

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10/1

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИФАЗНОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Мета роботи: Експериментальне дослідження робочих характеристик синхронного генератора.

Програма роботи

1. Вивчення будови трифазних синхронних генераторів; складання схеми для дослідження синхронного генератора та випробування лабораторної установки.
2. Експериментальне дослідження характеристики неробочого ходу синхронного генератора.
3. Експериментальне дослідження зовнішньої характеристики синхронного генератора.
4. Експериментальне дослідження регульовальної характеристики синхронного генератора.
5. Складання звіту.

Послідовність виконання роботи

Етап 1. Вивчення будови трифазних синхронних генераторів; складання схеми для дослідження синхронного генератора та випробування лабораторної установки.

Користуючись навчальною літературою наочним приладдям вивчити будову трифазних синхронних генераторів.

Ознайомитися з лабораторною установкою, призначеною для дослідження трифазного синхронного генератора. Ознайомитися з номінальними даними досліджуваного генератора і занести їх у табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Номінальні дані трифазного синхронного генератора. Робоче місце № _____

<i>Тип генератора</i>	$P_{ном}$ <i>кВт</i>	$U_{ном}$ <i>В</i>	$I_{ном}$ <i>А</i>	$n_{ном}$ <i>об/хв</i>	$h_{ном}$ <i>%</i>	$\cos j_{ном}$ <i>в.о.</i>

Підібрати необхідну вимірювальну апаратуру і зібрати електричне коло за схемою згідно рис. 1.1 (для підключення вольтметра і частотоміра необхідно виводи синхроколони \hat{A}_A і \hat{A}_A приєднати до однойменних виводів синхронного генератора).

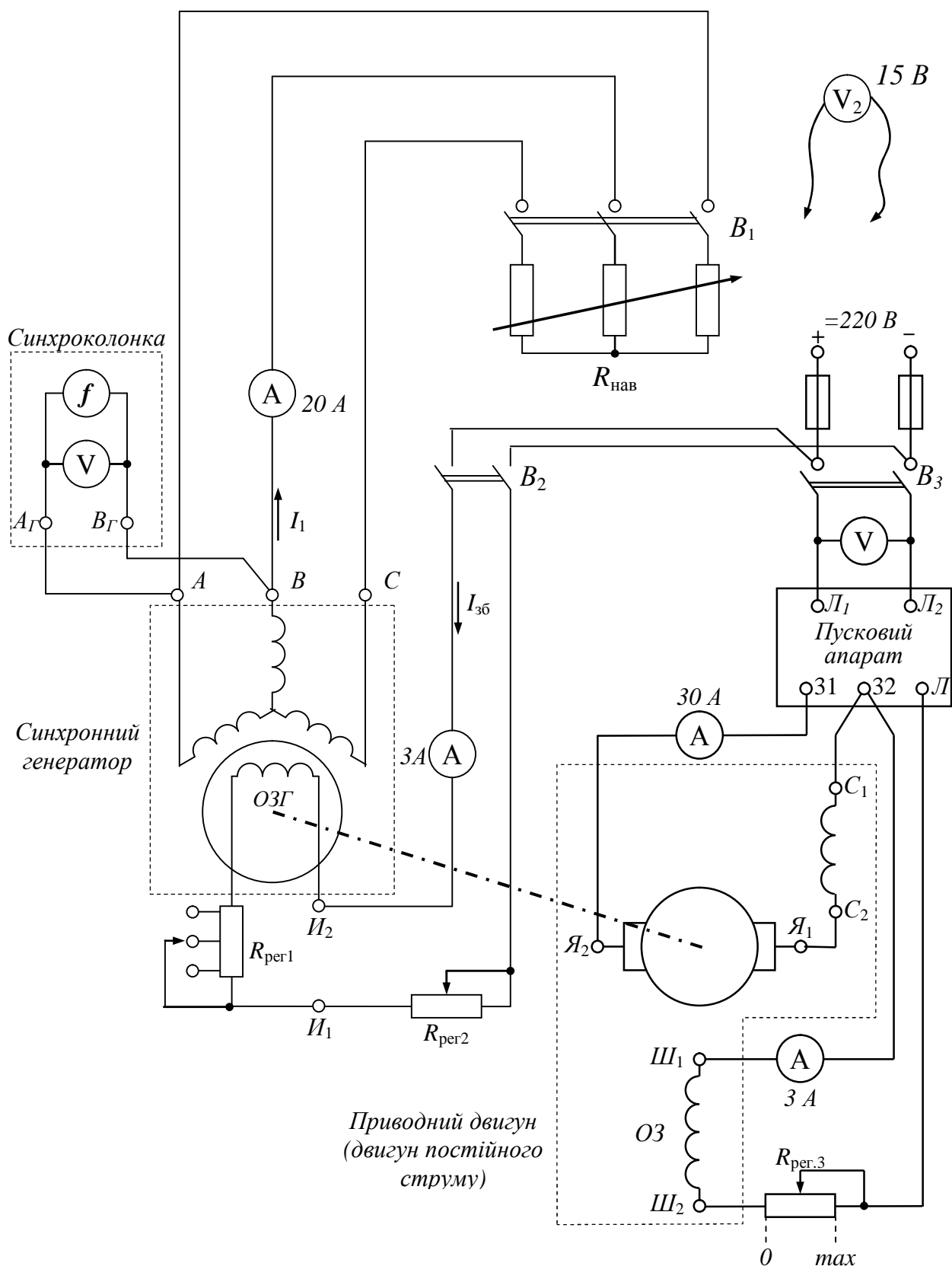


Рис. 1.1. Схема для дослідження трифазного синхронного генератора

Після перевірки керівником правильності складеної схеми перевести повзунок регульовального реостата $R_{\text{наб}}$, ввімкненого в коло обмотки збудження (ОЗ) двигуна постійного струму (привідного двигуна), у положення "0". Пода-

ти напругу на двигун постійного струму (ввімкнути автоматичний вимикач B_3) і натисканням на кнопку "ПУСК" на пусковому апараті здійснити запуск приводного двигуна.

Подати напругу на обмотку збудження синхронного генератора (ввімкнути вимикач \hat{A}_2) та регулюючи швидкість обертання приводного двигуна за допомогою регулювального реостата $R_{\delta\alpha\alpha 3}$, встановити номінальну частоту синхронного генератора, при якій швидкість обертання валу генератора дорівнює синхронній (частотомір, увімкнений в обмотку статора (якоря) генератора повинен показувати 50 Гц).

Етап 2. Експериментальне дослідження характеристики неробочого ходу синхронного генератора

Характеристика неробочого ходу синхронного генератора представляє собою залежність напруги на затискачах генератора від струму збудження: $U_0 = \hat{A}_0 = f(I_{\zeta\alpha})$ і знімається за умови $I_1 = 0$, $n = n_{\text{н}}^{\text{н}}$. Характеристику неробочого ходу знімають при зниженні струму збудження синхронного генератора $I_{3\beta}$, причому зміну струму збудження здійснюють плавно і тільки в одному напрямку.

Для дослідження характеристики неробочого ходу, регулюючи струм збудження генератора за допомогою реостатів $R_{\delta\alpha\alpha 1}$ і $R_{\delta\alpha\alpha 2}$, збільшити напругу генератора до $U_0 = (1,2 \div 1,3)U_{\text{н}}^{\text{н}}$.

Плавно зменшуючи струм збудження генератора, зняти 7-8 точок характеристики $U_0 = f(I_{\zeta\alpha})$, записуючи дані в табл. 1.2. Причому обов'язково зняти точку при $U_0 = U_{\text{н}}^{\text{н}}$, при цьому $I_{\zeta\alpha} = I_{\zeta\alpha.\text{н}}^{\text{н}}$. Останню точку характеристики зняти при відключеному вимикачеві \hat{A}_2 , тобто при $I_{\zeta\alpha} = 0$ (для визначення значення напруги скористатися вольтметром V_2). При цьому напруга на затискачах обмотки якоря виникає за рахунок залишкового намагнічування генератора.

Таблиця 1.2

Характеристика неробочого ходу синхронного генератора

$$U_0 = f(I_{\zeta\alpha}) \text{ при } I = 0, n = n_{\text{н}}^{\text{н}} = \text{const}$$

$I_{\zeta\alpha}, A$								
U_0, B								

Етап 3. Експериментальне дослідження зовнішньої характеристики синхронного генератора.

Зовнішньою характеристикою синхронного генератора є залежність на-

пруги на затискачах генератора від струму навантаження: $U = f(I_1)$, що знімається за умови $I_{\text{за}} = \text{const}$, $\cos \varphi = \text{const}$, $n = n_{\text{н}}$.

Для дослідження зовнішньої характеристики $U = f(I_1)$ при $\cos \varphi = 1$ при вимкненому вимикачу \hat{A}_1 , регулюючи струм збудження генератора реостатами $R_{\text{д1}}$ і $R_{\text{д2}}$, встановити номінальну напругу синхронного генератора. Це буде перша точка характеристики $U = f(I)$ при $I_1 = 0$.

Ввімкнути вимикач \hat{A}_1 і, поступово зменшуючи опір навантаження $R_{\text{д}}$ (опускаючи ножі трифазного водяного реостата), збільшувати навантаження генератора. Зняти 7-8 точок залежності $U = f(I)$ при $\cos \varphi = 1$, записуючи дані в табл. 1.3. Струм в обмотці збудження генератора підтримувати незмінним ($I_{\text{за}} = \text{const}$). Частоту струму якоря рівною 50 Гц підтримувати незмінною, регулюючи швидкість обертання приводного двигуна реостатом $R_{\text{д3}}$ ($f = \text{const} = 50 \text{ Гц}$).

Остання точка характеристики визначається або припустимим струмом приводного двигуна (який не повинен перевищувати його номінальний струм) або номінальним струмом синхронного генератора.

Таблиця 1.3

*Зовнішня характеристика синхронного генератора
 $U = f(I)$ при $I_{\text{за}} = \text{const}$, $\cos \varphi = \text{const}$, $n = n_{\text{н}}$.*

I, A								
U, B								

Примітка: Після дослідження характеристики плавно зменшити навантаження, підтримуючи частоту струму генератора 50 Гц.

Етап 4. Експериментальне дослідження регульовальної характеристики синхронного генератора.

Регульовальна характеристика синхронного генератора являє собою залежність струму збудження від струму навантаження: $I_{\text{за}} = f(I_1)$. Знімається за умови: $U = U_{\text{н}} = \text{const}$, $\cos \varphi = \text{const}$, $n = n_{\text{н}}$.

Для дослідження регульовальної характеристики $I_{\text{за}} = f(I_1)$ при $\cos \varphi = 1$ регулюючи струм збудження генератора реостатами $R_{\text{д1}}$ і $R_{\text{д2}}$, встановити номінальну напругу синхронного генератора, що працює в режимі неробочого ходу. Записати в табл. 1.4 першу точку регульовальної характеристики при $I_1 = 0$.

Увімкнути вимикач \hat{A}_1 і, поступово зменшуючи опір $R_{\text{д}}$ (опускаючи ножі трифазного водяного реостата), збільшувати навантаження генератора.

Зняти 7-8 точок залежності $I_{\text{сá}} = f(I_1)$ при $\cos\varphi=1$, записуючи дані в табл. 1.4. Напругу на затискачах генератора підтримувати незмінною ($U = U_{\text{нн}} = \text{const}$), реостатами $R_{\text{дд1}}$ та $R_{\text{дд2}}$. Частоту струму якоря що дорівнює 50 Гц, підтримувати незмінною, регулюючи швидкість обертання приводного двигуна реостатом $R_{\text{дд3}}$ ($f = \text{const} = 50 \text{ Гц}$).

Остання точка характеристики визначається або припустимим струмом приводного двигуна (який не повинен перевищувати його номінальний струм) або номінальним струмом синхронного генератора.

Таблиця 1.4

Регульовальна характеристика синхронного генератора
 $I_{\text{сá}} = f(I_1)$ при $U = U_{\text{нн}} = \text{const}$, $\cos\varphi = \text{const}$, $n = n_{\text{нн}}$.

I_1, A								
$I_{\text{сá}}, A$								

Примітка: Після дослідження характеристики плавно зменшити навантаження, підтримуючи частоту струму на виході генератора 50 Гц.

