

Устройство заряда емкостного накопителя неизменной мощностью для радиолокационного передатчика

М.В. РОДИН,
канд. техн. наук
(ООО «Бюро 1440», Москва),
Н.А. КУШНЕРЕВ,
канд. техн. наук
(АО «Концерн "Вега"»,
Москва)
kushnerev@inbox.ru

Предложено новое устройство заряда накопителя на основе обратного преобразователя напряжения, обеспечивающее равномерное энергопотребление за счет неизменной мощности заряда, отличающееся высокой стабильностью предзарядного напряжения благодаря введению отрицательной обратной связи. Представлены результаты компьютерного моделирования и экспериментальной апробации разработанного устройства.

Устройство заряда накопителя, заряд неизменной мощностью, обратного преобразователя напряжения, усилитель мощности, передатчик, радиолокационная система

Импульсные потребители электроэнергии (нагрузки) представляют собой достаточно распространенный класс устройств в различных областях техники, в частности, в гидроакустических, локационных и лазерных системах, оборудовании для обработки материалов, системах озонирования воздуха и стерилизации, медицинском оборудовании [1–6]. В бортовом оборудовании космических и авиационных летательных аппаратов (в том числе беспилотных) к числу импульсных нагрузок относятся усилители мощности передающих трактов импульсных радиолокационных систем (РЛС) [1, 2].

Важнейшая особенность импульсной нагрузки – потребление мощности от источника электропитания в течение интервалов времени $t_{и}$, малых по сравнению с периодом повторения $T_{и}$ импульсов тока $I_{вых}$ нагрузки (рис. 1). При этом электропитание импульсной нагрузки обычно подразумевает использование емкостных накопителей электроэнергии, позволяющих формировать импульсы тока в импульсной нагрузке требуемой длительности и энергии [2].

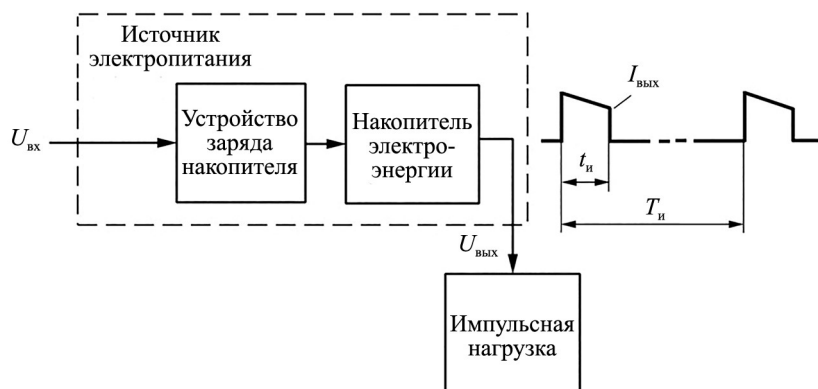


Рис. 1

Функцию заряда накопителя электроэнергии до заданного предзарядного напряжения $U_{вых}$ в интервалах между импульсами тока $I_{вых}$ выполняет устройство заряда накопителя. В схеме (см. рис. 1) устройство заряда накопителя осуществляет заряд накопителя электроэнергией от внешнего источника постоянного напряжения $U_{вх}$, в качестве которого в космических и авиационных летательных аппаратах используются аккумуляторные батареи или другой источник электропитания.

Наибольшее распространение в последние десятилетия получили устройства заряда накопителя с регулируемым зарядным процессом. В них в качестве источников неизменного напряжения, тока или мощности используются различные преобразователи напряжения с индуктивно-емкостными цепями [7–10].

Анализ требований к устройствам заряда накопителя, применяемым в радиолокационных передатчиках [2, 7–10], показывает, что одним из наиболее значимых для настоящего исследования является требование обеспечения более равномерного энергопотребления от источника входного постоянного

напряжения $U_{\text{вх}}$. Это связано с потребностью разработчиков импульсных РЛС в высокой эффективности и электромагнитной совместимости, что предъявляет жесткие требования к равномерности энергопотребления и стабильности предзарядного напряжения устройства заряда накопителя.

В работе [11] предложено устройство заряда накопителя на основе обратного преобразователя напряжения для системы электропитания импульсного усилителя мощности передающего тракта РЛС. Такое устройство заряда накопителя обеспечивает заряд емкостного накопителя электроэнергии неизменной мощностью, что позволяет значительно снизить неравномерность энергопотребления от источника входного постоянного напряжения без применения габаритных дросселей на выходе. Однако разработанное устройство заряда накопителя практически не стабилизирует предзарядное напряжение при воздействии дестабилизирующих факторов и требует управления уровнем зарядной мощности в зависимости от временных параметров импульсов тока нагрузки.

Целью данной работы является изложение ключевых аспектов процесса заряда емкостных накопителей электроэнергии неизменной мощностью, а также представление нового устройства заряда накопителя, обеспечивающего одновременно равномерное энергопотребление от источника входного постоянного напряжения и стабилизацию предзарядного напряжения в условиях изменения временных параметров импульсов тока нагрузки и воздействия дестабилизирующих факторов.

