

dynamic systems. An intelligent agent, which has the properties of autonomy, social behaviour, reactivity, and proactivity, is such a software object. In this paper, the term "intelligent transport agent" is used to refer to an agent that solves routing problems, as well as can move and characteristics of speed and carrying capacity. The task of improving the quality of solving high-dimensional routing problems based on the use of coalitions of intelligent transport agents, with assessments of the success of actions that change during activity, is relevant within the framework of maritime transport technologies. The most significant result is a method for solving the transport problem for seaports based on the use of intelligent agents, which involves the formation of coalitions of agents and the distribution of desired actions with the possibility of changing success ratings. Within the framework of the corresponding method, procedures are proposed to ensure high quality of solving the transportation problem. At the same time, the article establishes the computational complexity of the algorithms used to implement these procedures. The presented approach to creating agents allows for increased flexibility in their behaviour, easy modification, and separation of the program code from the description of actions that determine behaviour. An approach based on improving the characteristics of agents because of the actions performed by agents can be used to bring the obtained solutions closer to optimal results.

Keywords: *seaport, transportation problem, routing, intelligent agent, multiagent, coalition.*

УДК 629.5.03:621.31

doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.15

Войченко Т.О., Шевченко А.П., Трофименко А.О., Тришин В.В.

КОНТРОЛЕР ПЕРЕРОЗПОДІЛУ ПОТУЖНОСТІ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ КОЛИВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ НА МЕРЕЖУ СУДНА

Метою статті є розробка контролеру перерозподілу потужності для зменшення коливань навантаження, що генеруються споживачами в мережі морського судна. Поставлена мета досягається шляхом визначення системи рівнянь щодо перерозподілу потужності в мережі на морському судні. Встановлено, що контролер перерозподілу потужності ґрунтується на ідеї комбінування регулювання частоти відповідно до попиту та швидкого зниження навантаження у мережі. Основна ідея полягає в тому, що застосування динамічного зворотного зв'язку між енергосистемою та електричними підрулювачами може покращити регулювання частоти на судні. Завдяки відносно великій інерції судна, швидка модифікація потужності на підрулювачах, здійснена контролером перерозподілу потужності, майже не впливатиме на реакцію судна. Крім того, інші споживачі, які використовують енергію, також можуть бути задіяні для контролю перерозподілу енергії. Таким чином, розробка контролера перерозподілу потужності є важливим завданням, яке дозволяє зменшити коливання навантаження на мережу судна та підвищити ефективність його електричної системи. Найбільш суттєвим результатом є визначення нового підходу до управління перерозподілом потужності, який ґрунтується на коригуванні різниці між фактичною швидкістю обертання гребного валу та його заданою швидкістю. Цей підхід містить у собі використання двох різних стратегій управління перерозподілом потужності. Перша стратегія управління полягає у використанні зворотного зв'язку від відхилення частоти мережі для корекції відхилень швидкості гребного валу. Друга стратегія управління полягає у

використанні зворотного зв'язку від генеруючої системи для корекції відхилень крутного моменту. Встановлено, що друга стратегія має покращену робастність, але для її використання необхідний спостерігач. Для подальших досліджень можна розглянути напрямки моделювання функціонування контролеру перерозподілу потужності за другою стратегією з метою визначення надійності спостерігача до параметрів неточностей даних і можливості його використання для контролю.

Ключові слова: контролер перерозподілу потужності, судно, енергосистема, навантаження, динамічний зворотній зв'язок, електричний підрулювач, стратегія.

Постановка проблеми. Розробка системи управління електроживленням є важливим напрямком покращення управління морською електроенергетичною системою, що спрямований на підвищення стійкості системи до відключень, вирішення основних несправностей енергосистеми, зменшення експлуатаційних витрат та збереження компонентів машин енергосистеми під мінімальним навантаженням у будь-яких умовах експлуатації. Сучасні морські електроенергетичні системи мають високу функціональність, реалізовану в інтегрованих системах автоматизації, проте інструменти та методи аналізу морських енергетичних систем обмежені знаннями, доступними в рамках окремих механічних та електротехнічних дисциплін.

