

# УСТРОЙСТВА

## Для мониторинга целостности цепи подстанционной батареи 220 В



**В. И. Гуревич,**  
кандидат технических наук

**Система питания постоянного тока подстанции, рис. 1, включающая основной и резервный трансформаторы собственных нужд, мощную батарею, зарядные устройства, шины постоянного тока и распределительный шкаф является важнейшей системой подстанции от исправности которой зависит надежность работы релейной защиты, систем автоматики, управления и связи. неполадки в этой системе могут привести даже к коллапсу энергосистемы.**

Современные зарядные устройства снабжены различными системами защиты и сигнализации об аварийных режимах, в то время как защита батареи сводится, обычно, к использованию предохранителя. Вместе с тем, всегда имеется опасность нарушения контакта между батареями и шинами постоянного тока; в перемычках, соединяющих между собой последовательно отдельные аккумуляторы в батарее; во внутренней структуре аккумулятора; при падении отдельных аккумуляторов во время землетря-

сения и т.д. Достаточно принять во внимание, что подстанционная батарея на номинальное напряжение 230 В состоит из 106 отдельных аккумуляторов, соединенных между собой последовательно с помощью более 200 перемычек и нарушение контакта в любом из этих элементов может привести к отказу всей батареи.

### Существующие методы контроля целостности цепи батареи

Компанией Bender выпускаются приборы, которые могут быть использованы для контроля уровня гармоник в сети постоянного тока. При исправной батарее, подключенной к шинам, уровень гармоник очень низок. Предполагалось, что при отключении батареи от шин уровень гармоник на шинах постоянного тока, генерируемых зарядным устройством, должен был резко возрасти, что должно было привести к срабатыванию контроллера Bender. В действительности же, современные зарядные устройства снабжаются фильтрующими конденсаторами суммарной емкостью 5 – 15 тысяч микрофарад на выходе, что обуславливает очень низкий уровень гармоник на шинах постоянного тока даже с отключенной батареей. Кроме того, количество гармоник, генерируемых зарядным устройством, сильно

зависит от его выходного тока, то есть внешней нагрузки на шинах. Все это делает мало пригодными для мониторинга целостности цепи постоянного тока приборов, контролирующих уровень гармоник.

Существует устройство для контроля целостности цепи батареи основанное на периодическом импульсном повышении напряжения на батарее и контроле импульсов тока, протекающего в эти моменты времени через батарею.

Другие источники описывают метод контроля целостности цепи батареи путем инъекции в эту цепь сигнала звуковой частоты и измерения падения напряжения на батарее на этой частоте.

Также предлагаются устройства для измерения импеданса батареи в качестве критерия для оценки целостности цепи. Существует мнение, что традиционные методы измерения импеданса батареи малоэффективны ввиду очень низкого значения этого импеданса у мощных батарей и, следовательно, и очень низкого уровня переменного напряжения которое необходимо измерять. Измерение низких уровней переменного напряжения в реальных условиях подстанций чаще всего проблематично. Тем не менее компания Areva (ранее Alstom) предлагает специальное устройство типа "Battery Alarm 300" пред-



**Рис. 1. Устройство типа ВА300 (Areva, ранее Alstom) для постоянного мониторинга импеданса и других параметров батареи.**

назначенное именно для измерения импеданса батареи, рис. 1. В этом устройстве параллельно батарее периодически подключается посредством полупроводникового ключа на короткое время (50 мкс) резистор, вызывающий протекание через него тока в 1 А. Этот ток вызывает небольшое уменьшение напряжения батареи, которое используется для вычисления импеданса батареи.

