

РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ ЕЛЕКТРОГЕНЕРАТОРА КОНЦЕНТРАЦІЙНИХ ВІТРОУСТАНОВОК

Regulation of the generator voltage in concentrating wind power plant

Methods of regulation of the generator voltage in low-energy concentrating wind power plant are presented. An example of use of the magnetic force method regulation of voltage in concentrating wind power plant given.
wind power plant, wind speed, voltage regulation

Вступ. Особливостями роботи вітроенергетичних установок є функціонування при змінних силі та векторі швидкості. Такі складні та жорсткі умови роботи вимагають від концентраційної вітроенергетичної установки [1, 2, 3] регулювання швидкості обертання вітроколеса й отримання на виході з вітроустановки електроенергії заданої величини і якості.

Аналіз. Задача регулювання напруги у КВЕУ зводиться до підтримування заданої частоти обертання вала електрогенератора в заданих межах, що дасть можливість отримувати на виході з генератора напругу заданої величини і якості, а також запобігти перевантаженням вітродвигуна та механічному руйнуванню системи.

На сучасному етапі технічного розвитку система регулювання, як правило, складається з (рис. 1):

- регулятора напруги;
 - електронної системи на основі мікропроцесора (hardware);
 - програми керування процесами ВЕУ (software).
- Класифікація регуляторів напруги електрогенератора:
- механічні (захищають від перенапруги);
 - електромагнітні (змінюють електромагнітне поле електрогенератора для підтримування стабільної частоти обертання вала);
 - напівпровідникові;

- комбіновані (містять один або декілька вищенаведених способів регулювання).

Постановка завдання. Регулювання напруги за рахунок впливу на обертовий момент з допомогою електромагнітного кола електрогенератора дещо відрізняється від звичайного регулювання в електрогенераторах, оскільки джерелом енергії є природний повітряний потік, змінний і надзвичайно складний для прогнозування. В Україні вітри — стабільно-мігруючі, зі змінним вектором сили. Вітровий кадастр України (рис. 2) [4] показує, що найпоширенішими на території нашої країни є вітри з швидкістю менш ніж 4,5 м/с. Повітряні потоки такої сили сучасна вітроенергетика вважає неефективними. Майже всі ВЕУ, що виготовляються серійно — і закордонні, і вітчизняні, — орієнтовані на середньорічну швидкість вітру 5 м/с і вище. Сучасні ж системи автоматичного керування в синтезі з конструктивними особливостями ВЕУ відкривають дорогу до трансформування слабких повітряних потоків. І одним із варіантів ВЕУ, що перетворює змінні та слабкі вітри, є КВЕУ, загальна структурна схема якої наведена на рисунку 3 [5].

КВЕУ працює наступним чином: повітряний потік з різною швидкістю і напрямком сприймається концентраційним кільцем. На виході з концентраційного кільця прискорений потік через систему повітроводів надходить на вітроколесо, яке обертає електрогенератор. Підтримування стабільної напруги електрогенератора такої установки є надзвичайно важливим завданням для дієздатності усієї вітроенергетичної системи. Величина напруги буде змі-

