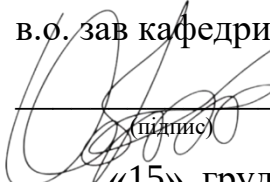


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова
Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
кафедра суднових електроенергетичних систем

Рекомендовано до захисту

в.о. зав кафедри СЕЕС

 Обрубов А.В.
(прізвище та ініціали)

«15» грудня 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

на тему

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕДАЧІ СИГНАЛУ
КЕРУВАННЯ ДО ВІДДАЛЕНОГО ПОТУЖНОГО
ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ЧЕРЕЗ ЛІНІЇ ЖИВЛЕННЯ

Виконав: студент 6 курсу, групи 6365м
спеціальності 141. Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
освітньої програми: Системи генерування
електроенергії та електропостачання

 Прокіп С. З.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. Новогрецький С.М.
(прізвище та ініціали)

Рецензент: к.т.н., доц. Білюк І.С.
(прізвище та ініціали)

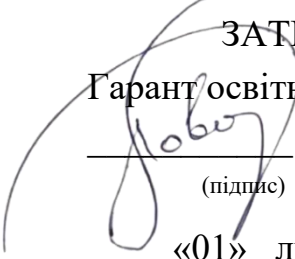
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ ІМЕНІ
адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
кафедра суднових електроенергетичних систем

Ступень вищої освіти: магістр

Спеціальність 141. Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

Освітня програма Системи генерування електроенергії та електропостачання
(назва освітньої програми)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Гарант освітньої програми
 Новогрецький С.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)
«01» лютого 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

Студенту Прокіпу Сергію Захаровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Моделювання процесу передачі сигналу керування до віддаленого потужного електрообладнання через лінії живлення

науковий керівник Новогрецький Сергій Миколайович, канд.техн.наук, доцент
затверджено наказом по університету № 1217-уч. від «14» жовтня 2025 року.

2. Строк подання студентом роботи «15» грудня 2025 р.

3. Об'єкт дослідження системи розподілу електроенергії

4. Предмет дослідження передача високочастотних сигналів керування

5. Перелік задач, які потрібно вирішити розробити математичну модель передачі сигналів керування по кабельним лініям електропостачання, проаналізувати питання передачі інформаційного сигналу по силовим лініям, розглянути гвинто кермові колонки, промодельовати досліджувану модель в програмному пакеті Matlab Simulink, проаналізувати отримані графіки сигналів.

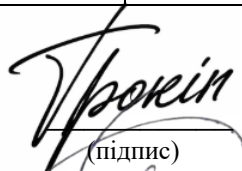
6. Перелік графічного матеріалу: способи організації високо частотного каналу по лінії електропередачі, частотна маніпуляція, схема гвинто кермової електричної установки «Azipod», розміщення на судні компонентів ГЕУ з модулями «Azipod», гвинто кермової колонки з двома гвинтами, схема розрахункової моделі системи передачі сигналу керування по силовому кабелю, графіки залежності напруги, струму, швидкості, моменту від часу.

7. Дата видачі завдання «01» лютого 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

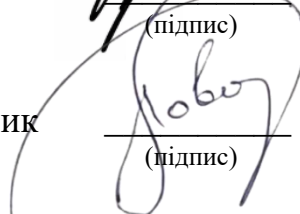
№ з/п	Назва етапу роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Закінчити розділ 1	березень 2025 р	Виконано
2	Закінчити розділ 2	травень 2025 р	Виконано
3	Закінчити розділ 3	жовтень 2025 р	Виконано
4	Закінчити оформлення роботи	грудень 2025 р	Виконано

Студент


(підпис)

Прокіп С.З.
(прізвище та ініціали)

Науковий керівник


(підпис)

Новогрецький С.М.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній магістерській роботі розглянуті питання передачі сигналів керування по кабельним лініям електропостачання потужних суднових споживачів. Визначені способи передачі сигналів по силовим лініям. Наданий опис загальних характеристик та визначені основні принципи застосування на судах гвинто-кермової колонок, які визначені об'єктом керування. Проведений розрахунок параметрів асинхронного двигуна для гвинто-кермової колонки. Визначені параметри фільтрів зв'язку та загороджувальних фільтрів. Складена модель, що включає систему живлення асинхронного двигуна із розрахованими параметрами через частотний перетворювач, а також систему передачі високочастотного сигналу по лініям живлення. Отримані результати розрахунків підтверджують можливість використання ліній електропостачання в якості ліній зв'язку. Розглянуто питання електропожежної безпеки на судні, контроль ізоляції та типи нейтралі на судні. Всі зроблені в роботі висновки підкріплені відповідними аналітичними розрахунками та графіками.

Ключові слов: силові лінії, електропостачання, гвинто-рульова колонка, передача сигналів керування.

ABSTRACT

The qualification master's thesis considers the issues of transmitting control signals over cable lines for power supply of powerful ship consumers. Methods of transmitting signals over power lines are determined. A description of the general characteristics is provided and the basic principles of application on ships of propeller-steering columns, which are defined by the control object, are determined. The parameters of the asynchronous motor for the propeller-steering column have been calculated. The parameters of the coupling filters and blocking filters have been determined. A complex model is created, which includes an induction motor power supply system with calculated parameters via a frequency converter, as well as a high-frequency signal transmission system over power lines. The obtained calculation results confirm the possibility of using power lines as communication lines. The issues of electrical fire safety on board the ship, insulation control and types of neutral on the ship are considered. All conclusions made in the work are supported by relevant analytical calculations and graphs.

Keywords: power lines, electric power supply, azimuth thruster, transmission of control signals.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	4
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕДАЧА ІНФОРМАЦІЙНОГО СИГНАЛУ ПО СИЛОВИМ ЛІНІЯМ.....	11
1.1. Засоби передачі даних	11
1.2. Передача даних систем захисту	17
1.3. ВЧ зв'язок в мережах середньої та низької напруги (розподільні мережі)	20
1.4. Широкосмугові системи (Broadband Power Line)	22
1.5. Частотна передача сигналів	24
1.6. Тенденції розвитку комунікаційних технологій	26
1.7. Power Line Communication (PLC).....	28
1.8. Технологічні особливості PLC-систем	33
1.9. Європейський стандарт для PLC	35
РОЗДІЛ 2. ГВИНТО КЕРМОВІ КОЛОНКИ	37
2.1. Типи гвинто кермових колонок.....	37
2.2. Головні гвинто керівні колонки типу «Aquamaster.....	38
2.3. Головні гвинто кермові колонки типу «Azipod	40
2.4. Гвинто кермові колонки фірми Steerprop	49
2.5. Переваги використання основних гвинто керованих колонок.....	52
2.6. Гвинто кермова колонка з двома гвинтами STP	56
2.7. Ефективне управління судновим електроприводом	59
2.8. Моделювання електроприводу ГКК в Matlab Simulink	63
РОЗДІЛ 3. ЕЛЕКТРОПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА НА СУДНІ, КОНТРОЛЬ ІЗОЛЯЦІЇ ТА ТИПИ НЕЙТРАЛІ НА СУДНІ.....	79
3.1. Електропожежна безпека на судні	79
3.2. Умови електропожежної безпеки (однофазні замикання на корпус).....	83

3.3. Технічні способи і основні шляхи досягнення електропожежної безпеки	86
3.4. Контроль опору ізоляції і вибір оптимальної системи "нейтраль – захист"	92
ВИСНОВКИ.....	98
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	99

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ЛЕП – лінія електропередач

ВЧ – високі частоти

ВОЛЗ – волокно–оптична лінія зв’язку

ПЛ – повітряна лінія

АСП – аналогова система передачі

ПС – підстанція

КЗ – коротке замикання

АУ – апаратура ущільнення

ПП – пристрої приєднання

ФП – фільтр приєднання

КЗв – конденсатор зв’язку

ВЧЗ – високочастотні загороджувачі

РЗ і ПА – релейний захист і протиаварійна автоматика

АСКОЕ – автоматизована система комерційного обліку електроенергії

ГТКК – головна гвинто керівна колонка

ГЕД – гребний електродвигун

ГКК – гвинто керівна колонка

ГА – генераторний агрегат

СЕС – суднова електро станція

ГРЩ – головний розподільний щит

ПЧ – перетворювач частоти

АД – асинхронний двигун

ККД – коефіцієнт корисної дії

ЕРС – електрорушійна сила

ЕЕУ – електро енергетична установка

СДЕУ – суднова дизель енергетична установка

ДГ – дизель генератор

СЕЕС – суднова електро енергетична установка

ОЗ – однофазне замикання

АЗФ – автоматичне замикання фази

ПУЕ – правила улаштування електроустановок

ПЗВ – пристрій захистного відключення

ТСНП – трансформатор струму нульової послідовності

Д – дизель

СГ – синхронний генератор

ДС – дизель стояночний

СГС – синхронний генератор стояночний

ДА – дизель аварійний

СГА – синхронний генератор аварійний

АРЩ – аварійний розподільний щит

Т – трансформатор

НП – напівпровідникові перетворювачі

ПРП – пускорегулюючий пристрій

СПП – стаціонарний підрулюючий пристрій

ВСТУП

В даний час з розвитком морського сполучення і освоєнням нових раніше не доступних для судноплавства районів світового океану, з'являється все більше типів кораблів для яких необхідна підвищена маневреність (катери, військові кораблі, рятувальні судна), збереження стійкості судна при проведенні робіт (судна підтримки, будівельні судна оснащені краном) або необхідний додатковий вільний простір в корпусі судна (круїзні лайнери, вантажні судна). Найчастіше для забезпечення цих якостей в необхідному обсязі традиційного гребного валу виявляється недостатньо і натомість йому були створені гвинто кермові колонки, які в стані забезпечити необхідні якості для судна.

В даних системах потрібно щоб керування було надійним, в якому передбачено додаткові канали зв'язку. В роботі запропоновано замість зв'язку по оптоволоконним дротам (на які потрібні великі затрати), застосовувати силову кабельну лінію в якій сигнал передається на високій частоті. В промислових енерго установках цей спосіб передачі сигналу вже застосовується. Ми хочемо застосувати даний досвід в судових умовах.

Мета і задачі досліджень. Мета роботи – розробити новий спосіб передачі сигналу керування до гвинто-керівної колонки.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- провести аналіз існуючих технологій передачі сигналів по силовим лініям;
- провести аналіз принципу дії та особливостей експлуатації гвинто-кермових колонок;
- розробити математичну модель для моделювання системи передачі сигналів керування для гвинто-кермової колонки по кабелям розподільчої мережі;
- визначити особливості та доцільність передачі сигналів керування по силовим кабелям.

Об'єкт дослідження – системи розподілу електроенергії.

Предмет дослідження – передача високочастотних сигналів керування.

Методи дослідження. При виконанні роботи було проведено моделювання в програмному середовищі MathCAD для визначення параметрів асинхронного

двигуна та фільтрів, проведено моделювання роботи системи за допомогою програмного пакету Matlab, представлено принципову схему фільтру в програмному середовищі Splan.

Наукова новизна отриманих результатів. У роботі отримані наступні наукові результати:

- 1) запропонована модель системи передачі сигналу керування по силовим кабельним лініям, що живлять асинхронний двигун через перетворювач частоти;
- 2) запропоновано здійснювати резервне передавання сигналу керування гвинто-кормовою колонкою по кабельним лініям живлення.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕДАЧА ІНФОРМАЦІЙНОГО СИГНАЛУ ПО СИЛОВИМ ЛІНІЯМ

Останнім часом спостерігається сплеск інтересу до засобів передачі даних по лініях електроживлення. Це обумовлено, перш за все, повсюдно зростаючою потребою в засобах телекомунікацій як в глобальному, так і в локальному масштабах. Системи управління і моніторингу в промисловості і на транспорті, в медицині, енергетиці, системах екологічної безпеки та інших областях людської діяльності стають все більш інтелектуальними і розподіленими.

Проблема передачі інформації по силовим кабелям вивчається багато років (близько 30 років) в рамках десятків спеціальних проектів в науково-дослідних лабораторіях по всьому світу.

1.1 Засоби передачі даних

У наш час існує два види передачі інформації по силовим провідникам: передача точка-точка по ВЛ високовольтних лініях напруги (35 – 750 кВ) і широкосмугова загальномережева передача даних, (BPL – Broadband Power Line), в мережах середньої та низької напруги (0,4 – 35 кВ). Кожен з цих видів має свої особливості.

Високовольтні лінії електропередач (ЛЕП) вже давно використовуються в енергосистемах для передачі інформації на високих частотах (ВЧ). Фірма Siemens є піонером в обох напрямках. Перші ВЧ системи на високовольтних лініях, фірми Siemens були реалізовані ще в 1926 році в Ірландії. ВЧ-зв'язок постійно розвивається і залишається найбільш надійним засобом управління віддаленими об'єктами електроенергетичних систем і економічно вигідним видом зв'язку при передачі малих обсягів інформації на великі відстані.

Привабливість цієї технології для операторів мереж електропостачання полягає в тому, що для передачі інформаційних сигналів використовується власна інфраструктура електромережі. Таким чином технологія є не тільки дуже економічною - відсутні поточні витрати на утримання каналів зв'язку, але і

дозволяє підприємствам енергопостачання бути незалежними від провайдерів послуг зв'язку, що особливо важливо в аварійних випадках, і навіть пропонується на законодавчому рівні багатьох країн. ВЧ зв'язок є універсальним технологічним рішенням як для підприємств, що займаються передачею і розподілом електроенергії, так і компаній орієнтованих на надання послуг населенню.

Під час бурхливого розвитку інформаційних технологій (90-ті рр.) підприємства електропостачання в промислово розвинених країнах робили значні інвестиції в прокладку волокно-оптичної лінії зв'язку (ВОЛЗ) по ПЛ високої напруги в надії забезпечити собі прибуткову частку ринку телекомунікацій. В цей час добру стару технологію ВЧ поховали заново. І саме в енергетичних мережах установка оптичних ліній була припинена з економічних міркувань, а технологія ВЧ зв'язку по ПЛ набула нового значення.

В результаті застосування цифрових технологій на високовольтних мережах, сформувалися нові вимоги до ВЧ систем.

В даний час, передача даних, здійснюється по швидких цифрових каналах, а сигнали і дані систем захисту передаються одночасно (паралельно) по ВЧ лініях, і цифрових каналах (ВОЛЗ), утворюючи надійне резервування.

У зв'язку з швидким розвитком систем автоматизації електроенергетики і цифрових широкосмугових мереж на магістральних лініях, змінилися вимоги до сучасних систем ВЧ зв'язку.

Сьогодні на відводах мережі ВЧ зв'язок розглядається як система, яка надійно передає дані систем захисту і забезпечують прозорий зручний інтерфейс для даних і мови від широкосмугових цифрових мереж до кінцевого споживача при значно більшій пропускній здатності, в порівнянні з звичайними аналоговими системами. З сучасної точки зору висока пропускна здатність може бути досягнута тільки шляхом збільшення смуги частот. Те, що в минулому було неможливо через нестачу вільних частот, сьогодні реалізується завдяки повсюдному застосуванню оптичних ліній. Тому ВЧ системи посилено використовуються тільки на відгалуженнях мережі. Також існують варіанти, коли окремі ділянки мереж об'єднані між собою ВОЛЗ (волокно – оптична лінія зв'язку), що дозволяє

використовувати однакові робочі частоти набагато частіше, ніж в разі об'єднаних систем ВЧ зв'язку.

У сучасних цифрових ВЧ системах щільність інформації при використанні швидких сигнальних процесорів і цифрових способів модуляції може бути збільшена в порівнянні з аналоговими системами з 0,3 до 8 біт/сек. Таким чином, для смуги частот 8 кГц в кожному напрямку (прийом і передача) може бути досягнута швидкість 64 кбіт/с, в той час як у PowerLink даний показник становить 76,8 кбіт на секунду, займаючи смугу 8 кГц (PowerLink - перша система ВЧ зв'язку, яка дозволяє передавати сигнал відеоспостереження).

Апаратура ВЧ-зв'язку по лініях електропередач - це, як правило, двосмугова аналогова система передачі (АСП), в якій додатково встановлено високовольтний блок підключення до ЛЕП, а також є специфічні закінчення для вирішення завдань управління, передачі сигналів телемеханіки та між машинного обміну в енергомережах.

Основними особливостями ПЛ, які необхідно враховувати при аналізі параметрів ВЧ трактів є:

- досить великі відстані між дротами ПЛ 35 кВ і вище (для ліній різних класів напруги ці відстані змінюються від 3,5 до 25 м), сумірні з відстанями між проводами ЛЕП і землею;

- неможливо забезпечити поширення сигналів по ЛЕП без відображень, що викликають появу стоячих хвиль, що погіршують умови поширення сигналів. Це обумовлюється як наявністю на ЛЕП неперервних неоднорідностей у вигляді відгалужень від ЛЕП до проміжних підстанцій (ПС), так і практичною неможливістю забезпечити узгодження навантаження на кінцях ЛЕП з її хвильовим опором;

- на дротах ЛЕП високої напруги має місце коронування проводів і часткові розряди в ізоляції обладнання. Корона і часткові розряди в ізоляції є причиною появи в ВЧ каналах по ЛЕП постійно діючих перешкод специфічного виду з відносно високим рівнем. Крім того, в ВЧ каналах мають місце короточасні

перешкоди, обумовлені перехідними процесами в ЛЕП при коротких замиканнях (КЗ) проводів і при перемиканні (комутаціях) високовольтного обладнання.

Канал зв'язку – сукупність пристроїв і фізичних середовищ, що передають сигнали. За допомогою каналів сигнали передаються з одного місця в інше, а також переносяться в часі (при зберіганні інформації). Будь-який канал зв'язку можна умовно розділити на дві частини - приймально-передавальну апаратуру ущільнення і лінію зв'язку між цією апаратурою. Роль лінії зв'язку в ВЧ каналах по ЛЕП виконує ВЧ тракт по фазним дротам або грозозахисним тросах ЛЕП, що зв'язують підстанції, на яких встановлюється апаратура ущільнення.

Основні особливості, що відрізняють ВЧ тракти від звичайних дровових ліній зв'язку, визначаються особливостями ЛЕП як середовища передачі сигналів. Ці особливості обумовлені тим, що ЛЕП конструюється для передачі електроенергії на промисловій частоті і лише в тій чи іншій мірі може пристосовуватися для передачі по ній ВЧ сигналів.

Високочастотним трактом називається з'єднаний чотириполюсник, укладений між входом і виходом кінцевої або проміжної апаратури ущільнення АУ, який включає в себе:

- багатополіусники – багатопровідні ЛЕП (повітряні або кабельні), відгалуження від них; підстанції (ПС) з встановленим на них високовольтним обладнанням;

- чотириполюсники – пристрої приєднання ПП, що складаються з фільтрів приєднання (ФП) з конденсаторами зв'язку (КЗв), ВЧ дроти, розділові фільтри тощо;

- двополюсники - високочастотні загороджувачі ВЧЗ, розділові контури, що є окремим випадком розділових фільтрів.

Так як саме ЛЕП визначає умови передачі сигналу по ВЧ тракту, в загальній схемі ВЧ тракту зручно виділити лінійний тракт, який починається і закінчується в точках підключення пристроїв приєднання до проводів ЛЕП, як це показано на рисунку 1.1.

Як і для будь-якого чотириполюсника, умови передачі сигналу по ВЧ тракту досить повно описуються системою робочих параметрів, в яку входять робоче затухання і вхідний опір.

Робоче затухання ВЧ тракту визначає ступінь ослаблення синусоїдального сигналу при передачі його від передавача до приймача.

Всі схеми приєднання до дротів (фазами або грозозахисним тросам) ЛЕП можна розділити на дві групи:

- приєднання між дротами і землею. Це, як правило, схеми фаза-земля, трос – земля і два троса – земля;
- приєднання між дротами. Це, як правило, схеми фаза-фаза, трос-трос, внутрішньофазне або всередині тросове приєднання відповідно до ізольованих дротів розщепленої фази або троса.

Найбільш поширеними є схеми приєднання фаза-земля (рисунок 1.1) і фаза-фаза (рисунок 1.2).

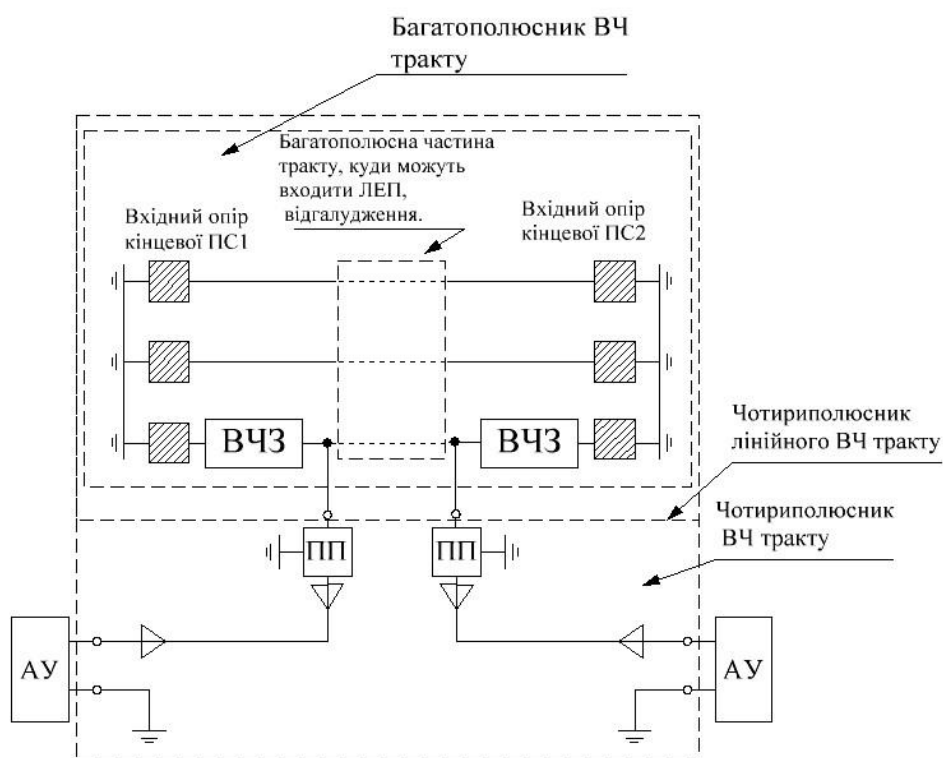


Рисунок 1.1 – Приєднання до лінії за схемою фаза – земля

На рисунку 1.2 показані два варіанти з'єднання АУ з ФП при схемі приєднання фаза-фаза - за допомогою двох коаксіальних ВЧ дротів (зазвичай використовується схема) і одного коаксіального ВЧ кабелю.

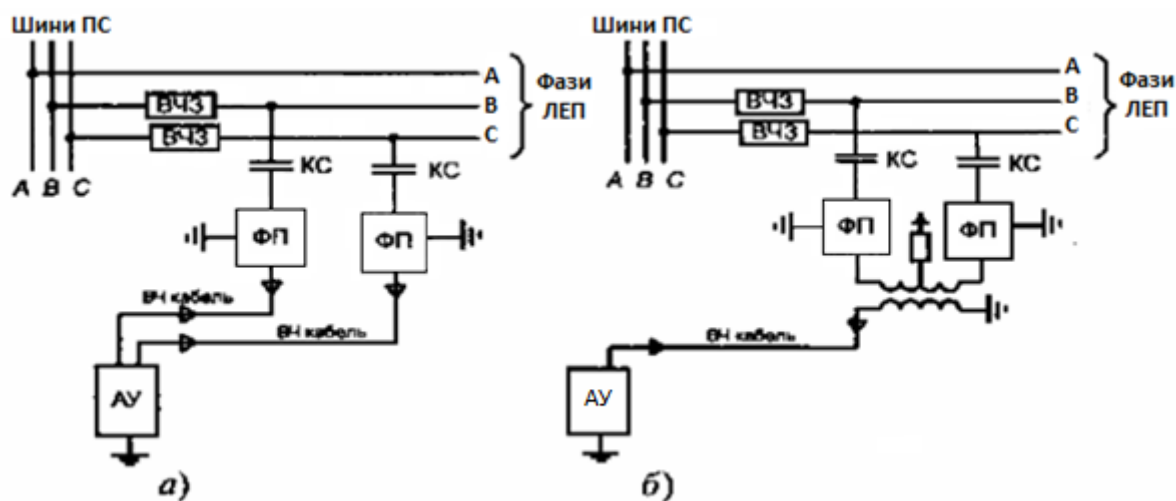


Рисунок 1.2 – Приєднання до лінії за схемою фаза В - фаза С з двома варіантами використання ВЧ дротів

В останньому випадку необхідний диференційний трансформатор, який повинен бути складовою частиною ФП. Внутрішньофазне приєднання здійснюється, як правило, на лініях 330 кВ, у яких фаза розщеплена на два дроти (дві складові).

При здійсненні такого приєднання всі дистанційні розпірки, що встановлюються на фазах лінії і утримують дроти розщепленої фази на певній відстані один від іншого (зазвичай 40 см.), робляться не проводячими, а з ізолюючого матеріалу. При цьому складові розщепленої фази утворюють двухпровідну лінію, по якій організовується внутрішньофазний ВЧ тракт. На рисунку 1.3, представлено внутрішньофазне приєднання до фази лінії з фазами, розщепленими на дві складові.

Як вже зазначалося вище, відмінність ВЧ трактів по ПЛ від трактів по звичайних провідних лініях зв'язку полягає в тому, що сама ПЛ є джерелом електричних перешкод. Ці перешкоди з'являються через наявність на дротах ПЛ високої напруги промислової частоти, і впливають на приймачі каналів зв'язку

поряд зі звичайними видами перешкод (від грозових розрядів, радіостанцій та інших каналів передачі інформації).

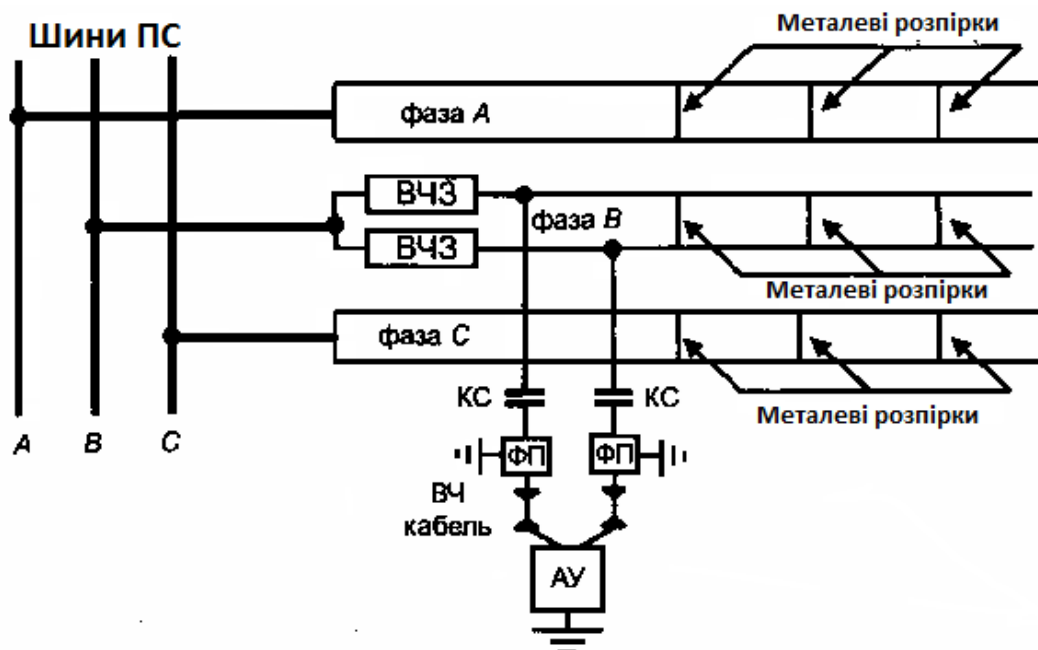


Рисунок 1.3 – Внутрішньофазне приєднання до фази В лінії з фазами, розщепленими на дві складові

Перешкоди можна розділити на перешкоди, що генеруються ЛЕП при нормальному режимі, і додаткові види перешкод, що виникають при комутаційних операціях вимикачами, роз'єднувачами і аварійних ситуаціях.