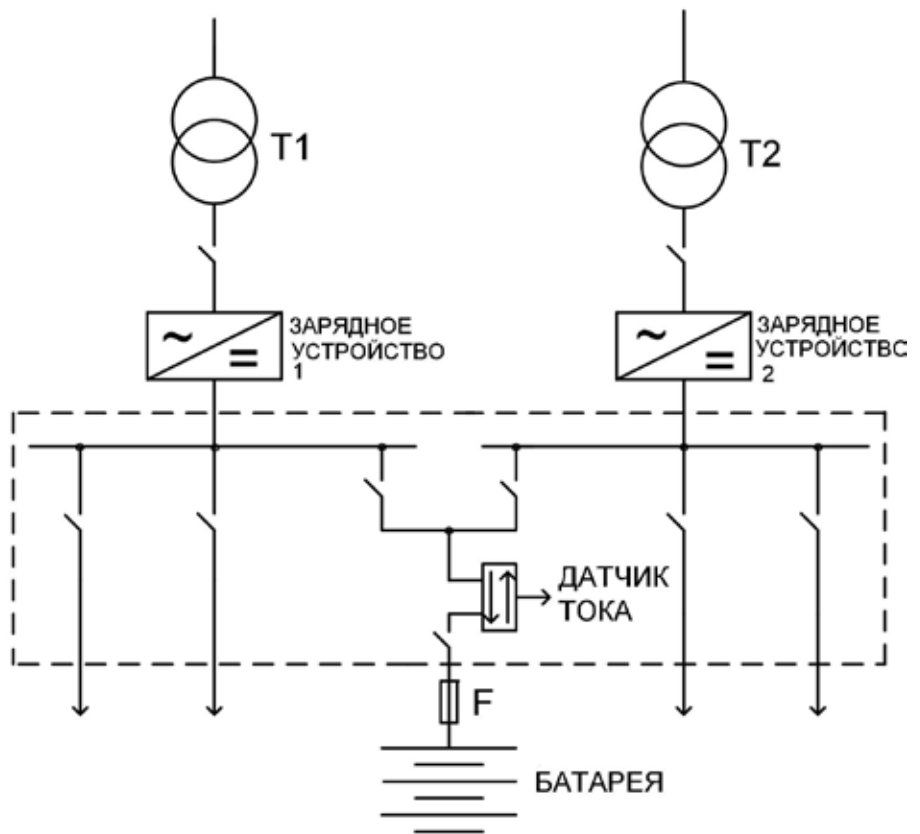
Поскольку параллельно батарее подключены зарядные устройства с фильтрующими конденсаторами большой емкости на выходе, то совершенно очевидно, что ток через измерительный резистор будет определяться не только батареей, но и разрядом этих фильтрующих конденсаторов. В связи с этим компания-производитель предлагает в выходную цепь каждого зарядного устройства последовательно с батареей включать дроссель, рассчитанный на полный ток этих зарядных устройств. Где потребителю взять такие дроссели, на ток, скажем, 100 А, и во сколько они обойдутся, компания-производитель умалчивает. Впрочем, и само это устройство стоит совсем немало (~ 750 EU). Справедливости ради следует отметить, что постоянный мониторинг импеданса батареи может выявить не только факт полного разрыва цепи батареи, но также и ухудшение общего состояния этой цепи еще до ее полного разрыва. Кроме того, устройство Battery Alarm 300 позволяет контролировать также дополнительные параметры батареи, такие, как ее

напряжение и сопротивление изоляции относительно земли. Однако, перед автором была поставлена конкретная задача, ограниченная только контролем целостности цепи батареи, при этом предлагаемое решение должно быть максимально простым, надежным и дешевым с тем, чтобы можно было использовать его в массовом количестве на

