

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

з навчальної дисципліни «Вступ до спеціальності»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Електромеханіка

За темою № 7 - Електричні машини

Харків 2022

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.01.2023 № 1

СХВАЛЕНО

Методичною радою Кременчуцького
льотного коледжу
Протокол від 19.12.2022 № 5

ПОГОДЖЕНО

Секцією Науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 27.01.2023 № 1

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, протокол від 10.12.2022 № 8.

Розробник:

Викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання,
к.т.н., доцент, викладач, Шокарьов Д.А.

Рецензенти:

1. Інженер з технічного обслуговування, ремонту та діагностики авіаційної техніки ТОВ «ЕЙР ТАУРУС» Калінін О.В.
2. Професор циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., спеціаліст вищої категорії Гаврилюк Ю.М.

План лекцій:

1. Електричні машини постійного струму.
 - 1.1 Пристрій і принцип роботи генератора постійного струму.
 - 1.2 ЕРС і поводить момент генератора постійного струму.
 - 1.3 Способи збудження генераторів постійного струму.
 - 1.4 Принцип роботи двигуна постійного струму.
 - 1.5 Способи збудження двигунів постійного струму.
2. Електричні машини змінного струму.
 - 2.1 Асинхронні електричні машини.
 - 2.2 Двофазні асинхронні двигуни.
 - 2.3 Однофазні асинхронні двигуни.

Література:

Основна література:

1. Козлов В. Д. Електрична частина станцій та підстанцій аеропортів: підручник / В. Д. Козлов, В. П. Захарченко, О. М. Тачиніна; за заг. ред. В. Д. Козлова.– К. : НАУ, 2018. – 312 с.
2. Костишин, В. С. Електрична частина станцій та підстанцій: навч. посіб. / В. С. Костишин, М. Й. Федорів, Я. В. Бацала. - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. - 243 с.
3. Бардик Є. І. Електрична частина станцій та підстанцій. Основне електрообладнання: навч. посібник / Є. І. Бардик, М. П. Лукаш – К.: НТУУ «КПІ», 2016 – 220 с.

Допоміжна література:

1. Неклепаев Б.Н. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования / под ред. Б.Н. Неклепаева. – М.: изд-во НЦ ЭНАС, 2014. – 152 с.
2. Шкрабець Ф.П., Плєшков П.Г. Основи електропостачання. Навчальний посібник. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2015.
3. Шестеренко, В. Є. Електропостачання промислових підприємств. Посібник до курсового та дипломного проектування / Шестеренко В. Є., Шестеренко О. В. — Київ, 2015. — 424 с.

Інформаційні ресурси в Інтернеті

1. Офіційний сайт Міністерство енергетики України <http://mpe.kmu.gov.ua/>
2. Сервер Верховної Ради України. – Режим доступу : www.rada.gov.ua.

1 Пристрій і принцип роботи генератора

Принцип роботи генератора постійного струму заснований на виникненні ЕРС в рамці, що обертається у магнітному полі (мал. 1).

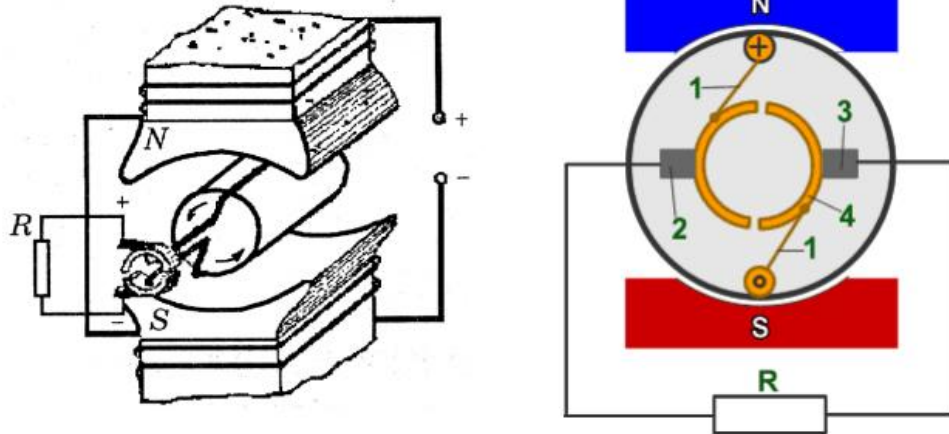


Рис . 1 . Виникнення ЕРС в рамці , Рис . 2 . пристрій колектора
обертається в магнітному полі

Як відомо , при обертанні рамки индуцируемая в ній ЕРС буде змінюватися по синусоїді, тобто за один оборот двічі змінить знак. Щоб струм у зовнішній ланцюга мав один напрям (постійне) , застосовують колектор (рис. 2) – два півкільця - пластини (4) , з'єднаних з кінцями (1) рамки , які через щітки (2, 3) з'єднуються із зовнішнім ланцюгом. Як тільки рамка повернеться на 180° і ЕРС почне змінювати знак , півкільця колектора поміняються місцями. завдяки цьому напрямок струму в зовнішньому ланцюзі залишиться незмінним, хоча його величина буде змінюватися (пульсувати) (рис. 3).

Якщо помістити на якорі два витки під кутом 90° один до іншого і кінці цих витків з'єднати з чотирма колекторними пластинами , то пульсація ерс і струму у зовнішнього ланцюга значно зменшиться. При збільшенні числа колекторних пластин пульсація швидко зменшується і при великому числі колекторних пластин ерс і струм практично постійні (рис. 4).

