

**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 № 6 – Електричні машини змінного струму**

**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 і основні параметри асинхронних машин.
2. Режими роботи асинхронних машин.
3. Побудова та принцип дії трифазних асинхронних двигунів.
4. Способи регулювання швидкості обертання ТАД.
5. Синхронні машини.
6. Побудова синхронної машини і способи її пуску.
7. Робота синхронної машини в режимі генератора та двигуна.

### **Рекомендована література:**

#### **Основна література:**

1. 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.
2. А. А. Видмиш, Л. В. Ярошенко. Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. / Навчальний посібник. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с.
3. Теорія електроприводу Методичні вказівки до курсового проекту "Розрахунок параметрів і характеристик електроприводу" для студентів всіх форм навчання за напрямом 6.050702 / А.В. Гнатов, О.А. Дзюбенко, І.С. Трунова – Х.: ХНАДУ, 2012. – 37 с.

#### **Допоміжна література:**

1. Частотне керування асинхронним приводом: Методичні вказівки для самостійної роботи з дисципліни „Основи електропривода” для студентів напряму підготовки 6.100101 – „Енергетика та електротехнічні системи в АПК” / Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О. – Ніжин.: 2011. – 98 с.
2. Основи електроприводу. Методичні рекомендації до практичних занять для бакалаврів спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / А.А. Колб, Г.Г. Дяченко; Нац. техн. ун-т. «Дніпровська політехніка». – Д.: НТУ «ДП», 2021. – 83 с.
3. Основи електроприводу. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт для бакалаврів спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / А.А. Колб, Г.Г. Дяченко; Нац. техн. ун-т. «Дніпровська політехніка». – Д.: НТУ «ДП», 2021. – 50 с.

#### **Інформаційні ресурси в Інтернеті:**

1. <https://elprivod.nmu.org.ua/ua/books/automaticED.php>
2. <https://auekiee.kpi.ua/wp-content/uploads/2021/06/ПО-5.pdf>
3. <http://ep3.nuwm.edu.ua/14317/1/04-03-104%20%281%29.pdf>

## Текст лекції

### 1. Класифікація і основні параметри асинхронних машин

В сучасних системах електроприводу крім електричних машин постійного струму застосовуються машини змінного струму (рис. 1), які використовуються найчастіше як асинхронні і синхронні двигуни:

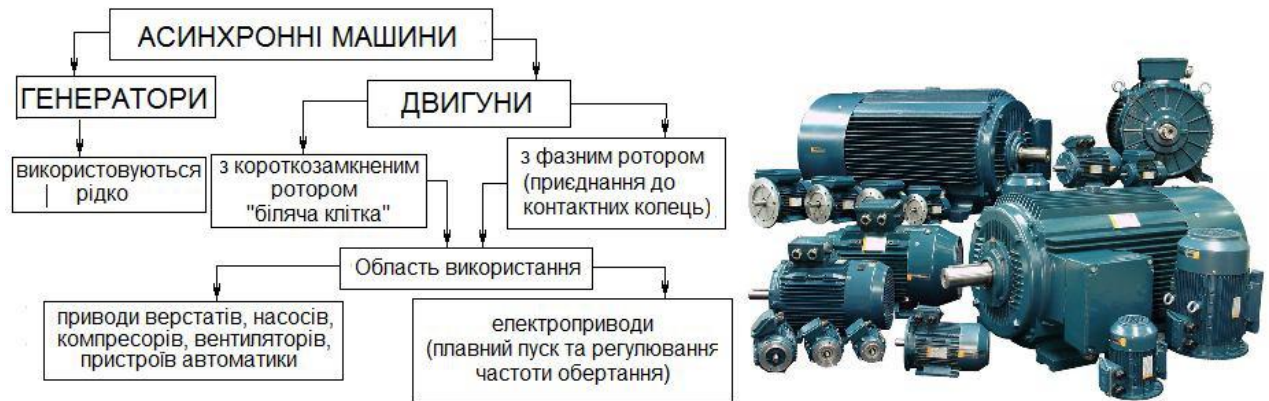


Рисунок 1 – Класифікація асинхронних машин

Асинхронна електрична машина створена М. О. Доливо-Добровольським у 1888 р. І до цього часу зберегла просту форму. Головною перевагою таких машин є простота виготовлення і малокоштовність. В машині практично відсутні легко пошкоджуючі частини (колектор) і легко зношуючі електричні і механічні частини. Недоліком є не економічність регулювання експлуатаційних характеристик, споживання реактивної енергії з мережі.

Асинхронні електричні машини застосовуються, головним чином, для перетворення електричної енергії в механічну і навпаки.

Асинхронні машини (АМ) використовуються, в основному, як двигуни; в якості генераторів вони застосовуються вкрай рідко.

Основні параметри і терміни, що визначають і характеризують режими роботи асинхронних машин, показані на рисунку 2.

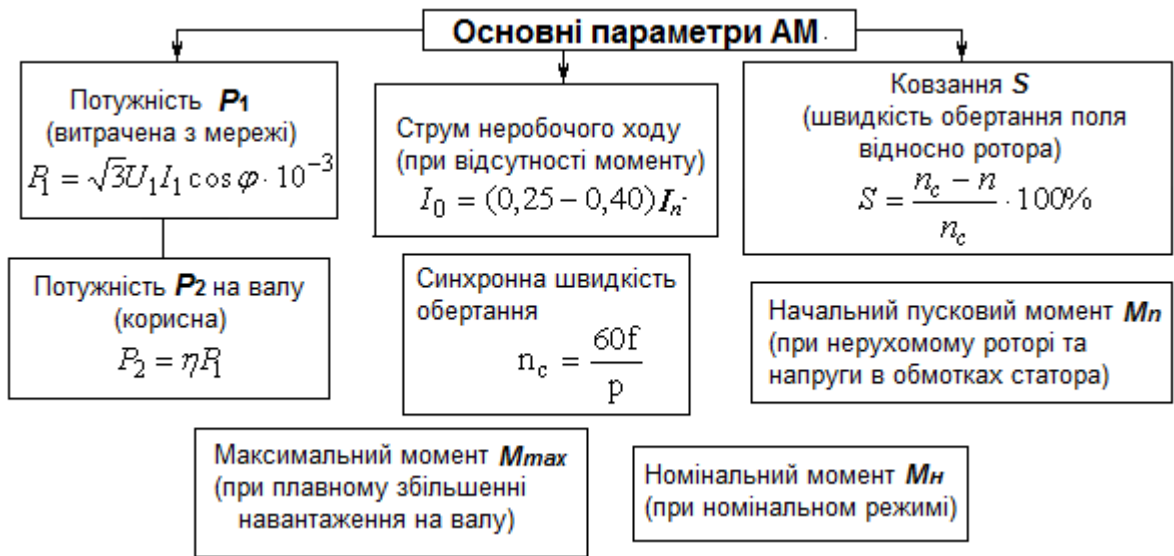


Рисунок 2 – Основні параметри асинхронних машин

## 2. Режими роботи асинхронних машин

Асинхронні машини працюють в наступних режимах:

- режим двигуна;
- генераторний режим (рекуперація електричної енергії в мережу);
- режим електромагнітного гальма.

Режими роботи асинхронних машин характеризуються їх механічними характеристиками, показаними на рисунку 3.

