

УДК 681.5:621.317

**В.И. Лачин, К.Ю. Соломенцев**

**ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ  
ПАРАМЕТРОВ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ  
ОБЪЕКТОВ**

*Рассматриваются особенности многоэлементных электроэнергетических объектов и требования к системам контроля их параметров. Обосновывается необходимость осуществления непрерывного контроля параметров в процессе работы электроэнергетических объектов. Показано, что отдельные параметры объектов возможно контролировать, используя косвенные методы контроля, что усложняет системы контроля и, главное, требует разработки эффективных методов контроля и прогнозирования параметров.*

*Предложены принципы построения информационно-измерительных систем контроля параметров таких объектов, которые легли в основу ряда разработанных систем. Приведены примеры их реализации.*

*Многоэлементные электроэнергетические объекты; информационно-измерительные системы; сопротивление изоляции.*

**V.I. Lachin, K.Yu. Solomencev**

**INFORMATION-MEASURING SYSTEM OF THE CHECKING PARAMETER  
MULTIPLE-UNIT ELEKTROENERGETICHESKIH OBJECT**

*Particularities of multiple-unit electro-energetic objects and requirements for the monitoring systems of their parameters are analyzed. The necessity of uninterrupted monitoring of the parameters when in use energy objects is substantiated. It is demonstrated that it's possible to control individual parameters of the objects using indirect monitoring methods that complicates monitoring systems and above all requires to develop effective monitoring and parameter prognostication methods.*

*Multiple-unit electroenergetic object; information-measuring system; insulation resistance.*

Существует целый ряд электроэнергетических объектов (ЭО), которые по ряду признаков, прежде всего по требованиям надежности, долговечности, безопасности и бесперебойности работы, могут быть выделены в единый класс. Их называют многоэлементными электроэнергетическими объектами. Они представляют собой группу последовательно соединенных источников энергии, подключенных к нагрузке, или группу последовательно соединенных приемников электрической энергии (нагрузок), подключенных к источнику энергии, или совокупность первой и второй групп, или группу цепей (фидеров), подключенных к одному источнику энергии.

К этому классу объектов относятся аккумуляторные батареи, электрохимические генераторы, солнечные батареи, электролизные серии в цветной металлургии, обмотки размагничивания кораблей, разветвленные электрические сети постоянного тока, переменного тока или двойного рода тока на судах, в шахтах, оперативные цепи электростанций, подстанций, телефонных станций и другие подобные объекты.

Эти объекты могут либо занимать большие площади, либо иметь большое число элементов, подлежащих контролю, либо и то и другое одновременно. К примеру, общая площадь корпуса, занимаемого электролизерами одной серии, составляет 10–20 тыс. м<sup>2</sup>, а длина корпусов достигает нескольких сот метров.

Число аккумуляторов в батарее, или число витков в обмотках размагничивания кораблей, или число фидеров разветвленных электроэнергетических сетей может достигать нескольких десятков или даже сотен.

Надежность и безопасность работы таких объектов определяется в первую очередь наличием и качеством контроля параметров таких объектов. Некачественный или нерегулярный контроль параметров ЭО может привести к нарушению работоспособности систем, к возникновению пожаров и электротравматизму.

Так, в случае локального снижения сопротивления изоляции в судовых сетях токи утечки системы на корпус сосредотачиваются в одном месте, что приводит к увеличению тепловыделения и, как следствие, может повлечь разрушение изоляции вплоть до образования дугового замыкания.

Сложность заключается в том, что требуется осуществлять непрерывный контроль или измерение параметров большого числа элементов, например, контроль тока, напряжения, сопротивления изоляции или их изменений каждого из нескольких десятков или даже сотен элементов, входящих в такой энергоэнергетический объект (к примеру, аккумуляторную или солнечную батарею, или обмотки размагничивания кораблей).

Кроме того, контроль необходимо осуществлять в рабочем режиме энергоэнергетических объектов и таким образом, чтобы системы и устройства контроля оказывали минимальное влияние на объект контроля и не вели к снижению его надежности.

