

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 16

### ДОСЛІДЖЕННЯ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Мета роботи - вивчити будову, принцип дії та основні характеристики синхронного генератора, а також методику його випробування.

#### 16.1. Основні теоретичні відомості

Синхронний генератор – це синхронна машина, яка перетворює механічну енергію первинного двигуна в електричну енергію змінного струму.

Синхронна машина складається з двох основних частин – статора 1 та ротора 2. Будова статора синхронної машини така ж сама, як і статора асинхронної. Ротор являє собою електромагніт, обмотка 3 якого називається обмоткою збудження та живиться від джерела постійної напруги через два ізольованих контактних кільця 4, що закріплені на валу та обертаються разом з ротором. Постійна напруга підводиться до обмотки збудження через нерухомі щітки 5, які мають ковзний контакт із кільцями 4. Існує два типи ротора – явнополюсний (на рис.16.1,а  $p=1$ , на рис.16.1,б –  $p=2$ , де  $p$  – кількість пар полюсів) та неявнополюсний (рис.16.1,в  $p=1$ ).

Полюси явнополюсного ротора виступають. Такий ротор застосовується для тихохідних машин з частою обертання до 1500 об/хв. Обмотка збудження такого ротора має велику кількість витків, які намотуються на осердя полюсів.

Для машин з частотою обертання від 3000 об/хв використовують неявнополюсний ротор, обмотка збудження якого укладається в пази розташовані на зовнішній поверхні ротора.

Первинними двигунами для синхронних генераторів можуть бути гідротурбіни, парові та газові турбіни і, відносно рідко, двигуни внутрішнього згоряння.

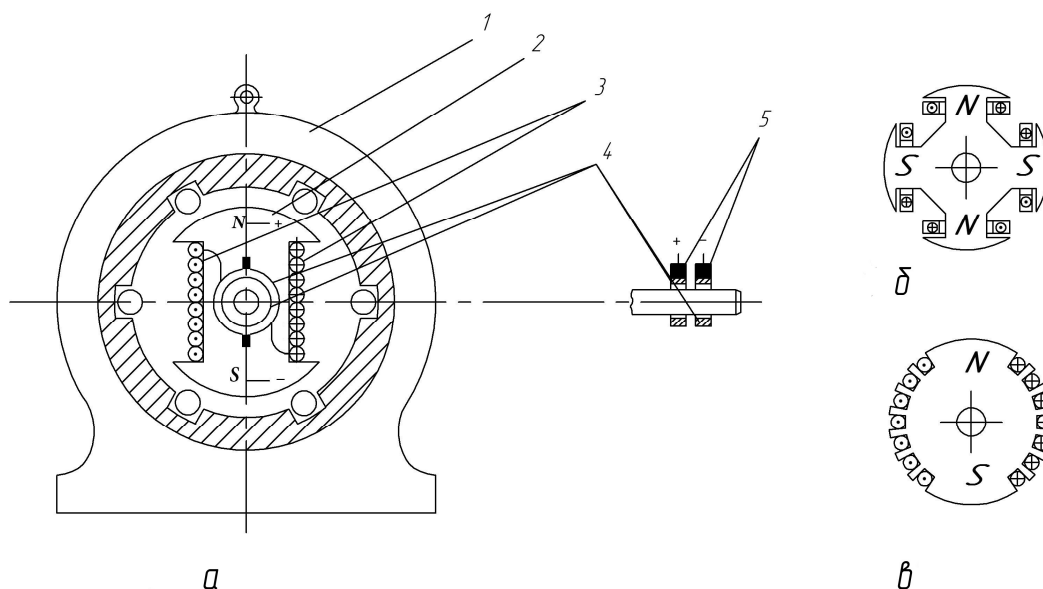


Рис.16.1

В основі принципу роботи синхронних генераторів лежить закон електромагнітної індукції.

Під час обертання ротора за допомогою первинного двигуна магнітне поле полюсів, яке рухається відносно обмотки статора, наводить в її провідниках ЕРС з частотою

$$f_1 = \frac{pn_2}{60},$$

де  $p$  - кількість пар полюсів ротора,  $n_2$  - частота обертання ротора, об/хв.

