

ТЕОРЕТИЧНЕ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ БАГАТОГЕНЕРАТОРНОЇ СУДНОВОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ

Розглянуто проблему виникнення обмінних коливань потужності в електроенергетичних установках суден. Проведено експеримент та доведено адекватність розробленої математичної моделі паралельної роботи дизель-генераторів.

Вступ

У сучасних умовах на судах морського флоту у цілях раціонального виробництва, розподілу і споживання електричної енергії встановлюються від двох до семи, а іноді й більше, дизель-генераторних агрегатів, які здійснюють паралельну роботу у різних режимах експлуатації. Таким чином, суднові електроенергетичні системи є багатогенераторними, отже в них виникає завдання розподілу активної і реактивної потужностей між паралельно працюючими дизель-генераторними агрегатами. Точність розподілу активної і реактивної потужностей залежить від параметрів тієї електроенергії, що виробляється генераторами, відповідно від частоти і напруги, які, у свою чергу, залежать від оборотів дизеля і напруги збудження генератора. Для підтримки постійності частоти обертання дизеля у різних експлуатаційних режимах на ньому встановлені автоматичні регулятори частоти обертання, які шляхом зміни кількості палива, що подається у циліндри, забезпечують стабільність роботи. Для підтримки постійності напруги, що виробляється генератором, на ньому встановлені регулятори напруги, є зрівняльні зв'язки. На судах можуть також встановлюватися системи автоматичного розподілу активної і реактивної потужностей. Проте, не дивлячись на жорсткі вимоги і велику кількість систем автоматики, у багатогенераторних судових електростанціях часто виникають обмінні коливання потужності під час паралельної роботи дизель-генераторних агрегатів. Коливання потужності призводять до підвищеного зносу регуляторів частоти обертання, обмежують використання потужності генераторних агрегатів, викликають 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 [1].

Постановка завдання

Однією з основних причин виникнення обмінних коливань потужності можна назвати існування люфтів і сухого тертя [2, 3] у всіх елементах, що регулюють подачу палива і зміну напруги збудження. Для усунення цього шкідливого явища необхідний новий підхід у роботі систем автоматики потужностей, що відповідають за розподіл, — необхідно перейти від практики регулювання частоти і напруги кожного окремо взятого дизель-генераторного агрегату до системи, яка координувала б їх спільну роботу й управляла б всіма регуляторами одночасно, також необхідні нові закони управління автоматичними системами. Для реалізації поставленого завдання була створена математична модель суднової електростанції, [4, 5] що включає дизель-генераторні агрегати, їх регулятори і навантаження. Маючи таку модель, можна вносити до неї параметри конкретної суднової електростанції, тобто здійснювати її ідентифікацію і моделювати різні режими її роботи. Для доказу існування обмінних коливань потужності та адекватності розробленої математичної моделі проведено низку експериментів, спрямованих на отримання осцилограм фазної напруги, струмів, частот обертання та інших досліджуваних величин.

Опис об'єкта експерименту

Експерименти проводилися на поромі «Сйськ» Керченської державної судноплавної компанії, який здійснює регулярні пасажирські перевезення між портами Крим і Кавказ.

Розглянемо докладніше електроенергетичну установку порома (рис. 1).

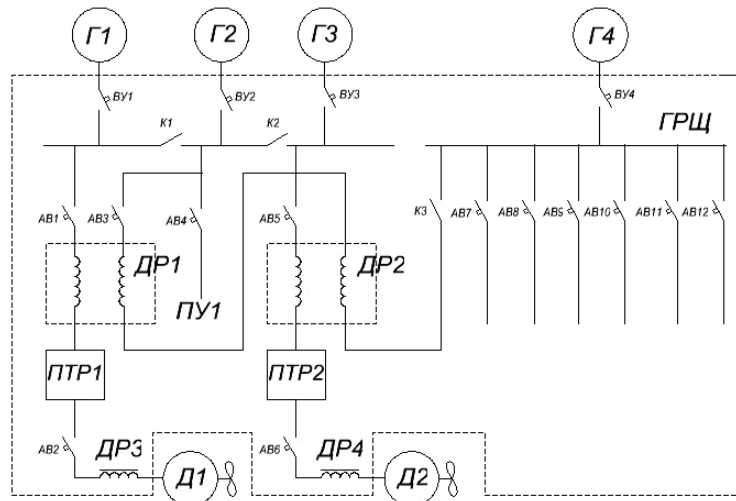


Рис. 1. Структурна схема ЕЕЕС порома «Сйськ»

Для порома проекту 10380 взята єдина електроенергетична система (ЕЕЕС) з гребною електричною установкою (ГЕУ) змінно-постійного струму і відбором потужності на живлення суднових споживачів від шин головних генераторів. Така система дозволяє зменшити кількість генераторів на судні, повніше та економічніше використовувати встановлену потужність електроенергетичної установки, зменшити кількість вживаної апаратури і поліпшити умови експлуатації порома.

