

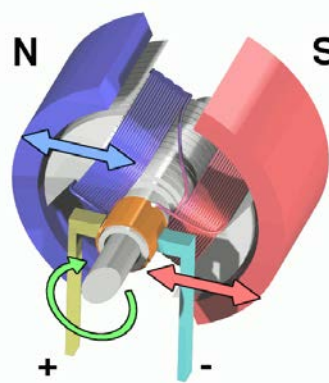
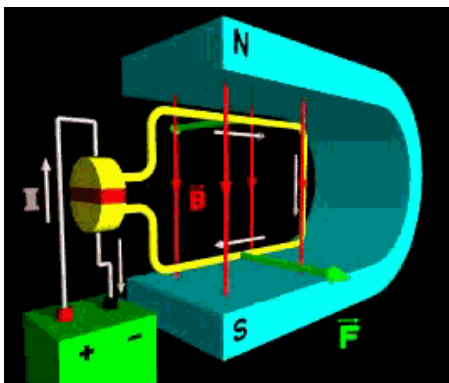
**Змістовий модуль 8. Електричні машини постійного струму.
Тема № 8.2. Двигуни постійного струму.**

План лекції

1. Принцип роботи двигуна постійного струму.
2. Способи збудження і характеристики двигунів постійного струму.

1. Принцип роботи двигуна постійного струму

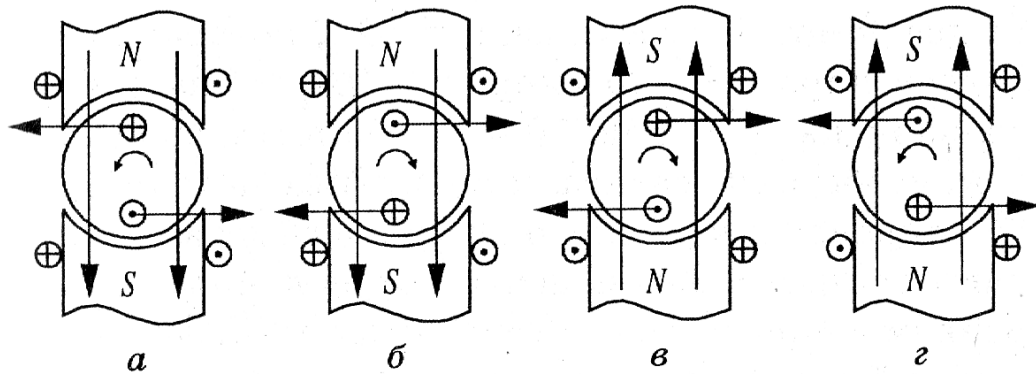
Колекторні машини мають властивість оборотності, тобто вони можуть працювати як у режимі генератора, так і в режимі двигуна. Принцип роботи двигуна постійного струму (мал. 1) заснований на взаємодії провідника зі струмом з постійним магнітним полем електромагнітів. Якщо машину включити в мережу постійного струму, то в обмотках якоря й електромагнітів устанеться струм і на кожний провідник обмотки якоря, що перебуває в магнітнім полі електромагнітів, почне діяти сила, що прагне повернути якір (мал. 2, а). З мал. 2 видно, що при зміні напрямку струму тільки в якорі (мал. 2, б) або тільки в обмотці збудження (мал. 2, в) напрямок обертання якоря міняється на протилежний, а одночасна зміна напрямку струму в обох обмотках не змінює напрямок обертання якоря (мал. 2, г). Звідси випливає, що для зміни напрямку обертання двигуна постійного струму потрібно поміняти місцями або кінці обмотки якоря, або кінці обмотки збудження.



