

## Електричні машини змінного струму. АДКР, АДФР.

Загальні відомості про електричні машини змінного струму (асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором АДКР, асинхронні двигуни з фазним ротором АДФР). Типи, конструкції і класифікація електричних машин змінного струму, їх будова та режими роботи. Залежність конструктивного виконання електричних машин від умов навколишнього середовища. Правила включення і відключення електродвигуна. Обмотки електричних машин. Види і схеми обмоток. Струмознімні і вивідні пристрої, маркування виводів електричних машин. Особливості пуску машин.



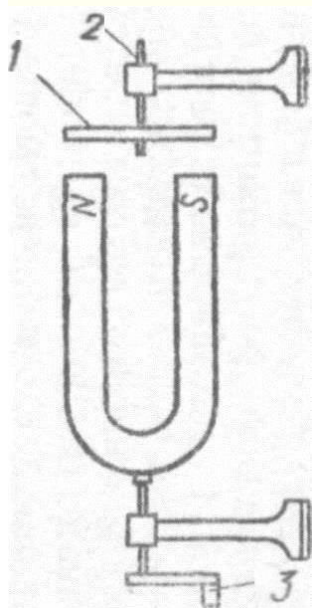
### Принцип дії двигуна.

Найпоширенішим з електричних двигунів є трифазний асинхронний двигун, вперше сконструйований відомим російським електриком М. О. Доліво-Добровольським.

Асинхронний двигун відзначається простотою конструкції та нескладністю обслуговування. Як і будь-яка машина змінного струму, асинхронний двигун складається з двох основних частин — статора і ротора. Статором називається нерухома частина машини, ротором — її обертова частина. Властивістю асинхронної машини є її оборотність, тобто вона може бути використана в режимі генератора і в режимі двигуна. Через ряд суттєвих недоліків асинхронні генератори майже не застосовуються, в той час як асинхронні двигуни набули великого поширення.

Багатофазна система змінного струму утворює обертове магнітне поле. Якщо частота обертання ротора дорівнює частоті обертання магнітного поля, то така частота називається синхронною. Якщо ж частота обертання ротора не дорівнює частоті обертання магнітного поля, то така частота називається асинхронною.

У асинхронному двигуні робочий процес протікатиме тільки за асинхронної частоти, тобто коли частота обертання ротора не дорівнює частоті обертання магнітного поля. Частота обертання ротора може мало чим відрізнятися від частоти обертання поля, але під час роботи двигуна вона завжди буде менша ( $n_2 < n_1$ ).

