

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт
з дисципліни «Електричні машини»
для студентів спеціальності
G3 «Електрична інженерія»

(освітні програми «Електротехнічні системи електроспоживання»,
«Енергетичний менеджмент», «Електропривод та системи керування»,
«Електричні та електронні апарати», «Обладнання та інформаційні
технології енергоємних виробництв»)
усіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Електричні машини» для студентів спеціальності G3 «Електрична інженерія» усіх форм навчання /Укл.: Т.Є. Дівчук, Д.О. Літвінов, С.О. Лапкіна – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2025. – 57 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 07.11.2025 р.

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

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1 Лабораторна робота 1–Т.....	6
1.1 Мета роботи.....	6
1.2 Порядок виконання роботи.....	6
1.3 Вказівки щодо звіту та підготовки до захисту лабораторної роботи.....	13
2 Лабораторна робота 2–Т.....	14
2.1 Мета роботи.....	14
2.2 Порядок виконання роботи.....	14
2.3 Вказівки щодо звіту та підготовки до захисту лабораторної роботи.....	23
3 Лабораторна робота 1–П.....	25
3.1 Мета роботи.....	25
3.2 Порядок виконання роботи.....	25
3.3 Вказівки щодо звіту й підготовки до захисту лабораторної роботи.....	27
4 Лабораторна робота 2–П.....	28
4.1 Мета роботи.....	28
4.2 Порядок виконання роботи.....	28
4.3 Порядок виконання роботи при випробуванні генератора постійного струму незалежного збудження.....	28
4.4 Порядок виконання роботи при випробуванні генератора постійного струму паралельного збудження.....	33

4.5 Вказівки щодо звіту й підготовки до захисту лабораторної роботи.....	37
5 Лабораторна робота 1–С.....	40
5.1 Мета роботи.....	40
5.2 Порядок виконання роботи.....	40
5.3 Вказівки щодо звіту та підготовки до захисту лабораторної роботи.....	42
6 Лабораторна робота 2–С.....	43
6.1 Мета роботи.....	43
6.2 Порядок виконання роботи.....	43
6.3 Вказівки щодо звіту та підготовки до захисту лабораторної роботи.....	47
7 Лабораторна робота 1–А.....	48
7.1 Мета роботи.....	48
7.2 Порядок виконання роботи.....	48
7.3 Вказівки щодо звіту й підготовки до захисту лабораторної роботи.....	50
8 Лабораторна робота 2–А.....	51
8.1 Мета роботи.....	51
8.2 Порядок виконання роботи.....	51
8.3 Вказівки щодо звіту й підготовки до захисту лабораторної роботи.....	55
Перелік джерел посилань.....	57

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–Т

ВИЗНАЧЕННЯ ОРІЄНТОВАНИХ ПАСПОРТНИХ ДАНИХ ТРЬОХФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

1.1 Мета роботи

Вивчити будову окремих елементів (вузлів) трансформатора і машини в цілому; визначити орієнтовані паспортні данні трансформатора за геометричними розмірами магнітного кола та обмоток трансформатора.

1.2 Порядок виконання роботи

1.2.1 Визначити і записати параметри трансформатора:

- а) кількість фаз трансформатора;
- б) кількість обмоток на стрижні;
- в) спосіб охолодження;
- г) тип трансформатора.

1.2.2 Накреслити ескіз магнітного кола трансформатора.

а) накреслити ескізи перерізу стрижня і ярма, вказати розміри, розрахувати їх площу з точністю до 1см^2 визначити співвідношення перерізу ярма і перерізу стержня Пс/Пя.

б) виміряти товщину листів трансформаторної сталі магнітопроводу, вказати спосіб шихтовки та опресовки магнітної системи.

1.2.3 Накреслити ескізи обмоток, розташованих на одному стрижні. На ескізі вказати основні розміри: висоту, діаметри, радіальні розміри обмоток і каналів. Вказати тип, марку і клас ізоляції проводу обмоток.

1.2.4 Визначити зажими фазних обмоток за допомогою мегометра.

1.2.5 Визначити однополярні зажими фазних обмоток індуктивним методом за допомогою джерела постійного струму та магнітоелектричного приладу .

При полярності, вказаній на схемі 1.1 і при включенні вмикача S стрілка гальванометра повинна відхилитись на право, в цьому випадку зажими А і а – однополярні.

1.2.6 Виміряти мегометром опір ізоляції обмоток стягуючих бо-

лтів ярмових балок. Данні вимірювань записати в табл. 1.1, при цьому опір ізоляції болтів заносити в останню графу, вибираючи болти в довільному порядку.

Таблиця 1.1 – Опір ізоляції обмоток і елементів конструкції і магнітної системи

Обмотка ВН Зосереджена (земля)	Обмотка НН Зосереджена (земля)	Між обмотками	Між фазними обмотками ВН	Між фазними обмотками НН	Стягувальний болт зосереджений
A – з	a – з	A – a	A – B	a – в	
B – з	d – з	B – в	B – C	b – с	
C – з	c – з	C – с	C – A	c – a	

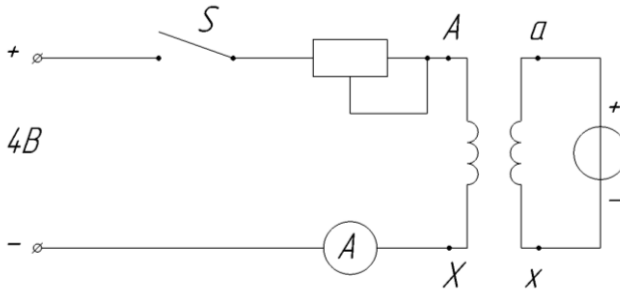


Рисунок 1.1 – Схема для знаходження однополярних зажимів обмоток Трансформатора

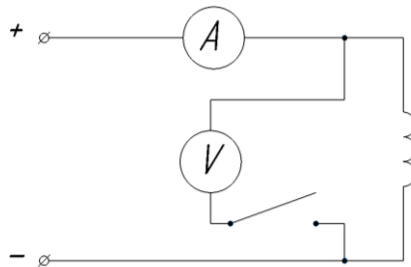


Рисунок 1.2 – Схема вимірювання омичного опору фазних обмоток

1.2.7 Виміряти омичний опір фазних обмоток трансформатору постійним струмом методом падіння напруги згідно схеми 1.2. Ввімкнути тумблер Т13 (в положенні 1 вимірюється опір обмотки ВН , в положенні 2 – опір обмотки НН) та Т14.

Якщо розрахункове значення вимірюваного опору складає 0–5% і більше опору вольтметра, значення визначаємого опору:

$$R' = R \cdot \frac{1}{1 - \frac{R}{R_v}}, \quad (1.1)$$

де R – опір, розрахований згідно вимірянним значенням струму та напруги. Ом,

R_v , – опір вольтметра, Ом.

При вимірюваннях вольтметр вмикають при встановившихся показниках амперметру.

При вимірюванні опору враховувати температуру обмоток, при якій проводиться вимірювання. Для сухих трансформаторів, які знаходяться в приміщенні з незмінною температурою повітря, за температуру обмотки взяти температуру зовнішнього повітря, виміреного при температурі зовнішнього середовища, до номінальної температури + 75°C.

Омичний опір повинен бути $r_{0,AX} \approx r_{0,ВУ} \approx r_{0,СЗ}$ і не повинні відрізнятися по фазам більше, ніж на $\pm 5\% \cdot r_{сеп}$.

Опір обмоток трансформатора привести до температури +75°C:

$$r_{сеп. раб.} = \frac{r_{сеп. окр.} (\Theta + 75^\circ)}{\Theta + \Theta_{окр.}} \quad (1.2)$$

де $r_{сеп. раб}$ – середній опір фазної обмотки трифазного трансформатора при номінальній робочій температурі +75°C;

$r_{сеп. окр}$ – теж при температурі навколишнього середовища, визначене як середнє арифметичне, наприклад для обмотки ВН ;

Θ – коефіцієнт, залежний від матеріалу обмоток.

$\Theta_{окр.}$ – температура навколишнього середовища, °С.

Для міді $\Theta=234,5^\circ\text{C}$, для алюмінію $\Theta=245^\circ\text{C}$;

Виміряні і розрахункові данні записати в табл. 1.2. В табл. 1.2 $r_{окр}$ – опір відповідної фазної обмотки при температурі навколишнього середовища.

Таблиця 1.2 – Виміряні і розрахункові омичні опори фазних обмоток

Параметри	Одиниця	Фазні обмотки напруги						Температура навколишнього середовища
		A-X	B-Y	C-Z	a-x	b-y	c-z	
U	В							
I	А							
$\Gamma_{\text{окр.}}$	ОМ							
$\Gamma_{\text{сер.окр.}}$	ОМ							
$\Gamma_{\text{сер.раб.}}$	ОМ							

1.2.8. Визначити число витків і ЕРС фазних обмоток. При визначенні числа витків на одному з стержнів на обмотку вищої напруги намотана додаткова обмотка з числом витків $W_{\text{дод.}} = 10$. Зібрати схему (рис. 2.3) і провести вимірювання. Ввімкнути автомати А1, А2, А3, АП3, АП4, АП5.

Тумблери Т9, Т11 та Т15 ввімкнути в положення 1 (фазне). Після перевірки схеми викладачем ввімкнути автомат АП1. Виміряні та розрахункові данні записати в таблицю 1.3.