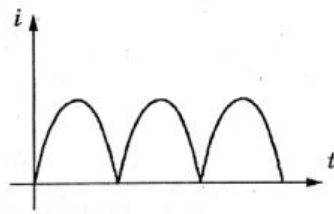


Рис. 3. Пульсації
одновиткового якоря

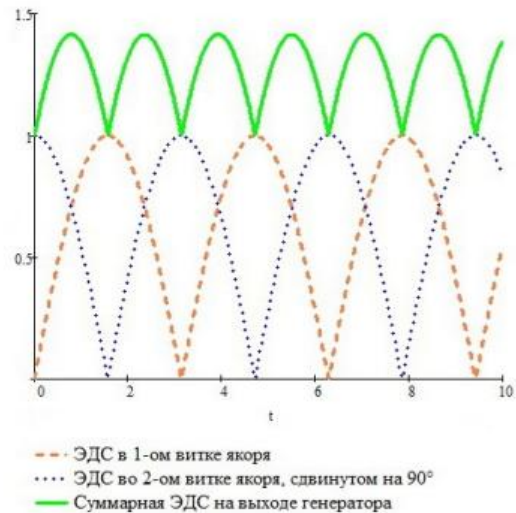


Рис. 4. Пульсації двухвиткового якоря

Машина постійного струму складається з нерухомої частини, що служить для збудження головного магнітного поля, і обертається, в якій індукують ся ЕРС і струми, що створюють гальмуючий момент в генераторі і крутний момент в двигуні.

Пристрій промислового генератора постійного струму показано на

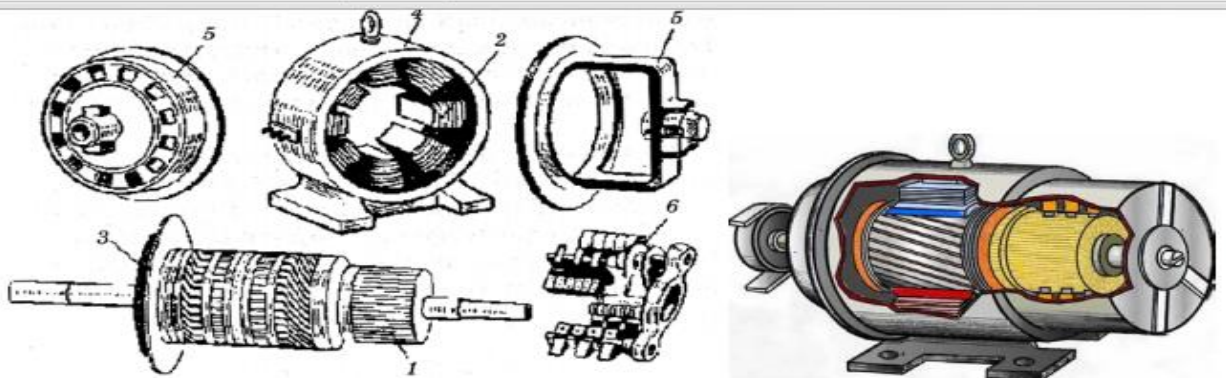


рис. 5.

а) составные части

б) ГПТ в сборе

Рис. 5. Устройство ГПТ

Неподвижная часть генератора состоит из станины 4, на которой находятся главные полюсы 2 с обмотками возбуждения и дополнительные полюсы с обмотками для компенсации ЭДС самоиндукции и реакции якоря.

В большинстве случаев электромагниты питаются от самого генератора. Внутри станины помещается якорь 3, представляющий собой металлический цилиндр, набранный из штампованных, изолированных один від одного пластин електротехнічної сталі. У поздовжніх пазах на поверхні якоря розміщена обмотка , що складається із сполучених між собою секцій. Для згладжування пульсацій ЕРС і струму обмотка якоря рівномірно розподілена по всій поверхні. Висновки секцій приєднані до ізолюваним один від одного і від корпусу машини мідним пластин колектора 1 , причому кінець однієї секції і початок наступної приєднують до однієї і тієї ж пластині .

Колектор жорстко укріплений на валу якоря, де кріпиться і вентилятор. Вал якоря поміщається в підшипники підшипникових щитів 5, що зміцнюються на бічних сторонах станини . Між якорем і полюсами є невеликий повітряний зазор , завдяки якому якір може вільно обертатися. на циліндричну поверхню колектора накладаються вугільні щітки , вставлені в щіткотримачі 6 .

Як і всі електричні машини , машини постійного струму оборотні. Машина працює в режимі генератора , якщо її обертає той чи інший первинний двигун , головне магнітне поле порушено , а ланцюг якоря замкнута через щітки на навантаження. У цьому випадку в обмотці якоря індукуються ЕРС , яка через колектор та щітки подає струм в навантаження. У самій машині взаємодія струму якоря з головним магнітним полем створює гальмуючий момент , який повинен долати первинний двигун. Машина перетворює механічну енергію в електричну. Якщо ланцюга якоря і збудження машини приєднані до джерела електроенергії, то в них виникають струми , взаємодія яких створює обертовий момент. Під дією цього моменту якір починає обертатися , і машина працює в режимі двигуна, перетворюючи електричну енергію в механічну. Таким чином, одна і та ж машина може бути використана в якості генератора і двигуна.

2 ЕРС і поводить момент генератора постійного струму

З'ясуємо, як залежить ЕРС генератора постійного струму від параметрів машини, швидкості обертання якоря і магнітного потоку. При рівномірному переміщенні провідника довжиною l зі швидкістю v в магнітному полі з індукцією B (швидкість перпендикулярна вектору індукції), в ньому за законом електромагнітної індукції виникне ЕРС e :

$$e = \left| -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right| = \frac{Bl\Delta x}{\Delta t} = Blv.$$

Розглянемо рух провідника обмотки якоря в магнітному полі під полюсом. Щоб визначити середнє значення ЕРС в цьому провіднику, введемо поняття середньої індукції. Припустимо, що індукція рівномірно розподілена по всьому повітряному зазору об'ємом V (рис.6). Тоді її середнє значення

$$B_{cp} = \frac{\Phi}{V} = \frac{\Phi}{Sl} = \frac{\Phi}{\pi dl},$$

де S - площа поверхні якоря;

d - діаметр якоря;

l - довжина твірної циліндра якоря.

