

Якусевич Ю.Г., Тришин В.В., Дорофєєва З.Я., Лісовський С.В.

ДОСЛІДЖЕННЯ КЕРУЮЧИХ ВПЛИВІВ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ НА РЕЖИМ НАПРУГИ В СИСТЕМІ ВЗАЄМОДІЇ «БЕРЕГ – СУДНО»

Метою статті є дослідження керуючих впливів електрообладнання електричної мережі на режим напруги в системі взаємодії «берег – судно» для підвищення ефективності електропостачання підприємства водного транспорту. Поставлена мета досягається шляхом дослідження схеми заміщення через ділянки передачі електроенергії в системі взаємодії «берег – судно». Встановлено, що в якості таких ділянок передачі електроенергії в означеній системі можна розглядати, по-перше, ділянку від електроживлення до трансформатора, по-друге, силовий понижуючий трансформатор, по-третє, стандартний морський електричний кабель. Доведено, що у системі взаємодії між берегом та судном конденсаторна батарея та понижуючий трансформатор мають важливу роль у керуванні реактивною потужністю. Конденсаторна батарея компенсує реактивну потужність у мережі, а понижуючий трансформатор впливає на контроль реактивної потужності. Обидва методи керування мають однаковий за модулем, але протилежний за знаком, вплив на режим напруги під час перехідних процесів, що визначає різницю в їх впливі на систему. Найбільш суттєвим результатом дослідження є розробка схем заміщення через ділянки передачі електроенергії в системі взаємодії «берег – судно» з урахуванням запропонованих рівнянь для опису керуючих впливів електрообладнання електричної мережі. При цьому визначено, що негативний вплив, який контролюється батареєю конденсаторів, може негативно вплинути на режим передачі електроенергії. Зменшення напруги призводить до зниження виробленої батареєю конденсатора потужності пропорційно до квадрату напруги, що може призвести до недостатньої реактивної потужності в системі живлення та подальшого зниження напруги. Управління понижуючим трансформатором має позитивний вплив. Це означає, що зміна напруги в мережі на 1% викликає зміну споживання реактивної потужності на 2%. Таким чином, керуючий вплив понижуючого трансформатора має подвійний вплив на режим напруги в передачі: позитивний, який сприяє стабілізації напруги, та негативний, який перешкоджає зворотному регулюванню напруги.

Ключові слова: керуючий вплив, електрообладнання, електрична мережа, режим напруги, система взаємодії «берег – судно», схема, фідер

Постановка проблеми. Поточна ситуація в системі електропостачання підприємства водного транспорту показує, що необхідно враховувати електричні навантаження суден технічного флоту і плавучих засобів, що працюють в акваторії, при розробці системи електропостачання берегових об'єктів. Середньовольтні мережі, віддалені від промислових центрів регіонів, такі як порти і причали, мають низьку інтегральну характеристику, яка є рецептором якості електроенергії. Морські електроенергетичні системи також мають аналогічні показники. Однак нелінійні і різко змінні навантаження, які спостерігаються в судових електроенергетичних системах суден технічного флоту і плавучих засобів, призводять до неконтрольованої ескалації електромагнітної обстановки.

Наведені факти свідчать про те, що забезпечення координації постачання електроенергії на наземні та плавучі об'єкти є важливим аспектом підвищення енергоефективності. Важливим фактором такої координації є врахування керуючих впливів електрообладнання електричної

мережі на режим напруги в системі взаємодії «берег-судно». Отже, тема статті актуальна і вимагає уваги.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Багато вчених досліджують шляхи ефективності електропостачання підприємства водного транспорту [1 - 8].