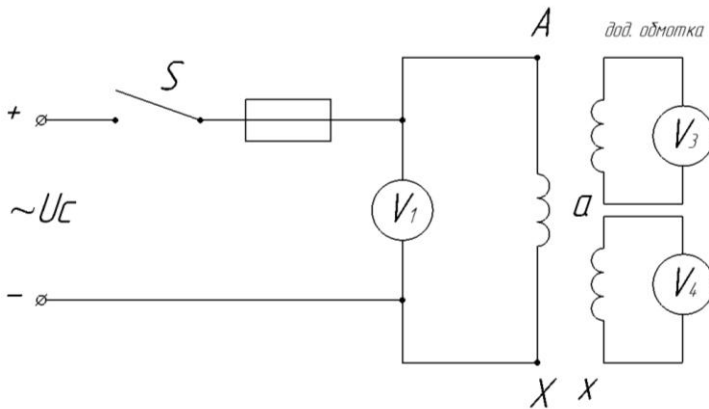


Рисунок 1.3– Схема для визначення числа витків обмоток трансформатора

Таблиця 1.3 – Данні вимірювань та розрахункові данні для визначення числа витків обмоток

Данні вимірювань				Розрахункові данні						
$U_{1\phi}$ В	$U_{2\phi}$ В	$U_{\text{дод}}$ В	$W_{\text{дод}}$ ВИТКІВ	W_1 ВИТ-	W_2 ВИТ-	e_1 В	e_2 В	$E_{1\phi}$ В	$E_{2\phi}$ В	к

В табл. 1.3 прийняті наступні позначення:

- $U_{1\phi}$, $U_{2\phi}$, $U_{\text{дод}}$. – відповідно напруги фаз первинної, вторинної та додаткової обмоток;

- W_1 – число витків первинної обмотки;

- W_2 – число витків вторинної обмотки;

- e_1, e_2 – ЕРС одного витка первинної і вторинної обмоток;

- P_c – площа перерізу стрижня, м^2 .

- B_c – рекомендована індукція в стрижні для трансформаторів потужністю 5..10 кВ·А, Тл, $B_c = (0,9..1,4)$. Прийняти $B_c = 1,4$ Тл.

- $E_{1\phi}, E_{2\phi}$ – ЕРС фаз відповідно первинної та вторинної обмоток.

Число витків первинної обмотки розраховується за формулою:

$$W_1 = W_{\text{дод}} \cdot \frac{U_{1\phi}}{U_{\text{дод}}}. \quad (1.3)$$

Число витків вторинної обмотки розраховується за формулою:

$$W_2 = W_{\text{дод}} \cdot \frac{U_{2\phi}}{U_{\text{дод}}}. \quad (1.4)$$

ЕРС витка розраховується за формулою, В:

$$e_1 = e_2 = 4,44 \cdot f \cdot P_c \cdot B_c, \text{ В} \quad (1.5)$$

де f – частота в мережі, Гц', ($f = 50$);

ЕРС фаз обмоток розраховується за формулою:

$$E_{1\phi} = e_1 \cdot W_1; E_{2\phi} = e_2 \cdot W_2. \quad (1.6)$$

Значення $E_1 \approx U_1$; $E_2 \approx U_2$, прийняти рівними ближчим стандартним величинам (220 В та 127 В).

Коефіцієнт трансформації по фазній напрузі

$$K = \frac{E_{1\phi}}{E_{2\phi}} = \frac{U_{1\phi}}{U_{2\phi}}. \quad (1.7)$$

Прийняті стандартні величини номінальних напруг $U_{1\text{нф}}$ і $U_{2\text{нф}}$ записати в табл. 1.4,

1.2.9 Визначити номінальний струм і потужність фаз первинної і вторинної обмоток. При визначенні номінальних фазних струмів щільність струму для трансформаторів з мідними обмотками та повітряним охолодженням може бути прийнята $\Delta = (1.5 \div 2.5) \text{ А /мм}^2$. Прийняти $\Delta = 2,5 \text{ А /мм}^2$. Розрахункові данні записати в табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Розрахункові данні для визначення потужності

q_1	q_2	$I_{1\text{нф}}$	$I_{2\text{нф}}$	$U_{1\text{нф}}$	$U_{2\text{нф}}$	$S_{1\text{нф}}$	$S_{2\text{нф}}$	$S_{\text{н(3 фаз)}}$
мм^2	мм^2	А	А	В	В	В.А	В.А	В.А

В табл. 1.4 прийняті наступні позначення:

- q_1, q_2 – переріз проводів відповідно первинної і вторинної обмоток, мм^2

- $I_{1\text{нф}}$ – номінальний фазний струм первинної обмотки, визначається за формулою (1.8);

- $I_{2\text{нф}}$ – номінальний фазний струм вторинної обмотки, визначається за формулою (1.9);

- $U_{1\text{нф}}, U_{2\text{нф}}$ – номінальні фазні напруги відповідно первинної і вторинної обмоток, обмотки, В.

- $S_{1\text{нф}}, S_{2\text{нф}}$ – номінальні потужності відповідно первинної і вторинної обмоток, обмотки, визначається за формулами (1.10) і (1.11);

- $S_{\text{н(3 фаз)}}$ – номінальна потужність трансформатора, обмотки, визначається за формулою (1.12).

$$I_{1\text{нф}} = \Delta \cdot q_1, \text{ А.} \quad (1.8)$$

$$I_{2\text{нф}} = \Delta \cdot q_2, \text{ А.} \quad (1.9)$$

$$S_{1\text{нф}} = I_{1\text{нф}} \cdot U_{1\text{нф}}, \text{ В.А.} \quad (1.10)$$

$$S_{2\text{нф}} = I_{2\text{нф}} \cdot U_{2\text{нф}}, \text{ В.А.} \quad (1.11)$$

$$S_{\text{н(3 фаз)}} = 3 \cdot S_{1\text{нф}} = 3 \cdot S_{2\text{нф}}, \text{ В.А.} \quad (1.12)$$

Номінальна потужність трансформатора визначається при його випробуванні на нагрівання по допустимій температурі ізоляції.

1.2.10 Орієнтовані паспортні данні трансформатора для схеми з'єднання обмоток У/У і У/Д записати в табл. 1.5.

За номінальну потужність трансформатора приймати меншу потужність обмоток. При цьому відповідно повинні бути змінений номінальний струм в табл. 1.5.

1.2.11 Визначити номінальний допустимий опір ізоляції обмоток

$$r_{із.м} = \frac{U_{1НЛ}}{S_H / 100 + 1000}, \text{ МОм.} \quad (1.13)$$

де $U_{1НЛ}$ – лінійна напруга обмотки вищої напруги, В;

S_H – номінальна потужність трансформатора, кВ·А.

Порівняти вимірний опір ізоляції (див. табл. 1.1) з номінально допустимим і дати висновок про стан ізоляції випробуваного трансформатора.

Таблиця 1.5 – Орієнтовані паспортні данні

Номінальні дані	Одиниця	При з'єднанні обмоток по схемі	
		З'єднання У/У	З'єднання У/Д
$U_{1НФ}$	В		
$U_{1НЛ}$	В		
$U_{2НФ}$	В		
$U_{2НЛ}$	В		
$I_{1НФ}$	А		
$I_{1НЛ}$	А		
$I_{2НФ}$	А		
$I_{2НЛ}$	А		
S_H	кВ·А		

1.3 Вказівки щодо звіту та підготовки до захисту лабораторної роботи

1.3.1 Звіт повинен мати:

- короткий опис виконаної роботи;
- ескіз магнітного кола і обмоток;
- схеми, формули, таблиці з даними вимірювань і розрахунковими даними;
- орієнтовані паспортні данні трансформатора;
- висновки.

1.3.2 Питання до самопідготовки:

1. Конструкція і призначення вузлів трансформатора.
2. Сформулювати принцип роботи трансформатора
3. Як по зовнішнім признакам відрізнити в трансформаторі обмотку вищої напруги від обмотки нижчої напруги?
4. Визначити співвідношення між ЕРС одікцо витка первинної і вторинної обмоток;
5. Від яких параметрів трансформатора залежить ЕРС первинної і вторинної обмоток?
6. Що таке коефіцієнт трансформації однофазного і трифазного трансформаторів?
7. Як визначити коефіцієнт трансформації?
8. Вказати різницю між номінальною і дійсною потужностями трансформатора.

2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2–Т

ВИПРОБУВАННЯ ТРИФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА В ДОСЛІДАХ НЕРОБОЧОГО ХОДУ ТА КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

2.1 Мета роботи

Вивчити фізичні процеси в трансформаторі при неробочому ході та короткому замиканні, згідно дослідів неробочого ходу та короткого замикання дати оцінку втрат та ККД трансформатора.

2.2 Порядок виконання роботи

2.2.1 Випробувати трансформатор в досліді неробочого ходу. Згідно паспортних даних з заводського щитка або з лабораторної роботи № І–Т підібрати вимірювальні прилади і скласти схему (рис. 2.1) для зняття характеристик неробочого ходу:

$$I_x, P_x, \cos\varphi_x = f(U_1) \text{ при } f=50\text{Гц}, I_2 = 0.$$

Ввімкнути автомат АП5 та тумблери Т4, Т5, Т6, Т7, Т8. Тумблери Т9 та Т15 ввімкнути в положення 2 (лінійне). На ватметрах встановити межу вимірювання по напрузі – 300В, по струму – 2,5А. Після перевірки схеми викладачем ввімкнути автомат АП2.

