



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 багатополісний 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; ω - кутова швидкість обертання ротора; Φ - магнітний потік збудження.

Зі збільшенням електронавантаження напруга генератора зменшується на величину спаду напруги в статорі: $U = E - IR_{cm} = C_e \cdot \omega \cdot \Phi - IR_{cm}$ (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 (Φ) 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 $I_G = f(\omega)$ за сталої напруги. Зі швидкісної характеристики видно, що за початкової частоти обертання n_0 генератор починає виробляти номінальну напругу без навантаження ($I_G = 0$) 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_0 ; максимальна сила струму самообмеження $I_G \cdot \text{макс}$; номінальна потужність генератора ($P_G = I_G \cdot \text{макс} \cdot U_H$); 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.

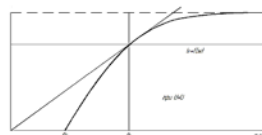


Рис. 1. Швидкісна характеристика генератора змінного струму



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 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 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)

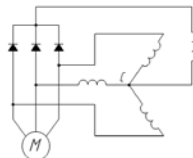


Рис. 2. Принципова електрична схема генератора

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.

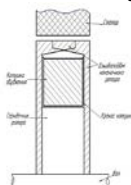


Рис. 3. Магнітний ланцюг генератора для ВУ з ДН

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 //



International periodic scientific journal Modern engineering and innovative technologies, Issue №6, Part 1, Karlsruhe, Germany, December 2018 – P.40–43.

References:

1. Tolbatov A.V. Metodologiya stvorenniya bazy` znan` zhy`ttyevogo cy`klu avtonomny`x energogeneruyuchy`x ustanovok / A.V. Tolbatov, V.A. Tolbatov // Visnyk Sums`kogo derzhavnogo universy`tetu. Texn. nauky` .–2008.–№1.–S.140–146.
2. Tolbatov V.A. Orhanizatsiya system enerhozberezhennya na promyslovykh pidpryyemstvakh : navch. pos. / V.A. Tolbatov, I.L. Lebedyns'kyy, A.V. Tolbatov / – Sumy: Vydvo SumDU, 2009. – 195 s.
3. Tolbatov V.A. Nauchnoe okruzhenie sovremennogo cheloveka: Tehnika i tehnologii : monografiya / [avt.kol. : I.Ya.Lvovich, A.P.Preobrazhenskiy, V.A.Tolbatov, I.F.Chervonyiy, O.N.Choporov i dr.]. – Odessa: KUPRIENKO SV, 2018 – 181 s.
4. Tolbatov A.V. Innovatsionnaya nauka, obrazovanie, proizvodstvo i transport: Tehnika i tehnologii / Verhovlyuk A.M., Ivanova T.N., Kopey B.V., Tolbatov V.A., Tolbatov A.V. i dr. – Odessa: KUPRIENKO SV, 2018 – 223 s.
5. Tolbatov A.V. Vy`kory`stannya al`ternaty`vny`x ta vidnovlyuval`ny`x dzherel energiyi v fermers`ky`x gospodarstvax / O.B. V'yunenko, A.V. Tolbatov // International periodic scientific journal Modern engineering and innovative technologies, Issue №6, Part 1, Karlsruhe, Germany, December 2018 – P.40–43.

Abstract. *In the laboratory of the Department on the basis of the experimental data and the latest research science has been manufactured alternator for low-speed wind turbines. As a result of theoretical analysis substantiated the possibility of vtroyom installation at a sufficiently low speed of the propeller, where the requirements for the generator are much lower than in conventional electrical generators with a higher load.*

Key words: *rated three-phase voltage, rated current, current frequency, wind turbine installation, asynchronous electric motor.*