Как известно, в устройстве заряда накопителя, представляющем собой источник неизменного зарядного напряжения $U_3 = \text{const}$ или тока $I_3 = \text{const}$, из-за импульсного характера нагрузки наблюдается неравномерность энергопотребления, что определяет низкое значение коэффициента использования источника постоянного напряжения $U_{\text{вх}}$ [7–10]. Несмотря на то что использование на выходе устройства заряда накопителя дросселя снижает амплитуду пульсации потребляемого тока $I_{\text{вх}}$ от источника $U_{\text{вх}}$ на частоте следования импульсов тока нагрузки, индуктивность дросселя должна быть такой, чтобы полупериод собственных колебаний контура, образованного дросселем и емкостным накопителем электроэнергии, был больше периода заряда накопителя электроэнергии [10]. Чем значительнее это различие, тем больше ток потребления приближается к постоянному.

Таким образом, существует обратная зависимость между значением индуктивности дросселя и амплитудой пульсации потребляемого тока: снижение индуктивности приводит к возрастанию амплитуды пульсации. Соответственно, для минимизации уровня пульсации требуется применение дросселя с повышенной индуктивностью, что неизбежно увеличивает его массогабаритные показатели.

Использование габаритных дросселей создает значительные трудности при проектировании импульсных РЛС, особенно бортового базирования. В условиях, характеризуемых большой длительностью зондирующих радиоимпульсов (сотни микросекунд и более), низкой частотой повторения (менее 1 кГц) и работой накопителя электроэнергии с большим относительным спадом напряжения (5 % и выше), массогабаритные параметры дросселей ухудшаются. Кроме этого, большая индуктивность дросселя обуславливает возникновение значительных по амплитуде переходных процессов при формировании огибающей зондирующих радиоимпульсов, что, в свою очередь, вызывает колебания тока, потребляемого от источника постоянного напряжения [10, 11].

При функционировании устройства заряда накопителя в режиме заряда неизменной мощностью $P_3 = \text{const}$ напряжение u_c на накопителе электроэнергии емкостью $C_{\text{нэ}}$, ток заряда i_3 и мощность потребления P_0 за время длительности заряда накопителя электроэнергии t_3 (без учета КПД устройства заряда накопителя) определяются следующими соотношениями [8]:

$$u_c(t) = \sqrt{\frac{2P_0 t}{C_{\text{нэ}}}}; \quad (1)$$

$$i_3(t) = \sqrt{\frac{P_0 C_{\text{нэ}}}{2t}}; \quad (2)$$

$$P_0 = \frac{C_{\text{нэ}} U_{\text{вх}}^2}{2t_3}. \quad (3)$$

Как следует из соотношения (2), широкий диапазон изменения зарядного тока i_z обуславливает необходимость завышения расчетной мощности компонентов устройства заряда накопителя, а при малых значениях начального напряжения накопителя электроэнергии зарядный ток, требуемый для обеспечения режима неизменной мощности заряда, становится и вовсе недопустимо большим [10]. В связи с этим на начальном этапе заряда требуется ограничение зарядного тока.

Наиболее распространенным техническим решением для ограничения зарядного тока является применение промежуточных дозирующих конденсаторов и/или дросселей [11], которые способны запасать энергию и затем отдавать ее в накопитель электроэнергии малыми и неизменными дозами. Кроме того, дозированная передача энергии в накопитель электроэнергии позволяет ограничить выходной ток устройства заряда накопителя при возникновении аварийных режимов эксплуатации. Практика проектирования и эксплуатации демонстрирует, что оптимальным решением является комбинированный способ заряда накопителя электроэнергии: при полностью разряженном накопителе электроэнергии производят заряд неизменным током (рис. 2, а), а при достижении минимального рабочего напряжения – неизменной мощностью, пока напряжение на накопителе электроэнергии не достигнет требуемого (рис. 2, б).

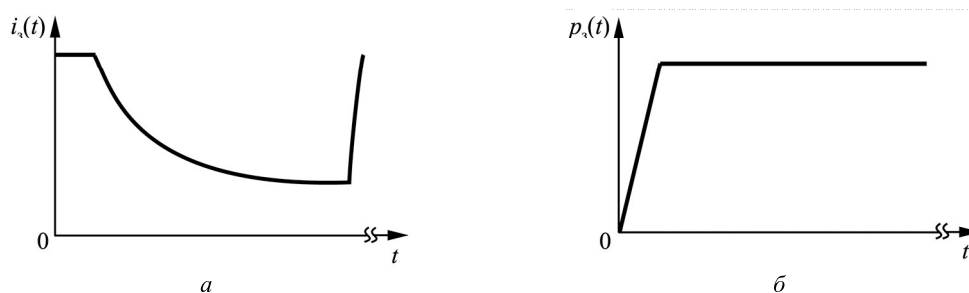


Рис. 2

Заряд накопителя электроэнергии неизменной мощностью обеспечивает существенные преимущества, включая повышение коэффициента использования источника постоянного напряжения $U_{вх}$ и подавление низкочастотных пульсаций напряжения на его выходе, что особенно важно для исключения паразитного влияния импульсной нагрузки на работу других потребителей электроэнергии.

