

Що таке електричний двигун?

Електричний двигун (електродвигун) є пристроєм для перетворення електричної енергії на механічну та приведення до руху машин і механізмів. Він є головним і обов'язковим (але не єдиним) елементом електроприводу.

Перші електричні двигуни були винайдені ще у першій половині XIX ст., а з кінця того ж століття почали набувати все більшого поширення. Сучасні промисловість, транспорт, комунальне господарство, побут неможливо уявити без електричних двигунів.

Переважає більшість електричних двигунів є двигунами обертового руху (рис. 1). Вони складаються з нерухомої частини (статора) та рухомої (ротора). Ротор починає обертатися після подачі живлення до обмоток двигуна. Проте для низки механізмів, які виконують поступальний або зворотно-поступальний рух (супорти та столи металорізальних верстатів, деякі транспортні засоби), з метою спрощення конструкції механічної частини електропривода іноді використовують лінійні двигуни. Рухома частина таких двигунів (вторинний елемент або бігун) здійснює лінійне переміщення (рис. 2).

Залежно від роду електричного струму, що використовують для живлення електричних двигунів, розрізняють двигуни постійного та змінного струму.

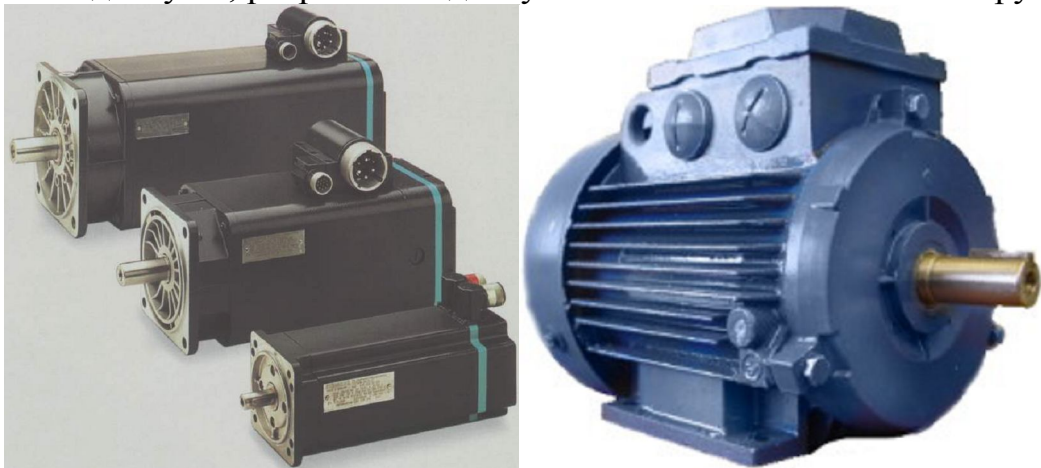


Рис. 1 Електричні двигуни обертового руху

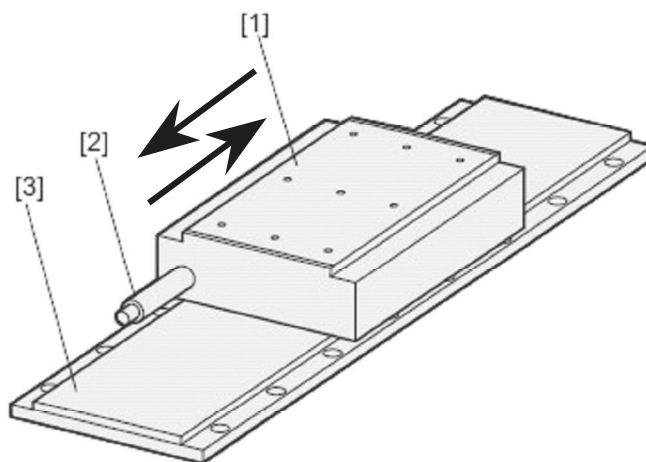


Рис. 2 Лінійний електричний двигун: 1 – статор, 2 – підвід живлення, 3 – бігун

Принцип дії будь-якого електричного двигуна базується на взаємодії магнітних полів. Якщо наблизити один магніт до іншого, то різнойменні їхні полюси будуть притягуватися один до одного, а однойменні – відштовхуватися. У

двигуні роль принаймні одного з магнітів грає котушка зі струмом (тобто електромагніт). Відомо, що протікання провідником електричного струму викликає появу магнітного поля довкола провідника (рис. 3). Це поле має коаксіальний характер, а напрям його магнітних силових ліній можна визначити за «правилом гвинта». Згідно з цим правилом, якщо гвинт закручувати у провідник так, щоб напрям поступального руху гвинта збігався з напрямом струму, то напрям обертання гвинта показуватиме напрям магнітних силових ліній поля (стрілки на рис. 3).

