



ТРИФАЗНІ АСИНХРОНІ ДВИГУНИ

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

типи асинхронних двигунів



двигуни серії АО10 з короткозамкненим ротором



двошвидкісні електродвигуни серії 4 АЛ призначені для повторно-короткочасного режиму роботи



Трифазні загальнопромислові асинхронні двигуни серії А4 призначені для тривалого режиму роботи



Двигуни однофазні серії АІР призначені для комплектації електроприводів побутового та промислового призначення



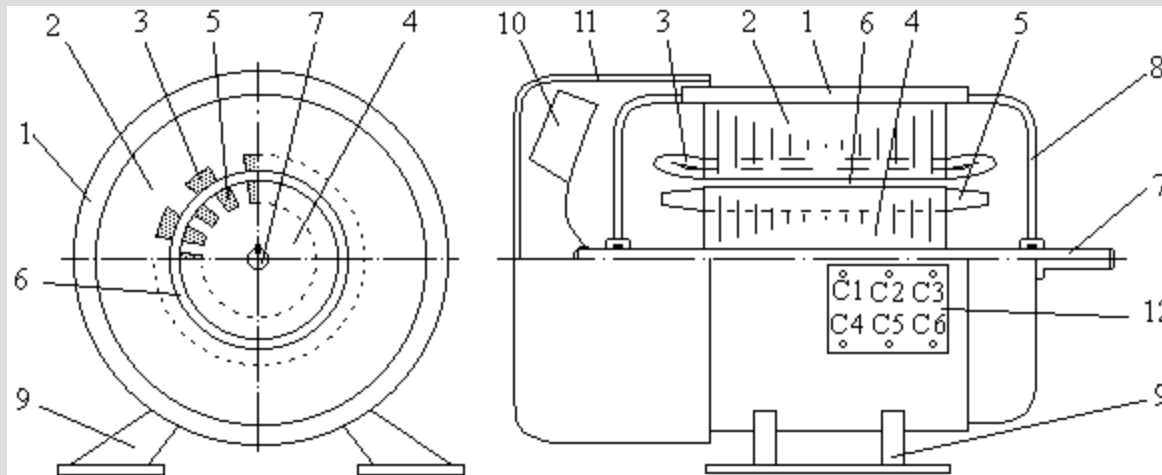
Електродвигуни типу МТ, МТН, 4 МТМ, 4 МТН з фазним ротором призначені для роботи в приводах металургійних агрегатів та підйомно-транспортних механізмах



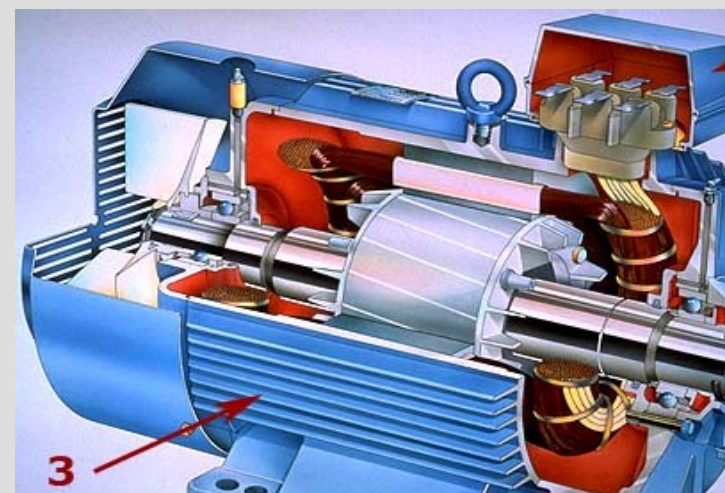
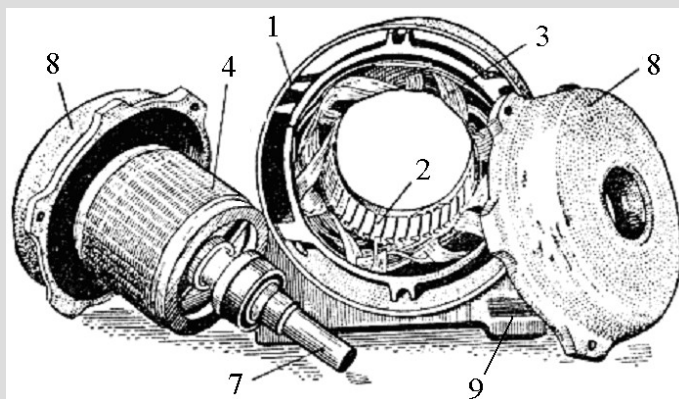
Двигуни серії МТКФ, МТКН, 4МТКН з короткозамкненим ротором в закритому обдуваємому виконанні призначені для роботи при підвищеній температурі зовнішнього середовища до + 40С

До асинхронних відносять машини змінного струму, частота обертання ротора n_2 яких при постійній частоті змінного струму джерела f змінюється зі змінюванням навантаження і відрізняється від синхронної частоти, тобто від частоти обертання магнітного поля статора n_1 . «Асинхронний» – *неодночасний*.

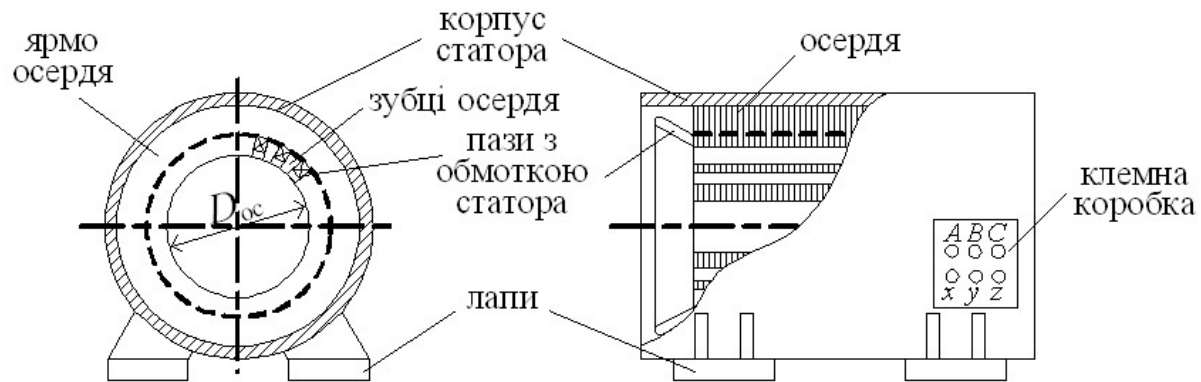
Будова асинхронного двигуна



трифазний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором серія АІР



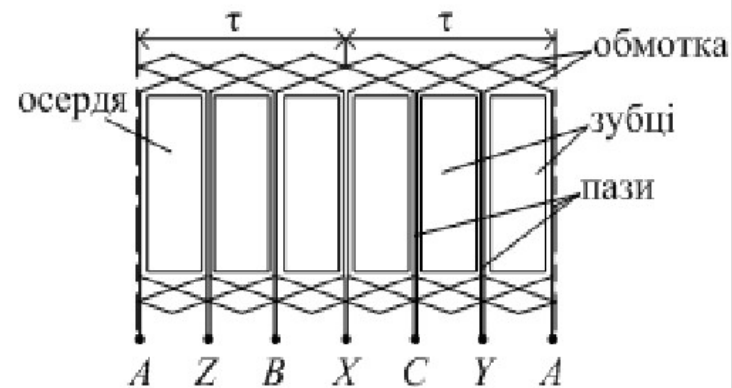
У корпусі статора розташовується осердя, набране зі штампованих листів електротехнічної сталі товщиною 0,5 мм. З внутрішнього боку осердя утворюються пази, в які закладається трифазна обмотка статора з ізольованого мідного проводу. Кінці кожної фазної котушки виведені на клемну коробку.

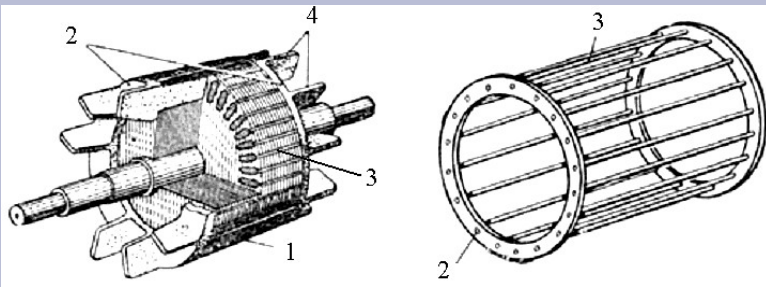


Відстані між осями парі полюсів осердя статора відповідає полюсне ділення $\tau = \frac{\pi D_{ос}}{2p}$, де $D_{ос}$ – внутрішній діаметр осердя статора.

Якщо розгорнути циліндричну внутрішню поверхню осердя статора для пари полюсів, то добре видно як укладені фазні котушки. Картина повторюється при $p = 2, 3$ і т.д.

