

Корисна модель належить до вітроенергетичного устаткування, а саме стосується вітродвигунів, і призначається для підвищення потужності і ефективності.

Аналогом корисної моделі є вітродвигун [1], що містить поворотну головку з вітроколесом, перетворювач вітрової енергії, котрий з'єднано з вітроколесом, і нерухому опору, при цьому поворотну головку розміщено на нерухомій опорі і шарнірно з'єднано з нею, а вісь обертання вітроколеса розміщено горизонтально. Цей двигун має просту і надійну конструкцію, а також має високий коефіцієнт корисної дії.

Недоліками цього аналога є: значне зростання ваги і розмірів генератора, а також, відповідно, вартості установки, при підвищенні повної потужності вітродвигуна; необхідність використання перетворювача частоти для забезпечення генерації енергії генератора змінної частоти у частоту мережі, що збільшує вартість установки і значення її коефіцієнта корисної дії.

Найближчим аналогом корисної моделі є вітродвигун [2], що складається з поворотної головки, що розташована на нерухомій опорі, основного вітроколеса, додаткових вітроколес, які розміщені на лопатях основного вітроколеса, електричних генераторів, розташованих на валах додаткових вітроколес. Генератори розташовані на подовжувачах та їх довжина дорівнює 0,1-1,0 довжини лопатей, що установлені між лопатями основного вітроколеса і його маточиною, осі обертання валів генераторів розташовані в площині основного вітроколеса, або під певним кутом до неї [2]. Наявність додаткових вітроколес і розміщення їх на валах генераторів, які закріплено на подовжувачах, дозволяє використовувати швидкохідні генератори без редукторів (мультиплікаторів). Крім того головною властивістю системи є автостабілізація в режимі оптимального відбору потужності, що є корисним явищем при роботі генераторів безпосередньо на промислову мережу.

Недоліками, що перешкоджають отриманню у найближчому аналогові максимального технічного результату пристрою, є:

- зниження ефективності вітродвигуна, генератори якого безпосередньо підключені до промислової мережі, який не може працювати в режимі оптимального відбору потужності при низьких (значно менших за номінальне значення) швидкостях вітрового потоку;

- при збільшенні потужності зростає вага генераторів, що призводить до необхідності збільшення міцності і ваги лопатей при генерації однакової потужності, що суттєво зменшує ефектність вітродвигуна.

В основу корисної моделі поставлена задача розробки двосистемного вітродвигуна з меншою масою генераторів і, відповідно, металевих конструкцій вітроустановки з меншою потужністю перетворювача частоти і збільшеним коефіцієнтом корисної дії перетворення електроенергії, що досягається шляхом конструкційних та схемних удосконалень при реалізації потужних вітроустановок.

Поставлена задача вирішується тим, що двосистемний вітродвигун, що містить поворотну головку з вітроколесом, перетворювач енергії і нерухому опору, при цьому поворотну головку розміщено на нерухомій опорі і шарнірно з'єднано з нею, а вісь обертання вітроколеса розміщено горизонтально, вітроколесо оснащено подовжувачами, які установлені між лопатями вітроколеса і його маточиною, подовжувачі розміщено радіально та їх довжина дорівнює 0,1-1,0 довжини лопатей, додаткові вітроколеса закріплено на валах генераторів, а перетворювач енергії виконано у вигляді генераторів і розміщено на подовжувачах, згідно з корисною моделлю, у поворотній головці на осі вітроколеса закріплено додатковий генератор, який з'єднано з силовим напівпровідниковим перетворювачем частоти через блок комутації, а вихід силового напівпровідникового перетворювача з'єднано з виходами генераторів, які встановлено на неповоротних частинах лопатей основного вітроколеса та підключено до мережі, додатково містить регулятор потужності, вихід якого приєднано до керуючого входу перетворювача частоти, а входи регулятора потужності підключено до виходів давачів параметрів роботи усіх генераторів і вітроколес.

При цьому в умовах обмеженості маси генераторів додаткових вітроколес, у двосистемному вітродвигуні досягається сумарне зменшення маси генераторів за рахунок комбінації швидкохідних і тихохідних генераторів при реалізації потужних вітроустановок і з'являється додаткова можливість оптимізації їх вартості.