Задача усложняется еще и тем, что многие из перечисленных объектов занимают большие площади или объемы и доступ ко многим элементам объектов физически затруднен или категорически запрещен по условиям эксплуатации объектов. Это приводит к необходимости использовать дистанционные методы контроля, что, в свою очередь, усложняет системы контроля или измерения параметров объектов.

Помимо этого, некоторые параметры, например сопротивление изоляции всего объекта или отдельных его элементов, возможно контролировать, используя косвенные методы контроля, что также усложняет системы контроля и, главное, требует разработки эффективных методов контроля и прогнозирования параметров.

Для многоэлементных ЭО управление, как правило, является логическим управлением и состоит в отключении, к примеру, неисправных аккумуляторов (имеющих пониженное сопротивление изоляции или (и) напряжение на зажимах) или элементов солнечной батареи, а для обмоток размагничивания и т.п. управление заключается в определении неисправного участка (с большим значением проводимости изоляции) и проведении технических работ, направленных на уменьшение значения проводимости изоляции.

Несмотря на большое разнообразие многоэлементных объектов, различное назначение и области применения, многие из них могут быть представлены однотипными эквивалентными схемами замещения, что позволяет сформулировать и исследовать общие принципы построения и реализации устройств контроля, прогнозирования и управления параметрами таких объектов.

Рассмотрим особенности некоторых ЭО, абсолютные значения и диапазон изменения их параметров, что необходимо учитывать при разработке принципов построения устройств контроля их параметров.

Обмотки размагничивания кораблей представляют собой последовательно соединенные отрезки кабельных трасс, каждый из которых образует виток обмотки. Число таких витков в обмотке может достигать нескольких десятков, сопротивление каждого витка составляет доли Ома, а напряжение, подаваемое на обмотку, составляет от десятков до нескольких сот вольт. Суммарная емкость обмотки может достигать 20 мкФ. Диапазон измерения эквивалентного сопротивления изоляции составляет от единиц Ом до единиц МОм, а точность определения места понижения сопротивления изоляции – 1 виток.

Кабельные трассы обмоток размагничивания являются одним из основных источников пожарной безопасности, так как в них сосредоточено большое количество горючего материала – резиновой и пластмассовой изоляции жил и оболочек кабелей. Так, удельная теплотворная способность изоляционной резины – 2300 ккал/кг, поливинилхлоридной изоляции – 7500 ккал/кг (равна характеристикам такого эффективного горючего, как антрацит), а у полиэтиленовой изоляции достигает 11500 ккал/кг.

В случае понижения или повреждения сопротивления изоляции за счет увеличения токов утечек может возникнуть возгорание изоляции и огонь может распространиться по всей трассе обмотки, проникая сквозь переборочные сальники и кабельные коробки. Поэтому для повышения электро- и пожаробезопасности важно обнаружить факт понижения сопротивления изоляции и определить место понижения (номера витка) до формирования угрозы пожара.

Поиск места повреждения сопротивления изоляции относится к наиболее трудоемким операциям при техническом обслуживании электроустановок. В разветвленных электрических сетях, например на судах, в случае срабатывания сигнализации о снижении сопротивления изоляции вначале определяют фидер с поврежденной изоляцией путем поочередного отключения на главном распределительном щите автоматических выключателей. Затем этот фидер последовательно разделяют на отдельные участки и находят место повреждения изоляции. Если при данном режиме работы электроустановки снимать питание с фидеров запрещено, то исключается и сама возможность поиска места повреждения. При этом на объекте соответственно возрастает пожароопасность из-за создания условий для формирования дуговых замыканий на «землю» (корпус автономного объекта). Поэтому задача состоит в разработке методов дистанционного определения мест понижения изоляции, не требующих снятия рабочего напряжения и перемещения оператора по трассе кабелей.

Аккумуляторные батареи содержат большое число последовательно соединенных аккумуляторов и могут работать в различных режимах.

В режиме заряд-разряд аккумуляторные батареи могут работать во многих устройствах, таких как электромобили, электрокары и т.п., причем аккумуляторы, разрабатываемые для электромобилей, должны быть способны к форсированному заряду.

