



ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ

Загальні питання

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

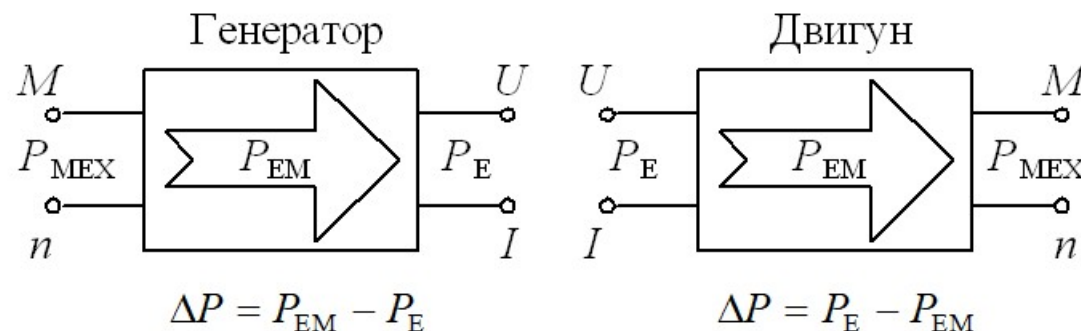
ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ

Електричною машиною називається електротехнічний пристрій, призначений для електромеханічного перетворення енергії. У залежності від напрямку перетворення енергії розрізняють: *генератори* – електричні машини, що перетворюють механічну енергію в електричну; *двигуни* – електричні машини, що перетворюють електричну енергію в механічну.

Електричним машинам, як і трансформаторам, властивий *принцип оборотності*, тобто одна й та же електрична машина в залежності від напрямку перетворення енергії може бути генератором або двигуном.

Загальні поняття

Крім вхідних і вихідних видів потужності: електричної $P_E = UI$ та механічної $P_{\text{MECH}} = M \cdot n$ (M – момент на валу; n – частота обертання) – в процесі електромеханічного перетворення енергії ключове значення має електромагнітна потужність $P_{\text{EM}} = EI$, яка відповідає силовій взаємодії струмів і магнітного поля в середині електричної машини.



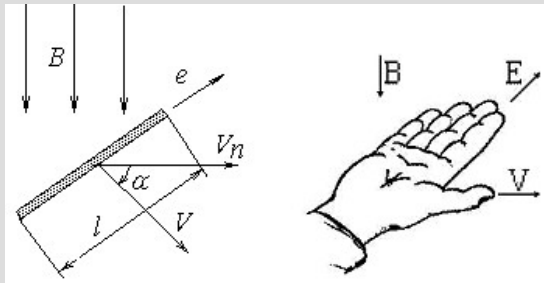
У наслідок того, що потужності P_{EM} і P_{MEK} визначаються однаковим моментом M , вони близькі одна до одної $P_{EM} \cong P_{MEK}$ (різницю вносить частота обертання). Тому можна вважати, що втрати в електричній машині ΔP утворює різниця електричної і електромагнітної потужностей.

Види електричних машин

У залежності від струму живлення розрізняють *електричні машини постійного струму* і *електричні машини змінного струму*.

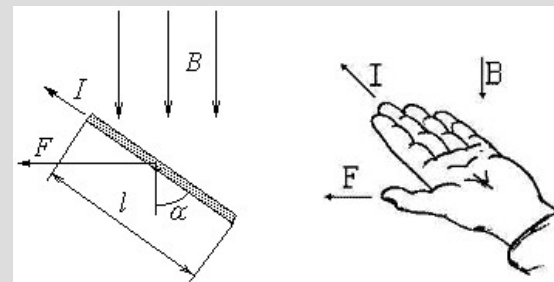
Закон електромагнітної індукції

$$E = B \cdot l \cdot V \sin \alpha$$

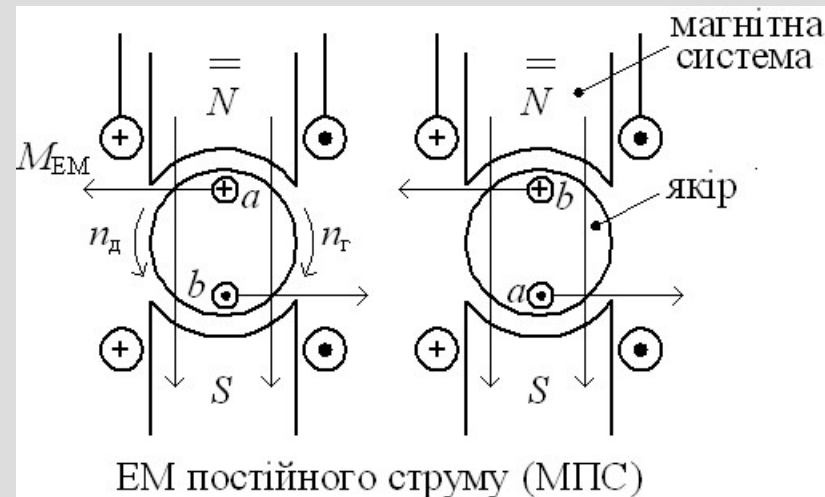


Закон Ампера

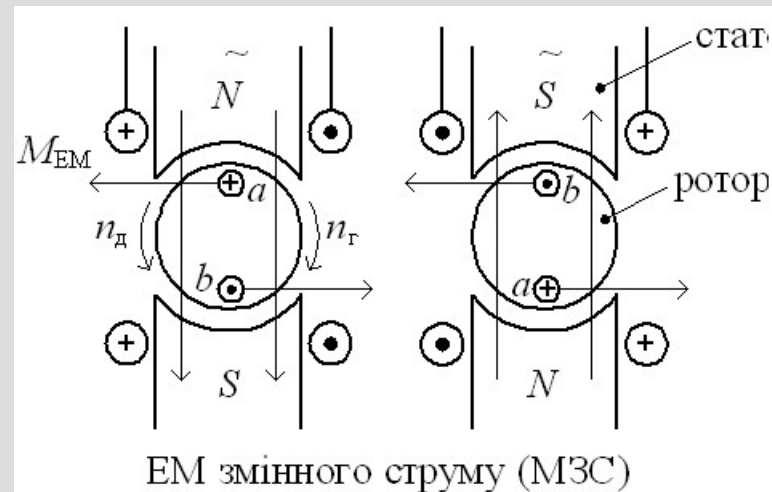
$$F = B \cdot l \cdot I \sin \alpha$$



В електричній машині постійного струму нерухома магнітна система утворює незмінний у просторі магнітний потік. Провідники зі струмом, розташовані на обертовій частині електричної машини постійного струму (якорі), знаходяться у силевій взаємодії з цим магнітним потоком. Відповідно до правила лівої руки утворюється електромагнітний момент M_{EM} , який у режимі двигуна співпадає з напрямом обертання якоря n_d , а в режимі генератора протидіє його обертанню n_r , яке забезпечується зовнішнім механічним приводом. Для забезпечення нормальної роботи електричної машини постійного струму необхідно, щоб напрям струму в провідниках обмотки якоря змінювався на протилежний при потраплянні їх під іншу полярність магнітної системи.