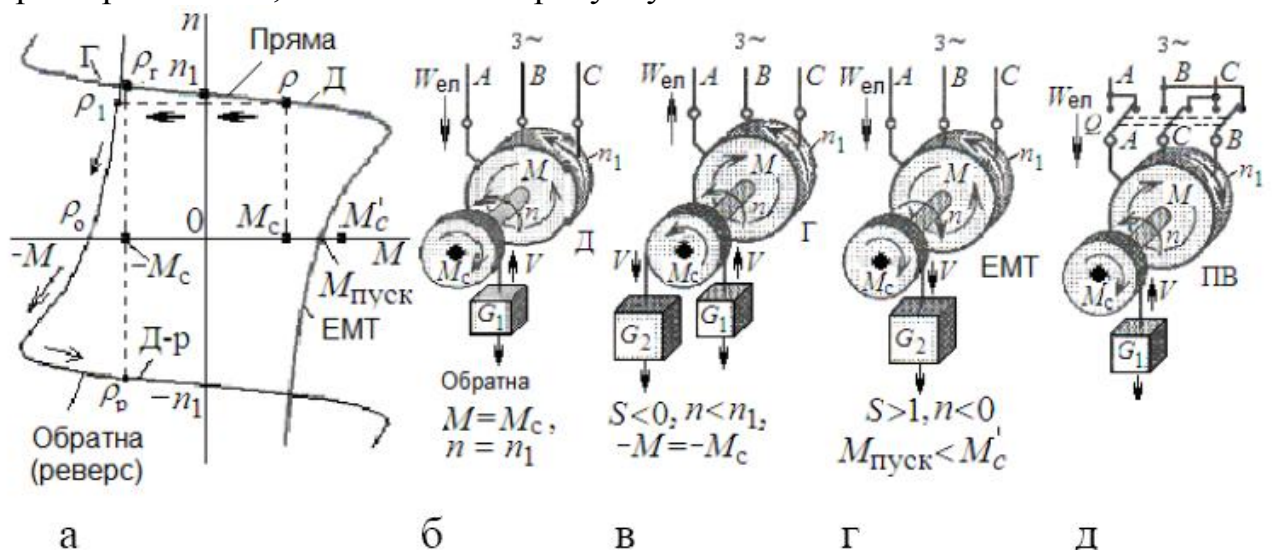


Рисунок 3 – Механічні характеристики і режими роботи асинхронних машин: а – механічні характеристики; б – режим двигуна; в – режим рекуперативного генераторного гальмування; г – режим електромагнітного гальма; д – режим противключення

Ділянка режиму двигуна – Д (рис. 3, а). Поєднання параметрів обертання та напрямків магнітного поля  $n_1$ , обертаючого моменту  $M$ , обертання вала  $n$  і моменту опору  $M_c$  показано на рисунку 3, б. Момент  $M_c$  створюється на шківі

порушуваних вантажем  $G1$  ( $V$  – напрямок руху) і при  $M = M_c$  виходить робоча точка  $p$  (рис. 3, а).

При значенні ковзання  $S < 0$ , отримаємо продовження механічної характеристики при  $n < n_{11}$  (див. рис.3, а) – це ділянка рекуперативного генераторного гальмування Г. Поеднання напрямів  $n_1$ ,  $n$ ,  $M$  і  $M_c$  представлено для цього режиму на рисунку 3, в.

Зміна напрямку  $M_c$  відбулося з появою другого вантажу  $G2$ , переважає над першим –  $G1$ .

Тому на рисунку 3, а робоча точка пройшла положення  $n = n_1$ , де момент  $M$  змінив свій знак і з обертального перетворився в гальмівний, а рушійним став момент  $M_c$ . В новому сталому положенні (точка  $p_r$ ) виконуються умови рівноваги –  $M = -M_c$  і асинхронна машина, що працює в генераторному режимі, перешкоджає гальмуючим моментом подальшому розгону і вільному падінню вантажу. При цьому вона віддає електричну енергію  $W_{ел}$  в мережу.

При значенні ковзання  $S > 1$ , на рисунку 3, а отримаємо продовження ЕМТ механічної характеристики при  $n < 0$  (зміна напрямку обертання), що відповідає режиму електромагнітного гальма, для якого мають місце напрямки величин, що показані на рисунку 3, г.

В даному випадку при включенні двигуна його пусковий момент  $M_{пуск} < M'_c$ , де  $M'_c$  – обертаючий момент, що діє з боку звільнившогося вантажу  $G2$ . У такій ситуації переважаючий момент  $M'_c$  є рушійним, а асинхронна машина своїм моментом  $M$  здійснює електромагнітне гальмування.

Електрична енергія споживається з мережі.

Для трифазних асинхронних двигунів одним з варіантів електричного гальмування, є гальмування противключенням, рисунок 3, д.

При зміні висновків будь-яких двох фаз змінюється напрямок обертання магнітного поля  $n_1$ . При цьому момент обертання  $M$  буде направлений в ту сторону, в яку обертається магнітне поле.

Складний електромеханічний процес переходу з точки  $p$  на прямій в точку  $p_r$  на механічної характеристики відповідає реверсу двигуна. Для виконання реверсу досить перевести перемикач  $Q$ , що показаний на рисунку 3, д з одного положення в інше. Реверс у підсумку призводить до зміни напрямку обертання ротора асинхронної машини.

### 3. Побудова та принцип дії трифазних асинхронних двигунів

Трифазні асинхронні двигуни (ТАД) поділяються по конструкції на двигуни з короткозамкненим ротором (у вигляді білячої клітки) і фазним ротором (рис. 4 і рис. 5). Робота ТАД заснована на принципі обертового магнітного поля.

