

ТРАНСФОРМАТОР ДЛЯ КОНТРРОТОРНОЇ ВІТРОУСТАНОВКИ З ВЕРТИКАЛЬНОЮ ВІССЮ ОБЕРТАННЯ

© Ковальчук А.І., 2012

Для безконтактної передачі та регулювання виробленої електричної енергії з рухомих частин контрроторної вітроустановки з вертикальною віссю обертання використано спеціальний трансформатор з обертовими частинами. Розглянуто особливості проектного розрахунку такого трансформатора. Результати розрахунків подані у вигляді зовнішніх та робочих характеристик.

Ключові слова: трансформатор з обертовими частинами, дискретне регулювання, контрроторна вітроустановка.

For contactless transmission and regulation of electricity produced from moving parts contra rotor wind turbine with vertical axis a special transformer with rotating parts is used. The features of the design calculation of such transformer are also considered. Calculation results are presented in the form of external and work design characteristics.

Key words: transformer with rotating parts, discrete control, contra rotor wind turbine.

Вступ

Вітроустановка, що розглядається в цій роботі, призначена для перетворення кінетичної енергії вітру в електричну. Експлуатуються два основних типи вітроустановок: із вертикальною віссю обертання та з горизонтальною.

Перевагою вітроустановок з вертикальною віссю обертання є те, що їх не потрібно орієнтувати за напрямом вітру, а також вони ефективніше працюють на низьких швидкостях вітру [1].

Електричну енергію у вітроустановці виробляє електричний генератор, який може бути різних типів. Завдяки низьці переваг у малих вітроустановках найчастіше використовуються безконтактні синхронні генератори зі збудженням від постійних магнітів [1].

Питома вартість генератора для вітроустановки (грн./кВт) обернено пропорційна до його кутової швидкості. Запропонована контрроторна установка з вертикальною віссю обертання складається з двох співвісних вітроколів та електрогенератора, індуктор (ротор) якого прикріплений до одного лопатевого колеса, а якір (контрротор) – до іншого. При цьому ротор і контрротор обертаються в різні сторони. За рахунок такої конструкції вітроустановки кутова швидкість генератора становить $W_g = W_1 + W_2$, де W_1 , W_2 – кутові швидкості ротора та контрротора відповідно. Якщо $W_1 = W_2$, то застосування контрроторної системи вітроколеса дає змогу збільшити вдвічі кутову швидкість генератора. Це піднімає частоту ЕРС якоря та зменшує розміри і вартість генератора.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Стандартним виконанням завдання передачі виробленої електричної енергії з рухомих частин є використання контактних кілець. Їх недоліком є те, що вони знижують надійність вітроустановки та зумовлюють нестабільність її параметрів [2].

Постановка проблеми

Враховуючи зазначені вище недоліки контактних кілець, у контрроторній вітроустановці виникає проблема передачі виробленої електричної енергії з рухомих частин (якоря).

Формулювання мети роботи

Головною метою цієї роботи є обґрунтування та розроблення спеціального трансформатора контрроторної вітроустановки з вертикальною віссю обертання для передачі енергії з рухомих частин та її регулювання.

Виклад основного матеріалу.

Для безконтактної передачі та регулювання виробленої електричної енергії з рухомих частин контрроторної вітроустановки з вертикальною віссю обертання пропонується використання трансформатора з обертовою частиною.

Кінематична схема запропонованої конструкції контрроторної вітроустановки показана на рис. 1.

Трансформатор у контрроторному вітросиловому агрегаті виконуватиме функції пристрою, який, по-перше, здійснюватиме безконтактну передачу електричної енергії від рухомої частини генератора до нерухомої системи накопичення і споживання електроенергії, а, по-друге, надає можливість здійснювати регулювання напруги генератора за законом, необхідним для подальшого найраціональнішого її використання.

Традиційні напівпровідникові системи перетворення параметрів електроенергії (активні випрямлячі, DC-DC перетворювачі) теж порівняно дорогі, тому застосування трансформатора як регулюючої ланки дасть можливість дещо знизити сумарну вартість вітроустановки за рахунок відмови від дорогих електронних силових компонентів.

Регулювання здійснюється дискретно електронними, наприклад, симісторними ключами, перемикаючи відпайки вторинної нерухомої обмотки трансформатора.

Функціональні особливості такого трансформатора, а саме: необхідність в обертанні первинної обмотки по відношенню до нерухомої вторинної, зумовлюють особливості його конструкції – індуктивність взаєміндукції для кожної фази трансформатора не повинна залежати від кута повороту його рухомої частини. Такі властивості може забезпечити трансформатор, первинна та вторинна обмотки кожної з фаз якого вкладені в окремі пів-осердя, що можуть обертатися одне по відношенню до іншого (рис. 2).

