

С.В. КОМАРОВ, ведущий инженер, ИТСТ НАНУ (Украина),  
В.Э. ВОСКОБОЙНИК, канд. техн. наук, ст. научн. сотр., ИТСТ НАНУ (Украина),  
А.Н. ЗАЙЦЕВ, ведущий инженер, ИТСТ НАНУ (Украина),  
В.Ф. НОВИКОВ, мл. научн. сотр., ИТСТ НАНУ (Украина)

## РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АККУМУЛЯТОРОВ

Зроблено стенд контролю і діагностики технічного стану акумулятора. Визначено методи вимірювання характеристик акумуляторів. Рекомендовано метод контролю, що не руйнує, при якому характеристик акумуляторів вимірюються на змінному струмі. Пропонуються режими роботи стенда для відновлення технічного стану акумуляторів шляхом десульфатаційного заряду з наступним циклюванням для свинцево-кислотних акумуляторів і режими глибокого розряду для усунення ефекту пам'яті в нікель-кадмієвих акумуляторів.

Разработан стенд контроля и диагностики технического состояния аккумулятора. Определены методы измерения характеристик аккумуляторов. Рекомендован метод неразрушающего контроля, при котором характеристик аккумуляторов измеряются на переменном токе. Предлагаются режимы работы стенда для восстановления технического состояния аккумуляторов путем десульфатационного заряда с последующим циклированием для свинцово-кислотных аккумуляторов и режимы глубокого разряда для устранения эффекта памяти у никель-кадмиевых аккумуляторов.

The stand of the check and diagnostic of a technical state of accumulators designed. Methods of measuring of performances of accumulators are spotted. The method of the non-destructive check at which performances of accumulators are measured on an alternating current is recommended. Duties of the stand recovery of a technical state of accumulators are offered by a desulphation charge with the subsequent cycling for lead-acid accumulators and regimes of penetrating discharge for elimination of a memory effect at nickel - cadmium accumulators.

Высокоскоростной наземный транспорт (ВСНТ) предъявляет повышенные требования к надежности всей системы в целом и к источникам резервного питания в частности. Для безопасности движения ВСНТ актуальным является вопрос автономного энергообеспечения. Данная ситуация возникает в системах с внешним энергоподводом в аварийных режимах, а в системах без внешнего энергоподвода – и в рабочих режимах.

В качестве источников энергии для систем резервного питания используются аккумуляторные батареи. Для обеспечения лучших показателей отношения запасенной энергии аккумуляторов к массе необходимо своевременное тестирование и проверка остаточной емкости.

По существующим нормам [1] основными критериями технического состояния аккумуляторной батареи являются её фактическая ёмкость и величина снижения напряжения на элементе аккумуляторной батареи при протекании толчковых токов. Проблема заключается в том, что измерение ёмкости аккумуляторной батареи требует больших затрат времени. Ёмкость аккумуляторной батареи связана с её внутренним сопротивлением и, получив опыт-

ным путём значение внутреннего сопротивления, можно оценить и ёмкость батареи [2].

Для определения внутреннего сопротивления элемента или батареи можно воспользоваться способом, заключающимся в измерении характеристик на переменном токе. Так как многие реакции на электродах обратимы, можно считать, что при измерениях на переменном токе химические реакции не происходят, и импеданс соответствует внутреннему сопротивлению [3]. Измерения на переменном токе можно сочетать с измерениями на постоянном токе.

Существует ряд приборов для диагностики аккумуляторов, разработанных ведущими фирмами промышленно развитых стран: Cadex, Motorola, Vencon, Midtronics и др. Каждый из этих приборов обладает своими преимуществами, но все они предназначены для диагностики определенных типов аккумуляторов либо работают в очень узких диапазонах параметров аккумуляторов и характеризуются высокой стоимостью. Приборы, которые производят измерение полной емкости аккумулятора путем разряда его стабилизированным током до конечного допустимого напряжения, позволяют наиболее точно произвести измерение емкости.

