1.7 Електричні машини

Прочитайте і опрацюйте:

Л6, с. 175…203; Л7, с. 97…208.

Короткі теоретичні відомості та методичні вказівки:

1. Будова та принцип роботи машин постійного струму.

Машини постійного струму широко використовуються як двигуни і як генератори. Двигуни постійного струму мають значні переваги перед двигунами інших типів:

- допускають поступове регулювання швидкості обертання вала різними способами;
- створюють великий пусковий момент. У генераторах постійного струму є можливість плавне регулювати ЕРС у широких межах.

Генератор перетворює механічну енергію на електричну. Індукована ЕРС долає падіння напруги у обмотці якоря та опорі навантаження.

Двигун перетворює електричну енергію на механічну. ЕРС якоря протидіє зовнішній напрузі, що переборює у цьому разі і падіння напруги в обмотці якоря.

Якщо обертати рамку у магнітному полі, то індукована ЕРС визначається за законам електромагнітної індукції. Якщо у рамці протікає струм і рамка знаходиться у магнітному полі, то виникають електромагнітні сили які обертають цю рамку .

робота генератора та двигуна постійного с

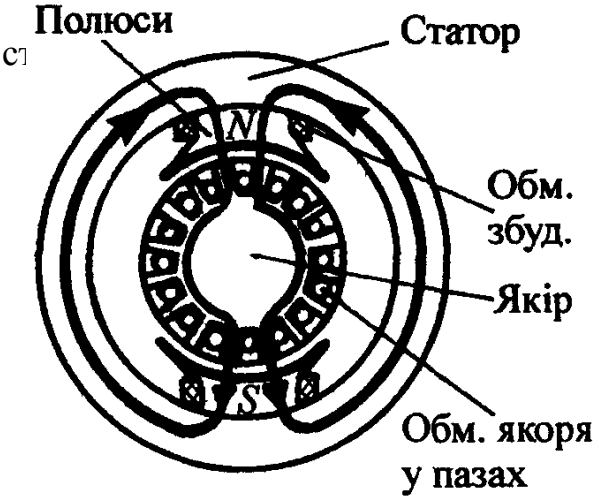


Рис. 12.1

Рис.1.7.1

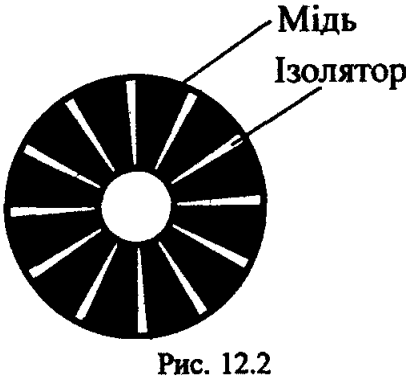


Рис. 12.2

Рис. 1.7.2.

Машина постійного струму складається із статора і якоря (рис. 1.7.1). Нерухома частина називається статором, обертова частина - якорем. Взагалі якорем називається частина машини, в обмотці котрої індукується ЕРС. Статор являє собою станину, всередині котрої встановлені полюси. Осердя полюса набирається із листів електротехнічної сталі. Обмотка полюсів називається обмоткою збудження. Вона вмикається в такий спосіб, що полюси чергуються по колу *(N-S-N-S* тощо*)*. Статор створює основний магнітний потік. *Геометрична нейтраль* поділяє простір між полюсами і є лінією нульової індукції. *Осердя якоря* набирається із кілець електротехнічної сталі. У пази осердя вкладається *обмотка якоря.*

Окремі *секції* обмотки якоря з'єднуються з пластинами *колектора.* З рис. 1.7.2, на якому наведено переріз колектора, видно, що кожна його пластина ізольована. За допомогою щіток на пластини колектора подається напруга, якщо машина працює двигуном. Якщо машина працює генератором, із щіток знімається постійна напруга.

