

Лекція №7

АСИНХРОННІ МАШИНИ. БУДОВА І ПРИНЦИП ДІЇ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

План лекції:

1. Будова і принцип дії асинхронних двигунів.
2. Режими роботи асинхронних двигунів.

Робота асинхронних машин заснована на взаємодії магнітного поля, що обертається, статора зі струмами в обмотці ротора.

На відміну від синхронних машин швидкість обертання ротора асинхронної машини залежить не тільки від частоти прикладеної напруги, але й і від величини навантаження (протидіючого моменту на валу).

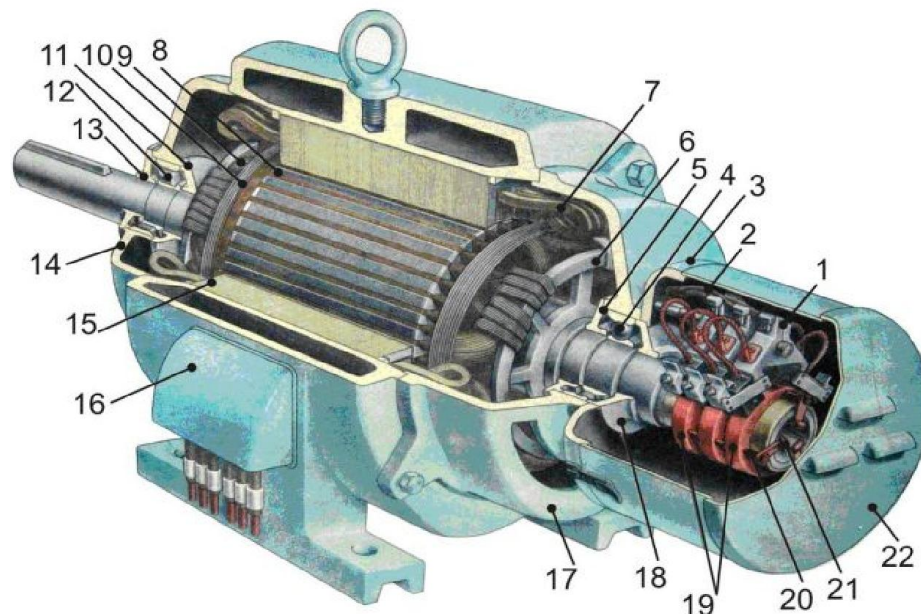
Асинхронна машина має властивість зворотності і може працювати як в режимі генератора, так і в режимі двигуна. Однак найбільш практичне застосування отримали асинхронні двигуни. Асинхронні машини мають перевагу від інших електродвигунів простою конструкцією і надійністю в роботі. Асинхронні двигуни в даний час є основним типом електродвигунів, що застосовуються для приводу різноманітних механізмів в промисловості, на будівництві, в сільському господарстві та в інших галузях.

1 Будова і принцип дії асинхронних двигунів

Асинхронний двигун складається з нерухомої частини – статора і рухомої – ротора (**рисунок 7.1**). Статором є сталеве **осердя** у вигляді порожнистого циліндра, що набирається з окремих листів електротехнічної сталі, ізолюваних між собою лаком. У середині циліндра виштампувані пази, куди укладають обмотку статора. За будовою статор асинхронного двигуна майже нічим не відрізняється від статора синхронної машини. Обмотки статорів асинхронної і синхронної машин розраховують і виконують аналогічно.

В середині статора поміщається ротор, що є сталевим циліндром, який набирають з окремих листів електротехнічної сталі, покритих ізоляційним лаком. Ротори бувають двох типів: фазний (рисунк 7.1, 7.2) та короткозамкнений (рисунк 7.3, 7.5).