Зовнішнє коло вторинної обмотки трансформатора розімкнене. Напругу, підведену до первинної обмотки, змінювати в межах $(0.4 \div 1.2)U_{1н.}$ через $0,2U_{1н.}$. Провести 5 – 7 вимірювань. Виміряні і розрахункові данні записати в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Виміряні та розрахункові данні характеристик неробочого ходу

Данні вимірювань								Розрахункові данні									
U_1	U_2	I_1	I_1	I_{1c}	α_1	α_2	U_x	I_x	I_x^*	S_x	P_x	P_x^*	x_x	r_x	$\cos\varphi_x$	Z_x	k
В	В	А	А	А	діл	діл	в.о	А	в.о	ВА	В	во	Ом	Ом	–	Ом	–

Розрахункові данні в табл. 2.1 визначити за формулами:

$$U_X^* = U_1/U_{1H}, \quad (2.1)$$

де $U_{1H} = 380 \text{ В}$,

$$I_X = \frac{I_{1A} + I_{1B} + I_{1C}}{3}, \text{ А}, \quad (2.2)$$

де I_X – середній струм неробочого ходу у відносних одиницях,

$$I_X^* = \frac{I_X}{I_{H\Phi}}, \quad (2.3)$$

де $I_{H\Phi}$ – визначити з даних роботи №1–Т.

Потужність неробочого ходу

$$S_X = mU_{1\Phi}I_{CP}. \quad (2.4)$$

Втрати при неробочому ході

$$P_X = C_W \cdot (\alpha_1 + \alpha_2) \text{ Вт}, \quad (2.5)$$

де C_W – постійна ватметрів;

α_1, α_2 – показання ватметрів, ділень.

Втрати при неробочому ході у відносних одиницях

$$P_X^* = \frac{P_X}{S}, \quad (2.6)$$

де S – потужність трансформатора, визначена у роботі №1–Т, Вт

Коефіцієнт потужності при неробочому ході

$$\cos \varphi_X = \frac{P_X}{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_X}. \quad (2.7)$$

Активний опір фази намагнічуючого контура

$$r_X = P_X / (3I_X^2), \text{ Ом}. \quad (2.8)$$

Індуктивний опір фази намагнічуючого контура

$$x_X = \sqrt{z_X^2 - r_X^2}, \text{ Ом}. \quad (2.9)$$

Повний опір неробочого ходу

$$z_X = \frac{U_{X\Phi}}{I_X}, \text{ Ом}. \quad (2.10)$$

де $U_{X\Phi} = \frac{U_1}{\sqrt{3}}$.

Коефіцієнт трансформації:

$$k = \frac{U_1}{U_2}. \quad (2.11)$$

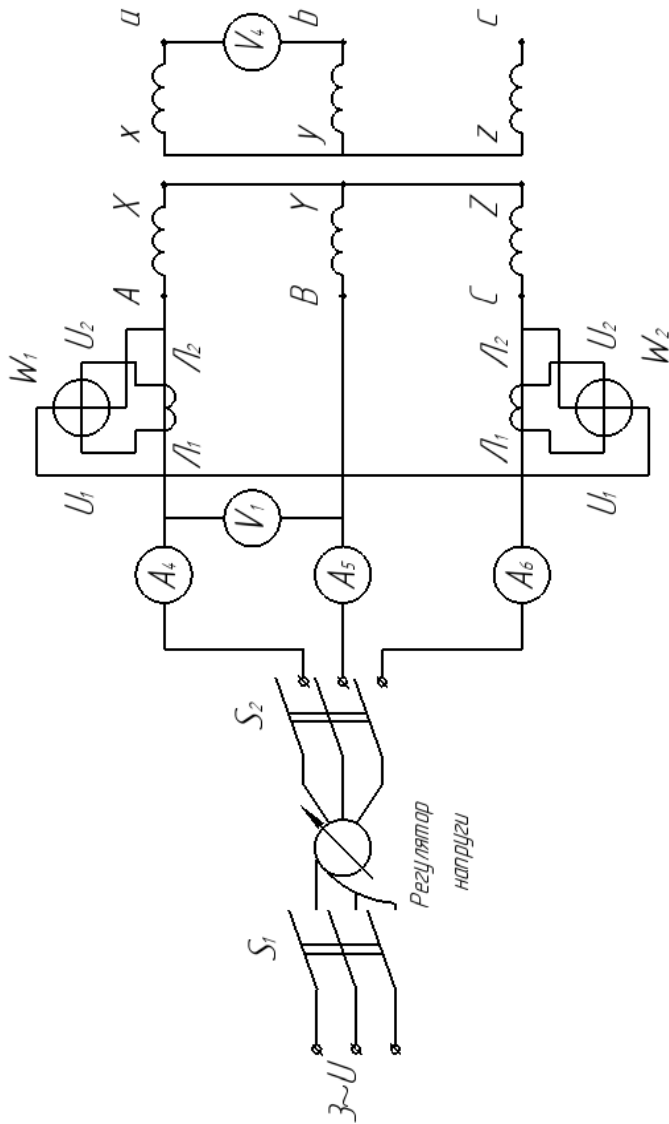


Рисунок 2.1 – Схема випробування трансформатора в режимі неробочого ходу

Фазні опори r_1, x_1, z_1 первинної обмотки складають 1–2% фазних опорів намагнічуючого контуру r_{12}, x_{12}, z_{12} тому можна прийняти $r_x = r_{12}, x_x = x_{12}, z_x = z_{12}$.

Використовуючи характеристику $I_x^* = f(U_1^*)$ визначити коефіцієнт насичення сталі трансформатора.

Для номінальної напруги $U_1^* = 1.0$ визначити $I_{xH}\%$, $P_{xH}\%$, $\cos f_{xH}$ і порівняти їх з даними, рекомендованими держстандартами для $S_H = 5 \div 75$ кВ·А; $I_{xH}\% = 10 \div 7.5$ %; $P_{xH}\% = 1.2 \div 1.0$ %; $\cos f_{xH} = 0.1 \div 0.2$ %.

Накреслити схему заміщення трансформатора при неробочому ході, вказати її параметри.

2.2.2 Випробувати трансформатор в досліді короткого замикання. Згідно паспортним даним трансформатора з заводського щитка або лабораторної роботи №1–Т підібрати вимірювальні прилади і скласти схему (рис. 2.2) для зняття характеристик короткого замикання: $I_1 = (U_K), P_K = f(U_K), \cos \phi_K = f(U_K)$.

Ввімкнути автомати АП5, АП8, А1, А2, А3, АП3, АП4. Напруга короткого замикання встановлюється по вольтметру V3. Тумблер Т11 ввімкнути в положення 2. На ватметрах встановити межу вимірювання на напрузі – 150В, по струму – 5А. Після перевірки схеми викладачем ввімкнути автомат АП2.

Вторинна обмотка закорочена, $U_2 = 0$. Під час досліді слід намагатись того, щоб зміна активного опору обмоток, обумовлена їх нагріванням, була мінімальна. Тому не слід допускати збільшення струму короткого замикання більше ніж $I_k = 1.5 \cdot I_H$ і трансформатор залишати під напругою лише мінімально необхідний для досліді час.

При проведенні досліді виміряти температуру обмоток, яка в охоложеному стані дорівнює температурі навколишнього середовища. При знятті характеристик КЗ до первинної обмотки трансформатора підводити знижену напругу від регулювача напруги таку щоб отримати наступні значення струму короткого замикання:

$$I_{1k} = (0.25; 0.5, 0.75, 1.0, 1.25) \cdot I_H$$

Провести 5 – 7 вимірювань. Виміряні і розрахункові данні записати в табл. 2.2 і табл. 2.3.

Для трифазного трансформатора при з'єднанні первинної обмотки в зірку розрахункові данні в табл. 2.2 і табл. 2.3 визначити за формулами:

$$I_1^* = \frac{I_1}{I_H}, \quad (2.2)$$

де I_H – взяти з роботи 1Т,

$$U_{K\Phi} = \frac{U_K}{\sqrt{3}}, \quad (2.13)$$

$$U_{K\Phi}^* = \frac{U_{K\Phi}}{U_{\Phi H}}, \quad (2.14)$$

де $U_{\Phi H} = 220В$.

Потужність короткого замикання:

$$S_k = mU_{K\Phi}I_1, \text{ ВА.} \quad (2.15)$$

Втрати при короткому замиканні

$$P_k = (\alpha_1 \pm \alpha_2) \cdot C_w \cdot C_{\text{ТТ}}, \text{ Вт,} \quad (2.16)$$

де α – число ділень по шкалі ватметру;

C_w , – постійна ватметру, Вт/діл;

$C_{\text{ТТ}}$, – коефіцієнт трансформації ($C_{\text{ТТ}} = 3$);

α_1, α_2 – показання ватметрів, ділень.

Витрати при короткому замиканні у відносних одиницях

$$P_{K^*} = P_k/S. \quad (2.17)$$

де S – потужність трансформатору, визначена у роботі №1–Т, Вт.