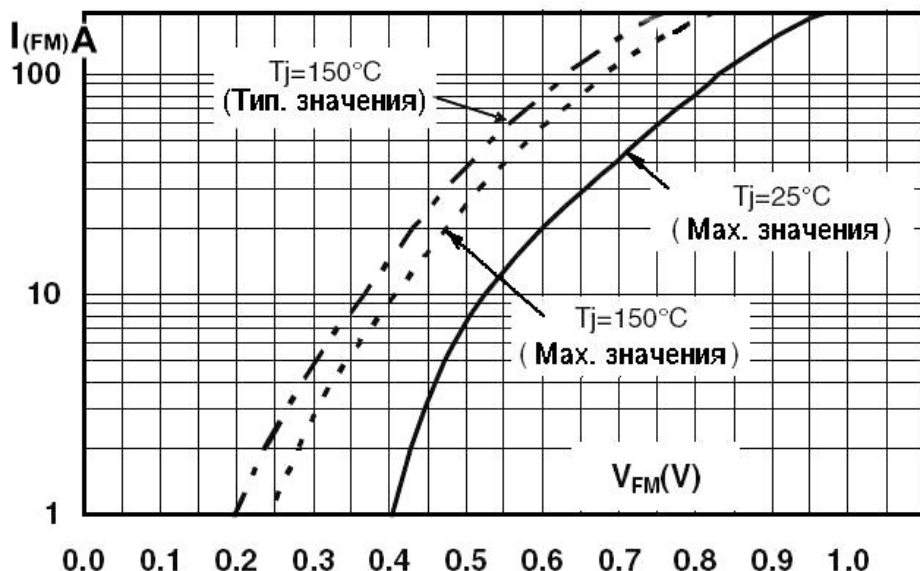
всех батареях, имеющихся в энергосистеме.

**Предлагаемый способ мониторинга целостности цепи батареи**

В связи со сложностью (а, стало быть, и дорогостоящей) известных методов контроля целостности цепи батареи, нами предложен иной метод контроля, основанный на измерении тока, постоянно протекающего в системе от батареи к шинам постоянного тока или от зарядных устройств к батарее, рис. 2, в исправной системе. Даже при полностью заряженной батарее аккумуляторов она продолжает постоянно потреблять от зарядного устройства небольшой ток в режиме постоянного подзаряда, величиной 0.5 – 3 А в зависимости от мощности батареи и состояния аккумуляторов. Поэтому, можно считать, что если ток в цепи батареи снижается до уровня менее 0.1 А то это однозначно свидетельствует об обрыве этой цепи. Осталось подобрать



**Рис. 2. Типовая однолинейная схема системы постоянного тока подстанции**



**Рис. 3. Зависимость падения напряжения на диодах Шоттки типа STPS200170TV1 от протекающего прямого тока для различных значений температуры перехода.**

контроллер, способный выдавать сигнал при снижении тока в контролируемой цепи ниже 100 мА. Проблема с подбором такого контроллера заключается в том, что во-первых, направление тока в контролируемой цепи может изменяться на противоположное, а во-вторых, изменение величины тока в контролируемой цепи происходит в очень широких пределах: от 0.1 до 100 А,

то есть в 1000 раз. Поэтому высокочувствительный контроллер должен быть надежно защищен от воздействия больших токов и должен контролировать ток обеих полярностей.