В електричній машині змінного струму просторовий напрям магнітного поля змінюється з періодичністю зміни струму в обмотці нерухомого статора. Обертання ротора забезпечується тим, що напрям струму в провідниках його обмотки не змінюється й завжди відповідає полярності магнітного потоку, що змінюється. Таким чином, як і в електричній машині постійного струму, забезпечується незмінна силова взаємодія магнітного поля статора зі струмом у роторі, а щодо напрямку його обертання, то воно визначається теж як в електричній машині постійного струму.



ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Двигуни постійного струму



КПК-562У2 для приводів зварювальних автоматів, напівавтоматів та інших механізмів. Потужність 60 Вт



Стартер-генератор. Потужність 10 кВт (генераторний режим), 14,7 кВт (стартерний режим)



МВ-42, призначений для привода вентилятора. Потужність 175 Вт. Частота обертання 3500 об/хв



ДПБ 80 незалежного збудження потужністю 80 кВт

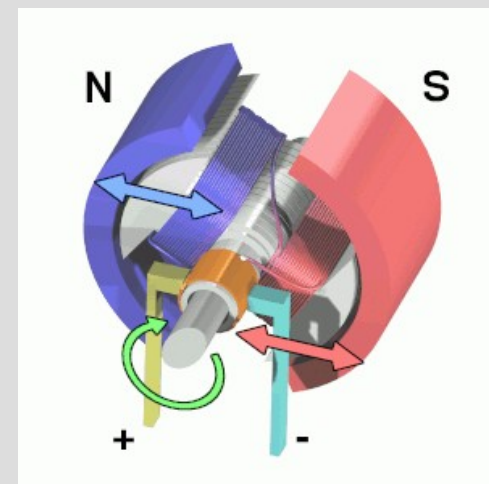
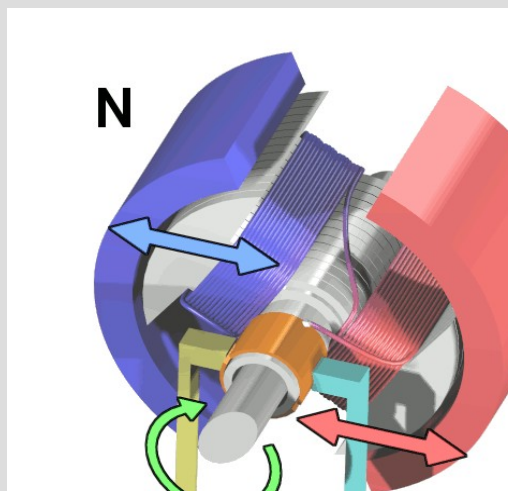
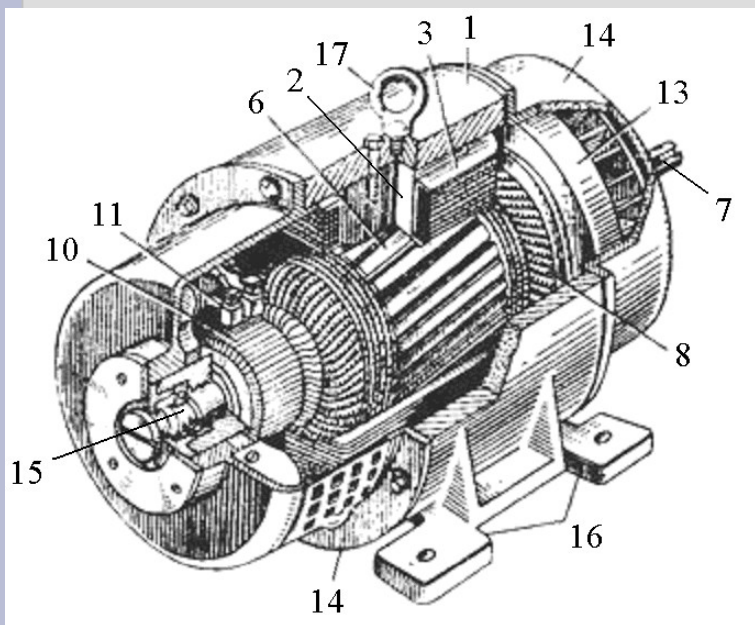
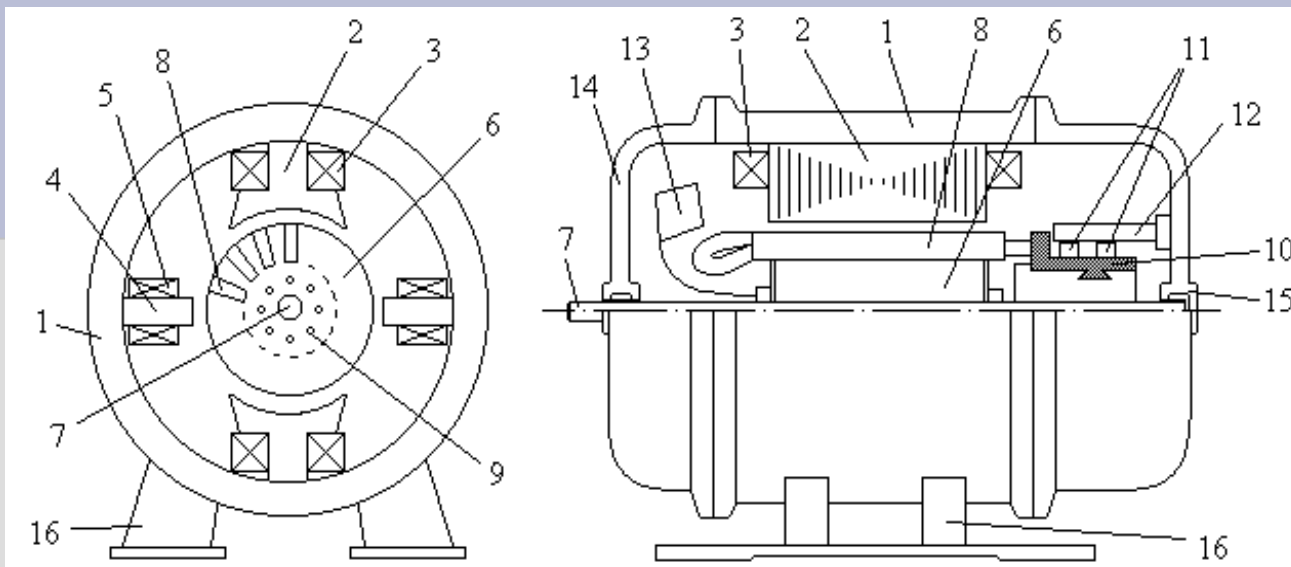


