

избежать повреждений (например, прогорания изоляции вследствие образования дуги между жилой и экраном).

Помимо этого, перенапряжения, действуя с частотой до 10-4 с, могут в 10 раз превышать значение питающего напряжения. Как следствие резко снижается срок службы питающего кабеля.

В последнее время рядом ведущих зарубежных кабельных компаний уже разработаны и выпускаются специальные кабели для частотно-регулируемого привода с широтно-импульсной модуляцией. В настоящее время в РФ работы по созданию подобной конструкции находятся на начальной стадии. Не достаточно информации о эксплуатации систем частотно-регулируемого привода, о методах и критериях оценки стойкости к перегрузкам, способах и средствах защиты от коронных разрядов. В ходе выполнения проекта планируется разработать кабельные изделия, адаптированные для работы в частотно-регулируемом приводе с широтно-импульсной модуляцией, а также рекомендаций по их применению.

ВЫБОР ТИПА И КОНСТРУКЦИИ ПОГРУЖНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

День Конг Кюи

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

С повышением потребности в геологических исследованиях и разработках морских ресурсов автономные системы электропитания (СЭП) телеуправляемых подводных аппаратов (ТПА) перестают отвечать предъявляемым к ним требованиям. Лучшим решением является использование СЭП, обеспечивающейся судном (рис. 1) [1]. Важнейшие преимущества этой СЭП заключаются в обеспечении длительного времени работы ТПА и возможности совместной работы ТПА с разными мощностями.

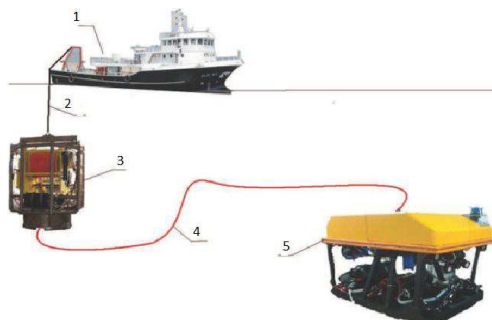


Рис. 1. Общая схема комплекса телеуправляемого подводного аппарата:

1 – обеспечивающее судно; 2 – кабель-трос; 3 – гараж-заглубитель; 4 – плавучий кабель; 5 – телеуправляемый подводный аппарат

Дальнейшее совершенствование СЭП ТПА обеспечивается повышением эффективности работы отдельных устройств СЭП ТПА. Важнейшим звеном СЭП ТПА при передаче энергии на переменном токе по кабель-тросу является погружной трансформатор (ПТ). Он составляет основную часть массы и габаритов СЭП, работает на большой глубине (до шести километров) при высоких значениях частоты (до десяти килогерц), напряжения (до десяти киловольт) и мощности (десятки киловатт).

Возможны следующие направления совершенствования ПТ:

– выбор типа и конструкции трансформатора;

- выбор материалов обмотки, магнитопровода, электрической изоляции и т.д.;
- выбор системы охлаждения трансформатора.

В настоящее время в зависимости от уровня напряжения и мощности используются различные типы трансформаторов. Для напряжения от 35 кВ используются только масляные трансформаторы (МТ), а элегазовые трансформаторы (ЭТ) начали использоваться в России несколько лет назад. Для напряжения до 35 кВ, используются масляные и сухие трансформаторы (СТ). В таблицах 1 и 2 приведены технические характеристики этих трансформаторов.

Таблица 1. Технические характеристики трансформаторов класса напряжения до 35 кВ

Технические характеристики	Напряжение 35 кВ		Напряжения до 10 кВ	
	МТ марки ТМ-160	СТ марки TS3R36.160	СТ марки ТСЛ-25/10)	МТ марки ТМГМШ 25/10)
Напряжения обмоток, кВ	0,4/35	0,4/35	0,4/6	0,4/6
Мощность, кВА	160	160	25	25
Масса, т	0.874	1,02	0,225	0,24
Габариты, м	1,06x0,76x 1,515	1,36x0,67x 1,38	0,655x0,345 x 0,656	0,8x0,64x0, 93
Суммарные потери, кВт	2.91	3,850	0,6	0,68
Удельная масса, кг/кВА	5,463	6,375	9	9,6
Удельные габариты, м ³ /кВА	0,0763	0,00786	0,00593	0,0191
Потери мощности по отношению к полной, %	1,82	2,41	2,4	2,72

По конструкции в классе напряжения до 10 кВ, используются все конструкции трансформаторов, хотя броневые трансформаторы используются реже. В таблице 3 приведено сравнение тороидального и стержневого трансформаторов.

Таблица. 3. Технические характеристики тороидального и стержневого трансформаторов

№	Технические характеристики	Низкое напряжение	
		ТТ марки ОСТ-1,0 УЗ	СТТ марки ОСЗ-1,0
1	Напряжения обмоток, В	220÷660/ 12÷660	220/ 12÷220
2	Количество фаз	1	1
3	Мощность, кВА	1	1
4	Масса, кг	6,8	16
5	Габариты, мм	155x55x75	155x275x270
6	Удельная масса, кг/кВА	6,8	16
7	Удельные габариты, м ³ /кВА	0,00495	0,01151

По сравнению со стержневым трансформатором (СТТ), тороидальный имеет следующие преимущества:

- тороидальный сердечник имеет идеальную форму, позволяющую изготовить трансформатор с использованием минимального количества материала. Равномерное распределение всех обмоток по всей окружности сердечника уменьшает длину обмоток, следовательно, уменьшается сопротивление обмоток и повышается КПД трансформатора;
- тороидальный трансформатор (ТТ) обеспечивает снижение уровня магнитных помех в восемь раз относительно СТТ, что обуславливает низкие потери мощности ТТ.