Мал. 1. Принцип роботи двигуна постійного струму

Якщо двигун постійного струму з опором обмотки якоря $R_{я}$ включити в мережу з напругою U , то в початковий момент пуску в хід якір двигуна нерухливий, проти-ЕРС дорівнює нулю, тому в якорі встановиться струм

$$I_{II} = \frac{U}{R_{Я}}$$



Мал. 2. До напрямку обертання двигуна постійного струму

Оскільки опір якоря малий, то пусковий струм у ньому буде дуже великим, перевищуючи номінальний у десятки разів. Від такого струму можуть постраждати обмотка якоря, колектор і щітки. Пусковий струм можна обмежити шляхом включення послідовно з обмоткою якоря пускового реостата. У цьому випадку пусковий струм

$$I_{II} = \frac{U}{R_{Я} + R_{II}}$$

Опір пускового реостата R_{II} вибирають таким, щоб пусковий струм не перевищував номінальний більш ніж в 1,2-1,5 рази.

У результаті взаємодії якоря з магнітним полем полюсів якір почне обертатися. Через те, що його обмотка почне обертатися в магнітнім полі, то в ній буде індуктуватися ЕРС, яка буде спрямована проти прикладеної до двигуна напруги (так звана «проти-ЕРС»). Величина цієї ЕРС прямо пропорційна числу обертів двигуна й величині магнітного потоку. Однак на відміну від генератора у двигуні ця ЕРС буде менше прикладеного від мережі напруги на величину спадання напруги в якорі машини:

$$U = E + I_{Я} R_{Я}, \quad (1)$$

звідси струм у якорі при виведеному пусковому реостаті

$$I_{Я} = \frac{U - E}{R_{Я}} \quad (2)$$

Помноживши обидві частини рівняння (1) на $I_{\text{я}}$, одержимо:

$$I_{\text{я}}U = I_{\text{я}}E + I_{\text{я}}^2 R_{\text{я}} \quad (3)$$

Ліва частина рівняння (3) являє собою електричну потужність, споживану двигуном з мережі, а другий член правої частини $I_{\text{я}}^2 R_{\text{я}}$ - потужність, що поглинається опором якоря. Очевидно, що $I_{\text{я}}E$ - це корисна електрична потужність, яка може бути перетворена в інші види енергії. Отже, це та частина споживаної з мережі електричної потужності, яка перетвориться двигуном у механічну (включаючи механічні втрати). Таким чином, ЕДС самоіндукції у двигуні постійного струму впливає на перетворення споживаної з мережі електричної енергії в механічну.

Підставимо вираження для ЕРС генератора ($E = cn\Phi$) в (2) і виразимо швидкість обертання двигуна:

$$I_{\text{я}} = \frac{U - E}{R_{\text{я}}} = \frac{U - cn\Phi}{R_{\text{я}}} \Rightarrow cn\Phi = U - I_{\text{я}}R_{\text{я}} \Rightarrow n = \frac{U - I_{\text{я}}R_{\text{я}}}{c\Phi}. \quad (4)$$

Ми бачимо, що *швидкість обертання двигуна прямо пропорційна напрузі живлення й обернено пропорційна величині магнітного потоку*. Звідси випливає, що регулювання швидкості обертання двигуна постійного струму можна здійснювати або змінюючи опір ланцюга якоря (при постійній напрузі мережі), або шляхом зміни магнітного потоку.

2. Способи збудження і характеристики двигунів постійного струму

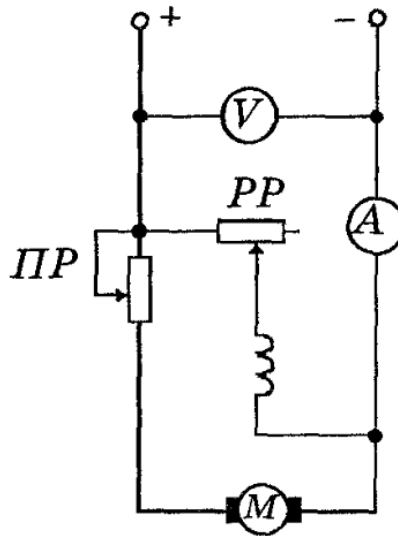
Усі робочі характеристики двигуна постійного струму, як і генератора, залежать від способу включення ланцюги збудження стосовно ланцюга якоря. З'єднання цих ланцюгів може бути паралельним, послідовним, змішаним і, нарешті, вони можуть бути незалежні друг від друга.

