



УДК 631.53.027.34

## ANALYSIS OF THE APPLICATION OF A WIND TURBINE UNIT AT LOW TURNS OF A WINDER ON THE BASIS OF A SLOW-MOVING GENERATOR

АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ВІТРОСИЛОВОЇ УСТАНОВКИ ПРИ НИЗЬКИХ ОБЕРТАХ ВІТРОКОЛЕСА НА БАЗІ ТИХОХІДНОГО ГЕНЕРАТОРА

Ryasnа O.V. / Рясна О.В.

Lecturer

Smolyarov G.A. / Смоляров Г.А.

Ph.D., as.prof. / к.е.н., доцент

Tymoshenko G.A. / Тимошенко Г.А.

Lecturer

Sumy National Agrarian University,

Sumy, 160 Herasym Kondratiev, Sumy, 40021

Сумський національний аграрний університет,

Суми, вул. Герасима Кондратьєва, 160, 40021

**Анотація.** В лабораторних умовах кафедри електроенергетики Сумського НАУ на підставі проведення експериментальних даних та новітніх досліджень науки 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 високим навантаженням.

**Ключові слова:** номінальна трифазна напруга, номінальний струм, частота струму, вітросилових установка, асинхронний електродвигун.

**Постановка проблеми.** Для вироблення електроенергії вітроустановкою потрібно мати або низько обертовий генератор або мультиплікатор з великим передаточним числом. Враховуючи те, що вітрові потоки дуже нерівномірні генератор виробляє електроенергію нерівномірно за частотою і величиною напруги. 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 [1], [2], [3], [4], [5].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Вітросилові агрегати комплектуються з індукторними генераторними установками. При цьому вони бувають [1], [2], [3], [4], [5]: 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.

**Постановка завдання дослідження.** Трифазна напруга в генераторі з рухомою обмоткою збудження індукується у фазових обмотках статора при перетинанні їх змінним магнітним полем, що створюється електромагнітом ротора. Статор складається з пластин електротехнічної сталі і в його пари

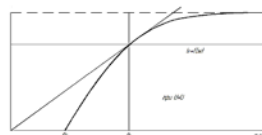


вкладають котушки фазових обмоток, які розподіляються на трифазні і з'єднуються між собою за схемою «зірка». У трифазних генераторів число пазів статора обов'язково повинно бути числом, яке ділиться на «3». Ротором є вал, на який напресовані два магнітопроводи з дзьобоподібними наконечниками (ДН) та втулкою з обмоткою збудження, що утворюють багатополіусний магніт. Число полюсів магніту 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 різнойменними полюсами. Під час обертання ротора мимо кожного виступу статора по чергово 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. При мінімальних обертах вітроколеса для самозбудження генератора він збуджується від незалежного (стороннього) джерела струму. Тоді його напруга дорівнює ЕРС зовнішнього джерела збудження і становить  $U = E = C_e \cdot \omega \cdot \Phi$ , (1)

де  $C_e$  - сталий коефіцієнт для даного типу генератора;  $\omega$  - кутова швидкість обертання ротора;  $\Phi$  - магнітний потік збудження.

Зі збільшенням електрона навантаження напруга генератора зменшується на величину спаду напруги в статорі:  $U = E - IR_{cm} = C_e \cdot \omega \cdot \Phi - IR_{cm}$  (2)

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 ( $\Phi$ ) включенням у мережу живлення на короткий проміжок часу додаткових резисторів, а також збільшуючи частоту обертання чи зменшуючи навантаження. На рис. 1 наведено графік, що характеризує залежність величини струму від частоти обертання ротора генератора  $I_r = f(\omega)$  за сталої напруги. Зі швидкісної характеристики видно, що за початкової частоти обертання  $n_o$  генератор починає виробляти номінальну напругу без навантаження ( $I_r = 0$ ) при живленні обмотки збудження від зовнішнього джерела. За такою швидкісною характеристикою визначають технічні дані конкретного генератора: початкова частота обертання на холостому ході, яка повинна відповідати заданій напрузі без навантаження,  $n_o$ ; максимальна сила струму самообмеження  $I_r \cdot \text{макс}$ ; номінальна потужність генератора ( $P_r = I_r \cdot \text{макс} \cdot U_H$ ); частота обертання ротора  $n_{p.n.}$  і струм  $I_{p.n.}$  (у контрольному режимі). Для тихохідних вітроустановок такі генератори можна прилаштувати, але з великим передаточним числом мультиплікатори, а значить зменшувати ККД самої вітроустановки.



