

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ВНУТРІШНІХ СПРАВ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

**Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання**

**ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

з навчальної дисципліни  
**«Основи електропривода»**  
обов'язкових компонент  
освітньо-професійної програми першого(бакалаврського) рівня вищої освіти

***173 Авіоніка  
(Авіоніка)***

**за темою № 4 – Електричні машини постійного струму для  
автоматизованих систем**

**Кременчук 2023**

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 30.08.2023 № 7

**СХВАЛЕНО**

Методичною радою  
Кременчуцького льотного коледжу  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 28.08.2023 № 1

**ПОГОДЖЕНО**

Секцією Науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, протокол від 28.08.2023 № 1.

**Розробник:** викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Волканін Є.Є.

**Рецензенти:**

1. Інженер з технічного обслуговування, ремонту та діагностики авіаційної техніки ТОВ «ЕЙР ТАУРУС» Калінін О.В.
2. Професор циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., спеціаліст вищої категорії Гаврилюк Ю.М.

**План лекції:**

1. Класифікація електричних машин.
2. Основні елементи машин постійного струму та їх принцип дії.
3. Способи регулювання швидкості обертання електродвигунів постійного струму.

**Рекомендована література:****Основна література:**

1. А. А. Видмиш, Л. В. Ярошенко. Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. / Навчальний посібник. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с.
2. Харченко В.П. Авіоніка: навч. посіб. / В.П. Харченко, І.В. Остроумов. – К.: НАУ, 2013. – 272 с.
3. Павленко Т. П. Автоматизований електропривод загальнопромислових механізмів. Конспект лекцій (для студентів усіх форм навчання за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка) / Т.П. Павленко, О. В. Донець, О. М. Петренко; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 132 с.
4. Aircraft General Knowledge 2 - Electrics and Electronics – 2014.

**Допоміжна література:**

1. Introduction to Avionics Systems R.P.G. Collinson BScEng(Hons)., CEng., FIET., FRAeS Formerly Manager of the Flight Automation Research Laboratory of GEC Avionics, Rochester, Kent, UK (now part of BAE Systems) Third Edition -2011. – 547 p.
2. Методичні вказівки до виконання практичних та самостійних робіт з дисципліни "Теорія електропривода" (для студентів 3, 4 курсів усіх форм навчання напряму підготовки 6.050702 «Електромеханіка» та слухачів другої вищої освіти спеціальності 7.05070203 «Електричний транспорт») / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: О. В. Донець, П. М. Пушков, М. І. Шпіка. – Х. : ХНАМГ, 2013. – 39 с.

**Інформаційні ресурси в Інтернеті:**

1. <https://en.wikipedia.org/wiki/Avionics>
2. <https://www.geaerospace.com/systems/avionics>
3. <https://www.youtube.com/watch?v=e9wZstVoP9s>

## Текст лекції

### 1. Класифікація електричних машин

Основу будь-якого автоматизованого електроприводу складають електродвигуни, що забезпечують виконання безлічі операцій в електротранспортних засобах (трамваях, тролейбусах, метро, потягах), в промисловості, в електропобутових приладах, на електростанціях і підстанціях.

Конструкції електричних машин класифікуються наступним чином (рис. 1).

