

Розділ IV. Трансформатори. Електричні машини

Тема 4.3 «Електричні машини змінного струму»

Лекція 13

Призначення, будова, принцип дії трифазних асинхронних двигунів з короткозамкнутим та фазним ротором. Частота обертання магнітного поля та ротора. Способи пуску, реверсування та регулювання частоти обертання ротора асинхронного електродвигуна. Трифазні електричні машини, їх особливості, переваги, експлуатаційні можливості

Мета: оволодіти знаннями про двигуни змінного струму.

Методи: словесний, практичний, наочний.

План:

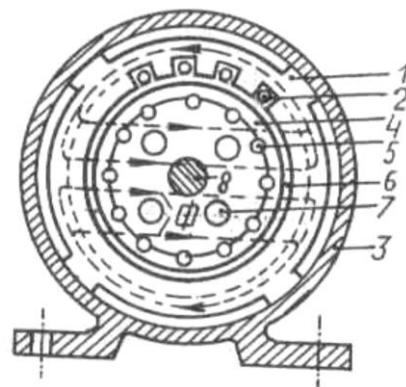
1. Асинхронні машини. Будова і принцип роботи.
2. Частота обертання і частота струму ротора.
3. Запуск асинхронних двигунів.
4. Регулювання частоти обертання асинхронних двигунів.

1. Асинхронні машини. Будова і принцип роботи.

Асинхронні машини принципово можуть працювати генераторами або двигунами. Характеристики асинхронних двигунів (АД) якісно високі. Асинхронні генератори практично не використовуються, тому що мають дуже низькі експлуатаційні властивості. Асинхронні двигуни внаслідок простоти, надійності та ефективності широко розповсюджені.

Асинхронний двигун трифазного струму – це електрична машина, яка перетворює електричну енергію трифазного струму в механічну енергію. Внаслідок простої конструкції, високої надійності в експлуатації й нижчої ціни порівняно з іншими двигунами, асинхронні машини трифазного струму широко застосовуються в промисловості та сільському господарстві. З їх допомогою приводяться в рух металообробні і деревообробні верстати, підйомні крани, ліфти, насоси, вентилятори та ін.

На мал. 1 показана конструктивна схема асинхронного двигуна, на якій позначено: 1 – сталеве осердя статора, набране із сталевих листів електротехнічної сталі; 2 – трифазна обмотка статора; 3 – корпус (станина) статора; 4 – сталеве осердя ротора, теж набране із листів електротехнічної сталі; 5 – обмотка ротора; 6 – повітряний проміжок між ротором і статором; 7 – вентиляційні канали; 8 – вал машини.



Мал. 1. Конструктивна схема асинхронної машини

На внутрішній частині циліндра статора в пазах розміщена трифазна обмотка, яка вмикається в мережу трифазної напруги й створює обертове магнітне поле з p кількістю пар полюсів.

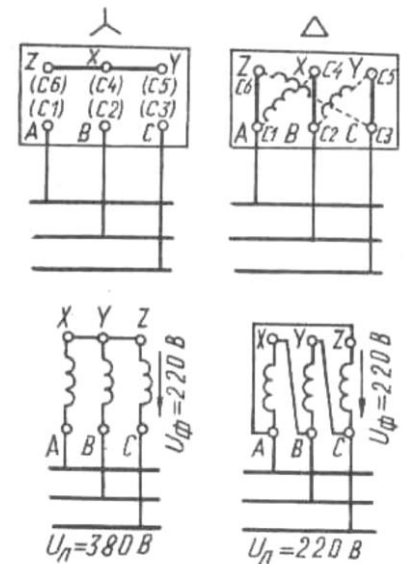
На корпусі двигуна є клемний щиток з шістьма затискачами, до яких приєднані кінці обмоток статора. На цих затискачах **початки** обмоток статора позначені літерами А, В, С (або відповідно літерами С1, С2, С3), а **кінці** – Х, Y, Z (або відповідно С4, С5, С6) (мал. 2). До затискачів А, В, С (чи С1, С2, С3) підводиться трифазна напруга мережі та здійснюється відповідне сполучення обмоток статора: **зіркою** – сполученням між собою клем Х-Y-Z (чи С6-С4-С5); чи **трикутником** – сполученням клем Z-A, Х-B, Y-C (чи С6-С1, С4-С2, С5-С3).

