

5. Geertsma R.D. et al. Design and control of hybrid power and propulsion systems for smart ships: A review of developments // *Applied Energy* 194, 2017. pp.30–54. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.02.060>
6. Volker T. Hybrid propulsion concepts on ships. In: *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni*, vol.79; 2013. pp. 66–76.
7. Mahmud K. A review of computer tools for modeling electric vehicle energy requirements and their impactn power distribution networks / K. Mahmud, G. E. Town // *Applied Energy*, 2016. Vol. 172. pp. 337–359.
8. Суворов П.С. Динамика двигателя в судовом пропульсивном комплексе. Одесса: ОНМА, 2004. 304 с.
9. Fossen, Thor I. Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control / Thor Fossen / Wiley-IEEE Press, 2011. P. ISBN: 978-1-119-99149-6
10. Perez, Tristan Ship motion control : autopilots with rudder roll stabilizations and combined rudder-fin stabilizers /Springer, 2005. P.300
11. Rodriguez Perez, Jose. Predictive control of power converters and electrical drives / Rodriguez Perez, Jose, Patricio Cortes Estay / Wiley-IEEE Press, 2012. P.336.
12. Ivanov A. et al. Electric propulsion ship's training simulator based on intelligent system / Yu. A. Lebedenko, S. A. Rozhkov, I. V. Kolosov // ISSN 1990-5548 Electronics and Control Systems 2019. N2(60): 53-60. DOI:10.18372/1990-5548.60.13815
13. Reference List SISHIPCIS Drive LV, Siemens. Division Industry Solutions Marine Solutions – Norway, V2008_10. P. 133.
14. https://www.mathworks.com/help/phymod/sps/ug/marine-full-electric-propulsion-power-system.html#responsive_offcanvas
15. Іванов А.А. Автоматизована система моніторингу і керування електроенергетичною системою судна. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», 2021. С.151. http://kntu.net.ua/index.php/eng/content/download/86743/500519/file/Іванов_АА_151_дисер_sign.pdf.

Improved model for investigation of dynamics of ship electric power systems with buffer sources

Rozhkov Sergii¹, Ivanov Artem², Tymofeiev Kostiantyn³, Igor Butakov⁴, Dmytro Zhuk⁵
Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine,
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Annotation. The paper proposes to use an additional diesel generator of lower power to compensate for disturbances on the ship's power system. To ensure the necessary controllability of the buffer source system, a quasi-optimal controller with a variable structure has been developed. Mathematical modeling of the proposed system is carried out and its effectiveness is shown. Research modeling was performed in the MATLAB environment.

Key words: ship power system, efficiency, buffer source, quasi-optimal regulator.

УДК 518.5: 621.313

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКІВ СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ В СУДНОВИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ НА БАЗІ СТАНДАРТУ ІЕС 61363

Чекунов В.К.

старший викладач кафедри СЕЕС

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна*

При проектуванні суднових електроенергетичних систем (СЕЕС) одним із завдань є розрахунок струмів короткого замикання. Струми короткого замикання в системі можуть досягати величезних значень: кілька десятків тисяч ампер. Вони становлять велику небезпеку для елементів електричних пристроїв. Струм, який протікає по жилах силових кабелів, шинам розподільних пристроїв, по струмоведучим частинам електричних машин, амперметрам перегріває їх понад нормальну температуру що може призвести до пошкодження ізоляції, зруйнувати недостатньо міцне в механічному відношенні електроустаткування. Для зменшення наслідків короткого замикання слід застосовувати швидкодіючі схеми та апарати захисту.

Пропонується методика розрахунку струмів короткого замикання на базі стандарту ІЕС 61363-1-1998 із складанням комп'ютерної програми розрахунку.

Розрахунок призначений для застосування в трифазних системах змінного струму, які: працюють із частотою 50Гц або 60Гц; мають один або більш різних рівнів напруги; містять генератори, двигуни (як синхронні, так і асинхронні), трансформатори, реактивні котушки, кабелі та перетворювальні блоки; мають нейтральну крапку, ізольовану від корпусу судна.

