

ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА ГРУППОЙ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

Д.С. Ольшанский

*Кафедра «Конструирование радиоэлектронных и
микропроцессорных систем», ГОУ ВПО «ТГТУ»; odimok@mail.ru*

Представлена членом редколлегии профессором Ю.Л. Муромцевым

Ключевые слова и фразы: аккумуляторная батарея; информационно-управляющая система; оптимальное управление.

Аннотация: Рассматриваются аспекты реализации методов оптимального управления в информационно-управляющей системе группой аккумуляторных батарей.

Последствием массового внедрения современных мобильных технологий и бурного развития электрического транспорта является повышенный спрос на автономные многоразовые электрохимические источники тока – аккумуляторные батареи (АКБ) [1–2]. Многие электротехнические устройства, имеющие в качестве источника энергии АКБ, являются относительно экологически чистыми и массово применяются в закрытых помещениях и местах большого скопления людей (грузовые порты, вокзалы, склады). Существует множество типов АКБ, различающихся как по технологии изготовления и принципу действия (свинцово-кислотные, щелочные, никель-металлогидридные, литиево-ионные и пр.), так и по области применения (стационарные, портативные, стартерные, тяговые и др.). Все типы АКБ имеют различные эксплуатационные характеристики и для рационального использования требуют индивидуального подхода в обслуживании.

В силу технических особенностей и принципа действия значительной частью рабочего цикла АКБ является процесс накопления энергии – заряд. Процесс заряда отдельно взятой АКБ представляет собой сложный электрохимический процесс, от которого зависит эффективность использования ее ресурсов и срок службы. Выбор стратегии заряда и расчет параметров управления являются важнейшими задачами для эффективной эксплуатации АКБ [3].

Рассмотрим вышеуказанные задачи на примере свинцово-кислотных АКБ. Они являются самыми распространенными на сегодняшний день, имеют сравнительно невысокую стоимость, просты в эксплуатации и имеют хорошие вольтамперные характеристики. Свинцово-кислотные АКБ классифицируют по технологии изготовления (гелевые, малосурьмянистые, рулонные и т.д.) и по области применения (стартерные, тяговые, стационарные).

Важным резервом повышения эффективности использования АКБ является применение информационно-управляющей системы (ИУС). Данная система осуществляет управление группой АКБ, ведет планирование работы, основываясь на рациональном использовании имеющихся ресурсов, оптимизирует рабочий цикл каждой АКБ с учетом индивидуальных данных и применением методов оптимального управления [4, 5]. Важнейшей задачей по обслуживанию группы АКБ и организации рабочего времени является управление процессом заряда АКБ.

Таблица 1

Стратегии заряда АКБ

Стратегия заряда	Реализация управления	Достоинства	Недостатки
Заряд с постоянным током ($i = \text{const}$)	Стабилизация тока i	Простота реализации, низкая стоимость	Гидролиз воды из электролита, ускоренный износ
Заряд с постоянным напряжением ($u = \text{const}$)	Стабилизация напряжения u	Простота реализации, низкая стоимость, высокая скорость заряда	Перегрев АКБ, ускоренный износ
Двухфазный заряд ($i = \text{const}, u = \text{const}$)	Стабилизация тока i и напряжения u	Увеличение срока службы, высокая скорость заряда	Сложная аппаратная реализация
Двухфазный оптимальный заряд ($i^*(t), u^*(t)$)	Расчет оптимального управления с учетом обратной связи, регулировка тока и напряжения в реальном времени	Эффективное использование ресурсов АКБ, увеличение срока службы, малые энергопотери	Сложная аппаратная и программная реализация, высокая стоимость

В настоящее время существуют различные стратегии заряда свинцово-кислотных АКБ, имеющие как достоинства, так и недостатки (табл. 1) [3]. Каждая из стратегий обладает определенными преимуществами и использует различные методы управления. Для решения задачи оптимального управления зарядкой АКБ могут использоваться различные минимизируемые или максимизируемые функционалы, такие как время заряда, затрата энергии или срок службы АКБ. В различных ситуациях и на разных этапах процесса заряда для достижения требуемой цели целесообразно применение наиболее подходящей стратегии управления. Таким образом, имея в составе базу знаний (**БЗ**) и программно-технические средства для контроля состояния АКБ, ИУС производит идентификацию, выбирает наилучшую стратегию и рассчитывает оптимальное управление зарядом, удовлетворяющее заданному функционалу.