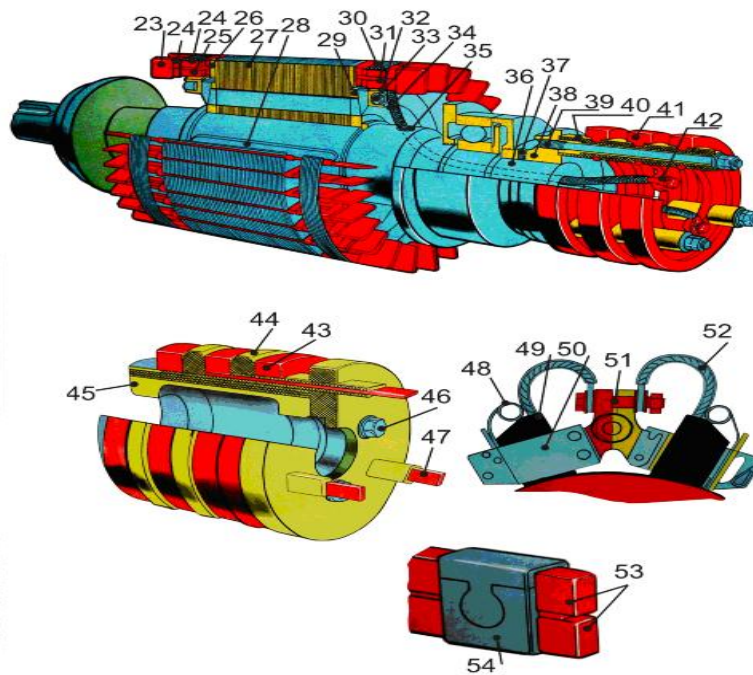
У пази фазного ротора укладають трифазну обмотку, що виконується за типом обмотки статора. Розріз двигуна з фазним ротором представлений на [рисунку 7.1](#).



1 – щіткова траверса; 2 – виводи від щіток; 3 – фланець з щітковим пристроєм; 4 – шарикопідшипник; 5 – внутрішня кришка підшипника; 6 – обмотко утримувач; 7 – обмотка статора; 8 – осердя ротора; 9 – обмотка ротора; 10 – бандаж; 11 – внутрішня кришка підшипника; 12 – роликовий підшипник; 13 – зовнішня кришка підшипника; 14 – передній підшипниковий щит; 15 – статор; 16 – коробка з виводами; 17 – задній підшипниковий щит; 18 – зовнішня підшипникова кришка; 19 – контактні кільця; 20 – контактні стержні; 21 – виводи обмотки ротора; 22 – кожух.

Рисунк 7.1 – Поперечний переріз асинхронного двигуна з фазним ротором

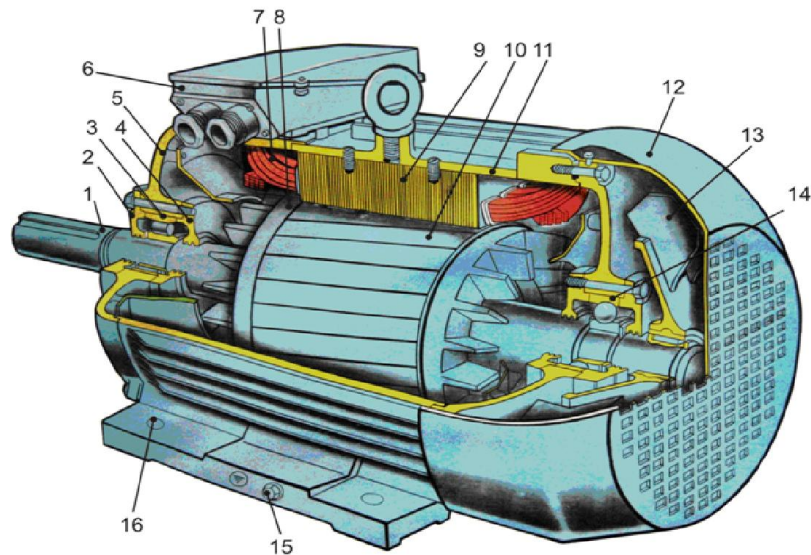
Як правило, фазну обмотку ротора з'єднують в зірку. При цьому кінці обмотки сполучають разом, а початки приєднують до контактних кілець, на які встановлюють щітки, сполучені з пусковим реостатом. Схеми двигунів приведені на [рисунку 7.6](#).



