

ВІРТУАЛЬНА КОМП'ЮТЕРНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРОМЕХАНОТРОННОЇ СИСТЕМИ ВІТРОУСТАНОВКИ З ОПТИМАЛЬНИМ КЕРУВАННЯМ ПОТУЖНІСТЮ НАВАНТАЖЕННЯ ГЕНЕРАТОРА

© Турленко О.Р., Щур І.З., 2010

Побудована комп'ютерна модель системи оптимального керування потужністю навантаження синхронного генератора з врахуванням втрат у сталі, роботи ШІМ, комутаційних втрат активного випрямляча напруги та в'язкого і сухого тертя вала генератора. Проведено низку досліджень двох стратегій керування активним випрямлячем, на основі яких знайдено рівняння оптимального керування активним випрямлячем.

The computer model of the system of optimum management of loading of synchronous generator power is built from the account of losses at steel, work of PWM, interconnect losses of active rectifier of tension and viscid and dry friction of billow of generator. The low is conducted researches of two strategies of management an active rectifier, which equalization of optimum management an active rectifier is found on the basis of.

Постановка проблеми

Розвиток сучасної вітроенергетичної галузі поділяється на два напрямки: потужні вітроенергоустановки (ВЕУ) з горизонтальною віссю обертання, що працюють на потужні електричні мережі та автономні малопотужні ВЕУ, які останнім часом завдяки низці переваг [1] почали робити з вертикальною віссю обертання. На території України переважають вітри з малою середньою швидкістю, що створює умови для розвитку напрямку малопотужних автономних ВЕУ. У таких ВЕУ доцільно використовувати синхронні генератори з постійними магнітами (СГПМ) [2]. Було досліджено низку способів відбору електричної потужності від СГПМ в автономних ВЕУ [3]. На основі проведених досліджень було виявлено, що спосіб, заснований на керуванні активним випрямлячем напруги (АВН), має найкращі енергетичні показники.

Аналіз останніх досягнень та публікацій

Останні дослідження [4] дають змогу описати СГПМ еквівалентними рівняннями, що враховують втрати в сталі машини (рис.1):

$$\begin{cases} I_{ds} = I_d - \frac{\omega L_q}{R_C} I_q \\ I_{qs} = I_q + \omega \frac{L_d}{R_C} I_d - \frac{\omega \Phi_0}{R_C} \end{cases}; \quad (1)$$

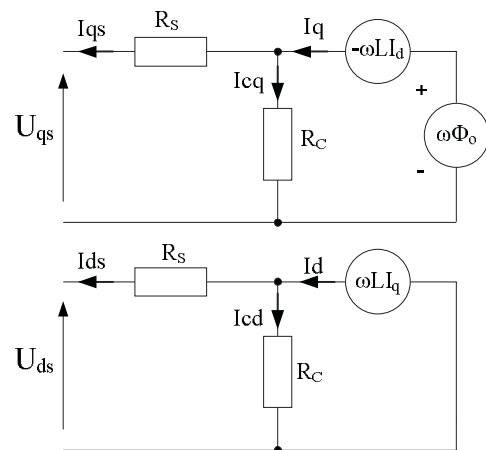


Рис. 1. Еквівалентні схеми заміщення СГПМ по осях d-q

$$\begin{cases} U_{ds} = -(R_s + L_d s) I_d + \omega L_q \left(1 + \frac{R_s}{R_c}\right) I_q \\ U_{qs} = -(R_s + L_q s) I_q - \omega L_d \left(1 + \frac{R_s}{R_c}\right) I_d + \Phi_0 \left(1 + \frac{R_s}{R_c}\right) \end{cases} \quad (2)$$

де R_s – активний опір обмотки статора СГПМ; R_c – активний опір, що моделює втрати в сталі; L_q , L_d – індуктивності генератора по осях d-q; U_{ds}, U_{qs} , I_d, I_{qs} – напруги та струми в обмотках генератора по осях d-q; Φ_0 – амплітудне значення магнітного потоку полюса; ω – кругова частота, $\omega = \omega_r p$; ω_r – кутова швидкість ротора; p – кількість пар полюсів.

