

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
Національний університет «Запорізька політехніка»

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до виконання лабораторних робіт  
з дисципліни «Електричні машини»**

**Синхронні машини**

**Машини постійного струму**

для студентів спеціальності G3 «Електрична інженерія»  
(освітня програма «Електричні машини і апарати»)  
усіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Електричні машини» Синхронні машини. Машини постійного струму для студентів спеціальності G3 «Електрична інженерія» (освітня програма «Електричні машини і апарати») усіх форм навчання /Укл.: Т.Є. Дівчук, Д.О. Літвінов, С.О. Лапкіна – Запоріжжя: НУ ЗП, 2025. – 47 с.

Укладачі:

Т.Є. Дівчук, доц., к.т.н.  
Д.О. Літвінов, ст. викладач  
С.О. Лапкіна, асист.

Відповідальний  
за випуск

С.О. Лапкіна, асист.

Затверджено  
на засіданні кафедри  
«Електричних машин»  
Протокол № 5  
від 11.11.2025 р.

Рекомендовано до видання  
НМК Електротехнічного  
факультету  
Протокол №4  
від 20.11.2025 р.

## ЗМІСТ

Вступ.....	5
1 Лабораторна робота 1–С.....	6
1.1 Мета роботи.....	6
1.2 Порядок виконання роботи.....	6
1.3 Вказівки щодо звіту та підготовки до захисту лабораторної роботи.....	8
2 Лабораторна робота 2–С .....	9
2.1 Мета роботи.....	9
2.2 Порядок виконання роботи.....	9
2.3 Вказівки щодо звіту та підготовки до захисту лабораторної роботи.....	13
3 Лабораторна робота 3–С .....	14
3.1 Мета роботи.....	14
3.2 Порядок виконання роботи.....	14
3.3 Експериментальна частина роботи.....	17
3.4 Вказівки щодо звіту та підготовки до захисту лабораторної роботи.....	18
4 Лабораторна робота 1–П .....	20
4.1 Мета роботи.....	20
4.2 Порядок виконання роботи.....	20
4.3 Вказівки щодо звіту й підготовки до захисту лабораторної роботи.....	22
5 Лабораторна робота 2–П .....	23
5.1 Мета роботи.....	23
5.2 Порядок виконання роботи.....	23
5.3 Порядок виконання роботи при випробуванні генератора постійного струму незалежного збудження.....	23
5.4 Порядок виконання роботи при випробуванні генератора постійного струму паралельного збудження.....	28
5.5 Вказівки щодо звіту й підготовки до захисту лабораторної роботи.....	32
6 Лабораторна робота 3–П .....	35
6.1 Мета роботи.....	35
6.2 Порядок виконання роботи.....	35
6.3 Порядок виконання роботи при випробуванні двигуна постійного струму паралельного збудження.....	35

6.4 Вказівки щодо звіту й підготовки до захисту лабораторної роботи.....	42
Перелік джерел посилань.....	45
Додаток А.....	47

## ВСТУП

Дисципліна «Електричні машини» у відповідності з навчальним планом вивчається студентами усіх спеціальностей і усіх форм навчання.

У дисципліні «Електричні машини» розглядаються питання призначення, конструкції та дії електричних машин і трансформаторів.

При роботі над матеріалом дисципліни необхідно користуватись конспектом лекцій, підручниками та методичними вказівками. Під час опрацювання та підготовки до лабораторних робіт обов'язково треба звернути увагу на питання для самоперевірки. Якщо відповіді на ці питання становлять труднощі, необхідно відповідну тему опрацювати по іншим підручникам або звернутися за консультацією до викладача. Відповіді на питання повинні бути математично обґрунтовані.

Під час установчої сесії студенти заочної форми навчання слухають лекції, виконують лабораторні роботи та вирішують задачі. Контрольну роботу виконують на протязі семестру. До екзаменаційної сесії студенти захищають лабораторні й контрольну роботи та отримують залік. Під час екзаменаційної сесії студенти здають іспит за розкладом.

## 1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1–С

### ВИВЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА ПРИНЦИПУ РОБОТИ СИНХРОННИХ МАШИН

#### 1.1 Мета роботи

Вивчити основні конструктивні елементи явно– й неявнополюсних синхронних машин; продемонструвати роботу синхронного генератора.

#### 1.2 Порядок виконання роботи

1.2.1 Вивчити устрій та призначення окремих елементів конструкції явно– й неявнополюсних синхронних машин з використанням стендів, плакатів, макетів, слайдів.

1.2.2 Записати номінальні дані синхронного генератора, вказані на заводському щиті, знайти їх сутність.

1.2.3 Ознайомитись з позначенням виводів обмоток статора й ротора, мегометром перевірити цільність фазних обмоток, порівняти позначення обмоток статора й ротора з позначеннями таких в асинхронних машинах.

1.2.4 Визначити число полюсів, виконання, засіб охолодження, тип підшипників, форму пазів статора, засіб збудження синхронного генератора.

1.2.5 Виконати ескізи основних частин і елементів конструкції синхронного генератора :

- а) статора;
- б) ротора;
- в) полюса ротора;
- г) штампованої пластини пакета статора;
- д) секції обмоток статора й ротора;
- е) клемної коробки;
- ж) щіткового апарату та вузла контактних кілець струмопроводу обмотки ротору;

1.2.6 Ознайомитись з роботою трифазної синхронної машини в режимі генератора.

- а) вивчити призначення машин в агрегаті;

- б) ознайомитись зі схемою на рис. 1.1;  
 в) засвоїти принцип роботи генератора;  
 г) здійснити пуск генератора за допомогою приводного двигуна постійного струму;

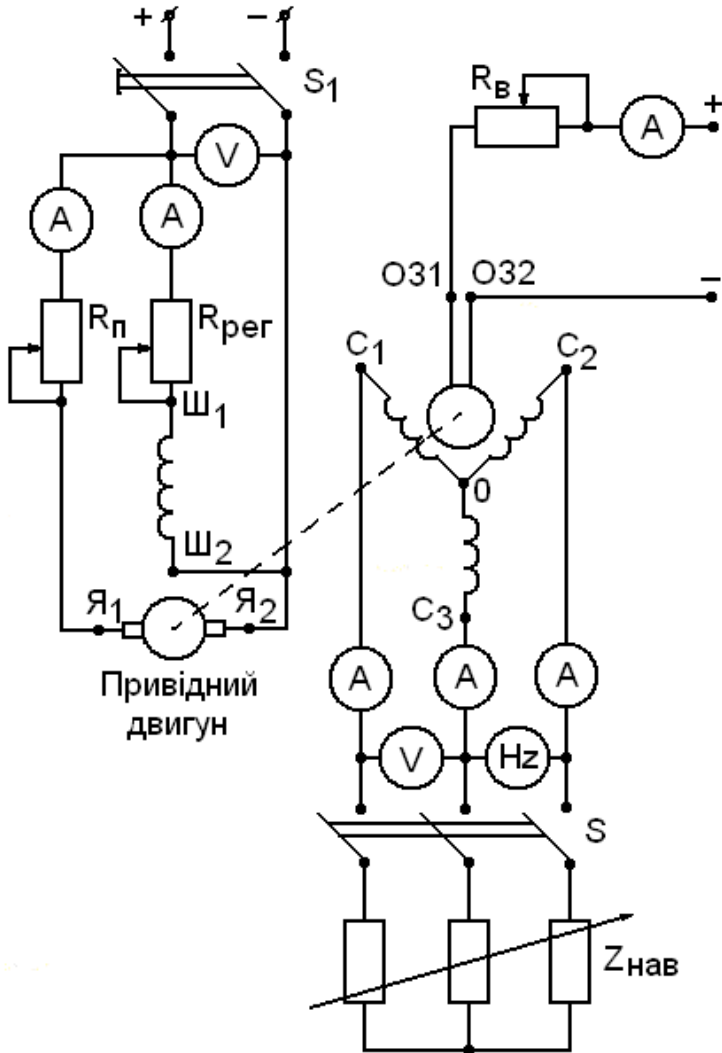


Рисунок 1.1 – Схема синхронного генератора

- д) збудити генератор;
- е) навантажити до номінального навантаження;
- ж) зупинити агрегат.

### **1.3 Вказівки щодо звіту та підготовки до захисту лабораторної роботи**

1.3.1 Звіт повинен мати:

- а) дані заводського щитка;
- б) ескізи основних вузлів, елементів конструкції синхронної машини;

в) схему вмикання генератора.

1.3.2 Питання для самостійної підготовки:

- 1 Принцип роботи синхронної машини.
- 2 Режим роботи синхронної машини (генератора, двигуна).
- 3 Устрій явнопольосних синхронних машин.
- 4 Устрій неявнопольосних синхронних машин.
- 5 Різниця в конструктивному виконанні ротора турбогенератора та гідрогенератора.
- 6 Призначення короткозамкненої обмотки на роторі синхронної машини.
- 7 Чому діаметр ротора потужних турбогенераторів різних номінальних потужностей має приблизно однакові значення: 1000–1200мм.
- 8 Чому ротор турбогенератора масивний, а ротор асинхронної машини шихтований?
- 9 Чому гідрогенератор має більший радіальний розмір, а турбогенератор – більший розмір вздовж осей при відносно малих інших габаритних розмірах?
- 10 Засоби збудження синхронних машин.
- 11 Можлива кількість контактних кілець синхронного генератора. На що вказує кількість контактних кілець ?
- 12 Конструкція генератора парасолькового типу.
- 13 Конструкція генератора підвісного типу.
- 14 Конструкція капсульного генератора.
- 15 Принцип роботи синхронного генератора з самозбудженням.
- 16 Способи охолодження синхронних генераторів.

## 2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2–С

### ВИПРОБУВАННЯ ТРИФАЗНОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

#### 2.1 Мета роботи

2.1.1 Зняття основних характеристик трифазного синхронного генератора.

