



**Жук  
Олександр  
Кирилович**

УДК 62.396  
У66

## CONTROL OF HIGH-VOLTAGE DIRECT CURRENT TRANSMISSIONS BASED ON REGULATED SEMICONDUCTOR CONVERTERS

КЕРУВАННЯ ВИСОКОВОЛЬТНИМИ ПЕРЕДАЧАМИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ НА БАЗІ ПОВНІСТЮ КЕРОВАНИХ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

DOI 10.15589/SMI. 2018.01.09

**Oleksandr K. Zhuk** О. К. Жук, канд. техн. наук, доц.<sup>1</sup>  
akzhuk2@gmail.com  
ORC ID: 0000-0002-9069-475X

**Iryna Y. Zhuk** І. Ю. Жук, старший викладач<sup>2</sup>  
irina\_g2@ukr.net  
ORC ID: —

**Dmytro O. Zhuk** Д. О. Жук, канд. техн. наук, доц.<sup>1</sup>  
vicedirector2012@gmail.com  
ORC ID: 0000-0001-9782-1822

**Dmytro V. Kryvoruchko** Д. В. Криворучко, асистент каф. СЕЕС<sup>1</sup>  
dmitry.gpspeed@gmail.com  
ORC ID: 0000-0002-8670-8872

**Kateryna A. Voskoboienko** К. А. Воскобоєнко, асп.<sup>1</sup>  
—  
ORC ID: —

<sup>1</sup>*Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Nikolaev*

<sup>2</sup>*Petro Mogila Black Sea National University*

<sup>1</sup>*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв*

<sup>2</sup>*Чорноморський національний університет ім. Петра Могили*

**Abstract.** The main types and directions of development of high-voltage direct current (HVDC) transmissions and its synchronization methods are considered. General scheme of control system of modern HVDC transmissions based on voltage inverters is created. The composition and assignment of HVDC regulators are defined. The algorithm of regulator parameters definition is proposed.

**Keywords:** high-voltage direct current (HVDC) transmission, synchronization, phase-locked loop (PLL) system, voltage regulator, power regulator

**Анотація.** Рассмотрены основные виды и направления развития высоковольтных передач постоянного тока (ВППС) и способы их синхронизации, создан обобщенную схему системы управления современными ВППС на базе автономных инверторов напряжения, определены состав и назначение регуляторов, которые составляют основу систем управления ВППС, предложен общий алгоритм определения параметров соответствующих регуляторов.

**Ключові слова:** высоковольтные передачи постоянного тока (ВППС), синхронизация, фазовая автоподстройка частоты (ФАПЧ), регулятор напряжения, регулятор мощности

**Анотація.** Проведен аналіз можливості забезпечення скомпенсованого режиму роботи синхронного генератора продольно-поперечного возбуждения за счет регулирования в поперечной оси по активной составляющей тока нагрузки. Предложена формула для аналитического определения коэффициента обратной связи по активной составляющей тока нагрузки с целью компенсации поперечной реакции якоря и поддержания угла вылета ротора равным нулю.

**Ключевые слова:** синхронный генератор; продольно-поперечное возбуждение; поперечная реакция якоря; активный ток нагрузки.