Наприклад, у роботі [1] визначено, що споживання електроенергії причальними службами стрімко зростає і в даний час перевищує діапазон потужностей в 10 МВт на багатьох сучасних комерційних суднах. Можливість перекриття струму короткого замикання розподільного пристрою і кабелів, які обслуговують суднове навантаження в порту, диктує застосування середньовольтних систем розподілу електроенергії в діапазоні напруг від 5 до 21 кВ. Багато з потужних електричних навантажень середньої напруги повинні працювати під час розвантаження і завантаження суден в доці. У той самий час екологічні норми в багатьох морських портах (найбільші порти Каліфорнії є прикладом найжорсткіших вимог) не дозволяють суднам експлуатувати свої генератори всередині портів. Багато операторів суден і портів адміністрації борються з відсутністю відповідних стандартів і специфікацій для підключення судових сервісних вантажів до берегових систем розподілу електроенергії. У статті розглянуто сучасний стан та існуючі діючі стандарти підключення суден до берегових джерел живлення, перевірені способи підключення берегових джерел живлення та підходи до пом'якшення проблем, пов'язаних з джерелами живлення високої потужності та високої напруги.

У статті [2] зазначено, що розподіл постійного струму середньої напруги (MVDC) повністю електричної судової системи (АЕС) можна розглядати як функціонально складену з трьох підсистем, а саме джерел живлення, центрів навантаження та розподільних мереж. MVDC з використанням правильно розміщених вимикачів постійного струму. У цій статті наведено огляд обладнання силової електроніки, яке може бути придатним для використання в майбутніх системах живлення AES MVDC. Деякі галузеві експерименти щодо генераторних систем постійного струму, накопичувачів енергії та прототипів напівпровідникових автоматичних вимикачів постійного струму представлені в документі як приклади сучасних реалізацій. Також розглядаються різні перетворювачі постійного струму, які можуть використовуватися як твердотільні трансформатори, і пропонується структура, отримана шляхом їх об'єднання.

У роботі [3] визначено, що оскільки різні типи зберігання енергії (ES) продовжують проникати в електромережі, існує необхідність розширити традиційний аналіз, щоб охопити переглянуті показники продуктивності, пов'язані з гібридною системою зберігання енергії (HESS), яка має відповідну питому потужність, щільність енергії, час відгуку та стабільність напруги під навантаженням. У деяких критичних додатках, таких як судові енергетичні системи, рекомендується об'єднати два або більше типів систем для подолання перешкод іншого. Ця стаття математично моделює, оцінює та експериментально тестує три різних HESS з послідовною конфігурацією. Імпульсна реакція на постійне і імпульсне навантаження використовувалася для оцінки кожної моделі судової енергетичної системи. Надійність отриманої моделі і контролера була підтверджена експериментально за допомогою апаратної настрійки, що імітує профіль багатоімпульсного навантаження.

Але у відомій літературі відсутня узагальнена інформація проблем дослідження керуючих впливів електрообладнання електричної мережі на режим напруги в системі взаємодії «берег – судно».

Метою статті є дослідження керуючих впливів електрообладнання електричної мережі на режим напруги в системі взаємодії «берег – судно» для підвищення ефективності електропостачання підприємства водного транспорту.

Основні результати дослідження. Система електропостачання підприємства водного транспорту має у своєму складі різні підсистеми. Наприклад, однією з таких підсистем можна вважати фідер живлення в системі взаємодії «берег – судно» (СВБС), яка містить:

- силовий трансформатор;
- силовий кабель або повітряна лінія;
- стандартний судовий електричний кабель;

- головний розподільний щит;
- суднові електроприймачі та ін.

На рис. 1 наведена схема заміщення даного фідера, де:

- R_k, R_m, R_n ; X_k, X_m, X_n – відповідно, кабель активного і реактивного опору, трансформатор і штатний кабель;
- $\Delta P_{st}, \Delta Q_{st}$ – втрати активної і реактивної потужності в трансформаторній сталі;
- U_n – напруга живлення;
- P_u, Q_u – активна і реактивна потужність, що подається від джерела живлення в електричну мережу судна;
- P_n, Q_n – активна і реактивна потужність суднових електроприймачів;
- R_{st}, X_{st} – активні і реактивні опори, що характеризують відповідні втрати потужності в трансформаторній сталі;
- δU_o – додавання напруги на трансформатор;
- Q_n – реактивна потужність батареї конденсатора;
- БК – конденсаторна батарея, встановлена при високій напрузі в береговій електричній мережі;
- ПК – берегова живляча колонка;
- СЩЗД – силовий щит від зовнішнього джерела;
- ГРЩ – головний розподільний щит;
- СЕ – судновий електроприймач.