Разом з тим, з метою забезпечення необхідної якості електроенергії, що відбирається на живлення суднових споживачів, потрібні спеціальні заходи для зменшення спотворень форми синусоїдальної кривої напруги генераторів, що виникають під час комутації силових тиристорів статичних перетворювачів ГЕУ. Для компенсації вказаних спотворень застосовані спеціально розроблені здвоєні реактори, одна з обмоток яких включена в ланцюг головного струму, а інша — в ланцюг відбору потужності. Здвоєні реактори за рахунок взаємодукції компенсують комутаційні провали напруги і тим самим покращують якість електроенергії.

Живлення двох гребних електричних двигунів (ГЕД) постійного струму, що працюють на гвинт фіксованого кроку, з обслуговувальними механізмами й обладнанням здійснюється від трьох безщіточних дизель-генераторів змінного струму. Від головних дизель-генераторів так само здійснюється відбір електроенергії для живлення суднових споживачів. У якості головних джерел електроенергії у схемі ГЕУ порома прийнято три дизель-генератори 6VD26/20-AL-2 з генераторами S450M6 800 кВА, 390 В, 50 Гц, $\cos \varphi = 0,8$, 1184 А. У агрегаті 750 кВА, 1110 А. Генератори складаються з таких основних вузлів: трифазний генератор з внутрішніми полюсами; трифазний збудник із зовнішніми полюсами; випрямна група, що обертається; пристрій збудження з електронним регулятором напруги.

У безщіточному виконанні потужність збудження підводиться індуктивною передачею до обмотки збудження постійного струму генератора (ротор) так, що відпадає необхідність у контактних системах, що підлягають зносу і технічному догляду. Для цього служить збудник, обмотка трифазного струму (ротор) якого теж розташована на валу генератора і з'єднана з обмоткою збудження генератора безпосередньо проводами через випрямну групу, що обертається.

Статор збудника має обмотку збудження постійного струму, яка живиться генератором через пристрій збудження з електронним регулятором напруги і після закінчення процесу збудження, задіяного за допомогою залишкового магнетизму, робить можливою роботу генератора.

Схемою ГЕУ передбачені такі режими роботи: 3 головні генератори → 2ГЕД — льодовий режим повної потужності; 2 головні генератори → 2ГЕД — режим роботи у чистій воді; 1 головний генератор → 2ГЕД — аварійний режим, забезпечується схемою ГЕУ, але не є експлуатаційним.

Перехід з одного режиму роботи ГЕУ на інший здійснюється зміною кількості включених у схему генераторів і може виконуватися без перерви у роботі ГЕД.

Відповідність потужності ГЕУ режиму роботи забезпечується автоматично відповідними змінами у схемі регулювання ГЕУ у разі відключення або включення автоматичних вимикачів генераторів.

Включення генераторів на паралельну роботу можливе методом автоматичної точної синхроні-

зації за допомогою пристрою УСГ або вручну за допомогою синхроноскопу або ламп.

Включення генераторів Г1—Г3 на шини ГЕУ головного розподільного щита (ГРЩ) проводиться за допомогою автоматичних вимикачів В1—В3 типу ВА74, які також здійснюють захист генераторів від коротких замикань, перевантаження, мінімальний захист і захист від зворотної потужності.

ГЕУ порома двовальна, кожен вал приводиться в обертання ГЕД постійного струму типу МП2-М-630-152-8-М3, 710 кВт, 440 В, 370/500 об./хв. ГЕД має примусову вентиляцію від вентилятора типу «Наїзник», повітроохолоджувач, електростатичний фільтр і центробіжне реле швидкості. Збудження ГЕД незалежне і дорівнює 220 В. Кожний ГЕД отримує живлення від свого тиристорного перетворювача ПТР1/ПТР2 — типу КТЕ 1600/460 ЕВО, але на номінальній випрямлений струм 1600 А, з плавним регулюванням напруги 460-0-460 В. Обидва тиристорні перетворювачі встановлюють у центральному посту управління і мають по 3 секції з силовими тиристорними мостами (шафа силової — ШС) і по 1 секції управління (шафа управління — ШУ).

Зміна частоти обертання ГЕД проводиться зміною величини напруги, що підводиться до ГЕД; реверс — зміною полярності напруги на виході тиристорного перетворювача за постійного струму збудження ГЕД. Кожен тиристорний перетворювач підключений до шин ГЕУ ГРЩ через автоматичний вимикач типу ВА74 і здвоєний реактор. Для зменшення пульсацій в головному ланцюзі постійного струму встановлені згладжуючі реактори типу ФРОС-3-800.

