

Рясна Ольга Василівна

старший викладач

Сумський національний аграрний університет

ORCID: 0000-0001-6917-6950

email: olgar5062017@gmail.com

На даний час необхідно прийняти ключові рішення, які мають безпосередній вплив на енергетичне майбутнє України. УВЕА буде прагнути до того, щоб вітроенергетика стала повноправною технологією в енергетичному балансі країни. Створення енергопостачання, що сприяє досягненню справді сталого майбутнього, заснованого на необмежених, що не забруднюють навколишнє середовище і конкурентоспроможних технологіях використання відновлюваних джерел є завданням, що стоїть не тільки перед Україною, але всією світовою спільнотою. Вітроенергетика - це шлях до миру.

На підставі вивчення дисциплін електричні машини і основи електроприводу та проведення експериментальних даних і новітніх досліджень науки в лабораторних умовах кафедри був виготовлений генератор для тихохідних вітроустановок. В результаті теоретичного аналізу обґрунтовано можливість застосування вітросилової установки при достатньо низьких обертах вітроколеса, де вимоги до електрогенератора будуть значно нижчі, ніж в звичайних електричних генераторах з більш високою навантажкою.

Ключові слова: тихохідні вітроустановки, вітряні генератори, вертикальні вітрогенератори, традиційні джерела електроенергії, вітряні електростанції, мультиплікатор, мережева енергія.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2020.4.3>

Постановка проблеми у загальному вигляді. Енергія вітру протягом тривалого часу розглядається в якості екологічно чистого невичерпного джерела енергії. Перш ніж енергія вітру зможе принести значну користь, повинні бути вирішені багато проблем, головні з яких: висока вартість вітроенергетичних установок, їх здатність надійно працювати в автоматичному режимі протягом багатьох років і забезпечувати безперебійне електропостачання. Тому, сьогодні найбільш важливим завданням стоїть перед вітроенергетикою - зниження питомої вартості електрообладнання ВЕУ. Одним із шляхів зниження вартості є застосування більш економічних структур електрообладнання ВЕУ.

Вітряні генератори - пристрої для перетворення енергії вітру в електричну. Безумовними перевагами вітряної енергії є її доступність та невичерпність, а також відсутність необхідності в транспортуванні. Вітряні електростанції не забруднюють навколишнє середовище шкідливими викидами, що дозволяє говорити про екологічність даного обладнання. Крім того, вони здатні значно знизити витрати на енергетичний комплекс у порівнянні з традиційними джерелами електроенергії. Сучасні вертикальні вітрогенератори дозволяють ефективно використовувати енергію вітру. З їх допомогою сьогодні можна вирішувати завдання електропостачання будь-яких об'єктів.

Вітрогенератор призначений для забезпечення електроенергією невеликих об'єктів. Застосовується як в місцях де відсутня мережева енергія (польові фермерські бази, дачні ділянки, живлення автономних комплексів), так і в якості резервного джерела електроенергії для приватних будинків, котеджів.

Як правило вітроустановка середньої і великої потужності працюють при низьких обертах. Щоб виробити електроенергію такою вітроустановкою потрібно мати або низькообертовий генератор або мультиплікатор з великим передаточним числом. Застосовуються на вітроустановках синхронні або асинхронні генератори з великим числом пар полю-

сів. Враховуючи те, що вітрові потоки дуже нерівномірні генератор виробляє електроенергію нерівномірно за частотою і величиною напруги [1].

А значить основними вимогами, які стоять перед генераторами вітроустановок є:

- підтримувати постійну за величиною напругу в мережі за змінних швидкісних навантажувальних режимів роботи генератора;
- надійно працювати в широкому діапазоні частоти обертання вала вітроустановки;
- здатність витримувати перевантаження;
- мінімальна маса і вартість за достатньо тривалого терміну експлуатації.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Сучасні вітросилові агрегати комплектуються з індукторними генераторними установками змінного струму з електромагнітним збудженням. При цьому вони бувають: з рухомою і нерухомою обмоткою збудження, а відповідно з контактними щітками і кільцями і безконтактні; трифазні і однофазні; зі з'єднанням фазових обмоток статора за схемою «зірка» або «трикутник».