В качестве материалов обмоток трансформатора преимущественно используются медь и алюминий. Каждый материал обладает своими преимуществами и недостатками. Например, медная обмотка (МО) обеспечивает низкие потери мощности из-за хорошей теплопроводности (теплопроводность меди в два раза больше теплопроводности алюминия) и высокой электрической проводимости меди (в 1,5 раза больше проводимости алюминия). Трансформаторы с медными обмотками часто имеют небольшие габариты. Несмотря на большие габариты трансформатор с алюминиевыми обмотками (АО) дешевле и легче, чем трансформатор с МО (алюминий в три раза дешевле и в 2,5 раза легче, чем медь). На практике чаще используются трансформатор с АО для класса напряжения до 1 кВ, а трансформатор с МО для напряжения от 1 кВ (см. таблицу 4).

Таблица 4. Технические характеристики трансформаторов с АО и МО

№	Технические характеристики	Низкое напряжение		Высокое напряжение	
		Трансформатор с АО (НТС-30 У2)	Трансформатор с МО (ТПЗ-25)	Трансформатор с АО (ТМ-25/10)	Трансформатор с МО (ТЛС-25)
1	Напряжения обмоток, кВ	0,38/0,22	0,38/0,22	0,4/6	0,4/6
2	Мощность, кВА	28	25	25	25
3	Масса, кг	160	240	240	240
4	Габариты, мм	750x620x580	760x720x790	850x540x930	656x296x758
5	Суммарные потери, кВт	-	-	0,76	0,65
6	Удельная масса, кг/кВА	6,4	9,6	9,6	9,6
7	Удельные габариты, м ³ /кВА	0,0101	0,0173	0,0171	0,0059

В качестве материала магнитопроводов применяются аморфные и нанокристаллические сплавы. Применение магнитопроводов на основе аморфных и нанокристаллических сплавов обеспечивает снижение потерь холостого хода трансформаторов более, чем в пять раз по сравнению с традиционными магнитопроводами из электротехнической стали. Магнитопроводы из аморфных и нанокристаллических сплавов имеют значительно меньшие удельные магнитные потери по сравнению с ферритами, электротехнической сталью и пермаллоем. Они обладают высокой относительной начальной и максимальной магнитной проницаемостью и индукцией насыщения на высоких частотах. Высокое значение удельного сопротивления аморфных сплавов (в три раза больше, чем у кристаллических аналогов) обеспечивает низкие потери на вихревые токи и хорошие характеристики магнитной проницаемости.

Первый опытный трансформатор с магнитопроводом из аморфных сплавов в России изготовлен Минским электротехническим заводом им. В. И. Козлова в 2013 году. Проведены предварительные испытания трансформатора, результаты которых превзошли все ожидания. В частности, потери холостого хода снижены в четыре раза по сравнению со стальными магнитопроводами [2]. В таблице 5 приведено сравнение аморфного трансформатора Китайского завода (S(B)H15-M 100/10) с Российским стальным трансформатором (ТМГ 100/10). Из таблицы видно, суммарные потери что трансформатор с аморфными магнитопроводами снижены на 30% по сравнению с СТ, в том числе потери холостого хода снижены на 75.4% .

Таблица 5. Технические характеристики аморфного и стального трансформаторов

Технические характеристики	Напряжения обмоток, кВ	Потери холостого тока, кВт	Потери короткого замыкания, кВт	Суммарные потери, кВт
S(B)H15-M 100/10	0,4/10	75	1500	1575
ТМГ 100/10	0,4/10	305	1970	2275

Заключение.

В данной работе проведен анализ технических характеристик трансформаторов. Показано, что для разного класса напряжения применяются разные типы и конструкции трансформаторов. В соответствие с техническими требованиями, предъявляемыми к электрооборудованию ТПА, ПТ рекомендуется изготавливать тороидальной конструкции с воздушным охлаждением, медными обмотками и аморфным магнитопроводом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рулевский В.М. Системы электропитания телеуправляемого подводного аппарата большой энерговооруженности. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук – 2006. – 196 с.
2. Трансформаторы серии ТМГ 24. Режим доступа: [\[http://www.elcom.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=595&Itemid=200\]](http://www.elcom.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=595&Itemid=200)

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СИММЕТРИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ С РАЗЛИЧНОЙ СТРУКТУРОЙ

Сидоров С.А.

Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа

На современном этапе развития промышленности, количество и качество выпускаемой продукции во многом зависит от надежности электроснабжения и качества электроэнергии (КЭ). Ухудшение КЭ зачастую обусловлено широким применением мощных однофазных нагрузок, работа которых приводит к неравномерному распределению нагрузки по фазам сети и появлением несимметричных режимов работы в трехфазных сетях. Суммарная нагрузка некоторых предприятий содержит 85–90% несимметричных нагрузок. Характеристики некоторых электропотребителей (ЭП), вызывающие несимметрию напряжения приведены в таб. 1 [1].

Таблица 1. Характеристики ЭП, вызывающих несимметрию напряжений

Тип ЭП	U , кВ	K_{2U} , %
Дуговая сталеплавильная печь ДСП-100	220	1,3
	35	4,5
Дуговая сталеплавильная печь ДСП-40	110	1,4
	35	4,0
Однофазные электротермические установки	10	18
Тяговые подстанции переменного тока	110	4,6
	6	1,4
Прокатный стан 1700	10	2,0
Сварочные машины	0,4	1-5