Генератори з однаковою напругою збудника повинні переважно працювати паралельно зі зрівняльним дротом, що й відбувалося під час проведення експерименту. Можливе необхідне зрівнювання статичних опорів у разі паралельної роботи без зрівняльного дроту. Паралельне включення обмоток збудження всіх збудників забезпечує, незалежно від стану навантаження, однаковою напругою збудника. Розподіл активної потужності, пропорційний номінальним потужностям, веде в обов'язковому порядку до відповідного розподілу реактивної потужності.

У якості регуляторів швидкості дизелів застосовані РН-30, призначені для автоматичної підтримки заданої частоти обертання колінчастого валу двигуна у разі зміни навантаження зміною кількості палива, що подається в циліндри паливними насосами.

До складу вимірювального комплексу в ході проведення експерименту входив цифровий запам'ятовуючий осцилограф Owon HDS1022M, що має два канали для дослідження сигналів, з частотою дискретизації 100 МГц, який з'єднувався за допомогою USB-інтерфейсу з персональним комп'ютером типу ноутбук. Як датчики вимірюваних величин застосовувалися трансформатори струму і напруги, які здійснювали гальванічну розв'язку і перетворювали сигнали до допустимого для осцилографа рівня.

Результати експериментальних досліджень

У результаті експериментів отримано велику кількість осцилограм у різних режимах роботи судна, які «добре» узгоджуються з розрахунками що проводяться на запропонованій математичній моделі.

Одним з найцікавіших є процес запуску двигуна бортового підрулюючого пристрою потужністю 650 кВт (рис. 2). Запуск проводився за паралельної роботи двох дизель-генераторних агрегатів, навантажених системою вентиляції. Внаслідок того, що обертальний момент двигуна в міру наростання швидкості, приблизно до 80 %, синхронний і безперервно збільшується, розгін відбувається зі зростаючим прискоренням, в той же час струм статора починає різко спадати тільки в кінці розгону. Отримані експериментальні криві перехідних процесів струмів генераторів під час запуску найпотужнішого споживача на судні є ідентичними кривим перехідних процесів, отриманих за допомогою математичної моделі.

Одним з основних завдань, які ставилися до проведення експерименту, була фіксація обмінних коливань потужності у разі паралельної роботи судових дизель-генераторних агрегатів.

Для вирішення цього завдання знімалися осцилограми струмів генераторів за їх паралельної роботи у всіх можливих режимах роботи судна і у всіх досліджуваних випадках вони мали місце і були зафіксовані. На рис. 3 показана осцилограма під час роботи у сталому режимі, у якому навантаженням були судові споживачі, за винятком гребної установки, яка живиться через тиристорні перетворювачі.

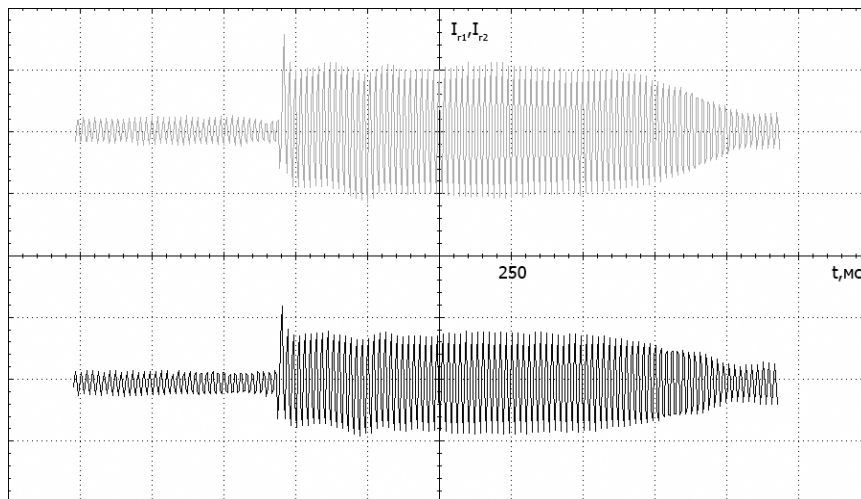


Рис. 2. Струми двох паралельно працюючих дизель-генераторів під час запуску підрулюючого пристрою