Генератори постійного струму застосовують нині досить рідко, особливо в вітроустановках середньої і великої потужності.

Для підтримання заданої величини напруга за різної частоти обертання вітроколеса і навантаження генератора широко використовуються різні види регуляторів напруги.

Формування цілей статті та постановка задач досліджень. Як відомо існують генератори з рухомою обмоткою збудження і безконтактні індукторні генератори.

Трифазна напруга в генераторі з рухомою обмоткою збудження індуктується у фазових обмотках статора при перетинанні їх змінним магнітним полем, що створюється електромагнітним ротором.

Статор складається з пластин електротехнічної сталі і в його пари вкладають котушки фазових обмоток, які розподіляються на трифазні і з'єднуються між собою за схемою

«зірка» (рис. 1). У трифазних генераторів число пазів статора обов'язково повинно бути числом, яке ділиться на «3».



Рис. 1 Статорна обмотка генератора

Ротором являється вал, на який напресовані два магнітопроводи з дзьобоподібними наконечниками та втулкою з обмоткою збудження, що утворюють багатополісний магніт. Число полюсів магніта ротора повинно бути в три рази менше, ніж пазів статора.

Обмотка збудження ротора підключена до незалежного джерела струму і намагнічує його. При цьому сусідні полюсні наконечники ротора намагнічуються різномісними полюсами. Під час обертання ротора мимо кожного виступу статора по чергові проходить північний і південний полюси електромагніта. Нерухомі фазові обмотки перетинаються змінним магнітним потоком як за величиною, так і за напрямом, і у витках обмоток індукуються змінна електрорушійна сила.

Часто змінний струм генератора перетворюють на постійний. Для цього застосовують випрямляч. Як правило випрямляч складений за трифазною двопівперіодною схемою на шести силіциєвих (кремнієвих) діодах (вентилях) прямої зворотної полярності.

Електрорушійна сила, що індукуються у фазових обмотках генератора змінного струму, прямо пропорційна частоті обертання ротора і величині магнітного потоку збудження, що перетинає котушки статора [2,3].

При мінімальних обертах вітроколеса для самозбудження генератора він збуджується від незалежного (стороннього) джерела струму. Тоді його напруга дорівнює ЕРС зовнішнього джерела збудження і становить

$$U = E = C_e \cdot \omega \cdot \Phi, \quad (1)$$

де C_e - сталий коефіцієнт для даного типу генератора;

ω - кутова швидкість обертання ротора;

Φ - магнітний потік збудження.

Зі збільшенням електронавантаження напруга генератора зменшується на величину спаду напруги в статорі:

$$U = E - IR_{cm} = C_e \cdot \omega \cdot \Phi - IR_{cm} \quad (2)$$

Оскільки в процесі роботи генератора оберти ротора залежать від частоти обертання вітроколеса, підтримувати

постійну напругу генератора на різних режимах його роботи можна, змінюючи магнітний потік в обмотці збудження (Φ) включенням у мережу живлення на короткий проміжок часу додаткових резисторів, а також збільшуючи частоту обертання чи зменшуючи навантаження.

На рис. 2 наведено графік, що характеризує залежність величини струму від частоти обертання ротора генератора $I_r = f(\omega)$ за сталої напруги. Зі швидкісної характеристики, зображеної на графіку видно, що за початкової частоти обертання n_0 генератор починає виробляти номінальну напругу без навантаження ($I_r = 0$) при живленні обмотки збудження від зовнішнього джерела з поступовим збільшенням частоти обертання і навантаження, але за незмінної напруги на клеммах генератора ($U_{ном}$).

