

УДК 621.314

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА МОЩНОСТЬЮ СВЫШЕ 10 кВт

В.Н. Мишин, В.М. Рулевский, А.Г. Юдинцев*

НИИ автоматики и электромеханики Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники

*Томский политехнический университет

E-mail: rulevsky@niiuem.tomsk.ru

Рассмотрены системы электропитания телеуправляемых подводных аппаратов переменного тока мощностью свыше 10 кВт, позволяющие решать задачи увеличения удельной мощности подводной части и улучшения ее массогабаритных показателей.

Ключевые слова:

Система электропитания, телеуправляемый подводный аппарат, подводная часть.

Key words:

Power-supply system, remote controlled underwater vehicle, underwater unit.

В последние годы происходит активное развитие телеуправляемых подводных аппаратов (ТПА), предназначенных для выполнения различных научно-исследовательских работ на больших глубинах с длиной кабель-троса до 8000 м. Выполнение работ на больших глубинах требует увеличения суммарной мощности токоприемников ТПА до нескольких десятков киловатт. Одним из основных путей увеличения удельной мощности подводной части и повышения ее надежности является передача энергии по кабель-тросу на переменном токе повышенной частоты [1]. Определяющими габариты системы электропитания (СЭП) ТПА в основном являются моточные изделия системы, и с увеличением частоты массогабаритные показатели трансформаторов и дросселей существенно улучшаются.

Целью работы является анализ структур систем электропитания телеуправляемых подводных аппаратов более 10 кВт, имеющих низкие массогабаритные показатели, высокую надежность и ресурсоэффективность.

Общая схема комплекса телеуправляемого подводного аппарата, подключенного к сети обеспечивающего судна, представлена на рис. 1.

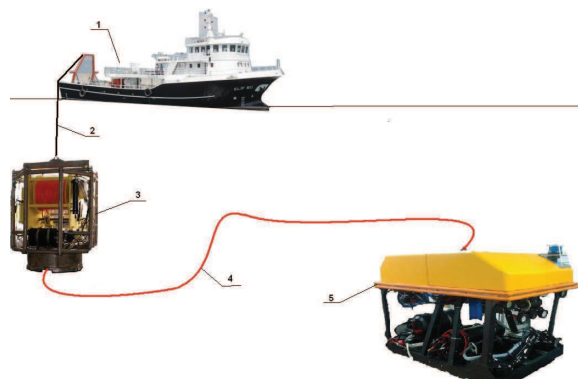


Рис. 1. Общая схема комплекса телеуправляемого подводного аппарата: 1 – обеспечивающее судно; 2 – кабель-трос; 3 – гараж-заглубитель; 4 – плавучий кабель; 5 – телеуправляемый подводный аппарат

СЭП ТПА условно состоит из двух частей: системы электропитания бортовой (БЧ) и подводной

части (ПЧ). СЭП БЧ расположена на борту обеспечивающего судна, питание которой осуществляется от трехфазной судовой сети, основной или резервной, напряжением 380 В, частотой 50 Гц. Напряжение с выхода СЭП БЧ передается по кабель-тросу на СЭП ПЧ, установленную на гараже-заглубителе и ТПА.

В современных системах подводного оборудования с дистанционным управлением используется в качестве составной части подводного оборудования гараж-заглубитель, в котором может размещаться телеуправляемый подводный аппарат при его доставке на глубину, и с которым подводный аппарат может соединяться относительно коротким и легким плавучим кабелем. При этом повышается маневренность подводного аппарата, поскольку он не связан с длинным и тяжелым кабель-тросом. Гараж-заглубитель в своем составе имеет кабину для размещения подводного аппарата, лебедку с барабаном плавучего кабеля с системой, управляющей длиной свободного плавучего кабеля между гаражом-заглубителем и подводным аппаратом [2]. Гараж-заглубитель также позволяет установить на нем часть блоков системы электропитания и управления, при этом освобождается дополнительное, полезное пространство на ТПА и снижается его вес.