З торців статор закривається щитами, крізь які проходять кінці валу ротора, оперті на підшипники.





Короткозамкнений ротор:
конструктивний (а) і
схематичний (б) вигляд: 1 –
осердя ротора; 2 – торцеві
кільця; 3 – стрижні; 4 –
вентиляційні лопатки

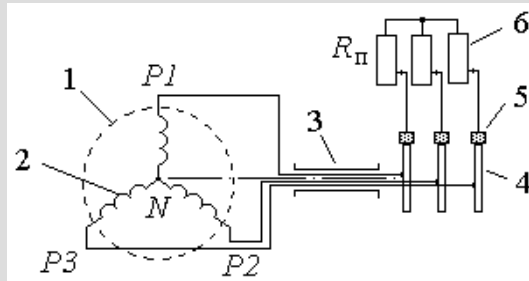
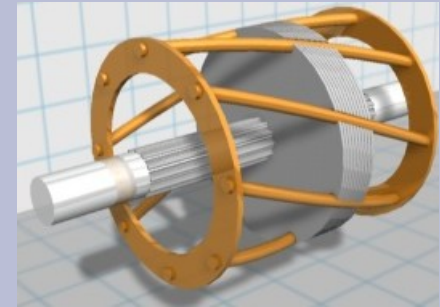
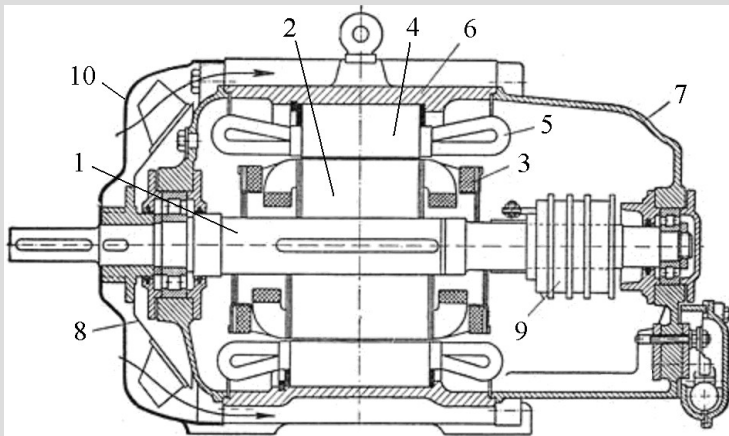
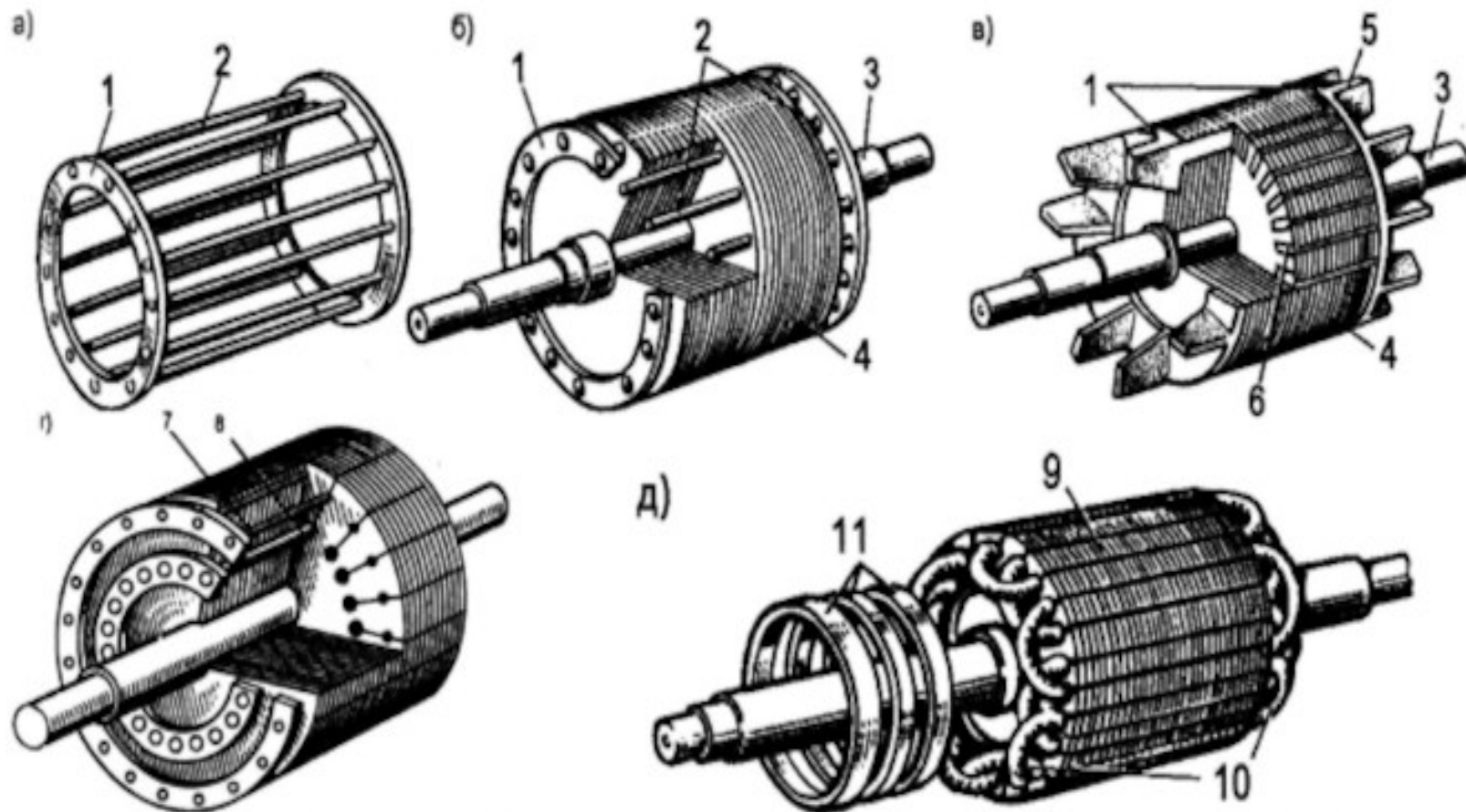


Схема фазного ротора
асинхронного двигуна: 1 –
ротор; 2 – трифазна обмотка; 3
– вал; 4 – контактні кільця; 5 –
щітки; 6 – трифазний пусковий
реостат



