

ТРЕНАЖЕР ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ СУДОВЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ

Иванов А. А., аспирант кафедры эксплуатации судового электрооборудования и средств автоматики Херсонской государственной морской академии, e-mail: artiva1978@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1919-2570;

Тимофеев К. В., к.т.н., доцент кафедры эксплуатации судового электрооборудования и средств автоматики Херсонской государственной морской академии, e-mail: kvtimofeev2013@gmail.com, ORCID:0000-0002-8668-6159;

Авраменко Н. Н., заведующий высоковольтной лабораторией Херсонской государственной морской академии, Украина, e-mail: avrnik1948@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1753-3562;

Растегина Г. И., старший преподаватель-методист Херсонского морского колледжа, Украина, e-mail: rastegina@gmail.com, ORCID 0000-0001-7349-5989

В работе показана необходимость применения высоковольтного тренажера, который позволяет не только формировать требуемую компетентность персонала машинной команды, но также дает возможность вести научно-исследовательскую работу, отрабатывать методы и критерии оценки компетентности, позволяет оценить и продемонстрировать полученные практические навыки и моделирования штатных и аварийных ситуаций и действий при возникновении неисправностей высоковольтного оборудования. Целью работы выступила необходимость раскрыть возможности разработанного высоковольтного тренажерного комплекса для качественного обучения, тренинга и стажировки, которые отвечают требованиям и стандартам конвенции ПДНВ, а также для проведения научных исследований и моделирования штатных и аварийных ситуаций и действий при возникновении неисправностей высоковольтного оборудования. Приведена функциональная схема высоковольтного тренажера и показано использование его в решении исследовательской задачи влияния параметров кабеля на силовой модуль инвертора преобразователя частоты.

Ключевые слова: высоковольтный тренажер, гребная электрическая установка, симулятор, компетентность, преобразователь частоты, инвертор.

DOI: 10.33815/2313-4763.2019.1.20.020-029

Постановка проблемы. В мировом флоте на многих судах с гребной электрической установкой (ГЭУ), разных по типу и назначению, используются судовые высоковольтные электроэнергетические системы (СЭЭС). Согласно международной конвенции по подготовке и дипломированию моряков и несению вахты (ПДНВ) [1], с манильскими поправками с 1 января 2017 года для работы на судах с напряжением силовой электрической установки свыше 1000 Вольт переменного тока обязательным требованием для персонала машинной команды является прохождения курсов по безопасной эксплуатации высоковольтного оборудования.

В связи с этим, возникает необходимость проведения обучения на специализированных тренажерах, которые в полной мере должны соответствовать стандартам и требованиям ПДНВ. Такие тренажеры должны быть способны моделировать эксплуатационные возможности соответствующего судового оборудования до уровня физической реальности.

На данный момент подготовка персонала машинной команды не в полной мере удовлетворяет требованиям ПДНВ из-за малого количества тренажерных комплексов, использующих реальное оборудование, обеспечивающее контролируемую эксплуатационную среду, способную воспроизводить разнообразные условия, включающие аварию, опасные или нештатные ситуации.

Анализ исследований и публикаций. Эксплуатационный профиль морских судов стал более разнообразен, а выполнение многочисленных задач привело к увеличению мощности силовых энергетических установок (СЭУ) и усложнению выполняемых ими операций. Возник компромисс между эффективностью и адаптируемостью к различным выполняемым морскими судами задачам, это привело к появлению разнообразных СЭУ [2].

На рис. 1 показана классификация СЭУ, которые по связи главного двигателя с движителем можно разделить на три типа:

- механические СЭУ;
- СЭУ с электродвижением;
- гибридные СЭУ.

В настоящее время широкое применение нашли электроходы с высоковольтной единой электроэнергетической системой (ЕЭЭС) [3], которая обеспечивает электроэнергией гребные электрические установки (ГЭУ) и общесудовые потребители электроэнергии. Для работы с такими сложными высоковольтными судовыми системами требуется высококвалифицированный и компетентный персонал машинной команды.

