрунтується на використанні трьох видів фотоелектричних ефектів: зовнішнього, внутрішнього і вентильного.

**Зовнішній фотоелектричний ефект** — це властивість речовини емітувати електрони під дією світлового потоку.

**Внутрішній фотоелектричний ефект** — це зміна провідності напівпровідників при зміні інтенсивності світлового потоку, що падає на них.

**Вентильний фотоелектричний ефект** — виникнення електрорушійної сили на  $p-n$  переході при дії на нього світлового потоку.

Фотоелемент із зовнішнім фотоелектричним ефектом складається зі скляної колби (балону), з якої викачане повітря. Частина балона всередині вкрита окисом цезію. Це покриття є катодом. Анод має форму кільця. Чим більший світловий потік падає на катод, тим більше з нього виривається електронів, які йдуть до анода, тим більший струм протікає в анодному колі.

У фотопомножувачі між фотокатодом  $\Phi K$  і анодом  $A$  може знаходитися кілька діодів, на які подається позитивна напруга тим більша, чим ближче розташований діод до анода. Під дією світла з фотокатода вириваються електрони, які падають на діод  $D_1$  і вибивають з нього вторинні електрони. Ці електрони, в свою чергу, падають на діод  $D_2$  і вибивають з нього вторинні електрони і так далі. Один електрон вибиває 8-12 вторинних електронів. Тому струм, який протікає по навантаженню фотопомножувача, набагато більший за струм фотокатода.

У фотоелементі з внутрішнім фотоелектричним ефектом зі збільшенням світлового потоку збільшується кількість вільних електронів і дірок. Тобто, опір фоторезистора обернено пропорційний світловому потоку. В фотоелементі з вентильним фотоелектричним ефектом між напівпрозорим шаром золота і селеном утворюється  $p-n$  перехід. При освітленні його на електродах з'являється електрорушійна сила.

Всі напівпровідникові прилади мають, один або кілька  $p-n$  переходів. Якщо до  $p-n$  переходу прикласти пряму напругу (до напівпровідника типу  $n$  — мінус, а до напівпровідника типу  $p$  — плюс), то опір  $p-n$  переходу зменшиться і через нього буде протікати струм. Якщо ж до  $p-n$  переходу прикласти зворотну напругу (до напівпровідника типу  $n$  — плюс, а до напівпровідника типу  $p$  — мінус), то опір  $p-n$  переходу дуже зросте і струм через нього майже протікати не буде. Якщо зворотна напруга перевищить максимально допустиму, то  $p-n$  перехід проб'ється. Його опір різко зменшиться, а струм збільшиться. Ємність  $p-n$  переходу прямо пропорційна площі  $p-n$  переходу і обернено пропорційна його товщині. Зі збільшенням зворотної напруги ємність  $p-n$  переходу зменшується.

Напівпровідниковий діод має один  $p-n$  перехід. У кристал германію або кремнію типу  $n$  вплавають краплю індію і на деякій площині одержують  $p-n$  перехід. Розміщений кристал у металевому або пластмасовому корпусі. У діода два виводи — катод і анод.

У точковому діоді кристала германію  $n$  торкається вольфрамовий дріт, у цій точці утворюється  $p-n$  перехід. Мала ємність точкових діодів дає можливість випрямляти струми великої частоти.

**№ 4. Транзистор** — це напівпровідниковий прилад, в якому два  $p-n$  переходи і три області. Середня область називається **базою**, а крайні — **емітером** і **колектором**. Транзистори бувають двох типів  $p-n-p$  і  $n-p-n$ . Розглянемо роботу транзистора типу  $p-n-p$  як підсилювача електричних сигналів. До емітерного  $p-n$  переходу прикладемо пряму напругу  $U_{еб}$ , а до колекторного — зворотню  $U_{кб}$ . Опір емітерного  $p-n$  переходу зменшиться, а колекторного збільшиться. При виготовленні транзистора треба, щоб кількість вільних електронів у базі була набагато меншою, ніж дірок в емітері. Під дією прямої напруги  $U_{еб}$  дірки з емітера йтимуть у базу, а електрони — з бази в емітер. Оскільки концентрація дірок в емітері набагато більша за концентрацію електронів у базі, то тільки частина дірок рекомбінує з електронами. Решта дірок проскакує тоненьку базу (4-5 мкм), не встигнувши рекомбінувати з електронами, і досягає колекторного  $p-n$  переходу. Потрапляючи під дію поля, яке утворює напруга  $U_{кб}$ , дірки втягуються в область колектора і утворюють колекторний струм.

Чим більша пряма напруга  $U_{еб}$ , тим більше дірок з емітера потрапляє в колектор і тим більший струм протікатиме в колекторі.

Якщо між емітером і колектором послідовно з  $U_{еб}$  увімкнути мале джерело змінної напруги, то напруга на емітерному  $p-n$  переході весь час змінюватиметься, що призведе до зміни колекторного струму. Цей струм, протікаючи по навантаженню  $R_n$ , створить на ньому спад напруги. Остання за своєю формою буде така сама, як напруга малого джерела змінної напруги, тільки значно більша за неї, тобто відбудеться підсилення електричного сигналу.

Транзистори можуть працювати у трьох основних схемах вмикання: зі **спільною базою**, зі **спільним емітером** і **спільним колектором**. При роботі з транзисторними схемами використовують вхідні і вихідні характеристики. Вхідна характеристика транзистора, ввімкненого зі спільним емітером, показує, залежність струму бази  $I_b$  від напруги між базою і емітером  $U_{бе}$  при постійній нарузі між колектором і емітером  $U_{ке}$ . Вихідна характеристика транзистора, ввімкненого зі спільним емітером, показує залежність струму колектора  $I_k$  від напруги між колектором і емітером  $U_{ке}$  при постійному струмі бази  $I_b$ .

Динамічними характеристиками транзистора визначається режим роботи транзистора, у вихідному колі якого є навантаження, а на вхід подається підсилюючий сигнал. Динамічний режим відрізняється від статичного сильним взаємним впливом параметрів транзистора і елементів схеми.

Динамічну вихідну характеристику будують на статичних вихідних характеристиках. Точку  $A$  знаходять, прийнявши  $U_{ке}=0$ , тоді  $I_k=E_k/R_n$ . Положення точки  $B$  визначають при  $I_k=0$ , при цьому  $U_{ке}=E_k$ . Пряма  $AB$  і є динамічною характеристикою.

**№ 5. Польові транзистори** мають дві області типу  $n$  типу  $p$  та один  $p-n$  перехід. У цього транзистора три виводи: витік  $B$ , стік  $C$  і затвор  $З$ . У польових транзисторах на відміну від біполярних у перенесенні струму беруть участь тільки

електрони, якщо транзистор з каналом  $n$ , або тільки дірки, якщо транзистор з каналом типу  $p$ . Розглянемо роботу польового транзистора з каналом типу  $n$  як підсилувача електричних сигналів. Між витокom і стоком прикладена напруга  $U_{вс}$ , і електрони від витокu через канал ідуть до стоку, утворюючи струм стоку. Між витокom і затвором прикладена зворотна напруга  $U_{вз}$  до  $p$ - $n$  переходу. Чим більша ця напруга, тим вужчим стає канал між витокom і стоком і тим меншим буде струм стоку. Якщо між витокom і затвором послідовно з напругою  $U_{вз}$  прикласти вхідний змінний сигнал  $U_{вх}$ , то напруга на  $p$ - $n$  переході буде весь час змінюватися, що призведе до зміни площі перерізу каналу і струму стока, що протікає по резистору  $R_B$ . У ньому відбудеться спад напруги, яка буде за формою такою ж як і вхідна  $U_{вх}$ , тільки значно більшою. В результаті підсилиться сигнал. Важливою перевагою польового транзистора є його великий вхідний опір.

**Стабілітрон** — кремнієвий діод. Якщо до стабілітрона прикласти малу зворотну напругу, то струм через стабілітрон майже не протікає. Якщо зворотна напруга буде дорівнювати напрузі стабілізації  $U_{ст}$ , то внаслідок електричного пробую  $p$ - $n$  переходу струм різко зросте. На ділянці  $AB$  напруга, яка падає на стабілітроні  $U_c$ , не залежить від протікаючого по ньому струму. Ділянка характеристики  $AB$  називається робочою. Стабілітрони використовуються для стабілізації напруги. Електричний пробій  $p$ - $n$  переходу після пробую відновлюється, якщо напруга, прикладена до стабілітрона, стане меншою  $U_c$ .

**Варікап** є напівпровідниковим діодом, у якого  $p$ - $n$  перехід використовується як електрично керована ємність. Якщо до варікапа прикласти, зворотну напругу і змінювати її, то ємність  $p$ - $n$  переходу змінюватиметься обернено пропорційно зворотній напрузі.