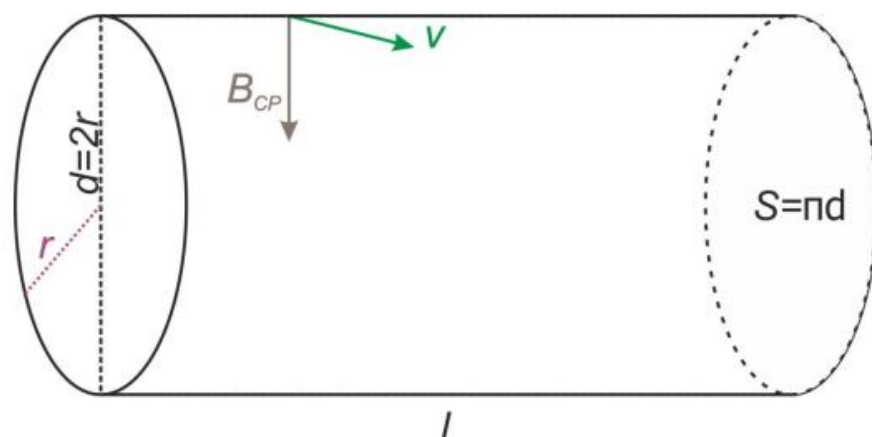


Рис. 6. Циліндр, утворений якорем при обертанні

Припускаючи, що вектор середньої магнітної індукції скрізь спрямований по радіусу якоря, тобто перпендикулярно швидкості, ми отримаємо для середньої ЕРС в одному провіднику обмотки якоря

$$e_{cp} = B_{cp}lv$$

де v - лінійна швидкість обертання провідника обмотки якоря

Враховуючи, що швидкість обертання провідника обмотки якоря

$v = \omega r = 2\pi n \frac{d}{2} = \pi nd$ (ω і n - кутова швидкість і частота обертання якоря відповідно), і підставляючи в (3) значення середньої індукції (2), отримаємо

$$e_{cp} = \frac{\Phi}{\pi dl}lv = \frac{\Phi}{\pi dl}l\pi nd = n\Phi.$$

Обмотка якоря складається з N активних провідників. Щітки ділять цю обмотку на $2a$ паралельних гілок. Таким чином, в межах кожної паралельної гілки послідовно з'єднуються $\frac{N}{2a}$ активних провідників. оскільки ЕРС генератора e дорівнює ЕРС паралельної гілки, то для неї можна записати наступне вираз:

$$e = e_{cp} \frac{N}{2a}.$$

Підставляючи в (5) вираз для середньої ЕРС (4), отримаємо

$$e = \frac{N}{2a}n\Phi = cn\Phi.$$

де $c = \frac{N}{2a}$ постійна, що залежить тільки від параметрів машини .

Таким чином , ми бачимо , що ЕРС генератора постійного струму пропорційна значенню магнітного потоку машини Φ і швидкості обертання якоря n . Отже , для підтримки постійної напруги (ЕРС) на затискачах генератора можна змінювати чи магнітний потік , або швидкість обертання якоря (або і те і інше) . Зазвичай якір генератора приводять в обертання двигуном, що працює при певній швидкості обертання , а магнітний потік змінюють шляхом зміни струму в обмотці збудження.

Обчислимо

потужність

генератора

постійного

$$P = \frac{A}{t}$$

струму:

причому роботою A слід вважати

механічну роботу, затрачену на подолання гальмівного моменту, що розвивається якорем. У формулі (7) потужність можна виразити через лінійну швидкість обертання якоря:

$$P = \frac{FS}{t} = Fv,$$

де F - сила, що діє на

якір;

v - лінійна швидкість

точки на поверхні якоря.

Як ми вже бачили, лінійна швидкість провідника на поверхні якоря

$$v = \pi n d,$$

де n - частота обертання якоря; d - діаметр якоря.

Підставляючи вираз для швидкості в (8), отримаємо

$$P = F \pi n d.$$

На кожен провідник обмотки якоря з струмом I діє за законом Ампера сила $F_{CP} = IB_{CP}l = cP$, а на N провідників обмотки з урахуванням формули (2) буде діяти сила

$$F_{CP} = IB_{CP}l = NI \frac{\Phi}{\pi d l} l = \frac{N}{2\pi d a} \Phi I_{CP}$$

Підставляючи співвідношення (10) у (9) та враховуючи формулу (6), отримаємо:

$$P = F \pi n d = \frac{N}{2\pi d a} \Phi I_{CP} \cdot \pi n d = \frac{N}{2a} n \Phi I_{CP} = e I_{CP}.$$

Обертальний момент машини

можна записати у вигляді

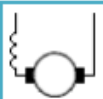
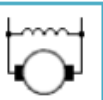

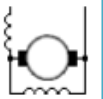
$$M = F_{CP} r = F_{CP} \frac{d}{2} = \frac{N}{2\pi d a} \Phi I_{CP} \frac{d}{2} = c \Phi I_{CP},$$

де $c = \frac{N}{4\pi a}$ - постійний коефіцієнт, що враховує особливості конструкції машини.