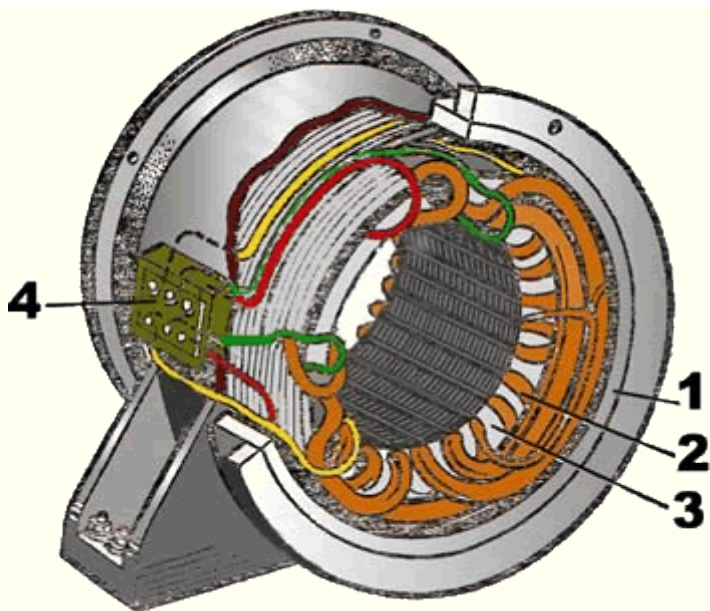


Робота асинхронного двигуна ґрунтується на явищі, що називається «диск Араго — Ленца». Це явище полягає ось у чому: якщо перед полюсами постійного магніту помістити мідний диск 1, який вільно сидить на осі 2, й обертати магніт навколо його осі за допомогою рукоятки 3, то мідний диск обертатиметься у тому ж напрямку. Це пояснюється тим, що під час обертання магніту його магнітне поле пронизує диск і індукує в ньому вихрові струми. В свою чергу вихрові струми створюють свої магнітні поля. Внаслідок взаємодії магнітних полів вихрових струмів з магнітним полем магніту виникає сила, яка приводить диск в обертання. На основі закону Ленца напрямок будь-якого індукованого струму такий, що він протидіє причині, яка його викликала. Тому вихрові струми в тілі диска прагнуть затримати обертання магніту, але не маючи можливості зробити це, приводять диск в обертання так, що він обертається слідом за магнітом. При цьому частота обертання диска завжди менша, ніж частота обертання магніту. Якби ці частоти з якоїсь причини стали однаковими, то магнітне поле не переміщувалось би відносно диска, а отже, в ньому не виникали б вихрові струми, тобто не було б сили, під впливом якої диск обертається.

У асинхронних двигунів постійне магнітне поле замінене обертовим магнітним полем, яке утворює трифазна система, ввімкнена в мережу змінного струму. Обертове магнітне поле статора перетинає провідники обмотки ротора й індукує в них ЕРС. Якщо обмотка ротора замкнена на якийсь опір або накоротко, то по ній під дією індукованої ЕРС протікає струм. Внаслідок взаємодії струму в обмотці ротора з обертовим магнітним полем обмотки статора утворюється обертаючий момент, під дією якого ротор починає обертатися за напрямком обертання магнітного поля.

Отже, для зміни напрямку обертання ротора, тобто для реверсування двигуна, потрібно змінити напрямок обертання магнітного поля, утвореного статорною обмоткою. Це досягається зміною чергування фаз статорних обмоток, для чого слід поміняти місцями відносно затискачів мережі будь-які два із трьох проводів, які з'єднують обмотку статора з мережею. Реверсивні двигуни обладнуються перемикачами, за допомогою яких можна змінювати чергування фаз статорних обмоток, а отже, і напрямок обертання ротора.

Якщо припустити, що в певний момент часу частота обертання ротора дорівнює частоті обертання статорного поля, то провідники роторної обмотки не перетинатимуть магнітного поля статора і струму в роторі не буде. У цьому разі обертаючий момент дорівнюватиме нулеві і частота обертання ротора зменшиться порівняно з частотою обертання статорного поля, доки не виникне обертаючий момент, що врівноважує гальмівний момент, який складається з моменту навантаження на валу і моменту сил тертя в машині.



Осердя статора 3 набирають зі сталевих пластин завтовшки 0,35 або 0,5 мм. Пластини штампують із западинами (пазами) ізолюють лаком або окалиною для зменшення втрат на вихрові струми, складають в окремі пакети і закріплюють у станині двигуна 1. До станини прикріплюють також бічні щити з розміщеними на них підшипниками, на які спирається роторний вал.

Станину встановлюють на фундаменті. У поздовжні пази статора вкладають провідники його обмотки 2, які відповідно з'єднують між собою так, що утворюється трифазна система.

На щитку машини 4 знаходяться 6 затискачів, до яких приєднуються початки й кінці обмоток кожної фази. Для приєднання статорних обмоток до трифазної мережі їх можна.

з'єднати зіркою або трикутником, що дає змогу вмикати двигун у мережу з двома різними лінійними напругами. Наприклад, двигун може працювати від мережі з напругою 380 та 220

В. На щитку машини зазначено обидві напруги мережі, на які розрахований двигун, тобто 220/127 В або 380/220 В.