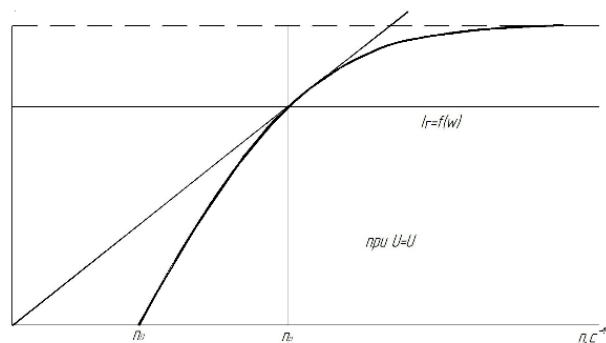


Рис. 2 Швидкісна характеристика генератора змінного струму

За такою швидкісною характеристикою визначають технічні дані конкретного генератора:

- початкова частота обертання на холостому ходу, яка повинна відповідати заданій напрузі без навантаження, n_0 ;
- максимальна сила струму самообмеження $I_{г.макс}$;
- номінальна потужність генератора ($P_e = I_{г.макс} \cdot U_{н}$);
- частота обертання ротора $n_{р.н}$ і струм $I_{р.н}$ (у контрольному режимі).

З вище наведеної теорії видно, що для тихохідних вітроустановок такі генератори можна прилаштувати, але з великим передаточним числом мультиплікатори, а значить зменшувати ККД самої вітроустановки.

Викладення основного матеріалу дослідження.

Поставлена задача досягається виготовленням дослідного екземпляра електрогенератора для вітросилової установки. Як відомо вітросилова установка працює при достатньо низьких обертах вітроколеса, а значить і вимоги до електрогенератора повинні бути особливі.

Як правило вітроустановка працює при дуже низьких обертах вітроколеса (до 100 об/хв).

Для самозбудження генератора, який встановлений на тракторах і автомобілях потрібно щонайменше 1500 об/хв. Значить, щоб електрогенератор працював на вітроустановку потрібно встановити мультиплікатор з передаточним числом щонайменше 1/20, а це додаткові енергозатрати і звичайно фінансові. Потрібно йти іншим шляхом. збільшувати число пар полюсів статора електрогенератора [4,5].

Статор складається з пластин електротехнічної сталі і в його пази вкладені 54 фазові обмотки, які розподілені на

три фази і з'єднані між собою за схемою «зірка». На кожен фазу припадає: $N = \frac{54 \text{ фази}}{3 \text{ фази}} = 18 \text{ котушок}$.

Статорна обмотка розрахована на фазну напругу в 220 В, а значить пропорційно зменшується струм на виході.

Практика і досліди показали, що на одну фазу потрібно вкласти 18 котушок загальною кількістю 1440 витків, а значить кожна котушка буде мати:

$$W = \frac{W_{\text{фази}}}{n_{\text{к1}}}, \quad (3)$$

де W - кількість витків у котушці;
 $W_{\text{фази}}$ - загальна кількість витків фазної обмотки;
 $n_{\text{к1}}$ - кількість котушок у фазній обмотці.

$$W = \frac{1440 \text{ вит.}}{18 \text{ котушок}} = 80 \text{ вит./котушок} \quad (4)$$

Статорні електротехнічні пластини (пакет) взяті із статора асинхронного електродвигуна серії 4А, висота пакета 40 мм.

Маючи 9 пар полюсів (18 котушок в одній фазній обмотці) знаходимо оберти генератора при умові, що він буде працювати з частотою струму в 50 Гц за формулою:

$$n = \frac{60 \cdot F}{P}; \quad (5)$$

де F - частота струму (50 Гц);
 P - число пар полюсів статора.

$$n = \frac{60 \cdot 50}{9} = 333,3 \text{ об./хв.} \quad (6)$$

Це означає, що ротор електрогенератора при 333,3 об/хв виробляє напругу з частотою 50 Гц. Якщо вітроколесо працює стабільно при 60 об/хв., то за допомогою шків-пасової передачі легко досягти цих обертів на генераторі.