У зв'язку з тим, що суднова рухова установка зазвичай є найбільшим споживачем на судні, між системою управління електроживленням та руховою установкою існують важливі взаємодії. Ці взаємодії здійснюються через контролер динамічного позиціонування, алгоритм розподілу тяги, контролери локальних підрулювачів, контролери локальної частоти та напруги генераторів. Система управління електроживленням повинна забезпечувати:

- доступне управління статичним навантаженням потужності;
- контроль обмеження швидкості навантаження;
- швидке зниження навантаження.

Ці функції мають на меті уникнення відключення електропостачання та забезпечення достатньої потужності для судна у будь-який момент. Система управління електроживленням взаємодіє з іншими системами управління, щоб уникнути перерв у електропостачанні та зменшити експлуатаційні витрати. Можливості збільшення продуктивності судна, покращення його стійкості до несправностей та зменшення швидкості зносу компонентів в основному розглядаються окремо для кожної системи управління. Рішення в основному були імплікативними (наприклад, місцеве управління тягою), і мало уваги приділялося взаємодії між цими системами, електроенергетичною системою та системою управління електроживленням. Деякі питання, які можуть виникнути щодо системних взаємодій, полягають у такому:

- як впливає функціональність системи управління електроживленням на місцеве управління тягою;
- як впливає місцеве управління тягою на продуктивність енергосистеми;
- як впливають деякі споживачі на продуктивність енергосистеми та, відповідно, на інших споживачів;
- як впливає робота енергосистеми на схильність до несправностей та відключення;
- як погодні та експлуатаційні умови впливають на продуктивність енергосистеми та на загальну продуктивність судна через контроль потужності системи управління електроживленням;
- які несправності можна уникнути, якщо система управління буде переструктурована;
- як можна мінімізувати експлуатаційні витрати та впоратися з суперечливими цілями.

Отже, розробка контролера перерозподілу потужності, який зменшує коливання навантаження на мережу судна, що генерується споживачами судна, є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В існуючих дослідженнях розглядаються різноманітні підходи для управління потужністю мережі на морських суднах.

Наприклад, в роботах [2, 10–14] для управління тягою та гвинтами на морських суднах розглядаються різні концепції, такі як незалежна швидкість-крутний момент-потужність та комбіноване управління з антиспіновим контролем. Ці методи можуть забезпечити стабільну вихідну потужність при великих втратах крутного моменту, що спричинюється обертанням гвинта. Однак, ефекти декількох підрулювальних пристроїв та інших споживачів потужності в системі не враховуються при розробці алгоритмів управління низького рівня. Контролер локальної тяги враховує тільки локальні коливання потужності кожного окремого підрулювача, не звертаючи уваги на навантаження на систему в цілому.

Наприклад, алгоритми оптимізації розподілу тяги мають на меті знизити енергоспоживання підрулювальних пристроїв і скоротити витрати палива, забезпечуючи оптимальний розподіл потужності між судновими підрулювачами. Ці алгоритми часто використовуються в морських системах, і розглядаються у джерелах, таких як [4, 6–8]. Однак, алгоритм розподілу тяги припускає, що плавні зміни у потужності забезпечать плавні перехідні процеси в енергетичній системі. Це не завжди можливо, коли гвинти зазнають значних втрат тяги і крутного моменту. Крім того, алгоритм обмежений лише руховими навантаженнями, а інші навантаження, які можуть призвести до значних коливань навантаження в мережі, не враховуються. Нарешті, алгоритм розподілу тяги не вирішує проблеми несправностей або поломок, які можуть вплинути на загальну реакцію судна.

Деякі пристрої для зберігання енергії, такі як акумулятори, конденсатори та маховики, можуть використовуватись для компенсації коливальної потреби в енергії в електричній мережі. Часто пропонується управління гібридними електричними транспортними засобами на основі оптимізації систем управління електроживленням статтях [1, 5, 9]. Незважаючи на те, що ця технологія може забезпечити економію енергії та покращення регулювання частоти та напруги, вона не широко використовується на морських суднах через її великі розміри та вагу.

Регулювання комутації частотного попиту полягає у застосуванні пристроїв управління, які автоматично вмикають та вимикають машини та пристрої відповідно до відхилень частоти з метою забезпечення балансу між попитом та пропозицією електроенергії [3].

Метою статті є розробка контролеру перерозподілу потужності для зменшення коливань навантаження, що генеруються споживачами в мережі морського судна.