Трансформатор контрроторної вітроустановки з вертикальною віссю обертання можна зарахувати до нетипових об'єктів електромеханіки. Це зумовлено, передусім, наявністю повітряного проміжку між

пів-осердями, а також тим, що трансформатор працює від джерела живлення (генератора), напруга та частота якого не є стабільними.

Методик проектування таких трансформаторів не існує, тому за основу розрахунку береться традиційна методика розрахунку трансформаторів малої потужності [3] з деякими особливостями.

Наявність повітряного проміжку між частинами магнітопроводу первинної та вторинної обмоток призведе до зростання струму намагнічування і, відповідно, до зростання втрат у первинній обмотці. Для утримання значення струму намагнічування у межах традиційних трансформаторів малої потужності збільшується кількість витків та переріз провідників первинної

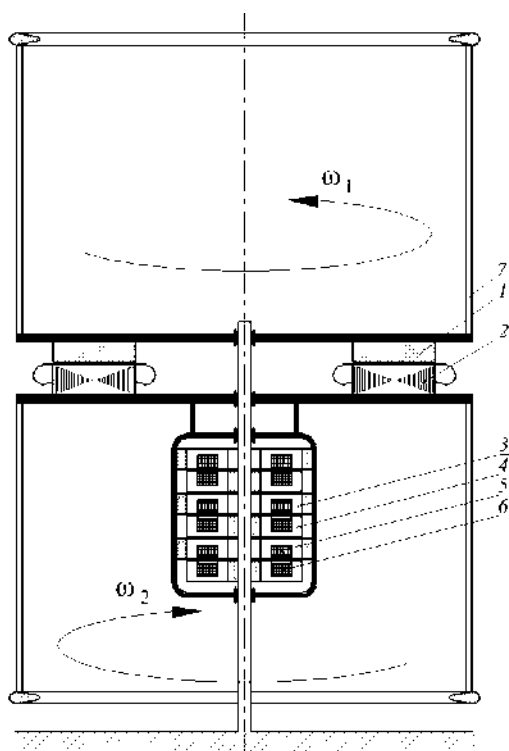


Рис. 1. Кінематична схема контрроторної вітроустановки:

- 1 – індуктор; 2 – якорь; 3 – рухоме осердя трансформатора; 4 – нерухоме осердя трансформатора; 5 – первинна (рухома) обмотка трансформатора; 6 – вторинна (нерухома) обмотка трансформатора; 7 – лопаті вітроколеса

обмотки, а також розміри осердя магнітопроводу. У режимах, що передбачають живлення напругою з частотою 120 Гц, струм намагнічування буде меншим за рахунок збільшення індуктивного опору.

У цьому трансформаторі внаслідок конструктивних особливостей необхідно мінімізувати силу притягання двох частин осердя, яка приблизно може бути визначена за формулою Максвелла:

$$F_o = \frac{B_d^2 S_o}{2\mu_0}, \quad (1)$$

де B_d – індукція в проміжку між пів-осердями трансформатора (якщо враховувати розсіювання, то вона становить $\approx 80\%$ від індукції в осерді B_o); S_o – сумарна площа перетину осердя.

Традиційно поперечний переріз осердя (стрижня) трансформатора залежить від співвідношення мас активних матеріалів та від заданої функції мети для оптимізації проекту — на мінімум вартості або на мінімум маси.

Враховуючи особливості та новизну конструкції, а також відсутність досвіду попереднього проектування, це співвідношення будемо вибирати з меж, як і у разі традиційного трансформатора з мінімумом маси як функцією мети.

Проектний розрахунок [3] з деякими особливостями, що описані вище, продемонструємо на прикладі трансформатора з такими вихідними даними за різних характерних швидкостей вітру:

• частота напруги живлення f_1 , Гц	120	80	40
• повна вихідна потужність S_2 , ВА	135	40	5
• фазна первинна напруга U_1 , В	33	22	11
• фазна вторинна напруга U_2 , В	16	16	16
• кількість фаз $m = 1$;			
• коефіцієнт потужності навантаження $\cos\phi_2 = 1$;			
• режим роботи S1;			
• внутрішній діаметр осердя $d_o = 80$ мм;			
• охолодження повітряне природне.			

Кожна з частот напруг живлення відповідає роботі трансформатора на певній відпайці.

