

Г. И. Таназлы, Р. А. Мунасыпов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ ЗАРЯДА ЕМКОСТНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ

Статья посвящена вопросам проектирования сложных систем заряда емкостных накопителей энергии. Рассмотрены структуры систем электропитания. Особое внимание в статье уделено анализу структуры системы и экспертным оценкам методов преобразования энергии. *Емкостной накопитель; зарядное устройство; система заряда*

Емкостные накопители электрической энергии используются в достаточно большом количестве технических устройств. Частной, однако не имеющей исчерпывающего решения проблемой, возникающей при разработке таких накопителей энергии, является проблема создания высоковольтных (100–200 киловольт) систем заряда, который питается от достаточно низковольтного (например, 20 вольт) источника питания. В настоящей работе рассматривается ряд вопросов разработки таких систем заряда.

**1. СТРУКТУРА СИСТЕМЫ
ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ИМПУЛЬСНОЙ
НАГРУЗКИ**

Проблеме преобразования низковольтного постоянного напряжения в высоковольтное для заряда и разряда емкостных накопителей энергии посвящено достаточно большое количество литературных источников, среди которых можно выделить следующие [1–4].

Однако разработка устройств для заряда емкостных накопителей энергии с высокими техническими характеристиками является сложной научно-технической задачей, не имеющей в настоящее время исчерпывающего решения.

В [1] рассматривается структурная схема системы электропитания импульсной нагрузки. Характеристики импульсной нагрузки и имеющейся в распоряжении разработчика системы электроснабжения, как правило, не согласованы. Поэтому возникает необходимость включения между системой электроснабжения (в рассматриваемом случае – источник низковольтного постоянного напряжения) и нагрузкой дополнительного устройства, которое называют источником вторичного электропитания (ИВЭП), задачей которого и является согласование характеристик системы электроснабжения и нагрузки. Наиболее общая структура ИВЭП с емкостным накопителем энергии (ЕНЭ), при-

веденная на рис. 1, как и любое устройство преобразовательной техники, содержит энергетическую часть и систему управления (СУ). Энергетическая часть, в свою очередь, включает в свой состав в общем случае три функциональные части: собственно емкостный накопитель энергии, зарядное устройство (ЗУ), разрядное устройство (РУ).

При этом функцию согласования характеристик ИВЭП с системой электроснабжения выполняют ЗУ и ЕНЭ, а функцию согласования с характеристиками импульсной нагрузки РУ и ЕНЭ. В рассматриваемом случае ИВЭП предназначен для питания импульсных нагрузок и построен так, что ЗУ и РУ функционируют на различных интервалах времени и слабо взаимодействуют между собой.

Влияние процессов в разрядном контуре на процессы в зарядном проявляются в изменении только одного параметра – напряжения на ЕНЭ в начале зарядного процесса. Поэтому в рассматриваемом случае процессы заряда и разряда ЕНЭ можно рассматривать независимо.

Система управления обрабатывает сигналы, поступающие в общем случае из четырех каналов входной информации: U_d , $U_{o.c1}$, U_C , $U_{o.c2}$ и формирует управляющие сигналы на входах двух блоков энергетической части – ЗУ и РУ. Первый из входных каналов несет информацию о входном напряжении U_d , которое может изменяться в процессе работы по различным причинам. Сигнал $U_{o.c1}$ информирует о состоянии зарядного устройства в данный момент времени. В зависимости от типа и принципиальной схемы ЗУ в качестве $U_{o.c1}$ используется один или несколько параметров, характеризующих состояние ЗУ. Сигнал U_C содержит информацию об энергии, запасенной в емкостном накопителе на данный момент времени, который используется для корректировки зарядного процесса. Система управления осуществляет анализ сигнала U_C и сравнение этого сигнала с теоретически полученной величиной.

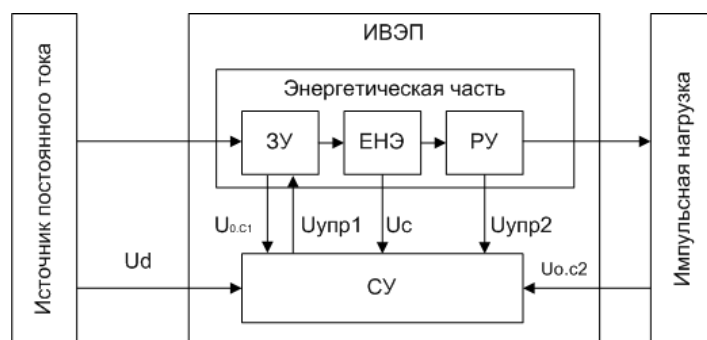


Рис. 1. Структурная схема системы электропитания импульсной нагрузки

В соответствии с разностью этих величин осуществляется коррекция процесса заряда. Кроме этого, система управления обеспечивает режимы работы элементов и узлов системы, гарантирующие их надежную работу. Сигнал $U_{o.c2}$ несет информацию о состоянии нагрузки. В рассматриваемом нами случае он может быть простейшим и предназначен для блокировки ЗУ на время разряда емкостного накопителя.