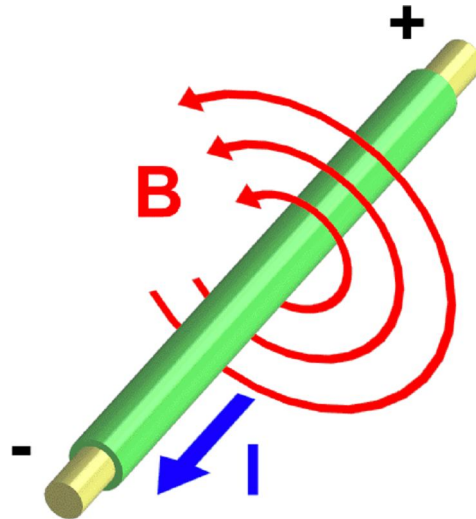


Рис. 3 Виникнення магнітного поля провідника зі струмом

На рис. 4 показаний поперечний переріз провідника. Усередині перерізу умовно показаний напрям струму: хрест («хвіст» стрілки струму) – струм від глядача (рис. 4а), точка («вістря» стрілки струму) – струм на глядача (рис. 4б). З рис. 4в, г видно, що магнітне поле замкненої рамки (кільця) зі струмом подібне до магнітного поля постійного магніту (силові лінії виходять із північного полюса та входять до південного). Таким чином, рамка зі струмом являє собою елементарний електромагніт.

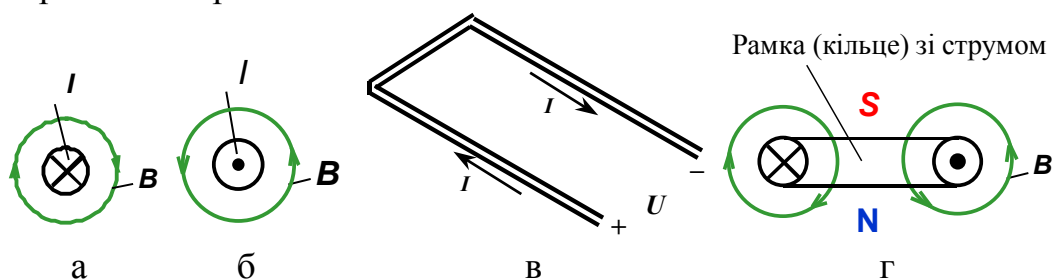


Рис. 4 Магнітні силові лінії провідників зі струмом: а – струм від глядача, б – струм на глядача, в – рамка зі струмом, г – силові лінії рамки (кільця) зі струмом

Електричні двигуни змінного струму

До двигунів змінного струму належать синхронні, крокові (різновид синхронних) та асинхронні двигуни. Їх об'єднує те, що їхніми обмотками протікають знакозмінні струми, а живляться вони від джерел знакозмінної напруги.

Статор електричних двигунів змінного струму являє собою осердя (магнітопровід) з листів електротехнічної сталі, у якому зроблено отвори (пази) для роз-

міщення обмотки (фрагмент магнітопроводу статора подано на рис. 5). Обмотка складається з окремих секцій (котушок, рамок). Усередині статора на підшипниках розташований ротор, спроможний вільно обертатися відносно своєї осі.



Рис. 5 Магнітопровід статора двигуна змінного струму

На рис. 6 схематично показано поперечний переріз статора та ротора. На протилежних боках статора у двох пазах розташовані провідники елементарної котушки обмотки. Ця котушка виглядає так, як на рис. 4в, і до неї можна подати напругу від стороннього джерела з тією чи іншою полярністю (як на рис. 4в). На роторі розміщений постійний магніт (полюси N_r та S_r). Якщо до обмотки статора подати постійний струм такого напрямку, як показано на рис. 6а, виникає магнітне поле статора з полюсами N_s та S_s . Ротор повертається за годинниковою стрілкою, аби сумістити протилежні полюси полів ротора та статора (остаточне положення ротора показано штриховою лінією). Якщо полярність струму статора протилежна (рис. 6б), полюси статора поміняються місцями, а ротор повертатиметься у протилежний бік.