2.1.2 Вивчення властивостей трифазного синхронного генератора за його характеристиками.

#### 2.2 Порядок виконання роботи

2.2.1 Визначити тип і призначення машини в агрегаті. Записати дані заводських щитків. Ознайомитися з особливостями конструкції синхронних машин.

2.2.2 Зібрати схему випробувань синхронного генератора з приводним двигуном постійного струму згідно рис. 2.1

2.2.3 Приводним двигуном привести до обертання ротор синхронного генератора до номінальної частоти обертання (номінальної частоти). Збудити генератор до номінальної напруги.

2.2.4 Зняти характеристику неробочого ходу

$$E_X = f(I_3)$$

$$\text{при } I_0 = 0; f = 50 \text{ Гц}; n_H = \text{const}$$

При знятті характеристики струм змінювати так, щоб одержати напругу на затискачах генератора в межах від мінімальної до перебільшуючої номінальну напругу на (10 – 20)%. Виконати 5 – 8 вимірювань, при цьому обов'язково виконати вимірювання для випадку номінальної напруги  $U_H$ . Дані вимірювань і розрахункові дані занести в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Дані вимірювань і розрахункові дані випробувань синхронного генератора у режимі неробочого ходу

№	Дані вимірювань				Розрахункові дані	
	$I_3$ , А	$E_X$ , В	$f$ , Гц	$n$ об/хв	$I_3$ , в.о.	$E_X$ , в.о.

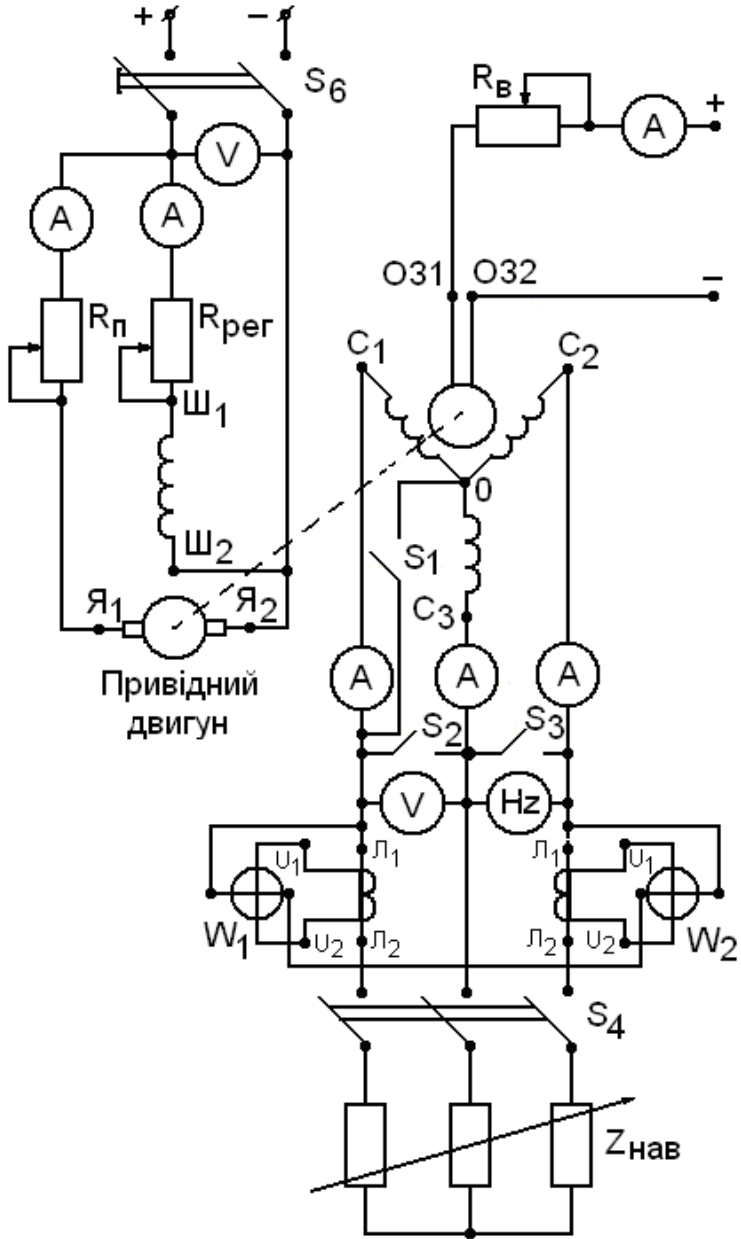


Рисунок 2.1 – Схема випробування синхронного генератора

При номінальній напрузі перевірити симетричність напруг між фазами. Викреслити характеристики х.х. випробуваного генератора та нормалізовану (табл. 2.2) в одній системі координат. Порівняти їх та зробити висновки. Характеристика випробуваного генератора не повинна відрізнятися від нормативної більше, ніж  $\pm 5\%$ .

Таблиця 2.2 – Нормалізовані характеристики х.х. синхронних генераторів

$I_3^*$	0,2	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	Примітки
$E_X^*$	0,2	0,58	1,0	1,21	1,33	1,4	Турбогенератор
$E_X^*$	0,2	0,53	1,0	1,23	1,3	–	Гідрогенератор

2.2.5 Зняти зовнішню характеристику  $U = f(I_a)$  при  $\cos \varphi = 1,0$ ,  $\cos \varphi = 0,8$ . При знятті зовнішньої характеристики для режиму підвищення напруги висхідним прийняти режим номінального навантаження генератора:  $U_H$ ;  $I_H$ ,  $I_{3H}$ , потім  $I_{3H} = \text{const}$  та  $n_H = \text{const}$  зменшити навантаження до нуля, при цьому виконати 5–8 вимірювань для чисто активного та активно-індуктивного ( $\cos \varphi = 1,0$ ,  $\cos \varphi = 0,8$ ) навантаження.

Дані вимірювань та розрахункові дані занести у табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Дані вимірювань та розрахункові дані для визначення зовнішньої характеристики синхронного генератора

№	Дані вимірювань							Розрахункові дані				
	U, В	$I_a$ , А	$I_3$ , А	$\alpha$ , діл	f, Гц	$\cos \varphi$	n, об/хв	S, ВА	P, Вт	$\cos \varphi$	$U^*$ , в.о.	$I^*$ , в.о.

За даними таблиці 2.3 побудувати зовнішню характеристику у відносних одиницях.

За зовнішньою характеристикою визначити процентне завищення напруги, яке одержується після скидання навантаження, при умові, що  $n = n_H = \text{const}$ ;  $I_3 = I_{3H} = \text{const}$ .

$$\Delta U\% = \frac{U_X - U_H}{U_H} \cdot 100\%, \quad (2.1)$$

де  $U_H$ ,  $U_X$  – відповідно номінальна напруга при номінальному навантаженні та напруга генератора н.х.

Процентне завищення напруги  $\Delta U$  має бути не більші 50%.

2.2.5 Зняти регулювальну характеристику  $I_3 = f(I_A)$  при  $U = U_H = const, n = n_H = const$  для випадку активного навантаження.

Струм навантаження змінювати в межах (0.2...1.25)  $I_H$ , виконати 5–8 замірів при цьому обов'язково виконати заміри для випадку номінального струму  $I_H$ . Дані вимірювань та розрахункові дані занести у табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Дані вимірювань та розрахункові дані для визначення регулювальної характеристики генератора

№	Дані вимірювань						Розрахункові дані				
	U, В	I <sub>я</sub> , А	I <sub>з</sub> , А	α, діл	f, Гц	cos φ –	S, ВА	P, Вт	cos φ –	I <sub>з*</sub> , в.о.	I <sub>я*</sub> , в.о.

За даними таблиці 2.4 побудувати регулювальну характеристику у відносних одиницях. За характеристиками визначити величину зміни струму збудження за (2.2), яка уявляє собою відношення струму збудження при номінальному режимі до струму при неробочому ході.

$$\Delta I_3 = \frac{I_{3H*}}{I_{3X*}}. \quad (2.2)$$

У табл. 2.3 – 2.4 прийняті такі позначення:

- $I_3$  – струм збудження, А;
- $E_X$  – ЕРС х.х. генератора, В;
- $f$  – частота струму статора, Гц;
- $n$  – синхронна частота (частота ротора), об/хв;
- $I_A$  – фазний струм статора, А;
- $U$  – лінійна напруга статора, В;
- $S$  – повна потужність генератора, ВА;
- $\alpha_1, \alpha_2$  – показання ватметра ділень;
- $P$  – активна потужність генератора, Вт;
- $C_W$  – постійна ватметра,  $C_W = \text{Вт}/\text{діл}$ ;
- $C_{TT}$  – коефіцієнт трансформації трансформатора струму,  $C_{TT} = 3$ ;
- $\cos \varphi$  – коефіцієнт потужності

Повна потужність генератора розраховується за формулою:

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I . \quad (2.3)$$

Активна потужність генератора розраховується за формулою:

$$P = (\alpha_1 \pm \alpha_2) \cdot C_W \cdot C_{TT} . \quad (2.4)$$

Коефіцієнт потужності розраховується за формулою:

$$\cos \phi = \frac{P}{S} . \quad (2.5)$$

### **2.3 Вказівки щодо звіту та підготовки до захисту лабораторної роботи**

2.3.1 Звіт повинен вміщувати:

- а) схеми, таблиці, розрахункові формули;
- б) графіки характеристик;
- в) визначення процентного підвищення напруги при спаданні навантаження та зміні струму збудження при номінальному режимі;
- г) короткі положення та аналіз одержаних результатів і характеристик, висновок про досліджений генератор.

