



**Міністерство освіти і науки України**

**ДЕРЖАВНИЙ  
БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет енергетики, цифрових та комп'ютерних технологій**

**Кафедра електромеханіки та робототехніки**

**МАШИНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ**

**Методичні вказівки  
для виконання лабораторних робіт  
з дисципліни “Електричні машини”**

**Для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
денної та заочної форми навчання, спеціальностей:  
141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка**

**Харків  
2022**

Міністерство освіти і науки України  
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет енергетики, цифрових та комп'ютерних технологій  
Кафедра електромеханіки та робототехніки

**МАШИНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ**

Методичні вказівки  
для виконання лабораторних робіт  
з дисципліни “Електричні машини”

Для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної  
та заочної форми навчання, спеціальностей:  
141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Затверджено рішенням Науково-методичної ради  
Факультету ЕЦКТ  
Протокол № 2  
від 16.03.2022 р.

Харків  
2022

УДК 621.3

E11

Схвалено  
на засіданні кафедри  
електромеханіки та робототехніки  
Протокол № 8  
Від 16.02.2022

Машины постійного струму: метод. вказівки для виконання лабораторних робіт студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форми навч., спец.: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, / Державний біотехнологічний університет; упоряд. М.С. Сорокін, О.В. Сотнік, В.В.Гузенко – Харків: [б. в.], 2022. – 39 с.

Методичні вказівки з дисципліни “Електричні машини” складені у відповідності до навчально плану. Видання включає методики виконання лабораторних робіт з розділу “Машины постійного струму” даної дисципліни.

Видання призначене для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форми навчання, спеціальностей: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка,

**Рецензенти:**

**О.О. Мірошник**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту Державного біотехнологічного університету;

**М.Ю. Середин**, консультант з обслуговування та ремонту електронного обладнання бурового верстату, бурового управління “УКРБУРГАЗ”.

**Відповідальний за випуск** : М.С. Сорокін, канд. техн. наук, доц.

© Сорокін М.С., Сотнік О.В., В.В.Гузенко упорядкування, 2022

© ДБТУ, 2022

## ЗМІСТ

Лабораторна робота №1 .....	
Дослідження характеристик генератора з незалежним збудженням та самозбудженням.....	4
Лабораторна робота 2.....	
Дослідження характеристик генератора постійного струму змішаного збудження.....	14
Лабораторна робота 3.....	
Дослідження характеристик двигуна змішаного збудження.....	22
Лабораторна робота 4.....	
Дослідження втрат потужності та визначення коефіцієнта корисної дії (ККД) машин постійного струму.....	29
Список використаних джерел.....	38

## **Лабораторна робота №1**

### **Дослідження характеристик генератора з незалежним збудженням та самозбудженням.**

Мета роботи: одержання навичок проведення досліджень генератора з незалежним та паралельним збудженнями, вивчення властивостей машини по її характеристикам при різних способах збудження.

#### Програма роботи.

1. Записати паспортні дані генератора, виміряти опір кола якоря та обмоток збудження, та привести до робочої температури.
2. Перевірити розміщення щіток відносно геометричної нейтралі і скласти схему для одержання характеристик.
3. Зняти характеристики генератора:
  - короткого замикання (ХКЗ);
  - холостого ходу (ХХХ);
  - регулювальну;
  - навантажувальну;
  - зовнішню при незалежному збудженні та паралельному збудженні.
4. Побудувати характеристики генератора і визначити зміну напруги  $\Delta U$  та зміну струму  $\Delta I_3$ .
5. Користуючись характеристиками холостого ходу та навантажувальною, побудувати реактивний трикутник.
6. Зробити висновки по роботі.
7. Додатково (УДРС): обчислити та побудувати характеристику  $U = f(\omega)$  або  $U = f(n)$  при сталому значенні струму збудження й опорі навантаження.
8. Користуючись ХХХ та реактивним трикутником, побудувати зовнішню та регулювальну характеристики.

Описання роботи.

1. Ознайомившись з приладами й обладнанням, а також записавши паспортні дані досліджуваної машини і приладів, заміряти опір кола якоря та обмотки збудження методом амперметра-вольтметра.

2. Правильне розміщення щіток відносно геометричної нейтралі перевіряють по збігу кольорових рисок на траверзі щіткотримача та боковому щитку машини.

При відсутності таких міток чи невпевненості в їх правильному розміщенні можна використати метод “найбільшої напруги”, зміст якого полягає в тому, що запустивши генератор та збудивши його від стороннього джерела постійного струму, (при сталих струмі збудження  $I_z$  та обертання генератора  $n$ ) в режимі холостого ходу, вольтметр ввімкнений на затискачі якоря, буде змінювати показання в залежності від розташування щіток. Показання будуть найбільшими у тому разі, якщо вісі щіток співпадають з віссю геометричної нейтралі. Складають схему згідно рис. 1. Прилади та реостати вибирають згідно з паспортними даними машини та межами вимірів.

3. Для того, щоб одержати ХКЗ, яка являє собою залежність струму навантаження від струму збудження  $I_a = f(I_z)$  при  $U = 0$   $n = n_n$ , замикають затискачі якоря  $D_1$  і  $D_2$  генератора накоротко через амперметр РА. Приводять до обертання якір генератора з частотою  $n = n_n$  шляхом запуску двигуна  $M$  та записують показання приладів при  $I_z = 0$ . Потім автоматичним вимикачем QF2 вмикають коло збудження  $I_z$ , записують показання приладів, виконавши 3-5 замірів, так щоб  $I_a \leq 1,2I_n$ , зупиняють генератор. Величину струму збудження контролюють за показаннями міліамперметра, ввімкненого в обмотку збудження.

При зніманні ХХХ, яка являє собою залежність ЕРС  $E_o$  від струму збудження  $I_z$ ,  $E_o = f(I_z)$  при  $n = n_n$  та  $I_a = 0$  (тобто розімкненому SA1) струм збудження збільшують від нуля до  $I_{zn}$  такого значення, щоб  $E_o \leq (1,2 \div 1,3)U_n$ , а потім зменшують до нуля (обернена вітка). Цей дослід виконують у такій послідовності:

а) надають обертання генераторові при розімкнених  $SA1$  та  $QF2$  і записують перше показання вольтметра.

б) ввімкнувши  $QF2$ , підвищують струм збудження реостатом  $R2$ , збільшується  $E_0$  до  $(1,2..1,3)U_n$ . При цьому роблять 5-6 відліків ЕРС при різних  $I_3$ . Далі реостатом  $R2$  знижують струм збудження до нуля і також знімають 5-6 замірів (останнє показання треба зняти при  $I_3 = 0$  тобто розімкненому  $QF2$ ). Якщо при проведенні досліду частота обертання генератора змінюється, то дійсну величину ЕРС холостого ходу визначають по рівнянню

$$E_0 = E'_0 \frac{n_n}{n}$$

тут  $E'_0$  та  $n$  - відповідно виміряні ЕРС та частота обертання при дослідженні.

Регульовальна характеристика являє собою залежність струму збудження від струму навантаження, тобто  $I_3 = f(I_a)$  при  $U = U_n = const$ ,  $n = n_n = const$  знімають наступним чином:

Запускають генератор і вмикають  $SA1$  та  $QF2$ ;

Навантажують генератор до  $I_a \geq I_n$ , встановивши при цьому  $U = U_n$  і записують перший відлік. Зменшують ступенями навантаження за допомогою  $R1$  до холостого ходу і одночасно регулюють струм збудження за допомогою  $R2$ , так щоб на протязі досліду витримувалась умова  $U = U_n = const$ .

При відхиленні частоти обертання від номінальної струм збудження визначають по формулі  $I_3 = I'_3 \frac{n}{n_n}$ , де  $I'_3$  - вимірний струм збудження при числі обертів  $n$ .

Навантажувальна характеристика, тобто залежність  $U = f(I_3)$  при  $I_a = const$ , знімається таким чином:

Збуджують машину, навантажуючи її струмом  $I_a \leq I_n$ , встановивши струм збудження таким, щоб  $U \geq U_n$ , записують перший відлік;

Зменшують струм збудження і одночасно - опір навантажувального реостата, записують ще 5-6 відліків.

Сталість струму навантаження забезпечується шляхом зміни опору  $R1$ . Якщо  $n \neq n_n$ , то дійсна величина напруги, зведена до номінальної частоти обертання якоря, визначається за формулою

$$U = U' \frac{n_n}{n}$$

тут  $U'$  - виміряна напруга при частоті обертів  $n$ .