**Світлодіоди** — це напівпровідникові діоди, виготовлені з карбїду кремнію, арсенїду галїю або фосфїду галїю. Якщо до такого діода прикласти пряму напругу, то електрони, потрапляючи з області типу  $n$  в область типу  $p$ , рекомбїнують з дірками. При цьому виділяється енергія на утворення світла і нагрівання світлодіода. Зї збільшенням прямої напруги, прикладеної до світлодіода, зростає струм, що протікає по світлодіоду, і збільшується інтенсивність світіння.

Принцип дії **фотодїодів** ґрунтується на внутрішньому фотоефекті. Під дією світла збільшується кількість електронів і дірок у  $p$ - $n$  переході. Якщо до фотодїода прикласти зворотну напругу, то зворотний струм, що протікатиме по фотодїоду, буде тим більший, чим більший світловий потік падає на фотодїод. Такий режим роботи називається фотодїодним. Крім того, використовують фотогальванічний режим, який полягає в тому, що при освітленні  $p$ - $n$  переходу світлодіода утворюється фотоелектрорушійна сила.

Фотодїоди використовують у схемах автоматики, в перетворювачах світлової енергії на електричну.

**№ 6. Ідеальний коливальний контур** — це замкнене електричне коло, в яке входить котушка індуктивності  $L$  і конденсатор  $C$ . Якщо зарядити конденсатор коливального контура, то в ньому виникнуть електричні коливання струму і напруги. Частота коливань  $f_0$  залежить від індуктивності котушки і ємності конденсатора. При цьому енергія електричного поля конденсатора  $W_C$  перетворюється на енергію магнітного поля котушки  $W_L$  і навпаки. В ідеальному контурі  $W_C = W_L$ . Підставивши замість  $W_C$  і  $W_L$  їх значення, знайдемо хвильовий опір  $p$ .

У реальному контурі, крім індуктивності і ємності, є ще й активний опір

$R$ . Він є у котушках індуктивності і з'єднувальних провідниках. У реальному контурі колювання будуть затухаючими тому, що струм, протікаючи по активному опорі, буде нагрівати його і частина електричної енергії весь час перетворюватиметься на теплову і втрачатиметься.

**Добротність контура  $Q$**  — це відношення хвильового опорі контура до активного. Чим більша добротність, тим кращий контур.

**Послідовним коливальним контуром** називається контур, в якому котушка індуктивності, ємність і активний опір ввімкнені послідовно із джерелом змінної напруги  $E$ .

$Z$  — загальний опір послідовного коливального контура;

$U$  — загальна напруга, прикладена до коливального контура;

$I$  — загальний струм коливального контура.

У послідовному коливальному контурі настає резонанс напруг за умови, коли індуктивний опір котушки  $X_L$  дорівнює ємнісному опорі конденсатора  $X_C$ . Резонанса напруг можна досягти, змінюючи індуктивність котушки  $L$ , ємність конденсатора  $C$ , або якщо частота струму джерела змінної напруги становить

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

При резонансі напруг загальний опір коливального контура зменшиться і буде дорівнювати активному опорі. Струм у контурі зросте. Спад напруг на котушці  $U_L$  і конденсаторі  $U_C$  зрівняються і будуть у  $Q$  разів більшими за е.р.с. джерела, ввімкненого в цей контур.

Смугою пропускання  $\Pi$  називається спектр частот, в межах якого загальний опір контура більший, ніж при резонансі, але не більш як у  $\sqrt{2}$  разів.

У паралельному контурі котушка індуктивності і конденсатор ввімкнені паралельно джерелу змінної напруги  $E$ . Резонанс струмів настане за умови, якщо індуктивний опір котушки  $X_L$  дорівнює ємнісному опорі конденсатора  $X_C$ . Цієї умови можна досягти, змінюючи індуктивність котушки, ємність конденсатора або якщо частота струму джерела  $E$  дорівнює власній частоті контура  $f_0$ .

При резонансі струмів загальний (еквівалентний) опір контура буде дорівнювати добутку добротності контура і хвильового опорі. Струм, що протікає по котушці  $I_L$ , дорівнюватиме струму, що протікає по конденсатору  $I_C$ , і ці струми будуть у  $Q$  разів більшими за загальний струм  $I$ .

У паралельному контурі залежно від співвідношень між внутрішнім опором джерела змінної напруги і еквівалентним опором контура  $R$  резонансні криві будуть різними.

**Смугою пропускання за струмом** називається спектр частот, в межах якого струм  $I$  в коливальному контурі відрізняється від свого резонансного значення, але не більше як у  $\sqrt{2}$  разів.

**Смугою пропускання за напругою** називається спектр частот, у межах якого напруга контура  $U_K$  відрізняється від свого резонансного значення, але не більш як у  $\sqrt{2}$  разів.

**№ 7. Зв'язаними коливальними контурами** називаються такі два контури, в яких енергія з одного контура передається в інший, і навпаки. Контур, в якому знаходиться джерело енергій, називається **первинним**, а контур, в якому знаходиться споживач енергій, називається **вторинним**. Ступінь взаємного впливу двох зв'язаних контурів кількісно враховується коефіцієнтом зв'язку  $k_{ЗВ}$ .

При трансформаторному зв'язку контурів змінний магнітний потік котушки  $L_1$

наводить е.р.с, в котушці  $L_2$ . Наведена е.р.с. збуджує коливання у вторинному контурі.

При автотрансформаторному зв'язку контурів напруга, яка живить вторинний контур, знімається з котушки  $L_{3B}$ .

При ємнісному внутрішньому зв'язку напруга, яка живить вторинний контур, знімається з конденсатора  $C_{3B}$ . При ємнісному зовнішньому зв'язку струм відгалужується від первинного контура до вторинного через ємність  $C_{3B}$  і збуджує коливання у вторинному контурі.

Якщо вторинний контур настроєний в резонанс із частотою джерела, то його вплив на первинний контур можна розглядати як внесення в первинний контур деякого додаткового активного опору.

Якщо вторинний контур не настроєний в резонанс із частотою джерела, то він вносить до первинного контура не тільки активний опір, але й реактивний. При цьому, якщо опір вторинного контура має індуктивний характер, то він вносить у первинний контур ємнісний опір, і навпаки. Звідси видно, що розстроєний вторинний контур порушує настройку первинного контура. Як видно з резонансних кривих для зв'язаних коливальних контурів, смуга пропускання  $\Pi$  у  $1,4-3,1$  рази більша, ніж в одиночному контурі.

Радіохвилі поділяють на довгі  $ДХ$ , середні  $СХ$ , короткі  $КХ$  і ультракороткі  $УХ$ .

Антени бувають передавальні і приймальні. Передавальна антена призначена для перетворення струму високої частоти на енергію випромінюваних нею електромагнітних хвиль. Приймальна антена призначена для перетворення прийнятих нею електромагнітних хвиль на енергію струму високої частоти. Одна й та ж антена може бути використана по чергово для передачі і приймання електромагнітних хвиль. У замкненому коливальному контурі струм в окремих його елементах буде спрямований у протилежні боки, такий контур електромагнітних хвиль випромінювати не буде, оскільки вони будуть взаємно знищуватись.

Якщо змінити будову коливального контура так, щоб струм в окремих його елементах мав однаковий напрямок, тоді електромагнітні хвилі будуть випромінюватися.

**№ 8.** Підвищити амплітуду електричних коливань до потрібної величини можна за допомогою **підсилювачів**. Найчастіше використовують підсилювачі на напівпровідникових приладах. Підсилювач може складатися з кількох каскадів. **Каскад** — це підсилюючий елемент і конденсатори, резистори, необхідні для його роботи.

За призначенням підсилювачі поділяють на підсилювачі напруги, струму і потужності.

Підсилювачі напруги забезпечують на навантаженні задану амплітуду напруги, їх часто називають попередніми підсилювачами. Підсилювачі струму підвищують струм у навантаженні порівняно із входним. Підсилювач потужності підвищує потужність на виході і віддає потужність безпосередньо у навантаження, тому його називають вихідним підсилювачем. Коефіцієнт підсилення струму  $K_I$  дорівнює відношенню струмів на виводі і вході підсилювача.

Коефіцієнт підсилення напруги  $K_U$  — це відношення напруги на виході підсилювача до напруги на його вході.

Коефіцієнт підсилення потужності  $K_P$  — це відношення потужності на виході підсилювача до потужності сигналу на його вході. Якщо підсилювач складається з кількох каскадів, то загальний коефіцієнт підсилення  $K_{OB}$  дорівнює добутку коефіцієнтів усіх каскадів. Якщо ж коефіцієнт підсилення вимірюється в децибелах, то загальний коефіцієнт підсилення  $K_{об.дб}$  дорівнює сумі коефіцієнтів підсилення всіх каскадів.

