

УДК 621.354.6

**ЗАРЯДНО-ПИТАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ ЕМКОСТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

**канд. техн. наук, доц. С.Э. ЗАВИСТОВСКИЙ, П.П. РЕДЬКО**  
(Полоцкий государственный университет)

*Анализируются методика и способы заряда аккумуляторных батарей. На основании проведенного анализа разработана схемотехника зарядно-питающих устройств с использованием емкостных элементов, предусматривающая цель долговечности, надежности и расширения диапазона действия (универсальность), а также электронного упрощения при сохранении соответствующих параметров. Приведены необходимые данные и наименования элементной базы для реального практического применения и соответствующие примеры расчета. Показано, что емкостно-преобразовательный подход к решению рассматриваемого вопроса позволяет совмещать простоту схемотехнических решений с автоматической стабилизацией зарядного тока в силу превращения источника напряжения в источник тока.*

В настоящее время существует множество методик и практических рекомендаций, а также многообразие реализованных и проектируемых устройств для заряда (доподзарядки) аккумуляторов и аккумуляторных батарей различного назначения: стационарных, передвижных (автотранспортных), малогабаритных, миниатюрного исполнения и т.п., по химическому составу: кислотных, щелочных, оксидных и иных. Однако всех их можно подразделить на две основные группы по виду электрического заряда, т.е. при использовании в этих целях 1) источника постоянного по величине напряжения и 2) источника постоянного по величине тока. К отдельной группе можно отнести зарядные устройства, работающие по усложненным принципам с соответствующими выходными характеристиками, имеющие цель лечебно-профилактических и иных специальных мер.

Источник постоянного напряжения при использовании его в режиме подзаряда аккумуляторных батарей порождает непостоянный по величине ток на протяжении цикла заряда. В исходном разряженном состоянии аккумулятор потребляет наибольший ток, обладая пониженным собственным напряжением на его клеммах. По мере зарядки повышается напряжение самого аккумулятора, и разница между напряжением зарядного устройства и аккумулятора уменьшается, что приводит к результирующему снижению действующего зарядного напряжения и, следовательно, тока. Этот принцип является предпочтительным в случае подзаряда в нестационарном состоянии (например, движущиеся транспортные средства), когда аккумулятор загерметизирован, и основной дозаряд происходит без активного газовыделения [1; 2]. Во-вторых, данный метод оправдан в необслуживаемом постоянно пункте, когда имеет место сверхнормативное время заряда, что может привести при постоянном по величине зарядном токе к перезаряду, создающему угрозу осыпания пластин и разрушения их активной массы и даже к их короткому замыканию.

Для полной реабилитации аккумулятора в режиме дозаряда реализуют в стационарных условиях в основном ток постоянный и оптимальный по величине на протяжении всего цикла заряда, так как превышение приводит к короблению пластин и преждевременному осыпанию (разрушению) их активной массы, а уменьшение тока (ниже оптимального) не позволяет восстановить активный состав по всей толщине пластин, порождая тем самым необратимый процесс их сульфатации и, следовательно, сокращение срока службы аккумулятора.

Исключением являются малогабаритные и миниатюрные аккумуляторы, так называемые «батарейки», дозаряд которых рекомендуется проводить иногда уменьшенным током, даже до 1/4 от оптимального, с соответствующим сокращением времени дозаряда, реализованные на ином химическом принципе (веществе), так называемые «сухие», перезаряд которых можно контролировать, например, по повышенному нагреву корпуса, а также те, для которых завод-изготовитель предусматривает специально рекомендованный им оптимальный режим подзаряда.

Для основных же типов аккумуляторов оптимальным током является ток, составляющий 0,1/h от его номинальной емкости, приведенной к так называемому десятичасовому режиму заряд-разряда  $C_{10}$ , Ah. Для автотранспортных аккумуляторов принята двадцатичасовая емкость, т.е.  $C_{20}$ , Ah (ампер·час). Однако оптимальным током стационарного дозаряда является десятичасовой режим, т.е.  $C_{10}$ , Ah. Например, для аккумулятора  $C_{20} = 60$  Ah дозаряд осуществляют исходя из ранее указанных рекомендаций током 0,1/h от  $C_{20}$ , т.е. 6 А, за исключением первоначального заряда, осуществляемого, как правило, в условиях завода-изготовителя током 0,05/h от  $C_{20}$  в течение всего цикла заряда, т.е. 20 часов, и «загерметизированного» с ограниченным газовыделением (в стационарных условиях следует открывать воздушные окна) в течение

