

## Перспективи використання асинхронізованих синхронних машин в якості генераторів малих ГЕС і ВЕС

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

*Виходячи з особливостей функціонування асинхронізованих синхронних машин, визначені перспективи їх використання в якості генераторів малих гідроелектростанцій та вітрових електростанцій і показано, яких переваг можна досягнути при їх використанні у порівнянні з синхронними генераторами і асинхронними.*

**Ключові слова:** мала гідроелектростанція, вітроелектростанція, генератор, асинхронізована синхронна машина, відновлювальна енергетика.

### Abstract

*Based on the operation characteristics of the asynchronous synchronized synchronous machines, the perspectives for their appliance as generators for small hydro and wind power plants were determined. The main benefits which can be achieved in comparison with synchronous and asynchronous generators were shown.*

**Keywords:** small hydro power plant, wind power plant, generator, asynchronous synchronized synchronous machine, renewable power generation.

### Постановка задачі

Нині на малих ГЕС і ВЕС встановлюються переважно асинхронні генератори, що обумовлює також встановлення на цих електростанціях батарей статичних конденсаторів для забезпечення асинхронних генераторів реактивною потужністю, необхідною для створення магнітного поля в зазорі між ротором і статором, за допомогою якого при обертанні ротора з коротко замкнутою обмоткою створюється електрорушійна сила в обмотці статора. І оскільки струм намагнічування асинхронних генераторів може досягати 50% від його номінального робочого струму, то реактивна потужність батарей статичних конденсаторів, що встановлюються на малих ГЕС і ВЕС, може досягати значних величин, а самі конденсаторні батареї можуть мати значні габарити і коштувати недешево.

Звичайно, в разі підключення малих ГЕС чи ВЕС до шин електромережі енергосистеми потрібну їх асинхронним генераторам реактивну потужність можна отримати і із електромережі, але при цьому втрати активної потужності у цій електромережі зі значення

$$\Delta P = I^2 r = I_p^2 r = \Delta P_p, \quad (1)$$

де  $I_p$  - активна складова струму  $I$  в лінії електропередачі, а  $r$  - активний опір відрізка цієї лінії від шин, до яких приєднано асинхронний генератор малої ГЕС чи ВЕС, до шин, до яких приєднано системне джерело реактивної потужності, зростають до значення

$$\Delta P = (I_p^2 + I_Q^2) r = \Delta P_p + \Delta P_Q \quad (2)$$

І власникові малої ГЕС чи ВЕС за створення додаткових втрат активної потужності  $\Delta P_Q$  в лінії електропередачі, викликаних споживанням реактивного струму  $I_Q$ , необхідного для функціонування його асинхронних генераторів, доведеться платити власникові цієї електромережі.

Цього недоліку не мають синхронні генератори, магнітне поле яких в зазорі створюється за рахунок обмотки збудження, в яку подається струм від власного джерела постійного струму. Але синхронні генератори мають інший недолік – вони є чутливими до випадкових змін водяних чи вітрових потоків, які поступають на їх гідро- чи віротурбіни, внаслідок чого при автономній роботі цих ВЕС чи ГЕС змінюється частота струму, що ними генерується, а при роботі на електромережу енергосистеми вони можуть випадати із синхронізму.

А тому важливою задачею є пошук компромісного варіанту генерації електроенергії на малих ГЕС і ВЕС, який мінімізував би негативні наслідки використання як синхронних так і асинхронних машин в якості їх генераторів. Ми бачимо цей компромісний варіант у

використанні в якості генераторів малих ГЕС і ВЕС асинхронізованих синхронних машин [1], в чому спробуємо переконати у наступних викладах.

