

УДК 621.314

## УДОСКОНАЛЕННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНОГО АГРЕГАТУ ДЛЯ АВТОНОМНОЇ ВІТРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ

Шавьолкін О. О., Щипков Р. Р.

Київський національний університет технологій та дизайну

*У статті розглядається удосконалена структура перетворювального агрегату з використанням універсального перетворювача постійної напруги. Показана доцільність використання на виході вітрогенератора активного випрямляча напруги, що сприяє покращенню гармонічного складу струму. Обґрунтовано вибір параметрів схеми. Здійснено моделювання у програмному пакеті MATLAB, що підтверджує працездатність запропонованих рішень.*

**Ключові слова:** вітроелектростанція малої потужності, вітрогенератор, перетворювач постійної напруги, активний випрямляч напруги, релейний регулятор струму, регулятор напруги, універсальний перетворювач постійної напруги, двоконтурна система регулювання струму, моделювання

Питання покращення показників автономної вітроелектростанції малої потужності пов'язано з удосконаленням схеми перетворювального агрегату (ПА). Змінювання швидкості вітру у значних межах обумовлює те, що вихідна напруга вітрогенератору (синхронний генератор (СГ) з постійними магнітами) теж змінюється. У разі наявності акумуляторної батареї (АКБ) для використання за малої швидкості вітру виникає питання підвищення напруги, за великої швидкості – зниження напруги. Отже вихідний перетворювач повинен бути універсальним. Використання некерованого випрямляча на діодах спотворює форму струму, що споживається від вітрогенератору (ВГ), обумовлює додаткові втрати енергії. Застосування активного випрямляча напруги (АВН) забезпечить синусоїдальну форму струму і дозволяє регулювати навантаження СГ (гальмівний момент) у процесі розгортання ротору. Використання АВН в умовах змінної амплітуди і частоти напруги СГ має певні особливості і є недостатньо вивченим. Це стосується і інших питань. Так, наявність в схемі ПА декількох перетворювачів постійної напруги: універсального на виході АВН для підключення АКБ і підвищувального зі стабілізацією вихідної напруги для підключення вихідного інвертора обумовлює питання щодо узгодження їхньої роботи і забезпечення відбору певної потужності (струму) від СГ.

### ***Постановка завдання***

Забезпечення ефективного використання енергії ВГ незалежно від швидкості вітру із зменшенням втрат енергії у силових колах перетворювального агрегату автономної вітроелектростанції

- обґрунтування структурної схеми ланки постійного струму перетворювального агрегату;
- визначення параметрів силових кіл і системи керування;
- розробка математичних моделей і імітаційне моделювання

### ***Результати дослідження***

Розглянемо варіант вітроелектростанції з потужністю 3÷5 кВт, що є достатнім для живлення, наприклад, окремого котеджу. Вітрогенератори такої потужності наприклад типу ALT-2000, EuroWind2 [1] за номінальної швидкості вітру мають вихідну напругу 120÷240 В. У комплекті пропонується шість акумуляторних батарей з ємністю 200 А·год. Стандартна напруга АКБ становить  $U_{АКБ} = 12\div 14$  В. Розглянемо варіант виконання ПА для випадку, коли АКБ з'єднані послідовно. Загальна напруга за цього становитиме 72÷86 В, залежно від режиму роботи (заряджання або розряджання)

Використання АВН в умовах змінної амплітуди напруги на виході СГ залежно від швидкості вітру має певні особливості. Це потребує регулювання вихідної напруги на рівні, що перевищує поточне значення амплітуди лінійної напруги СГ на 10÷15%. Частота напруги СГ також змінюється і треба забезпечити роботу АВН на певній максимальній частоті. Напруга СГ з постійними магнітами є пропорційною кутовій швидкості ротору. У разі змінювання швидкості у робочому діапазоні від 4 м/с до 10 м/с напруга змінюється у 2.5 рази. Отже виникає питання узгодження напруги АВН і АКБ. В умовах змінювання напруги АВН доцільним виглядає використання універсального підвищувально-знижувального імпульсний перетворювач постійної напруги (ІПН).