**Жук  
Ірина  
Юрїївна**



**Жук  
Дмитро  
Олександрович**



**Криворучко  
Дмитро  
Вікторович**



**Воскобоєнко  
Катерина  
Андріївна**

## References

- Жук Д.О. Модель системи електрозабезпечення морських бурових платформ на базі високовольтної передачі постійного струму. Технічна електродинаміка. Тематичний випуск. Проблеми сучасної електротехніки (ПСЕ). К.: 2008 – С. 72 – 75.
- C. Du, The control of VSC-HVDC and its use for large industrial power systems. PhD thesis, Department of Electric Power Engineering, Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden, 2003.
- IEC 61000-3-7: Electromagnetic compatibility (EMC)," tech. rep.
- S. Chandhary, R. Teodorescu, P. Rodriguez, P. Kjaer, and P. Christensen, Modelling and simulation of VSC-based HVDC connection for o\_shore wind power plants," Ph.D. Seminar on detailed Modelling and Validation of Electrical Components and Systems, pp. 53 {57, 2010.
- C. Du, A. Sanino, and M. Bollen, Analysis of the control algorithms of voltage source converter HVDC," Power Tech, IEEE Rusia, pp. 1-7, 2005.
- A. Timbus, Grid Monitoring and Advanced Control of Distributed Power Generation Systems. PhD thesis, Aalborg University, Institute of Energy Technology, Denmark, May 2007.
- Поссе А.В. Схемы и режимы электропередач постоянного тока. – Л.: Энергия, 1973 – 303 с.
- A.Yazdani and R.Iravani, Voltage Source Converters in Power Systems. John Wiley & Sons, March 2010. ISBN: 978-0-470-52156-4.
- M. Kazmierkowski, R. Krishnan, and F.Blaabjerg, Control in Power Electronics - Selected Problems. Academic Press, 2002.
- F. Blaabjerg, R. Teodorescu, M. Liserre, and A. Timbus, \Overview of control and grid synchronization for distributed power generation systems," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 53, pp. 1398 - 1409, 2006.
- R. Song, C. Zheng, R. Li, and X. Zhou, \Vscs based hvdc and its control strategy," IEEE/PES Transmission and Distribution, pp. 1-6, 2005.
- E. Ceanga, C. Nichita, L. Protin, and N. Cutululis, Theorie de la Commande des Systemes. Ed. Tehnica, Bucuresti, 2001.
- W. Leonhard, Control of Electrical Drives, Third Edition. Springer, 2001. ISBN 3-540-41820-2.
- A. Lindberg, PWM and Control of Two and Three Level High Power Voltage Source Converters. PhD thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 1995.
- M. Delghavi and A.Yazdani, A control strategy for islanded operation of a distributed resource (dr) unit," Power and Energy Society General Meeting, PES '09. IEEE, pp. 1-8, 2009.
- L.Xu, B.W.Williams, and L.Yao, Multi-terminal dc transmission systems for connecting large o\_shore wind farms," Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, IEEE, pp. 1-7, 2008.

**Вступ.** В сучасних «легких» [1] високовольтних передачах постійного струму (ВППС) з перетворювальними підстанціями (ППС) на базі автономних інверторів напруги (АІН), які з'єднують об'єкти морського і берегового розташування (рис.1), керування процесами передачі електроенергії аналогічне до класичних ВППС. Регулювання активної потужності здійснюється на боці ППС2, а постійної напруги — на боці ППС1 [2], [7].

У випадку передачі електроенергії між двома мережами змінного струму, потік потужності може бути двоспрямованим. Проте, в системах ВППС, які використовуються для вітрової електроенергетики з вітровими електростанціями (ВЕС) морського базування, потік активної потужності є односпрямованим (потужність генерована ВЕС передається від ППС2 до наземної електричної мережі через ППС1).

Однією з найважливіших переваг ВППС на базі АІН з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ) є можливість незалежного керування активною і реактивною потужністю [3]. Тобто, величину реактивної потужності можна регулювати окремо на боці кожного з перетворювачів. Керування потоком активної потужності може здійснюватись шляхом зміни напруги у кабельній лінії постійного струму або зміною частоти на боці змінного струму [2].

Традиційні (тиристорні) ВППС мають природну затримку керування на часовий інтервал, що дорівнює половині періоду напруги кожної із з'єднаних мереж. Природна затримка керування сучасними ВППС значно менша. Вона визначається періодом ШІМ, що становить  $10^{-4}$  с. Тому принципи керування сучасними ВППС повинні бути узгодженими з високою природною швидкістю перетворювальних підстанцій.

Метою роботи є пошук рішень щодо структурної організації систем керування (СК) сучасними ВППС в цілому та визначення складу і призначення регуляторів, які складають основу таких СК, пошук найбільш ефективних регуляторів напруги, струму і потужності, які входять до складу СК ВППС.

Схема ВППС наведена на рис. 1. Вона включає дві перетворювальні підстанції (ППС1, ППС2) на базі автономних інверторів напруги (АІН) із загальною нейтраллю, сполучені кабельною лінією (КЛ) постійного струму. Для захисту від гармонік на боці змінного струму використовуються вхідні реактори (ВР) з параметрами  $R$ ,  $L$  і фільтрокомпенсуючі пристрої (ФКП1, ФКП2). Конденсатори  $C1$ ,  $C2$  на боці постійного струму кожної ППС призначені для зниження пульсацій постійної напруги і підтримки потрібного її рівня при короткочасних провалах напруги в мережі змінного струму. Лінійна напруга мережі змінного струму і напруга на боці постійного струму ППС відповідно —  $U_s$ ,  $U_c$ ; СК1, СК2 — системи керування кожною з ППС.

У ВППС ВЕС морського базування система керування (СК) ППС2 регулює змінну напругу і частоту, а СК ППС1 — постійну напругу і реактивну потужність (або напругу на боці змінного струму) [4].

