

ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУЮВАННЯ БАГАТОПОЛЮСНОГО СИНХРОННОГО ВІТРОЕЛЕКТРОГЕНЕРАТОРА НА НЕОДИМОВИХ МАГНІТАХ

Червонченко С.С., Прокопов Р.В., студенти; Жарков В.Я., доц., к.т.н.
(ДВНЗ «Таврійський державний агротехнологічний університет», м. Мелітополь, Україна)

Актуальність. Неодимові магніти стали ключовою технологічною розробкою, яка дозволяє сьогодні створювати прості та ефективні багатополісні синхронні генератори (СГ).

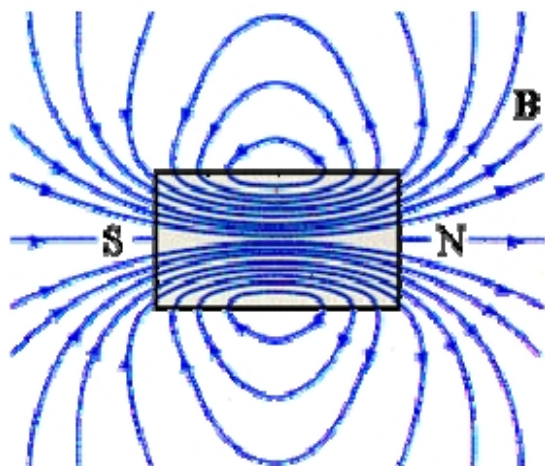


Рисунок 1 - Силві лінії МП навколо магніту

Теорія принципу взаємодії неодимових магнітів. Магнітне поле (МП), це розподіл силових магнітних потоків навколо магніту. Символ "B" використаний для характеристики інтенсивності області (рис. 1.). Найвища інтенсивність B буде в безпосередній близькості до магніту, силові лінії там розташовані ближче одна до одної. У МП завжди є два полюси: південний S і північний N. Для нашої мети застосовують магніти, різнойменні полюси яких розташовані симетрично щодо плоских поверхонь.

Ілюстрація на рис. 2 показує як зміниться МП при зближенні магнітів і металевих предметів: ліворуч, коли є відстань між магнітом і залізною пластиною; праворуч, якщо магніт з'єднати з пластиною, МП буде розподілятися по пластині, за рахунок цього з'являється можливість керувати

МП і навіть посилювати їх. З підвищенням температури інтенсивність МП знижується.

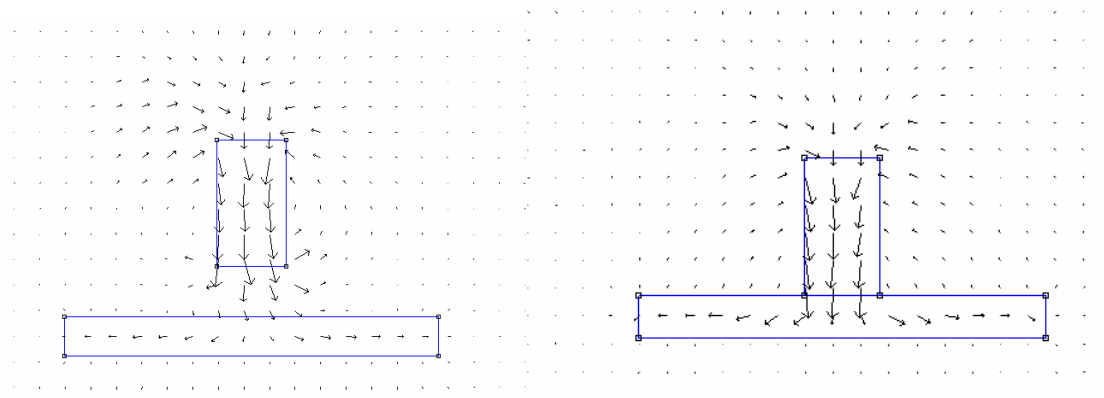


Рисунок 2 – Взаємодія магнітного поля та магнітопроводу

На рис. 3 видно, як змінюється МП двох паралельно розташованих магнітів. Якщо між магнітами розташовуються однойменні полюси, то відбувається взаємне відштовхування магнітів, силові лінії віддалені одна від одної (рис. 3,а). Якщо полюси різнойменні, то відбувається взаємне тяжіння (рис. 3,б), а при зближенні таких магнітів, силові лінії МП зближуються, і магнітна сила збільшується (рис. 3,в). МП, як сказано вище, кероване, і це є перевагою при проектуванні осьового генератора на постійних магнітах [1].