0,5 времени цикла дозаряда током 0,1/h от  $C_{20}$  и оставшееся время током 0,05/h от  $C_{20}$  во избежание активного газовыделения. Максимальный ускоренный режим, осуществляемый в экстремальных и исключительных случаях, составляет не более 0,15/h от  $C_{20}$  первой половины цикла дозаряда и оставшееся время не более 0,1/h от  $C_{20}$ . Под первой половиной цикла дозаряда понимают время, в течение которого аккумулятор набирает примерно 75 % (3/4) его номинальной емкости. Напряжение при этом достигает 2,4 В на элемент (для 12 В имеем  $2,4 \cdot 6 = 14,4$  В; для 24 В – 28,8 В), плотность электролита 1,25...1,26 г/см<sup>3</sup>. Окончание заряда можно определить по установившейся постоянной плотности электролита в пределах 1,27...1,29 г/см<sup>3</sup>, постоянству напряжения на клеммах и активному газовыделению [1 – 2].

Величина емкости аккумулятора обычно указывается приведенная к 10-ти часовому режиму заряд-разряда. При разряде током 0,1/h аккумулятор расходует свой ресурс в соответствии с указанным временем цикла, т.е. в данном случае 10 часов. При разряде меньшим по величине током его адекватный цикл увеличивается, т.е. при разряде меньшим током полученная от аккумулятора энергетическая емкость окажется больше указанной в паспорте.

В настоящее время существует огромное разнообразие всевозможных зарядных устройств аккумуляторных батарей, реализованных по усложненным электронным и трансформаторным упрощенным схемам. Однако существенное количество их не выдерживают токовых перегрузок и приходят в негодность, в частности при всевозможных неисправностях заряжаемых аккумуляторов. Кроме того, они, как правило, предусмотрены для заряда аккумуляторов определенных номиналов по напряжению и токовым нагрузкам. Зарядные устройства, обеспечивающие постоянство тока заряда на протяжении цикла, являются более сложными.

На рисунке 1 приведена схемотехника зарядного устройства, реализованного на емкостных элементах.

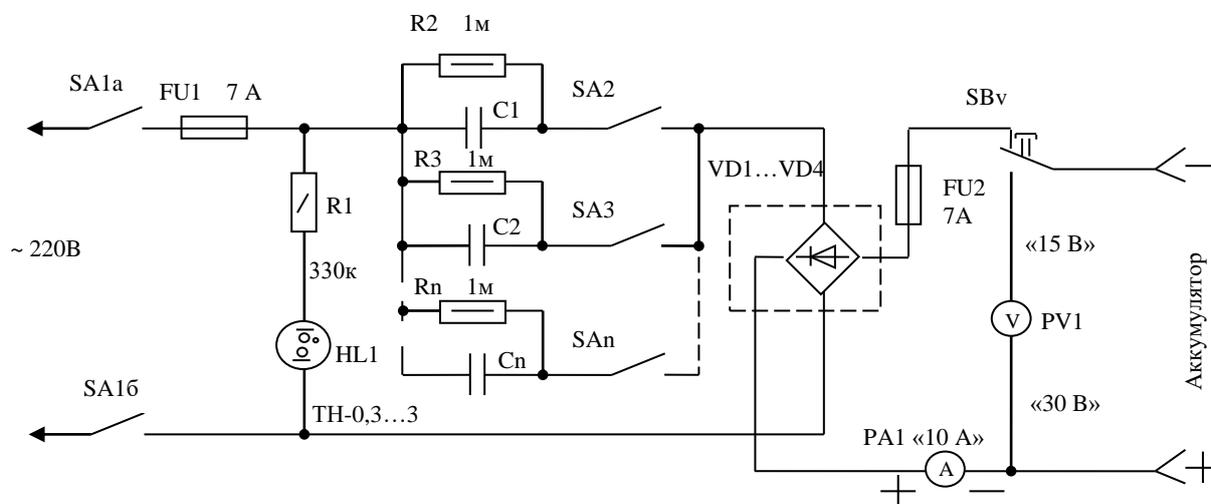


Рис. 1. Зарядное бестрансформаторное устройство аккумуляторов

Помимо простоты конструкции, надежности и долговечности, в силу  $x_c \gg r_{ак}$  представленное зарядное устройство является источником постоянного по величине тока, зависящего от емкости набора конденсаторов и питающего сетевого напряжения и не зависящего практически от состояния аккумуляторов, их неисправностей, а также от короткого замыкания на выходных клеммах.