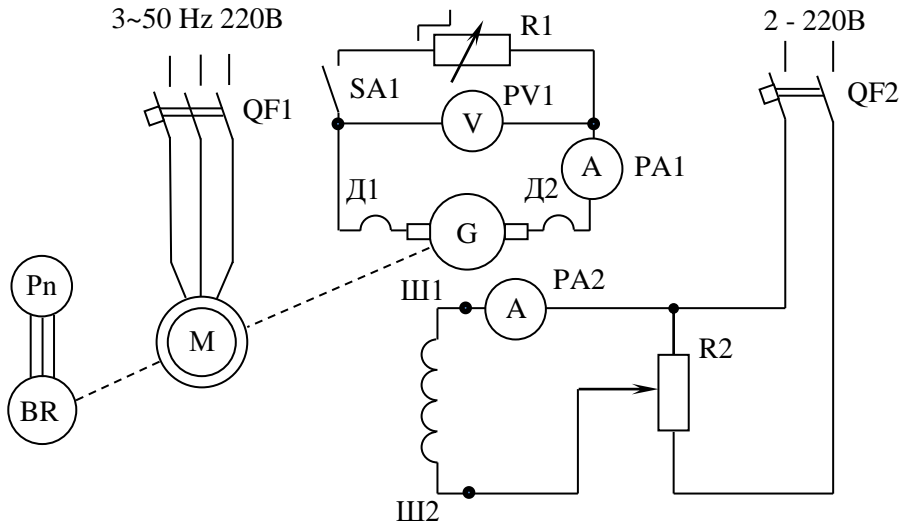


Рисунок 1. Схема для досліджувань генератора з незалежним збудженням.

Зовнішня характеристика, що являє собою залежність напруги на затискачах генератора від струму навантаження  $U = f(I_a)$  при  $I_s = const$  та  $n = n_n$ , виконують таким чином:

навантажують збуджений генератор за допомогою навантажувального опору до  $I_a = I_n$ , встановивши при цьому за допомогою  $R2$  напругу  $U = U_n$ ;



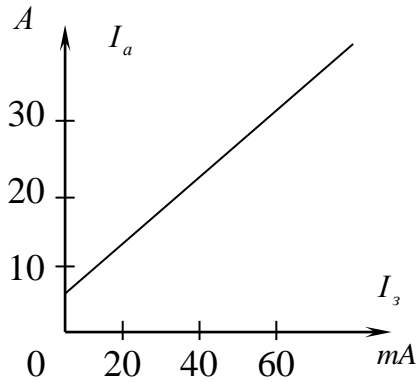


Рисунок 2. Характеристика короткого замикання

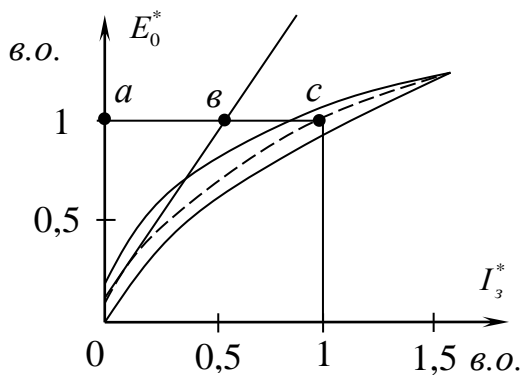


Рисунок 3. Характеристика XX

записують показання приладів, які відповідають першій точці характеристики;  
розвантажуючи генератор шляхом збільшення  $R1$  записують ще 5-6 відліків. Останній відлік записують при  $I_a = 0$ ;

Струм збудження підтримується сталим на протязі всього досліду.

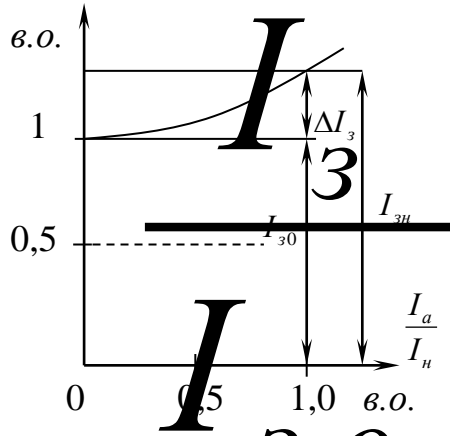


Рисунок 4. Регулювальна характеристика

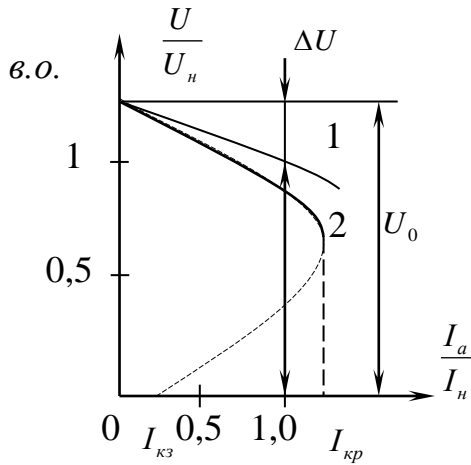


Рисунок 5. Зовнішня характеристика

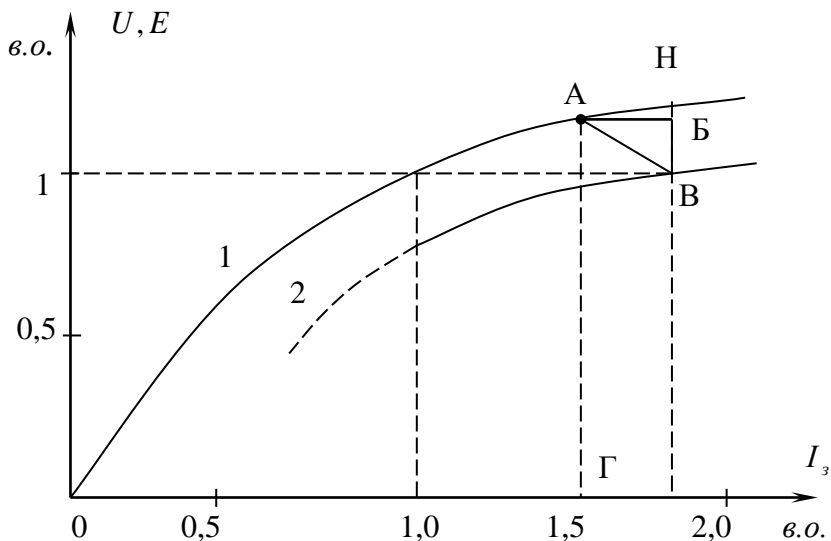


Рисунок 6. Побудова реактивного трикутника:  
1 - характеристика ХХ; 2 – навантажувальна хар-ка

Якщо частота обертання якоря змінювалась в період дослідження, то дійсну величину напруги визначають згідно рівнянню

$$U = U' \frac{n_n}{n}$$

Після того, як закінчили знімати дані для зовнішньої характеристики, генератор зупиняють, коло обмотки збудження відмикають від незалежного джерела і приєднують коло обмотки Ш1-Ш2 паралельно до якорного кола (затискачів Д1-Д2).

Запускають генератор, виставляють номінальну частоту обертання та таку напругу, яка була при досліді знімання зовнішньої характеристики при  $I_a = 0$ .

Записавши показання приладів у точці, яка відповідає холостому ходу  $I_a = 0$ , навантажують генератор шляхом зменшення  $R1$  до максимально допустимого струму якоря, підтримуючи при цьому опір збудження  $R2$  сталим.

4. За одержаними даними будують дослідні характеристики, зразковий вид яких приводиться на рис.2-6.

Якщо пряма вітка ХХХ не співпадає із зворотною, то за дійсну ХХХ приймають середню лінію між цими залежностями (пунктиром показана на - рис.3).

За допомогою ХХХ оцінюють магнітні властивості машини за значенням коефіцієнта магнітного насичення  $K\mu$ . Практично згідно з ХХХ  $K\mu$  знаходиться наступним чином:

проводиться дотична до дійсної ХХХ з точки відповідної  $E_0 = 1$ , проводять пряму паралельно вісі абсцис;

значення  $K\mu$  визначають за формулою:

$$K\mu = \frac{\overline{ac}}{ab}$$

Користуючись регулювальною характеристикою (рис. 4), оцінюють регулювальні властивості генератора  $\Delta I_3, \%$ :

$$\Delta I_3, \% = \frac{I_{3н} - I_{30}}{I_{30}} 100\%$$

де  $I_{3н}$  - струм збудження при номінальному навантаженні генератора;

$I_{30}$  - струм збудження при ХХ генератора.