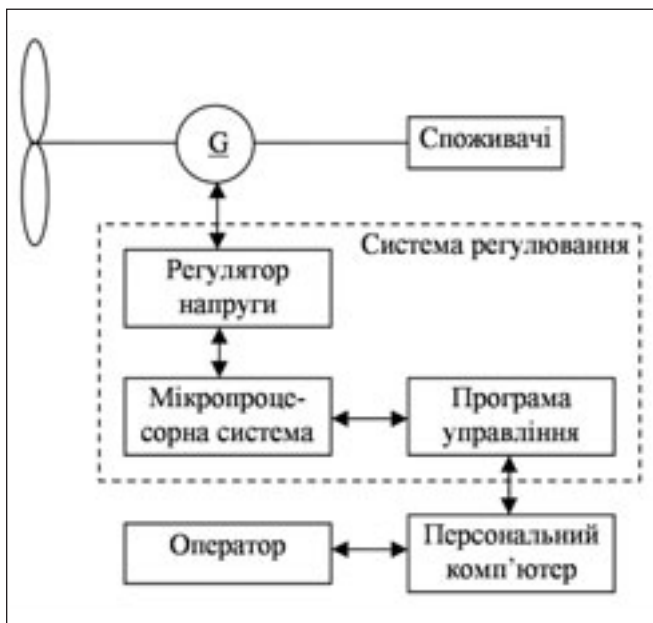


Рис. 1. Структурна схема регулювання вітродвигуна



Рис. 2. Вітровий кадастр України

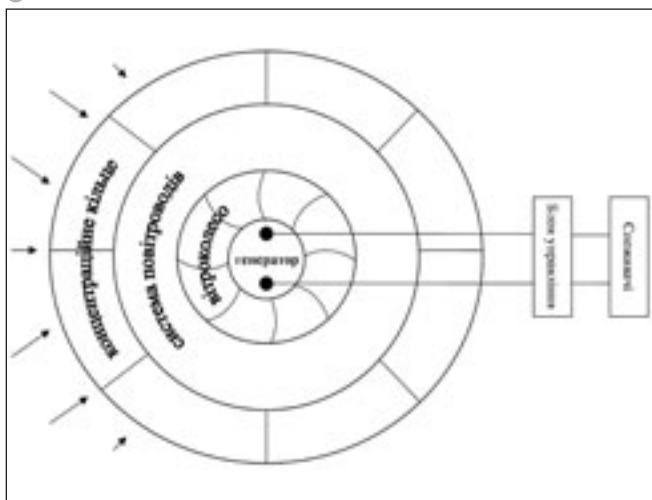


Рис. 3. Загальна структурна схема КВЕУ

нуюватись зі зміною сили й напрямку вітру, а також від навантаження, створеного споживачами, що також є змінною і майже непередбачуваною величиною. Концентраційне кільце КВЕУ сприймає і підсилює будь-який порив вітрового потоку в будь-якому напрямку (по колу на 360°) і таким чином надає більшої стабільності обертанню вітрогенератора. Ця особливість концентраційного кільця досягається згладжуванням амплітуди вектора швидкості несистематично пульсуючого потоку.

Ефективність концентраційного кільця. Дані експерименту, проведеного спочатку з лопатями Савоніуса без концентраційного кільця, а потім з концентраційним кільцем, наведено у таблиці 1. На рисунку 4 зображено графіки залежності $U=f(V_v)$, де V_v – швидкість вітру; $U_{гбкк}$ – напруга генератора без концентраційного кільця, $U_{гзкк}$ – напруга генератора з концентраційним кільцем.

На рисунку 4 виразно видно підвищення вихідної напруги електрогенератора КВЕУ завдяки концентраційному кільцю. Вітер — надзвичайно хаотичне явище, тож для отримання якісної електроенергії КВЕУ вона має обов'язково містити систему регулювання напруги електрогенератора, що, з одного боку, зніме „білу пляму” недостатньої систематичності пульсації вітру після конфузів, а з іншого боку, зможе видавати вихідну напругу генератора заданої якості. В даному випадку доцільно застосувати регулятор на основі силового методу автоматичного керування електричною машиною постійного струму із самозбудженням [6].

Спосіб керування генератором КВЕУ. Працюючи на слабких вітрах, вітрогенератор характеризується низькою частотою обертання, що супроводжується виробленням низької напруги на виході електрогенератора. Частина цієї енергії (близько 3-4%) передається у коло збудження електричної машини для підтримання магнітного потоку збудження. Величина енергії, необхідної для кола збудження, повністю залежить від вихідної напруги генератора. Обмотка збудження з опором $R_{оз}$ значно перевищує опір якоря генератора R_a . Чим менше відношення $R_{оз}/R_a$, тим більше енергії перейде в коло збудження. Отже, зменшуючи $R_{оз}$, ми можемо добитися збільшення напруги на затискачах електрогенератора і таким чином стабілізувати вихідну напругу з КВЕУ до необхідної якості.

Таблиця 1. Експериментальні дані ротора Савоніуса з концентраційним кільцем та без нього

№	Без концентраційного кільця		З концентраційним кільцем	
	V_v , м/с	$U_{гбкк}$, мВ	V_v , м/с	$U_{гзкк}$, мВ
1	1,3	23	0,3	30
2	1,6	14	0,9	28
3	1,7	20	1,2	43
4	1,9	28	1,2	34
5	1,9	27	1,4	32
6	1,9	34	1,4	28
7	2	24	1,5	52
8	2,2	32	1,5	50
9	2,2	23	1,5	40
10	2,3	26	1,5	37
11	2,3	28	1,6	48
12	2,3	31	1,9	63
13	2,4	35	2	48
14	2,4	40	2,1	50
15	2,7	40	2,4	59
16	2,8	31	2,4	64
17	2,8	33	2,6	58
18	3,5	50	2,8	57
19	3,5	59	3,7	102
20	5,3	63	4,1	90
сер.	2,45	33,05	1,90	50,65