МП між поверхнями магнітів (зазор для внутрішнього статора), посилюється за рахунок двох факторів: перший - близьке розташування магнітів (силові лінії проходять близько одна до одної); другий - МП із зворотного боку магнітів переходить через залізну пластину до сусідніх магнітів. Іншими словами, якщо пластини ротора виготовити з немагнітного матеріалу, то загальна ефективність генератора знизиться приблизно вдвічі.

Схематична конструкція дводискового ротора показана на рис. 4.

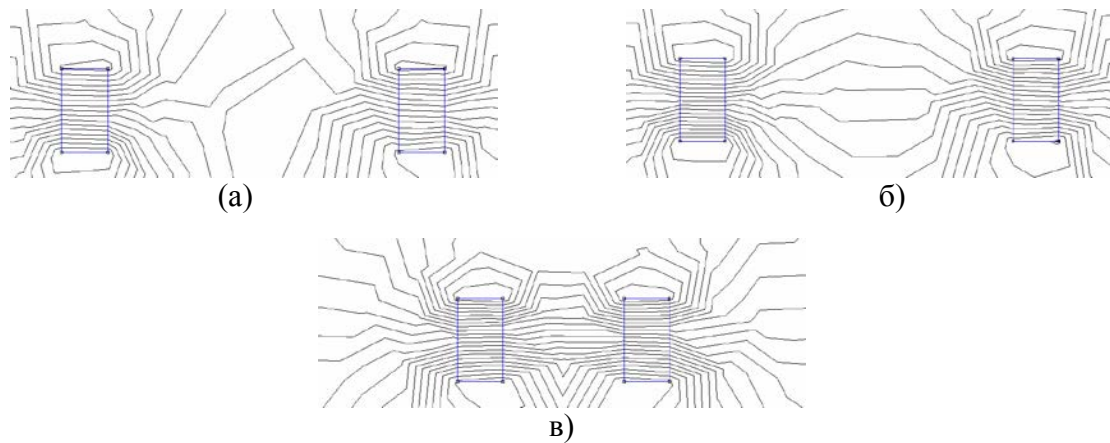


Рисунок 3 – Взаємодія магнітних полів: а - магнітне відштовхування, б - магнітне притягування, в- магнітне поле при зближенні магнітів

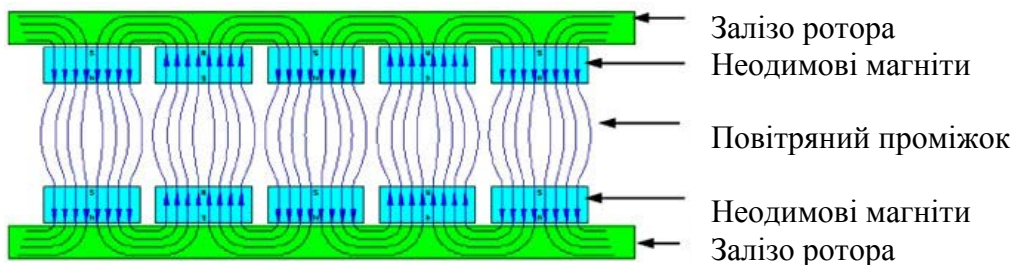


Рисунок 4 – Магнітне поле дводискового ротора

Таким чином, всі магніти в конструкції дводискового ротора взаємно доповнюють один одного. Щоб магнітні потоки замикалися, необхідно правильно розташувати магніти (як показано на рисунку 4: N-S-N-S... N-S), щоб отримати різноспрямовані магнітні осі [2].

Основні фізичні процеси. Магнітний потік (Φ) - це сума всіх магнітних силових ліній кола, що створюються джерелом МП (в нашому випадку - магнітом). Він аналогічний електричному струму в провіднику.

Магнітна індукція B - щільність силових ліній МП, що проходить через одиницю площі поперечного перерізу магнітного кола (S), і аналогічна щільності струму у провіднику

$$B = \frac{\Phi}{S}. \quad (1)$$

Напруженість магнітного поля H визначає магнітні потенціали в певних точках магнітного кола і залежить від величини магнітної індукції. Наприклад, в повітряному зазорі

$$H_B = \frac{B_B}{\mu_0}, \quad (2)$$

де μ_0 - магнітна постійна, $4\pi \times 10^{-7}$ Гн/м.

Різниця магнітних потенціалів U_M між певними точками магнітного кола аналогічна напрузі в електричному колі.

$$U_M = H l, \quad (3)$$

де l - довжина магнітного кола між обраними точками. Магнітний опір R_M визначається за законом Ома аналогічно електричному опору $R=U/I$.