**Рис. 1. Швидкісна характеристика генератора змінного струму**



**Основні матеріали дослідження.** Поставлена задача досягається виготовленням дослідного екземпляра електрогенератора для вітросилової установки (ВУ). Як відомо ВУ 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. 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:  $N = \frac{54 \text{пази}}{3 \text{фази}} = 18 \text{катушок}$ .

Статорна обмотка розрахована на фазну напругу в 220 В, а значить пропорційно зменшується струм на виході. Практика та досліди показали, що на одну фазу потрібно вкласти 18 катушок загальною кількістю 1440 витків, а

значить кожна катушка буде мати:  $W = \frac{W_{\text{фази}}}{n_{\text{кл}}}$ , (3)

де  $W$  - кількість витків у катушці;  $W_{\text{фази}}$  - загальна кількість витків фазної обмотки;  $n_{\text{кл}}$  - кількість катушок у фазній обмотці.

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

Статорні електротехнічні пластини (пакет) взяті із статора асинхронного електродвигуна серії 4А, висота пакета 40 мм. Маючи 9 пар полюсів (18 катушок в одній фазній обмотці) знаходимо оберти генератора при умові, що він буде працювати з частотою струму в 50 Гц за формулою:  $n = \frac{60 \cdot F}{P}$ ; (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  $333,3 \text{об/хв.}$  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 зовнішнім діаметром  $D_e = 290 \text{мм}$ , внутрішнім діаметром  $d_e = 207 \text{мм}$ , довжиною пакета сталі  $l = 40 \text{мм}$  розраховуємо зовнішній діаметр ротора за формулою:  $D_p = d_e - 2\delta$ , (7)

де  $\delta$  - 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 катушка ротора повинна мати приблизно 1200 витків проводу ПЭВ-2 діаметр якого 0,8 мм.

Щоб знайти площу вікна потрібно знайти площу, яку займає катушка (її поперечний переріз) за формулою:  $S_{\text{кот.}} = W_{\text{кот.}} \cdot K_{\text{зан.}} \cdot d_{\text{пр.}}$ , (9)

де  $W_{\text{кот.}}$  - число витків в катушці збудження (з ізоляцією);  $K_{\text{зан.}}$  - коефіцієнт

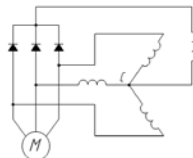


заповнення котушки;  $d_{пр.}$  - діаметр проводу в котушці збудження.

$$S_{кот.} = 1200вит \cdot 0,65вит \cdot 0,86мм = 670,8мм^2 \quad (10)$$

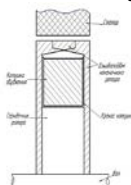
Якщо ширина каркаса котушки збудження дорівнює 25 мм, то його висота

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



**Рис. 2. Принципова електрична схема генератора**

На рис. 2 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. 3. Магнітний ланцюг генератора для ВУ з ДН**

**Висновки.** В результаті розрахунків та лабораторних досліджень був випробуваний тихохідний генератор, який добре зарекомендував себе в роботі ВУ з такими показниками: номінальна трифазна напруга – «У» - 220 В; номінальний струм – 6,4 А; частота струму при  $333,3об/хв.$  - 50 Гц. Наружний діаметр статора – 290 мм; внутрішній діаметр статора – 207 мм; наружний діаметр ротора – 206,2 мм; внутрішній діаметр розточки ротора – 190 мм; висота пакета сталі статора – 40 мм; діаметр сердечника ротора – 110 мм.

### Література:

1. Толбатов А.В. Методология створення бази знань життєвого циклу автономних енергогенеруючих установок / А.В. Толбатов, В.А. Толбатов // Вісник Сумського державного університету. Техн. науки. – 2008. – №1. – С. 140–146.
2. Толбатов В.А. Організація систем енергозбереження на промислових підприємствах : навч. пос. / В.А. Толбатов, І.Л. Лебединський, А.В. Толбатов / – Суми: Вид-во СумДУ, 2009. – 195 с.
3. Толбатов В.А. Научное окружение современного человека: Техника и технологии / [авт. кол.: И.Я. Львович, А.П. Преображенский, В.А. Толбатов, И.Ф. Червоный, О.Н. Чопоров и др.]. – Одесса: КУПРИЕНКО СВ, 2018 – 181 с.
4. Толбатов А.В. Инновационная наука, образование, производство и транспорт: Техника и технологии / Верховлюк А.М., Иванова Т.Н., Копей Б.В., Толбатов В.А., Толбатов А.В. и др. – Одесса: КУПРИЕНКО СВ, 2018 – 223 с.
5. Толбатов А.В. Використання альтернативних та відновлювальних джерел енергії в фермерських господарствах / О.Б. В'юнєнко, А.В. Толбатов //