

Електрогенератор для вітроустановки з вертикальною віссю обертання

Дмитро Ципленков

кандидат технічних наук, доцент, судовий експерт, Дніпропетровський науково-дослідний інститут судових експертиз Мін'юсту України; завідувач кафедри електротехніки, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» МОН України, м. Дніпро, Україна, ORSID ID: 0000-0002-0378-5400, e-mail: Tsyplenkov.d.v@nmu.one

Юрій Папаїка

доктор технічних наук, професор, судовий експерт, Дніпропетровський науково-дослідний інститут судових експертиз Мін'юсту України; завідувач кафедри електроенергетики, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» МОН України, м. Дніпро, Україна, ORSID ID: 0000-0001-6953-1705, e-mail: paraika.yu.a@nmu.one

Розглянуто конструкцію вітроустановки з вертикальною віссю обертання, у якій дисковий електрогенератор із постійними магнітами на роторі розміщено на верхніх елементах кріплення вітроколеса, що дасть змогу зменшити осьове навантаження на підшипники й уникнути мультиплікатора.

Ключові слова: вітроустановки з вертикальною віссю обертання; статор; ротор.

Electric Generator for a Wind Turbine with a Vertical Axis of Rotation

Dmytro Tsyplenkov, Yuriy Papaika

The design of a wind turbine with a vertical axis of rotation is considered, in which a disc electric generator with permanent magnets on the rotor is placed on the upper elements of the wind wheel mounting, which will reduce the axial load on the bearings and avoid the multiplier.

Keywords: wind turbines with a vertical axis of rotation; stator; rotor.

У світі частка виробництва електроенергії автономними джерелами перевищує 10 %. Крім цього, підвищений інтерес до малої енергетики пояснюється низкою додаткових проблем, що виникають під час експлуатації великих електростанцій.

Вітроустановки з вертикальною віссю обертання привабливі простою конструкцією, відсутністю необхідності орієнтування на вітер, порівняно низькою ціною обладнання. Певні недоліки заважають поширенню таких вітроустановок: велике осьове

навантаження на підшипники, що підтримують ротор вітроколеса; тихохідність, що потребує застосування багатополюсних генераторів або мультиплікаторів; проблеми з вибором місця розміщення електрогенератора щодо вітроколеса тощо. Одні з найпоширеніших типів роторів, які застосовують у вітроустановках малої потужності з вертикальною віссю,— ротор Еванса, ротор Дар'є (або Н-ротор).

Аналізування надійності вітроенергетичних установок (далі — ВЕУ) свідчить, що більшість пошкоджень викликано вибуттям із ладу генератора та мультиплікатора. Ці ж елементи становлять певну частину вартості всієї установки. Застосування низькошвидкісних генераторів для ВЕУ є актуальним. Із позицій забезпечення хороших масогабаритних показників найбільш ефективною електричною машиною, що працює з низькою частотою обертання, є низькошвидкісний торцевий генератор. Кращі характеристики з-поміж різноманіття торцевих машин — вони мають торцеві синхронні генератори зі збудженням від постійних магнітів. Це пов'язано з простотою конструкції, меншою витратою міді, малими габаритами, відсутністю ковзних контактів, із можливістю виконувати низькі швидкості обертання, що обумовлює його низьку вартість і високу надійність. Застосування низькошвидкісних генераторів полегшує конструкцію мультиплікатора, а іноді дає змогу обходитися без останнього.

Один із перспективних напрямів у вітроенергетиці — розроблення вітроенергетичних установок із вітроколесом типу ротора Дар'є. Вітроколеса цього типу істотно відрізняються від традиційних пропелерних вітроколес, мають вертикальну вісь обертання й можуть працювати за будь-якого напрямку вітру, не вимагаючи систем орієнтації за потоком. За своїми енергетичними характеристиками такі вітроустановки наближаються до кращих зразків установок пропелерного типу.

Розглянемо вітроустановку з вертикальною віссю обертання, у якій усунуті деякі із зазначених вище недоліків. Установка (рис.) забезпечена вітроколесом 1 у вигляді Н-ротора Дар'є, з'єднаного елементами кріплення 2 із трубою 3, насадженою за допомогою радіально упорних підшипників 4 на стрижневу опору 5.