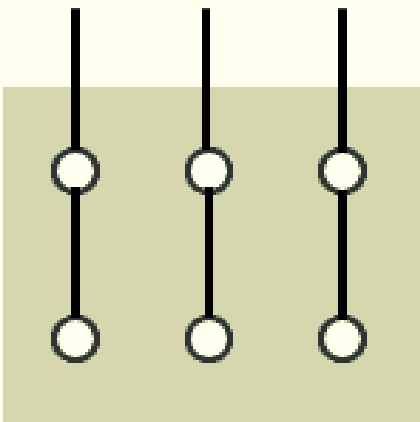
<http://zametkielectrika>

Приєднання затискачів на щитку двигуна при з'єднанні статорних обмоток трикутником (а) та зіркою (б).

Для нижчих напруг, що зазначені на щитку, статорна обмотка з'єднується трикутником, для вищих — зіркою.

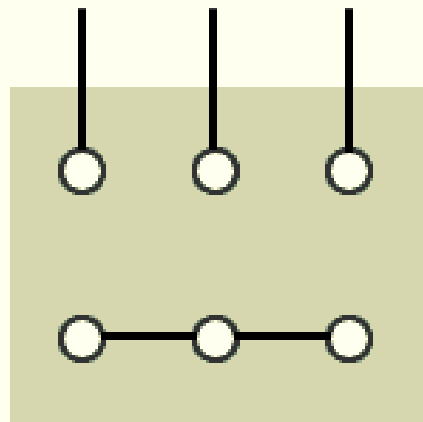
Щоб з'єднати статорні обмотки трикутником, на щитку машини верхні затискачі приєднують перемичками до нижніх, а кожну пару з'єднаних затискачів приєднують до лінійних проводів трифазної мережі. Для вмикання зіркою три нижні затискачі на щитку з'єднують перемичками у спільну точку, а верхні приєднують до лінійних проводів трифазної мережі.

**Л1 Л2 Л3**



**Δ а)**

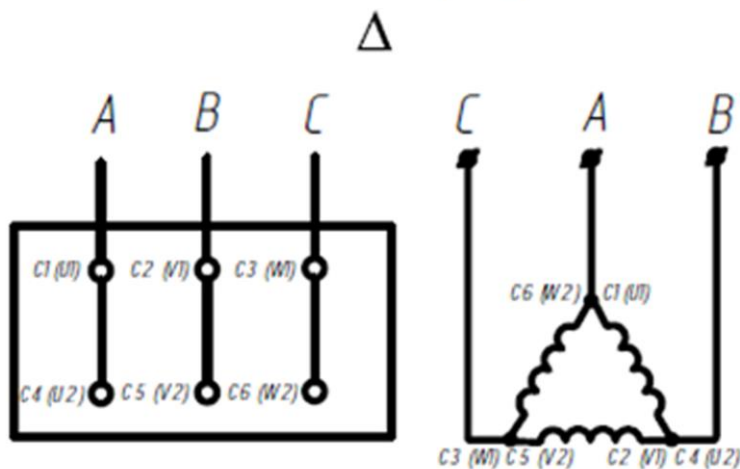
**Л1 Л2 Л3**



**Y б)**

Приєднання затискачів на щитку двигуна при з'єднанні статорних обмоток трикутником (а) та зіркою (б).

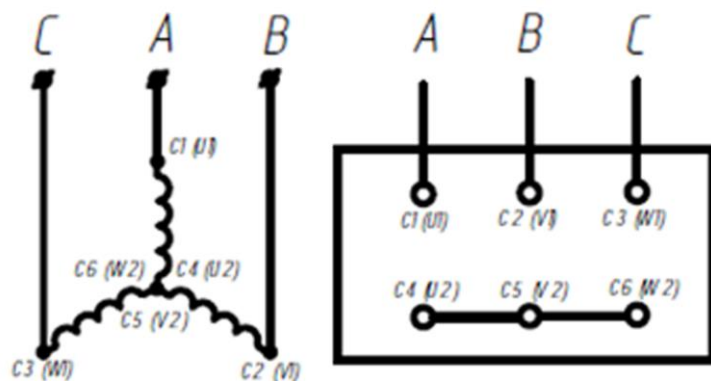
*Схема з'єднання "трикутником"*





## Схема з'єднання "зіркою"

Y



Схеми з'єднання статорних обмоток двигуна: а - трикутником, б - зіркою  
Позначаються виводи обмоток статора асинхронних двигунів таким чином:

C1, C2, C3 - початки обмоток, C4, C5, C6 - кінці обмоток. Але зараз все частіше застосовується нове маркування виводів по ГОСТу 26772-85. U1, V1, W1 - початки обмоток, U2, V2, W2 - кінці обмоток.

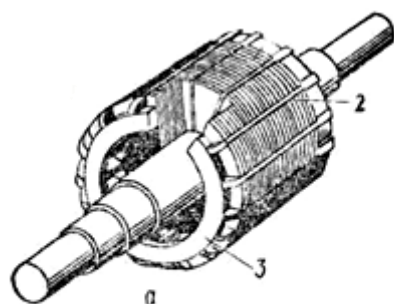
При наявності четвертого вивода від нульової точки, при з'єднанні фаз зіркою, він позначається 0.

У однофазних асинхронних двигунів виводи статорних обмоток позначають наступним чином: C1 - початок головної обмотки, C2 - її кінець; B1 - початок допоміжної обмотки, B2 - її кінець.

Залежно від типу роторної обмотки асинхронні машини можуть бути з фазним та короткозамкненим роторами.

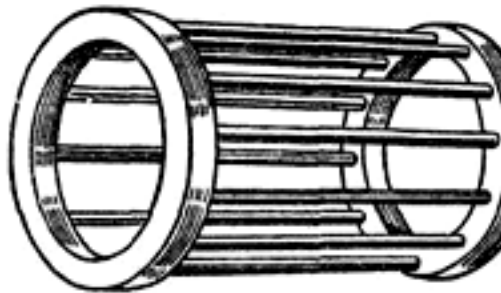


### Асинхронний двигун з короткозамкненим ротором.



а - будова;

Осердя ротора 1 набирають зі сталевих пластин завтовшки 0,5 мм, ізолюваних лаком або окалиною для зменшення втрат на вихрові струми. Пластини штампують із западинами і складають у пакети, які закріплюють на валу машини. З пакетів утворюється циліндр із поздовжніми пазами, в які укладають провідники роторної обмотки 2. Залежно від типу обмотки



δ  
б - обмотка.

асинхронні машини можуть бути з фазним та короткозамкненим роторами. Короткозамкнену обмотку виконують за типом білячого колеса. В пазах ротора укладають масивні стержні, з'єднані на торцевих боках мідними кільцями 3. Часто короткозамкнену обмотку ротора виготовляють з алюмінію. Алюміній у гарячому стані заливають у пази ротора під тиском. Така обмотка завжди замкнена накоротко, і ввімкнення в неї опору неможливе.

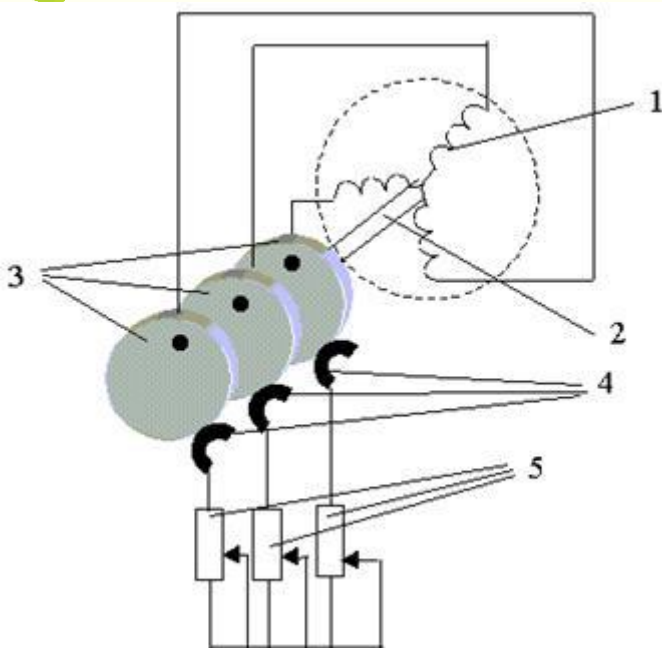
Двигуни з короткозамкненим ротором простіші і надійніші в експлуатації та значно дешевші, ніж двигуни з фазним ротором. Проте двигуни з фазним ротором, як побачимо нижче, мають кращі пускові та регульовальні характеристики.

