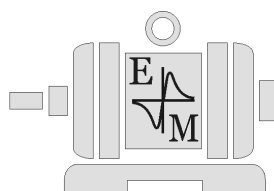


Міністерство освіти і науки України  
Національний гірничий університет



Кафедра електричних машин



## ***МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ***

до виконання лабораторних робіт  
з дисципліни „ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ”

для студентів напрямів

0922 – "Електромеханіка", 0906 – "Електротехніка",

0902 – "Інженерна механіка"

(Розділ "Синхронні машини")

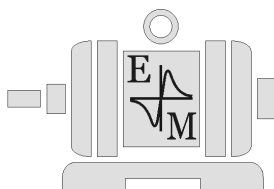
Дніпропетровськ  
2007



Міністерство освіти і науки України  
Національний гірничий університет



Кафедра електричних машин



## ***МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ***

до виконання лабораторних робіт  
з дисципліни „ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ”  
для студентів напрямів

0922 – "Електромеханіка", 0906 – "Електротехніка",  
0902 – "Інженерна механіка"  
(Розділ "Синхронні машини")

Дніпропетровськ  
НГУ  
2007

Методичні вказівки ЕМ-4 до виконання лабораторних робіт з дисципліни „Електричні машини” для студентів напрямів 0922 – "Електромеханіка", 0906 – "Електротехніка", 0902 – "Інженерна механіка" (Розділ "Синхронні машини") / Упорядн.: Ципленков Д.В., Остапчук О.В. – Д.: НГУ, 2007. – 28 с.

Упорядники:

Ципленков Дмитро Володимирович, доцент кафедри ел. машин (робота № 4/1 та 4/3)

Остапчук Олександр Володимирович, доцент кафедри ел. машин (робота № 4/2)

Методичні вказівки написані на основі багаторічного досліду, накопиченого на кафедрі електричних машин при викладанні дисципліни "Електричні машини".

Відповідальний за випуск Ю.В. Куваєв, канд. техн. наук, професор.

## Вступ

Кожен трансформатор, що випускається заводом, піддається контрольним випробуванням з метою перевірки доброякісності виготовлення і застосовуваних матеріалів. Кожна нова типова конструкція трансформатора піддається типовим випробуванням. Обсяг і характер контрольних і типових випробувань силових трансформаторів визначаються державним стандартом. Для інших трансформаторів установлюються спеціальні технічні умови.

У програму лабораторних робіт входять деякі контрольні, а також інші випробування, що дозволяють досліджувати різні режими роботи трансформатора при різних схемах з'єднання, різних умовах навантаження.

Перед складанням схеми для проведення лабораторних випробувань необхідно підрахувати очікувані граничні значення вимірюваних величин струму, напруги і потужності та підібрати прилади (амперметри, вольтметри і ватметри) з найближчими найбільшими межами вимірів.

Неправильний вибір меж виміру приладів може привести до зниження точності вимірів, якщо обрані прилади з надмірно великими межами, або до ушкодження приладів, якщо обрані межі вимірів малі.

Деякі прилади можуть мати кілька меж виміру на різних затискачах або при різних положеннях перемикача що застосовується в лабораторії. Ватметри можуть мати на послідовній обмотці дві межі, наприклад, 5 А и 10А, а на паралельній обмотці кілька меж, наприклад, 30; 75; 150; 300 В. Вольтметри можуть мати межі 75; 150; 300; 600 В. Для таких приладів рекомендується перед увімкненням схеми встановити найбільші можливі межі, а після ввімкнення перейти на межі виміру більш близькі вимірюваним величинам. При ввімкненні схеми рекомендується також, якщо це можливо, зашунтувати амперметри, послідовні обмотки ватметрів і первинні обмотки трансформаторів струму.

### **Правила безпечної роботи в лабораторії електричних машин**

При роботі в лабораторії електричних машин необхідно дотримуватись наступних правил, що забезпечують безпеку від поразки електричним струмом:

- Працювати тільки на тому стенді, що зазначений викладачем і не торкатися схем, зібраних на інших стендах.
- Вмикати зібрану схему під напругу тільки після перевірки її і з дозволу викладача, що веде заняття в групі.
- Перед увімкненням схеми під напругу переконатися в тому, що немає людей, які знаходяться в небезпечній близькості від схеми, що вмикається.
- Не торкатися схеми, що знаходиться під напругою. Усі необхідні пере з'єднання робити тільки після вимкнення схеми від мережі.
- При виявленні будь-яких несправностей чи ненормальної роботи схеми (перегорання запобіжників, поява іскор, спалахів і т.п.) негайно відімкнути схему від мережі і доповісти про це викладачу, що проводить заняття.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4/1

### ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИФАЗНОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

- Мета роботи:**
1. Зняти експериментально робочі характеристики синхронного генератора.
  2. Визначити відношення короткого замикання

#### Програма роботи

1. Вивчення будови трифазних синхронних генераторів; сборка схеми для дослідження синхронного генератора та опробування лабораторної установки.
2. Експериментальне зняття характеристики холостого ходу синхронного генератора.
3. Експериментальне зняття зовнішньої характеристики синхронного генератора.
4. Експериментальне зняття регульовальної характеристики синхронного генератора.
5. Експериментальне зняття характеристики трифазного короткого замикання синхронного генератора.
6. Визначення відношення короткого замикання (ВКЗ).
7. Складання звіту.

#### Порядок виконання роботи

**Етап 1.** Вивчення будови трифазних синхронних генераторів; сборка схеми для дослідження синхронного генератора та опробування лабораторної установки.

Користуючись літературою і наочними 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</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>	$\cos j_{ном}$

Підібрати необхідну вимірювальну апаратуру і зібрати електричний коло за схемою згідно рис. 1.1 (для підключення вольтметра і частотоміра необхідно виводи синхроколони  $A_T$  і  $B_T$  під'єднати до однойменних виводів синхронно-