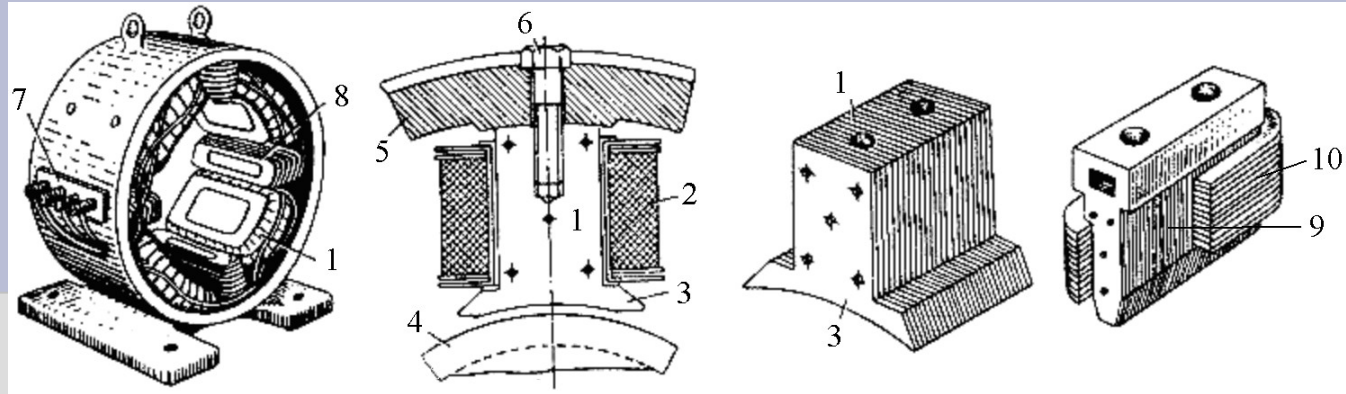
ДПЕ 200-2 незалежного збудження потужністю 200 кВт



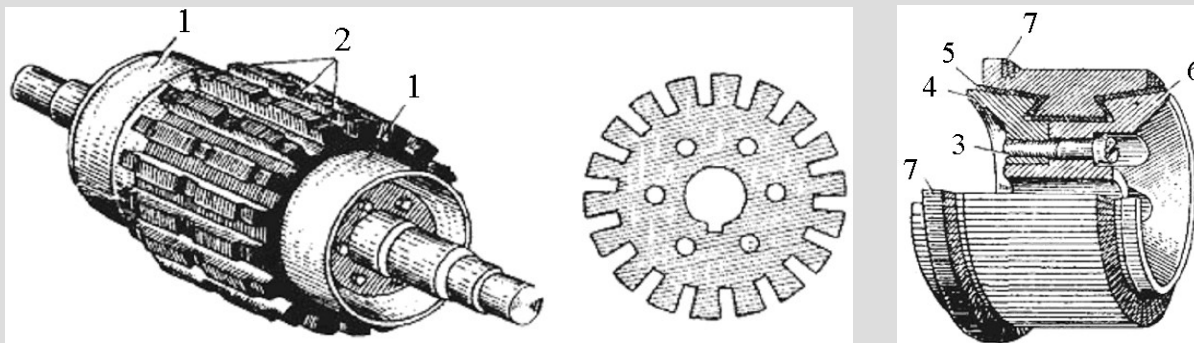
ДПУ 240-1100. Потужність 1,1 кВт

Будова та принцип дії машини постійного струму

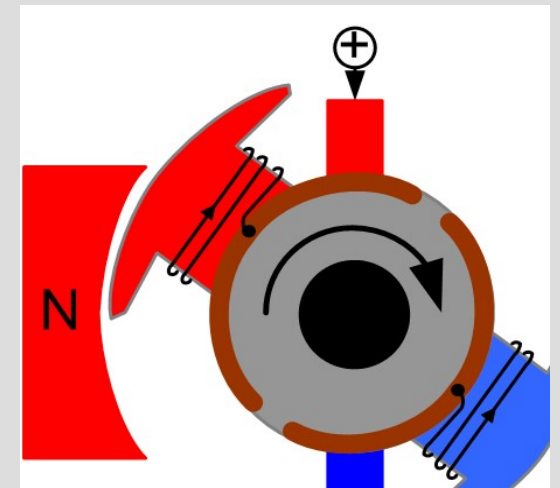


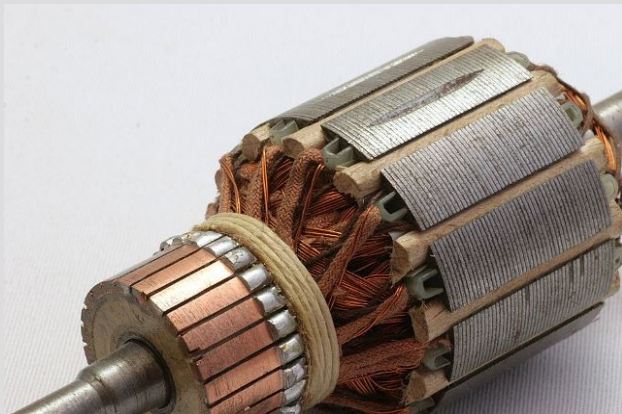
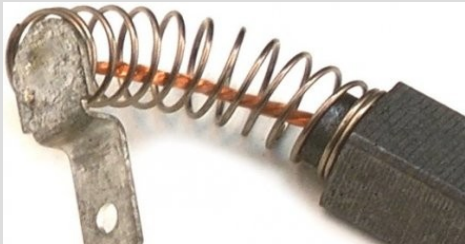
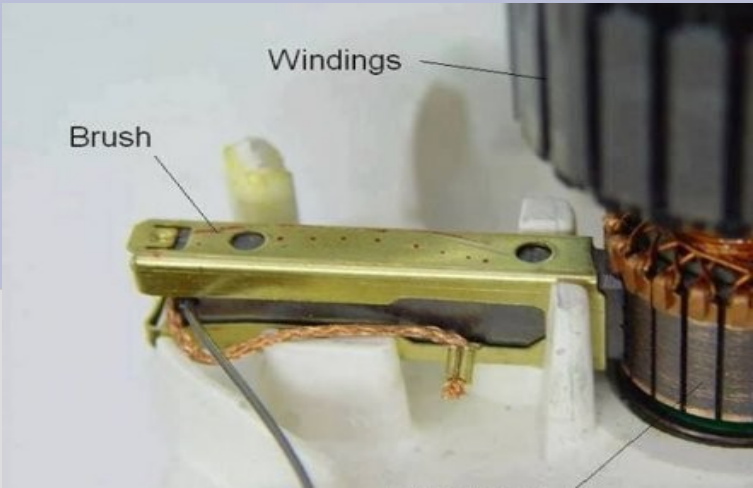
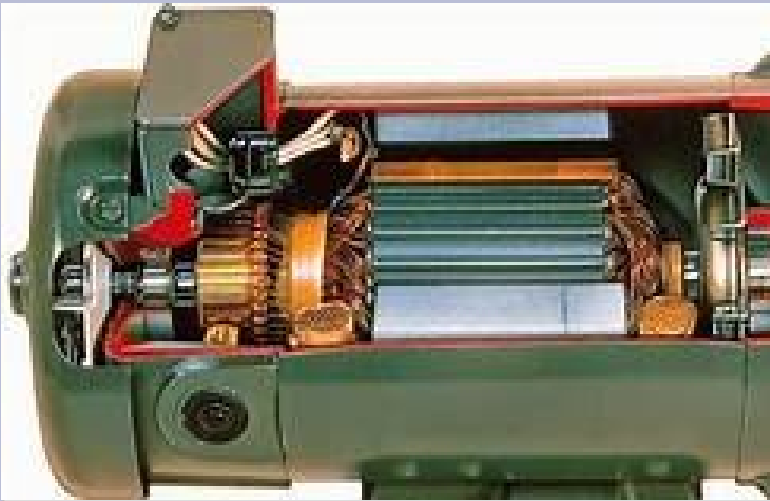