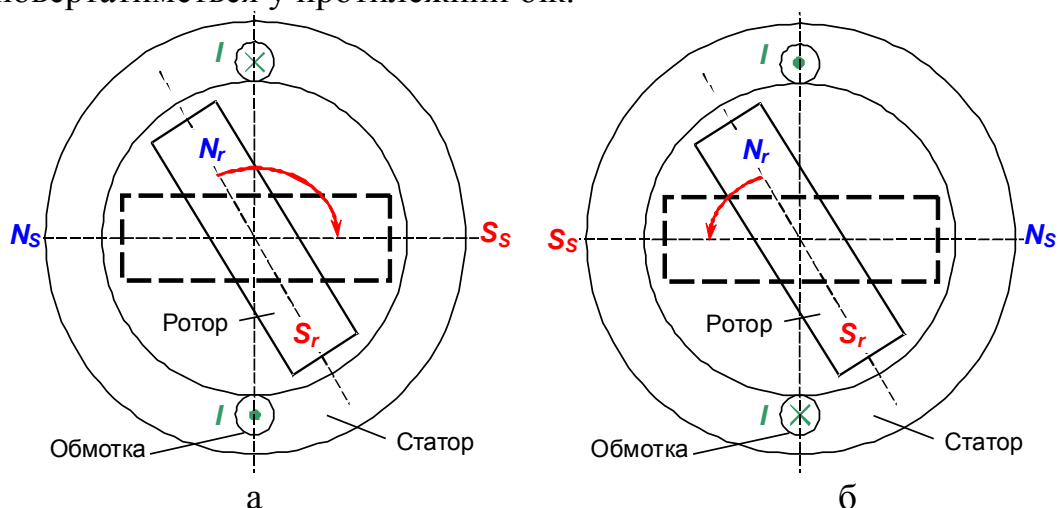


Рис. 6 Взаємодія магнітних полів статора та ротора

Аби забезпечити безперервне обертання ротора, на статорі розташовують кілька окремих обмоток, живлених від окремих джерел. На рис. 7 показаний поперечний переріз двигуна з трьома обмотками статора (червона А, синя В, зелена С). Подібний двигун називають трифазним, а його обмотки – фазними. Обмотки являють собою елементарні рамки з провідника (як на рис. 4в), зсунуті

у просторі на 120° одна від одної. На рис. 7 струм протікає лише обмотками зі значками точки та хрестика.