Двигуни з паралельним і незалежним збудженням

Схема включення двигуна постійного струму з паралельним збудженням показана на мал. 3, де ПР - пусковий, а РР - регулювальний реостат.

Якщо обмотку збудження такого двигуна підключити через регулювальний реостат РР до іншого джерела постійної напруги, вийде двигун з незалежним збудженням.

Швидкісна характеристика таких двигунів $n = f(I_{\text{я}})$ при $U = \text{const}$ й $I_{\text{в}} = \text{const}$ наведена на мал. 4, а.



Мал. 3. Схема увімкнення двигуна постійного струму з паралельним збудженням

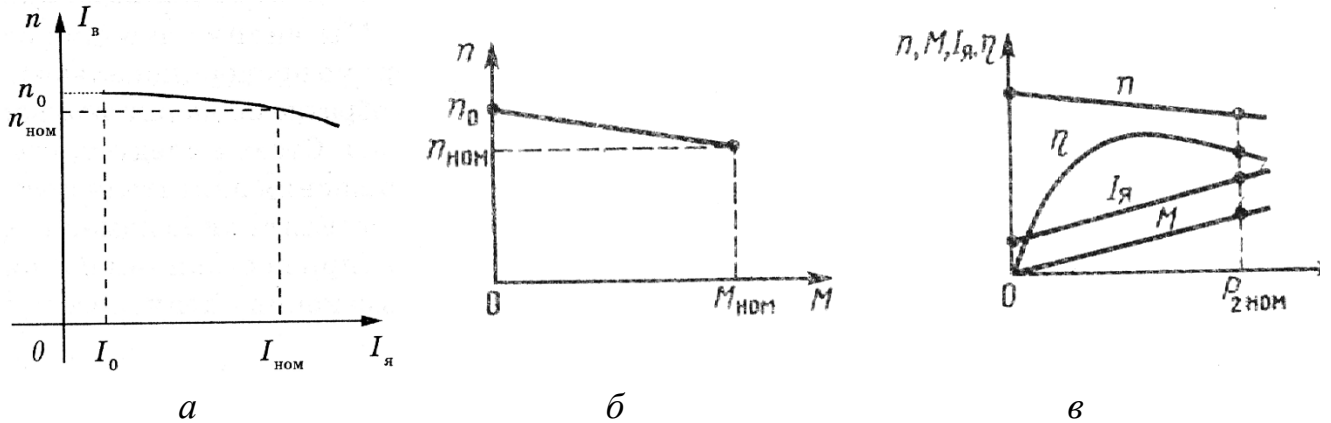
Для пояснення її виду звернемося до формули (4). Зміна швидкості обертання може відбуватися за рахунок зміни навантаження й магнітного потоку. Збільшення струму навантаження незначно змінює внутрішнє спадання напруги через малість опору ланцюгу якоря й тому лише незначно зменшує швидкість обертання двигуна. Що ж стосується магнітного потоку, то внаслідок реакції якоря при збільшенні струму навантаження він трохи зменшується, що приводить до незначного збільшення швидкості обертання двигуна. Таким чином, **характерною властивістю двигуна з паралельним збудженням є майже постійна частота обертання при зміні навантаження на його валу.** Враховуючи невелику зміну частоти обертання, говорять, що двигун паралельного збудження має «жорсткі» механічну $n = f(M)$ (мал. 4, б) й робочу $n = f(P_2)$ характеристики.

Під робочими характеристиками розуміють залежність частоти обертання n , струму якоря $I_{\text{я}}$, моменту M , що обертає, ККД η від потужності P_2 на валу двигуна при постійних напрузі живлення ($U = \text{const}$) і струмі збудження ($I_{\text{в}} = \text{const}$) (мал. 4, в).