Коефіцієнт потужності трансформатора при короткому замиканні

$$\cos \varphi_k = \frac{P_k}{\sqrt{3} \cdot U_K \cdot I_1}. \quad (2.18)$$

Активний опір короткого замикання

$$r_k \approx r_1 + r_2 \approx \frac{P_k}{3 \cdot I_1^2}, \text{ Ом.} \quad (2.19)$$

Індуктивний опір короткого замикання

$$x_k \approx x_1 + x_2' \approx \sqrt{z_k^2 - r_k^2}, \text{ Ом.} \quad (2.20)$$

Повний опір короткого замикання

$$z_k \approx z_1 + z_2' \approx \frac{U_K}{I_1}, \text{ Ом.} \quad (2.21)$$

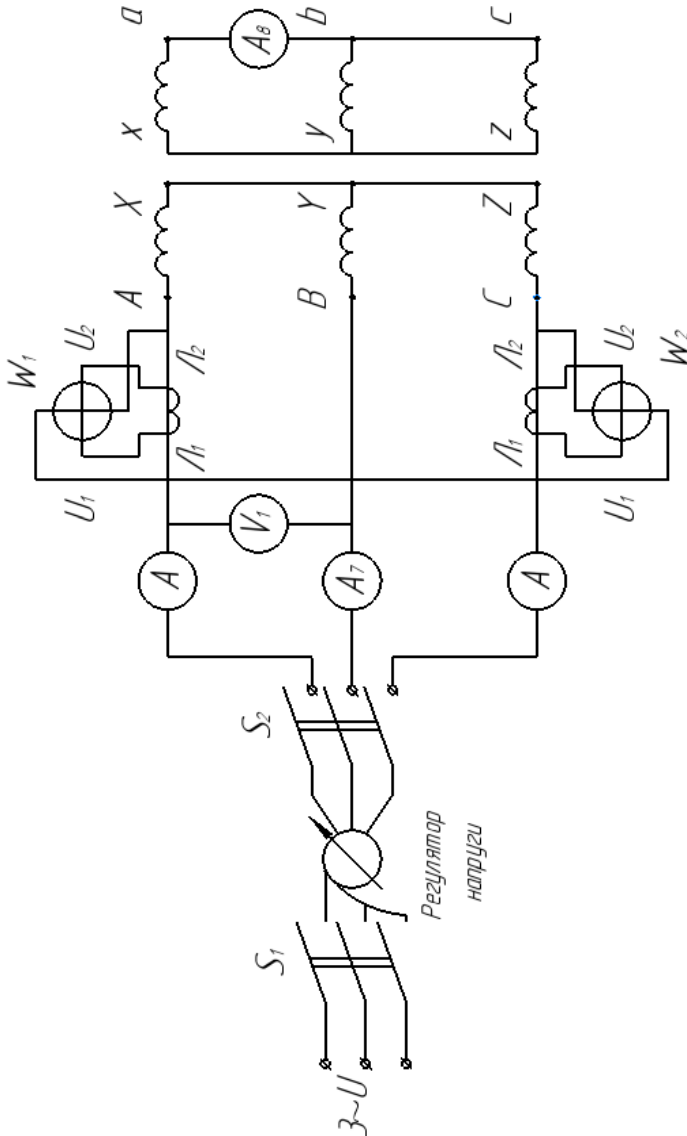


Рисунок 2.2 – Схема випробування трансформатора в режимі короткого замикання

Значення r_k , z_k , $\cos\varphi_k$, виміряні при температурі навколишнього середовища $\theta_{\text{окр}}$ привести до номінальної робочої температури обмотки $+75^\circ\text{C}$; вважати що x_k , не залежить від температури:

$$r_{k(75)} = r_{k.o} \cdot \frac{309.5}{234.5 + \theta_{\text{окр}}}, \quad (2.22)$$

$$z_{k(75)} = \sqrt{r_{k(75)}^2 - x_k^2}, \quad (2.23)$$

$$\cos\varphi_{k(75)} = \frac{r_{k(75)}}{z_{k(75)}}. \quad (2.24)$$

Таблиця 2.2 – Виміряні дані характеристик короткого замикання

Данні вимірювань				
I_1	I_2	U_k	α_1	α_2
А	А	В	діл	діл

Таблиця 2.3 –Розрахункові дані характеристик короткого замикання

Розрахункові дані									
I_1^*	$U_{\text{кф}}$	$U_{\text{кф}}^*$	P_k	P_k^*	S_k	$\cos\varphi_k$	r_k	x_k	z_k
в.о.	В	в.о	Вт	во.	ВА	–	Ом	Ом	Ом

Втрати короткого замикання, знайдені в досліді, приводяться до температури $+75^\circ\text{C}$

$$P_k = 3 \cdot I_1^2 \cdot r_{k(75)}, \text{ Вт.} \quad (2.25)$$

Згідно з даними табл. 3.2 накреслити характеристики короткого замикання: $I_1 = (U_k)$, $P_k = f(U_k)$, $\cos\varphi_k = f(U_k)$.

Для номінального струму визначити напругу КЗ і порівняти її з рекомендованою в держстандартах.

Накреслити схему заміщення трансформатора при короткому

замиканні, вказати її параметри.

2.2.3 По даним режимів неробочого ходу і короткого замикання визначити параметри схеми заміщення трансформатора. Накреслити схему заміщення навантаженого трансформатора, при цьому прийняти:

$$r_1 \approx r_2' \approx \frac{r_k}{2}, \quad (2.25)$$

$$x_1 \approx x_2' \approx \frac{x_k}{2}. \quad (2.26)$$

2.2.4 Побудувати векторну діаграму трансформатора для $U_{2нф}$, $I_{2нф}$, $\cos\varphi_2 = 0.8$. З векторної діаграми визначити $U_{1н}$, $I_{1н}$, $\cos\varphi_{1н}$.

2.2.5 Розрахувати і накреслити характеристику відсоткової зміни напруги $\Delta U\% = f(S_*)$ та зовнішню характеристику трансформатора $U_2\% = f(S_*)$ при $U_{1н} = \text{const}$, $\cos\varphi_2 = 0.8$, $f = 50$ Гц.

Відсоткову зміну напруги і зовнішню характеристику рекомендується розраховувати у наступній послідовності:

а) задатись відносним навантаженням трансформатора:

$$S^* = \frac{S}{S_H} = 0; 0.25; 0.5; 0.75; 1.0; 1.25.$$

б) визначити зміну вторинної напруги трансформатора, %

$$\Delta U\% = S_* \cdot (U_{Какм.}\% \cdot \cos\varphi_2 + U_{КРН}\% \cdot \sin\varphi_2) \quad (2.27)$$

де $U_{Какм.}\%$ – активна складова напруги короткого замикання при номінальному струмі, визначається за формулою (2.28), %

$U_{КРН}\%$ – реактивна складова напруги КЗ, визначається за формулою (2.29), %.

$$U_{Какм.}\% = \frac{I_{1нф} \cdot r_{k(75)}}{U_{1нф}} \cdot 100 \quad (2.28)$$

$$U_{КРН}\% = \frac{I_{1нф} \cdot x_K}{U_{1нф}} \cdot 100 \quad (2.29)$$

г) розрахунки $\Delta U\%$ і $U_2\%$ звести в табл. 2.4., прийнявши $\cos\varphi_2 = 0.8$, $\sin\varphi_2 = 0.6$.

Таблиця 2.4 – Дані для характеристики процентної зміни напруги і зовнішньої характеристики

S_{\bullet} , %	0	0.25	0.5	0.75	1.0	1.25
$U_{ka}\% = S_{\bullet} \cdot U_{ka}\% \cdot \cos\varphi_2$, %						
$U_{kp}\% = S_{\bullet} \cdot U_{kp}\% \cdot \sin\varphi_2$, %						
$\Delta U\%$						
$U_2\% = 100 - \Delta U\%$, %						

2.2.6 Записати в табл 2.5 додаткові номінальні паспортні данні і порівняти їх з величинами, рекомендованими ДСТУ.

Таблиця 2.5 – Паспортні данні трансформатора, розраховані і рекомендовані державними стандартами

Номінальні величини	Одиниця	Данні з дослідів	Рекомендовані держстандартами
U_k	В		–
$U_k\%$	%		3.8...10.05
$P_{кн}$	Вт		–
$P_{кн}$	%		3.0...3.7
$P_{хн}$	Вт		–
$P_{хн}$	%		1.0...1.2
$\cos\varphi_k$	–		0.4...0.6

2.2.7 Розрахувати і накреслити характеристику коефіцієнта корисної дії (ККД) трансформатора в залежності від відносного навантаження $\eta = f(S^*)$. По даним дослідів неробочого ходу і короткого замикання визначити коефіцієнт корисної дії трансформатора,

$$\eta = \left(1 - \frac{P_x + S^{\bullet 2} \cdot P_{кн}}{S_{\bullet} \cdot S_n \cdot \cos\varphi_2 + P_x + S^{\bullet 2} \cdot P_{кн}} \right), \% \quad (2.30)$$

де P_x – втрати неробочого ходу при номінальній напрузі, Вт,

S^{\bullet} – відносне навантаження трансформатора, в.о., визначається за формулою (2.31),

$P_{кн(75)}$ – втрати короткого замикання при номінальному струмі і температурі обмоток $+75^{\circ}\text{C}$, визначається за формулою (2.32), Вт, S_H – номінальна потужність трансформатора, ВА.

$$S^* = \frac{S}{S_H} = \frac{I_2}{I_{2H}}. \quad (2.31)$$

$$P_{кн(75)} = m_1 \cdot I_{1H}^2 \cdot r_{к(75)}. \quad (2.32)$$

Розрахунок коефіцієнта корисної дії звести в табл.2.6.

Таблиця 2.6 – Данні для розрахунку коефіцієнта корисної дії

S^* , в.о.	0	0.25	0.5	0.75	1.0	1.25
$P_2 = S^* \cdot S_H \cdot \cos\varphi_2$, Вт.						
P^* , відн.один.						
$S^{*2} \cdot P_{кн}$, Вт.						
$S^* \cdot S_H \cdot \cos\varphi_2 + P_x + S^* \cdot P_{кн}$,						
η , %						

Визначити відносне навантаження трансформатора, при якому коефіцієнт корисної дії буде максимальним. Відомо, що максимальний ККД трансформатора буде при однаковості постійних втрат (втрат неробочого ходу) і змінних втрат (втрат короткого замикання) $P^* = S^{*2} \cdot P_{кн}$, звідки відносне навантаження трансформатора при якому коефіцієнт корисної дії буде максимальним, визначається

$$S^*(\eta_{\max}) = \sqrt{\frac{P_x}{P_k}}. \quad (2.33)$$

2.2.8 Привести данні про відповідність випробуваного трансформатора вимогам держстандартів.