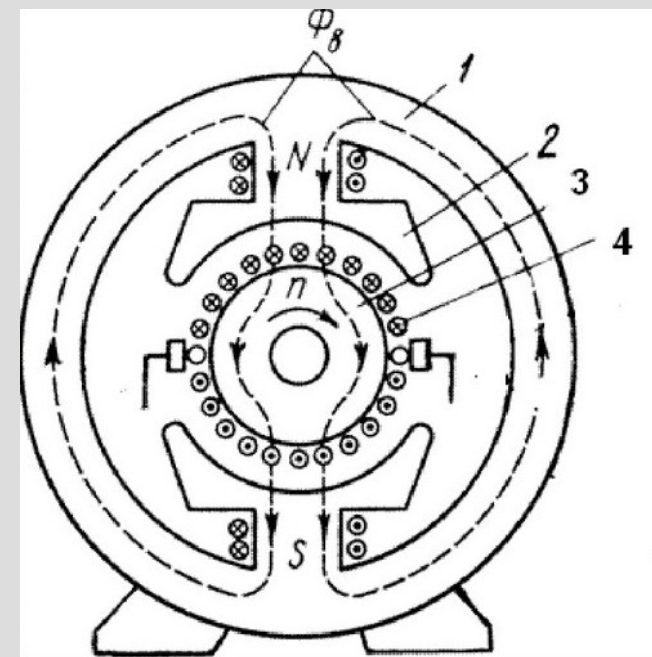
Елементи статора: загальний вид (а), поперечний переріз (б) та осердя (в) головного полюса, додатковий полюс (г): 1 – осердя головного полюса, 2 – обмотка збудження; 3 – полюсний наконечник; 4 – яркір; 5 – станина; 6 – болт-“шпилька”; 7 – клемні виводи обмоток полюсів; 8 – додатковий полюс; 9, 10 – осердя та обмотка додаткового полюса



Якір машини (а), пластина (б), з яких він зібраний, та колектор (в): 1 - наживні шайби; 2 - канавки під бандажі; 3 - стяжний болт; 4 – заживне кільце 5 - міканітова ізоляція; 6 - корпус-втулка; 7 - виступ з прорізом колекторної пластини







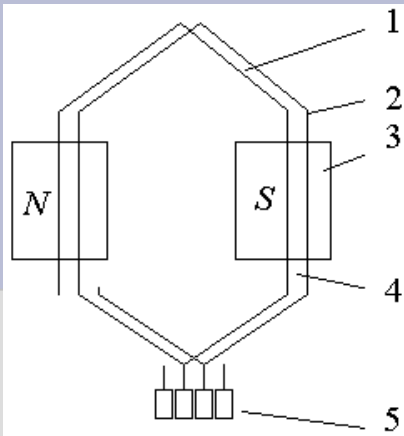
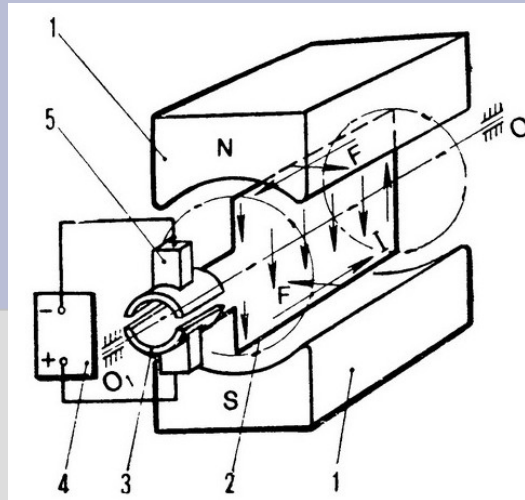


Схема обмотки якоря: 1 – лобова частина обмотки; 2 – секція обмотки; 3 – головний полюс; 4 – пазова частина обмотки; 5 – колектор



Принципова схема (а) та форма ЕРС (б) машини постійного струму

ЕРС, рівняння електричного стану та способи збудження машин постійного струму

$$e = B_{cp} l_a v \quad \tau = \frac{\pi \cdot D_{я}}{2p} \quad v = \frac{\pi D_{я} n}{60} \quad E = \sum_{i=1}^{N/2a} e_i = l_a v \sum_{i=1}^{N/2a} B_{cp_i} = \frac{N}{2a} l_a v \cdot B_{cp}$$

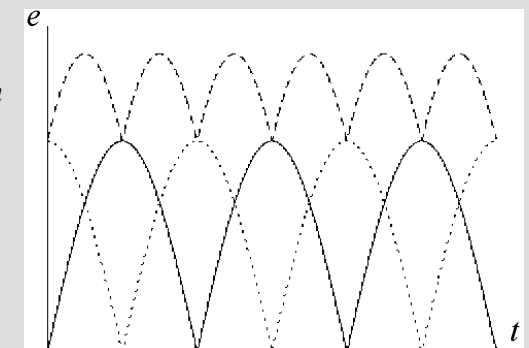
$$\Phi = B_{cp} S = B_{cp} \tau \cdot l_a = B_{cp} l_a \frac{\pi D_{я}}{2p}$$

$$E = \frac{N}{2a} l_a v B_{cp} = \frac{N}{2a} l_a B_{cp} \frac{\pi D_{я} n}{60} \cdot \frac{2p}{2p} = \frac{N}{2a} l_a B_{cp} \tau \cdot n \frac{2p}{60} = \frac{p}{a} \frac{N}{60} \Phi \cdot n$$