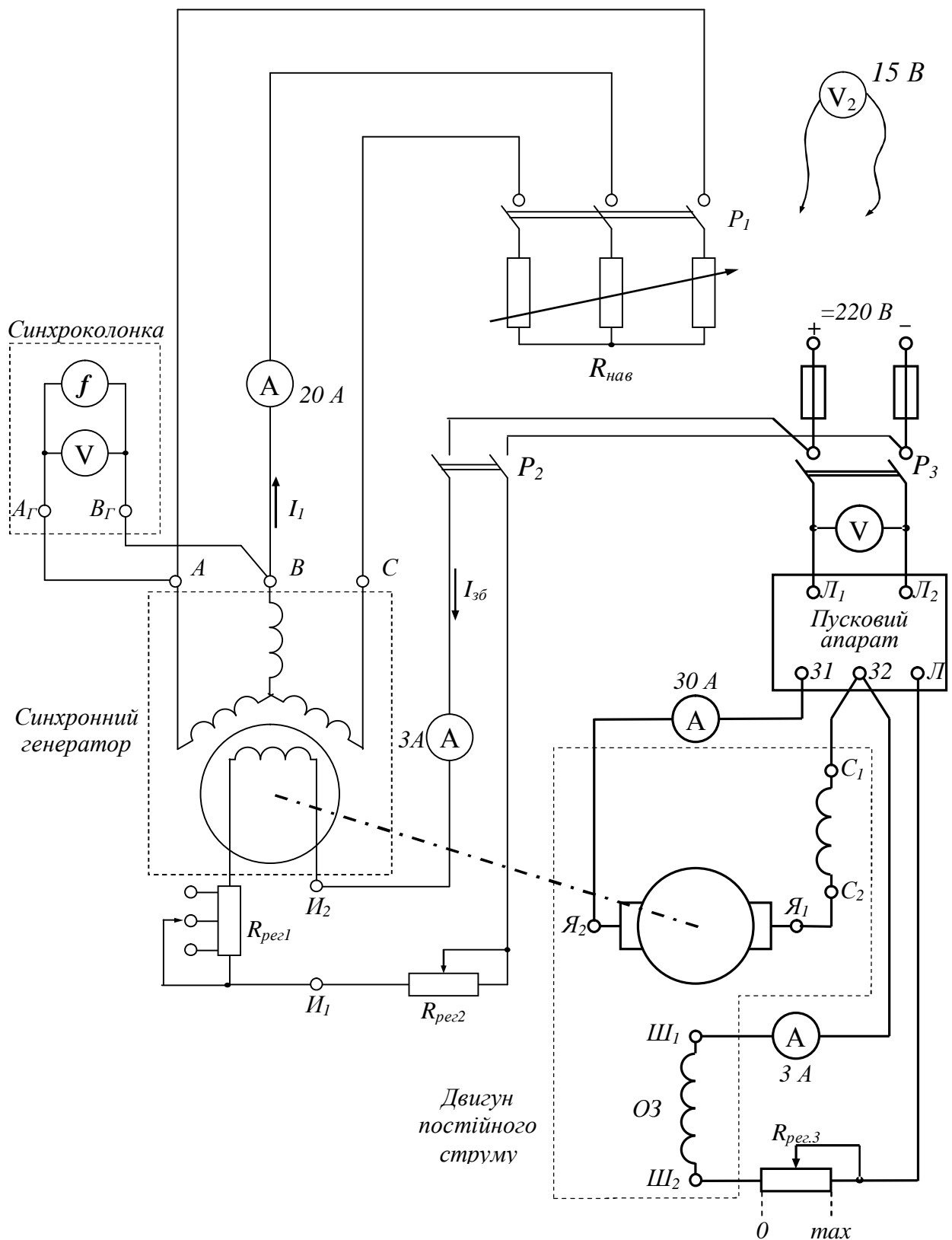


Рис. 1.1. Схема для дослідження трифазного синхронного генератора

го генератора).

Після перевірки керівником правильності зборки схеми перевести повзунок регульовального реостата  $R_{рег3}$ , вмикненого в коло обмотки збудження (ОЗ) двигуна постійного струму (приводного двигуна) у положення "0". Пода-

ти напругу на двигун постійного струму (ввімкнути автоматичний вимикач  $P_3$ ) і натисканням на кнопку "Пуск" на пусковому апараті здійснити запуск приводного двигуна.

Подати напругу на обмотку збудження синхронного генератора (ввімкнути вимикач  $P_2$ ) та регулюючи швидкість обертання приводного двигуна за допомогою регульовального реостата  $R_{рег3}$  в колі збудження, встановити номінальну частоту синхронного генератора, при якій швидкість обертання валу генератора дорівнює синхронній (частотомір, вмикнений в обмотку статора генератора повинен показувати 50 Гц).

**Етап 2. Експериментальне зняття характеристики холостого ходу синхронного генератора**

Характеристика холостого ходу синхронного генератора представляє собою залежність напруги на затискачах генератора від струму збудження:  $E_0 = f(I_{зб})$  і знімається при умовах  $I_1 = 0$ ,  $n = n_{ном}$ . Характеристику холостого ходу знімають при убутному струмі збудження  $I_{зб}$ , причому зміну струму збудження здійснюють плавно і тільки в одному напрямку.

Для зняття характеристики холостого ходу, регулюючи струм збудження генератора за допомогою реостатів  $R_{рег1}$  і  $R_{рег2}$ , збільшити напругу генератора до  $E_0 = (1.2 \div 1.3)U_n$ .

Плавно зменшуючи струм збудження генератора, зняти 7-8 точок характеристики  $E_0 = f(I_{зб})$ , записуючи дані в табл. 1.2. Причому обов'язково зняти точку при  $E_0 = U_{ном}$ , при цьому  $I_{зб} = I_{зб.ном}$ . Останню точку характеристики зняти при відключеному рубильнику  $P_2$ , тобто при  $I_{зб} = 0$  (для визначення величини напруги скористатися вольтметром  $V_2$ ). При цьому напруга на затискачах обмотки якоря має місце за рахунок залишкового намагнічування генератора.

Таблиця 1.2.

*Характеристика холостого ходу синхронного генератора*

$$E_0 = f(I_{зб}) \text{ при } I = 0, n = n_{ном} = const$$

Дослід	$I_{зб}, A$								
	$E_0, B$								
Розрахунок	$I_{зб}^* = \frac{I_{зб}}{I_{зб.ном}}$								
	$E_0^* = \frac{E_0}{U_{ном}}$								



**Етап 3. Експериментальне зняття зовнішньої характеристики синхронного генератора.**

Зовнішня характеристика синхронного генератора представляє залежність напруги на затисках генератора від струму навантаження:  $U = f(I_1)$  і знімається при умовах  $I_{зб} = const$ ,  $\cos j = const$ ,  $n = n_{ном}$ .

Для зняття зовнішньої характеристики  $U = f(I_1)$  при  $\cos j = 1$  при відклученому рубильнику  $P_1$ , регулюючи струм збудження генератора реостатами  $R_{рег1}$  і  $R_{рег2}$ , встановити номінальну напругу синхронного генератора. Це буде перша точка характеристики  $U = f(I)$  при  $I_1=0$ .

Ввімкнути рубильник  $P_1$  і, поступово зменшуючи опір  $R_{нав}$  (опускаючи ножі трифазного водяного реостата), збільшувати навантаження генератора. Зняти 7-8 точок залежності  $U = f(I)$  при  $\cos j = 1$ , записуючи дані в табл. 1.3. Струм в обмотці збудження підтримувати незмінним ( $I_{зб} = const$ ). Частоту струму якоря рівною 50 Гц підтримувати незмінною, регулюючи швидкість обертання приводного двигуна ( $f = const = 50 \text{ Гц}$ ).

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  $I_{зб} = const$ ,  $\cos j = const$ ,  $n = n_{ном}$ .

Дослід	$I, A$								
	$U, B$								
Розрахунок	$I^* = \frac{I}{I_{ном}}$								
	$U^* = \frac{U}{U_{ном}}$								

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

**Етап 4. Експериментальне зняття регулювальної характеристики синхронного генератора.**

Регулювальна характеристика синхронного генератора являє собою залежність струму збудження від струму навантаження:  $I_{зб} = f(I_1)$ . Знімається при умовах:  $U = U_{ном} = const$ ,  $\cos j = const$ ,  $n = n_{ном}$ .

Для зняття регулювальної характеристики  $I_{зб} = f(I_1)$  при  $\cos j = 1$  регулюючи струм збудження реостатами  $R_{рег1}$  і  $R_{рег2}$ , встановити номінальну напругу синхронного генератора, що працює в режимі холостого ходу. Записати в табл. 1.4 першу точку регулювальної характеристики при  $I_1 = 0$ .