Якщо до обмотки статора підключити навантаження, в фазах статорної обмотки з'являться струми, які утворюють своє магнітне поле, частота якого становить

$$n_1 = \frac{60f_1}{p}.$$

Звідки  $n_2 = n_1$ . Оскільки магнітні поля статора і ротора обертаються з однаковою швидкістю, то вони нерухомі відносно один одного.

В результаті взаємодії поля статора і поля ротора виникає електромагнітний момент, який відповідно до закону Ленца повинен гальмувати рух ротора, оскільки обертання поля ротора спричинює наведення ЕРС і появу струмів у статорі. Цей момент врівноважується обертовим моментом первинного двигуна.

Магнітні поля статора і ротора, які обертаються в просторі з однаковою швидкістю, утворюють результуюче магнітне поле. Якщо струм в обмотці збудження не змінюється, то на результуюче поле впливають тільки струми обмотки статора, які залежать від навантаження генератора. Вплив магнітного поля статора на результуюче магнітне поле називається реакцією якоря (якорь – частина машини, що містить обмотку в якій наводиться ЕРС).

Робота синхронного генератора характеризується частотою обертання ротора  $n_2$ , напругою  $U$ , струмом  $I$  однієї з фазних обмоток генератора та струмом збудження  $I_3$ . Залежності двох величин коли дві інші є сталими називають основними характеристиками, які характеризують властивості та особливості генератора і наводяться в довідниках.

Характеристика холостого ходу – це залежність напруги  $U$  на одній з фазних обмоток від струму збудження  $I_3$  за умови сталої частоти обертання та розімкненому зовнішньому колі:

$$U = f(I_3), \text{ коли } n_2 = \text{const}, I = 0$$

Зовнішня характеристика – це залежність напруги  $U$  від струму навантаження  $I$  за умови сталих частоти обертання  $n_2$  та струму збудження  $I_3$ :

$$U = f(I), \text{ коли } n_2 = \text{const та } I_3 = \text{const}$$

Регулювальна характеристика – це залежність струму збудження  $I_3$  від струму навантаження  $I$  за умови сталих напруги генератора  $U$  та частоти обертання  $n_2$ :

$$I_3 = f(I), \text{ коли } n_2 = \text{const та } U = \text{const}$$

Регулювальна характеристика показує, як треба змінювати струм збудження, щоб із зміною навантаження напруга генератора залишалася незмінною.

Типові характеристики подано на рис.16.2.