2.3.2 Питання для самостійної підготовки:

- 1 Що таке ВКЗ синхронного генератора?
- 2 Як визначається зміна напруги синхронного генератора при зміні навантаження?
- 3 Чи можливо одержати абсолютно жорстку зовнішню характеристику синхронного генератора?
- 4 Як зміниться напруга синхронного генератора при вмиканні його на ємнісне навантаження?
- 5 Чому характеристика неробочого ходу нелінійна, а характеристика КЗ має лінійну залежність?
- 6 Що таке реакція якоря синхронного генератора та як вона впливає на його роботу?
- 7 Коли реакція якоря повздовжня, поперечна, намагнічуюча, розмагнічуюча?

### 3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3–С

#### ПАРАЛЕЛЬНА РОБОТА СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА З ПОТУЖНОЮ МЕРЕЖЕЮ

##### 3.1 Мета роботи

Вивчити засоби вмикання синхронного генератора на паралельну роботу з потужною мережею; можливості синхронного генератора віддавати активну або реактивну енергію (потужність) при паралельній роботі з мережею; зняти та вивчити характеристики синхронного генератора при паралельній роботі його з мережею.

##### 3.2 Короткі теоретичні відомості

Існує два методи вмикання генераторів на паралельну роботу з мережею точної та грубої синхронізації.

3.2.1 Умови вмикання синхронного генератора на паралельну роботу з мережею методом точної синхронізації:

а) ЕРС вмикаемого генератора  $E_G$  повинна дорівнювати напрузі мережі  $U_M$ ;

б) частота генератора  $f_G$  повинна дорівнювати частоті мережі  $f_M$ ;

в) послідовність чередування фаз генератора та мережі повинні бути однакові;

г) вектори ЕРС генератора  $E_G$  и напруги мережі  $U_M$  повинні знаходитись в протифазі.

3.2.2 Вмикання синхронного генератора на паралельну роботу з мережею методом синхронізації.

Безпосередньо перед вмиканням синхронного генератора на паралельну роботу з мережею необхідно перевірити виконання умов вмикання. Рівність ЕРС генератора й напруги мережі перевіряють вольтметром, рівність частот – частотоміром. Послідовність чередування фаз перевіряється фазовказувачем, зсув між векторами ЕРС генератора і напруги мережі – ламповим синхроскопом.

При точному виконанні вказаних умов можна вмикати синхронний генератор на паралельну роботу з потужною мережею.

До недоліків точної синхронізації можна віднести: складність схеми, довготривалість процесу та складність його автоматизації.

3.2.3 Вмикання синхронного генератора на паралельну роботу з мережею методом самосинхронізації.

У наш час цей метод має достатньо широке розповсюдження. Сутність його в наступному. Обмотка збудження закорочується на розрядний опір, а ротор приводиться в обертання. При частоті обертання ротора близької до синхронної, обмотка статора незбудженого генератора приєднується до загальних сумісних шин (на напругу мережі). При досягненні підсинхронної частоти обертання ротора, на обмотку ротора подається постійна напруга і вмикається розрядний опір. За рахунок взаємодії магнітних полів статора та обмотки збудження ротор починає обертатись синхронно з полем статора (втягується в синхронізм). Вмикання синхронного генератора з розімкнутим колом збудження не допускається, бо при цьому в обмотці збудження індуктується значна ЕРС, яка може здійснити пробивання ізоляції.

До недоліків методу самосинхронізації відносять значні коливання струму в момент вмикання.

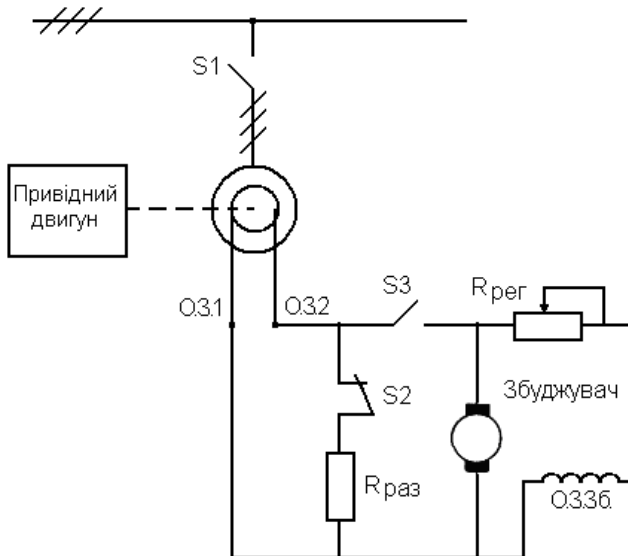


Рисунок 3.1 – Принципова схема вмикання синхронного генератора на паралельну роботу з мережею методом самосинхронізації

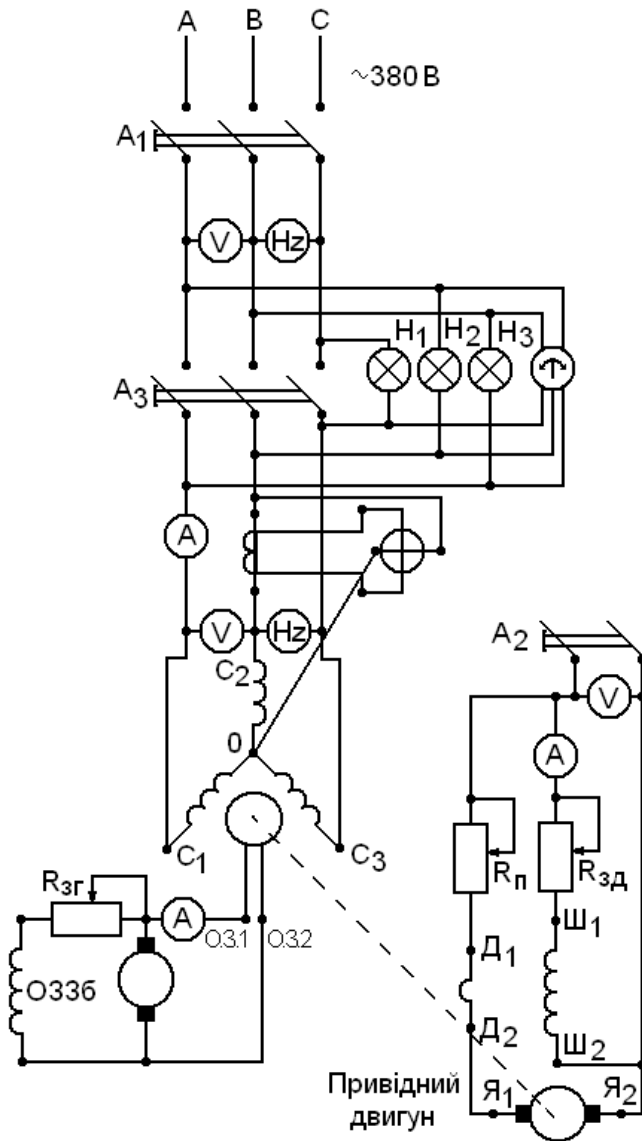


Рисунок 3.2 – Порядок вмикання синхронного генератора на паралельну роботу методом точної синхронізації

Послідовність операцій при вмиканні генератора за схемою (рис. 3.1) наведена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Послідовність операцій при вмиканні синхронного генератора на паралельну роботу методом самосинхронізації

Режим	Операція	Положення вимикачів		
		S1	S2	S3
Підготовчий	Обмотку збудження СГ ввімкнути на розрядний опір	вимкн.	ввімкн.	ввімкн.
Пусковий	Ротор СГ привести до обертання первинним двигуном	ввімки.	ввімки.	ввімкн.
Попередня синхронізація	Обмотку статора СГ підключити до збірних шин	ввімки.	ввімки.	вимкн.
Синхронізація	Обмотку збудження СГ підключити до збуджувача	ввімкн.	ввімкн.	ввімкн.
Робота	Вимкнути розрядний опір	ввімкн.	вимкн.	ввімкн.

### 3.3 Експериментальна частина роботи

3.3.1. Порядок вмикання синхронного генератора на паралельну роботу методом точної синхронізації.

Визначити тип і призначення машин в агрегатах. Записати дані заводських щитків машин, пускових та регульовальних апаратів, вимірювальних приладів.

Перевірити зібрану схему з наведеною на рис. 3.2 .

Підготувати схему до роботи: ввімкнути послідовно автомати, ввести пусковий реостат. За допомогою лампового синхроскопа та реостатів забезпечити виконання умов точної синхронізації. При найповільнішому обертанні світла на синхроскопі ввімкнути синхронний генератор на паралельну роботу з мережею.

Навантажити синхронний генератор активним та реактивним навантаженням.

Активне навантаження збільшується шляхом збільшення моменту первинного двигуна за рахунок збільшення кута вильоту ротора  $\theta$ . Реактивне навантаження здійснюється шляхом зміни струму збудження (зміною магнітного потоку синхронного генератора). Зміну активного навантаження контролювати ватметром, реактивного – амперметром в колі ротора генератора.

Зняти  $U$  – подібні криві синхронного генератора  $I = f(I_3)$ ; для значень активних навантажень  $(0; 0.1; 0.2) P_H$ .

Виконати вимірювання для кожної з  $U$  – подібних характеристик синхронного генератора.

Таблиця 3.2 – Результати зняття  $U$  – подібних характеристик синхронного генератора

№	Навантаження P, кВт	Дані вимірювань			Розрахункові дані			
		U, В	I, А	I <sub>3</sub> , А	cos φ	S, ВА	I <sub>a</sub> , А	I <sub>p</sub> , А
					–			

Розрахунок повної потужності синхронного генератора, ВА

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I, \quad (3.1)$$

де  $I$  – фазний струм статора, А,

$U$  – лінійна напруга статора, В.