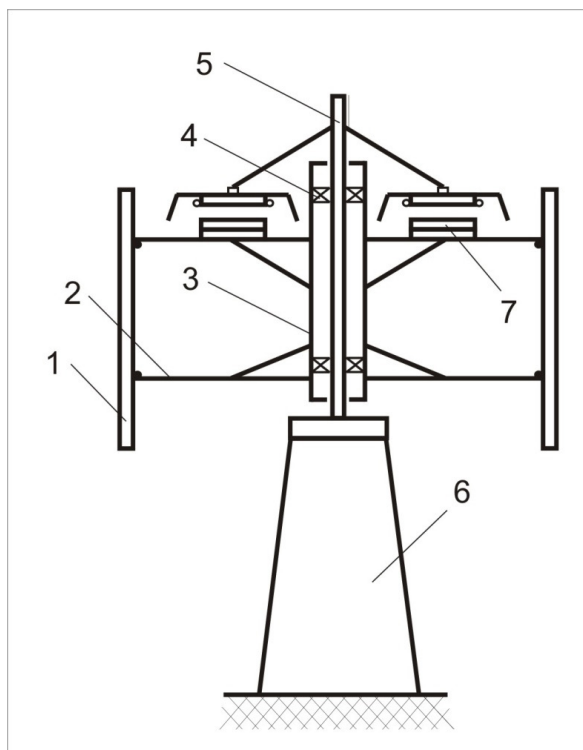


Рис.

Остання закріплена на верхній частині вежі 6. На крайніх за висотою елементах кріплення вітроколеса у горизонтальній площині розташований ротор 7 синхронного дискового генератора зі збудженням від постійних магнітів. Статор генератора прикріплено до стрижневої опори 5. Постійні магніти ротора закріплені (наприклад, за допомогою клею) на суцільному кільці із магнітом'якої сталі. Магнітопровід статора зроблено у вигляді кільця, накрученого зі стрічки електротехнічної сталі. У нижній частині кільця виконано пази, у яких розміщено котушки трифазної обмотки статора.

Розглянемо деякі особливості конструкції генератора. Його розрахункова потужність визначається виразом:

$$P' = 0,164 \alpha_i k_\phi k_{об} B_\delta A n D_{cp}^{(2)} l, \text{ Вт},$$

де α_i — розрахунковий коефіцієнт полюсного перекриття; k_ϕ — коефіцієнт форми кривої магнітного потоку повітряного зазору; $k_{об}$ — обмотковий коефіцієнт; B_δ — максимальне значення магнітної індукції в повітряному зазорі з урахуванням впливу поздовжньої реакції якоря, Тл; A — лінійне навантаження, А/м; n — частота обертання ротора, об/хв; D_{cp} — середній діаметр статора (ротора), м; l — радіальна довжина магнітопровода, м.

Між магнітопроводом статора й постійними магнітами ротора спостерігаємо силову взаємодію. Зусилля, з яким ротор притягується до статора:

$$F = \frac{(\alpha_i B_\delta)^2}{2\mu_0} S_\delta,$$

де $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м; $S_\delta = \pi D_{cp} l$ — площа повітряного зазору, м².

Запишемо співвідношення:

$$\frac{P'}{F} = 1,31 \cdot 10^{-7} \frac{k_\phi k_{об} A n}{\alpha_i B_\delta} D_{cp}.$$

Величина зусилля F має бути такою, щоб забезпечити суттєве зменшення навантаження на підшипники вітроколеса й одночасно не допустити «прилипання» ротора до статора. З огляду на це, значення F має бути таким:

$$F = k_3 g m,$$

де $k_3 = 0,94 \dots 0,96$; $g = 9,81$ м/с² — прискорення земного тяжіння; m — маса елементів установки, що обертаються.

Ураховуючи наведене міркування, визначимо середнє значення діаметра статора, за якого забезпечується необхідна потужність генератора й до того ж значно розвантажуються підшипники й виключається «прилипання» ротора до статора:

$$D_{cp} = \frac{7,8 \cdot 10^5 \alpha_i B_\delta}{k_3 k_\phi k_{об} A n} \cdot \frac{P'}{m}, \text{ м}.$$

З останньої формули випливає, що за великих значень B_δ , що можливо за малого повітряного зазору між ротором і статором, необхідно забезпечити великий середній діаметр і отримати малу активну довжину машини. Це спричинить збільшення витрати міді на виготовлення обмотки.

Щоб уникнути цього, необхідно по- чення активної довжини, наприклад, передньо вибрати раціональні зна- $l \geq 0,1$ м та діаметра D_{cp} .

Перелік джерел посилання

1. Проектування електричних машин : навч. посіб. / Д. В. Ципленков, О. Б. Іванов, О. В. Бобров, В. В. Кузнецов, В. В. Артемчук, М. О. Баб'як. Дніпро, 2020. 408 с. URL: <https://vde.nmu.org.ua/ua/lib/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5%D0%95%D0%9C.pdf> (дата звернення: 01.09.2024).