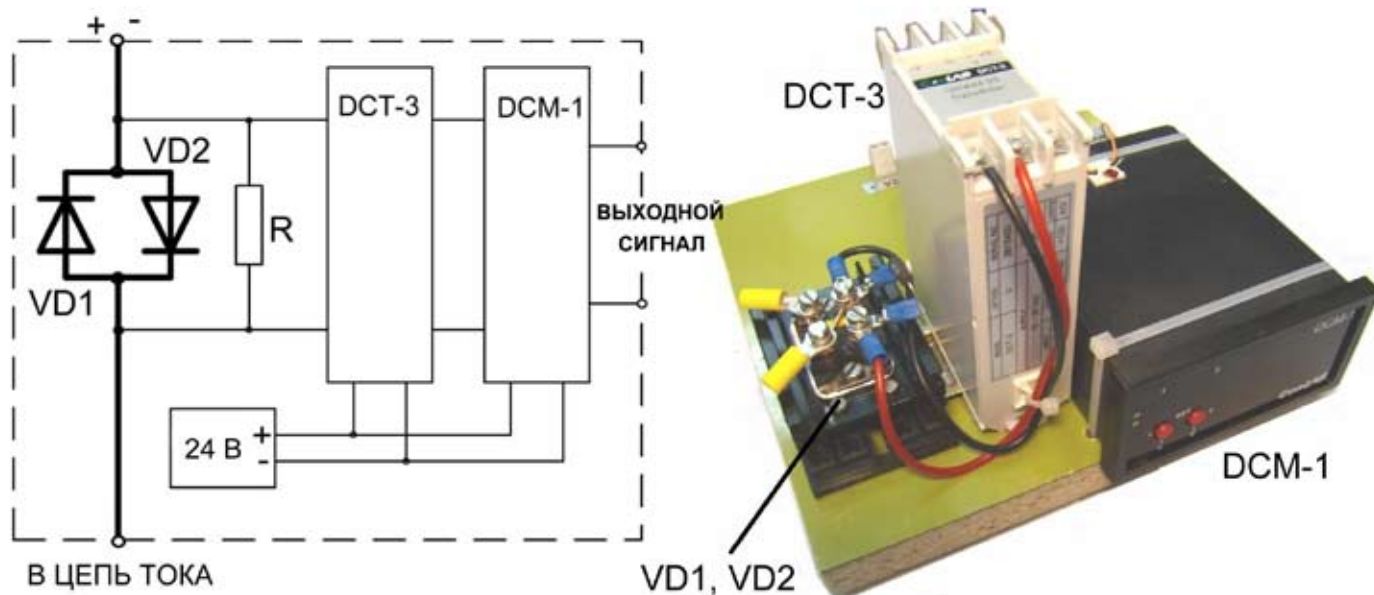
С учетом этих требований нами были собраны из различных блоков и испытаны несколько различных систем для контроля постоянного тока, протекающего в цепи батареи, основанные на разных принципах.

**Устройство для мониторинга цепи батареи на основе нелинейного шунта**

Использование нелинейного шунта позволяет существенно облегчить контроль тока, изменяющегося в широких пределах. В качестве такого шунта в устройстве были использованы два встречно включенных диода Шоттки. Прямое падение напряжения в проводящем состоянии на одном из этих диодов (в зависимости от полярности протекающего тока) изменяется в соответствии с кривой, приведенной на рис. 3.

Как можно видеть из этой кривой, благодаря нелинейной характеристике диодов, падение напряжения на них в прямом направлении изменяется в пределах от 0.2 до 0.65 В, то есть в три раза при изменении протекающего через них тока в 100 раз. Это свойство диодов обеспечивает защиту чувствительного контроллера при больших токах. Достаточно большое падение напряжения на диодах при малых токах снижает также требования к чувствительности контроллера.

Для опробования этой идеи был собран макет контроллера, рис. 2, на базе двух серийных устройств, производимых израильской компанией Conlab: DCT-3 и DCM-1.



**Рис. 4. Макет устройства для мониторинга целостности цепи подстанционной батареи, выполненное на базе электронного преобразователя DCT-3 и микроконтроллера DCM-1 компании Conlab (Израиль); VD1-VD2 – блок из двух встречно-параллельно включенных диодов Шоттки типа STPS200170TV1 (STmicroelectronics).**