Обвитки двигунів малої та середньої потужності виготовляються на напруги 380/220 і 220/127 В. Напруга в знаменнику (менша за значенням) відповідає (дорівнює) **номінальній напрузі фази двигуна**. Тому при лінійній напрузі мережі $U_L = 380$ В двигун напругою 380/220 В сполучаємо зіркою, при лінійній напрузі мережі $U_L = 220$ В – трикутником. Аналогічно для двигунів напругою 220/127 В: при лінійній напрузі $U_L = 220$ В обвитку двигуна сполучаємо зіркою, а при $U_L = 127$ В – трикутником. Є двигуни на напругу 500 В, а також високовольтні на напругу 3000 і 6000 В (тут вказана лінійна напруга).

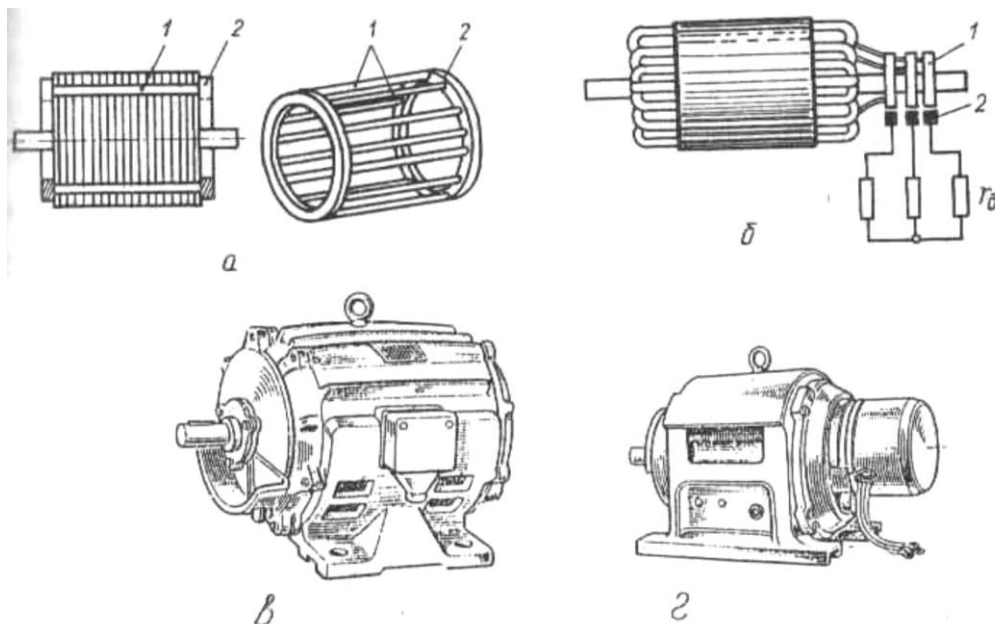
Залежно від конструкцій обвитки ротора розрізняють асинхронні двигуни з **короткозамкненням** і асинхронні двигуни з **фазним ротором** (з контактними кільцями).

Короткозамкнений ротор виготовлений з обвиткою, яка являє собою мідні або алюмінієві стержні (1), укладені без ізоляції в пази й замкнені з торців кільцями (2) накоротко. Алюмінієву обвитку отримують, заливаючи в пази розтоплений алюміній. За зовнішнім виглядом (мал. 3) короткозамкнена обвитка нагадує колесо білки.

Фазний ротор (мал. 3, б) має обвитку, виконану аналогічно обвитці статора. Вона є теж трифазною (для трифазного двигуна) – три котушки, зсунуті на 120° . Кінці цих обмоток з'єднуються в одну точку (сполучені «зіркою»), а початки виводяться до трьох контактних кілець 1, розміщених на валу. Кільця ізолювані між собою, а також від валу машини. За допомогою щіток 2, накладених на кільця, в коло обвитки ротора вмикається додатковий трифазний опір r_d , який використовується для полегшення пуску (для збільшення пускового моменту й одночасно зменшення пускового струму) або інколи для регулювання частоти обертання n_2 . На мал. 3, в показано зовнішній вигляд АД з к.з. ротором, а на мал. 3, г – з фазним ротором.