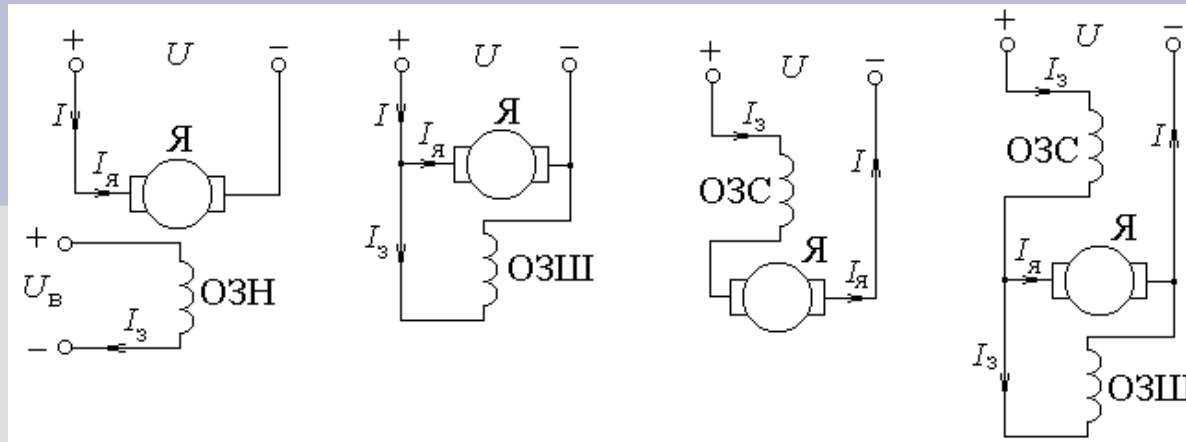
$$E = c_E \Phi \cdot n$$

Для генератора: $U = E - I_{я} R_{я}$

Для двигуна: $U = E + I_{я} R_{я}$



Схеми збудження двигуна постійного струму



Електромагнітний момент та потужність машини постійного струму

$$F_{np} = B_{cp} \cdot l_a \cdot i_a \quad M = F_{np} N \frac{D_{я}}{2} \quad i_a = \frac{I_{я}}{2a} \quad \Phi = B_{cp} l_a \tau \quad \tau = \frac{\pi \cdot D_{я}}{2p} \quad F_{np} = B_{cp} \cdot l_a \cdot \frac{I_{я}}{2a}$$

$$M = F_{np} N \frac{D_{я}}{2} = N \frac{D_{я}}{2} B_{cp} l_a \frac{I_{я}}{2a} \cdot \frac{\pi \cdot 2p}{\pi \cdot 2p} = \frac{N}{2} \tau \cdot B_{cp} l_a \frac{I_{я}}{2a} \frac{2p}{\pi} = \frac{N \cdot p}{2a \cdot \pi} \Phi \cdot I_{я} \quad M = c_M \Phi \cdot I_{я}$$

в режимі генератора $UI_{я} = EI_{я} - I_{я}^2 R_{я}$

електромагнітна потужність $P_{эм} = EI_{я}$

в режимі двигуна $UI_{я} = EI_{я} + I_{я}^2 R_{я}$

потужність навантаження $P = UI_{я}$

потужність втрат у колі якоря $P_{я} = I_{я}^2 R_{я}$

Втрати та ККД машини постійного струму

Магнітні втрати $\Delta p_{ст} = \Delta p_2 + \Delta p_{в.т.}$

Електричні втрати $\Delta p_{ел} = \Delta p_м = I_я^2 R_я + I_{O3}^2 R_{O3}$

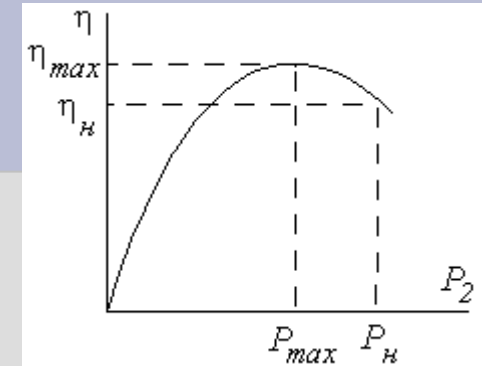
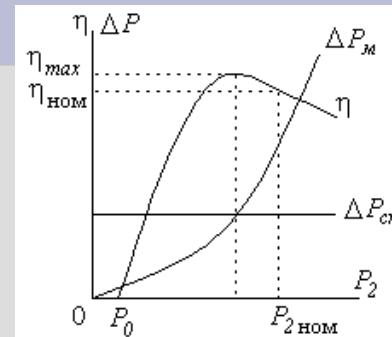
Механічні втрати $\Delta p_{мех}$

Додаткові втрати $\Delta p_{доб}$

$$P_1 - P_2 = \Delta p_{ст} + \Delta p_м + \Delta p_{мех} + \Delta p_{доб}$$

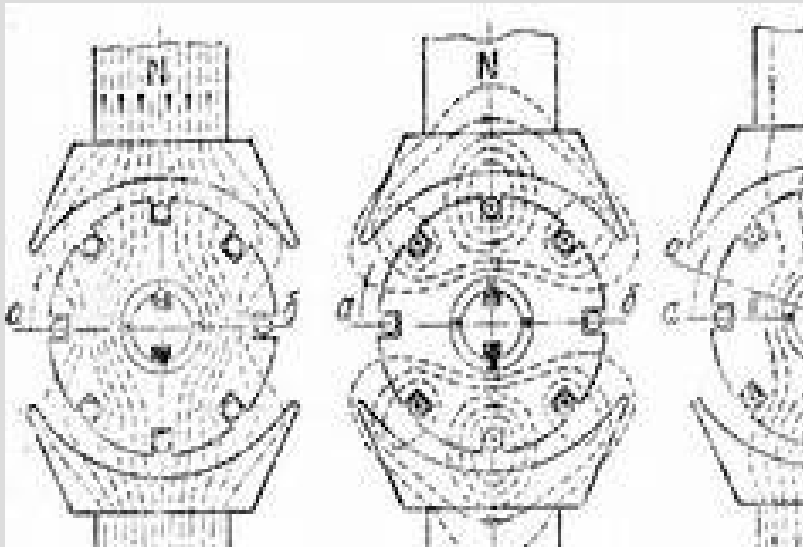
$$P_1 = P_2 + \Delta p_{ст} + \Delta p_м + \Delta p_{мех} + \Delta p_{доб}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta p_{ст} + \Delta p_м + \Delta p_{мех} + \Delta p_{доб}}$$

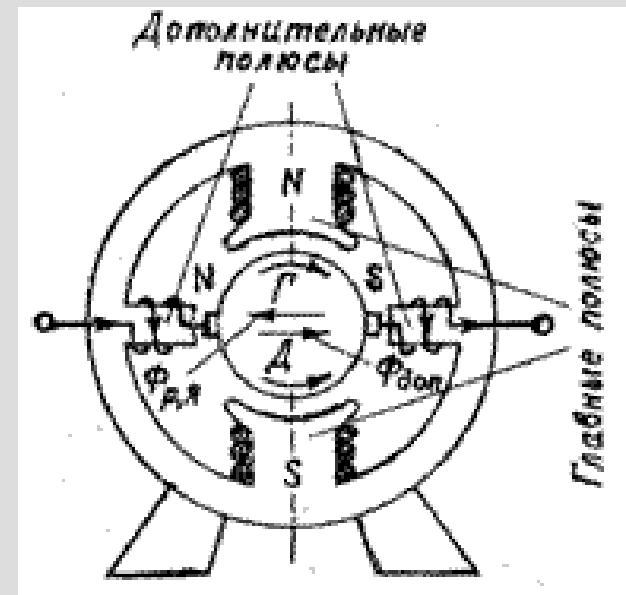


Залежність ККД від потужності машини

Реакція якоря машини постійного струму

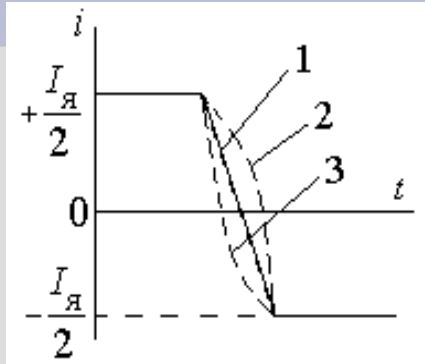


Комплекс явищ, пов'язаних з впливом магнітного поля якоря на робочі характеристики машини, називають реакцією якоря