Етап 5. Складання звіту

Звіт з даної лабораторної роботи повинен містити:

1. Найменування роботи, її мету та програму.
2. Номінальні дані трифазного синхронного генератора (табл. 1.1).
3. Схему для дослідження трифазного синхронного генератора (рис. 1.1).
4. Дані для побудови характеристики неробочого ходу (табл. 1.2).
5. Дані для побудови зовнішньої характеристики (табл. 1.3).
6. Дані для побудови регульовальної характеристики (табл. 1.4).
7. Графіки характеристики неробочого ходу $E = f(I_{\text{сá}})$ (за табл. 1.2), зовнішньої характеристики $U = f(I)$ (за табл. 1.3), регульовальної характеристики $I_{\text{сá}} = f(I)$ (за табл. 1.4).

Методичні вказівки

У лабораторній роботі синхронна машина досліджується в режимі генератора. Приводним двигуном синхронного генератора є машина постійного струму змішаного збудження, встановлена на одному фундаменті з синхронним генератором. Вали обох машин сполучені муфтами. Пуск приводного двигуна проводиться за допомогою пускового апарата.

Регулювання частоти обертання двигуна постійного струмі здійснюють

змінюю струму збудження реостатом R_{δ} . Для збільшення частоти обертання (збільшення електромагнітного моменту) потрібно зменшити струм збудження двигуна.

Як навантаження синхронного генератора використовується водяний трифазний реостат.

Контрольні запитання

1. Поясніть схему лабораторної установки, призначеної для дослідження трифазного синхронного генератора.
2. Поясніть конструкцію синхронного генератора.
3. Поясніть принцип дії синхронного генератора.
4. Як визначити частоту ЕРС синхронного генератора, якщо відомо частота обертання та число пар полюсів?
5. Чому зі збільшенням навантаження синхронного генератора при $\cos\phi = 1$ збільшується струм приводного двигуна?
6. Чим пояснити нелінійність характеристики неробочого ходу?
7. Перелічіть основні характеристики синхронного генератора та умови їх знімання.
8. Яка характеристика генератора називається "характеристикою неробочого ходу"? Як вона знімається?
9. Які характеристики генератора називаються "зовнішніми характеристиками"? Як вони знімаються? Який вигляд буде мати зовнішня характеристика при індуктивному навантаженні? При ємнісному навантаженні?
10. Які характеристики генератора називаються "регульовальними характеристиками"? Як вони знімаються? Який вигляд буде мати регульовальна характеристика при індуктивному навантаженні? При ємнісному навантаженні?

Матеріали рекомендованої літератури

1. §§ 9.1 – 9.3, літ. [1];
2. § 14.1; §§ 16.1 – 16.5, літ. [2];
3. §§ 8.1 – 8.6, літ. [3].

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10/2

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СИНХРОННОГО ДВИГУНА В РЕЖИМІ РЕГУЛЮВАННЯ СТРУМУ ЗБУДЖЕННЯ

Мета роботи: Вивчити асинхронний пуск синхронного двигуна. Зняти експериментально характеристики синхронного двигуна при регулюванні струму збудження.

Програма роботи

1. Вивчення особливостей асинхронного пуску синхронного двигуна.
2. Виконання асинхронного пуску синхронного двигуна.

3. Дослідження U - подібних характеристик $I_1 = f(I_{\zeta\acute{a}})$ і характеристик $\cos \varphi = f(I_{\zeta\acute{a}})$ при $E_1 = const$.
4. Складання звіту.

Послідовність виконання роботи

Етап 1. Вивчення особливостей асинхронного пуску синхронного двигуна

За допомогою методичних вказівок та рекомендованої літератури вивчити особливості асинхронного пуску синхронного двигуна.

Занести паспортні дані синхронного двигуна у табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Номінальні дані трифазного синхронного двигуна. Робоче місце № ____

<i>Тип</i>	$P_{ном}$ кВт	$U_{ном}$ В	$I_{ном}$ А	$n_{ном}$ об/хв	$h_{ном}$ %	$\cos j_{ном}$ в.о.

Етап 2. Виконання асинхронного пуску синхронного двигуна

Підібрати необхідну вимірювальну апаратуру і зібрати схему для асинхронного пуску синхронного двигуна згідно рис. 2.1. Представити зібрану схему для перевірки викладачу.

Пуск синхронного двигуна (СД) здійснюється без навантаження (вимикач \hat{A}_4 повинен бути вимкнений). Послідовність пуску двигуна полягає у наступному:

2.1. Ввімкнути вимикач \hat{A}_6 . При цьому обмотка збудження синхронного двигуна (ОЗД) замкнута на активний опір $r = 12,5 \hat{i}$, який у 8 – 10 разів перевищує опір обмотки збудження.

2.2. Ввімкнути вимикач \hat{A}_2 ("пуск"), що шунтує амперметри у колі обмотки статора (якоря) під час пуску.

2.3. На трансформаторах струму встановити шунтувальний елемент у центральний паз (50 А).

2.4. Ввімкнути двигун у мережу за допомогою вимикача \hat{A}_1 при номінальній напрузі мережі живлення.

2.5. Проконтролювати вольтметром наявність напруги збудника (движок реостата $R_{\delta\acute{a}\acute{a}}$ у колі обмотки збудження збудника (ОЗЗ) повинен бути встановлений на червоній рисці).

2.6. Якщо швидкість двигуна досягла сталого значення, вимкнути вимикач \hat{A}_6 та увімкнути вимикач \hat{A}_5 , при цьому обмотка збудження буде живитися від збудника.

2.7. Увімкнути у коло обмотки якоря амперметри А1 – при струмі якоря

синхронного двигуна до 30 А або А2 – при струмі якоря синхронного двигуна до 10 А (ввімкнути відповідний з вимикачів \hat{A}_3 або \hat{A}'_3 та вимкнути \hat{A}_2).

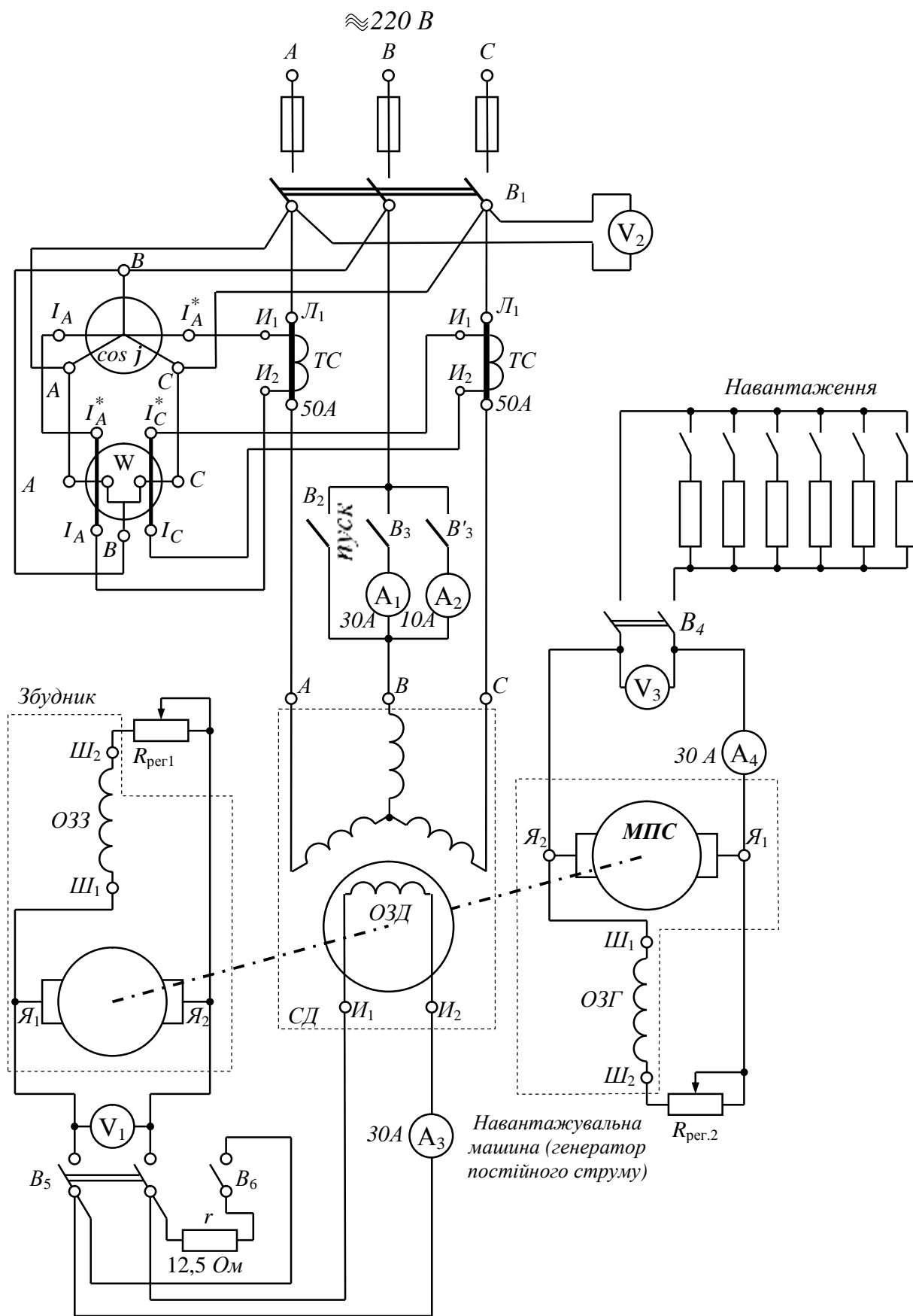


Рис. 2.1. Схема асинхронного пуску синхронного двигуна та експериментальне дослідження його U-подібних характеристик

Етап 3. Дослідження U-подібних характеристик

Залежність струму якоря від струму збудження $I_1 = f(I_{\text{сá}})$ знімати при незмінній напрузі обмотки якоря двигуна і при незмінному навантаженні на валу двигуна. Встановлювати наступні значення навантаження:

$$D_1 = D_0; \quad D_1 = 0,3D_{\text{нi}}; \quad D_1 = 0,5D_{\text{нi}}.$$

При неробочому ході синхронного двигуна $D_1 = D_0$ встановити нормальний струм збудження $I_{\text{сá}} = I_{\text{сá}(\text{нi})}$, що відповідає $\cos \varphi = 1$ або $I_1 = \min$. Значення $I_{\text{сá}(\text{нi})}$ та $D_1 = D_0$ занести в табл. 3.2. за показами ватметра W з урахуванням коефіцієнту трансформації $K_{\text{т}}$ вимірювальних трансформаторів.

3.1. Регулюючи опір $R_{\text{дãã}}$ у колі обмотки збудження збудника, встановити максимальне значення струму збудження $I_{\text{сá.max}} \approx 2I_{\text{сá}(\text{нi})}$. Поступово зменшуючи струм збудження від $I_{\text{сá.max}}$ до $I_{\text{сá}(\text{нi})}$ знімати залежності $I_1 = f(I_{\text{сá}})$ та $\cos \varphi = f(I_{\text{сá}})$, записуючи дані вимірів у графу "перезбудження" табл. 3.2. Зняти 7÷8 точок, причому не менш 5 точок повинні бути в області показань фазометра ($\cos \varphi \approx 0,7 \div 1,0$). При значеннях струму збудження двигуна близьких до $I_{\text{сá}(\text{нi})}$, значення струму якоря I знімати за допомогою амперметра А2 з меншою межею при вимкненому колі амперметра А1¹. Зняти 7 – 8 точок при зміні струму збудження від $I_{\text{сá}(\text{нi})}$ до $I_{\text{сá.min}}$, записуючи дані в графу "недозбудження" табл. 3.2. При цьому також не менш 5 точок повинні бути в області показань фазометра $\cos \varphi \approx 0,7 \div 1,0$.

3.2. Після того, як закінчені виміри при неробочому ході, встановити нормальний струм збудження.

