

УДК 621.316.1

НЕТРАДИЦИОННАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
ПОТРЕБИТЕЛЕЙ
NON-TRADITIONAL POWER SUPPLY SYSTEM FOR CONSUMERS

Н.А. Рассоха, А.А. Кандыбович

Научный руководитель – В.П. Счастный, к.т. н, доцент

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

N. Rassokha, A. Kandybovich

Scientific supervisor – V. Schastny, Candidate of Technical Sciences, Docent

Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: В данной статье рассматривается проблема передачи, распределения и контроля электроэнергии под водой. Показаны системы подводного энергоснабжения, использующие передачу переменного тока высокого напряжения (HVAC) и использующие передачу постоянного тока высокого напряжения (HVDC). Рассмотрены их достоинства и недостатки.

Abstract: This article discusses the problem of transmission, distribution and control of electricity under water. Subsea power systems using high voltage alternating current (HVAC) transmission and those using high voltage direct current (HVDC) transmission are shown. Their advantages and disadvantages are considered.

Ключевые слова: подводная энергосистема, переменный ток высокого напряжения, постоянный ток высокого напряжения, подводный трансформатор.

Keywords: subsea power system, high voltage alternating current, high voltage direct current, subsea transformer.

Введение

За последние 10–15 лет нефтегазовая отрасль вложила значительные средства в экономически эффективные решения по разработке новых инструментов подводной добычи, повышения давления и переработки. Будучи лидером отрасли в этом секторе, компания АББ разработала новую технологию, которая может стать катализатором плодотворного использования новых инструментов для подводной добычи нефти и газа. В последние годы отрасль также сосредоточила внимание на вспомогательных системах и строительных блоках, которые потребуются для создания экономически обоснованных и гибких комплексных систем подводной добычи нефти и газа. В этом контексте рынок проявил большой интерес к подводным системам электроснабжения, способным передавать, распределять и контролировать электроэнергию в мегаваттном диапазоне. Именно для удовлетворения этой потребности компания АББ приступила к разработке подводной системы распределения электроэнергии (SEPDIS)[1].

Подводная энергосистема предназначена для передачи электроэнергии в любое место, где требуется энергия, по одному подводному силовому кабелю, в отличие от современного использования отдельных кабелей для передачи энергии отдельно подводным потребителям. Другими преимуществами,

предлагаемых концепций, являются большая гибкость, например, в отношении расстояния от точки питания, количества потребителей, поэтапного расширения системы и решения фундаментальных электрических проблем.

Нефтегазовая отрасль старается снизить производственные затраты, перемещая оборудование (компрессоры, насосы, перерабатывающие заводы) на морское дно, так можно повысить эффективность производства, но для оборудования необходима электроэнергия. Таким образом, имеет смысл перенести сеть переменного тока туда же. Перемещение производственного оборудования с платформ на морское дно имеет много преимуществ, помимо эффективности. На морском дне нет экстремальных погодных явлений (циклонов, ураганов, тайфунов и т. д.). Также уменьшается загрязнение морской среды и упрощается вывод из эксплуатации. Это экологично, так как снижает углеродный след (снижаются выбросы энергии и CO₂) на объекте за счет использования более чистого электричества с берега, а не с морского дизельного производства. Передача может осуществляться либо кабелями HVAC (переменного тока высокого напряжения), либо кабелями HVDC (постоянного тока высокого напряжения).

Основная часть

Подводная промышленность уже начала использовать мощные системы передачи переменного тока высокого напряжения, чтобы минимизировать потери мощности и реактивную мощность из-за большой емкости силового шлангокабеля. Система передачи постоянного тока высокого напряжения (HVDC) в подводной промышленности рассматривается как эффективное решение по передаче электроэнергии для подводных энергосистем с длинной обратной связью, поскольку количество силовых проводников и потребление реактивной мощности минимальны. Дальность передачи для типичной системы с длинной обратной связью составляет от 100 до 150 км, а расстояние до распределительной линии составляет около 3000 м. Напряжения передачи обычно поддерживаются на более высоких значениях, порядка 36–100 кВ, чтобы компенсировать потери мощности передачи, а также снизить потребление реактивной мощности. Однако напряжения распределительных линий обычно поддерживаются на низком уровне, порядка 3,3–6,6 кВ, для питания отдельных электрических нагрузок.