Однако такой метод требует больших затрат времени, и, кроме того, глубокий разряд опасен для свинцово-кислотных аккумуляторов. Приемлемым является метод неразрушающего контроля, при котором емкость аккумулятора определяется за короткое время. Суть метода заключается в измерении характеристик на переменном токе. Метод дает большую погрешность, чем непрерывный, однако значительный выигрыш во времени является определяющим преимуществом. Поэтому для диагностики, контроля и профилактического обслуживания аккумуляторных батарей необходим универсальный стенд, который позволяет производить полное и быстрое измерение основных параметров аккумуляторов, и восстанавливать емкость аккумуляторов путем устранения таких явлений как сульфатация или “эффект памяти”. Создание универсального стенда позволяет проводить диагностику и обслуживание разных типов аккумуляторов как никель-кадмиевых, свинцово-кислотных и других, с обслуживанием как отдельных элементов, так и аккумуляторных батарей с различным рабочим напряжением. Разработанный стенд имеет блочную структуру и состоит из отдельных функционально законченных модулей.

Предлагаемый стенд будет измерять следующие основные параметры аккумулятора:

- ток заряда;
- ток разряда;
- напряжение заряда;
- напряжение разряда;
- температуру аккумулятора.

На основании измерения основных параметров производится расчет следующих характеристик аккумуляторов:

- внутреннее сопротивление на переменном токе;
- фактическую емкость аккумулятора;
- ЭДС аккумулятора;
- внутреннее сопротивление аккумулятора на постоянном токе;
- вольт-амперные характеристики.

Структурная схема стенда приведена на рис. 1.

Стенд состоит из следующих блоков:

- блок датчиков сбора информации о состоянии аккумулятора;
- устройство сбора и обработки информации;
- блок индикации;
- зарядное устройство;
- разрядное устройство;
- генератор переменного тока.

Блок датчиков сбора информации состоит из следующих датчиков:

- датчик напряжения;
- датчик тока;
- датчик температуры;
- датчик переменного тока;
- датчик переменного напряжения.

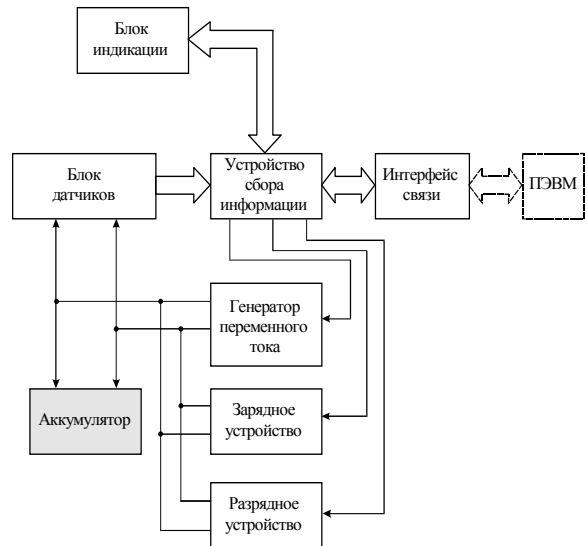


Рис. 1. Структурная схема стенда

Блок датчиков – это выносной модуль, который крепится на аккумуляторе. Силовые цепи соединяют блок датчиков с зарядным устройством, разрядным устройством и генератором переменного тока. Сигнальные цепи соединяют блок датчиков с устройством сбора информации.

Устройство сбора и обработки информации представляет собой комплекс аппаратных и программных модулей, которые позволяют обрабатывать, анализировать и сохранять информацию, полученную от датчиков.

Аппаратная часть устройства состоит из следующих модулей:

- модуль обработки сигналов (АЦП);
- модуль хранения информации;
- модуль связи с ЭВМ.

Программная часть устройства состоит из программных модулей:

- программы измерения и преобразования входных величин;
- программы обслуживания, чтения и записи в устройства хранения;
- программы двунаправленной связи приема и передачи данных;
- программы синхронизации работы аппаратных модулей.

Модуль обработки сигналов предназначен для измерения входных аналоговых сигналов,

поступающих из блока датчиков сбора информации, посредством аналогово-цифровых преобразований (АЦП). Для выполнения операций АЦП используется модуль, интегрированный в микроконтроллер PIC12F675 [4].