3.3. Ввімкнути вимикач \hat{A}_4 і встановити навантаження $D_1 = 0,3D_{\text{нi}}$ регулюючи величину навантажувального опору в колі генератора постійного струму. Точну установку навантаження можна здійснювати регулювальним релістатом у колі обмотки збудження генератора (ОЗГ). Встановити нормальний струм збудження синхронного двигуна. Записати значення $I_{\text{сá}(\text{нi})}$ та D_1 у табл. 2.2.

3.4. Зняти залежність $I_1 = f(I_{\text{сá}})$ і $\cos \varphi = f(I_{\text{сá}})$ при $D_1 = 0,3D_{\text{нi}}$, починаючи зі значення $I_{\text{сá.max}} \approx 2I_{\text{сá}(\text{нi})}$. При цьому вимірювати струм якоря синхронного двигуна I та коефіцієнт потужності $\cos \varphi$ для 6 – 7 значень у режимі перезбудження і 6 – 7 значень $I_{\text{сá}}$ у режимі недозбудження, причому всі струми

¹ Примітка: Коло обмотки статора не залишати розімкненим при перемиканні з амперметра A_1 на амперметр A_2 . При перемиканні спочатку зашунтувати амперметри за допомогою вимикача B_2 , вибрати необхідний прилад та ввімкнути відповідний вимикач B_3 , а потім розімкнути B_2 .

повинні бути зняті в області показань фазометра ($\cos \varphi \approx 0,7 \div 1,0$). Щоб уникнути випадання із синхронізму $I_{\text{за. min}}$ повинен бути не нижче $0,25 I_{\text{за(ііді)}}$.

Таблиця 2.2

U-подібні характеристики $I_1 = f(I_{\text{за}})$ та характеристики $\cos \varphi = f(I_{\text{за}})$ при $E_1 = \text{const}$ синхронного двигуна

Навантаження, струм якоря та нормальний струм збудження (при $\cos \varphi = 1$)	недозбудження			перезбудження		
	$I_{\text{за}}, A$	I, A	$\cos \varphi$	$I_{\text{за}}, A$	I, A	$\cos \varphi$
$P_2 = \text{_____} \text{ еАò}$ $I_{1\text{min}} = \text{_____} \text{ А}$ $I_{\text{за(ііді)}} = \text{_____} \text{ А}$						
$P_2 = \text{_____} \text{ еАò}$ $I_{1\text{min}} = \text{_____} \text{ А}$ $I_{\text{за(ііді)}} = \text{_____} \text{ А}$						
$P_2 = \text{_____} \text{ еАò}$ $I_{1\text{min}} = \text{_____} \text{ А}$ $I_{\text{за(ііді)}} = \text{_____} \text{ А}$						

3.5. Після того, як закінчені виміри при навантаженні $D_1 = 0,3D_{\text{н}}$ встановити при цьому навантаженні нормальний струм збудження.

3.6. Збільшити навантаження до значення $D_1 = 0,5D_{\text{н}}$ і зняти залежності $I_1 = f(I_{\text{сá}})$ і $\cos \varphi = f(I_{\text{сá}})$, керуючись вказівками, приведеними в п.п. 3.3 – 3.5.

Етап 4. Складання звіту

Звіт з даної лабораторної роботи повинен містити:

1. Найменування роботи, її мету та програму.
2. Номінальні дані трифазного синхронного двигуна (табл. 2.1).
3. Принципову схему асинхронного способу пуску синхронного двигуна (рис. 2.1) та дослідження його U -подібних характеристик.
4. Експериментальні данні (табл. 2.2) та U -подібні характеристики синхронного двигуна $I_1 = f(I_{\text{сá}})$ і $\cos \varphi = f(I_{\text{сá}})$ при $D_1 = \text{const}$.

Методичні вказівки

До етапу 1

Існують наступні способи пуску синхронного двигуна:

1) пуск за допомогою допоміжного розгінного двигуна, яким ротор синхронного двигуна попередньо приводиться в обертання до швидкості, майже рівної синхронній; потім машина збуджується і включається в мережу методом самосинхронізації як синхронний генератор;

2) асинхронний пуск;

3) частотний пуск, коли f плавно змінюється.

У лабораторній роботі потрібно здійснити асинхронний пуск, що є самим розповсюдженим способом пуску синхронних двигунів потужністю до 500 кВт.

Пуск двигунів великої потужності звичайно здійснюється при зниженій напрузі. Двигуни порівняно невеликої потужності пускаються прямим вмиканням у мережу.

Перед пуском обмотку збудження двигуна замикають на активний опір (8 – 10-кратний в порівнянні з опором обмотки збудження). Її не можна замикати накоротко в початковий період пуску, інакше двигун при розбігу може застрягти поблизу напівсинхронної швидкості через явище "одноосьового ефекту". Обмотку збудження не можна також залишати розімкнутою, тому що в ній при пуску наводиться значна напруга, небезпечна для людини і для ізоляції обмотки. Момент обертання при пуску виникає від взаємодії обертового магнітного поля зі струмами, які індукуються в стрижнях короткозамкненої пускової обмотки, в обмотці збудження і з вихровими струмами, які індукуються в полюсних наконечниках ротора. В міру зростання частоти обертання і зменшення ковзання ротора асинхронний момент двигуна зменшується (при синхронізмі він відсутній). Тому двигун не може під дією асинхронного моменту досягти синхронної швидкості. Втягування в синхронізм відбувається під дією реактивного

моменту, обумовленого явнополюсною конструкцією ротора та електромагнітного моменту, що виникає при вмиканні обмотки збудження в мережу джерела постійного струму.

До етапу 3

Залежність струму якоря від струму збудження $I_1 = f(I_{\text{за}})$ при постійному навантаженні на валу і постійній напрузі представляє U - подібні криві, аналогічні таким само кривим синхронного генератора. У синхронному двигуні споживаний їм активний струм стає випереджальним, у відношенні до напруги мережі при перезбудженні і відстаючим – при недозбудженні. При експлуатації рекомендується використовувати синхронний двигун у перезбудженому режимі, тому що в цьому випадку він є одночасно і генератором реактивної потужності, що сприяє підвищенню коефіцієнта потужності мережі.

Навантаження двигуна в лабораторній роботі зручніше оцінювати по споживаній з мережі потужності P_1 .

В якості навантаження синхронного двигуна використовується з'єднана з ним муфтою машина постійного струму, що працює в режимі генератора.

Слід зазначити, що споживана двигуном потужність P_1 не залишається постійною, а змінюється при різних значеннях струму якоря внаслідок зміни втрат у двигуні.

Контрольні запитання

1. Які застосовуються способи пуску синхронних двигунів?
2. У чому полягає перевага асинхронного пуску синхронного двигуна перед іншими способами пуску?
3. Поясніть особливості пуску синхронного двигуна за допомогою приводного двигуна; частотного способу пуску.
4. За рахунок якого моменту відбувається втягування двигуна в синхронізм?
5. Яким чином створюється навантаження синхронного двигуна в умовах лабораторії?
6. Як характеризуються струми якоря та обмотки збудження при перезбудженні і недозбудженні двигуна?
7. Чим відрізняється $\cos \phi$ двигуна в режимі перезбудження від режиму недозбудження?
8. У якому режимі збудження (недозбудженому, нормальному чи перезбудженому) рекомендується експлуатувати синхронний двигун і чому?
9. Які основні переваги і недоліки синхронних двигунів перед іншими типами двигунів змінного струму?

Матеріали рекомендованої літератури

1. § 9.5, літ. [1];
2. §§ 18.1 – 18.3, § 18.6; літ. [2];
3. §§ 8.13 – 8.15, літ. [3].

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10/3

ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕНЕРАТОРА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ПАРАЛЕЛЬНОГО ЗБУДЖЕННЯ

Мета роботи: Вивчити конструкцію генератора постійного струму та одержати експериментальні дані для побудови його характеристик.

Програма роботи

1. Вивчення конструкції генератора постійного струму.
2. Ознайомлення з експериментальною установкою, складання схеми та її випробування.
3. Експериментальне дослідження характеристики неробочого ходу генератора.
4. Експериментальне дослідження зовнішньої характеристики генератора.
5. Експериментальне дослідження регульовальної характеристики генератора.
6. Обробка даних.
7. Складання звіту.

Послідовність виконання роботи

Етап 1. Вивчення конструкції генератора постійного струму

1.1. Користуючись навчальною літературою та наочним приладдям Вивчити конструкцію генератора постійного струму, будову його елементів (статора, якоря, обмоток збудження, обмотки якоря, колектора, струмознімального пристрою та інших елементів машини постійного струму) і їх призначення.

1.2. Записати заводські дані генератора, що досліджується та приводного двигуна в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1

Номинальні дані електричних машин. Робоче місце № _____

Генератор постійного струму						
Тип генератора	$P_{\text{н.а.}}$, кВт	$U_{\text{н.а.}}$, В	$I_{\text{н.а.}}$, А	$n_{\text{н.а.}}$, об/хв	$I_{\text{с.а.н.}}$, А	$h_{\text{н.а.}}$, %
Асинхронний двигун						
Тип двигуна	$P_{\text{н.а.}}$, кВт	$U_{\text{н.а.}}$, В	$I_{\text{н.а.}}$, А	$n_{\text{н.а.}}$, об/хв	$h_{\text{н.а.}}$, %	$\cos \varphi_{\text{ном}}$ в.о.

Етап 2. Ознайомлення з експериментальною установкою складання схеми та її випробування

2.1. Експериментальне дослідження генератора постійного струму паралельного збудження виконують на стенді, схема якого наведена на рис. 3.1, де приводною машиною для генератора G є трифазний асинхронний двигун M з фазним ротором (Схема ввімкнення обмотки статора обирається у відповідності до напруги живлення та номінальної напруги двигуна). Пуск асинхронного двигуна проводиться за допомогою пускового реостата. На початку пуску рукоятка пускового реостата розташовується в положенні "ПУСК", а після закінчення пуску реостат повинен бути повністю виведений і рукоятка розміститися в положенні "ПОВНИЙ". У колах генератора встановлені прилади, за допомогою яких вимірюють напругу на затискачах генератора (вольтметр V_2), струм навантаження (амперметр A_2) і струм збудження (амперметр A_3). Регулювальний реостат R_{δ} служить для зміни струму збудження, однополюсний вимикач B_2 – для розриву кола обмотки збудження. Навантаження генератора здійснюється за допомогою реостата навантаження $R_{\text{на}}$.

2.2. Зібрати схему згідно рис. 3.1, де G – генератор, що досліджується; $Ш1, Ш2$ – виводи обмотки збудження генератора, $Я1, Я2$ – виводи обмотки якоря генератора, M – приводний асинхронний двигун. A, B, C – виводи асинхронного двигуна, $P1, P2, P3$ – виводи регулювального реостата. Вимкнути всі вимикачі.

2.3. Після перевірки схеми викладачем провести пробний пуск установки, увімкнувши вимикачі B_1 і B_2 . Перевірити відповідність напрямку обертання приводного двигуна і правильність включення вимірювальних приладів. Якщо не здійснилося збудження генератора, вжити відповідних заходів, згідно з рекомендаціями, які дані в методичних вказівках до етапу 1

Етап 3. Експериментальне дослідження характеристики неробочого ходу

Характеристика неробочого ходу генератора паралельного збудження – це залежність ЕРС якоря генератора від струму збудження при сталій частоті обертання та відсутності навантаження:

$$E = U_0 = f(I_{\text{за}}) \text{ при } n = \text{const}, I_{\text{на}} = 0.$$

Дослідження характеристики неробочого ходу генератора паралельного збудження проводиться у наступному порядку:

3.1. Встановити за допомогою реостата R_{δ} струм збудження в обмотці збудження генератора постійного струму мінімальним і вимкнути вимикач A_2 . Зняти значення першої точки характеристики неробочого ходу і записати значення струму збудження $I_{\text{за}} = 0$ А і відповідне йому значення ЕРС, обумовлену залишковим намагніченням головних полюсів, в таблицю 3.2.