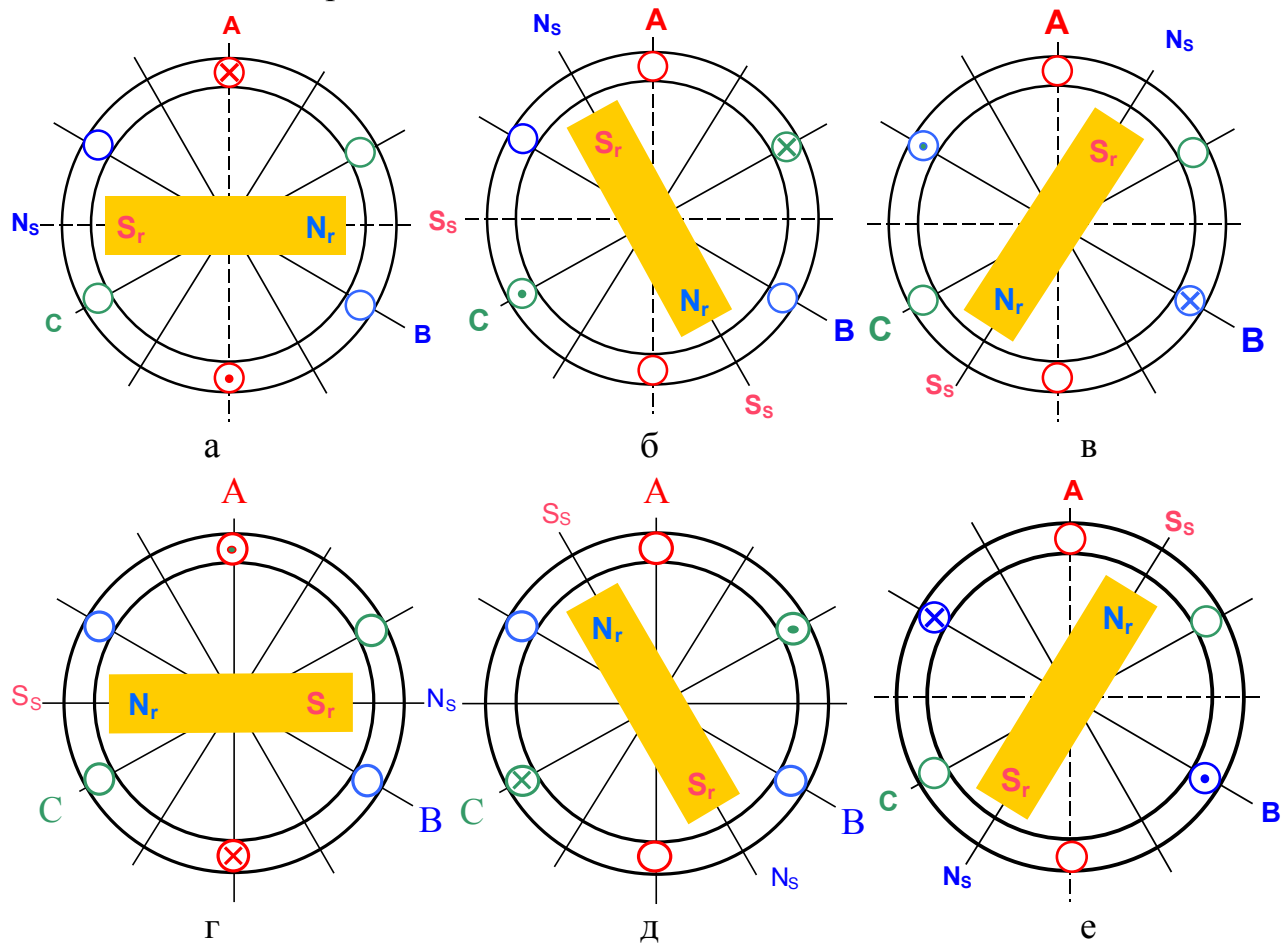


Рис. 7 Принцип дії синхронного двигуна

Якщо подати струм до обмотки А так, як показано на рис. 7а, магнітна вісь поля статора стане горизонтальною, а південний полюс поля ротора після його повороту суміститься з північним полюсом поля статора. Протікання струму обмоткою С призведе до повороту магнітної осі статора (а за ним – ротора) на 60° за годинниковою стрілкою (рис. 7б). Згодом струм подається до обмотки В (рис. 7в). Після цього струм протікає обмотками А, С, В, але у протилежному напрямі (порівняйте рис. 7а та 7г, 7б та 7д, 7 в та 7е). Кожного разу магнітна вісь статора, а за нею – і ротор повертаються на наступні 60° . Якщо після чергового перемикавання струму в обмотках продовжити протікання струму в останній обмотці, ротор лишиться нерухомим. Саме таким є принцип дії **крокового двигуна**. Такі двигуни використовують для дозованого повороту валу механізму на заданий кут (наприклад, в електромеханічних годинниках та принтерах). Змінити напрям обертання ротору можна, змінивши порядок підключення обмоток до позитивного полюсу джерела (А-С-В замість А-В-С).

Подаючи поперемінно струм до фазних обмоток (рис. 8), можна забезпечити безперервне обертання ротора. Зверніть увагу, що струми I_A , I_B , I_C фазних обмоток зсунуті у часі один від одного на третину періоду T . Змінюючи період перемикавання струму в обмотках, можна регулювати швидкість обертання ротора. Для зміни рушійного моменту двигуна змінюють величину струму

обмоток статора або індукцію магнітного поля ротора (якщо на роторі замість постійних магнітів установлені обмотка збудження, тобто електромагніт).

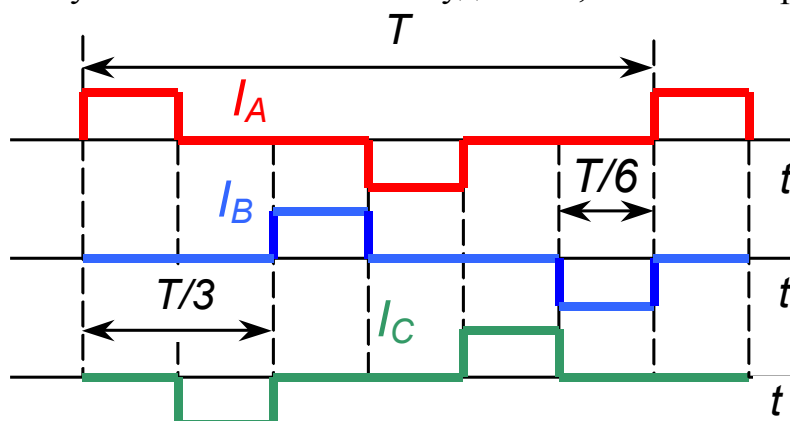


Рис. 8. Зміна у часі струмів обмоток статора крокового двигуна

У трифазному кроковому двигуні магнітне поле статора може займати у просторі лише 6 положень (див. рис. 7), а переміщується воно між ними стрибками. Внаслідок цього виникають пульсації рушійного моменту двигуна, а забезпечити рівномірне обертання ротора дуже складно. Якщо струми фазних обмоток змінювати не ступінчасто (як на рис. 8), а за законом синуса зі зсувом у третину періоду (рис. 9), поле статора обертатиметься плавно (т.з. обертове магнітне поле). Ротор з часом наздожене поле статора і надалі обертатися синхронно з ним. Саме в такому режимі працюють **синхронні двигуни**.