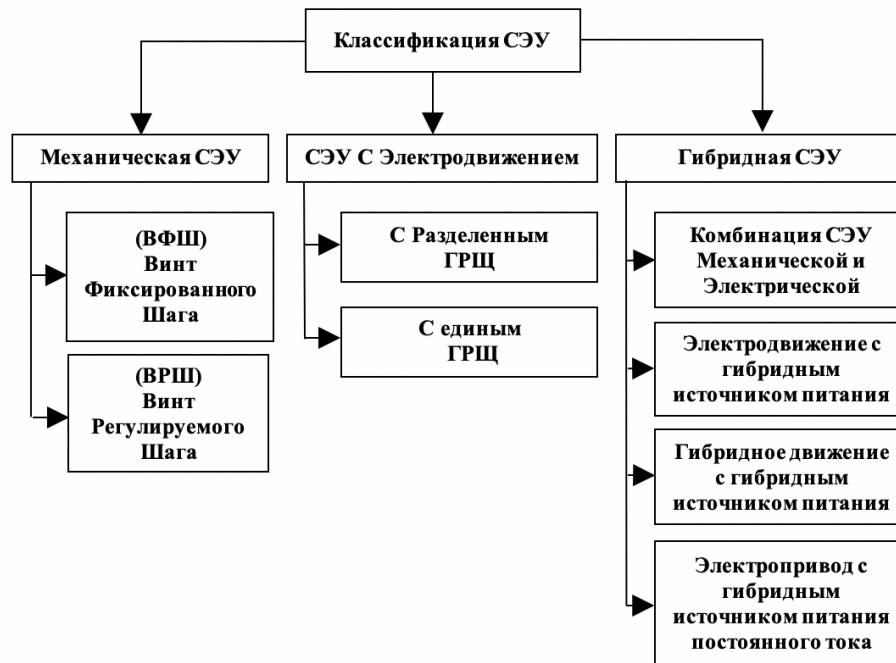


Рисунок 1 – Классификация судовой энергетической установки

Для квалифицированной подготовки такого персонала на основе стандартов и требований ПДНВ международные морские организации разработали и утвердили следующие документы:

- модельные курсы (7.02, 7.04, 7.08, 2.07), разработаны IMO (International Maritime Organization) [4–7];
- руководства и учебные планы (R005 Rev.2, C010, SEL031/M217), разработаны IMCA (International Marine Contractors Association) [8–10];
- критерии проведения обучения персонала по высоковольтному оборудованию на уровне эксплуатации и управления, разработаны MNTB (Merchant Navy Training Board) [11].

В этих документах подробно описываются принципы проведения обучения, способы демонстрации и перечни компетенций, которым должен, в полной мере, соответствовать персонал машинной команды, а также минимальные знания, понимания и профессиональные навыки по высоковольтным судовым системам после прохождения обучения.

Известны разнообразные виртуальные симуляторы, такие, как «TRANSAS» [12], «KONGSBERG» [13] и другие, в основу которых вошли различные модули проведения обучения по высоковольтному оборудованию. Несмотря на широкие функциональные возможности виртуальных симуляторов, они не могут заменить реально действующее

оборудование и зависят от программного обеспечения, что снижает обучающий эффект и понимание.

Подготовка специалистов на виртуальных симуляторах дает хорошее теоретическое понимание происходящих процессов, но отсутствует состояние реальности и возможность адаптации к условиям работы реального высоковольтного оборудования и проведения практических упражнений, что значительно снижает эффективность подготовки персонала.

Существуют тренажерные комплексы, включающие в себя как виртуальные инструменты, так и физические компоненты. В частности, в [14] описан полномасштабный тренажерный комплекс, который обеспечивает адекватное воспроизводство эксплуатационных ситуаций по техническому использованию реального судового оборудования и подготовку по мониторингу, контролю и управлению генераторными агрегатами в ручном, полуавтоматическом и автоматическом режимах работы электростанции, контролю и управлению электромеханическими системами, а также решению задач параметрирования, визуализации и т. п.

Недостатком такого тренажерного комплекса является лишь имитация высокого напряжения, поэтому персонал машинной команды не в полной мере могут получить практическую подготовку по обслуживанию высоковольтного оборудования и проведению ряда процедур, связанных с безопасным использованием контрольно-измерительных инструментов и переносных заземляющих устройств.

Цель статьи. Цель статьи – раскрыть возможности разработанного высоковольтного тренажерного комплекса для качественного обучения, тренинга и стажировки, которые отвечают требованиям и стандартам конвенции ПДНВ, а также для проведения научных исследований и моделирования штатных и аварийных ситуаций и действий при возникновении неисправностей высоковольтного оборудования.

Изложение основного материала. Обучение, подготовка и повышение компетентности персонала машинной команды во многом зависит от тренажерной базы с наличием реального оборудования, позволяющего отрабатывать практические навыки и профессионализм при эксплуатации современных судовых высоковольтных систем с высоким уровнем автоматизации.

Развитие и внедрение реально функционирующих лабораторий-тренажеров с судовым электрооборудованием обеспечит необходимый уровень компетентности при эксплуатации и техническом обслуживании высоковольтных и низковольтных электроэнергетических систем.

В соответствии с требованиями стандартов ПДНВ, персоналу машинной команды, для работы на судах с высоковольтными системами, необходимо проходить соответствующее обучение и подготовку по высоковольтным системам на уровне эксплуатации и управления.