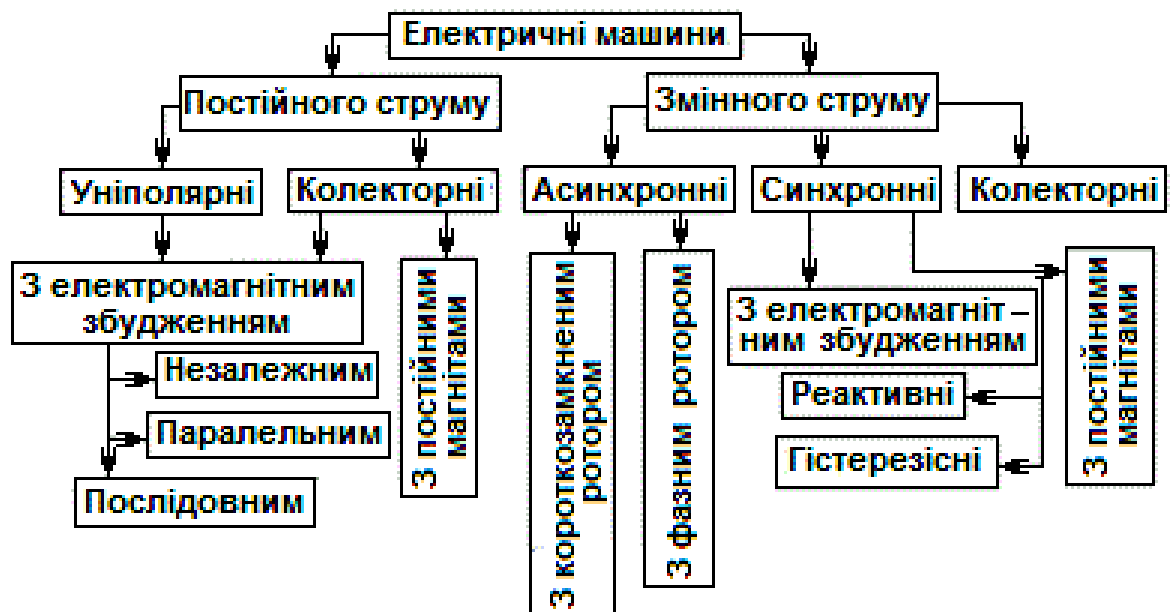


Рисунок 1 – Класифікація електричних машин

Машина постійного струму (МПС) – це оборотний електромеханічний перетворювач енергії, який може використовуватися як в генераторному, так і в руховому режимі.

Зовнішній електричний ланцюг цієї машини є ланцюгом постійних значень струму і напруги, що і є основою для її назви, рисунку 2.

Потужність МПС коливається від рівня одиниць Вт до порядку десяти тисяч кВт. Їх частота обертання знаходиться в діапазоні від одиниць об/хв до десятки тисяч об/хв і більше. Тому МПС умовно поділяються на малі, середні і великі потужності (випускаються за спеціальним замовленням).



Рисунок 2 – Загальні відомості про машини постійного струму

## 2. Основні елементи машин постійного струму та їх принцип дії

Значне місце в системі електроприводу займають електричні машини постійного струму, які працюють в режимі двигунів з перевантаженням і частими пусками, реверсами, а також регулюванням швидкості в широкому діапазоні. Основні елементи конструкцій МПТ та їх принцип дії показано на рисунку 3 і рисунку 5.

Машини постійного струму оборотні, оскільки можуть працювати в режимі генератора і в режимі двигуна, які мають супутні величини: ЕРС, що індуктується в обмотці якоря, і електромагнітний момент обертання, що виникає в якорі. В будь-яких режимах роботи МПС для створення в її якорі ЕРС і обертаючого моменту необхідно наявність магнітного поля.

Повний електричний ланцюг якоря представлений на рисунку 4, а, де показані всі секції обмотки С1 – С12 у вигляді умовних дугоподібних елементів, а також показано колекторні пластини К1 – К12 та щітки з затискачами А1 і А2. Електричне коло якоря від затискача А1 на одній з щіток до затискача А2 на іншій щітці утворює дві паралельні гілки, що проходять по відповідних секціях обмотки якоря.