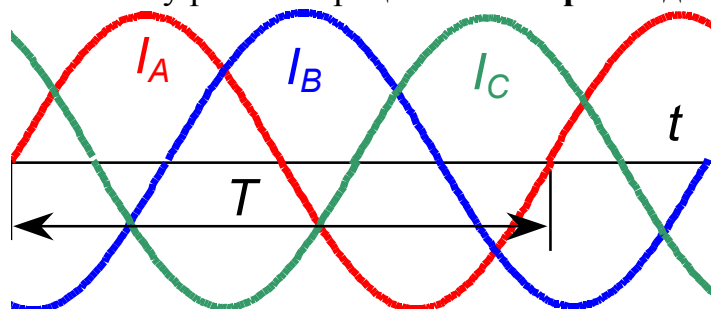
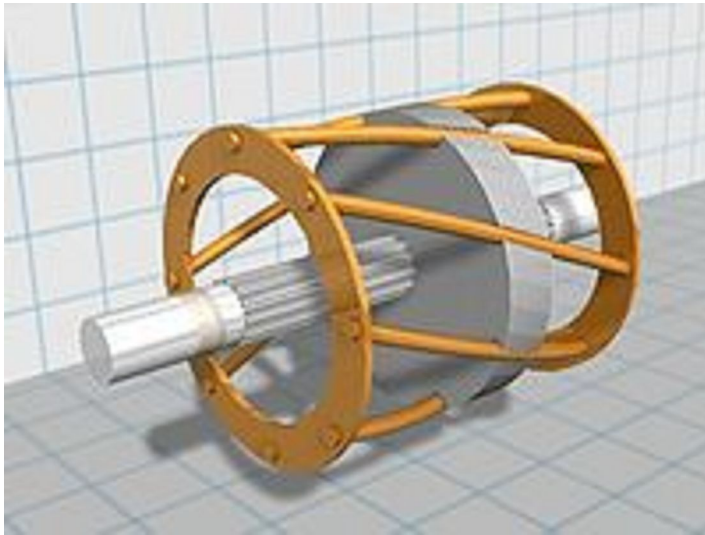


Рис. 9 Фазні струми синхронного двигуна

Асинхронний двигун має такий самий статор, як і синхронний, а обмотками статора також протікають синусоїдні струми (як на рис. 9). Проте конструкція ротора особлива (рис. 10). Ротор набрано з листів електротехнічної сталі (як і статор). У пазах ротора укладено стрижні (алюмінієві або мідні), які на торцях ротора замкнені за допомогою кілець. Якщо ротор обертається зі швидкістю, меншою за швидкість поля статора, в обмотці ротора полем статора наводиться електрорушійна сила, яка спричиняє протікання обмоткою ротора струмів. Струми викликають появу магнітного поля ротора, а взаємодія двох полів – створення рушійного моменту, який повертає ротор. Оскільки рушійний момент виникає лише тоді, коли швидкості ротора та поля статора неоднакові, ротор не може рухатися синхронно з полем статора (звідси і назва двигуна: асинхронний, тобто “несинхронний”). Завдяки простоті конструкції, дешевизні та надійності асинхронні двигуни набули найбільшого розповсюдження.

Конструкція асинхронного двигуна показана на рис. 11, 12.