Основні результати дослідження. Контролер перерозподілу потужності (КПП) базується на поєднанні ідей щодо регулювання частоти на основі попиту та швидкого зниження навантаження. Основна ідея полягає в тому, що динамічний зворотний зв'язок від енергосистеми до електричних підрулювачів може вдосконалити регулювання частоти на морському судні. Завдяки відносно великій інерції судна, швидка модифікація потужності на підрулювачах, введена КПП, не суттєво впливатиме на реакцію судна. Крім того, інші споживачі, які покладаються на енергію, також можуть бути використані для контролю.

Запропоноване управління перерозподілом потужності є поєднанням регулювання швидкості та потужності тяги на основі мережі. Це управління може бути використане для зниження коливань навантаження на несправній підрульовій установці та перерозподілу надлишкової енергії в мережі між іншими підрулювачами та споживачами, що забезпечує значні покращення стабільності мережі та інтелектуальної обробки обладнання. КПП обмежує коливання навантаження на підрулювальну установку в умовах великих втрат тяги. Крім того, він може обмежувати тягу на тій же підрулювальній установці лише у випадку, якщо тяга викликає в мережі високий рівень коливань навантаження.

Пропонований підхід щодо управління перерозподілом потужності базується на виправленні різниці між швидкістю обертання гребного валу ω_{0p} і його заданою швидкістю обертання ω_p , і використовує дві різні стратегії управління.

Перша стратегія полягає у використанні зворотного зв'язку від відхилення частоти мережі для корекції відхилень швидкості гребного валу

$$e_p = \omega_{0p} - \omega_p + k_{gp} (\omega_g - \omega_{0g}). \quad (1)$$

Друга стратегія управління полягає у використанні зворотного зв'язку від генеруючої системи для корекції відхилень крутного моменту

$$e_p = \omega_{0p} - \omega_p + k_{gp} (\hat{Q}_{mg*} - Q_{eg}), \quad (2)$$

де k_{gp} – приріст зворотного зв'язку.

Після зменшення крутного моменту механічного двигуна забезпечується демпфування генератора. Оцінювач стану (спостерігач), використовується для шумової фільтрації вимірювань частоти та крутного моменту.

На рис. 1 показано концептуальну схему КПП для другої стратегії.

Сутність аналізу замкнутого циклу та ефекти навантаження на мережу в рамках двох різних стратегій управління полягає у такому.

За допомогою зворотного зв'язку від відхилення частоти мережі в рівнянні (1), перша стратегія призводить до зміни крутного моменту двигуна тяги

$$Q_{mp} = k_{pp} (\omega_{0p} - \omega_p) + k_{pp} k_{gp} (\omega_g - \omega_{0g}). \quad (3)$$