На базі цього опису СГПМ було змодельовано два типи синхронних генераторів номінальною потужністю 5 кВт: із зовнішнім розміщенням постійних магнітів на роторі (у цьому випадку $L_d = L_q = 3$ мГн) та із заформованими в тіло ротора постійними магнітами (тоді $L_d = 2$ мГн, $L_q = 5$ мГн). На основі цих моделей було проведено дослідження двох алгоритмів керування АВН: традиційного, зі спрямуванням вектора струму якоря за вектором ЕРС ($I_d = 0$), та алгоритму оптимального за мінімумом сумарних втрат енергії (в міді і сталі СГПМ) керування, що дає змогу враховувати втрати в сталі СГПМ ($I_d = I_{d,opt}$). Результати дослідження показали, що оптимальний алгоритм керування доцільно використовувати для СГПМ з заформованими постійними магнітами з таким законом:

$$I_{d,opt}(\omega) = 3,792 - 2,942 \omega + 0,5870 \omega^2 - 0,001869 \omega^3, \quad (3)$$

Дослідження базувалися на функціональних (математичних) моделях СГПМ та АВН з системою керування, яку можна використовувати в автономних ВЕУ, але при цьому не враховувалися особливості реальної системи: робота ШІМ, комутаційні втрати енергії в АВН та дія сухого і в'язкого тертя на валу вітроротора та СГПМ [4].

Задача досліджень

Розроблення в програмному середовищі Matlab/Simulink віртуальної комп'ютерної моделі електромеханотронної системи ВЕУ (СГПМ та АВН) з метою уточнення оптимального алгоритму керування АВН з врахуванням механічних та електричних втрат в основних елементах установки.

Виклад основного матеріалу

Розроблена комп'ютерна модель, що базується на віртуальних підсистемах, наведена на рис. 2. До складу моделі входять такі блоки: математична модель вітроротора Wind_Turbine (визначає момент на валу генератора, що створює вітроротор, залежно від швидкості вітру та кутової швидкості СГПМ), віртуальна модель СГПМ SGPM (враховує втрати в сталі та нерівність індуктивностей по осях d-q), віртуальна модель АВН AVN (на IGBT транзисторах з релейними регуляторами лінійних струмів) та модель системи керування System Control (реалізовує розроблену стратегію оптимального керування). Навантаженням АВН слугує акумуляторна батарея, яка подана джерелом постійної напруги.

Запропонована комп'ютерна модель системи керування також враховує сухе та в'язке тертя вала СГПМ з вітроротором, яке реалізовано так: сухе тертя не залежить від ω_r генератора і має постійне значення $M_c = 10$ Нм; в'язке тертя пропорційно залежить від ω_r генератора, $M_b = k \omega_r$, де оцінювально прийнято $k = 1$ Нм·с.

Віртуальна модель СГПМ, що є в бібліотеці Power System Blockset пакета Simulink, не враховує втрати в сталі. Тому було створено нову віртуальну модель (рис. 3), яка дає можливість враховувати втрати в сталі та нерівність індуктивностей по осях d-q. Модель складається з трьох віток, до складу яких входять індуктивності обмоток якоря L, активні опори якоря Rm та керовані

джерела ЕРС обертання e_a, e_b, e_c , що наводяться в обмотках СГПМ. Кожне джерело ЕРС зашунтовано активним опором R_s , що еквівалентно відображає втрати в сталі. Визначення значень ЕРС в координатах d-q відбувається за такими рівняннями:

$$e_d = \omega_r p(\Phi_0 + L_d i_d), \quad (4)$$

$$-e_q = \omega_r p L_q i_q, \quad (5)$$

де i_d, i_q – струми у вітках ЕРС прийняті шляхом перетворення з нерухомих (фазних) координат в обертві координати d-q.