а



б

Рис. 10 Ротор асинхронного двигуна: а – короткозамкнена обмотка, б – поперечний переріз ротору

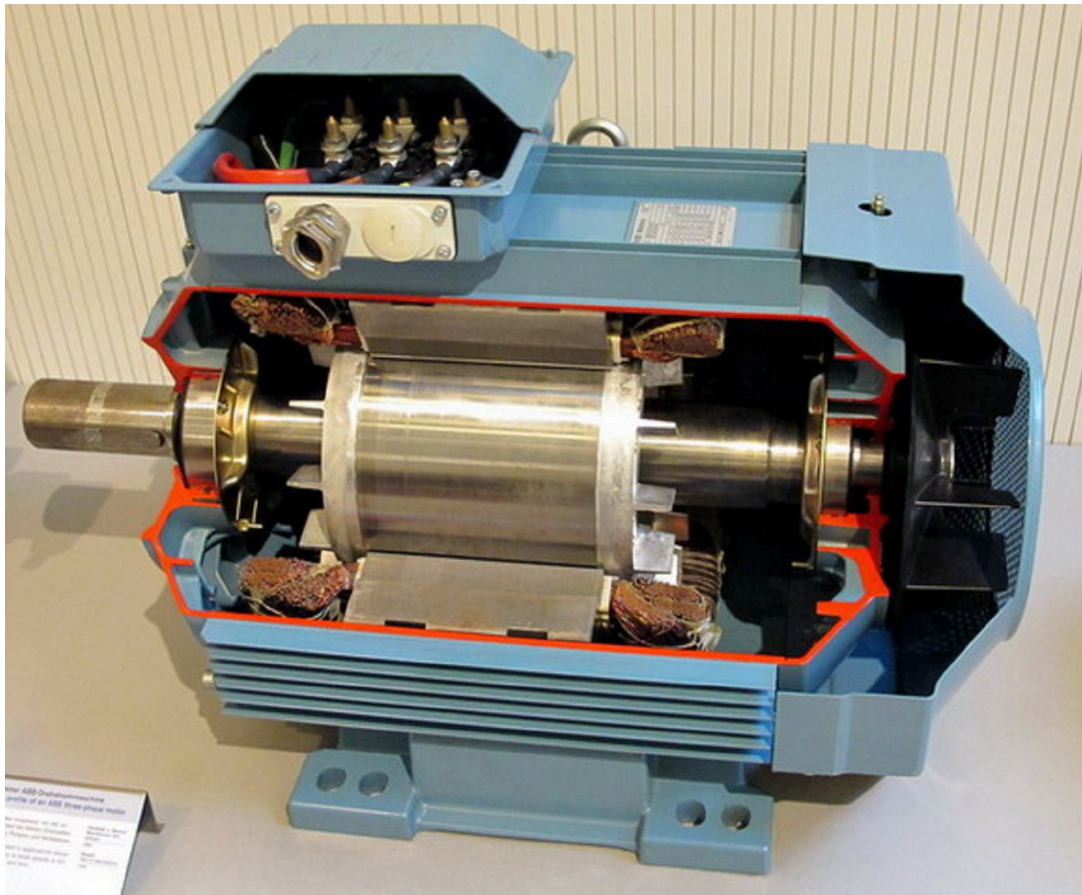


Рис. 11 Асинхронний двигун (розрізано)