Зараз асинхронні двигуни виготовляють переважно з короткозамкненим ротором і тільки при великих потужностях та в спеціальних випадках використовують фазну обмотку ротора.

Поряд з важливими позитивними якостями - простотою конструкції й обслуговування та малою вартістю - асинхронний двигун має й деякі недоліки, з яких найсуттєвішим є відносно низький коефіцієнт потужності ( $\cos \varphi$ ).



### Асинхронний двигун з фазним ротором.



Підключення фазного ротора асинхронного двигуна: 1 - фази обмотки; 2 - вал; 3 - контактні кільця; 4 - щітки; 5 - регульовальні реостати

У асинхронних електродвигунах більшої потужності і спеціальних машинах малої потужності для поліпшення пускових і регульовальних властивостей застосовуються фазні ротори. У цих випадках на роторі укладається трифазна обмотка з геометричними осями фазних котушок 1, зміщеними в просторі один відносно одного на 120 градусів.

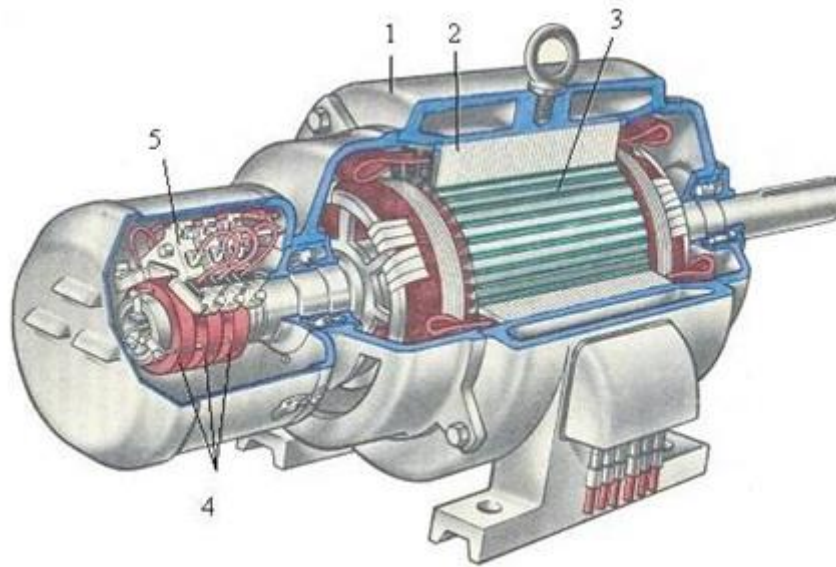
Фази обмотки 1 з'єднуються зіркою і кінці їх приєднуються до трьох контактних кілець 3, насаджених на вал 2 і електрично ізольованих як від

валу, так і один від одного. За допомогою щіток 4, що знаходяться в ковзаючому контакті з кільцями 3, є можливість включати в ланцюги фазних обмоток регульовальні реостати 5, за допомогою яких можна регулювати струмом в роторі, а відповідно і швидкістю обертання.

Асинхронний двигун з фазним ротором має кращі пускові і регульовальні властивості, проте йому властиві великі маса, розміри і вартість, ніж асинхронному двигуну з короткозамкненим ротором.