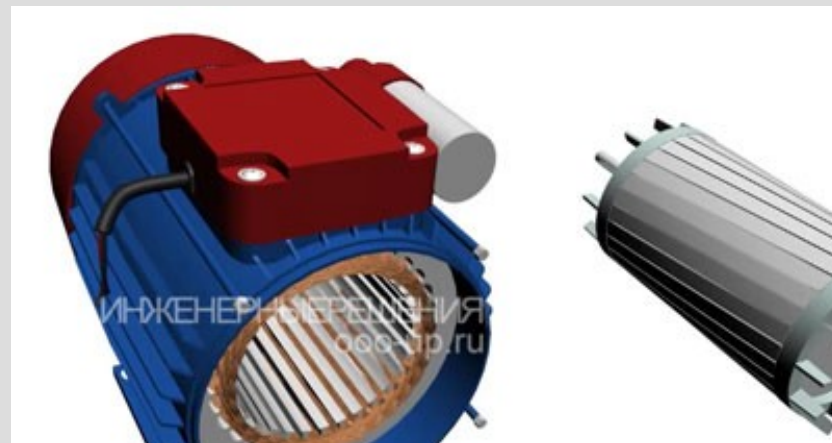
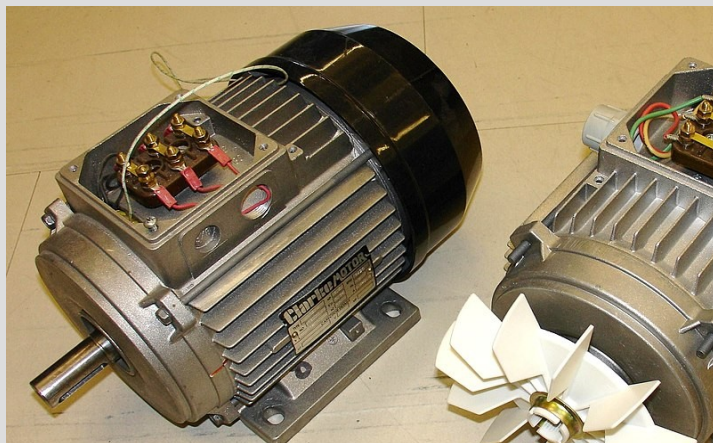
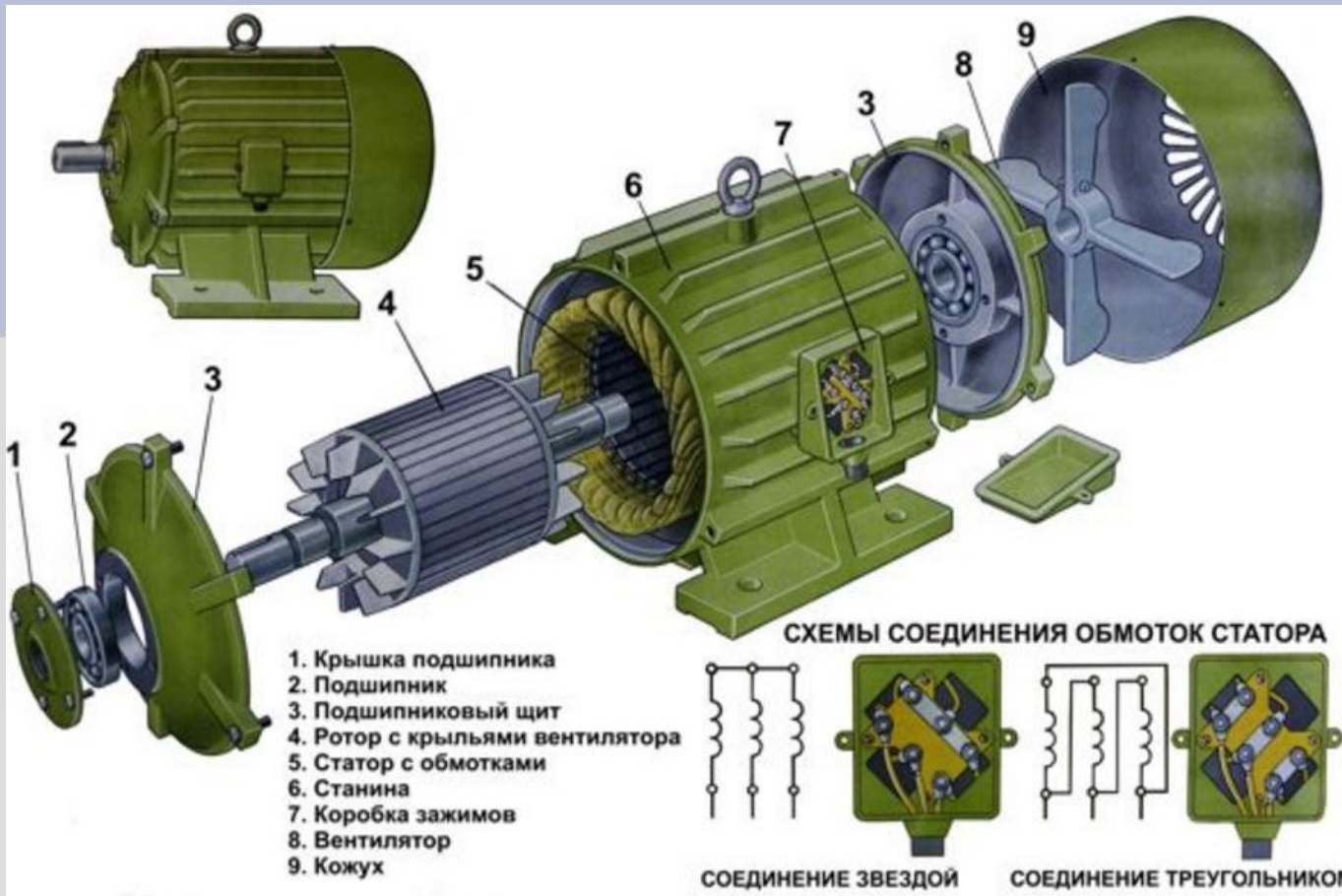
Переріз (а) та загальний вигляд (серія МТ) (б) асинхронного двигуна з фазним ротором: 1 - вал; 2 – осердя ротора; 3 - обмотка ротора; 4 – осердя статора; 5 - обмотка статора; 6 – корпус; 7 - підшипникові кришки; 8 – вентилятор; 9 - контактні кільця; 10 – вентиляційна кришка

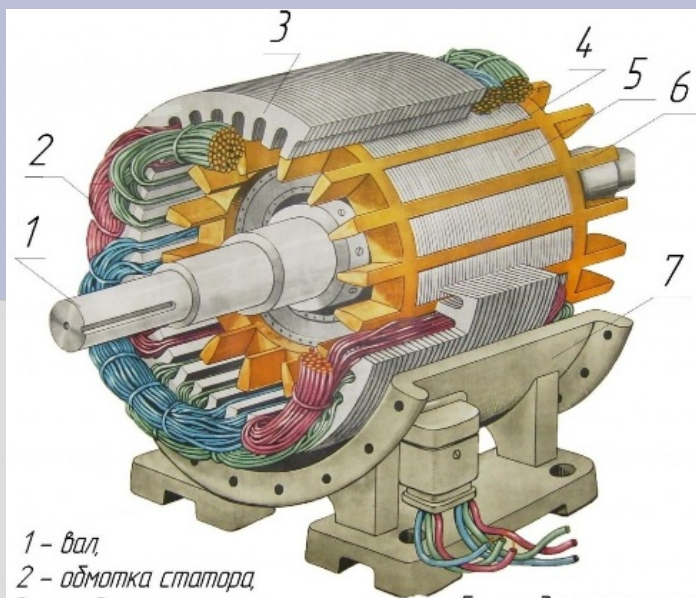
КОНСТРУКЦИЯ РОТОРОВ АСИНХРОННЫХ МАШИН



а) беличья клетка; б) ротор с беличьей клеткой из стержней; в) ротор с литой беличьей клеткой; г) ротор с двойной беличьей клеткой; д) фазный ротор.

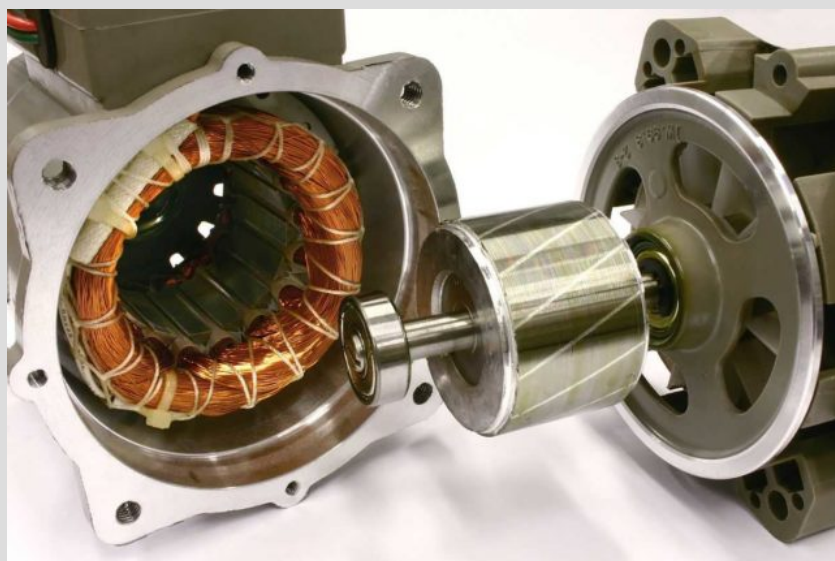
1 – короткозамыкающие кольца; 2 – стержни; 3 – вал; 4 – сердечник ротора; 5 – вентиляционные лопасти; 6 – стержни литой клетки; 7 – наружная клетка; 8 – внутренняя клетка; 9 – сердечник ротора; 10 – обмотка ротора; 11 – контактные кольца.





1 - вал,
2 - обмотка статора,
3 - сердечник статора,
4 - "беличья клетка",

5 - сердечник ротора,
6 - вентилятор,
7 - станина



Принцип дії асинхронного двигуна

Для утворення обертового магнітного поля необхідні дві умови.