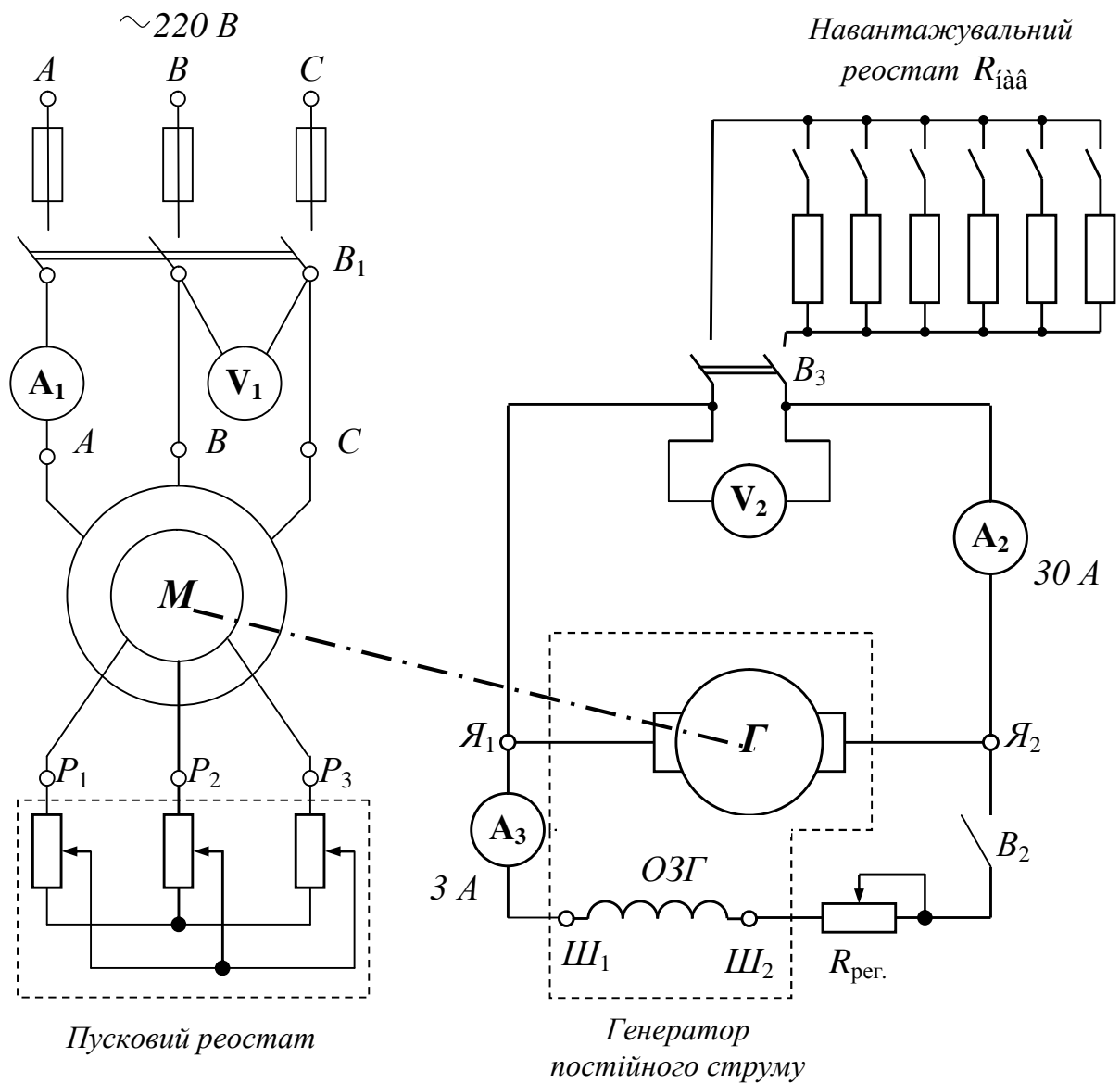


Рис. 3.1. Схема установки для дослідження генератора постійного струму

3.2. Включити вимикач \hat{A}_2 і переміщуючи ручку регульовального реостата $R_{\text{іаа}}$ в одному напрямі (для збільшення струму збудження) довести напругу генератора до величини $1,2U_{\text{ііі}}$, записуючи показання приладів – вольтметра і амперметра A_2 – в табл. 3.2. Зняти 6 точок. Останню точку зняти при відключеному вимикачу \hat{A}_2 : $I_{\text{çá}} = 0 \text{ A}$, $U = E_{\text{çáë}} = \mathbf{K} \text{ В}$.

Таблиця 3.2

Характеристика неробочого ходу генератора постійного струму

$$U_0 = f(I_{\text{çá}}) \text{ при } n = \text{const}, I_a = 0.$$

Характеристика неробочого ходу генератора							
$I_{\text{çá}}, \text{ A}$	0						
$U_0, \text{ В}$							

Етап 4. Експериментальне дослідження зовнішньої характеристики

Зовнішня характеристика генератора – це залежність напруги на затискачах генератора від струму навантаження при сталій частоті обертання та незмінному опорі у колі збудження:

$$U = f(I_{ia\hat{a}}) \text{ при } n = const, R_{\delta\hat{a}\hat{a}} = const.$$

Зовнішню характеристику генератора знімати для збільшення навантаження генератора (опір навантаження зменшується, струм навантаження – зростає).

Ввімкнути вимикач B_2 та встановити напругу на затискачах генератора на рівні $U = 1,2U_{i\hat{i}}$. Першу точку характеристики зняти при неробочому ході $U = 1,2U_{i\hat{i}}$, $I_{ia\hat{a}} = 0$ А. Надалі регулювальний реостат $R_{\delta\hat{a}\hat{a}}$ не використовувати. Ввімкнути вимикач B_3 і поступово увімкнувши ступені навантажувального реостата $R_{ia\hat{a}}$ збільшити струм навантаження (не більше номінального струму якоря генератора $I \leq I_{ia\hat{a}.\hat{a}}$). Зняти 5 – 6 точок характеристики. Дані вимірювань записати в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3

Зовнішня характеристика генератора постійного струму

$$U = f(I_{ia\hat{a}}) \text{ при } n = const, R_{\delta\hat{a}\hat{a}} = const.$$

I, A	0						
U, B							

Після закінчення вимірювань поступово зняти навантаження та вимкнути вимикач B_3 та B_1 .

Етап 5. Експериментальне дослідження регулювальної характеристики

Регулювальна характеристика – це залежність струму збудження $I_{\zeta\hat{a}}$ від струму навантаження $I_{ia\hat{a}}$ при сталих значеннях частоти обертання і напруги генератора

$$I_{\zeta\hat{a}} = f(I_{ia\hat{a}}) \text{ при } U = const, n = const.$$

Встановити напругу на затискачах генератора в режимі неробочого ходу (вимикач B_2 – ввімкнено, B_3 – вимкнено) на рівні $U = U_{i\hat{i}}$. При струмі навантаження $I_{ia\hat{a}} = 0$ А визначити струм збудження генератора.

Увімкнути навантаження (увімкнути вимикач B_3) і поступово вмикаючи ступені реостата навантаження $R_{ia\hat{a}}$ збільшити струм (не більше номінального струму якоря генератора $I \leq I_{ia\hat{a}.\hat{a}}$). При цьому за допомогою регулювального реостата $R_{\delta\hat{a}\hat{a}}$ підтримувати напругу на затискачах генератора рівною номіна-

льній. Зняти 5 – 6 точок характеристики. Дані вимірювань записати в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4

Регулювальна характеристика генератора постійного струму

$$I_{\text{çá}} = f(I_{\text{iaâ}}) \text{ при } n = \text{const}, U = \text{const} = \text{_____} \text{ В}$$

I, A	0						
$I_{\text{çá}}, A$							

Після закінчення вимірювань поступово зняти навантаження, при цьому необхідно стежити, щоб напруга на затискачах генератора не перевищувала $U = 1,2U_{\text{н}}$.

Після дослідження характеристик вимкнути всі вимикачі, ознайомити викладача з результатами вимірювань, зняти запобіжники і дочекавшись повної зупинки валу машини, розібрати схему.

Етап 6. Обробка даних

За даними вимірювань (табл. 3.2, 3.3, 3.4) побудувати характеристику неробочого ходу $U_0 = f(I_{\text{çá}})$, зовнішню $U = f(I_{\text{iaâ}})$ і регулювальну $I_{\text{çá}} = f(I_{\text{iaâ}})$ характеристики.

Визначити за графіком значення номінального струму збудження, при якому в неробочому режимі напруга на затискачах генератора дорівнює номінальній (характеристика неробочого ходу).

Етап 7. Складання звіту

Звіт з даної лабораторної роботи повинен містити:

1. Найменування роботи, її мету та програму.
2. Номінальні дані генератора постійного струму та приводного двигуна (заповнена табл. 3.1).
3. Схему установки для дослідження генератора постійного струму (рис. 3.1).
4. Дані для побудови характеристики неробочого ходу (табл. 3.2).
5. Дані для побудови зовнішньої характеристики (табл. 3.3).
6. Дані для побудови регулювальної характеристики (табл. 3.4).
7. Графіки характеристики неробочого ходу $U_0 = f(I_{\text{çá}})$ (за табл. 3.2), зовнішньої характеристики $U = f(I_{\text{iaâ}})$ (за табл. 3.3), регулювальної характеристики $I_{\text{çá}} = f(I_{\text{iaâ}})$ (за табл. 3.4).

Методичні вказівки

До етапу 1

Генератор постійного струму складається з нерухомої частини – *статора* (*індуктора*) і частини, що обертається – *якоря*.

Статор складається із станини, що є сталеним циліндром, на внутрішній поверхні якого укріплено парне число головних полюсів. Головний полюс складається з осердя полюса, що набирається з ізолюваних листів електротехнічної сталі, і полюсної котушки. Котушки полюсів сполучені так, щоб полярність полюсів чергувалася. Вони утворюють обмотку збудження. Якщо обмотка збудження живиться від стороннього джерела постійного струму генератор називають *генератором незалежного збудження*. Якщо обмотки збудження живляться від якоря цього ж генератора, він називається *генератором з самозбудженням*.

Якір складається з магнітопровода, що набирається з листів електротехнічної сталі, з пазами на зовнішній поверхні. В пази магнітопровода якоря укладається обмотка, що складається з секцій, приєднаних до пластин колекторів, з якими контактує система струмопровідних щіток. Щітки з'єднуються із затискачами якоря $Я_1$ і $Я_2$. Більшість машин постійного струму має дві обмотки збудження – паралельну і послідовну. Перша з'єднується паралельно з колом якоря та має велике число витків. Її виводи позначаються $Ш_1$ і $Ш_2$. Послідовна обмотка збудження з малою кількістю витків з'єднується послідовно з колом якоря. Її виводи позначаються C_1 і C_2 . Генератори з обмоткою збудження першого типу називають *генераторами паралельного збудження*, а з обмоткою збудження другого типу – *генераторами послідовного збудження*. Генератори змішаного збудження мають дві обмотки: паралельну і послідовну, які використовуються одночасно.

Для компенсації поперечної реакції якоря і поліпшення умов комутації в машинах постійного струму між головними полюсами розміщують додаткові полюси. Число цих полюсів дорівнює числу головних полюсів, і лише в двополюсних машинах малої потужності є один додатковий полюс. Обмотки додаткових полюсів мають невелике число витків, малий опір, виводи їх позначають D_1 і D_2 .

При обертанні якоря в нерухомому магнітному полі машини в обмотках якоря наводиться змінна ЕРС, яка за допомогою колектора і системи струмопровідних щіток перетворюється в ЕРС постійної напруги

$$E = \frac{pn}{60} \cdot \frac{N}{a} \cdot \Phi,$$

де p – число пар головних полюсів машини, n – частота обертання якоря, об/хв, N – число активних провідників якоря, a – число паралельних гілок обмотки якоря, Φ – магнітний потік одного головного полюса, Вб.

Для певного генератора формулу ЕРС можна записати так:

$$E = C_e n \Phi,$$

де $C_e = \frac{p}{60} \cdot \frac{N}{a}$ – є для даної машини деякою постійною величиною.

Генератор постійного струму з паралельним збудженням відноситься до машин, в яких використовується явище самозбудження.

При пуску в хід генератора спочатку струм в якорі, а отже і в обмотці збудження, відсутній, а у осерді головних полюсів завжди зберігається невеликий потік залишкового магнетизму ($\Phi_{\text{зає}}$), рівний 1-3 % номінального потоку машини. Він залишається як наслідок намагнічування машини, що мало місце раніше при її роботі.