Данный режим заряда необходим, прежде всего, в передатчиках бортовых РЛС, что обусловлено двумя ключевыми факторами. Во-первых, носитель таких РЛС имеет, как правило, первичные источники электроэнергии ограниченной мощности. Во-вторых, вследствие неравномерности энергопотребления устройства заряда накопителя уменьшается надежность функционирования РЛС и другой аппаратуры на борту носителя. Это обусловлено возникновением дополнительной нагрузки на первичный источник электроэнергии.

Ранее была разработана схема устройства заряда накопителя на основе обратноходового преобразователя напряжения (рис. 3) [11].

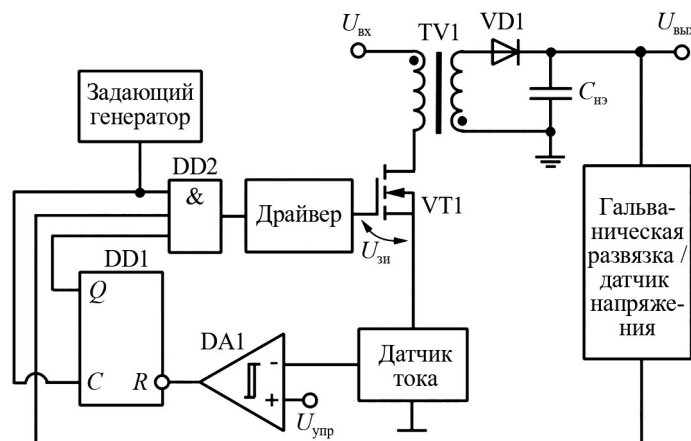


Рис. 3

Режим постоянства потребляемой мощности в данной схеме обеспечивается при выполнении определенных соотношений между параметрами элементов силовой цепи и заданном способе управления транзисторным ключом. Таким образом, устройство реализует функцию преобразователя источника неизменного напряжения $U_{вх}$ в источник неизменной мощности.

Равномерность энергопотребления устройства заряда накопителя обеспечивается при выполнении следующего условия: за период следования импульсов тока нагрузки (т. е. зондирующих радиоимпульсов) должна соблюдаться сбалансированность мощности, отдаваемой устройством заряда накопителя в накопитель электроэнергии, и мощности, потребляемой импульсной нагрузкой от накопителя электроэнергии, с учетом совокупных потерь. Так, в схеме на рис. 3 узел управления формирует открывающее напряжение $U_{зи}$ на затворе транзистора VT1 по сигналу с задающего генератора и запирающее напряжение по сигналу с компаратора DA1, подключенного к датчику тока в цепи истока транзистора VT1. Параметры двухобмоточного дросселя TV1 выбраны так, чтобы обеспечить режим прерывистого тока во всем рабочем диапазоне входных и выходных напряжений (т. е. ток в первичной обмотке дросселя уменьшается до нуля перед следующим включением транзистора).

Прерывистый режим работы двухобмоточного дросселя обуславливает передачу всей энергии, накопленной в первичной обмотке, за один период переключения транзистора, т. е. коэффициент использования энергии выше, чем в режиме непрерывных токов. Это позволяет снизить массу и габаритные размеры двухобмоточного дросселя. С другой стороны, при малых значениях выходного напряжения устройство заряда накопителя переходит в режим непрерывных токов через дроссель. В связи с этим целесообразно выбирать параметры двухобмоточного дросселя с учетом минимального выходного напряжения устройства заряда накопителя, допуская переход устройства заряда накопителя в режим непрерывных токов при первоначальном заряде накопителя электроэнергии [10, 12]. Тем самым обеспечивается комбинированный способ заряда накопителя электроэнергии – сначала близким к неизменному току заряда, далее к неизменной мощности заряда.

Изменением управляющего напряжения $U_{упр}$ на входе компаратора DA1 регулируется уровень мощности, потребляемой устройством заряда накопителя и передаваемой с его выхода в накопитель электроэнергии. При превышении напряжением на накопителе электроэнергии заданного максимального значения срабатывает цепь защиты от превышения напряжения, и узел управления формирует на затворе транзистора запирающее напряжение.

Недостатком данного устройства заряда накопителя является нестабильность предзарядного напряжения, обусловленная отсутствием стабилизации. Хотя функционирование устройства заряда накопителя в режиме ограничения выходного напряжения (при срабатывании узла защиты) позволяет стабилизировать предзарядное напряжение, данный режим характеризуется непостоянством потребляемой мощности, что делает его применение нежелательным.