В буферном режиме аккумуляторная батарея подключается к нагрузке совместно с другим основным источником энергии. Такой режим применяется в тех случаях, когда в качестве основного источника энергии, функционирующего периодически, используется, например, солнечная батарея. В подобном режиме аккумуляторные батареи могут применяться в транспортных средствах, автономных объектах, автоматических метеостанциях и т.п.

В аварийном режиме основной источник энергии (сеть или какой-нибудь автономный генератор) обеспечивает работу всех потребителей и лишь при его аварии начинает использоваться аккумуляторная батарея. Данный режим работы используется в системах питания противоаварийной автоматики в энергетике, железнодорожном транспорте и т.п. для обеспечения работы автоматических телефонных станций при отключении напряжения питающей сети и т.д. Чтобы продлить срок службы аккумуляторных батарей, создать условия для бесперебойной и надежной их работы, необходимо применять системы контроля и управления источниками тока. Эти системы должны обеспечивать реализацию заданного алгоритма работы зарядно-разрядных устройств, предотвращать перезаряды, недозаряды и переплюсовки отдельных аккумуляторов батареи, выявлять и обеспечивать их отключение.

Допустимое значение напряжения на аккумуляторе сильно зависит от тока заряда или разряда аккумулятора, температуры окружающей среды, давления в аккумуляторе (для герметичных аккумуляторов). Поэтому для долговечной и надежной работы аккумуляторных батарей следует измерять напряжение на каждом из аккумуляторов батареи, ток батареи или отдельных ее ветвей, сопротивление изоляции, температуру окружающей среды, давление в аккумуляторах и при выходе какого-либо параметра за допустимые пределы принимать соответствующие меры.

Число аккумуляторов в батарее составляет обычно несколько десятков, хотя может быть и более сотни, а диапазон допустимых напряжений на аккумуляторе колеблется от долей до единиц вольт.

Судовые электрические сети выполняются, как правило, изолированными от корпуса, что обеспечивает повышенную надежность питания приемников электроэнергии. При небольшой емкости сети повышается безопасность по сравнению с береговыми сетями, работающими в режиме с глухим заземлением нейтрали или заземлением полюсов в однофазных сетях. В современных условиях практически любая сеть переменного тока (однофазная или трехфазная) по существу является сетью двойного рода тока. Такая сеть представляет собой трехфазную сеть с изолированной нейтралью, имеющую однофазную или трехфазную нагрузку постоянного тока, получающую питание через выпрямительные мосты. Выпрямительные мосты могут быть однофазные или трехфазные, один или несколько, управляемые или неуправляемые.

Нагрузкой подобных сетей могут быть как силовые приемники электроэнергии (гребные электродвигатели, электропривод якорных лебедок и т.п.), так и маломощные элементы схем (например катушки контакторов в магнитных пускателях). Токи утечки в таких сетях содержат и постоянные, и переменные составляющие, что существенно усложняет контроль сопротивления изоляции этих сетей, особенно если учесть, что их эквивалентная емкость может достигать нескольких сотен микрофарад. Требуемый диапазон измерения сопротивления изоляции обычно составляет от нуля до нескольких мОм, а напряжение питания изменяется от нуля до нескольких сотен вольт.

Разветвленные электроэнергетические сети с большим количеством приемников электроэнергии (порядка тысячи и более) потенциально имеют большую пожарную опасность, так как эксплуатационный уровень их эквивалентного сопротивления очень низок и составляет десятки и даже единицы килоом. Контроль сопротивления изоляции всей сети оказывается неэффективным, поскольку при невысоком значении эквивалентного сопротивления может остаться незамеченным снижение сопротивления изоляции какого-либо отдельного фидера. При этом существенно возрастает опасность формирования дуговых замыканий. Для обеспечения надежной и безопасной работы таких сетей необходим селективный контроль сопротивления изоляции отдельных фидеров разветвленной сети.