Активна складова струму статора, А

$$I_a = I \cos \varphi. \quad (3.2)$$

Реактивна складова струму статора, А

$$I_p = I \sin \varphi. \quad (3.3)$$

Коефіцієнт потужності

$$\cos \phi = \frac{P}{S}. \quad (3.4)$$

### 3.4 Вказівки щодозвіту й підготовки до захисту лабораторної роботи

3.4.1 Звіт повинен вміщувати:

а) Схеми, розрахункові формули, таблиці;

б)  $U$  – подібні характеристики з поясненням їх спрощеними векторними діаграмами;

в) короткий опис виконаної роботи.

3.4.2 Питання для самостійної підготовки:

1 Назвіть умови вмикання синхронного генератора на паралельну роботу засобом точної синхронізації.

2 Чим викликається необхідність паралельної роботи синхронних генераторів?

3 Охарактеризуйте засоби вмикання синхронних генераторів на паралельну роботу.

4 Назвіть формулу електромагнітної потужності синхронного генератора та накресліть кутову характеристику.

5 Як навантажити синхронний генератор активною та реактивною потужністю?

6 Як перевести синхронний генератор в режим синхронного двигуна або синхронного компенсатора?

7 Накреслити  $U - \text{подібну}$  характеристику синхронного двигуна.

8 Фізична сутність кута вильоту ротора. Як він змінюється при зміні навантаження СГ, працюючого паралельно з мережею?

## 4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1–П

### ВИВЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ МАШИН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

#### 4.1 Мета роботи

Вивчити устрої окремих елементів (вузлів) машини постійного струму та машини в зборі; принцип роботи машини в режимах генератора й двигуна; продемонструвати роботу машини постійного струму в режимах генератора та двигуна; виміряти опори обмоток і ізоляції обмоток машини.

#### 4.2 Порядок виконання роботи

4.2.1 Вивчення устрою й принципу роботи машини:

- а) вивчити устрій і призначення окремих елементів машин постійного струму та машини в зборі;
- б) роздивитися устрій і принцип роботи машин при демонстрації навчального фільму;
- в) записати дані заводського щітка машини й усвідомити їхню сутність.

4.2.2 Визначити й записати параметри машини з указівкою числа:

- а) головних полюсів  $2p$ ;
- б) додаткових полюсів  $2p_d$ ;
- в) щіток на одному щітковому пальці;
- г) щіткових пальців;
- д) колекторних пластин, що перекриваються щіткою.

4.2.3 Зробити ескіз основних частин і елементів машини з вказівкою їх розмірів:

- а) статора (повздовжній і поперечний розрізи);
- б) якоря (повздовжній, поперечний розрізи й зубцові ділянки);
- в) головного полюса;
- г) додаткового полюса;
- д) секції якоря;
- е) колектора (повздовжній і поперечний розрізи);
- ж) щіткового апарата.



Зазначити найменування й призначення частин машини.

4.2.4 Накреслити схему з'єднання котушок головних полюсів між собою; підключити котушки головних полюсів до джерела постійного струму та визначити полярність головних полюсів за допомогою компаса або магнітної стрілки.

4.2.5 По покажчику напруги визначити затискачі обмоток машини та позначити їхніми буквами й індексами відповідно до таблиці 4.1.

4.2.6 Накреслити принципову схему з'єднання обмотки якоря з обмотками додаткових і головних полюсів.

Таблиця 4.1 – Позначення обмоток машин постійного струму

Найменування обмотки	Позначення виводів		Графічне позначення
	початок	кінець	
Обмотка паралельного або незалежного збудження (шунтова)	Ш1	Ш2	
Обмотка якоря	Я1	Я2	
Обмотка додаткових полюсів	Д1	Д2	
Послідовна обмотка збудження (серієсна)	С1	С2	
Компенсаційна обмотка	К1	К2	

4.2.7 Демонстрація роботи генератора постійного струму незалежного збудження:

а) ознайомитися з призначенням машин в агрегаті та зі збіраною схемою, засвоїти призначення апаратів і приладів у схемі;

б) засвоїти принцип роботи генератора;

в) здійснити пуск генератора;

г) збудити генератор;

д) навантажити генератор до номінального навантаження;

е) усвідомити засоби регулювання напруг генератора й навантаження.

4.2.8 Демонстрація роботи двигуна постійного струму паралельного збудження:

- а) ознайомитися з призначенням машин в агрегаті та з зібраною схемою;
- б) усвідомити призначення апаратів і приладів у схемі;
- в) засвоїти принцип роботи двигуна;
- г) здійснити пуск двигуна;
- д) навантажити двигун до номінального навантаження;
- е) усвідомити засоби регулювання частоти обертання якоря двигуна.

### **4.3 Вказівки щодо звіту й підготовки до захисту лабораторної роботи**

#### 4.3.1 Зміст звіту.

Звіт про лабораторну роботу повинен містити виклад матеріалу, зазначений у пп. 4.2.1 – 4.2.6 і висновок.

#### 4.3.2. Питання для самостійної підготовки:

- 1 Принцип роботи генератора.
- 2 Принцип роботи двигуна.
- 3 Призначення головних полюсів.
- 4 Призначення додаткових полюсів.
- 5 Призначення обмотки якоря.
- 6 Особливості ЕРС, яка індуктується в якорній обмотці машини постійного струму (МПС).
- 7 Призначення колектора та щіток у МПС.
- 8 Як визначити напрямок ЕРС у провідниках обмотки якоря при роботі машини в режимі генератора або в режимі двигуна, якщо задана полярність головних полюсів і напрямок обертання якоря?
- 9 Як визначити напрямок обертання якоря машини постійного струму при роботі в режимі двигуна, якщо задана полярність головних полюсів і напрямок струму в провідниках обмотки якоря?
- 10 Як регулюється напруга генератора?
- 11 Як регулюється швидкість обертання якоря двигуна?
- 12 Чому в машинах постійного струму ярмо (станина) виконується з суцільного металу, а полюса та якір – з листової сталі (шихтовані)?

## 5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2–П

### ВИПРОБУВАННЯ ГЕНЕРАТОРА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ПРИ НЕЗАЛЕЖНОМУ ТА ПАРАЛЕЛЬНОМУ ЗБУДЖЕННЯХ

#### 5.1 Мета роботи

Вивчити конструктивні особливості машини постійного струму; номінальні дані, зазначені на заводському щитку машини; фізичні процеси й властивості генератора постійного струму шляхом зняття характеристик неробочого ходу, зовнішніх, регульовальних і зробити їхній аналіз; за результатами випробувань оцінити досліджуваний генератор.

#### 5.2 Порядок виконання роботи

5.2.1 Записати дані заводського щитка випробуваного генератора, приводного двигуна та конструктивних особливостей випробуваної машини: число головних і додаткових полюсів, тип виконання (відкрита, захищена), засіб охолодження (природна, самовентильація, незалежна вентиляція), тип підшипників.

5.2.2 За допомогою вольтметра перевірити позначення затискачів обмоток на щитку генератора. Накреслити в звіті розташування затискачів на щитку машини та їхнє позначення.

5.2.3 Відповідно до номінальних даних генератора та схемою випробування підібрати вимірювальні прилади для зняття характеристик: неробочого ходу  $U_X = f(I_3)$ , зовнішньої  $U = f(I_A)$ , регульовальної  $I_3 = f(I_A)$ .

#### 5.3 Порядок виконання роботи при випробуванні генератора постійного струму незалежного збудження

5.3.1 Зібрати схему генератора постійного струму незалежного збудження (рис. 5.1) для зняття характеристик: неробочого ходу  $U_X = f(I_3)$ , зовнішньої  $U = f(I_A)$ , регульовальної  $I_3 = f(I_A)$ .

5.3.2 Перед умиканням схеми двигуна під напругу встановити ручку пускового реостата в ланцюзі якоря двигуна в положення

"Пуск" (при цьому опір пускового реостата цілком уведено), движок регулювального реостата в ланцюзі збудження двигуна – у положення, при якому опір реостата виведено (дорівнює нулю).

5.3.3 Зробити пробний пуск двигуна. Відповідно до стандарту пусковий струм повинний бути не більш  $2I_H$ . Збудити та навантажити генератор; переконатися, що стрілки приладів у схемах двигуна й генератора відхиляються в нормальне положення. У противному разі відключити двигун, дочекатися його повного припинення та зробити зміну полярності підключення приладів.

5.3.4 Встановити щітки в положення геометричної нейтралі методом найбільшої напруги при неробочому ході. При цьому якір генератора призвести в обертання з номінальною частотою обертання й збудити генератор приблизно до  $(0.5...0.8) U_H$ . Потім щітки разом із щітковою траверсою пересувати по напрямку обертання якоря генератора або проти обертання та встановити в положення, у якому вольтметр, залучений на затискачі якоря генератора, покаже найбільшу напругу. Це положення щіток і є положення на геометричній нейтралі. Закріпити щіткову траверсу в цьому положенні.

5.3.5 Зняти характеристику неробочого ходу:

$$U_X = f(I_3) \text{ при } I_A = 0; n = \text{const} = n_H.$$

При знятті характеристики вмикач ланцюга навантаження повинний бути відключений, якір генератора приведений в обертання приводним двигуном і обертатися з номінальною швидкістю.

Першу точку характеристики розрахувати при відключеному автоматі (рубильнику) ланцюга збудження, тобто при  $I_3 = 0$ . Якщо при цьому напруга на затискачах якоря генератора не дорівнює нулю, то це означає, що головні полюси мають залишковий магнітний потік. Включити автомат (рубильник) ланцюга збудження та зняти характеристику, поступово підвищуючи струм збудження до значення, при котрому  $U_X = (1.2...1.3)U_H$ . При цьому зробити 5 – 8 вимірів. Дані вимірів і розрахункові записати в табл. 5.1.