Величина емкости набора конденсаторов определяется диапазоном требуемого зарядного тока в зависимости от параметров аккумулятора.

Например, для аккумулятора в 55 Ah емкость конденсаторов составит при заряде током 0,1/h

$$C_{[мкФ]} = \frac{I_{зар} \cdot 10^6}{2\pi f (U - U_{зар.аккумулятор} - U_{VD})} = \frac{5,5 \cdot 10^6}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot (220 - 16 - 4)} = 88.$$

При заряде током 0,05/h,  $C = 44$  мкФ для аккумуляторов в 70 Ah емкость конденсаторов составит 111 и 55 мкФ соответственно. Для аккумулятора 24 В или двух последовательно соединенных 12 В, т.е.  $2U_{зар}$  емкости будут соответственно для 55 Ah 95 (48) мкФ, 70 Ah 121 (60) мкФ, т.е. данное зарядное устройство без каких-либо изменений пригодно и для зарядки номиналов аккумуляторных батарей больше-

го или меньшего значений, а также можно использовать их последовательное соединение со степенью точности, зависящей от измененных номиналов.

Набор конденсаторов  $C_1...C_n$  с коммутационными переключателями SA2...SA $n$  (например, 48 мкФ, 24 мкФ, 16 мкФ) обеспечат возможную токовую комбинацию в зарядном устройстве 1,5 А и 1 А, являясь, таким образом, ступенчатой регулировкой.

При изменении номинала переменного питающего напряжения  $\sim 220$  В (например,  $\sim 380$  В) ток зарядки будет изменен в той же пропорции (в соответствии с этим необходимо скорректировать и допустимые значения напряжений на конденсаторах и диодах).

Конденсаторы используются неэлектролитические, предназначенные для работы в электроустановках на допустимое рабочее напряжение не менее 250...300 В (для питающего напряжения  $\sim 220$  В). Приоритетом является взрывобезопасное их исполнение. В противном случае при испытаниях, а также в окончательном варианте предусматривается защитная конструкция корпуса.

Следует внимательно относиться к использованию конденсаторов длительного хранения и бывших в употреблении. Входной предохранитель должен быть из легкоплавкого металла в целях быстрого разъединения и незначительного превышения номинала предельного рабочего тока.

Переключатели должны выдерживать максимальные рабочие токи (иногда используют запараллеливание контактов). В качестве входного SA1 можно применить сдвоенный автоматический типа ВА47-39-С8 и аналогично одинарные в качестве SA1... SA $n$ . Учитывая длительность срабатывания по времени их тепловой защиты, наличие входного легкоплавкого предохранителя в данной конструкции обязательно.

Резисторы R2...R $n$  выполняют функцию повышенной утечки, т.е. разряда конденсаторов при их отключении.

Диоды выбирают на допустимое напряжение не менее 300 В и ток не менее  $0,5I_{зар.мах}$ . Например, для наибольшего значения тока в 10 А подойдут диоды типов: Д231, Д245, Д246, Д247, Д248 – с любыми буквами: КД202 Ж, К, Н, Р и иные [4]. С точки зрения рациональности пользуются справочными данными. Монтируются на радиаторы с охлаждаемой поверхностью в соответствии с токопотерями.

Предохранитель FU<sub>2</sub> необходим как защита от короткого замыкания аккумулятора при возможном пробое диодов.

В качестве вольтметра может быть использован прибор электронного типа при постоянном неотключаемом режиме на предельное напряжение 300 В.

Время дозаряда рассчитывается как разность заводской емкости (с учетом процента потерь в зависимости от длительности и интенсивности эксплуатации аккумулятора) и существующей на момент заряда, разделенной на номинальный ток:

для 55 А·ч (7 % потерь)

$$\frac{51 \text{ А} \cdot \text{ч} - 32 \text{ А} \cdot \text{ч} (\text{емкость разряженного})}{5,5 \text{ А}} \approx 35 \text{ ч.}$$

Величину емкости аккумулятора на момент дозаряда можно оценить опытным путем по результатам эксплуатации, а также замерам плотности электролита и напряжения на клеммах в соответствии с представленной таблицей [3].