В системах HVAC используются трансформаторы линейной частоты на передающем и приемном концах линии передачи, а также в распределительных системах. Это приводит к большой занимаемой площади и низкой удельной мощности системы. Типичная архитектура подводной передачи и распределения электроэнергии HVAC показана на рисунок. 1. [2]

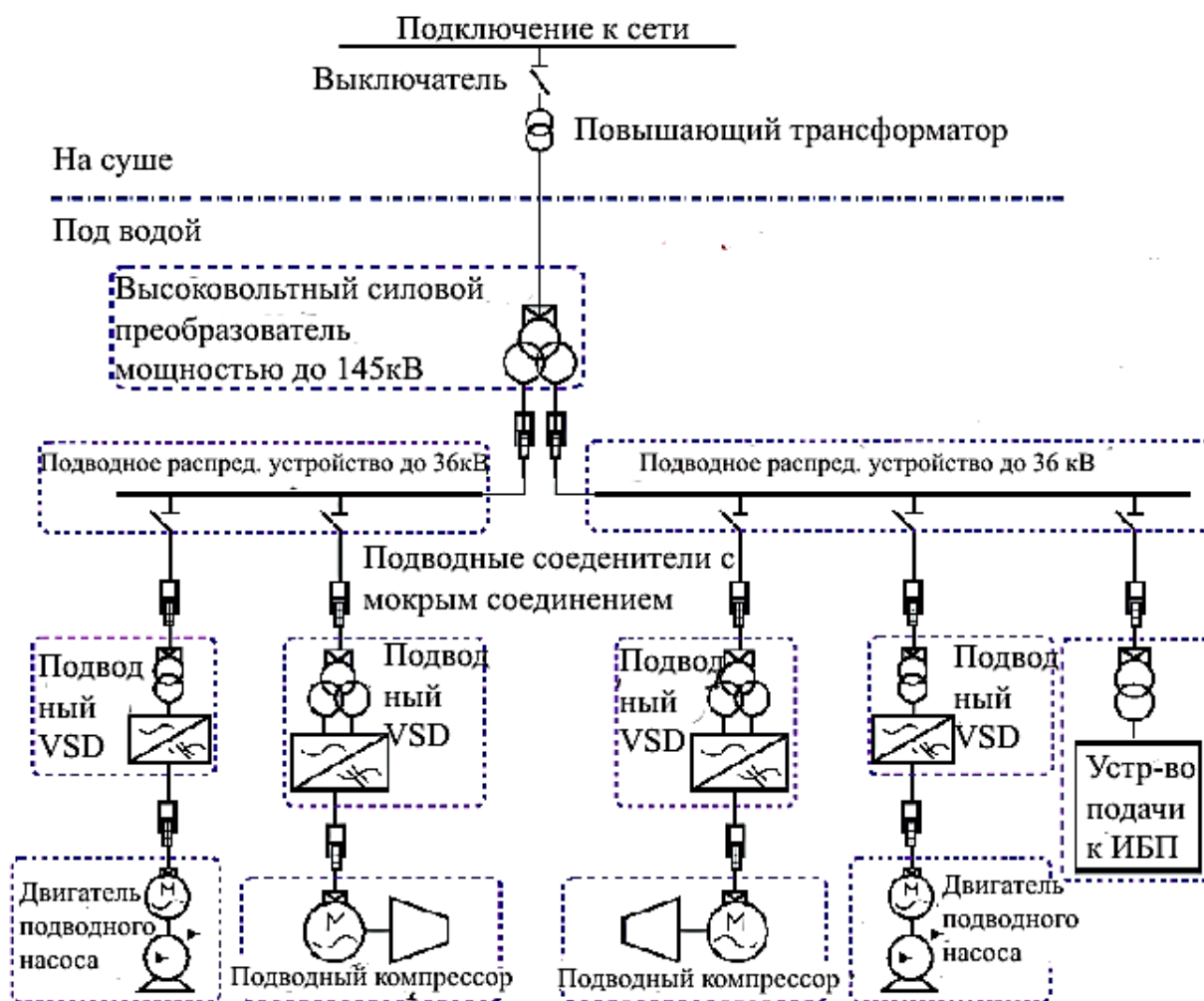


Рисунок 1 – Архитектура подводной передачи и распределения электроэнергии

Передача электроэнергии HVDC уже приобрела важное значение в наземных приложениях благодаря ее преимуществу, заключающемуся в обеспечении безопасной и стабильной работы асинхронного соединения энергетических сетей, работающих на разных частотах, точном и мгновенном контроле мощности и нулевом потреблении реактивной мощности. Было обнаружено, что в традиционных системах передачи электроэнергии передача HVDC превосходит системы HVAC на расстояния передачи более 550 км. Однако некоторые исследования показали, что при подземных и подводных применениях расстояние