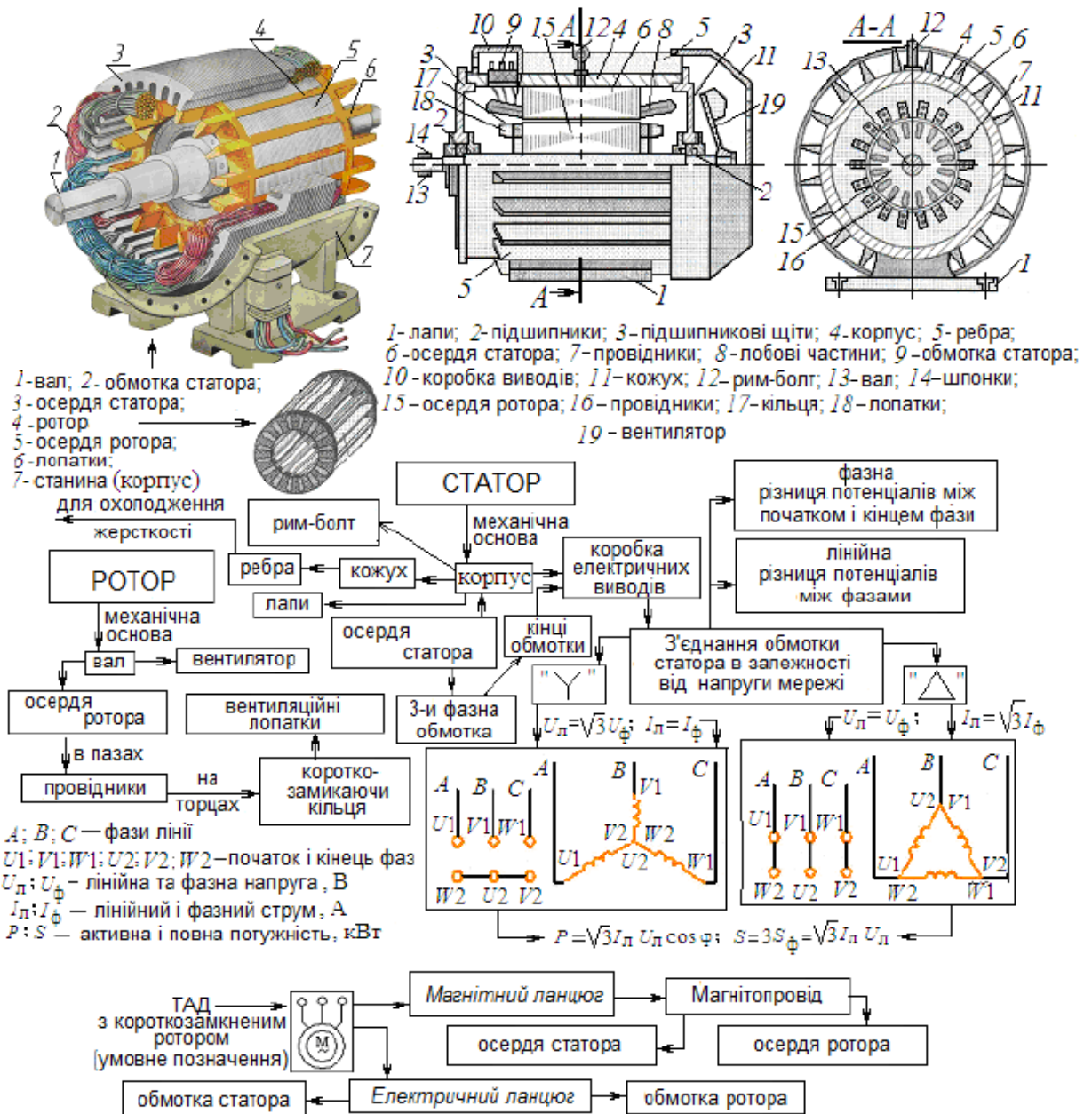


Рисунок 4 – Конструкція трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором

Обмотка ротора ТАД називається короткозамкненою, оскільки виконана з мідних стрижнів, залитих алюмінієм і з розташованими на кінцях стрижнів замикаючими кільцями.

Обмотка у фазного ротора має вигляд катушки і схожа на статорну обмотку двигуна.



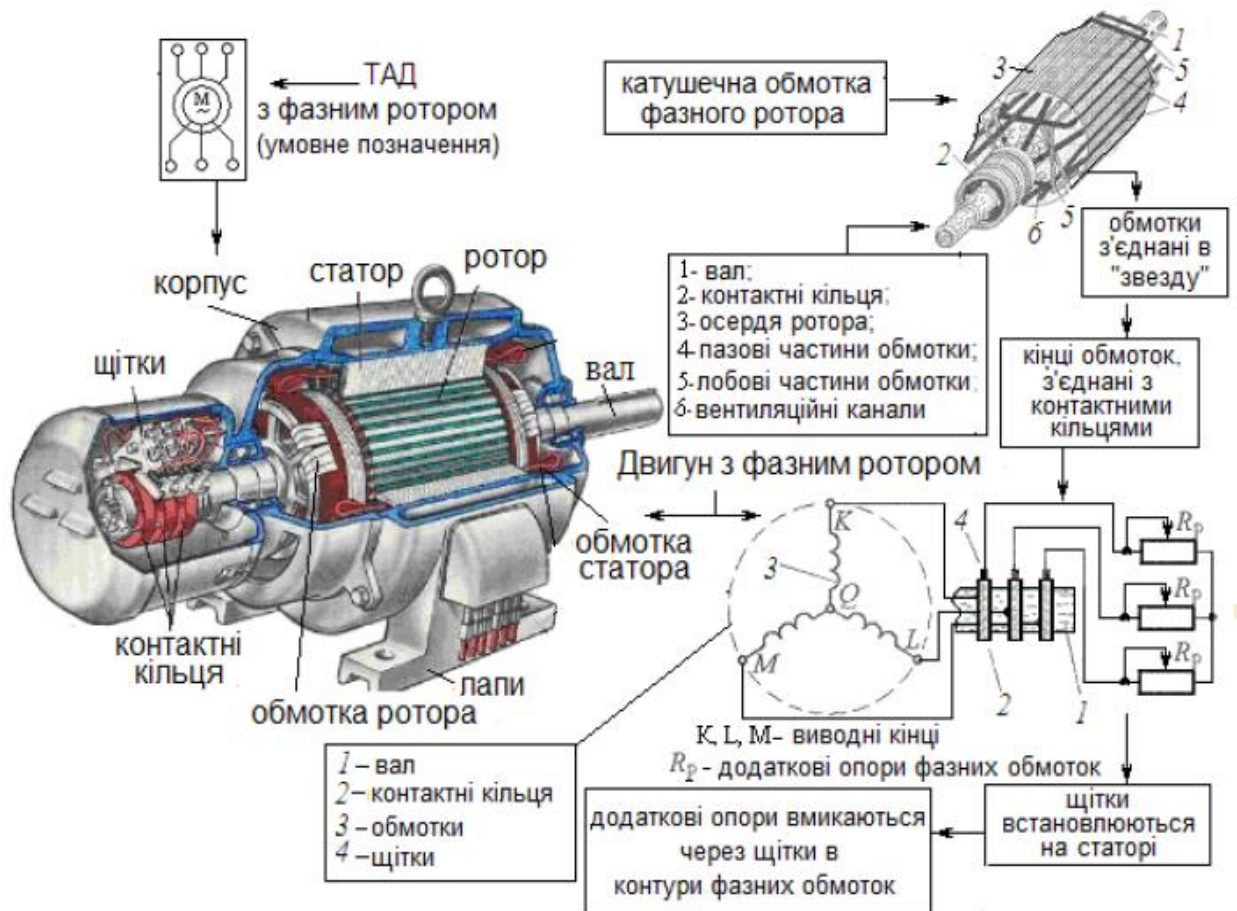


Рисунок 5 – Електромагнітне коло та конструкція асинхронного двигуна з фазним ротором

Розглянемо на конкретному прикладі дво полюсної моделі принцип дії ТАД з короткозамкненим ротором (рис. 6), де  $\Phi$  – магнітний потік (показано пунктирними силовими лініями);  $n_1$  – напрямок обертання магнітного поля;  $i_1$  – струм обмотки статора;  $i_2$  – струми в обмотці ротора;  $V_s$  – відносна швидкість переміщення провідників обмотки ротора по відношенню до силових ліній обертового поля;  $B_1$  – поле обмотки статора;  $l_p$  – довжина ротора і його провідників;  $\alpha \approx 90^\circ$ ;  $e_2$  – ЕДС в провідниках обмотки ротора;  $F_A = i_2 B_1 l_p \sin \alpha$  – сили Ампера;  $M_{em}$  – електромагнітний момент, що діє на ротор;  $n_2$  – частота обертання ротора;  $M$  – момент обертання ротора;  $M_c$  – гальмівний момент опору, прикладений до валу ротора з боку механічного навантаження;  $f_1$  – частота напруги і струму статора.



