

Тема 2

Генератори електричних станцій

Електричні генератори – це пристрої, що перетворюють механічну енергію (зазвичай від двигуна внутрішнього згоряння) на електричну. Вони поділяються на типи залежно від виду палива, потужності та призначення.

Синхронний генератор – це електрична машина змінного струму, у якій частота ЕРС визначається швидкістю обертання ротора та кількістю пар полюсів:

$$f = p \cdot n / 60$$

де

f – частота (Гц),

p – число пар полюсів,

n – швидкість обертання (об/хв).

Усі генератори великих електростанцій працюють синхронно з енергосистемою (**50 Гц в Україні**).

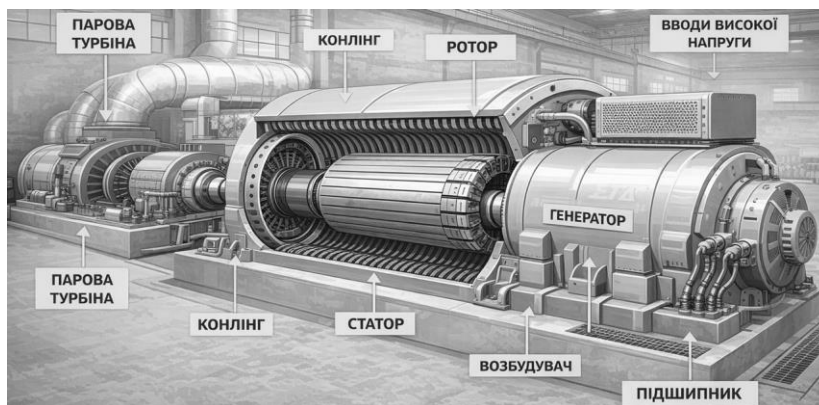
Типи синхронних генераторів

1 Турбогенератори – електричний синхронний генератор змінного трифазного струму з приводом від парової або газової турбіни. Тобто, турбогенератор — це поєднання турбіни, безпосередньо з'єднаної з електричним генератором для вироблення електроенергії.

- Використовуються на ТЕС і АЕС
- Висока швидкість: 3000 об/хв (2 полюси)
- Циліндричний (неявнополюсний) ротор
- Потужність: 200–1200 МВт

Особливості:

- Компактний ротор
- Висока механічна міцність
- Водневе або водяне охолодження



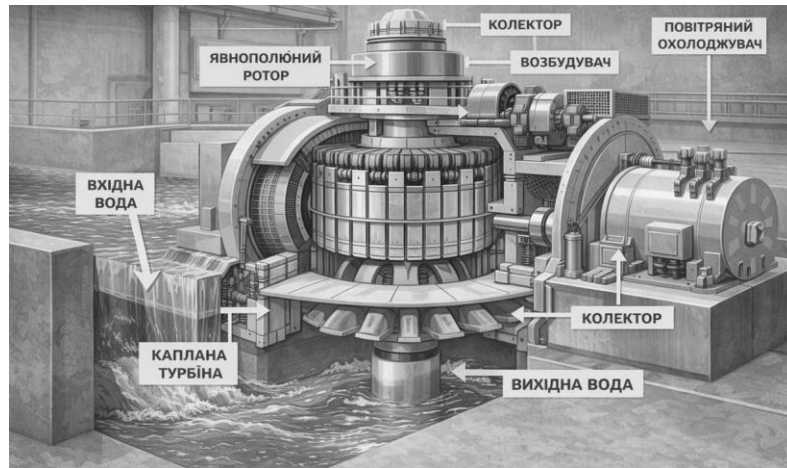
2 Гідрогенератори – це електрична машина, яка перетворює механічну енергію потоку води в електричну. Вони є ключовим компонентом гідроелектростанцій (ГЕС) і можуть варіюватися від гігантських промислових агрегатів до мініатюрних пристроїв для побутового використання.

- Використовуються на ГЕС
- Низька швидкість: 75–300 об/хв

- Явнополюсний ротор великого діаметра
- Велика кількість полюсів

Особливості:

- Значні габарити
- Повітряне або водяне охолодження
- Високий момент інерції



Залежно від конструкції та потужності, виділяють кілька основних категорій:

- Промислові гідрогенератори: Використовуються на великих ГЕС (як-от Дніпровська ГЕС потужністю 1578,6 МВт). Вони зазвичай є синхронними машинами з вертикальним або горизонтальним валом.
- Малі та мікро-ГЕС: Пристрої потужністю менше 30 МВт для малих річок або приватних господарств.
- Побутові міні-гідрогенератори: Компактні пристрої для встановлення у водопровідні труби або невеликі струмки для живлення малопотужної електроніки (12 В, 5 В).