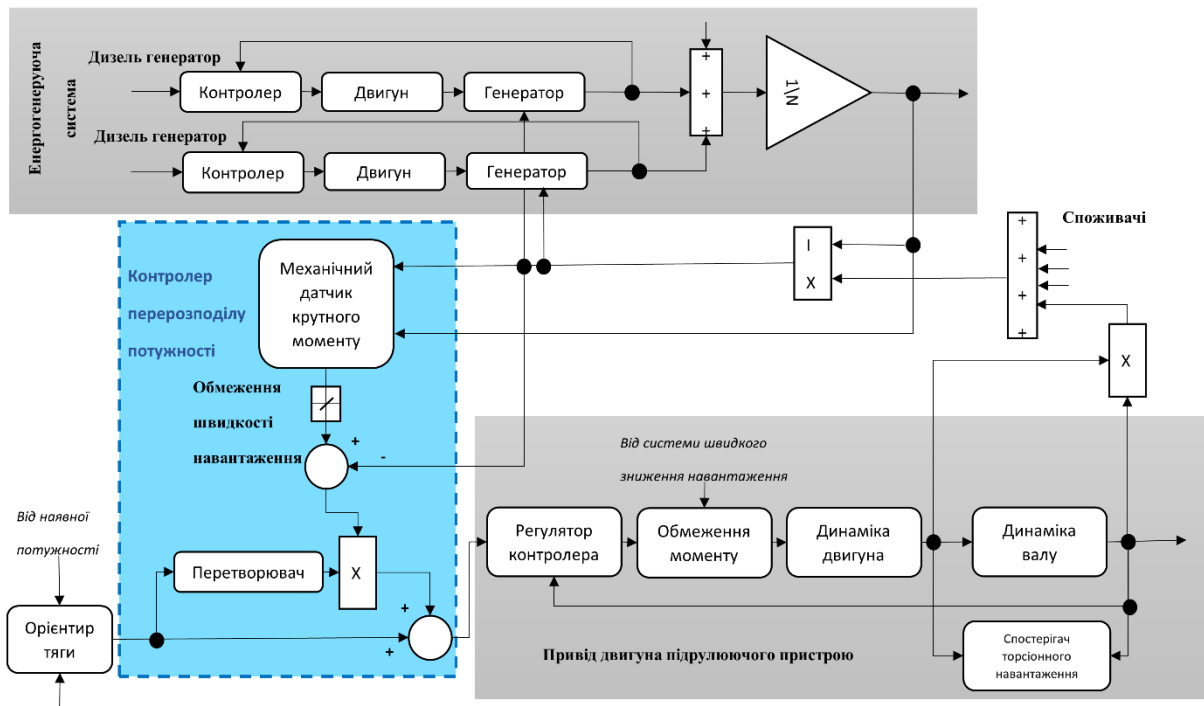


Рисунок 1 – Концептуальна схема контролера перерозподілу потужності на морському судні

При цьому рівняння замкнутого циклу формально задається як

$$\frac{d}{dt} \omega_g = \frac{\omega_{0g}}{2H_{Non}} \left[Q_{mg} - \frac{D_g}{\omega_{0g}} (\omega_g - \omega_{0g}) - \frac{\omega_p k_{pp}}{P_{rg} \omega_g} (\omega_{0p} - \omega_p) - \frac{k_{gp} \omega_p k_{pp}}{P_{rg} \omega_g} (\omega_g - \omega_{0g}) \right] \quad (4)$$

Зауважимо, що використання зворотного зв'язку тяги з частотним відхиленням генератора сприяє збільшенню демпфування у рівнянні замкнутого циклу частоти. Це призводить до зменшення коливань частоти шляхом компенсації навантаження, що, у свою чергу, підвищує стабільність системи. Якщо частота генератора зростає, опорна тяга тимчасово зростає, що допомагає збільшити енергію системи. Якщо частота зменшується, опорна тяга зменшується, тому зменшується навантаження на систему. Зміна опору навантаження є тимчасовою, поки не

буде доступний механічний крутний момент Q_{mg} від двигунів і не буде досягнуто нового балансу навантаження.

За допомогою зворотного зв'язку від відхилення крутного моменту, що генерується системою, друга стратегія призводить до зміни крутного моменту двигуна тяги

$$Q_{mp} = k_{pp}(\omega_{0p} - \omega_p) + k_{pp}k_{gp}(\hat{Q}_{mg*} - Q_{eg}). \quad (5)$$

Для демонстрації застосовності запропонованої концепції КПП було включено динаміку, яка була проігнорована раніше, до імітаційної моделі

$$Q_{mp} = k_{pp}(\omega_{0p} - \omega_p) + k_{pp}k_{gp} \frac{2H_{Non}}{\omega_{0g}} \frac{d}{dt} \omega_g. \quad (6)$$

Така залежність від прискорення генеруючої системи робить контролер тяги залежним від неї. У зв'язку з цим, рівняння замкнутого циклу набувають наступний вигляд

$$\frac{d}{dt} \omega_g = \frac{\omega_{0g}}{2H_{Non} \left(1 + \frac{k_{pp}k_{gp}\omega_p}{Pr_g\omega_g}\right)} \left[Q_{mg} - \frac{D_g}{\omega_{0g}} (\omega_g - \omega_{0g}) - \frac{\omega_p k_{pp}}{Pr_g\omega_g} (\omega_{0p} - \omega_p) \right]. \quad (7)$$

Віртуальне збільшення інерції системи здійснюється за допомогою зворотного зв'язку прискорення або контролю інерційної реакції, що призводить до зменшення частотних коливань.