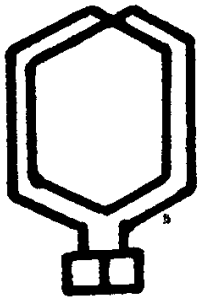


Рис. 12.3

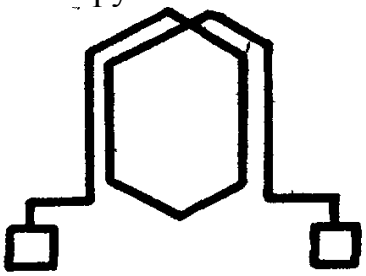


Рис. 12.4

ж двома пластинами колектора,
ло колекторних пластин однакове.

Рис.1.7.3. *Рис. 1.7.4*

Обмотки якоря бувають двох типів:

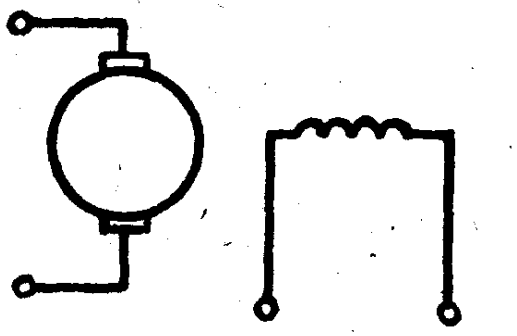
- петльова (рис. 1.7.3);
- хвильова (рис. 1.7.4).

Петльова обмотка звичайно використовується у машинах великої потужності, а хвильова - у машинах середньої та невеликої потужності (до 500 кВт, 110—380 В)

2. Генератори постійного струму.

Властивості та особливості роботи генераторів вивчають за їх *характеристиками* - графічними залежностями, що визначають експериментальне або обчислюють теоретично.

Рис. 12.11



Генератори вивчають за трьома основними *Зовнішня характеристика генератора* - це залежність напруги на затискачах якоря від струму навантаження, коли струм збудження залишається незмінним.

Регулювальна характеристика - це залежність струму збудження від струму якоря, коли на навантаженні зберігається постійна напруга.

Характеристика холостого (неробочого) ходу - це залежність ЕРС якоря від струму збудження, коли вимкнуте коло навантаження.

Характеристика холостого (неробочого) ходу генератора незалежного збудження є одночасно також і магнітною характеристикою системи. Як і крива намагнічування, характеристика повторює форму петлі гістерезису. Після вимикання збудження машини залишкова ЕРС буде значно більшою, ніж на початку роботи генератора. Залишковий магнетизм нестійкий і через деякий час зменшується.

Зовнішня характеристика генератора (залежність напруги на навантаженні від струму навантаження при нерегульованому колі збудження) наведена на рис. 1.7.5.характеристиками.

Якщо навантаження вимкнене *(I* = 0), то *U* = *E.* При підвищенні струму навантаження втрати збільшуються, а напруга зменшується. З іншого боку, підвищення струму зменшує основний потік через вплив реакції якоря. Це зменшує ЕРС, тобто також зменшує напругу на навантаженні.

Регулювальна характеристика (залежність струму збудження від струму якоря при постійній напрузі на навантаженні) наведена на рис. 1.7.6 Щоб зберегти напругу на навантаженні при збільшенні струму якоря, треба збільшити струм збудження.

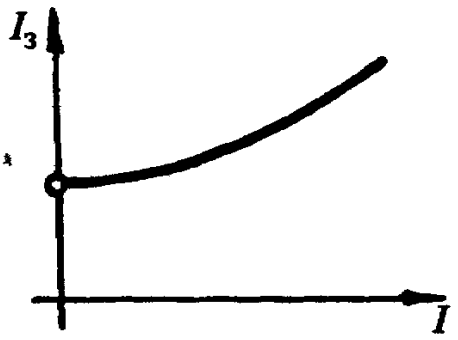


Рис. 12.19

Рис. 1.7.6.

Збільшення струму збудження спричиняє збільшення основного магнітного потоку, збільшення ЕРС і дає змогу залишити незмінною напругу .