Состояние степени заряженности аккумуляторной батареи

Процент заряженности аккумулятора	Плотность электролита, г/см <sup>3</sup>	Напряжение на клеммах, В
100	1,27...1,29	12,7...12,8
75	1,24...1,26	12,5...12,6
50	1,20...1,22	12,2...12,3
20	1,15...1,17	11,95...12,05
→0	≤ 1,00...1,03	≤ 11,6...11,7

Напряжение на клеммах аккумулятора приведено для 12 В модели (для 24 В необходимо приведенные в таблице данные удвоить).

В целях автоматизации отключения по окончании расчетного времени заряда возможно использование электронного таймера (реле времени). Обобщенная в этом случае схема показана на рисунке 2.

Представленная схема может быть скорректирована аналогичным образом и для автоматического переключения на 0,5I от основного тока заряда в соответствии с рекомендациями [1 – 3].

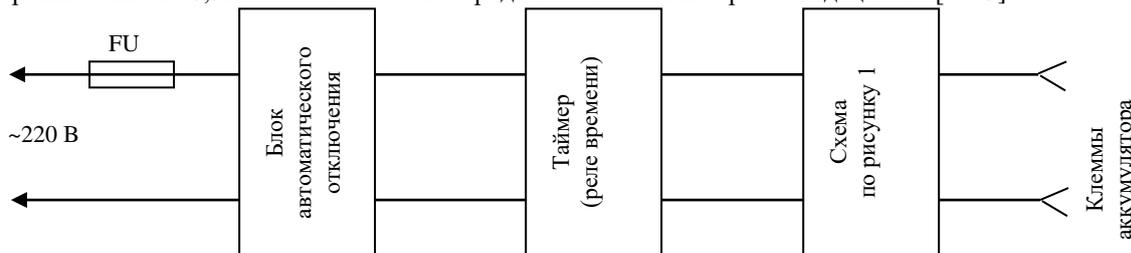


Рис. 2. Схема автоматизации зарядки

С точки зрения энергопотребления зарядное устройство представляет собой активно-емкостную нагрузку. Общий ток при одновременной работе с активной нагрузкой (активное освещение и т.п.) будет определяться векторным сложением. Совместная работа с индуктивностью приводит к ее компенсации и в общем случае к компенсации индуктивной составляющей нагрузки энергосети, что является положительным в системе энергоснабжения (рис. 3, а, б, в).

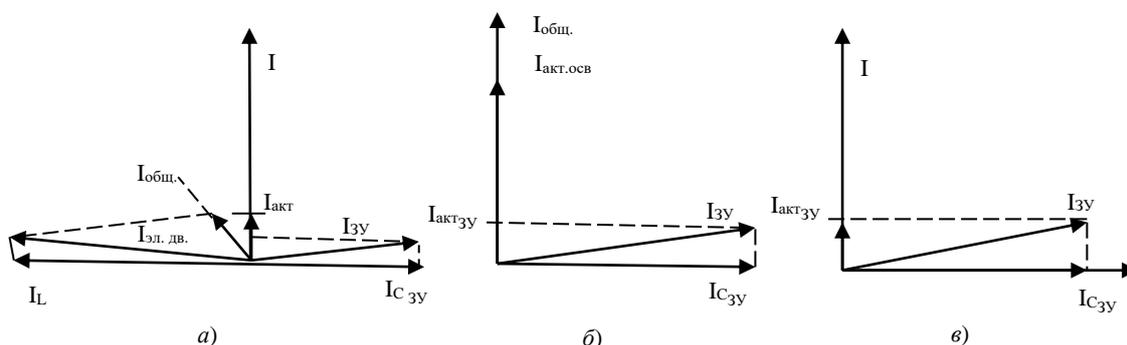


Рис. 3. Векторные диаграммы активно-индуктивно-емкостных нагрузок с учетом зарядного устройства

Активная токовая составляющая зарядного устройства порождает активную потребляемую мощность. Его коммутационные и разъединительные, а также соединительные элементы должны выдерживать полный потребляемый ток с учетом работы. Полный ток зарядного устройства с активным освещением может быть рассчитан примерно так:  $\sqrt{I_{акт.осв.}^2 + I_{ЗУ}^2}$  (рис. 3, б).

Положительным фактором в схеме, представленной на рисунке 1, является исключение трансформатора с экономией цветного металла (меди).