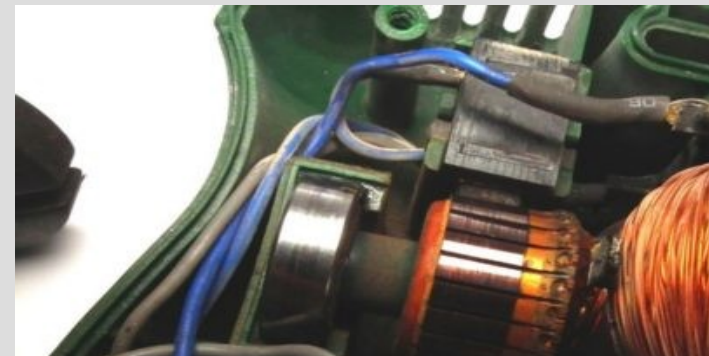
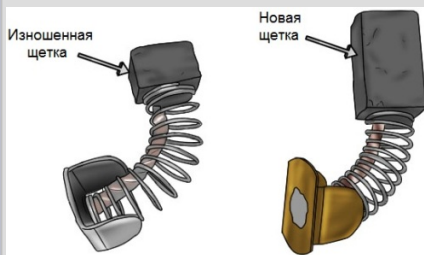
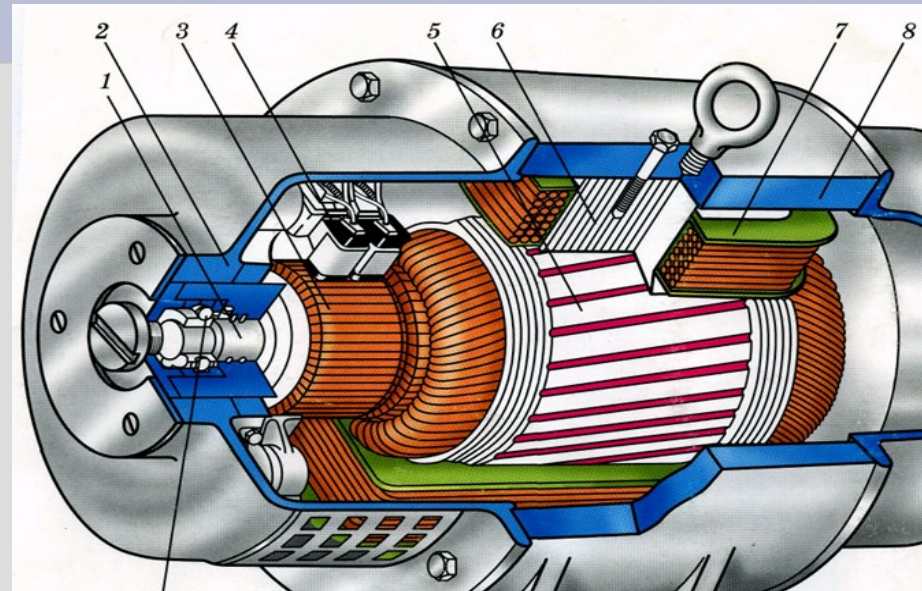


Комутація машини постійного струму

Комутацією називають процес перемикання секцій обмотки якоря, що обертається, з одної паралельної вітки в іншу

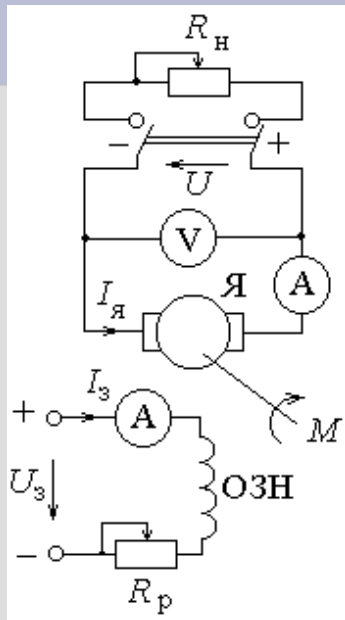


$$e = -L \frac{di}{dt}$$



ГЕНЕРАТОРИ І ДВИГУНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Генератор з незалежним збудженням

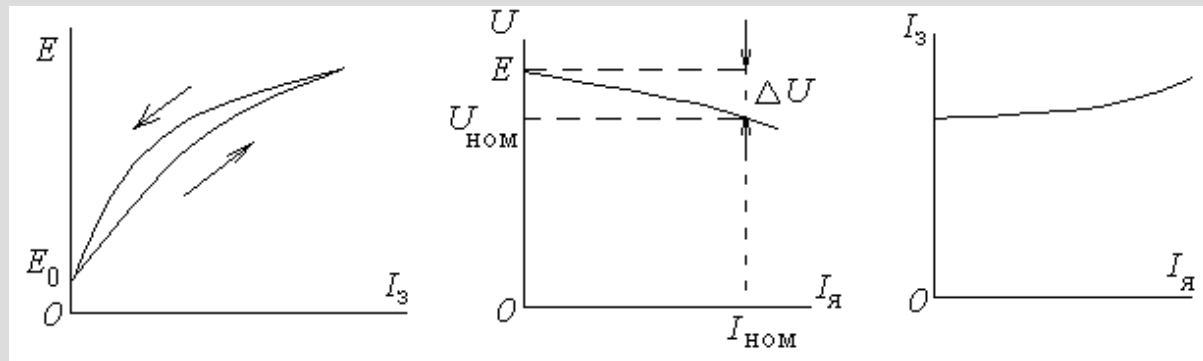


Характеристика неробочого ходу – це залежність ЕРС від струму збудження $E(I_з)$ за умови: $n=const, I=0$

$$U = E - I_я R_я \quad U = E \quad E = c_E \Phi \cdot n \quad I_е \uparrow \Rightarrow \Phi \uparrow \Rightarrow E \uparrow$$