Основні параметри синхронного генератора

Номінальні параметри

- Номінальна потужність S_n (МВА)
- Номінальна активна потужність P_n (МВт)
- Номінальна напруга U_n (6–24 кВ)
- Номінальний струм I_n
- Частота 50 Гц
- ККД (до 98–99%)
- $\cos \varphi$ (0,8–0,9)

$$S = \sqrt{3}UI$$

$$P = S \cos \varphi$$

3.2 Реактивні параметри

- Синхронний реактивний опір X_d
- Перехідний X_d'

- Надперехідний X_d''

Ці параметри визначають струм короткого замикання та стійкість генератора.

Режими роботи синхронного генератора

1. Нормальний (номінальний) режим

Характеристика:

- $P \approx P_n$
- $I \approx I_n$
- $U = U_n$
- $\cos \varphi$ у межах 0,8–0,9
- Температура обмоток у допустимих межах

Фізичні процеси:

- Магнітне поле ротора синхронно обертається зі швидкістю поля статора.
- Кут навантаження δ знаходиться в межах 10–30°.
- Втрати: мідні, сталеві, вентиляційні.

Вплив на надійність:

- Мінімальний знос
- Нормальний тепловий режим
- Розрахунковий строк служби 25–40 років

2. Робота при зміні активного навантаження

$$P = \frac{EU}{X_d} \sin \delta$$

При збільшенні активної потужності:

- Зростає кут δ
- Зростає струм статора
- Підвищуються електромагнітні сили

Граничний стан:

При $\delta \rightarrow 90^\circ \rightarrow$ втрата статичної стійкості.

Наслідки:

- Ризик випадіння з синхронізму
- Механічні удари у валопроводі
- Спрацювання захисту

3. Режим регулювання реактивної потужності

Перезбуджений режим (генерація Q)

- Підвищений струм збудження
- Генератор віддає реактивну потужність
- Підвищує напругу в мережі

Недозбуджений режим (споживання Q)

- Знижений струм збудження
- Генератор споживає реактивну потужність
- Зниження напруги

4. Перевантаження генератора

4.1 Короткочасне перевантаження

Допустиме:

- 1,1–1,2 In протягом обмеженого часу

4.2 Тривале перевантаження

$$\Delta T \sim I^2$$

Закон теплового старіння:

Збільшення температури на 8–10°C скорочує ресурс ізоляції вдвічі.

5. Аварійні режими

5.1 Коротке замикання

$$I_{kз}'' = E/X_d''$$

- Струм у 5–8 разів перевищує номінальний
- Великі електродинамічні сили
- Механічні деформації шин

5.2 Втрата збудження

- Генератор переходить в асинхронний режим
- Починає споживати реактивну потужність
- Нагрів ротора

5.3 Асинхронний режим (випадіння з синхронізму)

Ознаки:

- Коливання потужності
- Коливання струмів
- Механічні удари

Наслідки:

- Руйнування валопроводу
- Пошкодження турбіни
- Аварія блоку

6. Коливальні режими (динамічна стійкість)

Після великих збурень:

- Короткі замикання
- Відключення ліній
- Різкі зміни навантаження

Можливі:

- Згасаючі коливання
- Незгасаючі коливання
- Втрата стійкості

В енергосистемі України контроль режимів здійснюється диспетчерськими службами НЕК «Укренерго».

7. Теплові режими генератора

Джерела нагріву:

- Статорні струми
- Роторні струми
- Вихрові струми
- Втрати в сталі

Типи охолодження:

- Повітряне

- Водневе
- Водяне

Порушення охолодження → найбільш небезпечний режим.

8. Діаграма потужності (P–Q діаграма)

Робоча зона генератора обмежена:

- Струмом статора
- Струмом ротора
- Нагрівом
- Стійкістю

Вихід за межі допустимої області → аварійне відключення.

Вплив режимів на електричну частину станції

Режим	Наслідки для станції
Перевантаження	Підвищені струми в шинопроводах
КЗ	Високі вимоги до вимикачів
Втрата збудження	Падіння напруги
Асинхронний хід	Каскадна аварія

Умови підключення генератора до мережі (синхронізація)

Перед включенням генератора необхідно виконати **умови синхронізації**:

1. Рівність напруг:

$$U_{\text{ген}} = U_{\text{мережі}}$$

2. Рівність частот:

$$f_{\text{ген}} = f_{\text{мережі}}$$

3. Співпадіння фаз

4. Правильна послідовність фаз

Методи:

- Ламповий метод
- Синхроскоп
- Автоматична синхронізація

Порушення умов → ударні струми → механічні пошкодження.

Питання для самоконтролю

1. Чим відрізняється турбогенератор від гідрогенератора?
2. Які основні параметри визначають режим генератора?
3. Що таке надперехідна реактивність?
4. Які умови синхронізації?
5. Як перевантаження впливає на ресурс машини?