Вімкнути рубильник  $P_1$  і, поступово зменшуючи опір  $R_{нав}$  (опускаючи ножі трифазного водяного реостата), збільшувати навантаження генератора. Зняти 7-8 точок залежності  $I_{зб} = f(I_1)$  при  $\cos j = 1$ , записуючи дані в табл. 1.4. Напругу на затисках генератора підтримувати незмінною ( $U = U_{ном} = const$ ). Частоту струму якоря рівною 50 Гц підтримувати незмінною, регулюючи швидкість обертання приводного двигуна ( $f = const = 50 \text{ Гц}$ ).

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

Таблиця 1.4.

*Регулювальна характеристика синхронного генератора  
 $I_{зб} = f(I_1)$  при  $U = U_{ном} = const$ ,  $\cos j = const$ ,  $n = n_{ном}$ .*

Дослід	$I_1, A$								
	$I_{зб}, A$								
Розрахунок	$I_1^* = \frac{I_1}{I_{ном}}$								
	$I_{зб}^* = \frac{I_{зб}}{I_{зб.ном}}$								

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

### Етап 5. Зняття характеристики трифазного короткого замикання синхронного генератора.

Характеристика трифазного короткого замикання  $I_k = f(I_{зб})$  являє собою окремий випадок регулювальної характеристики, що знімається при  $U = 0$ ,  $n = n_{ном}$ .

Зупинити приводний двигун (нажати на кнопку "Стоп" пускового апарату). Вимкнути всі вимикачі та зняти запобіжники. Виконати в схемі рис. 1.1 наступні зміни: обмотку якоря синхронного генератора замкнути накоротко у відповідності зі схемою рис. 1.2.

Після перевірки керівником правильності зборки схеми перевести повзунк регулювального реостата  $R_{рег3}$ , вмикненого в коло обмотки збудження

двигуна постійного струму у положення "0". Подати напругу на двигун постійного струму (ввімкнути автоматичний вимикач  $P_3$ ) і натисканням на кнопку "Пуск" на пусковому апараті здійснити запуск приводного двигуна.

Подати напругу на обмотку збудження синхронного генератора (ввімкнути вимикач  $P_2$ ) та регулюючи швидкість обертання приводного двигуна за допомогою регулювального реостата  $R_{рег3}$  в колі збудження, встановити номінальну частоту синхронного генератора, при якій швидкість обертання валу генератора дорівнює синхронної (частотомір, вмикнений в обмотку статора генератора повинен показувати 50 Гц).

За допомогою реостатів  $R_{рег1}$  і  $R_{рег2}$  в колі збудження генератора встановити мінімальне значення напруги на зажимах синхронного генератора.

Ввімкнути рубильник  $P_1$  і, за допомогою регулювальних реостатів в обмотці збудження синхронного генератора, встановити струм короткого замикання  $I_k \approx I_{ном}$ . Записати першу точку характеристики короткого замикання. Далі поступово змінюючи опір  $R_{рег1}$  і  $R_{рег2}$ , зняти 3-4 точки залежності  $I_k = f(I_{зб})$  при  $U=0$ , записуючи дані в таблицю 1.5 (струм короткого замикання повинен зменшуватися). Остання точка характеристики повинна бути знята при відключеному рубильнику  $P_2$ .

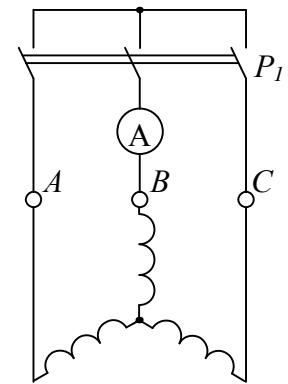


Рис. 1.2. Схема з'єднання обмоток синхронного генератора для дослідження короткого замикання

Таблиця 1.5.

*Характеристика короткого трифазного замикання синхронного генератора*

$$I_k = f(I_{зб}) \text{ при } U = 0, n = n_{ном}$$

Дослід	$I_k, A$					
	$I_{зб}, A$					
Розрахунок	$I_k^* = \frac{I_k}{I_{ном}}$					
	$I_{зб}^* = \frac{I_{зб}}{I_{зб.ном}}$					

### Етап 6. Визначення відношення короткого замикання (ВКЗ)

Користуючись методичними вказівками та рекомендованою літературою визначити відношення короткого замикання (ВКЗ).

## Етап 7. Складання звіту

Звіт по даній лабораторній роботі повинен містити:

1. Найменування роботи, її мету та програму.
2. Номінальні дані трифазного синхронного генератора.
3. Схему для дослідження трифазного синхронного генератора (рис. 1.1).
4. Данні для побудови дослідної (табл. 1.2) та нормальної (табл. 1.6) характеристики холостого ходу та характеристика холостого ходу синхронного генератора у відносних одиницях.
5. Данні для побудови зовнішньої характеристики (табл. 1.3) та зовнішня характеристика синхронного генератора у відносних одиницях.
6. Данні для побудови регульовальної характеристики (табл. 1.4) та регульовальна характеристика синхронного генератора у відносних одиницях.
7. Данні для побудови характеристики трифазного короткого замикання (табл. 1.5) та характеристика трифазного короткого замикання синхронного генератора у відносних одиницях.
8. Визначення ВКЗ.

### **Методичні вказівки**

В теорії синхронних машин при аналізі робочих режимів широко використовується система відносних одиниць. У роботі отримані експериментально характеристики, що приведені в таблицях 1.2 – 1.5, необхідно побудувати у виді графіків, причому на осях повинні бути відкладені відносні одиниці. Базисними (одичними) величинами є:

- одиниця напруги – номінальна напруга  $U_1$  ;
- одиниця струму – номінальний струм якоря  $I_{ном}$  ;
- одиниця струму збудження – струм збудження, що відповідає номінальній напрузі при холостому ході  $I_{зб.ном}$  ;

Таким чином, напруга, струм якоря і струм збудження у відносних одиницях можуть бути записані в наступному виді:

$$U^* = \frac{U}{U_n}; \quad I_1^* = \frac{I_1}{I_n}; \quad I_{зб}^* = \frac{I_{зб}}{I_{зб.ном}}.$$

Особливе значення має вираження у відносних одиницях характеристик холостого ходу і короткого замикання.

### До етапу 2

Характеристика холостого ходу будується в такий спосіб:

- а) за даними табл. 1.2 будується спадна вітка дослідної характеристики (крива 1) у відносних одиницях;
- б) дослідну характеристику зміщують паралельно самої собі по осі абс-

цис вправо на величину  $DI_{зб}^*$ , отриману графічною екстраполяцією дослідної характеристики до перетинання з віссю абсцис, як показано на рис. 1.3, а.