Це *просторовий зсув* між обмотками (фазами), які утворюють магнітне поле, та *фазовий (часовий) зсув* між цими обмотками

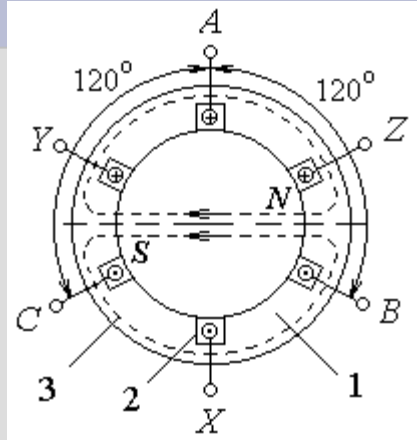
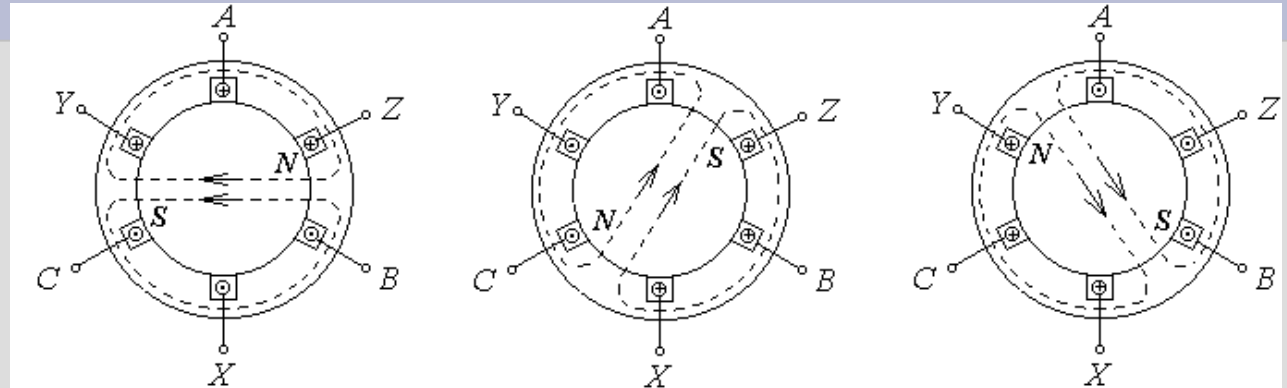
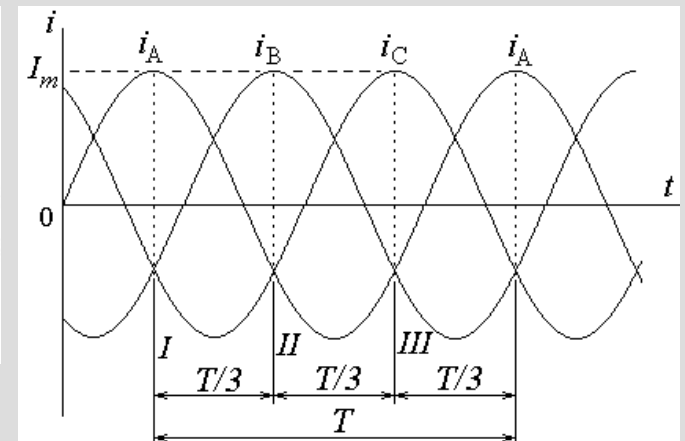
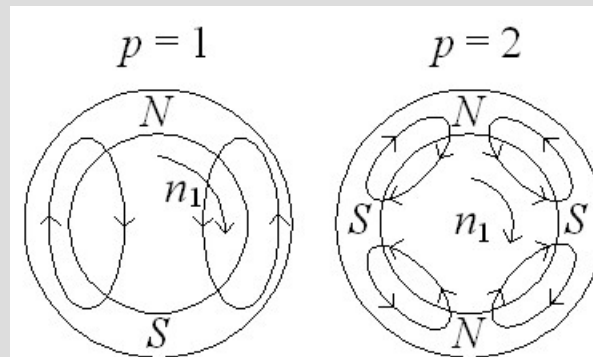
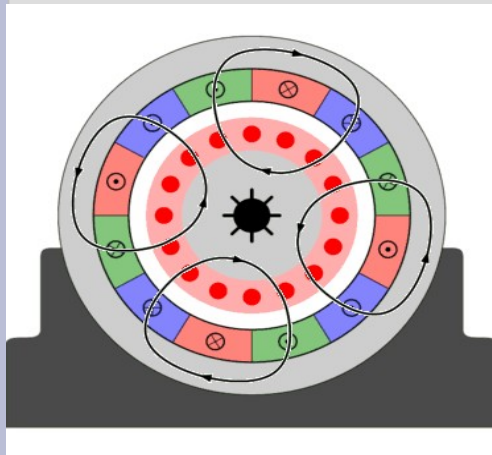


Схема статора двигуна: 1 – осердя 2 – пази з обмоткою; 3 – магнітне поле



магнітне поле обертається з частотою $n_1 = \frac{60 \cdot f}{p}$



$$i_A = I_m \sin \omega t$$

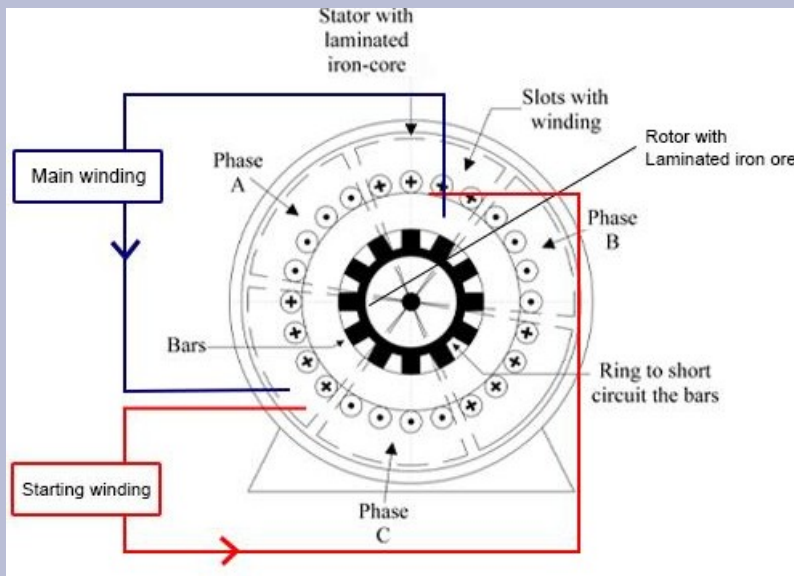
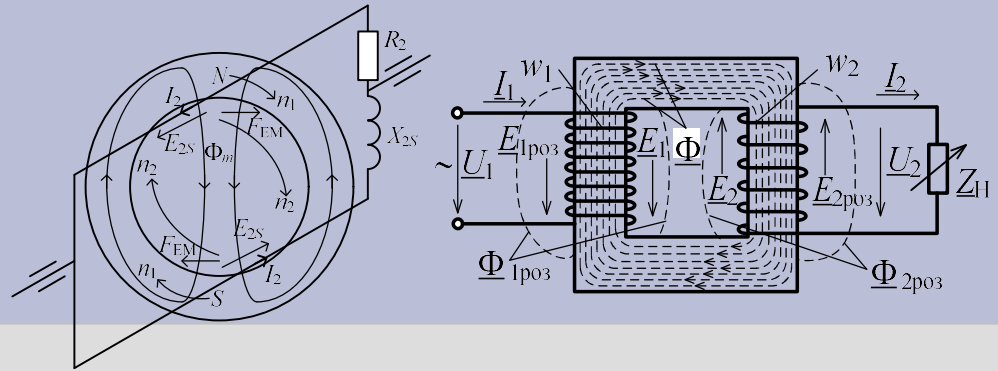
$$B_A = B_m \sin \omega t$$

$$i_B = I_m \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$B_B = B_m \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$i_C = I_m \sin(\omega t + 120^\circ)$$

$$B_C = B_m \sin(\omega t + 120^\circ)$$



ДВИГАТЕЛЬ АСИНХРОННЫЙ				IE1	
				ISO9001:2000	
Тип АИР 90L4 У2	3Ф~	№S1218056			
● 220/380В	8,94/5,16А	1430 об/мин	50 Гц ●		
Кл. изол. F	2,2кВт	IP 55	△ / Y кг.		
S1	КПД 81%	cosφ 0,81	2015 Г.		

У загальному випадку $n_1 = \frac{f_1}{p}$. Для електричних мереж з частотою $f_1 = 50$ Гц (такі мережі в Україні) у таблиці дані оберти магнітного поля в статорах електричних машин змінного струму для різного числа пар полюсів.

Таблиця

p	1	2	3	4	5	6
n_1 , об/с	50	25	16,7	12,5	10	8,33
n_1 , об/хв	3000	1500	1000	750	600	500

Класс изоляции	Y	A	E	B	F	H	C
Пределная температура при длительной работе, °С	90	105	120	130	155	180	Более 180

Клас F - матеріали, зазначені в класі B, із слюди, скловолокна, азбесту, але без підкладки або з неорганічною підкладкою; плівкосклопласт «Імідофлекс», скловолокниста та азбестова ізоляція проводів типів ПСД, ПСДТ, а також емалева ізоляція проводів типів ПЕТ-155, ПЕТП-155 на основі капрону. Просочуючими складами служать термостійкі синтетичні лаки та смоли;

Ступінь захисту IP55

Клас IP55 означає, що корпус пристрою повністю захищений від механічного впливу різних предметів і частковий захист від пилу. Що стосується вологозахисту, то гаджет зі ступенем IP55, на відміну від 54, не боїться водяних струменів під тиском 30 кПа, спрямованих з будь-якого кута.

Режим роботи асинхронного двигуна вибирається із типових режимів від S1 до S10:

S1 – тривалий режим. Робота асинхронного двигуна з постійним навантаженням та тривалістю;

S2 – короткочасний режим. Робота асинхронного двигуна з постійним навантаженням протягом певного часу. ;

S3 – повторно короткочасний періодичний режим. Робота асинхронного двигуна при однакових послідовних робочих циклах.