Магнітна проникність матеріалу показує, у скільки разів збільшується магнітна індукція котушки при внесенні в неї осердя з цього матеріалу. При цьому у стільки ж разів

збільшується і індуктивність котушки. Магнітна проникність - величина не постійна і нелінійно залежить від величини магнітної індукції.

При розрахунках магнітного кола враховуються магнітна проникність магнітопроводів, котрими є диски ротора, і їх геометричні розміри. Але із-за нелінійності магнітної проникності, що залежить також від сорту сталі ротора та інших параметрів, математичний розрахунок генератора виходить досить складним. Наведені вище параметри необхідні для розгляду особливостей конструювання СГ на постійних магнітах [3].

Потужність СГ, в першу чергу, залежить від кількості і енергії магнітів при певній частоті обертання ротора. Усі процеси необхідно розглядати при одній частоті обертання, наприклад, при орієнтованій середній частоті обертання ротора вітродвигуна. Чим більший діаметр дисків ротора, тим більша їхня лінійна швидкість руху і, як наслідок, більша швидкість зміни МП в котушках і більша ЕРС е генератора при інших рівних умовах

$$e = \frac{d\Phi}{dt} \quad (4)$$

Збільшення кількості магнітних полюсів обмотки статора при тій же частоті обертання ротора також збільшить швидкість зміни потоку, частоту і напругу змінного струму СГ. Збільшити МП в зазорах статора можна шляхом застосування такого ж типу магнітів більшого об'єму, що мають більшу енергію [1].

Для визначення енергії магнітів, що підлягають до використання, необхідно визначити їх загальний об'єм і питому енергію даного типу магнітів, тобто одного кубічного сантиметра в Джоулях. Мінімальна енергія неодимових магнітів 400 кДж/м^3 , а питома енергія, тобто енергія 1 см^3 , буде дорівнювати $0,4 \text{ Дж/см}^3$ [1]. Якщо цей магніт за 1 секунду виконає роботу рівну $0,4 \text{ Дж}$, то його електрична потужність буде дорівнювати $0,4 \text{ Вт}$. Виходячи з цього, знаючи загальний об'єм магнітів V та прийнявши ККД генератора $0,5$, можна орієнтовно розрахувати максимальну потужність проєктованого генератора:

$$P = 0,4 * 0,5 * V \text{ [Вт]}.$$

Але потужність реального генератора залежить не тільки від енергії магнітів і частоти обертання ротора, а й від інших факторів, які простіше визначити дослідним шляхом.

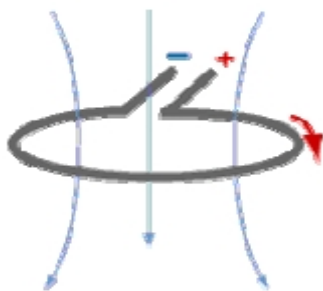


Рисунок 5 – Напрямок магнітного потоку у котушці

Генерування ЕРС в якірних обмотках. Далі перетворюємо сформоване МП в електричний струм. Для цього достатньо розмістити між магнітами якірну котушку з мідного проводу (статор) таким чином, щоб силові магнітні лінії (осі) проходили всередині якірної котушки. На рис. 5 схематично показана якірна котушка, зверху і знизу якої знаходяться магніти (умовно не показані) вже описаного дводискового ротора. Якщо обертати ротор, то напрям МП всередині котушки буде постійно змінюватися, що призведе до появи змінної ЕРС на кінцях котушки. Величина ЕРС (і ефективність генератора в цілому) залежатиме від частоти обертання ротора і від кількості витків в котушці, а також від кількості самих котушок, діаметра мідного проводу та інших параметрів.

Якщо виготовити котушки з проводу малого діаметра, то в якірних котушках статора поміститься велика кількість витків, і, як наслідок, ЕРС на виході генератора буде дуже високою. При підключенні навантаження до такого генератора, напруга знизиться, оскільки провід малого діаметру не зможе забезпечити достатню силу струму. Ця ситуація буде супроводжуватися сильним нагрівом обмоток статора.

Якщо виготовити обмотки з проводу великого діаметра, то в котушках статора поміститься обмежена кількість витків, в підсумку напруга на виході генератора буде низькою, але з високою здатністю навантаження. Завдання проєктувальника - знайти

необхідний баланс параметрів, враховуючи умови експлуатації, такі як: передбачуване навантаження, середню швидкість вітру в регіоні, параметри вітроколеса [4].