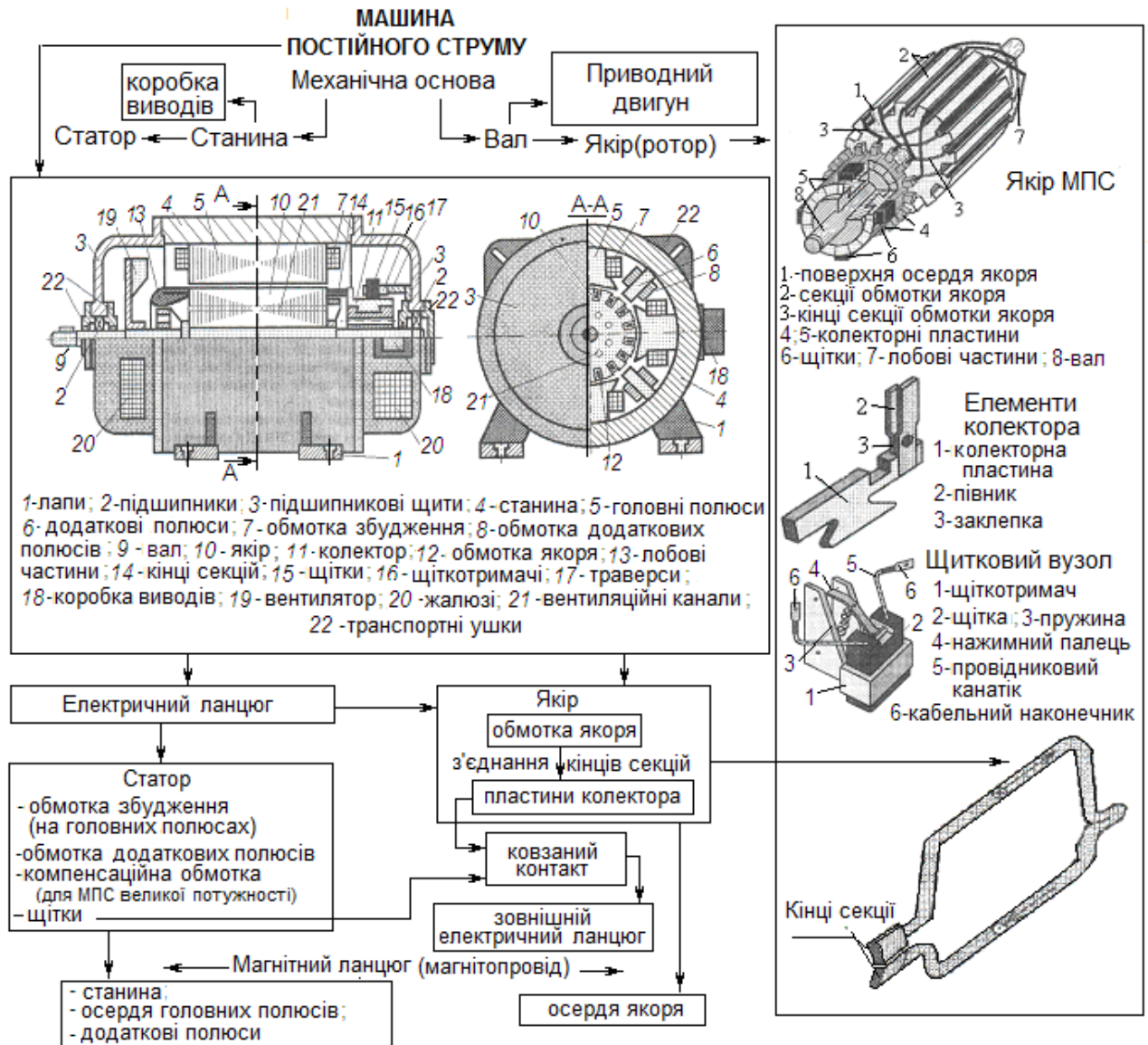


Рисунок 3 – Конструкція та основні елементи машин постійного струму

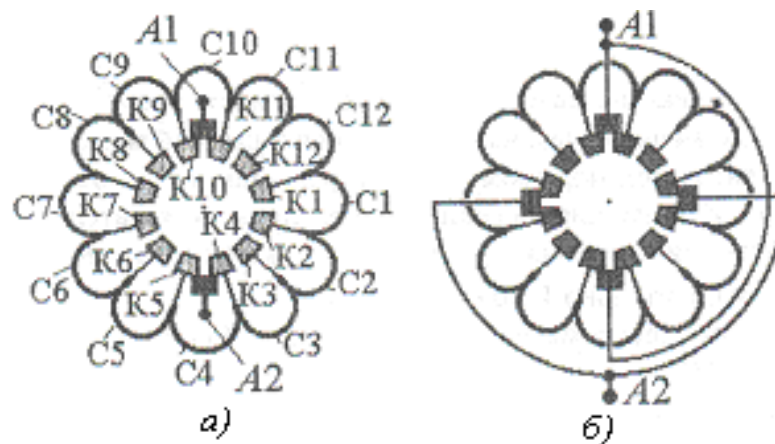


Рисунок 4 – Електричне коло обмотки якоря

Якби машина мала чотири полюси (тобто  $p = 2$ , рис. 4.4, б.), то відповідно на колекторі були б розташовані чотири щітки і в обмотці якоря утворилися чотири паралельні гілки.