Структура СК для ВППС на базі АІН формується на основі внутрішнього швидкісного контуру керування струмом та зовнішніх контурів керування, які залежать від режиму роботи ППС [2],[5]. Основою СК ВППС на базі АІН є швидкий внутрішній контур керування змінним струмом.

Зворотні зв'язки за змінним струмом забезпечуються зовнішніми регуляторами [5]. До більш повільних зовнішніх регуляторів відносяться: регулятор постійної напруги, регулятор змінної напруги, регулятор активної потужності, регулятор реактивної потужності, регулятор частоти.

Отже, зворотній зв'язок за активним струмом може бути отриманий від регулятора постійної напруги, регулятора активної потужності або регулятора частоти. В той же час, зворотній зв'язок за реактивним струмом – від регулятора реактивної потужності або регулятора змінної напруги [2].

Для ВППС морського базування вихідні значення регуляторів струму отримують наступним чином: на ПП2 регулятор змінної напруги задає вихідні зна-

чення для активного і реактивного струму, а на ПП1 регулятор постійної напруги вихідне значення для регулятора активного струму і регулятора реактивної потужності або регулятора змінної напруги для реактивного струму.

Не всі регулятори можуть працювати одночасно [2] і [5]. Вибір зовнішніх регуляторів здійснюється у залежності від технічних вимог. Загальна структура керування ВППС показана на рис. 2.

На рис.2 прийняті наступні позначення: ТР1, ТР2 — силові трансформатори; СКП — «паразитна» ємність кабельних ліній; LBP1, LBP2 — індуктивності вхідних реакторів АІН у складі ППС1, ППС2 відповідно.

Синхронізація з мережею змінного струму — важлива і необхідна функція керування перетворювачем у складі ППС. Алгоритм синхронізації здатний виявити фазовий кут напруги мережі з метою синхронізації потужності, яка передається. Крім того, кут зсуву фаз грає важливу роль в контролі, який використовується в різних модулях перетворення, таких як перетворення Парка.

Для знаходження фазового кута використовують наступні методи: виявлення перетину нуля, фільтрацію мережевої напруги і метод фазового автоматичного підстроювання частоти (ФАПЧ) [6].

Метод ФАПЧ здатний забезпечити синхронізацію вихідного сигналу з опорним вхідним сигналом по частоті і фазі [6]. Призначений цей метод для синхронізації вихідного струму інвертора з напругою мережі, щоб отримати одиничний коефіцієнт потужності.

Структурна схема для реалізації ФАПЧ, реалізованого в синхронній системі координат, представлена на рис.3.

Вхідними даними для моделі ФАПЧ є три фазні напруги, вимірювані на боці мережі живлення, а виходом є фазовий кут, який відстежується. Модель ФАПЧ реалізується в системі синхронних  $dq$  координат, що вимагає перетворення Парка. Захоплення фази системи відбувається шляхом контролю напруги по осі  $q$  до нуля. Як правило, для цієї мети використовується ПІ-регулятор. Інтегруючи суму виходу ПІ-регулятора і опорної частоти можна отримати кут фази.