23 – вентиляційна лопатка; 24 – хомутик для з'єднання стрижнів; 25, 26 – верхні і нижні стрижні; 27 – пазова ізоляція; 28 – магнітопровід ротора; 29 – шпонка; 30 – нажимна шайба з обмоткоутримувачем; 31 – бандаж; 32 – ізоляція між стрижнями; 33 – ізоляція на обмоткоутримувачі; 34 – балансувальний тягар; 35 – вивідний кінець обмотки; 36 – отвір в валу; 37 – вал; 38 – гвинт; 39 – ступиця контактних кілець; 40 – шпилька для кріплення контактних кілець; 41 – ізоляційна втулка; 42 – з'єднання вивода з контактним кільцем; 43 – контактне кільце; 44 – ізоляція між контактними кільцями; 45 – втулка; 46 – болт кріплення ізоляційної шайби; 47 – виводи для приєднання обмотки; 48 – пружина; 49 – щітка; 50 – щітко утримувач; 51 – болт кріплення щіткоутримувача; 52 – струмопровідний тросик; 53 – стрижні; 54 – хомутик.

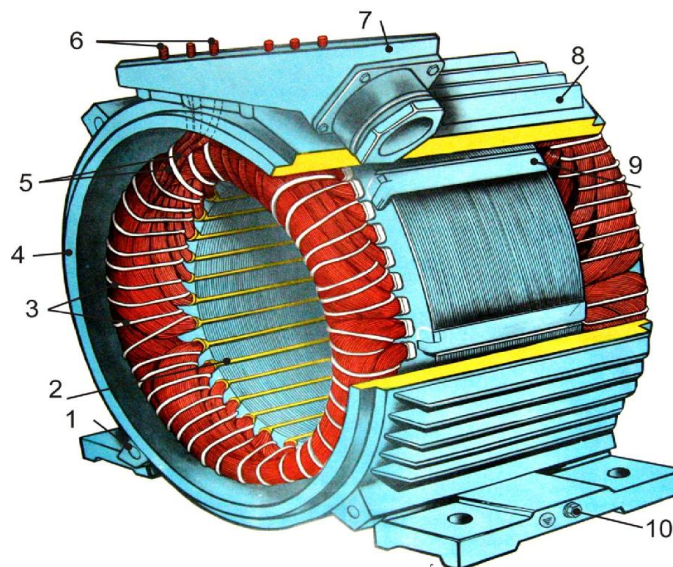
Рисунок 7.2 – Поперечний переріз фазного ротора асинхронного двигуна

У пази короткозамкненого ротора укладають обмотку у вигляді білячої клітки, що виконується з мідних (алюмінієвих) стержнів, яку з торцевих сторін замикають кільцями **рисунок 7.5**. У двигунах невеликої потужності, до 100 кВт, «білячу клітку» виготовляють шляхом заливки пазів ротора алюмінієм під тиском. Білячу клітку від сталі ротора не ізолюють, оскільки провідність провідників обмотки в десятки разів більше провідності сталі. При відливанні «білячої клітки» з алюмінію одночасно відливають і бічні кільця разом з вентиляційними лопатками **рисунок 7.5**.



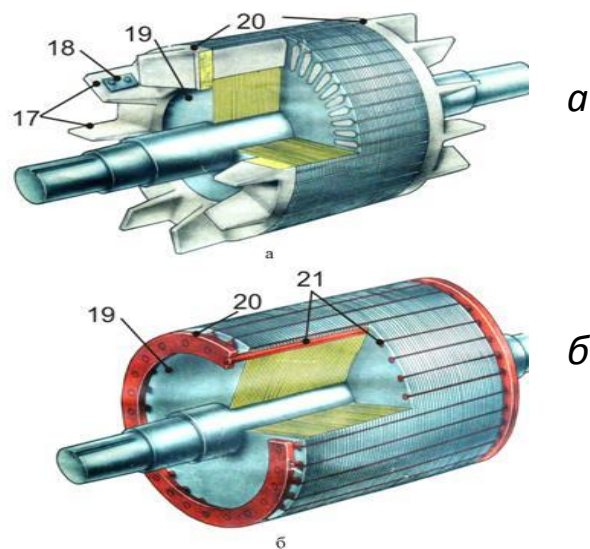
1 – вал; 2 – зовнішня кришка підшипника; 3 – роликовий підшипник; 4 – внутрішня кришка підшипника; 5 – підшипниковий щит; 6 – коробка виводів; 7 – обмотка статора; 8 – обмотка ротора; 9 – осердя статора; 10 – осердя ротора; 11 – кожух електродвигуна; 12 – кожух вентилятора; 13 – вентилятор; 14 – шариковий підшипник; 15 – болт заземлення; 16 – отвори для болта кріплення електродвигуна.