Номінальна вихідна потужність підсилювача  $P_H$  — це найбільша потужність, яку віддає підсилювач навантаженню, при цьому спотворення сигналу не перевищує заданої величини.

**Чутливість** — це така мінімальна амплітудна вхідна напруга, при якій підсилювач віддає навантаженню номінальну потужність.

**Коефіцієнт корисної дії** (ККД) підсилювача — це відношення корисної потужності, яку розвиває підсилювач  $P_H$  до загальної потужності  $P$ , яку підсилювач споживає.

При підсиленні електричних сигналів підсилювач дещо спотворює їх. Спотворення бувають: нелінійні, частотні і фазові. Нелінійні спотворення викликають нелінійні характеристики підсилюючих елементів (транзисторів). Наявність у схемах підсилювачів реактивних елементів — ємностей і індуктивностей — призводить до частотних спотворень. Відбувається неоднакове підсилення сигналів різних частот. Фазові спотворення, як і частотні, виникають у підсилювачі внаслідок наявності в схемі реактивних елементів, які вносять різні фазові зсуви на різних частотах.

У резисторному попередньому каскаді підсилення на біполярному транзисторі типу  $p-n-p$ , ввімкненому в схему зі спільним емітером, резистори  $R_1$  і  $R_2$  призначені для вибору робочої точки транзистора, положення якої залежить від постійної напруги на базі транзистора і напруги на колекторі. Струм, що проходить по резистору  $R_2$  подільника напруги  $R_1R_2$  створює на  $R_2$  спад напруги. Ця напруга буде прямою відносно емітерного переходу транзистора. Резистор  $R_3$ , ввімкнений в коло емітера транзистора, є термостабілізуючим. При підвищенні температури число неосновних носіїв у  $p-n$  переходах транзистора зростає і підвищується струм колектора. Підвищення струму колектора призводить до зростання спаду напруги на резисторі  $R_3$ . Ця напруга буде зворотною відносно емітерного  $p-n$  переходу транзистора. В результаті відбувається підзапірання емітерного переходу і зменшення струму колектора. Конденсатор  $C_3$  шунтує резистор по змінному струму, запобігаючи зворотному зв'язку. Підсилена напруга знімається з колекторного навантаження  $R_4$  і подається на вхід другого каскаду через конденсатор  $C_2$ , який не пропускає на вхід наступного каскаду постійної складової напруги. Конденсатор  $C_1$  не пропускає постійний струм з підсилюючого каскаду до джерела вхідного сигналу  $U_{ВХ}$ . Транзистор  $VT$  — підсилюючий елемент. Робота підсилювача на біполярному транзисторі  $n-p-n$  аналогічна, тільки змінена полярність джерела колекторної напруги  $E_K$ .

У резистивних підсилюючих каскадах на польових транзисторах найчастіше застосовують схему вмикання зі спільним стоком. Підсилюючим елементом у цій схемі є польовий транзистор  $VT$ . Резистор  $R_3$  і конденсатор  $C_3$  мають функцію термостабілізації. Вибір режиму роботи здійснює резистор  $R_1$ . Конденсатори  $C_1$ ,  $C_2$  мають таку ж функцію як в схемі підсилювача на біполярному транзисторі. Резистор  $R_2$  є навантаженням підсилювача.

№ 9. Залежно від вибору робочої точки на характеристиці розрізняють три основних режими роботи підсилюючого каскаду:  $A$ ,  $B$  і  $AB$ . У підсилювачах, вихідна потужність яких не перевищує  $1-3 \text{ Вт}$ , використовується режим підсилення  $A$ . Він характеризується тим, що робоча точка обирається на середині прямолінійної ділянки характеристики. Це зменшує спотворення підсилювача. Проте енергетично такий режим не вигідний, оскільки при відсутності на вході каскаду змінної напруги в транзисторі протікає великий струм спокою і потужність джерела витрачається без користі.

Якщо підсилювач працює в режимі  $B$ , то робоча точка транзистора обирається на початку вхідної характеристики і струм спокою дорівнює нулю. У цьому режимі підсилюється тільки один півперіод змінної напруги, яка подається на вхід підсилюючого каскаду. В режимі  $B$  великий ККД підсилювача ( $60-70 \%$ ), але значні нелінійні спотворення сигналу, внаслідок чого режим  $B$  використовується в потужних двотактних каскадах.

Режим  $AB$  — є проміжним між режимом  $A$  і  $B$ . Вихідний однотоктний трансформаторний підсилювач відрізняється від резистивного попереднього лише наявністю вихідного трансформатора  $T$ , який узгоджує опір навантаження  $R_4$  з вихідним опором транзистора. Коефіцієнт трансформації трансформатора  $k$  дорівнює кореню квадратному відношення вихідного опору транзистора  $R_{вих}$  до опору навантаження підсилювача  $R_H$ .

У підсилювачах великої потужності використовують двотактні вихідні трансформаторні підсилювачі. Такий підсилювач має два однакових транзистори  $VT_1$  і  $VT_2$ , подільник колекторної напруги  $R_1$ ,  $R_2$ , за допомогою якого вибирається режим роботи транзисторів. Як правило, обидва транзистори працюють в режимі  $B$  або  $AB$ .  $R_3$  — навантаження підсилювача. Вхідний трансформатор  $T_1$  забезпечує симетричні напруги (однакові за модулем, але протифазні). Вихідний трансформатор  $T_2$  підсумовує змінні вихідні струми і напруги транзисторів. До вторинної обмотки вихідного трансформатора ввімкнено навантаження  $R_3$ .

Двотактна схема має такі переваги порівняно із однотоктною:

- зменшуються нелінійні спотворення, що дозволяє використовувати економічні режими роботи  $B$ ,  $AB$ ;
- зникає фон від пульсації напруги живлення;
- усувається постійне підмагнічування осердя вихідного трансформатора.

Двотактний безтрансформаторний каскад підсилення складається з транзисторів  $VT_1$  типу  $p-n-p$  і  $VT_2$  типу  $n-p-n$  з однаковими параметрами. Транзистори, як правило, вмикаються за схемою із спільним колектором. Резистор  $R_1$  є навантаженням підсилювача.

При позитивній півхвилі сигналу у підсиленні бере участь транзистор  $VT_1$ , а транзистор  $VT_2$  закритий. Струм колектора  $i_{к1}$  транзистора  $VT_1$ , протікаючи по конденсатору  $C$ , заряджає його. При негативній півхвилі сигналу в підсиленні бере участь транзистор  $VT_2$ , а  $VT_1$  закритий. В цей час конденсатор  $C$  виконує роль джерела живлення. По навантаженню  $R_1$  протікатиме змінний струм  $i_n$ , що дорівнює різниці змінних колекторних струмів транзистора  $VT_1$  і  $VT_2$ :  $i_n = i_{к1} - i_{к2}$ .

Оскільки  $i_{к1}$  і  $i_{к2}$  перебувають у протифазі, то при відніманні їх вони підсумовуються.

Щоб у двотактного трансформаторного підсилювача обійтися без вхідного трансформатора, який дає великі нелінійні і частотні спотворення, збільшує габарити і вартість підсилювача, перед двотактним підсилювачем встановлюють фазоінверсний. На виході фазоінверсного підсилювача отримують симетричні

напруги, однакові за величиною і протилежні за фазою. Особливістю цього підсилюючого каскаду є те, що з двох резисторів, з яких знімають навантаження,  $R_4$  — ввімкнений у колектор, а  $R_3$  — в емітер.

Опори цих резисторів, як і ємності конденсаторів  $C_2$  і  $C_3$ , повинні бути однаковими.

**№ 10. Зворотним зв'язком** називається подача напруги з виходу підсилювача на його вхід. Зворотний зв'язок може бути корисним, якщо він поліпшує властивості підсилювача, або шкідливим (паразитивним), якщо він виникає через небажаний вплив різних кіл одне на одне.

**Коефіцієнт зв'язку  $\beta$**  — це відношення напруги зворотного зв'язку  $U_\beta$  до напруги на виході підсилювача  $U_{вих}$ . Зворотний зв'язок може бути позитивним і негативним. При позитивному напруги зворотного зв'язку  $U_\beta$  і на вході підсилювача  $U_{вх}$  збігаються за фазою. Якщо ці напруги будуть у протифазі, то зв'язок буде негативним. При позитивному зворотному зв'язку коефіцієнт підсилення каскаду  $K_{\beta\Pi}$  збільшується, а при негативному  $K_{\beta\Pi}$  — зменшується. Проте негативний зворотний зв'язок зменшує всі види спотворень.