1.2 Передача даних систем захисту

Технологія ВЧ зв'язку зараз, як і раніше, відіграє важливу роль в області передачі даних систем захисту. На магістральних і високовольтних лініях з напругою понад 330 кВ, як правило, використовуються подвійні системи захисту з різними способами вимірювання (наприклад, диференційний захист і дистанційний захист). Для передачі даних систем захисту також використовуються різні способи передачі для забезпечення повної надмірності, включаючи комунікаційні канали. Типовими каналами зв'язку в цьому випадку є комбінація цифрових каналів по оптичних лініях для даних диференціального захисту і аналогових ВЧ каналів для

передачі сигналів-команд дистанційних захистів. Для передачі сигналів захисту, технологія ВЧ є найнадійнішим каналом. ВЧ зв'язок є більш надійним каналом передачі даних, ніж інші, навіть оптичні лінії не можуть забезпечити таку якість після тривалого часу. За межами магістральних ліній і на закінченнях мережі, ВЧ зв'язок часто стає єдиним каналом для передачі даних систем захистів.

Перевірена система SWT 3000 фірми Siemens (рисунок 1.4) є інноваційним рішенням для передачі команд РЗ і ПА (релейний захист і протиаварійна автоматика) з необхідною максимальною надійністю і одночасно з мінімальним часом передачі команд в аналогових і цифрових комунікаційних мережах.

Багаторічний досвід в області передачі захисних сигналів дозволив створити унікальну систему. Завдяки складній комбінації цифрових фільтрів і систем цифрової обробки сигналів вдалося настільки придушити вплив імпульсних перешкод найсильніших перешкод в аналогових каналах зв'язку, що навіть в складних реальних умовах досягається надійна передача команд РЗ і ПА. Підтримуються всі відомі режими роботи прямого відключення або дозволяє спрацьовування з індивідуальними таймерами і скоординованої або нескоординованою передачею. Вибір режимів роботи здійснюється за допомогою програмного забезпечення.



Рисунок 1.4 – Система передачі сигналів захистів SWT3000

При використанні цифрових інтерфейсів ідентифікація пристроїв здійснюється за адресою. Таким чином можливе запобігання випадкового підключення інших пристроїв по цифрових мережах.

Гнучка концепція два в одному дозволяє використовувати SWT 3000 у всіх наявних каналах зв'язку мідних дротах, високовольтних лініях, оптичних лініях або цифрових в будь-яких комбінаціях, рисунок 1.5:

- цифрова + аналогова на одній платформі;
- 2 надлишкових канали в 1 системі;
- дубльований блок живлення в 1 системі;
- 2 системи в 1 середовищі.

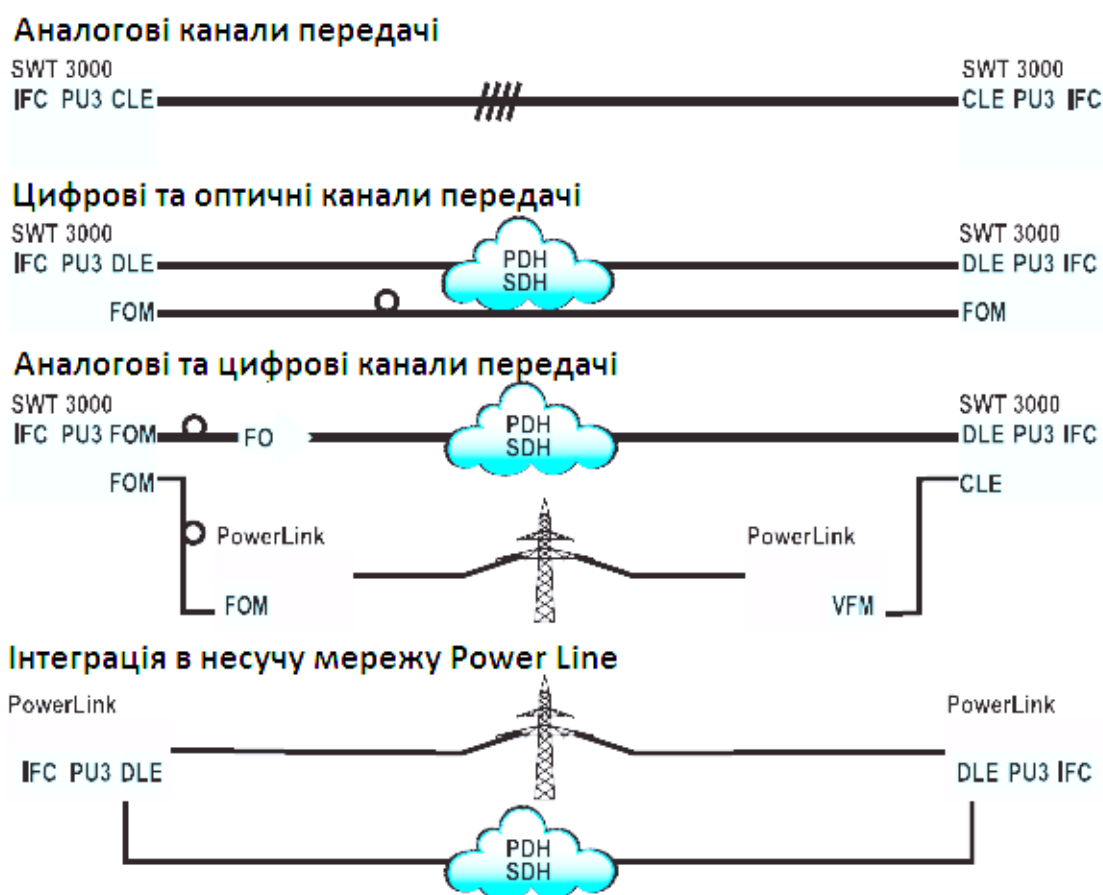


Рисунок 1.5 – Варіанти роботи системи SWT3000

Будучи дуже економічним рішенням SWT 3000 може інтегруватися в ВЧ систему PowerLink. У цій конфігурації забезпечується можливість дубльованої передачі аналогова за технологією ВЧ і цифрова, наприклад, по SDH.

1.3 ВЧ зв'язок в мережах середньої та низької напруги (розподільні мережі)

На відміну від ВЧ зв'язку по ЛЕП високої напруги, в мережах середньої та низької напруги системи ВЧ розроблені для режимів роботи точка - багато точок. Також ці системи розрізняються за швидкістю передачі даних.

Вузькосмугові системи (цифрові канали зв'язку DLC) давно використовуються в електромережах для визначення місця збоїв, дистанційної автоматики і передачі вимірювальних даних. Швидкість передачі в залежності від застосування від 1,2 кбіт/с до 100 кбіт/с. Передача сигналів в лініях середньої напруги здійснюється ємнісним способом по екрану кабелю середньої напруги.

На ринку комунікаційних систем фірма Siemens з 2000-го року успішно пропонує цифрову систему зв'язку DCS3000. Постійні зміни стану електромережі, викликані частими перемиканнями або підключенням різних споживаючих пристроїв вимагають реалізації складного технологічного завдання інтегрованої продуктивної системи обробки сигналів, реалізація, якої стала можлива тільки сьогодні.

DCS3000 використовує якісну технологію передачі даних OFDM мультиплексування з ортогональним частотним поділом сигналів. Надійна технологія забезпечує автоматичну адаптацію до змін в мережі передачі. При цьому передана інформація в певному діапазоні оптимально модулюється на декількох окремих несучих і передається в стандартизованому для електромереж діапазоні CENELEC (від 9 до 148 кГц). При дотриманні дозволеного діапазону частот і потужності передачі необхідно подолати зміни в конфігурації електромережі, а також типові для електромережі перешкоди, наприклад, широкосмуговий шум, імпульсні перешкоди і вузькосмугові завади. Додатково забезпечується надійна підтримка функції передачі даних з використанням стандартних протоколів шляхом повторення пакетів даних в разі несправності. Система DCS3000 була розроблена для низькошвидкісної передачі даних стосуються служб електропостачання в діапазоні від 4 кГц до 24 кГц.

Мережі середньої напруги зазвичай експлуатуються з відкритою схемою, що забезпечує двосторонній доступ до кожної трансформаторної станції.

Система DCS3000 складається з модему, базового блоку (BU) і індуктивних або ємнісних модулів зв'язку. Зв'язок здійснюється за принципом головний-підлеглий (master - slave). Головний базовий блок DCS3000 в трансформаторній підстанції через підлеглі базові блоки DCS3000 періодично опитує з них дані підключених телеметричних приладів і передає їх далі на пульт управління, рисунок 1.6. Передача пакетів даних на пульт управління і на телеметричні прилади може здійснюватися за стандартом IEC61870-5-101 або DNP3.

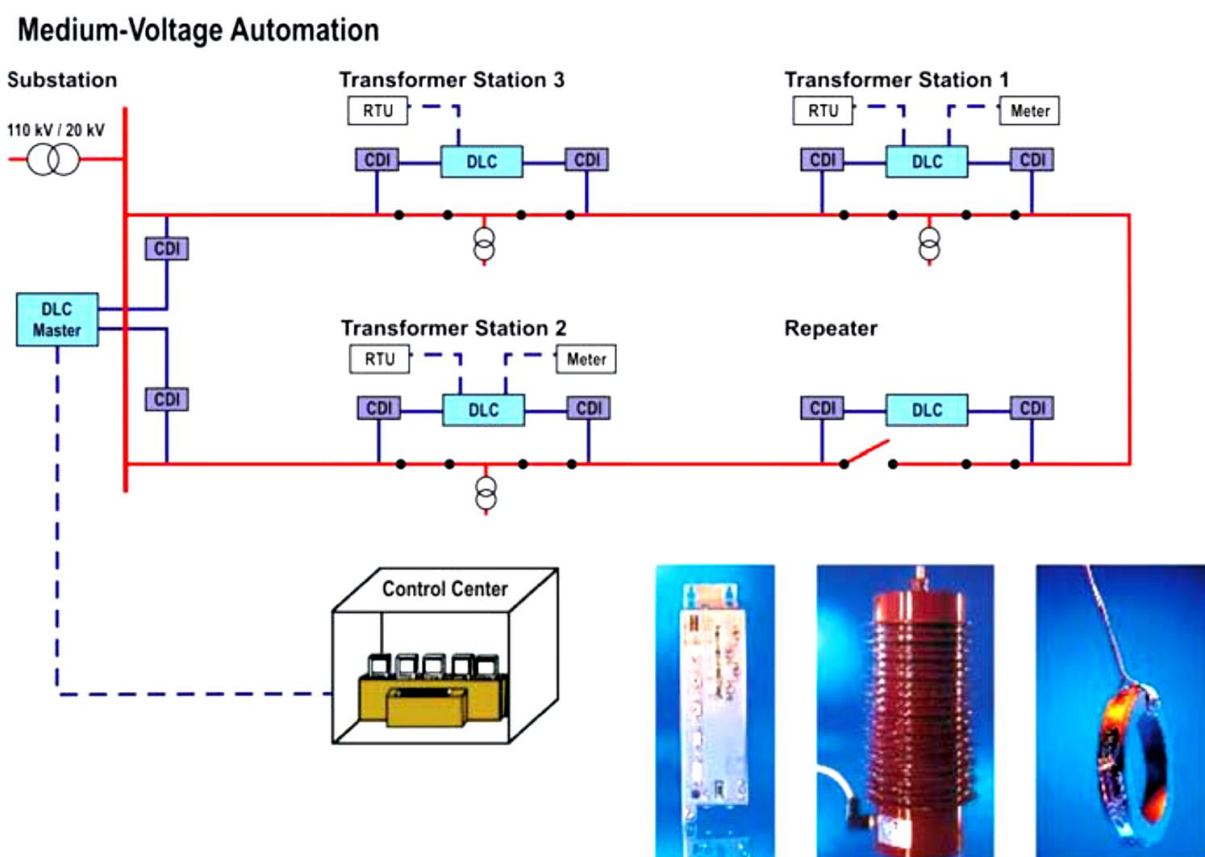


Рисунок 1.6 – Принцип роботи DCS3000

Введення і виведення інформаційного сигналу реалізується перед або після розподільних пристроїв, так як екран кабелю, заземлений тільки на кінцях введення, за допомогою простих індуктивних з'єднань (CDI). Спільні ферритові сердечники можуть монтуватися на екрані кабелю або на кабелі. Залежно від

конкретних умов. При монтажі відключення лінії середньої напруги не є обов'язковим.

Для інших кабелів або повітряних ліній введення здійснюється по фазним дротам за допомогою ємнісних з'єднань (CDC). Для різних рівнів напруг фірма Siemens пропонує різні сполуки для кабельних, повітряних розподільних систем і систем з газової ізоляцією.

Розподільна мережа може створюватися і з іншою топологією. Система DCS3000 прекрасно підходить для мереж середньої напруги з лінійної або деревовидної топологією або топологією зірка. Якщо між двома трансформаторними станціями є екранована лінія з захисним трансформатором, то вона може безпосередньо підключатися до DCS3000. Для забезпечення постійного доступу до каналу бажано створити логічне кільце. Якщо це неможливо через топології мережі, то дві лінії можуть бути об'єднані в логічне кільце за допомогою вбудованого модему.

1.4 Широкосмугові системи (Broadband Power Line BPL)

Після багаторічних експериментальних інсталяцій в різних країнах світу і численних комерційних проєктів в другому поколінні технології BPL розвинулися настільки, що стали привабливою альтернативою для інших широкосмугових мереж доступу.

У мережах низької напруги BPL дає провайдеру можливість реалізовувати на «останній милі» широкосмуговий доступ до послуг «тріпл-плей»:

- швидкісний доступ в інтернет;
- IP-телефонія;
- відео.

Користувачі можуть користуватися цими пропонованими послугами, підключившись до будь-якої розетки. Також можлива організація в будинку локальної мережі для з'єднання комп'ютерів і периферійних пристроїв без прокладки додаткових кабелів.

Для комунальних підприємств BPL сьогодні не розглядається. Для єдиної використовуваної сьогодні служби дистанційного зчитування показань лічильників використовуються економічні рішення, наприклад, GSM або повільні системи DLC. Однак в поєднанні з широкосмуговими службами BPL стає привабливою і для зчитування показань лічильників. Таким чином «тріпл-плей» перетворюється в «квадро-плей» (рисунок 1.7).

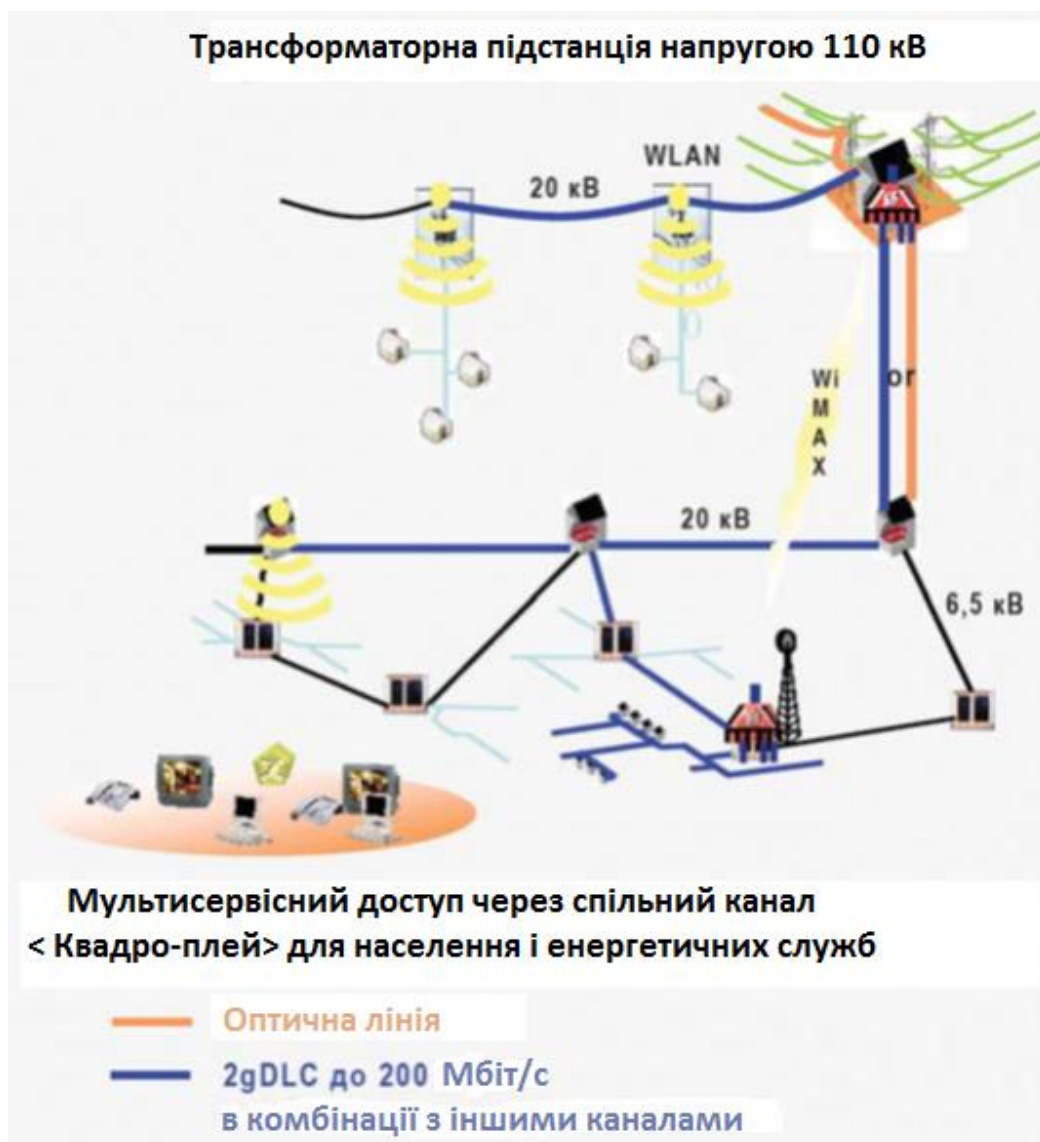


Рисунок 1.7 – Структура комунікацій розподільних мереж в майбутньому

У мережі середньої напруги BPL використовується для широкосмугових послуг як транспортний канал до найближчої точки доступу провайдера. Для комунальних служб в даний час дистанційного зчитування показань лічильників приладів АСКОЕ (автоматизована система комерційного обліку електроенергії)

досить вузькосмугових систем, що працюють в відведеному CENELEC для комунальних служб діапазоні від 9 до 148 кГц. Зрозуміло, системи BPL середньої напруги зі змішаними службами («спільний канал») можуть використовуватися і для провайдера і для комунальних служб.

1.5 Частотна передача сигналів

Оскільки силові лінії були спроектовані виключно для доставки електроенергії, технологія зв'язку, яку передбачається використовувати в цьому середовищі, повинна справлятися з її характерними перешкодами, а саме: модуляція імпедансу; спектральні спотворення; пульсація і скачки; вузькосмугова і гармонійна інтерференція, що генерується підключеним до мережі обладнанням; ослаблення, викликане фізичною довжиною каналу передачі.

Якість і надійність зв'язку залежать від того, наскільки стійка обрана методика модуляції до спотворень.

Основні з найбільш широко поширених технологій – FSK (Frequency Shift Keying - частотна маніпуляція) і SS (Spread Spectrum – частотна маніпуляція з розтягуванням спектра). При частотній маніпуляції кожному можливому значенню сигналу, що передається ставиться у відповідність своя частота. Протягом кожного символного інтервалу передається гармонійне коливання з частотою, що відповідає поточному значенню. У FSK (рисунок 1.8) дві різні несучі частоти обираються цифровим сигналом. Сигнал для двох рівнів 1 і 0 описується так:

$$S_1(t) = A \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_{C1} \cdot t),$$

$$S_0(t) = A \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_{C0} \cdot t),$$

де f_{C1} і f_{C0} - несучі частоти для логічного 0 і логічної 1. Цей тип маніпуляції зазвичай вразливий до шумів і спотворень, які можуть з'явитися у вузькій смузі несучої частоти.

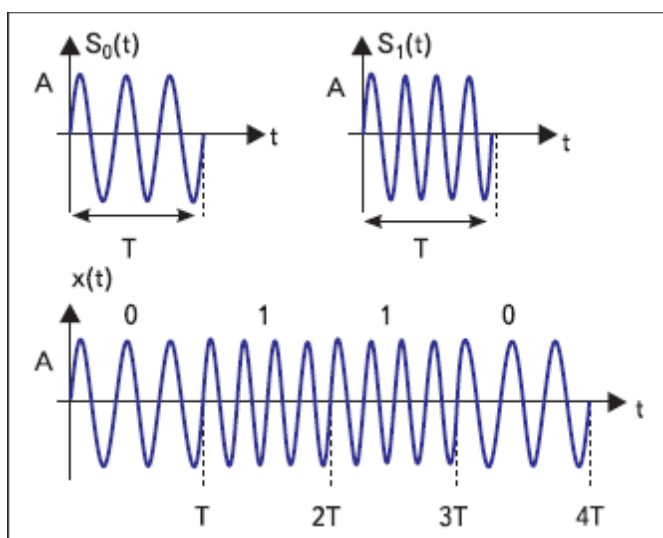


Рисунок 1.8 – Принцип FSK

Маніпуляція SS розтягує передані дані за обраною смугою частот. Вихідний сигнал збирається за допомогою кореляційного механізму, де отриманий сигнал корелюється з опорним сигналом (рисунок 1.9). Розмазування даних по всьому спектру робить передаваний бінарний код більш стійким до шумів і перешкод.

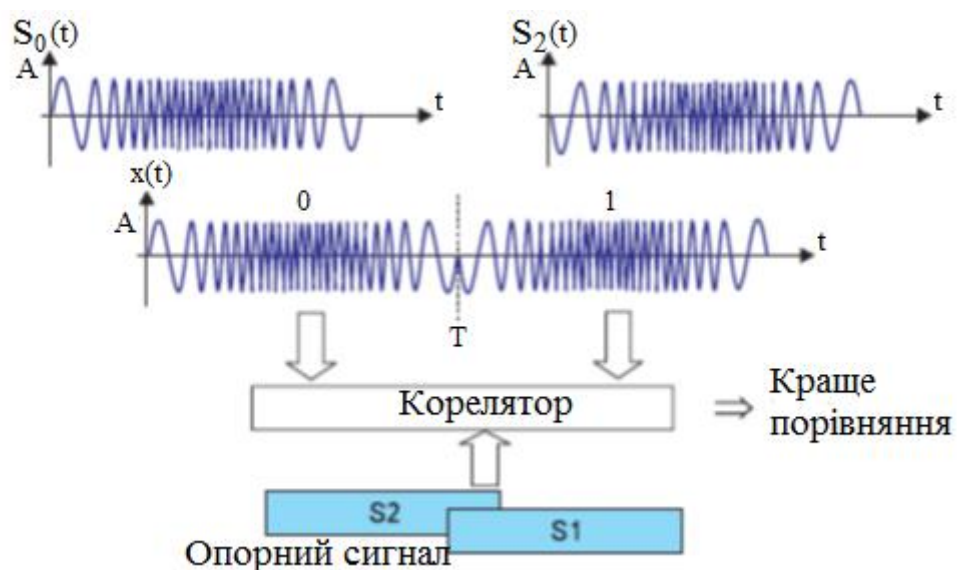


Рисунок 1.9 – Принцип SS

Технологія маніпуляції SS набагато складніша. Вона вимагає застосування додаткових цифрових фільтрів і механізмів корекції помилок, але при цьому зростає надійність зв'язку.

1.6 Тенденції розвитку комунікаційних технологій

У телекомунікаційних мережах загального користування сьогодні більше 90% трафіку даних проходить через SDH / SONET. Такі канали з фіксованою комутацією сьогодні становляться неекономічними, так як вони знаходяться в робочому стані, навіть коли не використовуються. Крім того, зростання ринку помітно перемістився від мовних додатків (TDM) до передачі даних (пакетна орієнтація). Перехід від роздільних мереж мобільного і дротового зв'язку, LAN і WAN до єдиної інтегрованої IP-мережі здійснюється в кілька етапів з урахуванням існуючої мережі. На першому етапі пакетно-орієнтований трафік даних передається в віртуальних пакетах існуючої мережі SDH. Це називається PoS («Пакетні через SDH») або EoS («Ethernet через SDH») зі зниженою модульністю і, отже, більш низькою ефективністю використання виділеної смуги. Наступний перехід від TDM до IP пропонують сьогоднішні системи NG SDH (SDH наступного покоління) з мультисервісною платформою, яка вже оптимізована для пакетно-орієнтованих додатків GFP (загальна процедура синхронізації), LCAS (схема регулювання пропускної здатності лінії), RPR (гнучкі пакетні кільця) і інших додатків в середовищі SDH.

Ця еволюція в комунікаційних технологіях вплинула і на структуру управління енергомережами. Традиційно зв'язок між керуючими центрами і підстанціями для систем диспетчерського управління та збору даних базувалася на послідовних протоколах і виділених каналах, які забезпечують малий час проходження сигналу і знаходяться в стані постійної готовності. Зрозуміло, виділені канали не забезпечують гнучкості, необхідної для експлуатації сучасної електромережі. Тому тенденція переходу на використання протоколу TCP / IP (протокол управління передачею / міжмережевий протокол) припала до речі. Основними стимулами переходу з послідовного протоколу на протокол IP в системах диспетчерського управління та збору даних є:

- поширення оптичних систем забезпечує збільшення пропускної смуги і стійкість до електричних перешкод;

- протокол TCP / IP і відповідні технології фактично стали стандартом для мереж передачі даних;
- виникнення стандартизованих технологій, що забезпечують необхідну якість функціонування мереж з протоколом TCP/IP (QoS якість обслуговування).

Ці технології здатні розв'язати технічні побоювання в надійності і можливості забезпечення швидкого часу реакції для додатків диспетчерського управління та збору даних.

Цей перехід до мережі TCP/IP робить можливим інтеграцію управління мережами диспетчерського управління та збору даних в загальне мережеве управління.

Зміна конфігурації в цьому випадку можна здійснювати завантаженням з центрального блоку управління замість вимагаючих значних витрат часу поновлення мікропрограм відповідних підстанцій. Стандарти для заснованих на IP протоколах телемеханічних систем розробляються світовим співтовариством і вже випущені для зв'язку на підстанціях (IEC61850), рисунок 1.10.

Стандарти для зв'язку між підстанціями і центром управління і між самими підстанціями поки знаходяться в стадії розробки. Паралельно переклад мовних додатків з TDM на VoIP, що дозволить значно спростити кабельні з'єднання на підстанціях, так як всі пристрої і IP-телефонія використовують одну локальну мережу.