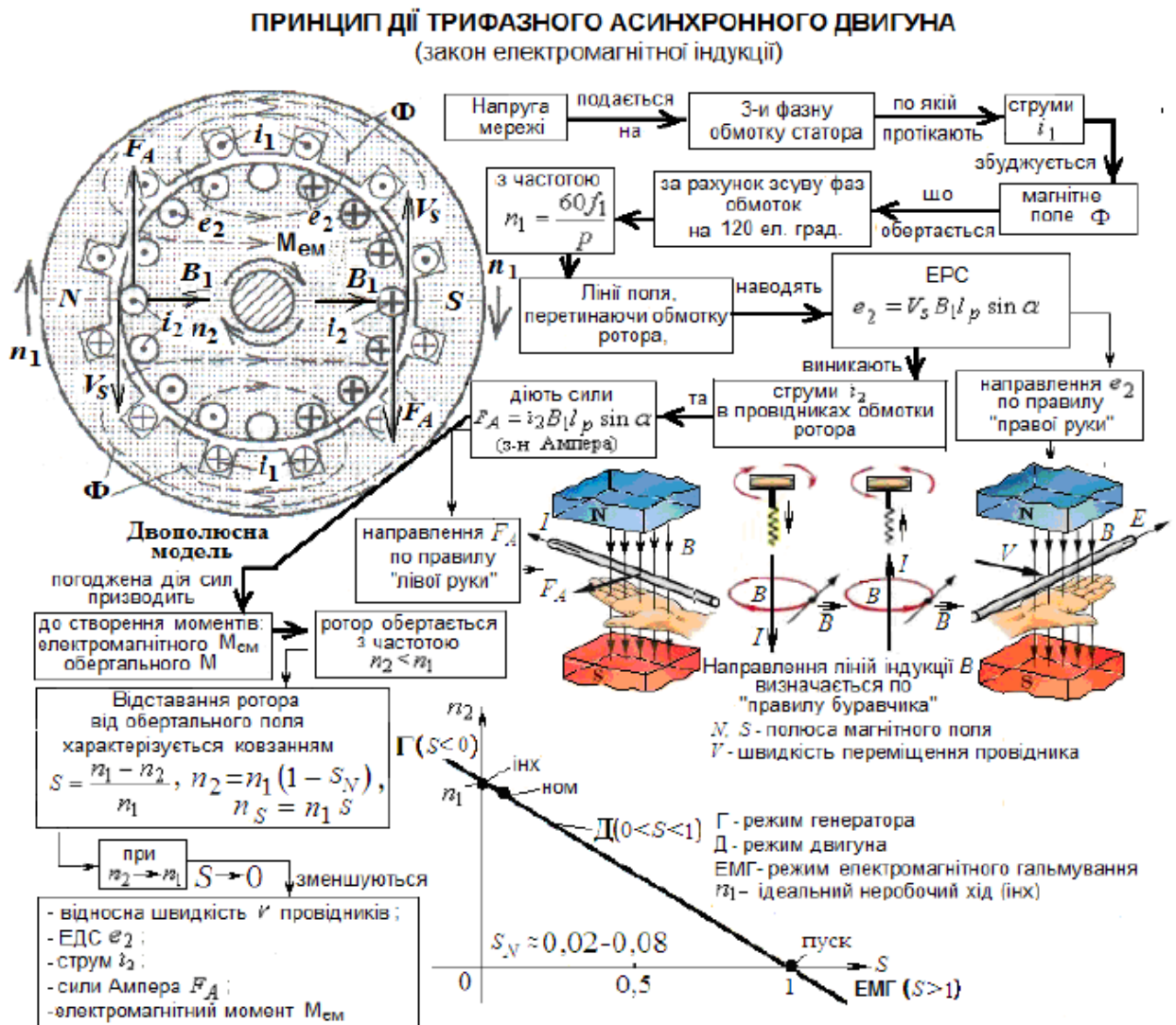


Рисунок 6 – Принцип дії ТАД

Точка, що відповідає  $n_1$ , є точкою «інх» – ідеального неробочого ходу, оскільки при  $M_C = 0$  відповідає ідеальним умовам  $\Delta M = 0$ . Точка «пуск» при  $S = 1$  – пускова. Номінальному режиму «ном» в ТАД відповідає ковзання  $S_{ном} \approx 0,02-0,08$ . Якщо при певних умовах  $S < 0$ , то ТАД переходить в рекуперативний генераторний режим (ділянка «Г») при  $S > 1$  – в режим електромагнітного гальма (ділянка «ЕМГ»), рисунку 6. Таким чином, в руховому режимі асинхронна машина характеризується діапазоном  $0 < S \leq 1$ .

#### 4. Способи регулювання швидкості обертання ТАД

Існує кілька способів регулювання швидкості обертання ТАД. Розглянемо деякі з них.

Введення опору в ланцюг обмотки ротора. Цей спосіб регулювання швидкості ТАД (рис. 7) застосовується при короткочасному регулювальному режимі контактними кільцями електродвигуна.

Включення в ланцюг ТАД різних за величиною опорів сприяє регулюванню швидкості двигуна в одну сторону (зниження), але в досить

широких межах в залежності від величини і числа ступенів опору. При цьому момент  $M$  залишається постійним, а змінюється лише ковзання.

Регулювання швидкості обертання ТАД даним способом є більш економічним, оскільки при його роботі знижуються втрати за рахунок зменшення механічної потужності на валу ТАД і потужності, що підводиться з мережі, при зниженні швидкості обертання двигуна.

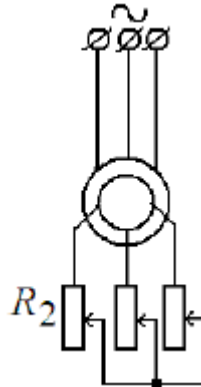


Рисунок 7 – Схема включення опору в ланцюг ротора ТАД з контактними кільцями

Регулювання швидкості ТАД є ступінчастим.

Перемикання числа полюсів обмотки статора. Промисловістю випускаються багатошвидкісні ТАД з короткозамкненим ротором, які можуть мати при перемиканні числа полюсів дві, три і чотири швидкості обертання.

Зміна числа пар полюсів електродвигуна досягається перемиканням полюсів обмотки статора, що складається з окремих частин. При перемиканні окремих обмоток кожної фази з послідовного з'єднання на паралельне число полюсів зменшується і швидкість електродвигуна зростає.

Існує два способи перемикання полюсів (рис. 8):

- перемикання обмоток з одинарною зірки на подвійну (рис. 8, а);
- перемикання з трикутника на подвійну зірку (рис. 8, б).

1. До перемикання обмоток статора (одинарна зірка) потужність електродвигуна:

$$P_1 = 3I_N \frac{U}{3} \cos \varphi = \sqrt{3} I_N U \cos \varphi \quad (1)$$

після перемикання (подвійна зірка):

$$P_1' = \frac{3U 2I_N}{\sqrt{3}} \cos \varphi = 2\sqrt{3} I_N U \cos \varphi \quad (2)$$

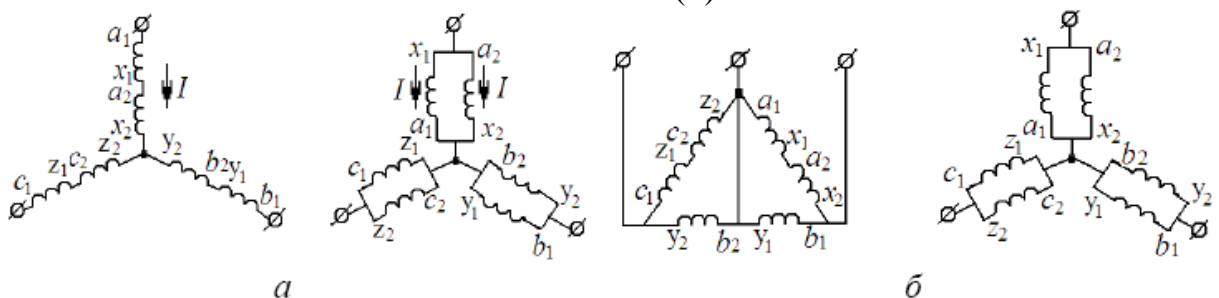


Рисунок 8 – Схеми перемикання двошвидкісного асинхронного двигуна для регулювання швидкості обертання:

а – при постійному моменті; б – при постійній потужності

При збільшенні швидкості після перемикання напруга на кожній половині фази збільшується вдвічі і потужність також збільшується вдвічі. Одночасно число витків обмоток при паралельному з'єднанні зменшується вдвічі. В результаті, обертаючий момент, що розвивається двигуном, залишається постійним:

$$M = \frac{P_1}{\omega_1} ; \quad M' = \frac{2P_1}{2\omega_1} ; \quad M = M' = \text{const} ; \quad \frac{P_1}{P'_1} = \frac{\sqrt{3}UI_N \cos \varphi}{2\sqrt{3}UI_N \cos \varphi} = \frac{1}{2} \quad (3)$$

2. До перемикання обмоток (трикутник) потужність

$$P_1 = 3I_N U \cos \varphi \quad (4)$$

Після перемикання струм у мережі та потужність електродвигуна:

$$I = 2I_N, \quad P'_1 = 3 \frac{U}{\sqrt{3}} 2I_N \cos \varphi ; \quad \frac{P_1}{P'_1} = \frac{3UI_N \cos \varphi \sqrt{3}}{3U 2I_N \cos \varphi} = \frac{\sqrt{3}}{2} \approx 0,85 \quad (5)$$

$$\frac{M}{M'} \approx \frac{\omega}{\omega'}$$

отже  $\frac{M}{M'} \approx \frac{\omega}{\omega'}$

Таким чином, за умовами нагріву потужності  $P$  і  $P'$  приблизно однакові, а обертаючі моменти змінюються назад пропорційно зміні швидкостей (рис. 9).

З механічних характеристик багатошвидкісних ТАД (рис. 9, а) видно, що при переході до  $\omega_2 < \omega_1$  електродвигун спочатку працює в режимі генераторного гальмування з віддачею енергії в мережу.

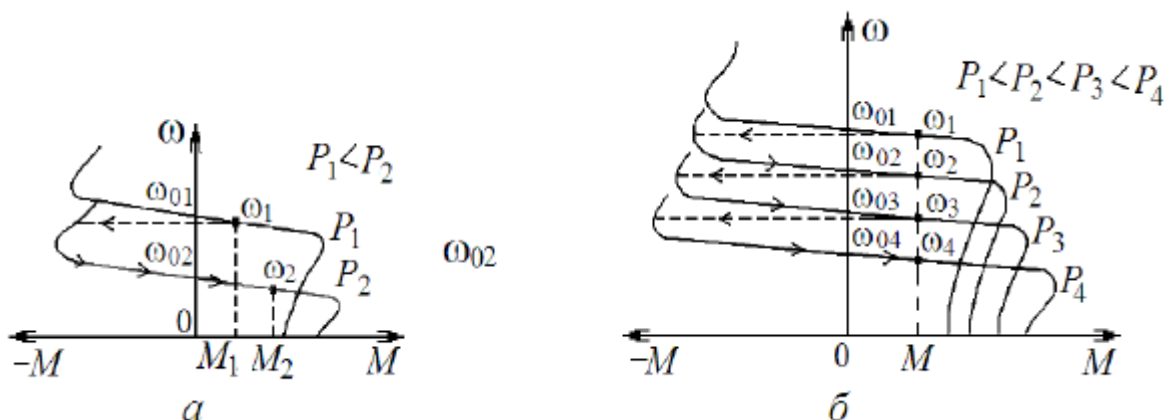


Рисунок 9 – Механічні характеристики багатошвидкісних асинхронних двигунів:

а – двошвидкісний двигун при постійній потужності;

б – чотиришвидкісний двигун при постійному моменті

При перемиканні обмоток отримуються можливі швидкості обертання. У чотиришвидкісному ТАД у пазах статора розміщується дві обмотки, що відповідають різному числу полюсів (рис. 9, б).

Певну швидкість створює перша, або друга з цих обмоток, що переключена на більше або менше число полюсів.

В результаті регулювання є ступінчастим і використовується в підйомно-транспортних механізмах, металорізальних верстатах і інших, де плавність регулювання не є обов'язковою умовою, а механізм при цьому спрощується.

Зміна частоти живлячого струму. Для одержання плавного і стійкого регулювання швидкості ТАД в широких межах використовується спосіб регулювання шляхом зміни частоти напруги струму, оскільки кутова частота  $\omega_0 = 2\pi f / p$  (де  $f$  – частота мережі,  $p$  – число пар полюсів).

Зміна частоти здійснюється за допомогою незалежного джерела енергії.

Даний спосіб регулювання швидкості може бути застосований для одного або декількох ТАД (рис. 10), що працюють в одному і тому ж режимі (наприклад, транспортні роликові пристрої прокатних станів).

Схема включення і регулювання швидкості ТАД (див. рис. 10) складається з обертового перетворювача частоти (ПЧ), який є джерелом електричної енергії для регульованого ТАД; електродвигуна  $M$  постійного струму, генератора постійного струму  $G$ , приводного асинхронного двигуна  $PD$ , регульовальних опорів  $R_1$  і  $R_2$  в ланцюзі збудження  $G$  і  $M$ . В якості ПЧ розглядається асинхронний двигун з контактними кільцями.

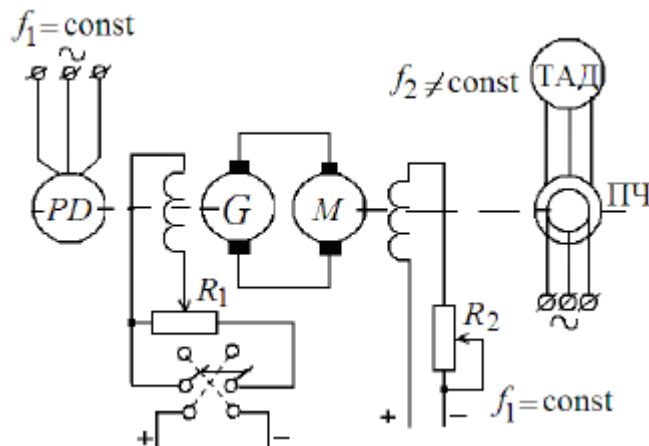


Рисунок 10 – Схема включення і регулювання швидкості обертання ТАД зміною частоти живлячого струму

На ротор перетворювача ПЧ подається живлення від змінного струму частоти  $f_1$ . З валу двигуна  $M$  також надходить частина потужності.

Показана схема (див. рис. 10) забезпечує наступні режими роботи ТАД: пуск в хід, регулювання швидкості обертання за допомогою зміни частоти перетворювача ПЧ, гальмування. Напруга, що підводиться до двигуна, змінюється пропорційно частоті.

При пуску ТАД частота живлячого струму поступово підвищується; при гальмуванні відбувається зменшення частоти перетворювача.

Струм, що живить ТАД, має змінну частоту за рахунок зміни швидкості перетворювача. Цю швидкість можна регулювати:

- зміною напруги, що підводиться до електродвигуна М, шляхом виведення регулювального опору R1 ;
- зміною потоку збудження електродвигуна М шляхом введення регулювального опору R2 в ланцюг збудження електродвигуна.