На рис. 2 представлена СЭП ТПА переменного тока с передачей энергии по кабель-тросу трехфазным напряжением с частотой 50 и 1000 Гц по плавучему кабелю. Система электропитания содержит установленную на судне-носителе бортовую часть системы, включающую коммутатор сети 1, вход которого соединен с судовой электрической сетью – основной или резервной, напряжением 380 В, частотой 50 Гц. Выход коммутатора сети 1 соединен с фильтром радиопомех 2 и силовым повышающим трансформатором 3, который повышает напряжение сети до $U_{\text{Лэфф}} = 1000 \dots 1500$ В.

Повышенное трехфазное напряжение с частотой 50 Гц по кабель-тросу 4 поступает на первый подводный блок системы, установленный на гараже-заглубителе. Первый подводный блок системы

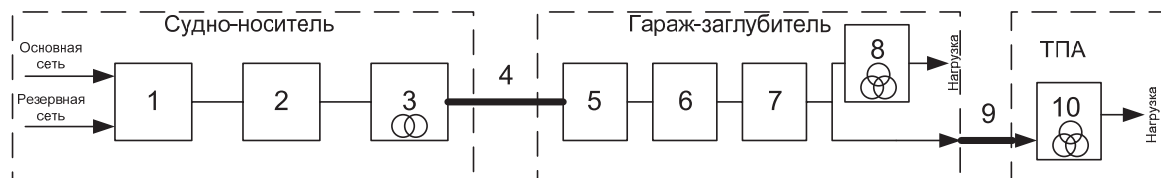


Рис. 2. Система электропитания телеуправляемого подводного аппарата с передачей энергии по кабель-тросу трехфазным напряжением с частотой 50 и 1000 Гц по плавучему кабелю

содержит управляемый выпрямитель 5 с фильтром 6, выход которого соединен с конвертером DC/AC 7, повышающим частоту питающего напряжения до 1000 Гц. Напряжение повышенной частоты с выхода конвертера 7 подается на согласующий трансформатор 8, обеспечивающий питание устройств гаража-заглубителя, а также по плавучему кабелю 9 на согласующий трансформатор 10 второго подводного блока системы, установленно-го на подводном аппарате.

Достоинством данной СЭП ТПА является то, что за счет повышения частоты питающего напряжения до 1000 Гц существенно снижаются массогабаритные параметры трансформатора 10 в 2,5–3 раза по сравнению с трансформатором, установленным на подводном аппарате и работающим на промышленной частоте 50 Гц. В случае расположения трансформатора 10 в прочном корпусе с масляным охлаждением обеспечивается дополнительное уменьшение габаритов трансформатора, а также разгрузка стенок прочного корпуса от давления воды, что позволяет уменьшить толщину стенок прочного корпуса и соответственно уменьшить массу СЭП ТПА еще в 1,3–1,5 раза [3].

Недостатками рассмотренной системы электропитания телеуправляемого подводного аппарата являются низкие массогабаритные характеристики гаража-заглубителя, так как трансформатор 5 работает на переменном напряжении с частотой 50 Гц, а также усложнение системы электропитания ПЧ за счет двойного преобразования энергии – переменного в постоянное и постоянного в переменное – повышенной частоты при помощи управляемого выпрямителя 5 и конвертера DC/AC 7.

В СЭП ТПА переменного тока с передачей энергии по кабель-тросу 4 трехфазным напряжением $U_{\text{Лэфф}}=1000\dots1500$ В, частотой 50 Гц и постоянным напряжением по плавучему кабелю 10, представленной на рис. 3, отсутствуют некоторые недостатки схемы СЭП ТПА, изображенной на рис. 2. Данная система электропитания телеуправляемого подводного аппарата, как и в варианте, представленном