2.3 Вказівки щодо звіту та підготовки до захисту лабораторної роботи

2.3.1 Звіт повинен мати:

- схеми, таблиці з даними вимірювань і розрахунковими величинами;
- графіки з поясненням змін кривих;

- схеми заміщення трансформатора;
- векторну діаграму трансформатора при активно–індуктивному навантаженні RL;
- характеристику відповідної зміни напруги і зовнішню характеристику;
- характеристику коефіцієнта корисної дії;
- висновки про відповідність випробуваного трансформатора вимогам державних стандартів.

2.3.2 Питання до самопідготовки:

- 1 Як по характеристиці неробочого ходу визначити номінальну напругу ?
- 2 Від чого залежить сила струму неробочого ходу ?
- 3 На що витрачається підведена до трансформатора потужність при неробочому ході і при короткому замиканні ?
- 4 Від яких параметрів залежить коротке замикання ?
- 5 Як визначити параметри намагнічуючого контуру ?
- 6 Як визначити силу сталого струму короткого замикання ?
- 7 При яких умовах ККД трансформатора буде максимальним?
- 8 При якому навантаженні коефіцієнт корисної дії буде максимальним ?
- 9 Чи зміниться напруга короткого замикання у відсотках від номінального, якщо дослід провести з сторони низької чи вищої напруги?

3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1–П

ВИВЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ МАШИН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

3.1 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.

3.2 Порядок виконання роботи

3.2.1 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 щитка машини й усвідомити їхню сутність.

3.2.2 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.

3.2.3 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.

3.2.4 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.

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

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

Таблиця 3.1 – 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	

3.2.7 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.

3.2.8 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.

3.3 Вказівки щодо звіту й підготовки до захисту лабораторної роботи

3.3.1 Зміст звіту.

Звіт про лабораторну роботу повинен містити виклад матеріалу, зазначений у пп. 3.2.1 – 3.2.6 і висновок.

3.3.2. 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)?

4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2–П

ВИПРОБУВАННЯ ГЕНЕРАТОРА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ПРИ НЕЗАЛЕЖНОМУ ТА ПАРАЛЕЛЬНОМУ ЗБУДЖЕННЯХ

4.1 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.

4.2 Порядок виконання роботи

4.2.1 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, самовентилляція, незалежна вентиляція), тип підшипників.

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

4.2.3 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 $I_3 = f(I_A)$.

4.3 Порядок виконання роботи при випробуванні генератора постійного струму незалежного збудження

4.3.1 Зібрати схему генератора постійного струму незалежного збудження (рис. 4.1) для зняття характеристик: неробочого ходу $U_X = f(I_3)$, зовнішньої $U = f(I_A)$, регульовальної $I_3 = f(I_A)$.

4.3.2 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).

4.3.3 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.

4.3.4 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.

4.3.5 Зняти характеристику неробочого ходу: $U_X = f(I_3)$ при $I_A = 0$; $n = const = n_H$.

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. 4.1.

При заповненні табл.4.1 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:

$$U_X = U'_X \cdot n_H / n . \quad (4.1)$$

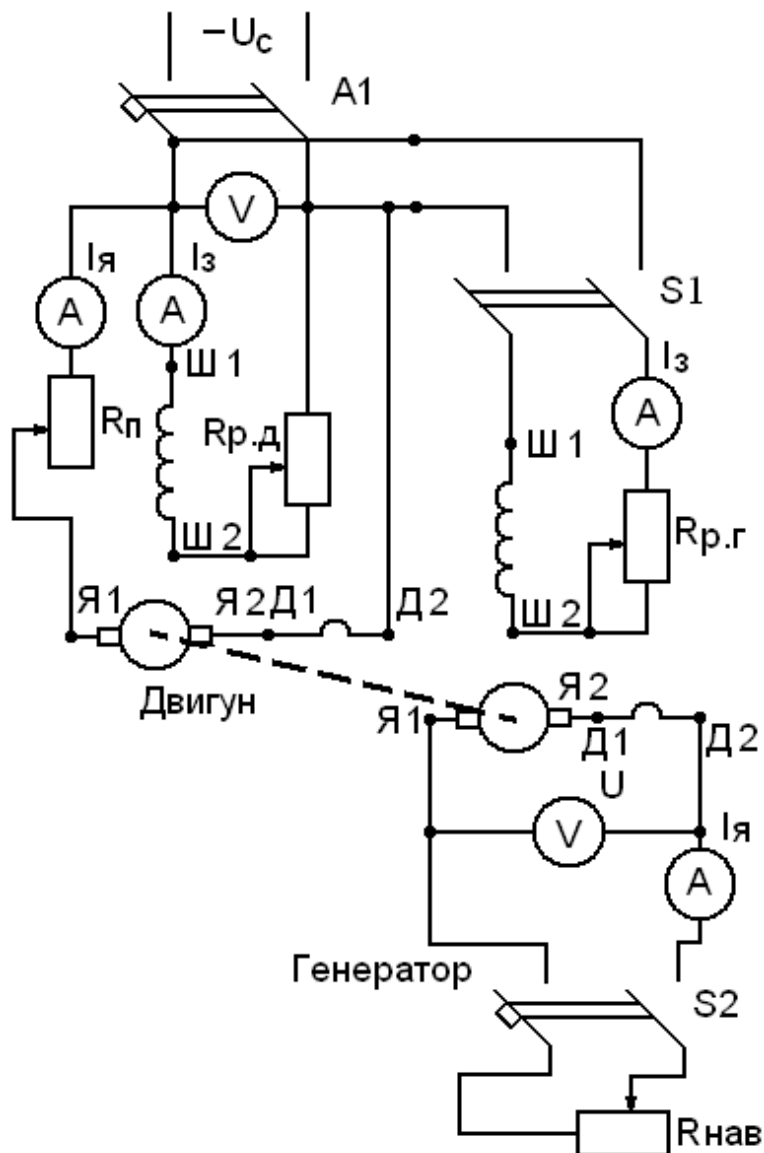


Рисунок 4.1 – Схема генератора постійного струму незалежного збудження з електроприводом (двигуном постійного струму)

Таблиця 4.1 – Дані вимірів і розрахункові дані характеристики неробочого ходу 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.:

$$U_{*X} = U_X / U_H. \quad (4.2)$$

Струм збудження, в.о.:

$$I_{*3} = I_3 / I_{3XH} \quad (4.3)$$

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

$$E_{Я} = C_e \cdot n \cdot \Phi. \quad (4.4)$$

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

$$K_{НАС} = F_{*X} / F_{*б} = I_{*3XH} / I_{*3б}, \quad (4.5)$$

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 4.2 – Дані вимірів і розрахункові дані зовнішньої характеристики генератора незалежного збудження

№	Дані вимірювань				Розрахункові дані	
	U, В	I _я , А	I _з , А	n, об/хв	U* в.о.	I* _я , в.о.

У табл. 4.2 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

$$\Delta U_{\%} = (U_X - U_H) / U_H \cdot 100, \quad (4.6)$$

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

4.3.7 Зняти регульовальну характеристику:

$$I_z = f(I_a) \text{ при } U = \text{const} = U_H; n = \text{const} = n_H.$$

Зняття регульовальної характеристики зробити за схемою (рис. 4.1) 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 $(0 \dots 1.25)I_H$ приблизно через $0.25I_H$. Одночасно регулювати струм збудження так, щоб напруга на затискачах якоря залишалася постійною. Дані вимірів і розрахункові записати в табл. 4.3. При цьому зробити 5 – 8 вимірів.

У табл. 4.3 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 4.3 – Дані вимірів і розрахункові дані регулювальної характеристики генератора незалежного збудження

№	Дані вимірювань				Розрахункові дані	
	U, В	I _я , А	I _з , А	п, об/хв	I* _я , в.о.	I* _з , в.о.

За розрахунковими даними табл. 4.3 побудувати регулювальну характеристику у відносних одиницях

$$I_{*3} = f(I_{*я}),$$

на якій показати номінальний струм якоря $I_{*я} = 1.0$ і відповідний йому струм збудження $I_{*3Н}$. Обчислити відношення струму збудження до струму якоря:

$$I_{3Н\%} = I_{3Н} / I_H \cdot 100. \quad (4.7)$$

Визначити ступінь регулювання струму збудження:

$$\Delta I_{3\%} = (I_{3Н} - I_{3Х}) / I_{3Х} \cdot 100, \quad (4.8)$$

де $I_{3Н}$, $I_{3Х}$ – струм збудження відповідно до номінального струму якоря і неробочого ходу.

Пояснити закон зміни характеристики, використовуючи рівняння ЕРС якоря генератора.

4.4 Порядок виконання роботи при випробуванні генератора постійного струму паралельного збудження

4.4.1 Зібрати схему генератора паралельного збудження (рис. 4.2) для зняття характеристик: неробочого ходу, зовнішньої і регулювальної. Привести якор генератора в обертання приводним двигуном (двигуном постійного струму). Перевірити умови самозбудження генератора (наявність залишкового потоку, напрям обертання й ін.).

4.4.2 Зняти характеристику неробочого ходу:

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

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 4.4 – 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. 4.4 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 $I_{*3} = 1$.