Структурная схема ИУС показана на рис. 1. ИУС состоит из информационно-вычислительного устройства (**ИВУ**), соединенного по локальной сети с несколькими управляющими устройствами (**УУ**), каждое из которых может поочередно работать с одним объектом управления (**ОУ**). ИВУ построено на базе персонального компьютера (**ПК**), оснащенного блоком сетевого интерфейса (**БСИ**). Программное обеспечение ПК включает в себя модуль принятия решений (**МПР**), интерфейс ввода-вывода данных (**ИВВД**), БЗ и модуль генерации заданий (**МГЗ**). Каждое УУ состоит из микроконтроллера (**МК**), датчика напряжения (**ДН**), датчика тока (**ДТ**), рекуперативного силового преобразователя (**РСП**), регулятора тока и напряжения (**РТиН**) и БСИ. Объектом управления является АКБ, оснащенная электронным модулем для контроля и передачи в ИВУ данных о состоянии (емкости батареи и условиях эксплуатации). ОУ с порядковыми номерами от 1 до k находятся в режиме накопления энергии и подключены к соответствующим УУ.

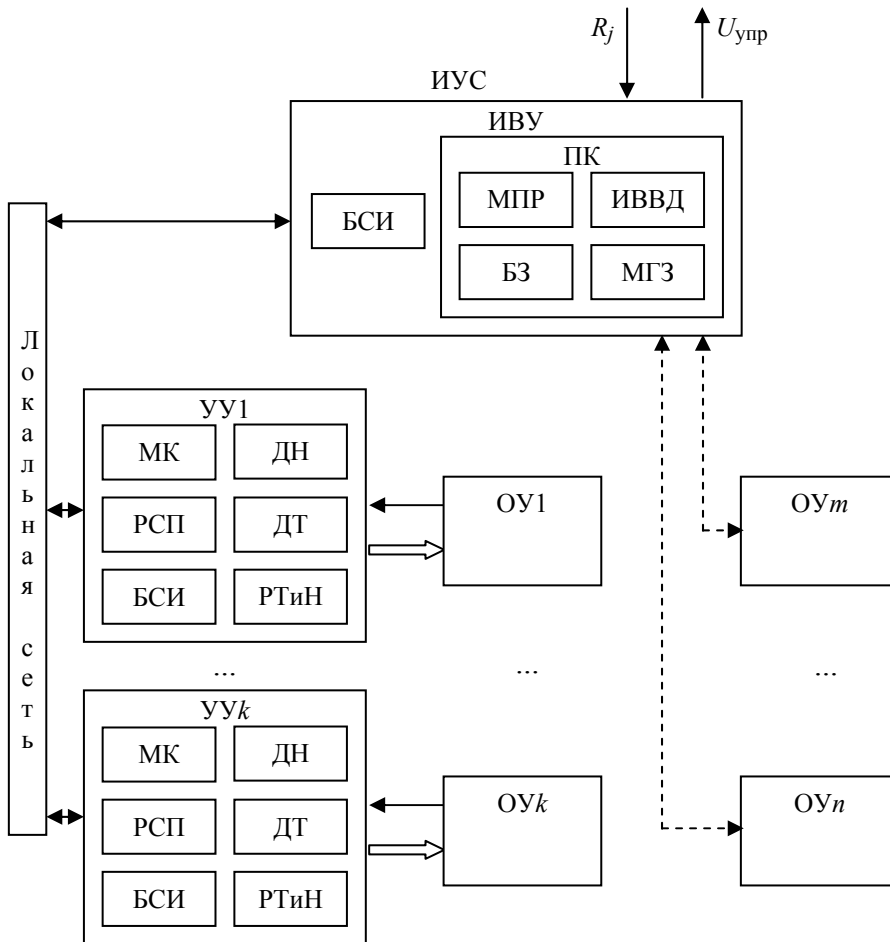


Рис. 1. Структурная схема ИУС

ОУ с номерами от m до n находятся в режиме разряда или хранения и имеют только информационный канал связи с ИВУ. На вход ИУС подаются массивы исходных данных R_j , необходимые для расчета управления. Выходными данными являются технические и временные данные выполняемых заданий $U_{упр}$.

Наиболее сложной из приведенных в табл. 1 стратегий заряда АКБ является двухфазный оптимальный заряд. Траектория управляющего воздействия в данном случае рассчитывается с применением методов оптимального управления динамическими процессами [4, 5].