Данный микроконтроллер характеризуется высоким быстродействием (частота тактового сигнала составляет 20 МГц). Входной аналоговый сигнал через коммутатор каналов заряжает внутренний конденсатор АЦП. Модуль АЦП преобразует напряжение, удерживаемое на конденсаторе, в 10-разрядный цифровой код методом последовательного приближения. Уровень входного сигнала не должен превышать 5 В (напряжения питания). Источником опорного напряжения может быть напряжение питания  $V_{DD}$  либо напряжение внешнего источника  $V_{REF}$ .

Для обеспечения точности преобразования стабилизируется источник опорного напряжения с помощью микросхемы серии Low Drop. Микросхема источника опорного напряжения MCP1541 фирмы MICROCHIP обеспечивает выходное напряжение 4.096 В с максимальной погрешностью  $\pm 1\%$ .

Поскольку в микроконтроллерах имеется всего один модуль АЦП, то для обеспечения одновременного измерения тока, напряжения и температуры необходимо три микроконтроллера с внешней синхронизацией работы программ.

Модуль хранения информации предназначен для промежуточного хранения данных, принятых от модуля обработки сигналов.

Основу модуля хранения информации составляет ППЗУ, собранное из микросхем памяти 93-й серии фирмы Microchip [5]. Для обмена информацией между микропроцессором и внешней памятью используется интерфейс SPI – полнодуплексный скоростной синхронный трёхпроводной интерфейс.

Данные, полученные с помощью модуля обработки сигналов, поступают на входные линии линейки микросхем памяти. Выбор конкретного устройства памяти осуществляется подачей сигнала на вход селекции. Работа модуля хранения информации синхронизирована подачей внешнего тактового сигнала от модуля связи с ЭВМ. Тактовый сигнал подается на вход синхронизации.

Данные, полученные от модуля обработки сигналов, могут храниться в блоке памяти сколько угодно долго. Когда возникает необходимость пересылки данных на периферию, например, в ЭВМ, то задействуется модуль связи с ЭВМ. Основу этого модуля составляет центральный процессор средней степени интеграции PIC16F877

[6]. Данный процессор содержит узлы, реализованные аппаратно, и позволяет упростить программные коды.

В устройстве задействованы периферийные узлы:

- последовательный синхронный порт MSSP в режиме SPI;
- последовательный синхронно-асинхронный приемопередатчик USART с поддержкой детектирования адреса.

Кроме этого, данный процессор содержит 33 линии ввода-вывода, что позволяет минимизировать количество дополнительных элементов в устройстве. Для стабильности работы всего устройства и при проведении операций аналогово-цифрового преобразования необходимо обеспечить стабильность частоты тактового сигнала микроконтроллера. Для обеспечения корректной работы центрального процессора применен контроллер питания и запуска – супервизор на микросхеме MCP100 фирмы MICROCHIP.

Центральный процессор осуществляет управление и синхронизирует работу остальных модулей устройства. С помощью линий ввода-вывода реализована система внешних прерываний для синхронизации работы модулей. Линии ввода-вывода осуществляют выбор микросхем памяти в модуле хранения информации.

Модуль синхронного порта MSSP работает в режиме SPI и осуществляет управление и обмен данными с модулем хранения информации. Благодаря аппаратной реализации трехпроводного промышленного интерфейса SPI достигается максимальная производительность при обмене информацией между периферийными модулями.

USART – это модуль последовательного ввода/вывода, который работает в полнодуплексном асинхронном режиме для связи с ЭВМ. Модуль может работать в трех режимах:

- асинхронный, полный дуплекс;
- ведущий синхронный, полудуплекс;
- ведомый синхронный, полудуплекс.

Модуль USART поддерживает режим детектирования 9-разрядного адреса для работы в сетевом режиме. Для адаптации уровней сигнала на выходе последовательного порта ЭВМ и уровней сигнала на выходе модуля USART используется интерфейс связи RS-232. Основу данного интерфейса составляют две микросхемы MAX202 фирмы Maxim. Интерфейс преобразовывает двухполярные выходные сигналы порта ЭВМ в однополярные сигналы TTL уровня, а сигналы, поступающие от модуля USART, преобразовываются в двухполярные сигналы для последовательного порта ЭВМ.

Программные модули устройства обеспечивают функционирование аппаратных модулей в соответствии с разработанными алгоритмами.