Принцип роботи асинхронної машини заснований на використанні магнітного поля, що обертається. При підключенні до мережі трифазної обмотки статора створюється магнітне поле, що обертається, кутова швидкість якого визначається частотою мережі  $f$  і числом пар полюсів обмотки  $p$ , тобто  $\omega_1 = 2\pi f/p$

Пересікаючи провідники обмотки статора і ротора, це поле індукує в обмотках ЕРС (згідно закону електромагнітної індукції). При замкнутій обмотці ротора її ЕРС наводить в ланцюзі ротора струм. В результаті взаємодії струму з результуючим магнітним полем створюється електромагнітний момент. Якщо цей момент перевищує момент опору на валу двигуна, вал починає обертатися і приводить в рух робочий механізм. Зазвичай кутова швидкість ротора  $\omega_2$  не дорівнює кутовій швидкості магнітного поля  $\omega_1$ , званою синхронною. Звідси і назва двигуна асинхронний, тобто несинхронний.



Асинхронний двигун з фазним ротором: 1 - станина; 2 - обмотка статора; 3 - ротор; 4 - контактні кільця; 5 - щітковий механізм

Робота асинхронної машини характеризується ковзанням  $s$ , яке є відносною різницею кутових швидкостей поля  $\omega_1$  і ротора  $\omega_2$ :  $s = (\omega_1 - \omega_2) / \omega_1$ .

Значення і знак ковзання, залежні від кутової швидкості ротора відносно магнітного поля, визначають режим роботи асинхронної машини. Так, в режимі ідеального холостого ходу ротор і магнітне поле обертаються з однаковою частотою в одному напрямі, ковзання  $s=0$ , ротор нерухомий відносно магнітного поля, що обертається, ЕРС в його обмотці не індукуються, струм ротора і електромагнітний момент машини дорівнюють нулю. При пуску ротор в перший момент часу нерухомий:  $\omega_2=0$ ,  $s=1$ . У загальному випадку ковзання в руховому режимі змінюється від  $s=1$  при пуску до  $s=0$  в режимі ідеального холостого ходу.

При обертанні ротора із швидкістю  $\omega_2 > \omega_1$  у напрямі обертання магнітного поля ковзання стає негативним. Машина переходить в генераторний режим і розвиває гальмівний момент. При обертанні ротора в напрямі, протилежному до напрямку обертання магнітного поля ( $s > 1$ ), асинхронна машина переходить в режим противключення і також розвиває гальмівний момент. Таким чином, залежно від ковзання розрізняють руховий ( $s=1 \div 0$ ), генераторний ( $s=0 \div -\infty$ ) режими і режим противключення



( $s=1 \div +\infty$ ). Режими генераторний і противключення використовують для гальмування асинхронних двигунів.

Виводи обмоток ротора позначають буквою Р: Р1 - початок першої, Р2 - початок другої, Р3 - початок третьої фази. При чотирьох контактних кільцях нульова точка позначається 0. Контактні кільця позначаються так як і виводи приєднаних до них фаз: Р1 - найбільш віддалене від обмотки кільце, за ним Р2 і т.д. Самі кільця звичайно не маркуються.



## Пуск асинхронних двигунів.

Під час ввімкнення асинхронного двигуна в мережу змінного струму по обмотках його статора й ротора протікатимуть струми, сила яких у кілька разів більша від номінальної. Це пояснюється тим що обертове магнітне поле перетинає обмотку нерухомого ротора з високою частотою, яка дорівнює частоті обертання магнітного поля у просторі, й індукує в цій обмотці велику ЕРС. Ця ЕРС утворює в колі ротора струм великої сили, що обумовлює виникнення струму відповідної сили і в обмотці статора.

Зі збільшенням частоти обертання ротора ковзання зменшується, що призводить до зниження ЕРС і сили струму в роторній обмотці. Це в свою чергу обумовлює зменшення сили струму в обмотці статора.