Схеми зворотних зв'язків бувають за струмом, якщо напруга зворотного зв'язку залежить від струму на виході підсилювача, і за напругою, якщо напруга зворотного зв'язку залежить від напруги на виході підсилювача.

Підсилювач з негативним зворотним зв'язком за струмом є звичайним резистивним підсилювачем, в якому резистор температурної стабілізації  $R_3$  не зашунтований конденсатором. Напруга зворотного зв'язку знімається з резистора  $R_3$ . Чим більший струм на виході підсилювача, тим більшою буде напруга зворотного зв'язку.

У підсилювачі з негативним зворотним зв'язком за напругою напругу зворотного зв'язку знімають із резистора  $R_2$ , який входить до подільника напруги  $R_1, R_2$ , ввімкненого на виході каскаду. Чим більша напруга на виході підсилювача, тим більша напруга зворотного зв'язку.

Паразитивний (небажаний) зворотний зв'язок може бути як негативним, так і позитивним. Негативний зв'язок може спричинити непередбачене значне зменшення коефіцієнта підсилення. При позитивному зворотному зв'язку, навпаки, коефіцієнт підсилення збільшується, але разом з тим зростають нелінійні і частотні спотворення сигналу, а також можливе самозбудження підсилювача.

**Радіопередавач** призначений для генерації і випромінювання коливань високої частоти. Радіопередавач складається з таких основних блоків:

- 1) задаючого генератора, який виробляє струми високої частоти;
- 2) підсилювача потужності, який підсилює струми високої частоти до заданої потужності;
- 3) керуючого пристрою, за допомогою якого здійснюється вплив сигналу на коливання високої частоти;
- 4) антени, яка випромінює радіохвилі;
- 5) блока живлення, який живить усі блоки постійним струмом.

Задаючий генератор з індуктивним зворотним зв'язком складається з транзистора  $VT$ , коливального контура  $L_K C_K$ , котушки зв'язку  $L_3$ , за допомогою якої утворюється індуктивний позитивний зворотний зв'язок, резистора  $R_1$ , який вибирає режим роботи транзистора, конденсатора  $C_1$ , який шунтує резистор  $R$  за змінним струмом, конденсатора  $C_2$ , який не допускає паразитивних зворотних зв'язків через джерело живлення  $E_K$ .



У коливальному контурі  $L_K C_K$  виникнуть коливання з частотою  $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ ,

але ці коливання затухаючі. Щоб вони не затухали, потрібно контур у певний час поповнювати електричною енергією від джерела  $E_K$ . Змінний струм, який протікає по котушці контура  $L_K$ , створить навколо неї змінне магнітне поле, яке, перетинаючи котушку  $L_C$ , індукує в ній змінну е.р.с, що буде відкривати або закривати транзистор і приєднувати або вимикати джерело  $E_K$  від контура. В розглянутій схемі задаючого генератора контур і джерело живлення ввімкнені послідовно — це схема послідовного живлення.

Генератор з автотрансформаторним зв'язком виконаний за схемою з паралельним живленням. Режим роботи транзистора вибирається за допомогою резистора  $R$ . Змінна напруга, яка знімається з нижньої частини витків котушки  $L_K$ , через конденсатор  $C$  подається на базу транзистора  $VT$  і в потрібний час відкриває або закриває його, вмикаючи або вимикаючи контур від джерела живлення  $E_K$ . Конденсатор  $C_2$  не допускає утворення паразитивних зворотних зв'язків через джерело живлення  $E_K$ , не пропускаючи крізь нього змінної складової колекторного струму.

У генераторі з кварцевою стабілізацією частоти використовують кристал кварцу, який має п'єзоелектричний ефект. Якщо до металевого кристалотримача прикласти змінний струм, то в кристалі виникнуть механічні коливання, що призведуть до появи змінної напруги на його гранях з частотою залежно від товщини кристала  $b$ . Змінна напруга від коливального контура до кристалотримача передається через конденсатор  $C_1$ . Змінна напруга, яка виникає на кристалі кварцу, буде мати стабільну частоту. Поступаючи на емітерний  $p$ - $n$  перехід транзистора, вона буде підтримувати стійку частоту коливань у контурі.

**№ 11.** Процес керування коливаннями високої частоти при передачі мови, музики або телевізійних сигналів називається **модуляцією**. Змінний струм високої частоти, який протікає в антені передавача при відсутності сигналу, називається **струмом несучої частоти**. Він характеризується певною амплітудою, частотою і фазою. Залежність цього струму від часу може бути виражена рівнянням:

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi),$$

де  $I_m$  — амплітуда струму;  $\omega$  — частота струму;  $\varphi$  — фаза струму.

Сигнали, які передають, можуть впливати на один з цих показників. Відповідно до цього розрізняють амплітудну, частотну і фазову модуляцію.

Амплітудна, модуляція найчастіше використовується при передачі сигналів звукової частоти. Амплітуда струму високої частоти змінюється в такт звуковим коливанням.

Коефіцієнт модуляції  $m$  — це відношення приросту амплітуди струму  $\Delta I_m$  при модуляції до амплітуди струму до модуляції  $I_{m0}$ .

Модульовані коливання є сумою кількох високочастотних коливань із різними частотами і амплітудами. Якщо модуляція здійснюється простим синусоїдальним сигналом з частотою  $F$ , то модульоване коливання містить три складових: коливання несучої частоти  $f_0$ ; коливання верхньої бокової частоти  $f_0 + F$ ; коливання нижньої бокової частоти  $f_0 - F$ .

При модуляції складним звуком, що має кілька синусоїдальних коливань, модульоване коливання більш складне. Кожний простий звук, тобто кожний тон, дає свою пару бокових частот. В результаті утворюються верхня і нижня бокові смуги частот. Амплітудна модуляція здійснюється в одному з каскадів

підсилювача потужності. Існують базові і колекторні схеми амплітудної модуляції.

У схемі базової модуляції джерелом напруги звукової частоти є мікрофон, увімкнений в первинну обмотку трансформатора  $T_2$ . На вторинній обмотці трансформатора утворюється напруга звукової частоти, яка періодично додається або віднімається від напруги джерела  $E_{бе}$ . Одночасно на базу транзистора через трансформатор подається напруга високої частоти з попереднього каскаду підсилювача потужності. Від струмів високої частоти джерело  $E_{бе}$  і вторинна обмотка трансформатора  $T_2$  зашунтовані конденсатором  $C_1$ . Напруга низької частоти призводить до зміни опору емітерного  $p-n$  переходу транзистора, а це в свою чергу змінює амплітуду коливань в контурі. Оскільки із збільшенням частоти зменшується вхідний опір транзистора, то ефективність базової модуляції зменшується. Базова модуляція використовується лише на частотах до  $10$  МГц.

У схемі колекторної модуляції струм високої частоти з попереднього каскаду подається на вхід транзистора  $VT$ . В мікрофоні  $BF$  звукові коливання перетворюються на змінну напругу низької частоти. Ця напруга підвищується трансформатором  $T$ . Вона послідовно увімкнена з джерелом колекторної напруги  $E_k$ . В результаті напруга між колектором і емітером транзистора весь час буде змінюватися, що призведе до зміни амплітуди високочастотних коливань в контурі  $LC$ .

При частотній модуляції сигнал, який передають, впливає на частоту передавача. При відсутності сигналу в антені передавача протікає немодульований струм високої частоти. При дії сигналу частота змінюється. Протягом одного півперіода частота струму в антені збільшується, а протягом другого — зменшується. Вона змінюється в такт звукового сигналу. Амплітуда струму в антені залишається незмінною.

Частотна модуляція повинна здійснюватися в задаючому генераторі, тому що впливати на частоту передавача в наступних каскадах неможливо. Простим і найбільш поширеним способом одержання частотно-модульованого сигналу є зміна відповідно до модулюючого сигналу індуктивності котушки або ємності конденсатора коливального контура задаючого генератора. Якщо паралельно коливальному контуру задаючого генератора увімкнути варікап  $VD$ , приклавши до нього зворотню напругу і подавши на нього низькочастотну напругу сигналу, то ємність варікапа і коливального контура буде змінюватися, що призведе до зміни частоти в контурі.