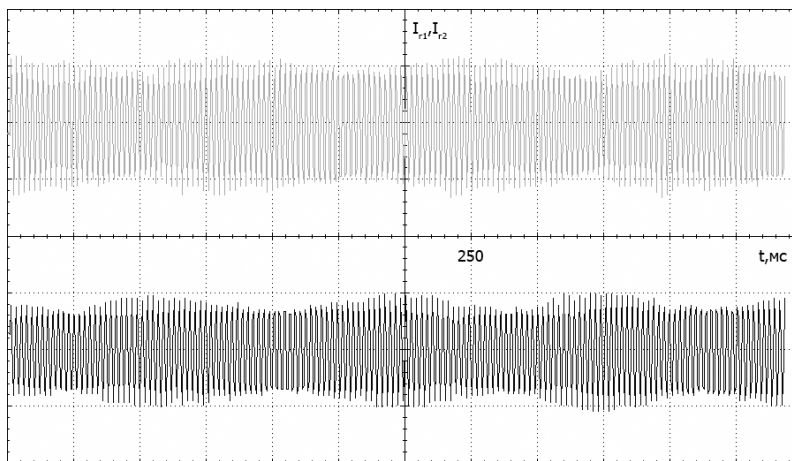


Рис. 3. Струми двох паралельно працюючих дизель-генераторів в сталому режимі

На осцилограмі (див. рис. 3) виразно видно коливання струмів, які говорять про обмінні коливання потужності за паралельної роботи дизель-генераторних агрегатів.

На рис. 4. показана осцилограма струмів генераторів у разі їх паралельної роботи у ходовому режимі судна, тобто під час роботи гребних електродвигунів через тиристорні перетворювачі.

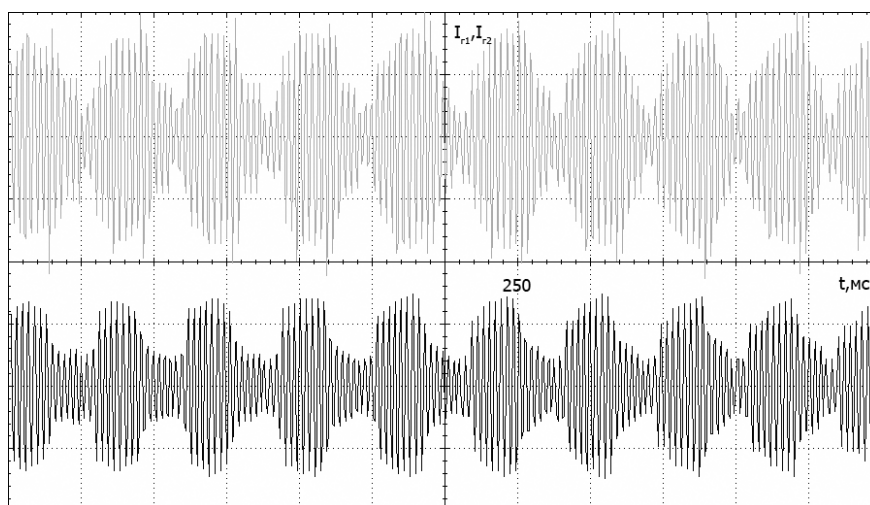


Рис. 4. Струми двох паралельно працюючих дизель-генераторів у ходовому режимі

Під час паралельної роботи дизель-генераторних агрегатів у ходовому режимі ще більшою мірою присутні струмові коливання, а значить і коливання потужності, проте тут вони також зумовлені особливостями роботи тиристорних перетворювачів.

Висновки

В результаті проведення пасивних експериментів на поромі «Сйськ» отримані осцилограми, які підтвердили адекватність наявної математичної моделі суднової електроенергетичної системи і довели існування обмінних коливань потужності у всіх експлуатаційних режимах роботи судна. Використовуючи отримані результати, можна продовжувати розробку нової системи управління суднової електроенергетичної системи для зниження рівня обмінних коливань потужності під час паралельної роботи дизель-генераторних агрегатів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Болотин Б. И. Инженерные методы расчетов устойчивости судовых автоматизированных систем / Б. И. Болотин, В. Л. Вайнер. — Л. : Судостроение, 1974. — 332 с.
2. Веретенник А. М. Автоколебательные процессы в системе стабилизации частоты судового дизель-генератора / А. М. Веретенник // Судовые энергетические установки. — 2005. — Вып. 12. — С. 30—36.
3. Вишневский Л. В. Управление параллельной работой современных судовых многогенераторных электростанций / Л. В. Вишневский, И. П. Козырев, А. Е. Савенко // Судовые энергетические установки. — 2007. — Вып. 19. — С. 87—91.
4. Моделирование включения синхронных генераторов в судовую сеть / [Вишневский Л. В., Веретенник А. М., Муха Н. И., Козырев И. П.] // Електромашинобудування та електрообладнання. — 2006. — Вип. 66. — С. 201—204.
5. Вишневский Л. В. Моделирование судовых многогенераторных установок / Л. В. Вишневский, А. Е. Савенко // Автоматика 2008 : материалы 15 международной конференции по автоматическому управлению. — С. 93—95.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем

Стаття надійшла до редакції 23.02.11
Рекомендована до друку 24.03.11

Савенко Олександр Євгенійович — старший викладач кафедри електроустаткування суден і автоматизації виробництва.

Керченський державний морський технологічний університет, Керч