4.4.3 Зняти і побудувати зовнішню характеристику

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

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

Характеристику зняти аналогічно зовнішній характеристиці генератора незалежного збудження. Дані вимірів і розрахункові записати в табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – 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 однім 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.

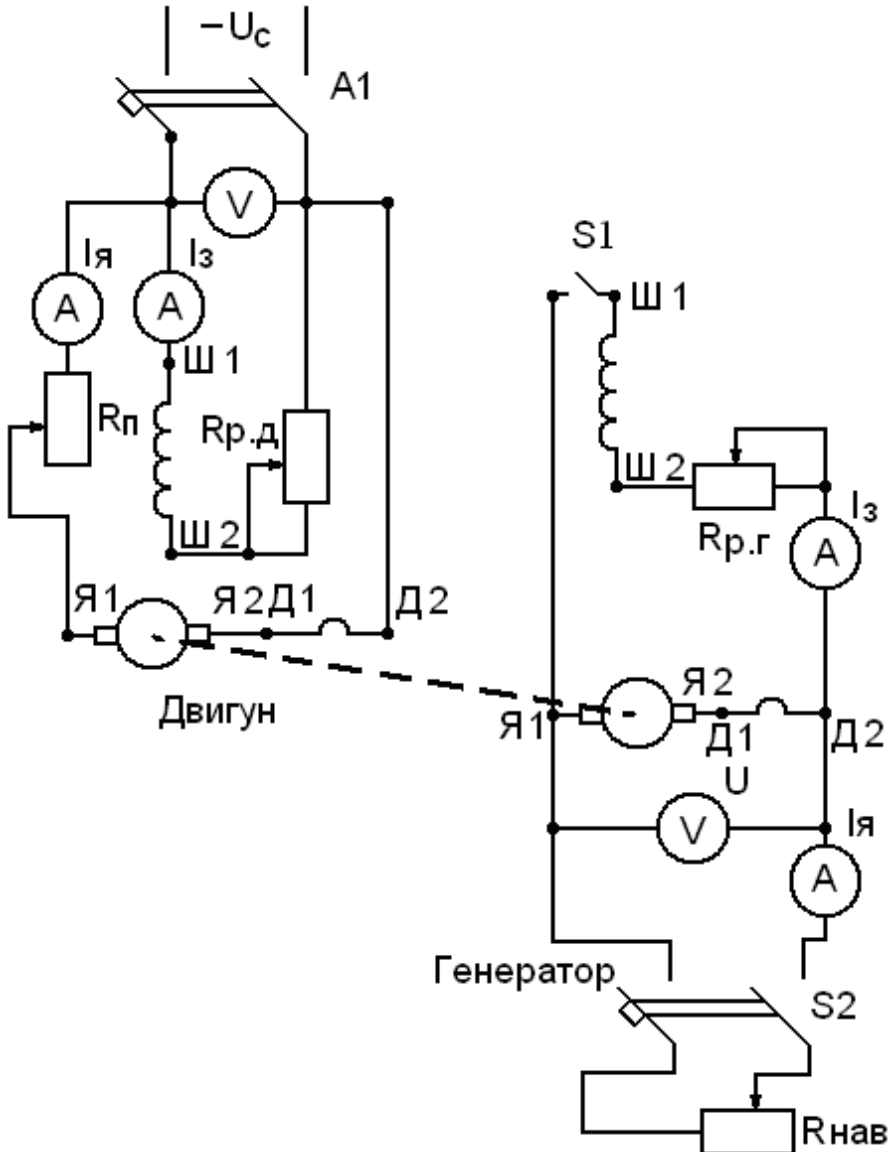


Рисунок 4.2 – Схема генератора постійного струму паралельного збудження з електроприводом (двигуном постійного струму)

4.4.4 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. 4.6.

Таблиці 4.6 – Дані вимірів і розрахункові дані регулювальної характеристики генератора паралельного збудження

№	Дані вимірювань				Розрахункові дані	
	U, В	I _я , А	I _з , А	n, об/хв	I* _я , в.о.	I* _з , 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:

$$I_{3H\%} = I_{3H} / I_H \cdot 100, \quad (4.9)$$

де I_{3H} – відповідає $I = I_H$. Порівняти $I_{3H}\%$ із тим, що рекомендується в табл. 4.7.

Таблиця 4.7 – Рекомендовані значення $I_{3H}\% = f(P_H)$

P _H , кВт	0,5...20	2...5	5...10	10...20	20...50	50...100
I _{3H} , %	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.

4.5 Вказівки щодо звіту й підготовки до захисту лабораторної роботи

4.5.1 Зробити аналіз і висновки про випробовувану машину на підставі зведеної таблиці 4.8 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 4.8 – 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	η	%		

4.5.2 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.

4.5.3 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 розімкнутому 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 регулюється напруга генератора?

16 Чому зі збільшенням навантаження збільшується струм якоря?

17 Як визначити геометричну та фізичну нейтралі генератора дослідним шляхом?

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?

5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1–С

ВИВЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА ПРИНЦИПУ РОБОТИ СИНХРОННИХ МАШИН

5.1 Мета роботи

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

5.2 Порядок виконання роботи

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

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

5.2.3 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.

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

5.2.5 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;

5.2.6 Ознайомитись з роботою трифазної синхронної машини в режимі генератора:

- а) вивчити призначення машин в агрегаті;

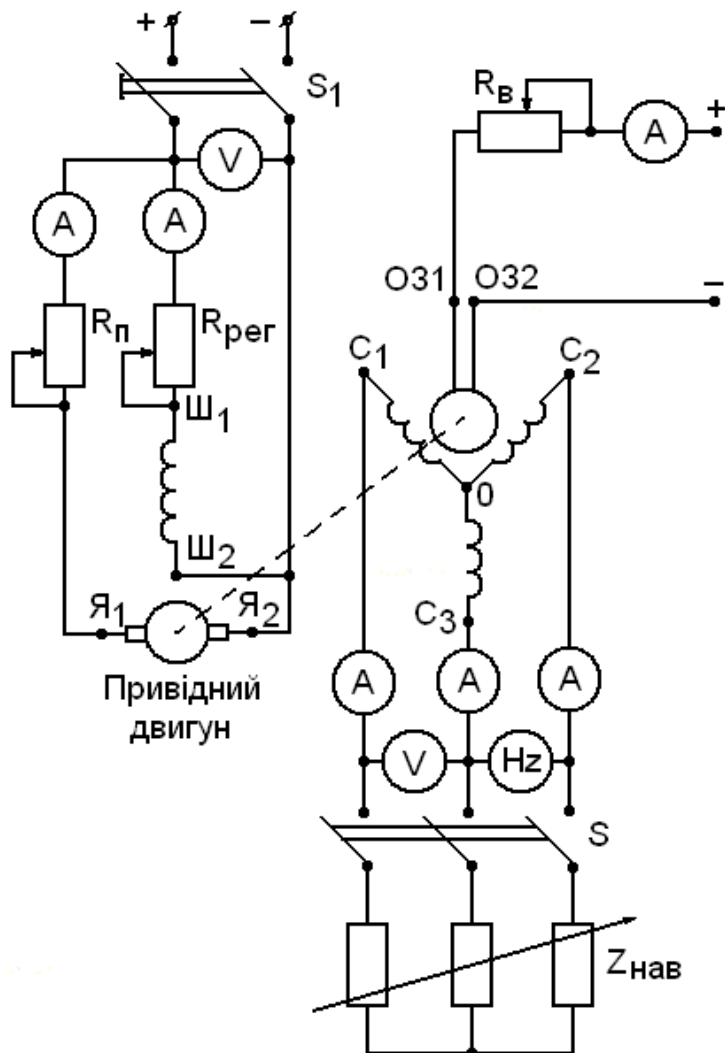


Рисунок 5.1 – Схема синхронного генератора

- б) ознайомитись зі схемою на рис. 5.1;
- в) засвоїти принцип роботи генератора;
- г) здійснити пуск генератора за допомогою приводного двигуна постійного струму;

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

5.3 Вказівки щодо звіту та підготовки до захисту лабораторної роботи

5.3.1 Звіт повинен мати:

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

в) схему вмикання генератора.

5.3.2 Питання для самостійної підготовки:

- 1 Принцип роботи синхронної машини.
- 2 Режим роботи синхронної машини (генератора, двигуна).
- 3 Устрій явнополюсних синхронних машин.
- 4 Устрій неявнополюсних 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.

6 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2–С

ВИПРОБУВАННЯ ТРИФАЗНОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

6.1 Мета роботи

6.1.1 Зняття основних характеристик трифазного синхронного генератора.

6.1.2 Вивчення властивостей трифазного синхронного генератора за його характеристиками.

6.2 Порядок виконання роботи

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

6.2.2 Зібрати схему випробувань синхронного генератора з приводним двигуном постійного струму згідно рис. 6.1

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

6.2.4 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 6.1.

Таблиця 6.1 – 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.