Оскільки потужність додаткових генераторів менша сумарної потужності двосистемного двигуна, то це призведе до меншої потужності перетворювача частоти, що забезпечує зменшення його вартості.

У двосистемному двигуні більша частка перетворення енергії відбувається генераторами додаткових вітроколес без перетворювача частоти, тому сумарний коефіцієнт корисної дії вищий за коефіцієнт корисної дії у разі використання одного потужного тихохідного генератора, встановленого на осі вітроколеса, з перетворювачем частоти потужністю, рівною потужності генератора, яка дорівнює потужності вітродвигуна.

Наявність регулятора потужності дозволяє оптимізувати розподіл потужностей між тихохідними і швидкохідними генераторами додаткових колес, за оптимальним коефіцієнтом корисної дії.

Таким чином, нові ознаки при взаємодії з основними ознаками забезпечують виявлення нових технічних властивостей шляхом конструктивних та схемних удосконалень, розроблено двосистемний

вітродвигун з поліпшеними ваговими характеристиками генераторів та перетворювача частоти (відповідно і вартості) та підвищеним коефіцієнтом корисної дії при реалізації вітроустановки збільшеної потужності в умовах обмеження за масою генераторів.

Корисна модель пояснюється кресленнями, де на фіг. 1 зображено загальний вигляд вітроелектричного двигуна, а на фіг. 2 – структурну схему блоків електричної частини пристрою.

Двосистемний вітродвигун містить поворотну головку 2, вітроколесо, яке виконано у вигляді маточини 3 і лопатей 4, перетворювач енергії 6 і нерухому опору 1 та додаткові вітроколеса 7. Поворотну головку 2 розміщено на нерухомій опорі 1 і шарнірно з'єднано з ним, а вісь обертання вітроколеса розміщено горизонтально, оснащено продовжувачами 5, котрі встановлено між лопатями вітроколеса 4 і його маточиною 3 і з'єднано з ними, при цьому довжина продовжувача дорівнює від 0,1 до 1,0 довжини лопатей 4 і їх розміщено радіально і оснащено додатковими вітроколесами 7. Перетворювач енергії виконано у вигляді генераторів 6 (G_2+G_4) з додатковими вітроколесами 7, при цьому частина лопаті 4 виконано поворотною, додаткові вітроколеса 7 встановлені в напрямку руху лопатей 4 і осі їх обертання розміщено перпендикулярно осям повороту лопатей 4, перетворювач вітрової енергії виконано у вигляді швидкохідних генераторів електричного струму і тому вітроколеса 7, встановлено на їх валах без редукторів (мультиплікаторів), а маточину 3 і додатковий генератор 8 (G_1) закріплено на осі вітроколеса, яка закріплена горизонтально на поворотній головці і з'єднується з додатковим генератором 8 (G_1) (без мультиплікаторів), який з'єднується виходами генераторів 6 та мережею 10 через силовий перетворювач частоти 14 блоками комутації Q_1+Q_5 та регулятором потужності 15, що з'єднані вузлом 9, що забезпечує оптимальний розподіл навантаження між генератором 6 (G_2+G_4) та 8 (G_1) за оптимальним коефіцієнтом корисної дії. На входи регулятора потужності 15 підключені датчик швидкості вітрового потоку (V_1) 11, датчик кутової швидкості обертання первинного вітроколеса 12 та датчики кутової швидкості обертання вторинних вітроколес 13.

Для підвищення ефективності додаткових вітроколес 7, вони частково розвернуті назустріч вітру V_1 на кут, який визначається співвідношенням номінальної швидкості вітру, за якої забезпечується номінальна потужність вітродвигуна до лінійної швидкості руху V_2 , по колу маточини додаткових вітроколес 7 [2].

Робота двосистемного вітродвигуна здійснюється наступним чином (фіг. 1, фіг. 2). Під дією вітру лопаті 4 обертаються разом з неповоротною частиною і маточиною 3, при цьому генератори 6 (G_2+G_4) рухаються по колу і тому швидкість набігаючого потоку повітря на додаткові вітроколеса 7 дорівнює лінійній швидкості руху по колу. При цьому лінійна швидкість руху додаткових колес 7 значно перевищує швидкість вітру і тому вони мають швидкість, достатню для використання швидкохідних генераторів, а завдяки аеродинамічній мультиплікації забезпечується автостабілізація балансу їх потужності та навантаження [3].