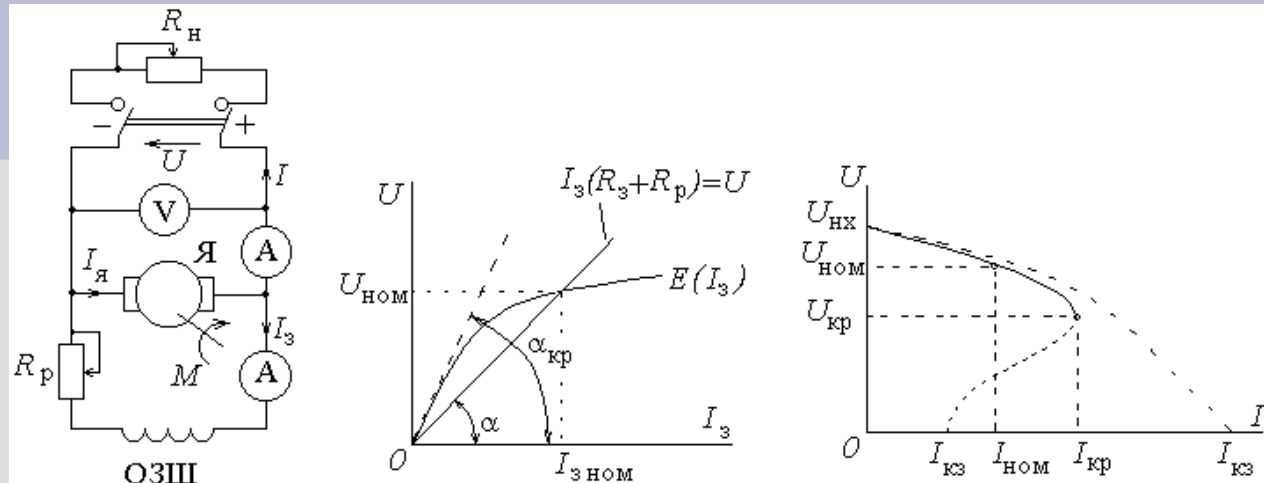
Зовнішня характеристика – це залежність напруги на виході генератора від його струму $U(I)$ за умови $n=const, I_е = const$

Регульовальна характеристика – це залежність струму збудження від струму якоря, що віддається у зовнішнє коло $I_е(I_я)$ за умови $n=const, U=const$



Характеристики генератора з незалежним збудженням:
НХ (а), зовнішня (б), регульовальна (в)

Генератор з паралельним збудженням



умови самозбудження:

- наявність потоку остаточного намагнічування Φ_0
- струм в обмотці збудження має посилювати потік Φ_0

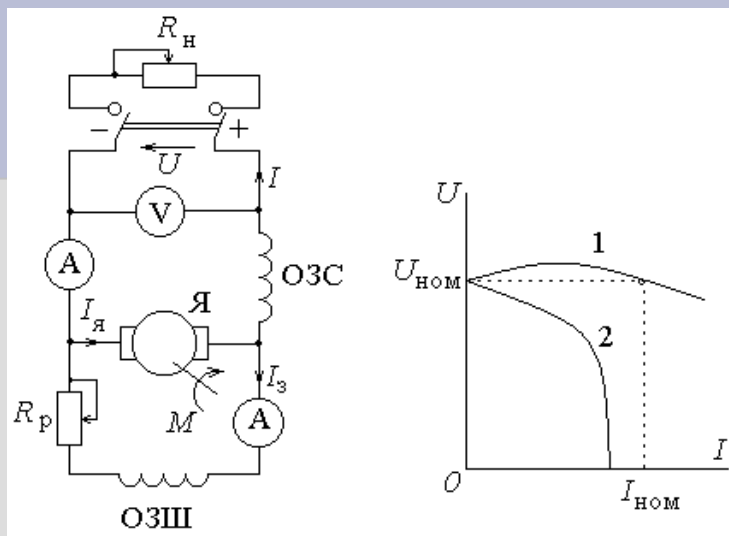
сумарний опір в колі обмотки збудження $R_3 + R_p$ має бути меншим за критичний

при збільшенні струму навантаження I внаслідок зменшення напруги U знижується струм

збудження I_3 $I_3 = \frac{U}{R_3 + R_p}$ зменшення струму I_3 знижує потік Φ , а відтак і ЕРС E якоря

Кратність перевантаження генератора $K_{II} = \frac{I_{\text{кр}}}{I_{\text{н}}} \approx 2,0 \dots 2,5$

Генератор зі змішаним збудженням



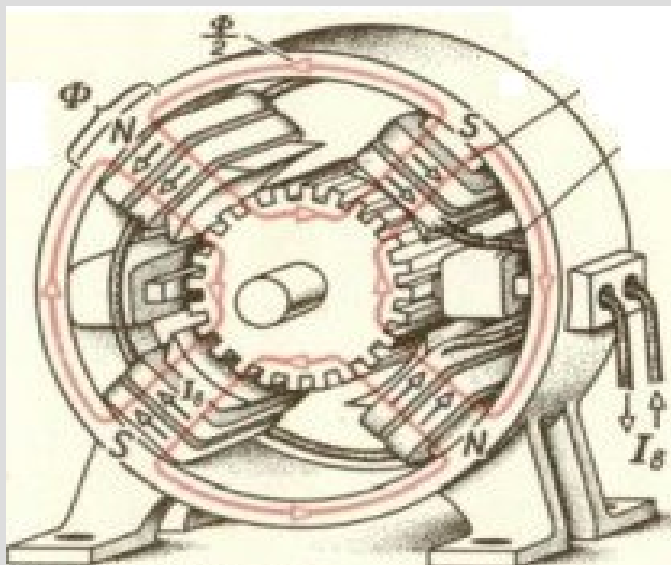
Зовнішня характеристика: $U(I)$ знімається за умови $R_p = \text{const}$; $n = \text{const}$

Якщо послідовну обмотку ОЗС приєднати згідно, то при збільшенні навантаження результуючий магнітний потік генератора буде зростати

$$U = c_E (\Phi + \Phi_{\text{дод}}) n - I \cdot R_{\text{я}}$$

Якщо серієсну обмотку ОЗС приєднати зустрічно, то при збільшенні навантаження збільшується потік цієї обмотки $\Phi_{\text{дод}}$ і результуючий магнітний потік буде різко зменшуватись

$$U = c_E (\Phi - \Phi_{\text{доб}}) n - I \cdot R_{\text{я}}$$



Двигуни постійного струму

Струм якоря визначається і тормозним моментом $I_{я} = \frac{M}{c_M \Phi}$

і підведеною напругою $I_{я} = \frac{U - E}{R_{я}}$

$$U = c_E \Phi \cdot n + I_{я} R_{я} \quad n = \frac{U - I_{я} R_{я}}{c_E \Phi}$$

Принцип саморегулювання двигуна $n \downarrow \Rightarrow E \downarrow (E = c_E \Phi n) \Rightarrow I_{я} \uparrow \left(I_{я} = \frac{U - E}{R_{я}} \right) \Rightarrow M_{эм} \uparrow (M_{эм} = c_M \Phi I_{я})$

Пуск у хід та регулювання обертів двигуна постійного струму

коли оберти відсутні

$$E = c_E \Phi \cdot n \quad I_{ян} = \frac{U}{R_{я}}$$

Прямий пуск

Реостатний пуск $I_{ян} = \frac{U}{R_{я} + R_n}$

Пуск при зниженій напрузі. Використовується система «генератор-двигун».