У старих розподільних електромережах комунікаційні з'єднання встановлювалися рідко, так як рівень автоматизації був низьким, а збір даних лічильників проводився рідко. Еволюція енергетичних мереж в майбутньому вимагатиме каналів зв'язку саме на цьому рівні. Постійно зростаюче споживання в мегаполісах, дефіцит сировинних ресурсів, збільшення частки поновлюваних джерел енергії, вироблення електроенергії в безпосередній близькості від споживача («розподілена генерація») і надійний розподіл електроенергії з малими втратами ось основні чинники, що визначають управління мережами завтрашнього дня. Зв'язок в АСКОЕ в майбутньому буде використовуватися не тільки для зчитування даних споживання, але і як двосторонній комунікаційний канал для

гнучкого формування тарифів, підключення систем подачі газу, води і тепла, передачі рахунків і надання додаткових послуг, наприклад, охоронної сигналізації. Повсюдне надання можливості Ethernet – з'єднань і достатня пропускна здатність на ділянці від системи управління до споживача необхідні для управління експлуатацією майбутніх мереж.

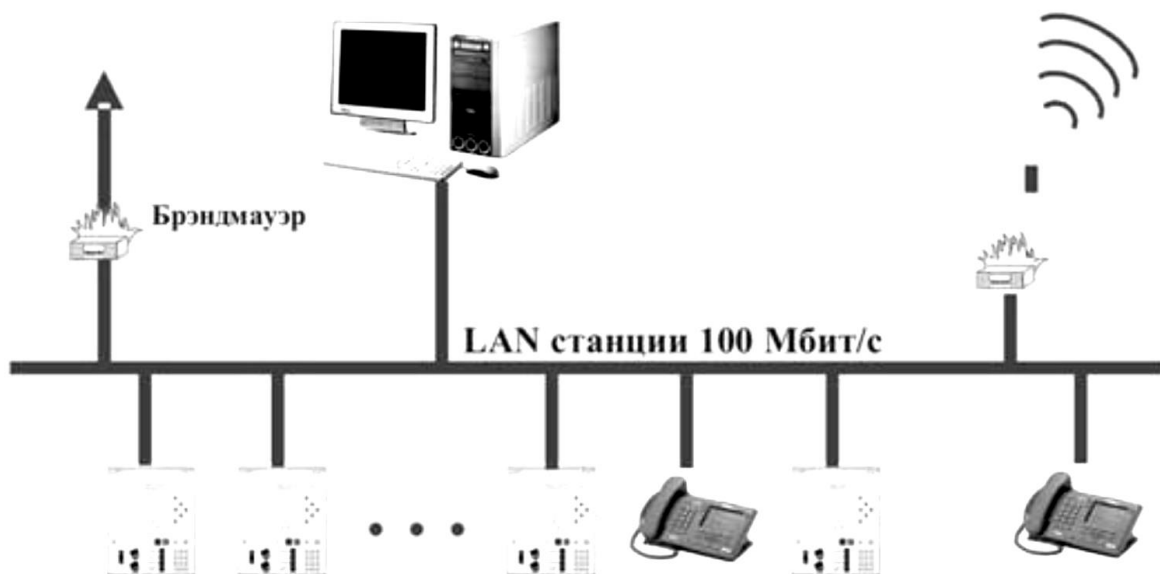


Рисунок 1.10 – Єдина мережа TCP / IP на базі MEK 61850 на підстанції

Інтеграція телекомунікаційних служб в енергомережах потребують тісної інтеграції різних технологій. В одній енергомережі, в залежності від топології і вимог, будуть застосовуються кілька типів зв'язку.

Системи ВЧ зв'язку по ЛЕП можуть стати вирішенням цих завдань.

Розвиток підтримки протоколу IP, особливо для ВЧ по ЛЕП високої напруги, забезпечує значне підвищення пропускної здатності.

1.7 Power Line Communication (PLC)

PLC - це порівняно недавно з'явившася технологія в області передачі інформації по електричним мережам низької напруги, яка забезпечує роботу в частотному діапазоні від 1 до 30 МГц.

Прототипом PowerLine є технологія PowerPacket фірми Intellon, покладена в основу створення єдиного стандарту HomePlug1.0 specification (прийнятого альянсом HomePlug в 2001 г.), в якому визначено швидкість передачі даних до 14 Мбіт/с.

Однак ця технологія стикається з деякими значними труднощами, пов'язаними з її характеристиками, особливо в тому, що стосується відповідності стандарту ЕМС. Одна з найбільш критичних проблем - це випускання ЕМ-полів, яке може порушити радіотрансляцію в тому ж частотному діапазоні.

Чотири прикладних області можуть бути покриті за допомогою PLC-технології:

- зовнішня, тобто в соціальній мережі забезпечення: автоматизація, моніторинг, функції віддаленого зняття вимірів, оперативна телефонна служба. Це може бути зроблено за допомогою існуючих розподільних мереж, без проведення додаткових ліній.

- внутрішня, тобто всередині будівлі споживача: контроль і моніторинг, включаючи функції сигналізації, внутрішня система комунікації (так звана, «домашня»), легке об'єднання в мережу обладнання, що обробляє дані. Все це реалізується з використанням існуючої у споживача проводки і не вимагає прокладання додаткових ліній або використання радіообладнання;

- гранична, тобто з'єднує внутрішню і зовнішню PLC-області: наприклад, служби для споживача знаходяться поруч з енергозабезпеченням;

- моніторинг роботи систем із забезпеченням відповідної реакції;

- віддалений контроль обладнання (такого як електричні нагрівачі або кип'ятильники).

Забезпечення громадських телекомунікаційних служб, шляхом зв'язку зовнішньої PLC – системи з телекомунікаційною основою: наприклад, високошвидкісного інтернет-доступу, громадської телефонії, при необхідності відео.

Архітектура інформаційної взаємодії на основі електромереж має еталонну семирівневу модель OSI. Навіть в рамках однієї прикладної області конкретні її

реалізації відрізняються методами надійної доставки даних на різних рівнях ієрархії. Підвищення надійності передачі на фізичному рівні пов'язано з вибором способу модуляції і частотного діапазону, з використанням методів цифрової обробки сигналів і адаптивного управління. Тут в першу чергу слід відзначити перспективність алгоритмів широкосмугової (Spread Spectrum) модуляції, істотно підвищує стійкість передачі. При використанні SS-модуляції потужність сигналу розподіляється в широкій смузі частот, і сигнал стає непомітним на тлі перешкод.

На приймаючій стороні значима інформація виділяється з шумоподібного сигналу з використанням унікальної для даного сигналу псевдовипадкової кодової послідовності. За допомогою різних кодів можна здійснювати передачу відразу кількох повідомлень в одній широкій смузі частот.

Основні способи підвищення надійності передачі на каналному рівні наступні:

- розбиття пакетів даних на кадри невеликої довжини;
- використання коригувальних кодів для виявлення та виправлення помилок;
- застосування низькорівневих протоколів надійної передачі на основі підтверджень прийому коротких кадрів;
- використання ефективних методів управління доступом до середовища передачі даних.

Розглянемо більш докладно технологію побудови даної системи. З одного боку, високі частоти надають широкий частотний діапазон, необхідний для високошвидкісних додатків; з іншого боку, на цих частотах відбувається сильне ослаблення сигналу в лінії. Це робить передачу сигналу з задовільною якістю можливим в основному тільки в мережах з низькою напругою. Слід розглянути дві системи:

- зовнішню, на силових лініях: «Систему доступу» для комунальних цілей;
- знаходиться всередині будинку: «Домашню систему» для приватних цілей (слід зауважити, що Комунальна система теж може виконувати свої функції всередині будівлі).

Рисунок 1.11 представляє класичну європейську мережу з топологією «зірка».

Основний трансформатор підтримує кілька будинків (або одне велике виробнича будівля). Зовнішні лінії представляють собою 3-х фазні кабелі в містах або надземні лінії в сільській місцевості. Проводка всередині будівель зроблена на основі 2-х або 3-х фазних + N провідників (Американські і Японські мережі мають абсолютно іншу структуру).

Практично працювати в мережах з низькою напругою в мегагерцовому діапазоні дуже складно: існує безліч абсолютно різних конфігурацій, постійно змінюється завантаженість мережі, і більшість PLC-характеристик повинні враховуватися статистично.

Висока частота призводить до виникнення резонансних ефектів.

«Хребет» на рисунку 1.11 - це класичний широкосмуговий канал: контрольний кабель комунальної системи, радіо зв'язок, телевізійний кабель, тощо. У разі якщо довжина лінії низької напруги перевищує радіус поширення сигналу, необхідно встановлювати повторювачі і шлюзи.

Системи PLC пропонують новий сервіс у використанні силових ліній, який не був можливий раніше. Засновники PLC припускають кілька можливих застосувань технології. Вони вимагають високої надійності комунікаційної системи, що має бути відображено і в електромагнітних вимогах.

Пропонуються наступні варіанти:

- для комунальних послуг: контроль навантаження на мережу, віддалене читання вимірювань, автоматизація мережі і т.д.;
- для Інтернет-провайдерів: Інтернет-сервіси;
- для телефонних операторів: телефонні передачі на «останній милі»;
- для користувачів: локальні мережі для комп'ютерних систем, використання в «домашніх» цілях.

1.8 Технологічні особливості PLC-систем

Розглянемо електромагнітні проблеми в PLC-системах.

Магістральна передача в цілому, а PLC-системи зокрема - це вкрай складні системи, розробка та підтримка роботи яких вимагає враховувати численні аспекти.

У цьому розділі розглянемо ті аспекти, які пов'язані з електромагнітними проблемами, як то: ефекти провідності в мережах і ефекти випромінювання. У них входять:

- визначення частотної смуги і відповідних частот;
- трансмісійні характеристики і загасання сигналу в лініях;
- обмежений рівень шуму зовнішніх джерел;
- виключення можливості псування мережевих пристроїв переданими сигналами;
- виключення можливості псування у зв'язку з випромінюваними полями;
- виключення взаємного впливу між системами;
- рівень відгуку від пристроїв-приймачів;
- допустимість / обмеження рівня сигналу;
- модуляція і кодування сигналу.

Далі буде дана базова інформація з цих аспектів. Однак варто пам'ятати, що вони не можуть розглядатися незалежно один від одного, так як один аспект може впливати на інші: наприклад, рівень сигналу повинен бути вище, ніж рівень шуму, але не настільки високий, щоб випромінюються поля порушували радіотрансляцію. Модуляція сигналу і кодування - це основні показники, що визначають надійність системи. Не можна також забувати і про економічний аспект.

PLC-системи потребують досить широку смугу частот, щоб виконувати високошвидкісні функції. Ця смуга розташовується в межах 1-30 МГц.

Існують три проблеми:

- даний діапазон частот зайнятий короткохвильовими радіослужбами: широкомовною, службою безпеки, аматорським радіо. Тому ці частоти були б неможливими;

- необхідно уникати інтерференції між адресними і внутрішніми системами; рішення - виділяти окрему смугу частот для кожної програми;

- випускаємі електромагнітні поля можуть порушувати прийом широкомовних радіотрансляцій або інших служб в тому ж частотному діапазоні.

Велика розмаїтість мереж і умов навантаження робить дуже складним підрахунок рівня напруги сигналу на радіочастоті в 50/60-герцових системах.

Коли неможливо досягти необхідного рівня відгуку, потрібна установка повторителів. Можуть також знадобитися шлюзи між лініями забезпечення і внутрішніми лініями.

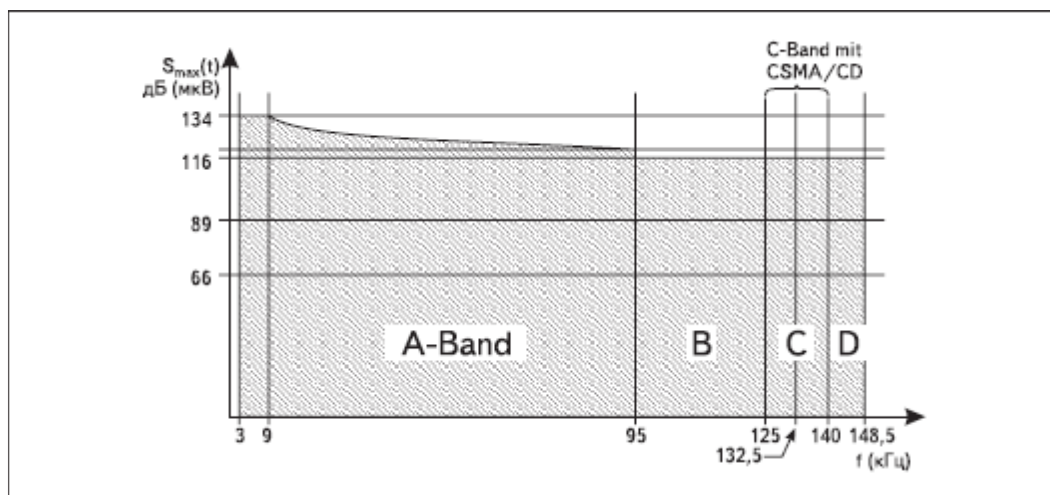
Методи модуляції сигналів і кодування команд, в загальному, не розглядаються як проблеми, але, так як вони тісно пов'язані з порушеннями роботи мережі, ми коротко розглянемо їх.

Що стосується методу модуляції, в зв'язку з передачею різних сигналів і імунітету до імпульсних перешкод розглядаються тільки широкосмугові методи з частотним мультиплексуванням. OFDM-модуляція (Orthogonal Frequency Division Multiplexing -Мультиплексування з поділом по ортогональних частотах), схоже, користується найбільшою перевагою. Вона полягає в поділі доступного спектра на велике число підканалів і передачі даних по N з цих каналів з частотами $f_1, f_2, \dots, f_N$. Перевага цього методу полягає в тому, що він дозволяє уникати каналів, відповідних забороненим частотам і, в зв'язку з цим, підвищити рівень сигналу, що передається.

Метод кодування повинен вибиратися відповідно з конкретними виконуваними функціями. Важливий пункт, який треба враховувати - це одночасний запуск різних додатків, наприклад, команд та Інтернет або телефону. Кожному з додатком при цьому виділяється певна кількість каналів.

1.9 Європейський стандарт для PLC

У Європі розроблений стандарт CENELEC EN500065-1, який визначає смугу частот для передачі даних в мережах з низькою напругою (побутовим напругою). Існує 4 смуги, які розташовані в частотному діапазоні від 3 до 148,5 кГц (рисуюнок 1.12, таблиця 1.1). Смуга А призначена для пристроїв вимірювання, а В - для пристроїв автоматизації будівель.



Рисуюнок 1.12 – Смуга частот стандарту CENELEC

Таблиця 1.1 – Використання смуги частот CENELEC

Смуга	Частота, кГц	Використання	Протокол доступу
A	3 – 95	Зовнішня, зарезервована для постачальників енергії	Немає
B	95 – 125	Внутрішня, без протоколу доступу	Немає
C	125 – 140	Внутрішня, з протоколом доступу	CSMA/CD
D	140 – 148,5	Внутрішня, для тривожних систем і систем безпеки	Немає

На основі PLC можна вирішувати також інші задачі. Вже найближчим часом використання PLC-модемів не обмежиться тільки вузлами обліку. Цей пристрій

ідеально вписується в концепцію «Інтелектуального будинку». Воно може застосовуватися для дистанційного керування будь-якими побутовими приладами: пральна машина, мікрохвильова піч, бойлер, кліматична установка, телевізор. У кожній кімнаті нашого житла є кілька розеток, що робить PLC дешевим і майже «бездротовим» рішенням. Будь-який пристрій, що вимагає електроживлення, вже є підключеним до каналу зв'язку, роблячи технологію зв'язку по силових лініях доступною кожному користувачеві.

Основні особливості успішності комунікаційного рішення:

1. Простота використання.
2. Велика кількість доступних точок підключення.
3. Надійність.
4. Цінова ефективність.

РОЗДІЛ 2. ГВИНТО КЕРМОВІ КОЛОНКИ

2.1 Типи гвинто кермових колонок

Останні роки відзначені надходженням на флот суден з принципово новими технічними рішеннями, що відрізняються від традиційно використовуваних раніше. До числа таких рішень відносяться головні гвинто кермові колонки (ГГКК), що з'єднують в собі функції рушія і рульового пристрою активного типу.

Гвинто кермові колонки з механічним приводом гребного гвинта від 2-х ступінчастої конічної передачі названі «Aquamaster» (за назвою першої фірми – виробника), колонки з електроприводом – «Azipod» (Azimuthing Electric Propulsion Drive), а також гвинто кермові колонки фірми Steerprop.

У ГГКК типу «Azipod» гребний електродвигун (ГЕД) приводу гвинта розташований в гондолі гвинто кермової колонки, а у ГГКК типу «Aquamaster» передача потужності до гребного гвинта здійснюється через систему зубчастих конічних передач, розташованих у вертикальній стійці і гондолі пристрою.

Зазначені ГГКК в даний час застосовуються на судах всіх типів і призначення: буксирах, яхтах, льодового плавання, криголамах, пасажирських та інших. Перевагою цих рушійних комплексів є їх висока пропульсивна ефективність, низька віброактивність, спрощене компонування і монтаж механічної установки за рахунок відмови від довгого валопровода, поліпшені вагові показники з отриманням додаткових вивільнених обсягів під вантажні та загальносуднову потреби та інші.

Ідея електроприводної гвинто-рульової системи типу «Azipod», в якій гребний електродвигун вбудований в підводну частину гондоли, виникла в кінці 1980 років. Поворотні гвинто кермові колонки типу «Aquamaster» (так звані Z-образні передачі) були розроблені в 1950-60-х роках і за останній час міцно завоювали свою позицію в якості перспективного варіанта пропульсивной судновий установки. Потужність, що передається ГГКК «Aquamaster» досягла 10000 кВт і більше.

За період з 2001 по 2006 роки Ленінградський суднобудівний завод «Пелла» (Ленінградська область) виготовив для ЗАТ «Портовий флот» шість буксирів, оснащених двома повно поворотними гвинто кермовими колонками фірми «Роллс-Ройс». Потужність судна, оснащеного двома двигунами «Катерпіллар» становить 2 х 2750 к.с.

У 2005 році для роботи в північних широтах був спущений на воду суховантаж «Норільський нікель» з установкою «Azipod» потужністю 13 МВт. В даний час розглядаються проекти арктичних танкерів дедвейтом 70000 т з двома установками «Azipod» потужністю 2 х 8,5 (10) МВт. Танкери матимуть клас ЛУБ (самостійне плавання в розріджених однорічних арктичних льодах при їх товщині до 1,1 м в зимово-весняну навігацію і до 1,3 м в літньо-осінню) і призначається для вивезення нафти.

Високопотужні Z – образні передачі знайшли широке застосування на розвідувальних і бурових платформах для їх динамічного позиціонування, що цілком природно, тому що найбільш важливим властивістю таких передач є хороша керованість.

В даний час більше 80 судів з установками типу «Aquamaster» експлуатуються в класі РС. Потужнісний ряд установок зазначених судів становить від 700 до 3000 кВт.

2.2 Головні гвинто керівні колонки типу «Aquamaster»

Головні гвинто керівні колонки (ГТКК) типу «Aquamaster» представляють собою пристрій, що складається з 2-х прямокутних передач (звідси назва Z-образна передача), роз'єднувальний муфти і поворотного механізму і забезпечує передачу зусилля головного двигуна (ГД) на гвинт. Нижній кінець ГВРК повертається на 360 градусів, що дозволяє змінювати напрямок упору гвинта за бажанням.

Як правило, при зіставленні ГВРК «Aquamaster» з традиційною пропульсивної системою з прямим валопроводом «Aquamaster» здається дорогим і складним за конструкцією. Але конструкція «Aquamaster» містить в собі меншу кількість компонентів, ніж відповідна традиційна пропульсивна валова установка.

Наприклад, масло залите в колонку працює як мастило передач, як масло гідравліки системи управління і часто також в якості гідравлічного масла управління муфти зчеплення. Корпус колонки «Aquamaster» служить резервуаром масла для всіх перерахованих систем, нижня частина колонки, яка перебуває у воді, у багатьох випадках служить холодильником. Колонка «Aquamaster» є одночасно кермом і рульової машиною судна, муфтою зчеплення, тощо ця компактна простота дозволяє знизити трудомісткість при обслуговуванні та отримати вищу надійність в експлуатації. Конструкція данного типу ГГКК приведена на рисунку 2.1.

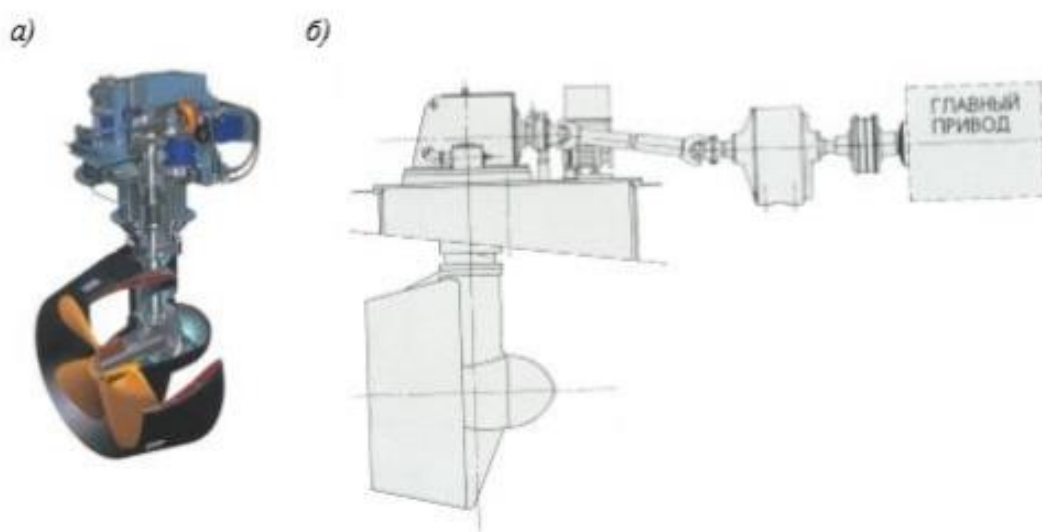


Рисунок 2.1 – Конструкція колонки типу «Aquamaster» (а) і її привід (б)

Шестерні передачі-редуктора є по типу прямокутними і в них застосовуються конічні зубчасті колеса з криволінійними зубами. Зуби коліс проходять цементацию і термообробку.

Для запобігання попадання води в ГГКК «Aquamaster» є ущільнення гребного валу і ущільнення труби управління. У цих ущільненнях тиск масла завжди приблизно на 0,2 бар вище, ніж тиск води, тобто в разі появи течії, вона буде виявлятися течами масла з колонки в воду. Якщо колонка знаходиться нижче ватерлінії, то тиск створюється за допомогою гравітаційної цистерни.

Як ущільнення приводного вала вживається звичайне ущільнення, яке захищене зовні окремим кожухом.

Розглянемо механізм управління донного типу ГГКК. Судно з поворотними гвинто керівними колонками «Aquamaster» управляється шляхом повороту гребного гвинта навколо вертикальної осі за допомогою поворотної труби, яка виконує роль баллера і приводиться в рух гідромоторами. Шестерні гідромоторів знаходяться в зачепленні з зубчастим колесом, встановленому на поворотній трубі. Труба обертається в підшипниках і жорстко з'єднується з насадкою (при її наявності). Між нерухомим корпусом і трубою встановлені ущільнення для запобігання потрапляння забортної води всередину ГКК. Корпус закріплений на палубі судна фланцем.

Робота гідромоторів забезпечується спеціальною гідросистемою і радіально-поршневими олійними насосами змінної продуктивності. Механізмів управління на одній колонці зазвичай два або три.

Вибір механізму управління проводиться таким чином, щоб їм можна було управляти на повній потужності і на максимальній швидкості судна.

Для дистанційного керування і контролю роботи ГККК фірма «Aquamaster» розробила різні системи: AQUAPILOT і MICROPLOT, які забезпечують: стежить і тимчасово (просто) управляє розворотами судна; регулювання частоти обертання гвинтів; функціонування показників напрямку упору і частоти обертання гвинтів; управління роз'єднувальний муфтою та інші.

Виконане фінською фірмою «Hollming OY» зіставлення між традиційною системою гребний установки і системою ВРК «Aquamaster» для 2-х гвинтових пропульсивних установок з близькими характеристиками показало, що відносно традиційної пропульсивної установки загальні витрати по обладнанню системи «Аквамайстер» менше приблизно на 10%.

2.3 Головні гвинто кермові колонки типу «Azipod»

Електроприводна гвинто рульова пропульсивна установка (колонка), отримала назву «Azipod».

Конструктивно гребний електродвигун вбудований в сталевий корпус підводного частини колонки «Azipod». Гребний електродвигун має повітряне

охолодження, причому повітря подається з румпельного приміщення через холодильники (при необхідності). Передача крутного моменту від електродвигуна до гребного гвинта проводиться через гребний вал, встановлений на опорних підшипниках.

Електроенергія на привід гребного електродвигуна подається від суднової системи електроживлення або за допомогою еластичних кабелів, з обмеженням кута розвороту «Azipod», або за допомогою кілець ковзання; в цьому випадку «Azipod» може вільно без обмежень обертатися навколо вертикальної осі. Система розвороту (рульова система) «Azipod» гідравлічна.

У гондолі колонки розташовується електродвигун змінного струму, частота обертання якого регулюється частотним перетворювачем.

В даний час промисловістю освоєні і випускаються ГВРК «Азіпод», які знайшли застосування на судах різних типів, включаючи криголами і пасажирські. Рушійні комплекси «Azipod» можуть виконуватися в різних компоновках: в тягнучому варіанті, коли гвинт розташований попереду гондолою товкаючому – з розташуванням гвинта за гондолою, а також двогвинтового варіанту з гвинтами попереду і ззаду гондолою при розташуванні гвинтів в насадці або без неї.

Іншим важливою позитивною якістю ГТК є хороша керованість судна на задньому ході, завдяки великій поперечної силі, умов обтікання корпусу, коли струмінь гвинта не натікає на нього.

Для забезпечення заднього ходу ГВРК розвертається на 180 градусів, при цьому гребний гвинт не реверсують.

Дослідження ефективності застосування «Azipod» на судах подвійної дії (Double Action ShipDAS), що рухаються у вільній воді переднім, а в льодових умовах – заднім ходом, показали надійність «Azipod», що забезпечує керованість судна як на передньому, так і задньому ході. Схема гвинто кермової електричної установки «Azipod» представлена на рисунку 2.2.