Передавальна функція системи  $dq$  ФАПЧ задається співвідношенням

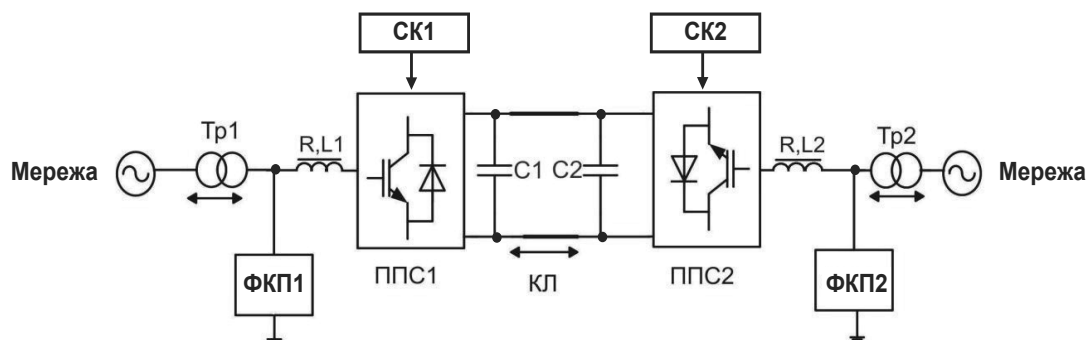


Рис. 1. Узагальнена схема ВППС на базі АІН

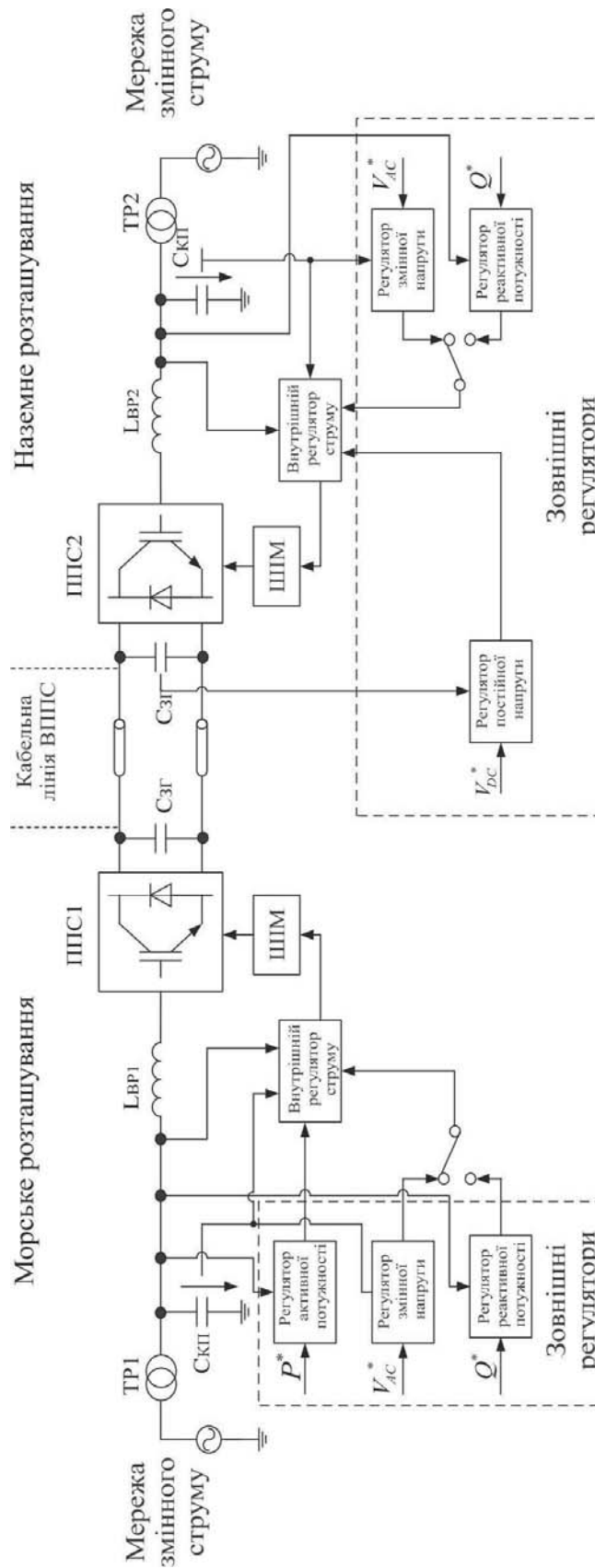


Рис. 2. Загальна структура керування ВПРС на базі АІН

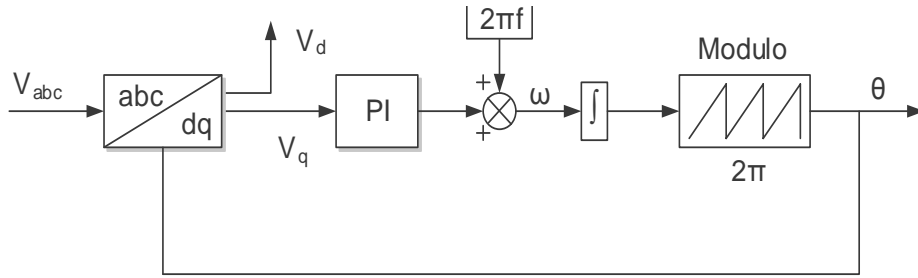


Рис. 3. Блок-схема ФАПЧ

$$H(s) = \frac{k_p s + k_p / T_i}{s^2 + k_p s + k_p / T} \quad (1)$$

Таке рівняння аналогічне передавальній функції другого порядку, що показано в наступному виразі:

$$G(s) = \frac{2\zeta\omega_n \cdot s + \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n \cdot s + \omega_n^2} \quad (2)$$

Порівняння (1) і (2) дає можливість отримати коефіцієнт підсилення регулятора. Для того, щоб розрахувати параметри регулятора прийнято: час стабілізації  $T_{set}$  від 0.04 секунд, коефіцієнт демпфування  $\zeta = 1/\sqrt{2}$ .