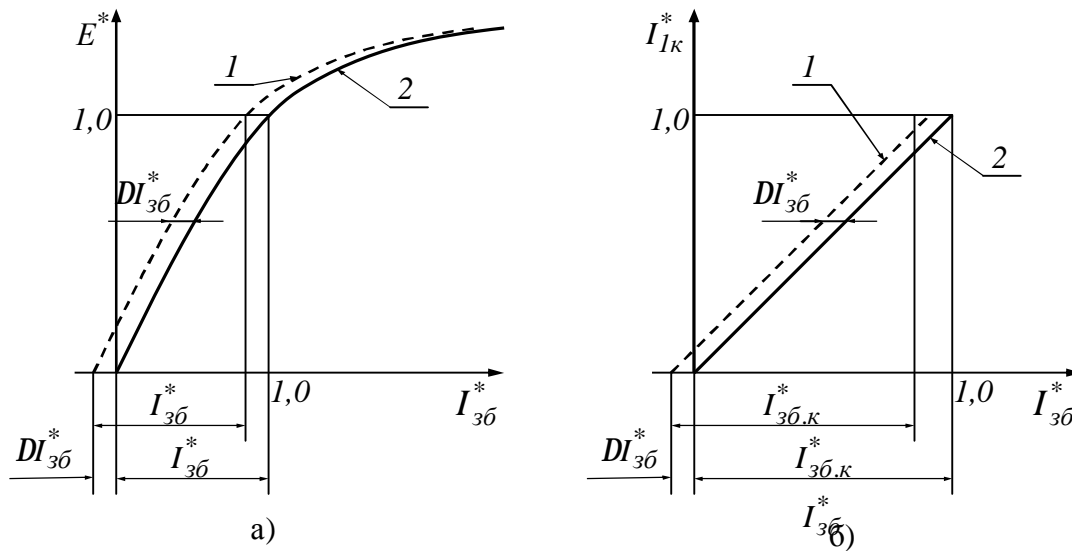


Рис. 1.3. Характеристики холостого ходу (а) та короткого замикання (б):  
1 – дослідна характеристика; 2 – характеристика, яка приведена до початку координат

Характеристики холостого ходу сучасних синхронних машин, побудовані у відносних одиницях, так близькі одна до одної, що є можливість побудувати нормальну характеристику холостого ходу, яка приведена в табл. 1.6.

У звіті необхідно привести табл. 1.6 та порівняти отриману експериментальну характеристику холостого ходу синхронного генератора з нормальною характеристикою.

Таблиця 1.6.

*Дані для побудови нормальної характеристики холостого ходу*

$I_{зб}^* = \frac{I_{зб}}{I_{зб.ном}}$	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
$E_0^* = \frac{E_0}{U_n}$	0	0.55	1.0	1.22	1.32	1.4

### До етапу 5

Характеристика короткого замикання будується аналогічно попередній:

а) за даними табл. 1.5 будується дослідна характеристика трифазного короткого замикання у відносних одиницях (крива 1);

б) дослідну характеристику зміщують аналогічно характеристиці холостого ходу, як показано на рис. 1.3, б.

### До етапу 6

Характеристики холостого ходу і короткого замикання, постійні у відносних одиницях, дозволяють визначити відношення короткого замикання генератора, тобто:

$$BK3 = \frac{I_{зб.0}}{I_{зб.к}} = \frac{I}{I_{зб.к}^*}.$$

### Контрольні запитання

1. Поясніть схему лабораторної установки, призначеної для дослідження трифазного синхронного генератора.
2. Поясніть конструкцію синхронного генератора
3. У чому складається перевага побудови робочих характеристик синхронного генератора у відносних одиницях?
4. Поясніть вид знятих експериментально робочих характеристик.
5. Що називається відношенням короткого замикання генератора, як воно розраховується?
6. Поясніть як знімається характеристика холостого ходу.
7. Поясніть як знімається зовнішня характеристика.
8. Поясніть як знімається регульовальна характеристика.
9. Який вигляд буде мати регульовальна характеристика при індуктивному навантаженні? При ємнісному навантаженні?
10. Який вигляд буде мати зовнішня характеристика при індуктивному навантаженні? При ємнісному навантаженні?
11. Чому характеристика короткого замикання синхронної машини має вид прямої лінії?
12. Що таке ВКЗ і як впливає цей параметр на властивості синхронного генератора?

### Література

1. Півняк Г.Г, Довгань В.П., Шкрабець Ф.П. Електричні машини: Навчальний посібник – Дніпропетровськ, Національний гірничий університет, 2003. – 327 с. (§ 14.1 стор. 183 – 186; §§ 16.1 – 16.5 стор. 203 – 220).
2. Брускин Д.Э., Зорохович А.Е., Хвостов В.С. Электрические машини. – М.: Высшая школа. 528 с. (§§ 8.1 – 8.6 стор. 309 – 332).

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4/2

### ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАЛЕЛЬНОЇ РОБОТИ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

**Мета роботи:** Вивчити вмикання синхронного генератора на паралельну роботу з мережею методом точної синхронізації і дослідити спільну роботу генератора з мережею.

## Програма роботи

1. Вивчення методів вмикання синхронного генератора на паралельну роботу з потужною мережею.
2. Вмикання синхронного генератора на паралельну роботу з потужною мережею методом точної синхронізації.
3. Зняття U-образних характеристик  $I_1 = f(I_{зб})$ .
4. Переведення синхронної машини з режиму генератора в режим двигуна.
5. Складання звіту.

## Порядок виконання роботи

### Етап 1. Вивчення методів вмикання синхронного генератора на паралельну роботу з потужною мережею

За допомогою методичних вказівок та рекомендованої літератури вивчити методи вмикання с синхронного генератора паралельно з мережею. Ознайомитися з лабораторним стендом та записати заводські дані синхронного генератора в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1.

*Заводські дані синхронного генератора. Робоче місце № \_\_\_\_\_*

<i>Тип</i>	$U_{ном},$ <i>В</i>	$I_{ном},$ <i>А</i>	$P_{ном},$ <i>кВт</i>	$n_{ном},$ <i>об/хв</i>	$f_{ном},$ <i>Гц</i>	$\cos \phi$ <i>-</i>

### Етап 2. Вмикання синхронного генератора на паралельну роботу з мережею методом точної синхронізації

**1.** Підібрати необхідну вимірювальну апаратуру і зібрати схему для вмикання синхронного генератора на паралельну роботу з мережею методом точно синхронізації згідно рис. 2.1. Прилади синхронізаційної колонки (обведена на рис. 6 пунктиром) підключаються до схеми через клемник синхронізаційної колонки. Надати зібрану схему для перевірки викладачу.

**2.** Перед пуском приводного двигуна (двигуна постійного струму) встановити реостат у колі обмотки збудження (ОЗ) двигуна в положення "0" ( $R_{рег.3} = 0$ ). Подати напругу на двигун постійного струму (ввімкнути автоматичний вимикач  $P_3$ ) і натисканням на кнопку "Пуск" на пусковому апараті здійснити запуск приводного двигуна.

**3.** Встановити реостати в колі збудження генератора в положення  $R_{pes.1} = max$ ,  $R_{pes.2} = max$ . Ввімкнути рубильник  $P_2$  в колі обмотки збудження синхронного генератора.