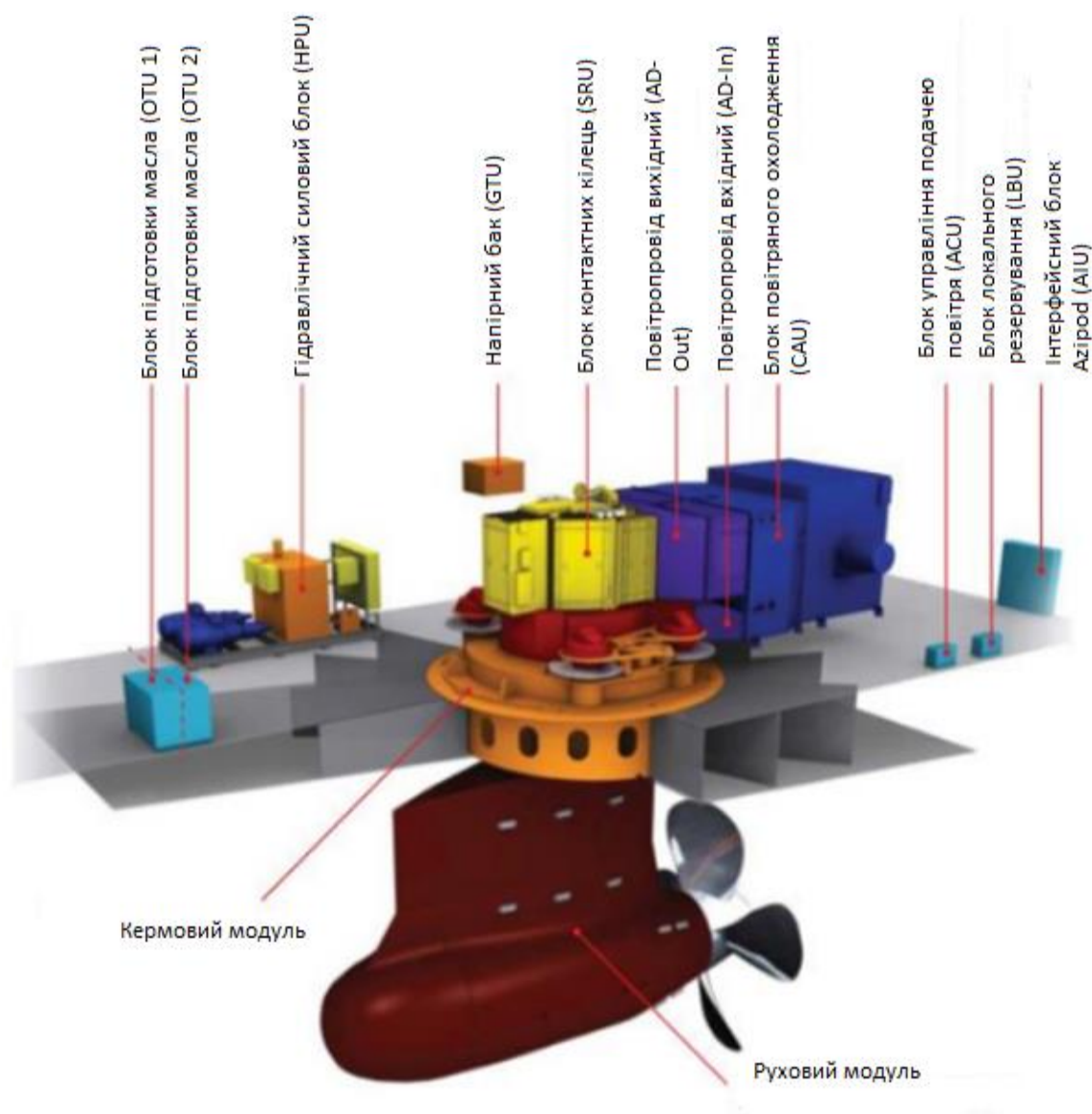


Рисунок 2.2 – Схема гвинто кермової електричної установки «Azipod»

При русі судів в льодових умовах кормою вперед ГГКК працює як носовий рушій, що призводить до значного зниження льодового опору і підвищення експлуатаційної ефективності.

Суднові пропульсивні комплекси «Azipod» мають як переваги, так і недоліки дизель-електричні передачі (привод). Переваги даного типу установок особливо явно реалізуються на судах льодового плавання і криголамах, а ГГКК є найбільш перспективними альтернативними пропульсивними системами, призначеними для роботи в льодових умовах.

Рульовий пристрій включає два або три гідравлічних двигуна. Система контролю «Azipod» включає контроль всіх електричних ланцюгів на містку разом з головними електричними панелями.

Можлива установча потужність ГГКК «Azipod» становить від 1 до 25 МВт при частоті обертання гвинта від 75 до 250 об/хв..

Комплекс «Azipod» відноситься до нових типів пропульсивних установок і вперше був вперше застосований в 1990 році.

ГЕУ з модулями «Azipod», в загальному випадку, складається з генераторних агрегатів (ГА), суднової електростанції (СЕС), головного розподільного щита (ГРЩ), трансформаторів установки рушія (якщо вони необхідні), силових ППЧ, що забезпечують управління ГЕД, і модулів «Azipod» з системою управління (рисунок 2.3).

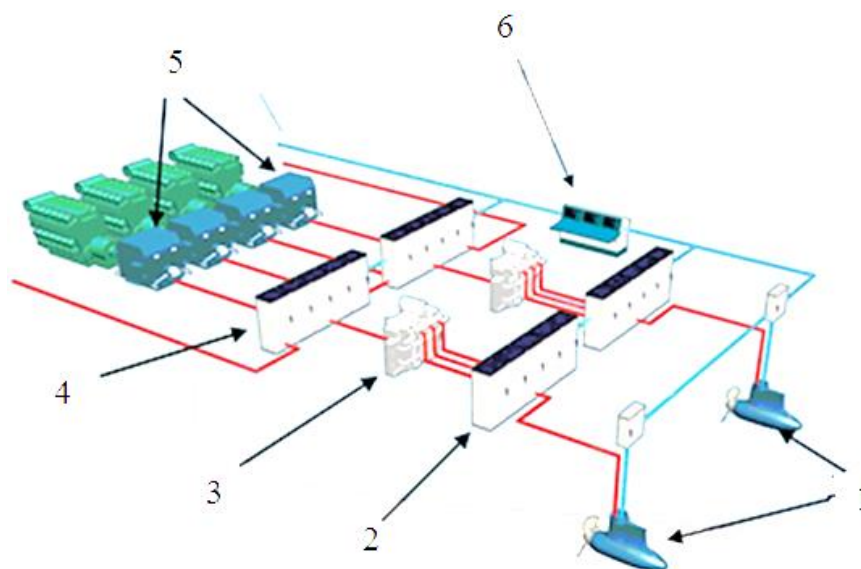


Рисунок 2.3 – Розміщення на судні компонентів ГЕУ з модулями «Azipod»:

- 1 – рушії; 2 – перетворювачі частоти; 3 – трансформатори; 4 - ГРЩ;
5 – генераторні агрегати; 6 – система автоматики.

Основними елементами, що забезпечують роботу ГГКК «Azipod», є наступні системи:

- ущільнення вала;
- повітряне охолодження;
- гідравлічний рульовий пристрій (поворот комплексу);

- дренаж;
- опірний підшипник гребного валу.

Блок повітряного охолодження (рисунок 2.4) призначений для охолодження рушійного модуля в якому в замкнутому контурі циркулює повітря.

Блок включає в себе наступні основні вузли:

- два повітряно-водяних теплообмінника (з трубками з мідно-нікелевого сплаву), встановлених по паралельній схемі;
- комплект заслінок, що регулюють повітряний потік;
- два відцентрових вентилятора, які обертають трифазні АД з короткозамкненим ротором.

Блок повітряного охолодження має комплект сполучних трубопроводів для підключення до блоку.

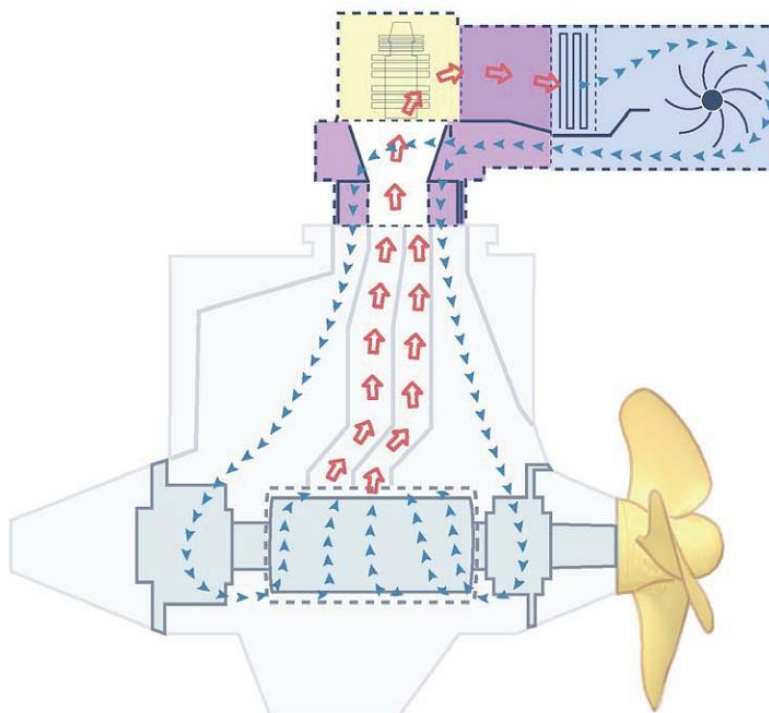


Рисунок 2.4 –. Принцип дії блоку охолодження установки «Azipod»

Потік холодного повітря подається вентиляторами з блоку повітряного охолодження через повітроводи і блок контактних кілець вниз, у внутрішню порожнину рушійного модуля, охолоджує елементи електродвигуна і нагрівається, і потім вже теплий потік повітря спрямовується вгору, проходить через повітряно

– водяний теплообмінник, охолоджується і знову нагнітається вентиляторами в рухомий модуль.

Установки «Azipod» комплектуються одним з чотирьох стандартних блоків повітряного охолодження CAU 15, CAU 19, CAU 23 і CAU 27. Число на виробі означає витрата повітря в номінальному режимі роботи, відповідно від 15 м³/с до 27 м³/с. Потужність кожного з електродвигунів вентиляторів в різних блоках становить від 37 кВт до 160 кВт. Номінальна температура холодного повітря, що подається в двигательно модуль 45 °С, номінальна температура повітря на виході з рушійних модуля 70 °С. Витрата охолоджуючої води – від 23 л/с до 51 л/с. Температура охолоджуючої води на вході теплообмінника – 36° С, на виході з теплообмінника – 43 °С.

Блоки підготовки масла входять в систему змащення підшипників і ущільнення валопроводу (рисунок 2.5).

Масло для змащення підшипників і ущільнення валопровода проходять підготовку в двох блоках підготовки масла БПМ 1 і БПМ 2. Підготовка масла полягає в фільтрації масла від забруднень і стабілізації температури. У блоках також здійснюють контроль відносного вмісту води в мастилі з допомогою спеціального датчика.

З блоку БПМ 1 масло через поворотний вузол подачі рідини надходить в опірний роликовий підшипник. Опірний підшипник герметизований з двох сторін кільцевими ущільнювачами з еластомеру. Між ущільненнями встановлений маслосбірник, з якого масло циркуляційним насосом знову повертається в блок підготовки масла БПМ 1. Циркуляція масла для опірного роликового підшипника під час роботи рушійних блоку здійснюється безперервно. Передбачені два насоси: один робочий, другий резервний. Якщо температура опірного підшипника піднімається вище допустимої, то автоматично знижується потужність, яку розвиває гребний двигун. Стабілізація температури масла здійснюється теплообмінником прісної води

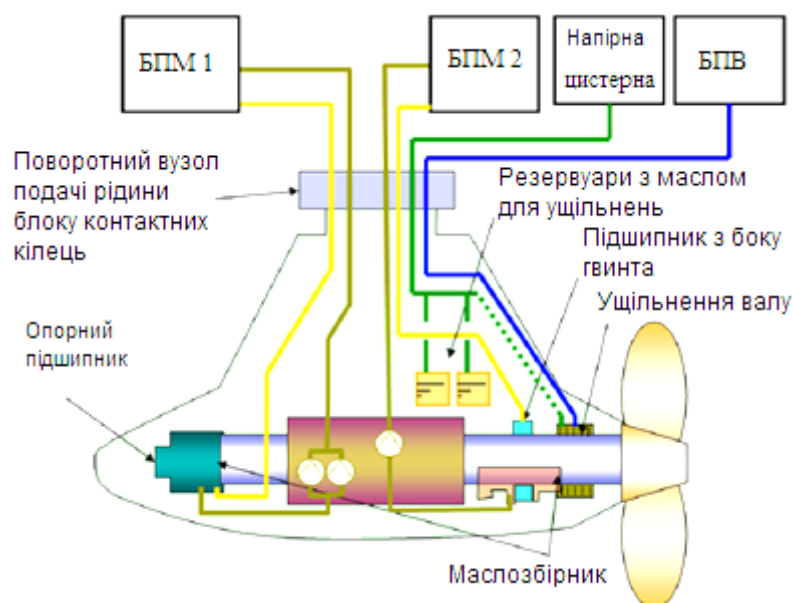


Рисунок 2.5 – Схема змащення підшипників і ущільнення валопровода

З блоку БПМ2 масло подається в підшипник з боку гребного гвинта і в герметизуюче ущільнення вала, що перешкоджає проникненню морської води у внутрішню порожнину гондоли. Герметизуюче ущільнення складається з п'яти кілець еластомеру. З боку гондоли підшипник герметизований двома кільцями ущільнення. Між герметизуючими ущільненнями знаходиться маслосбірник, з якого масло за допомогою насоса повертається в БПМ 2.

Суднова автоматизована система управління відстежує рівень і температуру масла, і в разі потреби видає сигнали тривоги. Інформація про роботу системи змащення передається також в систему управління пропульсивної установкою.

Зазначені системи, встановлені і для ГТКК «Azipod», на теплоході «Норільський нікель», дане судно призначене для перевезення генеральних вантажів і контейнерів, має водотоннажність 20 тисяч тон і категорію льодових підсилень ЛУ7. Судно може цілий рік самостійно плавати в районі портів Діденка-Мурманськ. Головна гвинто рульова колонка «Azipod» виготовлена фірмою «ABB Marine» і її потужність становить 13 МВт. Колонка типу «Azipod» представлена на рисунку 2.6.

Розглянемо головну енергетичну установку, яка використовується. Для ГВРК «Azipod» використовується дизель – електрична установка, а для колонок

«Aquamaster» або дизель з безпосереднім (або через редуктор) підключенням або дизель – електрична схема.

Як приводних двигунів застосовуються високооборотні або середньо оборотні дизелі, пристосовані для роботи на середньо вузьких паливах.

Перевагою цих двигунів є мала вага і габарити. Це дозволяє в повному обсязі використовувати переваги колонок при проектуванні загального розташування машинного відділення.

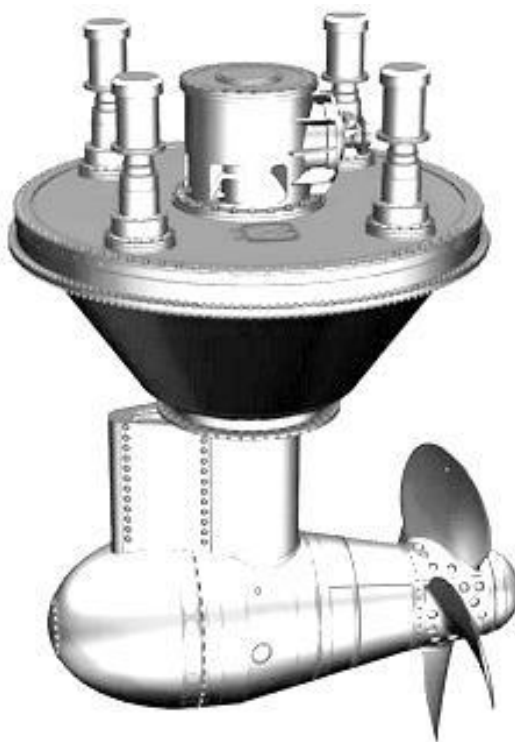


Рисунок 2.6 – Колонка типу «Azipod»

Необхідно також відзначити, що використання дизель – електричної установки в пропульсивному комплексі з ГГКК дозволяє вибрати дизель з частотою обертання не пов’язаної з колонкою, тобто частотою обертання гребного гвинта.

Для ГД немає вимоги про необхідність реверсу, що здешевлює установку і розширює можливості вибору двигуна.

В якості альтернативного приводного двигуна можливе застосування електродвигун постійного або змінного струму, а також гідропривід.

ГГКК забезпечують хорошу керованість судів. Судно, обладнане ГВРК, зберігає свої хороші якості керованості в льодову обстановку, а також на задньому ході.

При русі в льодах кормою вперед зростає льодова проходимість за рахунок зниження опору руху. Судно може «продути» навколо себе вільну від льоду зону і при необхідності «розгойдати» його. Забившуся льодом насадку можна «продути» другою колонкою, або зміною напрямку обертання гребного гвинта.

На рисунку 2.7 зображена схема ГЕУ плавучої бурової платформи для глибоководного буріння, на якій змонтовані 8 установок Azipod®CZ, які забезпечують переміщення платформи і стабілізацію на поверхні води при бурінні.

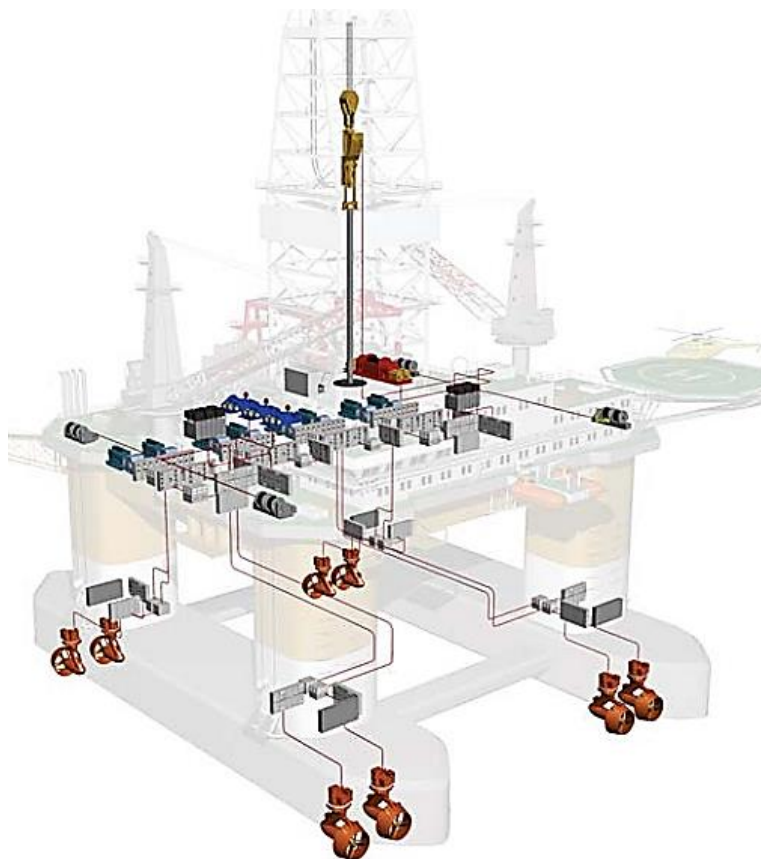


Рисунок 2.7 – Схема ГЕУ бурової платформи з установками Azipod CZ

Арктичний танкера «Михайло Ульянов» (рисунок 2.8) оснащений двома гребними установками «Азіпод» льодового класу фірми АВВ. Потужність однієї установки «Азіпод» становить 8,5 МВт. Танкер призначений для роботи в районі нафтового родовища «Прирозломного».



Рисунок 2.8 – Танкер льодового класу «Михайло Ульянов»

2.4 Гвинто кермові колонки фірми Steerprop

Гвинто кервні колонки Steerprop оснащені сучасною системою рульового управління, що включає в себе електричні приводи і регулюється за допомогою частотного перетворювача

На рисунку 2.9 наведені фото ВРК фірми Steerprop, побудовані за такими схемами:

- Z-drive (a);
- Z-drive з двома гвинтами, що обертаються в протилежних напрямках (б);
- L-drive (в).

Вал гребного гвинта ущільнений з використанням тришарового або чотиришарового манжетного ущільнення з вкладишами з нержавіючої сталі. Найбільш віддалена манжета повернута вниз, щоб скоротити до мінімуму збір забруднень, зношують прокладку. Простір між ущільненнями заповнюється ущільнювальною рідиною, що знаходиться під тиском по відношенню до морської води і мастильному маслу.

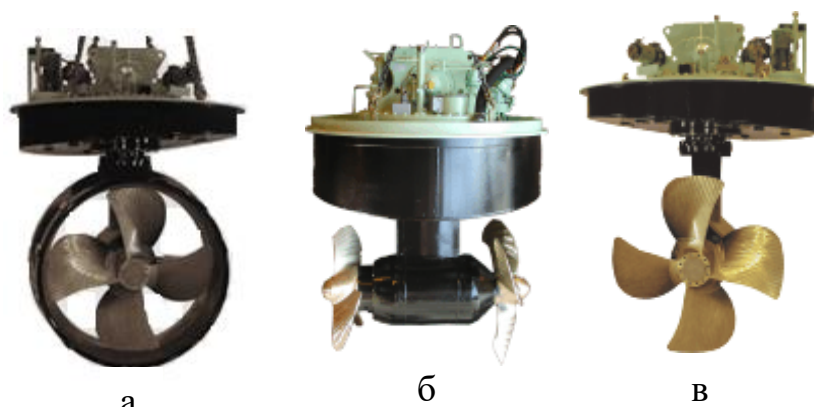


Рисунок 2.9 ВРК фірми Steerprop.

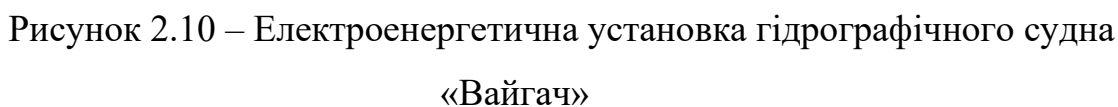
Для гвинта Steerprop використовує високоефективні насадки власної конструкції - НІЗ. Насадка спроектована для збільшення тяги на 8-10%, а також для збільшення максимального ККД на 10-15% в порівнянні зі стандартними насадками. Гвинт знаходиться в диффузорній частині насадки, і зсунутий далі до корми, що дозволяє встановити насадку впритул до поворотної осі колонки, а значить, мінімізувати крутний момент при повороті ВРК.

Рушії Steerprop оснащені багатодисковою муфтою з пристроєм прослизання. Додатково цей пристрій може також використовуватися при електронному управлінні та посиленому охолодженні, щоб забезпечити управління швидкістю гвинта від 0 до холостого ходу рушія.

Всі з'єднання в механічній передачі являють собою або конічні, або циліндричні з'єднання – посадки з запрессовкой. Відсутні шпонкові канавки, які погіршують цілісність вала, також немає шпонок, які можуть зношуватися і ламатися.

У конструкції колонок Steerprop використовується принцип інтегрованої безпеки як в корпусі, так і в механічній передачі. Він включає в себе принцип послідовної міцності, при якому найслабші деталі або дешеві, або легко замінні, що важливо в разі пошкодження. У механічній передачі найслабший компонент – це лопать гвинта, яка таким чином захищає цінні і важкодоступні частини передачі.

Прикладом застосування ВРК Steerprop є гребний електрична установка малого гідрографічного судна «Вайгач». На судні застосована єдина



Потужність кожного з двох головних дизель-генераторів становить 1000 кВт, підвищуючі трансформатори Т1 і Т2 мають потужність по 800 кВА. Напівпровідникові перетворювачі НП1 і НП2 складаються з некерованих мостових випрямлячів і автономних інверторів напруги на IGBT транзисторах. Потужність перетворювачів по 700 кВА, охолодження - водяне. Як гребних електродвигунів ГЕД1 і ГЕД2 використані асинхронні двигуни АДР-550-4, розроблені АТ

«Електросила». Номінальна потужність гребних асинхронних двигунів АДР-550-4 становить 550 кВт, номінальна частота обертання - 1500 об/хв, номінальна напруга живлення - 960 В, номінальна частота напруги - 50 Гц. На судні встановлені дві гвинто керівні колонки фінської фірми Steerprop.

2.5 Переваги використання основних гвинто керованих колонок

1. Функціональна комплектація (приводне обладнання) – гідравліка, механізм передачі крутного моменту, система гребного валу – автономні або навішені; проектування, виготовлення, придбання та монтаж обладнання може бути виконано на основі існуючих відомих елементів, без необхідності їх стикування, підгонки і узгодження.

2. Більш проста конструкція (в одному пристрої об'єднані функції рушія і рульового пристрою), що не викликає труднощів при монтажі, демонтажі, технічному обслуговуванні, ремонті.

3. Використання ГГКК дозволяє скоротити машинне відділення на кілька метрів. При одній і тій же довжині судна вантажне простір зростає на 2-8%. Оцінка базується на підставі розгляду кількох проектів судів.

4. Кормовий край судна можливо формувати більш раціонально, що призведе до більш сприятливим обводам корми і збільшення водотоннажності, з урахуванням тієї обставини, що установки з ГГКК мають більш легку конструкцію.

5. Збірка колонок повністю («Aquamaster») або частково («Azipod») може бути виконана в берегових умовах на заводі, судновий верфі, тощо.

6. Монтаж, демонтаж і ремонт ГГКК можна проводити в більш стислі терміни. Для ГВРК «Aquamaster» колонку можна монтувати (демонтувати) опусканням (підніманням) без постановки судна в док. Це в першу чергу пов'язано з такими трудомісткими роботами як заміна (ремонт) гребного гвинта або всієї колонки.

7. Зниження витрат на технічне обслуговування установки, тому що весь комплекс і його окремі частини можуть легко демонтовані з судна для якісного ТО і ремонту в берегових умовах. Комплектуючі механізми і пристрої, що входять до

складу ГГКК, стаціонарного традиційного виготовлення, ТО яких не викликає ускладнень.

8. Низька віброактивність установки і висока пропульсивна ефективність комплексу, а також спрощене компонування і монтажу механічної установки за рахунок відмови від довгих гребних валів.

9. Підвищення безпеки мореплавства за рахунок поліпшення маневрених якостей судна, що обумовлено також можливістю здійснення реверсу за рахунок розвороту колонок без зміни напрямку обертання гребних валів, а на 2-х вальних установках – забезпечення руху судна лагом (навігаційний прилад для вимірювання, швидкості і пройденого судном відстані щодо води або ґрунту.).

10. ГВРК істотно поліпшують поворотність судна і полегшують рух в вузькостях і при швартовних операціях.

На відміну від МОД (мало обертовий двигун), у СОД (середньо обертовий двигун) частина допоміжних механізмів (насоси прісної і заборотної води, паливо-підкачує, масляний) може бути навішені на двигун, хоча в установках з потужними СОД кращі автономні насоси.

У ДРУ (дизель редукторна установка), так само як в СДЕУ з МОД, широко використовуються утилізаційні парогенератори, що забезпечують потреби судна в парі на ходовому режимі. На теплоходах з ДРУ застосовуються утилізаційні вакуумні опріснювачі, що працюють на теплоті охолоджуючої води головних і допоміжних дизелів.

На судах допоміжного і технічного флоту (буксирах, земснарядах та інші) ДРУ є основним типом ЕУ (енергетична установка). ДУ з гідравлічною передачею можуть бути розбиті на дві основні групи: установки з гідродинамічної і з гідро статичною передачею. До першої групи належать СДЕУ (суднова дизель енергетична установка) з гідравлічними муфтами, гідротрансформаторами і універсальної гідродинамічної передачею, що включає як гідромуфти, так і гідротрансформатори.

Гідравлічні муфти застосовуються для передачі крутного моменту головного двигуна (провідного вала) до веденого валу без зміни величини і знака моменту.

Вони є ефективним засобом фільтрації і демпфірування крутильних коливань в системі валопроводу.

Гідротрансформатор, крім виконання функцій гідравлічної муфти, змінює величину, а в разі потреби і знак крутного моменту, що передається на вал рушія.

Можливі схеми СДЕУ з гідротрансформаторами наведені на рисунку 2.11. Включення до складу передачі (до гідродинамічних елементів) підвищує зубчастого редуктора-мультиплікатора – з поділом потужності (див. Рис. 2.4, г) дозволяє знизити масу і габарити передачі.