Методика розрахунків застосовується для стану трифазного симетричного короткого замикання, тобто коли трифазні провідники замкнено один на одного, або на корпус судна, і коли коротке замикання виникає на всіх трьох полюсах одночасно.

Розрахункові формули і наведені методи дозволяють одержувати достатньо точні результати при розрахунку струму короткого замикання протягом перших 100 мс короткого замикання. Дані формули та методи можуть бути використані для розрахунку струму короткого замикання протягом періодів, які перевищують 100 мс при виконанні розрахунку для системи шин, до якої безпосередньо підключені генератори. Для періодів часу більших за 100 мс керуючі впливи регуляторів напруги системи можуть мати домінуюче значення.

У реальній системі керуючі впливи автоматичних регуляторів і нелінійність включених паралельно машин будуть впливати на остаточні струми. Точний розрахунок струмів, що з'являється в результаті даних впливів, повинен виконуватися тільки з використанням комп'ютерних методів імітації.

При розробці суднових структурних електричних систем повинне передбачатися виконання всіх можливих заходів щодо попередження виникнення струмів короткого замикання. Основною метою розрахунку струмів короткого замикання є забезпечення здатності системи і її елементів витримувати вплив короткого замикання, і, за допомогою цього, зводити до мінімуму будь-які можливі ушкодження. Захист системи від струмів короткого замикання звичайно забезпечується запобіжниками і автоматичними вимикачами. Принципове призначення даних розрахунків полягає в тому, щоб забезпечити достатню інформацію для можливості вибору подібних пристроїв і впевненості, що ці пристрої зможуть забезпечити необхідний захист. Додатково, дані розрахунки можуть використовуватися при виборі пристроїв, здатних обмежувати струм короткого замикання до значень, що перебувають у межах можливостей захисних пристроїв.

Формули розраховують верхню оминаючу максимальні значень струму короткого замикання в часовій залежності. Оминаюча розраховується з використанням характеристикних параметрів конкретних машин, одержаних від виробників устаткування, використовуючи визнані методики випробувань і застосовуючи наступні допущення:

1. усіма ємнісними опорами системи можна знехтувати;
2. у момент виникнення короткого замикання миттєве значення напруги в одній фазі в точці виникнення короткого замикання нульове;
3. під час короткого замикання, шлях протікання струму короткого замикання не міняється;
4. повним опором дуги короткого замикання можна знехтувати;
5. трансформатори встановлені в основне положення відгалуження обмотки;
6. коротке замикання виникає одночасно у всіх трьох фазах;
7. для генераторів, включених на паралельну роботу, усі генератори розподіляють активне і реактивне навантаження пропорційно в момент виникнення та протягом короткого замикання;

8. протягом кожного окремого часового інтервалу всі елементи ланцюги виявляють лінійний вплив.

Оминаючи струму короткого замикання звичайно описується протягом перших декількох мілісекунд з моменту виникнення короткого замикання (понадперехідний період), на додаток до наступних мілісекунд (перехідний період) і секундам (період, що встановився) короткого замикання. На струм короткого замикання, вироблений синхронним генератором, надають великий вплив характеристики регулятора напруги даного генератора. Для точного розрахунку впливу регулятора необхідна повна інформація з конструкції регулятора, остаточне рівняння буде нелегко розрахувати. Проте значення, що встановилося, виробленого струму короткого замикання, беручи до уваги можливості регулятора, як правило, повинне визначатися з інформації, що представляється виробником генератора.

Для симетричного трифазного короткого замикання, необхідно враховувати тільки елементи прямої послідовності системи.

Система ділиться на активні та неактивні елементи. Активні елементи є джерелами струму короткого замикання, неактивні елементи проводять або перетворюють струм короткого замикання для розподілу його від джерела в точку короткого замикання. Кожний елемент представлений математичною моделлю, сформульовано з його характеристичних параметрів.