3 Способи збудження генераторів постійного струму

Збудженням генератора називається створення головного магнітного потоку, завдяки якому в обертовому якорі створюється ЕРС. Найважливішим відмітною ознакою машин постійного струму є спосіб порушення головного магнітного поля. Практично у всіх сучасних машинах головне магнітне поле збуджується електромагнітним шляхом, для чого по обмотці збудження, розміщеній на сердечниках полюсів машини, пропускається струм. Всі робочі характеристики машин постійного струму при роботі як в режимі генератора, так і двигуна залежать від способу включення ланцюга збудження по відношенню до ланцюга якоря. Поєднання цих ланцюгів може бути паралельним, послідовним, змішаним і, нарешті, ланцюги можуть бути незалежні один від одного. При будь-якому способі включення потужність, споживана ланцюгом збудження, невелика і складає кілька відсотків від номінальної потужності машини.

Таблиця 1. Умовні графічні позначення машин постійного струму

Машина постійного тока с независимым возбуждением		Машина постоянного тока с параллельным возбуждением	
Машина постоянного тока с последовательным возбуждением		Машина постоянного тока со смешанным возбуждением	

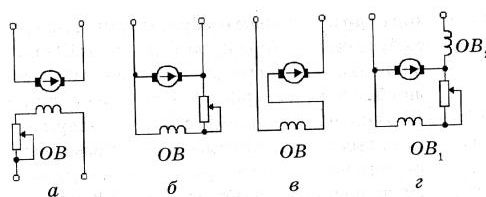


Рис. 7. Способи збудження ГПТ

Генератор з незалежним збудженням. Обмотка збудження ОВ такого генератора підключена до стороннього джерела струму через регулювальний реостат (рис. 7, а).

При збільшенні струму навантаження напруга на затискачах цього генератора дещо зменшується через падіння напруги на обмотці якоря і в результаті дії реакції якоря, яка зменшує магнітний потік машини. Для

підтримання постійної напруги на затискачах генератора змінюють струм збудження за допомогою $U_H = f(I_H)$ регулювального реостата. Зовнішня характеристика цього генератора (залежність напруги на затискачах від струму навантаження показана на рис. 8 (крива 1).

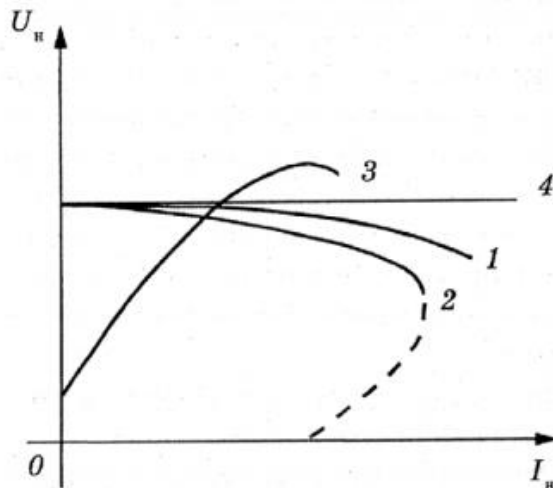


Рис. 8. Зовнішні характеристики ГПТ.

Генератор з паралельним збудженням - генератор з самозбудженням: обмотку збудження ОВ такого генератора підключають через регулювальний реостат паралельно обмотці якоря (рис. 7, б). при збільшенні струму навантаження напруга на затискачах генератора з паралельним збудженням зменшується через падіння напруги на обмотці якоря, що, у свою чергу викликає зменшення струму збудження і ЕРС в якорі. Тому при збільшенні струму навантаження напруга на затискачах генератора з паралельним збудженням зменшується швидше, ніж у генератора з незалежним збудженням. Подальше збільшення струму навантаження призводить до такого сильного зменшення струму збудження, що при короткому замиканні ланцюга навантаження напруга генератора падає до нуля. Тому коротке замикання генератора з паралельним порушенням безпечно. Зовнішня характеристика цього генератора показана на рис. 8 (крива 2).

Генератор з послідовним збудженням - генератор з самозбудженням , але його обмотка збудження ОВ включена послідовно з якорем (рис. 7 , в) і по обидва обмоткам протікає однаковий струм. за відсутності навантаження (зовнішня ланцюг розімкнута) в якорі все ж збуджується невелика ЕРС внаслідок залишкової індукції сталевих сердечників статора. при збільшенні струму навантаження напруга на затискачах генератора спочатку росте до тих пір , поки не настане насичення магнітної системи машини , після чого починає швидко зменшуватися через падіння напруги на опорі якоря і внаслідок розмагнічуючої дії реакції якоря (крива 3 на рис. 8). зважаючи сильної залежності напруги на затискачах генератора від навантаження генератори з послідовним збудженням застосовуються дуже рідко.

Генератор зі змішаним збудженням відноситься до генераторів з самозбудженням , але має дві обмотки збудження: ОВ1 , яка включається паралельно якоря , і ОВ2 - послідовно з якорем (рис. 7 , г). обмотки включають так , щоб вони створювали магнітні потоки одного напрямку , а число витків в обмотках вибирають таким , щоб падіння напруги на внутрішньому опорі генератора і ЕРС реакції якоря були б компенсовані ЕРС від потоку паралельної обмотки. Завдяки цьому напруга на затискачах генератора зі змішаним збудженням залишається практично постійним при змінах навантаження в певних межах (крива 4 на рис. 8).