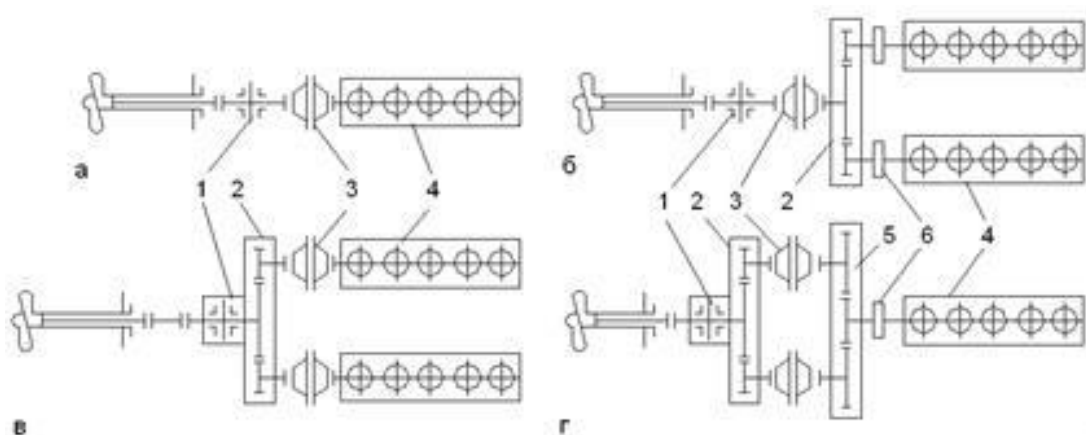


Рисунок 2.11 – Схеми СДЕУ з гідротрансформаторами: а – без редуктора; б, в – з редуктором; г – з мультиплікатором – роздільником потужності і сумуючим редуктором; 1 – опірний підшипник; 2 – сумуючий редуктор; 3 – гідротрансформатор; 4 – ГД; 5 – мультиплікатор з поділом потужності; 6 – еластична муфта

Гідродинамічна передача СДЕУ може бути виконана універсальною, що складається з редуктора, гідромуфти і гідро трансформаторів переднього і заднього ходу. Така передача забезпечує високі маневрені якості судна.

На рисунку 2.12, а показана схема СДЕУ з гідростатичною передачею, що складається з насоса 4, що приводиться ГД 5, трубопроводу 3 і гідромотора 2, що працює через завзятий підшипник 1 на рушій.

Можлива область застосування такої СДЕУ – річкові судна, буксири, малі поромы, судна з високим рівнем гідрофікації механізмів. Гідростатична передача

може застосовуватися в поєднанні з водометним рушієм. На великотоннажних судах гідростатична передача широко використовується для підрулюючих пристроїв і приводу активних рулів (див. Рисунок 2.12, б, де А – подача робочої рідини, а б – гідравлічний привід гвинта).

Дизельні установки з електричною передачею (ДУЕП) характеризуються подвійним перетворенням енергії (рис.2.5): рух судна забезпечується гребним електродвигуном 3, які працюють на гвинт, безпосередньо через завзятий вал 1 або через редуктор 2. Живлення гребного електродвигуна здійснюється від головних ДГ 4. Гребні електродвигуни і головні ДГ можуть компоуватись в одному або в різних МО.

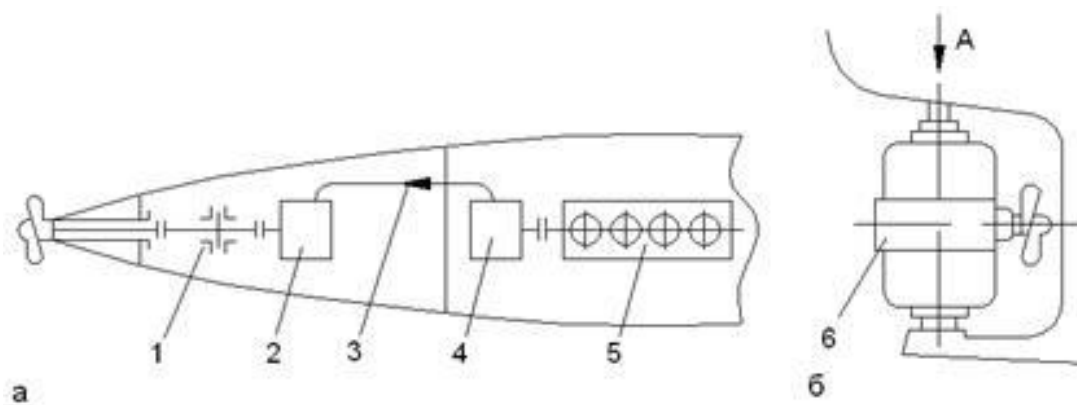


Рисунок 2.12 – Схеми СДЕУ з гідростатичною передачею

Установка, виконана за схемою рисунок 2.13, б, по суті є комбінацією двох видів передач – дизель – електричної і редукторна. У цьому випадку забезпечується істотне зменшення габаритів, маси і вартості гребних електродвигунів, а іноді і всієї установки в цілому. Найбільш часто ДУЕП виконуються за схемою рисунок 2.13, а. Залежно від типу і призначення судна ДУЕП можуть бути одно і багато вальними. В якості первинних двигунів головних ДГ використовуються середньо та високооборотні дизелі. Застосування ДУЕП економічно доцільно і виправдано лише на судах спеціального призначення.

Особливо потужні ДУЕП (до 25 тис. КВт і більше) встановлюються на криголамах.

До складу ДУЕП входять також збудники електродвигунів і генераторів, системи їх повітряного охолодження, розподільний щит гребний установки з пристроями управління, сигналізації, автоматики і захисту. Судова електростанція дизель-електроходів зазвичай компонується з автономних допоміжних ДГ.

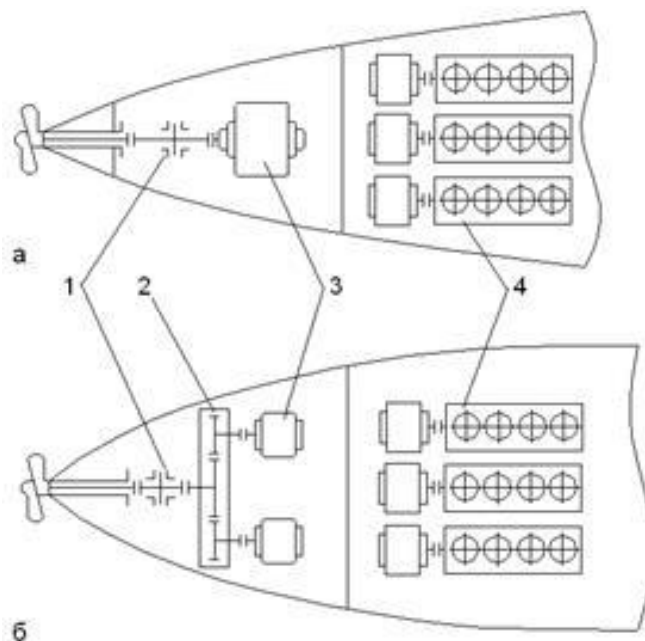


Рис. 2.13. Схеми ДУЕП: а – з прямою передачею на гвинт; б – з редукторною передачею

2.6 Гвинто кермова колонка з двома гвинтами STP

Протягом десятиліть гвинто кермова колонка SCHOTTEL задає стандарти в області азимутальних пропульсивних систем. Перевірена в експлуатації, ця система перетворює потужність двигуна в оптимальну тягу, а також забезпечує можливість обертання підводної частини на 360°, дозволяючи таким чином використовувати всю енергію пропульсії для маневрування судна.

Цей в рівній мірі простий і ефективний принцип лежить в основі двох гвинтової колонки SCHOTTEL. На відміну від кермової колонки, дво гвинтова колонка SCHOTTEL оснащена двома гвинтами, що обертаються в одному напрямку. Оптимальне узгодження таких системних компонентів, як "гвинти" і "стійка з вбудованими гідродинамічними стабілізаторами", призводить до значного збільшення ефективності в порівнянні з ГКК з одним гвинтом. Таким чином, двогвинтова колонка SCHOTTEL є успішною оптимізацією всієї системи гвинто

кермової колонки і ідеально підходить в якості пропульсивної установки для всіх судів в середньому діапазоні швидкостей, чия конструкція передбачає високі навантаження на гвинт. Двогвинтова технологія знижує навантаження на кожен окремий гвинт, розподіляючи потужність на два гвинти, тим самим підвищуючи ефективність.

Розглянемо принцип роботи двогвинтової колонки. Двогвинтова колонка оснащена тягнучим і штовхаючим гвинтами. Їх взаємне розташування таке, що вихровий потік від переднього тягового гвинта проходить між лопатями заднього штовхаючого гвинта, не перешкоджаючи йому. Стиснення прослизуючого потоку в тягнучому гвинті призводить до того, що більший обсяг води досягає штовхаючого гвинта з периферії, що ще більше підвищує продуктивність. Крім того, стійка гідро динамічно оптимізована і оснащена гідродинамічними стабілізаторами. Вихрова енергія, що виробляється в гвинтовому потоці, таким чином, відновлюється, приводячи до збільшення ефективності. Крім того, потік навколо стабілізаторів створює підйомну компоненту в напрямку тяги, який також має тяго підвищуючий ефект. Рівень шуму і вібрації також значно зменшується.

Розподіл потужності на 2 гвинта призводить до зменшення навантаження на кожен гвинт.

Відновлення вихрових втрат тяги гвинта, завдяки дії стійки і стабілізаторів.

Розглянемо механічний принцип двогвинтової колонки:

- Обидва гвинта на одному валу обертаються в одному напрямку.
- Перевірена передача потужності, відсутність додаткового редуктора.
- Тільки один додатковий комплект ущільнень.

До переваг донного типу ГГКК можна віднести:

- Значно більш висока ефективність, ніж у Z приводів з одним гвинтом.
- Можлива більш висока передача потужності, ніж з одним гвинтом.

На рисунку 2.7 представлений загальний вигляд гвинто кермової колонки з двома гвинтами.



Рисунок 2.7 – Загальний вигляд гвинто кермової колонки
з двома гвинтами

- Зниження ризику кавітації (утворення всередині рідини порожнин, заповнених газом, парою або їх сумішшю, тобто порушення суцільності рідини) через менше навантаження на гвинт.
- Зниження вібрації і шуму.
- Менше механічні втрати, ніж в співвісних двох гвинтових системах.
- Висока надійність за рахунок невеликої кількості рухомих частин.
- Азимутальне управління (360°).
- Характеристики відповідають широкому спектру експлуатаційних вимог для швидкостей до 21 вузлів.

– Підходить для установок з обмеженим діаметром гвинта.

2.7 Ефективне управління судновим електроприводом

Одним з важливих напрямків вдосконалення електротехнічної частини кораблів, суден і плавучих споруд є створення принципово нового електрообладнання із застосуванням сучасної силової електроніки і нових мікропроцесорних систем управління.

Зниження витратної складової морського флоту і підвищення його економічної ефективності, на думку провідних фахівців галузі, повинні бути досягнуті, поряд з іншими факторами, за рахунок розробки та впровадження суднових механізмів з керованим електроприводом, а також за рахунок заміни суднового устаткування, що поставляється по імпорту, перспективними російськими розробками.

Уваги судновласників, суднобудівників і постачальників суднової електроапаратури заслуговує нова розробка "Веспер", одного з провідних виробників силової перетворювальної техніки.

Розглянемо частотні перетворювачі морського виконання серії EI-M, призначені для керування асинхронними електродвигунами в суднових гребних електро установках .

Частотні перетворювачі застосовувалися для управління судновим електроприводом, але до останнього часу це були перетворювачі безпосереднього типу (перетворювачі з безпосереднім зв'язком).

Силова частина перетворювачів з безпосереднім зв'язком являє собою керований випрямляч і виконана на тиристорах, що не запираються. Система управління по черзі відмикає групи тиристорів і підключає статорні обмотки двигуна до мережі живлення. Таким чином, вихідна напруга перетворювача формується з "вирізаних" ділянок синусоїд вхідної напруги.

Досвід експлуатації перетворювачів такого типу на вітчизняних судах і судах зарубіжної споруди показав ряд істотних недоліків. До серйозного недоліку слід віднести вплив на якість електроенергії суднової мережі. "Різана" синусоїда на

виході перетворювача є джерелом вищих гармонік, які викликають додаткові втрати в електричному двигуні, перегрів електричної машини, зниження моменту, дуже сильні перешкоди в судновій електромережі. Застосування пристроїв, що компенсують призводить до підвищення вартості, маси, габаритів, зниження ККД системи в цілому. Дані перетворювачі мають низький коефіцієнт потужності, який сильно залежить від навантаження і різко зменшується при регулюванні вихідного напруги вниз від номінального. Крім того, вихідна частота перетворювачів безпосереднього типу змінюється в межах 25-30% від номінальної частоти, що обмежує їх застосування в судових механізмах з широким діапазоном регулювання швидкості обертання. На рисунку 2.8 представлені частотні перетворювачі серії EI-M.

Частотні перетворювачі серії EI-M відносяться до типу перетворювачів нового покоління. Вони виконані на сучасних напівпровідникових елементах - IGBT транзисторах. Такий тип частотних перетворювачів в останнє десятиліття дуже широко і успішно використовується в регульованому електроприводі у всіх галузях промисловості. Практично першими в 2002 році ці частотні перетворювачі сертифіковані Морським Регістром Судноплавства і річковим Регістром, а компанія "Веспер" отримала свідоцтво про визнання виробника.

Застосування IGBT транзисторів дозволяє підвищити несучу частоту ШИМ до 15-16 кГц і вище. Обмотки електродвигуна на такій високій частоті внаслідок їх високої індуктивності працюють як фільтр. Тому в них протікають практично синусоїдальні струми. Біполярні транзистори з ізолюваним затвором IGBT відрізняють від тиристорів повна керованість, проста неенергоємних система управління, висока робоча частота. Завдяки цьому перетворювачі частоти на IGBT дозволяють розширити діапазон керування швидкості обертання двигуна.

Застосування IGBT з більш високою частотою перемикання в сукупності з синусоїдальної широтно-імпульсною модуляцією знижує рівень вищих гармонік, характерних для тиристорних перетворювачів. Як наслідок, менші додаткові втрати в обмотках і магнітопроводі електродвигуна, зменшення нагрівання електричної машини, зниження пульсацій моменту і виключення ", що крокує"

ротора в області малих частот. Знижуються втрати в трансформаторах, конденсаторних батареях, збільшується термін їх служби, а також термін служби ізоляції проводів. Зменшується кількість помилкових спрацьовувань пристроїв захисту, і знижуються похибки вимірювань індукційних датчиків.

Перетворювачі на транзисторах IGBT в порівнянні з тиристорними перетворювачами при однаковій вихідній потужності відрізняються меншими габаритами, масою, підвищеною надійністю, що вельми важливо для суднового устаткування. Вони дозволяють реалізувати більш повний захист від кидків струму і від перенапруги, що істотно знижує ймовірність відмов і пошкоджень електроприводу.

Перший досвід практичного використання частотного перетворювача серії ЕІ-М пов'язаний з судном-складальником стічних вод "Брянськ". На його борту вперше було встановлено принципово новий підрулюючий пристрій. Новизна полягає в використанні гвинта фіксованого кроку з приводом від частотно-регульованого електроприводу. Частотно-регульований електропривод складається з асинхронного двигуна і частотного перетворювача потужністю 45 кВт.

Як показав майже дворічний досвід експлуатації, перетворювач частоти в складі частотно-регульованого електроприводу підрулюючого пристрою дозволяє плавно регулювати швидкість обертання і тягу гвинта від нуля до максимального значення, забезпечуючи реверс, плавний пуск і зупинку електроприводу гвинта. Плавне регулювання тяги гвинта і реверс дають можливість судноводію управляти операціями з маневрування судна швидше і точніше. Крім того, при плавному регулюванні швидкості обертання гвинта пропорційно швидкості знижується споживання електроенергії від суднової електромережі. Плавний пуск і зупинка електроприводу усувають пікові навантаження на суднову електромережу та просадки напруги в ній, а також ударні навантаження на механічну частину підрулює пристрою.

Електрична дистанційна система управління на основі частотно-регульованого приводу простіше, надійніше і вимагає менших догляду і витрат в

експлуатації ніж гідравлічна система в традиційних підрулюючих пристроях. Всього за рік з невеликим на судна різного класу було поставлено кілька десятків частотних перетворювачів морського виконання для підрулюючих пристроїв такого типу. Одинична потужність частотних перетворювачів в них становить від 22 кВт до 315 кВт.

Підсумовуючи результати практичної експлуатації, слід підкреслити, що застосування підрулюючих пристроїв з гвинтом фіксованого кроку і частотно-регульованим електроприводом забезпечує:

- поліпшення маневреності судна при швартуванні, траленні, буксирування, проході вузькості;
- зменшення часу розвантаження, навантаження, зниження кількості зіткнень і навалів судна;
- підвищення точності динамічного позиціонування при менших енергетичних витратах;
- підвищення безпеки мореплавання.

Особливу групу судових електроприводів для оснащення частотними перетворювачами утворюють механізми, які здійснюють транспортування рідин і газів. Це поживні, паливні, вантажні, конденсаційні і інші насоси, а також вентилятори, повітродувки, компресори. У них найбільш яскраво проявляються можливості і переваги частотного регулювання швидкості обертання приводних електродвигунів.

2.8 Моделювання електроприводу ГКК в Matlab Simulink

Для моделювання системи управління електроприводом ГКК був виконаний розрахунок параметрів асинхронного двигуна для підстановки їх до блоку Asynchronous Machine. Для розрахунку були використані номінальні данні двигуна ГКК.

Таблиця 2.1 – Параметри асинхронного двигуна

Параметр	Значення
----------	----------

Номінальна потужність P_H , кВт	800
Номінальна лінійна напруга U_H , В	6000
Номінальний струм I_H , А	92
ККД η	0,952
Коефіцієнт потужності $\cos(\varphi)$	0,88
Швидкість холостого руху n_0 , об/хв	1500
Номінальна швидкість n_H , об/хв	1488
Номінальна частота f , Гц	50

Коефіцієнт приведення обираємо рівним $s_1 = 1.03$

Розрахунок параметрів виконуємо в наступній послідовності.

Кількість полюсів:

$$p = \frac{60 \cdot f}{n_0} = \frac{60 \cdot 50}{1500} = 2.$$

Номінальна фазна напруга, В:

$$U_\phi = \frac{U_H}{\sqrt{3}} = \frac{6000}{\sqrt{3}} = 3464$$

Номінальне ковзання:

$$s_H = \frac{n_0 - n_H}{n_0} = \frac{1500 - 1488}{1500} = 0,008.$$

Критичне ковзання:

$$s_k = s_H \cdot (m_{\max} + \sqrt{5,5^2 - 1}) = 0,008 \cdot (2 + \sqrt{5,5^2 - 1}) = 0,059.$$

Потужність на валу двигуна, Вт:

$$P_2 = P_H \cdot \eta = 800000 \cdot 0,952 = 761600.$$

Номінальний момент двигуна на валу, Н·м:

$$M_H = \frac{975 \cdot P_2}{n_H} = \frac{975 \cdot 761600}{1488} = 499000.$$

Максимальне значення моменту, Н·м:

$$M_{\max} = M_H \cdot m_{\max} = 499000 \cdot 2 = 998100.$$

Пусковий момент, Н·м:

$$M_n = M_H \cdot m_n = 499000 \cdot 1 = 499000.$$

Механічні втрати, Вт:

$$\Delta P_{\text{мех}} = P_H \cdot \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) \cdot \frac{1}{6} = 800000 \cdot \left(\frac{1}{0,952} - 1 \right) \cdot \frac{1}{6} = 6723.$$

Опір статора, Ом:

$$R_s = \frac{1}{2} \cdot \frac{U_H^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot c_1 \cdot \left(1 + \frac{c_1}{s_k}\right) \cdot m_n \cdot (P_H + \Delta P_{Mex})} =$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \frac{6000^2 \cdot (1 - 0,008)}{2 \cdot 1,03 \cdot \left(1 + \frac{1,03}{0,059}\right) \cdot 1 \cdot (800000 + 6723)} = 0,585.$$

Опір ротора, Ом:

$$R_r = \frac{1}{3} \cdot \frac{(P_H + \Delta P_{Mex}) \cdot m_n}{(1 - s_H) \cdot i_k^2 \cdot I_H^2} = \frac{1}{3} \cdot \frac{(800000 + 6723) \cdot 1}{(1 - 0,008) \cdot 5,5^2 \cdot 92^2} = 1,059.$$

Індуктивність статора та ротора, Гн:

$$L_s \cong L_r = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f} \cdot \frac{\frac{U_H}{\sqrt{3}}}{I_H \cdot \left(\sqrt{1 - (\cos \varphi)^2} - \frac{\cos \varphi \cdot s_H}{s_k} \right)} =$$

$$= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50} \cdot \frac{\frac{6000}{\sqrt{3}}}{92 \cdot \left(\sqrt{1 - (0,88)^2} - \frac{0,88 \cdot 0,008}{0,059} \right)} = 0,529.$$

Індуктивність розсіяння статора та ротора, Гн:

$$L_{1s} \cong L_{1r} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot f} \cdot \sqrt{\left[\frac{\frac{U_H}{\sqrt{3}}}{(I_H \cdot i_k)^2} \right] - (R_s + R_r)^2} =$$

$$= \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot 50} \cdot \sqrt{\left[\frac{\frac{6000}{\sqrt{3}}}{(92 \cdot 5,5)^2} \right] - (0,585 + 1,059)^2} = 0,017.$$

Взаємодукція, Гн:

$$L_m = L_s - L_r = 0,529 - 0,017 = 0,512$$

Базисний опір, Ом:

$$z_{\phi} = \frac{U_H \cdot \sqrt{3}}{I_H} = \frac{6000 \cdot \sqrt{3}}{92} = 112,96.$$

Переведемо у відносні одиниці опори двигуна:

- опір статора, в.о.:

$$r_{s*} = \frac{R_s}{z_{\phi}} = \frac{0,585}{112,96} = 5,175 \cdot 10^{-3}$$

- опір ротора, в.о.:

$$r_{r*} = \frac{R_r}{z_{\phi}} = \frac{1,059}{112,96} = 9,379 \cdot 10^{-3}$$

- індуктивність статора і ротора, в.о.:

$$x_{Ls*} = \frac{L_s \cdot 2 \cdot \pi \cdot f}{z_{\phi}} = \frac{0,529 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50}{112,96} = 1,47$$

- індуктивність розсіяння статора і ротора, в.о.:

$$x_{L1s*} = \frac{L_{1s} \cdot 2 \cdot \pi \cdot f}{z_{\phi}} = \frac{0,017 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50}{112,96} = 0,046$$

- індуктивність розсіяння статора і ротора, в.о.:

$$x_{Lm*} = \frac{L_m \cdot 2 \cdot \pi \cdot f}{z_{\phi}} = \frac{0,512 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50}{112,96} = 1,424$$

Перерахунок коефіцієнта приведення

$$c_{11} = 1 + \frac{L_{1s}}{L_s} = 1 + \frac{0,017}{0,529} = 1,031$$

Отримана різниця в 0,001 між заданим коефіцієнтом приведення та розрахованим вважається прийнятною.

Для того, щоб корисний сигнал не був шунтований у опорах навантаження та джерела живлення, на кінцях кабелю живлення треба передбачити частото-

загороджувальний фільтр, який має бути налаштований на частоту корисного сигналу. В якості частото-загороджувального фільтру використовують паралельний LC-фільтр, зображений на рисунку 2.8.

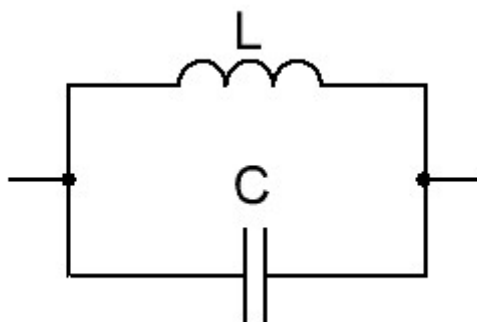


Рисунок 2.8 – Вигляд частото-загороджувального фільтру

Частоту передачі обираємо $f_{рез} = 100\,000$ Гц. Робоча частота системи визначається параметрами асинхронного двигуна і дорівнює $f_c = 50$ Гц. На робочій частоті опір повинен бути мінімальним. При зменшенні частоти збільшується опір ємності, а опір індуктивності зменшується, тому при f_c маємо $x_L \ll x_C$. Таким чином, якщо ми хочемо досягти опору фільтру на робочій частоті меншим за 0,01 Ом, маємо забезпечити індуктивний опір $x_L = 0,1$ Ом при $f_c = 50$ Гц:

$$L = \frac{x_L}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{0,01}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 3,18 \cdot 10^{-5} \text{ Гн.}$$

Ємність обираємо такою, щоб при резонансній частоті $f_{рез} = 100\,000$ Гц, її опір дорівнював опору індуктивності:

$$C = \frac{1}{(2 \cdot \pi)^2 \cdot f_{рез}^2 \cdot L} = \frac{1}{(2 \cdot 3,14)^2 \cdot 100000^2 \cdot 3,18 \cdot 10^{-5}} = 7,96 \cdot 10^{-8} \text{ Ф.}$$

Цей фільтр встановлюємо після джерела живлення та перед споживачем. Він буде нормально пропускати частоту 50 Гц, а для частоти 10000 Гц буде мати нескінченно високий опір і не пропускати далі.

Для визначення параметрів фільтру зв'язку спочатку треба визначити параметри кабелю, що поєднує джерело живлення і навантаження, тому що він є частиною каналу зв'язку.

Знаходимо параметри лінії. Припустимо, що довжина кабельної лінії $l = 200$ м. У відповідності до номінального струму двигуна обираємо перетин жили кабелю (провід мідний). З табличних даних для $I_n = 92$ А маємо $S = 25$ мм². Знаючи перетин проводу знаходимо з каталожних таблиць активний та індуктивний опір лінії $r_0 = 0,74$ Ом / км, $x_0 = 0,091$ Ом / км. Схема заміщення лінії зображена на рисунку 2.9.



Рисунок 2.9 – Схема заміщення лінії електропередачі

Індуктивність кабельної лінії:

$$x_L = x_0 \cdot l = 0,091 \cdot 0,2 = 0,0182 \text{ Ом.}$$

Індуктивний опір лінії:

$$L_L = \frac{x_L}{2 \cdot \pi \cdot f_c} = \frac{0,0182}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 57 \cdot 10^{-6} \text{ Гн.}$$

Активний опір лінії:

$$R_L = r_0 \cdot l = 0,74 \cdot 0,2 = 0,148 \text{ Ом.}$$

Фільтр зв'язку обираємо з наступним міркувань. Опір фільтру на частоті корисного сигналу має бути мінімальним. Таким характеристикам відповідає послідовний LC-фільтр.

Індуктивність фільтру зв'язку обираємо таку, щоб вона була на порядок більше індуктивності лінії електропередачі: $L_{\phi з} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} > L_L$.

Ємність фільтру зв'язку в такому випадку:

$$C_{\phi_3} = \frac{1}{(2 \cdot \pi)^2 \cdot f_{\text{рез}}^2 \cdot (L_{\phi_3} + L_{\text{л}})} =$$

$$= \frac{1}{(2 \cdot 3,14)^2 \cdot 100\,000^2 \cdot (5 \cdot 10^{-4} + 5,7 \cdot 10^{-5})} = 4,55 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$$

Для виокремлення корисного сигналу використаємо знов паралельний LC-фільтр, який буде включений послідовно із фільтром зв'язку на приймальній стороні і з якого буде зніматися корисний сигнал. У зв'язку із тим, що паралельний LC-фільтр має нескінченний опір на частоті корисного сигналу, на останньому має максимально сконцентруватися напруга від джерела сигналу. При цьому потужність, споживана від джерела сигналу, буде мінімальною.