В нормальних умовах  $\Delta I_3 \leq 20\%$ .

Використовуючи зовнішні характеристики (рис: 5), визначають зміну напруги генератора при переході від номінального навантаження до ХХ,

$$\Delta U\% = \frac{U_o - U_n}{U_n} 100\% ,$$

де  $U_o$  - напруга генератора при ХХ.

В генераторах постійного струму незалежного збудження  $\Delta U \leq 10\%$ .

Реактивний трикутник будують за двома характеристиками: холостого ходу та навантажувальної (рис.6).

Порядок побудови його наступний:

через точку В навантажувальної характеристики, для якої  $U = U_n$ , проводять лінію ГН, паралельно вісі ординат. Так як

$\overline{GH} = U_o$ , струм збудження  $I_s = \overline{OG}$ , то  $\overline{BG} = U_o - U_n = \Delta U$  - зміна напруги, викликана зменшенням напруги на опорі кола якоря та Е.Р.С. розмагнічуючої дії поперечної реакції якоря.

3 точки В відкладають відрізок  $\overline{BB} = I_a R_a$ , де  $I_a$  - значення струму, при якому знімалась навантажувальна характеристика;

$R_a$  опір якірного кола, включаючи і опір щиткового контакту. Через точку Б проводять паралельно вісі абсцис до перетину з ХХХ (точка А); одержаний трикутник АБВ є реактивний (характеристичний) трикутник генератора при даному струмі навантаження.

Катет  $\overline{BB} = I_a R_a$ , тобто дорівнює спаду напруги на опорі якірного кола. Катет  $\overline{AB}$  результуюча величина розмагнічуючої сили від поперечної реакції якоря, яка виражена в масштабі струму збудження. Вона зменшує магнітний потік, а отже і Е.Р.С., яка порівнюючи з  $E_o$ , зменшується на величину  $\overline{BH}$ .

Оскільки розміри обох катетів змінюються пропорційно струму навантаження, цією властивістю користуються при побудові будь-якої характеристики генератора, не вдаючись до досліду безпосереднього навантаження останнього.

7. Залежність  $U = f(\omega)$ , де  $\omega$  швидкість обертання генератора, або  $U = f(n)$  вихідна характеристика тахогенератора, роль якого може виконувати генератор постійного струму незалежного збудження.

Вихідну характеристику знімають при  $I_s = const$  і  $R_1 = \infty$ . Для цього будують теоретичну пряму  $U_o = f(\omega)$  при  $I_s = I_{30}$ ,  $R_1 = \infty$ , а потім залежність  $U = f(\omega)$  при однаковому струмі збудження не враховуючи дії поперечної реакції якоря, але враховуючи спад напруги на щітках при фіксованих значеннях опору навантаження  $R_1 = 500$  Ом для генератора з  $U_n = 230$  В або  $R_1 = 150$  Ом для генератора  $U_n = 115$  В.

## Контрольні запитання.

1. Які основні характеристики генератора?
2. Яка суть регульовальної характеристики?
3. Що таке залишкова Е.Р.С. та яка її величина відповідно номінальної величини напруги?
4. Чому при виконанні досліду холостого ходу слід контролювати частоту обертання генератора та як враховується відхилення її від номінальної?
5. Що таке зміна напруги та яка її величина у генераторів з незалежним збудженням?
6. Чому при розвантаженні генератора зміна напруги менше, ніж при навантаженні, якщо обидва досліди починаються при однаковій напрузі?
7. Що таке зовнішня характеристика, яка її суть та чому при зростанні навантаження генератора спадає його напруга?
8. Що таке зовнішня характеристика?
9. Чому не збігаються пряма та зворотня криві характеристики холостого ходу?
10. Яким способом перевіряють розташування щіток відносно геометричної нейтралі?
12. Що таке коефіцієнт магнітного насичення та як його визначають?
12. Яку частину складає розмагнічуюча сила реакції якоря від основної МРС при навантаженні струмом  $I_a = I_n$  та  $I_z = I_{zn}$ ?
13. Яку зміну Е.Р.С. викликає поперечна реакція якоря при  $I_a = I_n$  і  $U = U_n$ , та як його визначити?
14. Що станеться, якщо у генераторі з незалежним збудженням змінити напрям обертання якоря?
15. Як побудувати реактивний трикутник?

## Лабораторна робота 2.

### Дослідження характеристик генератора постійного струму змішаного збудження.

Мета роботи: вивчити властивості генератора змішаного збудження і оцінити вплив послідовної обмотки генератора, на його характеристики.

#### Програма роботи.

1. Ознайомитись з обладнанням та приладами, записати паспортні та технічні дані, виміряти опір обмоток якоря, та збудження.

2. Зняти характеристики генератора:

а) холостого ходу;

б) зовнішню характеристику, регульовальну і характеристику навантаження при паралельному збудженні;

3) зовнішню, регульовальну та характеристику навантаження при змішаному узгодженому та зустрічному збудженнях.

4. За даними дослідів побудувати зовнішні, регульовальні та характеристики навантаження генератора. Визначити відносну зміну напруги  $\Delta U$  та відносну зміну струму  $\Delta I_s$ .

5. Побудувати реактивний трикутник при  $I_a = I_n$ .

6. Зробити висновки про вплив послідовної обмотки збудження на характеристики генератора.

#### Виконання роботи.

1. Ознайомившись з обладнанням на робочому місці та записавши паспортні дані генератора, вимірюють опори паралельної (затискачі Ш1 і Ш2) та послідовної (затискачі С1 і С2) обмоток збудження, а також опір кола якоря (Д1 і Д2).

Скласти схему за рис.7. Обмотку збудження для одержання характеристики генератора з паралельним збудженням зашунтувати перемикачем SA2.

Прилади й реостати вибирати відповідно технічним даним і границям вимірювання.

2. Характеристику холостого ходу (XXX), тобто залежність  $E = f(I_3)$  знімають при постійній швидкості обертання  $n = n_n$ , відсутності струму якоря  $I_a = 0$ , змінюючи опір паралельного кола збудження;  $R_3 = r_3 + r_p$ , де

$R_3$  - опір паралельного кола збудження;

$r_3$  - опір обмотки збудження;

$r_p$  - опір регулювального реостату.

Для одержання XXX, як і другої будь-якої характеристики, повинні виконуватися наступні умови:

полюсна система машини повинна мати залишковий магнітний потік  $\Phi_3 > 0$ ;

потік, створений обмоткою збудження, повинен співпадати з напрямом  $\Phi_3$ ;

опір кола збудження повинен бути менше критичного;  
частота обертання якоря - більше критичної.

Перевірку окремих умов самозбудження виконують наступним способом: розімкнувши коло збудження генератора та переконавшись, що ручки пускового  $R1$  і регулювальних  $R2$  та  $R3$  реостатів двигуна  $M$  знаходяться в пусковому положенні, замикають автоматичний вимикач  $QF$ , запускають двигун, доводячи частоту обертання до номінальної.

Якщо вольтметр  $PV1$  при розімкненому вимикачі  $SA1$  показує невелику напругу, величина якої не перевищує  $0,05U_n$ , то це свідчить про наявність залишкового магнітного потоку  $\Phi_3$ . Якщо такої напруги немає, то генератор  $G$  треба намагнітити, пропустивши постійний струм через паралельну обмотку збудження  $III - III2$ .

Потім у працюючого генератора зменшують регулювальний опір  $R5$  та спостерігають за показанням вольтметра  $PV1$ .

Збільшення напруги свідчить про виконання другої умови. Якщо  $U_0$  виміряне  $PV1$ , зробилося менше залишкової Е.Р.С., то



треба змінити напрямок обертання якоря, або поміняти місцями приєднання затискачів обмотки збудження. Останній спосіб залишається єдиним для нереверсивних машин, напрямок обертання яких показується стрілкою на корпусі.

Досягнувши самозбудження генератора та можливості регулювання вихідної напруги зміною величини  $R_5$ , знімають ХХХ. Порядок дослідження наступний:

Для працюючого генератора при розімкненому  $SA1$  знімають перше показання вольтметра, при цьому частота обертання якоря  $n = n_n = const$ .

Підвищують струм збудження реостатом  $R_5$  при цьому збільшується  $E_0$  до  $(1,2...1,3)U_n$ , та записують 5-6 вимірювань. Результати вимірювань заносять в таблицю звіту.