на рис. 2, содержит установленную на судне-носителе бортовую часть системы, включающую в себя коммутатор сети 1, с помощью которого подключается одна из бортовых сетей – основная или резервная, которая обеспечивает трехфазное напряжение 380 В, частотой 50 Гц. Выход коммутатора 1 соединен с фильтром радиопомех 2, обеспечивающим помехоподавление по каждой фазе питающего напряжения. После фильтрации трехфазное напряжение 380 В, частотой 50 Гц поступает на первичные обмотки силового трансформатора 3, где повышается до необходимой величины ($U_{\text{Лэфф}}=1000\dots1500$ В) и поступает по кабель-тросу 4 на первичные обмотки согласующего трансформатора 5 первого подводного блока системы, установленного на гараже-заглубителе, вторичные обмотки которого соединены с управляемыми выпрямителями 6 и 7. После выпрямителей 6 и 7 и фильтров 8 и 9 получают два постоянных напряжения (например 300 и 600 В), одно из которых обеспечивает питание лебедки и электроники гаража-заглубителя, а другое передается по плавучему кабелю 10 на вторую подводную часть системы электропитания, установленную на телеуправляемом подводном аппарате.

Основным достоинством данной системы является простота и высокие массогабаритные показатели ТПА за счет того, что по плавучему кабелю 10 передается постоянное напряжение и отсутствует трансформатор, что создает возможность установки дополнительного оборудования на телеуправляемом подводном аппарате.

Недостатками представленной системы электропитания телеуправляемого подводного аппарата с передачей энергии по кабель-тросу трехфазным напряжением $U_{\text{Лэфф}}=1000\dots1500$ В, частотой 50 Гц являются низкие массогабаритные характеристики гаража-заглубителя, так как трансформатор 5 работает на переменном напряжении с частотой 50 Гц, а также применение управляемых выпрямителей 6 и 7 с системой управления для обеспечения стабильного постоянного напряжения 300 и 600 В для нагрузок гаража-заглубителя и ТПА.

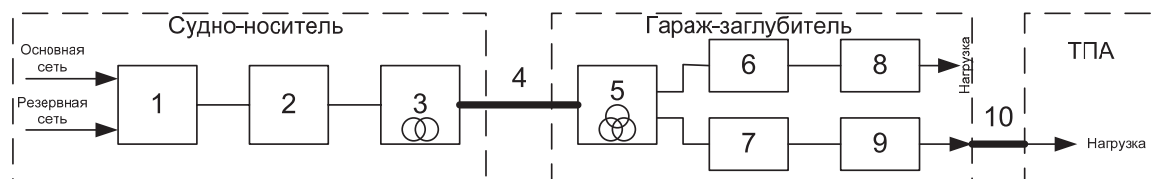


Рис. 3. Система электропитания телеуправляемого подводного аппарата с передачей энергии по кабель-тросу трехфазным напряжением $U_{\text{Лэфф}}=1000\dots1500$ В, частотой 50 Гц и постоянным напряжением по плавучему кабелю

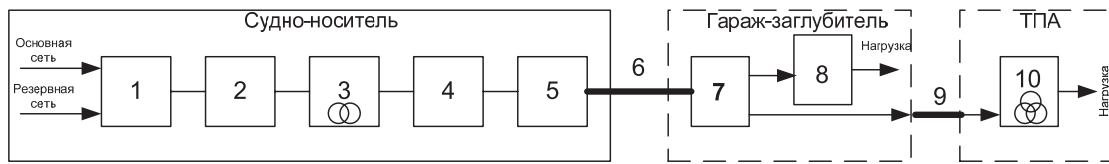


Рис. 4. Система электропитания телеуправляемого подводного аппарата с передачей энергии по кабель-тросу постоянным напряжением и трехфазным переменным напряжением с частотой 1000 Гц по плавучему кабелю

На рис. 4 приведена система электропитания телеуправляемого подводного аппарата с судно-носителя, которая позволяет улучшить массогабаритные показатели подводной части системы за счет передачи энергии по кабель-тросу постоянным напряжением, а по плавучему кабелю – переменным повышенной частоты. Данная система содержит установленную на судне-носителе бортовую часть системы, включающую в себя коммутатор сети 1, вход которого соединен с судовой электрической сетью – основной и резервной, а выход – с фильтром радиопомех 2 и силовым повышающим трансформатором 3. Напряжение со вторичных обмоток трансформатора 3 поступает на выпрямитель 4 с фильтром 5, в свою очередь выпрямленное напряжение порядка 1000 В по кабель-тросу 6 поступает на конвертор DC/AC 7 первого подводного блока системы, установленного на гараже-заглубителе.