В общем виде задача оптимального управления процессом заряда с минимумом затрат энергии формулируется следующим образом. Задается модель динамики объекта управления с разрывной правой частью

$$\dot{z}_j = \begin{cases} a_j z_j(t) + b_j v_{1j}(t), & t \in [t_0, t_{п}), j = \overline{1, n}, \\ a_j z_j(t) + b_j v_{2j}(t), & t \in [t_{п}, t_{к}], j = \overline{1, n}, \end{cases} \quad (1)$$

ограничения на изменения фазовых координат:

$$z_j(t_{0j}) = z_{0j}, z_j(t_{kj}) = z_{kj}; \quad (2)$$

$$z_j(\cdot) = (z_j(t), t \in [t_{0j}, t_{kj}]) \in Z_j(\cdot); \quad (3)$$

ограничение на управление

$$v_{1j}(t) \in [i_{nj}, i_{vj}], \quad v_{2j}(t) \in [u_{nj}, u_{vj}] \quad (4)$$

и температурный режим АКБ

$$T_j(v_{1j}(\cdot) + v_{2j}(\cdot)) \leq T_{\max j}; \quad (5)$$

минимизируемый функционал

$$I = \sum_{j=1}^n \left(c_{1j} \int_{t_{0j}}^{t_{nj}} v_{1j}^2(t) dt + c_{2j} \int_{t_{nj}}^{t_{kj}} v_{2j}^2(t) dt \right) \rightarrow \min, \quad (6)$$

где a_j, b_j – параметры модели, зависящие от состояния объекта (степень износа и внутреннее сопротивление); z_j – фазовая координата (емкость АКБ в ампер-часах); z_{0j}, z_{kj} – начальное и конечное значение z_j ; v_{1j}, v_{2j} – составляющие вектора управления, соответственно ток и напряжение; c_{1j}, c_{2j} – весовые коэффициенты; t_{0j}, t_{nj}, t_{kj} – начальное, промежуточное и конечное значения временного интервала; $Z_j(\cdot)$ – допустимая область изменения траекторий фазовых координат; u_{nj}, u_{vj} – нижняя и верхняя граница изменения напряжения; i_{nj}, i_{vj} – нижняя и верхняя граница изменения тока.

Требуется для задаваемых массивов исходных данных

$$R_j = (a_j, b_j, u_{nj}, u_{vj}, i_{nj}, i_{vj}, z_{0j}, z_{kj}, t_{0j}, t_{nj}, t_{kj}, T_{\max j}), \quad j = \overline{1, n} \quad (7)$$

определять такие оптимальные управления $v_{1j}^*(t)$ и $v_{2j}^*(t)$, которые при выполнении ограничений (2) – (5) доставляют минимум функционалу (6).

Для решения задачи оптимального управления, в зависимости от обстоятельств, возможно применение программной или позиционной стратегии реализации управления [4]. При применении программной стратегии решение данной задачи сводится к определению программы оптимального управления для каждой фазы:

$$v_{1j}^*(\cdot) = (v_{1j}^*(t), t \in [t_{0j}, t_{nj}]), \quad v_{2j}^*(\cdot) = (v_{2j}^*(t), t \in [t_{nj}, t_{kj}]). \quad (8)$$

Данная программа рассчитывается предварительно и остается неизменной на протяжении всего процесса заряда. Применение позиционной стратегии позволяет реализовать обратную связь с объектом управления, то есть в каждый момент времени t учитывается текущее значение фазовой координаты z_j и «оставшееся» время. Задача сводится к нахождению синтезирующих функций для расчета оптимального управления

$$v_{1j}^*(t) = s_{1j}(z_j(t), t_{nj} - t), \quad v_{2j}^*(t) = s_{2j}(z_j(t), t_{kj} - t_{nj} - t). \quad (9)$$

Пример реализации позиционной стратегии двухфазного оптимального управления зарядом показан на рис. 2.

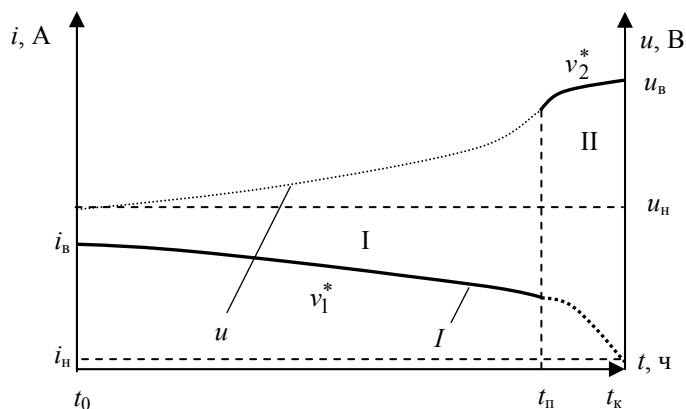


Рис. 2. Двухфазное управление зарядом АКБ:

v_1^* – оптимальное управление по току; v_2^* – оптимальное управление по напряжению;
 $u_н, u_в$ – нижнее и верхнее значения напряжения АКБ соответственно; $i_н, i_в$ – нижнее и
верхнее значения тока соответственно; $t_0, t_п, t_к$ – начальное,
промежуточное и конечное время соответственно