Рисунок 7.3 – Асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором



1 – отвори для кріплення підшипникових щитів; 2 – клинова кришка для обмотки в пазу; 3 – бандаж кріплення лобової частини обмоток; 4 – корпус; 5 – вивідні кінці; 6 – контактні болти коробки виводів; 7 – корпус коробки виводів; 8 – оребріння охолодження; 9 – скоби кріплення осердя; 10 – болт заземлення.

Рисунок 7.4 – Статор асинхронного електродвигуна



17 – вентиляційні лопатки; 18 – балансувальний тягар; 19 – осердя статора; 20 – короткозамикаючі кільця; 21 – стрижні в пазах.

a – ротор з литою білячою кліткою; *б* – ротор із звареною білячою кліткою

Рисунок 7.5 – Короткозамкнений ротор асинхронного двигуна

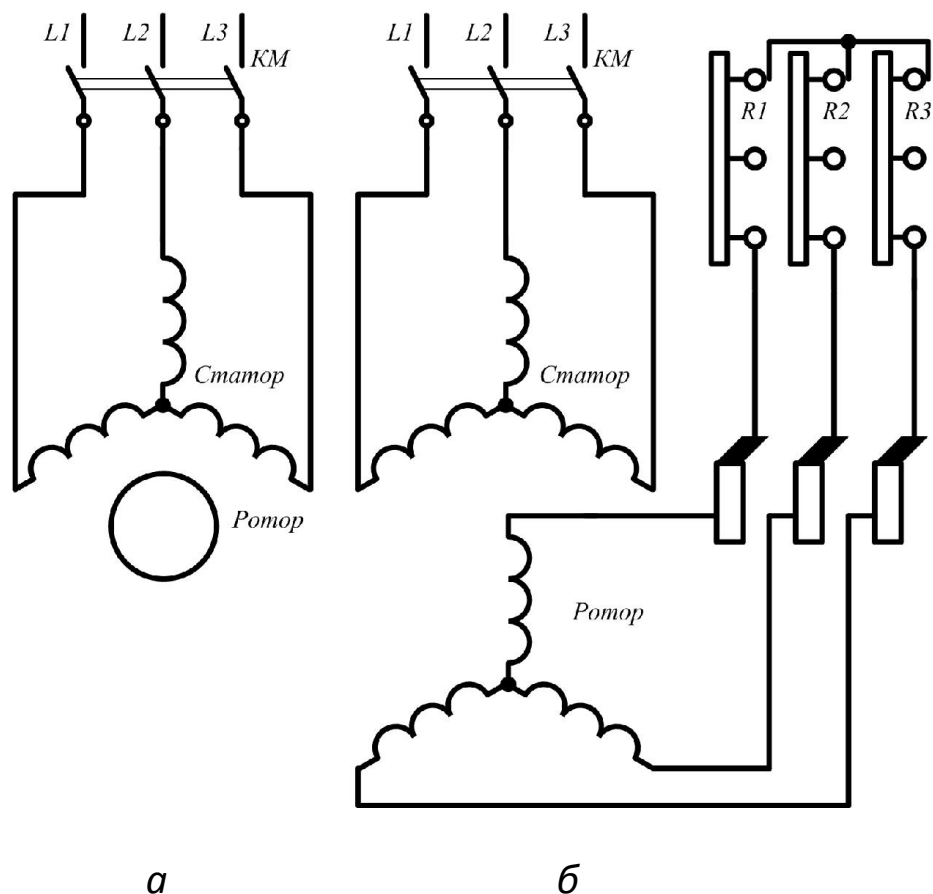
Виводи статорних обмоток асинхронних двигунів позначають таким чином:

	початки	кінці
1-а фаза	C1	C4
2-а фаза	C2	C5
3-я фаза	C3	C6

Обмотки двигуна можуть бути з'єднані в зірку або в трикутник. Для зручності з'єднання обмоток в трикутник виводи обмоток приєднані до клемної колодки за схемою, що приведена **на рисунку 7.7**. Якщо на паспорті двигуна написано 220/380 В і стоїть позначення Δ/Y , то це означає, що при лінійній напрузі в мережі 220 В обмотки потрібно з'єднати в трикутник, а при лінійній напрузі 380 В – в зірку. Виводи обмоток ротора позначають буквами P1, P2, P3.