Вихідними результатами проектування є його зовнішня характеристика $U_2 = f(I_2)$ та робочі характеристики I_1, I_2, U_2, P_1, η , як функції вихідної потужності P_2 при трьох різних значеннях частоти напруги живлення, що відповідають різним частотам обертання вітрогенератора.

Ці залежності отримані на підставі розв'язків алгебро-диференціальних рівнянь, що описують роботу трансформатора:

$$\begin{aligned} u_1 &= -e_{10} + i_1 R_1 + L_{s1} \frac{di_1}{dt} \\ e_{20} &= u_2 + i_2 R_2 + L_{s2} \frac{di_2}{dt} \\ i_0 w_1 &= i_1 w_1 + i_2 w_2 \end{aligned} \quad (2)$$

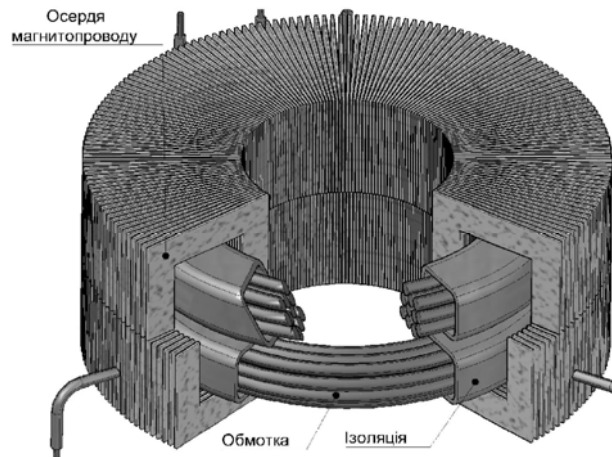


Рис. 2. Конструкція однієї фази трансформатора

де u_1 – напруга, що прикладена до первинної обмотки; u_2 – напруга на навантаженні; e_{10} – ЕРС самоіндукції первинної обмотки; e_{20} – ЕРС взаємоіндукції вторинної обмотки; i_1, i_2, R_1, R_2 – відповідно струми та активні опори первинної та вторинної обмоток; w_1, w_2, L_{s1}, L_{s2} – відповідно кількості витків та індуктивності розсіяння первинної та вторинної обмоток; i_0 – струм неробочого ходу.

Дані обчислень наведені на рис. 3–6.

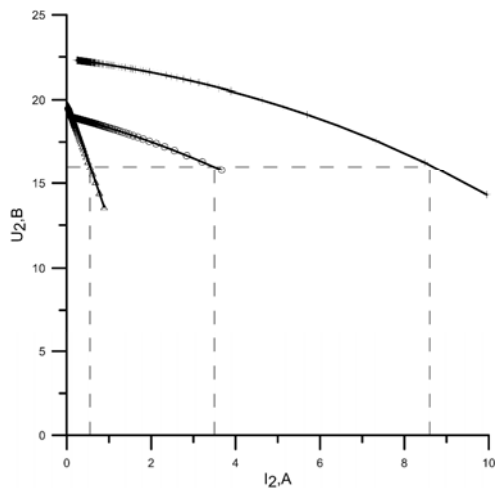


Рис. 3. Зовнішні характеристики трансформатора:

- при частоті напруги 120 Гц
- при частоті напруги 80 Гц
- △ при частоті напруги 40 Гц

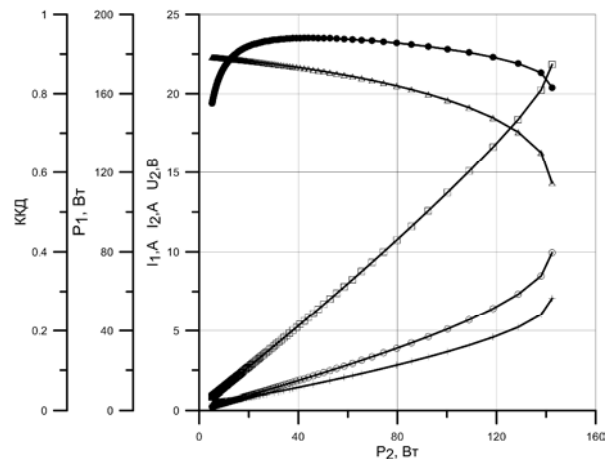


Рис. 4. Робочі характеристики трансформатора (120 Гц):

- Струм первинної обмотки I_1, A
- Струм вторинної обмотки I_2, A
- △ Напруга вторинної обмотки U_2, B
- Потужність первинної обмотки $P_1, Вт$
- Коефіцієнт корисної дії ККД