Согласно рекомендациям ИМО модельных курсов по эксплуатации и техническому обслуживанию систем напряжением свыше 1000 В на уровне эксплуатации в процесс обучения должны быть включены следующие темы:

- электрические разряды в диэлектриках, газах, электрические пробои в жидких диэлектриках;
- изоляция высоковольтного электрооборудования, классификация изоляции, условия и требования, предъявляемые к изоляции силовых кабелей, вращающихся машин;
- перенапряжения в электрических системах высокого напряжения (HV, англ. high voltage), коммутационные перенапряжения с индуктивностью и емкостью;
- функциональные, эксплуатационные требования и требования безопасности к судовым системам HV;
- силовые высоковольтные однолинейные схемы HV, схемы установленных электрических защит;
- работа коммутационных устройств;
- меры предосторожности и процедуры при работе в системах с HV.

На уровне управления необходимо понимать и иметь профессиональные навыки по следующим процедурам:

- назначать квалифицированный персонал для проведения техобслуживания и ремонта распределительных устройств различных типов;
- принимать меры по исправлению неисправных действий в обнаружении неисправностей в системах с HV;
- разрабатывать процедуры безопасного переключения для предотвращения поражения электрическим током и безопасного замера сопротивления изоляции;
- разрабатывать процедуры по испытанию изоляции и защите с выполнением всех требований по технике безопасности.

Демонстрация компетентностей на действующем реальном высоковольтном электрооборудовании требует следующих пониманий и профессиональных навыков:

- практического проведения всех операций на высоковольтном распределительном щите;
- включения и отключения электропитания к потребителям с помощью коммутационных устройств высокого напряжения;
- синхронизации генераторов HV;
- выполнения блокировок, действий с ключами, операций по установке и выемке высоковольтного генераторного выключателя;
- настройки и регулировки параметров релейной защиты;
- выполнения замеров параметров (U , I , P , Q , f , $R_{из}$) на высоковольтном оборудовании;
- дистанционного управления на HV через микропроцессорный модуль;
- восстановления напряжения в аварийных ситуациях на высоковольтном ГРЩ;
- безопасного выполнения работ в действующих электроустановках с составлением процедур и использованием защитных средств.

Профессиональная деятельность персонала машинной команды на судне направлена на эксплуатацию и обслуживание реальных технических средств, а не виртуальных аналогов. В этой статье группой специалистов описывается разработка концепции высоковольтного тренажера, позволяющая решать задачи компетентной подготовки специалистов по теоретическим знаниям и практическим навыкам на базе оборудования фирмы «Schneider Electric» с напряжением 6,3 кВ, которое показано на рис. 2.

В состав высоковольтного тренажера входит высоковольтный ГРЩ типа MCset фирмы «Schneider Electric», состоящий из трех отдельных ячеек, две из которых укомплектованы высоковольтными автоматическими выключателями типа EVOLIS и системами контроля и управления релейной защитой и визуального наблюдения релейных защит Sepam T40, а третья ячейка оборудована трансформатором напряжения, защитными предохранителями и системой блокировок по установке заземляющего устройства и разряда конденсаторов.

Высокое напряжение формируется с помощью повышающего трансформатора мощностью 10 кВА, напряжением 0,38 кВ на первичной обмотке и 6,3 кВ – на вторичной обмотке.

В качестве нагрузки на высоковольтный ГРЩ служит тренажер гребного электродвигателя (ГЭД) и ГЭУ с преобразователями частоты и двумя асинхронными электродвигателями на одном валу, который получает питание от понижающего трансформатора мощностью 10 кВА, напряжением 6,3 кВ на первичной обмотке и 0,38 кВ на вторичной обмотке.

Управление высоковольтным тренажером и нагрузкой обеспечивается с трех компьютеризированных постов, с помощью специально разработанных программ.