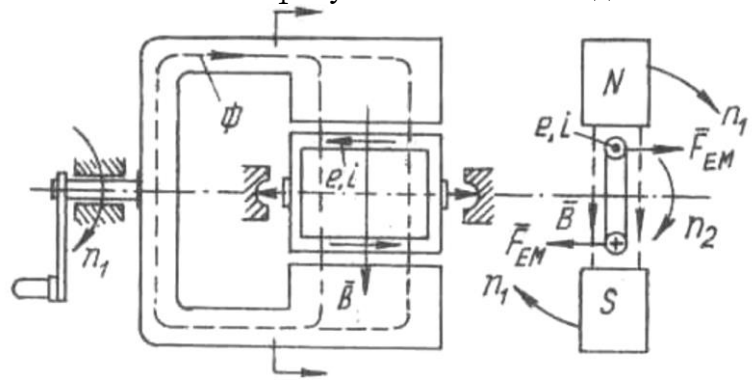
Мал. 2. Сполучення фаз обвитки статора зіркою та трикутником



Мал. 3. Короткозамкнений (а) та фазний (б) ротори АД.
Зовнішній вигляд АД з короткозамкненням (в) та фазним (г) ротором

Принцип дії асинхронних двигунів. Трифазна обвитка статора при увімкненні до електричної трифазної мережі створює обертове магнітне поле з p парами полюсів. Це поле можемо подати у вигляді моделі – два полюси N і S, які обертаються з частотою n_1

(мал. 4). В середині цього обертового поля полюсів N-S розташована короткозамкнена рамка, виготовлена із металевого неферомагнітного матеріалу (міді чи алюмінію), яка механічно не зв'язана з полюсами N-S і може вільно обертатися на своїй осі. Для початку рамка нерухома, а полюси обертаються з частотою n_1 . Рух полюса N за годинниковою стрілкою рівнозначний руху верхнього провідника під нерухомим полюсом проти годинникової стрілки. За правилом правої руки встановлюємо, що індукований в рамці струм напрямлений до спостерігача у верхньому проводі, і від спостерігача – у нижньому. За правилом лівої руки встановлюємо, що на провідники зі струмом даного спрямування діє пара електромеханічних сил F_{EM} , яка буде обертати рамку в напрямі обертання полюсів з частотою n_2 .



Мал. 4. Модель для пояснення роботи асинхронного двигуна

На цьому принципі побудована робота асинхронної машини: обертове магнітне поле створюється трифазною обвиткою статора. В обвитці ротора (короткозамкненій чи фазній) наводиться ЕРС, яка викликає струм в провідниках ротора. Взаємодія цього струму з магнітним обертовим полем приводить ротор в обертання, в напрямі обертання магнітного поля, з частотою n_2 .

При нерухомому роторі індукований в роторі струм, як і в трансформаторі, має ту саму частоту, що і в статорі $f_{2H} = f_1$. При зростанні частоти обертання ротора різниця швидкостей поля n_1 і ротора n_2 зменшується, ротор ніби намагається наздогнати обертове поле. Однак «наздогнати» обертове поле ротор не зможе, тому що тоді зникне відносний рух поля і ротора і в обвитці ротора не буде індукуватись струм, а отже, буде відсутній обертовий момент. Щоб двигун працював, ротор повинен відставати від частоти обертання поля – «ковзати» відносно обертового магнітного поля.

Коли обертовий момент і гальмівний момент зрівноважуються, ротор буде мати деяку усталену частоту обертання n_2 , меншу від n_1 . Різниця частот поля і ротора, віднесена до частоти обертання поля, називається **ковзанням**:

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1}, \text{ або } S\% = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100\%$$

Отже, ковзання характеризує ступінь відставання ротора відносно обертового магнітного поля.

Машини, в яких частота обертання ротора n_2 відмінна від частоти обертання поля n_1 , називаються **асинхронними**.

При нормальному виготовленні двигуна і номінальному навантаженні ковзання переважно невелике і становить 0,02 – 0,05, тобто частота обертання ротора близька до синхронної (до n_1). В загальному випадку величина ковзання двигуна знаходиться в межах $S = 1$ при нерухомому роторі ($n_2 = 0$) і $S = 0$ – при синхронній швидкості ($n_2 = n_1$). Синхронна частота обертання може бути одержана, якщо ротор обертати за допомогою іншого двигуна.

Отже, асинхронна машина оборотна, тобто якщо:

$n_2 > n_1$ – машина працює в режимі генератора;

$n_2 = n_1$ – штучний режим ідеального неробочого ходу;

$n_2 < n_1$ – машина працює в режимі двигуна.

2. Частота обертання n_2 і частота струму f_2 ротора.

Частота обертання ротора визначається такою рівністю:

$$n_2 = n_1(1 - S) = \frac{60f}{p}(1 - S)$$

При промисловій частоті $f = 50$ Гц існує дискретний ряд частот обертання поля (n_1) залежно від кількості пар полюсів p .