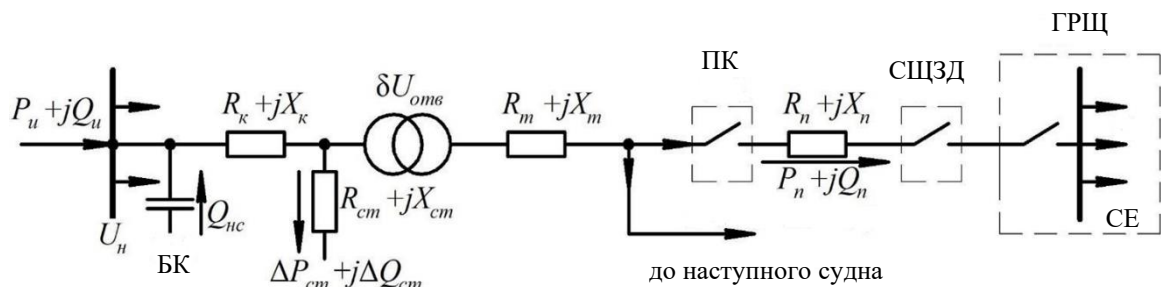


Рисунок 1 – Схема заміщення фідера електропередачі СВБС з спрямованими потоками потужності

Електричне обладнання та електричні кабелі, що використовуються для передачі електроенергії на СВБС, по-різному реагують на зміни напруги, тобто вони мають можливість контролювати та регулювати напругу. З метою виявлення керуючих впливів проводиться дослідження схеми заміщення (рис. 1), яке здійснюється через ділянки передачі електроенергії СВБС:

- перша ділянка – від електроживлення до трансформатора;
- друга ділянка – силовий понижуючий трансформатор;
- третя ділянка – стандартний морський електричний кабель.

При вивченні першої ділянки з положення керуючого впливу на напругу (рис. 2) не враховувалися такі фактори:

- реактивна потужність, вироблена потужностями фазних провідників електричного кабелю, не враховується через її значно нижчий рівень у порівнянні з реактивною потужністю, що генерується конденсаторною батареєю, що використовується для компенсації реактивної потужності;
- реактивна потужність, споживана індуктивністю кабелю, й активна потужність, споживана активним опором, істотно не впливають на режим напруги в мережі, так як втрати напруги не перевищують 2% від номінального значення;
- активна потужність, що використовується конденсаторною батареєю для виробництва реактивної потужності.

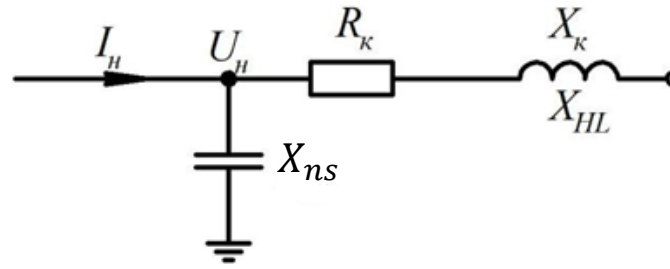


Рисунок 2 – Схема заміни перетину ділянок у вигляді постійних опорів

Реактивна потужність, використовувана батареєю конденсатора, визначається за формулою

$$Q_{ns} = -\frac{U_n^2}{X_{ns}}, \quad (1)$$

де X_{ns} – реактивний опір батареї конденсатора.