В целях электробезопасности (наличие сетевого потенциала непосредственно на аккумуляторных клеммах) при изготовлении и эксплуатации зарядного устройства необходимо учитывать и соблюдать меры техники электробезопасности (безопасные и защищенные от прикосновения присоединительные клеммы, предупреждающие надписи, соответствующая расцветка, ограждения от посторонних лиц и т.д.) [5; 6].

Использование рекомендуется на предприятиях государственного и коммерческого типов с наличием электротехнического персонала, а также индивидуальными владельцами, знающими и выполняющими требования электробезопасности.

Данное зарядное устройство может быть рекомендовано и в гальванике.

При нанесении покрытий ввиду сложного рельефа поверхности, на которую они будут нанесены, и ионных хаотических процессов возникают токовые флуктуации, влияющие на качество исходя из неравномерности нанесения. По рекомендованной схеме они устраняются конденсаторами, выполняющими в данном случае функцию фильтра верхних частот. В этом случае также следует использовать элементы блокировок и защиты с точки зрения электробезопасности [5; 6].

Эту схему в упрощенном варианте (рис. 4) можно применять и для заряда аккумуляторов электроинструментов (дрели, шуруповерты и т.п.). Схема обеспечивает ток зарядки в 150...200 мА. Блок согласования и индикации возможен типовой. Без переделок его рекомендуется применять (во избежание перегрузки цепи индикации напряжения при отсоединенном аккумуляторе или разомкнутой его электрической цепи) в строгой подаче питающего напряжения только при подсоединенном и безобрывном

аккумуляторе. Предпочтительной является модернизация цепи индикации напряжения с добавлением кнопки на переключение, аналогичной SB2 (см. рис. 1).

Так как ток на протяжении всего цикла заряда остается неизменным, индикация окончания заряда возможна по напряжению, т.е. по достижению на аккумуляторе величины 22,5...23 В (номинал 18 В) или 16,5...17 В (номинал 12 В). В этом случае рекомендуется некоторая коррекция параметров резисторов в цепях светодиодной индикации. При нагреве корпуса аккумулятора заряд следует прекратить.

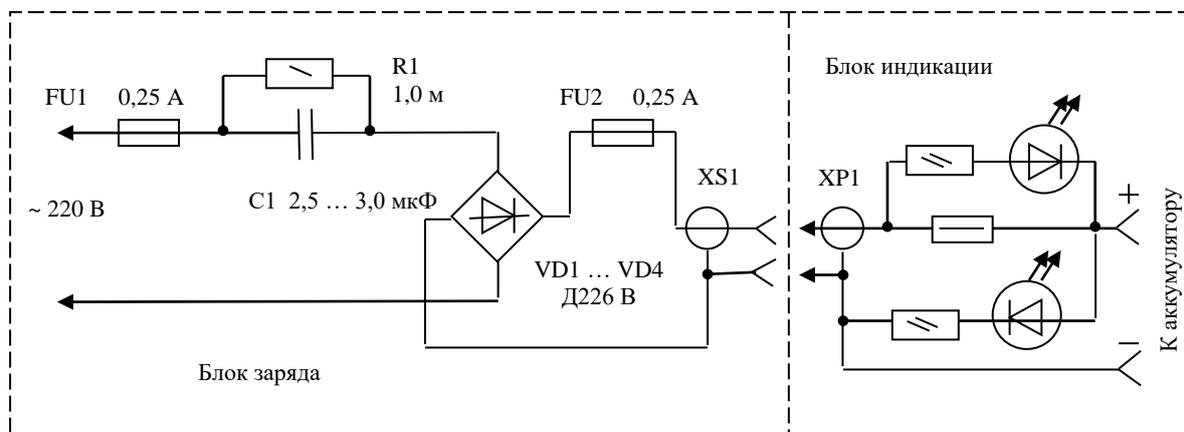


Рис. 4. Схема заряда аккумуляторов электроинструмента

Величину питающего сетевого напряжения можно использовать и меньших номиналов (например, ~127 В, ~110 В), увеличив пропорционально емкость конденсатора С1, что несколько повышает электробезопасность, но понижает возможное пробивное напряжение внутриаккумуляторных элементов.

Аналогичным образом может быть реализована и непосредственная схема сетевого питания некоторых иных потребителей (рис. 5).