3. Зовнішня характеристика  $U = f(I_a)$  залежність напруги на затискачах якоря від струму навантаження при швидкості обертання якоря  $n = n_n = const$  та незмінному опорі збудження  $R_z = const$ . Для зняття зовнішньої характеристики  $U=f(I_a)$  реостатом  $R_5$  тобто змінюючи струм збудження при холостому ході  $I_a=0$  і  $n=n_n$  виставляють  $U=U_n$ .

Не змінюючи опір в колі паралельного збудження  $R_5$  і  $n=n_n$ , завантажують поступово ступенями генератор  $G$  вмиканням вимикача  $SA1$  опором  $R1$  до  $1,2 I_n$ . Бажано зняти дані при  $I_a=I_n$ . Дані досліду 5-6 відліків заносять у відповідну таблицю звіту, і розвантажують генератор.

Регульовальну характеристику  $I_3=f(I_a)$ ,  $U=U_n$  і при  $n=n_n=const$  паралельному збудженні виконують там чином.

Не вимикаючи приводного двигуна, установлюють номінальну напругу  $U_n$  генератора при холостому ході  $I_a=0$ , а потім навантажують поступово генератор до  $I_a \leq 1,2 I_n$  одночасно збільшуючи струм збільшення так, щоб напруга залишалася незмінною і дорівнювала номінальній при незмінній частоті обертання  $n_n$  записують 5-6 показань у відповідну таблицю звіту.

Навантажувальну характеристику  $U=f(I_3)$  при  $I_a = const$  і  $n=n_n$  при паралельному збудженні знімають в такому порядку. Збуджують машину, навантажують струмом  $I_a \leq I_n$ , установивши

струм збудження такої величини, щоб  $U \geq U_n$ , записують перше показання.

Зменшують струм збудження і одночасно опір навантажувального реостату R4, записують 5-6 вимірів у таблицю звіту.

По закінченню дослідів при паралельному збудженні зупиняють приводний двигун, складають схему для змішаного-узгодженого збудження, тобто розмикають вимикач SA2, щоб струм протікав по послідовній обмотці C1-C2 і проводять досліди по зняттю зовнішньої, регулювальної та навантажувальної характеристик, аналогічно як і при паралельному збудженні.

Після виконання дослідів при змішано-узгодженого вмикання послідовної обмотки C1-C2, зупиняють приводний двигун M, перез'єднують послідовну обмотку збудження так, щоб магнітний потік послідовної обмотки C1-C2 був направлений назустріч паралельній обмотці збудження Ш1-Ш2.

Запускають приводний двигун M, та виконують досліди по зняттю характеристик зовнішньої  $U=f(I_a)$  та регулювальної  $I_3=f(I_a)$ , аналогічно попереднім характеристикам.

4. Дані дослідів п.п. 2, 3 використовують для побудови характеристик: холостого ходу зовнішніх, регулювальних загальний вигляд показаних на рис. (8-9) та навантажувальних на окремих графіках, додержуючись при цьому масштабів струму та напруги  $I$ , А/см;  $U$ , В/см.

На побудованих характеристиках треба визначити:

$$\Delta U = \frac{U_0 - U_n}{U_n} \cdot 100\%$$

згідно ХХХ -  $E_3$  та  $K_\mu$

згідно зовнішнім -  $\Delta U$

згідно регулювальним -  $\Delta I_3$

$$K_\mu = -\frac{ac}{ab} \text{ коефіцієнт магнітного насичення;}$$

$E_3$  - залишкова ЕРС при  $I_3 = 0$ .

Використовуючи регулювальні характеристики оцінюють регулювальні властивості генератора

$$\Delta I_z, \% = \frac{I_{zn} - I_{z0}}{I_{z0}} 100\%,$$

$$\Delta I_z \leq 20\%,$$

де  $I_{z0}$  - струм збудження при холостому ході, при  $E=U_n$

$I_{zn}$  - струм збудження при номінальному навантаженні

5. Використовуючи характеристики холостого ходу та навантажувальну при паралельному збудженні, будують реактивний трикутник у такій послідовності:

через точку В навантажувальної характеристики, для якої  $U=U_n$  проводять паралельно осі ординат лінію  $\overline{GH}$ . Так як  $\overline{GH}=U_0$ , то струм збудження  $I_z = \overline{OG}$ , а  $\overline{BH}=U_0-U_n$  - зміна напруги, що виникає з-за спаду напруги на опорі якоря та зменшенню ЕРС від розмагнічуючої дії реакції якоря.

З точки В відкладають відрізок  $\overline{BB} = I_a R_a$ .

$I_a$  - струм у колі якоря, при якому знімається характеристика навантаження;

$R_a$  - сумарний опір кола якоря, включаючи опір щіткових контактів.

Через точку Б проводять паралельно осі абсцис пряму до перетину з характеристикою, холостого ходу. Трикутник АБВ є реактивний або характеристичний трикутник генератора при зазначеному струмі навантаження.

Катет  $\overline{BB} = I_a R_a$ , тобто рівний спаду напруги на опорі якорного кола. Катет  $\overline{AB}$  - підсумкова величина розмагнічуючої сили від поперечної дії реакції якоря, виражена в масштабі струму збудження яка зменшує магнітний потік, отже і ЕРС, яка в порівнянні з  $E_0$  зменшується на відрізок  $\overline{BH}$ . Так як розміри обох катетів змінюються пропорційно струмові навантаження, то цією властивістю користуються при побудові будь-якої характеристики генератора, не вдаючись до досліду безпосереднього навантаження цього генератора.

6. Аналіз характеристики холостого ходу проводять по відношенню величини залишкового намагнічування.

На основі обчислених величин  $\Delta U$  і  $\Delta I_3$  при різних способах збудження оцінюють вплив послідовної обмотки на зовнішню, навантажувальну та регульовальну характеристики, а також на величини критичного струму короткого замикання.

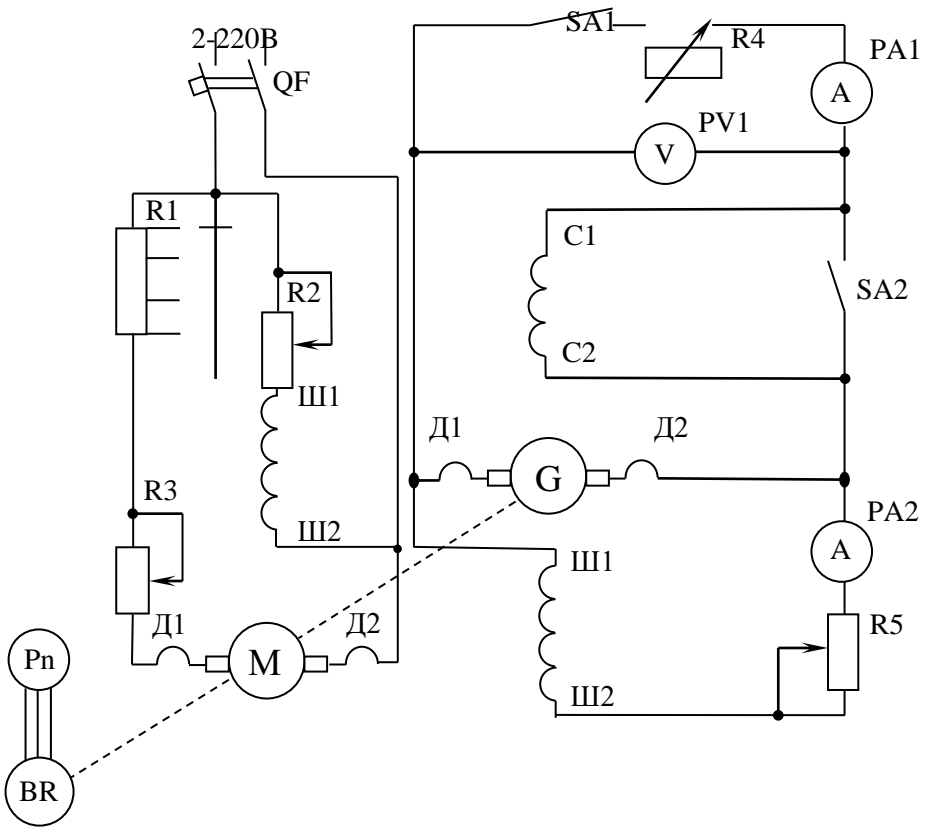


Рисунок 7. Принципова схема для досліджування характеристик генератора змішаного збудження