Якщо в одній системі працює дві або більше керовані машини, то застосовуючи першу стратегію зворотного зв'язку від відхилення частоти мережі, можна отримати такі рівняння замкнутого циклу

$$\omega_g = \frac{\omega_{0g}}{2H_{Non}} \left[Q_{mg} - \frac{D_g}{\omega_{0g}} (\omega_g - \omega_{0g}) - \frac{1}{Pr_g\omega_g} \sum_{p=1}^T \omega_p k_{pp} (\omega_{0p} - \omega_p) - \frac{1}{Pr_g\omega_g} (\omega_g - \omega_{0g}) \sum_{p=1}^T k_{gp} \omega_p k_{pp} \right]. \quad (8)$$

Якщо використовувати другу стратегію зворотного зв'язку з відхиленням крутного моменту генеруючої системи, то можна отримати такі рівняння замкнутого циклу

$$\frac{d}{dt} \omega_g = \frac{\omega_{0g}}{2H_{Non} \left(1 + \frac{1}{Pr_g\omega_g \sum_{p=1}^T \omega_p k_{pp} k_{gp}}\right)} \times \left[Q_{mg} - \frac{D_g}{\omega_{0g}} (\omega_g - \omega_{0g}) - \frac{1}{Pr_g\omega_g} \sum_{p=1}^T \omega_p k_{pp} (\omega_{0p} - \omega_p) \right], \quad (9)$$

де $k_{pp} = k_{p1} = k_{p2}$, для $p = 1, w_p = w_1$ та для $p = 2, w_p = w_2$.

Якщо ω_1 зменшиться за рахунок збільшення навантаження на гребний вал і $\omega_{01} - \omega_1 > 0$, то контролер буде діяти, щоб врівноважити навантаження, збільшивши ω_{02} і зробивши $\omega_{02} - \omega_2 < 0$.

Висновки. У статті запропоновано КПП, який допомагає зменшити коливання навантаження на мережу судна, яке генерується споживачами судна. КПП базується на частотному регулюванні на основі попиту і швидкому зниженні навантаження. Основна ідея полягає в тому, що регулювання частоти на морському судні можна вдосконалити, використовуючи динамічний зворотний зв'язок від енергосистеми до електричних підрулювачів. Завдяки відносно великій інерції судна, швидка модифікація потужності на підрулювачах, введена КПП, не має значного впливу на реакцію судна. Інші споживачі, які покладаються на енергію, також можуть бути використані для контролю. Підхід управління КПП, запропонований в статті, ґрунтується на коригуванні різниці між швидкістю обертання гребного валу та заданою швидкістю обертання пропелера, і базується на застосуванні двох різних стратегій управління. Хоча перша стратегія є дуже простою у реалізації та може негайно

поліпшити регулювання частоти, друга стратегія забезпечує більш швидку корекцію налаштування швидкості та краще регулювання частоти з меншими зусиллями управління. Крім того, друга стратегія дозволяє встановлювати фіксовані межі швидкості навантаження безпосередньо на двигуни. В обох стратегіях запропоновано вдосконалену частотну фільтрацію з використанням спостерігача оцінювання стану. При цьому друга стратегія має вдосконалені властивості робастності. Однак, для її застосування необхідний спостерігач. Напрямами подальших досліджень є моделювання функціонування КПП за другою стратегією з метою визначення того, що спостерігач надійний до параметрів неточностей даних і придатний для контролю.