Генератори паралельного збудження (рис.1.7.7.) мають багато спільного з генераторами незалежного збудження завдяки тому, що струм збудження незначною мірою впливає на струм якоря та реакцію якоря. Характеристика холостого (неробочого) ходу та регулювальна характеристика генератора паралельного збудження не відрізняються від характеристик генератора незалежного збудження .

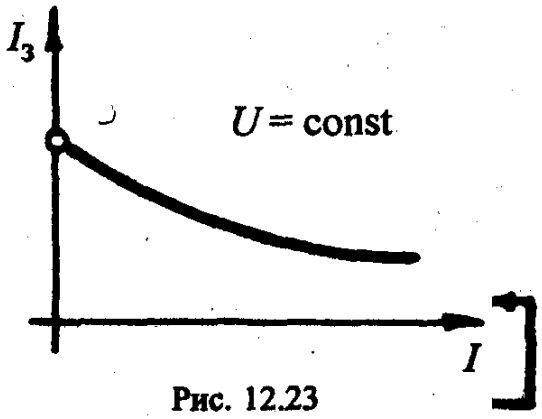


Рис. 12.23

Рис. 12.22

Рис. 1.7.8.

Зовнішня характеристика генератора паралельного збудження більш падаюча, ніж генератора незалежного збудження.

Зменшення U з підвищенням струму можна пояснити:

- збільшенням втрат у колі якоря ;
- збільшенням реакції якоря, тобто послабленням потоку та зменшенням ЕРС;
- зменшенням струму збудження, що також послаблює потік.

Значне зменшення напруги призводить до падіння струму збудження. Після критичного струму настає саморозмагнічення генератора. У режимі короткого замикання струм збудження дорівнює нулеві і потік обумовлюється тільки залишковим магнітним потоком.

Генератор паралельного збудження не боїться короткого замикання (струм короткого замикання менший за номінальний струм).

У генераторах послідовного збудження коло якоря є також і колом збудження.

Тому генератор не має *характеристики холостого (неробочого) ходу.* Відсутня також і регулювальна характеристика, яку знімають штучно. Штучна регулювальна характеристика є дуже незручною, тому що вона має падаючий характер (рис. 1.7.8.). Зовнішня характеристика генератора послідовного збудження відрізняється від характеристик генераторів інших типів. Із збільшенням струму якоря збільшується струм збудження, магнітний потік, ЕРС та напруга. Більшість споживачів працюють при сталій напрузі живлення. Тому генератори послідовного збудження у промисловості практично не використовуються.

Генератори змішаного збудження мають дві обмотки збудження — послідовну та паралельну. Від способу з'єднання обмоток залежить вигляд зовнішньої характеристики (рис. 1.7.9.). Узгоджене умикання обмоток (магніторушійні сили спрямовані у один бік) дає змогу підтримувати постійну напругу на навантаженні. Зустрічне вмикання (ЕРС спрямовані назустріч одна одній) дає змогу одержати характеристику, що забезпечує порівняно постійний струм навантаження (електроліз, зварювання тощо).

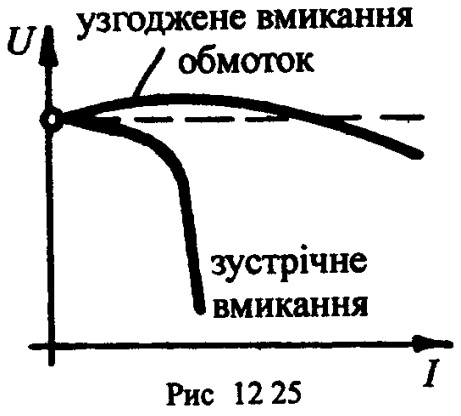


Рис. 1.7.9

3. Двигуни постійного струму.

В двигунах *незалежного та паралельного* збудження пусковий струм у 20...30 разів більший за номінальний.

Щодо обмеження пускового струму використовують один із *трьох способів пуску.*

1. Пуск за допомогою пускового реостата (додатковий опір у йолі якоря).