Співвідношення між ЕРС і обертовим електромагнітним моментом:

$$\frac{E}{M_{\text{эм}}} = \frac{n\Phi N_c}{30} / \frac{N_c}{\pi} \Phi I_a = \frac{\pi n}{30 I_a} = \frac{2\pi n}{60 I_a}; \quad E / M_{\text{эм}} = \Omega / I_a, \quad (1)$$

де  $n$  – частота обертання якоря, об/хв;

$N_c$  – число секцій обмотки якоря;

$\Omega$  – кутова частота обертання якоря, рад/с.

Таким чином, модель і співвідношення (1) підтверджують, що для створення ЕРС ( $E$ ) необхідно обертання якоря, а для створення електромагнітного моменту ( $M_{\text{эм}}$ ) – струм в якорі. Загальною для них умовою є наявність основного магнітного потоку збудження  $\Phi$ .

Розглянуті основи конструкції і принципу дії МПТ дозволяють перейти до поданням головних режимів їх роботи.

Режим генератора полягає в перетворенні механічної енергії, що підводиться до валу двигуна в електричну енергію, що знімається з затискачів якірного ланцюга (рис. 6).

На практиці МПС, в основному, використовуються в якості двигунів. Тому розглянемо роботу МПС в режимі двигуна.

Режим двигуна. У руховому режимі роботи МПС перетворюють електричну енергію постійного струму в механічну енергію, приводячи в рух різні машини і механізми. Розглянемо цей режим на моделі МПС з числом полюсів  $2p = 2$  (рис. 7).