При заповненні табл. 5.1 у випадку відхилення частоти обертання якоря генератора  $n$  від номінальної частоти  $n_H$  вимірювану напругу неробочого ходу  $U'_X$  перерахувати на напругу неробочого ходу  $U_X$  при номінальній частоті обертання якоря за формулою:

$$U_X = U'_X \cdot n_H / n. \quad (5.1)$$

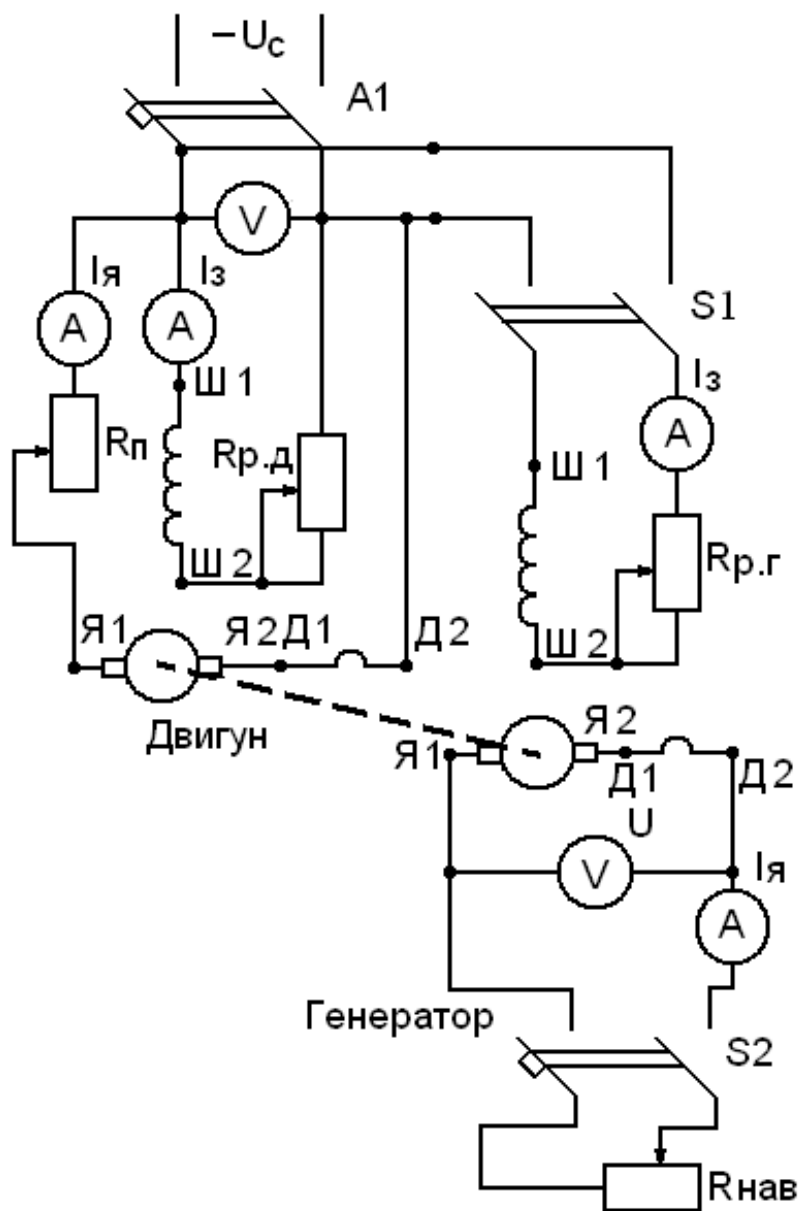


Рисунок 5.1 – Схема генератора постійного струму незалежного збудження з електроприводом (двигуном постійного струму)

Таблиця 5.1 – Дані вимірів і розрахункові дані характеристики неробочого ходи незалежного збудження

№	Дані вимірювань			Розрахункові дані		
	$U_X,$ В	$I_3,$ А	$n,$ об/хв	$U_X,$ В	$U_{*X}$ в.о.	$I_{*3},$ в.о.

Напруга генератора при неробочому ході, в.о.:

$$U_{*X} = U_X / U_H. \quad (5.2)$$

Струм збудження, в.о.:

$$I_{*3} = I_3 / I_{3XH} \quad (5.3)$$

де  $I_{3XH}$  – струм збудження при неробочому ході і  $U_X = U_H$ .

За розрахунковими даними табл. 4.1 побудувати характеристику неробочого ходу у відносних одиницях  $U_{*X} = f(I_{*3})$ .

На цій характеристиці відзначити номінальну напругу  $U_{*X} = 1$  і відповідний цій напрузі струм збудження  $I_{*3XH}$ . Пояснити закон зміни характеристики неробочого ходи  $U_{*X} = f(I_{*3})$ , використовуючи формулу ЕРС якоря генератора

$$E_{Я} = C_e \cdot n \cdot \Phi. \quad (5.4)$$

Проаналізувати вид характеристики неробочого ходу (по ділянках кривої). Визначити й оцінити коефіцієнт насичення магнітного кола генератора

$$K_{НАС} = F_{*X} / F_{*б} = I_{*3XH} / I_{*3б}, \quad (5.5)$$

де  $F_{*X}$  – МРС при  $U_{*X} = 1$ ;

$F_{*б}$  – МРС повітряного зазора при  $U_{*X} = 1$ ;

$I_{*3XH}$  – струм збудження, який відповідає  $F_{*X}$ ;

$I_{*3б}$  – струм збудження, який відповідає  $F_{*б}$

У машинах звичайного виконання  $K_{НАС} = 1.1 \dots 1.35$ .

4.3.6 Зняти зовнішню характеристику:

$$U = f(I_{Я}) \text{ при } I_3 = const; n = const = n_H.$$

Зняття зовнішньої характеристики зробити за схемою (рис.5.1) при включеному рубильнику навантаження. Якір генератора привести в обертання до номінальної швидкості, збільшити навантаження до номінального струму  $I_{Я} = I_H$  при номінальній напрузі  $U = U_H$ ; отриманий струм збудження прийняти за номінальний. Якщо при номінальному струмі якоря генератора неможливо одержати номі-

нальну напругу, реально отриману напругу при номінальному струмі прийняти за вихідну. Потім змінювати опір навантажувального реостата так, щоб струм навантаження змінювався приблизно через  $0.25I_H$  у межах  $(0...1.25)I_H$ . Дані вимірів і розрахункові записати в табл. 4.2. При цьому зробити 5 – 8 вимірів.

Таблиця 5.2 – Дані вимірів і розрахункові дані зовнішньої характеристики генератора незалежного збудження

№	Дані вимірювань				Розрахункові дані	
	U, В	I <sub>я</sub> , А	I <sub>з</sub> , А	n, об/хв	U* в.о.	I* <sub>я</sub> , в.о.

У табл. 5.2 прийнята такі позначення:

-  $U_* = U / U_H$  – напруга, в.о.;

-  $I_{*a} = I_a / I_H$  – струм навантаження (якоря), в.о.

Побудувати зовнішню характеристику у відносних одиницях. На характеристиці показати номінальні дані  $U_{*H}$  та  $I_{*H}$ . Визначити підвищення напруги при скиданні номінального навантаження

$$\Delta U_{\%} = (U_X - U_H) / U_H \cdot 100, \quad (5.6)$$

де  $\Delta U_{\%}$  звичайно знаходиться в межах  $(8-3)\%$ . Пояснити закон зміни характеристики, використовуючи рівняння рівноваги ЕРС якоря.

5.3.7 Зняти регульовальну характеристику:  $I_z = f(I_a)$  при  $U = const = U_H$ ;  $n = const = n_H$ .

Зняття регульовальної характеристики зробити за схемою (рис. 5.1) при включеному вимикачі навантаження. При  $I_a = I_H$  та  $n = n_H$  установити номінальну (або можливу) напругу на затискачах якоря генератора. Потім змінювати опір навантажувального реостата так, щоб струм навантаження змінювався в межах  $(0...1.25)I_H$  приблизно через  $0.25I_H$ . Одночасно регулювати струм збудження так, щоб напруга на затискачах якоря залишалася постійною. Дані вимірів і розрахункові записати в табл. 5.3. При цьому зробити 5 – 8 вимірів.

У табл. 5.3 прийняті такі позначення:

-  $I_{*z} = I_z / I_{zXH}$  – струм збудження, в.о.;

-  $I_{zXH}$  – струм збудження при неробочому ході і  $U_X = U_H$ .

Таблиця 5.3 – Дані вимірів і розрахункові дані регулювальної характеристики генератора незалежного збудження

№	Дані вимірювань				Розрахункові дані	
	U, В	I <sub>я</sub> , А	I <sub>з</sub> , А	n, об/хв	I* <sub>я</sub> , в.о.	I* <sub>з</sub> , в.о.

За розрахунковими даними табл. 5.3 побудувати регулювальну характеристику у відносних одиницях

$$I_{*з} = f(I_{*я}),$$

на якій показати номінальний струм  $I_{*я} = 1.0$  і відповідний йому струм збудження  $I_{*зН}$ . Обчислити відношення струму збудження до струму якоря:

$$I_{зН\%} = I_{зН} / I_{Н} \cdot 100. \quad (5.7)$$

Визначити ступінь регулювання струму збудження:

$$\Delta I_{3\%} = (I_{зН} - I_{зХ}) / I_{зХ} \cdot 100, \quad (5.8)$$

де  $I_{зН}$ ,  $I_{зХ}$  – струм збудження відповідно до номінального струму якоря і неробочого ходу.

Пояснити закон зміни характеристики, використовуючи рівняння ЕРС якоря генератора.

## 5.4 Порядок виконання роботи при випробуванні генератора постійного струму паралельного збудження

5.4.1 Зібрати схему генератора паралельного збудження (рис. 5.2) для зняття характеристик: неробочого ходу, зовнішньої і регулювальної. Привести якір генератора в обертання приводним двигуном (двигуном постійного струму). Перевірити умови самозбудження генератора (наявність залишкового потоку, напрямок обертання й ін.).