4 . Принцип роботи двигуна постійного струму

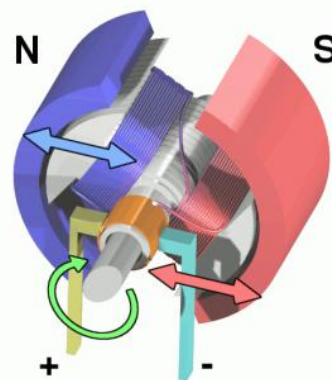
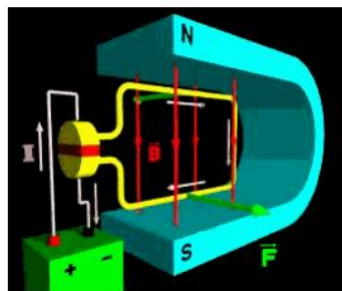


Рис . 9 . Принцип роботи двигуна постійного струму

Принцип роботи двигуна постійного струму (ДПС) заснований на взаємодії провідника зі струмом з постійним магнітним полем електромагнітів (рис. 9). Якщо генератор включити в мережу постійного струму , то в обмотках якоря і електромагнітів встановиться струм і на кожен провідник обмотки якоря , що знаходиться в магнітному полі електромагнітів , почне діяти сила , яка прагне повернути якір (рис. 10 , а). З рис . 10 видно , що при зміні напрямку струму тільки в якорі (рис. 10 , б) або тільки в обмотці збудження (рис. 10 , в) напрямок обертання якоря змінюється на протилежне , а одночасна зміна напрямку струму в обох обмотках не змінює напрямку обертання якоря (рис. 10 , г). Звідси випливає , що для зміни напрямку обертання двигуна постійного струму потрібно поміняти місцями або кінці обмотки якоря, або кінці обмотки збудження.

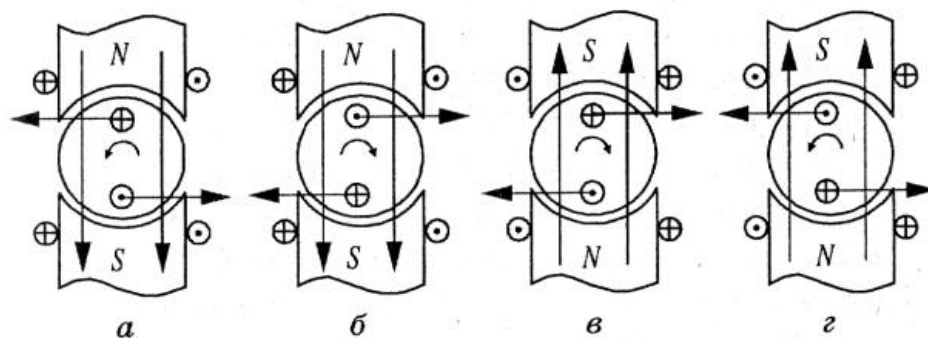


Рис. 10. До напрямку обертання двигуна постійного струму

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

$$I_{\text{п}} = \frac{U}{R_{\text{я}}}.$$

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

$$I_{\pi} = \frac{U}{R_{я} + R_{\pi}}.$$

Опір пускового реостата R_{π} 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. Так як його обмотка почне обертатися в магнітному полі , то в ній буде индуцироваться ЕРС , яка буде спрямована проти прикладеного до двигуна напруги . Величина цієї ЕРС прямо пропорційна числу оборотів двигуна і величиною магнітного потоку . Однак на відміну від генератора в двигуні ця ЕРС буде менше прикладеного від мережі напруги на величину падіння напруги в якорі машини :

$$U = e + I_{я}R_{я},$$

звідси струм в якорі при виведеному пусковому реостате

$$I_{я} = \frac{U - e}{R_{я}}$$

Помноживши обидві частини рівняння (1) на $I_{я}$, отримаємо:

$$I_{я}U = I_{я}e + I_{я}^2R_{я}$$

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

Підставимо вираз для ЕРС генератора ($e = c\Phi$) (ЕРС , індукована в якорі двигуна , виражається тією ж формулою) в (2) і висловимо швидкість обертання двигуна:

$$I_{\text{я}} = \frac{U - e}{R_{\text{я}}} = \frac{U - c\Phi}{R_{\text{я}}} \Rightarrow c\Phi = U - I_{\text{я}}R_{\text{я}} \Rightarrow n = \frac{U - I_{\text{я}}R_{\text{я}}}{c\Phi}.$$

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

1.5 . Способи збудження двигунів постійного тону

Всі робочі характеристики двигуна постійного струму , як і генератора , залежать від способу включення ланцюга збудження по відношенню до ланцюга якоря. Поєднання цих ланцюгів може бути паралельним , послідовним , змішаним і , нарешті , вони можуть бути незалежні один від одного.

Двигуни з паралельним і незалежним збудженням

Схема включення двигуна постійного струму з паралельним збудженням показана на рис. 11, 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 $U = \text{const}$ і $I_{\text{в}} = \text{const}$ наведена на рис. 12 .

Для пояснення її виду звернемося до формули (4). зміна швидкості обертання може відбуватися за рахунок зміни навантаження і магнітного потоку . Збільшення струму навантаження незначно змінює внутрішнє падіння напруги через малість опору кола якоря і тому лише незначно зменшує швидкість обертання двигуна. Що ж до магнітного потоку , то внаслідок реакції якоря при збільшенні струму навантаження він дещо

зменшується, що призводить до незначного збільшення швидкості обертання двигуна. Таким чином, швидкість обертання двигуна з паралельним збудженням змінюється дуже мало.