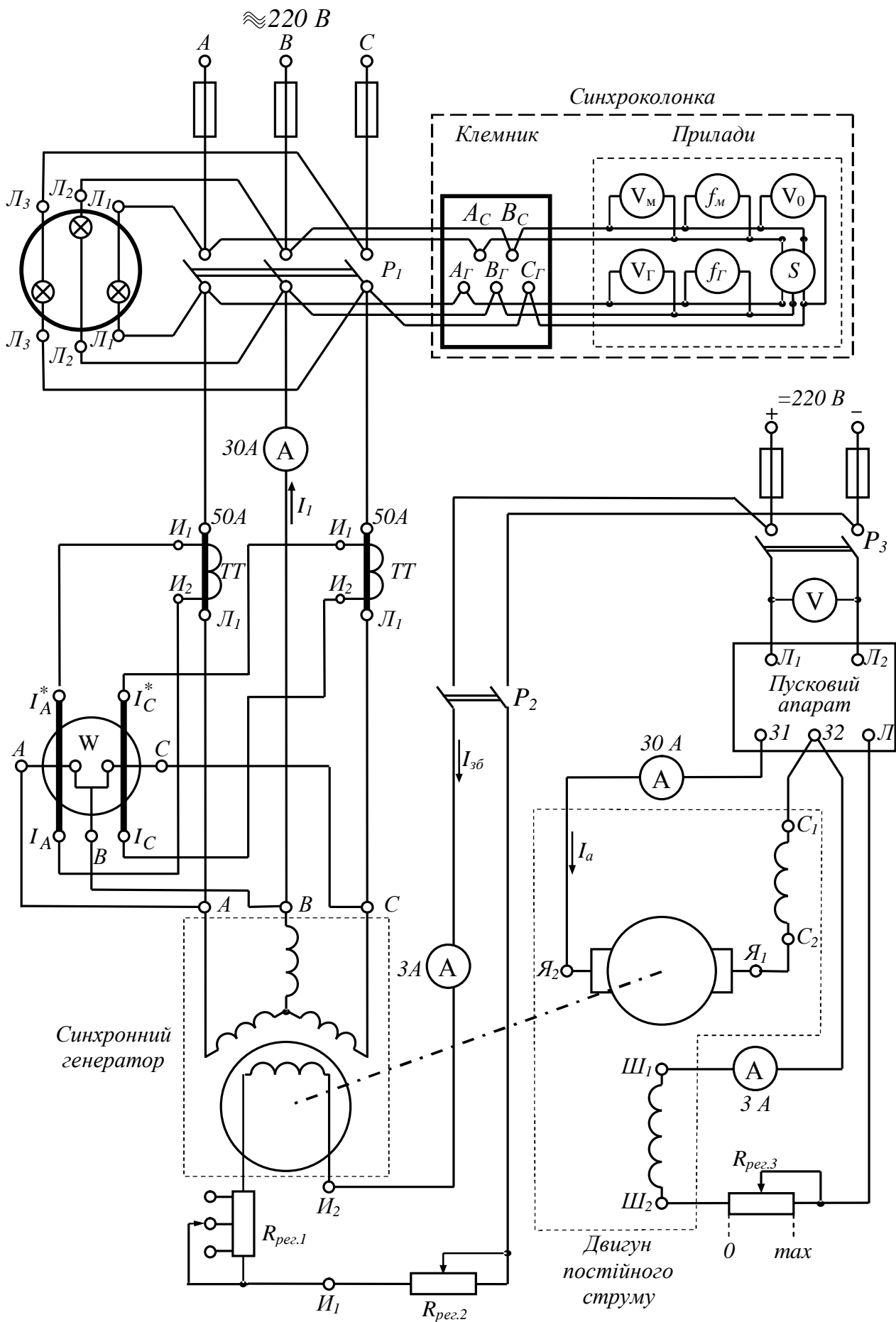


Рис. 2.1. Схема вмикання синхронного генератора на роботу паралельно з мережею



4. Здійснити синхронізацію генератора, для чого треба виконати наступні операції:

– Регулюючи швидкість обертання приводного двигуна за допомогою регулювального реостата  $R_{pes.3}$ , домогтися рівності частот мережі і генератора.

Одночасно необхідно контролювати напругу генератора, щоб вона не перевищила напругу мережі. Величину напруги генератора регулювати, змінюючи струм збудження генератора за допомогою регулювальних реостатів  $R_{pes.1}$  та  $R_{pes.2}$ , прагнучи, щоб  $U_{\Gamma} = U_{\text{м}}$

– Синхронізація досягнута, коли напруга генератора дорівнює напрузі мережі  $U_{\Gamma} = U_{\text{м}}$ , частоти мережі і генератора рівні  $f_{\Gamma} = f_{\text{м}}$ , лампи синхроскопа погашені, стрілка приладу "синхроскоп" знаходиться на червоній рисці, стрілка нульового вольтметра – на нулі.

5. У момент досягнення синхронізації ввімкнути рубильник  $P_1$ .

### Етап 3. Зняття U-образних характеристик

1. Залежність струму якоря від струму збудження  $I_1 = f(I_{\text{зб}})$  знімати, підтримуючи постійною активну потужність  $P_2$  синхронного генератора, що віддається в мережу, та контролюється ваттметром  $W$ , ввімкненим в коло якоря генератора.

2. При холостому ході синхронного генератора  $P_2 = 0$  встановити нормальний струм збудження  $I_{\text{зб}} = I_{\text{зб(норм)}}$ , при якому показання амперметра в колі якоря буде близько до нуля. Значення  $I_{\text{зб(норм)}}$ ,  $I_1$  та  $P_2 = 0$  записати в таблицю 2.2.

3. Регулюючи опір реостатів  $R_{pes.1}$  та  $R_{pes.2}$  у колі збудження генератора, встановити максимальне значення струму збудження  $I_{\text{зб max}}$ , при якому струм якоря близький до номінального значення. Поступово зменшуючи струм збудження від  $I_{\text{зб max}}$  до  $I_{\text{зб(норм)}}$  зняти залежність  $I_1 = f(I_{\text{зб}})$ , записуючи дані вимірів у графу "перезбудження" табл. 2.2. У зазначеному проміжку зміни струму збудження необхідно зняти 6-7 точок, причому при значеннях струму збудження, близьких до  $I_{\text{зб(норм)}}$ , значення струму якоря  $I_1$  знімати з невеликим інтервалом його зміни.

Зняти 6-7 точок при зміні струму збудження від  $I_{\text{зб(норм)}}$  до  $I_{\text{зб min}}$ , записуючи дані в графу "недозбудження" табл. 2.2.

4. Після того, як закінчено виміри при холостому ході, встановити нормальний струм збудження.

5. Навантажити підключений до мережі генератор, шляхом збільшення прикладеного до його вала обертаючого моменту, що створюється двигуном постійного струму. Для цього за допомогою регулювального реостата в колі обмотки збудження приводного двигуна повільно зменшують струм збуджен-

ня, що приводить до збільшення струму якоря двигуна та обертаючого моменту на валу двигуна. Збільшити струм якоря двигуна до значення  $I_a = 10 \text{ A}$ .

6. Визначити нормальний струм збудження  $I_{зб(норм)}$  при  $P_2 = const$ , що знаходиться по мінімуму струму якоря синхронного генератора при регулюванні струму збудження. Записати значення  $I_{зб(норм)}$ ,  $I_1$  та  $P_2$  в табл. 2.2.

7. Зняти залежність  $I_1 = f(I_{зб})$  починаючи з максимального значення струму збудження  $I_{збmax}$  в тій само послідовності, що і в п. 3.

Щоб уникнути випадання генератора із синхронізму  $I_{збmin}$  повинен бути не нижче  $0.25I_{зб(норм)}$

8. Після того, як закінчені виміри при навантаженні ( $I_a = 10 \text{ A}$ ), встановити при цьому навантаженні нормальний струм збудження.