Для нормальної роботи вихідного автономного інвертору напруги (АІН) з напругою 220 В необхідно щоб ПА забезпечував на виході напругу  $U_d = 320$  В. Для узгодження напруги АКБ з напругою АІН, що підключається до ПА використовується підвищувальний імпульсний перетворювач постійної напруги, коефіцієнт підвищення за цього близько 4, що цілком реально.

Структурна схема ПА наведена на рис. 1 і містить трифазний СГ, АВН, універсальний ІПН1, АКБ і підвищувальний ІПН2.

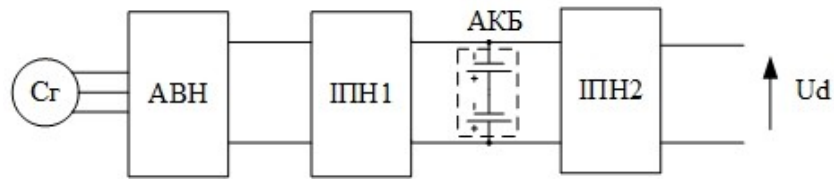


Рис.1. Структурна схема перетворювального агрегату

Схема силових кіл і системи керування ПА наведена на рис. 2. АВН виконаний за трифазною мостовою схемою на транзисторах зі зворотними діодами. Універсальний ПН1 складається з транзистору VT1, діоду VD1, реактору L1. Підвищувальний ПН2 складається з транзистору VT2, діоду VD2, реактору L2 і має вихідний конденсатор C2, що згладжує вихідну напругу. Для виміру струму використовують датчики BI1, BI2.

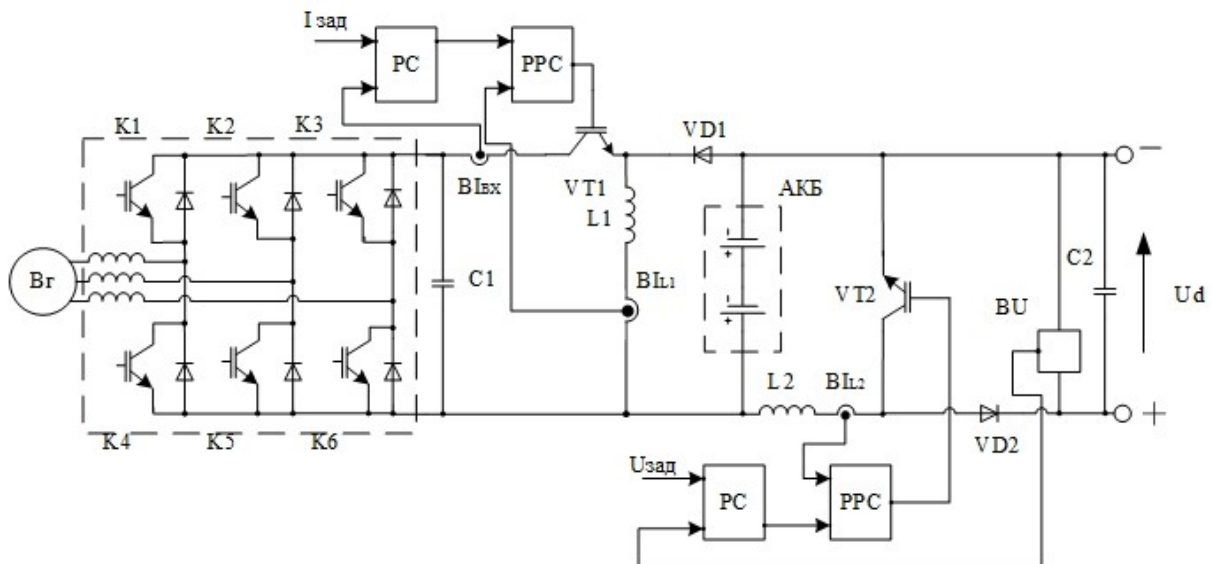


Рис. 2. Схема силових кіл і системи керування перетворювального агрегату

Керування АВН здійснюється з використанням релейного (гістерезисного) регулятора струму (PPC), завдання струму визначається пропорційно-інтегральним (ПІ) регулятором випрямленої напруги.

