

О. Є. Савенко, асп.

ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ БАГАТОГЕНЕРАТОРНОЇ СУДНОВОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ

Розглянуто роботу багатогенераторної суднової електростанції з точки зору існування в ній обмінних коливань потужності. Для дослідження використано розроблену математичну модель і проведено експеримент в реальних умовах експлуатації.

Вступ

Сучасні морські судна є складними технічними об'єктами, функціонування яких неможливо без електричної енергії. У зв'язку з автономним режимом експлуатації судів необхідно організувати на них виробництво електричної енергії, основним джерелом якої є судновий синхронний генератор змінного струму. Для найраціональнішого виробництва, розподілу і використання електричної енергії на судах інженери всього світу проектують судна різного призначення з багатогенераторними електростанціями. Необхідність такого підходу до структури суднової електроенергетичної установки продиктована зменшенням витрат на паливо і збільшенням терміну служби дизель-генераторних агрегатів [1, 2]. У такій структурі суднової електростанції необхідно забезпечити паралельну роботу дизель-електричних агрегатів, що є досить складним завданням. Основною складністю є розподіл активних і реактивних потужностей між генераторними агрегатами, що працюють паралельно у складі суднової електростанції. Точність розподілу активної і реактивної потужностей залежить від параметрів електроенергії, вироблюваної генераторами, відповідно від частоти і напруги, які, у свою чергу, залежать від оборотів дизеля та напруги збудження генератора. Для підтримки стабільності частоти обертання дизеля в різних експлуатаційних режимах на них встановлені автоматичні регулятори частоти обертання, які змінюють подачі палива в циліндри забезпечують стабільність роботи. Для підтримки постійності напруги, що виробляється генератором, на них встановлені регулятори напруги, є порівняльні зв'язки. На судах можуть також бути встановлені системи автоматичного розподілу активної і реактивної потужностей. Проте, незважаючи на жорсткі вимоги і велику кількість систем автоматики, у багатогенераторних суднових електростанціях часто виникають обмінні коливання потужності під час паралельної роботи дизель-генераторних агрегатів, які впливають на стійкість її роботи в цілому [1, 3].

Постановка завдання

Допустимий рівень обмінних коливань потужності за паралельної роботи є найважливішою умовою якісної роботи суднової електростанції. Однак Регістр морського флоту, міжнародні морські конвенції і навіть стандарт ISO 8528 не містить вимог щодо обмеження обмінних коливань потужності за паралельної роботи генераторних агрегатів у складі суднової електростанції. Коливання потужності приводять до підвищеного зносу регуляторів частоти обертання, обмежують використання потужності генераторних агрегатів, спричиняють пульсацію напруги суднової мережі, зменшують коефіцієнт корисної дії механізмів, знижують ефективність і надійність роботи систем автоматизації, можуть призвести навіть до випадання синхронного генератора з синхронізму, а також негативно позначаються на психофізичному стані екіпажу. За інформацією, що надходить з суперсучасних суден з класом автоматизації А1, саме через виникнення обмінних коливань потужності часто відбувається знеструмування суден, що є аварійною ситуацією і несе пряму загрозу життю екіпажу і збереженню вантажу. Для забезпечення якісної паралельної роботи суднових генераторних агрегатів за їх паралельної роботи необхідно провести дослідження, спрямовані на створення нових систем та законів керування, основним завданням яких має стати зведення до мінімуму, а по можливості, досягнути повної відсутності обмінних коливань потужності. Також необхідно розробити рекомендації для нормативних документів, де повинен бути визначений допустимий

рівень обмінних коливань потужності.

Результати дослідження

Для дослідження паралельної роботи дизель-генераторних агрегатів у складі суднової електростанції розроблена математична модель двогенераторної електроенергетичної системи [4], що включає в себе дизелі, генератори, регулятори частоти, напруги та навантаження. Реалізована в моделі можливість зміни зон нечутливості регуляторів, тобто врахування люфтів і сухого тертя, наочно показала, що саме вони є однією з основних причин виникнення та існування обмінних коливань потужності під час паралельної роботи судових синхронних генераторних агрегатів.