ЛІТЕРАТУРА

1. Aoyagi, S., Hasegawa, Y., Yonekura, T., & Abe, H. (2001). Energy efficiency improvement of series hybrid vehicle. *JSAE Review*, 22(3), 259-264. [https://doi.org/10.1016/S0389-4304\(01\)00100-X](https://doi.org/10.1016/S0389-4304(01)00100-X)
2. Bakkeheim J., Johansen T. A., Smogeli Ø., Sørensen A. J. Lyapunov-Based Integrator Resetting With Application to Marine Thruster Control. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*. 2008. Vol. 16(4). P. 908–917. <https://doi.org/10.1109/TCST.2007.916340>
3. Black J. W., Ilic M. Demand-based frequency control for distributed generation. *IEEE Power Engineering Society Summer Meeting*. 2002. Vol. 1. P. 427–432, doi: 10.1109/PESS.2002.1043270.
4. Fossen T. I., Johansen T. A. A Survey of Control Allocation Methods for Ships and Underwater Vehicles. *14th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED'06)*. Ancona, Italy, 2006. P. 1–6. DOI: 10.1109/MED.2006.328749.
5. He B., Ouyang Minggao. Optimisation-based energy management of series hybrid vehicles considering transient behavior. *International Journal of Alternative Propulsion*. 2006. Vol. 1. P. 10–22. DOI: 10.1504/IJAP.2006.010759.
6. Johansen T.A. Optimizing nonlinear control allocation. 2004 43rd IEEE Conference on Decision and Control (CDC) (IEEE Cat. No.04CH37601). Nassau, Bahamas, 2004. P. 3435–3440 Vol. 4. DOI: 10.1109/CDC.2004.1429240.
7. Johansen T. A., Fossen T. I., Tøndel P. Efficient Optimal Constrained Control Allocation via Multi-Parametric Programming. *AIAA Journal of Guidance, Control and Dynamics*. 2004. Vol. 28(3). P. 506–515.
8. Johansen T.A., Fossen T.I., Berge S.P. Constrained nonlinear control allocation with singularity avoidance using sequential quadratic programming. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*. 2004. Vol. 12(1). P. 211–216. DOI: 10.1109/TCST.2003.821952.
9. Koot, M., J. Kessels, B. de Jager and P. van den Bosch. Fuel reduction potential of energy management for vehicular electric power systems. *International journal alternative propulsion*. 2006. Vol. 1(1). P. 112–131.
10. Pivano L., Johansen T. A., Smogeli O. N., Fossen T. I. Nonlinear Thrust Controller for Marine Propellers in Four-Quadrant Operations. *2007 American Control Conference*, New York, NY, USA, 2007, P. 900–905. DOI: 10.1109/ACC.2007.4282514.
11. Radan D., Asgeir J. Sørensen, Tor Arne Johansen. Inertial Control of Marine Engines And Propellers. *IFAC Conference on Control Applications in Marine Systems*. 2007. Vol. 40(17). P. 323–328.
12. Smogeli Ø. N., Sørensen A. J., Fossen T. I. Design of a hybrid power/torque thruster controller with loss estimation. *IFAC Proceedings Volumes*. 2004. Vol. 37(10). P. 409–414. URL: [https://doi.org/10.1016/s1474-6670\(17\)31766-4](https://doi.org/10.1016/s1474-6670(17)31766-4) (date of access: 02.02.2024).
13. Smogeli Ø. Control of Marine Propellers: from Normal to Extreme Conditions : PhD thesis. 2006. 335 p.
14. A New Method of Thruster Control in Positioning of Ships Based on Power Control / A. J. Sørensen et al. *IFAC Proceedings Volumes*. 1997. Vol. 30(22). P. 199–206. URL: [https://doi.org/10.1016/s1474-6670\(17\)46514-1](https://doi.org/10.1016/s1474-6670(17)46514-1) (date of access: 02.02.2024).