S4 – повторно-короткочасний періодичний режим із пусками;

S5 - повторно-короткочасний періодичний режим з електричним гальмуванням;

S6 - безперервний періодичний режим з короткочасним навантаженням;

S7 - безперервний періодичний режим з електричним гальмуванням;

S8 - безперервний періодичний режим із взаємозалежними змінами навантаження та частоти обертання;

S9 - режим з неперіодичними змінами навантаження та частоти обертання;

S10 — режим дискретних постійних навантажень і частот обертання.

Параметри асинхронного двигуна

КОВЗАННЯ $s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$

$s_{\text{НОМ}} = 2...7 \%$

$n_1 = \frac{60 \cdot f}{p}$

$E_1 = 4,44 \cdot f_1 \Phi_m w_1 k_{\text{обм1}}$

$E_2 = 4,44 \cdot f_2 \Phi_m w_2 k_{\text{обм2}}$ $n_1 - n_2 = \frac{60 \cdot f_2}{p}$ $f_2 = \frac{(n_1 - n_2) \cdot p}{60} \cdot \frac{n_1}{n_1} = \frac{p \cdot n_1}{60} \cdot \frac{n_1 - n_2}{n_1} = f_1 \cdot s$ $f_2 = f_1 \cdot s$

$E_2 = 4,44 \cdot f_2 \Phi_m w_2 k_{\text{обм2}} = 4,44 \cdot f_1 s \cdot \Phi_m w_2 k_{\text{обм2}} = E_{20} s$ $E_2 = E_{20} s$ $E_{20} = 4,44 \cdot f_1 \cdot \Phi_m w_2 k_{\text{обм2}}$ - ЕРС нерухомого ротора

$X_2 = \omega_2 L_2 = 2\pi f_2 L_2 = 2\pi f_1 s L_2 = X_{20} s$ $X_2 = X_{20} s$ $X_{20} = 2\pi f_1 L_2$ - індуктивний опір нерухомого ротора ($s=1$)

Рівняння електричного стану кіл статора і ротора

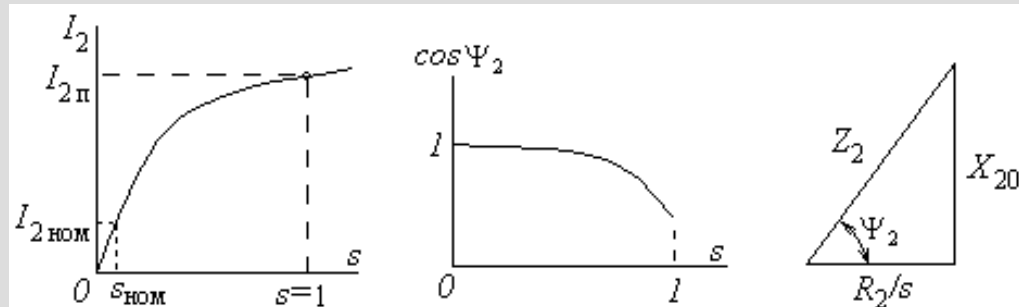
$\underline{U}_1 = -\underline{E}_1 + \underline{I}_1 \underline{Z}_1 = -\underline{E}_1 + \underline{I}_1 (R_1 + jX_1)$

$\underline{U}_2 = \underline{E}_2 - \underline{I}_2 \underline{Z}_2 = \underline{E}_2 - R_2 \underline{I}_2 - jX_2 \underline{I}_2$ $\underline{U}_2 = 0$ $\underline{E}_2 = \underline{I}_2 \underline{Z}_2 = \underline{I}_2 R_2 + j \underline{I}_2 X_2$ $E_{20} s = \underline{I}_2 R_2 + j \underline{I}_2 X_{20} s$

$\underline{E}_{20} s = \underline{I}_2 \frac{R_2}{s} + j \underline{I}_2 X_{20} = \underline{I}_2 \left(\frac{R_2}{s} + j X_{20} \right) = \underline{I}_2 \underline{Z}_2$ $\underline{Z}_2 = \frac{R_2}{s} + j X_{20}$

$\underline{I}_2 = \frac{E_{20}}{\frac{R_2}{s} + j X_{20}}$ $I_2 = \frac{E_{20}}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + X_{20}^2}}$

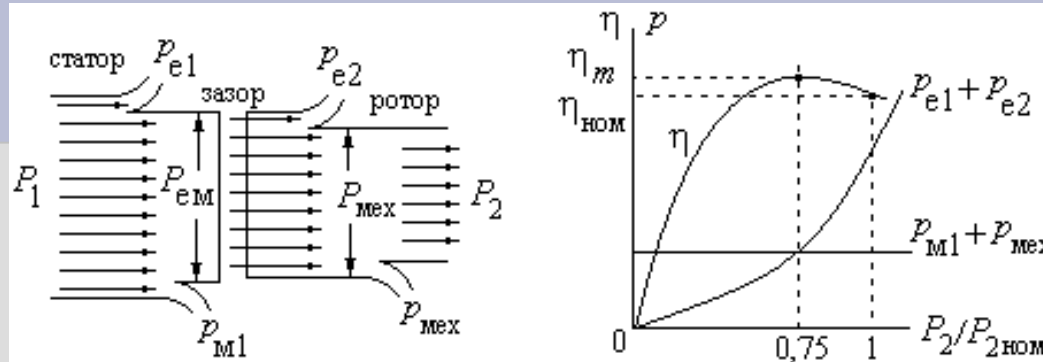
$\cos \Psi_2 = \frac{R'}{Z'} = \frac{R_2/s}{\sqrt{\left(R_2/s\right)^2 + X_{20}^2}}$



Енергетична діаграма втрат і ККД асинхронного двигуна

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

$$P_1 = 3U_1 I_1 \cos \varphi_1$$



p_{m1} - Магнітні втрати у сталі статора

$p_{e1} = 3I_1^2 R_1$ - Електричні втрати в мідних обмотках статора

$P_{em} = P_1 - (p_{m1} + p_{e1}) = E_{20} I_2 \cos \Psi_2$ - Електромагнітна потужність

$p_{e2} = 3I_2^2 R_2$ - Електричні втрати в обмотках ротора

P_{mex} - Механічні втрати, обумовлені всіма видами тертя

$$P_2 = P_1 - (p_{m1} + p_{e1} + p_{e2} + p_{mex})$$

МОМЕНТ ТА МЕХАНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

$$M_{em} = \frac{P_{em}}{\omega_1} \quad \omega_1 = 2\pi f_1 = 2\pi \frac{n_1 p}{60}$$

$$P_{em} = E_{20} I_2 \cos \Psi_2$$

$$M_{em} = \frac{4,44 w_2 f_1 \Phi_m k_{обм2}}{2\pi n_1 p} I_2 \cos \Psi_2 = C'_M \Phi_m I_2 \cos \Psi_2$$

$$M_{em} = C'_M \Phi_m I_2 \cos \Psi_2$$

$$C'_M = \frac{4,44 w_2 f_1 \Phi_m k_{обм2}}{2\pi n_1 p} \cdot 60$$

$$\cos \Psi_2 = \frac{R_2/s}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + X_{20}^2}}$$

$$\Phi_m = \frac{E_1}{4,44 w_1 f_1 k_{обм1}} \approx \frac{U_1}{4,44 w_1 f_1 k_{обм1}}$$

$$I_2 = \frac{E_{20}}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + X_{20}^2}}$$

$$E_{20} = 4,44 w_2 f_1 \Phi_m k_{обм2}$$

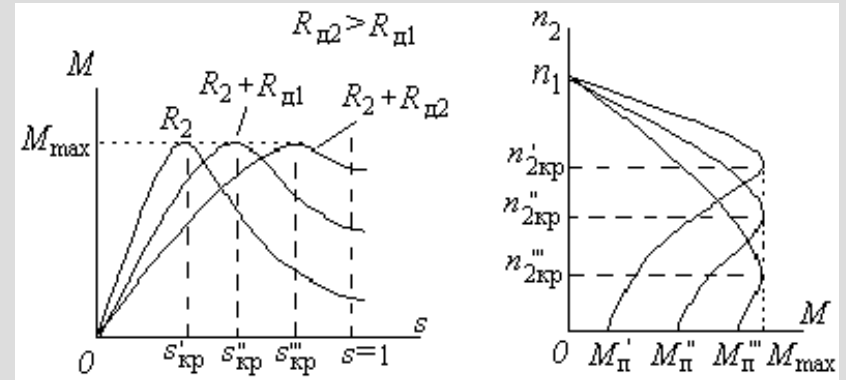
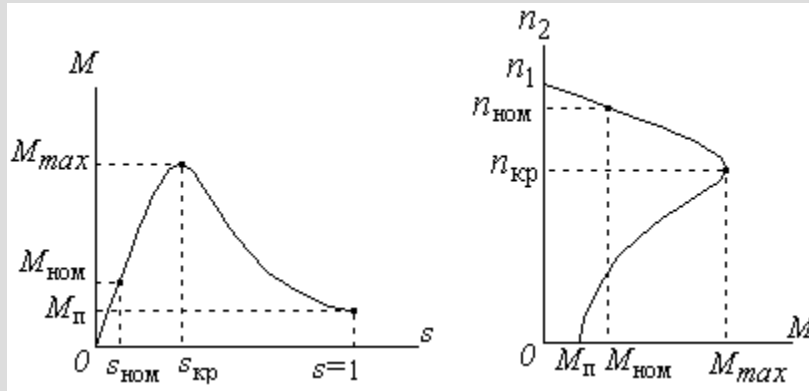
$$E_{20} = \frac{w_2 k_{обм2}}{w_1 k_{обм1}} E_1 \quad E_1 \approx U_1$$

$$I_2 \approx \frac{w_2 k_{обм2}}{w_1 k_{обм1}} \frac{U_1}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + X_{20}^2}}$$