Значение предзарядного напряжения определяется средней мощностью, потребляемой импульсной нагрузкой за период следования импульсов выходного тока, и может изменяться в процессе работы. Следствием является изменение предзарядного напряжения. В работе [11] показано, что для регулирования предзарядного напряжения в процессе работы устройства заряда накопителя необходимо изменять уровень выходной мощности устройства заряда накопителя P_3 в соответствии со средней мощностью, потребляемой импульсной нагрузкой за период следования импульсов выходного тока:

$$P_3 = \frac{1}{T_n} \int_0^{t_n} \frac{U_{вых}^2(t)}{R_n} dt, \quad (4)$$

где R_n – эквивалентное сопротивление импульсной нагрузки по постоянному току.

Предлагается ввести в схему устройства заряда накопителя (см. рис. 3) отрицательную обратную связь по уровню предзарядного напряжения на накопителе электроэнергии, изменяющую уровень мощности, передаваемой с выхода устройства заряда накопителя в накопитель электроэнергии [13]. Это позволит стабилизировать значение предзарядного напряжения на накопителе электроэнергии и обеспе-

чить высокую равномерность энергопотребления от источника постоянного напряжения без значительного увеличения массы устройства заряда накопителя.

Таким образом, устройство заряда накопителя содержит управляемый источник неизменной мощности на основе обратного преобразователя, в который, по сравнению с устройством (см. рис. 3), дополнительно введены схема запоминания уровня предзарядного напряжения (схема выборки-хранения) и схема пропорционально-интегрального регулятора (ПИ-регулятора) (рис. 4).

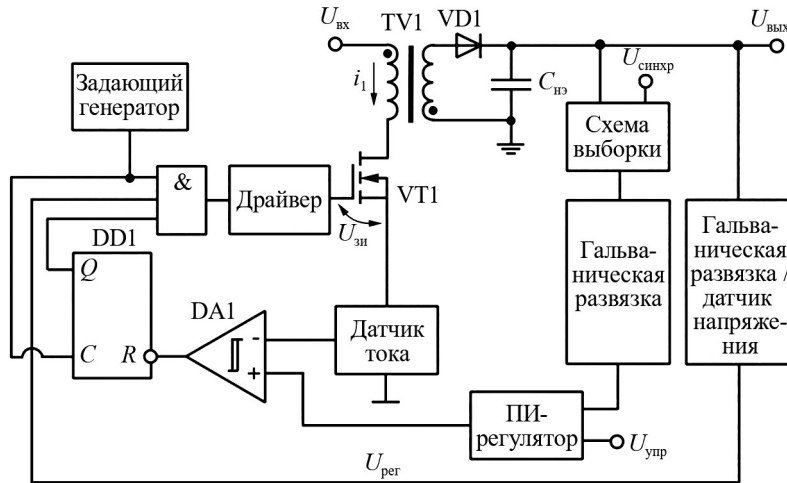


Рис. 4

Схема запоминания по переднему фронту сигнала синхронизации $U_{\text{синхр}}$ (синхронного с импульсом заряда накопителя электроэнергии) осуществляет запоминание и хранение значения предзарядного напряжения до поступления следующего импульса синхронизации. Сигнал с выхода схемы запоминания поступает на вход ПИ-регулятора. На другой вход ПИ-регулятора поступает управляющее напряжение $U_{\text{упр}}$, пропорциональное значению требуемого предзарядного напряжения. Сигнал с выхода ПИ-регулятора $U_{\text{рег}}$ поступает на неинвертирующий вход компаратора DA1.

Цепь отрицательной обратной связи по предзарядному напряжению обеспечивает стабильность предзарядного напряжения в заданных пределах при изменении входного напряжения, тока нагрузки, длительности и скважности импульсов выходного тока. При этом сохраняется равномерное потребление тока устройством заряда накопителя от источника постоянного напряжения $U_{\text{вх}}$.

Работа силовой части устройства заряда накопителя осуществляется в два этапа. На первом этапе осуществляется накопление энергии в магнитном поле двухобмоточного дросселя TV1, на втором – передача накопленной энергии в накопитель электроэнергии $C_{\text{нэ}}$.

После открытия транзисторного ключа VT1 на время $t_{\text{вкл}}$ (рис. 5) по сигналу от задающего генератора ток i_1 через транзистор нарастает практически линейно:

$$i_1(t) = \frac{1}{L_1} \int_0^{t_{\text{вкл}}} U_{\text{вх}} dt, \quad (5)$$

где L_1 – индуктивность первичной обмотки дросселя.

Тогда ток через транзистор к концу интервала времени $t_{\text{вкл}}$ составит

$$I_1 = \frac{U_{\text{вх}} t_{\text{вкл}}}{L_1}. \quad (6)$$

Значение тока i_1 контролируется компаратором DA1 по опорному сигналу с датчика тока в цепи истока транзистора. Ток через вторичную обмотку i_2 двухобмоточного дросселя TV1 не протекает.