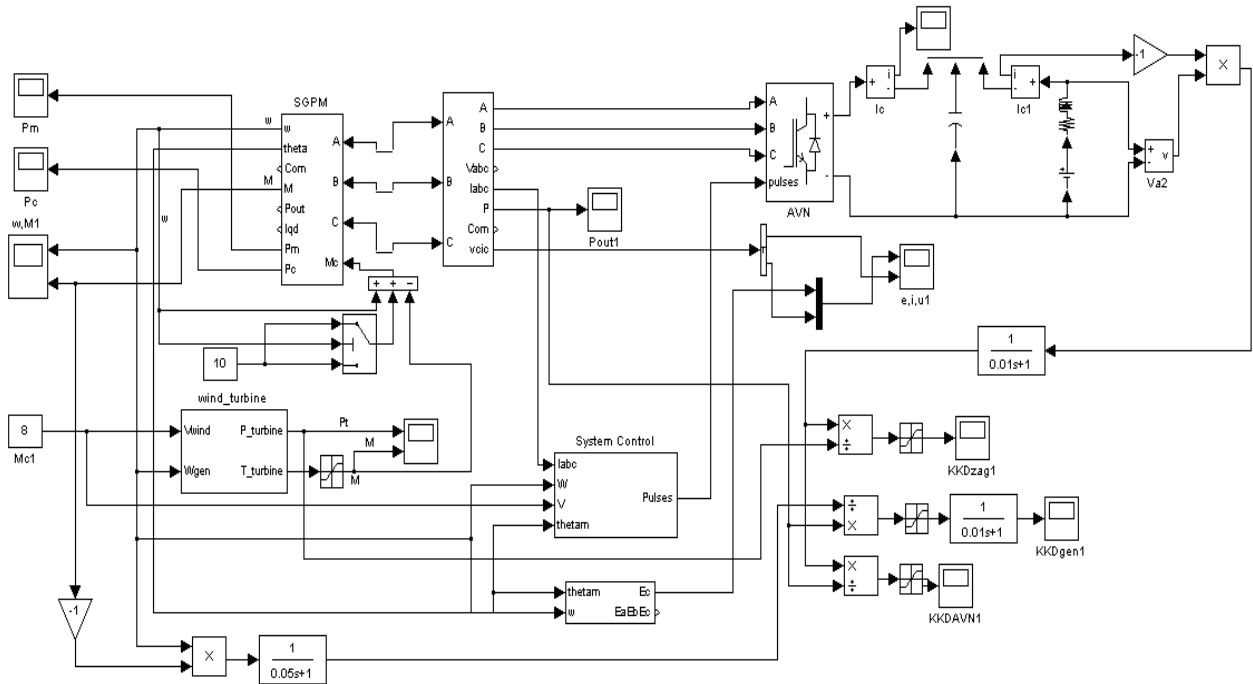


Рис. 2. Комп'ютерна модель ВЕУ з системою векторного керування навантаженням СГПМ

Для безпосереднього керування ЕРС в кожній вітці було використано зворотне перетворення з координат d-q у фазні координати abc. Визначення механічних параметрів СГПМ відбувається за такими рівняннями:

$$\left\{ \begin{array}{l} P = i_a \cdot e_a + i_b \cdot e_b + i_c \cdot e_c \\ M = \frac{P}{\omega} \\ \omega = \frac{M - M_C}{pJ} \end{array} \right. , \quad (6)$$

де P – вихідна активна потужність генератора; M – електромагнітний момент генератора; M_C – статичний момент навантаження ВЕУ; J – момент інерції ВЕУ; p – оператор диференціювання.

На основі комп'ютерної моделі, яка є наведена на рис. 2, було досліджено два алгоритми керування: традиційний та з врахуванням втрат у сталі. Дослідження були проведені на СГПМ з заформованими постійними магнітами, оскільки розроблений алгоритм показав кращі енергетичні показники саме для такого генератора. Попередньо було проведено дослідження алгоритму керування АВН на основі вже отриманого оптимального рівняння (3). Використання цього рівняння не показало найкращі енергетичні показники, оскільки під час його отримання не враховувалось в'язке та сухе тертя на валу генератора, комутаційні втрати в АВН, робота ШІМ. Для визначення оптимального режиму роботи з врахуванням цих факторів, які відображаються віртуальною