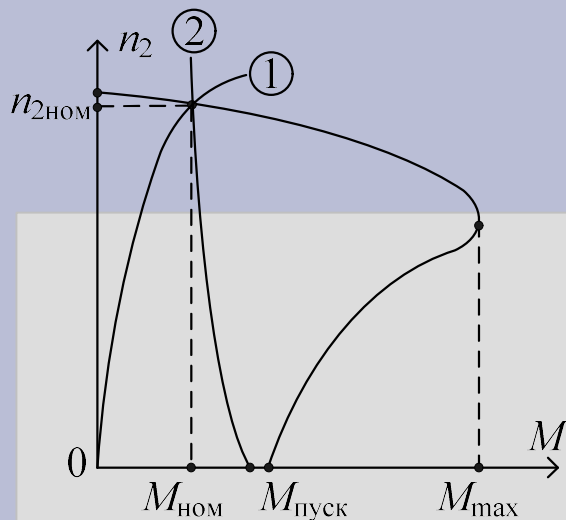
$$M = C'_M U_1^2 \frac{R_2/s}{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + X_{20}^2}$$

$$E_1 = 4,44 w_1 f_1 \Phi_m k_{обм1}$$

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad n_2 = n_1 (1 - s)$$



Пуск асинхронного двигуна



Пуск асинхронного двигуна починається з $n_2 = 0$, тобто він являє собою в цю мить свого роду трансформатор, де первинною обмоткою є обмотка статора, а вторинною – короткозамкнена обмотка ротора. Таким чином, асинхронний двигун попадає в режим короткого замикання трансформатора з відповідним кидком струму до $(5...7)I_{\text{ном}}$.

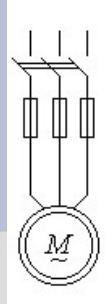
Наскільки швидко він вийде з цього стану залежить від характеристики навантаження.

Найбільш легкою є так звана “вентиляторна” або “насосна” характеристика 1, протидіючий момент якої близький до нуля при $n_2 = 0$. Складніше ситуація з “транспортною” характеристикою 2, коли при $n_2 = 0$ вже є момент опору, як правило, більший за $M_{\text{ном}}$. Цей момент треба подолати, і якщо $M_{\text{пуск}}$ асинхронного двигуна буде менший, то пуск взагалі неможливий.

Тому пуск при вентиляторному навантаженні вважається легким, а при транспортному – важким. У першому випадку використовуються асинхронні двигуни зі звичайними короткозамкненими роторами, в другому – асинхронні двигуни зі спеціальними короткозамкненими або фазними роторами, які забезпечують пуск при $M_{\text{пуск}} = M_{\text{max}}$.

Способи пуску асинхронних двигунів

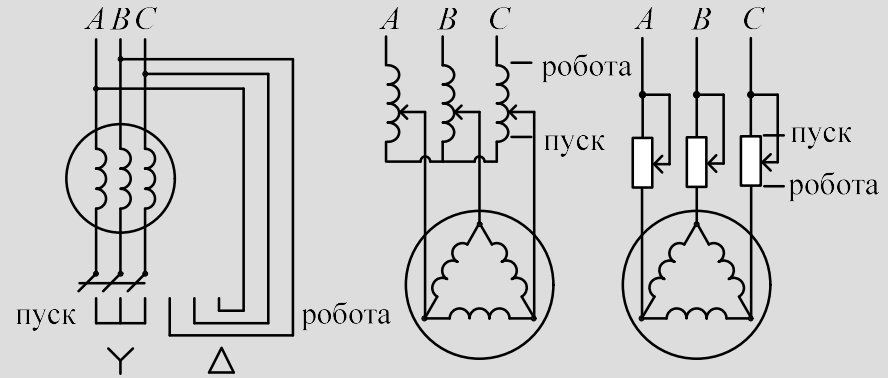
малий пусковий момент $M_{п}$;
великий пусковий струм $I_{п}$



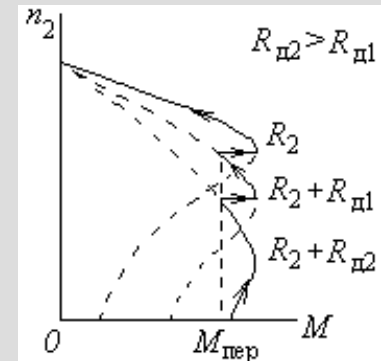
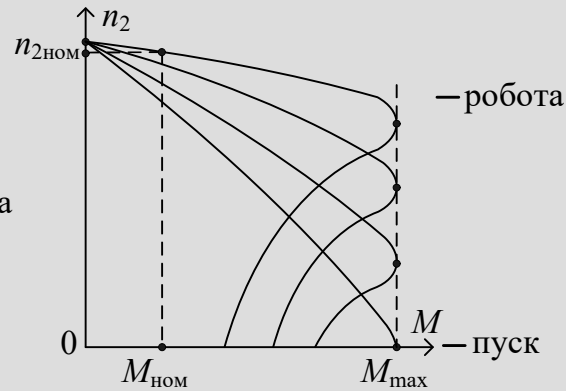
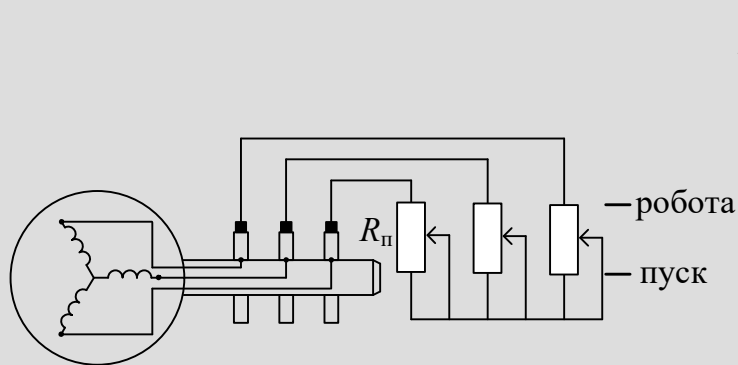
Прямий пуск

Пуск при пониженій напрузі:

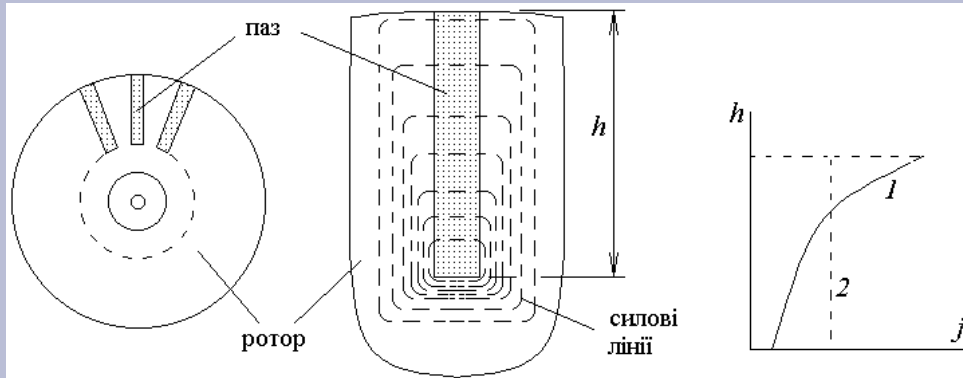
- автотрансформаторной спосіб пуску
- переключення обмотки статора з зірки
- на трикутник



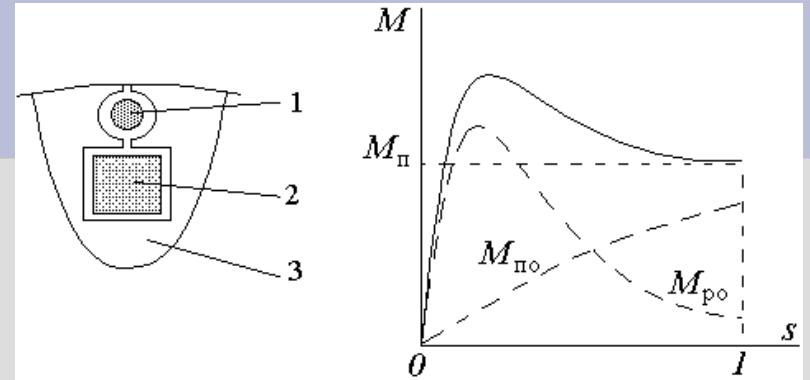
Пуск асинхронного двигуна з фазним ротором