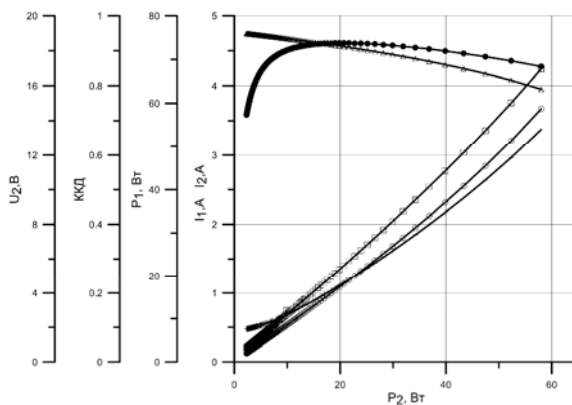


Рис. 4. Робочі характеристики трансформатора (80 Гц):

- Струм первинної обмотки I_1, A
- Струм вторинної обмотки I_2, A
- △ Напруга вторинної обмотки U_2, B
- Потужність первинної обмотки $P_1, Вт$
- Коефіцієнт корисної дії ККД

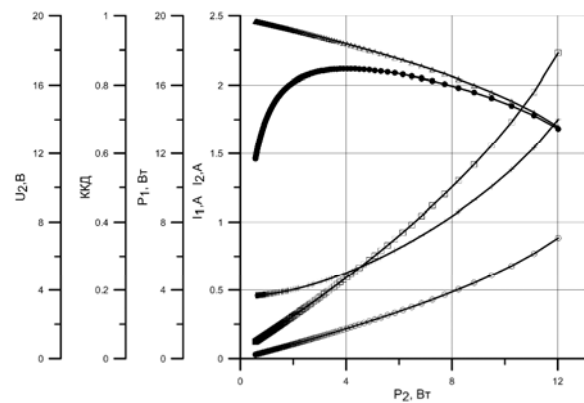


Рис. 4. Робочі характеристики трансформатора (40 Гц):

- Струм первинної обмотки I_1, A
- Струм вторинної обмотки I_2, A
- △ Напруга вторинної обмотки U_2, B
- Потужність первинної обмотки $P_1, Вт$
- Коефіцієнт корисної дії ККД

За запропованою методикою проектування створюватиметься макетний взірець трансформатора, а також розроблятиметься польова модель для розрахунку електромагнітних та усталених

процесів, на якій перевірятиметься адекватність пропонованої методики. За результатами математичних експериментів вноситимуться зміни та корективи в алгоритм проектування. Пізніше на польовій моделі досліджуватимуться усі чинники, що впливатимуть на роботу цього трансформатора за реальних умов експлуатації.

Висновки

Перемикання між трьома відпайками вторинної обмотки трансформатора забезпечує підтримання амплітудного значення напруги у межах прийнятних значень для подальшого використання.

Працюючи на першій відпайці, при параметрах мережі, що задані у вихідних даних для проектування (частота напруги первинної обмотки $f_1 = 120$ Гц і повна вихідна потужність $S_2 = 135$ ВА) коефіцієнт корисної дії трансформатора становить 0,86, на другій ($f_1 = 80$ Гц, $S_2 = 40$ ВА) – 0,9, на третій ($f_1 = 40$ Гц, $S_2 = 5$ ВА) – 0,84. Такі дані свідчать про економічну доцільність трансформатора для контрроторної вітроустановки з вертикальною віссю обертання.

Трансформатор для контрроторної вітроустановки з вертикальною віссю обертання зберігає основну перевагу генераторів зі збудженням від постійних магнітів – відсутність механічного контакту між рухомою та нерухомою частиною, а також виступає одним з елементів регулюючої ланки вітроустановки загалом.

1. Щур І.З., Турленко О.Р. *Енергетична ефективність різних способів відбору потужності від синхронного генератора з постійними магнітами у вітроенергоустановці* // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка». – 2009. – № 654. 2. Яцун М.А. *Електричні машини*. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2004. – 440 с. 3. Ермолин Н.П. *Расчет трансформаторов малой мощности*. – Л.: Энергия, 1969. – 192 с. 4. Домбровский В.В. *Справочное пособие по расчету электромагнитного поля в электрических машинах*. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 256 с. 5. Moon F.C. *Magneto-Solid Mechanics*. – New York: John Wiley and Sons, 1984. – 436 p. 6. Фильц Р.В., Лябук Н.Н. *Математическое моделирование явнополюсных синхронных машин*. – Львов: Світ, 1991. – 176 с.