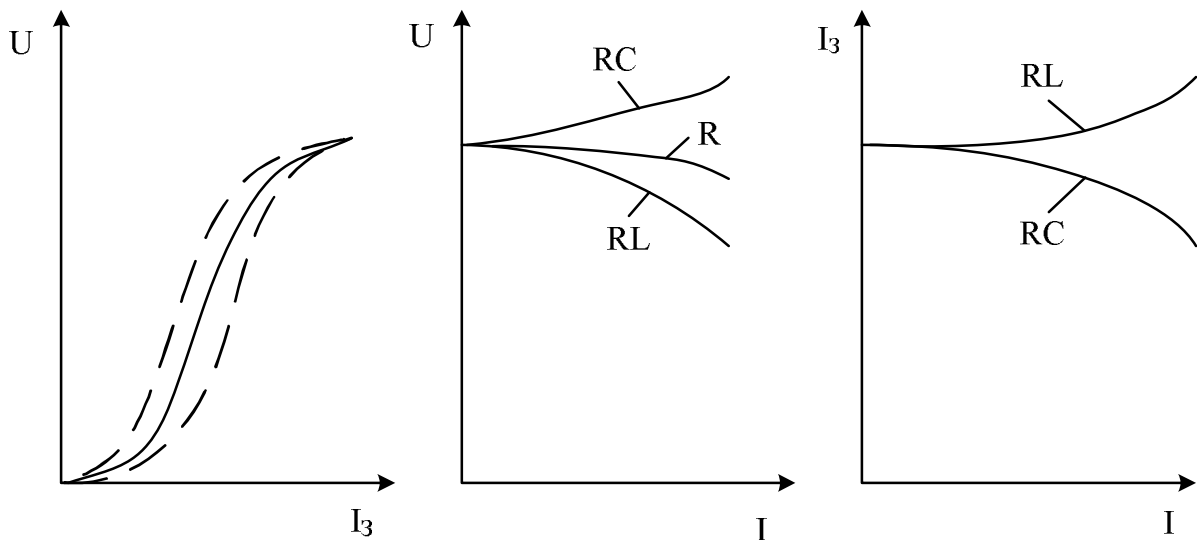


Рис.16.2

Отримані характеристики аналізуються за допомогою рівнянь електричної рівноваги однієї фази синхронного генератора:

$$\underline{E} = \underline{U} + \underline{I}(R + jX_c) \quad \text{або} \quad \underline{U} = \underline{E} - \underline{I}(R + jX_c),$$

$$E = C_E n_2 \Phi_3,$$

де  $E$  - ЕРС наведена в одній з фаз генератора,  $\Phi_3$  - магнітний потік, утворений струмом збудження,  $R$  - активний опір фази обмотки статора,  $X_c$  - синхронний реактивний опір, що враховує потік реакції якоря та потік розсіювання,  $U$  - напруга на фазі генератора.

Знімаючи характеристику холостого ходу, приймають  $I = 0$ . Тоді очевидно, що

$$U = E_3 \sim \Phi_3 = f(I_3),$$

тобто характеристика холостого ходу за формою повторює криву намагнічування магнітного кола генератора. Дослідна характеристика холостого ходу має дві вітки, що обумовлено впливом гістерезису магнітної системи машини.

Сучасні електротехнічні сталі, з яких виготовляється магнітопровід, характеризуються незначними втратами потужності на гістерезис, внаслідок чого розходження віток характеристики холостого ходу виявляється незначним. Тому, зазвичай, її представлено у вигляді деякої усередненої залежності, як показано на рис.16.2 суцільною лінією.

Рівняння  $\underline{U} = \underline{E} - \underline{I}(R + jX_c)$  є рівнянням зовнішньої характеристики в комплексній формі, вид якої визначається характером навантаження генератора. Із зростанням струму напруга може як зменшуватись (активне та активно-індуктивне навантаження), так і збільшуватись (активно-ємнісне навантаження). Аналізуючи зовнішню характеристику синхронного генератора, слід врахувати розмагнічувальну дію реакції якоря (якщо навантаження генератора має активно-індуктивний характер) або її намагнічувальну дію (якщо навантаження генератора має активно-ємнісний характер). Напруга генератора змінюється також за рахунок спаду напруги на індуктивному опорі розсіювання та активному опорі обмотки статора.

Слід звернути увагу, що характер регулювальної характеристики напряму залежить від характеру зовнішньої характеристики.

## 16.2. Завдання і порядок виконання роботи

1. Вивчити будову генератора, особливу увагу звернувши на будову статора та ротора, і записати основні паспортні дані генератора в табл. 16.1.

Таблиця 16.1

Інвентарний номер	$S$ , кВ·А	$U$ , В	$I$ , А	$I_3$ , А	$f$ , Гц	$n_2$ , об/х в	Визначити	
							кількість пар полюсів	спосіб з'єднання обмоток

2. Перевірити відповідність вимірювальних приладів, записати їхні паспортні дані в табл. 16.2.

Таблиця 16.2

№ з/п	Найменування приладів і апаратів	Позначення на схемі	Вимірювальний механізм або тип	Межі вимірювання або номінальні параметри	Ціна поділки	Примітка
1.						
2.						
3.						
4.						

3. Використовуючи панель із мнемонічною схемою "Синхронна машина", зібрати електричне коло для зняття характеристик синхронного генератора та електричне коло двигуна постійного струму, який є джерелом механічної енергії у відповідності до монтажною схемою (рис. 16.3).