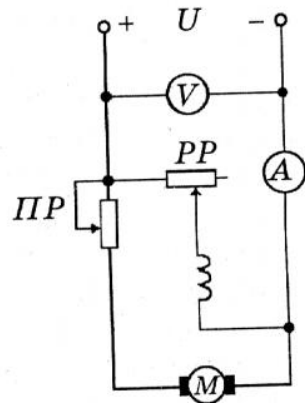


Рис. 11. Схема включення ДПТ з паралельним збудженням

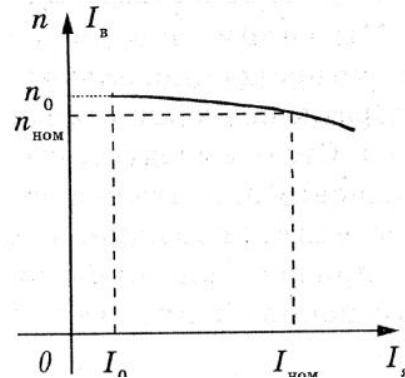


Рис. 12. швидкісна характеристика ДПТ з паралельним збудженням

Швидкість обертання двигуна з незалежним збудженням можна регулювати зміною або опору кола якоря, або магнітного потоку. Слід зазначити, що надмірне зменшення струму збудження і особливо випадковий обрив цього ланцюга дуже небезпечні для двигунів з паралельним і незалежним порушенням, так як струм в якорі може зрости до неприпустимо більших значень. При невеликому навантаженні (або на холостому ході) швидкість може настільки зрости, що це стане небезпечним для цілісності двигуна.

Двигун з послідовним збудженням

Схема включення двигуна постійного струму з послідовним збудженням показана на рис. 13. У такого двигуна струм якоря є одночасно і струмом порушення, так як обмотка збудження включена послідовно з якорем. Тому магнітний потік двигуна змінюється зі зміною навантаження. вираз для швидкості обертання двигуна послідовного збудження можна отримати з формули (4), замінивши опір якоря $R_{\text{я}}$ на $(R_{\text{я}} + R_{\text{в}})$, де $R_{\text{в}}$ - опір обмотки збудження:

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

Швидкісна характеристика двигуна послідовного збудження наведена на рис. 14.

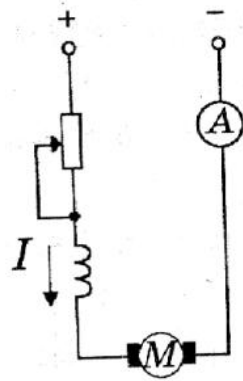


Рис . 13. Схема включення ДПТ
ДПТ

з послідовним збудженням

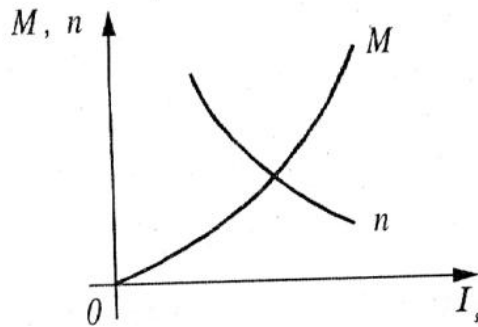


Рис . 14. Швидкісна характеристика

з послідовним збудженням

З цієї характеристики видно , що швидкість двигуна сильно залежить від навантаження. При збільшенні навантаження збільшується падіння напруги на опорі обмоток при одночасному збільшенні магнітного потоку , що призводить до значного зменшення швидкості обертання двигуна. Це характерна особливість двигуна з послідовним збудженням. Значне зменшення навантаження призводить до небезпечного для двигуна збільшенню швидкості обертання. Тому такі двигуни не слід пускати вхолосту або з малим навантаженням .

Регулювання швидкості обертання двигуна з послідовним збудженням може здійснюватися шляхом зміни або магнітного потоку , або напруги живлення .

Відповідно до формули $(M = c\Phi I_{cp})$, крутний момент двигуна пропорційний струму якоря і магнітному потоку . У свою чергу магнітний потік в відсутність насичення пропорційний струму ($\Phi = LI$) збудження , який для даного двигуна є і струмом якоря :

$$M = c\Phi_{я} I_{я} = cI_{я}^2$$

Ми бачимо, що обертає момент пропорційний квадрату струму якоря. Квадратична залежність обертаючого моменту від струму навантаження є ще однією характерною особливістю таких двигунів, завдяки якій ці двигуни легко переносять великі короточасні перевантаження і розвивають великий пусковий момент.

Двигуни з послідовним порушенням 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 та електровози), а також на підйомних кранах і для пуску двигунів внутрішнього згорання (стартери) на автомобілях і авіаційних двигунів.

5 Асинхронні електричні машини

Трифазні асинхронні машини були розроблені у 1888 р. М.О. Доливо-Добровольським. Асинхронна машина - це машина змінного струму, в котрій збуджується обертове магнітне поле. Ротор обертається асинхронно, тобто із швидкістю, що відрізняється від швидкості поля.

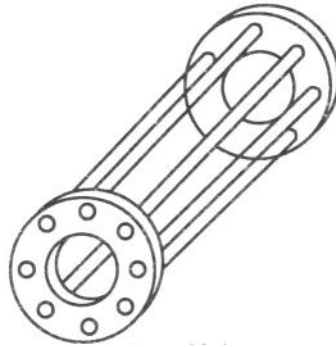
Асинхронні машини принципово можуть бути генераторами або двигунами. Характеристики асинхронних двигунів дуже добрі, і вони широко застосовуються в техніці. Асинхронні генератори практично не використовуються, тому що мають дуже низькі експлуатаційні якості.

Асинхронні двигуни за своєю простотою, надійністю та ефективністю дістали широкого розповсюдження. Понад 85% усіх електродвигунів — це трифазні асинхронні двигуни.

Асинхронна машина складається із статора і ротора. Статор має шихтоване осердя, у пазах якого розташована трифазна обмотка. У найпростішому випадку вона складається із трьох котушок, що зсунуті одна до одної на 120° .

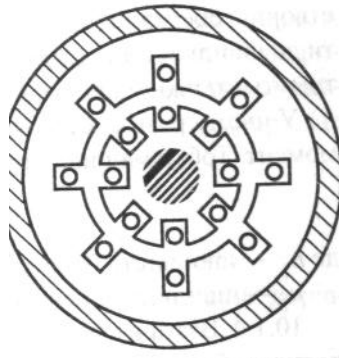
Ротор буває двох типів: — *короткозамкнений*;

-фазний.