Как только сигнал датчика тока превысит выходной сигнал ПИ-регулятора $U_{\text{рег}}$, узел управления сформирует сигнал для закрытия транзистора VT1 на время $t_{\text{выкл}}$ ($t_{\text{выкл}} = \text{var}$), пока задающий генератор

не даст команду на открытие транзистора. При этом значение накопленной в дросселе TV1 энергии будет пропорционально квадрату напряжения $U_{упр}$, которое задает требуемый уровень мощности заряда накопителя электроэнергии:

$$E_1 = L_1 \int_0^{I_1} i_1 di_1 = \frac{1}{2} L_1 I_1^2 = \frac{C_{нз} U_{ввых}^2}{2\eta t_3 f_{раб}}, \quad (7)$$

где η – совместный КПД вторичной части устройства заряда накопителя и накопителя электроэнергии; $f_{раб}$ – частота переключения транзисторного ключа VT1.

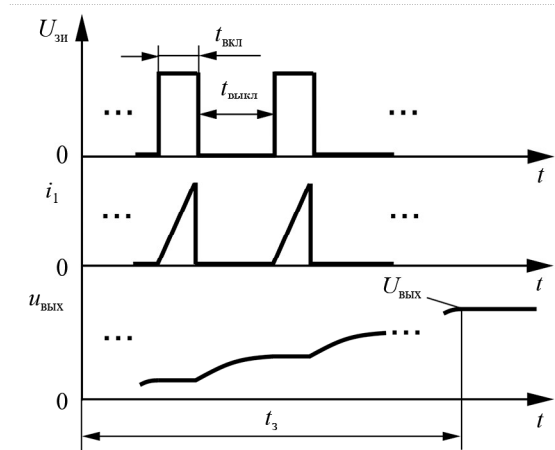


Рис. 5

При запертии транзисторного ключа VT1 энергия, накопленная в дросселе TV1, передается в накопитель электроэнергии $C_{нз}$. Параметры дросселя TV1 и задающего генератора выбираются из условия полной передачи накопленной энергии в накопитель электроэнергии до момента отпираания ключа VT1. Следовательно, в пределах рабочего диапазона напряжений преобразователь функционирует в режиме прерывистого тока дросселя. Режим непрерывного тока реализуется только при условии, что напряжение на накопителе электроэнергии не превышает минимального рабочего уровня, например, в момент запуска устройства заряда накопителя.

Описанный циклический процесс накопления и отдачи энергии в дросселе будет продолжаться до тех пор, пока накопитель электроэнергии не зарядится до требуемого значения напряжения:

$$U_{ввых} = \frac{U_{вх}^2 t_{вкл}^2}{2L_2 (t_{вкл} + t_{выкл}) I_{ввых}} \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2, \quad (8)$$

где L_2 – индуктивность вторичной обмотки дросселя; n_1, n_2 – число витков в первичной и вторичной обмотках дросселя.

Таким образом, устройство заряда накопителя постоянно передает в накопитель электроэнергии (при его заряде) и в нагрузку (при разряде накопителя электроэнергии) фиксированную мощность, тем самым обеспечивается равномерность энергопотребления устройства заряда накопителя.

В программе Micro-Cap была разработана схемотехническая модель предлагаемого устройства заряда накопителя (рис. 6). Для увеличения скорости моделирования силовая часть устройства заряда накопителя выполнена на функциональных блоках, имитирующих источник неизменной мощности. Характеристики устройства заряда накопителя соответствуют типовым требованиям разработчиков импульсных усилителей мощности РЛС: входное напряжение – 22...32 В; выходное напряжение – 30...70 В; максимальный импульсный ток нагрузки – 3 А; длительность импульса тока нагрузки – 100 мкс...10 мс; скважность импульсов тока нагрузки более двух; максимальная выходная мощность – 120 Вт.