моделлю системи, було проведено низку комп'ютерних досліджень з метою отримання максимальної вихідної потужності. У результаті досліджень було отримано рівняння оптимального керування

$$I'_{d,opt}(\omega) = -0,9523 - 1,04465 \omega + 0,3007 \omega^2. \quad (7)$$

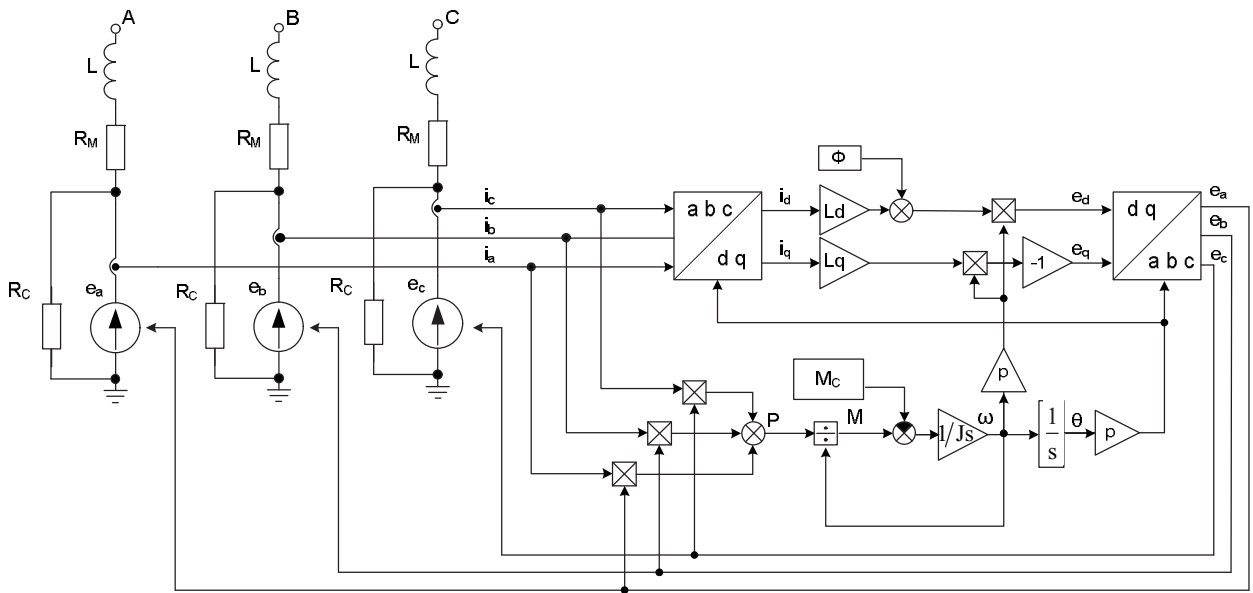


Рис. 3. Віртуальна модель СГПМ з врахуванням втрат у сталі

Результати моделювання у вигляді залежностей ККД генератора та загального ККД системи від швидкості вітру наведені на рис. 4.