Управляючий вплив конденсаторної батареї за реактивною потужністю, що визначається як похідна від статичної характеристики в точці номінальної напруги U_n (1), складає

$$\alpha_{kb} = \frac{dQ_{ns}}{dU_n} = \frac{d(-U_n^2/X_{ns})}{dU_n} = -2 \frac{Q_{ns}}{U_n} = -2 \frac{Q_{ns*}}{U_{n*}} = -2, \quad (2)$$

де $Q_{ns*} = 1$, $U_{n*} = 1$ – реактивна потужність і напруга в мережі при номінальних значеннях у відносних одиницях. Негативний знак присвоюється тому, що реактивна потужність, що генерується батареєю конденсатора, передається в мережу (знак ємнісного опору протилежний знаку індуктивного опору, який приймається за позитивну величину).

Негативний керуючий ефект батареї конденсатора має і негативний аспект. При зниженні напруги в мережі потужність батареї конденсатора зменшується пропорційно квадрату напруги, що може привести до дефіциту реактивної потужності в центрі живлення і подальшого зниження напруги.

В рамках другої ділянки понижуючий за потужністю трансформатор у передачі СВБС є значним споживачем реактивної потужності (рис. 3).

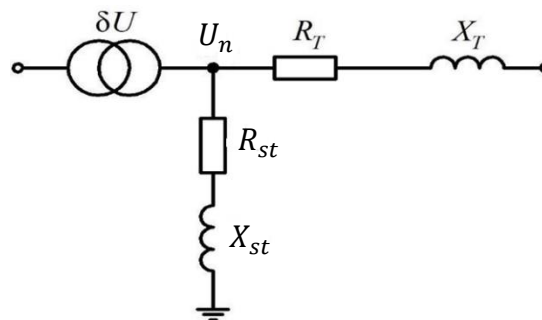


Рисунок 3 – Схема заміщення трансформатора у вигляді постійних опорів

Втрата реактивної потужності в трансформаторі становить

$$Q_t = \Delta Q_{xx} + K_z^2 \Delta Q_{kz}, \quad (3)$$

де ΔQ_{xx} – реактивні втрати холостого ходу трансформатора;

ΔQ_{kz} – реактивні втрати короткого замикання;

K_z – коефіцієнт навантаження трансформатора.

Керуючий вплив трансформатора на реактивну потужність визначається як похідне від статичної характеристики напруги в точці номінальної напруги U_n , тобто

$$\alpha_{kb} = \frac{d(Q_t)}{dU_n} = \frac{d(\Delta Q_{xx})}{dU_n} + \frac{d(K_z^2 \Delta Q_{kz})}{dU_n}. \quad (4)$$

При $U = U_n$ втрати реактивної потужності в трансформаторній сталі в режимі холостого ходу і визначаються за формулою

$$Q_{xx} = \frac{U_n^2}{X_{st}}, \quad (5)$$

де X_{st} – індуктивний опір схеми намагнічування трансформатора.

Значить, регулююча дія трансформатора в режимі холостого ходу становить

$$\alpha_{xx} = \frac{d(\Delta Q_{xx})}{dU_n} = \frac{d(U_n^2/X_{st})}{dU_n} = 2 \frac{\Delta Q_{xx}}{U_n} = 2. \quad (6)$$

де $\Delta Q_{xx*} = 1$, $U_{n*} = 1$ – відповідно реактивна потужність і напруга у відносних одиницях при номінальній напрузі.

Реактивна потужність трансформатора різко змінюється зі зміною напруги, що подається на трансформатор і може бути визначена за формулою

$$\Delta Q_{st} = \Delta Q_{xx}(1 \pm \alpha/100), \quad (7)$$

де α – напруга гілки трансформатора, %.

Втрати реактивного короткого замикання трансформатора визначаються як

$$\Delta Q_{kz} = 3I_{nom}^2 X_t = 3I_{nom} U_t, \quad (8)$$

де I_{nom} – номінальний струм трансформатора;

X_t – індуктивний поздовжній опір трансформатора;

U_t – падіння напруги на опір X_t .

