

## КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ ЕМКОСТНЫХ ЗАРЯДНЫХ УЗЛОВ МАГНИТНО-ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

И.В.Волков<sup>1</sup>, чл.-корр. НАН Украины, В.И.Зозулев<sup>1</sup>, канд.техн.наук, Д.А.Шолох<sup>1</sup>, канд.техн.наук, А.И.Христо<sup>2</sup>

<sup>1</sup> – Институт электродинамики НАН Украины,  
пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина.  
e-mail: [dimashol@ukr.net](mailto:dimashol@ukr.net)

<sup>2</sup> – Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины,  
пр. Октябрьский, 43-А, Николаев, 54018, Украина.

*Изложены результаты исследований основных типовых и предложенных емкостных зарядных узлов магнитно-полупроводниковых импульсных устройств. Показано, что расширение функциональных возможностей рассмотренных узлов предопределяет заметное улучшение электродинамических показателей магнитно-полупроводниковых импульсных устройств. Сформулированы основы предложенной концепции построения емкостных зарядных узлов. Библ. 8, рис. 5.*

**Ключевые слова:** емкостной зарядный узел, магнитный и магнитно-полупроводниковый генератор импульсов, магнитно-полупроводниковые импульсные устройства.

**Введение.** Емкостные зарядные узлы (ЕЗУ) являются неотъемлемой частью магнитно-полупроводниковых импульсных устройств: магнитных и магнитно-полупроводниковых генераторов импульсов [1] и других импульсных устройств [2,3]. Оптимизация магнитно-полупроводниковых импульсных устройств заметно определяется выбором ЕЗУ. Этот выбор лучшим образом достигается, следуя предлагаемой концепции построения рассматриваемых ЕЗУ. Данная концепция в целом основана на расширении функциональных возможностей ЕЗУ и использовании в основном следующих их реализаций: стабилизации зарядных импульсов; совмещении заряда (перезаряда) ЕЗУ с процессом восстановления магнитного состояния индуктивных элементов магнитно-полупроводниковых импульсных устройств; двухтактного заряда ЕЗУ с увеличенной частотой; возврата неиспользованной энергии в сеть; умножении напряжения; совмещении функций заряда и компрессии импульсов и других решений.

**Целью работы** является представление обобщенных и развитых принципов построения емкостных зарядных узлов, способствующих при их реализации улучшению энергодинамических показателей магнитно-полупроводниковых импульсных устройств.

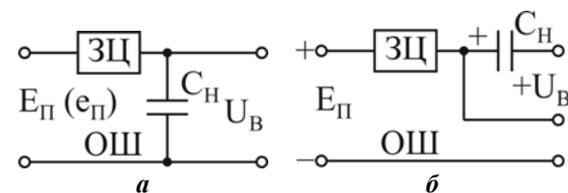


Рис. 1

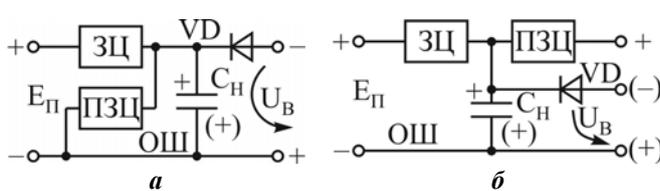


Рис. 2

**Результаты исследований.** Типовые схемы емкостных зарядных узлов, наиболее часто применяемые в магнитно-полупроводниковых импульсных устройствах, показаны на рис. 1, а, б, где ЗЦ – зарядная цепь, ОШ – общая шина. В зависимости от напряжения  $E_{п}(DC)$  или  $e_{п}(AC)$ , типа последующего за емкостным зарядным узлом узла компрессии импульсов и типа его ключа зарядная цепь может состоять из линейного дросселя или из последовательной

цепи: диод  $VD$  и  $L_0$ , или транзистор  $VT$  (тиристор  $VS$ ) и  $L_0$ , или  $VT (VS), L_0$  и коммутирующий дроссель  $L_k$  (последний для уменьшения рассеиваемой мощности на  $VT$  или  $VS$ ). В схеме (рис. 1, а) от источника  $E_{п}(DC)$  или  $e_{п}(AC)$  конденсатор  $C_n$  заряжается через зарядную цепь и общую шину. При разряде  $C_n$  (через ключ узла компрессии импульсов) формируются прямые импульсы в этом узле, которые могут быть также

регулируемыми при изменении параметров зарядной цепи (с помощью  $VS$  или  $VT$ , или подмагничиваемого  $L_0$ ). В схеме (рис. 1, б) конденсатор  $C_n$  заряжается через обмотку последующего за ЕЗУ трансформатора (Т) и ОШ, восстанавливая его магнитное состояние, а разряжается  $C_n$  через ключ узла компрессии импульсов и обмотку Т в обратном направлении, формируя инверсные импульсы по отношению к зарядным [4]. То есть схемам (рис. 1, а, б) приданы отмеченные дополнительные функции. Согласно данному подходу построены емкостные зарядные узлы в составе более эффективных магнитно-полупроводниковых генераторов импульсов (патенты Украины №40523, №41504, №42578).