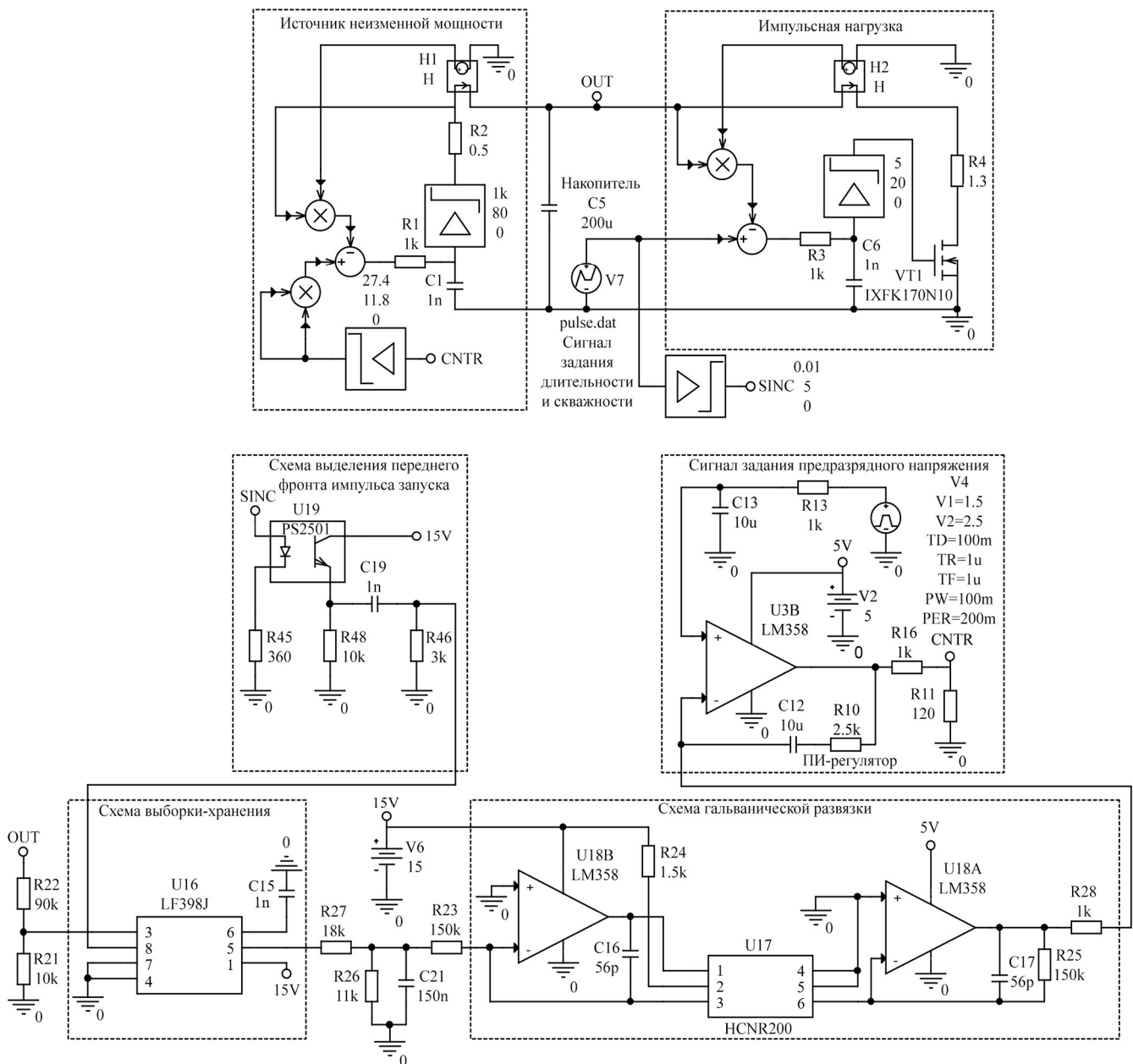


Рис. 6

Для случая изменения предзарядного напряжения ($t_{и} = 200$ мкс, $Q = 10$, $U_{\text{вых}} = 40...70$ В) в схеме модели устройства заряда накопителя приведены осциллограммы напряжения сигнала управления $U_{\text{рег}}$ (рис. 7, а) и выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ (рис. 7, б). Для случая изменения скважности импульсов тока нагрузки ($t_{и} = 200$ мкс, $Q = 10...20$, $U_{\text{вых}} = 70$ В) в схеме модели устройства заряда накопителя приведены осциллограммы напряжения сигнала управления $U_{\text{рег}}$ (рис. 8, а) и выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ (рис. 8, б).

Как следует из полученных осциллограмм (см. рис. 7, 8), энергетические характеристики устройства заряда накопителя совпадают с полученными в работе [11]. Так, при скважности импульсов тока нагрузки $Q = 15$ импульсная выходная мощность устройства заряда накопителя составляет 2450 Вт, а средняя – 120 Вт.

Изготовленный лабораторный макет устройства заряда накопителя рассчитан на заряд накопителя электроэнергии с суммарной емкостью 100...14 мФ до напряжения 70 В.

В макете в качестве задающего генератора использовалась микросхема таймера NE555. Электропитание устройства производилось постоянным напряжением 28 В. В качестве транзисторного ключа

использовался транзистор IRFB4127, в качестве драйвера – микросхема UCC37324, компаратора – микросхема TLV3501, датчика тока – включенные параллельно резисторы с суммарным сопротивлением 0,02 Ом. Рабочая частота генератора составляла 60 кГц. Схема выборки-хранения была реализована на основе микросхемы LF398, ПИ-регулятор – на основе операционного усилителя LM358.