безубыточности сокращается примерно до 50 км с учетом компенсации реактивной мощности. Передача HVDC демонстрирует улучшения на расстояниях более 50 км, поскольку емкость кабеля в подводном энергетическом шлангокабеле значительна. Сообщается о попытке дальнейшего уменьшения занимаемой площади и достижения модульности – кольцевой структуры HVDC, как показано на рисунке 2.

В этой структуре на распределительной станции используются последовательно соединенные трансформаторы открытого типа, при этом каждый распределительный трансформатор подает мощность на нагрузку индивидуально. Напряжение HVAC, преобразованное на этапе инвертора (DC/AC), распределяется между несколькими трансформаторами и обеспечивает модульность. В случае неисправности определенной нагрузки эту конкретную

секцию можно изолировать с помощью переключателя, который подключается параллельно первичной обмотке трансформатора.

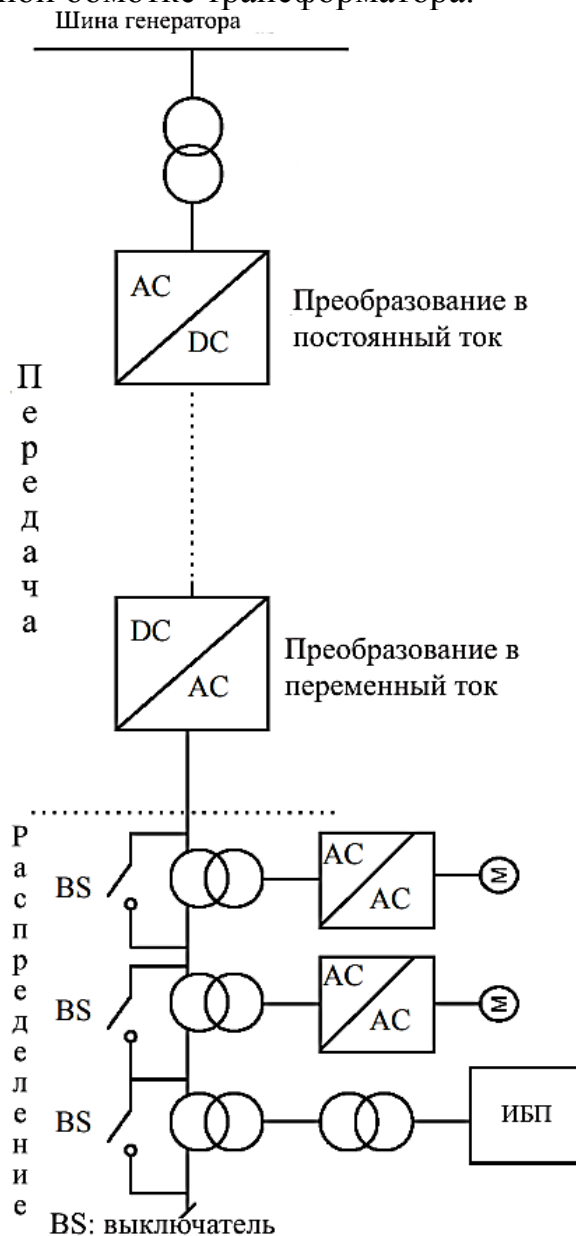


Рисунок 2 – Кольцевая структура HVDC (ИБП – источник бесперебойного питания)