Паралельно підключені елементи, які мають однакові номінально припустимі дані, такі як двигуни і генератори, можуть розглядатися як єдина (зосереджена) машина. Для виконання розрахунків з урахуванням часової залежності для системи, що включає кілька різнорідних активних елементів, повинен застосовуватися метод еквівалентного генератора.

Розрахунок системи

При розрахунку системи, необхідно визначити значення струмів короткого замикання на: ГРЩ; шинах генератора; розподільних щитах, підключених до головних генераторних шин; розподільних щитах або комутаційних щитах, підключених до головних генераторних шин або розподільного щита, що й одержують живлення через трансформатор.

Розрахунки струмів короткого замикання для системи повинні охоплювати струми короткого замикання, вироблені всіма двигунами і генераторами, підключеними до системи, включаючи струми на головних генераторних шинах, вторинних комутаційних щитах і розподільних щитах.

Для розрахунку використовується програма для визначення струмів КЗ. Вона розроблена для застосування в середовищі пакета Mathcad.

Перед розрахунками повинна бути складена однолінійна схема СЕЕС, що містить номінальні дані всіх активних і неактивних елементів. Вихідні дані для генераторів наведені в табл.1.

Таблиця 1. Вихідні дані для генераторів

Електричні параметри	$G0$	$G1$	$G2$
S , кВА	600	600	600
U , В	400	400	400
f , Гц	50	50	50
X_d , в.о.	3,14	3,14	3,14
X'_d , в.о.	0,17	0,17	0,17
X''_d , в.о.	0,11	0,11	0,11
I_k , в.о.	6,5	6,5	6,5
T'_d , с	0,08	0,08	0,08
T''_d , с	0,012	0,012	0,012
R_a , мОм	4,30	4,30	4,30

Програма розрахована для одночасного визначення ударного струму тільки в одній точці. Для завдання іншої точки необхідно змінити дані комутаційної матриці в програмі, для чого буде потрібно кілька секунд.

У підсумку складаємо таблицю результатів розрахунків струмів короткого замикання в об'єднаній СЕЕС (табл.2.).

Таблиця 2. Результатів розрахунків струмів короткого замикання в СЕЕС

Найменування ланцюга (точка КЗ)	Розрахункові значення струмів короткого замикання	
	Струм що встановився	Струм ударний
	кА	кА
Генератор 1	15,87	32,31
Генератор 2		
Генератор 3		
Шини ГРЩ	23,81	49,87
Трансформатор	23,79	40,83
РЩ	23,81	46,45
Секція 230В	17,66	8,62

Крім чисельного значення ударних струмів і усталених струмів короткого замикання програма дозволяє одержати характеристики загасання струмів.

Висновок. Розрахунок струмів короткого замикання за розглянутою методикою з використанням розробленої програми дозволяє суттєво скоротити час розрахунку. Достовірні результати розрахунків, отримані по вимогах міжнародного стандарту дозволяють якісно проектувати системи захисту.

ЛІТЕРАТУРА

1. ІЕС 61363-1-1998. Міжнародний стандарт. Суднові електричні установки. Переносні й стаціонарні наземні блоки.

УДК 681.5

АДАПТИВНИЙ РЕГУЛЯТОР У СУЧАСНИХ КОМПЛЕКТНИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДАХ

Шарейко Д.Ю.¹, Білюк І.С.², Савченко О.В.³, Фоменко А.М.⁴

¹кандидат технічних наук, доцент, Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
dshareyko.mk@gmail.com;

²кандидат технічних наук, доцент, Національний університет кораблебудування
ім. адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
ivanbilyuk@gmail.com;

³зав. лаб. каф автоматики, Національний університет кораблебудування
ім. адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
savchenko1984@gmail.com;

⁴доцент НУК, Національний університет кораблебудування
ім. адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
fomenko.mk@gmail.com

Анотація. Наведено аналіз структур комплектних електроприводів та обґрунтовано доводиться необхідність застосування в них адаптивного регулятора. На підставі проведених розрахунків показано ефективність такого введення та развантаження програмованого логічного контролера, що керує технологічним процесом.