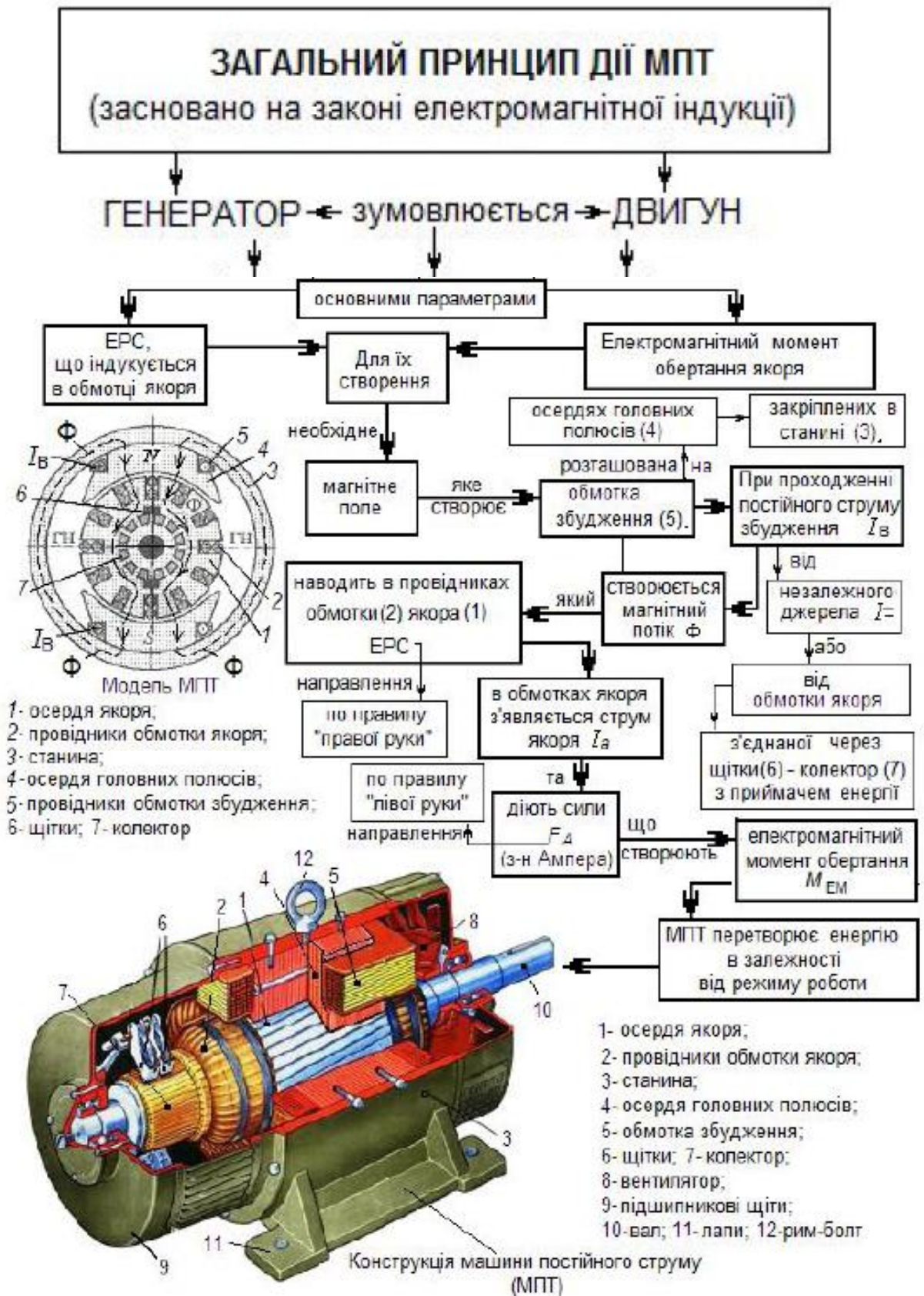


Рисунок 5 – Модель принципу дії машин постійного струму



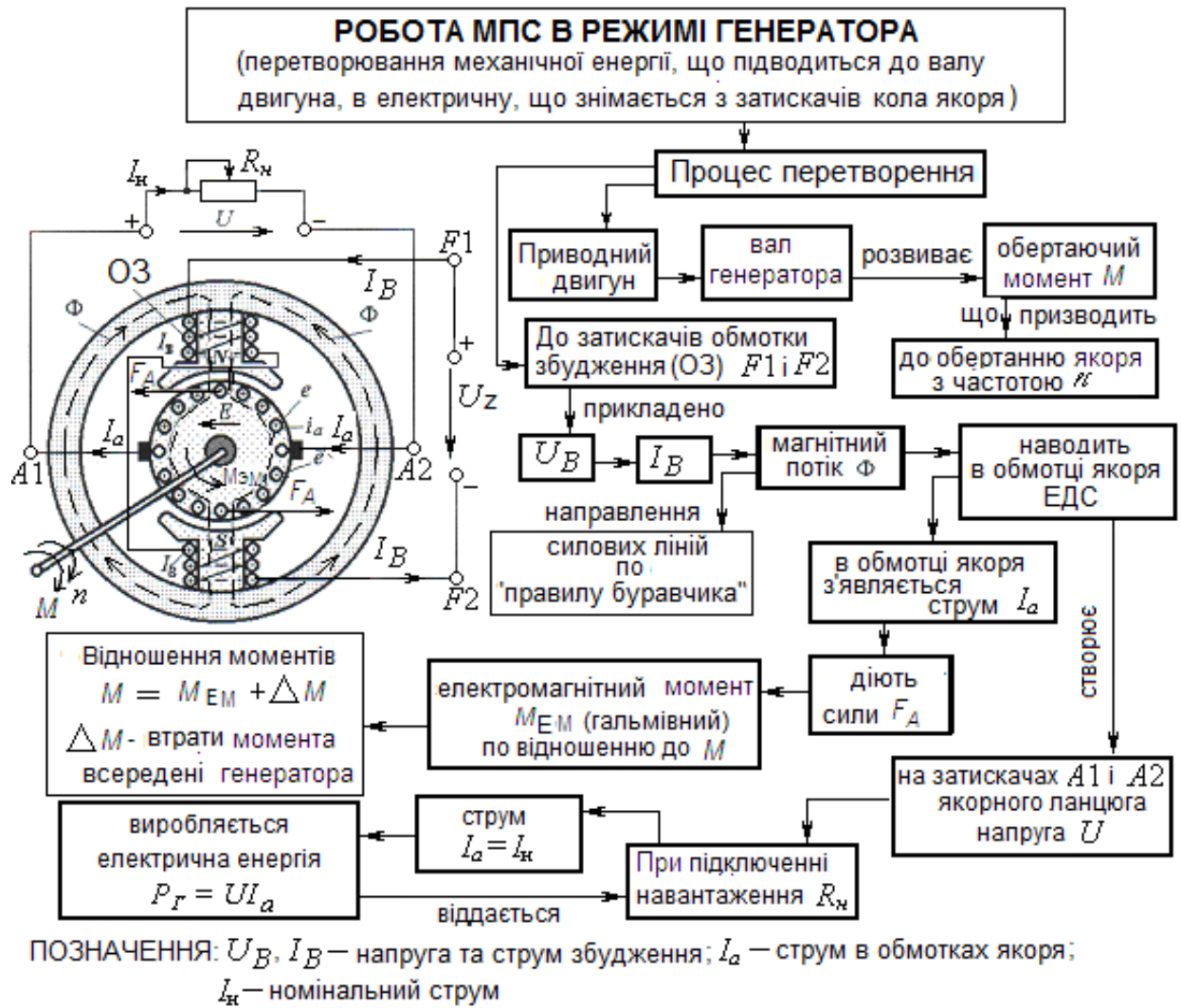


Рисунок 6 – Модель роботи МПС в режимі генератора

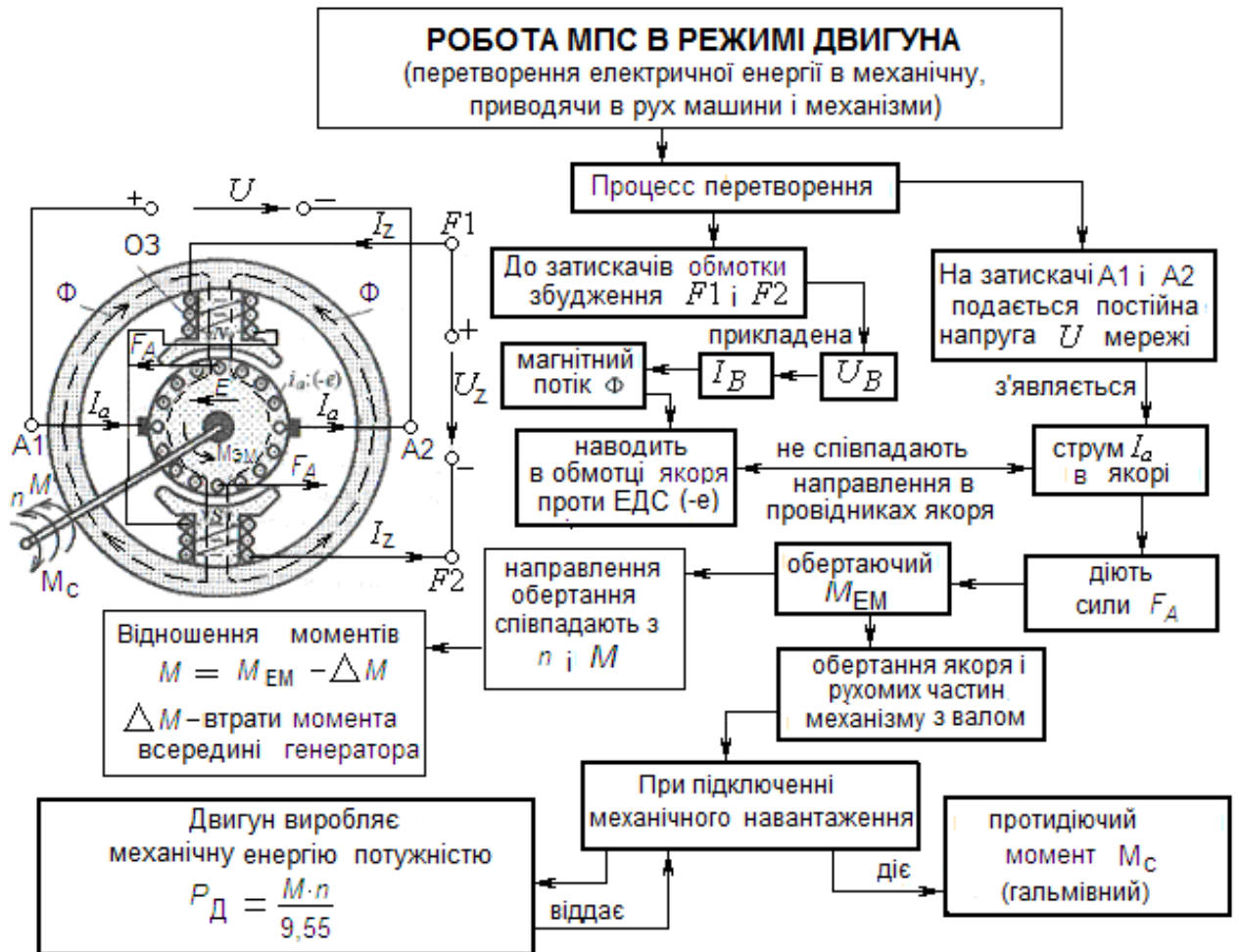


Рисунок 7 – Модель роботи МПС в режимі двигуна

Таким чином, очевидно, що в розглянутих режимах роботи МПС процеси, які беруть участь в перетворенні енергії взаємопов'язані і підкоряються основним законам і положенням, наприклад, закону електромагнітної індукції та закону Ампера, створення обертаючих і гальмівних моментів і тощо.