2. Пуск при зниженій напрузі, що подається на якір двигуна, здійснюється за допомогою джерела регульованої ЕРС.

3. Прямий пуск (здійснюється для двигунів малої потужності, до 1 кВт).

Особливістю двигунів *послідовного збудження* є те, що струм якоря є також і струмом збудження. Число обертів якоря значною мірою залежить від електромагнітного моменту. Двигун послідовного збудження витримує великі перевантаження при помірному підвищенні струму та стійко працює при значно

знижених обертах якоря. При малих навантаженнях оберти нескінченно підвищуються, двигун „іде у рознос”. Двигуни такого типу треба використовувати з постійним навантаженням на валу. Розвантажувати такий двигун не можна.

Особливістю *двигуна змішаного* збудження є те, що магнітний потік створюєшся двома обмотками.

На рис. 1.7.10. наведені механічні характеристики двигунів із різними способами збудження. Розрізняють два типи компаундних двигунів. У двигунах *послідовно-паралельного збудження* переважає послідовне збудження. Механічна характеристика досить м'яка, але двигун не боїться розвантаження, тобто збільшення обертів при розвантаженні двигуна обмежене. У двигунах *паралельно-послідовного збудження* переважає паралельне збудження. Механічна характеристика такого двигуна жорстка, але м'якша, ніж характеристика двигуна паралельного збудження.

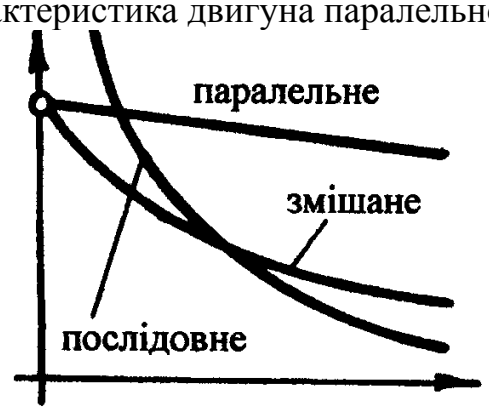


Рис. 12.28

Рис. 1.7.10.

4. Регулювання швидкості обертання якоря.

Великою перевагою двигунів постійного струму є *можливість регулювання швидкості обертання якоря у* широких межах кількома досить простими способами.

Є три способи регулювання швидкості обертання якоря:

— зміною напруги;

— зміною опору кола якоря;

— зміною магнітного потоку.

Регулювання зміною напруги використовується звичайно у системах «генератор — двигун». Цим способом можна регулювати оберти у дуже широких межах, аж до зупинки якоря. Недоліком цього способу є необхідність використання джерела з регульованою ЕРС.

Регулювання швидкості обертання якоря *введенням додаткового опору* у коло якоря також дає змогу змінювати оберти у широких межах (до зупинки якоря). Цей спосіб невигідний з енергетичної точки зору — виникають додаткові втрати на регулюючому реостаті.

Змінюючи струм збудження, можна змінювати магнітний потік статора. При послабленому потоці швидкість обертання буде більшою, ніж швидкість при номінальному потоці. Але при зменшенні струму збудження до нуля швидкість обертання буде обмеженою. Цей спосіб є ефективнішим.

5. Будова та принцип роботи асинхронних машин.

Трифазні асинхронні машини були розроблені у 1888 р. М.0. Доліво-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.*

Короткозамкнений ротор має шихтований циліндр із пазами. У пази укладаються стержні, що замкнені електрично із обох боків кільцями. Ці кільця та стержні М.0. Доліво-Добровольський назвав «білячим колесом» (рис. 1.7.11.).

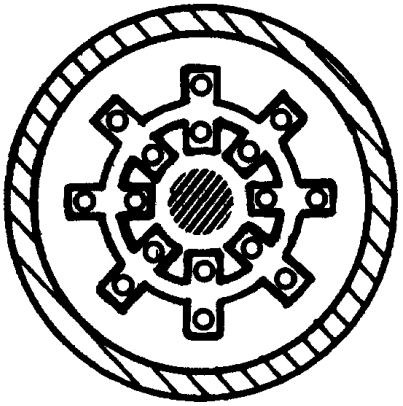


Рис. 10.2

будову асинхронного двигуна із короткозамкненим
немає колекторного вузла, ротор не має ковзаючих
стий щодо обслуговування, на дійний у роботі,
ий. Це двигун «основного виконання».