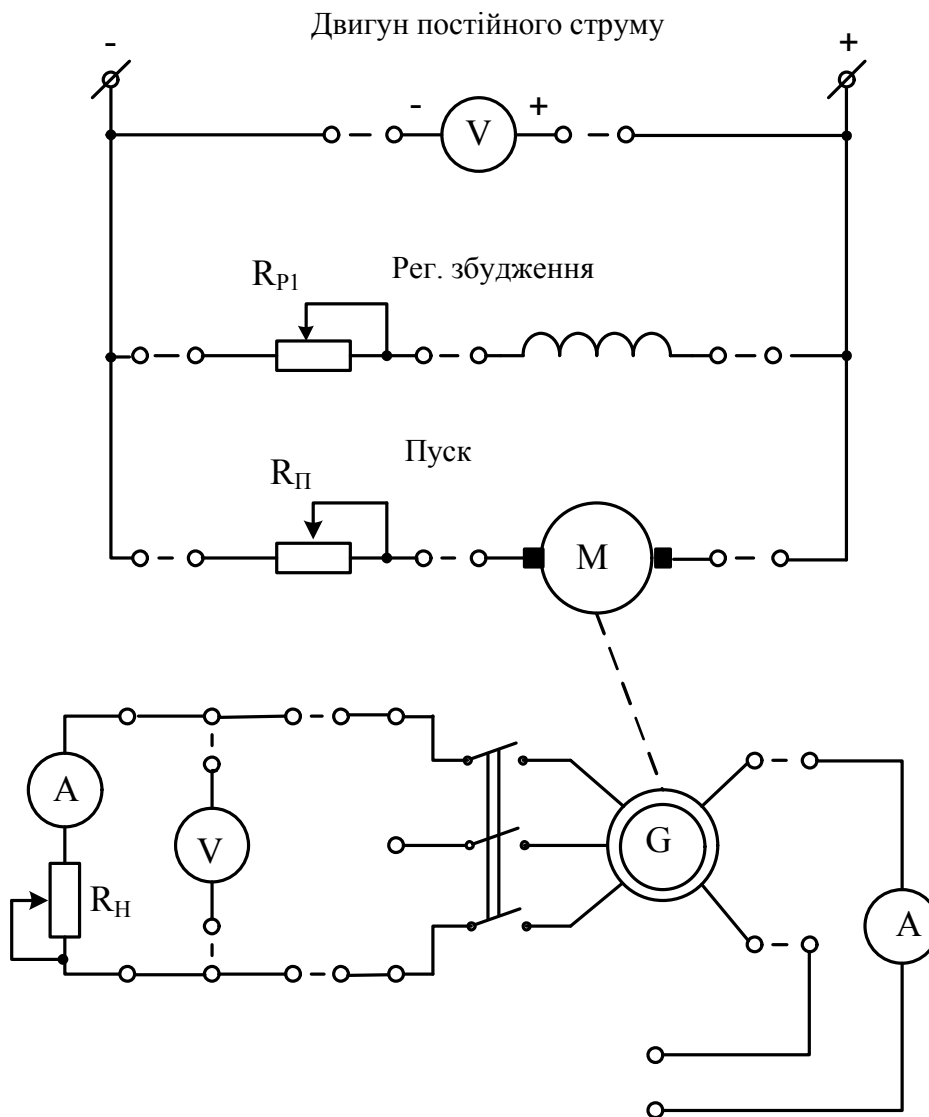


Рис.16.3

4. Встановити перемикач пускового реостату  $R_{II}$  двигуна постійного струму в положення 1 (коло якоря двигуна розімкнено), реостат  $R_{PI}$  кола збудження в положення мінімального опору (повернути ручку «Регулювання збудження» за годинниковою стрілкою в крайнє положення), а регулюєме джерело постійної напруги в нульове значення (повернути ручку «Збудження синхронної машини та генератора постійного струму» проти годинникової стрілки в крайнє положення).

5. Кнопками регулювання рівня напруги постійного струму «↑» та «↓» встановити напругу 220 В.

Запустити двигун постійного струму, поступово переключив пусковий реостат з максимального значення до нуля (положення 7). Змінюючи значення опору реостату  $R_{p1}$  в колі збудження двигуна, встановити таку частоту обертання, яка дорівнює номінальній частоті обертання синхронного генератора.

6. Зняти характеристику холостого ходу генератора  $U = f(I_3)$ , коли  $n_2 = const$ ,  $I = 0$ .