9. Збільшити навантаження до значення  $I_a = 15 \text{ A}$  та зняти залежність  $I_1 = f(I_{зб})$ , керуючись вказівками, приведеними в п. 5 і 6.

Таблиця 2.2.

Дані для побудови U-образних характеристик  $I_1 = f(I_{зб})$   
синхронного генератора при  $U_1 = \text{_____} \text{ В}$ ,  $n = \text{_____} \text{ об/хв}$ .

Навантаження та нормальний струм збудження	Недозбудження		Перезбудження	
	$I_{зб}, \text{ A}$	$I_1, \text{ A}$	$I_{зб}, \text{ A}$	$I_1, \text{ A}$
$I_{зб(норм)} = \text{_____} \text{ A}$				
$I_{1min} = \text{_____} \text{ A}$				
$P_2 = \text{_____} \text{ кВт}$				
$I_{зб(норм)} = \text{_____} \text{ A}$				
$I_{1min} = \text{_____} \text{ A}$				
$P_2 = \text{_____} \text{ кВт}$				
$I_{зб(норм)} = \text{_____} \text{ A}$				
$I_{1min} = \text{_____} \text{ A}$				
$P_2 = \text{_____} \text{ кВт}$				

### Етап 3. Переведення синхронної машини з режиму генератора в режим двигуна

1. Збільшуючи за допомогою регульовального реостата  $R_{рег.3}$  струм збудження приводного двигуна постійного струму, спостерігати за показаннями амперметра в колі його якоря. При деякій величині струму збудження момент двигуна стане рівним нулю (амперметр у колі якоря двигуна покаже нуль). При подальшому збільшенні струму збудження струм у якорі машини постійного струму змінює свій напрямок і починає збільшуватися (звернути також увагу на стрілку ваттметра). Останнє означає, що машина постійного струму перейшла в генераторний режим, і віддає потужність у мережу постійного струму. У той же час синхронна машина перейшла в руховий режим, працюючи як приводний двигун генератора постійного струму.

2. Нажати на кнопку "Стоп" пускового апарату двигуна постійного струму. При цьому якір машини постійного струму буде відігравати роль маховика на валу синхронного двигуна.

### Етап 4. Складання звіту

Звіт по даній лабораторній роботі повинен містити:

1. Найменування роботи, її мету та програму.
2. Номінальні дані трифазного синхронного генератора (табл. 2.1).
3. Принципову схему вмикання генератора на паралельну роботу з мережею методом точної синхронізації (рис. 2.1).
4. Експериментальні дані (табл. 2.2) та  $U$ -образні характеристики синхронного генератора, побудовані у одній системі координат.

### **Методичні вказівки**

#### До етапу 1

При ввімкненні синхронної машини на паралельну роботу необхідно забезпечити можливо менший кидок струму в момент приєднання генератора до мережі. У протилежному випадку можливе спрацьовування захисту, поломка генератора чи первинного двигуна.

Струм у момент підключення генератора до мережі буде дорівнює нулю, якщо вдасться забезпечити рівність миттєвих значень напруг мережі  $u_m$  і генератора  $u_2 = u_1$  або

$$U_{mm} \sin(\omega_m t + a_m) = U_{1m} \sin(\omega_1 t + a_1). \quad (4.1)$$

Умова (4.1) зводиться до наступних трьох умов:

– рівність по величині напруг мережі і генератора  $U_{mm} = U_{1m}$  або  $U_m = U_1$ ;

- рівність їхніх частот  $w_m = w_l$  або  $f_m = f_l$ ;
- рівність їхніх початкових фаз  $a_m = a_l$ , тобто збіг по фазі векторів  $\mathcal{U}_m = \mathcal{U}_l$ .

Крім того, для трифазних генераторів необхідно погодити порядок чергування фаз.

Сукупність операцій, необхідних для підключення генератора до мережі, називається *синхронізацією*.

Паралельне ввімкнення трифазного синхронного генератора з трифазною чотирьохпровідною мережею, до якої приєднані один чи кілька працюючих трифазних синхронних генераторів виконують методом точної синхронізації або способом самосинхронізації.

**Метод точної синхронізації** передбачає наявність синхроскопа в схемі вмикання генератора. Найпростіший синхроскоп складається з трьох ламп накалювання  $L_1, L_2, L_3$  (див. рис. 2.1). Синхроскоп дозволяє ввімкнути генератор на паралельну роботу з мережею в момент точної синхронізації.

При точній синхронізації послідовність операцій по синхронізації наступна:

- спочатку ротор генератора розганяють первинним двигуном до номінальної синхронної частоти обертання ( $n = n_1 = \frac{60 f_1}{p}$ ) в напрямку, що забезпечує необхідну послідовність фаз ЕРС обмоток, при цьому забезпечується рівність частот  $f_m = f_l$ ;
- потім регулюємо струм у колі обмотки збудження ротора, домагаючись рівності напруг мережі і генератора ( $U_m = U_l$ );
- по закінченні процесу синхронізації збіг по фазі напруг мережі і генератора ( $a_m = a_l$ ) контролюється спеціальними приладами – ламповими чи стрілочними синхроскопами.

Лампові синхроскопи застосовують для синхронізації генераторів малої потужності; звичайно їх використовують у лабораторній практиці. Цей прилад являє собою три лампочки, ввімкнені між фазами генератора і мережі. При ввімкненні їх за схемою, що зображена на рис. 2.1, на кожену лампу діє напруга  $\Delta u = u_m - u_l$  яка при  $f_m \neq f_l$  змінюється з частотою  $Df = f_m - f_l$ , яка називається частотою биття (рис. 2.2). При цьому лампи будуть мигати.

При  $f_m \approx f_l$  різниця  $\Delta u$  буде змінюватися повільно, внаслідок чого лампи будуть поступово загорятися і пога-

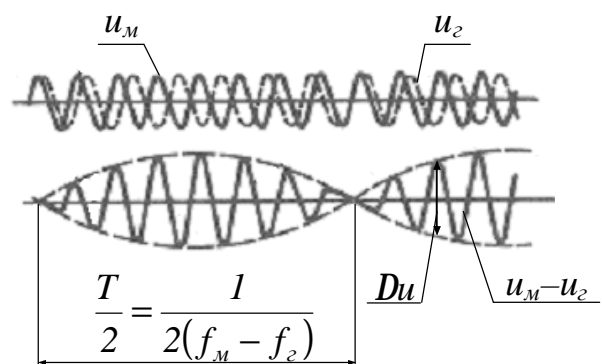


Рис. 2.2. Криві зміни напруг мережі ( $u_m$ ) і генератора ( $u_l$ ) і зміни напруги на лампах ( $U_m - U_l$ ) синхроскопа при  $f_m \neq f_l$ .

сати. Звичайно практично неможливо забезпечити строгу рівність частот  $f_m \approx f_1$ , тому генератор підключають до мережі в момент, коли різниця напруг  $\Delta u$  на короткий час стає близької нулю, тобто в середині періоду загасання ламп. Для більш точного визначення цього моменту часто застосовують *нульовий вольтметр*, що має розтягнуту шкалу в області нуля. Після ввімкнення генератора в мережу подальша синхронізація частоти його обертання, тобто підтримка умов  $n = n_1$  як буде показано далі, відбувається автоматично.