Велика сила пускового струму небажана як для двигуна, так і для джерела, від якого двигун одержує енергію. Коли пуски здійснюються часто, то велика сила пускового струму призводить до різкого підвищення температури обмоток двигуна, а це може обумовити передчасне старіння його ізоляції. У мережі при великій силі струму знижується напруга, що впливає на роботу інших приймачів енергії, ввімкнених у цю ж мережу. Тому прямий пуск двигуна безпосереднім ввімкненням його в мережу допускається лише в тому разі, коли потужність двигуна набагато менша від потужності джерела енергії, яке живить мережу. Якщо потужність двигуна порівнянна з потужністю джерела енергії, то треба зменшити силу струму, споживаного цим двигуном під час пуску.



Пуск асинхронного двигуна з фазним ротором за допомогою пускового ротора; 2 - обмотка статора; 3 - резистор.

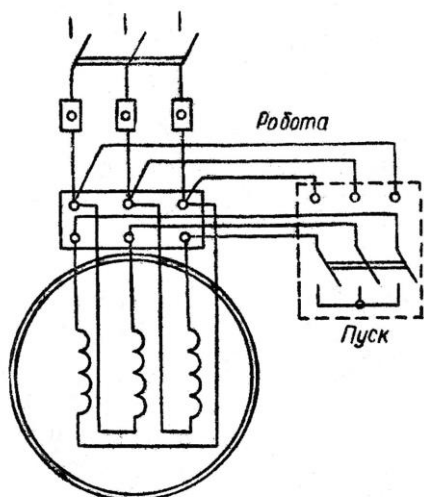
Якщо такий опір ввімкнути в коло роторної обмотки, то сила струму в ній знизиться, а отже, знизяться сила струму в статорній обмотці і сила струму, споживаного двигуном із мережі. При цьому збільшуються активна

складова роторного струму і обертаючий момент, що розвивається двигуном під час пуску.

У пускових реостатів є кілька контактів, тому можна поступово зменшувати опір, введений в коло роторної обмотки. Після досягнення ротором нормальної частоти обертання реостат повністю виводиться, тобто роторну обмотку замикають накоротко. За нормальної частоти обертання ротора ковзання мале і ЕРС, що індукується в його обмотці, також незначна. Тому в колі ротора не потрібен жодний додатковий опір.

Пускові реостати працюють нетривалий час у процесі розгону двигуна і розраховуються на короткочасну дію. Якщо реостат буде ввімкненим тривалий час, то він вийде з ладу.

Пуск двигуна з короткозамкненим ротором при малій потужності його порівняно з потужністю джерела енергії здійснюють безпосереднім увімкненням у мережу. У разі великої потужності двигуна силу пускового струму зменшують, знижуючи прикладену напругу. Щоб знизити напругу на час пуску, двигун вмикають у мережу через знижувальний автотрансформатор або реактори. Якщо ротор обертається з нормальною частотою, двигун перемикають на повну напругу мережі.



Недоліком такого способу пуску двигуна є різке зменшення пускового моменту. Для зниження сили пускового струму в  $n$  разів треба прикладену напругу також знизити в  $n$  разів. При цьому пусковий момент, прямо пропорційний квадратові напруги, зменшиться в  $n^2$  разів.

Отже, зниження напруги допускається під час пуску двигуна без навантаження або з малим навантаженням, коли пусковий момент може бути невеликим.

Часто застосовують пуск двигунів способом перемикання статорної обмотки з зірки на трикутник. В момент пуску статорну обмотку з'єднують зіркою, а після того як двигун розв'є частоту, наближену до нормальної, її перемикають трикутником. За такого способу пуску двигуна сила пускового струму в мережі знижується в три рази порівняно з силою пускового струму, який споживався б двигуном, коли б статорна обмотка під час пуску була з'єднана трикутником. Цей спосіб пуску можна застосовувати для двигуна, статорна обмотка якого, живлячись від мережі з певною напругою, має бути з'єднана трикутником.