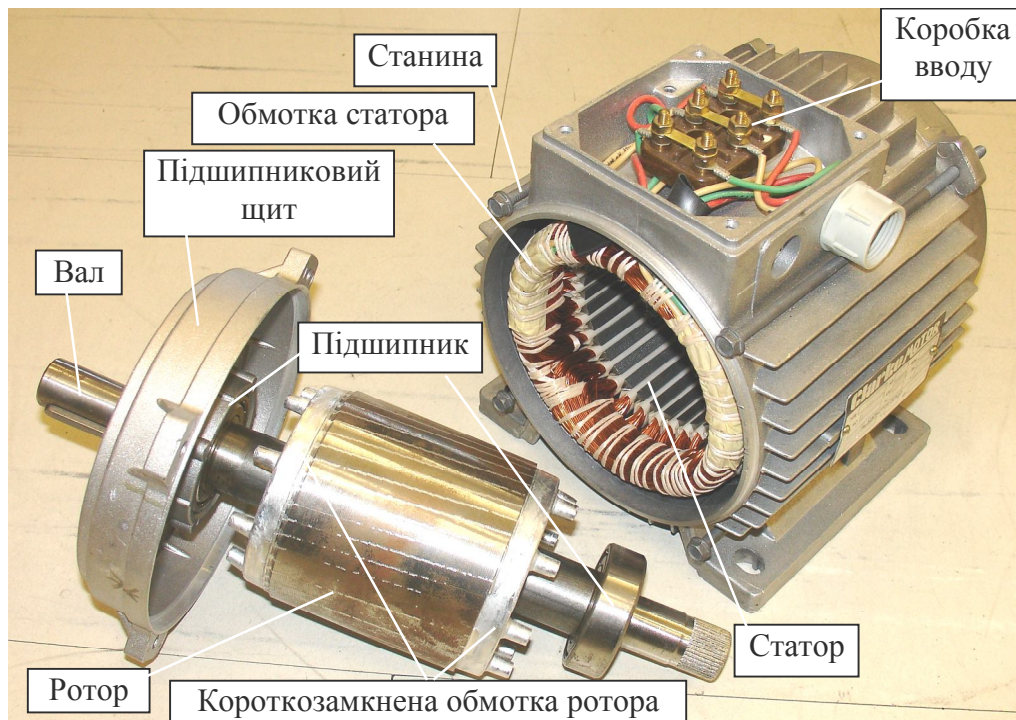


Рис. 12 Асинхронний двигун у розібраному вигляді

Двигун постійного струму

Двигун постійного струму, на відміну від двигунів змінного струму, живиться від джерела постійного струму. Магнітне поле статора створюється нерухожими постійними магнітами, а на роторі (інакше – якорі) розташована обмотка. Якір жорстко з'єднаний з валом і може обертатися довкола свої осі. Таким чином, конструктивно двигун постійного струму є оберненою синхронною машиною.

Принцип дії двигуна постійного струму пояснює рис. 13. Поле статора створюють постійні магніти або електромагніти (обмотки збудження). На феромагнітному осерді якоря розміщена обмотка, яка складається з двох послідовно ввімкнених частин (їх з'єднує показаний пунктиром провідник). На якорі також розташовані ізолювані одна від одної колекторні пластини, до яких під'єднані кінці обмотки якоря. До колекторних пластин через нерухомі графітні щітки від джерела живлення подається електричний струм. Якщо верхню щітку підключити до позитивного полюсу джерела живлення, а нижню – до від'ємного, обмоткою якоря протікатиме струм I , позначений на рис. 13. За правилом гвинта лівий полюс якоря стане північним, правий – південним. Полюси якоря та статора відштовхуватимуться один від одного, викликаючи поворот якоря за годинниковою стрілкою. Якір, повертаючись, за інерцією “проскакує” положення “північний полюс навпроти південного”, і під щітками опиняються інші колекторні пластини. Напрямок струму в обмотці якоря змінюється на протилежний, полюси якоря міняються місцями, і обертання якоря продовжується. Для зміни напрямку обертання якоря слід змінити полярність напруги, що подана до щіток.

Конструкцію, подібну до зображеної на рис. 13, мають малопотужні двигуни (що використовуються, наприклад, у дитячих іграшках). В промислових двигунах для забезпечення плавності руху якір має багато окремих секцій об-

мотки, з'єднаних з окремими парами колекторних пластин (щось подібне до рис. 14). Під час обертання якоря через пару щіток до джерела підключається кожного разу наступна секція якоря, яка за даного положенні якоря має найбільший магнітний зв'язок з полем статора.