Частотна модуляція може здійснюватись реактивною лампою  $VL$ . Реактивна лампа увімкнена паралельно контуру заданого генератора  $L_K C_K$ . Лампа  $VL$  стала реактивною завдяки резистору  $R_1$  і конденсатору  $C_1$ . Причому опір резистора  $R_1$  повинен бути набагато більшим ємнісного опору конденсатора  $X_{C1}$ . При цьому можна вважати, що струм  $I$  в колі  $R_1 C_1$  буде збігатися за фазою із змінною напругою  $U_a$  на аноді лампи. На конденсаторі  $C_1$  виникне змінна напруга  $U_c$ , яка відстає від струму в цьому колі, а значить і від напруги на аноді лампи, на  $90^\circ$ . Напруга  $U_c$  з конденсатора подається на сітку лампи, і в колі анода виникає змінна складова струму  $I_a$ , яка збігається за фазою із сітковою напругою і відстає від напруги на аноді приблизно на  $90^\circ$ . Таким чином, змінний струм в анодному колі лампи відстає від змінної напруги на аноді на кут, близький  $90^\circ$ . Це має місце в колі змінного струму з індуктивністю. Отже, лампа має реактивний опір.

При роботі мікрофона в такт із коливаннями звукової частоти змінюється крутість характеристики і амплітуда змінної складової анодного струму. При незмінній анодній напрузі це рівнозначно зміні індуктивного опору лампи та індуктивності лампи. Оскільки реактивна лампа увімкнена паралельно контуру  $L_K C_K$ ,

буде змінюватися частота задаючого генератора.

**№12.** Підсилювач потужності передавача може мати кілька каскадів. Перші каскади називаються проміжними, в них малопотужні коливання задаючого генератора підсилюються до величини, достатньої для збудження потужного вихідного каскаду. Вихідний каскад забезпечує задану потужність в антені передавача. Вихідний каскад виконують за простою або складною схемами. У вихідному каскаді, виконаному за простою схемою, антену вмикають безпосередньо в колекторне коло транзистора. Недоліком такої схеми є те, що передавач випромінює, крім основної частоти, ще цілу низку гармонік, що створює перешкоди розміщеним поблизу приймачам.

У складній схемі вихідного каскаду в колекторне коло транзистора ввімкнений коливальний контур  $L_K C_K$  і настроєний на частоту несучого сигналу. З котушкою  $L_K$  індуктивно з'єднана котушка антени  $L_A$ . Антенне коло настроюють у резонанс з контуром  $L_K C_K$ , змінюючи індуктивність  $L_A$  і ємність  $C_A$ . Якщо антенне коло настроєне точно на частоту коливань контура  $L_K C_K$ , індикаторна лампочка  $EL$  горить найбільш яскраво. Після настройки лампочка замикається накоротко вимикачем  $SA$ .

**Радіоприймач** призначений для приймання, перетворення і використання енергій електромагнітних хвиль. Радіоприймачі характеризуються чутливістю і вибірністю. Чутливістю радіоприймача називається його здатність приймати слабкі сигнали. Вона оцінюється мінімальною входною напругою, при якій приймач забезпечує номінальну вихідну потужність.

Здатність радіоприймача виділяти сигнали потрібної станції називається **вибірністю**. Залежно від особливостей схем радіоприймачі бувають прямого підсилювання і супергетеродинного типу.

Найбільш простим є радіоприймач прямого підсилювання. Радіохвилі індукують в антені приймача струми високої частоти. Вхідний контур забезпечує вибір сигналів потрібної станції. Підсилювач високої частоти має один або два каскади підсилення високочастотного сигналу, обраного вхідним, контуром. У детекторі здійснюється перетворення модульованих коливань високої частоти у коливання сигналу низької частоти. Підсилювач низької частоти підсилює низькочастотні сигнали, які надходять з детектора. Гучномовець або телефон перетворює електричні коливання низької частоти на звук.

Радіоприймач супергетеродинного типу, крім блоків, які є у приймачі прямого підсилення, має змішувач частоти, гетеродин і підсилювач проміжної частоти. Гетеродин і змішувач частоти утворюють перетворювач частоти, який частоту прийнятого сигналу знижує до проміжної, більш низької частоти. Це дає змогу краще підсилити прийнятий сигнал у підсилювачі проміжної частоти.

Вхідний контур з багатьох сигналів, різних частот, які діють на приймальну антену, виділяє потрібний сигнал і передає його на підсилювач високої частоти. Вхідний контур з ємнісним зв'язком використовується для приймання однієї якоїсь частоти сигналу. Із зміною частоти сигналу потрібно було б змінювати ємність конденсатора  $C$ , тому що при настройці контура на високу частоту опір конденсатора зменшується, а зв'язок антени і контура зростає. При настройці контура на низьку частоту зв'язок між антенною і контуром зменшується.

У вхідних контурах з індуктивним зв'язком між антенною і контуром зв'язок не змінюється при настройці контура на різні частоти. Щоб вибрати сигнал певної частоти, змінюючи індуктивність котушки  $L_K$  і ємність конденсатора  $C_K$ ,

настроюють контур так, щоб його власна частота збігалася з частотою сигналу. Тоді у контурі виникає резонанс напруг, струм і напруга потрібного сигналу зростають відповідно до сигналів інших частот.

У сучасних прийमाчах з магнітними антенами вхідний контур утворює одне ціле з антеною. Котушки вхідного контура і зв'язку розміщені на феритовому стержні з високою магнітною проникністю. Магнітна антена спрямованого типу.

Підсилювачами високої частоти у радіоприймачах називають ті каскади, в яких відбувається підсилення на частоті прийнятого сигналу. Ці каскади збільшують чутливість і вибірність приймача. Навантаженням у цих каскадах є коливальний контур, настроєний в резонанс на частоту сигналу. Каскади підсилювача високої частоти є резонансними підсилювачами. Для зручності настройки приймача конденсатори змінної ємності коливальних контурів підсилюючих каскадів з'єднані в один блок з конденсатором вхідного контура. У цих каскадах застосовують транзистори з великою граничною частотою.

**№ 13.** Перетворювач частоти дає можливість підвищити чутливість і вибірність приймача. Він перетворює частоту прийнятого сигналу на проміжну  $465 \pm 2$  кГц, а в приймачах ультракоротких хвиль 6,75; 8,4; 10,7 мГц. Напруга високої частоти з підсилювача високої частоти надходить на перетворювач частоти, який складається з гетеродина і змішувача. **Гетеродин** — це малопотужний генератор. із самозбудженням. Він виробляє коливання високої частоти, які відрізняються від частоти прийнятого сигналу на 465 кГц.

На вхід змішувача, виконаного на транзисторі, надходять два сигнали. Високочастотний сигнал з підсилювача високої частоти, наприклад 1000 кГц, і сигнал з гетеродина 1465 кГц. Навантаженням змішувача є коливальний контур, настроєний на проміжну частоту 465 кГц. На виході змішувача одержують проміжну частоту 465 кГц, яка дорівнює різниці частот напруги гетеродина і високочастотного сигналу.

У радіоприймачі основне підсилення відбувається в підсилювачі проміжної частоти на порівняно низькій частоті. Це послаблює паразитивні зв'язки і дає можливість використовувати більшу кількість каскадів. Крім того, на проміжній частоті можна одержати більше підсилення одного каскаду, ніж на частоті прийнятого сигналу. Особливістю підсилюючих каскадів проміжної частоти є те, що навантаженням у них є смугові фільтри (два контури з трансформаторним зв'язком). Контури смугового фільтра настроєні на проміжну частоту.

Значна кількість резонансних контурів підвищує вибірність приймача, а велике підсилення у підсилювачі проміжної частоти збільшує чутливість приймача і дає можливість застосовувати різні регулювання, які поліпшують якість роботи приймача.

**Детектуванням** називається процес перетворення модульованих коливань високої частоти на струм низької частоти або напругу, яка змінюється за законом модуляції. Як детектор амплітудно-модульованих сигналів використовують напівпровідниковий точковий діод. Із смугового фільтра підсилювача проміжної частоти надходить модульована напруга проміжної частоти. Струм у колі діода протікає лише протягом одного півперіода змінної напруги. Цей пульсуючий струм містить три складових: постійну, змінну проміжної частоти і змінну звукової низької частоти. Змінна складова проміжної частоти, замикаючись через конденсатор  $C_1$ , повертається на смуговий фільтр. Постійна складова протікає через резистор  $R$ , а змінна складова звукової частоти через конденсатор  $C_2$  подається на

підсилювач низької частоти. Конденсатор  $C_1$  становить  $100-200$  нФ, а конденсатор  $C_2$  — десяті або соті частки мікрофарад.

Для детектування частотно-модульованих сигналів часто використовують диференційні частотні детектори. У такому детекторі є два контури, один з яких настроєний на частоту, на  $\Delta f$  більшу від несучої частоти сигналу  $f_0$ , а другий — на частоту, на  $\Delta f$  меншу від  $f_0$ .