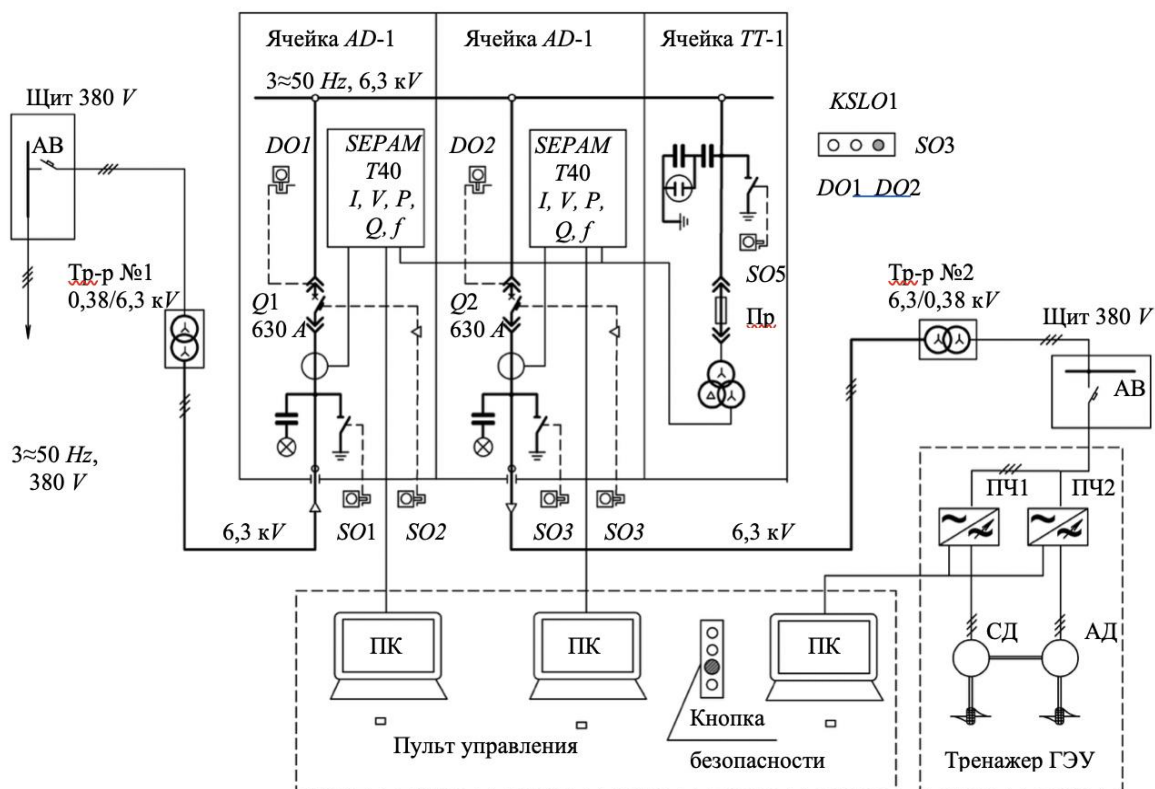


Рисунок 2 – Схема высоковольтного тренажера

При помощи программного обеспечения SFT 2841 [15] можно задавать и редактировать специальные функции управления и контроля реле защиты «Seram» [16], в том числе редактировать логические уравнения для программирования оригинальных функций управления и контроля, создавать персонализированные сообщения для сигнализации при местном управлении, персонализировать матрицы управления выходных реле, сигнальных ламп и сигнальных сообщений в соответствии с заданными функциями.

Связь между силовым оборудованием, блоками контроля и управления высоковольтным тренажером выполняется с помощью микропроцессорных интерфейсных модулей RS485-Modbus, находящихся в низковольтных секциях ГРЩ.

Главная операторская панель позволяет управлять высоковольтным тренажером и асинхронными электродвигателями ГЭУ с помощью частотных преобразователей, а также моделировать штатные и аварийные ситуации.

Вблизи высоковольтного тренажера для обеспечения должного уровня безопасности находятся шкафы с необходимыми средствами индивидуальной защиты и специализированными контрольно-измерительными инструментами.

Высоковольтный тренажер имеет разнообразный спектр возможностей в подготовке высококвалифицированных специалистов и позволяет решать следующие задачи:

- формировать понимание структуры построения и применения высоковольтных схемных решений на современных судах;
- ознакомления с возможностями высоковольтного оборудования по обеспечению движения судна, его маневренности и удержанию на позиции;
- приобретения практических навыков работы на действующей электростанции высокого напряжения;
- изучения высоковольтного коммутационного оборудования и умения его безопасно обслуживать и эксплуатировать;
- изучения на практике релейной защиты в высоковольтных сетях, методов определения временных задержек реле и расчетов уровней тока короткого замыкания;

- умения на практиці нести вахту по високовольтному обладнанню і приймати заходи по комутаційним переключенням і наборам схем в об'ємі, необхідному для забезпечення живлення судових споживачів і безпечної експлуатації електроенергетических установок;
- вести перевірку роботи судових високовольтних електростанцій на різних режимах навантаження, використовуючи тренажер ГЭД і ГЭУ, включаючи режим «екскаваторної характеристики»;
- проводити на практиці обробку динамічного управління через мікропроцесорний модуль головного розподільного щита, використовуючи мнемосхеми і комп'ютер;
- набуття навичок дій в аварійних ситуаціях, включаючи обесточивання по високовольтній стороні;
- набуття навичок технічного обслуговування високовольтного електрообладнання і тестування з урахування складання планів і процедур з вказанням заходів безпеки;
- набуття навичок по безпечної експлуатації високовольтного електрообладнання і визначення рівнів повноважень;
- демонстрації навичок по замірам напруги, вимірюванню і встановленню автоматических вимикачів, вимірюванню опору ізоляції трансформаторів і кабелів;
- демонстрації професійних навичок і умінь на затвердженні тренажері для отримання IV групи допуску по електробезпеці.