Параметрів ПІ-регулятора можна обчислити наступним чином

$$k_p = 2\zeta\omega_n = \frac{9,2}{T_{set}} \quad (3)$$

$$T_i = \frac{T_{set}^2}{2,3} \quad (4)$$

Де частота  $\omega_n$  визначається за формулою:

$$\omega_n = \frac{4,6}{T_{set}\zeta} \quad (5)$$

Фазовий кут напруги мережі, отриманий за допомогою описаного алгоритму ФАПЧ позначено на рис.4.

**Реалізація кола керування постійним струмом (ПС).** Для схеми ВППС (рис.1) внутрішній регулятор струму реалізується в синхронній dq системі координат [3–5]. Як правило, структури з перетворен-

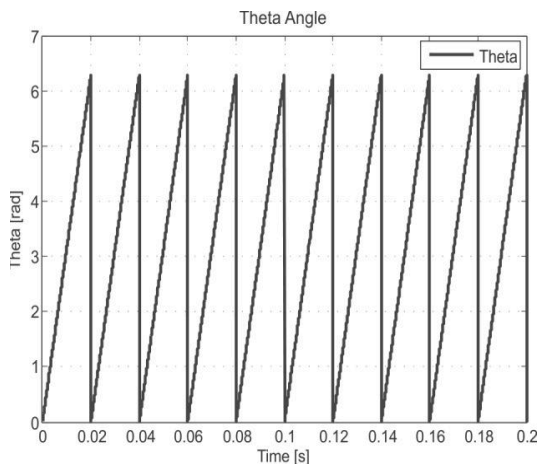


Рис. 4. Кут фази напруги мережі

ням в  $dq$  координати включають ПІ (ПІ)-регулятори, оскільки вони забезпечують необхідні характеристики при регулюванні змінних постійного струму [10]. Однак, згідно з [9], ПІ-регулятори струму не дозволяють якісно керувати складними системами, такими, як ВППС. Для поліпшення характеристик ПІ-регулятора струму у складі СК ВППС використовуються перехресні зв'язки та позитивний зв'язок за струмом [9–11]. Структура внутрішнього регулятора струму, реалізованого в синхронній системі відліку представлена на рис. 5.

Внутрішні контури для  $d$  і  $q$  складових струму мають однакову структуру і динаміку, тому налаштування регулятора струму приведені тільки для  $d$ -вісі.

Схема контуру керування представлена на рис. 6. Зв'язок між  $d$  і  $q$  вісями, а також позитивний зв'язок за напругою відсутні, оскільки вони можуть вносити додаткові збурення в систему.

Відносно блоків, представлених на рис. 6, слід зазначити наступне:

- блок регулятора струму враховується передаточною функцією

$$G_{PC} = k_{pc} + \frac{k_{ic}}{s}, \quad (6)$$

де  $k_{pc}$  — пропорційне підсилення,  $k_{ic}$  — інтегральний коефіцієнт регулятора струму;

- блок затримки керування, що обумовлена дискретністю цифрового обчислення з аперіодичною передавальною функцією із постійною часу  $T_s = 1/f_s$

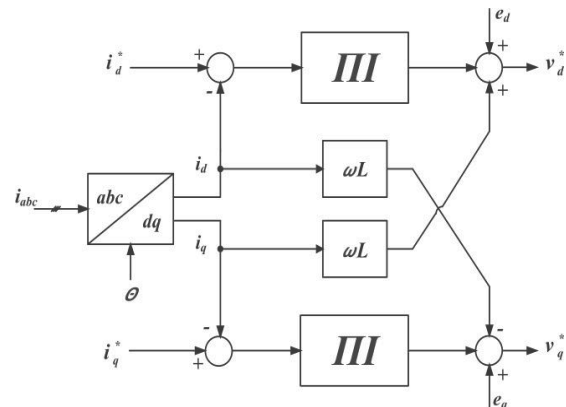


Рис. 5. Структура ПІ-регулятора струму, реалізована у синхронній системі  $dq$  координат