При обертанні якоря генератора в його обмотці потоком $\Phi_{\text{зає}}$ індукуються спочатку невелика ЕРС – $E_{\text{зає}}$. Ця ЕРС створює деякий струм $I_{\text{за}}$ в обмотці збудження. По відношенню до $\Phi_{\text{зає}}$ він може бути направлений згідно або зустрічно, тобто підмагнічувати або розмагнічувати машину. Для самозбудження необхідна погоджена дія обмотки збудження з потоком $\Phi_{\text{зає}}$, при цьому МРС обмотки збудження, підсилює магнітне поле машини, а останнє індукуює більшу ЕРС в обмотці якоря і т.д. При цьому процес самозбудження протікатиме до тих пір, поки падіння напруги в обмотці збудження $U_{\text{за}} = I_{\text{за}} R_{\text{за}}$ не, порівняється з ЕРС генератора.

При збільшенні опору кола обмотки збудження напруга генератора зменшується. При деякому великому опорі кола збудження, що називається критичним, машина не збуджується.

Через похибки вимірювання може мати місце розкидання точок експериментальних спостережень. Невірно є побудова характеристики шляхом з'єднання точок ломаною лінією.

На рис. 3.2. в якості прикладу показана побудова регульовальної характеристики генератора.

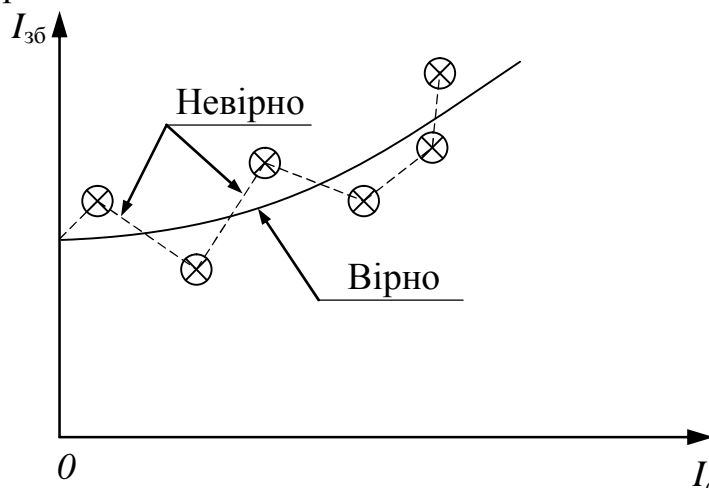


Рис. 3.2. Побудова регульовальної характеристики генератора

До етапу 3

Характеристика неробочого ходу генератора паралельного збудження – це залежність ЕРС якоря генератора від струму збудження при сталій частоті обертання та відсутності навантаження:

$$E = U_0 = f(I_{\zeta\acute{a}}) \text{ при } n = const, I_{i\grave{a}\grave{a}} = 0.$$

При сталій частоті обертання величина ЕРС якоря генератора ($E = C_e \Phi n$) пропорційна магнітному потоку, тому характеристика неробочого ходу генератора є характеристикою намагнічування машини (рис. 3.3).

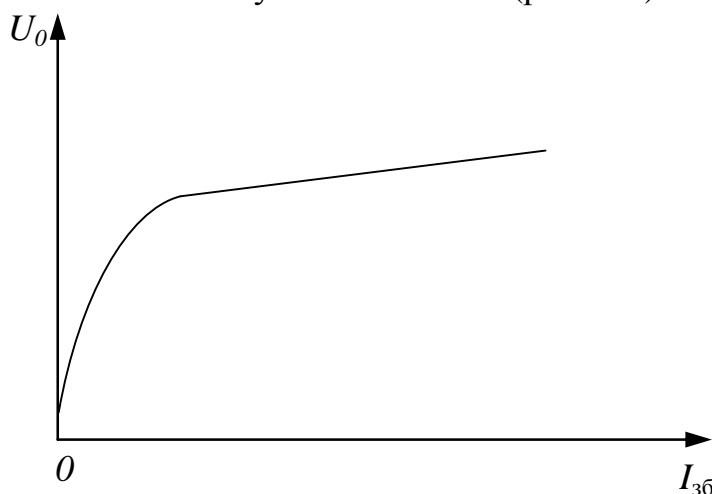


Рис. 3.3. Характеристика неробочого ходу генератора паралельного збудження:

До етапу 4

Зовнішня характеристика генератора – це залежність напруги на затискачах генератора від струму навантаження при сталій частоті обертання та незмінному опорі у колі збудження:

$$U = f(I_{i\grave{a}\grave{a}}) \text{ при } n = const, R_{\delta\grave{a}\grave{a}} = const.$$

Зменшення напруги в генераторі паралельного збудження при знятті зовнішньої характеристики викликано трьома причинами:

1. Падінням напруги в колі якоря.
2. Зменшенням магнітного потоку через розмагнічуючу дію поперечної реакції якоря.
3. Зменшенням струму збудження через зменшення напруги на затискачах обмотки збудження генератора

$$I_{\zeta\acute{a}} \downarrow = \frac{U \downarrow}{R_{\zeta\acute{a}} + R_{\delta\grave{a}\grave{a}}}, R_{\zeta\acute{a}} + R_{\delta\grave{a}\grave{a}} = const.$$

При поступовому зменшенні опору зовнішнього кола струм навантаження збільшується тільки до деякого значення, що називається критичним струмом $I_{\hat{e}\delta}$ (рис. 3.4). Цей струм звичайно не перевищує номінальний струм більш ніж у 2...2,5 рази. Подальше зменшення опору навантаження виводить генератор із стійкого режиму роботи і генератор розмагнічується, напруга генератора знижується до нуля. Коли опір зовнішнього кола дорівнює нулю, це означає, що генератор замкнутий накоротко (точка А).

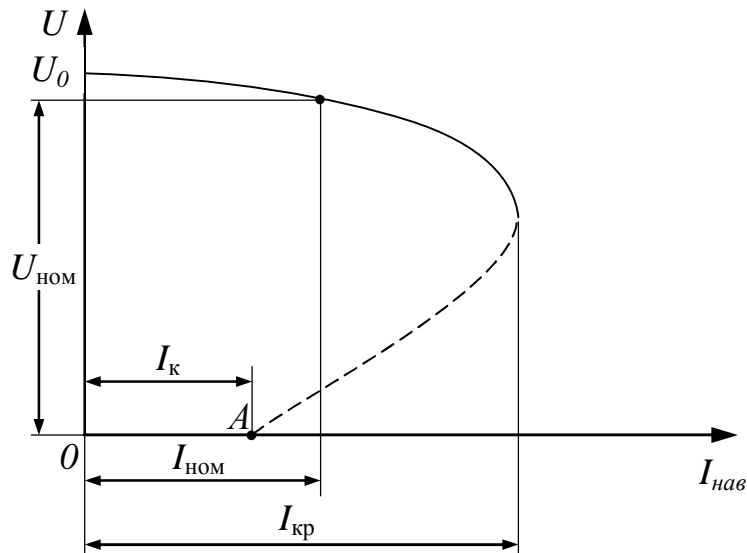


Рис. 3.4. Зовнішня характеристика генератора постійного струму

До етапу 5

Регульовальна характеристика (рис. 3.2) — це залежність струму збудження $I_{\text{зб}}$ від струму навантаження $I_{\text{нав}}$ при сталих значеннях частоти обертання і напруги генератора

$$I_{\text{зб}} = f(I_{\text{нав}}) \text{ при } U = \text{const}, n = \text{const}.$$

Регульовальна характеристика показує, як потрібно регулювати струм збудження, щоб при зміні струму навантаження підтримувати постійну напругу на затискачах генератора.

Для підтримки напруги постійною при зростанні навантаження струм збудження необхідно збільшувати, з тим щоб компенсувати падіння напруги і розмагнічуючу дію поперечної реакції якоря, яка збільшується із зростанням навантаження.

Контрольні запитання

1. Які існують способи збудження генераторів постійного струму? Наведіть схеми вмикання.
2. Яку будову має генератор постійного струму паралельного збудження? Призначення та конструкція його головних елементів (якоря, ярма, колектора, головних та додаткових полюсів, обмоток якоря та збудження).
3. Яку найменшу та найбільшу кількість затискачів може мати генератор постійного струму? Як вони маркуються?
4. Від чого залежить ЕРС генератора постійного струму?
5. Умови самозбудження генератора постійного струму?
6. Як протікає процес самозбудження генератора постійного струму?
7. Чому не може наступити режим самозбудження генератора постійного струму?
8. Від чого залежить напруга на затискачах генератора постійного струму?
9. Що називається характеристикою неробочого ходу генератора і як її отримати?

10. Що називається зовнішньою характеристикою генератора і як її отримати?

11. Які причини викликають зниження напруги на затискачах генератора при збільшенні навантаження?

12. Що називається регулювальною характеристикою генератора і як її отримати?

Матеріали рекомендованої літератури

1. §§ 10.1 – 10.3, літ. [1];
2. §§ 19.1 – 19.2; 22.1 – 22.4, літ. [2];
3. §§ 10.1 – 10.4; 10.8, літ. [3].

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10/4

ДОСЛІДЖЕННЯ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ПАРАЛЕЛЬНОГО ЗБУДЖЕННЯ

- Мета роботи:**
1. Вивчити пристрій двигуна постійного струму, способи пуску, зміни напрямку обертання якоря і регулювання його частоти обертання.
 2. Одержати експериментальним шляхом дані для побудови швидкісної і регулювальної характеристик.

Програма роботи

1. Вивчення конструкції двигуна постійного струму.
2. Вивчення способів пуску, зміни напрямку та регулювання частоти обертання двигуна постійного струму паралельного збудження.
3. Ознайомлення з експериментальною установкою, складання схеми і її випробування.
4. Експериментальне дослідження регулювальної характеристики двигуна.
5. Експериментальне дослідження електромеханічної (швидкісної) та робочих характеристик двигуна.
6. Складання звіту.

Послідовність виконання роботи

Етап 1. Вивчення конструкції двигуна постійного струму

- 1.1. Вивчити конструкцію двигуна постійного струму паралельного збудження.
- 1.2. Записати заводські дані двигуна, що досліджується в табл. 4.1.

Номинальні дані двигуна постійного струму. Робоче місце № _____

<i>Тип двигуна</i>	$P_{\text{н}} ,$ <i>кВт</i>	$U_{\text{н}} ,$ <i>В</i>	$I_{\text{н}} ,$ <i>А</i>	$I_{\text{за.н}} ,$ <i>А</i>	$n_{\text{н}} ,$ <i>об/хв</i>	$\eta_{\text{н}} ,$ <i>%</i>

$I_{\text{за.н}}$ – номінальне значення струму збудження двигуна (визначається при роботі двигуна у неробочому режимі за показами амперметра A_4 при повністю виведеному регулювальному реостаті $R_{\text{д.2}}$).

ККД двигуна, який не вказано на щитку двигуна, розрахувати за виразом:

$$\eta_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{U_{\text{н}} I_{\text{н}}} \cdot 100\%$$

Етап 2. Вивчення способів пуску, зміни напрямку та регулювання частоти обертання двигуна постійного струму паралельного збудження.

Використовуючи рекомендовану літературу та знання, набуті на лекційних заняттях вивчити:

- способи пуску двигуна постійного струму паралельного збудження;
- способи зміни напрямку обертання валу двигуна (реверсу);
- способи регулювання частоти обертання валу двигуна.

Етап 3. Ознайомлення з експериментальною установкою складання схеми та її експериментальне дослідження

3.1. Опис установки.

Експериментальне дослідження двигуна постійного струму паралельного збудження виконують на стенді (рис. 4.1), що складається з двох машин постійного струму – двигуна D і навантажувального генератора G . У колі двигуна є пусковий апарат і регулювальний реостат $R_{\text{д.2}}$, а також прилади для вимірювання напруги (вольтметр V_2), струму якоря (амперметр A_3) і струму збудження (амперметр A_4). Частоту обертання валу визначають за тахометром TG .

У колі збудження навантажувального генератора є регулювальний реостат $R_{\text{д.1}}$, що дозволяє регулювати напругу на затискачах генератора. В колі обмотки якоря включений навантажувальний реостат $R_{\text{і.а}}$. Потужність генератора визначають за показами приладів, що знаходяться в колі навантаження.