Для обеспечения эксплуатационной надежности функционирования многоэлементных ЭО и предупреждения возникновения в них аварийных ситуаций нужно оценивать текущее состояние таких объектов и прогнозировать его изменение во времени. Основными задачами при этом являются распознавание состояния объектов, определение причин нарушения работоспособности, установление вида и места дефекта и прогнозирование его изменения.

Решение указанных задач базируется на использовании достижений теории распознавания образов, теории управления, идентификации и моделирования объектов управления и др.

Сложность контроля и прогнозирования состояния контролируемых объектов состоит в том, что оценку текущего состояния объектов приходится производить обычно по результатам косвенных измерений, для чего необходимо выявить закономерности и характер связей между фактическим состоянием контролируе-

мого объекта и измеряемыми параметрами. Кроме того, изменение со временем одного или ряда параметров контролируемых объектов еще более усложняет задачу контроля и прогнозирования состояния таких объектов.

Авторами разработаны основы теории и методы построения устройств контроля и прогнозирования состояния многоэлементных электроэнергетических объектов [1]. Так, в частности, предложены, методы контроля общего сопротивления изоляции таких объектов, селективного контроля сопротивления изоляции разветвленных ЭО, методы дистанционной локализации места понижения сопротивления изоляции в многоэлементных ЭО, топографический метод нахождения места понижения сопротивления изоляции непосредственно на кабеле по рассчитанному расстоянию до места понижения [2–8]. Проведен теоретический анализ предложенных методов, показаны пути повышения быстродействия и уменьшения погрешности измерений, разработаны методики инженерного расчета устройств, реализующих предложенные методы.

Для контроля, прогнозирования и управления параметрами многоэлементных ЭО необходимы многоканальные системы управления, в которых для обеспечения их надежного функционирования нужно осуществить гальваническое разделение между каналами. Практическая реализация таких систем управления зачастую невозможна или сильно затруднена без первичных преобразователей тока и напряжения, имеющих гальванически разделенные между собой входные и выходные цепи. Разработан спектр измерительных преобразователей тока и напряжения с различными видами обратных связей [1]:

- ◆ Безгистерезисный магнитный преобразователь (БМП) с внутренней отрицательной обратной связью (ООС), достоинством которого является высокое, по сравнению с другими преобразователями, быстродействие, возможность изменения в широких пределах чувствительности (в несколько десятков раз) и способность ослаблять помехи с помощью цепи ООС. Такие БМП использовались для измерения малых токов на фоне помех, в частности при построении устройств селективного контроля сопротивления изоляции электроэнергетических систем, находящихся под постоянным или медленно изменяющимся напряжением.
- ◆ БМП с компенсирующей ООС, достоинством которого является линейность характеристики преобразователя во всем диапазоне измеряемых токов. Такие БМП использовались для измерения токов от единиц до десятков и сотен А, в частности для систем управления технологическими процессами изготовления химических источников тока.
- ◆ БМП с внешней ОС по второй гармонике, имеющий сравнительно высокое быстродействие и возможность изменения в широких пределах чувствительности преобразователя. Изменяя начальную фазу поля второй гармоники, можно реализовать в устройстве как отрицательную, так и положительную ОС, т.е. регулировать коэффициент преобразования преобразователя в широких пределах. Такие БМП позволяют изменять коэффициент преобразования в тысячи раз и имеют высокое быстродействие.
- ◆ БМП в режиме параметрического резонанса, имеющий высокую чувствительность преобразователя, обусловленную тем, что характеристика преобразователя имеет релейный характер. Релейная характеристика БМП в режиме параметрического резонанса позволяет использовать его для построения элементов допускового контроля. Малое время установления, релейность характеристики, полярность выходного импульса, являющегося выходным сигналом, позволяет широко использовать данный элемент допускового контроля при построении различных устройств контроля и измерения.

Достоинством всех рассматриваемых преобразователей является то, что им присуща внутренняя память, т.е. способность сохранять неизменным измеренное значение входного параметра. Эта особенность преобразователей является весьма существенным достоинством и использована в дальнейшем для осуществления запоминания, хранения измеряемых величин и помогает в ряде случаев упростить дальнейшую обработку измеренных величин, связанную с операциями сложения, вычитания и дифференцирования.