Будова СГ на постійних магнітах. Конструкція запропонованого нами СГ (рис.6) складається з корпусу 1, що може бути встановлений як вертикально так і горизонтально, вихідного валу 2, що закріплений на підшипниках 3, закритих з обох сторін кришками 4 корпусу 1. На вихідному валу 2 дзеркально розташовані феромагнітні диски 5 ротора, з радіальними лініями, що утворюють парне число променів, на яких рівномірно по колу закріплені неодимові магніти 6 з чергуванням полюсів, розташованими один до одного різнойменними полюсами.

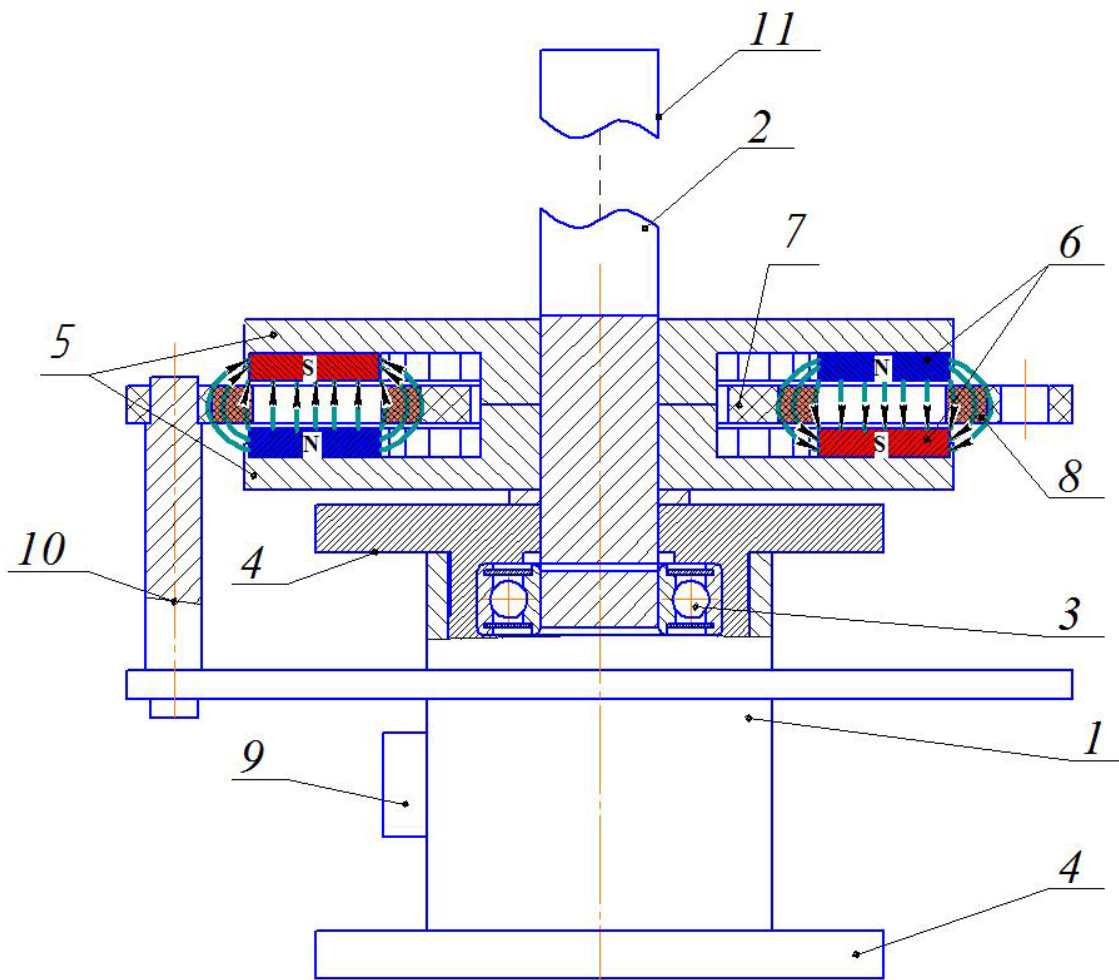


Рисунок 6 – Будова синхронного вітроелектрогенератора

Між дисками 5 рухомого ротора з зазором розташований нерухомий статор 7, в площині статора перпендикулярно осі вихідного валу 2 залиті, наприклад, компаундом або епоксидною смолою, трапецієвидні обмотки 8 статора 7, з'єднані згідно послідовно. Кінці обмоток виведені на клемну коробку 9. Шпильками 10 статор 7 жорстко закріплений на корпусі 1. Вал вітроколеса 1 кінематично з'єднаний з вихідним валом 2 електрогенератора. Подана Заявка № а201400015 на корисну модель Безредукторний малопотужний вітроелектрогенератор, МПК F03D7/06, F03D1/06, який може бути використаний в запатентованій нами когенераційній ВЕУ [5].