Одночасно з обертанням лопаті 4 вітроколеса додатковий генератор 8 (G_1), приєднаний до осі вітроколеса, також обертається, а генерована електрична енергія через перетворювач частоти 14, що синхронізований з мережею, передається у мережу 10 і з'єднана з виходом генераторів додаткових вітроколес 7.

Генератори 6 (G_2+G_4), при досягненні їх частоти струму, що дорівнює частоті промислової мережі, підключається до неї і синхронізуються напругою мережі.

Особливістю пристрою є те, що сумарна потужність генераторів 6 і додаткового генератора 8 визначається потужністю вітрової енергії, що перетворюється основним та додатковими вітроколесами 7, при цьому генератори 6 працюють без перетворювача частоти з природним коефіцієнтом корисної дії.

Сумарна вага активних частин швидкохідних генераторів, їх вартість і втрати електроенергії у $0,76\sqrt[4]{k_{a.m.}^3}$ разів менше, ніж у однотипного тихохідного генератора рівної потужності, ($k_{a.m.}=n_{ш}/n_T$) – коефіцієнт аеродинамічної мультиплікації; $n_{ш}$, n_T – швидкість обертання швидкохідних та тихохідних генераторів відповідно. Для значення $k_{a.m.}=11$, зменшення вказаних показників сягає 4,59 разу [3].

Сумарна електрична потужність швидкохідних генераторів і додаткового тихохідного генератора визначається зі співвідношення:

$$P_{\Sigma}=K_1 \cdot 3P_6+K_2P_4,$$

де

P_6 - потужність одного швидкохідного генератора 6, встановленого на додаткових вітроколесах,

P_4 – потужність додаткового тихохідного генератора 8;

K_1 та K_2 – коефіцієнти, що визначають частку потужності генераторів двосистемного двигуна до загальної потужності установки.

$$K_1+K_2=1$$

Відносна сумарна маса активних частин однотипних генераторів 6, 8 (G_{Σ}) відносно ваги тихохідного генератора, рівної сумарної їх потужності, встановленого на осі вітроколеса, визначається співвідношенням:

$$G^* = \frac{G_{\Sigma}}{G} = \frac{1}{\sqrt[4]{K_1^3} \cdot \sqrt[4]{\frac{3}{K_1^3} + \left(\frac{K_2}{K_1}\right)^3}},$$

де

G_{Σ} та G – маси активних частин генераторів, що пропонуються, і вага тихохідного генератора при рівній електромагнітній потужності.

Для двосистемного двигуна потужністю 5 000 кВт з $K_{ам} \approx 15$, та $K_1 = 0,75$, $K_1/K_2 = 3$. Сумарна маса активних частин генераторів у корисній моделі зменшується у два рази.

При цьому встановлена потужність перетворювача частоти зменшується у 4 рази.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) перетворення електроенергії тихохідним генератором за рахунок перетворювача частоти (ПЧ) є меншим на 5-3 відсотки залежно від його потужності, частина якої значно менше, ніж генераторів додаткових вітроколів.

Таким чином, сумарний коефіцієнт корисної дії всієї установки буде вище, ніж у вітродвигуна з тихохідним генератором відповідної сумарної потужності, тому що більша частка енергії перетворюється швидкохідними генераторами без ПЧ.

Таким чином, пристрій за корисною моделлю має переваги перед відомими за основним показниками і дозволяє оптимізувати їх завдяки можливості зміни коефіцієнта аеродинамічної мультиплікації $K_{ам}$, наявності регулятора потужності 15, який дозволяє провести оптимальний розподіл потужності між тихохідним та швидкохідними генераторами в функції швидкості вітрового потоку $V1$ та навантаження в мережі.