На основі математичної моделі складена програма, у якій реалізована можливість отримання графіків напруг, струмів, кутів навантаження генераторів, моментів і частот обертання дизелів. На рис. 1 показано струми генераторів під час запуску потужного судового споживача, з якого видно існування обмінних коливань потужності за наявності люфту як у перехідному, так і в усталеному режимах.

Саме струм навантаження генератора, взято за величину, яка здійснює зв'язок між результатами математичного моделювання і результатами проведеного пасивного експерименту на реально діючому судні державної судноплавної компанії «Керченська поромна переправа». Паром «Єйськ» здійснює регулярні вантажопасажирські перевезення між портом «Крим» і портом «Кавказ» [5].

За допомогою контрольно-вимірювального комплексу, побудованого на основі цифрового запам'ятовуючого осцилографа з частотою дискретизації 100 МГц і персонального комп'ютера, знята велика кількість осцилограм струмів, напруг і потужностей генераторів під час їх паралельної роботи у всіх режимах роботи порому.

Одним з найпотужніших судових споживачів є електропривод бортового підрулюючого пристрою, що складається з асинхронного електродвигуна з фазним ротором потужністю 135 кВт та приєднаного до нього гвинта регульованого кроку. Процес пуску цього електропривода складається з таких етапів: пуск двигуна зі з'єднанням його обмоток у зірку протягом приблизно 1,5 секунд (рис. 2), робота протягом ще приблизно 1,5 секунд і потім перемикання з'єднання обмоток на трикутник (рис. 3), після цього система працює в штатному режимі зі зміною розвороту лопастей гвинта (рис. 4).

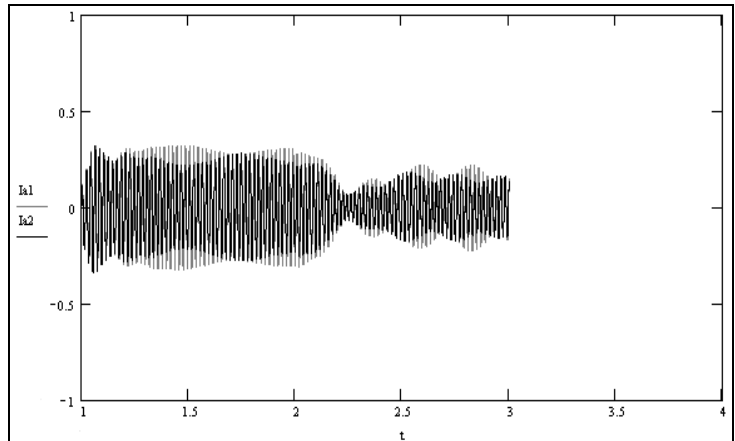


Рис. 1. Струми двох паралельно працюючих дизель-генераторів під час пуску навантаження

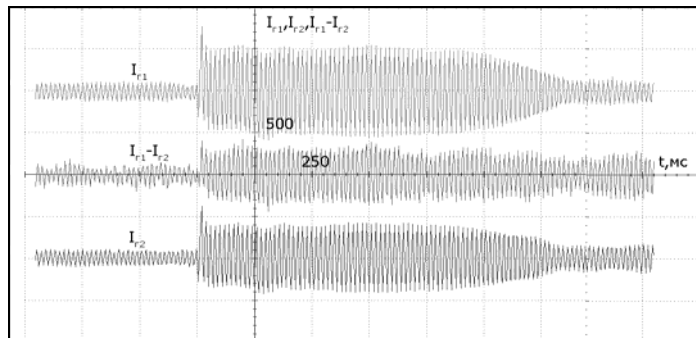


Рис. 2. Струми двох паралельно працюючих дизель-генераторів під час запуску підрулюючого пристрою