5.4.2 Зняти характеристику неробочого ходу:

$$U_X = f(I_Z) \text{ при } I_{НАВ} = 0; n = const = n_{Н.}$$

Характеристику зняти аналогічно характеристиці неробочого ходу генератора незалежного збудження. Перший вимір зробити при  $I_Z=0$  (при розімкненому ланцюгу збудження). Дані вимірів і розрахункові записати в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Дані вимірів і розрахункові дані характеристики неробочого ходу генератора паралельного збудження

№	Дані вимірювань			Розрахункові дані		
	$U_x,$ В	$I_3,$ А	$n,$ об/хв	$U_x,$ В	$U_{*x}$ в.о.	$I_{*3},$ в.о.

За розрахунковими даними табл. 5.4 побудувати харак–теристику неробочого ходу у відносних одиницях на одному рисунку з характеристикою неробочого ходу генератора незалежного збудження. На цій характеристиці показати номінальні  $U_{*x} = 1$  і  $I_{*3} = 1$ .

#### 5.4.3 Зняти і побудувати зовнішню характеристику

$$U = f(I_A) \text{ при } r_{ЛЗ} = \text{const}; n = \text{const} = n_H,$$

де  $r_{ЛЗ}$  – опір ланцюга збудження .

Характеристику зняти аналогічно зовнішній характеристиці генератора незалежного збудження. Дані вимірів і розрахункові записати в табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Дані вимірів і розрахункові дані зовнішньої характеристики генератора паралельного збудження

№	Дані вимірювань				Розрахункові дані	
	$U,$ В	$I_A,$ А	$I_3,$ А	$n,$ об/хв	$U^*$ в.о.	$I_{*я},$ в.о.

Побудувати зовнішню характеристику у відносних одиницях на одному рисунку з зовнішньою характеристикою генератора незалежного збудження. На характеристиці показати номінальні дані машин. Визначити підвищення напруги  $\Delta U\%$  і порівняти з  $\Delta U\%$  генератора незалежного збудження. Пояснити закон зміни характеристики, використовуючи рівняння рівноваги ЕРС якоря.

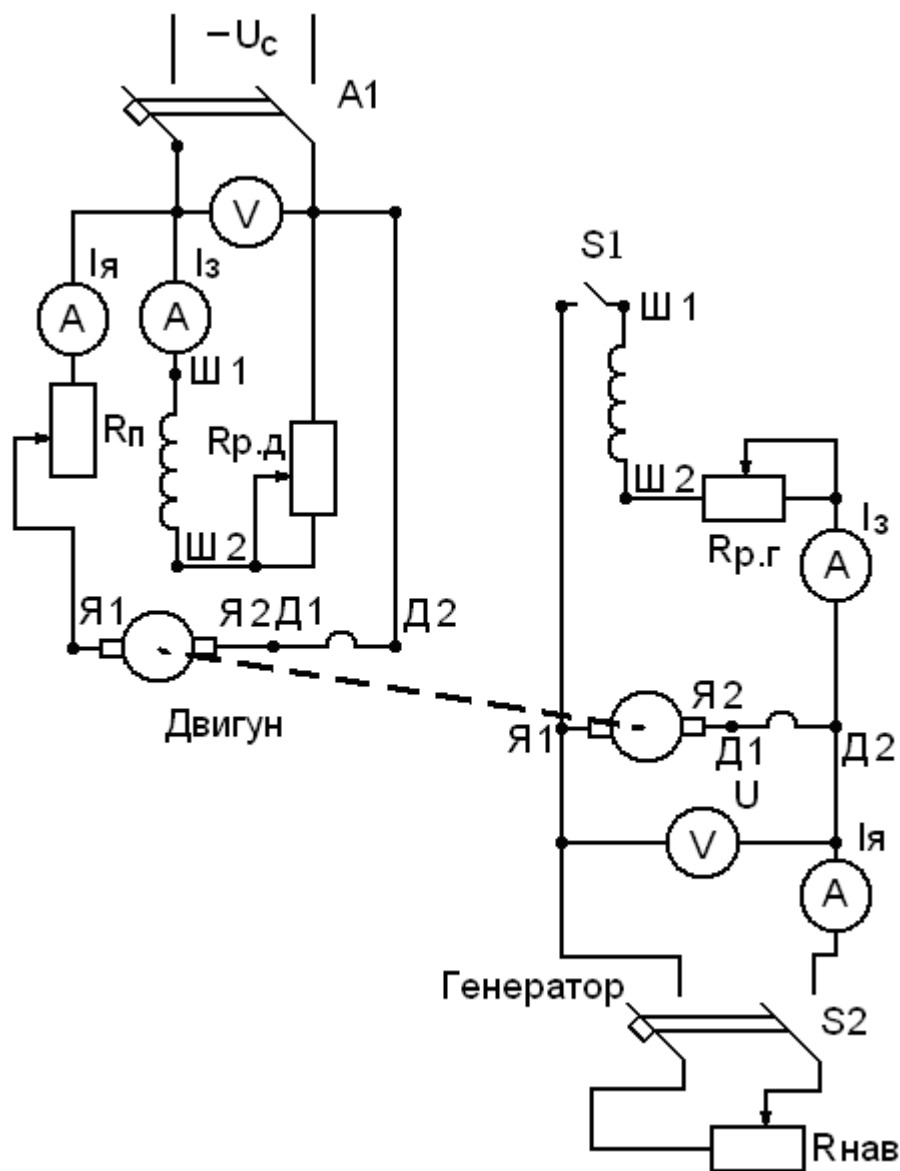


Рисунок 5.2 – Схема генератора постійного струму паралельного збудження з електроприводом (двигуном постійного струму)

#### 5.4.4 Зняти регулювальну характеристику:

$$I_3 = f(I_{я}) \text{ при } U = const = U_H; n = const = n_H.$$

Характеристику зняти аналогічно регулювальній характеристиці генератора незалежного збудження. Дані вимірів і розрахункові записати в табл. 5.6.

Таблиці 5.6 – Дані вимірів і розрахункові дані регулювальної характеристики генератора паралельного збудження

№	Дані вимірювань				Розрахункові дані	
	U, В	I <sub>я</sub> , А	I <sub>з</sub> , А	n, об/хв	I* <sub>я</sub> , в.о.	I* <sub>з</sub> , в.о.

Побудувати регулювальну характеристику у відносних одиницях на одному рисунку з регулювальною характеристикою генератора незалежного збудження.

На характеристиці показати номінальні дані. Пояснити закон зміни характеристики, використовуючи рівняння ЕРС якоря генератора.

Обчислити процентне відношення номінального струму збудження до номінального струму якоря:

$$I_{3H\%} = I_{3H} / I_H \cdot 100, \quad (5.9)$$

де  $I_{3H}$  – відповідає  $I = I_H$ . Порівняти  $I_{3H\%}$  із тим, що рекомендується в табл. 5.7.

Таблиця 5.7 – Рекомендовані значення  $I_{3H\%} = f(P_H)$

P <sub>H</sub> , кВт	0,5...20	2...5	5...10	10...20	20...50	50...100
I <sub>3H</sub> , %	8...10	7	5	4	3	0.5

Визначити ступінь регулювання струму збудження  $\Delta I_3\%$  при паралельному збудженні. Порівняти  $I_{3H\%}$  і  $\Delta I_3\%$  з відповідними даними, отриманими при незалежному збудженні.

## 5.5 Вказівки щодо звіту й підготовки до захисту лабораторної роботи

5.5.1 Зробити аналіз і висновки про випробовувану машину на підставі зведеної таблиці 5.8 основних експериментальних даних і даних заводського щитка генератора. У випадку відхилення даних випробувань від даних заводського щитка, пояснити їх (висловити можливі причини наявних відхилень).

Таблиця 5.8 – Основні дані випробувань і щитка машини

№	Найменування величини	Позначення	Одиниці виміру	Збудження	
				Незалежне	Паралельне
1	Тип машини				
2	Номінальна потужність	$P_H$	кВт		
3	Номінальна напруга	$U_H$	В		
4	Номінальний струм якоря	$I_H$	А		
5	Номінальна швидкість обертання якоря	$n_H$	об/хв		
6	Струм збудження при неробочому ході	$I_{3XH}$	А		
7	Струм збудження, $I_{3XH\%} = I_{3XH} / I_H \cdot 100$	$I_{3H\%}$	%		
8	Струм збудження при номінальному струмі якоря	$I_{3H}$	А		
9	Те ж	$I_{3H\%}$	%		
10	ККД	$\eta$	%		

### 5.5.2 Звіт повинен містити:

- а) схеми, таблиці з даними вимірів і розрахунковими, стислий опис виконаної роботи;
- б) накреслені характеристики у відносних одиницях за даними таблиць;
- в) таблицю, де порівнюються дані випробувань із даними заводського щитка;
- г) висновки про випробувану машину, що містять пояснення законів зміни характеристик із притягненням відповідних формул і пояснення можливих розбіжностей даних заводського щитка з даними випробувань.

### 5.5.3 Питання для самостійної підготовки:

- 1 Які умови повинні бути виконані для самозбудження генератора постійного струму.
- 2 Яким приладом контролюється самозбудження генератора?
- 3 Які фактори визначають зміну напруги на затискачах генератора незалежного і паралельного збуджень при зміні навантаження?
- 4 Як потрібно змінити струм збудження при збільшенні навантаження генератора, щоб напруга на затискачах залишалася постійною?
- 5 Чим пояснюється наявність напруги на затискачах генератора при розімкненому ланцюгу збудження?
- 6 Які властивості генератора визначаються за характеристикою неробочого ходу?
- 7 Що таке реакція якоря й як вона впливає на характеристики генератора?
- 8 Як впливає реакція якоря на ЕРС генератора?
- 9 Чому для генератора паралельного збудження не можна зняти зворотньої гілки характеристики неробочого ходу?
- 10 Чим пояснити те, що величина струму дослідного КЗ генератора паралельного збудження менше номінального значення?
- 11 Чому номінальна напруга генератора вище стандартної напруги споживачів?
- 12 Основні умови самозбудження й засоби їхнього визначення.
- 13 Що таке критичний опір ланцюга збудження генератора?
- 14 Чи залежить величина критичного опору ланцюга збудження від швидкості обертання якоря?