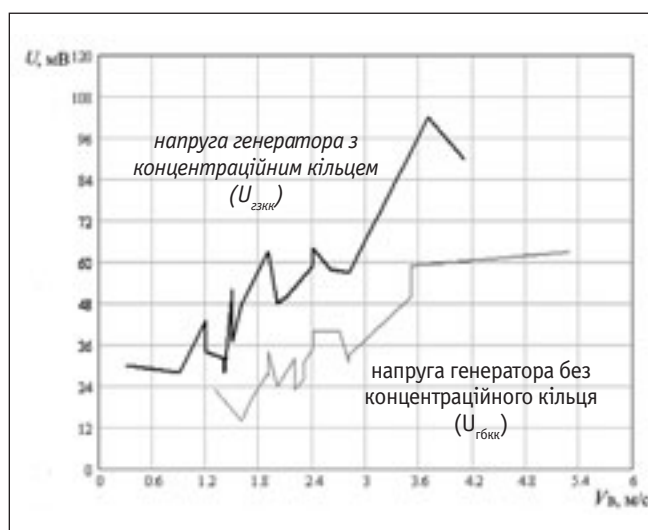


Рис. 4. Графіки залежності $U=f(V_v)$ за таблицею 1

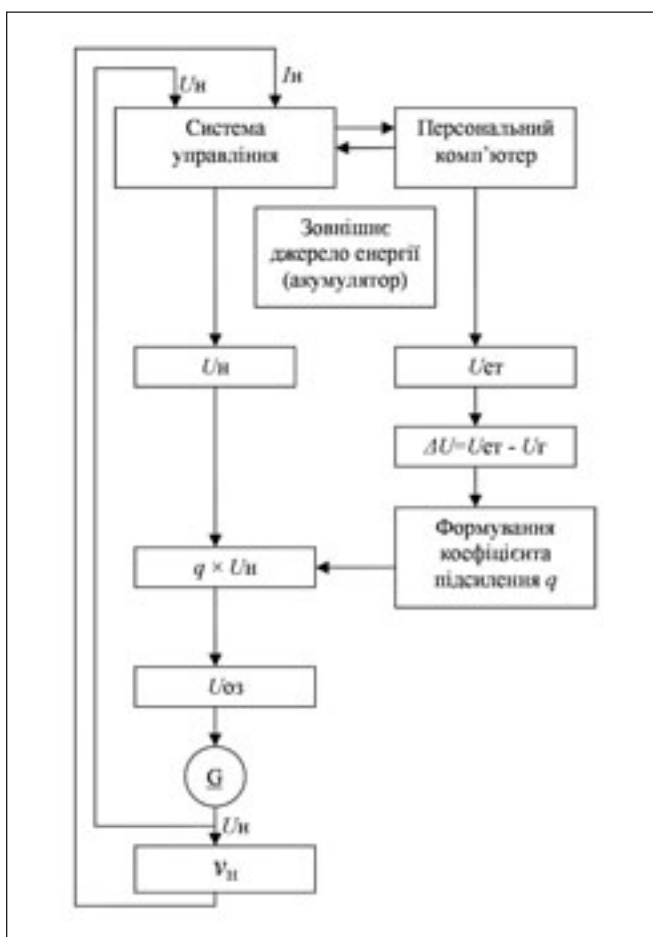


Рис. 5. Алгоритм роботи регулювального пристрою КВЕУ

Алгоритм роботи регулювального пристрою, що реалізує силовий метод керування напругою генератора КВЕУ, наведено на рисунку 5.

Особливістю функціонування такого регулятора є підвищення напруги на обмотці збудження і, як наслідок, збільшення кількості енергії, генерованої електрогенератором на різних частотах його обертання. В систему управління надходять необхідні параметри для аналізу: напруга на затискачах генератора U_r та струм навантаження I_n , де аналізується стан системи в цілому. При необхідності за сигналом аналітичного блоку обробки інформації підключається персональний комп'ютер (ПК). Також ПК задає еталонну напругу U_{et} . Від системи управління напругою U_n підзаряджається зовнішнє джерело енергії (аккумулятор), з якого бере енергію еталонна напруга U_{et} обмотки збудження. Від зовнішнього джерела енергії живиться також регулювальний блок, який підвищує U_{oz} до необхідної величини $q \times U$. Підвищена напруга U_{oz} відповідно формує більше енергетичне магнітне поле, і таким чином вихідна напруга генератора залишається в заданих межах при низьких частотах обертання вала електромашини.