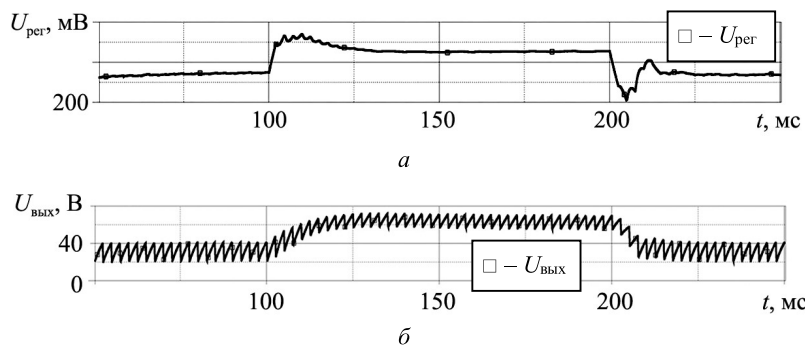


Рис. 7

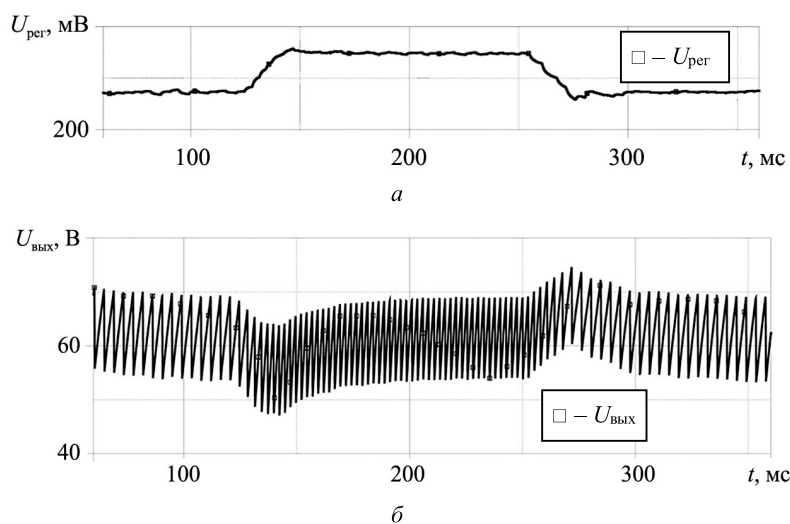


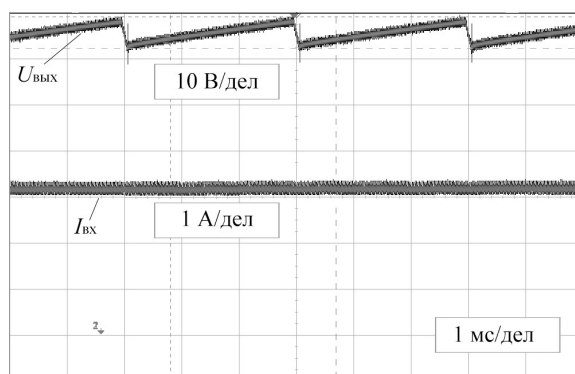
Рис. 8

Осциллограммы напряжения и тока в макете устройства заряда накопителя приведены на рис. 9: $a - t_{\text{н}} = 3 \text{ мс}, Q = 30, U_{\text{вых}} = 70 \text{ В}; b - t_{\text{н}} = 3 \text{ мс}, Q = 30, U_{\text{вых}} = 30 \text{ В}; в - t_{\text{н}} = 3 \text{ мс}, Q = 50, U_{\text{вых}} = 70 \text{ В}; г - t_{\text{н}} = 10 \text{ мс}, Q = 30, U_{\text{вых}} = 50 \text{ В}.$

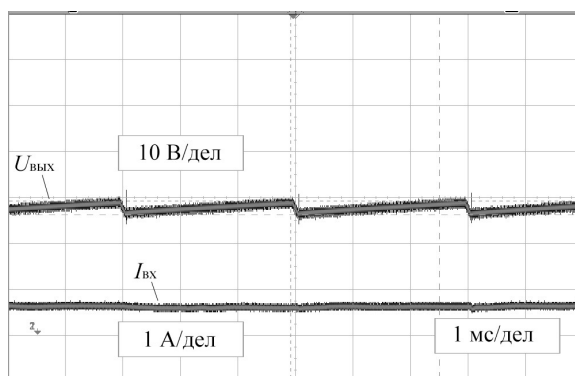
Согласно полученным осциллограммам напряжений и токов (см. рис. 9) неравномерности тока потребления устройства заряда накопителя при различных длительностях импульса тока нагрузки и значении спада напряжения на накопителе электроэнергии практически не наблюдается. Предразрядное напряжение демонстрирует высокую стабильность при различных параметрах импульсной нагрузки и требуемых значениях предразрядного напряжения. Аналогичные результаты были получены и для разных скважностей импульсов тока в нагрузке.

Таким образом, предложенная схема устройства заряда накопителя производит заряд емкостного накопителя электроэнергией неизменной мощностью, что позволяет за счет лучшей равномерности энергопотребления устройства заряда накопителя, не превышающей 3 %, уменьшить установленную мощность источника входного постоянного напряжения (что особенно важно для летательных аппаратов и других автономных объектов с ограниченными по мощности источниками электроэнергии), повысить коэффициент использования до 95...98 %, улучшить электромагнитную совместимость и массогабаритные параметры передающего тракта РЛС за счет отказа от габаритного дросселя на выходе. Устройство заряда накопителя характеризуется высоким КПД (более 90 %) и повышенной надежностью (включая устойчи-

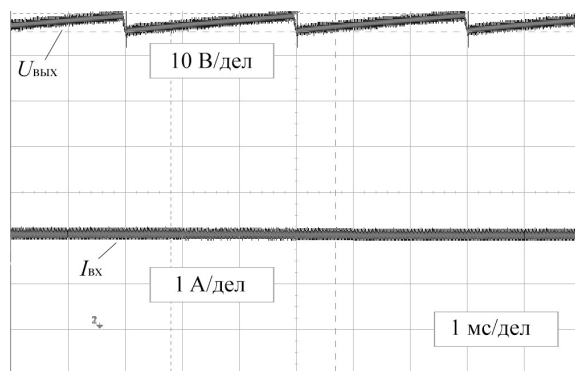
вую работу при нагрузке в виде накопителя электроэнергии большой емкости), стабильностью предразрядного напряжения при изменении временных параметров импульсов тока нагрузки в условиях воздействия дестабилизирующих факторов.