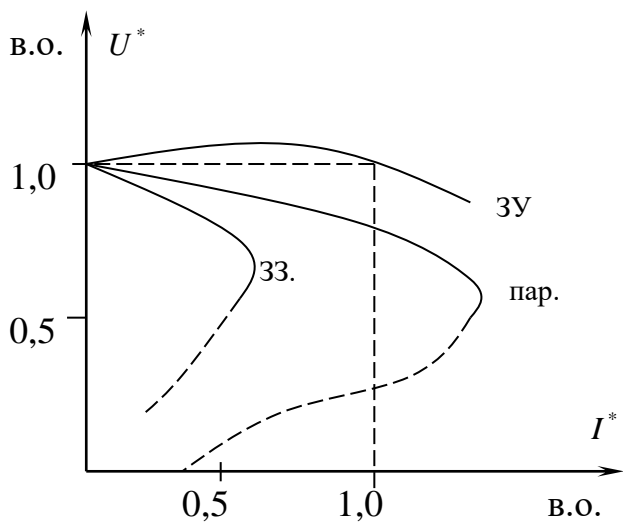


Рисунок 8. Зовнішня характеристика при різних способах збудження генератора

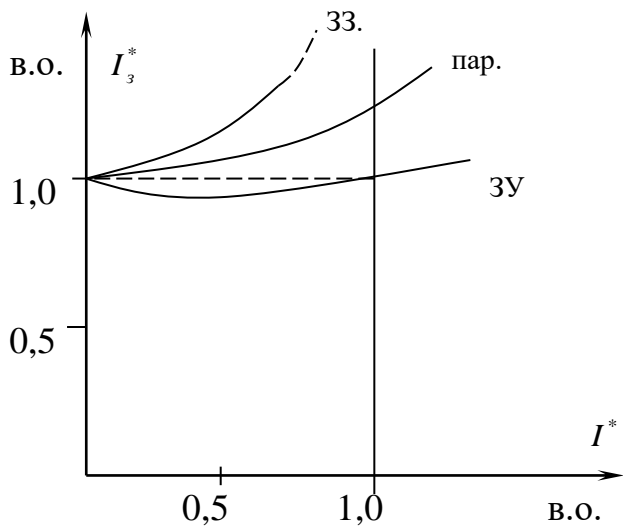


Рисунок 9. Регульовальні характеристики при різних способах збудження генератора

## Контрольні запитання

1. Як класифікуються генератори за способами збудження?
2. Як перевірити наявність залишкового магнетизму та збудити генератор паралельного збудження?
3. Як збуджується розмагнічений генератор і яких умов при цьому треба дотримуватися?
4. Як впливає величина опору у колі збудження на процес самозбудження і що таке критичний опір?
5. Що таке критична частота обертання і від чого вона залежить?
6. В чому суть процесу самозбудження?
7. Який вплив має послідовна обмотка збудження на зовнішню характеристику?
8. Як впливає послідовна обмотка збудження на величину струму  $K_3$ ?
9. Чим пояснити розбіг регульовальних характеристик при різних способах збудження?
10. Як перевірити, що послідовна обмотка збудження увімкнена узгоджено?
11. Що таке стабілізуюча обмотка та для чого вона служить?

## Лабораторна робота 3.

### Дослідження характеристик двигуна змішаного збудження.

Мета роботи: одержати дані для побудови регульовальної, швидкісної і робочої характеристики двигуна при паралельному і змішаному збудженні методом безпосереднього навантаження; виявити вплив послідовної обмотки збудження на характеристики двигуна.

#### Програма роботи.

1. Записати паспортні дані двигуна, виміряти опір обмоток збудження та якірного кола, та привести до робочої температури, вичислити номінальний струм збудження.
2. На холостому ході двигуна при паралельному збудженні зняти регульовальні характеристики шляхом регулювання струму збудження та напруги на якорі.
3. Зняти швидкісні характеристики двигуна при трьох способах збудження: паралельному, змішаному узгодженому, змішаному зустрічному.
4. Побудувати регульовальні характеристики.
5. Побудувати швидкісні характеристики при трьох способах збудження.
6. Побудувати робочі характеристики при змішаному узгодженому збудженні.
7. Зробити висновки по роботі, пояснивши закономірність зміни характеристик.
8. Додатково (як УДРС) зняти і побудувати швидкісну характеристику двигуна в режимі рекуперативного гальмування

#### Описання роботи.

1. Познайомившись з установкою на робочому місці, а також записавши паспортні дані електродвигуна, навантажувального генератора та іншого обладнання почергово скласти схеми для вимірювання опору якірного кола, послідовної та паралельної обмоток збудження методом вольтметра та амперметра.

Зафіксувавши температуру навколишнього середовища, приводять значення визначених опорів до робочої температури 348 К. Знаходять номінальний струм  $I_{3н}$  паралельної обмотки збудження

$$I_{3н} = \frac{U_n}{r_{348^0 K}}$$

Складають схему для запуску та отримання регульовальних характеристик двигуна при паралельному збудженні згідно рис.10. Регульовальний реостат в колі якоря вибирають так, щоб він забезпечив зниження напруги на якорі до  $(0,2..0,3)U_n$  при струмі, рівному струмові холостого ходу. Регульовальний реостат у колі збудження повинен забезпечувати зниження струму в колі збудження до  $I_z \leq 0,5I_{3н}$ . Навантаженням для двигуна є генератор незалежного збудження  $G$ .

2. Переконавшись, що всі реостати знаходяться в пусковому стані ( $R$  повністю уведене, а  $R2$  і  $R3$  повністю виведені) запускають двигун, слідкуючи за показаннями приладів та напрямком обертання якоря.

3. При неправильному напрямку обертання вала, треба вимкнути двигун, перез'єднати кінці паралельної обмотки збудження і знову його запустити, Встановивши за допомогою  $R3$  напругу на якорі  $U = U_n$  записують перше показання амперметрів  $PA1$  та  $PA2$  і тахометра. Потім, вводячи  $R2$ , зменшують ступенями і записують ще 4-5 відліків, слідкуючи щоб виконувались умови  $U = U_n$ ,  $n \leq n_n$ .

Регулювання частоти обертання двигуна, працюючого вхолосту, виконують змінюванням напруги на якорі за допомогою регульованого реостата  $R3$ . Струм збудження протягом всього досліді підтримується незмінним, величина його дорівнює номінальній, перший замір величин  $U$  та  $n$  записують при  $U = U_n$ . Потім ступенями (через 10 В) зменшують напругу на якорі двигуна до якомога малої величини (поки обертається якор) та записують у таблицю ще сім-вісім вимірювань параметрів.



4. Швидкісну характеристику при змішаному збудженні знімають при  $U = U_n = const$ ,  $I_z = I_{zn} = const$ . Перший відлік величин  $I_a$  та  $n$  записують при холостому ході. Потім вмикають автоматичні вимикачі SA1 і QF2 і ступенями змінюють навантаження двигуна до  $I_a \leq 1,2 I_n$ .

Аналогічно виконують досліди навантаження двигуна при змішаному зустрічному збудженні, перез'єднати кінці послідовної обмотки збудження. Перед дослідом навантаження двигуна при паралельному збудженні, треба виключити зі схеми послідовну обмотку збудження C1 – C2.

5. За даними дослідів при холостому ході будують регульовальні характеристики  $n = f(I_z)$  та  $n = f(U)$ , як показано на рис.11.

6. Швидкісні характеристики двигуна  $n = f(I_a)$  бажано будувати на одному графіку для всіх трьох способів збудження. Їх загальний вигляд показаний на рис.12.

7. Для побудови робочих характеристик двигуна при змішаному узгодженому збудженні, треба заздалегідь заповнити частину таблиці звіту по лабораторній роботі, де прийняті наступні позначення і залежності: струм, який споживається двигуном  $I = I_a + I_{zn}$  - потужність, яка споживається двигуном  $P_1 = U_{n1} I_1$  корисна потужність двигуна  $P_2 = P_1 - \sum \Delta P$ .

$\sum \Delta P$  - сумарні втрати потужності у двигуні.

$$\sum \Delta P = \Delta P_0 + \Delta P_{щ} + \Delta P_{мз} + \Delta P_{ма} + \Delta P_{\delta};$$

де  $\Delta P_0$  - втрати в сталі та механічні визначені по тарировочному графіку на робочому місці.

$\Delta P_{щ} = 2\Delta U_{щ} I_a$  - втрати в щітковому контакті.