Трансформатор контролює реактивну потужність, споживану в індуктивному поздовжньому опорі X_t , складає

$$\alpha_{kz} = \frac{d(K_z^2 \Delta Q_{kz})}{dU_n} = \frac{d(K_z^2 I_{nom}^2 X_t)}{dU_n} = \frac{d(K_z^2 I_{nom} U_t)}{dU_n}. \quad (9)$$

При цьому

$$U_t = U_n - U_c \ll U_n \text{ при } U_c \rightarrow U_n, \quad (10)$$

де U_c – напруга в мережі.

Отже, керуючий вплив α_{kz} не може зробити помітного впливу на режим напруги в мережі. Тому сумарний керуючий вплив трансформатора за показниками реактивної потужності становить

$$\alpha_{tr} = \alpha_{xx} + \alpha_{kz} \approx \alpha_{xx} = 2. \quad (11)$$

Керуючий вплив трансформатора на активну потужність, споживану в опорі R_t при проходженні I_n , не розглядається через мале значення цієї потужності в порівнянні з активною потужністю суднових електроприймачів.

Таким чином, регулюючий вплив силового трансформатора визначається величиною $\alpha_{tr} = \alpha_{xx} = 2$, тобто контролюючий ефект реактивної потужності. Такий керуючий ефект напруги має два аспекти, позитивний, що сприяє стабілізації напруги, і негативний, який перешкоджає зустрічному регулюванню напруги.

У межах третьої ділянки судновий електричний кабель (рис. 4) не є значним споживачем активної і реактивної потужності. Втрата активної потужності при активному опорі R_p значно менше активної потужності, споживаної судновими електроприймачами, втрата реактивної потужності на індуктивний опір кабелю X_p також незначні в порівнянні з реактивною потужністю, споживаної судновими електроприймачами.

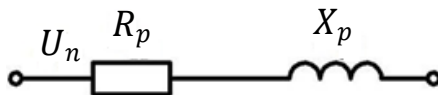


Рисунок 4 – Схема заміщення стандартного суднового електричного кабелю

У зв'язку з вищесказаним припускаємо, що керуючий вплив на активну і реактивну потужності в цій області не може надавати помітного впливу на режим напруги в передачі СВБС.

Аналізуючи методи управління електрообладнанням на різних ділянках ланцюга заміщення (як показано на рис. 1), можна виявити важливі методи регулювання реактивної потужності, які є у конденсатора батареї і силового понижуючого трансформатора. Причому керуючі впливи даного електрообладнання на реактивну потужність мають ті ж абсолютні значення, але протилежні за знаком.: $\alpha_{kb} = 2$, $\alpha_{tr} = 2$. Це обумовлює різний характер впливу даного електрообладнання на режим напруги при перехідних режимах в електропередачі СВБС.

Висновки. Конденсаторна батарея і понижуючий трансформатор в системі взаємодії «берег – судно» мають значні методи управління реактивною потужністю. Конденсаторна батарея компенсує реактивну потужність в мережі, а понижуючий трансформатор також впливає на контроль реактивної потужності. Обидва методи управління мають однаковий за модулем, але протилежний за знаком вплив на режим напруги при перехідних процесах, що визначає різницю їх впливу на систему.

Негативний контролюючий ефект батареї конденсатора може мати несприятливий вплив на режим передачі. При зниженні напруги потужність, що виробляється батареєю конденсатора, зменшується пропорційно квадрату напруги, що може привести до нестачі реактивної потужності в блоці живлення і подальшого зниження напруги.

Керуючий вплив понижуючого трансформатора позитивний і дорівнює 2. Це означає, що зміна напруги в мережі на 1% призводить до зміни споживання реактивної потужності на 2%. Через це позитивний керуючий вплив понижуючого трансформатора надає подвійний вплив на режим напруги в передачі: позитивне, що сприяє стабілізації напруги, і негативний, що перешкоджає зворотному регулюванню напруги.