Также была предложена подводная конструкция HVDC, основанная на модульном преобразовании, также известном как модульная многоуровневая передача постоянного тока (MSDC). В этой структуре используются различные модули многоуровневых преобразователей, которые соединены последовательно для обеспечения работы постоянного тока при высоком напряжении, как показано на рис. 3. Модули преобразователей на передающей и приемной сторонах работают в режиме управления током, при этом напряжение преобразователя на передающей стороне изменяется для поддержания необходимого тока и питания нагрузки. Подводные нагрузки, расположенные отдельно в такой конфигурации, требуют большого количества соединителей «мокрого типа», которые довольно дороги и крайне ненадежны. В результате надежность системы снижается. Следовательно, все еще существует

потребность в дальнейшем изучении и разработке надежных и экономически эффективных архитектур подводной передачи и распределения электроэнергии.

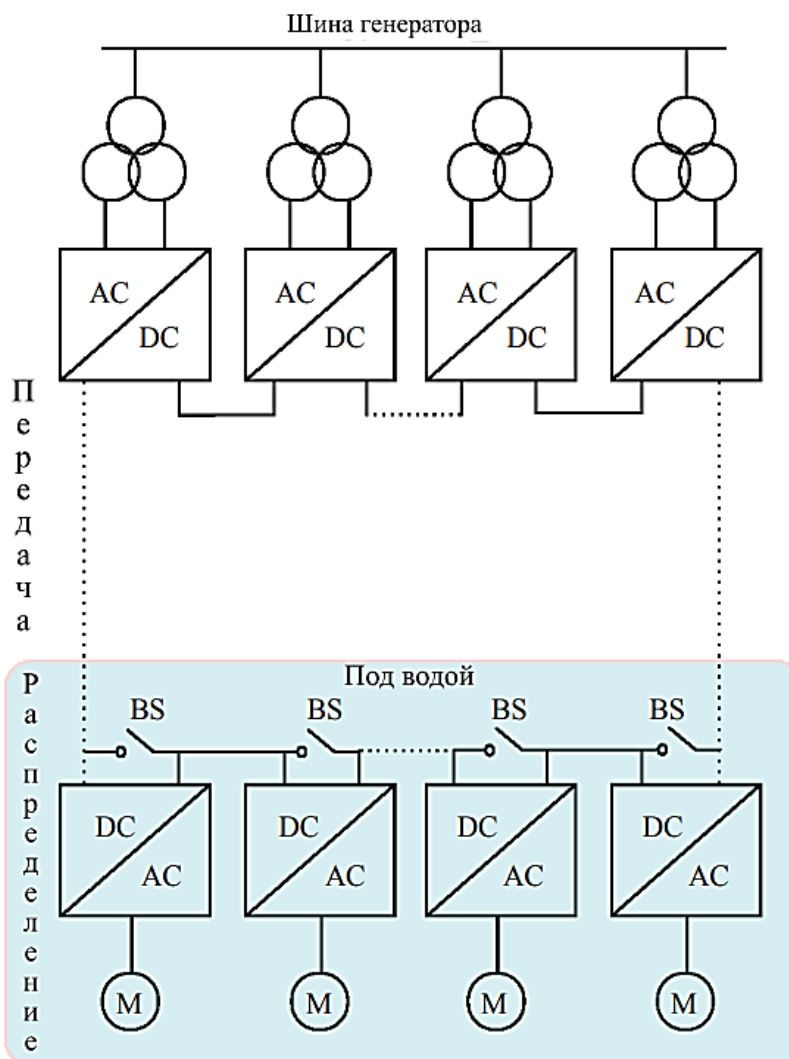


Рисунок 3 – Конструкция HVDC, основанная на модульной многоуровневой передаче постоянного тока (MSDC)