Рис. 1.7.11.

Трифазна обмотка статора створює *обертове магнітне поле.* Швидкість обертання поля залежить тільки від частоти струму та кількості пар полюсів обмотки статора:

$$n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p} \qquad (1.7.1)$$

де n_1 - швидкість обертання поля (об/хв), f_1 - частота струму в обмотці статора, p — число пар полюсів.

Обертове магнітне поле перетинає стержні «білячого колеса» і наводить у них ЕРС. Оскільки стержні замкнені кільцями, ЕРС індукує в них струм. Взаємодія обертового магнітного поля із струмом у стержнях створює обертаючий електромагнітний момент.

Якщо ротор розігнати до швидкості обертового поля, то магнітні силові лінії не перетинатимуть стержнів і не буде наводитися ЕРС.

У цьому разі не створюватиметься обертаючий електромагнітний момент. Тобто машина працює тільки тоді, коли

$$n_1 \neq n_2$$

де n_1 — швидкість обертання поля (об/хв — синхронна швидкість);

n_2 — швидкість обертання ротора (об/хв — асинхронна швидкість).

Взагалі асинхронна машина, як і всі електричні машини, оборотна, тобто, якщо

$n_1 > n_2$, машина працює у *режимі двигуна;*

$n_1 < n_2$, машина працює *у режимі генератора;*

$n_1 = n_2$, , штучний режим *ідеального неробочого (холостого) ходу*. Якщо поле обертається в один бік, а ротор обертається сторонньою силою в інший бік, то машина працює у режимі електромагнітного гальма,

Вводять величину *s (ковзання), що* характеризує асинхронність:

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \qquad (1.7.2.)$$

Звичайно ця величина визначається у частках одиниці або відсотках і коливається s = 0,02...0,05.

Обертове магнітне поле створюється обмоткою статора, що складається із трьох котушок. Ці котушки розташовані під кутом 120° одна до одної і на них подається трифазна синусоїдна напруга. Тобто у котушках проходять струми, що зсунуті один до одного на 120°.

Три котушки статорної обмотки (початки *A, B,* C, кінці *x, y, c)* розташовані під кутом 120°. Якщо об'єднати провідники з однаковим напрямом струмів, можна зобразити магнітне поле статора. Це поле буде обертатися відповідно до частоти струму.

6. Регулювання швидкості обертання ротора.

3 точки зору регулювання швидкості обертання ротора асинхронний двигун гірший за двигуни постійного струму. Звичайно асинхронні двигуни застосовуються у нерегульованих приводах.

Двигун із фазним ротором регулюється введенням реостата. При цьому зменшуються оберти n_1. Це дуже неекономічні, бо збільшуються втрати на додатковому опорі. Регулюючі реостати звичайно розраховують на тривалий режим роботи та регулюють оберти у діапазоні до трьох разів.

Згідно із співвідношенням (1.7.1.) регулювати швидкість обертання ротора короткозамкненого двигуна можна двома способами.

1. *Зміною числа пар полюсів.* Виводи котушок статорної обмотки перемикаються на клемній дошці. В залежності від їх перемикання змінюється число пар полюсів. Цей спосіб дає змогу регулювати оберти ступінчасте.

2. *Зміною частоти живлячого струму.* Звичайно частоту регулюють тиристорним перетворювачем частоти у межах f_1 = 20...60 Гц.

Недоліком цього способу є необхідність вмикання додаткового приладу та невеликі границі регулювання.

Щодо реверсування (зміни напрямку обертання ротора), то необхідно змінити напрям обертання магнітного поля. Це можна здійснити, якщо перемкнути два будь-які лінійні проводи, що з'єднують трифазну мережу із статором двигуна.