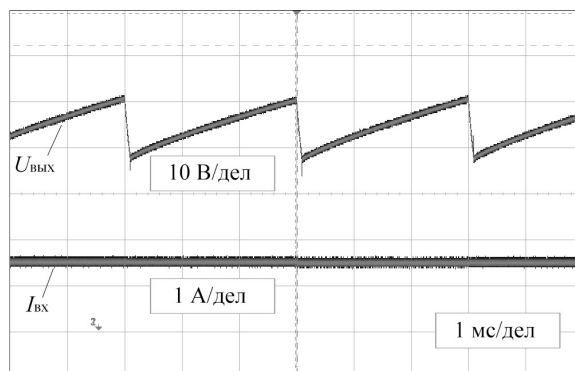
а



б



в



г

Рис. 9

Устройство заряда накопителя перспективно для применения в системах электропитания передающих трактов импульсных РЛС, предъявляющих высокие требования к стабильности предзарядного напряжения, характеризующихся большими длительностями и скажностями зондирующих радиоимпульсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Канащенков А.И. и др. Малогабаритные интегрированные радиолокационные системы нового поколения для летательных аппаратов // Изв. вузов. Авиационная техника. 2017. № 4. С. 153–157.
2. Кушнерев Н.А., Родин М.В. Особенности проектирования и тенденции развития систем электропитания АФАР бортовых радиолокаторов // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2019. № 6. С. 68–82.
3. Nami A. et al. A Capacitor Charging Power Supply for Repetitive Pulsed Power Systems // Proc. of the 14th European Conference on Power Electronics and Applications, Aug. 30 – Sept. 1, 2011, Birmingham, UK. P. 1–9.
4. Ухов А.А. и др. Система беспроводной передачи энергии для питания бортовой аппаратуры летательного аппарата // Изв. вузов. Авиационная техника. 2021. № 4. С. 32–38.
5. O'Reilly D., Kavanagh D.F. Efficient Flyback Converter Design for Pulsed Plasma Thrusters with Applications in Cubesats // IEEE 2nd Industrial Electronics Society Annual On-Line Conference, Dec. 8–10, 2023, USA. P. 1–6.
6. Demirbas F., Kayisli K., Zhakiyev N. Comparative Analysis of the Control Algorithms for the Capacitor Charging Power Supplies // Proc. of the 13th International Conference on Renewable Energy Research and Applications, Nov. 9–13, 2024, Nagasaki, Japan. P. 952–958.
7. Кныш В.А. Полупроводниковые преобразователи в системах заряда накопительных конденсаторов. Л.: Энергоиздат, 1981. 156 с.
8. Булатов О.Г., Иванов В.С., Панфилов Д.И. Полупроводниковые зарядные устройства емкостных накопителей. М.: Радио и связь, 1986. 159 с.
9. Кириенко В.П. Регулируемые преобразователи систем импульсного электропитания. Нижний Новгород: НГТУ, 2008. 617 с.
10. Кушнерев Н.А., Родин М.В., Прохоренко В.В. К заряду емкостного накопителя неизменной мощностью в радиолокационных передающих трактах // Сб. науч. ст. по материалам 8-й Междунар. науч.-практ. конф. «Радиоинфоком-2024». М.: МИРЭА – Российский технологический университет, 2024. С. 463–468.
11. Кушнерев Н.А., Родин М.В., Попов Д.О. Улучшение технических характеристик АФАР импульсных РЛС за счет снижения неравномерности энергопотребления передающих модулей // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2025. № 1. С. 88–101.
12. Weijiao Li et al. Improved Fly-Back Charging Circuit for External Defibrillator // Proc. of the 3rd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, June 11–13, 2009, Beijing, China. P. 1–4.
13. Способ заряда емкостного накопителя электроэнергии постоянной мощностью и устройство для его осуществления: пат. заявка 2025125954 / М.В. Родин и др.; заявл. 19.09.2025.

Поступила в редакцию 25.10.25

После доработки 30.10.25

Принята к публикации 30.10.25

A Constant Power Capacitor Charging Power Supply for Radar Transmitter

M.V. RODIN¹ AND N.A. KUSHNEREV²

¹ ООО "Bureau 1440", Moscow

² АО «Concern "Vega"», Moscow

A new capacitor charging power supply based on a flyback voltage converter is proposed, which ensures uniform energy consumption due to constant charging power. Due to introducing the negative feedback, it achieves the high pre-discharge voltage stability. The results of computer simulation and experimental testing are presented.

Storage charger, constant power charge, flyback voltage converter, power amplifier, transmitter, radar