$\Delta U_{щ}$  - спад напруги в щіткових контактах, який для досліджуваної машини дорівнює  $\Delta U = 1$  В (на щітку)

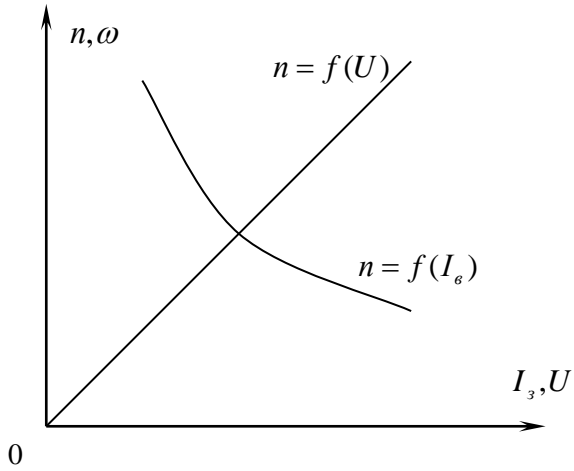


Рисунок 11. Вигляд регулювальних характеристик двигуна

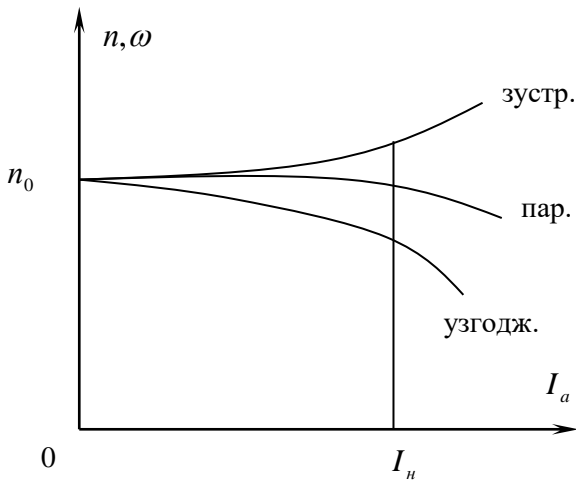


Рисунок 12. Вигляд швидкісних характеристик двигуна при різних способах збудження

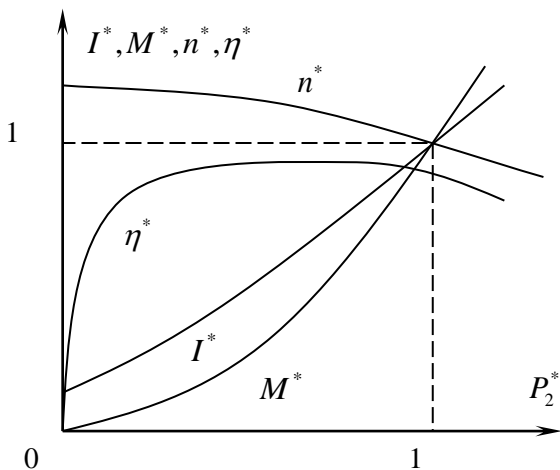


Рисунок 13. Робочі характеристики двигуна змішаного збудження

$$\text{втрати на збудження } \Delta P_{мз} = U_n I_{zn}$$

$$\text{втрати в міді якоря } \Delta P_{ма} = I_a^2 R_a$$

$$\text{додаткові втрати } \Delta P_o = 0,01 P_1 \frac{I}{I_n}$$

ККД двигуна, обчислений методом окремих втрат, визначається згідно формули.

$$\eta = 1 - \frac{\sum \Delta P}{P_1}$$

Корисний момент обертання на валу двигуна -

$$M_2 = \frac{P_2}{\omega} = 9,55 \frac{P_2}{n}$$

Після цього будують робочі характеристики, тобто залежності  $I$ ,  $n$ ,  $M_2$ ,  $\eta = f(P_2)$ .

8. У висновках оцінюють способи регулювання частоти обертання та вплив послідовної обмотки, збудження на швидкісну характеристику та пусковий момент електродвигуна, вказують в якій мірі послідовна обмотка виконує роль стабілізуючої для

частоти обертання; одержану величину ККД порівнюють з номінальною.

9. Швидкісну характеристику в режимі рекуперативного гальмування знімають при паралельному збудженні щоб одержати таку характеристику, треба зробити зміни у схемі генератора з якою одержують потужність навантаження таким чином, щоб він міг працювати паралельно з джерелом постійного струму.

В цьому разі дозволяється навантажувати двигун шляхом підсилення основного магнітного поля генератора, тобто збільшуючи струм збудження генератора  $I_{32}$ , а розвантажувати і переводити в режим гальмування шляхом зменшення  $I_{32}$ .

#### Контрольні запитання.

1. Як класифікуються двигуни за способами збудження?
2. Якими способами можна регулювати частоту обертання?
3. Яке призначення має послідовна обмотка збудження та який вплив вона чинить на характеристики двигуна?
4. Чи небезпечно розімкнути коло збудження при роботі в двигуні змішаного збудження?
5. Для чого потрібні пусковий та регулювальний реостати в колі якоря?
6. Як впливає послідовна обмотка збудження на пусковий обертальний момент двигуна?
7. Які переваги та недоліки двигуна зустрічно-змішаного збудження?
8. Як змінити напрямок обертання якоря?
9. Що таке природна та штучна швидкісні характеристики?
10. Яка різниця між швидкісною та механічною характеристиками?
11. Від чого залежить частота обертання ідеального холостого ходу?
12. Для чого служать та в якому порядку розміщуються додаткові полюси двигуна?
13. Як можна визначити спосіб ввімкнення послідовної обмотки збудження (узгоджено чи зустрічно)?
14. Чому при запуску двигуна треба, щоб пусковий реостат був повністю введений, а регулювальний виведений?

15. Чи змінюються чергування додаткових полюсів по відношенню до головних, якщо реверсують двигун?
16. Як зробити більш легким запуск двигуна при змішаному зустрічному збудженні?
17. Чому швидкісні характеристики незалежно від способу ввімкнення послідовної обмотки збудження виходять з однієї точки на вісі ординат?
18. Чи можна при номінальному навантаженні і номінальній напрузі одержати частоту обертання  $n > n_n$ ?
19. Визначити частоту обертання, якщо струм якоря  $I_a = I_{an}$ , а в коло якоря послідовно ввімкнути  $R_p = 5R_a$ ?
20. Що станеться з двигуном, якщо якір обертати з частотою  $n > n_0$ ?

## Лабораторна робота 4

### Дослідження втрат потужності та визначення коефіцієнта корисної дії (ККД) машин постійного струму.

Мета роботи: оволодіти методом розподілу втрат холостого ходу та навчитися обчислювати ККД машин постійного струму.

Програма роботи.

Записати паспортні дані обладнання та виміряти опір якірного кола і обмотки збудження.

Визначити номінальний струм збудження і скласти схему.

Провести досліди холостого ходу двигуна при кількох значеннях струму збудження.

На основі одержаних у п. 3 даних вимірювань побудувати залежності втрат холостого ходу від частоти обертання.

Виконати розподіл втрат холостого ходу на механічні та в сталі.

Побудувати залежності цих втрат від частоти обертання.

Розрахувати і побудувати швидкісну характеристику.

Розрахувати ККД та побудувати залежність його від навантаження.

Зробити висновки з виконаної роботи.

Додатково (як НДРС) розподілити втрати потужності в сталі на гістерезисні та вихрові;

побудувати регульовальні характеристики  $n = f(U)$  та  $n = f(I_3)$  при значеннях  $M_2 = 0$ ;  $M_2 = 0,5M_n$ ;

обчислити та побудувати природну механічну характеристику.

Описання роботи.

1. Ознайомившись з робочим місцем і записавши паспортні дані машини, складають схему згідно рис. 14 вимірюють опір якірного кола  $R_a$ , обмотки збудження  $r_3$  методом амперметра і вольтметра. При вимірюванні  $R_a$  вольтметр вмикають до зовнішніх затискачів якоря Д1–Д2. Для зменшення впливу опору щіткового контакту, значення струму установлюють близьким до номінального.

Більш точніше вимірювання опору можливе, якщо його виконувати окремо в обмотці якоря і обмотки додаткових полюсів, а потім

одержаний результат скласти. Заміряні опори приводять до температури 348 °К.