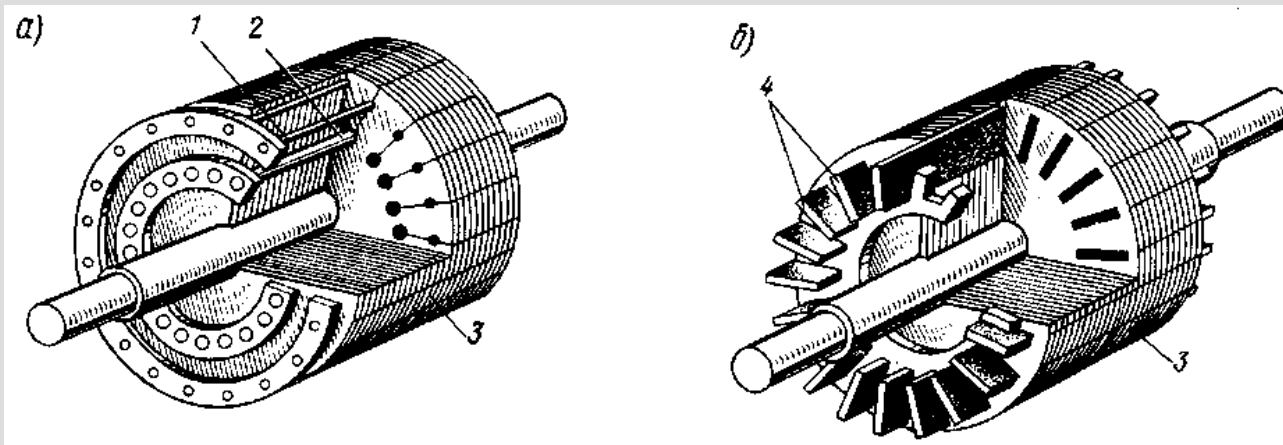
Асинхронні двигуни з покращеними пусковими характеристиками



глибокопазний асинхронний двигун



Асинхронний двигун з подвійною «білячою кліттю»



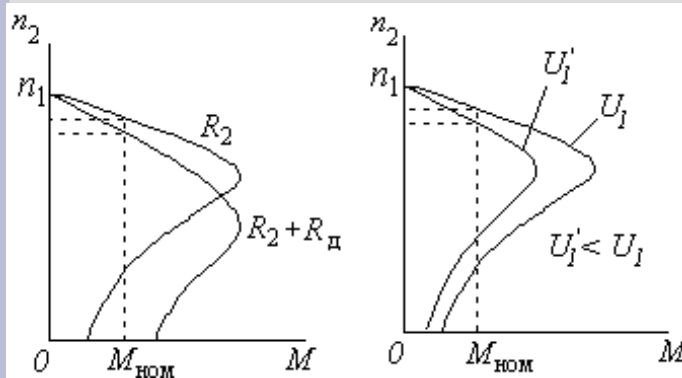
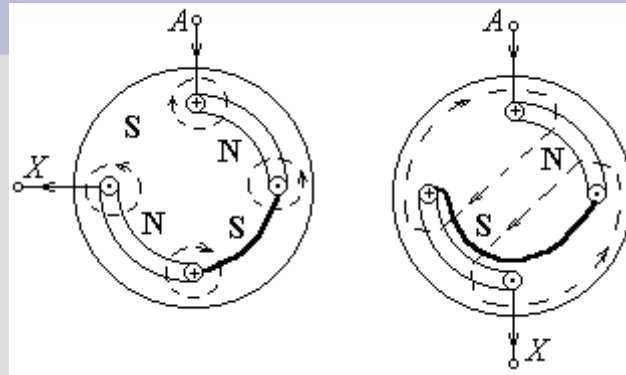
Реверсування та регулювання частоти обертання асинхронних двигунів

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p} \quad n_2 = n_1(1 - s) = \frac{60 \cdot f_1}{p}(1 - s)$$

Частотне регулювання

Полюсне регулювання

Роторне регулювання



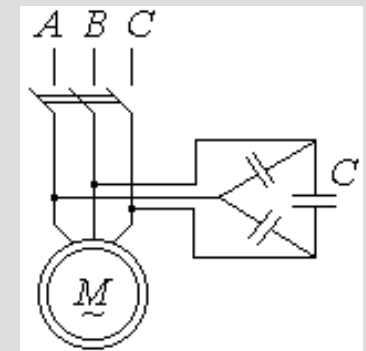
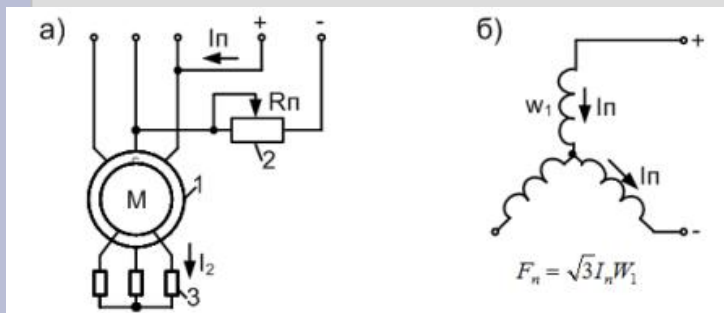
Гальмівні режими асинхронного двигуна

Гальмування через противключення

Генераторне гальмування

Динамічне гальмування

Конденсаторне гальмування



Однофазні асинхронні двигуни

Однофазний асинхронний двигун складається зі статора з однофазною робочою обмоткою

Змінний струм, проходячи по однофазній обмотці статора, утворює пульсуюче магнітне поле

$$B(\alpha, t) = B_m \cos \alpha \cdot \sin \omega t$$

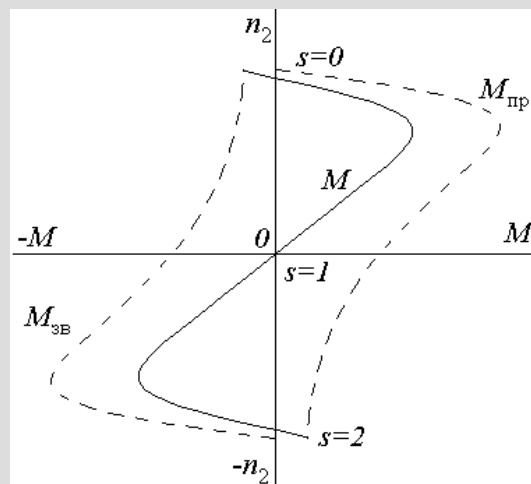
α – просторова координата індукції магнітного потоку вздовж окружності по внутрішньому діаметру статора

$$B(\alpha, t) = B_m \cos \alpha \cdot \sin \omega t = \frac{1}{2} B_m \sin(\omega t - \alpha) + \frac{1}{2} B_m \sin(\omega t + \alpha) = B_{\text{пр}} + B_{\text{зв}}$$

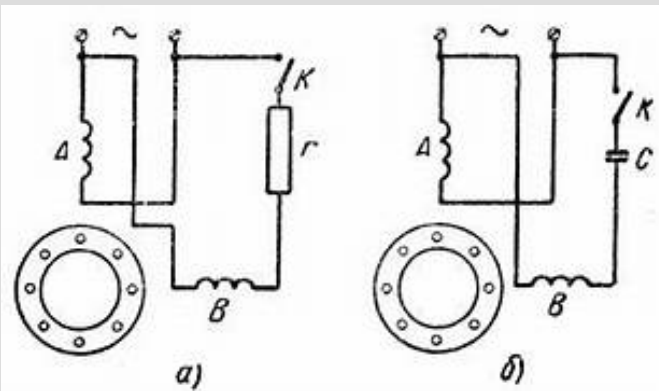
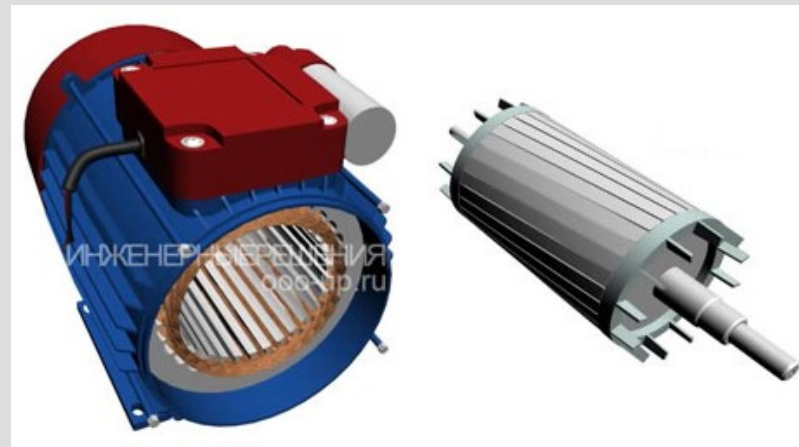
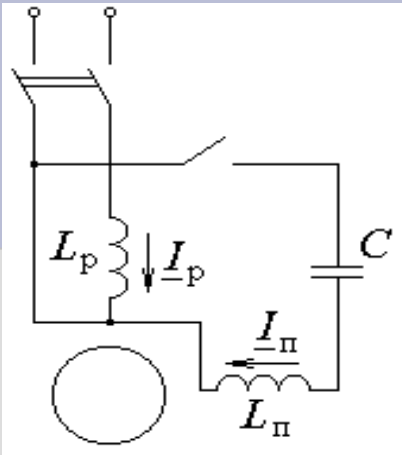
де $B_{\text{пр}}$ і $B_{\text{зв}}$ – відповідно індукції прямого і зворотного магнітного поля