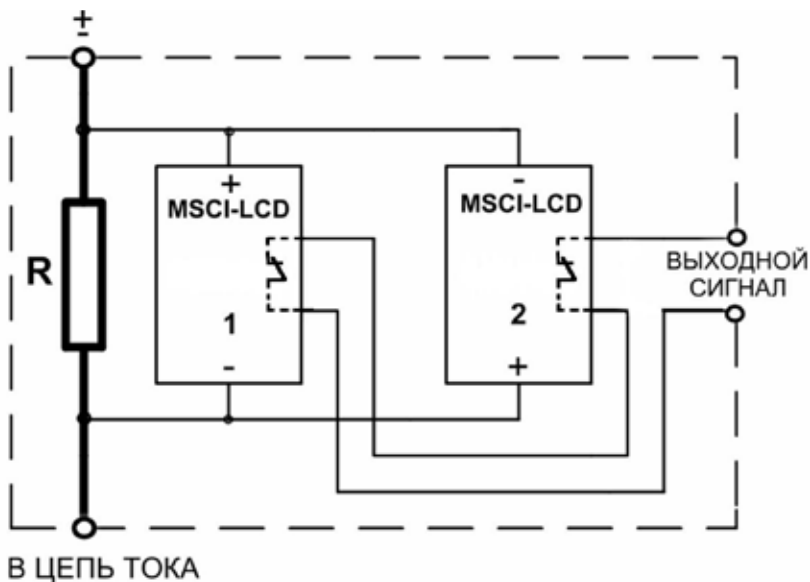


**Рис. 5. Макет устройства для мониторинга целостности цепи подстанционной батареи, выполненный на базе стандартного шунта и электронных преобразователей компании Conlab (Израиль); USD-2 – электронный преобразователь входного сигнала  $\pm 200$  мВ в выходной сигнал 4 – 20 мА; DCM-1 – микроконтроллер.**

Первое из них представляет собой изолирующий преобразователь входного сигнала, имеющий высоковольтную изоляцию входной цепи от выходной и преобразующий входное напряжение  $\pm 100$  мВ

в стандартный выходной сигнал 4 – 20 мА. Второе – собственно контроллер с двумя программируемыми релейными выходами, работающий с входным сигналом, изменяющимся в пределах 4 – 20 мА. В качестве

диодов Шоттки выбран блок типа STPS200170TV1, производимый компанией STmicroelectronics и состоящий из двух таких диодов. Экспериментальное исследование этой системы показало ее вполне удовлетворительную работоспособность. Срабатывание выходного реле происходило при уменьшении тока в контролируемой цепи до 50 – 60 мА (в обоих направлениях), а возврат в исходное состояние – при токах 130 – 140 мА. Наличие достаточно большого гистерезиса является в данном случае положительным свойством, повышающим устойчивость работы системы. Вместе с тем, обнаружился и существенный недостаток, связанный с нагревом диодов при больших токах. С небольшим радиатором, на котором был установлен блок диодов в эксперименте (рис. 4) температура диодов достигала, примерно 70°C при токе 25 А, протекающем в течение 15 – 20 минут.. Очевидно, что для работы при токах 100 А необходимо блок диодов устанавливать на крупный радиатор или использовать вентилятор для принудительного обдува радиатора. Еще один недостаток: необходимость в отдельном источнике питания 24 В для питания приборов DCT-3 и DCM-1. Стоимость такой системы составляет, примерно, 600 долларов США.



**Рис. 6. Устройство для мониторинга целостности цепи подстанционной батареи, выполненное на базе стандартного шунта на ток 100 А и двух универсальных микропроцессорных приборов с релейным выходом типа MSCI-LCD компании Megatron (Израиль).**

**Использование стандартного шунта в качестве датчика контроля тока**

При использовании стандартного линейного шунта, например, 100А/60 мВ или 100А/100 мВ и токе срабатывания контроллера 0.1 А, его чувствительность должна составлять 10 микровольт (в отличие от предыдущего случая, когда чувствительность контроллера составляла сотни милливольт. Далеко не каждый из имеющихся на рынке контроллеров обладает такой высокой чувствительностью.

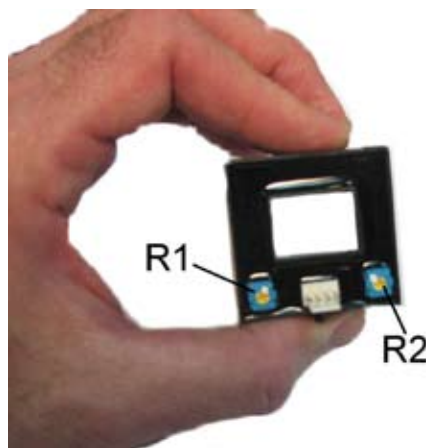
По нашей просьбе компания Conlab представила на испытания свое другое устройство (рис. 5), удовлетворяющее указанным выше требованиям и предназначенное для работы со стандартным шунтом. При испытаниях это устройство срабатывало при токах, протекающих через шунт, в пределах 60 – 80 мА и возвращалось в исходное состояние при токах 120 – 160 мА. Наличие некоторого гистерезиса следует считать положительным свойством этого устройства, повышающим устойчивость его работы. Недостатком этого устройства является необходимость наличия отдельного источника питания напряжением 24 В для питания электронных приборов USD-2 и DCM-1. Стоимость такой системы (без учета стоимости шунта) составляет, примерно, 600 долларов США.