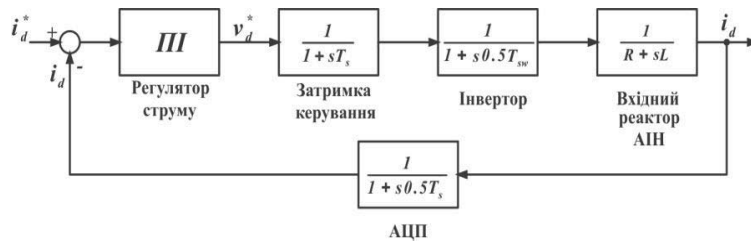


Рис. 6. Структурна схема контуру керування струмом

$$G_{ЗК} = \frac{1}{1 + sT_s} \quad (7)$$

де  $f_s = 8$  кГц — частота дискретизації;

• блок інвертора враховується аперіодичною передавальною функцією з постійною часу  $T_{PWM} = 1/f_{PWM}$

$$G_{Інс} = \frac{1}{1 + s0,5T_{PWM}} \quad (8)$$

де  $f_{PWM} = 8$  кГц — частота комутації;

• вхідні реактори АІН спрощено враховуються передавальною функцією

$$G_{АД} = \frac{1}{R + sL} \quad (9)$$

де  $L$  — індуктивність фільтра;  $R$  — власний опір.

При нехтуванні власним активним опором, рівняння (4) приймає вигляд

$$G_{АД} = \frac{1}{sL} \quad (10)$$

• блок АЦП представлено передавальною аперіодичною функцією першого порядку з постійною часу  $0,5T_s$

$$G_{АЦП} = \frac{1}{1 + s0,5T_s} \quad (11)$$

Налаштування регулятора постійного струму виконується в два етапи. По-перше, аналітичним методом попередньо визначаються параметри регулятора за критерієм оптимального модуля [12]. По-друге, використовуючи пакет SISOtool з Matlab/Simulink можна знайти кінцеві значення параметрів ПІ-регулятора.

**Регулятор постійної напруги.** Основна задача регулятора постійної напруги — підтримка напруги

в колі постійного струму ВППС у межах заданих значень. Регулятор постійної напруги використовується тільки на станціях ВППС берегового розташування і забезпечує на виході необхідне значення реактивного струму.

Блок-схема регулятора постійної напруги показана на рис.7.

**Налаштування регулятора постійної напруги.** Як і у випадку регулятора струму, для налаштування регулятора постійної напруги можна використовувати аналогічний алгоритм. А саме — використання аналітичного методу для налагодження регулятора постійної напруги за критерієм симетричного оптимуму [12, 13] з наступним отриманням кінцевих параметрів регулятора в пакеті SISOtool.

Одна з обов'язкових умов для забезпечення стабільності СК при налаштуванні зовнішніх регуляторів полягає в тому, що швидкодія зовнішнього регулятора (в даному випадку регулятор постійної напруги) має бути меншою за швидкодію внутрішнього регулятора (регулятора струму) [3].

**Контур регулювання активної потужності.** У якості регулятора активної потужності можна використати пропорційний П-регулятор. Отже, активний струм визначається рівняннями миттєвої активної та реактивної потужностей [2]:

$$P = \dot{e}_d i_d + \dot{e}_q i_q \quad (12)$$

$$Q = u_q i_d - u_d i_q \quad (13)$$

Виходячи з цих рівнянь отримуємо еталонне значення струму по  $d$ -вісі

$$i_d^* = \frac{P^* u_d + Q^* u_q}{u_d^2 + u_q^2} \quad (14)$$

де  $P^*$ ,  $Q^*$  — відповідно еталонні значення активної і реактивної потужностей.

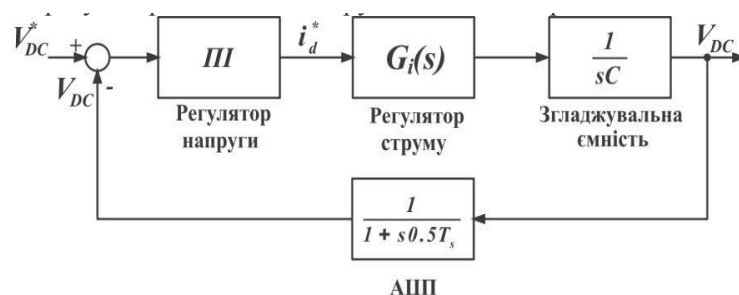


Рис. 7. Блок-схема контуру керування постійною напругою

Для більш точного керування активною потужністю можна використати ПІ-регулятор [2, 14]. Блок-схема ПІ-регулятора активної потужності представлена на рис. 8.