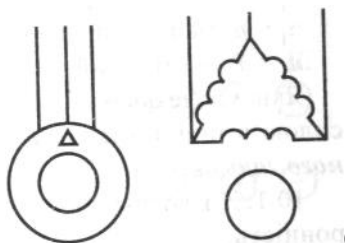


Мал. 1.

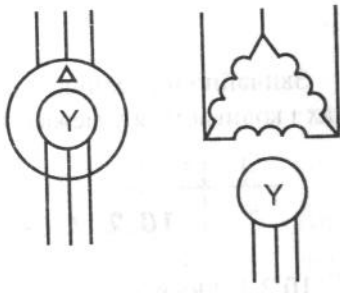
Короткозамкнений ротор має шихтований циліндр із пазами. У пази укладаються стержні, що замкнені електричне з обох боків кільцями. Ці кільця та стержні М.О. Доліво-Добровольський назвав «білячим колесом» (рис.1).



На рис.2 наведено будову асинхронного двигуна із короткозамкненим ротором.



Оскільки на роторі немає колекторного вузла, ротор не має ковзних контактів, двигун дуже простий щодо обслуговування, надійний у роботі, дешевий, легкий та економічний. Це двигун «основного виконання».



За стандартом передбачені спрощений та розгорнений способи графічного позначення асинхронних машин. У спрощеному способі обмотки статора та ротора зображаються у вигляді кіл. У розгорнутих позначеннях обмотка статора зображається у вигляді ланцюжка півкіл, а обмотка ротора — у вигляді кола.

На рис.3 наведено спрощене та розгорнене графічне зображення короткозамкненого асинхронного двигуна. На рис.4 наведено спрощене та розгорнене позначення асинхронної машини з фазним ротором.

В обох випадках обмотка статора з'єднана у «трикутник».

■ ^ **Асинхронними електричними машинами** називаються безколекторні електричні машини змінного струму, в яких частота обертання ротора не дорівнює частоті обертання магнітного поля.

■ ^ **Електричним двигуном** називається трифазна електрична машина, яка перетворює електричну енергію на механічну.

У пазах фазного ротора розміщені провідники секцій обмоток, здебільшого з'єднаних зіркою. Вільні виводи фаз обмоток фазного ротора приєднані до трьох мідних контактних кілець, які ізолювані одне від одного та від вала двигуна. Під час обертання кільця ковзають по вугільних щітках, нерухомо закріплених над ними.

У робочому режимі швидкість обертання ротора асинхронного двигуна n_2 [об/хв] менша, ніж швидкість обертання магнітного поля статора n_1 , [об/хв]. Швидкість n_1 , обертання магнітного поля статора називають **синхронною швидкістю обертання**.

Ступінь відставання ротора від обертання магнітного поля статора характеризується ковзанням, яке позначається літерою S . Ковзання визначається за формулою

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1},$$

Швидкість обертання ротора визначається із співвідношення

$$n_2 = \frac{60 \cdot f_1}{p} (1 - S),$$

де f_1 — частота змінного струму мережі; p — кількість пар полюсів. Струми, що виникають у фазах обмотки статора при підключенні до них напруги, створюють обертове магнітне поле. Магнітний потік Φ_{n1} обертового магнітного поля, який перетинає провідники обмоток статора та ротора, індукує в них електрорушійні сили статора E_1 і ротора E_2 діюче значення яких визначається за формулами:

$$\begin{aligned} E_1 &= 4,44 \cdot k_{o61} \cdot f_1 \cdot w_1 \cdot \Phi_m, \\ E_2 &= 4,44 \cdot k_{o62} \cdot f_2 \cdot w_2 \cdot \Phi_m, \end{aligned}$$

де w_1, w_2 -- кількість послідовно з'єднаних витків фаз обмоток статора і ротора; k_{o61}, k_{o62} — обмоткові коефіцієнти, які враховують конструктивні особливості обмоток статора і ротора відповідно.

Струм нерухомого ротора I_2 дорівнює:

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}},$$

де R_2 — активний опір обмотки нерухомого ротора; X_2 — індуктивний опір розсіювання нерухомого ротора.

Електрорушійна сила, що індукується в обмотці фази обертового

ротора визначається так

$$\begin{aligned} E_{2s} &= 4,44 \cdot k_{o62} \cdot f_2 \cdot w_2 \cdot \Phi_m = \\ &= 4,44 \cdot k_{o62} \cdot S \cdot f_1 \cdot w_2 \cdot \Phi_m = S \cdot E_2. \end{aligned}$$

Діюче значення струму обертового ротора визначається зі співвідношення

$$I_{2s} = \frac{E_{2s}}{\sqrt{R_2^2 + X_{2s}^2}} = \frac{S \cdot E_2}{\sqrt{R_2^2 + (S \cdot X_2)^2}} = \frac{E_2}{\sqrt{R_2^2/S + X_2^2}}.$$

Струм у фазах обмотки ротора, який виникає під час пуску електродвигуна, коли ротор ще не рухається, а електрорушійна сила E_{2s} та індуктивний опір розсіювання ротора X_{2s} мають максимальну величину, називається *початковим струмом* і позначається символом $I_{2пп}$.

$$\varphi_2 = \arctg \frac{X_{2S}}{R_2}.$$

У цей же час кут зсуву фаз φ_2 між струмом та електрорушійною силою E_{2S} дорівнює:

Слід зазначити, що при зростанні швидкості обертання ротора величини E_{2S} , I_{2S} та кута зсуву фаз φ_2 зменшуються.