Електрорушійна сила (ЕРС) генератора визначається за формулою:

$$E_a = C_e n (\Phi_{зал.} + \Phi_{зб.}) \quad (1)$$

де C_e – коефіцієнт, який залежить від конструктивних параметрів електричної машини;

n – частота обертання якоря генератора;

$\Phi_{зал.}$ – магнітний потік залишкового магнетизму;

$\Phi_{зб.}$ – магнітний потік обмотки збудження.

За законами Кірхгофа, ЕРС електричної машини постійного струму визначається наступним рівнянням:

$$E_a = U_r + I_a R_a \quad (2)$$

де I_a – струм в обмотці якоря;

R_a – опір обмотки якоря.

Прирівнявши формулу (1) до формули (2) і перетворивши отриманий вираз відносно напруги генератора U_r , отримуємо залежність напруги генератора від частоти обертання n , навантаження $R_n = R_a$ та магнітних потоків: обмотки збудження $\Phi_{оз}$ та залишкового $\Phi_{зал.}$ (тобто $U_r = f(n, R_a, \Phi_{оз}, \Phi_{зал.})$):

$$U_r = C_e n (\Phi_{зал.} + \Phi_{зб.}) - I_a R_a \quad (3)$$

Задача стабілізації вихідної напруги з електрогенератора у КВЕУ зводиться до стабілізації частоти обертання вала генератора, що і є запорукою отримання якісної електроенергії для споживачів. Змінимо формулу (3) відповідно до залежності $n = f(U_r, R_a, \Phi_{оз}, \Phi_{зал.})$:

$$n = \frac{U_r + I_a R_a}{C_e (\Phi_{зал.} + \Phi_{оз.})} \quad (4)$$

Вираз (4) показує, що причиною зміни швидкості обертання електрогенератора, за умови стабільності вітрового потоку, є навантаження (споживачі) та магнітний потік (обмотки збудження та залишковий). Параметри U_r та C_e є константами. Навантаження є величиною змінною і воно змінюється у певних межах. Таким чином регулювання частоти обертання вала генератора можна здійснювати впливом на магнітний потік: $\Phi_{оз}$ та $\Phi_{зал.}$ та врахуванням впливу навантаження на електрогенератор.

Висновки. Метод регулювання обертів за допомогою $\Phi_{оз}$ та $\Phi_{зал.}$ доцільний для використання у вітроенергетиці слабких вітрів. Він дає змогу регулювати швидкість обертання електрогенератора за допомогою системи автоматичного управління та контролювати якість отримуваної електроенергії. Інше завдання, яке необхідно вирішувати у КВЕУ, — зменшення впливу навантаження споживачів на енергетичні параметри вітроустановки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Патент України №59964 „Вітроенергетична установка” / Зеленков О.А., Соченко П.С., Сидоренко К.М., Пазюк О.В.
2. Патент України №10309 „Вітроенергетична установка для підвищення коефіцієнта використання енергії вітру” / Синеглазов В.М., Клебанівський С.В., Сидоренко К.М.
3. Патент України №18476 „Пристрій підвищення ефективності використання енергії вітру” / Синеглазов В.М., Зеленков О.А., Соченко П.С., Голік А.П., Клебанівський С.В., Сидоренко К.М.
4. <http://ive.org.ua/> – офіційний сайт Інституту відновлюваної енергетики НАН України.
5. Борсук Є.П., Сидоренко К.М. Перспективи концентрації вітру для видобутку електроенергії // Енергетика та електрифікація. – 2007. – №3, – С. 66-69.
6. Борсук Є.П. Методика обґрунтування рівня енергетичних параметрів танкових систем електропостачання: Дисертація.
7. Яхно О.М., Таурит Т.Г., Грабар І.Г. Ветроэнергетика, конструирование и расчет ВЭУ. – Житомир: ЖГТУ, 2002. – 255 с.
8. Кухлинг Х. Справочник по физике. – М.: Мир, 1982. – 276 с.