**Регулятор реактивної потужності.** Регулятор реактивної потужності аналогічний регулятору активної потужності, який був представлений раніше.

З рівнянь (12) та (13) отримуємо

$$i_q^* = \frac{P^* u_q + Q^* u_d}{u_d^2 + u_q^2}. \quad (15)$$

Для більш точного керування реактивною потужністю використовується структура представлена на рис. 9 [2].

**Регулятор змінної напруги.** У ВППС з АІН керування може здійснюватись на боці змінного струму. В науковій літературі описані основні способи керування змінною напругою. Перший спосіб передбачає керування змінною напругою з урахуванням падіння напруги на фазі вхідного реактора АІН [2, 5].

В роботах [8, 15, 16] пропонується інший спосіб — за рахунок керування напругою на конденсаторі фільтра  $C_f$ .

Крім позначених, можна запропонувати ще один спосіб, при якому сигнал керування змінною напругою виробляється в системі синхронних dq координат.

В [8], [15] зазначено, що контроль  $e_d$  і  $e_q$  є досить простим завданням. Схема керування  $e_d$  і  $e_q$  представлена на рис.10.

Схема на рис.10 показує, що зв'язок між  $e_d$  і  $e_q$  усувається за допомогою випереджаючого прямого зв'язку. Таким чином, механізм компенсації співпа-

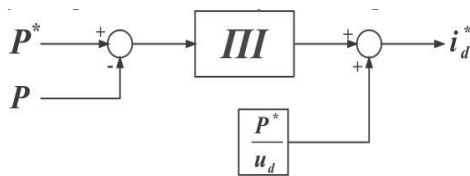


Рис. 8. ПІ-регулятор активної потужності

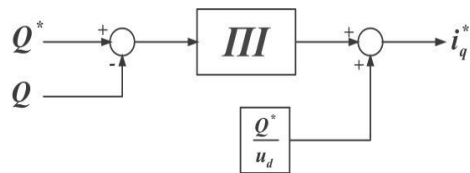


Рис. 9. ПІ-регулятор реактивної потужності

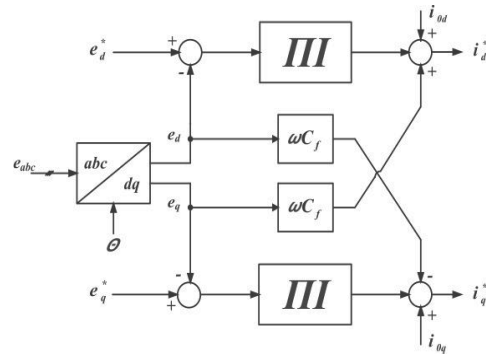


Рис. 10. Структура регулятора змінної напруги,реалізована в системі синхронних dq координат

дає з таким, що використовується для визначення  $I_d$  і  $I_q$  (рис. 2). Крім того, структура, представлена на рис.10 дозволяє незалежно керувати  $e_d$  і  $e_q$  через  $i_d^*$  та  $i_q^*$  відповідно [8, 15].

Зовнішні контури регулювання змінної напруги для dq координат мають однакову динаміку. Тому, параметри налаштування регулятора змінної напруги для d-вісі і параметри добротності для q-вісі приймаються аналогічними параметрам для d-вісі.

Схема регулювання змінної напруги представлена на рис. 11.

**Налаштування регулятора змінної напруги.**

Для налаштування ПІ-регулятора змінної напруги використовується алгоритм аналогічний алгоритму налагодження регулятора постійної напруги. Після виконання аналітичного розрахунку, остаточне визначення параметрів і виразу для такого ПІ-регулятора виконується в SISOtool.

**ВИСНОВКИ.**

1. Визначено стан та напрямки розвитку сучасних технологій у галузі високовольтних передач постійного струму.
2. Визначено особливості двох видів високовольтних передач постійного струму, які використовуються для зв'язку двох промислових мережами змінного струму і тих, які використовуються для реалізації комплексів вітрової електроенергетики з вітровими електростанціями (ВЕС) морського базування.
3. Розглянуто принципи синхронізації перетворювальних підстанцій, у складі високовольтних передач змінного струму з промисловими електричними мережами.
4. Складено узагальнену схему системи керування сучасними високовольтними передачами постійного струму на базі автономних інверторів напруги.