Таблиця 1 – Зміна частоти обертання поля n_1 АМ залежно від кількості пар полюсів p

p	1	2	3	4	5	6	7	8	10	20	30	40	50
$n_1 = \frac{60f}{p}$	300	1500	1000	750	600	500	428,5	375	300	150	100	75	60
$n_2 = n_1(1 - S)$	2880	1440	950	720	576	480	412	360	288	144	96	72	58

Відносно обертового магнітного поля ротор обертається з частотою $n_s = n_1 - n_2$, тоді

$$f_2 = \frac{pn_1}{60} \cdot \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

Частота струму в роторі при обертанні в нормальних умовах роботи двигуна невелика: при $S = 0,02 - 0,05$ і при $f_1 = 50$ Гц становить $f_2 = 1 - 2,5$ Гц.

Обертове поле обертається в напрямі чергування фаз. Для зміни напрямку обертання поля, а тим самим напрямку обертання ротора, достатньо поміняти між собою місцями дві фази (два провідники, які підводять електричний струм до статора).

3. Запуск асинхронних двигунів.

В асинхронного двигуна пускові характеристики не дуже добрі. Під час запуску під повною напругою виникають значні пускові струми в обвитці статора, що у 4 – 7 разів перевищують номінальні. Це небезпечно і для двигуна, і для мережі. Пусковий момент двигуна малий, тому при пуску двигун потрібно розвантажити. Для цього штучно підвищують опір обвитки ротора, що приводить до збільшення пускового моменту та зменшення пускового струму.

4. Регулювання частоти обертання асинхронних двигунів.

Складність регулювання частоти обертання АД є їх основним недоліком.

Існують три можливі методи регулювання частоти обертання АД: зміною частоти f_1 , зміною кількості пар полюсів p та зміною ковзання S :

а) для регулювання швидкості обертання зміною частоти напруги живлення двигуна сьогодні застосовують тиристорні перетворювачі частоти. Цей спосіб достатньо дорогий і застосовується тільки в особливо важливих електроприводах;

б) для регулювання частоти обертання зміною кількості пар полюсів у пази статора вкладають дві (в деяких випадках і три) окремі обвитки або одну обвитку, яка допускає перемикання котушок на різну кількість пар полюсів. Такого роду багатошвидкісні двигуни можуть мати два, три, максимум чотири ступені частоти обертання;

в) регулювання частоти обертання зміною ковзання проводиться в двигунах з фазним ротором при введенні регульованого реостата в коло ротора. Регульований реостат, на відміну від пускового, повинен бути розрахований на тривалу роботу. Цей спосіб дає змогу регулювати частоту обертання в широких межах, але є неекономічним, тому що в реостаті тратиться значна частина підведеної до двигуна енергії.

Знання, корисні для практики!

Хто б там що казав, але прагматичні європейці насправді завжди були романтиками. Навіть у XIX столітті, яке інколи називають «сторіччям пари та електрики», вони намагалися всіляко прикрашати своє життя. Недарма ж навіть на промислових виставках, де широка публіка могла ознайомитися з найновішими досягненнями науки й техніки, найбільшу її увагу привертали експонати, які в той чи інший спосіб наслідували природу. Тобто спочатку було подивування майстерністю імітації, і лише потім – способом, яким досягався бажаний ефект. Тому не дивно, що серед відвідувачів Міжнародної Франкфуртської електротехнічної виставки 1891 року справжній ажіотаж

викликав величезний штучний водоспад. Насос, який працював від потужного електричного двигуна, подавав воду на цілих 10 метрів угору, а звідти вона під захоплені вигуки натовпу з шумом і кришталевими бризками спадала в прикрашене камінням і лататтям русло.

Проте фахівці, яких також було немало на виставці, більше дивилися не на водоспад, а на обладнання, що невтомно, годину за годиною, качало воду. Дивилися і дивувалися, бо, по-перше, ніде поруч не було електростанції, яка живила двигун насоса, і, по-друге, потужності та надійності цього двигуна. А коли відвідувачі дізнавалися, що електроенергія постачається по проводах з гідроелектростанції, розташованої на березі річки Неккар в містечку Лауфен, відстань від якого до Франкфурта-на-Майні становить 175 кілометрів, цікавість і захоплення ставали безмежними.

Так 120 років тому на виставці в Німеччині вперше були широко продемонстровані можливості трифазного асинхронного двигуна та переваги трифазних систем змінного струму перед іншими, особливо з точки зору передачі електроенергії на далекі відстані.