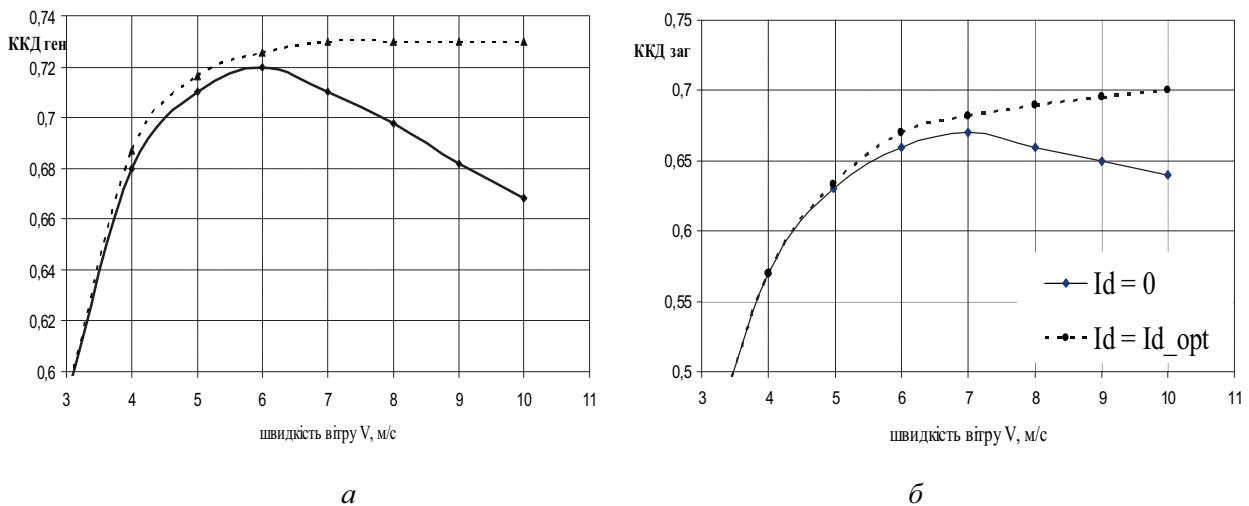


Рис. 4. Енергетичні показники СГПМ (а) та усієї електромеханотронної системи ВЕУ (б) за різних способів керування: традиційного – суцільні лінії, оптимального – пунктирні лінії

Висновки

Розроблена віртуальна комп'ютерна модель електромеханотронної системи ВЕУ дає змогу визначити уточнене рівняння оптимального керування навантаженням СГПМ з врахуванням реальних механічних та електричних втрат в елементах ВЕУ.

Алгоритм оптимального керування за мінімумом втрат в СГПМ дає змогу підвищити значення ККД генератора та відповідно усієї системи, починаючи з середніх швидкостей вітру. На

великих швидкостях вітру зростання ККД усієї системи досягає 6 % порівняно з традиційним керуванням зі спрямуванням вектора лінійного струму якоря за вектором ЕРС.

1. Мокін Б.І. До питання вибору вітрових двигунів і електричних генераторів вітрових електричних станцій / Б.І. Мокін, О.Б. Мокін, О. А. Жукова // Вісн. Вінницьк. політехн. ін-ту. – 2007. – № 6 – С. 52–56 2. Щур І.З. Багатофункціональне керування активним випрямлячем в локальній вітроенергетичній системі з вертикальною віссю обертання / І.З. Щур, О.Р. Турленко // Вестн. Нац. ун-та «Харьк. політехн. ін-т». – Вып. 30: Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. – Харьков, 2008. – С. 418–420. 3. Щур І.З. Енергетична ефективність різних способів відбору потужності від синхронного генератора з постійними магнітами у вітроенергоустановці / І.З. Щур, О.Р. Турленко // Вісн. Нац. ун-ту «Львівська політехніка». – 2009. – № 654. – С. 272–277. 4. Щур І.З. Оптимальне керування електричним навантаженням синхронного генератора з постійними магнітами у вітроенергоустановці / І.З. Щур, О.Р. Турленко // Наук.-тех. журн. «Електроінформ» «Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика». – Львів, 2009. – С. 321–325.

УДК 629.313.33

Б.М. Харчишин

Національний університет “Львівська політехніка”,
СКБ електромеханічних систем

СПОСІБ ПОКРАЩАННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДАВАЧІВ ОБМЕЖЕНОГО КУТА ПОВОРОТУ

© Харчишин Б.М., 2010

Описано спосіб намотування вихідних обмоток давачів обмеженого кута повороту, який спрощує технологію виготовлення, вирівнює їх поточкозчеплення розсіяння, що покращує метрологічні характеристики. Запропоновано методику розрахунку обмоткових даних.

The method of target windings reeling in the gauges with limited rotation angle is described, which simplifies their production, levels the magnetic flux linkage dispersion that improves metrological characteristics. The technique of winding data calculation is provided.

Вступ

У сучасних електроприводах систем слідкування дедалі частіше застосовуються індукційні давачі обмеженого кута повороту (ДК) з трансверсною магнітною системою, які за повної відсутності реактивного моменту дозволили значно розширити діапазон вимірюваних кутів [1]. Дія такого давача кута ґрунтується на зміні коефіцієнтів взаєміндукції між його обмоткою збудження та сигнальними обмотками залежно від кутової координати положення якоря. Конструктивно трансверсна магнітна система забезпечує протікання потоків збудження у площинах, що проходять через вісь повертання пасивного ротора.

У таких ДК обмотка збудження й сигнальні обмотки вкладаються в тангенційні пази магнітопроводу статора. Найпростіша структура магнітної системи ДК трансверсного типу показана на рис. 1.