Струми діодів проходять через резистори  $R_1$  і  $R_2$  зустрічно. Напряга на виході детектора дорівнює різниці напруг на резисторах  $R_1$  і  $R_2$ . Дія детектора полягає в тому, що при частоті сигналу, яка дорівнює несучій частоті  $f_0$ , напруга на виході детектора дорівнює нулю, тому що напруги, які падають, на резисторах  $R_1$  і  $R_2$  будуть однаковими за величиною і протилежними за напрямком. При збільшенні частоти сигналу понад  $f_0$  напруга на виході росте однієї полярності, а при зменшенні частоти сигналу нижче  $f_0$  напруга на виході також збільшується, але протилежної полярності. Таким чином, напруга на виході детектора змінюється відповідно до відхилення частоти сигналу від середнього значення, тобто за законом модуляції.

Щоб радіоприймач добре працював за будь-яких умов, застосовують ручне і автоматичне регулювання окремих його параметрів. Розрізняють такі основні види регулювань: ручне регулювання підсилення тембру і смуги пропускання, автоматичне регулювання підсилення (АРП), автоматичну підстройку частоти (АПЧ).

Ручне регулювання підсилення (гучності) виконують за допомогою подільника напруги, який вмикають між каскадами підсилювача низької частоти. Тембр регулюють за допомогою додаткових реактивних опорів, які вмикають паралельно опору навантаження підсилювача низької частоти. Вмикання ємнісного опору дає низькі тони, а вмикання індуктивного опору — високі. Смугу пропускання регулюють вручну, змінюючи відстань між котушками смугових фільтрів підсилювача проміжної частоти.

При прийманні слабких сигналів відстань між котушками збільшують, що призводить до зменшення смуги пропускання, а при прийманні сильних сигналів відстань між котушками зменшують і тим самим розширюють смугу пропускання.

У радіоприймачах при швидкій зміні вхідного сигналу, наприклад внаслідок явища завмирання, ручне регулювання підсилення не може забезпечити постійний рівень сигналу на виході приймача. Тому поряд з ручним застосовують автоматичне регулювання підсилення (АРП). АРП без затримки виконується в детекторі. Напруга, яка знімається з резистора  $R_2$ , подається на бази транзисторів підсилювачів високої і проміжної частоти і підзапирає їх. Чим сильніший вхідний сигнал, тим більша напруга надходить на бази транзисторів, тим менший їх коефіцієнт підсилення. Недолік цієї схеми у тому, що і при слабких сигналах зменшується коефіцієнт підсилення транзисторів і їхній прийом стає неможливим. Цього недоліку позбавлені АРП із затримкою. В них є окремий детектор, який працює при сильному сигналі і запирається, якщо сигнал слабкий. При слабкому сигналі АРП не працює.

У діапазоні середніх і довгих хвиль сильно помітні перешкоди, що виникають при електричних розрядах в атмосфері. Особливо вони великі влітку. Для боротьби із атмосферними перешкодами використовують автоматичні швидкодіючі регулятори підсилення (АРП). При появі на вході приймача атмосферних перешкод АРП закриває транзистори і тим самим на виході не чути тріску і шарудіння.

Промислові перешкоди виникають у різних машинах і обладнанні, де є дуга, іскри. Вони можуть проникати у приймачі через антену, мережу, діючи безпосередньо на котушки коливальних контурів. Для запобігання

промисловим перешкодам екранують місця, де виникає іскра, дуга, паралельно розмикаючим контактам вмикають конденсатори.

Зараз кількість працюючих радіостанцій дуже велика. Перешкоди від сигналів інших радіостанцій називаються інтерференційними. Чим більша вибірність приймача, тим менші інтерференційні перешкоди.

При слабких сигналах особливо велике значення мають перешкоди, які виникають в самому приймачі (власні шуми). Джерелом їх є рухомі електричні заряди - електрони та іони. Вони створюють у провідниках короточасні слабкі імпульси струму. Цей струм підсилюється і на виході приймача викликає шум. Такі перешкоди називають «*білим*» шумом.

**№ 14.** Використання для вимірювання струмів високої частоти приладів електромагнітної, електродинамічної та інших систем недоцільне. Прилади цих систем мають значні власні ємності й індуктивності, тому власні опори цих приладів залежать від частоти. Отже, показання цих приладів також залежать від частоти вимірюваних струмів. Для вимірювання струмів високої частоти використовують прилади термоелектричної системи або схеми з використанням термісторів.

Принцип роботи приладів термоелектричної системи такий. Термопара нагрівається вимірюваним струмом, і в ній виникає термоелектрична е.р.с., яку вимірюють чутливі магнітоелектричні прилади. Чим більший струм, тим більше нагрівається термопара, більша е.р.с. і більші показання приладу. Застосування *термісторів* для вимірювання струмів високої частоти ґрунтується на використанні залежності їх опорів від сили струму, що протікає через них. Чим більший струм протікає через термістор (напівпровідниковий елемент), тим він більше нагрівається, а його опір зменшується. При вимірюванні струму термістор вмикають у коло, в якому необхідно виміряти струм. Термістор  $R_1$  одночасно вмикають в одне з плечей моста змінного струму. До вмикання термістора в коло вимірюваного струму міст зрівноважують, змінюючи опори  $R_2, R_4$ . Чим більший струм протікає по термістору, тим більше змінюється його опір і розбалансовується міст, зростають і показання приладу, ввімкненого в діагональ моста. Дроселі  $Dp_1, Dp_2$  не пропускають струм високої частоти на міст.

Вольтметр для вимірювання напруги високої частоти повинен мати такі основні характеристики: його показання не залежать від частоти вимірюваної напруги; енергія, споживана вольтметром, незначна; розстройка, внесена вольтметром у вимірювану схему, незначна. Всім цим вимогам відповідає *електронний вольтметр*.

Вхідний пристрій електронного вольтметра, що дозволяє розширити межі вимірювання вольтметром, являє собою подільник напруги. Детектор перетворює вимірювані змінні напруги у постійні. Перемикачем SA вмикають детектор, якщо вимірюють напругу постійного струму. Підсилювач постійного струму — це вимірюваний міст, в одне з плечей якого ввімкнений транзистор. Чим більша вимірювана напруга, тим більша напруга з детектора надходить на вхід транзистора, тим більше змінюється опір транзистора і розбалансовується міст. Прилад магнітоелектричної системи, ввімкнений в діагональ моста, покаже вимірювану напругу. Перед вимірюванням слід зрівноважити міст (встановити стрілку приладу на нуль), змінюючи опір резистора  $R_1$ .

Електронний осцилограф дозволяє візуально спостерігати за електричними процесами у різних електричних схемах. Крім того, за допомогою осцилографа можна вимірювати напругу, частоту струму, опір, ємність.

Електронний осцилограф складається з таких основних блоків: електронно-променевої трубки; блока каліброваних напруг (БКН); блока вертикального відхилення (БВВ); блока горизонтального відхилення (БГВ); блока живлення (БЖ).

Якщо уявити досліджуваний електричний сигнал як деяку функцію часу  $u = \varphi(t)$ , то, щоб одержати на екрані електронно-променевої трубки зображення, потрібно, щоб відхилення променя по вертикалі було пропорційне амплітуді досліджуваного сигналу, а по горизонталі – часу. Досліджувана напруга підводиться до пластин, що відхиляють промінь вертикально. До пластин, що відхиляють горизонтально, подається напруга розгортки. Вона переміщує електронний промінь по екрану зліва направо (і у зворотному напрямку). Швидкість руху променя по екрану має бути постійною, для цього напруга на пластинах, що відхиляють промінь горизонтально, має змінюватися, лінійно у часі. При одночасній подачі досліджуваного сигналу на пластини, що відхиляють промінь вертикально, і напруги розгортки — на пластини, що відхиляють промінь горизонтально електронний промінь описує траєкторію відповідно до зміни досліджуваного сигналу. Підсилення досліджуваного сигналу для ефективного відхилення променя виконане у блоці вертикального відхилення. Якщо досліджувана напруга перевищує напругу, потрібну для достатнього відхилення, то використовується подільник напруги. Напруга горизонтального відхилення виробляється в блоці горизонтального відхилення. В цьому блоці відбувається синхронізація (часове погодження) досліджуваного сигналу і напруги горизонтального відхилення. Частоти цих сигналів повинні бути однаковими або кратними, тоді на екрані буде чітке і нерухоме зображення досліджуваного сигналу.

Блок каліброваної напруги виробляє стабілізовану напругу, величина якої відома. Порівнюючи відхилення електронного променя каліброваною напругою з відхиленням променя досліджуваним сигналом, можна виміряти амплітуду досліджуваного сигналу.

Блок живлення осцилографа виробляє напругу для живлення електродів електронно-променевої трубки та всіх інших блоків осцилографа.

Для настроювання і дослідження електронної апаратури застосовують різні джерела гармонічних та імпульсних напруг. До таких джерел належать генератори стандартних сигналів.