Для керування ПН також використано релейні (гістерезисні) регулятори струму (PPC), що мають високу швидкодію. Побудова структури системи керування має певні особливості. В схемі універсального ПН1 регулювання здійснюється у колі реактору, проте система побудована за підтриманням струму, що споживається від АВН. Це забезпечує контрольований відбір потужності СГ залежно від умов. Система

регулювання струму двоконтурна і містить зовнішній пропорційно-інтегральний (ПІ) регулятор вхідного струму (РС) і підпорядкований йому релейний регулятор струму (РРС) у колі реактору. Вихідна напруга ПІН1 визначається напругою АКБ. Для контролю струму використовуються датчики струму ВІ.

Функція ПІН2 забезпечити постійне значення вихідної напруги. Використано двоконтурну систему керування з зовнішнім контуром напруги з ПІ регулятором вихідної напруги (РН), що формує завдання струму для внутрішнього підпорядкованого контуру вхідного струму з РРС. Напруга контролюється датчиком напруги ВU.

Використано програмний пакет MATLAB. Структура розробленої математичної моделі перетворювального агрегату наведена на рис.3 і містить ВГ, в якості якого трифазне джерело змінного струму, ДС – датчики струму ВГ, трифазний АВН, ВU – датчик напруги, ПІН1, АКБ, в якості якого використано джерело постійної напруги DC з внутрішнім опором  $R_0$ , ПІН2, до якого підключено активний опір навантаження, що є еквівалентний вихідному інвертору.

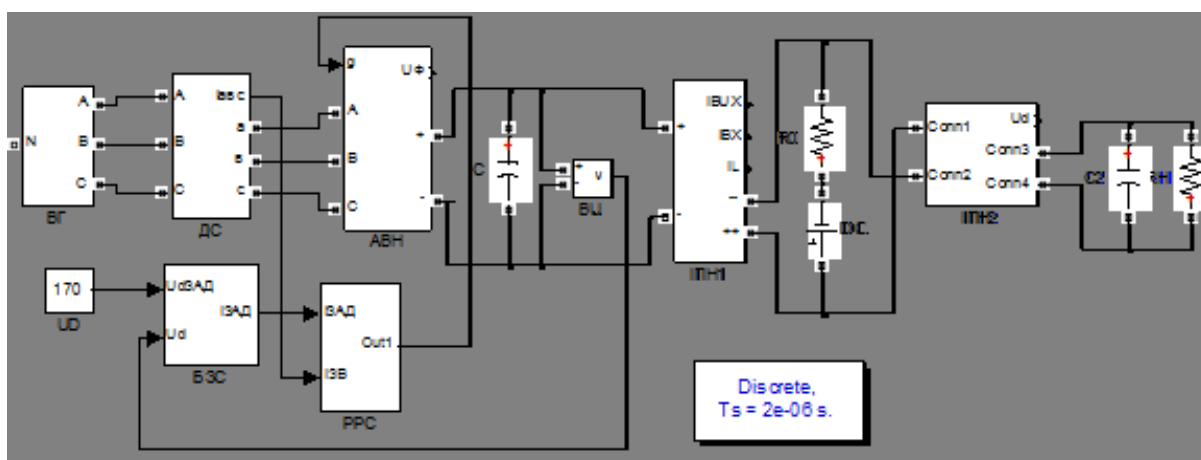


Рис. 3. Математична модель перетворювального агрегату

Осцилограми напруги і струму в колах схеми ПА наведені на рис. 3 ( $u_{ВГ}$ ,  $i_{ВГ}$  – вихідна напруга і струм ВГ,  $u_{АВН}$  – вихідна напруга АВН,  $u_{АКБ}$  – напруга АКБ,  $U_d$  – вихідна напруга ПА). Розглядалась робота за малої швидкості вітру (рис. 4, а), коли діюче значення лінійної напруги ВГ становить 17.3 В за частоти  $f = 66.6$  Гц, вихідна напруга АВН становить 30 В. У разі опору навантаження 683 Ом вхідний струм ПІН1 становить 5 А, що відповідає потужності ВГ 150 Вт.