На основании полученной информации СУ формирует согласованные управляющие воздействия $U_{упр1}$ и $U_{упр2}$, определяющие все параметры зарядного процесса: закон изменения зарядного тока, алгоритмы включения секций ЗУ (если они есть), время отключения ЗУ от ЕНЭ на время его разряда и т. д. Любая из составных частей структуры, приведенной на рис. 1 (за исключением ЕНЭ) не является обязательной для всех случаев применения ИВЭП.

Из структурной схемы (рис. 1) следует, что основным элементом системы заряда емкостных накопителей энергии являются зарядное устройство.

Основные требования, предъявляемые к ЗУ, сводятся к тому, что оно должно обеспечивать более равномерное, чем это обусловлено нагрузкой, потребление энергии от источника постоянного тока. Кроме этого, ЗУ должно обеспечивать согласование напряжения системы электроснабжения с напряжением на ЕНЭ в конце интервала заряда (в рассматриваемом случае напряжение системы энергоснабжения равно 20 В, а напряжение на ЕНЭ в конце интервала заряда равно 100...200 кВ).

Помимо этого ЗУ должно обеспечивать отключение ЕНЭ от системы энергоснабжения на время его разряда и реализацию требуемых алгоритмов управления как по энергетическим, так и по динамическим характеристикам (способность пропускать необходимое количество

энергии при заданных временных ограничениях).

Так как зарядные устройства входят в класс систем силовой электроники, на них в полной мере распространяются требования, предъявляемые к таким системам: высокий КПД, малая масса, объем, высокие показатели надежности.

2. СОПОСТАВИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ В ЗАРЯДНЫХ УСТРОЙСТВАХ ЕМКОСТНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ

Анализ различных зарядных устройств [1, 2, 4, 5] емкостных накопителей энергии показывает, что основным элементом эффективных ЗУ является звено, осуществляющее преобразование постоянного тока в переменный, т. е. звено переменного тока. Различные варианты реализации этого звена и определяют методы преобразования энергии, являясь одновременно основой для классификации зарядных устройств емкостных накопителей.

Рассмотрим возможные методы преобразования энергии в зарядных устройствах емкостных накопителей в соответствии со структурной схемой, приведенной на рис. 2, где на уровне «Преобразование энергии» рассматриваются два класса устройств: с механическим преобразованием энергии и с электрическим преобразованием энергии. На уровне «Получение переменного напряжения» для класса устройств с механическим преобразованием энергии выделены машинные генераторы, а для класса устройств с электрическим преобразованием энергии – прерыватели и инверторы.

Поскольку получение высоких напряжений непосредственно на выходе как машинных генераторов, так и прерывателей и инверторов затруднено, на структурной схеме приведены

методы повышения переменного напряжения, которые осуществляются с помощью резонансных контуров, трансформаторов и диодно-емкостных умножителей напряжения. Все перечисленные методы повышения переменного напряжения для передачи энергии емкостному накопителю требуют применения выпрямителей. В случае, если величина полученного после выпрямителя напряжения недостаточна, на блок-схеме на уровне «Повышение постоянного напряжения» применяется генератор импульсного напряжения (ГИН). Обособленными на блок-схеме являются методы получения высокого постоянного напряжения с помощью пьезопреобразователей, электростатических преобразователей, поскольку при использовании этих методов этапы «Получение переменного напряжения», «Повышение переменного напряжения», «Получение постоянного напряжения» не требуются.

В ряде случаев для увеличения коэффициента усиления зарядного устройства по напряжению возможно каскадное включение некоторых элементов рассматриваемой структурной схемы.

Рассмотрение различных путей от источника постоянного напряжения к емкостному накопителю по структурной схеме (рис. 2) приводит к перечислению возможных методов преобразования энергии в зарядных устройствах емкостных накопителей.

Сопоставительный анализ различных методов преобразования энергии, а также схем зарядных устройств может производиться по следующим критериям:

- коэффициент усиления по напряжению;
- время заряда емкостного накопителя;
- коэффициент полезного действия;
- масса;
- габариты;
- надежность;
- помехозащищенность;
- управляемость;
- устойчивость к излучению;
- промежуточные уровни преобразования энергии;
- сопряжение с промежуточными уровнями преобразования энергии.