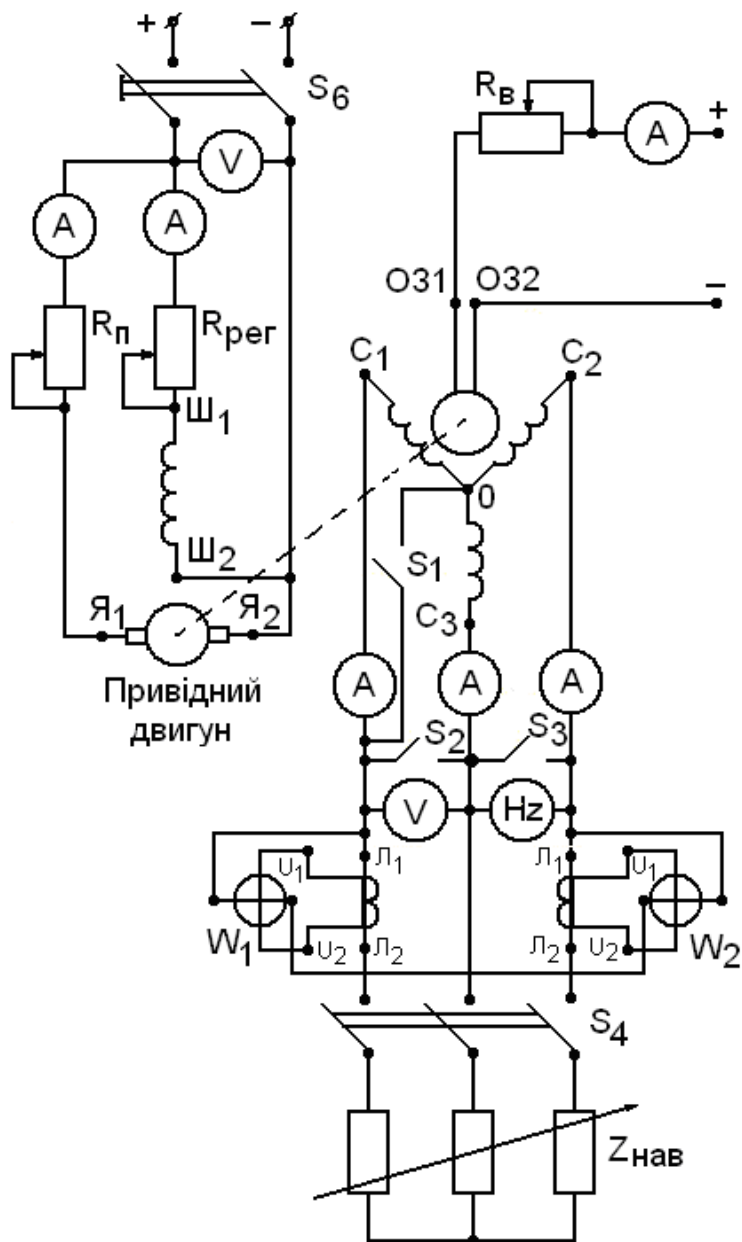


Рисунок 6.1 – Схема випробування синхронного генератора

При номінальній напрузі перевірити симетричність напруг між фазами. Викреслити характеристики н.х. випробуваного генератора та нормалізовану (табл. 6.2) в одній системі координат. Порівняти їх та зробити висновки. Характеристика випробуваного генератора не повинна відрізнятися від нормативної більше, ніж $\pm 5\%$.

Таблиця 6.2 – Нормалізовані характеристики н.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

6.2.5 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. 6.3.

Таблиця 6.3 – Дані вимірювань та розрахункові дані для визначення зовнішньої характеристики синхронного генератора

№	Дані вимірювань							Розрахункові дані				
	U, В	I _я , А	I _з , А	α , діл	f, Гц	cos φ –	n, об/х в	S, В А	P, Вт	cos φ –	U*, в.о.	I* _я , в.о.

За даними таблиці 6.3 побудувати зовнішню характеристику у відносних одиницях.

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

$$\Delta U\% = \frac{U_X - U_H}{U_H} \cdot 100\%, \quad (6.1)$$

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

Процентне завищення напруги ΔU має бути не більші 50%.

6.2.5 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. 6.4.

Таблиця 6.4 – Дані вимірювань та розрахункові дані для визначення регулювальної характеристики генератора

№	Дані вимірювань						Розрахункові дані				
	U, В	I _A , А	I ₃ , А	α , діл	f, Гц	cos φ –	S, ВА	P, Вт	cos φ –	I ₃ *, в.о.	I _A *, в.о.

За даними таблиці 6.4 побудувати регулювальну характеристику у відносних одиницях. За характеристиками визначити величину зміни струму збудження за (6.2), яка уявляє собою відношення струму збудження при номінальному режимі до струму при неробочому ході.

$$\Delta I_3 = \frac{I_{3H*}}{I_{3X*}}. \quad (6.2)$$

У табл. 6.3 – 6.4 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;
- α_1, α_2 – показання ватметра ділень;
- P – активна потужність генератора, Вт;
- C_W – постійна ватметра, $C_W = \text{Вт/діл}$;
- C_{TT} – коефіцієнт трансформації трансформатора струму, $C_{TT} =$

3;

- $\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності

Повна потужність генератора розраховується за формулою:

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I . \quad (6.3)$$

Активна потужність генератора розраховується за формулою:

$$P = (\alpha_1 \pm \alpha_2) \cdot C_w \cdot C_{TT} . \quad (6.4)$$

Коефіцієнт потужності розраховується за формулою:

$$\cos \phi = \frac{P}{S} . \quad (6.5)$$

6.3 Вказівки щодо звіту та підготовки до захисту лабораторної роботи

6.3.1 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.

6.3.2 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?

7 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1–А

ВИВЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА ПРИНЦИПУ РОБОТИ АСИНХРОННИХ МАШИН

7.1 Мета роботи

Вивчення основних конструктивних елементів асинхронних машин.

7.2 Порядок виконання роботи

7.2.1 Вивчити устрій та призначення окремих елементів конструкції асинхронних машин (вивчити стенд асинхронних машин і продивитись слайди по асинхронним машинам).

7.2.2 Записати номінальні данні машини, вказані на заводському щитку, з'єсувати їх сутність.

7.2.3 Вивчити конструкцію асинхронної машини: визначити число полюсів, тип виконання, спосіб охолодження, тип підшипників, форми пазів статора та ротору.

7.2.4 Ознайомитись з позначеннями виводів обмоток статора та ротора, мегометром перевірити цілістність фазних обмоток. Звірити позначення обмоток з стандартними, приведенними табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – Позначення виводів обмоток трифазних асинхронних машин.

Обмотка	Умовне найменування фаз	Позначення виводів	
		Початок	Кінець
Статора	Перша	C1	C4
	Друга	C2	C5
	Третя	C3	C6
Ротора	Перша	P1	–
	Друга	P2	–
	Третя	P3	–

Опір ізоляції обмоток електричної машини між обмотками та обмоткою відносно її корпусу повинні бути не нижче значення, полученого з формули:

$$R_{13} = \frac{U_{1HL}}{S_H / 100 + 1000} \text{ МОм,} \quad (7.1)$$

де U_{1HL} – номінальна лінійна напруга обмотки статора, В

S_H – повна номінальна потужність, кВ·А.

Повна номінальна потужність генератора:

$$S_H = \frac{P_{2H}}{\eta \cdot \cos \varphi_H} \text{ кВ·А.} \quad (7.2)$$

Звірити допустимий опір ізоляції з фазним, вимірним за допомогою мегометра. Результати вимірювань записати в табл. 7.2.

Таблиця 7.2 – Величина опору ізоляції обмоток асинхронної машини, МОм.

Позначення виводів	C ₁ – C ₂	C ₁ –C ₃	C ₂ –C ₃	C ₁ –К	C ₃ –К	P _{1,2,3} –К
Опір						

В табл. 7.2 символом К позначений корпус машини.

7.2.5 Виконати ескізи основних частин та елементів конструкції асинхронного двигуна:

- статор у зборі;
- ротор у зборі;
- штамповану пластину пакету статора;
- штамповану пластину пакету ротора;
- клемну коробку.

7.2.6 Ознайомитись з роботою асинхронної машини в режимі двигуна:

- пуском двигуна;
- реверсуванням двигуна;
- процесом навантаження двигуна до номінального струму статора;
- зміненою швидкості при н.х. та під навантаженням;
- зупинкою двигуна.

7.3 Вказівки щодо звіту та підготовки до захисту лабораторної роботи

7.3.1 Звіт повинен мати:

- данні з заводського щитка;
- ескізи основних вузлів та елементів асинхронних двигунів,
- схеми дослідів і таблиці вимірянних даних;
- висновки.

7.3.2 Питання для самопідготовки

1 Принцип роботи асинхронних машин у режимі двигуна, електромагнітного гальма, генератора.

2 Призначення статора та ротору.

3 Чому магнітопровід ротору шихтований ?

4 Конструкція асинхронних двигунів з фазним та короткозамкненим ротором.

5 Від чого залежить частота обертання ротору?

6 Що таке проковзування?

7 Що вказано на заводському щитку асинхронного двигуна?

8 Які існують конструктивні виконання асинхронних двигунів?

8 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2–А

ВИПРОБУВАННЯ ТРЬОХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ МЕТОДОМ БЕЗПОСЕРЕДНЬОГО НАВАНТАЖЕННЯ

8.1 Мета роботи

Ознайомитись з методом проведення випробувань асинхронного двигуна методом безпосереднього навантаження, зняти і побудувати робочі характеристики асинхронного двигуна, визначити номінальні данні випробуваного двигуна.

8.2 Порядок виконання роботи

8.2.1 Ознайомитись з конструкцією двигуна, типом його виконання способом охолодження. Визначити число полюсів .

8.2.2 Записати паспортні данні заводського щитка.

8.2.3 Перевірити відповідність способу з'єднання фаз обмотки статора напрузі мережі, використавши данні щитка для вибору вимірювальних приладів.

8.2.4 Зібрати схему відповідно рис. 8.1 для зняття робочих характеристик двигуна I_1 , P_1 , M_2 , n_2 , $\cos\phi_1$, $\eta = f(P_2)$, при $U_1 = \text{const}$, $f_1 = \text{const}$.