Для збудження генератора необхідно підключити його роторну обмотку до регульованого джерела постійної напруги, натисканням кнопки «Вкл» позиції «Збудження синхронної машини».

Натисканням кнопки «Вкл» позиції «Включення статора синхронної машини» підключається статорна обмотка до кіл вимірювальних приладів.

Струм збудження змінювати від нуля (перше вимірювання виконувати при розімкненому колі збудження) до значення, коли напруга на затискачах синхронного генератора складає  $U \approx 1.2U_H$ , з таким розрахунком, щоб отримати шість-сім вимірів. Дані вимірювань записати в табл. 16.3.

Таблиця 16.3

$I_3, A$						
$\uparrow U, B$						
$\downarrow U, B$						

7. Зняти зовнішню характеристику синхронного генератора для активного навантаження  $U = f(I)$ , коли  $n_2 = const$  та  $I_3 = const$  ( $f = 50$  Гц), виконавши шість-сім вимірів напруги генератора для різних значень струму навантаження в межах від нуля до значення  $I \approx 1.2I_H$ .



Струм збудження генератора встановити таким, щоб за номінального струму навантаження напруга генератора також була номінальною. Струм навантаження змінювати реостатом навантаження  $R_H$ . Результати вимірів записати в таблицю 16.4.

Таблиця 16.4

$I, A$							
$U, B$							

8. Зняти регульовальну характеристику синхронного генератора  $I_3 = f(I)$ , коли  $n_2 = const$  та  $U = const$  ( $f = 50$  Гц). Для цього, змінюючи струм навантаження до номінального, регулювати реостатом  $R_{P1}$  струм збудження таким чином, щоб напруга генератора залишалась незмінною. Зробити шість-сім вимірів і записати результати до таблиці 16.5.

Таблиця 16.5

$I, A$							
$I_3, A$							

9. За даними табл. 16.3 - 16.5 побудувати характеристики синхронного генератора.

10. За зовнішньою характеристикою визначити відносну зміну напруги генератора, %:

$$\Delta U\% = \frac{U_x - U_H}{U_x} \cdot 100,$$

де  $U_x = E$  - напруга генератора в режимі холостого ходу;

$U_H$  - номінальна напруга.

11. Зробити та записати основні висновки по роботі.

### 16.3.Контрольні запитання

1. Будова трифазного синхронного генератора.
2. Принцип дії трифазного синхронного генератора.
3. Яким чином збуджується генератор?
4. Яким чином регулюється частота та значення наведеної ЕРС?
5. Як залежить напруга генератора від навантаження.
6. Яким чином підтримувати напругу генератора незмінною, в разі зміни навантаження?
7. Намалюйте та проаналізуйте основні характеристики генератора.
8. Пояснить електричне коло генератора та пояснить призначення його елементів.
9. Запишіть рівняння електричної рівноваги синхронного генератора та побудуйте відповідну векторну діаграму.

### Література:

1. Гуржій А.М., Сільвестров А.М., Поворознюк Н.І. Електротехніка з основами промислової електроніки. К.:”Форум”.-2002.
2. Електротехніка. / под ред. Герасимова В.Г. М.: Высшая школа. – 1985.
3. Борисов Ю.М., Липатов Д.Н., Зорин Ю.Н. Електротехніка. М.: Энергоатомиздат. – 1985.
4. Касаткин А.С., Немцов М.В. Електротехніка. М.: Энергоатомиздат. – 1983.
5. Иванов Н.Н., Равдонник В.В. Електротехніка. М.: Высшая школа. – 1984.
6. Трегуб А.П. Електротехніка. М.: Энергоатомиздат. – 1985.
7. Електротехніка у зварювальному виробництві: Довідниково-методична пам’ятка по електричним та магнітним колам для студентів спеціальності “Зварювальне виробництво” / Сільвестров А.Н.-К.: КПИ ,1990.
8. Щерба А.А., Грудська В.П., Спінул Л.Ю. “Розрахунок лінійних кіл змінного струму”. Навчально-методичний посібник , К.: НТУУ «КПІ», ФЕА, 2004.