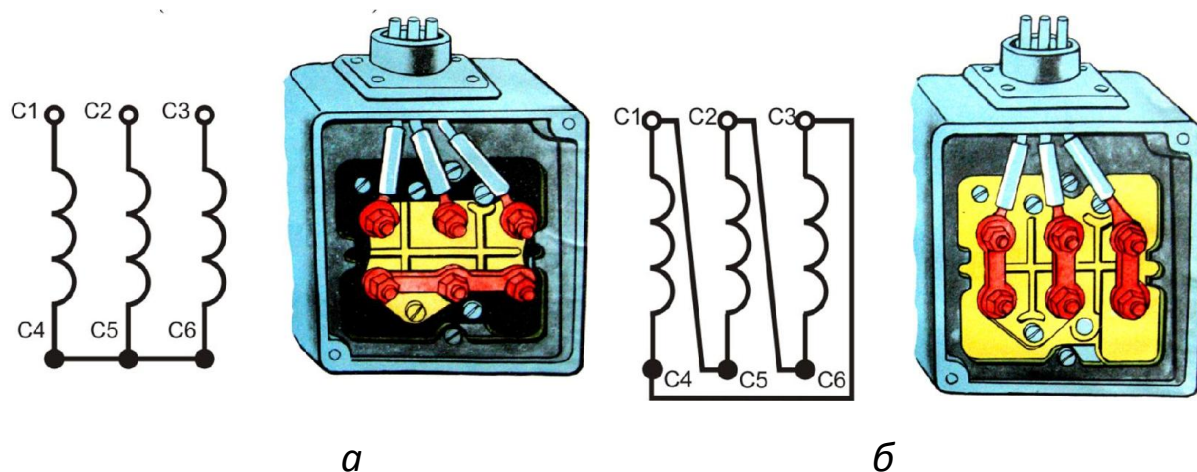
Асинхронний трифазний двигун – найпоширеніший в промисловості і сільському господарстві. Близько 95% всіх двигунів – асинхронні.

Асинхронний двигун винайдений російським ученим М. О. Доливо-Добровольським в 1889 р. Простота пристрою, дешевизна, високий ККД, велика надійність в роботі сприяли його швидкому впровадженню у всі галузі господарства.



а – з короткозамкненим ротором; *б* – з фазним ротором

Рисунок 7.6 – Схеми асинхронних двигунів



а – з'єднання обмоток у зірку; *б* – з'єднання обмоток у трикутник

Рисунок 7.7 – Схеми з'єднань обмоток статора асинхронних двигунів

Принцип дії асинхронного двигуна заснований на взаємодії магнітного поля, що обертається, що створюється в трифазній обмотці статора, і провідників із струмом, з яких складається обмотка ротора. Швидкість обертання поля визначають з формули

$$n_1 = \frac{60f}{p}. \quad (7.1)$$

Уявімо собі магнітне поле, що обертається, у вигляді кільця з двома постійними магнітами **рисунок 7.8**.

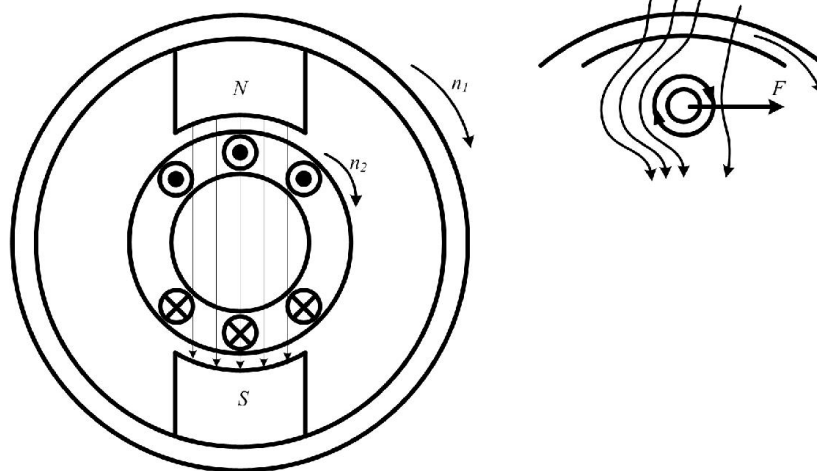


Рисунок 7.8 – Принцип дії асинхронного двигуна

В середині кільця розміщена обмотка ротора у вигляді короткозамкненої «білячої клітки».