До низькочастотних генераторів стандартних сигналів належать генератори, які виробляють напругу з частотами від  $10\text{-}20\text{ Гц}$  до  $100\text{-}200\text{ кГц}$ . Такий генератор складається з таких блоків: задаючого генератора, в якому виробляються низькочастотні сигнали; ПНЧ — підсилювача низької частоти, який підсилює сигнали, вироблені задаючим генератором; подільника напруги, за допомогою якого регулюють напругу на виході генератора; БЖ — блок живлення, який живить решту блоків.

Високочастотний генератор стандартних сигналів виробляє високочастотні сигнали, і складається з таких блоків: задаючого генератора, який виробляє слабкі високочастотні сигнали; підсилювача-модулятора, який збільшує амплітуду коливань задаючого генератора і в ньому високочастотний сигнал модулюється за амплітудою; генератор низької частоти виробляє фіксовані частоти  $400$  або  $800\text{ Гц}$  за допомогою яких здійснюється амплітудна модуляція високочастотних сигналів; подільник напруги дає можливість змінювати напругу на виході генератора; БЖ — блок живлення живить усі блоки генератора стандартних сигналів постійним струмом.

**№ 15.** У радіоелектроніці важливу роль відіграють *електроакустичні прилади*: телефони, гучномовці, мікрофони. Щоб вивчити будову і роботу електричних приладів, необхідно знати властивості звуку і особливості людського слуху. Джерелом звуку є механічні коливання, наприклад, струни музичного інструменту. Звукова хвиля, що іде від джерела звуку, є коливанням частин того чи іншого пружного середовища, в якому поширюється звук, наприклад, повітря. У повітрі швидкість звукових хвиль становить приблизно  $340$  м/с. У рідинах швидкість звуку більша, а в твердих тілах ще більша.

Важливими показниками, які характеризують звук, є частота і амплітуда коливань. Прийнято розрізняти звуки за висотою і гучністю. Приклади високих звуків: свист, жіночий голос (сопрано); низькі звуки: чоловічий голос (бас), звук барабана. Висота звуку залежить від частоти його коливань. Чим більша частота, тим вищий звук, і навпаки. Гучність залежить виключно від амплітуди коливань. Чим більша амплітуда, тим гучніший звук. Всі звуки прийнято розділяти на прості і складні. Простий звук характеризується синусоїдальною формою коливань. Будь-яке складне коливання — це сума кількох простих коливань з різними амплітудами і різними частотами. Звуки людського голосу і музикальних інструментів являють собою складні звуки, які мають багато гармонік. Ці гармоніки надають кожному звуку окраски, так званого тембру. Діапазон частот, що сприймає людське вухо, становить приблизно від  $20$  до  $20000$  Гц. Людське вухо здатне розрізняти звуки не тільки за частотою, а й за гучністю.

**Мікрофони** — це електроакустичні прилади, в яких звукові коливання перетворюються на електричні. За принципом дії мікрофони поділяються на: вугільні, електродинамічні, електромагнітні, електростатичні, п'єзоелектричні. **Вугільний мікрофон** складається із: мембрани, рухомого електрода, корпусу, нерухомого електрода, вугільного порошку. Якщо в мікрофон звуки не надходять, то опір порошку в ньому незмінний, і в колі мікрофона протікає постійний струм. Коли у мікрофон проходить звук, то він приводить у коливання мембрану мікрофона, яка точно повторює звукові коливання. При цьому змінюється опір вугільного порошку. У колі мікрофона буде протікати змінний струм, який створить на резисторі  $R$  змінну напругу. Ця напруга відповідає звуковим коливанням. Вугільні мікрофони дають велику змінну напругу. Недоліками цих мікрофонів є великі спотворення і можливість «спікання» порошку при протіканні по мікрофону великого струму. **Електродинамічні мікрофони** широко застосовують тому, що вони дають дуже малі спотворення. **Електродинамічний мікрофон** складається з тонкої алюмінієвої мембрани  $1$ , до якої прикріплена котушка  $2$ , що знаходиться в повітряному зазорі між полюсами сильного постійного магніта  $3$ . При дії звукових хвиль мембрана, а разом з нею котушка, переміщаються в магнітному полі, і в котушці індуктується змінна е.р.с. Недоліком цих мікрофонів є мала е.р.с. Електромагнітний мікрофон складається з мембрани  $1$ , якоря  $2$ , осердя  $3$ , котушки  $4$  і постійного магніта  $5$ . При надходженні звуку у мікрофон коливання мембрани передаватиметься якорю, в результаті чого зміняться зазори  $\delta_1$  і  $\delta_2$ . Це призведе до зміни магнітних потоків, які перетинають котушку, і в ній буде індуктуватись змінна е.р.с., що змінюється за тим же законом, що і звукові коливання. Ці мікрофони прості, надійні, але дають спотворення.

**Конденсаторний (електростатичний) мікрофон** — це конденсатор з повітряним діелектриком, у якого одна обкладка виготовлена з тонкого листового металу і знаходиться на малій відстані від другої масивної металевої обкладки. Тонка обкладка-мембрана може коливатися під дією звукових хвиль. При цьому



змінюється товщина діелектрика, а значить, і ємність мікрофона. Зміна ємності мікрофона спричиняє появу зарядних струмів, які проходять через опір  $R$  і утворюють у ньому змінну напругу. Електростатичні мікрофони працюють із малими спотвореннями, але дещо поступаються за якістю електродинамічним.

Робота *п'єзоелектричних мікрофонів* ґрунтується на п'єзоелектричному ефекті. Термін «п'єзоелектрика» означає: «електрика від тиску». Якщо на п'єзо-елемент (сегнетову сіль) діють звукові коливання, то він по чергово стискується і розширюється, а на його обкладках виникає змінна е.р.с.

*Телефони і гучномовці* — це акустичні прилади, які електричні коливання перетворюють на звукові. *Телефон* складається із сталюї мембрани 1, постійного магніту 2, котушки 3. Якщо до котушки телефону прикласти змінну напругу низької частоти, то по ній протече змінний струм, який утворить змінне магнітне поле. Це змінне магнітне поле буде підсилювати або послаблювати поле постійного магніта, в результаті чого сталюа мембрана буде коливатись і утвориться звук. Телефони дають малу гучність звуку. Недолік телефону полягає у значних спотвореннях, оскільки він зовсім не передає багатьох вищих гармонік складного звуку і вносить зайві звуки. За допомогою гучномовців можна одержати звук підвищеної гучності. За акустичною будовою гучномовці поділяються на дифузорні і рупорні. Електродинамічний дифузорний *гучномовець* складається із сильного постійного магніту 1, котушки 2, прикріпленої до паперового дифузора 3, еластичних з'єднань 4. Якщо до котушки гучномовця прикласти напругу низької частоти, то по ній протече змінний струм і утвориться змінне магнітне поле. Внаслідок взаємодії цього поля з полем постійного магніта котушка 1, а разом з нею паперовий дифузор почне коливатися і виникне звук. Щоб зменшити послаблення низьких звуків, дифузорні гучномовці розміщують у спеціальних ящиках, які поглинають звукові хвилі від задньої стінки дифузора. В рупорних гучномовцях, так само як у грамофонах або духових музичних інструментах, звук передається від електродинамічного механізму за допомогою рупора. Рупорні гучномовці мають сильно спрямовану дію. їх використовують для радіфікації вулиць.

**№ 16.** Значна частина електронних пристроїв споживає електричну енергію у вигляді постійного струму. Як джерела постійного струму останнім часом найбільше використовують випрямлячі.

*Випрямляч* — це пристрій, який перетворює змінний струм на постійний. Випрямляч складається із: силового трансформатора, призначеного для підвищення або зниження напруги мережі до потрібної величини; одного або кількох напівпровідникових діодів односторонньої провідності, які виконують основну функцію випрямляча; згладжуючого фільтра, що зменшує пульсацію випрямленого струму.

Схеми випрямлення змінного струму на постійний можуть бути однофазними, трифазними, однопівперіодні і двопівперіодні.