Модифицированный по нашим требованиям серийный контроллер типа MSCI-LCD другой израильской компании Megatron оказался весьма удачным вариантом и показал очень надежную и устойчивую работу системы контроля тока, рис. 6. Этот контроллер практически не реагирует на переменную составляющую напряжения в его измерительной цепи и поэтому обладает хорошей помехоустойчивостью при высокой чувствительности, может питаться от сети 230 В. Недостатком контроллера этого типа является необходимость соблюдения полярности сигнала, подаваемого на измерительный вход. В модифицированном варианте контроллера данного типа измерительный вход защищен как от повышенного напряжения (речь идет о напряжениях в доли вольта), возникающего при протекании через шунт

больших токов, так и от напряжения обратной полярности. Единственной проблемой является необходимость использования двух идентичных контроллеров, подключенных противоположной полярностью к шунту для измерения токов, протекающих в обоих направлениях, и соединения нормально замкнутых контактов их выходных реле последовательно между собой. При этом выходной сигнал появится только в том случае, если в обоих направлениях ток будет ниже 0.1 А. С учетом относительно небольшой стоимости одного контроллера (около 130 долларов США), это не является принципиальным недостатком данного варианта системы, суммарная стоимость которого получается даже намного ниже, чем предыдущего варианта.

**Применение датчика Холла в системе контроля целостности цепи батареи**

Рассмотренные выше системы контроля батареи требуют включения дополнительных элементов (диодов, шунта) в рассечку кабеля, соединяющего батарею с шинами системы постоянного тока подстан-



**Рис. 7. Преобразователь Холла типа HAL 50-S со встроенным электронным усилителем для измерения постоянного тока. R1, R2 – элементы настройки усилителя.**

ции. Однако, возможен вариант, при котором нет необходимости рассекать этот провод и включать в цепь батареи дополнительные элементы. Этот вариант основан на использовании датчика Холла в форме

рамки, через которую пропущен кабель, отходящий от батареи. Некоторыми компаниями, например, CR Magnetics предлагаются реле постоянного тока со встроенным датчиком Холла в качестве чувствительного элемента. Однако, из полученного нами из компании ответа следует, что компания не может обеспечить протекание через ее реле тока, изменяющегося в пределах 0.1 – 100 А и срабатывание при токе ниже 0.1 А. В связи с этим, нами была предпринята попытка разработки реле тока собственной конструкции на базе отдельного преобразователя Холла типа HAL50-S (рис.7), производимого японским отделением компании LEM и рассчитанного на ток до 150 А и контроллера типа AM22D израильской компании Amdar Electronics & Controls.

Преобразователь Холла этого типа содержит встроенный электронный усилитель входного сигнала и выведенные наружу потенциометры для настройки. Благодаря чему выходной сигнал такого преобразователя составляет  $\pm 4$  В при токе  $\pm 50$  А. Ожидалось, что при таком мощном выходном сигнале при номинальном токе, сигнал достаточно высокого уровня будет и при токе 0.1 А. К сожалению, оказалось, что уровень выходного сигнала при полном отсутствии тока, а также его дрейф и нестабильность превышают уровень полезного сигнала при токе 0.1 А. В связи с чем нам не удалось получить с такого датчика четкого сигнала, приемлемого для использования в системе контроля целостности цепи батареи.

**Выводы**

На основе сравнительной оценки параметров и результатов испытаний рассмотренных выше вариантов систем для мониторинга целостности цепи подстанции батареи 220 В мы пришли к выводу, что наибольшей стабильностью, наибольшей надежностью и наименьшей стоимостью обладает система на основе стандартного шунта и двух модифицированных контроллеров типа MSCI-LCD компании Megatron. Именно такая система и рекомендуется нами для широкого использования на подстанциях и электростанциях. **Pro**