Будь який швидкості перетворення відповідає певна частота  $f_2$  :

$$f_2 = f_1 s = f_1 \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \quad (6)$$

Якщо  $f_1 > f_2$ , то перетворювач частоти обертається по напрямку обертання магнітного потоку, обумовленого силою, що намагнічує (н. с.) обмотку ротора:

$$\omega_1 = \frac{2\pi f_1}{p}; \quad \omega_2 = \frac{2\pi f_2}{p} \quad (7)$$

Швидкість обертання вала перетворювача частоти:

$$\omega = \omega_1 - \omega_2 = \frac{2\pi}{p}(f_1 - f_2), \quad (6.8)$$

де  $\omega_1$  – швидкість обертання магнітного потоку, обумовленого н. с. обмотки статора, відносно статора;  $\omega_2$  – швидкість обертання магнітного потоку, обумовленого н. с. обмотки ротора, щодо ротора.

При зазначеній вище умови магнітні поля статора й ротора нерухливі відносно один одного.

Якщо  $f_1 < f_2$ , то вал перетворення частоти, що обертається в напрямку, протилежному обертанню магнітного поля, обумовленого н. с. обмотки ротора.

$$\omega = \omega_1 + \omega_2 = \frac{2\pi}{p}(f_1 + f_2). \quad (9)$$

Механічні характеристики (рис. 11), використовуються при регулюванні швидкості електродвигуна зі зміною частоти. Можливі межі регулювання даними способом 10:1 і вище, що сприяє плавному режиму. Даний спосіб регулювання є найбільш перспективним, незважаючи на високі витрати на обладнання і громіздку схему. Для зменшення витрат в даний час розроблені схеми для перетворювачів частоти на напівпровідникових елементах.

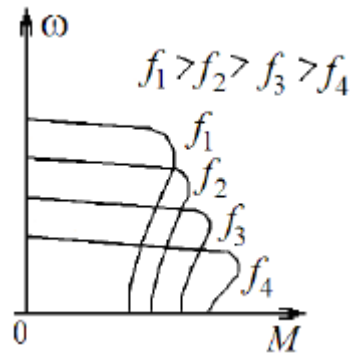


Рисунок 11 – Механічні характеристики ТАД при регулюванні швидкості обертання зміною частоти живлячого струму

## 5. Синхронні машини

Синхронна машина (СМ) – машина змінного струму, принцип дії якої заснований на взаємодії обертаючих з однаковою частотою (синхронною) магнітних полів ротора і статора (рис. 12).

Застосовують СМ, головним чином, для перетворення механічної енергії первинних двигунів в електричну, тобто в якості генераторів електричної енергії змінного струму.



Рисунок 12 – Призначення і область застосування синхронних машин

## 6. Побудова синхронної машини і способи її пуску

Як і інші електричні машини, трифазна синхронна машина оборотна, тобто може працювати в різних режимах. Її конструкція досить універсальна і, насамперед, залежить від рівня потужності і частоти обертання ротора.

Конструкція СМ представлена на рисунку 8, її поздовжнім і поперечним розрізами.



Всі синхронні машини в принципі мають однакову конструкцію. Вони складаються з нерухомої частини, яку називають статором, рухома частина СМ називається ротор.

Статор являє собою корпус, всередині якої закріплено осердя, яке має циліндричну форму і набирається з тонких пластин з електротехнічної сталі для зменшення втрат на вихрові струми і гістерезис. В осерді з внутрішньої сторони є пази, в які покладена трифазна обмотка статора. Осердя разом з обмоткою називається якорем (рис. 12).

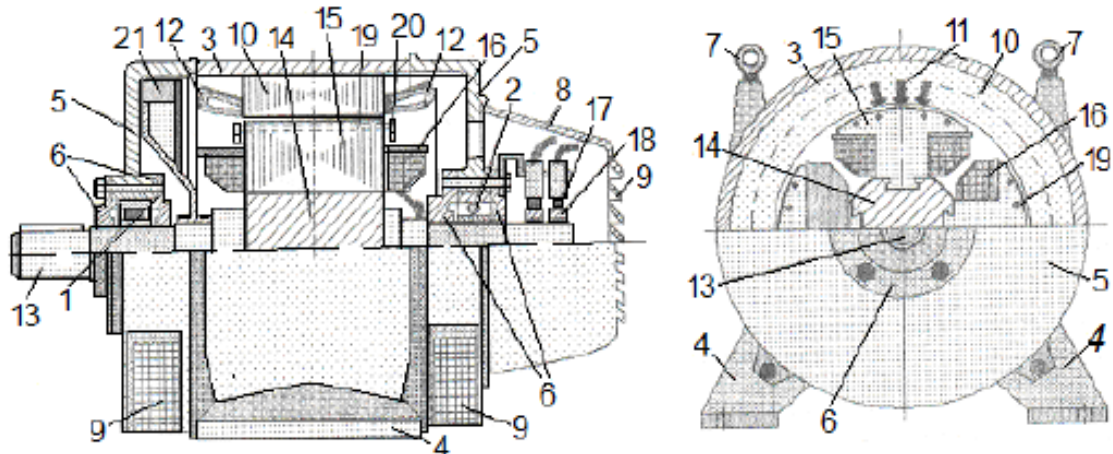


Рисунок 12 – Побудова синхронної машини

1, 2 – підшипники; 3 – корпус; 4 – лапи; 5 – підшипникові шипи; 7 – рим-болт; 8 – захисний ковпак; 9 – жалюзі; 10 – осердя статора; 11 – обмотка статора; 12 – лобові частини обмотки статора; 13 – вал; 14 – ярмо; 15 – полюс; 16 – багатівіткові котушки; 17 – щітки; 18 – контактні кільця; 19 – стрижні ротора; 20 – короткозамикаюча обмотка; 21 – вентилятор

Фазні обмотки (рис. 14) з'єднуються один з одним, наприклад, за схемою «зірка» і їх зовнішні висновки U, V, W включаються в трифазну мережу.

Можливо наявність і нейтрального проводу N. Обмотки просторово розташовані по дузі кола статора зі зрушенням на 120 електричних градусів.

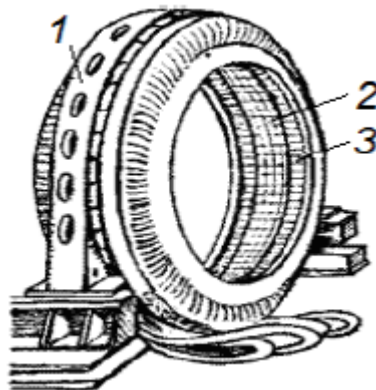


Рисунок 13 – Нерухомий якір синхронної машини:

1 – корпус; 2 – осердя; 3 – обмотка

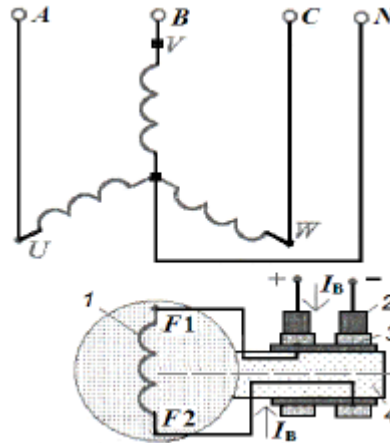


Рисунок 14 – Електромагнітна частина статора і ротора:

1 – обмотка збудження; 2 – щітки; 3 – контактні кільця; 4 – вал

Статор механічно пов'язаний з ротором через підшипники, а в активній частині їх розділяє повітряний зазор.