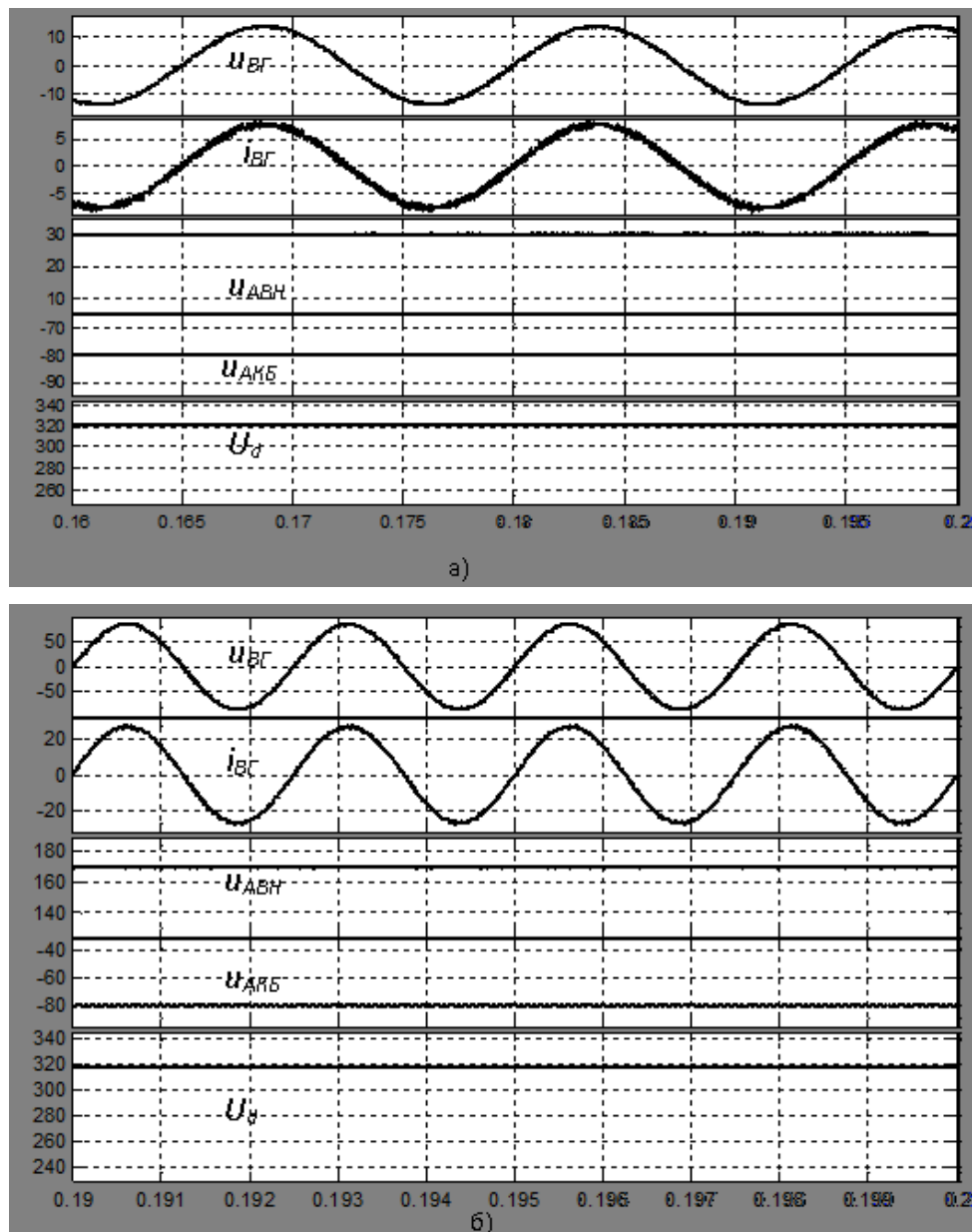


Рис. 4. Осцилограми напруги і струму в колах ПА: а) за малої швидкості вітру; б) за швидкості вітру близької до номінальної

Також розглядалась робота за швидкості вітру, що близька до номінальної (рис. 4, б), коли діюче значення лінійної напруги ВГ становить 104 В за частоти  $f=400$  Гц, вихідна напруга АВН становить 170 В. У разі опору навантаження 32 Ом вхідний струм ППН1 становить 20 А, що відповідає потужності ВГ 3400 Вт. Напруга АКБ підтримується близько 80 В. Отже, АВН в обох випадках забезпечує синусоїдальну форму струму, що споживається від ВГ.

**Висновки**

За послідовного з'єднання АКБ досягається підвищення напруги у ланці постійного струму із зменшенням коефіцієнта підвищення напруги вихідного перетворювача. За цих умов є доречним використання універсального знижувально-підвищувального перетворювача на виході вітрогенератора, напруга якого змінюється у широких межах. Подальшим напрямом работ є удосконалення системи регулювання потужності вітрогенератора із виключенням перезаряджання і глибокого розряджання АКБ для збільшення терміну її експлуатації.

**Список використаних джерел**

1. БЕКАР. Ветро-солнечная система. [Electronic resource]. – <http://www.ra-energo.ru/vetro/>
2. Шавьолкін О. О. Силові напівпровідникові перетворювачі енергії: навч. посібник [Текст] / О. О. Шавьолкін; Харків. нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – 403 с.

**References**

1. БЕКАР. Vetro-solnechnaia systema. [Electronic resource]. – <http://www.ra-energo.ru/vetro/>
2. Shavolkin O. O. Sylovi napivprovidnykovi peretvoriuvachi enerhii: navch. posibnyk [Tekst] / O. O. Shavolkin; Kharkiv. nats. un-t. misk. hosp-va im. O. M. Beketova. – Kharkiv: KhNUMH im. O. M. Beketova, 2015. – 403 s.