Для складання схеми випробування необхідно:

- ввімкнути Т1, Т2, Т3, А1, А2, А3;
- ввімкнути ватметри W1 s W2 через трансформатори струму ТТ1 і ТТ2 за допомогою автоматів АП3 і АП4;
- ввімкнути обмотку статора випробуваного двигуна за допомогою автомата АП7 до кола стенду;
- з'єднати обмотку статора в «зірку», поставити поворотні вимикачі ПВ1, ПВ2 і ПВ3 вертикально;
- ввімкнути вольтметр V1 тумблером Т9 направо;
- перевмикачі зміни межі вимірювань по струму і напрузі на ватметрах W1 і W2 поставити на максимальні значення. Встановити постійну ватметрів C_w ;
- ввімкнути автомат живлення АП1.

8.2.5 Зняти робочі характеристики випробуваного асинхронного двигуна при напрузі $U_1 = U_{1\text{ном}}$. При цьому струм статора змінювати в межах $(0.2 \div 1.25) \cdot I_{\text{ном}}$. Провести 5 – 7 вимірювань, одне з них повинно відповідати номінальному режиму $I_1 = I_{\text{ном}}$. Двигун навантажувати електромагнітним гальмом (моментоміром). Виміряні і розрахункові данні записати в табл. 8.1. Частоту обертання ротора виміряти за допомогою тахометра.

Таблиця 8.1 – Виміряні і розрахункові данні для визначення робочих характеристик асинхронного двигуна при $U_1 = U_{1\text{ном}}$, $f_1 = f_{\text{ном}}$.

Данні вимірювань								Розрахункові данні							
U_1	I_{1A}	I_{1B}	I_{1C}	α_1	α_2	M_2	n_2	$I_{\text{ср}}$	S_1	P_1	M_2^*	$\cos\varphi$	s	P_2	η
В	А	А	А	ді л	ді л	кгм	об/х в	А	В· А	Вт	в.о.	cosφ	в.о	Вт	%

В табл. 8.1 прийняті наступні позначення:

- U_1 – підведена лінійна напруга, В;
- $I_{\text{ср}}$ – фазний струм навантаження двигуна, А,
- α_1, α_2 – показання ватметрів, W_1 і W_2 , ділень;
- M_2 – момент на валу двигуна, кг·М;
- n_2 – частота обертів ротору двигуна, об/хв;
- S_1 – повна підведена потужність, В·А;
- P_1 – активна підведена потужність, Вт;
- M_2^* – момент на валу двигуна, відн. Одиниць;
- ω_2 – кутова частота обертання ротору, рад /с;
- n_2 – частота обертання ротору (зі щитка), об/хв.;
- P_2 – потужність на валу двигуна, Вт;
- n_1 – синхронна частота обертання магнітного поля статора, об/хв.;
- η – ККД двигуна, %.

Фазний струм навантаження двигуна розраховується за формулою:

$$I_{\text{ср}} = \frac{I_{1A} + I_{1B} + I_{1C}}{3}. \quad (8.1)$$

Повна підведена потужність розраховується за формулою:

$$S_1 = \sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_{1CP}. \quad (8.2)$$

Активна підведена потужність розраховується за формулою:

$$P_1 = C_w \cdot C_{TT} \cdot (\alpha_1 + \alpha_2), \quad (8.3)$$

де C_w – постійна ватметра, Вт/діл. ;

C_{TT} – коефіцієнт трансформації струму ($C_{TT} = 3$).

Момент на валу двигуна розраховується за формулою:

$$M_2^* = \frac{M_2}{M_{2H}} \quad (8.4)$$

$$M_{2H} = \frac{P_{2H}}{\omega_2} \quad (8.5)$$

де P_{2H} – номінальна потужність зі щитка.

Кутова частота обертання ротору розраховується за формулою:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n_2}{30}. \quad (8.6)$$

Потужність на валу двигуна розраховується за формулою:

$$P_2 = M_2 \cdot \omega_2 \cdot g. \quad (8.7)$$

де g – прискорення вільного падіння ($g = 9.81 \text{ м/с}^2$);

s – проковзування, в.о.

Проковзування розраховується за формулою:

$$s = (n_1 - n_2) / n_1. \quad (8.8)$$

Синхронна частота обертання магнітного поля статора розраховується за формулою:

$$n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{P}. \quad (8.9)$$

Коефіцієнт корисної дії розраховується за формулою:

$$\eta = \frac{P_2}{S_1} \cdot 100\%. \quad (8.10)$$

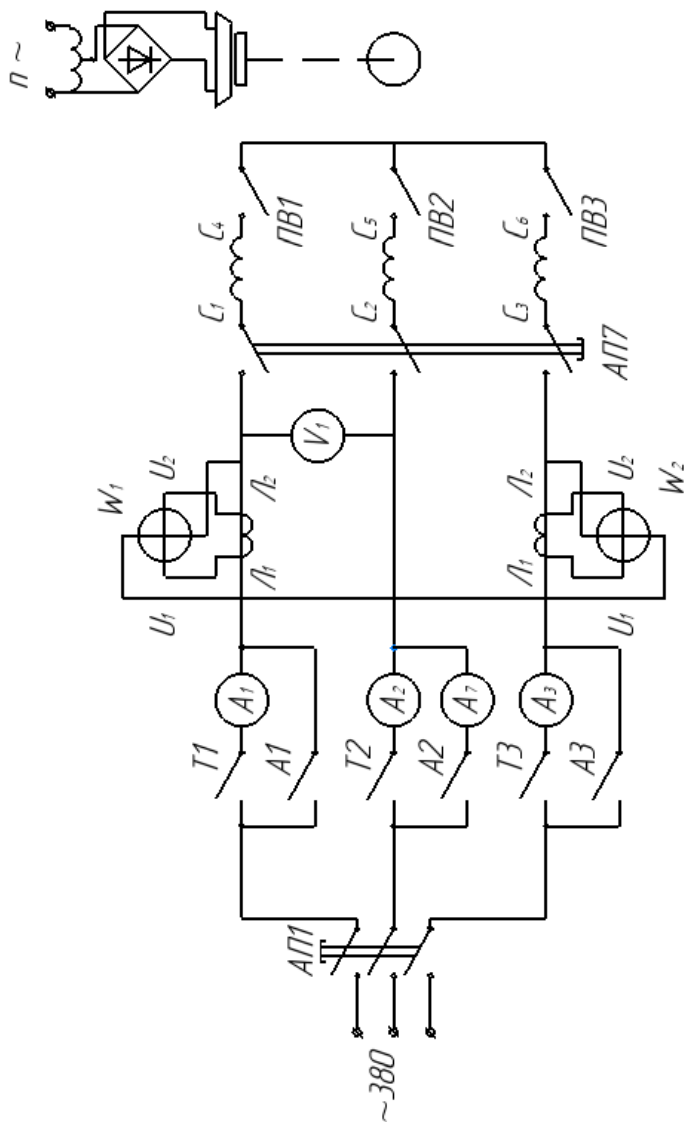


Рисунок 8.1 – Схема для випробувань трьохфазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором методом безпосереднього навантаження

Таблиця 8.2 – Номінальні дані двигуна

Величина	Дані завод- ського щитка	Дані випробувань
Потужність на валу P_{2H} , кВт		
Схема з'єднання обмотки статора		
Ном. підведена напруга U_1 , В		
Ном. лінійний струм статора I_{1H} , А		
Ном. підведена потужність P_{1H} , Вт		
Ном. частота обертання ротору об/хв		
Ном. проковзування, в.о.		
Номінальний момент на валу, Н·м		
ККД η , %		

8.2.6 За даними вимірювань і розрахунків табл. 8.1 побудувати робочі характеристики асинхронного двигуна:

$$I_1, P_1 = f(P_2);$$

$$s, \eta, \cos\varphi = f(P_2);$$

$$M_2, n_2 = f(P_2)$$

відповідно на трьох різних малюнках для номінальної напруги.

8.2.7 В табл. 8.2. записати номінальні данні, визначені з заводського щитка асинхронного двигуна, а також з його робочих характеристик, знятих при номінальній напрузі. Порівняти їх.

8.3 Вказівки щодо звіту та підготовки до захисту лабораторної роботи

8.3.1 Звіт повинен мати:

- схеми, таблиці, графіки робочих характеристик;
- порівняльний аналіз робочих характеристик;
- висновки про випробуваний двигун.

8.3.2 Питання для самопідготовки

1 Засоби визначення робочих характеристик асинхронних двигунів.

- 2 Переваги й недоліки засобу безпосереднього навантаження при випробуванні двигуна.
- 3 Пояснити графічну залежності n_2 , $\cos\varphi_1$, M_2 , P_1 , $I_1 = f(P_2)$.
- 4 Пояснити графічну залежність $\eta = f(P_2)$ і умови максимуму ККД.
- 5 Від чого залежить максимальний момент асинхронного двигуна?
- 6 Назвати пускові характеристики асинхронного двигуна.
- 7 Сутність процесів при запуску двигуна з поглибленим пазом на роторі та з двохклітинним ротором.
- 8 Основні переваги і недоліки асинхронних двигунів.
- 9 Чому знижується коефіцієнт асинхронного двигуна при зменшенні n навантаження менше номінального?
- 10 Чи підвищиться коефіцієнт потужності асинхронного двигуна при зниженні напруги, підведеної до статора?
- 11 Залежність між моментом асинхронного двигуна і напругою.

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.: Аграрна освіта, 2011. – 449 с.

5 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.

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

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

8 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.

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

10 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.

11 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.

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