Ротор знаходиться всередині статора і являє собою осердя з суцільною сталі, який знаходиться на валу. На осерді ротора розташована обмотка збудження, що живиться постійним струмом. Тому немає необхідності робити осердя ротора з шихтованої сталі, оскільки магнітний потік ротора постійний.

Всі синхронні машини можна розділити на два види. Перший з них це синхронні машини, у яких ротор виконаний з неявно вираженими полюсами і обмотка ротора рівномірно укладена у пази осердя. Неявнополюсні ротори мають, головним чином, синхронні генератори, що призначені для безпосереднього з'єднання з паровими турбінами. Такі машини називають турбогенераторами.

У синхронних машинах, які використовуються в електротранспортних засобах застосовуються явнополюсні ротори. На роторі явнополюсної машини (рис. 15) чітко виділяються магнітні полюси, на які укладається обмотка збудження у вигляді багатовиткових котушок.

Багатовиткові котушки ротора виготовляються з мідного ізолюваного дроту. Ці котушки з'єднані один з одним послідовно і утворюють обмотку збудження. Щітки 2 (див. рис. 14), що закріплені на статорі і контактні кільця 3, які встановлені на валу, утворюють ковзні електричні контакти. Через них обмотка збудження F1- F2 живиться постійним струмом збудження  $I_B$ .

Обмотка збудження ротора створює в СМ основний магнітний потік.

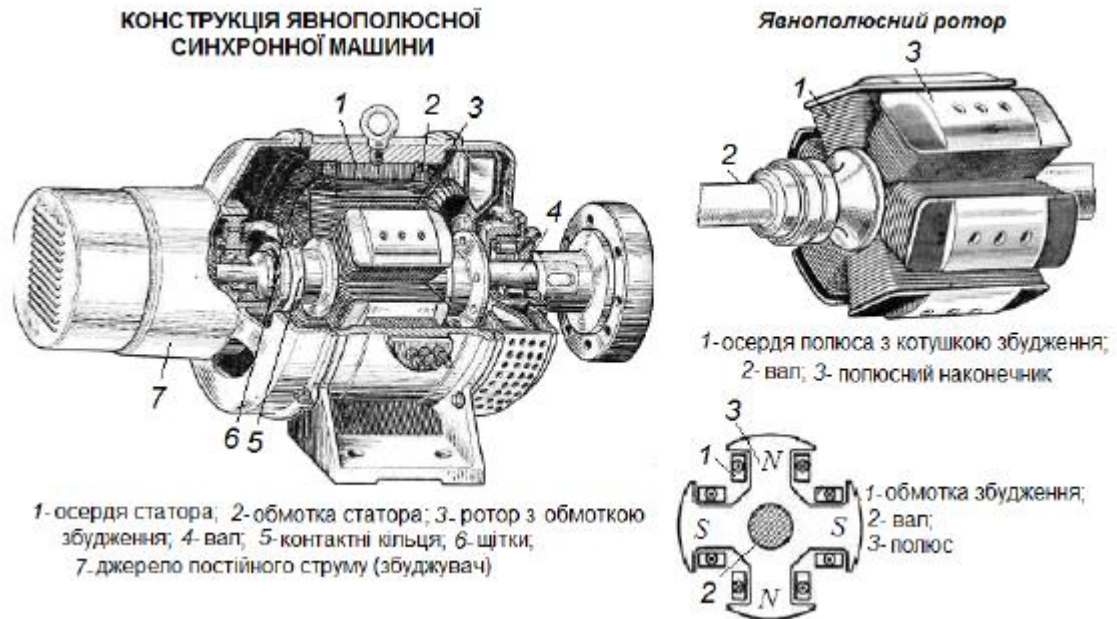


Рисунок 15 – Конструкція синхронної машини з явнополіусним ротором

Збудження синхронної машини. Залежно від способу живлення обмотки збудження розрізняються на системи незалежного збудження і самозбудження.

При незалежному збудженні в якості джерела для живлення обмотки збудження ротора служить генератор постійного струму (збудник – рис. 14), встановлений на валу ротора синхронної машини або ж окремий допоміжний генератор, що приводиться в рух синхронним або асинхронним двигуном.

Незалежне збудження використовується в машинах великої потужності.

При самовозбудженні обмотка збудження ротора живиться від обмотки якоря через керований або некерований випрямляч (напівпровідниковий або іонний). Потужність, необхідна для збудження струму в обмотці ротора від випрямляча, невелика і складає 0,3–3% від потужності синхронної машини.

При цьому, регулювання струму збудження  $I_b$  здійснюється автоматично спеціальними регуляторами збудження. Такий вид порушення використовується в машинах малої потужності, де також застосовується регулювання вручну реостатом, включеним в коло обмотки збудження ротора.

## 7. Робота синхронної машини в режимі генератора та двигуна

В основі принципу роботи синхронної машини лежить взаємодія двох типів магнітних полів. В синхронній машині обмотки, в якій індукуються ЕРС і протікає струм навантаження, називають обмоткою якоря, а частина машини, на якій розташована обмотка збудження – індуктором. Розглянемо докладніше принцип дії синхронної машини в режимі генератора (рис. 16).

Робота синхронного генератора заснована на явищі електромагнітної індукції. При неробочому ході обмотка якоря (статора) розімкнута, і магнітне поле машини утворюється тільки обмоткою збудження ротора.

У процесі роботи навантаженого синхронного генератора в ньому одночасно діють МДС збудження і МДС якоря, яка посилює або послаблює поле збудження або ж спотворює його форму.

Вплив поля якоря (статора) на магнітне поле машини називається реакцією якоря. Вона впливає на робочі властивості синхронної машини, оскільки зміна магнітного поля в машині супроводжується зміною ЕРС, наведеної в обмотці статора, а отже, зміною та ряду інших величин, пов'язаних з цією ЕРС. Вплив реакції якоря на роботу синхронної машини також залежить від характеру навантаження і режиму її роботи.

Синхронні генератори, як правило, працюють в основному на змішане навантаження (активно-індуктивне або активно-ємнісне).