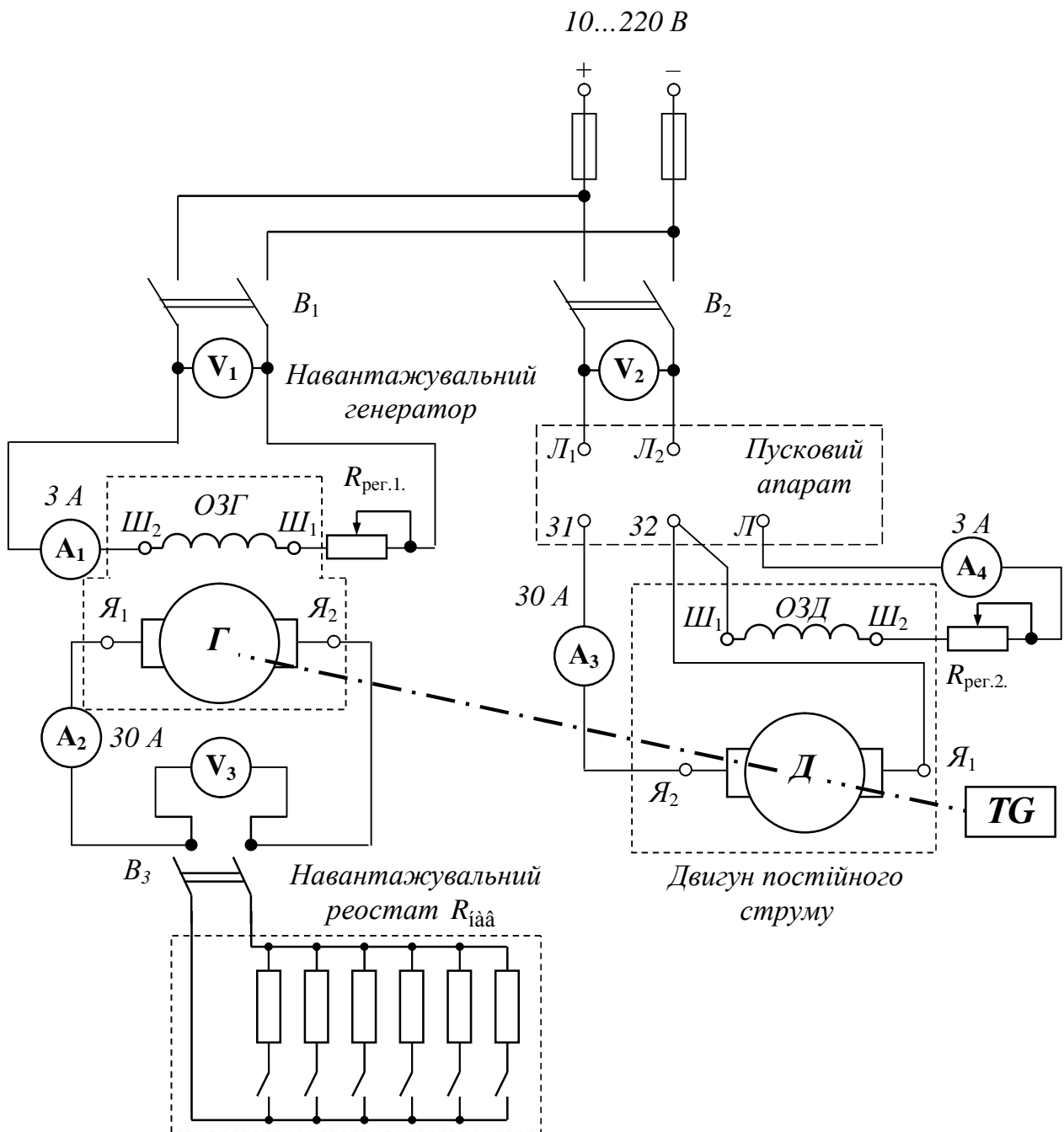


Рис. 4.1. Схема установки для дослідження двигуна постійного струму паралельного збудження

3.2. Складання схеми, пробний пуск двигуна.

Зібрати схему згідно рис. 4.1. Відключити усі вимикачі. Регульовальний реостат в колі збудження двигуна встановити в положення нульової величини опору $R_{\text{іаа.2}} = 0$. Після перевірки схеми керівником, включити вимикач \hat{A}_2 і натиснути кнопку "ПУСК" пускового апарату. Перевірити напрям обертання і правильність включення приладів в колі двигуна. Включити вимикачі \hat{A}_1 і \hat{A}_3 і перевірити правильність включення приладів в колах генератора. У разі неправильного включення приладів відключити всі вимикачі і після повної зупинки машин змінити полярність підключення приладів.

Етап 4. Експериментальне дослідження
регулювальної характеристики двигуна

4.1. Регулювальна характеристика знімається при неробочому ході двигуна (вимикачі \hat{A}_2 і \hat{A}_3 вимкнено).

4.2. Першу точку регулювальної характеристики $n_{1.0}$ зняти при максимальному струмі збудження двигуна $I_{\zeta a} = I_{\zeta a, max}$, $R_{\delta \alpha \alpha . 2} = 0$. Потім, задаючись частотою обертання валу двигуна в межах від $n_{1.0}$ до 1500 об/хв, збільшуючи постійно опір регулювального реостата, зняти 6-7 точок регулювальної характеристики. Дані вимірювань записати в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

*Регулювальна характеристика двигуна постійного струму
 $n = f(I_{\zeta a})$ при $I_a = 0$, $U = const = \underline{\hspace{2cm}} \text{ В}$*

$I_{\zeta a}, \text{ А}$								
$n, \text{ об/хв}$	$n_{1.0} =$							1500

Після закінчення вимірювань регулювальний реостат $R_{\delta \alpha \alpha . 2}$ встановити в нульове положення (струм в колі збудження двигуна – максимальний).

Етап 5. Експериментальне дослідження
електромеханічної та робочих характеристик двигуна

5.1. Першу точку електромеханічної характеристики зняти при неробочому ході двигуна (вимикачі \hat{A}_2 і \hat{A}_3 вимкнено).

5.2. Увімкнути вимикачі \hat{A}_2 і \hat{A}_3 , при вимкнених секціях $R_{i \alpha \alpha}$. За допомогою регулювального реостата $R_{\delta \alpha \alpha . 1}$ встановити напругу на затискачах генератора рівною 220 В.

Таблиця 4.3

*Дані для побудови швидкісної характеристики двигуна
постійного струму при $U_{\alpha \alpha} = const = \underline{\hspace{2cm}} \text{ В}$, $I_{\zeta a} = const = \underline{\hspace{2cm}} \text{ А}$*

№ точки	$n, \text{ об/хв}$	$I_a, \text{ А}$	Розрахунок			
			$P_1, \text{ Вт}$	$P_2, \text{ Вт}$	$M, \text{ Нм}$	$\eta, \%$
1.		$I_{a0} =$				
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						
7.						

5.3. Замикаючи секції навантажувального реостата R_{iaa} , збільшувати навантаження двигуна, при цьому струм якоря не повинен перевищувати $I_a = I_{a\text{нн}}$. Впродовж всього досліду підтримувати $I_{ca} = \text{const}$. Дані вимірювань частоти обертання та струму якоря занести в табл. 4.3.

Після закінчення вимірювань зняти навантаження (відключити всі секції навантажувального реостата R_{iaa}), вимкнути всі вимикачі і після повної зупинки машин розібрати схему.

Етап 6. Складання звіту

Звіт з даної лабораторної роботи повинен містити:

1. Найменування роботи, її мету та програму.
2. Номінальні дані двигуна постійного струму (заповнена табл. 4.1).
3. Схему установки для дослідження двигуна постійного струму паралельного збудження (рис. 4.1).
4. Дані для побудови регулювальної характеристики (табл. 4.2).
5. Дані для побудови електромеханічної та робочих характеристик (табл. 4.3).
6. Розрахунок опору якоря двигуна постійного струму та механічних втрат.
7. Графіки регулювальної характеристики $n = f(I_{ca})$ (за табл. 4.2), електромеханічної характеристики $n = f(I_a)$ (за табл. 4.3) та робочі характеристики двигуна: $n = f(P_2)$, $M = f(P_2)$, $I_a = f(P_2)$, $P_1 = f(P_2)$ та $\eta = f(P_2)$ (за табл. 4.3).

Методичні вказівки

До етапу 1

Двигун постійного струму має таку само будову, як і генератор постійного струму. Але на відміну від генераторів, двигуни постійного струму завжди збуджуються від мережі живлення. Залежно від способу приєднання кола збудження до кола якоря їх розділяють на двигуни незалежного, паралельного, послідовного і змішаного збудження з погодженим або зустрічним включенням обмоток збудження. Прийнята система збудження визначає властивості двигуна.

До етапу 2

Для обмеження пускового струму в коло якоря вводять пусковий реостат $R_{\text{п}}$, який обирають так, щоб пусковий струм в початковий момент пуску дорівнював $I_{\text{п}} = (2 \dots 2,5)I_{\text{нн}}$. В цьому випадку

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

Взаємодія струму провідників якоря і магнітного поля двигуна викликає появу обертального моменту \dot{I} , під впливом якого якір приходить в обертання:

$$M = C_1 \Phi I_a,$$

де C_1 – коефіцієнт, який залежить від конструктивних параметрів машини:

$$C_1 = \frac{p}{2\pi} \cdot \frac{N}{a},$$

де p – число пар головних полюсів машини; N – число активних провідників якоря; a – число паралельних гілок обмотки якоря.

ЕРС, що виникає при розгоні якоря, частота обертання n якого постійно збільшується, приводить до зменшення струму якоря

$$I_a = \frac{U - E}{R_a + R_i} = \frac{U - \tilde{N}_a \Phi n}{R_a + R_i},$$

внаслідок чого обертаючий момент двигуна знижується, час пуску збільшується. Для скорочення тривалості розгону якоря опір пускового реостата поступово зменшують і в кінці розгону зводять до нуля.

Робота двигуна з виведеним пусковим реостатом відбувається при струму в колі якоря

$$I_a = \frac{U - E}{R_a} = \frac{U - \tilde{N}_a \Phi n}{R_a}.$$

Зміну напрямку обертання можна проводити двома способами: зміною напрямку струму в обмотці збудження (змінити полярність напруги на затисках Ш1 і Ш2) або в обмотці якоря (змінити полярність напруги на затисках Я1 і Я2). Звичайно змінюють напрям струму в обмотці якоря.

Частота обертання якоря двигуна паралельного збудження визначається за формулою:

$$n = \frac{U - I_a R_{a,\delta}}{\tilde{N}_a \Phi},$$

де U – напруга на затисках кола якоря, Φ – магнітний потік одного головного полюса.

З даної формули виходить, що частоту обертання валу двигуна постійного струму можна регулювати наступними способами:

- зміною напруги живлення (вниз від номінального значення) – частота обертання валу двигуна зменшується;
- зміною опору у колі якоря двигуна (введення додаткового реостата) – частота обертання валу двигуна зменшується;
- зміною магнітного потоку (введення додаткового опору в коло обмотки збудження, потік зменшується) – частота обертання валу двигуна збільшується.

Механічні характеристики двигуна і процеси, які в ньому відбуваються, при регулюванні частоти обертання валу двигуна детально розглянуті в літературі.

До етапу 4

Регулювальна характеристика двигуна – це залежність частоти обертання валу двигуна від струму збудження двигуна, при роботі його у режимі неробочого ходу та сталій напрузі

$$n = f(I_{\text{за}}) \text{ при } M_{\text{іаа}} = 0, U = \text{const}.$$

Характеристика знімається шляхом зменшення струму збудження двигуна (за рахунок уведення у коло збудження додаткового опору).

Значення максимального струму збудження занести у табл. 4.1. у графу $I_{\text{за.ііі}}$.

До етапу 5

Потужність, що підводиться до двигуна, $P_1 = UI$, де U – напруга на зати-скачах; I – струм зовнішнього кола $I = I_a + I_{\text{за}}$, де I_a – струм у колі якоря, $I_{\text{за}}$ – струм в обмотці збудження.