### 3. Способи регулювання швидкості обертання електродвигунів постійного струму

Велика частина механізмів в процесі роботи вимагають зміни швидкості в тих чи інших межах. Наприклад, для приводу транспортних механізмів, швидкість повинна бути знижена перед зупинкою або при малих переміщеннях.

Така зміна швидкості електроприводу, яке здійснюється шляхом штучного впливу на його електромеханічні параметри, називається регулюванням.

Регулювання може здійснюватися механічним способом (шляхом зміни передавального числа) або електричним (шляхом зміни схеми включення електродвигуна або його параметрів). Цим способом, в основному, віддається

перевага, оскільки спрощується конструкція машини і підвищується можливість автоматизації процесу регулювання.

Електромагнітні та регульовальні характеристики МПС при роботі в режимі генератора, так і в режимі двигуна залежать від способу включення кола збудження по відношенню до кола обмотки якоря (ОЯ). При електромагнітному порушенні можливі наступні схеми включення обмотки збудження (ОЗ) (рис. 8).

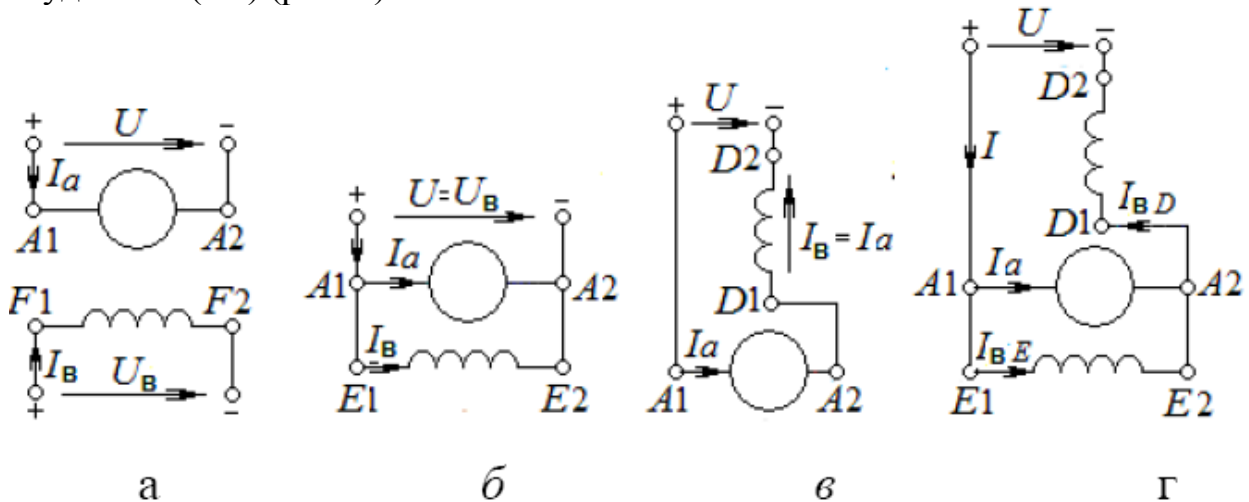


Рисунок 4.8 – Способи включення кола збудження машини постійного струму по відношенню до кола обмотки якоря