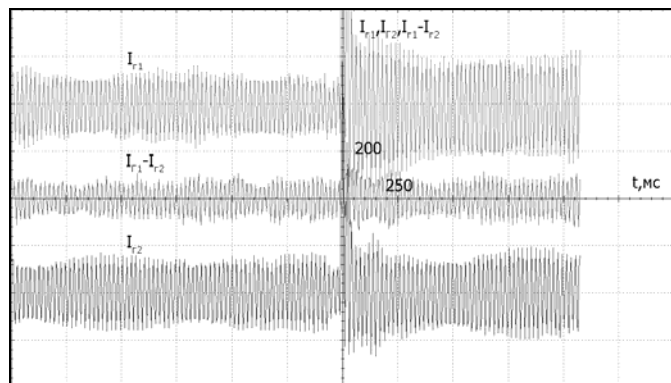


Рис. 3. Струми двох паралельно працюючих дизель-генераторів під час запуску підрулюючого пристрою (перемикання з зірки на трикутник)

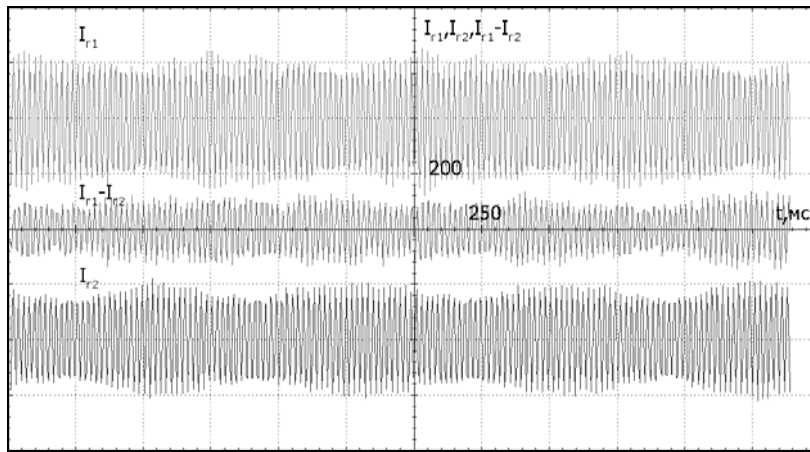


Рис. 4. Струми двох паралельно працюючих дизель-генераторів під час роботи підрулюючого пристрою

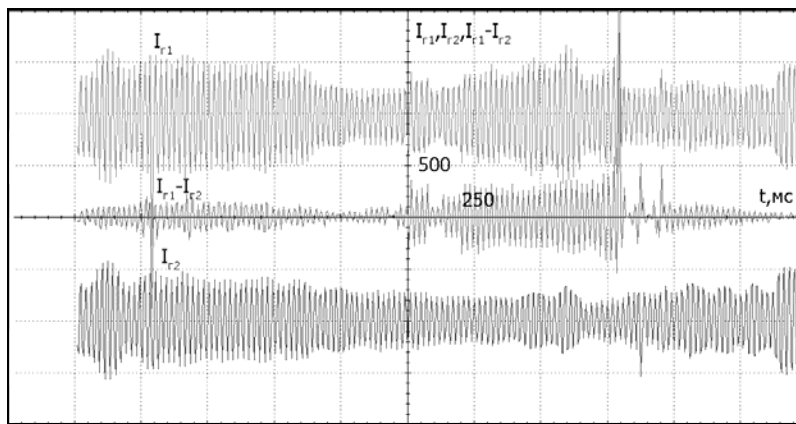


Рис. 5. Токи двох паралельно працюючих дизель-генераторів в усталеному режимі

Ще одним досліджуваним режимом є усталений режим роботи, у якому включені всі судові споживачі за винятком гребних електродвигунів постійного струму, які отримують живлення через тиристорні перетворювачі (рис. 5).