Магнітне поле статора, що обертається, індукує в проводах обмотки ротора струми, напрям яких визначають за правилом правої руки. При цьому потрібно мати на увазі, що якщо магнітне поле обертається за годинниковою стрілкою, то відносно обертання провідника потрібно приймати проти годинникової стрілки.

У проводах, що знаходяться під північним полюсом, струм направлений до нас і напрям його позначимо крапкою.

При взаємодії магнітного поля статора і ротора **рисунок 7.8** до проводу прикладена сила F , що заставляє його переміщатися у бік руху поля статора.

Якщо поле статора обертається із швидкістю n_1 , яку називають синхронною, то ротор обертається з меншою швидкістю n_2 , яку називають асинхронною.

Відставання ротора від поля статора називають ковзанням і позначають буквою s .

Величина ковзання може бути визначена з рівняння

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (7.2)$$

Ковзання – основна змінна величина асинхронної машини, від якої залежить режим її роботи.

З формули ковзання (7.2) можна вивести формулу кількості обертів ротора

$$n_2 = n_1(1 - s) \quad (7.3)$$

Число обертів ротора n_2 при номінальних навантаженні, напрузі і частоті вказують на заводському щитку двигуна.

Величина ковзання асинхронних двигунів складає приблизно $s = 0,01 - 0,06$. Ковзання може бути визначене також у відсотках.

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} 100\%. \quad (7.4)$$

В асинхронного двигуна при нерухомому роторі ковзання має максимальне значення $s = 1$, оскільки $n_2 = 0$.

У початковий момент пуску в хід асинхронного двигуна, коли n_2 ще дорівнює нулю, $s = 1$.

2 Режими роботи асинхронних двигунів

Згідно з принципом оборотності електричних машин асинхронні машини можуть працювати як в **двигунному**, так і у **генераторному** режимах (рисунк 7.9, а та б). Крім того, можливий ще й режим **електромагнітного гальмування** – протидія (рисунк 7.9, в).