У машинах незалежного збудження (рис. 8, а) ОЗ одержує струм від незалежного джерела, тому не залежить від напруги  $U$  на затискачах якоря, а магнітний потік практично не залежить від струму ОЯ  $I_a$ .

У машин паралельного збудження (рис. 8, б) напруга  $U$  на затискачах ОЗ і ОЯ одне і теж з витікаючими звідси залежностями.

У машин послідовного збудження (рис. 8, в) повний струм ОЯ проходить через ОЗ, тому, на відміну від попередніх варіантів, вона виконана з проводів більшого перерізу при меншій кількості її витків. Магнітний потік змінюється в широких межах при зміні струму  $I_a$ .

У машинах змішаного збудження (рис. 8, г) на кожному полюсному осерді є дві котушки. Одна входить в обмотки паралельного збудження, інша – послідовного збудження – це щось середнє між випадками варіантів б і в.

Вибір способу регулювання швидкості двигуна електроприводу, що з'єднається з робочим механізмом, провадиться виходячи з наступних положень:

1. Межа і діапазон регулювання швидкості обертання характеризується відношенням найбільшої швидкості до найменшої при сталому режимі роботи механізму (наприклад, 1,5:1; 2:1; 10:1 тощо). Для розширення діапазону регулювання швидкості регулюючих пристроїв повинна бути підвищена ступінь жорсткості механічних характеристик за допомогою спеціальних.

2. Плавність регулювання характеризується відношенням двох швидкостей обертання на сусідніх ступенях регулювання ( $k_{pl} = \omega_k / \omega_{k-1}$ ). Зі збільшенням числа ступенів регулятора здійснюється більша плавність регулювання швидкості двигуна.

3. Стійкість регулювання залежить від ступеня жорсткості механічної характеристики, тобто наскільки змінюється швидкість зміни навантаження механізму.

4. Залежність допустимого навантаження приводного електродвигуна з боку механізму від потужності, вибирається з умов нагрівання електродвигуна, комутації та механічної міцності.

5. Економічність приводу вибирається в залежності від втрат енергії в пускових і регулювальних пристроях. Економічність регулювання характеризує ККД системи.

Регулювання швидкості обертання електропривода постійного струму пов'язано зі зміною його механічної характеристики, яка, в свою чергу, пов'язана з виразом

$$\omega = \frac{U}{k\Phi} - \frac{I \cdot R}{k\Phi}$$

На практиці використовуються три основних способи регулювання швидкості електродвигунів постійного струму:

- шляхом зміни величини потоку збудження електродвигуна;
- за допомогою зміни опору в ланцюзі обмотки якоря електродвигуна;
- шляхом зміни напруги, що підводиться до електродвигуна.

Способи регулювання швидкості електродвигуна визначає роботу автоматизованої системи електроприводу.

#### Контрольні питання

1. Як класифікуються електричні машини?
2. Що являють собою машини постійного струму (МПС) ?
3. Перелічити основні елементи машин постійного струму.
4. Що являє собою електричний та магнітний ланцюг машин постійного струму?
5. Охарактеризуйте основні режими роботи машин постійного струму.
6. У чому полягає загальний принцип дії електричних машин постійного струму?
7. У чому полягає принцип роботи МПС в режимі генератора?
8. У чому полягає принцип роботи МПС в режимі двигуна?
9. Які існують способи включення ланцюга збудження МПС по відношенню до кола обмотки якоря?
10. Від чого залежить вибір способу регулювання швидкості двигуна електроприводу?

11. Які існують способи регулювання швидкості електродвигунів постійного струму?