REFERENCES

1. Aoyagi, S., Hasegawa, Y., Yonekura, T., & Abe, H. (2001). Energy efficiency improvement of series hybrid vehicle. *JSAE Review*, 22(3), 259–264. [https://doi.org/10.1016/S0389-4304\(01\)00100-X](https://doi.org/10.1016/S0389-4304(01)00100-X)
2. Bakkeheim, J., Johansen, T. A., Smogeli, Ø., & Sørensen, A. J. (2008). Lyapunov-based integrator resetting with application to marine thruster control. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 16(4), 908–917. <https://doi.org/10.1109/TCST.2007.916340>
3. Black, J. W., & Ilic, M. (2002). Demand-based frequency control for distributed generation. In *IEEE Power Engineering Society Summer Meeting*, Vol. 1, 427–432. <https://doi.org/10.1109/PESS.2002.1043270>
4. Fossen, T. I., & Johansen, T. A. (2006). A survey of control allocation methods for ships and underwater vehicles. In *14th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED'06), Italy*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/MED.2006.328749>
5. He, B., & Ouyang, M. (2006). Optimisation-based energy management of series hybrid vehicles considering transient behavior. *International Journal of Alternative Propulsion*, 1(1), 10–22. <https://doi.org/10.1504/IJAP.2006.010759>
6. Johansen, T. A. (2004). Optimizing nonlinear control allocation. In *2004 43rd IEEE Conference on Decision and Control (CDC)*, Vol. 4, 3435–3440. <https://doi.org/10.1109/CDC.2004.1429240>
7. Johansen, T. A., Fossen, T. I., & Tøndel, P. (2004). Efficient optimal constrained control allocation via multi-parametric programming. *AIAA Journal of Guidance, Control and Dynamics*, 28(3), 506–515. <https://doi.org/10.2514/1.9133>
8. Johansen, T. A., Fossen, T. I., & Berge, S. P. (2004). Constrained nonlinear control allocation with singularity avoidance using sequential quadratic programming. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 12(1), 211–216. <https://doi.org/10.1109/TCST.2003.821952>
9. Koot, M., Kessels, J., de Jager, B., & van den Bosch, P. (2006). Fuel reduction potential of energy management for vehicular electric power systems. *International Journal of Alternative Propulsion*, 1(1), 112–131. <https://doi.org/10.1504/IJAP.2006.010761>
10. Pivano, L., Johansen, T. A., Smogeli, O. N., & Fossen, T. I. (2007). Nonlinear thrust controller for marine propellers in four-quadrant operations. In *2007 American Control Conference*, 900–905. <https://doi.org/10.1109/ACC.2007.4282514>
11. Radan, D., Sørensen, A. J., & Johansen, T. A. (2007). Inertial control of marine engines and propellers. In *IFAC Conference on Control Applications in Marine Systems*, Vol. 40, No. 17, 323–328. <https://doi.org/10.3182/20070830-3-SF-4913.00052>
12. Smogeli, Ø. N., Sørensen, A. J., & Fossen, T. I. (2004). Design of a hybrid power/torque thruster controller with loss estimation. *IFAC Proceedings Volumes*, 37(10), 409–414. [https://doi.org/10.1016/s1474-6670\(17\)31766-4](https://doi.org/10.1016/s1474-6670(17)31766-4)
13. Smogeli, Ø. N. (2006). *Control of marine propellers: From normal to extreme conditions* [Doctoral dissertation, Norwegian University of Science and Technology]. NTNU Open. <http://hdl.handle.net/11250/261338>
14. Sørensen, A. J., Sagli, J. R., Strand, J. P., & Mørk, T. (1997). A new method of thruster control in positioning of ships based on power control. *IFAC Proceedings Volumes*, 30(22), 199–206. [https://doi.org/10.1016/s1474-6670\(17\)46514-1](https://doi.org/10.1016/s1474-6670(17)46514-1)

Voichenko T.O., Shevchenko A.P., Trofymenko A.O., Tryshyn V.V.

POWER REDISTRIBUTION CONTROLLER TO REDUCE LOAD FLUCTUATIONS IN THE SHIP'S NETWORK

The aim of the article is to develop a power redistribution controller to reduce load fluctuations generated by consumers in the ship's network. This goal is achieved by determining a system of equations for redistributing power in the network on a ship. It has been established that the power

redistribution controller is based on the idea of combining frequency control according to demand and rapid load reduction. The basic idea is that the use of dynamic feedback between the power system and electric thrusters can improve frequency regulation on a ship. Due to the relatively large inertia of the ship, a rapid power modification at the thrusters by the power redistribution controller will have little effect on the response of the ship. In addition, other energy-using consumers can also be brought under control. Thus, the development of a power redistribution controller is an important task that reduces load fluctuations on the ship's network and increases the efficiency of its electrical system. The most significant result is the definition of a new approach to power redistribution control based on the correction of the difference between the actual speed of the propeller on the shaft and the set speed. This approach involves the use of two different control strategies. The first strategy is to use the feedback from the grid frequency deviation to correct the screw shaft speed deviations. The second control strategy is to use feedback from the generating system to correct torque deviations. It was found that the second strategy has improved robustness, but an observer is required to use it. For further research, it is possible to consider the directions of modelling the functioning of the power redistribution controller according to the second strategy in order to determine the reliability of the observer to the parameters of data inaccuracies and the possibility of using it for control.

Keywords: *power redistribution controller, ship, power system, load, dynamic feedback, electric thruster, strategy.*