Обертовий момент M асинхронного двигуна, який утворюється при взаємодії обертового магнітного поля зі струмами у провідниках обмотки ротора, визначається за формулою

$$M = C \cdot \Phi_m \cdot I_{2S} \cdot \cos \varphi_2,$$

де $C = 4,44 \cdot k_{об2} \cdot p \cdot m_2 \cdot \omega / 2\pi$ - конструктивна стала, яка залежить від кількості пар полюсів, фаз, кількості витків обмотки статора та конструктивних особливостей обмотки ротора.

Залежність швидкості обертання ротора асинхронного двигуна від обертового моменту називається *механічною характеристикою*, тобто $n_2 = f(M)$.

Відношення корисної потужності на валі асинхронного електродвигуна P_2 до потужності P_1 підведеної до нього, називається коефіцієнтом корисної дії, тобто

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% = \frac{P_1 - \sum P}{P_1} \cdot 100\% = \left(1 - \frac{\sum P}{P_1}\right) \cdot 100\%,$$

де $\sum P$ — сумарна потужність втрат в електродвигуні.

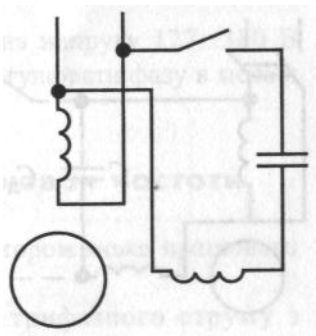
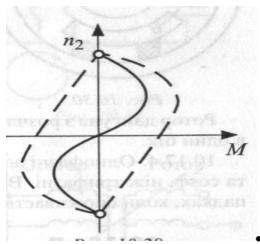
6 Однофазні асинхронні двигуни

У системах керування, автоматиці, промисловості використовують однофазні та двофазні асинхронні двигуни малої потужності. Якщо на статорі двигуна розташувати однофазну обмотку, то змінний струм буде індукувати пульсуючий магнітний потік. У обмотці ротора будуть індукуватися струми та створюватися сили, що протилежно спрямовані з обох боків ротора. Тобто електромагнітний момент дорівнюватиме нулеві. Звичайно пульсуюче поле

розглядають як суму двох обертових у протилежні боки полів (рис.5), тобто **механічна характеристика однофазного двигуна не має пускового моменту**. Двигун буде працювати, якщо роторові надати початкове обертання в той чи інший бік.

Щодо пуску асинхронного двигуна, то на статорі передбачають **пускову обмотку**, вісь якої перпендикулярна до осі робочої обмотки. Пускова обмотка вмикається через конденсатор або активний опір, що забезпечує зсув фази струму відносно до струму у робочій обмотці (рис.6). Пускова обмотка дає змогу розбалансувати сили, що виникають у роторі під впливом робочої обмотки, і створити пусковий момент. Після розгону ротора пускова обмотка вимикається, бо вона нерозрахована на тривалий струм.

Використовують також й однофазний асинхронний
двигун із розчленованими полюсами



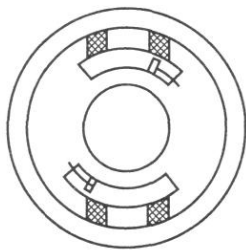
Мал. 5 Мал. 6

На рис.7 схематично зображено двигун, у котрого статор має явно виявлені полюси з однофазною обмоткою. Частина кожного полюса охоплена короткозамкненим витком. У цьому виткові індукуються струм, котрий, у свою чергу, індукуює магнітний потік. Потік короткозамкнутого витка зсунутий за фа-

зою відносно основного потоку. Додавання цих потоків дає змогу одержати обертове коло.

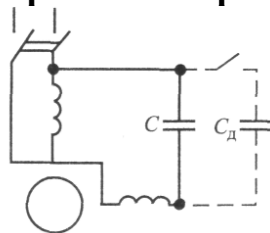
Ротор двигуна з розчленованими полюсами може обертатися тільки в один бік.

Однофазні асинхронні двигуни мають значно менші ККД та $\cos\phi$, ніж трифазні. Вони звичайно використовуються тільки у випадках, коли споживається порівняно невелика потужність.



^ Мал. 7

8 Двофазні асинхронні двигуни



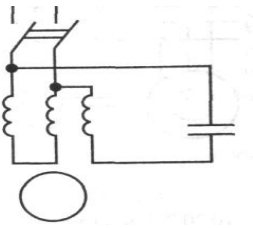
Мал. 8

Обертове магнітне поле можна створити вмиканням двофазної обмотки. В одну з фаз умикають конденсатор, тому ці двигуни також називають конденсаторними. Параметри котушок та ємності забезпечують рівні магніторушійні сили. Струм у фазі з конденсатором випереджає струм іншої фази на чверть періоду. Тому обертове магнітне поле буде також й круговим.

При навантаженні, що відрізняється від номінального, пусковий

момент може бути недостатнім. Тому для пуску двигуна використовують додатковий (пусковий) конденсатор. Після розгону ротора цей конденсатор вимикається для забезпечення максимального ККД та $\cos\phi$ у номінальному режимі(рис. 8).

Трифазний двигун можна вмикати у мережу однофазного змінного струму, використовуючи його як двофазний. У цьому разі дві котушки статора працюють як одна фаза, а третя котушка з конденсатором — як друга фаза (рис.9).



Мал. 9

9 Питання для самоконтролю.

1. Електричні машини. Електричні машини постійного струму.
2. Електричні машини змінного струму .
3. Пристрій і принцип роботи генератора.
4. ЕРС і поводить момент генератора постійного струму.
5. Способи збудження генераторів постійного струму .
6. Принцип роботи двигуна постійного струму .
7. Способи збудження двигунів постійного тону.
8. Асинхронні електричні машини.
9. Однофазні асинхронні двигуни.
10. Двофазні асинхронні двигуни.