Із збільшенням гальмівного моменту на валу момент обертання автоматично збільшується за рахунок струму $I_{\text{я}}$ ($M = c_m \Phi I_{\text{я}}$) доти, доки при деякому n не настає рівність гальмівного моменту і моменту обертання. Таким чином, кожному навантаженню відповідає деяка частота обертання.

Слід зазначити, що надмірне зменшення струму збудження й особливо випадковий обрив цього ланцюга дуже небезпечні для двигунів з паралельним і

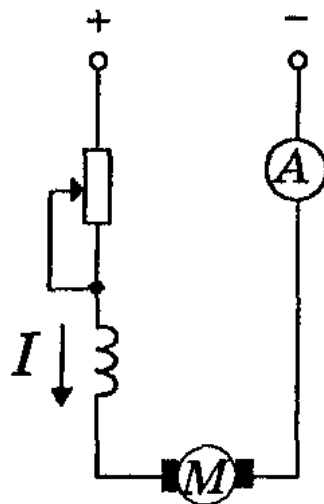
незалежним збудженням, тому що струм у якорі може зрости до неприпустимо більших значень. При невеликій навантаженні (або на холостому ході) швидкість може настільки зрости, що це стане небезпечним для цілісності двигуна.



Мал. 4. Характеристики двигуна з паралельним (незалежним) збудженням:
а – швидкісна; б – механічна; в - робочі

Двигун з послідовним збудженням

Схема включення двигуна постійного струму з послідовним збудженням показана на мал. 5.



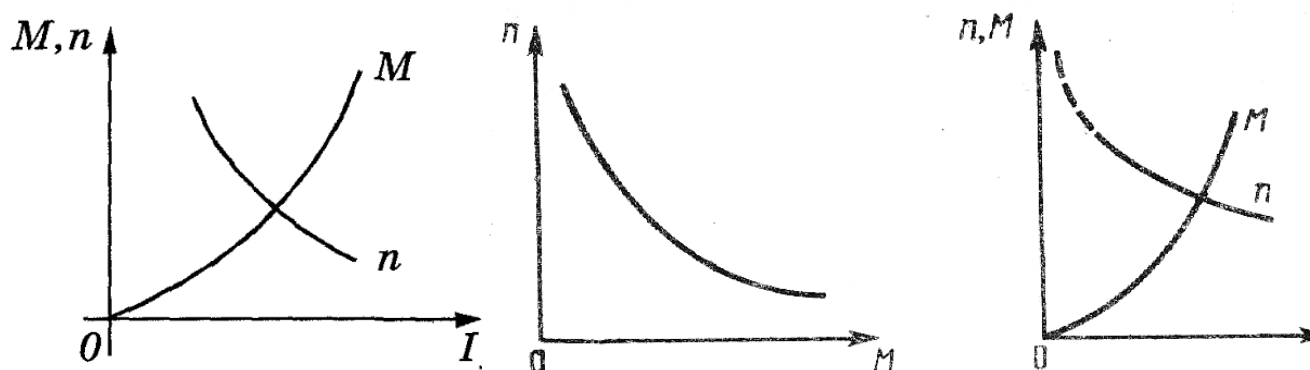
Мал. 5. Схема включення двигуна постійного струму з послідовним збудженням

У такого двигуна струм якоря є одночасно й струмом збудження, тому що обмотка збудження включена послідовно з якорем. Тому магнітний потік

двигуна змінюється зі зміною навантаження. Вираження для швидкості обертання двигуна послідовного збудження можна одержати з формули (4), замінивши опір якоря $R_{\text{я}}$ на $(R_{\text{я}} + R_{\text{в}})$, де $R_{\text{в}}$ - опір обмотки збудження:

$$n = \frac{U - I_{\text{я}}(R_{\text{я}} + R_{\text{в}})}{c\Phi} \quad (5)$$

Швидкісні, механічна та робочі характеристики двигуна послідовного збудження наведена на мал. 6.