### Розв'язання задачі

Як показано в роботі [1], асинхронізована синхронна машина (АСМ) конструктивно є варіантом синхронної машини, але не з однією, а з двома обмотками збудження на роторі, які можна використовувати у двох варіантах, за першим із яких можна подавати постійний струм в обидві обмотки - і тоді ця машина за принципом дії нічим не відрізнятиметься від синхронного генератора, а за другим постійний струм подається лише в одну із цих обмоток, а друга замикається накоротко – і тоді по одній із цих роторних обмоток ця машина за принципом дії є синхронним генератором, а по другій із цих роторних обмоток за принципом дії є асинхронною машиною, яка в залежності від знаку проковзування

$$s = \frac{\omega_1 - \omega}{\omega_1}, \quad (3)$$

де  $\omega_1$  – кутова швидкість обертання поля статора, а  $\omega$  – кутова швидкість обертання ротора, буде працювати або в режимі асинхронного генератора, якщо

$$s < 0, \quad (4)$$

або в режимі асинхронного двигуна, якщо

$$s > 0 \quad (5)$$

Як відомо [2,3], електрична потужність синхронного генератора

$$P = mUI \cos \varphi, \quad (6)$$

де  $m$  – кількість фаз, а  $U, I, \varphi$  – фазні напруга і струм та кут між їх векторами, створюється його електромагнітним моментом  $M_E$ , в який в еквівалентній кількості перетворюється механічний момент  $M_T$  турбіни. І для того, щоб частота  $f_1$  генерованої синхронним генератором напруги, яка зв'язана з кутовою швидкістю обертання поля статора залежністю

$$f_1 = n\omega_1, \quad (7)$$

де  $n$  – число пар полюсів, була незмінною, необхідно, щоб виконувалась рівність

$$M_T = M_E \quad (8)$$

Тож в разі, якщо матимемо нерівність

$$M_T > M_E, \quad (9)$$

ротор розганятиметься, що приведе до збільшення кутової швидкості обертання поля статора, адже у синхронного генератора вона дорівнює кутовій швидкості обертання ротора, і частота  $f_1$  теж збільшуватиметься, а в разі, якщо матимемо нерівність

$$M_T < M_E, \quad (10)$$

з тих же причин частота  $f_1$  зменшуватиметься.

А тепер проаналізуємо, як змінюватиметься момент  $M_A$ , створюваний на валу АСМ її асинхронною складовою.

Як відомо [2,3], момент, створюваний на валу асинхронної машини (у нашому випадку – це  $M_A$ ), наближено можна визначити з виразу

$$M_A = \frac{cU_1^2}{\omega_1} \cdot \frac{sr_2}{r_2^2 + s^2x_2^2}, \quad (11)$$

в якому  $c$  – конструктивна паспортна константа, а  $r_2, x_2$  – активний і реактивний опори коротко замкнутої обмотки ротора, і який в функції проковзування графічно можна представити так, як показано на рисунку.

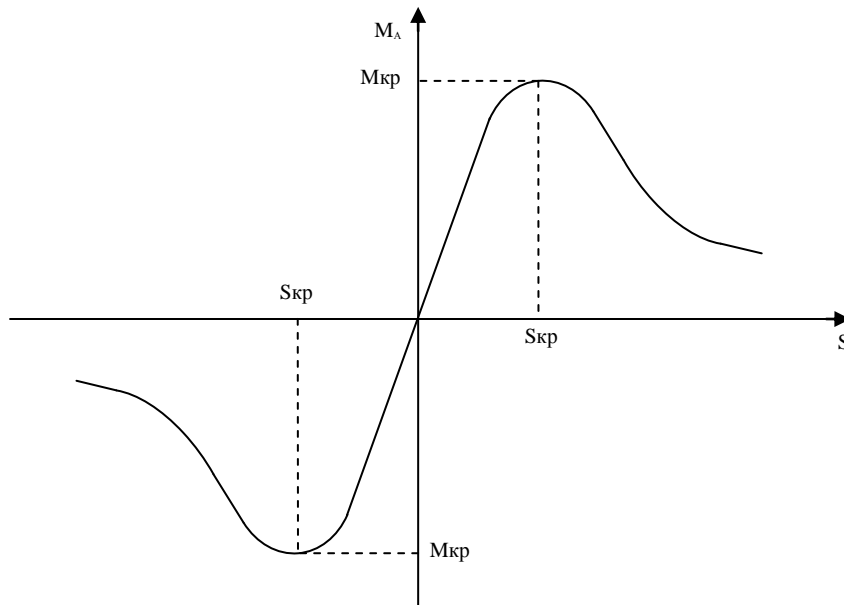


Рис. 1. Орієнтовний графік залежності моменту  $M_A$  на валу асинхронної машини від проковзування  $s$