Так для індуктивності $L_{\phi_{\text{кс}}} = 10^{-5}$ Гн маємо:

$$C_{\phi_{\text{кс}}} = \frac{1}{(2 \cdot \pi)^2 \cdot f_{\text{рез}}^2 \cdot L} = \frac{1}{(2 \cdot 3,14)^2 \cdot 100\,000^2 \cdot 10^{-5}} = 2,53 \cdot 10^{-8} \text{ Ф.}$$

Обравши таким чином параметри схеми, було розроблена розрахункова модель для визначення можливості передавати високочастотний сигнал управління по кабельним лініям, що транспортують електроенергію від електростанції до двигуна гвинто керівної колонки. Схема моделі представлена на рис. 2.10.

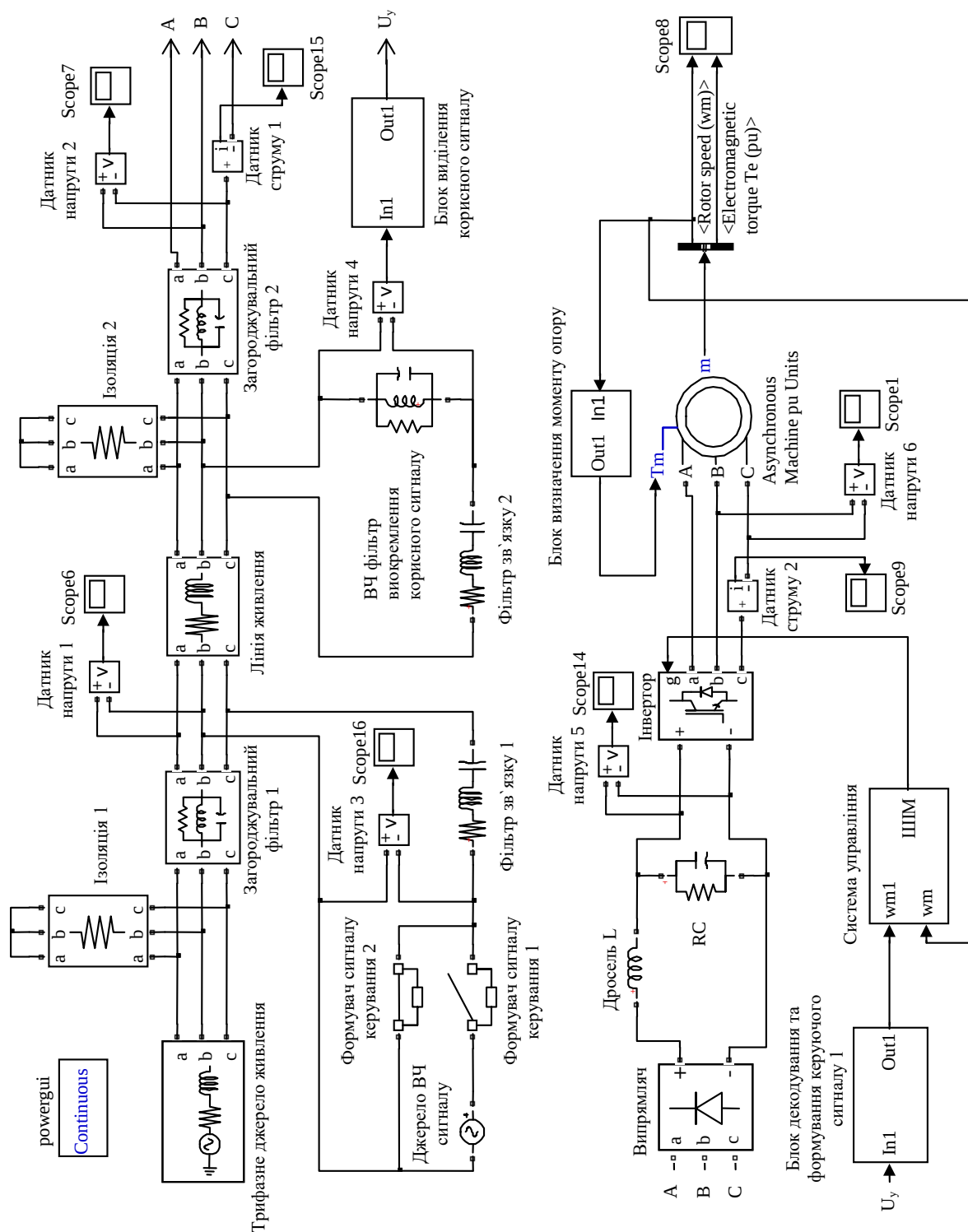


Рисунок 2.10 – Схема розрахункової моделі системи передачі сигналу керування по силовому кабелю.

Схема, що представлена на рис. 2.10, має трифазне джерело живлення, потужністю короткого замикання на порядок вище, ніж потужність асинхронного двигуна і складає 10 МВА, при цьому співвідношення індуктивного і активного

опору на номінальній частоті 50 Гц складає 7 одиниць. Загороджувальні фільтри 1 та 2 мають розраховані параметри L та C . При цьому активний опір обраний 1 МОм, як і опір ізоляції (відповідні блоки під номерами 1 та 2). Лінія живлення та фільтри зв'язку мають раніше розраховані параметри. Джерело ВЧ має частоту 100 кГц та напругу 40 В і комутується вимикачами, імітуючи передачу сигналу в конкретному діапазоні часу. ВЧ фільтр виокремлення корисного сигналу має параметри $L_{фкс}$ та $C_{фкс}$, а активний опір обраний 100 Ом. Після другого загороджувального фільтру включений частотний перетворювач, складений з випрямляча та інвертора, в колі постійного струму якого включений дросель 5 мГн та паралельний RC-ланцюг із параметрами 1 МОм та 100 мкФ. Частотний перетворювач працює на асинхронний двигун, момент опору на якому визначається вентиляторною характеристикою, що розраховується Блоком визначення моменту опору залежністю $M_c = 0,5 \omega^2$, тобто імітоване половинне номінальне навантаження при номінальній частоті обертання. Параметри асинхронного двигуна задані у відповідності до розрахованих значень на початку цього пункту.

Схема працює за наступним алгоритмом. Джерело живлення в момент часу 19 мс після початку моделювання видає три пакети сигналу тривалістю 1мс із проміжком між пакетами 1мс. Сигнал через фільтри зв'язку та лінію живлення передається на ВЧ-фільтр виокремлення корисного сигналу, напруга з якого подається на Блок виділення корисного сигналу. В останньому смуговий фільтр виділяє частоту 100 кГц, випрямляє сигнал та фільтрує високочастотний сигнал для визначення огибаючої. В результаті отримуємо сигнали керування. Схема моделі Блоку виділення корисного сигналу представлена на рис. 2.11. Сигнал з цього блоку поступає на Блок декодування сигналу та формування керуючого сигналу, в якому комбінація логічних елементів дозволяє при вхідному імпульсі тривалістю 1 мс сформувати на виході одиничний сигнал запуску та роботи двигуна, і при вхідному імпульсі більше 1,5 мс формує нульовий сигнал на виході відключення асинхронного двигуна та його зупинку. Схема моделі Блоку декодування сигналу представлена на рис. 2.12.

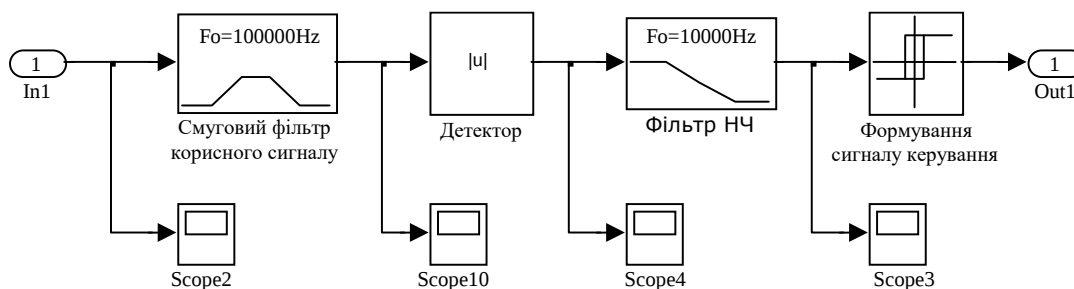


Рисунок. 2.11 – Модель Блоку виділення корисного сигналу.

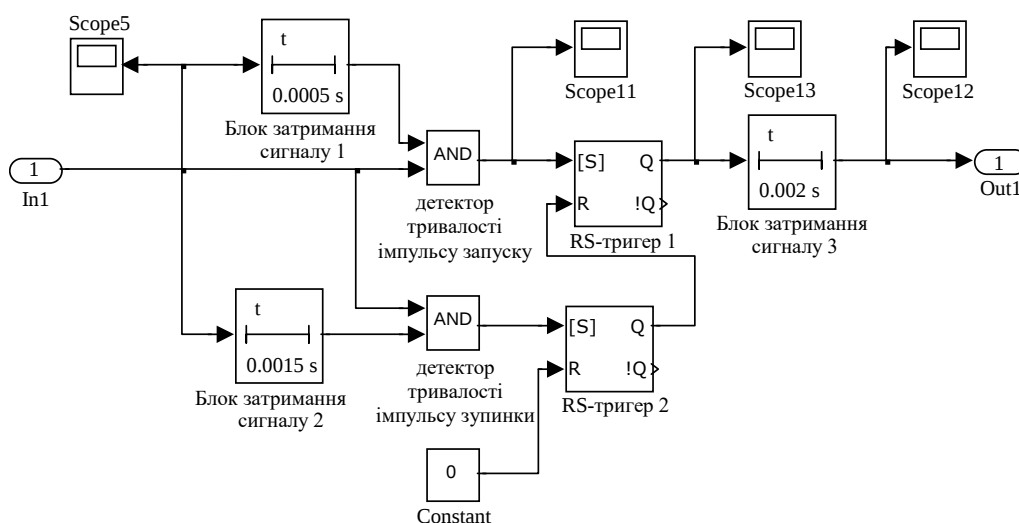


Рисунок. 2.12 – Модель Блоку декодування сигналу та формування керуючого сигналу.

Сформований сигнал запуску двигуна поступає на Систему управління, де формується ШІМ-сигнал керування інвертором, зібраного на IGBT- транзисторах. Частота ШІМ-сигналу дорівнює 10 кГц. Закон керування обраний так, щоб відношення частоти вхідного сигналу змінювалась пропорційно амплітуді від 0,3 відносних одиниць до 1 (до номінального значення). Схему моделі Системи управління представлено на рис. 2.13.

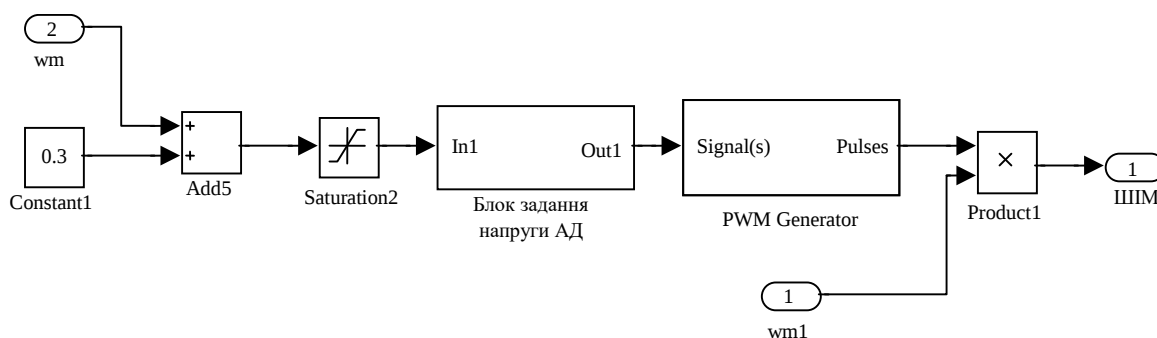


Рисунок. 2.13 – Модель Блоку Системи управління.

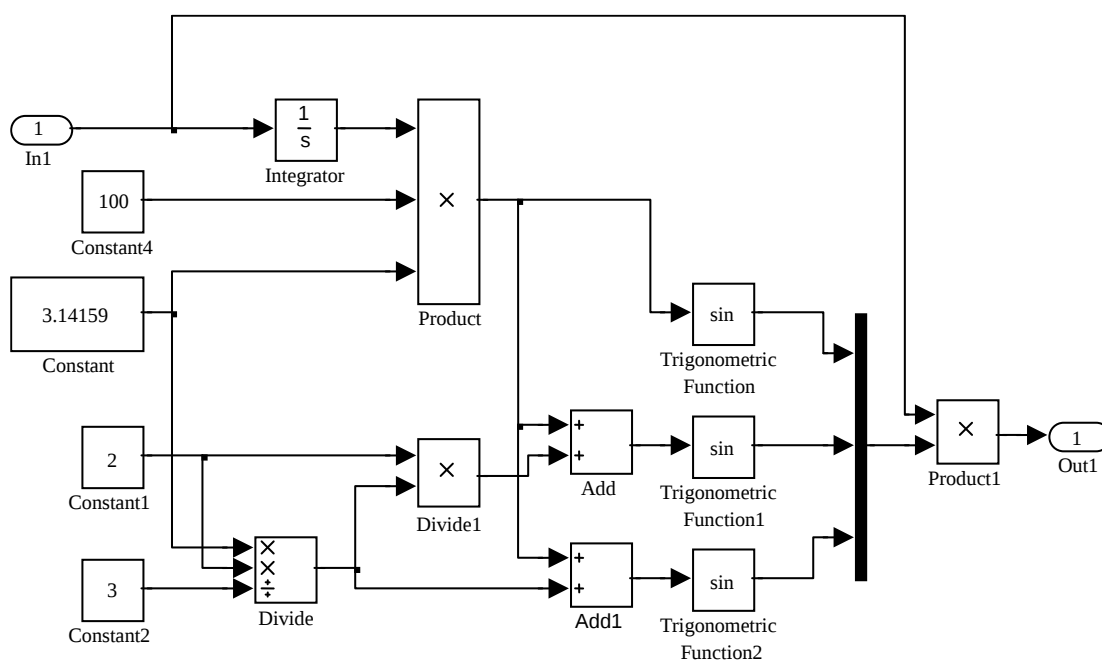


Рисунок. 2.14 – Модель Блоку задания напруги АД.

Джерело живлення в момент часу 219 мс після початку моделювання видає одиничний пакет сигналу тривалістю 4 мс, який припиняє подачу сигналу керування на інвертор та напруги на двигун. Двигун починає працювати в режимі поступової зупинки.

Результати моделювання представлені на рис. 2.15...2.27. У відповідності до отриманих даних, можна зробити наступні висновки. Передача високочастотного сигналу керування по силовим кабельним лініям можлива. Причому використаний простий алгоритм виділення корисного сигналу, дозволяє достатньо точно виділити сигнал управління із заданою тривалістю. Робота асинхронного двигуна через перетворювач частоти супроводжується перешкодами із частотою корисного

сигналу, тому при проектуванні системи необхідно передавати сигнал значно більшої амплітуди, ніж амплітуда можливих перешкод.

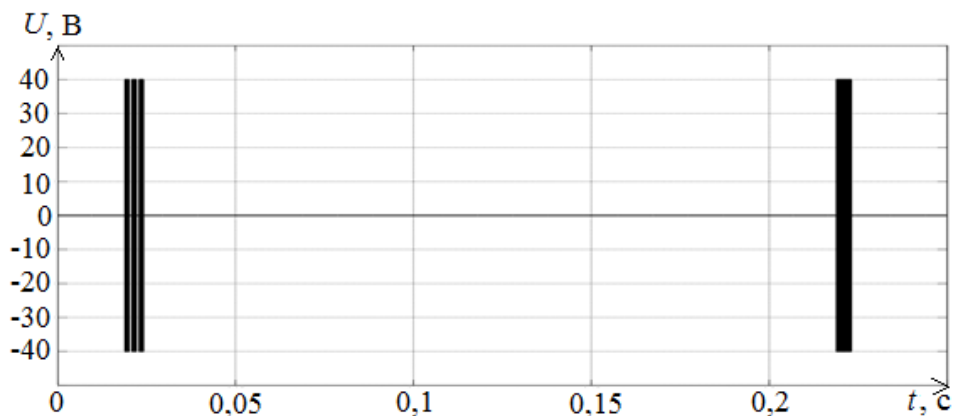


Рисунок 2.15 – Сигнал з джерела ВЧ сигналу (Score 16).

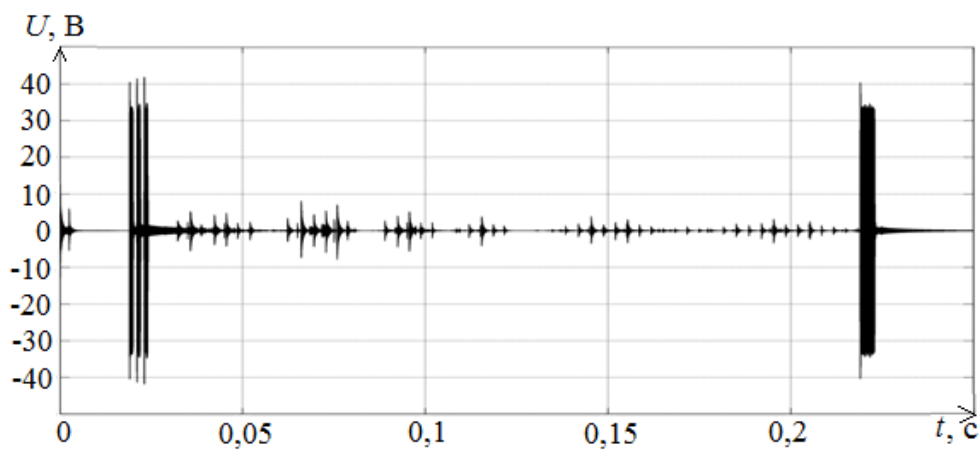


Рисунок 2.16 – Напруга на ВЧ-фільтрі виокремлення корисного сигналу, що знімається датником напруги 4 (Score 16).

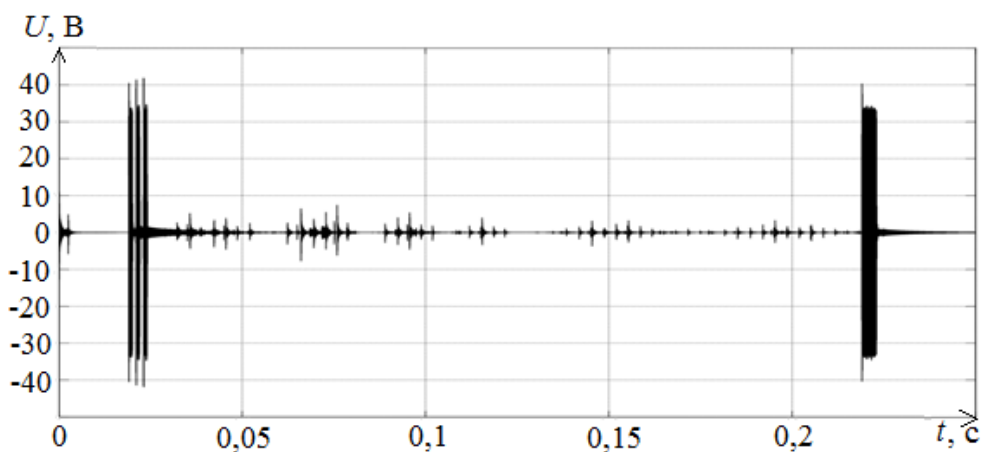


Рисунок 2.17 – Сигнал після смугового фільтру корисного сигналу (Score 10).

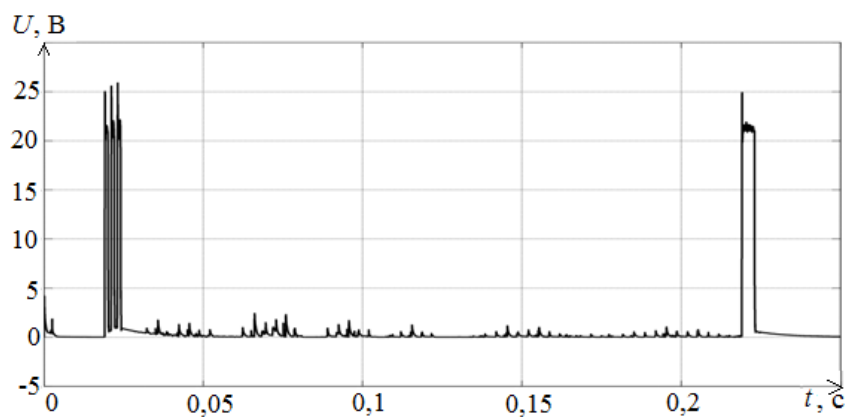


Рисунок 2.18 – Сигнал після детектору та фільтру
нижніх частот корисного сигналу (Score 3).

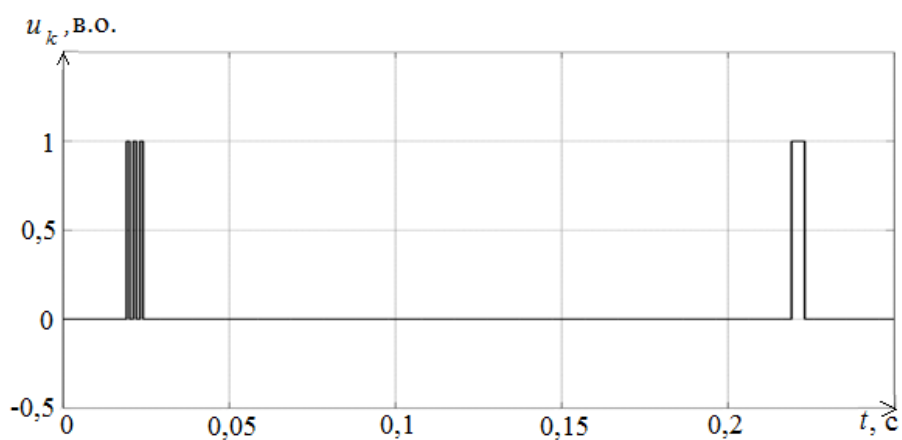


Рисунок 2.19 – Вхідний сигнал блоку декодування
та формування керуючого сигналу (Score 5).

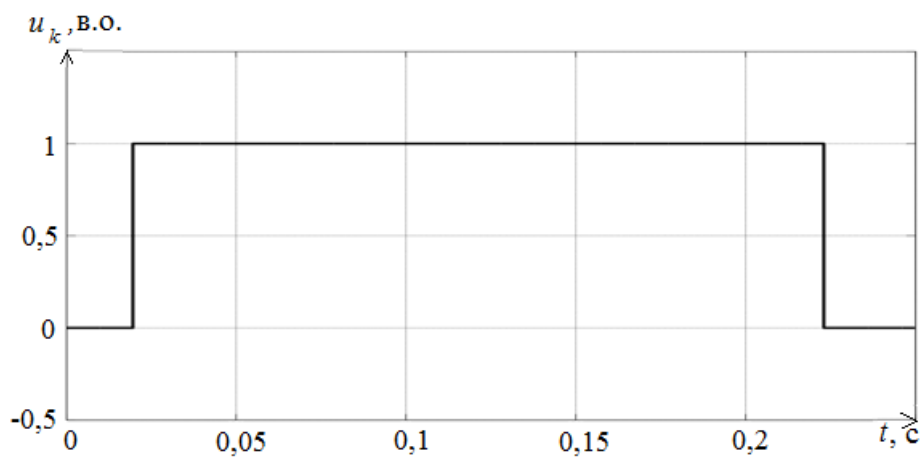


Рисунок 2.20. Вихідний сигнал блоку декодування
та формування керуючого сигналу (Score 13).

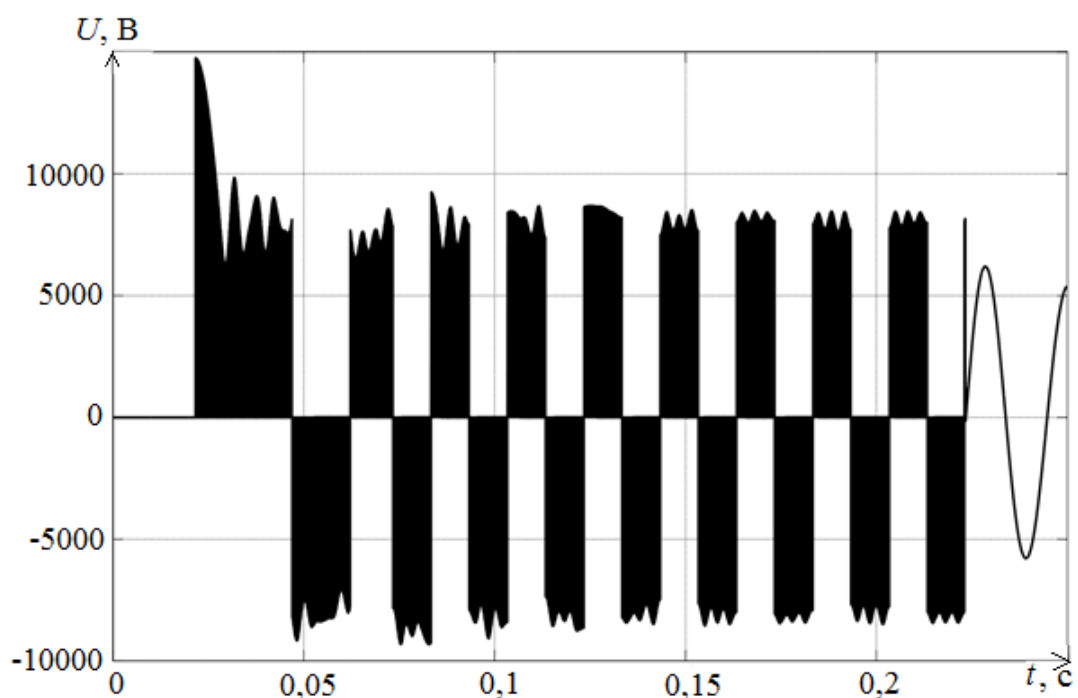


Рисунок 2.21 – Напруга на асинхронному двигуні,
що надходить з частотного перетворювача (Score 1).

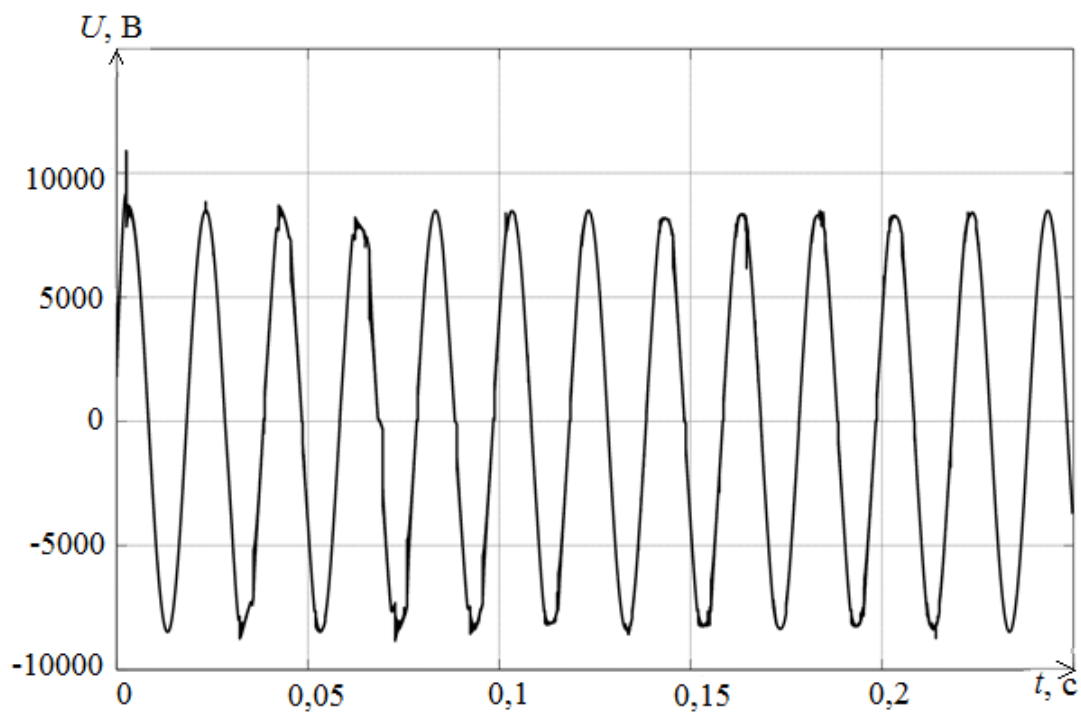


Рисунок 2.22 – Лінійна напруга на початку кабельної лінії живлення
при пуску двигуна та передачі сигналу керування (Score 6).