$$M(n) = M_{\text{пр}}(n) - M_{\text{зв}}(n)$$

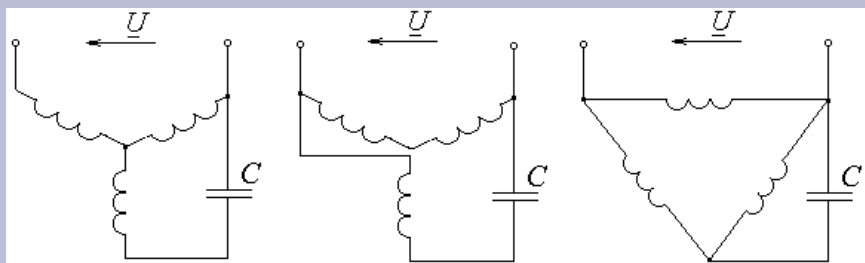
Механічна характеристика однофазного асинхронного двигуна



Однофазный асинхронный двигатель с пусковой обмоткой



Схеми з'єднання статорних обмоток трифазного асинхронного двигуна при підключенні до однофазної мережі



Мощность, Вт	2200	1100
Напряжение в сети, В	200	200
Коэффициент мощности, $\cos\phi$	0,87	0,87
КПД двигателя, %	83	83
Емкость рабочего конденсатора, мкФ	101	51
Емкость пускового конденсатора ($C_{рх2.5}$), мкФ	253	126

Схема подключения трехфазного двигателя: звезда

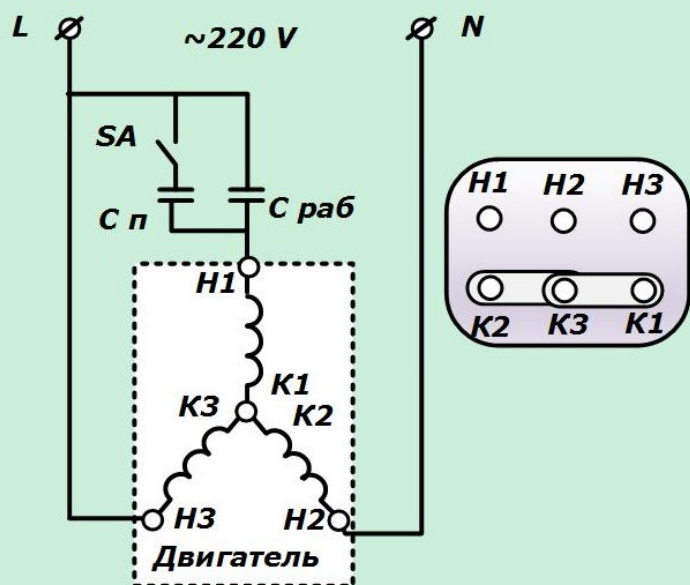
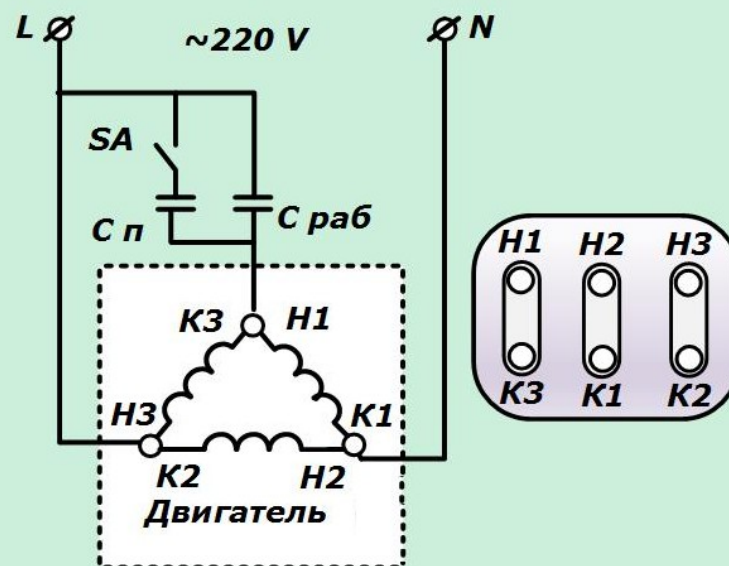
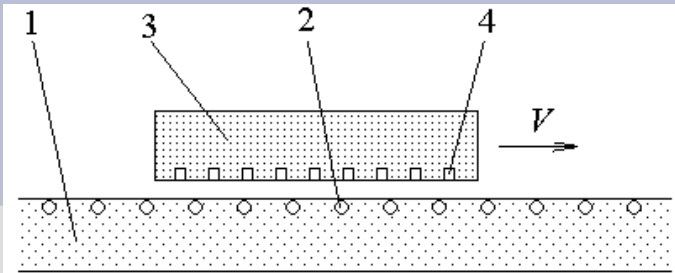


Схема подключения трехфазного двигателя: треугольник



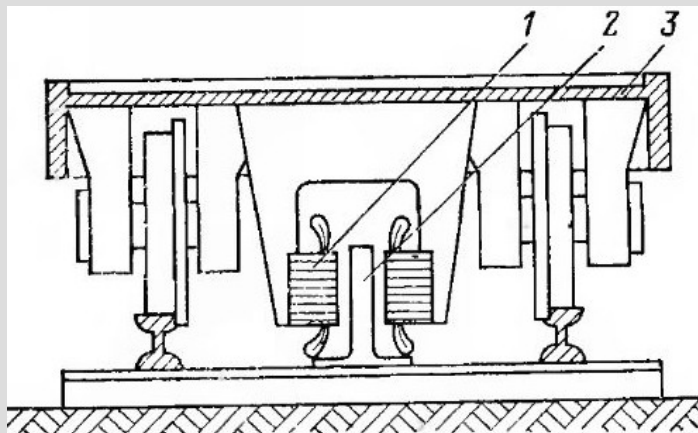
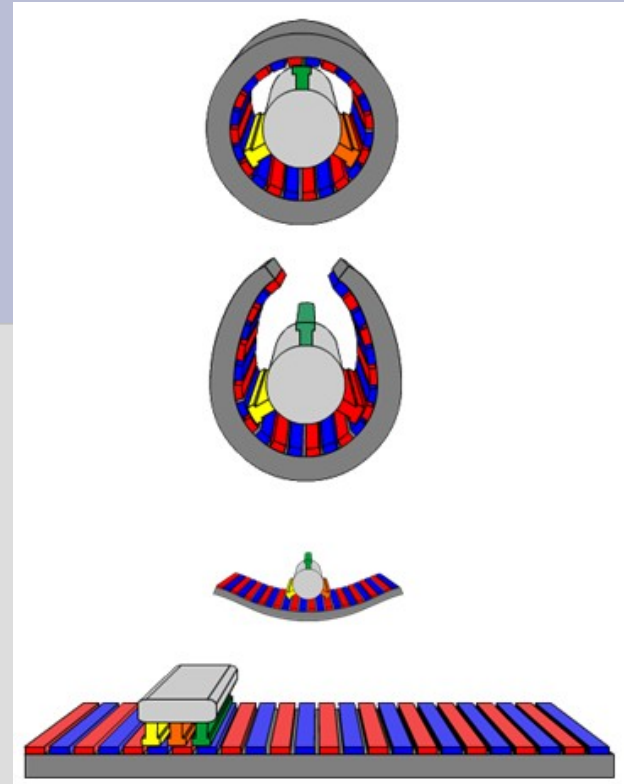
Лінійні асинхронні двигуни



сталеве осердя 1, в якому укладена трифазна обмотка 2, і бігуна, який складається з осердя 3 з короткозамкненою обмоткою 4 типа «біляча клітка»

$$V_1 = 2\pi \cdot f_1 \quad \text{Лінійна швидкість магнітного поля статора}$$

$$s = \frac{V_1 - V_2}{V_1} \quad \text{- Ковзання}$$



Вторинний елемент — нерухома алюмінієва стрічка

Thanks for your attention