Схема (рис. 1, а) может быть функционально расширена, как это показано на рис. 2, а и б, где ПЗЦ – перезарядная цепь, аналогичная по своему составу зарядной цепи (рис. 1, а). Здесь за счет блокировки диодом  $VD$  магнитного ключа в последующем узле компрессии импульсов и введению перезарядной цепи удается

заметно уменьшить магнитное состояние ключа и во время перезаряда  $C_H$  (рис. 2, б) восстановить магнитное состояние последующих магнитных ключей и  $T_H$ . Схема (рис. 1, б) также может быть функционально дополнена узлами разгрузки последующих ключей VT или VS, а также обеспечена условиями восстановления магнитного состояния магнитных ключей в узлах компрессии импульсов. Таким образом построены емкостные зарядные устройства в составе магнитно-полупроводниковых генераторов импульсов, имеющих улучшенные показатели (патенты Украины №57078, №63085).

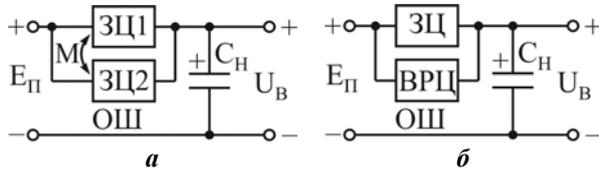


Рис. 3

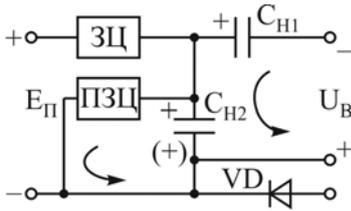


Рис. 4

схеме (рис. 3, б) через возвратно-разрядную цепь (ВРЦ) сбрасывается излишек энергии, возникающий при рассогласовании магнитно-полупроводникового генератора импульсов с нагрузкой, из емкости  $C_H$  в источник  $E_P$ . Это обеспечивает устойчивую работу магнитно-полупроводникового генератора импульсов при его работе на изменяющуюся в широких пределах нагрузку. Объединение схем (рис. 1, б и рис. 2, а) приводит к варианту емкостного зарядного узла (рис. 4), когда сохраняются отмеченные положительные свойства этих схем и удваивается напряжение на последовательно соединенных их конденсаторах, что адекватно асимметричному заряду  $C_H$  схемы (рис. 1, а) от источника  $e_P(AC)$  [1].

Применяются также емкостные зарядные узлы, построенные на базе классических схем Латура, Маркса и Блюмляйна. Структурно новым узлом представляется сочетание емкостных зарядных узлов и узлов компрессии импульсов, рассматриваемое как инвертор компрессионных импульсов: напряжение источника  $E_P$  преобразуется в сжатые биполярные импульсы с  $U_H^m \rightarrow 4E_P$ , причем с помощью трех полупроводниковых ключей, а не четырех ключей согласно известным построениям ЕЗУ [6].

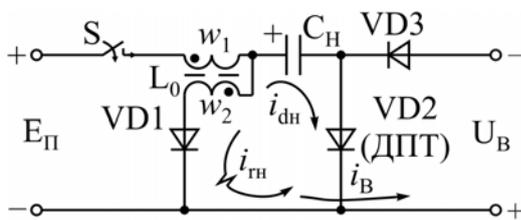


Рис. 5

Сочетание индуктивных зарядных устройств (ИЗУ) с емкостными зарядными устройствами предполагает также выгодные решения для перспективных магнитно-полупроводниковых импульсных устройств (МПИУ). Например, возможен вариант ИЗУ, когда функцию обрыва тока в нем выполняет диодный прерыватель тока (ДПТ), как это представлено на рис. 5. При замыкании ключа  $S$  идет накачка диодного прерывателя током  $i_{dh}$  по цепи:  $+E_P$ , открытый ключ  $S$ , обмотка  $w_1$  ( $L_0$ ), емкость  $C_H$ , диод  $VD_2$  (ДПТ),  $-E_P$ . При этом энергия накапливается в дросселе  $L_0$  и емкости  $C_H$ , по окончании заряда которой ток  $i_{dh} = 0$ . В этот момент запирается полупроводниковый ключ  $S$ , и он, по определению, должен быть замыкающим, то есть при его размыкании нет необходимости прерывать максимальный индуктивный ток, а только ток  $i_{dh} \approx 0$  и блокировать напряжение на емкости  $C_H$ ,  $U_{CH} > E_P$ . Далее конденсатор  $C_H$  перезаряжается через обмотку  $w_2$  дросселя  $L_0$ , диод  $VD_1$  и диодный прерыватель тока  $VD_2$  при токе его обратной накачки  $i_{th}$ , увеличивая запас энергии в дросселе  $L_0$ . После обрыва тока  $i_{th}$  диодом  $VD_2$  энергия дросселя  $L_0$  сбрасывается в нагрузку при токе  $i_b$ , который замыкается через диод  $VD_3$ .