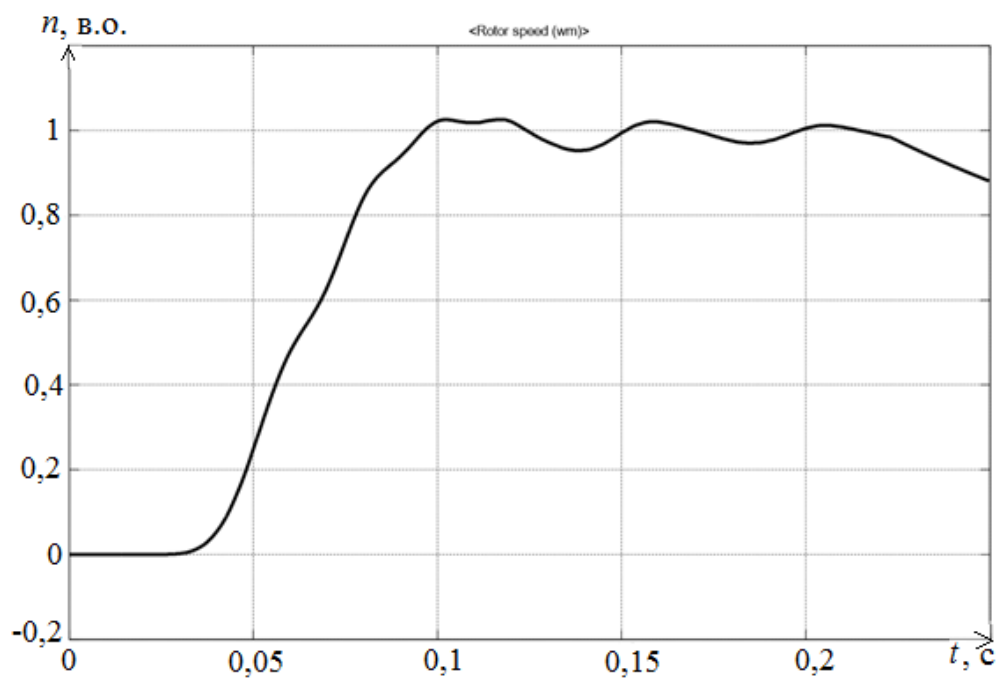


Рисунок 2.23 – Зміна частоти обертання двигуна у часі в процесі пуску під навантаженням (Score 8).

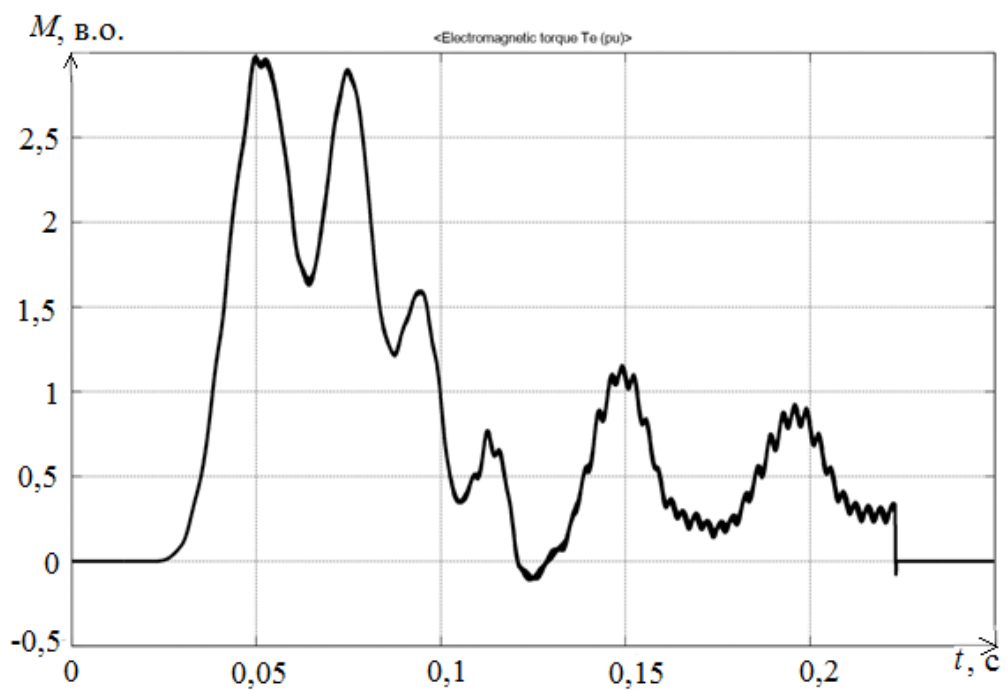


Рисунок 2.24 – Зміна електромагнітного моменту на валу двигуна у часі в процесі пуску під навантаженням (Score 8).

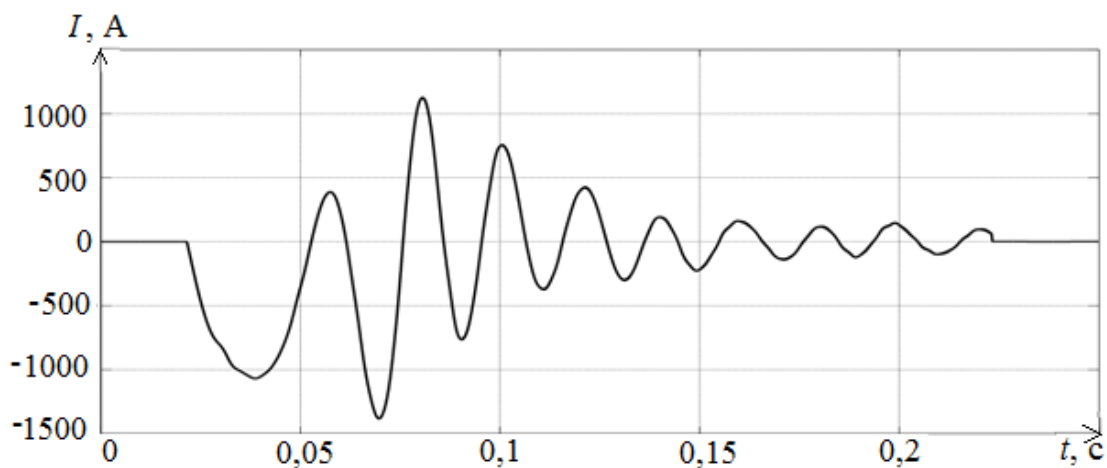


Рисунок 2.25 – Зміна струму в обмотці статора двигуна у часі в процесі пуску під навантаженням (Score 9).

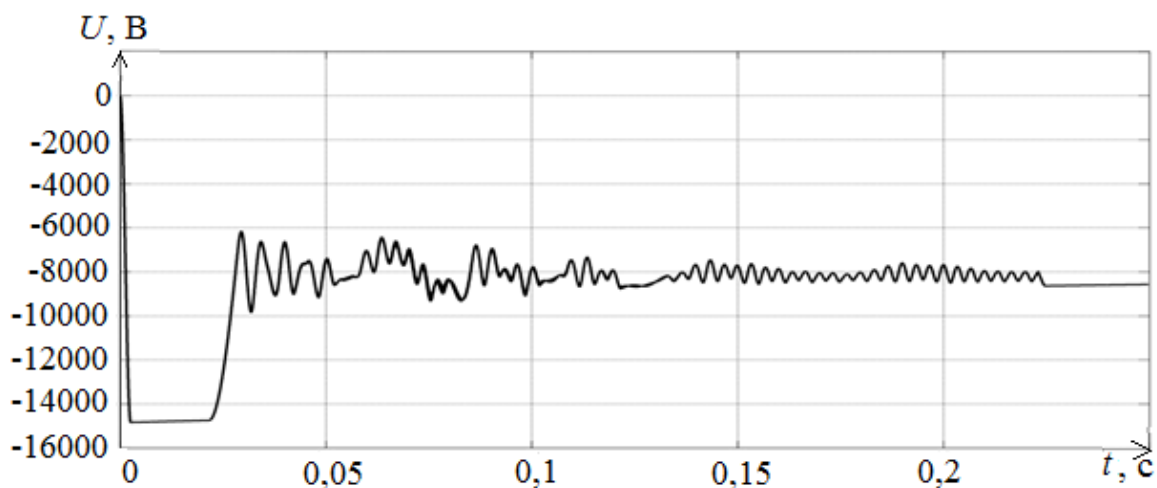


Рисунок 2.26 – Зміна напруги на конденсаторі у колі постійного струму частотного перетворювача у часі в процесі пуску (Score 14).

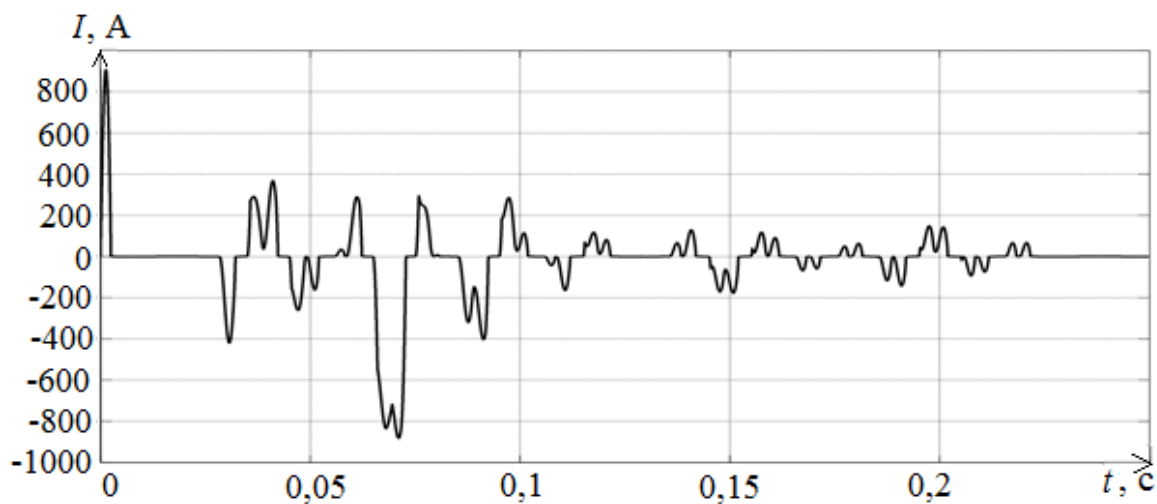


Рисунок 2.27 – Зміна перетворювачем у часі струму, що споживається частотним в процесі пуску (Score 15).

РОЗДІЛ 3. ЕЛЕКТРОПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА НА СУДНІ, КОНТРОЛЬ ІЗОЛЯЦІЇ ТА ТИПИ НЕЙТРАЛІ НА СУДНІ

3.1. Електропожежна безпека на судні

Суднові електроенергетичні системи (СЕЕС) напругою понад 1000 В (надалі високовольтні СЕЕС) за структурою розподільних пристроїв, кабельної мережі, принципами побудови захисту, вимірювальної апаратури, тощо нагадують берегові високовольтні системи. З іншого боку, вони мають певну схожість і з СЕЕС напругою до 1000 В (в подальшому – низьковольтні СЕЕС). Відповідно, виникає питання: якою мірою в високовольтних СЕЕС можуть бути використані традиційні рішення з електропожежної безпеки, яких вживають для берегових високовольтних електроенергетичних систем і для низьковольтних СЕЕС. При цьому слід мати на увазі, що приблизно 75% всіх електропожежо небезпечних замикань в СЕЕС складають однофазні замикання на корпус (ОЗ). Струм ОЗ одна з основних причин електротравм і загорянь. Отже, питання електропожежної безпеки на судах пов'язують з цими струмами: їх величиною (залежить від ємності щодо корпусу), тривалістю існування, наявністю або відсутністю і характеристиками захисту від них. Ці поняття в подальшому будуть розглянуті більш детально.

Під терміном "електропожежна безпека" тут і далі маються на увазі два узагальнених поняття:

- електробезпека СЕЕС, тобто, захищеність людини від електропоразки при експлуатації і обслуговуванні мережі;
- пожежна безпека СЕЕС, тобто, виключення небезпеки загоряння електрообладнання та виникнення пожежі на судні, викликаного несправностями СЕЕС.

У порівнянні з береговими високовольтними мережами і СЕЕС низької напруги високовольтні СЕЕС мають певні особливості, які впливають на їх електропожежну безпеку. Ці особливості необхідно брати до уваги при вирішенні основних питань, пов'язаних цією проблемою. Ознайомлення з високовольтними

СЕЕС суден зарубіжного виробництва показало, що до їх основних відмінних рис можуть бути віднесені наступні:

- порівняно невелика розгалуженість і значно менша кількість споживачів, що становить, як правило, не більше 20 одиниць (інші споживачі отримують електроживлення на низькій напрузі),

- наявність в електростанції декількох генераторів, призначених як для роздільного, так і для паралельної роботи на загальні шини;

- значно менша ємність по відношенню до корпусу, складова одиниці мікрофарад на три фази і її стабільність у часі для кожного споживача і СЕЕС в цілому;

- порівняно невелика (до 30%) питома вага кабелю і створенні ємності (на військових кораблях з високовольтними СЕЕС він може досягати 75%);

- практично повна симетрія ємностей фаз і відсутність природного зсуву нейтралі (це пояснюється властивостями кабельної мережі, відсутністю однофазних споживачів і конденсаторів захисту від радіоперешкод);

- практично однакова ємність трьох фаз високовольтної частини СЕЕС однотипних суден, більше активний опір ізоляції (на порядок, в порівнянні з СЕЕС низької напруги);

- більш сприятливі умови експлуатації мережі в нормальних, чи не аварійних режимах роботи судна в порівнянні з береговими мережами, зокрема, значно менший діапазон зміни температури навколишнього середовища, менша зміна вологості, менша ймовірність механічних пошкоджень кабельних трас для СЕЕС цивільних суден;

- відсутність вимикачів в місці установки споживачів;

- можливість точного обліку величини і експлуатаційних змін ємності мережі в залежності від режиму роботи СЕЕС (це пояснюється невеликою кількістю високовольтних споживачів і можливістю вимірювання їх ємності разом з ємністю кабелів до вимикачів);

- відсутність гальванічного зв'язку силових мереж і ланцюгів управління;

- електричне та магнітне екранування струмоведучих частин елементами конструкцій розподільних пристроїв і суднових приміщень;
- мале, в порівнянні з опором "заземлювач – земля", опір корпусу судна, що становить соті частки Ом.

Як буде показано в подальшому, кожна з перерахованих особливостей має значення при вирішенні будь-якої конкретної проблеми електропожежної безпеки високовольтних СЕЕС. Наприклад невелика кількість високовольтних споживачів електроенергії можливість точного обліку величини і експлуатаційних змін ємності мережі дозволяють визначити ємність розрахунковим шляхом ще на ранніх стадіях проектування судна. Це зокрема дає можливість розраховувати основні характеристики різних режимів нейтралі, вибирати оптимальний режим, знаходити характеристики захисту. Як правило, для високовольтних берегових мереж і для низьковольтних СЕЕС така можливість відсутня через їх значно більшу розгалуженість. Симетрія фазних ємностей сприяє застосуванню перспективи захисту заснованої на принципі штучного замикання на корпус пошкодженої фази АЗФ (автоматичне замикання фази). Порівняно невелика ємність високовольтної частини СЕЕС і її стабільність у часі для кожного споживача сприяють компенсації ємнісних струмів. Відсутність вимикачів в місці установки споживачів і гальванічного зв'язку силових мереж і ланцюгів керування спрощують захист від ОЗ і роботу автоматики. Електричне і магнітне екранування струмоведучих частин елементами конструкцій розподільних пристроїв і суднових приміщень збільшує електромагнітну електробезпеку обслуговуючого персоналу і покращує електромагнітну сумісність суднового електричного радіоустаткування.

З наведених прикладів випливає висновок: більшість особливостей високовольтних СЕЕС, в порівнянні з низьковольтними і з береговими високовольтними мережами, сприятливо впливає на рішення багатьох важливих питань суднової електропожежної безпеки. При порівнянні з низьковольтними СЕЕС вирішальну роль, на перший погляд, грає робоча напруга, яка на порядок більше перевищує напругу останніх. Здавалося б що і величина струмів ОЗ відповідно на порядок вище. Насправді це не так, оскільки величина струму ОЗ, що

визначає електропожежну безпеку, прямо пропорційна не тільки величиною фазної напруги, але і ємністю трьох фаз мережі, яка, в свою чергу, на порядок менше, ніж в низьковольтній СЕЕС. Отже, в першому наближенні струми ОЗ одного порядку. Якщо ж врахувати, що в порівнянні з низьковольтним електрообладнанням конструктивне виконання високовольтного більш надійне і безпечне, його мережа менш розгалужена, активний опір ізоляції на порядок вище, а вимоги по експлуатації та електробезпеці більш жорсткі, можна припустити, що електропожежна безпека високовольтних СЕЕС може виявитися вище, ніж низьковольтних. Це припущення знаходить непряме підтвердження в тому факті, що за два десятки років експлуатації суден і атомних криголамів з СЕЕС 6 кВ не було зафіксовано жодного випадку ОЗ або електротравм в високовольтній частині СЕЕС. На таких суднах високий рівень електропожежної безпеки забезпечується надійною конструкцією високовольтного електрообладнання і його грамотною експлуатацією. Існуючий захист від ОЗ не розрахована на значне підвищення рівня електробезпеки. Його завдання запобігання пошкодження електрообладнання при ОЗ і підвищення рівня пожежної безпеки високовольтної СЕЕС.

У число основних напрямків підвищення рівня електробезпеки високовольтних СЕЕС входять:

1. Вивчення наукових основ фізіологічної дії електричного струму на людський організм, аналіз і оцінка діючих норм цього впливу.
2. Створення критеріїв оцінки і вивчення основних факторів, що визначають електро та пожежна безпека СЕЕС при ОЗ.
3. Розробка методів розрахунку і вимірювання ємності, опору ізоляція і струму ОЗ в високовольтних СЕЕС.

За результатами проведених досліджень можуть бути дані наступні рекомендації:

– режим нейтралі і принципи побудови захисту від ОЗ слід вибирати спільно, тобто виходячи з необхідного ступеня електропожежної безпеки: необхідно вибирати систему "нейтраль – захист від ОЗ ". Це означає, що характеристики

обраного захисту від ОЗ залежить від обраного режиму нейтралі і навпаки: при виборі режиму нейтралі слід орієнтуватися на певний вид захисту;

– в СЕЕС напругою 6 кВ можливе застосування наступного режиму нейтралі: повністю ізольована від корпусу, поєднана з ним через високоомний резистор або дугогасячий реактор. Використання глухозаземленої нейтралі не рекомендується через великі струми ОЗ;

– для підвищення рівня електропожежної безпеки суднових СЕЕС 6 кВ рекомендується застосування автоматичного селективного контролю опору ізоляції, захисту від ОЗ, діючої на відключення, захисного шунтування пошкодженої фази, компенсації струмів ОЗ, а також використання організаційних заходів і конструктивних рішень; склад технічних засобів визначається розробниками в кожному конкретному випадку.

Як негативне явище, властиве високовольтним СЕЕС, можна відзначити відсутність характеристик ймовірності випадкових дотиків до струмоведучих частин при здійсненні всіх конструктивних і організаційних заходів, спрямованих на їх запобігання, а також відсутність даних по ймовірності виникнення пожежі на судні під час займання різних видів електрообладнання. Наявність таких даних надало б можливість визначати фактичний рівень електропожежної безпеки для ряду сполучень цих заходів і захисту.

3.2. Умови електропожежної безпеки (однофазні замикання на корпус)

Як було зазначено вище, однофазні замикання на корпус судна мають визначальне значення в судовій електропожежній безпеці. Причини виникнення ОЗ можуть бути різними. Це механічні та температурні пошкодження ізоляції, електричні пошкодження в результаті внутрішніх або наведених перенапруг, різні випадкові з'єднання струмоведучих частин з корпусом в процесі експлуатації електрообладнання. Залежно від причини ОЗ воно може бути або так званим "металевим", коли опір замикання дуже малий в порівнянні з опором всього кола, або замиканням через перехідний опір r_z , яке необхідно враховувати при розрахунку струмів ОЗ. В останньому випадку таким опором можуть виявитися:

контактний опір; опір створений при ОЗ електричної дуги, опір тіла людини при однофазному дотику до струмоведучих частини або потрапившому під напругу корпусу електрообладнання, в розрахунках цей опір може бути заміщений активним опором, який (зокрема, для низьковольтних СЕЕС) пропонується підпорядкувати наступній умовній градації :

а) локальне зниження опору ізоляції з $r_3 = 1 \dots 3$ кОм (очевидно, що для високовольтних СЕЕС це значення має бути більше);

б) замикання на корпус через мікродугу в пошкодженій ізоляції електрообладнання з $r_3 = 50 \dots 500$ Ом (наявність цього механізму пошкодження ізоляції на високій напрузі не встановлено),

в) неповне металеве замикання на корпус при $r_3 = 10 \dots 100$ Ом (тривале існування о. з. подібного роду на високій напрузі малоімовірно);

г) дугове замикання на корпус (стійко горить дуга) з $r_3 = 10 \dots 15$ Ом;

д) металеве о. з. з $r_3 = 10$ Ом.

У берегових мережах 0...10 кВ опір металевих ОЗ може досягати 20...30 Ом. З досвіду експлуатації таких мереж відомі три види ОЗ: стійке металеве (глухе) або через перехідний опір, стійке дугове переміжне і короткочасне само усувне замикання.

Для короткочасного самоусування ОЗ характерне відновлення електричної міцності ізоляції через невеликий проміжок часу після пробою її ослаблених місць, тобто самоліквідація пробою. У берегових електроустановках на частку таких само усувних ОЗ доводиться 25...30% всіх відключень мережі. Особливим видом ОЗ можна назвати замикання через стійку пересувну дугу, яке відрізняється значними внутрішніми перенапруженнями, здатними привести до між фазних замикань. Перенапруги при ОЗ через переміжну дугу виникають як на непошкоджених, так і на замкнених фазах, причому на непошкоджених фазах вони можуть перевищувати фазні напруги більш ніж в чотири рази. Відмітна особливість перенапруг при ОЗ через переміжну дугу – їх поступове наростання в міру згасання і повторних запалень дуги. Вони досягають максимальних значень через кілька періодів.

Розглянемо можливі режими нейтралі високовольтних СЕЕС. Для високовольтних СЕЕС в загальному можливе застосування тих же режимів нейтралі, що і для берегових ЕЕС.

Згідно з "Правилами улаштування електроустановок" (ПУЕ) (в електроенергетичних системах можуть застосовуватися три режиму нейтралі: ефективно заземлена, глухозаземлена та ізольована.

Електрична мережа з ефективно заземленою нейтраллю – це трифазна електрична мережа напругою понад 1000В у якій коефіцієнт замикання на землю не перевищує 1,4.

Коефіцієнтом замикання на землю в трифазній електричній мережі називається відношення різниці потенціалів між неушкодженою фазою і землею в точці замикання на землю іншої фази або двох інших фаз, і різниці потенціалів між іншою фазою і землею в цій точці до замикання.

Глухозаземлена нейтраль – це нейтраль, трансформатора або генератора, приєднана до заземлювального пристрою безпосередньо або через малий опір (наприклад, через трансформатори струму). Глухозаземлена нейтраль представляє собою окремий випадок ефективно заземленої нейтралі.

Ізольована нейтраль – це нейтраль трансформатора або генератора не приєднана до заземлювального пристрою або приєднана до нього через прилади сигналізації, вимірювання, захисту, заземлювальні дугогасні реактори і подібні до них пристрої, що мають великий опір.

Коефіцієнт замикання на землю в ЕЕС з ізольованою нейтраллю знаходиться в межах 1,4 ... 1,73, а в ЕЕС з глухозаземленою нейтраллю він повинен бути рівним одиниці.

Згідно з чинними Правилами морського Регістру під терміном "ізольована нейтраль" розуміють нейтраль СЕЕС, повністю ізольовану від корпусу судна. Термінологічна невизначеність в основних нормативних документах викликала необхідність уточнення існуючої термінології. В літературі з'явилися поняття резистована нейтраль" і "компенсована нейтраль". При цьому під терміном "резистована нейтраль" мається на увазі нейтраль, поєднана з землею (корпусом

судна) через високо омний резистор. опір якого знаходиться в межах від одноразової до двократної величини ємнісного опору ізоляції трьох фаз СЕЕС щодо корпусу. "Компенсована нейтраль" – це нейтраль, поєднана з корпусом через індуктивний опір, рівний індуктивному опору ізоляції трьох фаз мережі, з метою компенсації ємнісної складової струму ОЗ. Під терміном "ізольована нейтраль" вважається повністю ізольована від корпусу нейтраль, сполучення з корпусом якої можливо тільки через опір ізоляції мережі. Надалі будемо притримуватися цій, більш визначеній, термінології, віддаючи собі звіт, тому, що і вона не досконала, тому що не включає нейтралі з'єднані, з корпусом через опір нижче ємнісного і мають коефіцієнт замикання на корпус більше 1,4. Умовно називають цей режим нейтралі ефективно ізольована нейтраль.

Коефіцієнт замикання на землю для більшості застосовуваних на практиці ефективно ізольованих, резистованих і компенсованих нейтралей практично рівний коефіцієнту замикання на землю ізолюваною нейтраллю, тобто 1,73.

3.3. Технічні способи і основні шляхи досягнення електропожежної безпеки

Під терміном "захист від однофазних замикань на землю" розуміють комплекс способів і засобів, що забезпечують або збільшують безпеку людини або обладнання при однофазному замиканні на землю, в тому числі і через тіло людини. Таким чином, передбачається, що небажаний (а часто і небезпечний) факт ОЗ вже стався; згадані способи і засоби захисту призначені для того, щоб зменшити небезпечні наслідки цього явища. як заходи, що зменшують ймовірність виникнення ОЗ, слід розглядати: вдосконалення конструкції електрообладнання (розподільних пристроїв, кабелів, електричних машин і апаратів), підвищення електричної і механічної міцності ізоляції, вибір режиму нейтралі, дотримання правил технічної експлуатації електрообладнання та техніки безпеки, тощо.

В якості засобів для забезпечення захисту від випадкового дотику до струмоведучих частин рекомендується використовувати:

– захисні оболонки;

- захисні огороження (тимчасові або стаціонарні);
- безпечне розташування струмоведучих частин;
- ізоляцію струмоведучих частин (може бути робоча, додаткова, посилена, подвійна);
- ізоляцію робочого місця;
- мала напруга;
- захисне відключення;
- попереджувальну сигналізацію, блокування, знаки безпеки.