Рис. 5. Зарядное устройство в режиме непосредственного электропитания с использованием ограничительных нелинейных элементов

Эта схема по своим функциям аналогична схеме стабилизатора с параллельно включенным регулирующим элементом. Полярный конденсатор (в случае необходимости) сглаживает пульсации выпрямленного напряжения. Второй стабилитрон (дублирующий) выбирают по напряжению, несколько большему, и он выполняет функцию гарантированного (дополнительного) ограничения напряжения.

Возможно использование и трансформаторно-емкостного варианта [7] (рис. 6).

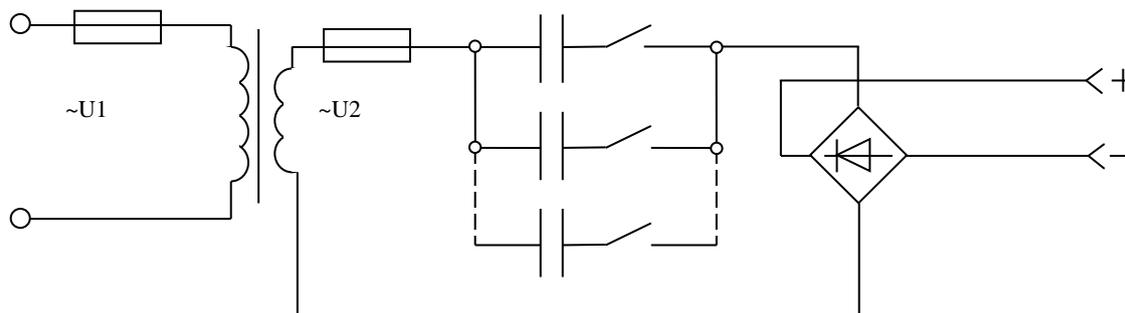


Рис. 6. Трансформаторно-емкостная зарядная схема

Трансформаторно-емкостной зарядный способ рекомендуется для заряда маломощных (миниакумуляторов) аккумуляторов. Величина трансформированного напряжения выбирается в пределах 6...8-кратной относительно заряжаемых аккумуляторов. Принцип работы и расчетные соотношения соответствуют рассмотренным ранее. При напряжении  $\sim U_2 \leq 42$  В устройство является электробезопасным.

**Заключение.** Емкостно-преобразовательный подход к решению рассматриваемой проблемы позволяет совмещать простоту схемотехнических решений с автоматической стабилизацией зарядного тока в силу превращения источника напряжения в источник тока. Изложенный анализ методики заряда позволит потребителям квалифицированно и рационально использовать те или иные зарядные устройства. Разработка, изготовление и использование зарядно-питающих устройств на основе емкостных элементов могут способствовать снижению дефицита цветных металлов, а также трансформаторных и иных узлов, оказать некоторое воздействие на снижение индуктивной составляющей токовой нагрузки энергосети. Однако в этом случае требуется более внимательное и строгое выполнение техники электробезопасности при работе и обслуживании такого рода зарядно-питающих устройств.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Чижков, Ю.П. Электрооборудование автомобилей и тракторов: учебник / Ю.П. Чижков. – М.: Машиностроение, 2007. – 656 с.
2. Набоких, В.А. Эксплуатация и ремонт автомобилей и тракторов: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.А. Набоких. – 3-е изд. стер. – М.: Издат. центр «Академия». 2006. – 240 с.
3. Справочник по полупроводниковым диодам, транзисторам и интегральным схемам / под. общ. ред. Н.Н. Горюнова. – М.: Энергия, 1976.
4. Белявин, К.Е. Электробезопасность при эксплуатации электроустановок / К.Е. Белявин. – М., 2004. – 186 с.
5. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. – 4-е изд. перераб. и доп. с изм. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 427 с.
6. Редько, П.П. Заряд микроаккумуляторов / П.П. Редько // Радиомир. – 2001. – № 8. – С. 14.

Поступила 10.07.2013

#### CHARGING-FEEDING DEVICES ON THE BASIS OF CAPACITIVE ELEMENTS

**S. ZAVISTOVSKIY, P. REDKO**

*Methods and means of charging accumulators are analyzed. On the basis of the research a circuit technology of charging-feeding devices based on capacitive elements is developed, which provides for the aim of longevity, reliability and expansion of the range (universality), as well as electronic simplification preserving the corresponding parameters. Necessary data and names of elements base for real practical application and corresponding examples of calculation are given. It is shown, that capacitive-transformative approach to the solution of the given problem allows to combine the simplicity of circuit technological solutions with automatic stabilization of charging current because of transformation of voltage source into current source.*