У схемі однофазного однопівперіодного випрямляча випрямляється тільки один півперіод змінної напруги. Напруга на виході випрямляча  $U_B$  дорівнює напрузі на вторинній обмотці трансформатора  $U$ . В цій схемі використовується тільки один напівпровідниковий діод. Недоліком цієї схеми є велика пульсація випрямленого струму. В однофазній двопівперіодній схемі випрямляча є два діоди, вторинна обмотка трансформатора посередині витків має відпайку. Недоліком цього випрямляча є те, що напруга на виході випрямляча  $U_B$  вдвічі менша за напругу на вторинній обмотці трансформатора  $U$ . У цій схемі діод  $VD$  випрямляє один півперіод,

а діод  $UD_2$  — другий. В однофазній мостовій двопівперіодній схемі чотири діоди. Напруга на виході випрямляча  $U_B$  дорівнює напрузі на вторинній обмотці трансформатора  $U$ . У цій схемі один півперіод випрямляють діоди  $VD_2$  і  $VD_1$ , а другий —  $VD_3$  і  $VD_4$ . Діоди  $VD_2$  і  $VD_1$ , а також  $VD_3$  і  $VD_4$  ввімкнені послідовно. Це найбільш поширена однофазна схема випрямлення. Трифазна однопівперіодна схема випрямлення складається з трифазного трансформатора і трьох діодів. Напруга на виході випрямляча  $U_B$  дорівнює фазній напрузі  $U_\phi$ . У трифазній двопівперіодній схемі випрямлення шість діодів. Напруга на виході випрямляча  $U_B$  більша за фазну напругу в  $\sqrt{3}$  разів. Пульсація випрямленої напруги в трифазних схемах випрямлення менша, ніж в однофазних. Однофазна схема випрямлення з подвоєною напругою на виході дає напругу  $U_B$ , яка вдвічі більша за напругу на вході  $U$ . Ця схема складається з двох діодів  $VD_1$  і  $VD_2$  та двох конденсаторів  $C_1$  і  $C_2$ . Діод  $VD_1$  випрямляє один півперіод і заряджає конденсатор  $C_2$ , а діод  $VD_2$  випрямляє другий півперіод і заряджає конденсатор  $C_1$ . Напруги конденсаторів  $C_1$  і  $C_2$  підсумовуються і на виході одержують подвоєну напругу. **Згладжувальні фільтри** призначені для згладжування пульсацій струму після випрямляча. Пульсуючий струм, який одержують після випрямляча, складається з постійної і змінної складових. Завдання фільтра пропустити на навантаження постійну складову струму і не пропустити змінну. Згладжувальні фільтри бувають  $\Gamma$ -,  $\Pi$ -подібні,  $LC$  і  $RC$ .  $\Gamma$ -подібний  $LC$  фільтр складається з електролітичного конденсатора і дроселя котушки з осердям. Робота фільтра ґрунтується на тому, що конденсатор чинить малий опір змінному струму і безмежно великий постійному, а дросель навпаки чинить малий опір постійному струму і великий змінному струму. Крім того, конденсатор  $C$  збільшує амплітуду постійної складової струму. Коли пульсуючий струм зростає, конденсатор  $C$  заряджається, а коли спадає, — розряджається на навантаження і таким чином може збільшити амплітуду постійної складової струму в 1,41 раза. У  $\Pi$ -подібному  $LC$  фільтрі два електролітичних конденсатори і пульсація випрямленого струму в ньому менша, ніж в  $\Gamma$ -подібному. Недоліком  $RC$  фільтрів є великий спад напруги на резисторі  $R$ , але ці фільтри дешеві і мають маленькі габарити.

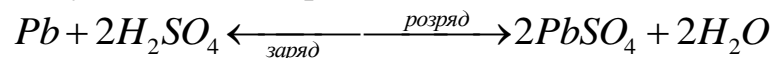
**№ 17.** Радіопристрої потребують стабільності напруги і струму. Напруга мережі змінного струму може змінюватися на 10 % і більше, крім того, напруга на вході випрямляча залежить від опору навантаження. Щоб напруга, яка живить радіопристрій, мало залежала від зміни напруги мережі і опору навантаження, застосовують **стабілізатори**. Параметрична схема стабілізатора складається із стабілітрона  $VD$  і баластного резистора  $R$ . Навантаження вмикається паралельно стабілітрону. При зміні вхідної напруги  $U_{BX}$  або навантаження напруга на навантаженні майже не змінюється, оскільки майже не змінюється зворотна напруга стабілітрона.

Переваги параметричних стабілітронів — проста конструкція і надійність роботи. Недолік — низький ККД. Компенсаційна схема стабілізації напруги складається з регулюючого елементу — транзистора  $VT_1$ , ввімкненого послідовно навантаженню  $R_H$ . Вимірювальний елемент схеми складається з подільника напруги  $R_1$ ,  $R_2$  джерела опорної напруги — стабілітрона  $VD$  з баластним резистором  $R_4$ . Транзистор  $VT_2$  виконує функцію підсилювача постійного струму. До емітерного  $p$ - $n$  переходу транзистора  $VT_2$  прикладені дві напруги; зворотна напруга стабілітрона  $U_c$  і пряма напруга  $U_2$ .

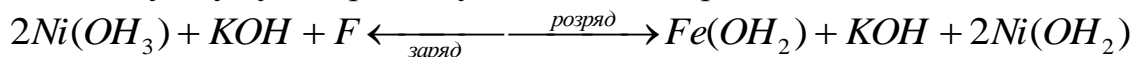
При збільшенні вхідної напруги на вході збільшується напруга  $U_2$ , яка падає

на резисторі  $R_2$ . При цьому збільшиться струм колектора транзистора  $VT_2$ , в результаті чого збільшиться спад напруги на резисторі  $R_3$ . Це посилить негативний потенціал бази транзистора  $VT_1$ , що призведе до збільшення опору кола колектор-емітер транзистора  $VT_1$  і спаду напруги на ньому. Тобто, весь приріст вхідної напруги  $U_{BX}$  буде падати на транзисторі  $VT_1$ , а на навантаженні  $R_B$  напруга залишиться незмінною.

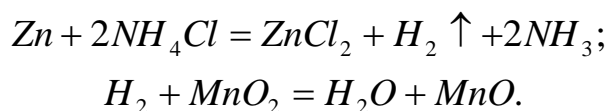
Стабілізатори струму, що автоматично підтримують незмінний струм у колі навантаження, поділяються на **параметричні** й **компенсаційні**. У стабілізаторі струму параметричного типу на польовому транзисторі транзистор  $VT$  ввімкнений послідовно із навантаженням  $R_H$ . На затвор подається напруга з резистора  $R$ . При збільшенні струму за рахунок підвищення вхідної напруги або зменшення опору навантаження негативний потенціал затвора підвищується, збільшуючи опір транзистора. Завдяки цьому струм у навантаженні буде незмінним. При зменшенні  $U_{BX}$  або збільшенні  $R_H$  опір транзистора зменшується, підтримуючи незмінний струм у навантаженні. Стабілізуючий струм встановлюють резистором  $R$ . Компенсаційна схема стабілізації струму така ж, як і компенсаційна схема стабілізації напруги, тільки навантаження  $R_B$  вмикається замість резистора  $R_1$ . Для живлення радіоелектронних пристроїв, крім випрямлячів змінного струму на постійний, використовують акумулятори і гальванічні елементи. Акумулятори поділяються на кислотні і лужні. Акумулятори нагромаджують електричну енергію при проходженні через них постійного струму. При цьому електрична енергія перетворюється на хімічну. Якщо до акумулятора підключити споживач, то хімічна енергія перетвориться на електричну. Кислотний акумулятор складається з пластмасового або ебонітового корпусу, в якому негативними є пластини із свинцю ( $Pb$ ), а позитивними — із двоокису свинцю  $PbO_2$ . Між позитивними і негативними пластинами розміщений сепаратор з міпласту. Корпус акумулятора заповнений електролітом — розчином сірчаної кислоти у дистильованій воді щільністю  $1,21—1,25 \text{ г/см}^3$ . Електрорушійна сила одного акумулятора становить  $2 \text{ В}$ . При розряді і заряді в акумуляторі відбуваються такі реакції:



Для одержання більшої е.р.с. акумулятори послідовно з'єднані в акумуляторні батареї. Лужні акумулятори поділяються на залізо-нікелеві, кадмієво-нікелеві, срібно-цинкові. Залізо-нікелевий акумулятор складається із сталюого корпусу, в якому розміщені позитивні пластини, виготовлені з гідрату окису нікелю ( $Ni(OH)_2$ ), і негативні пластини з чистого заліза ( $Fe$ ). Електролітом у цьому акумуляторі є розчин їдкою калію в дистильованій воді щільністю  $1,19-1,21 \text{ г/см}^3$ . Електрорушійна сила такого акумулятора  $1,4 \text{ В}$ . При розряді й заряді в лужному залізо-нікелевому акумуляторі відбуваються такі реакції:



Вугільно-цинковий гальванічний елемент складається з негативного цинкового електрода, що має вигляд циліндра, позитивного електрода — вугільного стержня, деполяризатора — двоокису марганцю  $MnO_2$ . Електролітом є розчин нашатирю  $NH_4Cl$ . У гальванічному елементі е.р.с. виникає в результаті хімічної реакції між електродами і електролітом:



Електрорушійна сила вугільно-цинкового гальванічного елемента становить  $1,5 \text{ В}$ .