Генератори великої потужності синхронізують за допомогою *стрілочних синхроскопів*, що працюють на принципі обертового магнітного поля. Стрілка синхроскопа при дотриманні умов синхронізації встановлюється на червоній рисі. При  $f_m \neq f_1$  стрілка обертається з частотою, пропорційної різниці частот  $f_m - f_1$  в одну чи іншу сторону в залежності від того, яка з цих частот більше. Якщо частоти  $f_m$  і  $f_1$  однакові, а початкові фази  $u_m$  і  $u_1$  не збігаються ( $a_m \neq a_1$ ), стрілка синхроскопа відхиляється від червоної риси на деякий кут і залишається нерухомою.

В обох випадках зміною режиму первинного двигуна домагаються правильного підходу стрілки до червоної риси і включають триполюсний автоматичний вимикач  $P$ , у результаті чого трифазний синхронний генератор виявляється ввімкненим на паралельну роботу з мережею. На електричних станціях використовують автоматичні прилади для синхронізації генераторів без участі обслуговуючого персоналу.

**Метод самосинхронізації** дозволяє ввімкнути синхронний генератор на паралельну роботу з мережею без синхроскопа. Цей метод дозволяє зробити вмикання генератора на паралельну роботу за дуже короткий час. Це особливо важливо при аваріях у мережах, коли потрібно можливо швидко вмикання на паралельну роботу резервного генератора для підтримки напруги і частоти мережі.

При самосинхронізації ротор незбудженого синхронного генератора розганяють первинним двигуном до частоти обертання, що відрізняється від синхронної не більше ніж на  $\pm 5\%$ . Потім обмотку статора приєднують до мережі працюючих генераторів, після чого в ланцюг обмотки збудження ротора подається постійний струм і цим забезпечують втягування ротора в синхронне обертання. Якщо синхронний генератор включають на паралельну роботу вперше, необхідно попередньо перевірити дотримання послідовності фаз. При самосинхронізації виникають короточасне підвищення струму ("поштовх" струму не повинен перебільшувати 3,5 номінального значення) і відповідні йому електромагнітні моменти і сили з одночасним зниженням напруги в мережі, що швидко відновлюється до номінального значення.

При будь-якому способі синхронізації не дотримання умов (4.1) викликає аварійний режим, зв'язаний з виникненням великих струмів, не припустимих до якірних обмоток генератора і приєданого електроустаткування, а також до появи різких електромагнітних моментів і сил, небезпечних не тільки для синхронного генератора, але і для його первинного двигуна.

## Контрольні запитання

1. Які необхідно виконати умови для вмикання синхронного генератора на паралельну роботу?
2. Який порядок вмикання синхронного генератора на паралельну роботу з мережею методом точної синхронізації?
3. Який порядок вмикання синхронного генератора на паралельну роботу з мережею методом самосинхронізації? Які переваги цього методу?
4. По яким схемах може бути виконаний ламповий синхроскоп?
5. Як характеризується струм якоря синхронного генератора при перезбудженні і недозбудженні?
6. Чим визначається границя стійкості синхронного генератора і яким образом вона проходить на  $U$ -образних кривих?
7. Який принцип дії стрілочного синхроскопа?

## Література

1. Півняк Г.Г., Довгань В.П., Шкрабець Ф.П. Електричні машини: Навчальний посібник – Дніпропетровськ, Національний гірничий університет, 2003. – 327 с. (§§ 17.1 – 17.5 стор. 221 – 232).
2. Брускин Д.Э., Зорохович А.Е., Хвостов В.С. Электрические машини. – М.: Высшая школа. 528 с. (§ 8.8 стор. 334 – 338).

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4/3

### ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СИНХРОННОГО ДВИГУНА В РЕЖИМІ РЕГУЛЮВАННЯ СТРУМУ ЗБУДЖЕННЯ

- Мета роботи:**
1. Вивчити особливості асинхронний пуск синхронного двигуна.
  2. 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. Зняття  $U$ -образних характеристик  $I_1 = f(I_{3\phi})$  і характеристик  $\cos \varphi = f(I_{3\phi})$  при  $P_1 = const$ .
4. Складання звіту.

## Порядок 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. 3.1.

Таблиця 3.1.

Номинальні дані трифазного синхронного двигуна. Робоче місце № \_\_\_\_\_

Тип	$P_{ном}$ кВт	$U_{ном}$ В	$I_{ном}$ А	$n_{ном}$ об/хв	$h_{ном}$ %	$\cos \phi_{ном}$

### Етап 2. Виконання асинхронного пуску синхронного двигуна

Підібрати необхідну вимірювальну апаратуру і зібрати схему для асинхронного пуску синхронного двигуна згідно рис. 3.1. Представити зібрану схему для перевірки викладачу.

Пуск синхронного двигуна (СД) здійснюється без навантаження (рубильник  $P_4$  повинен бути вимкнений). Порядок пуску двигуна полягає у наступному:

1. Ввімкнути рубильник  $P_6$ , при якому обмотка збудження синхронного двигуна (ОЗД) замкнута на активний опір  $r = 12,5 \text{ Ом}$ , який у 8 – 10 разів перевищує опір обмотки збудження.

2. Ввімкнути рубильник  $P_2$  ("пуск"), що шунтує амперметри в колі обмотки якоря на час пуску.

3. На трансформаторах струму встановити шунтуючий елемент у центральний паз (30 А).

4. Ввімкнути двигун у мережу за допомогою рубильника  $P_1$  при номінальній напрузі живлючій мережі.

5. Проконтролювати по вольтметрі наявність напруги збудника (движок реостата  $R_{рег}$  в колі обмотки збудження збудника (ОЗЗ) повинен бути встановлений на червоній рисці).

6. Якщо швидкість двигуна досягла сталого значення, ввімкнути рубильник  $P_5$  та вимкнути рубильник  $P_6$ , при цьому обмотка збудження буде живитися від збудника.

7. Переставити шунтуючий елемент на трансформаторах струму у положення 10 А. Ввімкнути у коло обмотки якоря амперметри  $A_1$  – при струмі якоря синхронного двигуна до 30 А або  $A_2$  – при струмі якоря синхронного двигуна до 10 А, (ввімкнути відповідний з рубильників  $P_3$  та вимкнути рубильник  $P_2$ ).





### Етап 3. Зняття U-образних характеристик

Залежність струму якоря від струму збудження  $I_1 = f(I_{зб})$  знімати при постійній напрузі обмотки якоря двигуна і при постійному навантаженні на валу двигуна. Встановлювати наступні значення навантаження:

$$P_1 = P_0; \quad P_1 = 0,3P_{ном}; \quad P_1 = 0,5P_{ном}.$$

При холостому ході синхронного двигуна  $P_1 = P_0$  встановити нормальний струм збудження  $I_{зб} = I_{зб(ном)}$ , що відповідає  $\cos j = 1$  або  $I_1 = \min$ . Значення  $I_{зб(ном)}$  та  $P_1 = P_0$  вписати в табл. 3.2.