Вся установка тренажерного комплексу дозволяє не тільки формувати необхідну компетентність персоналу машинної команди, але також дає можливість вести науково-дослідницьку роботу, обробляти методи і критерії оцінки компетентності, дозволяє оцінити і продемонструвати отримані практичні навички.

Тренажер виробляє всі судові експлуатаційні ситуації, забезпечує підготовку по моніторингу, контролю і управлінню високовольтної електростанцією. Крім різних комбінацій і режимів роботи, на навантажувальне пристрій тренажером передбачена можливість імітації несправностей, аварійних ситуацій, нестандартної помилки, що дозволяє обробляти дії персоналу машинної команди в умовах аварійної роботи технічних засобів судна.

Немаловажним фактором є компетентність навчального в умовах наявності високої напруги на тренажері. Тому необхідно вміти розробляти і дотримуватися процедури по безпечної експлуатації електроустановки і застосуванню захисних засобів. Вміти на практиці продемонструвати організаційні і технічні заходи з використанням індивідуальних засобів захисту в зоні дії НВ.

Підготовка на діючому тренажері механіків і електромеханіків по безпечної експлуатації діючих електроустановок вище 1000 В і отримані знання в області високовольтних технологій судових систем «Чоловік-машина» дозволять підвищити безпеку плавання на сучасних судах – це те, що вимагають всі міжнародні організації.

В якості прикладу розглянемо застосування високовольтного тренажера в дослідницьких завданнях. В частині, в приводах малої і середньої потужності для з'єднання з двигателем перетворювача частоти (ПЧ) нерідко використовується довга кабель (наприклад, в сервоприводах), при цьому навантаження отримує значительну ємкісну частину, що необхідно враховувати при розрахунку втрат переключення в інверторі. Розглядається вплив ємкості кабелю на транзистори вихідного модуля ПЧ.

Частотні і динамічні характеристики IGBT (біполярний транзистор з ізолюваним затвором (англ. Insulated-gate bipolar transistor)) транзисторів силового модуля в багатьох визначають конкретні умови роботи судового частотного перетворювача. В специфікаціях силових ключів параметри переключення приводяться

для фиксированных режимов, определенных производителем. Анализ технической документации показывает, что различные производители используют условия нормирования, которые отличаются. Более того, иногда они указаны недостаточно четко, в результате чего абсолютно одинаковые модули могут иметь различные характеристики [17].

В документации приводятся временные параметры IGBT: время задержки включения и выключения $t_{d(on)}$, $t_{d(off)}$, время нарастания t_r и спада t_f , а также энергия включения / выключения E_{on} и E_{off} . Для FWD указывается пиковое значение обратного тока I_{RRM} , заряд и энергия обратного восстановления Q_{rr} и E_{rr} .

Условиями определения динамических характеристик являются: напряжение питания V_{CC} , ток коллектора I_C , напряжение включения / выключения $V_{G(on)}$ и $V_{G(off)}$, номиналы внешнего резистора затвора R_{Gon} и R_{Goff} .

Некоторые производители указывают величину распределенной индуктивности DC-шины L_σ , скорость нарастания и спаду тока коллектора di/dt_{on} и di/dt_{off} , а также время нарастания напряжения «коллектор-эмиттер» dv_{CE}/dt при выключении IGBT. Для описания динамического поведения диода нормируются следующие параметры: скорость спада тока при выключении di/dt_{off} и соответствующие значения напряжения на затворе IGBT ($V_{GE(on)}$ и $V_{GE(off)}$).

Справочные значения динамических потерь силовых ключей приводятся в документации с учетом работы на индуктивную нагрузку, соответствующую требованиям стандартов IEC и согласуется с условиями эксплуатации в большинстве реальных приложений.

Влияние распределенной емкости кабеля исследовалось на примере стандартного привода, в состав которого входит трехфазный инвертор напряжения и асинхронный двигатель (ASM), подключенный с помощью экранированного кабеля разной длины. На рисунке 3 показана функциональная схема привода, содержащий принципиально важные компоненты фильтра электромагнитных помех EMI (англ. Electromagnetic Interference), такие как сетевой фильтр и Y конденсаторы. IGBT переключаются с высокими скоростями изменения напряжения dv/dt между фазами, а также между фазами и шиной заземления, что приводит к протеканию тока через паразитные емкости, которые находятся между проводами и экраном.