Струм  $I_{zn}$  знаходять з досліду холостого ходу. Йому відповідає на холостому ході швидкість обертання двигуна  $n = n_n$ , при умові, що

$$\text{до якоря підводять напругу } U_0 = E + 2\Delta U_{щ};$$

де  $E$  - ЕРС обмотки якоря при номінальному навантаженні;

$\Delta U_{щ}$  - спад напруги у щітковому контакті;

$I_{zn}$  - розраховується за формулою:

$$I_{zn} = -\frac{U_n}{r_{348^0 K}}.$$

У коло якоря вмикають крім пускового R1 і регулювальний реостат R3 такої величини, щоб можна було зменшити напругу на якорі до  $(0,2...0,3)U_n$  на холостому ході, коли струм в якорі  $I_a \leq 0,1I_n$ . Опір R2 повинен дозволяти знижувати струм збудження до  $(0,3...0,4)I_{zn}$ .

3. Вмикають двигун і встановлюють  $I_{zn}$ , який повинен підтримуватись протягом всього досліду сталим, а  $U = U_n$  і записують для цього режиму значення  $U$ ,  $I_a$ ,  $n$ . Потім за допомогою регулювального реостату R3 змінюють підведену до двигуна напругу від номінального значення  $U_{1n}$  до мінімально можливого, при якому якір ще буде обертатися через інтервал  $0,1U_n$  записують показання приладів.

При невеликих величинах струму збудження, порівняно з номінальним, треба починати дослід при найменшій нарузі і збільшувати її поступово, слідкуючи за тим, щоб частота обертання якоря не перевищувала номінальну більше, ніж на 20%.

На основі даних дослідів заповнюють частину таблиці, де необхідно для кожного досліду підрахувати

$$E_0 = U_0 - I_a R_a - 2\Delta U_{щ}$$

$$P_0 = E_0 I_a$$

і будують родину кривих  $P_0 = f(n)$ , такого вигляду, як показано на рис. 15.

Якщо машина має потужність  $P_n > 10$  кВт, то приймають, що  $P_0 \cong UI_a$ .

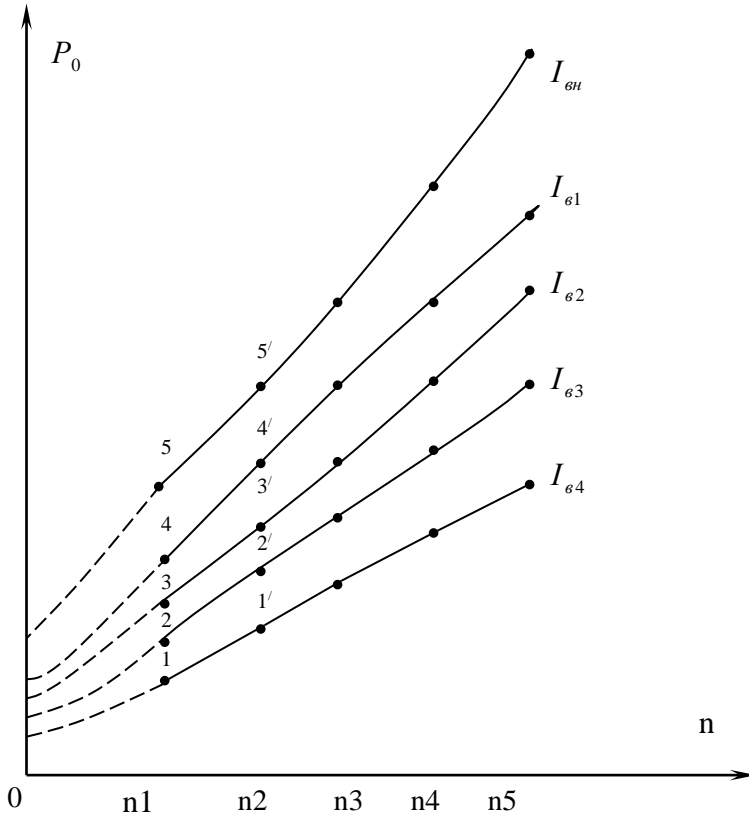


Рисунок 15. Залежності потужності ХХ від частоти обертання

4. Перебудовують криві  $P_0 = f(n)$  у криві  $P_0 = f(I_3)$  для п'яти значень частоти обертання.



Для цього на графіку  $P_0 = f(n)$  проводять прямі паралельні, вісі координат для вибраних значень частот обертання. Точки перетину (1...5) цих прямих з кривими

$P_0 = f(n)$  дають величину  $P_0$  при різних струмах збудження  $I_3$  і сталій частоті обертання. Переносячи точки 1...5 на інший графік, одержують родину кривих

$P_0 = f(I_3)$  загальний вигляд яких повинен бути подібним родині характеристик, приведені на рис. 15.

Перетин продовження цих кривих з віссю ординат дає значення механічних втрат при відповідній частоті обертання, так як при  $I_3 = 0$ ,  $\Delta P_c = 0$ . Отже в масштабі потужності механічні втрати потужності

$$\Delta P_{\text{мех}} = \overline{Oa}$$

$$\Delta P_{\text{мех}2} = \overline{Ob} \text{ і т.д.}$$

Потужність холостого ходу чисельно дорівнює втратам холостого ходу, тобто  $P_0 = \Delta P_0$ . Отже, можна визначити  $\Delta P_c = f(n)$ .

Для цього будують криву  $P_0 = f(n)$  при номінальному струмі збудження, там же наносять залежність  $\Delta P_{\text{мех}} = f(n)$ , згідно даним рис. 16. Відраховуючи  $\Delta P_{\text{мех}}$  з  $\Delta P_0$ , одержують втрати в сталі та їх залежність  $\Delta P_c = f(n)$ , за виглядом, які подібні графікам рис. 17.

Якщо виникне необхідність, втрати в сталі можна розподілити на втрати від вихрових струмів, які при сталій індукції, тобто  $I_3 = \text{const}$  і відсутності реакції якоря (холостому ході)

$$\Delta P_g = f^2 = n^2, \text{ а втрати на гістерезис}$$

$$\Delta P_r = f = n.$$

Одержані дані відносно втрат потужності достатньо, щоб обчислити ККД машини.

5. Для побудови швидкісної характеристики визначають величину  $C_e \Phi$

$$C_e \Phi = \frac{U_n - I_{an} R_a - 2\Delta U_{ц}}{n_n}$$

де  $I_{an}$  - номінальний струм якоря.

$$I_{an} = I_n - I_{zn}$$

$R_a$  - опір якірного кола при 348 °К.

Для машин з номінальною потужністю  $P_n \geq 10$  кВт приймають значення  $I_{an} \cong I_n$  двигуна згідно з паспортом. Задаючись значенням струму 1,25; 1,0; 0,75; 0,5; 0,25  $I_n$  визначають швидкості обертання  $\omega$  або  $n$  за формулою

$$n = \frac{U_n - I_a R_a - 2\Delta U_{ц}}{C_e \Phi}$$

Результати розрахунків зводять у таблицю, за даними якої будують швидкісну характеристику  $\omega$  або  $n = f(I_a)$ , загальний вигляд якої при паралельному збудженні показаний на рис. 12.

Одержані величини швидкості обертання дещо наближені, тому що при їх розрахунках вважається, що загальний потік  $\Phi$  незмінний.

6. ККД машини визначають методом розрахунку втрат потужності в машині, тобто непрямим методом за такими формулами:

$$\text{для генератора } \eta = \frac{P_2}{P_2 + \sum \Delta P}$$

$$\text{для двигуна } \eta = \frac{P_2 - \sum \Delta P}{P_1}$$

де  $P_1$ ,  $P_2$  - відповідні потужності затрачена і корисна.

Обчислення ККД проводять наступним чином.