1. Регулюючи опір  $R_{рег}$  у колі обмотки збудження збудника, встановити максимальне значення струму збудження  $I_{зб.мах} \approx 2I_{зб(ном)}$ . Поступово зменшуючи струм збудження від  $I_{зб.мах}$  до  $I_{зб(ном)}$ , знімати залежності  $I_1 = f(I_{зб})$  та  $\cos j = f(I_{зб})$ , записуючи дані вимірів у графу "перезбудження" табл. 3.2. Зняти 7÷8 точок, причому не менш 5 точок повинні бути в області показань фазометра ( $\cos j \approx 0.7 \div 1.0$ ). При значеннях струму збудження двигуна, близьких до  $I_{зб(ном)}$ , значення струму якоря  $I$  знімати по амперметру А2 з меншою межею при вмикненому колі амперметра А1<sup>1</sup>.

Зняти 7 –8 точок при зміні струму збудження від  $I_{зб(ном)}$  до  $I_{зб.мін} = 0$ , записуючи дані в графу "недозбудження" табл. 3.2. При цьому також не менш 5 точок повинні бути в області показань фазометра  $\cos j \approx 0.7 \div 1.0$ .

2. Після того, як закінчені виміри при холостому ході, встановити нормальний струм збудження.

3. Ввімкнути рубильник  $P_4$  і встановити навантаження  $P_1 = 0,3P_n$ , регулюючи величину навантажувального опору в колі генератора постійного струму. Точну установку навантаження можна здійснювати регульовальним реостатом у колі обмотки збудження генератора (ОЗГ). Встановити нормальний струм збудження синхронного двигуна. Записати значення  $I_{зб(ном)}$  та  $P_1 = 0,3P_n$  у табл. 3.2.

4. Зняти залежність  $I_1 = f(I_{зб})$  і  $\cos j = f(I_{зб})$  при  $P_1 = 0,3P_n$ , починаючи зі значення  $I_{зб.мах} \approx 2I_{зб(ном)}$ . При цьому вимірювати струм якоря синхронного двигуна  $I$  та коефіцієнт потужності  $\cos j$  для 6 – 7 значень у режимі перезбудження і 6 –7 значень  $I_{зб}$  у режимі недозбудження, причому всі струми

---

<sup>1</sup> Примітка: Коло обмотки статора не залишати розімкненим при перемиканні з амперметра А1 на амперметр А2. При перемиканні спочатку зашунтувати амперметри за допомогою рубильника Р2, вибрати необхідний прилад та ввімкнути відповідний рубильник Р3, а потім розімкнути рубильник Р2.

повинні бути зняті в області показань фазометра ( $\cos j \approx 0.7 \div 1.0$ ). Щоб уникнути випадання із синхронізму  $I_{зб.min}$  повинен бути не нижче  $0,25 I_{зб(норм)}$ .

5. Після того, як закінчені виміри при навантаженні  $P_1 = 0,3 P_{ном}$  встановити при цьому навантаженні нормальний струм збудження.

6. Збільшити навантаження до значення  $P_1 = 0,5 P_H$  і зняти залежності  $I_1 = f(I_{зб})$  і  $\cos j = f(I_{зб})$ , керуючись вказівками, приведеними в п.п. 3 – 5.

Таблиця 3.2.

*U-образні характеристики  $I_1 = f(I_{зб})$  та характеристики  $\cos j = f(I_{зб})$  при  $P_1 = const$  синхронного двигуна  $U = \text{_____} B$*

Навантаження, струм якоря та нормальний струм збудження (при $\cos j = 1$ )	недозбудження			перезбудження		
	$I_{зб}, A$	$I, A$	$\cos j$	$I_{зб}, A$	$I, A$	$\cos j$
$P_2 = \text{_____} кВт$ $I_{I_{min}} = \text{_____} A$ $I_{зб(норм)} = \text{_____} A$						
$P_2 = \text{_____} кВт$ $I_{I_{min}} = \text{_____} A$ $I_{зб(норм)} = \text{_____} A$						
$P_2 = \text{_____} кВт$ $I_{I_{min}} = \text{_____} A$ $I_{зб(норм)} = \text{_____} A$						

#### Етап 4. Складання звіту

Звіт по даній лабораторній роботі повинен містити:

1. Найменування роботи, її мету та програму.
2. Номінальні дані трифазного синхронного двигуна (табл. 3.1).
3. Принципову схему асинхронного способу пуску синхронного двигуна.
4. Експериментальні данні (табл. 3.2) та  $U$ -образні характеристики синхронного двигуна  $I_1 = f(I_{3\phi})$  і  $\cos \varphi = f(I_{3\phi})$  при  $P_1 = const$ .

#### **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 по методу самосинхронізації або за допомогою синхроскопа як синхронний генератор;
- 2) асинхронний пуск;
- 3) частотний пуск.

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

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 наведеться 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 короткозамкнутої 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  $I_1 = f(I_{зб})$  при постійному навантаженні на валу і постійній напрузі представляє U-образні криві, аналогічні таким же кривим синхронного генератора. У синхронному двигуні споживаний їм активний струм стає випереджальним, по відношенню 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, сприяючи 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 міняється 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 счет якого моменту відбувається втягування двигуна в синхронізм?
5. Яким чином створюється навантаження синхронного двигуна в умовах лабораторії?
6. Як характеризується струм при перезбудженні і недозбудженні?
7. Чим відрізняється  $\cos \varphi$  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?
10. Що таке одноосний ефект?

### Література

1. Півняк Г.Г, Довгань В.П., Шкрабець Ф.П. Електричні машини: Навчальний посібник – Дніпропетровськ, Національний гірничий університет, 2003. – 327 с. (§ 18.3 стор. 235 – 236, § 18.6 стор. 238 – 240).
2. Брускин Д.Э., Зорохович А.Е., Хвостов В.С. Электрические машини. – М.: Высшая школа. 528 с. (§ 8.14 стор. 356 – 359).

## СПИСОК ДОДАТКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кацман М.М. Электрические машини. – М.: Высшая школа, 2002. – 469 с.
2. Важнов А.И. Электрические машини. – Л.: Энергия, 1974. – 840 с.
3. Юферов Ф.М. Электрические машини автоматических устройств. – М.: Высшая школа. 1976. – 416 с.
4. Копілов И.П. Электрические машини. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 360 с.
5. Костенко М.П., Пиотровский Л.М. Электрические машини. – Л.: Энергия. Часть I, 1972. – 544 с. Часть II, 1973. – 648 с.
6. Электротехнический справочник /Под общ. Ред. В.Г. Герасимова, П.Г. Грудинского, Л.А. Жукова и др. – М.: Энергоатомиздат. Т.1, 1980. – 520 с. Т.2, 1981. – 640 с.

## З М І С Т

Лабораторна робота 4/1 Електровимірювальні прилади та вимірювання електричних величин	3
Лабораторна робота 4/2 Дослідження лінійного розгалуженого електричного кола постійного струму	11
Лабораторна робота 4/3 Дослідження лінійного нерозгалуженого кола синусоїдального струму	19
Список додаткової літератури	26

Упорядники:  
Ципленков Дмитро Володимирович  
Остапчук Олександр Володимирович

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
до виконання лабораторних робіт  
з дисципліни „ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ”  
для студентів напрямів 0922 – "Електромеханіка",  
0906 – "Електротехніка", 0902 – "Інженерна механіка"  
(Розділ "Синхронні машини")

Редакційно-видавничий комплекс

Підписано до друку . .2008. Формат 30x42/4. Папір Captain  
Ризографія. Умовн. друк. арк. 1,44. Обліково-видавн. арк. 1,44.  
Тираж 300 прим. Зам. №

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