Аналізуючи графік, зображений на рисунку, бачимо, що при настанні умови (10), яка виникає в разі зменшення швидкості вітру чи напору води і приводить до зменшення кутової швидкості обертання вала ротора АСМ, а тому їй відповідає умова (5), асинхронна складова АСМ починає працювати в режимі двигуна, і її момент  $M_A$  у цьому режимі додається до моменту турбіни  $M_T$ , сприяючи руху вала АСМ в напрямку виконання умови (8), тобто в напрямку стабілізації частоти  $f_1$ . А при настанні умови (9), яка виникає в разі збільшення швидкості вітру чи напору води і приводить до збільшення кутової швидкості обертання вала ротора АСМ, а тому їй відповідає умова (4), асинхронна складова АСМ починає працювати в режимі генератора, і її момент у цьому режимі протидіє моменту турбіни, знову ж таки, сприяючи руху вала АСМ в напрямку виконання умови (8), тобто в напрямку стабілізації частоти напруги і струму, які подаються в електромережу споживачам електричної енергії.

Якщо згадати про те, що на багатьох ВЕС з вітровими колесами з горизонтальною віссю для стабілізації швидкості обертання вала вітрового колеса встановлюються серійні системи регулювання кута повороту лопатей, які мають значну інерційність, то стає зрозумілим, що саме на такі ВЕС доцільно встановлювати АСМ в якості генераторів, адже вони починають реагувати на зміни, коли ті ще тільки починаються і до того ж реагувати практично миттєво, тож за час реагування системи регулювання кута повороту лопатей на зміну швидкості вітру частота напруги і струму, які генеруватимуться цією ВЕС, практично не змінюватиметься, а це у свою чергу означає, що використання АСМ забезпечуватиме вищу якість електричної енергії, яка подається споживачам від цієї ВЕС ніж у випадку, коли на ній буде встановлено класичний синхронний генератор, і ця енергія буде дешевшою ніж та, яка генеруватиметься класичним асинхронним генератором.

Такі ж висновки можна зробити і стосовно малих ГЕС, на шляху водяного потоку в яких встановлюються системи регулювання його напору, котрі мають ще значнішу інерційність у порівнянні з системами регулювання кута повороту лопатей ВЕС, тож і у цьому випадку доцільно в якості генераторів використовувати АСМ.

### Висновок

Виходячи з особливостей функціонування асинхронізованих синхронних машин, визначені перспективи їх використання в якості генераторів малих гідроелектростанцій та вітрових електростанцій і показано, яких переваг можна досягнути при їх використанні у порівнянні з синхронними генераторами і асинхронними.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ботвинник М.М. Управляемая машина переменного тока. / М.М. Ботвинник., Ю.Г. Шакарян //М.: Наука. - 1969.- 245 с.
2. Брускин Д.Э. Электрические машины и микромашины./ Д.Э. Брускин, А.Е. Зорохович,В.С. Хвостов// М.: Высшая школа. – 1971. – 432 с.
3. Электротехнический справочник, т.2. Электротехнические устройства. Под общей редакцией проф. МЭИ В.Г. Герасимова, П.Г. Грудинского, Л.А. Жукова и др. – 6-е изд. , испр. И доп. – М.: Энергоиздат. – 1981. – 640 с.

**Мокін Борис Іванович** – доктор технічних наук, професор, академік НАПН України, професор кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів Вінницького національного технічного університету;

**Михайлюк Олег Борисович** – аспірант кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, e-mail: olegmm12@gmail.com;

**Mokin Borys I.** – Academician of NAPS of Ukraine, Professor of the Chair of Renewable Energy and Transport Electrical Systems and Complexes;

**Mikhailiuk Oleg B.** – Post-Graduate Student the Chair Renewable Energy and Transportation Systems and Electrical Systems, e-mail: olegmm12@gmail.com.