Потужність, що споживається двигуном з мережі $P_1 = UI$ витрачається на втрати при неробочому ході p_0 (механічні - $p_{\text{іаа}}$ та магнітні втрати - $p_{\text{іаа}}$, які в загальному випадку $p_{\text{іаа}} = p_{\text{іаа}} = \frac{\delta_0}{2}$) та електричні втрати p_e (електричні втрати у обмотці якоря, електричні втрати у обмотці збудження, електричні втрати в щітках та додаткові втрати), а решта потужності віддається навантаженню у вигляді механічної потужності через вал двигуна.

Розрахунок даних для побудови робочих характеристик

- потужність, що споживається двигуном з мережі

$$P_1 = U(I_a + I_{\text{за.ііі}}), \text{ Вт};$$

Значення механічних втрат:

$$p_{\text{іаа}} = \frac{UI_{a0} - I_{a0}^2 R_a}{2}, \text{ Вт}.$$

де U_0 , I_{a0} – відповідно напруга та струм двигуна при роботі у режимі неробочого ходу, де $R_a = 0,3 - 0,5$ Ом.

- потужність на валу двигуна

$$P_2 = UI - (I - I_{\text{за.ііі}})^2 \cdot R_a - p_{\text{іаа}}, \text{ Вт};$$

- момент на валу двигуна

$$M = 9,55 \frac{P_2}{n}, \text{ Нм};$$

- ККД двигуна

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% = \frac{P_2}{UI} \cdot 100\%.$$

За розрахованими та вимірними даними (табл. 4.3) побудувати електро-механічну характеристику $n = f(I_a)$ та робочі характеристики двигуна постійного струму паралельного збудження: $n = f(P_2)$, $M = f(P_2)$, $I_a = f(P_2)$, $P_1 = f(P_2)$ та $\eta = f(P_2)$ при умові $I_{\text{за}} = I_{\text{за.н}} = \text{const}$ та $U = \text{const}$.

Контрольні запитання

1. Які існують способи збудження двигунів постійного струму? Наведіть схеми вмикання.
2. Яку будову має двигун постійного струму паралельного збудження? Призначення та конструкція його головних елементів (якоря, ярма, колектора, головних та додаткових полюсів, обмоток якоря та збудження).
3. Призначення і початкове положення регулювального реостата в колі обмотки збудження під час пуску двигуна.
4. Для чого потрібен пусковий апарат і з яких міркувань вибирають його опір?
5. Якими способами можна змінювати напрям обертання якоря?
6. Яке призначення головних і додаткових полюсів в двигуні?
7. Накреслити схему включення двигуна постійного струму паралельного збудження.
8. Як визначити ККД двигуна постійного струму?
9. Що називають регулювальною характеристикою двигуна, який вигляд вона має і за яких умов знімається?
10. Чому при зменшенні струму збудження збільшується частота обертання валу двигуна?
11. Що називають електромеханічною характеристикою двигуна, який вигляд вона має і за яких умов знімається?
12. Чому при збільшенні навантаження на валу зменшується частота обертання валу двигуна?
13. Як створюється навантаження на валу двигуна?
14. Що називають механічною характеристикою двигуна?
15. Що називають робочими характеристиками двигуна постійного струму? Поясніть їх вигляд.
16. Які існують способи регулювання частоти обертання валу двигуна постійного струму паралельного збудження? Приведіть механічні характеристики для кожного випадку.

Матеріали рекомендованої літератури

1. §§ 10.1 – 10.3, 10.8, літ. [1];
2. §§ 19.1 – 19.2, 23.1 – 23.6, літ. [2];
3. §§ 10.1 – 10.4, 10.10 – 10.12, літ. [3].

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10/5

ДОСЛІДЖЕННЯ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ПОСЛІДОВНОГО ЗБУДЖЕННЯ

- Мета роботи:**
1. Вивчити будову двигуна постійного струму послідовного збудження, особливості експлуатації, способи пуску і регулювання частоти обертання якоря.
 2. Експериментальним шляхом одержати дані для побудови характеристик двигуна постійного струму послідовного збудження

Програма роботи

1. Ознайомлення з конструкцією, особливостями експлуатації, способами пуску і регулюванням частоти обертання якоря, а також заводськими даними двигуна постійного струму послідовного збудження.
2. Ознайомлення з установкою для випробування двигуна, складання схеми і розрахунок гальмівних моментів.
3. Дослідження двигуна послідовного збудження при схемі включення без шунтувальних елементів.
4. Дослідження двигуна послідовного збудження при шунтуванні обмотки якоря.
5. Дослідження двигуна послідовного збудження при шунтуванні обмотки збудження.
6. Обробка експериментальних даних.
7. Складання звіту.

Послідовність виконання роботи

Етап 1. Ознайомлення з будовою, особливостями експлуатації, способами пуску і регулюванням частоти обертання якоря, а також заводськими даними двигуна постійного струму послідовного збудження

- 1.1. Вивчити конструкцію двигуна постійного струму послідовного збудження, особливості його експлуатації, регулювання частоти обертання якоря двигуна.
- 1.2. Записати заводські дані випробовуваного двигуна в табл. 5.1. ККД двигуна, яке не вказано на щитку двигуна, розрахувати за виразом

$$\eta_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{U_{\text{н}} I_{\text{н}}} \cdot 100\%.$$

Таблиця 5.1

Номінальні дані двигуна постійного струму. Робоче місце № _____

Тип двигуна	$P_{\text{н}}$, кВт	$U_{\text{н}}$, В	$I_{\text{н}}$, А	$n_{\text{н}}$, об/хв	Розраховано	
					$M_{\text{н}}$, Н·м	$\eta_{\text{н}}$, %

Момент на валу двигуна в номінальному режимі його роботи, Н·м

$$M_{\text{н}} = 9550 \frac{P_{\text{н}}}{n_{\text{н}}}.$$

де $P_{\text{н}}$ – потужність на валу двигуна, кВт; $n_{\text{н}}$ – частота обертання вала двигуна, об/хв.

Етап 2. Ознайомлення з установкою для випробування двигуна, збірка схеми і розрахунків гальмівних моментів

2.1. Експериментальне дослідження двигуна постійного струму послідовного збудження виконується на установці (рис. 5.1). В коло двигуна включені вимірювальні прилади (амперметр A_2 вимірює струм якоря двигуна, амперметр A_3 – струм шунта якоря, A_4 – струм шунта обмотки збудження, вольтметр V_1 – напругу живлення), що дозволяють визначати всі електричні величини, що характеризують роботу двигуна, приєднаного до джерела постійної напруги через автоматичний двополюсний вимикач \hat{A}_2 .

Шунтування обмотки якоря проводиться включенням вимикача \hat{A}_3 , а обмотки збудження вимикачем \hat{A}_4 . На лабораторних місцях № 21 та 22 перемикач між режимами здійснюється за допомогою пакетного перемикача \hat{I} .

Пуск двигуна проводиться за допомогою пускового апарату.

Гальмівний момент створюють і визначають про допомогою електромагнітного гальма, обмотка якого одержує живлення від мережі постійної напруги через вимикач \hat{A}_1 і регулювальний реостат $R_{\delta\alpha\alpha}$. Струм у обмотці електромагнітного гальма визначається за допомогою амперметра A_1 . Частота обертання якоря вимірюється за допомогою електронного тахометра.

2.2. На основі паспортних даних розрахувати номінальний момент двигуна. Розрахувати гальмівні моменти (момент навантаження), значення яких занести в табл. 5.2.

$$M_{\text{іаâ}} = (1,25; 1,0; 0,75; 0,5; 0,25) \cdot M_{\text{н}}.$$

Моменти навантаження

Коефіцієнт навантаження $\hat{E}_{i\hat{a}\hat{a}} = \frac{M_{i\hat{a}\hat{a}}}{M_{i\hat{i}\hat{i}}}$	1,25	1,0	0,75	0,5	0,25
Момент навантаження, Н·м					

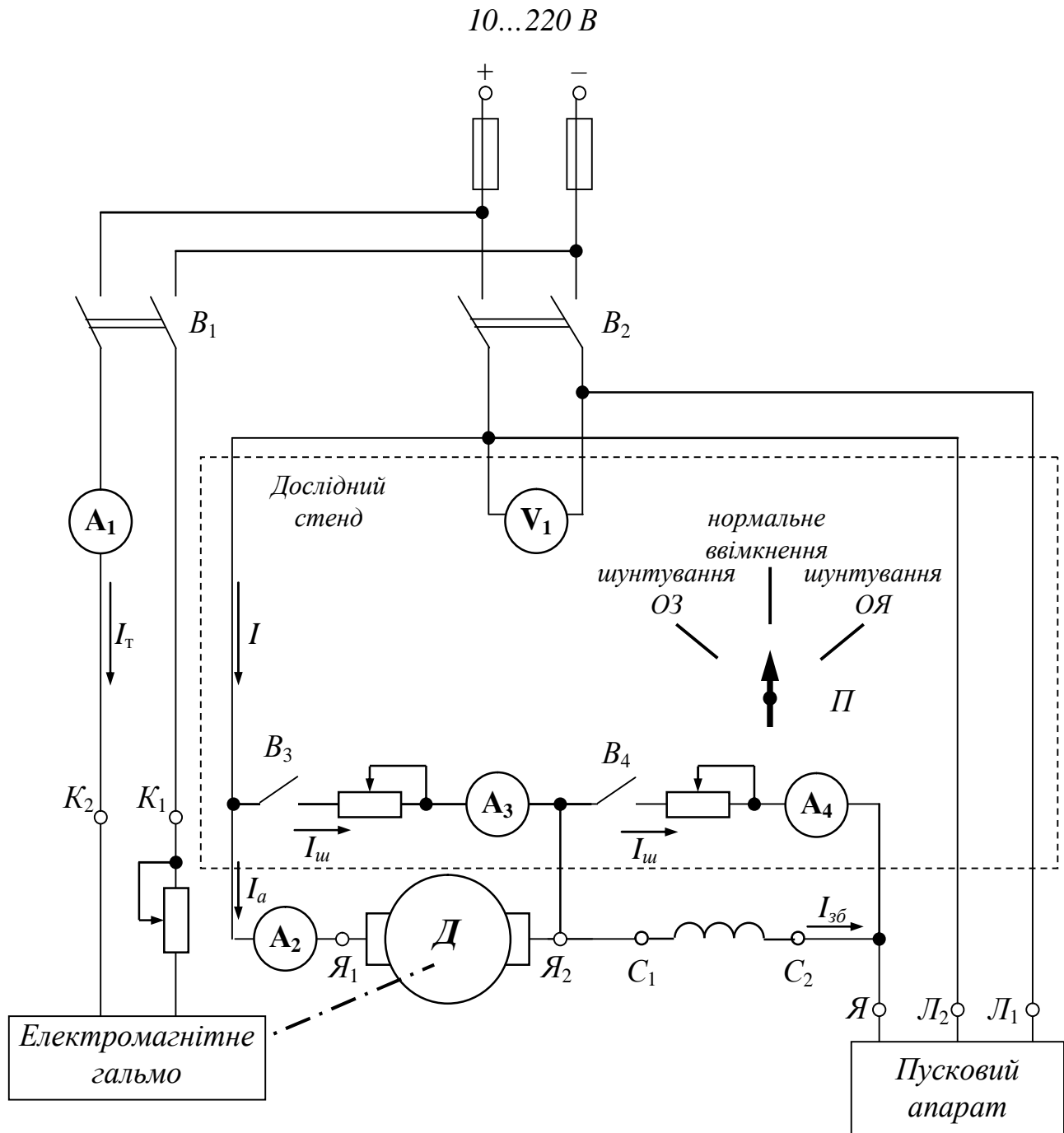


Рис. 5.1. Схема установки для дослідження двигуна постійного струму послідовного збудження

2.3. Зібрати схему установки (рис. 5.1). Усі вимикачі вимкнути. Рукоятку пускового апарату встановити в положення "**СТОП**". Після перевірки схеми керівником увімкнути вимикач \hat{A}_2 , за допомогою регулювального реостата $R_{\delta\delta\delta}$ встановити струм I_{δ} в обмотці електромагнітного гальма на рівні 0,3 А і провести пробний пуск двигуна (включити вимикач \hat{A}_1). Електронний тахометр увімкнути в мережу змінного струму та натиснути кнопку "**ТАХ**".