Рис. 1. ЦМ1628

Очевидно, что предлагаемые преобразователи могут использоваться как самостоятельно, так и в составе самых разнообразных информационно-измерительных систем в качестве первичных измерителей токов и напряжений.

Некоторые из разработанных методов легли в основу универсального устройства для измерения сопротивления изоляции и емкости ЭО любого рода тока, получившего в дальнейшем название – цифровой мегомметр ЦМ1628, который выпускается ОАО «Приборостроительный завод «Вибратор», г. Санкт-Петербург (рис. 1). Он имеет диапазоны измерений эквивалентного сопротивления изоляции сети – под рабочим напряжением от 0 до 200 кОм, при снятом рабочем напряжении от 0 до 2,0 МОм. Погрешность измерений не более 10 %. Аварийная сигнализация имеет фиксированные значения уставок: под рабочим напряжением 10 кОм, при снятом рабочем напряжении 100 кОм. Изменение значений уставок предупредительной сигнализации может выполняться из диапазона от 1 до 1000 кОм. Имеются релейные выходы сигнализации. Информация также передается по каналу RS-485. При сопро-

В настоящее время появились аморфные металлические сплавы на основе железа, никеля и кобальта, ферромагнитные свойства которых оказались значительно выше, чем у пермаллоев, причем эти свойства более стабильны. Частоты, на которых могут работать эти сплавы, значительно выше (на порядок и более), чем у пермаллоев, а магнитная проницаемость на безгистерезисной кривой намагничивания (как показали наши исследования) примерно на два порядка больше. Использование этих материалов для построения БМП позволяет существенно повысить быстродействие и чувствительность разработанных преобразователей.



Рис. 2. Сертификат средства измерения

тивлении изоляции ЭО, равном 2 Мом, и емкости ЭО в 100 мкФ он производит измерение за 10 с.

Мегомметр ЦМ1628 включен в Государственный реестр средств измерения под № 37272-08 (рис. 2).

По заказу различных организаций были разработаны и изготовлены информационно-измерительные системы контроля параметров химических источников тока различного типа как в стационарном, так и в переносном виде.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.Р. Гайдук.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Лачин В.И.* Контроль и прогнозирование состояния электроэнергетических объектов с дискретно-распределенными параметрами. – Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, 2001. – 192 с.
2. Пат. 20110247, МКИ G01R. Способ определения путей утечек тока на землю в электрических системах / Седов А.В., Лачин В.И., Малина А.К. – Оpubл. 1994. Бюл. № 6.
3. Пат. 1824600, МКИ G01R 31/08. Топографический способ определения места изменения сопротивления кабельной системы / Седов А.В., Лачин В.И., Путро В.Г., Малина А.К., Зубков В.М. – Оpubл. 1993. Бюл. № 24.
4. Пат. 2143703, МКИ G01R. Способ определения однофазных замыканий в кабельных линиях, проложенных в земле / Лачин В.И., Малина А.К., Соломенцев К.Ю. – Оpubл. 1999, Бюл. № 36.
5. Пат. 60225 РФ, МПК G01R 27/16. Устройство для измерения сопротивления изоляции электрических сетей / Лачин В.И., Кильдияров А.В., Соломенцев К.Ю., Иванов Е.А. – Оpubл. 10.01.07, Бюл. № 1.
6. *Лачин В.И., Соломенцев К.Ю., Федий В.С.* Повышение быстродействия устройств контроля параметров инерционных объектов // Известия вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2007. – Спецвыпуск. – С. 153-155.
7. Пат. 2310873 РФ, МПК G01R 27/18. Способ измерения сопротивления изоляции электрических сетей / Лачин В.И., Кильдияров А.В., Соломенцев К.Ю., Иванов Е.А. – Оpubл. 20.11.07, Бюл. № 32.
8. Пат. 2321008 РФ, МПК G01R 27/16. Способ измерения сопротивления изоляции электрических сетей (варианты) / Лачин В.И., Кильдияров А.В., Соломенцев К.Ю., Иванов Е.А. – Оpubл. 27.03.2008, Бюл. № 9.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.Р. Гайдук.