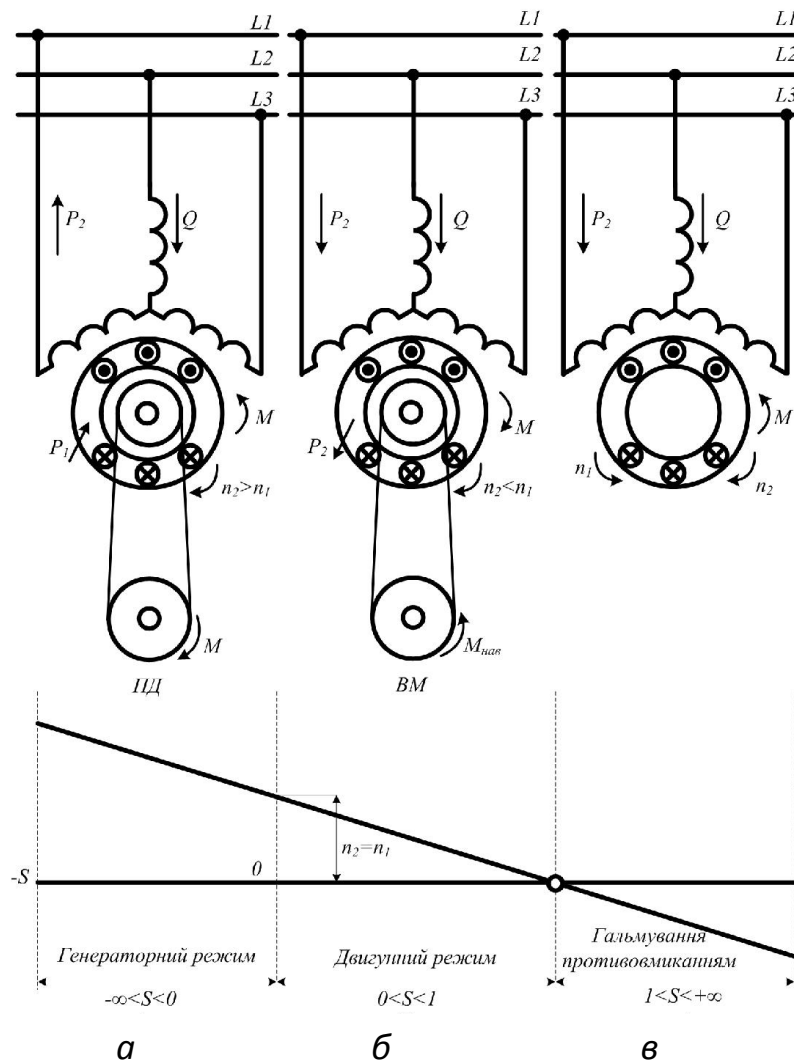


Рисунок 7.9 – Режими роботи асинхронної машини

Двигунний режим (рисунок 7.9, б). При включенні обмотки статора в мережі трифазного струму виникає обертове магнітне поле, яке, зчіпляючись з короткозамкненою обмоткою ротора, наводить у ній ЕРС. При цьому в **стержнях** обмотки ротора з'являються струми. В результаті взаємодії цих струмів з обертовим магнітним полем на роторі виникають електромагнітні сили. Сукупність цих сил створює електромагнітний момент, що обертається, під дією якого ротор асинхронного двигуна приходить в обертання з частотою $n_2 < n_1$ в бік обертання поля статора. Якщо вал асинхронного двигуна механічно з'єднати з валом якого-небудь виконавчого механізму ВМ (верстата, підйомного крана та інше.), то обертовий момент двигуна M , подолавши момент, що протидіє (навантажувальний), $M_{нав}$ виконавчого механізму, призведе механізм до обертання. Отже, електрична потужність P_1 , що надходить у двигун з мережі, в

основній своїй частині перетворюється в механічну потужність P_2 і передається до виконавчого механізму ВМ **рисунок 7.9, б**.

Цілком очевидно, що зі збільшенням моменту навантаження на валу асинхронного двигуна частота обертання ротора n_2 зменшується. Отже, ковзання асинхронного двигуна залежить від механічного навантаження на валу двигуна і може змінюватися в діапазоні $0 < s \leq 1$.

При включенні асинхронного двигуна в мережу в початковий момент часу ротор під впливом сил інерції нерухомий ($n_2 = 0$).

При цьому ковзання s дорівнює одиниці. У режимі роботи двигуна без навантаження на валу (режим неробочого ходу) ротор обертається з частотою трохи меншою синхронної частоти обертання n_1 й ковзання дуже мало відрізняється від нуля ($s \approx 0$). Ковзання, щод відповідає номінальному навантаженню двигуна, називають **номінальним ковзанням** $s_{ном}$. Для асинхронних двигунів загального призначення $s_{ном} = 1 - 8\%$, при цьому для двигунів великої потужності $s_{ном} = 1\%$, а для двигунів малої потужності $s_{ном} = 8\%$.

Перетворивши вираз **(7.2)**, отримаємо формулу для визначення асинхронної частоти обертання **(7.3)**

$$n_2 = n_1(1 - s) .$$

Генераторний режим (рисунок 7.9, а). Якщо обмотки статора включити в мережу, а ротор асинхронної машини за допомогою приводного двигуна ПД (двигун внутрішнього згоряння, турбіна і т. п.), який є джерелом механічної енергії, обертати в напрямку обертання магнітного поля статора з частотою $n_2 > n_1$, то напрямок руху ротора щодо поля статора зміниться на зворотній (порівняно з двигунним режимом роботи цієї машини), так як ротор обганятиме поле статора. При цьому ковзання стане від'ємним, а ЕРС, наведена в обмотці ротора, змінить свій напрямок. Електромагнітний момент на роторі M також змінить свій напрямок, тобто буде направлений зустрічно обертового магнітного поля статора і стане гальмівним по відношенню до обертового моменту приводного двигуна M_1 **рисунок 7.9, а**. У цьому випадку механі-

чна потужність приводного двигуна в основній своїй частині буде перетворена в електричну активну потужність P_2 змінного струму.