регулювання обертів:

Зміною напруги

Реостатне регулювання

$$n = \frac{U - I_{я} (R_{я} + R_{ря})}{c_E \Phi}$$

Зміною магнітного потоку Φ

$$R_{рз} \uparrow \Rightarrow I_3 \downarrow \Rightarrow \Phi \downarrow \Rightarrow n \uparrow$$

Робочі характеристики двигунів постійного струму

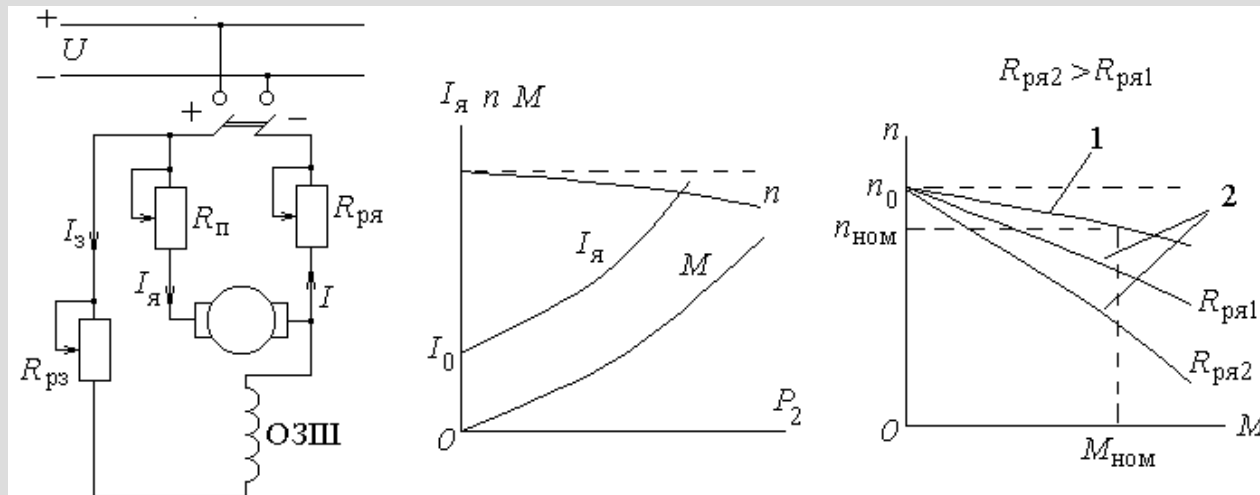
Двигун з паралельним збудженням

Механічна характеристика $n(M)$ при $I_3 = \text{const}$

$$M_{em} = k_M \Phi I_a = k_1 I_a \quad M = \frac{P_2}{\omega} \quad I_a \sim P_2$$

$$n = \frac{U - I_a R_a}{c_E \Phi} = \frac{U}{c_E \Phi} - \frac{I_a R_a}{c_E \Phi} = n_0 - \frac{I_a R_a}{c_E \Phi} \quad n_0 = \frac{U}{c_E \Phi} \quad M = c_M \Phi \cdot I_a \quad I_a = \frac{M}{c_M \Phi}$$

$$n = n_0 - \frac{M \cdot R_a}{c_E c_M \Phi^2} \quad n = n_0 - \frac{M(R_a + R_{pa})}{c_E c_M \Phi^2}$$

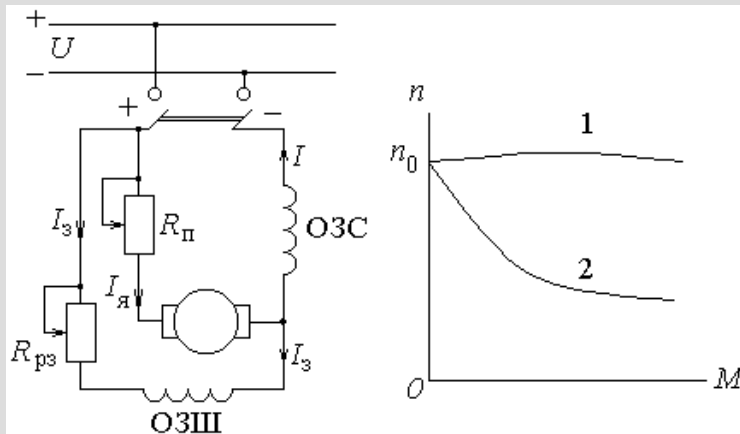
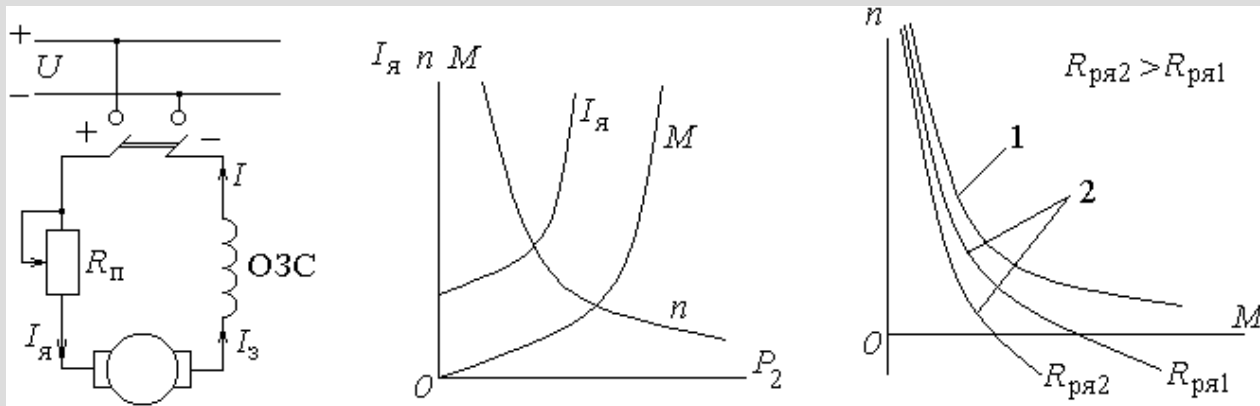


Двигун з послідовним збудженням

$$I_{\text{я}} = I_3 \quad \Phi \sim I_3 = I_{\text{я}} \quad \Phi = k_{\Phi} I_{\text{я}} \quad M = c_M \Phi \cdot I_{\text{я}} \quad M = c_M k_{\Phi} \cdot I_{\text{я}}^2 \quad I_{\text{я}} = \sqrt{\frac{M}{c_M k_{\Phi}}} \quad \Phi = k_{\Phi} I_{\text{я}} \quad \Phi = k_{\Phi} \sqrt{\frac{M}{c_M k_{\Phi}}} = \sqrt{\frac{M \cdot k_{\Phi}}{c_M}}$$

Механічна характеристика $n(M)$

$$n = \frac{U - I_{\text{я}} R_{\text{я}}}{c_E \Phi} = \frac{U}{c_E \sqrt{M \frac{k_{\Phi}}{c_M}}} - \frac{I_{\text{я}} R_{\text{я}}}{c_E k_{\Phi} I_{\text{я}}} = \frac{U}{c_E \sqrt{M \frac{k_{\Phi}}{c_M}}} - \frac{R_{\text{я}}}{c_E k_{\Phi}} = \frac{A}{\sqrt{M}} - B$$



Двигун зі змішаним збудженням

- При зустрічному вмиканні – крива 1
- При згідному вмиканні – крива 2

Thanks for your attention