Направление емкостного тока показано стрелками на рис. 3, он проходит от транзистора через Y конденсаторы на шасси, кабели и экраны, затем обратно в DC шину и IGBT. Поскольку корпус двигателя обычно закрепляется на заземленной платформе, часть тока протекает непосредственно на землю и обратно в сеть и инвертор.

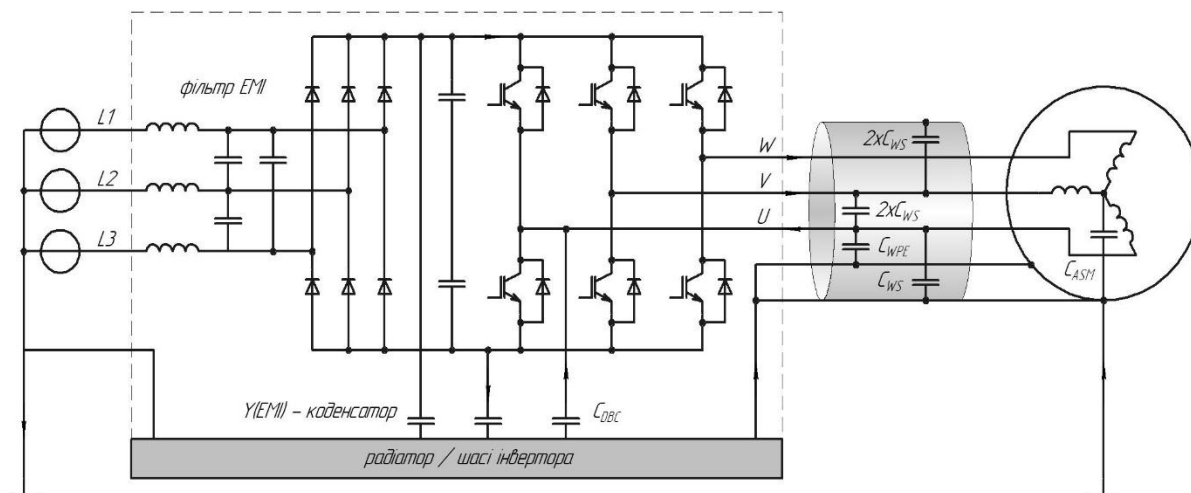


Рисунок 3 – Упрощенная принципиальная схема привода

В инверторе привода использован модуль MiniSKiiP 1 (SKiiP 1 AC12T4V1) с током $I_C(nom) = 8$ А и рабочим напряжением $V_{CES} = 1200$ В. Номинальные значения динамических

потерь: $E_{on} = 0,87$ мДж и $E_{off} = 0,75$ мДж $\rightarrow E_{sw(ref)} = 1,62$ мДж (при 8 А, 600 В, 150 °С, $R_G = 56$ Ом). Подключение инвертора к двигателю осуществляется с помощью двойного экранированного кабеля сечением 4x4 мм² с максимальным током 34 Arms. Выходной фильтр не используется [18].

Потери холостого хода не учитываются в общей формуле коммутационных потерь инвертора, работающего в режиме ШИМ. Они считаются равными нулю при нулевой нагрузке, хотя это не совсем корректно, если она чисто индуктивная. Небольшой емкостной ток, обусловленный наличием паразитных емкостей в полупроводниковых элементах и модулях относительно земли протекает в любом случае. Референтное значение (ref), используемое в формуле, указывается в спецификациях при номинальных условиях измерения. Как правило, это $T_{j(op, max)}$, $I_C(nom)$ и, например $V_{CC} = 600$ В для IGBT с рабочим напряжением 1200 В:

$$P_{SW} = f_{sw} \cdot E_{SW(ref)} \cdot \frac{\sqrt{2}I_{OUT}}{\pi} \cdot \frac{1}{I_{ref}} \cdot (1 + TC(T_j - T_{ref})) \cdot \left(\frac{V_{CC}}{V_{ref}}\right)^{Exp}.$$

Целесообразно дополнить эту формулу выражением, учитывающий емкостный ток кабеля. Он дает смещение динамической энергии (здесь около 20 % при температуре + 150 °С), которое прямо пропорционально частоте переключения и также зависит от длины кабеля и приложенного напряжения. Увеличение длины кабеля приводит к росту коммутационных потерь и задается показателем степени (здесь 0,37):

$$P_{SW} = f_{sw} \cdot E_{SW(ref)} \cdot \left(0,2 \left(\frac{L_{cable}}{10 \text{ м}}\right)^{0,37} + \frac{\sqrt{2}I_{OUT}}{\pi} \cdot \frac{1}{I_{ref}} \cdot (1 + TC(T_j - T_{ref}))\right) \cdot \left(\frac{V_{CC}}{V_{ref}}\right)^{1,4}.$$