Конвертор DC/AC 7 осуществляет преобразование постоянного напряжения в переменное повышенной частоты 1000 Гц, выход которого соединен с выпрямителем 8, который формирует питающие напряжения (300 и 600 В) для гаража-заглубителя, а также с плавучим кабелем 9 и согласующим трансформатором 10 второго подводного блока системы, расположенным на телеуправляемом подводном аппарате.

В этом случае, как и в варианте СЭП ТПА (рис. 2), за счет повышенной частоты существенно снижаются массогабаритные параметры трансформатора, установленного на телеуправляемом подводном аппарате, а также за счет передачи по кабель-тросу 6 постоянного напряжения обеспечиваются более низкие потери мощности в кабель-тросе.

В настоящее время наилучшим образом отвечающая всем требованиям, предъявляемым к современным СЭП ТПА, является система электро-

питания телеуправляемого подводного аппарата, представленная на рис. 5.

Бортовая часть СЭП ТПА содержит коммутатор сети 1, вход которого соединен с судовой сетью. С коммутатора 1 напряжение через фильтр радиопомех 2 поступает на выпрямитель 3, затем через фильтр 4 на конвертор DC/AC 5, который повышает частоту питающего напряжения до 1000 Гц. Выход конвертора DC/AC 5 соединен с первичными обмотками повышающего трехфазного трансформатора 6, который в свою очередь повышает напряжение до величины $U_{\text{Лэфф}}=1000...1500$ В, а его вторичные обмотки соединены с кабель-тросом 7, связанным с первичными обмотками трансформатора 8 подводной части, установленной на гараже-заглубителе, а также с выпрямителем 13. Вторичные обмотки согласующего трансформатора 8 соединены с выпрямителями 9 и 10 и фильтрами 11 и 12, формирующими питающие напряжения для гаража-заглубителя. С выхода выпрямителя 13 через фильтр 14 напряжение поступает на конвертор DC/AC 15, выходная частота которого превышает частоту конвертора DC/AC 5 бортовой части системы. Переменное напряжение повышенной частоты с выхода конвертора DC/AC 15 поступает в плавучий кабель 16 и согласующий трансформатор 17 ТПА.

Достоинство данной системы состоит в том, что за счет повышения частоты питающего напряжения конвертором DC/AC 5 до 1000 Гц улучшаются массогабаритные показатели трансформатора 8 первой подводной части системы, установленной на гараже-заглубителе, за счет последующего повышения частоты конвертором DC/AC 15 снижаются габариты трансформатора 17 подводного аппарата. Поскольку гараж-заглубитель и подводный аппарат соединены с помощью короткого плавучего кабеля, повышение частоты в этом варианте может достигать 10 кГц.

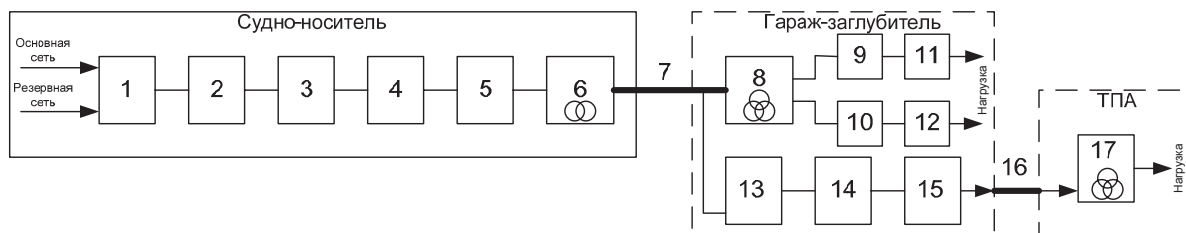


Рис. 5. Система электропитания телеуправляемого подводного аппарата с передачей энергии по кабель-тросу переменным напряжением повышенной частоты