Подводный трансформатор. Силовые трансформаторы высокого напряжения играют важную роль в повышении/понижении напряжения передачи и распределения в подводных энергосистемах. Номинальная мощность этих подводных трансформаторов может варьироваться от 500 кВА до нескольких МВА [2]. Трансформаторы предназначены для работы в диапазоне частот от 25 Гц до 75 Гц. Корпус имеет прочную механическую конструкцию с оптимизированными свойствами естественного охлаждения. Все активные части и датчики находятся под полным давлением. Нет проникновения морской воды. Интегрированная система датчиков и мониторинга может быть легко подключена к системе подводного контроля электроэнергии. Это обеспечивает оператору непрерывный контроль состояния трансформатора и возможность оптимизировать операции для повышения безопасности. Подводный трансформатор должен быть спроектирован так, чтобы выдерживать уровни давления морской воды на глубине 3000 м. Кроме того, он должен хорошо работать без технического обслуживания в течение более длительного срока

эксплуатации, что составляет более 25 лет. Многие ведущие электротехнические компании (ABB, SIEMENS и др.) производят подводные трансформаторы большой мощности. Эти трансформаторы классифицируются как однокорпусные и двухкорпусные. Для компенсации давления эти трансформаторы заполняются безопасной жидкостью MIDEЛ 7131®, которая уравнивает давление морской воды и внутреннее давление. Типичный подводный трансформатор, разработанный компанией SIEMENS, который протестирован и аттестован для работы под водой на глубине 3000 м [3], показан на рис. 4. Для поддержания надежности необходимо постоянно контролировать исправность трансформатора. Также важно иметь алгоритм онлайн-диагностики для выявления и устранения неисправности.

При подводной передаче электроэнергии HVDC мощность постоянного тока преобразуется в переменный ток перед подключением к нагрузке. Преобразование постоянного тока в переменный с учетом современных усовершенствований полупроводниковой промышленности может выполняться в два разных этапа (DC-AC-AC). Первоначально напряжение постоянного тока преобразуется в переменное напряжение высокой частоты (<1 кГц для большой мощности). Повышение/понижение напряжения выполняется с помощью высокочастотного трансформатора, а затем он подается на высокочастотный переменный ток в преобразователь переменного тока линейной частоты. Поскольку в этой конфигурации для преобразования напряжения используется трансформатор более высокой частоты (полупроводниковый трансформатор), занимаемая площадь энергосистемы становится меньше. Однако эти трансформаторы еще не нашли своего применения в подводных системах.



Рисунок 4 – Подводный трансформатор компании SIEMENS

Заключение

Рассмотренные выше примеры подводных энергосистем могут использовать один кабель, что даёт выигрыш в экономическом плане, в отличие от современного использования отдельных кабелей для доставки электроэнергии отдельным потребителям. Также перенос сети переменного тока на морское дно даёт преимущества в виде большей эффективности, уменьшения загрязнения морской среды, ведь теперь энергия берется не с морского дизельного производства.

Перечисленные выше требования и задачи для подводных применений открывают широкий спектр возможностей для исследований и усовершенствований, что в последствии приведёт к созданию эффективной и более благоприятной для окружающей среды подводной системы добычи нефти.

Литература

1. Controlled subsea electric power distribution with SEPDIS 2016 / Nils Arne Sølvi, Jan Ove Gjerde, Trond Skullerud [Электронный ресурс]. – URL: <https://docplayer.net/15923741-Controlled-subsea-electric-power-distribution-with-sepdis.html> – Дата доступа: 30.10.2023.
2. Electrification of Subsea Systems: Requirements and Challenges in Power Distribution and Conversion 2017 / Kaushik Rajashekara, Harish S. Krishnamoorthy, and B. Satish Naik [Электронный ресурс]. – URL: https://www.researchgate.net/publication/322630449_Electrification_of_Subsea_Systems_Requirements_and_Challenges_in_Power_Distribution_and_Conversion#pf2 – Дата доступа: 30.10.2023.
3. Siemens energy / Joe Kaeser, Robert Kensbock [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.siemens-energy.com/global/en/home/products-services/product/subsea-transformers.html> – Дата доступа: 30.10.2023.