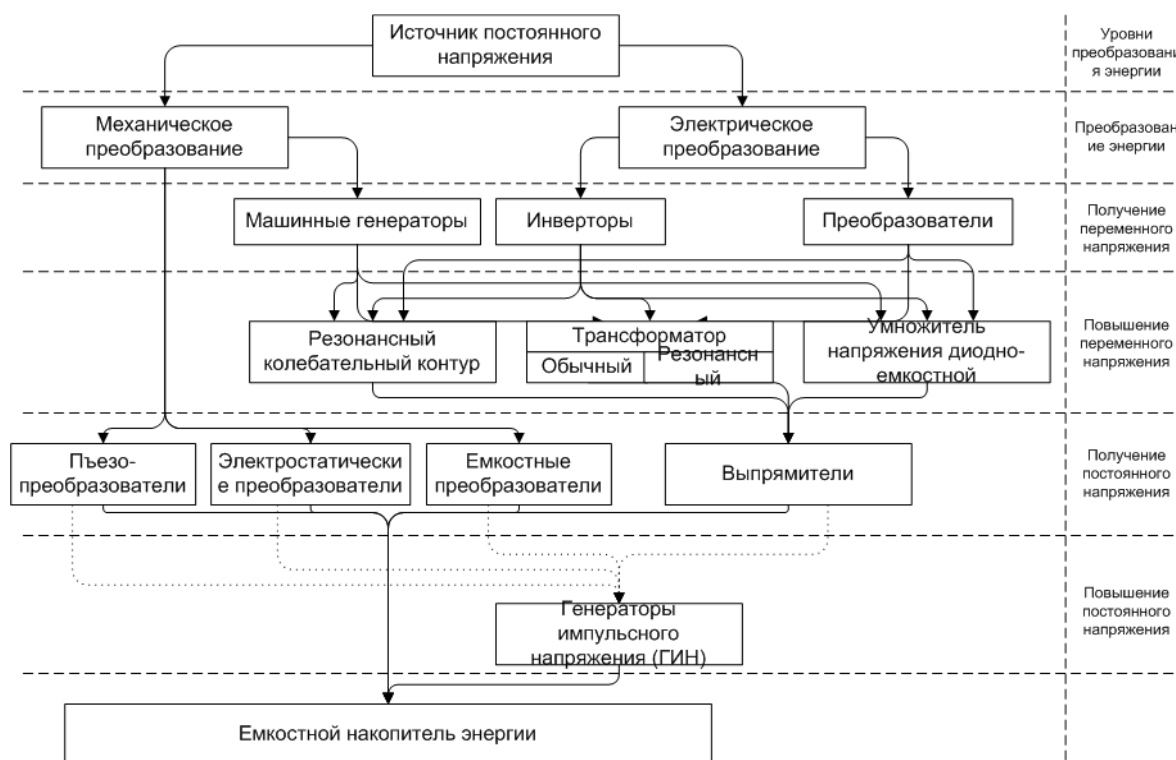


Рис. 2. Структурная схема методов преобразования энергии в ЗУ ЕНЭ

На данном этапе рассмотрения не представляется возможным определить численные значения приведенных критериев, поскольку речь идет о классах технических устройств и отдельные устройства внутри каждого класса при оценке их по выше приведенным критериям, во-первых, могут существенно отличаться друг от друга и, во-вторых, численные значения перечисленных критериев для конкретных устройств в полном объеме, как правило не определены. Их определение для каждого устройства представляется самостоятельной задачей.

Следует также отметить, что вопрос о зависимости приведенных критериев или о степени и характере их зависимости должен решаться в каждом конкретном случае.

Поэтому проведем рассмотрение возможных методов преобразования энергии в зарядных устройствах методом экспертных оценок с использованием трехбалльной шкалы «+» – преимущество, «-» – недостаток, «0» – не определено.

В табл. 1 приведены экспертные оценки основных методов преобразования энергии, представленные на структурной схеме (рис. 2).

Отдельным классом рассматриваются пьезоэлектрические, электростатические и емкостные преобразователи энергии [6]. К основным их достоинствам относится высокая помехозащищенность и отсутствие или минимальное количество уровней промежуточного преобразова-

ния энергии. К недостаткам следует отнести наличие уровней преобразования электрической энергии в механическую и обратного преобразования, что снижает оценки по таким критериям, как время заряда емкостного накопителя, КПД, масса, габариты, управляемость.

Несколько большее количество преимуществ по сравнению с только что рассмотренными методами преобразования энергии в зарядных устройствах имеет метод, основанный на применении машинных генераторов, которые (с использованием промежуточных уровней преобразования энергии) могут обеспечить помехозащищенность и относительно высокую устойчивость к излучению.

Предпочтительным среди рассматриваемых методов преобразования энергии в зарядных устройствах, в соответствии с проводимой экспертной оценкой, является метод, основанный на применении автономных инверторов, основные недостатки которого ограничиваются низкой помехозащищенностью и устойчивостью к излучению, а также необходимостью для получения требуемого коэффициента усиления по напряжению применения промежуточных уровней преобразования энергии.

Метод преобразования энергии, основанный на применении прерывателей, проигрывает инверторному методу в КПД и эффективности сопряжения с устройствами промежуточных уровней преобразования энергии.