Тут, як і на попередніх осцилограмах, добре помітні явища своєрідного переходу потужності від одного дизель-генератора до іншого з частотою кількох герц. Максимуму потужності одного дизель генератора в конкретний момент часу відповідає мінімум потужності іншого дизель-генератора і навпаки – це і є обмінні коливання потужності.

Для підтвердження висновків про обмінні коливання потужності на підставі отриманих осцилограм, на яких зафіксовані миттєві значення струмів генераторів, а також їх різниці, отримані осцилограми струму генератора і його активної потужності, на яких видно, що вони змінюються синфазно (рис. 6).

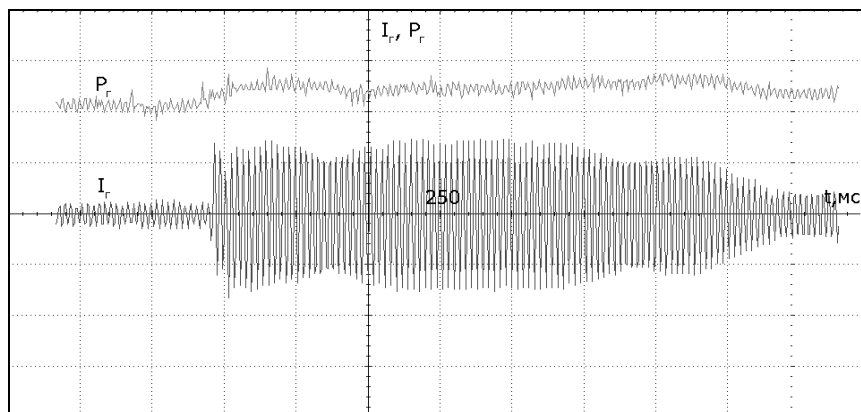


Рис. 6. Струм і активна потужність генератора під час паралельної роботи (пуск підрулюючого пристрою)

Висновки

Проведені дослідження підтвердили існування обмінних коливань потужності під час паралельної роботи суднових дизель-генераторних агрегатів у всіх режимах роботи судна. Отримані експериментальні осцилограми добре узгоджуються з результатами математичного моделювання. Однією з основних причин виникнення обмінних коливань потужності є існування люфтів і сухого тертя у всіх елементах, що регулюють подачу палива, а також зміна напруги збудження. Результати досліджень показують необхідність впровадження нової системи оптимального керування. Така система повинна керувати обома регуляторами кожного дизель-генераторного агрегату, стабілізуючи його параметри до і після введення в паралельну роботу, або це повинна бути складніша система, що керує всіма регуляторами всіх дизель-генераторних агрегатів електроенергетичної системи судна у всіх режимах її роботи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Конкс Г. А. Мировое судовое дизелестроение. Концепции конструирования, анализ международного опыта / Г. А. Конкс, В. А. Лашко. — М. : Машиностроение, 2005 — 512 с.
2. Болотин Б. И. Инженерные методы расчетов устойчивости судовых автоматизированных систем / Б. И. Болотин, В. Л. Вайнер. — Л. : Судостроение, 1974. — 332 с.
3. Вишневский Л. В. Управление параллельной работой современных судовых многогенераторных электростанций / Л. В. Вишневский, И. П. Козырев, А. Е. Савенко // Судовые энергетические установки. — 2007. — № 19. — С. 87—91.
4. Вишневский Л. В. Моделирование судовых многогенераторных установок / Л. В. Вишневский, А. Е. Савенко // Автоматика 2008 : матер. 15 международной конференции по автоматическому управлению. — С. 93—95.
5. Савенко А. Е. Теоретичне та експериментальне дослідження роботи багатогенераторної суднової електроенергетичної системи / А. Е. Савенко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2011. — № 3. — С. 58—62.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем

Стаття надійшла до редакції 10.10.11
Рекомендована до друку 16.11.11

Савенко Олександр Євгенійович — старший викладач кафедри електроустаткування суден і автоматизації виробництва
Керченський державний морський технологічний університет, Керч