7. Пуск асинхронного двигуна.

У асинхронного двигуна не дуже добрі пускові характеристики. При пускові під повною напругою виникають значні струми в обмотці статора, що у кілька (6...7) разів перевершують номінальні. Це небезпечно і для двигуна, і для мережі змінного струму. Пусковий момент двигуна звичайно малий, тому при пускові двигун треба розвантажити. Задачу пуску розв'язують за допомогою *штучного підвищення опору обмотки ротора.* При цьому збільшується пусковий момент та зменшується пусковий струм.

Пуск двигуна із фазним ротором здійснюється введенням максимального опору реостата в обмотці фазного ротора. Після розгону ротора поступово зменшують опір реостата. Деколи використовують ступінчастий реостат (мають пусковий додатковий та робочий опір).

Пуск короткозамкненого двигуна полегшується спеціальною конструкцією ротора у *двигуні з витісненням струму. У роторі з глибоким пазом* стержні «білячої клітки» виготовляються у вигляді пластини і вкладаються у глибокий паз осердя ротора. Розподіл струму за глибиною паза залежить від індуктивності окремих його частин. Потокозчеплення та індуктивність глибинної частини стержня більша за потокозчеплення та індуктивність зовнішніх частин. Тому у момент пуску, коли частота струму у стержнях велика (дорівнює частоті обертового магнітного поля), індуктивний опір глибинних частин великий. Відбувається «витіснення» струму у верхню частину стержня (рис. 10.23).

Таким чином, збільшується активний опір «білячого колеса» при пускові, поліпшуються пускові характеристики. У номінальному режимі роботи двигуна частота струму у стержнях мала, процес «витіснення» відсутній, активний опір стержня зменшується.

Стержні ротора з глибоким пазом можна виготовляти різної форми.

Ротор з подвійною «білячою кліткою» має два «білячих колеса». Верхня клітина виготовляється з латуні, нижня — із міді й має більший переріз. У момент пуску струм витискається у верхню, латунну клітину, що має великий активний опір. Ця клітина називається пусковою. В усталеному режимі працює нижня, робоча клітина із малим активним опором. У двигуна з витісненням струму пусковий момент може збільшуватись у три рази. Пусковий струм встановлюється у три-чотири рази більший, за номінальний.

За рахунок зниження напруги, що подається на обмотку статора, є змога зменшити пусковий струм. Зниження пускового струму спричиняє небажане зменшення і пускового моменту. Цей спосіб називається *пуском при зниженій напрузі.* Є кілька способів пуску при зниженій напрузі. Напругу зменшують або за допомогою додаткового приладу, або методом перемикання обмоток:

1) пуск за допомогою реактивної котушки;

2) пуск за допомогою реостата (активного опору);

3) автотрансформаторний пуск;

4) пуск перемиканням котушок обмотки статора із «трикутника» (у номінальному режимі) на «зірку».

На жаль, усі ці способи знижують не тільки пусковий струм, а й пусковий момент.

☝ *Запам'ятайте:*

Можна визначити *три умови самозбудження:*

- потрібен залишковий магнітний потік у статорі;
- необхідне збігання за напрямком залишкового потоку з потоком, що створює машина;
- опір кола обмотки збудження має бути меншим за критичний.

Є три способи регулювання швидкості обертання якоря двигуна постійного струму:

— зміною напруги;

— зміною опору кола якоря;

— зміною магнітного потоку.

Частоту обертання асинхронного двигуна можна регулювати зміною таких параметрів:

- частоти струму;
- числа пар полюсів ;
- опору роторного кола ;
- напруги на статорі.

?Питання для самоконтролю:

1. Яка будова машин постійного струму?
2. Який принцип дії машин постійного струму?
3. Як діляться генератори постійного струму по способу збудження?
4. Як запустити двигуна постійного струму?
5. Які переваги та недоліки асинхронних двигунів?
6. Яка будова асинхронного короткозамкнутого двигуна ?
7. Як запустити в хід асинхронного короткозамкнутого двигуна.?