Вітродвигун за корисною моделлю може працювати в шести режимах залежно від швидкості вітрового потоку у наступних режимах:

- режим зони нечутливості, за яким механічна потужність на валу основної вітротурбіни за швидкістю вітрового потоку, економічно не є доцільною;

- режим відбору потужності при малих швидкостях вітрового потоку і за відсутності ефектів автостабілізації. Оптимальний відбір потужності реалізується за рахунок роботи генератора основного вітроколеса через перетворювач частоти, при роботі генераторів додаткових вітроколів у режимі неробочого ходу;

- режим автостабілізації (проміжний режим роботи), при якому генерують лише генератори додаткових вітроколів безпосередньо на промислову мережу;

- режим розподілу потужності в зоні, близької до номінальної залежно від співвідношення потужності генераторів додаткових вітроколів і генератора основного вітроколеса, при якому працюють як генератори додаткових вітроколів, так і генератор основного вітроколеса з перетворювачем частоти;

- режим обмеження потужності при перевищенні швидкості вітру номінального значення або зменшення навантаження за допомогою поворотних лопатей вітроколеса;

Встановлення додаткових генераторів на валу основного вітроколеса з перетворювачем частоти з регулятором розподілу потужності, в умовах обмеження маси генераторів вітроколів, дозволяє практично у два рази зменшити вагу активної частки генераторів і в 4 рази - встановлену потужність перетворювача частоти, та збільшити коефіцієнт корисної дії електромеханічної системи при побудові вітроустановки збільшеної потужності (вище за 5 МВт), що дозволяє підвищити їх експлуатаційну ефективність.

ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ:

1. Патент UA, 117 333 U, МПК 7 F03D 1/100; Бюл. № 12, 26.06.2017 р.
2. Патент UA 49970, С. 2, 6 F03 D 1/100; Бюл. № 10, 15.10.2002 р.
3. Андрієнко П.Д., Алексієвський Д.Г., Близняков О.В., Немудрий І.Ю. Ефективність перетворення електромагнітної системи вітроустановок з аеродинамічною мультиплікацією // Технічна електродинаміка, 2023, № 9, С. - 46-60.

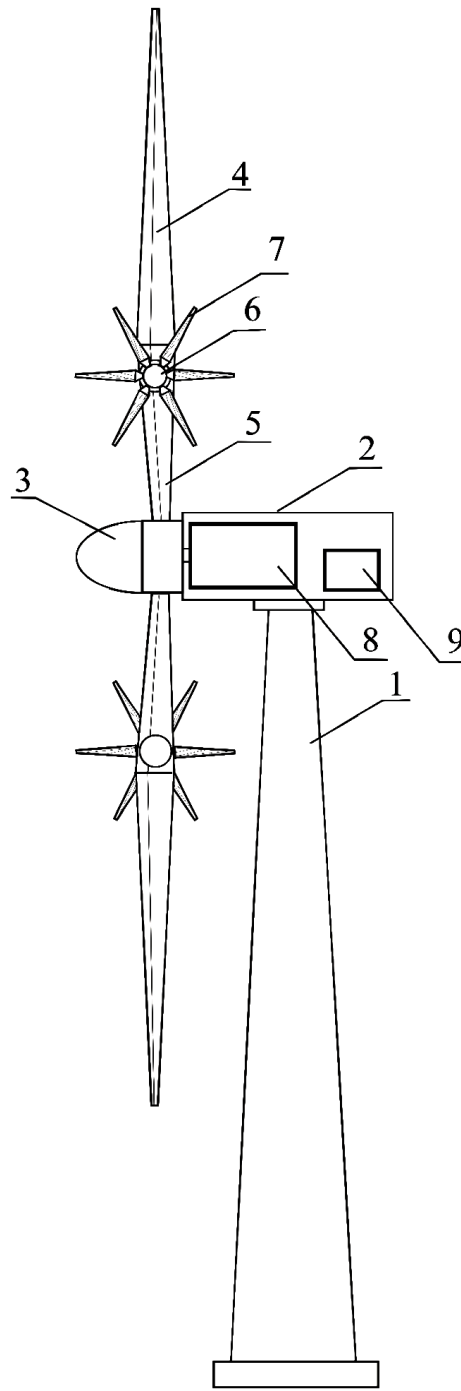


Fig. 1



Fig. 2