Мал. 6. Характеристики двигуна з послідовним збудженням:
а – швидкісна; б – механічна; в - робочі

Із цих характеристик видно, що швидкість двигуна сильно залежить від навантаження. При збільшенні навантаження збільшується спадання напруги на опорі обмоток при одночаснім збільшенні магнітного потоку, що приводить до значного зменшення швидкості обертання двигуна. Це характерна риса двигуна з послідовним збудженням. *Значне зменшення навантаження приводить до небезпечного для двигуна збільшення швидкості обертання.* Тому такі двигуни не слід пускати вхолосту або з малим навантаженням.

Згідно з формулою ($M = c\Phi I$) момент двигуна, що обертає, пропорційний струму якоря й магнітному потоку. У свою чергу магнітний потік під час відсутності насичення пропорційний струму ($\Phi = LI$) збудження, який для даного двигуна є й струмом якоря:

$$M = c\Phi_{\text{я}}I_{\text{я}} = cI_{\text{я}}^2 \quad (6)$$

Ми бачимо, що обертаючий момент пропорційний квадрату струму якоря. Квадратична залежність обертаючого моменту від струму навантаження є ще однією характерною рисою таких двигунів, завдяки якій *ці двигуни легко*

переносять великі короточасні перевантаження й розвивають великий пусковий момент.

Двигуни з послідовним збудженням застосовують у тих випадках, коли необхідні великий пусковий момент або здатність витримувати короточасні перевантаження, а також виключена можливість їх повного розвантаження. Вони виявилися незамінними в якості тягових двигунів на електричному транспорті (трамваї, тролейбуси, метро й електровози), а також на піднімальних кранах і для пуску двигунів внутрішнього згорання (стартери) на автомобілях і авіаційних двигунів.

Двигун зі змішаним збудженням

Як говорилося раніше, у двигунів з паралельним і послідовним збудженням є істотні недоліки. Область застосування таких двигунів обмежує небезпека «розносу»: двигунів з паралельним збудженням – через небезпеку обриву ланцюги збудження, а двигунів з послідовним збудженням – через неприпустимість режиму холостого ходу. Крім того, серйозним недоліком двигунів з послідовним збудженням є різко виражена залежність швидкості обертання від навантаження.

Зазначених недоліків позбавлені двигуни змішаного збудження, у яких обмотка збудження складається із двох обмоток: шунтової (Ш), яка включається паралельно якорю, і серієсної (С), яка включається послідовно. Обмотки вмикаються суголосно чи зустрічно одна до одної. Характеристики цих двигунів є проміжними між характеристиками двигунів паралельного й послідовного збудження, в залежності від магнітних потоків обмоток.

Питання для самоконтролю

1. Що таке оборотність машин постійного струму?
2. Опишіть принцип роботи й пристрій двигуна постійного струму.
3. Що потрібно зробити для того, щоб поміняти напрямок обертання двигуна постійного струму?
4. Від чого залежить швидкість обертання двигуна постійного струму і як її можна регулювати?
5. Перелічіть способи збудження двигунів постійного струму й зобразьте відповідні схеми їх включення.
6. Чому надмірне зменшення струму збудження або випадковий обрив цього ланцюга дуже небезпечні для двигунів з паралельним і незалежним збудженням?
7. Чому значне зменшення навантаження небезпечне для двигунів з послідовним збудженням?

8. Завдяки чому двигуни з послідовним збудженням легко переносять більші короткочасні перевантаження й розвивають великий пусковий момент?
9. Особливості двигунів постійного струму зі змішаним збудженням.

Список літератури

1. Данилов И.А., Иванов П.М. Общая электротехника с основами электроники: Учеб. пособие для неэлектротехн. спец. техникумов. – М.: Высш. шк., 2005. – §§ 9.9 – 9.12 (с. 269 – 281).
2. Синдеев Ю.Г. Электротехника с основами электроники: учеб. пособие. – 15-е изд., стереотипное – Ростов н/Д: Феникс, 2013. – §§10.5 – 10.6 (с. 251 – 259).
3. Славинский А.К., Туревский И.С. Электротехника с основами электроники: учебное пособие. – М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2009. – глава 9, §§ 9.3 – 9.5 (с. 245 – 260).