#### РОБОТА СИНХРОННОЇ МАШИНИ В РЕЖИМІ ГЕНЕРАТОРА

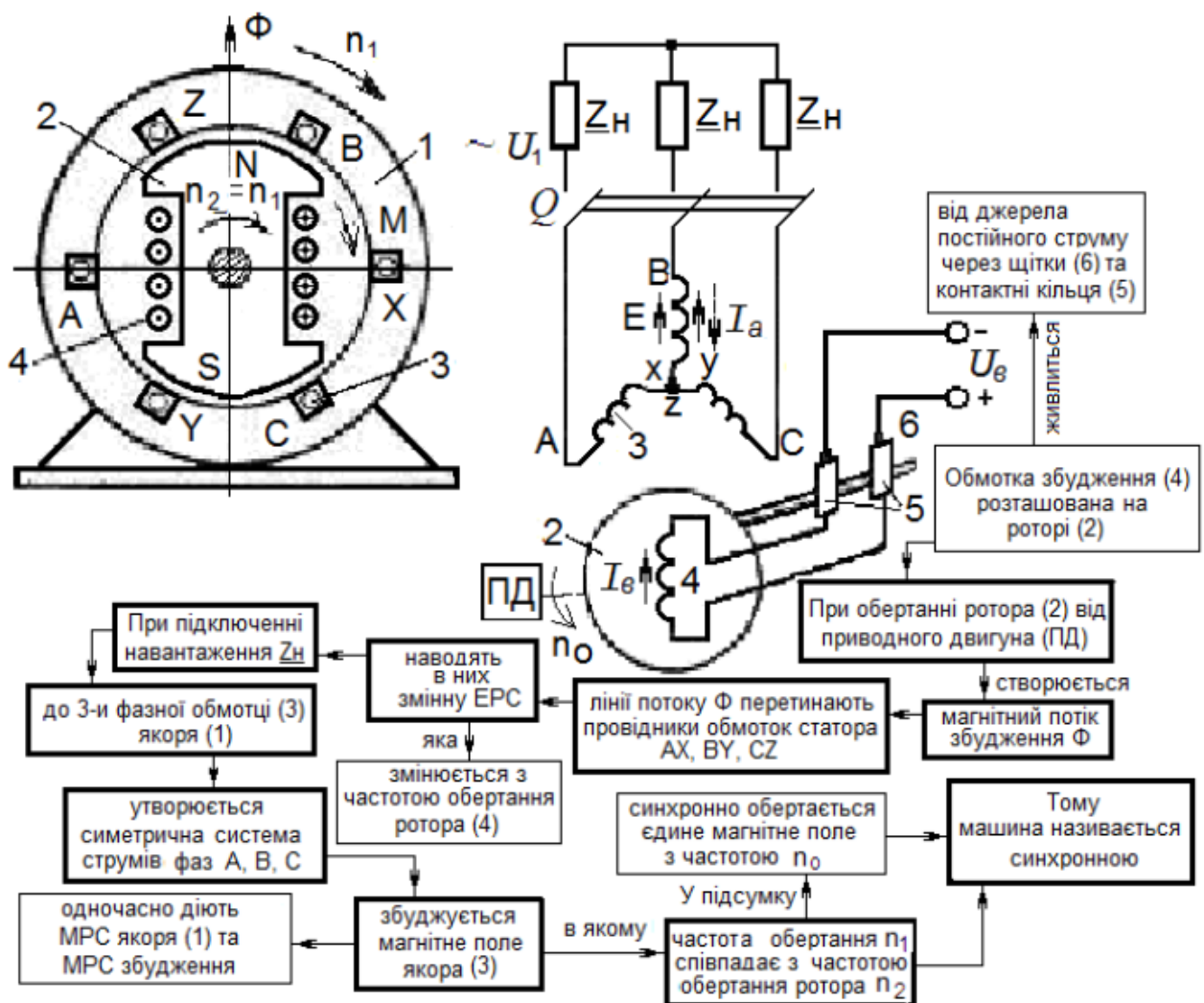


Рисунок 16 – Робота синхронної машини в режимі генератора

Синхронні машини застосовуються також в якості електричного двигуна, особливо в установках великої потужності (понад 50 кВт). Принцип дії синхронного двигуна показано на рисунку 17.



Таким чином, електричні машини змінного струму широко використовуються в різноманітних приводних системах електротехнічних пристроїв і загальнопромислових механізмах.

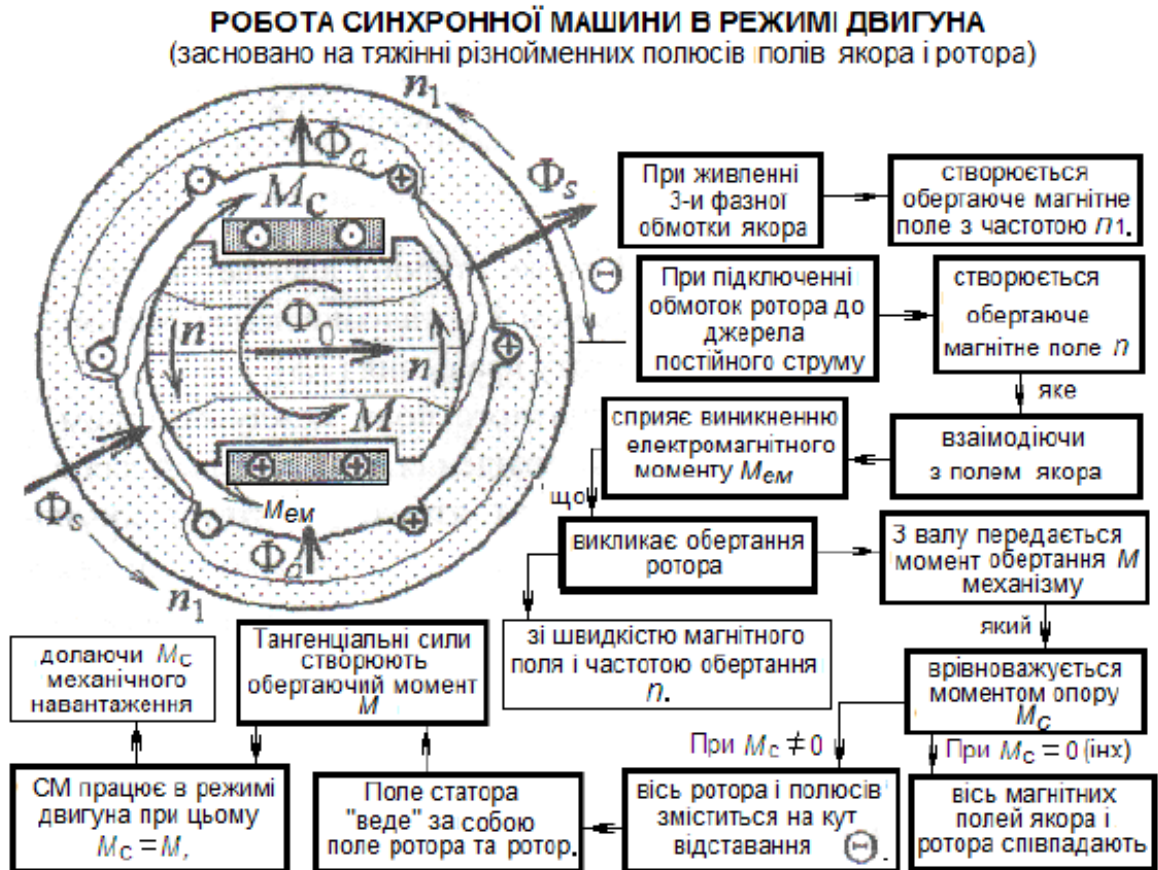


Рисунок 17 – Робота синхронної машини в режимі двигуна

Контрольні питання

1. Перелічити основні параметри асинхронних двигунів.
2. Які існують основні режими роботи асинхронних двигунів?
3. Перелічити основні елементи асинхронних машин.
4. Як класифікуються асинхронні двигуни по конструктивному виконанні?
5. Чим відрізняється асинхронний двигун з короткозамкненим ротором від асинхронного двигуна з фазним ротором (контактними кільцями)?
6. На якому законі основана робота асинхронних двигунів?
7. У чому полягає принцип дії трифазного асинхронного двигуна?
8. Перелічити способи регулювання швидкості обертання ТАД.
9. У чому полягає спосіб регулювання ТАД шляхом зміни частоти живлячого струму?
10. Що являє собою синхронна машина?
11. Перелічити основні елементи синхронних машин.
12. Які існують системи збудження синхронної машини?
13. У чому полягає робота синхронного генератора?
14. Пояснити роботу синхронного двигуна.