Основні рекомендації з конструювання генераторів. Вибір деталей, розмірів та конструктивних рішень мають бути визначені до будівництва генератора з урахуванням наступних рекомендацій.

1. Відстань між сусідніми магнітами кожного ротора має бути як мінімум у півтора-два рази більше повітряного зазору, інакше між ними будуть замикатися по повітрю магнітні силові лінії, які повинні направлятися в котушки. Виходячи з цього, за кількістю призначених до установки магнітів визначається діаметр дисків ротора.

2. Диски ротора повинні бути з м'якої сталі (наприклад, сталь 3) і мати товщину, що виключає замикання силових ліній над ними по повітрю, тобто до них не повинні притягатися сталеві предмети з зовнішнього боку, що можна перевірити, прикріпивши кілька магнітів різнополярних і з заданою відстанню до відрізка листової сталі, призначеної для виготовлення дисків ротора.

3. Магніти рекомендується застосовувати сегментні [1], що мають мінімальне замикання силових ліній між ними по повітрю, але вони випускаються під встановлені розміри, що не завжди зручно для будови генераторів, тому краще використовувати прямокутні магніти, що зумовлено більшою площею взаємодії з котушками. Котушки сегментної форми для більшої кількості витків, з мінімальним омичним опором проводу, при тій же кількості витків і потокозчеплення порівняно з котушками іншої форми.

4. Замість поширеного методу приклеювання магнітів до дисків епоксидним клеєм, що істотно ускладнює реконструкцію і ремонт генератора, фіксувати їх кільцями з листового вологостійкого ізоляційного матеріалу товщиною 2...5 мм, в яких вирізані отвори для магнітів. Кільця кріпити до дисків гвинтами або іншим роз'ємним способом.

5. Кріплення дисків до валу вітрогенератора має передбачати усунення осьових биттів, плавне встановлення мінімальних зазорів між магнітами і котушками, а також перешкоджати зближенню протилежних магнітів на відстань, менше величини мінімального повітряного зазору, інакше роз'єднати їх буде дуже важко і можна пошкодити котушки статора.

6. Оптимальну величину повітряного зазору між магнітами ротора і кількість витків слід визначити дослідним шляхом [3].

7. Діаметр проводу вибирають з розрахунку максимального струму споживання. Для таких котушок, з урахуванням умов їх охолодження, ПУЕ рекомендує щільність струму мідного проводу не більш 5 А/мм². Для поліпшення охолодження внутрішні отвори котушок необхідно залишати відкритими, а їх покриття епоксидним клеєм повинно бути тонким. Ідеальною була б котушка, намотана тонкою мідною фольгою відповідного перерізу, покритої еластичним лаком або епоксидним клеєм з пластифікатором (наприклад, касторовою олією) і шириною рівною висоті котушки.

8. Для однофазного генератора кількість полюсів магнітів і котушок повинна бути однаковою і парною. Всі котушки статора з'єднуються послідовно, з чергуванням фаз, тобто незалежно від полярності МП, що проходить через котушки.

9. Для трифазного генератора кількість полюсів магнітів обирають кратним 4, а кількість котушок статора - кратним 3, всі котушки фази «А» з'єднують послідовно і синфазно, так само з'єднують і котушки фаз «В» і «С», виводи утворених обмоток кожної фази можна з'єднувати за схемами «зірки» або «трикутника». У цьому варіанті кількість котушок менше, ніж в однофазному, але для них більше місця, в результаті чого сумарна кількість витків статора виходить більшою, ніж в однофазному, при інших рівних умовах.

Висновки. Рекомендації можуть бути використані для побудови безредукторної ВЕУ.

Перелік посилань

1. Неодимовые магниты. Характеристики. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <http://tdm96.ru/?p=558>

2. Журенков А.Н. Особенности конструирования генераторов для ВЭУ // Электрик. - 2012. - №5.-С.62-65; №6.- С.44-47.

3. Вітрогенератор своїми руками. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <http://www.e-veterok.ru/vefrogeneratoriy-dlia-nachinauhix-rezdel.php>.

4. Чоренький В.А., Лучанінов В.Ю., Жарков В. Я. Розробка присадибної когенераційної вітроенергоустановки//Автоматизація технологічних об'єктів і процесів.- Донецьк: ДонНТУ, 2013.- С. 300-303.

5. Пат. Україна 73286 МПК (2012.01) F03D9/00, F03D1/06 (2006.01), H05B6/06. Присадибна когенераційна вітроенергоустановка/ В.Я.Жарков, В.Ю. Лучанінов, Д.М. Просвірін.- Опубл. 25.09.2012.- Бюл. №1.