Одним из параметров модели, зависящих от состояния объекта, является степень износа (сульфатация и разрушение обкладок пластин) [2, 3]. Данный параметр меняется на протяжении всего жизненного цикла АКБ, но остается постоянным в течение одного рабочего цикла. Он зависит от множества факторов и не может быть измерен единожды с требуемой точностью. Для расчета степени износа АКБ необходимо вести историю ее рабочих циклов и учитывать возможные нарушения правил эксплуатации и дестабилизирующие факторы, такие как замена ячеек АКБ, испарение воды из электролита и пр.

В ходе практических исследований было разработано и спроектировано импульсное зарядное устройство, реализующее необходимые для оптимального управления режимы заряда АКБ и имеющее более высокий КПД (до 95 %) в отличие от применяемых на сегодняшний день (75...80 %). Теоретические расчеты и практические эксперименты показали возможность достижения экономии электроэнергии от 15 до 25 % и увеличение срока службы АКБ на 50...100 %. Учитывая стоимость АКБ и электроэнергии, полученная экономия позволит окупить внедрение ИУС в среднем за 1–1,5 года.

Список литературы

1. Хрусталеv, Д.А. Аккумуляторы / Д.А. Хрусталеv. – М. : Изумруд, 2003. – 222 с.
2. Лаврус, В.С. Батарейки и аккумуляторы / В.С. Лаврус. – Киев : Наука и техника, 1995. – 48 с.
3. Каменев, Ю.Б. Режим заряда герметизированных циклируемых свинцово-кислотных аккумуляторов / Ю.Б. Каменев, Н.И. Чунс // Электрохим. энергетика. – 2005. – № 4. – С. 226–273.
4. Муромцев, Д.Ю. Системы энергосберегающего управления / Д.Ю. Муромцев, В.А. Погонин. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. – 92 с.
5. Матвейкин, В.Г. Теоретические основы энергосберегающего управления динамическими режимами установок производственно-технического назначения : монография / В.Г. Матвейкин, Д.Ю. Муромцев. – М. : Машиностроение-1, 2007. – 128 с.

System of Data Control over Rechargeable Batteries Group

D.S. Olshansky

Department "Construction of Radio-Electronic and Microprocessor Systems", TSTU;
odimok@mail.ru

Key words and phrases: data-control system; optimal control; rechargeable battery.

Abstract: The paper studies aspects of implementation of optimal control techniques in the system of data control over rechargeable batteries group.

References

1. Khrustalev, D.A. Accumulators / D.A. Khrustalev. – Moscow : Izumrud, 2003. – 222 p.
2. Lavrus, V.S. Batteries and accumulators / V.S. Lavrus. – Kiev : Nauka i tehnika, 1995. – 48 p.
3. Kamenev, Yu.B. Charge mode for VRLA batteries / Yu.B. Kamenev, N.I. Chuns // Elektrohimičeskaya energetika. – 2005. – № 4. – P. 226–273.
4. Muromtsev, D.Yu. Power saving control systems / D.Yu. Muromtsev, V.A. Pogonin. – Tambov : Izd-vo Tamb. gos. texn. un-ta, 2006. – 92 p.
5. Matveykin, V.G. Theoretical bases of power saving control of technological equipment modes : monography / V.G. Matveykin, D.Yu. Muromtsev. – Moscow : Mashinostroenie-1, 2007. – 128 p.

Informationssteuerndes System von der Gruppe der Akkumulatorenbatterien

Zusammenfassung: Es werden die Aspekte der Realisierung der Methoden der optimalen Steuerung im informationssteuernden System von der Gruppe der Akkumulatorenbatterien betrachtet.

Système d'information et de gestion par un groupe de batteries d'accumulateurs

Résumé: Sont examinés les aspects de la réalisation des méthodes de la gestion optimale dans un système d'information et de gestion par un groupe de batteries d'accumulateurs.

Автор Ольшанский Дмитрий Сергеевич – аспирант кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем» ГОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент Литовка Юрий Владимирович – доктор технических наук, профессор кафедры «Системы автоматизированного проектирования» ГОУ ВПО «ТГТУ».