Для забезпечення захисту від ураження електричним струмом при дотику до металевих струмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою в результаті пошкодження ізоляції пропонуються наступні способи:

- захисне заземлення;
- занулення;
- вирівнювання потенціалу,
- система захисних проводів.
- захисне відключення;
- електричний поділ мережі;
- контроль ізоляції.
- компенсація струмів замикання на землю;
- засоби індивідуального захисту.

Всі перераховані способи і засоби, за винятком ізоляції струмопровідних частин і контролю ізоляції не запобігають і не зменшують вірогідність ОЗ. Вони пов'язані тільки з електробезпекою, в той час як ОЗ, так само як і між фазні короткі замикання, чреваті ще й небезпекою виникнення пожежі і виходу з ладу електрообладнання. До цього переліку необхідно додати пристрій захисного автоматичного замикання на землю (корпус) пошкодженої фази. На відміну від інших засобів, воно може запобігти смертельному ураженню людини при випадковому дотику до струмоведучих частин навіть при високій напрузі.

Термін "захист від однофазних замикань на корпус" визначається як захист від шкідливих наслідків ОЗ. Відносно способів і засобів захисту буде використаний термін "основні шляхи досягнення електропожежної безпеки".

В роботі стосовно СЕЕС напругою 6 кВ сформульовані наступні основні шляхи досягнення електропожежної безпеки:

- застосування конструкцій високовольного електроустаткування, в максимальному ступені виключають випадковий дотик до струмоведучих частин та інших елементів електрообладнання, що знаходяться під напругою, а також інші аварійні замикання;

- розробка і дотримання правил техніки безпеки та інструкцій по експлуатації суднового високовольного електрообладнання;

- правильний вибір системи "нейтраль – захист" для забезпечення необхідного рівня електропожежної безпеки.

- автоматичний селективний контроль опору ізоляції.

Сукупність перерахованих шляхів досягнення електропожежної безпеки призводить до запобігання або зменшення ймовірності як ОЗ так і їх шкідливих наслідків.

Згідно з вимогами Правил морського Регістру в СЕЕС напругою понад 1000 В захист від ОЗ обов'язковий тільки для генераторів. Для мереж з ізолюваної нейтраллю обов'язково необхідна світлова та звукова сигналізація ОЗ.

В той же час ПУЕ вимагає для мереж напругою 3 ... 10 кВ з ізолюваною нейтраллю застосування селективного захисту від ОЗ (встановлює пошкоджений напрямок), що діє на відключення, коли це необхідно за вимогами безпеки, захист повинен бути встановлений на живильних елементах у всій електрично пов'язаній мережі.

Таким чином, має місце розбіжність вимог Правил морського Регістру з вимогами ПУЕ, обов'язковими для всіх відомств. Але оскільки в ПУЕ поняття "вимоги безпеки" не уточнюється, його можна трактувати як "електропожежна безпека", тобто як електрична, так і пожежна безпека.

Звичайна типовий не швидкодіючий захист від ОЗ з електромагнітними вимикачами забезпечує сумарний час спрацювання близько 0,2 с., і практично не підвищує рівня електропожежної безпеки при о. з. через тіло людини. У той же час вона забезпечує пожежну безпеку цього виду аварійних замикань в високовольтній мережі СЕЕС.

Найбільш близькими до суднових умов з точки зору електропожежної безпеки виявляються умови експлуатації високовольтних мереж гірничих підприємств їх характерна особливість від суднових високовольтних мереж – в більшості випадків в кілька разів більша сумарна протяжність високовольтних кабельних ліній. В даний час основне призначення захисту від о. з. в таких мережах – запобігання подвійних замикань на землю в різних точках мережі, що ведуть до небезпечних для життя людей напруг на заземлених корпусах електроустановок і напруг кроку. При цьому час відключення мережі або приєднання з ОЗ, відповідно до головної ролі захисту, визначається не вимогами електробезпеки, але умовою (ймовірністю) виникнення повторного ушкодження ізоляції мережі і ОЗ в іншій точці (вважається, що час відключення основного ступеня захисту, що становить 0,15 ... 0,2 с. для досягнення згаданої мети досить і раціонально.

У СЕЕС напругою понад 1000 В подвійне о. з. відразу ж відключається штатним захистом від короткого замикання (в зв'язку з малим опором корпусу – близько соті частки Ом). Рівень електробезпеки при використанні в високовольтних СЕЕС не швидкодіючого захисту від ОЗ через тіло людини, побудованої на принципі ПЗВ (пристрій захисного відключення) практично не підвищується при значеннях ємності трьох фаз близько 10 мкФ, характерних для високовольтних СЕЕС. Ця обставина посилюється ще і тим, що ПЗВ в принципі не можуть захистити людину від смертельної електропоразки – через те, що і після відключення пошкодженої ділянки мережі людина може перебувати під дією ЕРС вибігу відключених електродвигунів. Навіть при миттєвому відключенні пошкодженого приєднання через тіло людини, доторкується до однієї фази відключеного захистом фідера, протягом деякого часу буде проходити загасаючий

по амплітуді і частоті струм. обумовленим згаданою ЕРС вибігу електродвигунів, приєднаних до відключеного з боку ГРЩ фідера.

Величина струму, що протікає через людину від ЕРС вибігу, крім власне значення ЕРС вибігу визначається сумарною місткістю відключеного приєднання. Значення цієї ємності для високовольтих СЕЕС у багато разів більше безпечних.

Наприклад, в досвіді металевого ОЗ на буровому судні "Валентин Шашин" амплітуда струму вибігання після відключення ОЗ становила 20% від амплітуди усталеного струму ОЗ при тривалості вибігу близько 2 с. У цьому досвіді були включені на одну з двох секцій шин ГРЩ один головний генератор, синхронний електродвигун підрулюючий пристрій і трансформатор власних потреб з сумарною місткістю трьох фаз рівною 0,61 мкФ. Ємнісний опір $x_C = 5220 \text{ Ом}$. $r_0 = 1920 \text{ Ом}$.

Розрахунковий струм ОЗ через тіло людини при випадковому дотику до відключення пошкодженої фідера складає:

$$I_n = \frac{U_\phi}{\sqrt{\left(r_3 + \frac{r_0 x_C^2}{r_0^2 + x_C^2}\right)^2 + \left(\frac{r_0^2 x_C}{r_0^2 + x_C^2}\right)^2}} = 1,57 \text{ А.}$$

У перший момент після відключення ($3C = 0.36 \text{ мкФ}$; $x_C = 8850 \text{ Ом}$), $I_n = 0,41 \text{ А}$. Цей струм загасає досить повільно. Можна вважати, що протягом десяти періодів його величина залишається практично незмінною. Згідно ГОСТ, допустимий струм при такому часу протікання через тіло людини складає 190 мА.

Отже, фактичний струм від ЕРС вибігу одного електродвигуна перевищує допустимий в два з гаком рази.

У той же час, при оцінці рівня електробезпеки, який забезпечується ПЗВ, наявність ЕРС вибігу часто не беруться до уваги. Насправді, якщо враховувати небезпечні струми, що проходять через людину, від ЕРС вибігу можна говорити про підвищення рівня електробезпеки за допомогою існуючих ПЗВ тільки з урахуванням зменшення струму через людину після відключення фідера на якому відбувся дотик. Однак, як було показано ці зменшені струми також можуть представляти смертельну небезпеку.

Таким чином, в умовах високовольтних СЕЕС навіть швидкодіючі системи ПЗВ недостатньо ефективно підвищують рівень електробезпеки при ОЗ, забезпечуючи тільки пожежну безпеку ОЗ і усуваючи пошкодження електрообладнання при ОЗ. Існує принципова можливість значно послабити небезпечне діяння ЕРС вибігу шляхом послідовного з відключенням замикання (за допомогою блок-контактів того ж вимикача ПЗВ) трьох фаз обмотки статора на корпус. На цьому принципі засновані так звані пристрої випереджаючого відключення, розроблені для мереж до 1000 В. У порівнянні зі звичайними ПЗВ ці пристрої мають на порядок вищу, швидкодію і в принципі можуть конкурувати з АЗФ з точки зору забезпечення електробезпеки. АЗФ, як відомо, не усуває ЕРС вибігу при відключенні (якщо діє спільно з ПЗВ), але миттєво шунтує людину, що потрапила під напругу дотику.

3.4. Контроль опору ізоляції і вибір оптимальної системи "нейтраль – захист"

Як відомо, в СЕЕС напругою до 1000 В широко використовується контроль опору ізоляції, який можна розглядати як один із способів захисту від ураження електричним струмом. Він дозволяє фіксувати, ОЗ і стежити за рівнем ізоляції з метою попередження ОЗ, викликаних поступовим погіршенням ізоляції, наприклад, в результаті її природного старіння або постійного впливу зовнішніх факторів, які негативно позначаються на її діелектричних властивостях. Цей контроль може бути як постійним, автоматичним, за допомогою спеціальних систем контролю, широко висвітлених у спеціальній літературі, так і епізодичним, ручним (проводиться щитовими мегаомметрами, методами трьох ламп або трьох вольтметрів і т.п.). Він може бути селективним, тобто по фідерного, і неселективним.

У мережах з ізолюваною або заземленою через дугогасний реактор нейтраллю в нормальному режимі роботи напруга всіх трьох фаз щодо землі рівні фазній напрузі. При однофазному замиканні на землю напруга пошкодженої фази щодо землі дорівнюватиме нулю, а непошкоджених фаз - збільшується до між

фазного. Між фазні напруги при цьому не змінюються. Такі мережі можуть залишатися в роботі, тому що пошкодження встановити важко.

Тривала робота в такому режимі неприпустима, так як при випадковому пробії ізоляції неушкодженою фази виникне двофазне КЗ з небажаними наслідками. Для контролю стану ізоляції в мережах напругою до 1 кВ застосовуються три вольтметра, з'єднані в зірку, нейтральна точка якої заземлюється (рис. 3.1, а).

У мережах з ізольованою нейтраллю контроль стану ізоляції легко здійснити за допомогою трьох вольтметрів. Вольтметри підключаються до затискачів основний вторинної обмотки трифазного три обмоткового трансформатора напруги. Для цієї ж мети можуть використовуватися і однофазні трансформатори напруги.

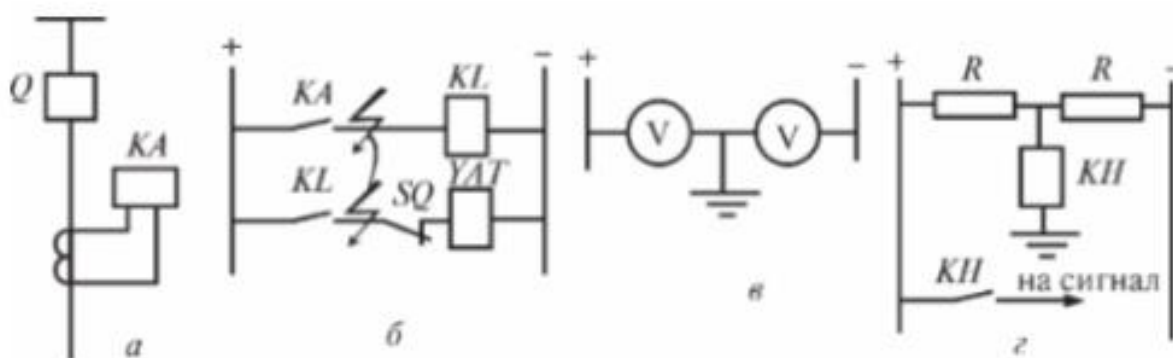


Рисунок 3.1. – Однополюсне замикання на землю в двох місцях: контроль ізоляції за допомогою вольтметрів, а - приєднання лінії з трансформатором струму, б - релейний захист, в - контроль ізоляції за допомогою вольтметрів, г - контроль ізоляції з сигнальним реле, Q - вимикач, КА - реле струму, КЛ - проміжне реле, SQ - допоміжний контакт вимикача, YAT - електромагніт відключення вимикача, КН - сигнальне реле, V - вольтметр, R – резистор.

У мережах напругою вище 1 кВ для контролю використовується трансформатор напруги НТМВ, що має дві вторинні обмотки. Одна обмотка, з'єднана в зірку, служить для вимірювання напруги, друга обмотка, з'єднана у відкритий трикутник, з висновками аΔ - хΔ - для контролю ізоляції з приєднанням

реле контролю ізоляції. В якості цього реле застосовується реле напруги KV, що діє на сигнал (рисунок 3.2).

У нормальному режимі на виводах цієї обмотки напруга близька до нуля. При замиканні на землю будь-якої фази в первинній мережі симетрія напруги порушується, і на обмотці, з'єднаної у відкритий трикутник, з'являється напруга, достатня для спрацювання реле напруги, яке сигналізує про пошкодження.

При порушенні ізоляції фази (замиканні її на землю) показання вольтметра на цій фазі знизиться, а показання вольтметрів на двох інших непошкоджених фазах зростуть. При металевому замиканні на землю вольтметр пошкодженої фази покаже нуль, а на інших фазах напруга зростає в 1,73 раз і вольметри покажуть лінійні напруги. Про порушення ізоляції фази оперативний персонал підстанції може дізнатися і по роботі сигнальних пристроїв. В якості сигнального пристрою застосовується реле контролю ізоляції Н, яке підключається до висновків додаткової вторинної обмотки трансформатора напруги НТМВ, з'єднаної за схемою розімкнутого трикутника. При замиканні на землю на затискачах цієї обмотки виникає напруга нульової послідовності $3U_0$, реле Н спрацьовує і подає сигнал (рисунок 3.3).

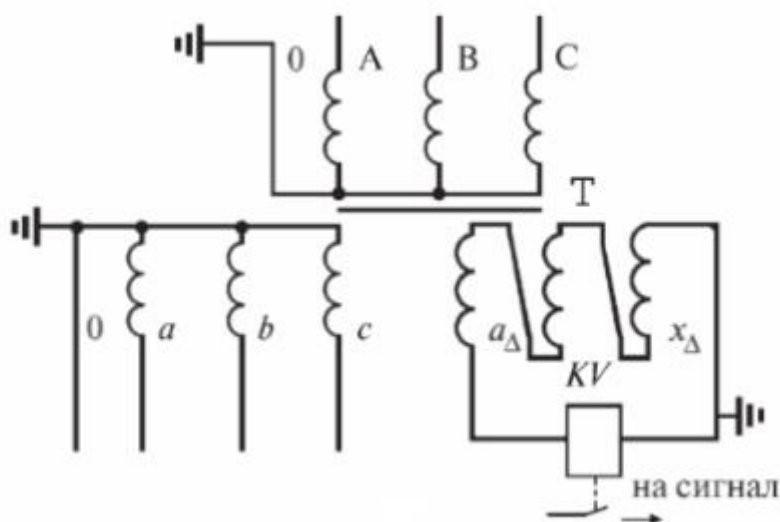


Рисунок 3.2. – Схеми контролю ізоляції в ланцюгах змінного струму в мережі з ізолюованою нейтраллю: О, А, В, С - обмотки, V - вольтметр, Т - трансформатор НТМВ, KV - реле контролю ізоляції

У мережах, де виконується компенсація ємнісних струмів на землю за допомогою дугогасних реакторів, пристрої сигналізації замикання фаз на землю підключаються до сигнальної обмотки дугогасного реактора або до трансформатора струму, встановленого на заземленому виводі реактора. До цієї обмотки може приєднуватися сигнальна лампа, яка засвічується при появі замикання на землю в мережі. Сигнальна лампа встановлюється безпосередньо біля приводу роз'єднувача дугогасного реактора.

Контроль опору ізоляції безумовно підвищує надійність і електропожежну безпеку електроенергетичних систем, в зв'язку з чим він, зокрема, був рекомендований для застосування в високовольтних СЕЕС.

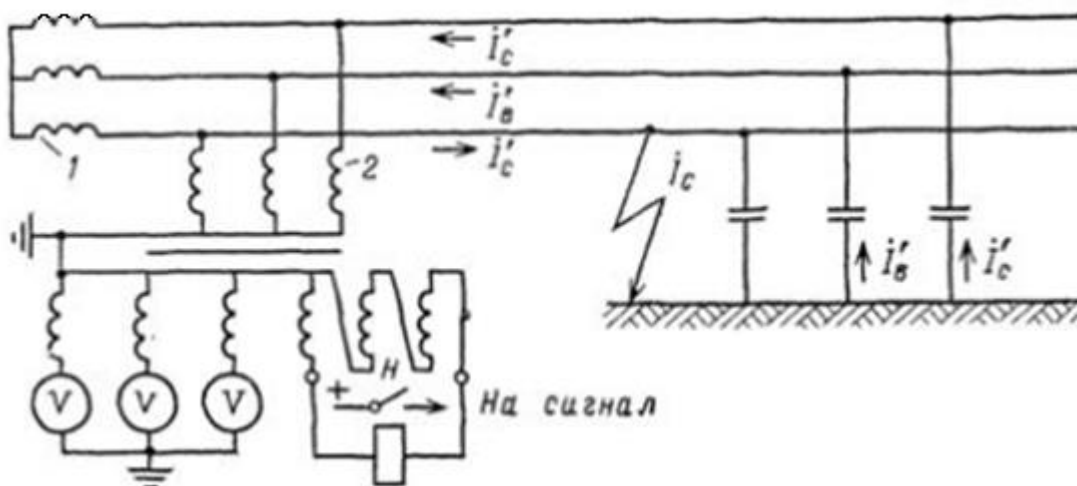


Рисунок 3.3 – Контроль стану ізоляції в мережах з ізольованою нейтраллю:
1 - силовий трансформатор; 2 - вимірювальний трансформатор напруги; Н - реле напруги

У той же час, незважаючи на парадоксальність цього твердження для високовольтних СЕЕС в порівнянні з низьковольтними, контроль опору ізоляції відіграє меншу роль в підвищенні електробезпеки. В основному, це викликано наступними причинами:

– поступове погіршення ізоляції в високовольтних кабельних мережах стає причиною ОЗ значно рідше, ніж в низьковольтних. Основні причини ОЗ в високовольтних кабельних мережах:

- це механічні пошкодження кабелів і миттєвий пробій ізоляції (наприклад, від перенапруг);

- в високовольтних СЕЕС доцільне використання резистованих, ефективно ізольованих або компенсованих нейтралей, тобто нейтралей, що мають гальванічний зв'язок з корпусом. Це ускладнює пристрої автоматичного контролю ізоляції;

- згідно з вимогами ПУЕ, в високовольтних СЕЕС повинен бути передбачений захист від ОЗ, що дозволяє в більшості випадків обійтися без застосування досить складних систем автоматичного селективного контролю опору ізоляції. У той же час, застосування більш простих систем неавтоматичного і неселективного контролю мало ефективно – через наявність в більшості випадків гальванічного зв'язку нейтралі з корпусом;

- ОЗ в високовольтних СЕЕС з відповідним захистом, як показано вище, фактично пожежо безпечне.

Перерахованими причинами, мабуть, пояснюється той факт, що в СЕЕС напругою 6,3 кВ бурових суден типу "Валентин Шашин" і атомних криголамів типу "Таймир" системи контролю ізоляції відсутні.

Відносно розроблених пристроїв контролю опору ізоляції, які могли б бути використані в високовольтних СЕЕС, можна сказати, що найбільш перспективні системи з використанням накладеного струму непромислової частоти.

Для резистованих СЕЕС напругою 6 кВ в роботі запропоновано принцип пристроїв автоматичного селективного контролю опору ізоляції з використанням накладеного постійного струму. На цьому принципі розроблена система селективного контролю опору ізоляції для СЕЕС напругою 6,3 кВ. Це комплексна система, що поєднує контроль ізоляції з ПЗВ. У певному діапазоні струмів ОЗ вона працює на сигнал, а при перевищенні цього діапазону спрацьовує ПЗВ.

Загальний рівень електробезпеки визначається як ймовірністю щасливого кінця при випадковому дотику до струмоведучих частин, так і ймовірністю випадкового дотику, яка залежить від класу судна (його призначення, тактико – технічних даних, чисельності команди, тощо.). Отже, для різних судів і кораблів

один і той же загальний рівень електробезпеки може бути досягнутий при різних співвідношеннях цих двох складових: складовою, яка визначається ймовірністю щасливого кінця при випадковому дотику (система "нейтраль – захист"), і складовою, яка визначається ймовірністю випадкового дотику (клас судна). При малій ймовірності випадкового дотику загальний рівень електробезпеки визначається, головним чином, цією малою вірогідністю, так що роль системи "нейтраль – захист" невелика. Це дозволяє обійтися мінімальними засобами і способами захисту від ОЗ, наприклад, обмежитися застосуванням певного режиму нейтралі та захисту від ОЗ, що діє на сигнал, або типовими не швидкодіючими ПЗВ (для зменшення пожежонебезпеки), розрядниками і обмежувачами перенапруг. Наприклад, це відноситься до таких суден з високовольтними СЕЕС як несамохідні плавучі електростанції і драги.

У міру збільшення небезпеки випадкового дотику, тобто при великих потужностях суднових електростанцій, що призводять до збільшення обслуговуючого персоналу, збільшення числа електричних приймачів і розширенню кабельної мережі, при більш важких умовах експлуатації судна (таких як більш тривале перебування в морі, більше число штормових ситуацій, тощо), роль системи "нейтраль – захист" в забезпеченні відповідного рівня електробезпеки зростає. Наприклад, для таких суден як бурові з високовольтними СЕЕС можливе застосування резистованої або компенсованої нейтралі і швидкодіючих ПЗВ з вакуумними вимикачами. При відсутності спеціальних систем забезпечення безперервності електропостачання відповідальних споживачів доцільно застосування пристроїв АЗФ. Для криголамів і бойових кораблів з високовольтними СЕЕС (крейсер, авіаносці, авіаносні крейсери) – в зв'язку з високою ймовірністю випадкових дотиків, викликаною великою потужністю і розгалуженістю СЕЕС і важкими умовами експлуатації (льодова і бойова обстановка) – необхідний режим "нейтраль – захист" , що забезпечує малу ймовірність важких наслідків при випадковому дотику. В цьому випадку можна рекомендувати ізольовану або резистовану нейтраль і захист типу КСЕ-1С, яка поєднувала фрагменти АЗФ і ПЗВ.

Слід мати на увазі, що в залежності від конкретних умов можливі й інші рішення, тобто остаточний вибір оптимальної системи "нейтраль – захист" для кожною проекту судна повинен проводитися на основі всебічних досліджень.

У таблиці 3.1 представлені рекомендовані системи "нейтраль-захист" для деяких класів судів з високовольтними СЕЕС.

Таблиця 3.1– Рекомендовані системи "нейтраль – захист" для деяких класів суден з високовольтними СЕЕС.

Клас судна	Режим нейтралі	Вид захисту від ОЗ
Плавучі несамохідні електростанції та драги; доки; судна з електрорухом без єдиної СЕЕС	Ізольована, резистована, компенсована.	Захист від ОЗ діюча на сигнал (при компенсованій нейтралі) або типові ПЗВ (наприклад на базі реле РТЗ–51); розрядники обмежувачі перенапруг (при ізольованій нейтралі)
Бурові судна; судна для збирання конкреції (мінеральні утворення) з морського дна	Резистована, компенсована.	Швидкодіюче ПЗВ з вакуумним вимикачем або АЗФ
Льодоколи та кораблі	Ізольована, резистована.	АЗФ типу КСЕ–1С

ВИСНОВКИ

1. Розглянуто способи передачі інформаційного сигналу по лініям електропередач.
2. Встановлено, що в енергетичних мережах краще використовувати високочастотний зв'язок, ніж прокладати волокно – оптичну лінію з економічних міркувань.
3. Розглянуто типи гвинто-кермових колонок, їхні особливості, переваги використання на судні.
4. Спроековано систему передачі сигналу керування до двигуна гвинто-кермової колонки.
5. Розроблена модель та проведене моделювання системи передачі сигналу керування в системі Mathlab Simulink, що показало можливість такого способу передачі сигналу керування на судні.
6. Встановлено, що робота асинхронного двигуна через перетворювач частоти супроводжується перешкодами із частотою корисного сигналу, тому при проектуванні системи необхідно передавати сигнал значно більшої амплітуди, ніж амплітуда можливих перешкод.
7. Розглянуто електропожежну безпеку на судні, методи контролюю стану ізоляції та типи нейтралі, що застосовуються на судні.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. G. Goldberg. "EMC PROBLEMS OF POWER LINE COMMUNICATION (PLC) SYSTEMS", 2001.
2. Шкарін Ю. П. Високочастотні тракти каналів зв'язку по лініях електропередачі. – М.: НТФ «Енергопрогрес», 2001. — 72 с.
3. Дузкенова Ж.А., Кадомська К.П. Передавання інформації по силових кабелях високої напруги // Електрика, 1996, №8.
4. Баранова Є.А. Передавання даних через електромережі // Інтернет-журнал з широкосмтових мереж і мультимедійних технологій. – 2009. – № 3.
5. Корольова Т.Н. Суднові гребні електричні установки: навчальний посібник / Т.Н. Корольова, А.П. Сеньков; СПбДМТУ. – СПб., 2014. – 84 с.
6. Биков А.С., Башаєв В.В., Малишев В.А., Романовський В.В. Гребні електричні установки атомних криголамів. – СПб.: Елмор, 2004.
7. Дарєнков А.Б. та ін. Гребні електричні установки / А.Б. Дарєнков, Г.М. Мирясов, В.Г. Тітов, М.Н. Охотніков, Д.В. Умяров. – Нижній Новгород: НГТУ, 2014. – 219 с.
8. Граве В.І., Романовський В.В., Ушаков В.М. Електропожежна безпека високовольтних суднових електроенергетичних систем: навчальне посіб'я. – СПб.: Елмор, 2003. – 160 с.
9. Манойлов В.Є. Основи електробезпеки. – Л.: Енергоатоміздат, 1991.
10. Брунав Я.П., Тат'янченко Ю.Г. Суднові електричні мережі. – Л.: Суднобудування, 1982.
11. Іванов Є.А., Кузнєцов С.Є. Методи контролю ізоляції суднових електроенергетичних систем. – СПб.: Елмор, 1999.
12. Винторульові колонки. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/8168912/page:8/>
13. Винторульові колонки (ВРК) та системи Azipod. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://neftegaz.ru/tech-library/sudovoe-oborudovanie/142384-vinto-rulevye-kolonki-vrk/>
14. STP Двогвинтова колонка. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.schottel.de/ru/morskaja-propulsija/stp-dvukhvintovaja-kolonka/>
15. Вибір перерізу кабелю на напругу 10 кВ. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://raschet.info/primer-vybora-sechenija-kabelja-na-naprjazhenie-10-kv/>

- 16.Нікітін В.А., Сілаєв Т.А., Степанов Г.Н. Захист високовольної системи суднового електроруку змінного струму від замикання на корпус // Праці ВНШЕМ, 1988, вип. 88.
- 17.Дузкенова Ж.А., Кадомська К.П. Передавання інформації по силових кабелях високої напруги // Електрика, 1996, №8.
- 18.Кадомська К.П., Карпова Ж.А. Характеристики лінійних трактів передавання інформації по силових кабелях розподільчих мереж 10 кВ // Електрика, 1998, №3.
- 19.Чичов С.І., Калінін В.Ф., Глінкін Є.І. Система контролю та управління електротехнічним обладнанням підстанцій. – М.: Видавничий дім «Спектр», 2011. – 140 с.
- 20.Шкарін Ю.П. Високочастотні тракти каналів зв'язку по лініях електропередачі. – М.: Енергетик, 2001.
- 21.Мікуцький Г.В., Скитальцев В.С. Високочастотний зв'язок по лініях електропередач. – М.: Енергія, 1987.