Сравнение динамических потерь ШИМ инвертора при $V_{CC} = 700$ В, $I_{out} = 7$ А и $f_{sw} = 8$ кГц, $E_{SW} = 1,62$ мДж (8 А, 600 В, +150 °С):
а) без кабеля:

$$P_{SWa)} = 8 \text{ кГц} \cdot 1,62 \text{ мДж} \cdot \left(0,2 \left(\frac{0}{10 \text{ м}}\right)^{0,37} + \frac{\sqrt{2} \cdot 7 \text{ А}}{\pi} \cdot \frac{1}{8 \text{ А}} \cdot (1 + 0,0025(125^\circ\text{C} - 150^\circ\text{C}))\right) \times \\ \times \left(\frac{700 \text{ В}}{600 \text{ В}}\right)^{1,4} = 5,9 \text{ Вт};$$

б) кабель 20 м:

$$P_{SWб)} = 8 \text{ кГц} \cdot 1,62 \text{ мДж} \cdot \left(0,2 \left(\frac{20}{10 \text{ м}}\right)^{0,37} + \frac{\sqrt{2} \cdot 7 \text{ А}}{\pi} \cdot \frac{1}{8 \text{ А}} \cdot (1 + 0,0025(125^\circ\text{C} - 150^\circ\text{C}))\right) \times \\ \times \left(\frac{700 \text{ В}}{600 \text{ В}}\right)^{1,4} = 10,1 \text{ Вт}.$$

При аналогичном уровне потерь проводимости IGBT и в заданном режиме работы ($P_{cond} \sim 5,8$ Вт) это означает, что общее значение мощности рассеяния увеличивается от $P_{IGBT} = P_{SW} + P_{cond} = 11,7$ Вт без кабеля до 15,9 Вт (+36%) с экранированным кабелем длиной в 20 м. Во время перегрузки степень влияния кабеля в процентном соотношении снижается. Например, при двукратной перегрузке ($I_{out} = 14$ А) величина P_{cond} возрастает до 19 Вт, тогда как значение $P_{sw a)}$ без кабеля составляет 11,9 Вт, а с кабелем $P_{sw б)} = 16$ Вт. Итак, общие потери увеличиваются от 30,9 до 35 Вт (+13%).

Выводы. Предлагаемый вид обучения и подготовки является важным фактором, так, как в судовых условиях нет возможности имитации всевозможных аварийных ситуаций и режимов.

Полученный опыт и навыки на высоковольтном тренажере, позволяет персоналу машинной команды работать на различном высоковольтном оборудовании судов с электродвижением, показывая высокий уровень знаний и подготовки, и реализовывать функции эксплуатации и функции управления, и решать задачи безопасного судоходства.

Тренажер выполнен с учетом требований Конвенции ПДМНВ-78, раздела А-I/12, поэтому время работы кандидатов на данном тренажере может быть зачтено в ценз практической подготовки.

Тренажер высоковольтного электрооборудования дает возможность в полной мере вести переподготовку механиков и электромехаников с выдачей сертификатов по HV.

Высоковольтный тренажерный комплекс позволяет выполнять следующие операции:

– воспроизводить эксплуатационные возможности соответствующего судового оборудования максимально приближенные к условиям реального судна со степенью физической реальности;

– воспроизводить разнообразные условия, которые могут включать аварию, опасные или необычные ситуации, а также ситуации, потенциально и реально возможные при эксплуатации пропульсивных судовых систем;

– создавать условия для поведения человека с достаточной реальностью, позволяющей лицу, проходящему подготовку, приобрести необходимые навыки;

– инструктору контролировать, наблюдать и вести запись действий лиц, проходящих подготовку, для проведения их эффективного опроса после занятий;

– моделировать нестандартные ситуации и вероятные ошибки оборудования.

Также на высоковольтном тренажере можно вести научные исследования и проводить эксперименты магистрам, аспирантам, докторантам по всему спектру вопросов высоковольтных сетей и переходных процессов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конвенция ПДНВ, (STCW). ИМО, 2017. 378 с. (Международная морская организация, Лондон).
2. Geertsma, R. D., Negenborn, R. R. & Hopman J. J. (2017). Design and control of hybrid power and propulsion systems for smart ships: A review of developments. Elsevier, Applied Energy 194, 30–54.
3. Григорьев Л. В., Петухов В. А. Современные и перспективные судовые валогенераторные установки. С-Пб. : Издательство ГМА им. адм. С.О.Макарова, 2009. 177 с.
4. Chief Engineer Officer and Second Engineer Officer. ИМО модельный курс 7.02. (2014). ИМО. London. 278.
5. Officer in Charge of an Engineering Watch. ИМО модельный курс 7.04. (2014). ИМО. London. 236.
6. Electro-Technical Officer. ИМО модельный курс 7.08. (2014). ИМО, London. 152.
7. Engine-Room Simulator. ИМО модельный курс 2.07. (2017). ИМО, London. 184.
8. Safety Procedures for Working on ROV High Voltage Equipment (Above 1kV), (2017). IMCA R005 Rev.2.
9. High Voltage Training (A syllabus for training offshore workers involved with high voltage equipment). (2006). IMCA C010.
10. Offshore vessel, High Voltage Safety. (2012). IMCA SEL031, M217.
11. High Voltage Course Criteria, Operational and Management Level. (2015). MNTB.
12. High Voltage Training Breaker, Transas. Retrieved from <https://www.transas.com/products/simulation/engine-room-and-cargo-handling-simulators/HighVoltageBreaker>.
13. K-SIM, Engine High Voltage, Kongsberg. Retrieved from <https://www.kongsberg.com/globalassets/digital/maritime-simulation/k-sim-engine/docs/high-voltage-product-sheet/k-sim-engine-high-voltage-product-sheet.pdf>.