Разработана виртуальная модель блока сбора информации, которая исследуется в программном пакете MPLAB 6.3. Модель позволяет исследовать работу периферийных модулей устройства и отслеживать ход выполнения разработанных программ. Исследование алгоритмов работы виртуальной модели осуществляется в программе MPLAB SIM. Программа позволяет в пошаговом режиме отлаживать программные коды микропроцессора. Точки останова исполнения программного кода позволяют в масштабе реального времени отслеживать ход выполнения программы, а окно состояния регистров процессора показывает, какая информация хранится в рабочих регистрах. При этом архитектура модели блока сбора информации может быть модифицирована изменением файла конфигурации.

Программа измерения и преобразования входных величин инициализирует модуль обработки сигналов. При этом осуществляется настройка линий ввода-вывода в микроконтроллерах PIC12F675 путем записи информации в служебные регистры. Затем происходит настройка модуля АЦП. Настраиваются регистры конфигурации, осуществляется выбор частоты квантования модуля АЦП, выбирается внешний источник опорного напряжения. По завершении процесса инициализации модуль обработки сигналов выдает сигнал готовности на центральный процессор. После этого модуль обработки сигналов переходит в режим ожидания и готов начать измерения и преобразования. При получении команды от центрального процессора происходит старт измерения и преобразования входных сигналов. Полученный результат сохраняется в спаренных регистрах результата. По завершении процесса преобразования выдается сигнал готовности для модуля хранения, и устройство переходит в режим ожидания.

Модуль хранения информации в соответствии с программой обслуживания, чтения и записи в устройство хранения принимает данные из модуля обработки сигналов. Вначале происходит переинициализация процессоров PIC12F675. Настраивается трехпроводный промышленный SPI интерфейс. Настраивается регистр конфигурации, устанавливая соответствующие линии порта на вывод. Назначаются регистры для временного хранения служебной информации. По команде, поступившей из центрального процессора, происходит процесс пересылки данных АЦП в ячейки памяти модуля хранения информации. По за-

полнении всего массива памяти происходит посылка сигнала на центральный процессор, и модуль хранения информации переходит в режим ожидания. Далее происходит перенастройка процессоров PIC12F675 для работы в режиме приема и обработки входных сигналов. В центральном процессоре осуществляется настройка и инициализация аппаратного модуля SPI для приема данных из модуля хранения информации. По запросу, поступающему из центрального процессора, осуществляется передача и обработка данных из модуля хранения информации. После отправки данных модуль хранения информации выдает сигнал готовности и переходит в режим ожидания.

В программе двунаправленной связи приема и передачи данных происходит инициализация и выбор режимов работы модуля USART. Затем модуль переходит в режим ожидания запроса из ЭВМ. После анализа поступивших данных из ЭВМ производится выбор режимов работы устройства сбора информации. Далее по запросу управляющей программы происходит передача сохраненных данных из модуля хранения информации в ЭВМ. По завершении передачи данных модуль связи выдает сигнал готовности и переходит в режим ожидания запроса от ЭВМ.

В программе синхронизации работы аппаратных модулей происходит инициализация центрального процессора. Осуществляется настройка периферийных модулей процессора. Происходит опрос состояния готовности других модулей устройства сбора информации, выбирается режим работы периферийных модулей. Центральный процессор выдает синхронизированный тактовый сигнал, необходимый для работы микропроцессоров в модуле обработки сигналов и в блоке хранения информации. После опроса периферийных модулей и выполнения необходимых процедур центральный процессор переходит в режим ожидания запросов. При поступлении соответствующих запросов из периферийных модулей центральный процессор координирует работу устройства в соответствии с разработанными алгоритмами функционирования.

Для управления зарядным и разрядным устройствами центральный процессор выдает аналоговые сигналы заданий на ток заряда или ток разряда. Цифро-аналоговое преобразование реализовано программными методами, разрядность преобразования составляет 8-бит. Коды заданий центральный процессор получает из ПЭВМ через интерфейс связи.

Зарядное устройство обеспечивает необходимый режим заряда для всей линейки тестируемых аккумуляторов от 9 до 210 А·ч.