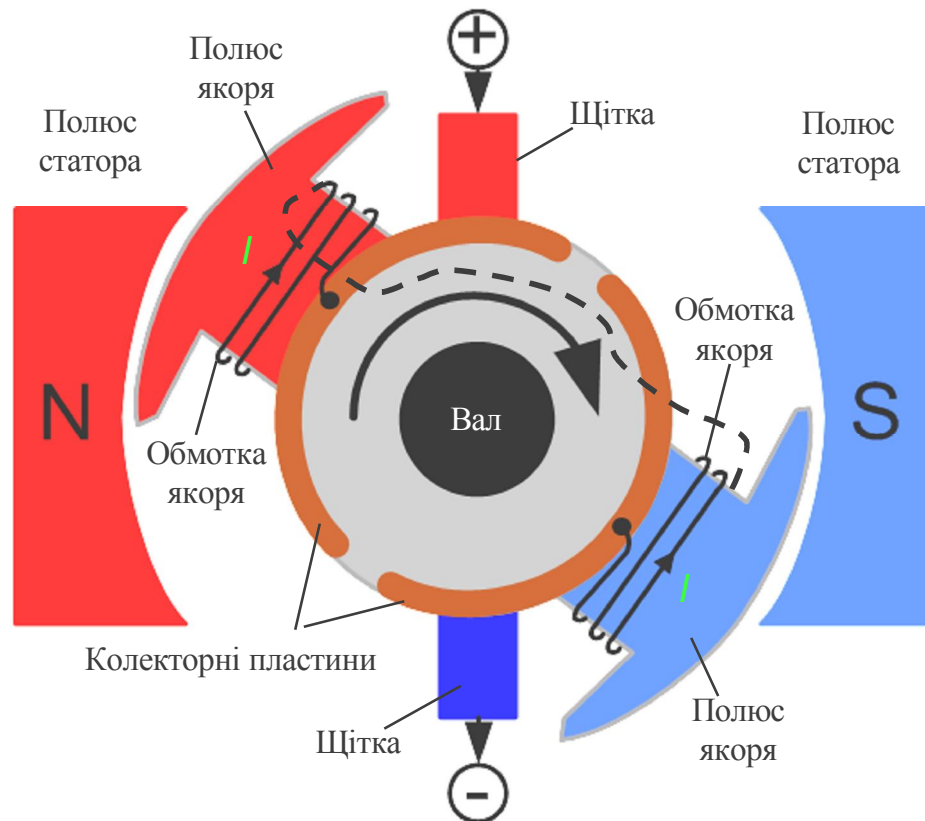


Рис. 13 До принципу дії двигуна постійного струму

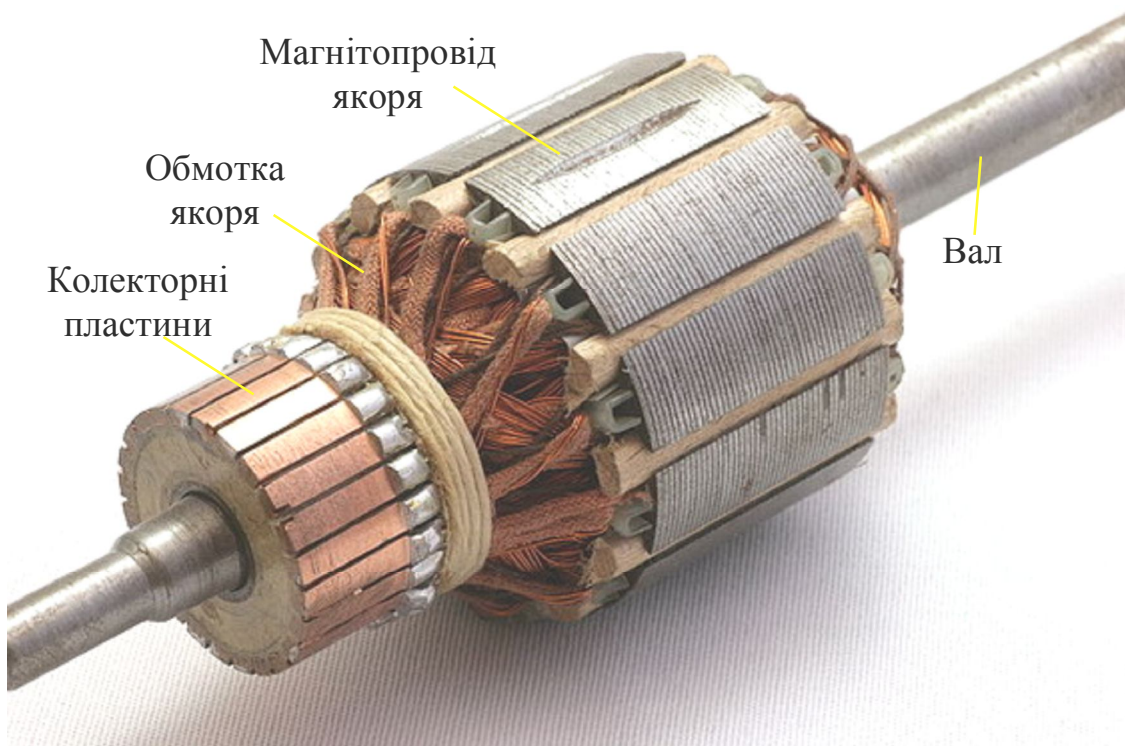


Рис. 14 Якір двигуна постійного струму

В електроприводі звичайно виникає задача автоматичного керування електричними двигунами. У найпростіших випадках достатньо лише забезпечити

їхній запуск, зупинку, зміну напрямку обертання та захист від аварійних режимів. Подібні функції легко реалізуються за допомогою простих та відносно дешевих електромеханічних контакторів та реле. Проте часто є потреба в плавному регулюванні швидкості обертання та рушійного моменту. Тоді для живлення двигунів використовують керовані джерела живлення – напівпровідникові перетворювачі енергії (керовані випрямлячі для двигунів постійного струму та перетворювачі частоти для двигунів змінного струму) та достатньо складні системи автоматичного регулювання. Електроприводи, до складу яких, окрім двигуна, входять керовані перетворювачі енергії та системи автоматичного керування, здатні виконувати виробничу задачу за мінімальної участі людини. Вони отримали назву автоматизованих електроприводів.