Таблица 1

Экспертные оценки методов преобразования энергии

Критерий	Методы преобразования энергии и их оценки			
	Механическое преобразование		Электрическое преобразование	
	Пьезо, электростатические, емкостные преобразователи	Машинные генераторы	Инверторы	Прерыватели
Коэффициент усиления по напряжению	0	-	+	-
Время заряда емкостного накопителя	-	-	+	+
Коэффициент полезного действия	-	-	+	+
Масса	-	-	+	+
Габариты	-	-	+	+
Надежность	0	-	+	+
Помехозащищенность	+	+	-	-
Управляемость	-	+	+	+
Устойчивость к излучению	-	+	-	-
Промежуточные уровни преобразования энергии	+	-	-	-
Сопряжение с промежуточными уровнями преобразования энергии	+	+	+	-

3. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ЗАРЯДНЫМ УСТРОЙСТВАМ ЕМКОСТНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ

В [1] рассматривается структурная схема, определяющая факторы, влияющие на основные показатели зарядного устройства (рис. 3). В этой структурной схеме устанавливаются взаимосвязи между такими показателями зарядного устройства как КПД, коэффициент использования источника питания, масса, объем и структурой и параметрами энергетической части ЗУ, алгоритмами управления и режимом заряда ЕНЭ.

Режимы работы различных элементов ЗУ определяются прежде всего совокупностью временных зависимостей токов в силовых цепях ЗУ – режимом заряда. Однако режим заряда является не единственным фактором, влияющим на показатели ЗУ, сам он зависит от ряда других первичных факторов.

Первую группу первичных факторов, влияющих на показатели ЗУ, представляют собой внутренние параметры и схема энергетической части ЗУ (рис. 3). В ЗУ с неуправляемым зарядным процессом показатели определяются только факторами этой группы, причем влияют они на показатели как непосредственно (в выражения для различных показателей входят внутренние параметры: величины индуктивностей, емкостей и т. д.), так и косвенно, определяя временные зависимости токов, напряжений в различных цепях ЗУ. Изменение временных зависимостей токов приводит к изменению различных функционалов этих зависимостей (действующих, максимальных, средних значений), которые определяют все основные показатели ЗУ.

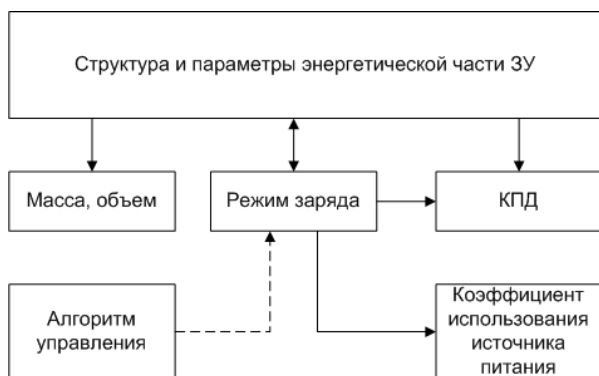


Рис. 3. Факторы, влияющие на основные показатели зарядного устройства

В ЗУ с управляемым зарядным процессом на показатели действует также и вторая группа первичных факторов, определяемая алгоритмом управления зарядным процессом. Воздействие этих факторов определяется только влиянием их на зарядный режим (рис. 3). Наиболее распространенными алгоритмами управления зарядным процессом принято считать [1, 3] следующие алгоритмы:

- с постоянным зарядным током;
- с постоянной потребляемой от источника мощностью;
- с минимальным временем заряда;
- с максимальным КПД.

Массогабаритные параметры ЗУ в решающей степени зависят от схемы и внутренних параметров его энергетической части, поэтому исследовать влияние зарядного режима на эти показатели можно только для определенного, не слишком широкого класса ЗУ.

На уровне получения переменного напряжения (рис. 2) по результатам экспертной оценки в соответствии с примененными критериями, предпочтительным является применение инверторов. Известно, что инверторы представляют собой обширную группу устройств силовой электроники, обеспечивающих преобразование постоянного напряжения в переменное и обладающих широким спектром функциональных характеристик.

Зарядное устройство, как правило, кроме автономного инвертора включает в себя такие функциональные блоки как токоограничивающие элементы и дозаторы энергии. На первом уровне выбора схемы влиянием этих блоков можно пренебречь. Исходя из этого, сформулируем требования к схемам автономных инверторов, предназначенных для работы в зарядных устройствах ЕНЭ.

- Обеспечение устойчивой работы схемы инвертора в диапазоне изменения параметров нагрузки от короткого замыкания (разряженная накопительная емкость) до холостого хода (полностью заряженная накопительная емкость).
- Максимально возможная и регулируемая раскочка напряжения в инверторе.
- Максимально возможная (для заданных типов вентилялей) мощность, снимаемая с одного конструктивного модуля.
- Коэффициент полезного действия.
- Помехоустойчивость.

- Возможность работы без реактивных коммутирующих элементов.
- Дозирование энергии силовой схемой.
- Перегрузочная способность.
- Возможность реализации различных траектории заряда ЕНЭ.
- Надежность.

4. КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАРЯДНЫХ УСТРОЙСТВ И ИХ СХЕМНЫЕ РЕШЕНИЯ

Классификация зарядных устройств сходна с классификацией базовых преобразователей

переменного или постоянного напряжения в постоянное, имеющих кроме всего прочего элементы, присущие зарядным устройствам. Эти элементы, способы регулирования тока в ЗУ, основные типы базовых преобразователей и возможные их сочетания классифицируются структурной схемой [1], которые применяются в зависимости от параметров ЕНЭ и источников питания (рис. 4). Выбирая за основу данную классификацию, рассмотрим представленные виды ЗУ с учетом требований технического задания.

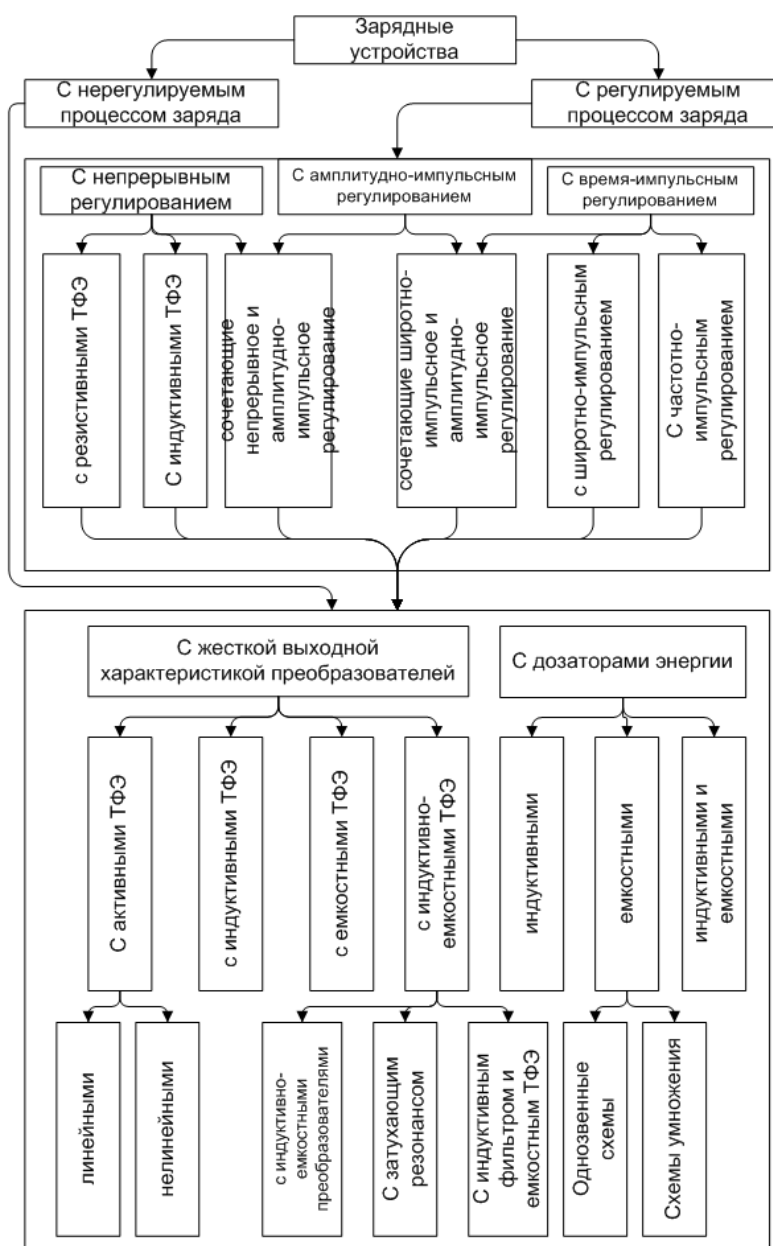


Рис. 4. Классификация зарядных устройств емкостных накопителей

Простыми являются нерегулируемые преобразователи, к которым относятся неуправляемые выпрямители и инверторы с неизменным алгоритмом работы на ЕНЭ. Наиболее распространенными среди таких преобразователей являются преобразователи с жесткой выходной характеристикой. Для использования преобразователей с жесткой выходной характеристикой в качестве ЗУ их необходимо дополнить токоформирующими элементами (ТФЭ), которые ограничивают ток в различных цепях ЗУ в зависимости от требований.

Наиболее простым и универсальным ТФЭ может быть резистор, который включается последовательно в зарядную цепь ЕНЭ, однако использование резистивного ТФЭ связано с большими потерями энергии, поэтому его использование ограничено маломощными ЗУ (рис. 5, б).