Маючи розміри пакета активної сталі статора з наружним діаметром $D_e=290$ мм, внутрішнім діаметром $d_e=207$ мм, довжиною пакета сталі $l=40$ мм розраховуємо зовнішній діаметр ротора за формулою:

$$D_p = d_e - 2\delta, \quad (7)$$

де δ - повітряний проміжок між залізного простору 0,35...0,45 мм.

$$D_p = 207 - (2 \cdot 0,4) = 206,2 \text{ мм} \quad (8)$$

Досліди і розрахунки показують, що котушка ротора повинна мати приблизно 1200 витків проводу ПЭВ-2 діаметр якого 0,8 мм.

Щоб знайти площу вікна потрібно знайти площу, яку займає котушка (її поперечний переріз) за формулою:

$$S_{\text{кот.}} = W_{\text{кот.}} \cdot K_{\text{зан.}} \cdot d_{\text{пр.}}, \quad (9)$$

де $W_{\text{кот.}}$ - число витків в котушці збудження (з ізоляцією);

$K_{\text{зан.}}$ - коефіцієнт заповнення котушки;

$d_{\text{пр.}}$ - діаметр пр оводу в котушці збудження.

$$S_{\text{кот.}} = 1200 \text{ вит} \cdot 0,65 \text{ вит} \cdot 0,8 \text{ мм} = 670,8 \text{ мм}^2 \quad (10)$$

Якщо ширина каркаса котушки збудження дорівнює 25 мм, то його висота буде:

$$h_{\text{кар.}} = \frac{670,8 \text{ мм}^2}{25 \text{ мм}} = 26,8 \text{ мм} \quad (11)$$

На рис. 3 приведена принципова електрична схема генератора. Однонапівперіодний блок вмикається паралельно трифазній обмотці генератора і навантаження. В точку С через щітки і кільця включається котушка збудження. За рахунок остаткового магнетизму генератор легко збуджується (рис. 4).

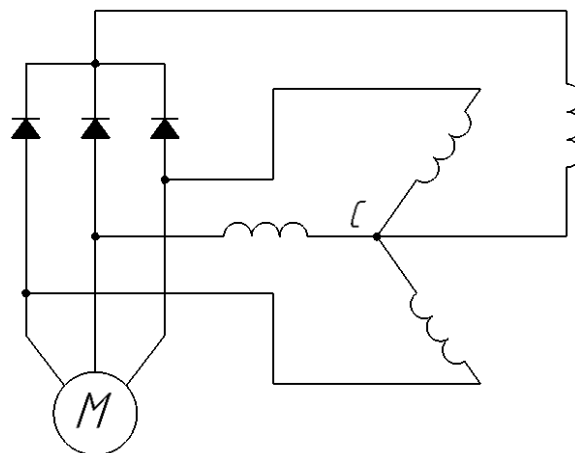


Рис. 3 Принципова електрична схема генератора

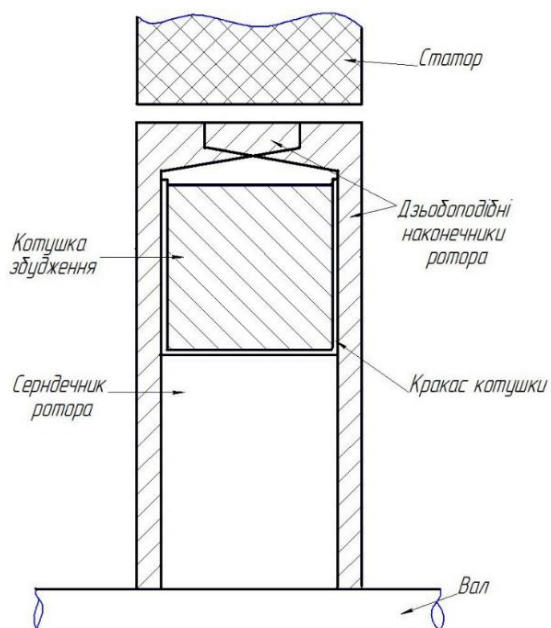


Рис. 4 Магнітний ланцюг генератора для вітросилової установки з дзьобоподібними наконечниками