#### **Лачин Вячеслав Иванович**

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)».

E-mail: lachinv@mail.ru.

346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132.

Тел.: +79185201252.

Кафедра автоматики и телемеханики; зав. кафедрой; д.т.н.; профессор.

#### **Соломенцев Кирилл Юрьевич**

E-mail: sol\_kir@mail.ru.

Тел.: +79085118931.

Кафедра автоматики и телемеханики; к.т.н.; доцент.

#### **Lachin Viatcheslav Ivanovich**

Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “South-Russia State Technical University (Novocherkassk Politechnic Institute)”.

E-mail: lachinv@mail.ru.

132, Education Street, Novocherkassk, 346428, Russia.

Phone: +78634360793.

The Department of Automation and Telemechanics; Head the Department; Dr. of Eng. Sc., Professor.

**Solomencev Kirill Yurievich**

E-mail: sol\_kir@mail.ru.

Phone: +79085118931.

The Department of Automation and Telemechanics; Cand. of Eng. Sc.; Associate Professor.

УДК 681.883

**И.И. Маркович, Ю.В. Душенин, В.С. Жирнов, П.П. Семеняк, Д.В. Ковальчук**

### **ЛОКАТОР ПРЕПЯТСТВИЙ ГЛУБОКОВОДНОГО НОСИТЕЛЯ**

*Предложен к рассмотрению локатор препятствий, предназначенный для освещения подводной обстановки по ходу движения глубоководного носителя. Локатор формирует в частотной области статический веер лучей в приеме в вертикальной плоскости. Определен круг задач, решаемый с его помощью в ходе эксплуатации. Представлены основные параметры и структурная схема локатора. Описан принцип его работы. Изложены алгоритмы первичной и вторичной цифровой обработки сигналов, предложенные в ходе разработки локатора препятствий.*

*Локатор препятствий; глубоководный носитель; статический веер; характеристика направленности; цифровая пространственно-временная обработка сигналов.*

**I.I. Markovich, YU.V. Dushenin, V.S. Zhirnov, P.P. Semenyak, D.V. Koval'chuk**

### **OBSTACLE AVOIDANCE SONAR FOR DEEP-WATER CARRIER**

*Obstacle avoidance sonar for underwater imaging along the deep-sea carrier displacement direction is provided. The sonar generates vertical static fan pattern in the receiving mode of frequency domain. Basic tasks, solved with the sonar are discussed. Block diagram of the system and its basic features are presented. Principles of system operation are described. Primary and secondary algorithms of digital signal processing in the receiving channel of the developed system are stated.*

*Obstacle avoidance sonar; deep-water carrier; static fan pattern; beam pattern; digital space-time signal processing.*

Обеспечение возможности получения качественного отображения подводной обстановки в реальном масштабе времени и предупреждение столкновений с подводными препятствиями глубоководных аппаратов и комплексов невозможно без их оснащения современной гидроакустической аппаратурой.

В данной работе предложен локатор препятствий (ЛП), проработка возможности реализации которого проводится в НКБ цифровой обработки сигналов ЮФУ. Его создание связано с необходимостью освещения подводной обстановки по ходу движения глубоководных носителей. В основе принципов работы ЛП изначально закладывается формирование и излучение простых и сложных зондирующих сигналов (ЗС) цифровыми методами, а также формирование статического веера характеристик направленности (ХН) в приемном тракте с последующей цифровой пространственно-временной обработкой с целью повышения эффективности распознавания крупных придонных объектов.

В процессе эксплуатации перед ЛП ставятся следующие задачи:

- ◆ оперативный обзор подводной обстановки по ходу движения носителя в заданном секторе;
- ◆ обнаружение препятствий, размеры которых являются значительными, потенциально опасными для навигации;
- ◆ выдача предупреждения об опасности оператору.