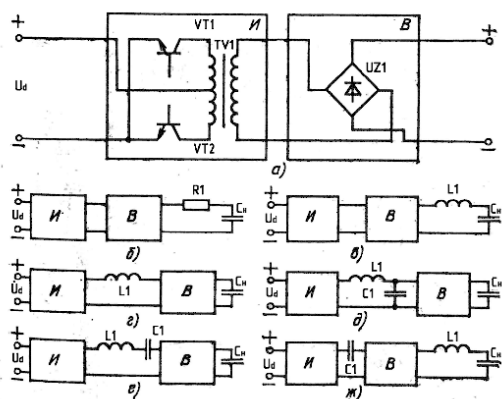


Рис. 5. Схемы зарядных устройств на базе преобразователей с жесткими выходными характеристиками с различными ТФЭ: а – базовая схема; б – схема с резистивными ТФЭ; в – схема с индуктивным ТФЭ в цепи постоянного тока; г – схема с индуктивным ТФЭ в цепи переменного тока; д, е – схемы с индуктивно-емкостными ТФЭ; ж – схема с индуктивным и емкостным ТФЭ, разнесенных по цепям переменного и постоянного тока

Другой класс базовых преобразователей составляют преобразователи, где ЕНЭ является составной частью ЗУ. Величина энергии, передаваемая в ЕНЭ определяется, т. е. дозируется, параметрами схемных элементов преобразователя (рис. 6, а, б, в, г, д, е), поэтому они называются преобразователями с дозаторами энергии. Эта энергия коммутирующих элементов, которая передается в нагрузку преобразователей, с вынужденной или естественной коммутацией. Сюда же относится схема ЗУ с умно-

жителями напряжения (рис. 7, а, б, в), в которых емкости умножителя являются дозаторами.

Однако данный класс преобразователей ЗУ не позволяет обеспечить коэффициент усиления по напряжению (K_u) $K_u > 10^2$. Необходимость заряда ЕНЭ до напряжения, значительно превышающего напряжение источников питания ($K_u = 10^3 \dots 10^4$) предопределяет, как правило, использование трансформаторов, которые наиболее эффективно используются в ЗУ с регулируемым процессом заряда.

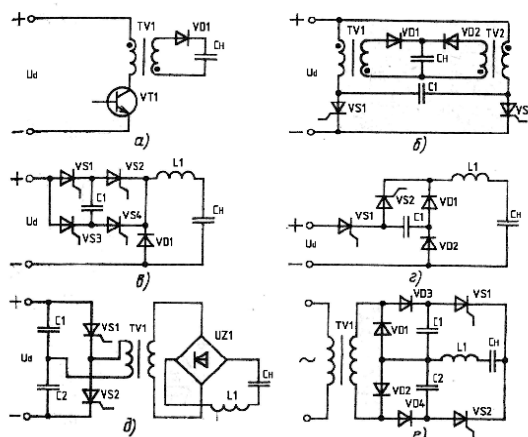


Рис. 6. Схемы зарядных устройств с индуктивными и емкостными дозаторами, которые являются схемными элементами преобразователей: а – базовая схема; б – схема с резистивными ТФЭ; в – схема с индуктивным ТФЭ в цепи постоянного тока; г – схема с индуктивным ТФЭ в цепи переменного тока; д, е – схемы с индуктивно-емкостными ТФЭ

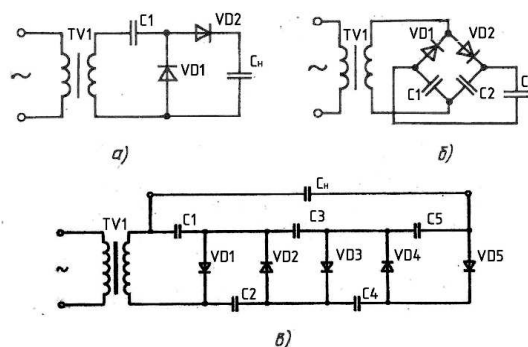


Рис. 7. Схемы зарядных устройств с емкостными дозаторами и умножением выходного напряжения: а – базовая схема; б – схема с резистивными ТФЭ; в – схема с индуктивным ТФЭ в цепи постоянного тока

К данному классу ЗУ принадлежат тиристорные регуляторы переменного напряжения (рис. 8), а также полупроводниковые инверторы

с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) выходного напряжения. К ним также относятся амплитудно-импульсные регуляторы (АИР), которые реализуются в виде регулирующих транзисторов или подмагничиваемых дросселей и трансформаторов (рис. 9), которые могут войти в состав ЗУ на базе инверторов с жесткой выходной характеристикой. К ним относятся инверторы с жесткой выходной характеристикой, но питающиеся от источника с регулируемым выходным напряжением.

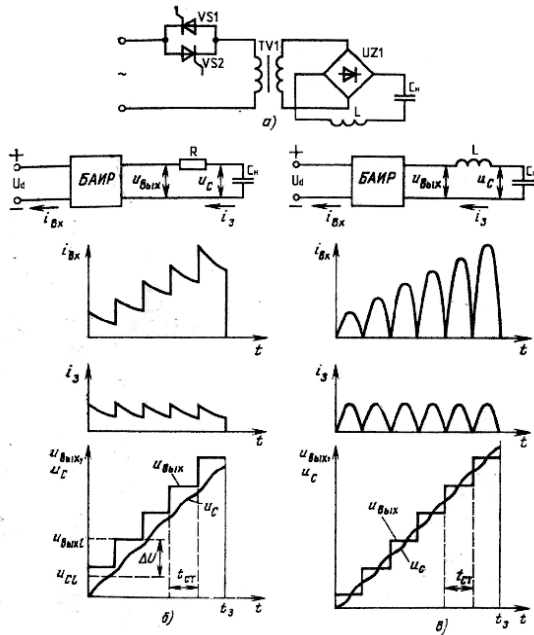


Рис. 8. Схемы и временные диаграммы для зарядных устройств с импульсным регулированием зарядного процесса: а – при импульсно-фазовом регулировании; б – при амплитудно-фазовом регулировании и резистивном токоформировании; в – при амплитудно-импульсном регулировании и индуктивном токоформировании