Выводы

1. Проведенный анализ структур построения современных СЭП ТПА переменного тока установлено, что в настоящее время для выполнения геологических, научно-исследовательских и спасательных работ на предельных глубинах с длиной кабель-троса до 8000 м, а также передачи энергии мощностью свыше 10 кВт на токоприемники подводного аппарата, необходимо использовать СЭП ТПА с передачей энергии по кабель-тросу переменным напряжением повышенной частоты (рис. 5).
2. Реализованная на макетном образце структурная схема СЭП ТПА с передачей энергии по кабель-тросу переменным напряжением повышенной частоты (рис. 5), обеспечивает стабилизацию напряжения на нагрузках ТПА и отвечает основным требованиям, предъявляемым к СЭП ТПА по величине передаваемой мощности при высоких массогабаритных показателях.
Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение №14.В37.21.0162.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Подводные аппараты для геологических исследований / под ред. А.М. Игнатова. – Геленджик: ПО «Южморгеология», 1990. – 92 с.
2. Ястребов В.С. Телеуправляемые подводные аппараты. – Л.: Судостроение, 1985. – 232 с.
3. Рулевский В.М., Дементьев Ю.Н., Бубнов О.В. Системы электропитания телеуправляемых подводных аппаратов // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – № 5. – Т. 307. – С. 120–123.

Поступила 06.03.2013 г.

УДК 62-83-52

ДИНАМИКА ИНВАРИАНТНОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА НА ОСНОВЕ АСИНХРОННО-ВЕНТИЛЬНОГО КАСКАДА

И.В. Дорощенко, В.С. Захаренко

Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого
E-mail: doroschenko.igor@gmail.com

С использованием функциональных, структурных схем и имитационной модели нагрузочной части испытательного стенда на основе асинхронно-вентильного каскада произведен синтез системы управления и расчет переходных процессов. Определены показатели качества переходных процессов.

Ключевые слова:

Асинхронно-вентильный каскад, испытательный стенд, структурная схема, инвариантность по моменту, динамика, синтез регуляторов.

Key words:

Asynchronously-thyristor cascade, test bench, block diagram, torque invariance, dynamics, synthesis of regulators.

В последнее время наблюдается рост мировых цен на энергоресурсы, поэтому одним из приоритетных направлений технической политики во всех развитых странах мира является энергосбережение [1], в том числе и при проведении испытаний двигателей внутреннего сгорания (ДВС). В связи с этим современные испытательные стенды должны удовлетворять требованиям регламента испытаний, управляемости и энергосбережения. Как известно, эффективность энергосберегающих технологий в значительной мере определяется эффективностью электропривода, входящего в состав стенда. Таким образом, разработка высокопроизводительных, компактных и экономичных систем привода является приоритетным направлением развития современных испытательных стендов. Испытательный стенд представляет собой конструктивное единство электромеханического преобразо-

вателя энергии, силового преобразователя и устройства управления. С целью проведения достаточно точных и качественных испытаний необходимо обеспечить инвариантность нагрузочного момента в широком диапазоне изменения скорости вращения.

Инвариантность нагрузочной части стенда для генераторного режима асинхронно-вентильного каскада (АВК) обеспечивается [2] при использовании положительной обратной связи по моменту и отрицательной по скорости, поскольку увеличение нагрузочного момента производится при уменьшении напряжения управления инвертора. Функциональная схема нагрузочной части стенда показана на рис. 1.

Целью исследования является анализ динамических режимов инвариантного испытательного стенда на основе асинхронно-вентильного каскада.