Етап 3. Дослідження двигуна послідовного збудження при схемі вмикання без шунтувальних елементів

Для увімкнення двигуна послідовного збудження вимикачі \hat{A}_3 та \hat{A}_4 повинні бути вимкнені (або перемикач \hat{I} стояти у положенні "нормальне ввімкнення").

Значення моменту навантаження з табл. 5.2 перенести у табл. 5.3. Регулюючи струм електромагнітного гальма встановити значення моменту навантаження на шкалі гальма. Для кожного значення моменту навантаження виміряти напругу, струм якоря та частоту обертання. Отримані значення занести у табл. 5.3 – графа "Дослідження при нормальній схемі вмикання".

Етап 4. Дослідження двигуна послідовного збудження при шунтуванні обмотки якоря

Для переходу у режим роботи двигуна з шунтуванням обмотки якоря увімкнути вимикач \hat{A}_3 (вимикач \hat{A}_4 – розімкнений). Для лабораторних столів № 21 та 22 перемикач \hat{I} перевести у положення "**ШУНТУВАННЯ ОЯ**".

Значення моменту навантаження з табл. 5.2 перенести у табл. 5.3. Регулюючи струм електромагнітного гальма встановити значення моменту навантаження на шкалі гальма. Для кожного значення моменту навантаження виміряти напругу, струм якоря, струм шунта та частоту обертання валу. Отримані значення занести у табл. 5.3 – графа "Дослідження при шунтуванні обмотки якоря".

Етап 5. Дослідження двигуна послідовного збудження при шунтуванні обмотки збудження

Для переходу у режим роботи двигуна з шунтуванням обмотки якоря вимкнути вимикач \hat{A}_3 та увімкнути вимикач \hat{A}_4 . Для лабораторних столів № 21 та 22 перемикач \hat{I} перевести у положення "**ШУНТУВАННЯ ОЗ**".

Значення моменту навантаження з табл. 5.2 перенести у табл. 5.3. Регулюючи струм електромагнітного гальма встановити значення моменту навантаження на шкалі гальма. Для кожного значення моменту навантаження виміряти напругу, струм якоря, струм шунта та частоту обертання валу. Отримані значення занести у табл. 5.3 – графа "Дослідження при шунтуванні обмотки збудження".

Результати дослідження двигуна послідовного збудження

Умови дослідження двигуна	№ досліду	Виміряно					Розраховано			
		I , Н·м	U , В	n , об/хв	I_a , А	I_σ , А	$I_{\zeta a}$, А	P_1 , Вт	P_2 , Вт	η , %
Дослідження при нормальній схемі вмикання	1									
	2									
	3									
	4									
	5									
Дослідження при шунтуванні обмотки якоря	1									
	2									
	3									
	4									
	5									
Дослідження при шунтуванні обмотки збудження	1									
	2									
	3									
	4									
	5									

Етап 6. Обробка експериментальних даних.

За результатами дослідів для усіх схем ввімкнення двигуна розрахувати величини струму у обмотці збудження $I_{\zeta a}$, потужність, що споживається з мережі D_1 , потужність на валу двигуна D_2 та ККД двигуна η . Дані розрахунків занести у табл. 5.3.

Заданими таблиці 5.3 для різних схем ввімкнення побудувати механічні $n = f(M)$, регулювальні $n = f(I_{\zeta a})$, електромеханічні $n = f(I_a)$, моментні $M = f(I_a)$ характеристики та залежності $P_1 = f(M)$, $P_2 = f(M)$, $\eta = f(M)$. У кожній системі координат будується по три характеристики (різним кольором для різних умов дослідження двигуна).

Етап 7. Складання звіту

Звіт з даної лабораторної роботи повинен містити:

1. Найменування роботи, її мету та програму.

2. Номінальні дані двигуна постійного струму (заповнена табл. 5.1).
3. Схему установки для дослідження двигуна постійного струму послідовного збудження.
4. Дані розрахунку гальмівного моменту (табл. 5.2).
5. Дані досліду двигуна постійного струму з послідовним збудженням (табл. 5.3).
6. Графіки механічної $n = f(M)$, регульовальної $n = f(I_{\text{сá}})$, електро-механічної $n = f(I_a)$, моментної $M = f(I_a)$ характеристик та залежностей $P_1 = f(M)$, $P_2 = f(M)$, $\eta = f(M)$. (за табл. 5.3).

Контрольні запитання

1. Призначення пускового апарату?
2. Як змінити напрям обертання двигуна постійного струму послідовного збудження?
3. Чому механічна характеристика двигуна послідовного збудження має нелінійний характер?
4. Чому режим холостого ходу для двигуна послідовного збудження неприпустимий?
5. Який вплив виконує шунтування обмотки якоря на механічну характеристику двигуна?
6. Який вплив виконує шунтування обмотки збудження на механічну характеристику двигуна?
7. Як змінюється частота обертання двигуна при шунтуванні обмотки якоря і при шунтуванні обмотки збудження двигуна?
8. Який вплив має шунтування обмотки якоря і обмотки збудження двигуна на величину КПД двигуна при постійному навантаженні? на споживану з мережі потужність? на потужність на валу?
9. Який вплив має шунтування обмотки якоря і обмотки збудження двигуна послідовного збудження на швидкісні характеристики?

Методичні вказівки

До етапу 1

У двигуні постійного струму послідовного збудження обмотка збудження включена послідовно в коло якоря, тому магнітний потік Φ залежить від струму навантаження ($I = I_a = I_{\text{сá}}$).

Головною особливістю двигуна постійного струму послідовного збудження є істотна залежність частоти обертання якоря від навантаження на валу, тобто м'яка механічна характеристика при відносно невеликому навантаженні на валу двигуна (при $\dot{I} < 0,7M_{\text{нн}}$). Це зумовило широке використання таких двигунів на електротранспорті, де потрібні плавні зміни частоти обертання валу. До недоліків двигунів постійного струму послідовного збудження необ-

хідно віднести небезпеку надмірного зростання частоти обертання в режимі, близькому до режиму холостого ходу двигуна. При шунтуванні якоря двигуна відповідним резистором така небезпека усувається.

До етапу 2

Механізм навантаження імітується електромагнітним гальмом, в якому момент навантаження \dot{I} створюється за рахунок силової взаємодії сталевого диска, закріпленого на валу двигуна, з магнітним полем електричних котушок. Котушки закріплені разом з вантажем з можливістю повороту під дією обертального моменту двигуна таким чином, що кут повороту рухомої частини механізму навантаження був пропорційний моменту навантаження \dot{I} .

У процесі експериментальних досліджень не допускається режим холостого ходу двигуна через небезпеку надмірного зростання частоти обертання валу двигуна. Це пояснюється зворотною залежністю частоти обертання n від основного магнітного потоку Φ , створюваного обмоткою послідовного збудження у відповідності з формулою $n = \frac{U - I_a R_a}{C_e \Phi}$, де R_a – опір якорного кола

двигуна; C_e – стала, що залежить від конструктивних параметрів двигуна; $\Phi = k I_{\text{çá}}$ – магнітний потік, який при $M < 0,7 I_{\text{çá}}$ практично прямо пропорційний струму I_a у колі якоря, і тому в режимі холостого ходу (при малих значеннях споживаного струму I_a) може бути близьким до нуля; k – коефіцієнт пропорційності при $M < 0,7 I_{\text{çá}}$.

До етапів 3, 4, 5

При невеликих навантаженнях $(0,8 \div 0,9) I_{\text{çá}}$ (або $M < 0,7 I_{\text{çá}}$) магнітна система машини не насичена і магнітний потік прямо пропорційний струму якоря, тобто $\Phi = k I_{\text{çá}}$. В цьому випадку електромагнітний момент

$$M = C_i \Phi I_{\text{çá}} = C_i k I_a^2 = C'_i I_a^2 = 9,55 C'_e I_a^2.$$

Отже, характеристика $n = f(I_a)$ в початковій своїй частині є параболою. При великих навантаженнях виникає насичення магнітної системи двигуна, магнітний потік при зростанні навантаження практично не змінюється, і характеристика двигуна має майже прямолінійний характер.

Електромеханічна характеристика двигуна

$$n = f(I_a) = \frac{U - I_a R_a}{C_e \Phi} = \frac{U - I_a R_a}{C_e k I_a} = \frac{U - I_a R_a}{C'_e I_a} = \frac{U}{C'_e I_a} - \frac{R_a}{C'_e}$$

у початковій своїй частині має гіперболічний характер, а при насиченні магнітної системи стає прямолінійною.

Струм обмотки збудження визначається згідно схеми включення двигуна за першим законом Кирхгофа.

Струм споживаний з мережі визначається згідно схеми включення двигуна:

– для схеми нормального включення і схеми шунтування обмотки збудження це струм якоря, що визначається амперметром A_2 , тобто $I = I_a$

– для схеми шунтування обмотки якоря цей струм дорівнює $I = I_a + I_\sigma$

Споживана з мережі потужність, Вт

$$P_1 = UI$$

Корисна потужність на валу, Вт та ККД:

$$P_2 = \frac{Mn}{9,55} \quad \eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\%$$

де M – момент на валу, Н·м, n – частота обертання, об/хв.

Матеріали рекомендованої літератури

10. §§ 10.1 – 10.3, 10.8, літ. [1];
11. §§ 19.1 – 19.2, 23.1 – 23.6, літ. [2];
12. §§ 10.1 – 10.4, 10.10 – 10.12, літ. [3].

Список рекомендованої літератури

1. Шкрабець Ф.П., Циценков Д.В., Куваєв Ю.В. та ін. Електротехніка, основи електроніки та мікропроцесорної техніки: Навчальний посібник – Д.: НГУ, 2005. – 515 с.
2. Півняк Г.Г., Довгань В.П., Шкрабець Ф.П. Електричні машини: Навчальний посібник – Д.: НГУ, 2003. – 327 с.
3. Брускин Д.Э., Зорохович А.Е., Хвостов В.С. Электрические машины. – М.: Высшая школа, 1990. – 528 с.

Список додаткової літератури

1. Шкрабець Ф.П., Циценков Д.В. Збірник задач з електротехніки та основ електроніки. – Д.: НГУ, 2006. – 258 с.
2. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. – М.: Высш. шк., 2002. – 542 с.
3. Общая электротехника / Под ред. А. Т. Блажкина. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 592 с.
4. Кацман М.М. Электрические машины. – М.: Высшая школа, 2002. – 469 с.
5. Копылов И.П. Электрические машины. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 360 с.

ЗМІСТ

Лабораторна робота 10/1 Дослідження трифазного синхронного генератора	3
Лабораторна робота 10/2 Дослідження роботи синхронного двигуна в режимі регулювання струму збудження	8
Лабораторна робота 10/3 Дослідження генератора постійного струму паралельного збудження.....	15
Лабораторна робота 10/4 Дослідження двигуна постійного струму паралельного збудження.....	24
Лабораторна робота 10/5 Дослідження двигуна постійного струму послідовного збудження	32
Список рекомендованої літератури.....	39

Упорядники:
Ципленков Дмитро Володимирович
Остапчук Олександр Володимирович
Кирилов Ігор Анатолійович

МАТЕРІАЛИ МЕТОДИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

дисциплін: «Електротехніка, основи електроніки
та мікропроцесорної техніки»,
«Основи електрифікації» та
«Основи електротехніки та електрообладнання»
для студентів напрямів підготовки
6.050503 – Переробка корисних копалин, 6.050503 – Інженерна механіка,
6.050301 – Гірництво, 6.040103 – Геологія
(Розділи «Синхронні машини» та «Машини постійного струму»)

Редакційно-видавничий комплекс

Підписано до друку . . . 2008. Формат 30x42/4. Папір Captain.
Ризографія. Умовн. друк. арк. 2,5. Обліково-видавн. арк. 2,5.
Тираж 500 прим. Зам. №

Надруковано з готових оригінал-макетів у редакційно – видавничому комплексі Національного гірничого університету
49005. ДСП, м. Дніпропетровськ, пр. Карла Маркса, 19