15 Як визначити геометричну та фізичну нейтралі генератора дослідним шляхом?

16 Чому зі збільшенням навантаження збільшується струм якоря?

17 Як регулюється напруга генератора?

18 Чи є генератор постійного струму перетворювачем частоти?

19 Напишіть і проаналізуйте рівняння рівноваги ЕРС якоря.

20 Що таке номінальна зміна напруги при скиданні навантаження генератора та чому в генератора паралельного збудження його величина більше, ніж у генератора незалежного збудження?

21 Чому при узгодженому вмиканні обмоток збудження генератора змішаного збудження зовнішня характеристика утворюється більш жорсткою, чим при зустрічному вмиканні обмоток збудження?

## 6 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3–П

### ВИПРОБУВАННЯ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

#### 6.1 Мета роботи

6.1.1 Вивчити засоби пуску, регулювання частоти обертання якоря двигуна і зміни напрямку обертання.

6.1.2 Побудувати характеристики за даними вимірів і проаналізувати їх, порівняти отримані при випробуванні дані з даними заводського щитка двигуна.

#### 6.2 Порядок виконання роботи

6.2.1 Визначити призначення машин в агрегаті.

6.2.2 Записати дані заводських щитків двигуна й навантажувального генератора. Визначити і записати конструктивні особливості випробуваного двигуна (число головних і додаткових полюсів, форму виконання, засіб охолодження, основні елементи щіткового апарата, тип підшипників). Перевірити позначення затискачів обмоток на щитку вольтметром або мегаомметром.

6.2.3 Підібрати вимірювальні прилади, пускові та регулювальні апарати для зняття характеристик:

- регулювальної  $n = f(I_3)$ ,
- швидкісної  $n = f(I_A)$ ,
- робочих  $n, I_A, P_1, M, \eta = f(P_2)$ .

#### 6.3 Порядок виконання роботи при випробуванні двигуна постійного струму паралельного збудження

6.3.1 Зібрати схему двигуна паралельного збудження (рис. 6.1) для зняття характеристик: регулювальної при неробочому ході, швидкісної та робочих.

6.3.2 Зробити пуск двигуна, при цьому встановити пусковий і регулювальний реостати в пускове положення. Ознайомитися з засобами регулювання частоти обертання якоря двигуна й зміни напрямку обертання якоря. Навантажити двигун до номінального на-

вантаження навантажувальним генератором постійного струму.

6.3.3 Визначити положення щіток на геометричній нейтралі "методом двигуна".

При струмі збудження  $I_3 = I_{3H}$  двигун навантажити до  $I = 0.5I_H$ , виміряти й записати частоту обертання якоря. Потім зупинити двигун, зробити в схемі зміни для зміни напрямку обертання якоря. Здійснити пуск, навантажити до 50% і виміряти частоту обертання якоря. Якщо частота обертання якоря однакова для прямого й зворотнього обертань, то щітки знаходяться на геометричній нейтралі. При нерівності частот прямого й зворотнього обертань якоря щіткову траверсу переміщати доти, поки не буде досягнута рівність частот.

6.3.4 Зняти регульовальну характеристику двигуна при неробочому ході:  $n = f(I_3)$  при  $U_C = const = U_H$ ;  $P_2 = 0$ .

При цьому струм збудження двигуна змінювати від найбільшої величини ( $R_{рл} = 0$ ) до найменшої, при якій частота обертання якоря двигуна буде не більше  $1.4n_H$  (припустимої по механічних параметрах і умовах комутації двигуна). Зробити 5 – 8 вимірів. Дані вимірів і розрахункові записати в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Дані вимірів і розрахункові дані регульовальної характеристики при неробочому ході двигуна паралельного збудження

№	Дані вимірювань				Розрахункові дані				
	U, В	I <sub>я</sub> , А	I <sub>з</sub> , А	n, об/хв	I* <sub>в</sub> , в.о.	n*, в.о.	P <sub>з</sub> , Вт	P <sub>яx</sub> , Вт	P <sub>x</sub> , Вт

У табл. 6.1 прийняти такі позначення:

-  $I_{*3} = I_3 / I_{3XH}$  – струм збудження, в. о.,

де  $I_{3XH}$  – струм збудження при  $U = U_H$ ,  $n = n_H$ ,  $P_2 = 0$ ;

-  $n_* = n / n_H$  – частота обертання якоря;

-  $P_3 = U \cdot I_3$  – потужність ланцюга збудження, Вт;

-  $P_{яx} = U \cdot I_я$  – потужність, яка підведена до якоря двигуна, що в основному визначається потужністю механічних втрат і втратами в сталі якорі при  $R_{л} = 0$ , Вт.



-  $P_X = P_3 + P_{ЯХ}$  – потужність неробочого ходу двигуна, Вт.

За розрахунковими даними табл. 6.1 на одному рисунку побудувати характеристики:

- регульовальну  $n_* = f(I_{*3})$ ;

- потужностей при неробочому ході  $P_3, P_{ЯХ}, P_X = f(I_{*3})$ .

На характеристиках відзначити номінальні дані (дані при  $I_{*3} = I$ ).

6.3.5 Зняти природну швидкісну характеристику двигуна паралельного збудження:  $n = f(I_Я)$  при  $I_3 = const = I_{3Н}; U_C = const = U_H; R_{П} = 0$ .

Встановити пусковий і регульовальний реостати в пускове положення та зробити пуск двигуна. Вивести пусковий реостат. Двигун навантажити генератором постійного струму. Встановити номінальний струм збудження двигуна. Для цього при номінальних напрузі  $U = U_H$  та струмі двигуна  $I = I_H$  установити струм збудження такого значення, при якому частота обертання якоря  $n = n_H$ .

При знятті характеристики струм якоря двигуна змінювати від струму неробочого ходу до  $1.25I_H$  приблизно через  $0.25I_H$  при виведеному пусковому реостаті. Дані вимірів і розрахункові дані записати в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Дані вимірів і розрахункові дані природної швидкісної характеристики двигуна постійного струму паралельного збудження

№	Дані вимірювань				Розрахункові дані	
	U, В	I <sub>я</sub> , А	I <sub>3</sub> , А	n, об/хв	I* <sub>я</sub> , в.о.	n*, в.о.

З табл. 6.2  $I_{*Я} = I_Я / I_H; n_* = n / n_H$ .

6.3.6 Зняти реостатну швидкісну характеристику:  $n = f(I_Я)$  при  $I_3 = const = I_{3Н}; U_C = const = U_H; R_{П} = const > 0 (=50\%)$ .

Дані вимірювань і розрахункові дані записати в табл. 6.3.

Таблиця 6.3 – Дані вимірювань і розрахункові дані швидкісної реостатної характеристики при  $R_{II} = 50\%$

№	Дані вимірювань				Розрахункові дані	
	U, В	I <sub>я</sub> , А	I <sub>з</sub> , А	n, об/хв	I* <sub>я</sub> , в.о.	n*, в.о.

6.3.7 Зняти штучну швидкісну характеристику:  $n = f(I_{я})$  при  $I_{з} = 0.8I_{зН}$  (при послабленому магнітному полі);  $U_C = const = U_H$ ;  $R_{II} = 0$ .

Дані вимірів і розрахункові записати в табл. 6.4.

Таблиця 6.4 – Дані вимірів і розрахункові дані штучної швидкісної характеристики

№	Дані вимірювань				Розрахункові дані	
	U, В	I <sub>я</sub> , А	I <sub>з</sub> , А	n, об/хв	I* <sub>я</sub> , в.о.	n*, в.о.

6.3.8 За даними табл. 6.2 – 6.4 на одному рисунку накреслити при–родну, реостатну й штучну швидкісні характеристики у відносних одиницях. На характеристиках відзначити швидкості обертання, що відповідають номінальному струму якоря  $I_{*я} = I$ , записати їх у звіт у відносних і абсолютних одиницях.

Використовуючи формули, пояснити закон зміни швидкісних характеристик.

Для природної швидкісної характеристики визначити зміну частоти обертання якоря при переході від неробочого ходу до режиму номінального навантаження ( $I_{я} = I_H$ ) за формулою:

$$\Delta n_{\%} = \frac{n_X - n_H}{n_H} \cdot 100. \quad (6.1)$$

Порівняти отримане значення  $\Delta n_{\%}$  із звичайним, що знаходиться в межах 8 – 3%, де більше значення ставиться до машин малої потужності. Зазначити параметри, що впливають на  $\Delta n_{\%}$ .

Дані, отримані в цьому пункті, і їхній аналіз обов'язково повинні бути відображені у висновках до звіту про лабораторну роботу.

6.3.9 Методом двох однакових машин зняти характеристики двигуна:

- робочі  $n, I_{Я}, P_1, M_2, \eta = f(P_2)$
- механічну  $n = f(M_2)$
- моментну  $M_2 = f(I_{Я})$

при  $U_C = const = U_H; I_3 = const = I_{3H}; R_{П} = 0$

Метод двох однакових машин полягає в тому, що двигун навантажують генератором, який уявляє собою аналогічний двигун, тільки працюючий у режимі генерації. Тому п.6.3.9 виконується в тому випадку, якщо в установці, зібраної за схемою (рис. 6.1), використовуються однакові машини.

При знятті характеристик струм якоря змінювати від струму неробочого ходу до  $1.25I_H$  приблизно через  $0.25I_H$ .

Дані вимірів записати в табл. 6.5.