Класс регулируемых ЗУ достаточно широк, в него входят и ЗУ с группой инверторов, выходные выпрямители которых включены последовательно, а алгоритм работы построен так, что по мере заряда ЕНЭ к первому инвертору поочередно подключаются и остальные и суммарное напряжение на выходе увеличивается ступенчато [7], а регулирующий элемент стабилизирует ток в пределах одной ступени, что уменьшает потери в регулирующем элементе или ТФЭ и повышает общий КПД ЗУ.

Следует выделить ЗУ с фазовым регулированием, когда два источника переменного напряжения с одной частотой инвертирования, работающих на одну нагрузку, в течение времени заряда ЕНЭ меняют фазу выходного на-

пряжения друг относительно друга от противофазной до синфазной по заданному алгоритму (рис. 10–11).

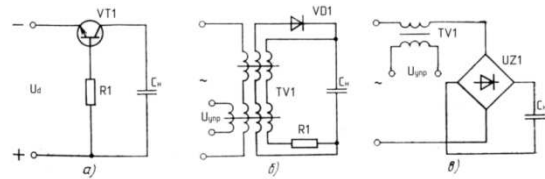


Рис. 9. Схемы зарядных устройств с непрерывным регулированием зарядного процесса

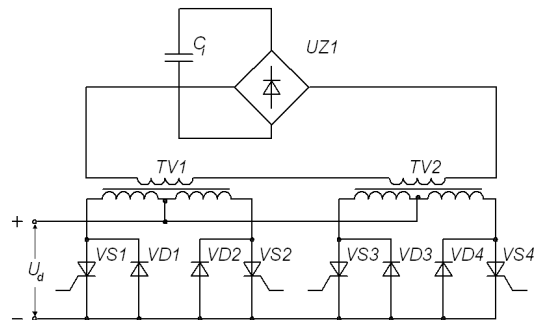


Рис. 10. Регулирование мощности на нагрузке двоядным однофазным инвертором

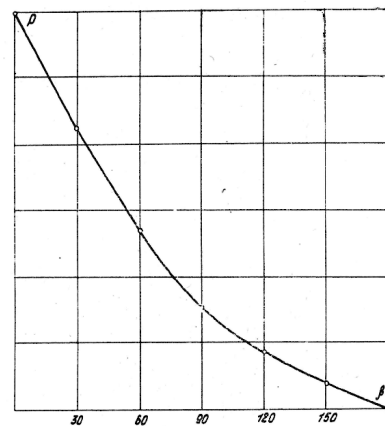


Рис. 11. Зависимость выходной мощности инвертора от угла регулирования β

Другой принцип заложен в регулируемых ШИМ инверторах, когда группа из n инверторов работает с фазовым сдвигом π/n . В этом случае реализуются два принципа регулирования: непрерывного регулирования и амплитудно-импульсного регулирования, когда на выходе n последовательно включенных выпрямителей ток в начальный момент регулируется длительностью импульсов, затем, по мере увеличения длительности, их амплитуда сначала удваивается, а при длительности $t = \pi/2$ амплитуда возрастает в n раз [8] (рис. 12–13).

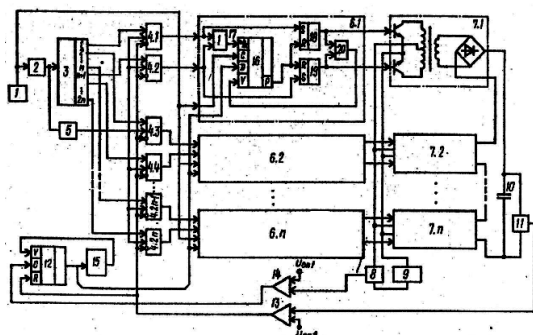


Рис. 12. Схема каскадного ЗУ с ШИМ-регулированием входного тока

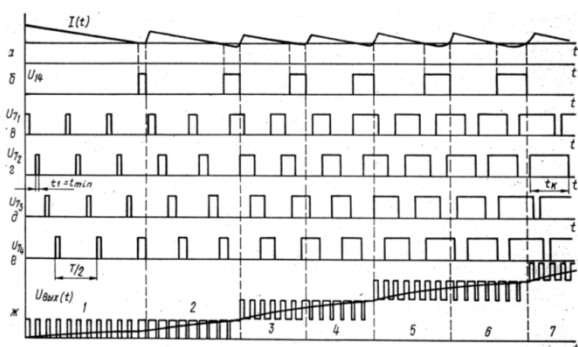


Рис. 13. Алгоритм изменения выходного напряжения в зависимости от изменения длительности выходных импульсов

Перечисленные способы регулирования процесса заряда ЕНЭ, чаще всего используются комплексно, т. е. в сочетании тех или иных способов. Это позволяет использовать преимущества каждого из способов и уменьшить присущие ему недостатки.