***Усовершенствование преобразовательного агрегата для автономной ветроэлектростанции малой мощности***

***Шавьолкін А. А., Щипков Р. Р.***

*Київський національний університет технологій та дизайну*

*В статті розглядається удосконалена структура преобразовательного агрегата з використанням універсального преобразователя постійного напруги. Показана цілесобразність використання на виході вітрогенератора активного випрямителя напруги, сприяє покращенню гармонічного складу струму. Обґрунтовано вибір параметрів схеми. Здійснено моделювання в програмному пакеті MATLAB, що підтверджує придатність запропонованих рішень.*

**Ключевые слова:** ветроэлектростанция малой мощности, ветрогенератор, преобразователь постоянного напряжения, активный выпрямитель напряжения, релейный регулятор тока, регулятор напряжения, универсальный преобразователь постоянного напряжения, двухконтурная система регулирования тока, моделирование

***Improving converter unit of the autonomous wind low power station***

***Shavelkin A. A., Shchypkov R. R.***

*Kyiv National University of Technology and Design*

*The article considers upgraded structure converter unit using customized inverter DC voltage. Expediency of using on the output wind generator, the active of rectifier voltage, contributes to the improvement current harmonic composition. Substantiated selection parameters the circuit. Realized modeling in a program MATLAB package, which confirms the operability of proposed solutions.*

**Keywords:** *Wind power stations of low power, DC voltage converter, the active voltage rectifier, Relay the current controller, voltage regulator, universal direct voltage converters, dual-circuit system of current regulation, modeling*