Таблиця 6.5 – Дані вимірів механічної, моментної та робочих ха–рактеристик двигуна постійного струму

№	Дані двигуна				Дані генератора		
	$U_C,$ В	$I_{Я},$ А	$I_3,$ А	$n,$ об/хв	$U_{Г},$ В	$I_{Г},$ А	$I_{3Г},$ А

Розрахункові дані записати в табл. 6.6.

Таблиця 6.6 – Розрахункові дані робочих, механічної та моментної характеристик двигуна постійного струму

$P_1,$ Вт	$P_{Г},$ Вт	$\eta,$ в.о.	$P_2,$ Вт	$M_2,$ Нм	$n^*,$ в.о.	$I^*_{Я},$ в.о.	$P^*_{1},$ в.о.	$P^*_{2},$ в.о.	$M^*_{2},$ в.о.

У табл. 6.6 розрахункові дані обчислюються за формулами (6.2) – (6.11)

Потужність, яка підведена до двигуна, Вт

$$P_1 = U_C \cdot (I_{Я} + I_3). \quad (6.2)$$

Потужність, що віддається генератором, Вт

$$P_G = U_G \cdot I_G \quad (6.3)$$

ККД машини постійного струму за умови, що ці машини однакові, в.о.

$$\eta = \sqrt{\frac{P_G}{P_1}} \quad (6.4)$$

Корисна потужність на валу двигуна, Вт

$$P_2 = P_1 \cdot \eta \quad (6.5)$$

Момент на валу двигуна, Нм

$$M_2 = 9.55 \cdot P_2 / n. \quad (6.6)$$

Момент, в.о.

$$M_{*2} = M_2 / M_{2H}. \quad (6.7)$$

У відносних одиницях:

$$n_* = n / n_H, \quad (6.8)$$

$$I_{*Я} = I_{Я} / I_H, \quad (6.9)$$

$$P_{*1} = P_1 / P_{2H}, \quad (6.10)$$

$$P_{*2} = P_2 / P_{2H}. \quad (6.11)$$

де  $n_H, I_H, P_{2H}$  – дані заводського щитка двигуна;

$M_{2H}$  – обчислюється за даними заводського щитка двигуна.

За даними табл. 6.6 на одному рисунку побудувати робочі характеристики у відносних одиницях  $n_*, I_{*Я}, P_{*1}, M_{*2}, \eta = f(P_{*2})$ .

На цьому рисунку показати дані, відповідні  $P_{*2} = 1$ . Це будуть номінальні дані у відносних одиницях, отримані за результатами випробувань. Перевести їх в абсолютні одиниці й записати в табл. 6.7. На другому рисунку накреслити механічну характеристику  $n_* = f(M_{*2})$ . Показати на ній  $n_*$ , що відповідає  $M_{*2} = 1$ , перевести в абсолютні одиниці та записати в табл. 6.7.

На третьому рисунку побудувати моментну характеристику  $M_{*2} = f(I_{*Я})$ . Показати на ній  $M_{*2}$ , що відповідає  $I_{*Я} = 1$  перевести в абсолютні одиниці й записати в табл. 6.7.

За рисунками пояснити закон зміни робочих, механічної й моментної характеристик, використовуючі для пояснення необхідні формули.

Якщо є розбіжності в даних, приведених у табл. 6.7, треба їх пояснити (висловити можливі причину розбіжностей). Аналіз даних табл. 6.7 із поясненням причин розбіжностей обов'язково повинен бути відображений у висновках, зроблених у лабораторній роботі.

Таблиця 6.7 – Номінальні дані щитка двигуна постійного струму й номінальні дані, отримані при випробуваннях

Параметри	Одиниці	Номінальні дані		Відхилення, %	Примітка
		вимірів	щитка		
$I_H$	А				За результатами побудови робочих характеристик
$n_H$	об/хв				
$P_{1H}$	кВт				
$\eta$	в.о.				
$M_{2H}$	Нм				
$n_H$	об/хв				З механічної характеристики
$M_{2H}$	Нм				З моментної характеристики

## 6.4 Вказівки щодо звіту й підготовки до захисту лабораторної роботи

6.4.1 Зробити висновки про результати випробувань двигуна постійного струму за даними таблиць і характеристик порівнянням номінальних даних із даними заводського щитка.

Якщо є відхилення між даними випробувань і даними заводського щитка, то їх варто пояснити.

6.4.2 Звіт повинен містити:

- а) схеми, таблиці з даними вимірів і розрахунковими;
- б) характеристики з указівкою номінальних розмірів;
- в) пояснення законів зміни характеристик із застосуванням відповідних формул;
- г) висновки.

#### 6.4.3 Питання для самостійної підготовки:

- 1 Призначення пускового реостата в ланцюгу якоря двигуна.
- 2 Призначення регулювального реостата в ланцюгу збудження.
- 3 Основні засоби регулювання частоти обертання двигуна постійного струму паралельного збудження.
- 4 Як змінити напрямок обертання двигуна?
- 5 Що відбудеться з двигуном паралельного збудження при обриві ланцюга якоря?
- 6 Що розуміють під робочими характеристиками двигуна?
- 7 Що розуміють під регульовальними характеристиками двигуна постійного струму?
- 8 Що розуміють під швидкісними характеристиками двигуна постійного струму?
- 9 Яка характеристика називається природною?
- 10 Що таке штучна характеристика?
- 11 Що таке реакція якоря й як вона впливає на характеристики двигуна?
- 12 Як зміниться частота обертання якоря двигуна при зсуві щіток із геометричної нейтралі по напрямку обертання якоря та проти нього?
- 13 Чому бажано, щоб щітки двигуна знаходилися на геометричній нейтралі?
- 14 Чому зі збільшенням навантаження на валу двигуна збільшується струм якоря?
- 15 Чому при пуску двигуна зі збільшенням частоти обертання якоря струм якоря зменшується?
- 16 Чи зміниться струм якоря двигуна, що працює при постійному моменті навантаження на валу, якщо ввести додатковий опір у ланцюг якоря?
- 17 Як змінюється напруга на затискачах якоря двигуна при пуску?
- 18 Як класифікуються двигуни постійного струму?
- 19 Чому двигун послідовного збудження не можна запускати без навантаження на валу?
- 20 Чому для двигуна послідовного збудження не знімається регульовальна характеристика?
- 21 Чому двигун послідовного збудження застосовується там, де необхідний великий пусковий момент?

22 Опишіть переваги і хиби двигуна змішаного збудження в порівнянні з двигунами інших засобів збудження.

23 Що таке узгоджене й зустрічне вмикання обмоток збудження двигуна змішаного збудження? Як це впливає на роботу двигуна та його характеристики?

24 Порівняйте двигуни паралельного, послідовного та змішаного збуджень за їхніми регульовальними властивостями.

25 Опишіть види втрат у колекторних машинах постійного струму.

26 При яких умовах ККД машини постійного струму стає максимальним?

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1 Метельський В.П. Електричні машини і мікро машини : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / В.П.Метельський//Монографія, з грифом МОН України, Запоріжжя, ЗНТУ. –2010.– С.660.

2 Красніков В.М. Електричні машини. Електромеханічні перетворювачі енергії. / В.М.Красніков, В.М.Сулейманов, О.М. Давидов – К.: Норіта–плюс, 2007.

3 Електричні машини і трансформатори /підручник за заг. Ред. В. І. Мілих. – Х.: ХП, 2017. – 452 с.

4 Куценко Ю.М. Електричні машини і апарати: навчальний посібник / Ю.М. Куценко, В.Ф. Яковлев та ін. – К.: 2011. – 449 с.

5 Яцун М.А. Електричні машини: Навч. посібник. – Львів, Львівська політехніка, 2004 – 440 с.

6 Осташевський М. О. 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.

7 СТП 15–96 Стандарт підприємства. Пояснювальна записка до курсових і дипломних проектів. Вимоги і правила оформлення. – Запоріжжя: ЗДТУ, 1996. – 36 с.

8 Заблодський М.М. Електричні машини змінного струму: навчальний посібник / М.М. Заблодський, Р.М. Чуєнко, В.В. Васюк – К.: ЦП «Компрінт», 2018. – 514 с.

9 Загірняк М.В. Електричні машини: підручник / М.В. Загірняк, Б.І. Невзлін. – К.: Знання, 2009. – 399 с

10 Белікова Л.Я. Електричні машини: навчальний посібник для студентів вищих навч. закладів / Л.Я. Белікова, В.П. Шевченко. – О.: Наука і техніка, 2012. – 480 с.

11 Чуєнко Р.М. Електричні машини: навчальний посібник / Р.М. Чуєнко. К.: Видавництво "Компрінт", 2017. – 462 с.

12 Чуєнко М.О. Практикум з електричних машин: навчальний посібник / М.О. Чуєнко, Р.М. Чуєнко, О.В. Санченко. – Ніжин: Видавець ПП Лисенко М.М., 2014. – 320 с.

13 Грабко В. В. Експериментальні дослідження електричних машин. Частина І. Машини постійного струму: навчальний посібник / Грабко В. В., Розводюк М. П., Грабенко І. В. – Вінниця:ВНТУ, 2005. – 86 с.

14 Машины постоянного тока. Синхронные машины. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине „Электрические машины”/ Сост. А.Н. Андриенко, В.П. Пьянков, К.А. Махача-швили, Д.А. Горбунцов. – Запорожье: ЗМИ, 1990. – 80 с.

Додаток А

**ЗРАЗОК ОФОРМЛЕННЯ ТИТУЛЬНОГО АРКУША ДО ЗВІТУ  
З ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ**

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Кафедра „Електричні машини”

**Звіт**  
з лабораторної роботи

На тему: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

з дисципліни „ Електричні машини”

Виконав: студент групи \_\_\_\_\_ електротехнічного факультету

\_\_\_\_\_  
(прізвище, ім`я, по батькові студента, підпис, дата)

Прийняв: \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім`я, по батькові викладача, підпис, дата)