Особливість роботи асинхронного генератора полягає в тому, що обертаючись магнітне поле в ньому створює реактивну потужність Q трифазної мережі, в яку включено генератор і куди він віддає вироблювану активну потужність P_2 . Отже, для роботи асинхронного генератора необхідне джерело змінного струму, при підключенні до якого відбувається зрушення генератора, тобто в ньому зрушується обертове магнітне поле.

Ковзання асинхронної машини у генераторному режимі може змінюватися в діапазоні $-\infty < s < 0$, тобто воно може приймати будь-які від'ємні значення.

Гальмівний режим (рисунк 7.9, в). Якщо у працюючого трифазного асинхронного двигуна поміняти місцями будь-яку пару приєднувальних проводів, що підходять до статора з мережі, то обертове поле статора змінить напрямок обертання на зворотній. При цьому ротор асинхронної машини під дією сил інерції буде продовжувати обертання у попередньому напрямку. Іншими словами, ротор і поле статора асинхронної машини будуть обертатися в протилежних напрямках. У цих умовах електромагнітний момент машини, спрямований у бік обертання поля статора, буде чинити на ротор гальмуючу дію (рисунк 7.9, в). Цей режим роботи асинхронної машини називається **електромагнітним гальмуванням** (протидією). Активна потужність, що надходить з мережі в машину при цьому режимі, частково витрачається на компенсацію механічної потужності повороту ротора, тобто на його гальмування.

У режимі електромагнітного гальмування частота обертання ротора є негативною, а тому ковзання набуває додатні значення більше одиниці:

$$s = \frac{[n_1 - (-n_2)]}{n_1} = \frac{n_1 + n_2}{n_1} > 1 \quad (7.5)$$

Ковзання асинхронної машини в режимі гальмування протиковиканням може змінюватися в діапазоні $1 < s < +\infty$, тобто воно може приймати будь-які значення більше одиниці.

Узагальнюючи викладене про режими роботи асинхронної машини, можна зробити висновок: характерною особливістю роботи асинхронної машини є нерівність частот обертання магнітного поля статора n_1 і ротора n_2 , тобто наявність ковзання, оскільки тільки в цьому випадку обертове магнітне поле наводить в обмотці ротора ЕРС і на роторі виникає електромагнітний момент. При цьому кожному режиму роботи асинхронної машини відповідає певний діапазон змін ковзання, а отже, і частоти обертання ротора.

З розглянутих режимів роботи найбільше практичне застосування отримав двигунний режим асинхронної машини, тобто частіше використовують асинхронні двигуни, які складають основу сучасного електропривода, вигідно відрізняючись від інших електродвигунів простотою конструкції і високою надійністю. Тому теорію асинхронних машин прийнято викладати стосовно асинхронних двигунів.

Контрольні запитання

1. Які машини і чому називаються асинхронні
1. Чому асинхронні машини найбільш поширеними електричними машинами?
2. Основні елементи конструкції асинхронної машини.
3. Які два види асинхронних двигунів використовуються найчастіше?
4. Поясніть конструкцію асинхронних двигунів із фазним ротором.
5. Поясніть конструкцію асинхронних двигунів із короткозамкненим ротором.
6. Як позначаються початок і кінець обмотки?
7. Призначення статора та ротора асинхронного двигуна.
8. Поясніть принцип дії асинхронного двигуна.

9. Чому ротор асинхронного двигуна обертається в той же бік, що і магнітне поле?
10. Чому частота обертання ротора двигуна менша ніж частота обертання поля?
11. Що розуміють під ковзанням асинхронної машини, в яких межах воно змінюється?
12. Які режими роботи можливі для асинхронної машини ?
13. Поясніть роботу асинхронної машини в двигунному режимі роботи.
14. Поясніть роботу асинхронної машини в генераторному режимі роботи.
15. Поясніть роботу асинхронної машини в гальмівному режимі роботи.
16. Поясніть електричні схеми ввімкнення асинхронних двигунів у електричну мережу.