Задаються величинами струму, споживаного двигуном 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,25  $I_n$ ; знаходять  $I_a = I - I_{zn}$ , і йому відповідну величину  $\omega(n)$ . За одержаними  $\omega(n)$  за допомогою рис. 17 знаходять  $P_0 = \Delta P_c + \Delta P_{мех}$ ;

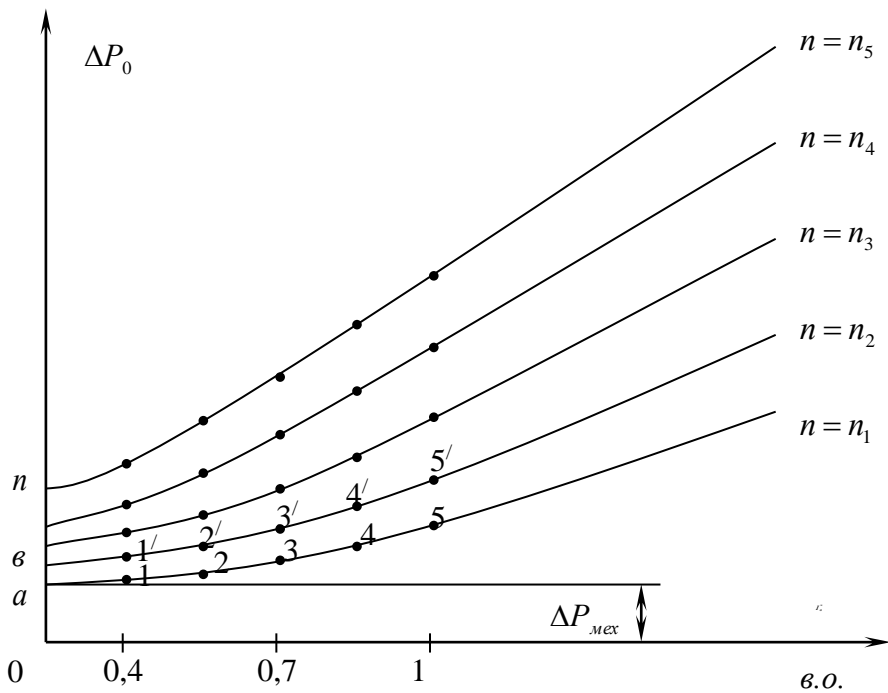


Рисунок 16. Залежності потужності від струму збудження

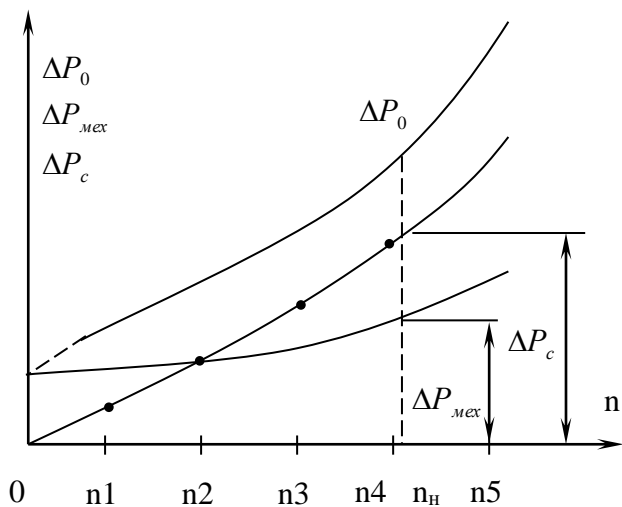


Рисунок 17. Розподілення втрат ХХ

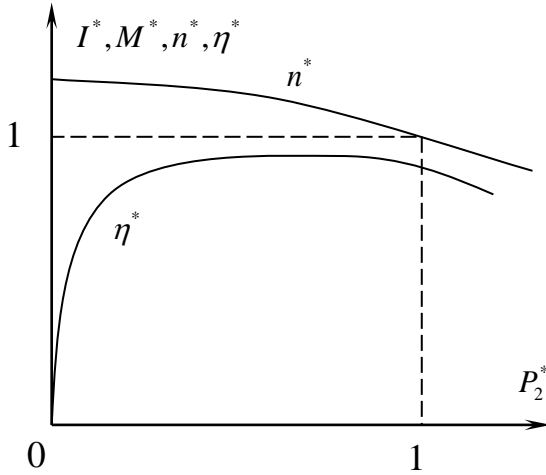


Рисунок 18. Робочі характеристики двигуна змішаного збудження

розраховують втрати потужності:

в міді якорного кола  $\Delta P_{ма} = I^2 R_{a348^0 K}$

в колі збудження  $\Delta P_з = U_n I_{zn}$

в щітковому контакті  $\Delta P_{щ} = 2\Delta U_{щ} I_a$

додаткові  $\Delta P_д = 0,01 P_1 \frac{I}{I_n}$  (без компенсаційної обмотки),

Для вугільно-графітових та метало-вугільних щіток рекомендується брати

$$\Delta U_{щ} = 1 \text{ В.}$$

При розрахунках ККД генератора в формулу додаткових втрат  $\Delta P_д$  вводять  $P_2$  замість  $P_1$ , а в формулу втрат на збудження  $I_з$  - замість  $I_{zn}$ , які беруть з дослідної або теоретично побудованої навантажувальної характеристики при заданому значенні  $I_a$ . Після визначення всіх складових втрат знаходять загальні втрати потужності:

$$\sum \Delta P = \Delta P_{ма} + \Delta P_з + \Delta P_{щ} + (\Delta P_c + \Delta P_{мех}) + \Delta P_д$$

Потім знаходять ККД. Результати розрахунків зводять у таблицю, за її даними будують залежність  $\eta = f(I_a)$ , зразковий вигляд якої показаний на рис. 13 та рис. 18.

7. У висновках по роботі порівнюють розрахований ККД при  $I_n$  з паспортним ККД. Вказують для якого середнього навантаження має призначення двигун. За допомогою швидкісної характеристики оцінюють різницю між швидкостями обертання при номінальному навантаженні, реальному та ідеальному холостому ході, тобто жорсткість характеристики.

Відмічають інші можливі методи розподілу та визначення втрат холостого ходу, методи визначення ККД, їх переваги та недоліки.

8. Методику побудови регульовальних характеристик приведено у лабораторній роботі 3. Механічну характеристику будують задаючись кількома величинами  $I_a$ , по яким знаходять  $\omega(n)$  та відповідні їм електромагнітні моменти  $M_s = C_m I_a \Phi$ . У системі СІ  $C_m = C_e$ , тобто конструктивний коефіцієнт моменту дорівнює конструктивному коефіцієнту ЕРС машини.

#### Контрольні запитання.

1. Як класифікують втрати потужності?
2. З чого складаються втрати потужності при холостому ході та як вони залежать від частоти обертання?
3. Які втрати потужності мають місце у навантаженій електричній машині?
4. Від чого залежать втрати механічні та втрати в сталі ?
5. Як розподілити втрати при холостому ході на механічні і в сталі?
6. Які втрати потужності належать до груп постійних та змінних?
7. Чи можна описаним у цій роботі методом визначити ККД машини при напрузі, яка відрізняється від номінальної?
8. Якими методами можна визначити номінальний струм збудження двигуна?
9. Чому спад напруги та втрати потужності у щітковому контакті обліковуються окремо?

10. Чому виникають додаткові втрати потужності і як вони обліковуються?

Як по даним дослідю холостого ходу визначити втрати потужності холостого ходу?

12. Які існують методи для визначення ККД машини?

13. Коли застосовують побічний метод визначення ККД і чому?

14. Коли в машині  $\eta_n = \eta_{\max}$  ?

15. При якому навантаженні ККД машини набирає найбільшого значення?

16. Від чого залежать втрати на вихрові струми і на гістерезис?

17. На чому базується метод розподілу втрат в сталі на вихрові струми та гістерезис?

18. Як перебудувати швидкісну характеристику в механічну?

## Список використаних джерел.

1. Електричні машини і трансформатори : навч. посібник / М. О. Осташевський, О. Ю. Юр'єва; за ред. В. І. Мілих. – Харків : ФОП Панов А. М., 2017. – 452 с.
2. Белікова Л.Я. Електричні машини : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Л.Я. Белікова, В.П. Шевченко. – Одеса : Наука і техніка, 2012. – 478 с.
3. Яцун М.А. Електричні машини : навч. посіб. для студ. базового напрямку «Електромеханіка» / М.А. Яцун – 2-ге вид., стер. – Львів : Видво Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2004. – 440 с
4. Андрієнко В.М. Електричні машини : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навч. за напрямом підгот. «Електротехніка та електротехнології» / В.М. Андрієнко, В.П. Куєвда. – К. : НУХТ, 2010. – 366 с. 4. Б
5. Копылов Н.А. Электрические машины. –М.: Энергоатомиздат, 1986. –356с.
6. Костенко М.Л., Пиотровский Л.М. Электрические машины Ч.І, -Л.: Энергия, 1978. –544с.

Навчальне видання

## МАШИНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Методичні вказівки  
для виконання лабораторних робіт  
з дисципліни “Електричні машини”

Упорядники:  
**СОРОКІН** Максим Сергійович  
**СОТНІК** Ольга Василівна  
**ГУЗЕНКО** Віталій Вікторович

Формат 60x84 1/16. Гарнітура Times New Roman  
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.

Ум. друк. арк. 2,5

Наклад 30 пр.

Державний біотехнологічний університет