Задание зарядного тока в аналоговой форме и выбор режима заряда подается от блока сбора информации. Для стабилизации зарядного тока применена широтно-импульсная модуляция ШИМ с обратными связями по току и по напряжению, а использование MOSFET ключей обеспечивает требуемое быстродействие силовой части блока и высокий КПД. Зарядное устройство обеспечивает три метода заряда:

- заряд стабилизированным током (напряжение варьируется);
- заряд стабилизированным напряжением (ток варьируется);
- заряд комбинированным методом (сначала заряд стабилизированным током, а по достижении определенного уровня напряжения - заряд стабилизированным напряжением).

Для модернизации зарядного блока предусмотрен заряд аккумуляторов импульсным током (импульс зарядного тока – пауза – импульс разрядного тока – пауза), что позволяет проводить профилактику сульфатации аккумуляторов.

Разрядное устройство обеспечивает требуемые режимы разряда для всех типов аккумуляторов от 9 до 210 А·ч, а также режим стартерных токов. Разряд осуществляется на активную нагрузку. Для стабилизации режимов разряда применена ШИМ с обратной связью по току. Разрядное устройство выполнено по модульной схеме, что позволяет наращивать верхний предел разрядного тока простым добавлением однотипных секций. А использование принудительной вентиляции позволяет минимизировать массогабаритные показатели этого блока. Предусмотрен режим работы разрядного устройства, при котором устраняется эффект памяти у никель-кадмиевых аккумуляторов (разряд номинальным током до 1 В на элемент, затем разряд малым током в течение 10 ч до напряжения 0.4 В на элемент).

Генератор переменного тока собран по мостовой схеме. Для формирования гармонических колебаний используется ШИМ с обратной связью по напряжению. В разрабатываемом стенде предполагается производить измерения внутреннего сопротивления аккумулятора на следующих частотах: 10, 50, 100, 400 и 1000 Гц, что позволит более точно определять активную и реактивную составляющие внутреннего сопротивления и фактическую ёмкость аккумулятора.

В зависимости от того, что тестируется, аккумулятор либо аккумуляторная батарея, выбирается архитектура разрядного блока, выбираются

коэффициенты передачи для входных цепей стенда. Предусматривается возможность сохранения результатов диагностики на энергонезависимый накопитель информации и вывод результатов на устройство отображения информации. В качестве устройства отображения информации предполагается использовать матрицу из семи-сегментных светодиодных индикаторов.

В соответствии с общими требованиями к системам сбора и обработки информации необходим вывод результатов тестирования аккумуляторов на принтер, запись в ПЭВМ и создание собственных баз данных, полученных при диагностике аккумуляторов. Для этого создается модуль сопряжения и разрабатывается соответствующее программное обеспечение.

### Выводы

1. Структура стенда диагностики содержит силовые блоки: зарядный, разрядный и генератор переменного тока; сигнальные блоки: датчики, устройство сбора и обработки информации, вывод информации на принтер, ПЭВМ и индикацию.
2. Основными параметрами, которые измеряются на стенде, являются фактическая емкость и внутреннее сопротивление.
3. Стенд обеспечивает требуемые режимы заряда, разряда и восстановления емкости аккумуляторов.
4. Микропроцессорная основа стенда позволяет гибко изменять структуру в зависимости от типов и видов тестируемых аккумуляторов.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сборник методических пособий по контролю состояния электрооборудования / Под ред. Ф.Л. Когана. – М.: ЗАО «Энергосервис», 2001. – 496 с.
2. Гусев Ю.П., Поляков А.М. Электрофизические процессы в аккумуляторах электростанций при коротких замыканиях. – Известия РАН. Энергетика. – 2001. – № 4. – С. 99-105.
3. Диагностика электроустановок оперативного постоянного тока на подстанциях ОАО «Мосэнерго» / В.В. Балашов, Ю.П. Гусев, А.М. Поляков и др. – Электрические станции. – 2000. – № 8. – С.39-46.
4. Однокристалльные 8-разрядные FLASH CMOS микроконтроллеры компании Microchip Technology Incorporated PIC12F629 PIC12F675.
5. Документация фирмы Microchip. <http://www.microchip.com/download/lit/pline/memorg/arc/21712a.pdf>.
6. Однокристалльные 8-разрядные FLASH CMOS микроконтроллеры компании Microchip Technology Incorporated PIC16F873 PIC16F877.