14. Муха Н. И. Практическая подготовка судовых электромехаников на полномасштабном тренажерном комплексе. *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. 2012. Вип. 3. С. 589–593.
15. Software SFT2841, Schneider Electric. Retrieved from https://www.schneider-electric.com/en/download/document/Setup_Software_SFT2841/.
16. Protection Relay Sepam series 40, Schneider Electric. Retrieved from <https://www.schneider-electric.com/en/product-range/934-sepam-series-40/>.
17. Semiconductor devices – discrete devices. Part 9: Insulated-gate bipolar transistors (IGBT). (2007). IEC 60747-9.
18. Lamp, J. (2008). IGBT Peak Voltage Measurement and Snubber Capacitor Specification. Application Note AN-7006. SEMIKRON, 156.

REFERENCES

1. Konvenciya PDNV, (STCW). IMO, 2017. (Mezhdunarodnaya morskaya organizaciya, London).
2. Geertsma, R. D., Negenborn, R. R. & Hopman J. J. (2017). Design and control of hybrid power and propulsion systems for smart ships: A review of developments. Elsevier, Applied Energy 194, 30–54.
3. Grigorjev L. V., Petukhov V. A. *Sovremenniye i perspektivniye sudoviye valogeneratoriye ustanovki*. S-Pb. : Izdatel'stvo GMA im. adm. S.O.Makarova, 2009.
4. Chief Engineer Officer and Second Engineer Officer. 7.02. (2014). IMO. London. 278.
5. Officer in Charge of an Engineering Watch. 7.04. (2014). IMO, London. 236.
6. Electro-Technical Officer. 7.08. (2014). IMO, London. 152.
7. Engine-Room Simulator. 2.07. (2017). IMO, London. 184.
8. Safety Procedures for Working on ROV High Voltage Equipment (Above 1kV), (2017). IMCA R005 Rev.2.
9. High Voltage Training (A syllabus for training offshore workers involved with high voltage equipment). (2006). IMCA C010.
10. Offshore vessel, High Voltage Safety. (2012). IMCA SEL031, M217.
11. High Voltage Course Criteria, Operational and Management Level. (2015). MNTB.
12. High Voltage Training Breaker, Transas. Retrieved from <https://www.transas.com/products/simulation/engine-room-and-cargo-handling-simulators/HighVoltageBreaker>.
13. K-SIM, Engine High Voltage, Kongsberg. Retrieved from <https://www.kongsberg.com/globalassets/digital/maritime-simulation/k-sim-engine/docs/high-voltage-product-sheet/k-sim-engine-high-voltage-product-sheet.pdf>.
14. Mukha N. I. (2012). Prakticheskaya podgotovka sudovihkh ehlektromekhanikov na polnomasshtabnom trenazhernom komplekse. *Elektromekhanichni i energozberigayuchi sistemi*, 3.
15. Software SFT2841, Schneider Electric. Retrieved from https://www.schneider-electric.com/en/download/document/Setup_Software_SFT2841/.
16. Protection Relay Sepam series 40, Schneider Electric. Retrieved from <https://www.schneider-electric.com/en/product-range/934-sepam-series-40/>.
17. Semiconductor devices – discrete devices. Part 9: Insulated-gate bipolar transistors (IGBT). (2007). IEC 60747-9.
18. Lamp, J. (2008). IGBT Peak Voltage Measurement and Snubber Capacitor Specification. Application Note AN-7006. SEMIKRON, 156.

Іванов А. А., Авраменко М. М., Растьогіна Г. І., Тимофєєв К. В. ТРЕНАЖЕР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ СУДНОВИХ ФАХІВЦІВ
 У роботі показана необхідність застосування високовольтного тренажера який дозволяє не тільки формувати необхідну компетентність персоналу машинного відділення, але також дає можливість