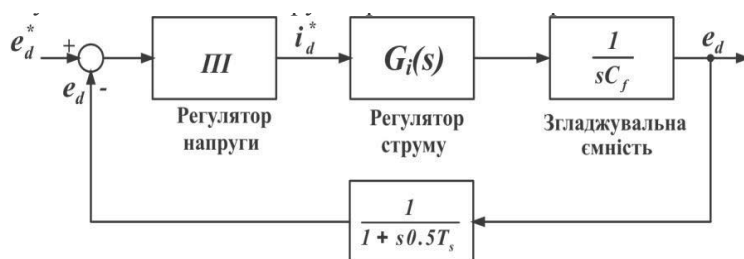


Рис. 11. Блок-схема контуру керування змінною напругою

5. Визначено склад і призначення регуляторів, які складають основу систем керування високовольтними передачами постійного струму у складі комплексів морської електроенергетики.

6. Визначено принципи і структурні схеми контурів керування постійними та змінними струмами і напругами та потужністю у високовольтних передачах постійного струму.

7. Запропоновано узагальнений алгоритм визначення параметрів відповідних регуляторів.

#### Список литературы

- [1] **Жук Д. О.** Модель системи електрозабезпечення морських бурових платформ на базі високовольтної передачі постійного струму. Технічна електродинаміка. Тематичний випуск. Проблеми сучасної електротехніки (ПІСЕ). К.: 2008 — С. 72 – 75.
- [2] **C. Du**, The control of VSC-HVDC and its use for large industrial power systems. PhD thesis, Department of Electric Power Engineering, Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden, 2003.
- [3] IEC 61000-3-7: Electromagnetic compatibility (EMC)," tech. rep.
- [4] **S. Chandhary, R. Teodorescu, P. Rodriguez, P. Kjaer, and P. Christensen**, Modelling and simulation of VSC-based HVDC connection for o\_shore wind power plants," Ph.D. Seminar on detailed Modelling and Validation of Electrical Components and Systems, pp. 53 {57, 2010.
- [5] **C. Du, A. Sanino, and M. Bollen**, Analysis of the control algorithms of voltage source converter HVDC," Power Tech, IEEE Rusia, pp. 1–7, 2005.
- [6] **A. Timbus**, Grid Monitoring and Advanced Control of Distributed Power Generation Systems. PhD thesis, Aalborg University, Institute of Energy Technology, Denmark, May 2007.
- [7] **Поссе А. В.** Схемы и режимы электропередач постоянного тока. – Л.: Энергия, 1973 – 303 с.
- [8] **A.Yazdani and R.Iravani**, Voltage Source Converters in Power Systems. John Wiley & Sons, March 2010. ISBN: 978-0-470-52156-4.
- [9] **M. Kazmierkowski, R. Krishnan, and F.Blaabjerg**, Control in Power Electronics - Selected Problems. Academic Pres, 2002.
- [10] **F. Blaabjerg, R. Teodorescu, M. Liserre, and A. Timbus**, Overview of control and grid synchronization for distributed power generation systems," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 53, pp. 1398 - 1409, 2006.
- [11] **R. Song, C. Zheng, R. Li, and X. Zhou**, Vscs based hvdc and its control strategy," IEEE/PES Transmission and Distribution, pp. 1-6, 2005.
- [12] **E. Ceanga, C. Nichita, L. Protin, and N. Cutululis**, Theorie de la Commande des Systemes. Ed. Tehnica, Bucuresti, 2001.
- [13] **W. Leonhard**, Control of Electrical Drives, Third Edition. Springer, 2001. ISBN 3-540-41820-2.
- [14] **A. Lindberg**, PWM and Control of Two and Three Level High Power Voltage Source Converters. PhD thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 1995.
- [15] **M. Delghavi and A.Yazdani**, A control strategy for islanded operation of a distributed resource (dr) unit," Power and Energy Society General Meeting, PES '09. IEEE, pp. 1-8, 2009.
- [16] **L.Xu, B.W.Williams, and L.Yao**, Multi-terminal dc transmission systems for connecting large o\_shore wind farms," Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, IEEE, pp. 1-7, 2008.

© О. К. Жук, І. Ю. Жук, Д. О. Жук та інші  
Статтю рекомендує до друку  
д-р техн. наук, проф. Г. В. Павлов

## ПРОФИЛЬНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ В УКРАИНЕ

**Всеукраинская научно-техническая конференция  
с международным участием**

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

**По вопросам участия в конференции обращайтесь в оргкомитет:**

**каб. 456, просп. Героев Украины, 9, г. Николаев, Украина, 54025  
+(380512)70-91-04; 70-91-00; fax: +(380512)43-07-95;  
e-mail: conference@nuos.edu.ua http://conference.nuos.edu.ua/**