ЛІТЕРАТУРА

1. Khersonsky Y., Islam M., Peterson K. Challenges of Connecting Shipboard Marine Systems to Medium Voltage Shoreside Electrical Power. IEEE Transactions on Industry Applications. 2007. Vol. 43, no. 3. P. 838–844. URL: <https://doi.org/10.1109/tia.2007.895810> (date of access: 02.02.2024).
2. A review of power electronics equipment for all-electric ship MVDC power systems / S. Castellan et al. International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2018. Vol. 96. P. 306–323. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2017.09.040> (date of access: 02.02.2024).

3. Lashway C. R., Elsayed A. T., Mohammed O. A. Hybrid energy storage management in ship power systems with multiple pulsed loads. *Electric Power Systems Research*. 2016. Vol. 141. P. 50–62. URL: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2016.06.031> (date of access: 02.02.2024).
4. Ericson T. The ship power electronic revolution: Issues and answers. 2008 55th IEEE Petroleum and Chemical Industry Technical Conference. 2008. P. 1–11. DOI: 10.1109/PCICON.2008.4663984.
5. Mahdi H., Hoff B., Østrem T. Evaluation of Capacitive Power Transfer for Small Vessels Charging Applications. 2020 IEEE 29th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE). 2020. P. 1605–1610.
6. Marcin Sedlak, Sebastian Stynski, Mariusz Malinowski, Marek Jasinski, Grzegorz Benysek, Robert Smolenski. Stress free shore to ship (S2SP) electrical power networks synchronization. 2016 10th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG). 2016. P. 244–249.
7. Kevin L. Peterson, Peniamin "Ben" Chavdarian, Mohammed Islam, Christopher Cayan. State of Shore Power Standards for Ships. 2007 IEEE Petroleum and Chemical Industry Technical Conference. 2007. P. 1–6.
8. Terry Ericson. Engineering Total Electric Ship. 2007 IEEE Petroleum and Chemical Industry Technical Conference. 2007. P.1-6.
9. Zhang H., Lu F. Feasibility Study of the High-Power Underwater Capacitive Wireless Power Transfer for the Electric Ship Charging Application. 2019 IEEE Electric Ship Technologies Symposium, 14-16 Aug. 2019. P. 231–235.
10. Tamura M., Naka Y., Murai K. Design of Capacitive Coupler for Wireless Power Transfer Under Fresh Water Focusing on kQ Product. 2018 IEEE/MTT-S International Microwave Symposium, 10-15 June 2018. P. 1257–1260.
11. Tamura M., Naka Y., Murai K., Nakata T. Design of a Capacitive Wireless Power Transfer System for Operation in Fresh Water. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. 2018. Vol. 66, no. 12. P. 5873–5884.
12. Zhang H., Lu F., Hofmann H., Liu W., Mi C. C. Six-Plate Capacitive Coupler to Reduce Electric Field Emission in Large Air-Gap Capacitive Power Transfer. *IEEE Transactions on Power Electronics*. 2018. Vol. 33, no. 1. P. 665–675.

REFERENCES

1. Khersonsky, Y., Islam, M., & Peterson, K. (2007). Challenges of Connecting Shipboard Marine Systems to Medium Voltage Shoreside Electrical Power. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 43(3), 838–844. <https://doi.org/10.1109/tia.2007.895810>
2. Castellan, S., Menis, R., Tessarolo, A., Luise, F., Piccolo, A., Sulligoi, G., & Bosich, D. (2018). A review of power electronics equipment for all-electric ship MVDC power systems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 96, 306–323. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2017.09.040>
3. Lashway, C. R., Elsayed, A. T., & Mohammed, O. A. (2016). Hybrid energy storage management in ship power systems with multiple pulsed loads. *Electric Power Systems Research*, 141, 50–62. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2016.06.031>
4. Ericson, T. (2008). The ship power electronic revolution: Issues and answers. 2008 55th IEEE Petroleum and Chemical Industry Technical Conference (pp. 1–11). <https://doi.org/10.1109/PCICON.2008.4663984>
5. Mahdi, H., Hoff, B., & Østrem, T. (2020). Evaluation of Capacitive Power Transfer for Small Vessels Charging Applications. 2020 IEEE 29th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE) (pp. 1605–1610).
6. Sedlak, M., Stynski, S., Malinowski, M., Jasinski, M., Benysek, G., & Smolenski, R. (2016). Stress free shore to ship (S2SP) electrical power networks synchronization. 2016 10th International

Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG) (pp. 244–249).

7. Peterson, K. L., Chavdarian, P. "Ben", Islam, M., & Cayanan, C. (2007). State of Shore Power Standards for Ships. *2007 IEEE Petroleum and Chemical Industry Technical Conference* (pp. 1–6).
8. Ericson, T. (2007). Engineering Total Electric Ship. *2007 IEEE Petroleum and Chemical Industry Technical Conference* (pp. 1–6).
9. Zhang, H., & Lu, F. (2019). Feasibility Study of the High-Power Underwater Capacitive Wireless Power Transfer for the Electric Ship Charging Application. *2019 IEEE Electric Ship Technologies Symposium* (pp. 231–235).
10. Tamura, M., Naka, Y., & Murai, K. (2018). Design of Capacitive Coupler for Wireless Power Transfer Under Fresh Water Focusing on kQ Product. *2018 IEEE/MTT-S International Microwave Symposium* (pp. 1257–1260).
11. Tamura, M., Naka, Y., Murai, K., & Nakata, T. (2018). Design of a Capacitive Wireless Power Transfer System for Operation in Fresh Water. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 66(12), 5873–5884.
12. Zhang, H., Lu, F., Hofmann, H., Liu, W., & Mi, C. C. (2018). Six-Plate Capacitive Coupler to Reduce Electric Field Emission in Large Air-Gap Capacitive Power Transfer. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 33(1), 665–675.

Yakusevych Yu.H., Tryshyn V.V., Dorofieieva Z.Ia., Lisovskyi S.V.

STUDYING THE CONTROLLING EFFECTS OF ELECTRICAL NETWORK EQUIPMENT ON THE VOLTAGE REGIME IN THE SHORE-TO-SHIP INTERACTION SYSTEM

The aim of the article is to study the controlling effects of electrical network equipment on the voltage regime in the shore-to-ship interaction system to improve the efficiency of power supply to a water transport enterprise. This goal is achieved by studying the scheme of substitution through power transmission sections in the shore-to-ship interaction system. It has been established that such sections can be considered, firstly, the section from the power supply to the transformer, secondly, the power step-down transformer, and thirdly, the standard marine electrical cable. It is proved that in the system of interaction between the shore and the ship, the capacitor bank and step-down transformer play an important role in managing reactive power. The capacitor bank compensates for the reactive power in the grid, and the step-down transformer affects the control of reactive power. Both control methods have the same modulus, but opposite sign, influence on the voltage regime during transients, which determines the difference in their impact on the system. The most significant result is the development of substitution schemes through power transmission sections in the shore-to-ship interaction system, considering the proposed equations for describing the control influences of electrical equipment of the power grid. It is determined that the negative impact controlled by a capacitor bank can adversely affect the mode of electricity transmission. A voltage reduction leads to a decrease in the power generated by the capacitor bank in proportion to the square of the voltage, which can lead to insufficient reactive power in the power system and a further voltage reduction. Controlling the step-down transformer has a positive effect. This means that a 1% change in the mains voltage causes a 2% change in reactive power consumption. Thus, the control influence of the step-down transformer has a double effect on the voltage regime in the transmission: positive, which contributes to voltage stabilisation, and negative, which prevents reverse voltage regulation.

Keywords: *controlling influence, electrical equipment, electrical network, voltage regime, shore-to-ship interaction system, circuit, feeder*