Как уже упоминалось ранее, значительное повышение выходного напряжения достигается применением выходных трансформаторов. В соответствии с представленной структурной схемой классификации ЗУ процесс заряда может регулироваться как на первичной, так и на вторичной стороне трансформатора. К тому же, применение трансформаторов позволяет суммировать выходные напряжения нескольких источников переменного напряжения.

В статье [9] приведен сравнительный анализ ЗУ различных типов. Результаты анализа сведены в табл. 2. В ней представлены характеристики ЗУ по массогабаритным параметрам, коэффициенту полезного действия и коэффициенту использования источника $K_{и}$.

ВЫВОДЫ

Обобщая результаты анализа, можно сделать вывод — наилучшими показателями по исследуемым параметрам обладает ЗУ на основе преобразователя с выходным трансформатором.

Ограничения по массогабаритным показателям ЗУ вынуждают разработчиков применить в составе ЗУ полупроводниковые преобразователи, которые, как видно из таблицы, снижают массогабаритные показатели, увеличивают КПД и коэффициент использования источника. Изучение работ в этой области доказывает: применение преобразователей повышенной частоты позволяет не только снизить массогабаритные показатели ЗУ, но и с высокой точностью управлять процессом заряда [10, 11].

Таблица 2

Сравнение различных способов воздействия на зарядный режим ЗУ

Устройство	Способ воздействия	М, г	η	$K_{и}$
Базовый преобразователь	Транзисторный преобразователь постоянного напряжения в постоянное	2000	0,935	1,0
Нерегулируемые ЗУ	С резистивным ТФЭ	10200	0,365	0,57
	С индуктивным ТФЭ	30500	0,84	0,64
Регулируемые ЗУ при зарядке постоянным зарядным током	Непрерывное регулирование	16600	0,48	1,0
	Время - импульсное регулирование	7300	0,891	0,5
	Амплитудно - импульсное регулирование с резистивным ТФЭ	5350	0,893	0,5
	Сочетание АПР и ВПР (при 15 ступенях)	2940	0,902	0,5
Регулируемые ЗУ с ПР и НР в различных режимах	Сочетание АПР и НР (при 15 ступенях)	3310	0,856	0,5
	Режим неизменной потребляемой мощности	4550	0,844	1,0
	Компромиссный режим	3570	0,854	0,84

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булатов О. Г., Иванов В. С., Панфилов Д. И. Полупроводниковые зарядные устройства емкостных накопителей М.: Радио и связь, 1986. 180 с.
2. Накопители энергии / Д. А. Бут [и др.]. М.: Энергоатомиздат, 1991. 400 с.
3. Кныш В. А. Полупроводниковые преобразователи в системах заряда накопительных конденсаторов. Л.: Энергоатомиздат, 1981. 160 с.
4. Пентегов И. В. Основы теории зарядных цепей емкостных накопителей энергии. Киев. Наукова Думка, 1982.
5. Маршак И. С., Дейников А. С., Жильцов В. П. Импульсные источники света. М.: Энергия, 1978. 472 с.
6. Высокочастотные транзисторные преобразователи / Э. М. Ромаш [и др.]. М.: Радио и связь, 1988. 235 с.
7. А.с. № 834843 (СССР) Устройство для заряда емкостного накопителя / Д. И. Панфилов [и др.]. БИ № 20, 1981.
8. А.с. № 1780150 (СССР) Устройство для заряда емкостного накопителя / А. В. Никитин [и др.]. БИ № 40, 1992.
9. Малькявичюс Р. С. Статический преобразователь для заряда конденсаторной батареи и его влияние на питающую сеть // Электромагнитное совмещение силовых полупроводниковых преобразователей. Таллин, 1981. С. 85–88.
10. А.с. № 552681 (СССР) Устройство для заряда емкостного накопителя энергии от сети переменного тока / В. С. Иванов [и др.]. БИ № 42, 1976.
11. Додотченко В. В., Николаев А. Г. Патент № 2021643 (РФ). Система для питания импульсной нагрузки, БИ 19, 1994.

ОБ АВТОРАХ

Таназлы Георгий Иванович, доц. каф. автомат. проектирования информ. систем. Дипл. магистр по информатике и вычислительн. технике (УГАТУ, 2002). Канд. техн. наук по матем. моделированию, численным методам и комплексам программ (УГАТУ, 2005). Иссл. в обл. матем. моделирования.

Мунасыпов Рустем Анварович, проф. каф. техн. кибернетики. Дипл. инженер по электронике (УАИ). Д-р техн. наук по системному анализу и управлению (УГАТУ). Иссл. в обл. робототехники