Висновок. В останні роки енергія вітру все ширше використовується для одержання електроенергії. Створюються вітряки і встановлюються на місцевості, де дмуть часті й сильні вітри. Кількість і якість таких двигунів зростає щорічно, налагоджене серійне виробництво. Щоб найкраще використати вітряну енергію, важливо враховувати добові та сезонні зміни вітру, розподіл швидкості вітру в залежності від висоти над поверхнею землі, кількість поривів вітру за короткі відрізки часу. Сучасна технологія дозволяє використовувати

тільки горизонтальні вітри, що розташовані близько до поверхні землі та мають швидкість від 12 до 65 км/год.

В результаті розрахунків і лабораторних досліджень був випробуваний тихохідний генератор, який добре зарекомендував себе в роботі вітросиловою установкою з такими показниками (рис. 5):

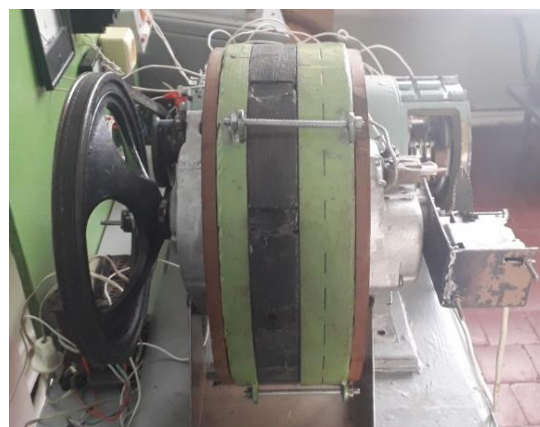


Рис. 5. Випробування спроектованого генератора

| | |
|------------------------------------|-------------|
| Номинальна трифазна напруга – «У» | - 220 В. |
| Номинальний струм | - 6,4 А. |
| Частота струму при 333,3 об/хв | - 50 Гц. |
| Зовнішній діаметр статора | - 290 мм. |
| Внутрішній діаметр статора | - 207 мм. |
| Зовнішній діаметр ротора | - 206,2 мм. |
| Внутрішній діаметр розточки ротора | - 190 мм. |
| Висота пакета сталі статора | - 40 мм. |
| Діаметр сердечника ротора | - 110 мм. |

Список використаної літератури:

1. Ю.П. Чижков, С.В. Акимов «Электрооборудование автомобилей для ВУЗов» Изд. «За рулем», М. 1999 г.
2. В.А. Балагуров «Проектирование автомобильных генераторов переменного тока с клювообразными полюсами». М.1980 г.
3. А.А. Дружков, Г.И. Цопов, Р.А. Гайнуллин «Расчет автотракторных генераторов. Методические указания» Сам. ГТУ – С. 2004 г.
4. И.П. Копылова «Проектирование электрических машин» Изд. Энергия М. 1980 г.
5. М.Ф. Бойко «Тракторы та автомобілі» Частина 2 Електрообладнання. Київ «Вища школа», 2001 р.

Ryasnaya O. V., Sumy National Agrarian University (Ukraine)

Modern experimental research of wind energy

At present, it is necessary to make key decisions that have a direct impact on Ukraine's energy future. UVEA will strive to make wind energy a full-fledged technology in the country's energy balance. Creating an energy supply that contributes to a truly sustainable future based on unlimited, non-polluting and competitive renewable energy technologies is a challenge not only for Ukraine but for the entire world community. Wind energy is the path to peace.

On the basis of studying the disciplines of electric machines and the basics of electric drive and conducting experimental data and the latest research in science in the laboratory of the department was made a generator for low-speed wind turbines. As a result of theoretical analysis, the possibility of using a wind turbine at a sufficiently low speed of the wind wheel, where the requirements for the generator will be much lower than in conventional electric generators with a higher load.

Key words: low-speed wind turbines, wind generators, vertical wind generators, traditional sources of electricity, wind power plants, multiplier, grid energy.

Дата надходження до редакції: 01.12.2020