Проведено численное моделирование электромагнитных процессов в рассматриваемых емкостных зарядных узлах по аналогии с [7,8]. Результаты этого моделирования приемлемо совпадают с экспериментальными данными и способствуют наиболее выгодному выбору варианта емкостного зарядного узла из 17-ти обобщенных схем.

Проведено численное моделирование электромагнитных процессов в рассматриваемых емкостных зарядных узлах по аналогии с [7,8]. Результаты этого моделирования приемлемо совпадают с экспериментальными данными и способствуют наиболее выгодному выбору варианта емкостного зарядного узла из 17-ти обобщенных схем.

**Выводы.** Основы предложенной концепции: 1) емкостной зарядный узел предопределяет энергодинамические и другие показатели МПИУ; 2) улучшение этих показателей достигается с большей эффективностью при целевом расширении функциональных возможностей емкостных зарядных узлов и выборе их из общего ряда (всего 17 схем); 3) основными путями целевого улучшения емкостных зарядных узлов являются: совмещение процессов заряда (перезаряда) и восстановления магнитного состояния индуктивных элементов; двухтактный заряд емкости; возврат излишней энергии в сеть; умножение напряжения на емкости; формирование в одном узле зарядных и компрессионных импульсов; базирование узла на схемах Латура, Маркса и Блюмляйна; 4) окончательный выбор близких конкурирующих вариантов емкостного зарядного узла определяется по результатам анализа их моделирования – физического и численного.

1. Меерович Л.А., Ватин И.М., Зайцев Э.Ф., Кандыкин В.М. Магнитные генераторы импульсов. – М.: Советское радио, 1968. – 475 с.

2. *Bluhm H.* Pulsed Power Systems, Principles and Applications, Germany, Springer-Verlag, 2006. – 326 p.
3. *Nakhe S.V., Rajanikanth B.S., Bratnagar R.* Energy deposition studies in a copper vapor laser under different pulse excitation schemes // Measurement Science and Technology. – 2003. – № 14. – Pp. 607–613.
4. *Пентегов И.В.* Основы теории зарядных цепей емкостных накопителей энергии. – К.: Наук. думка, 1982. – 420 с.
5. *Буркин Е.Ю., Свиридов В.В., Степанов Е.Ю.* Инверторный источник питания для заряда емкостного накопителя // Известия томского политехнического университета. – 2011. – Т. 321. – № 4. – С. 155–160.
6. *Волков И.В., Зозулев В.И., Шолох Д.А.* Двухтактные магнитно-полупроводниковые генераторы импульсов: принципы построения и основные процессы // Праці Ін-ту електродинаміки НАН України. – 2012. – Вип. 32. – С. 76–82.
7. *Зозулев В.И., Шолох Д.А., Христо А.И.* Численное моделирование электромагнитных процессов в схеме магнитного генератора импульсов // Техн. електродинаміка. – 2014. – № 2. – С. 22–28.
8. *Волков И.В., Зозулев В.И., Подольный С.В., Шолох Д.А.* Исследование процесса формирования выходных импульсов магнитно-полупроводникового генератора // Техн. електродинаміка. – 2012. – № 1. – С. 17–22.

УДК 621.314

**КОНЦЕПЦІЯ ПОБУДОВИ ЄМНІСНИХ ЗАРЯДНИХ ВУЗЛІВ МАГНІТНО-НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ГЕНЕРАТОРІВ**  
**І.В.Волков<sup>1</sup>**, чл.-кор. НАН України, **В.І.Зозульов<sup>1</sup>**, канд.техн.наук, **Д.О.Шолох<sup>1</sup>**, канд.техн.наук, **О.І.Христо<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> – Інститут електродинаміки НАН України,  
 пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна.  
 e-mail: [dimashol@ukr.net](mailto:dimashol@ukr.net)

<sup>2</sup> – Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України,  
 пр. Жовтневий, 43-А, Миколаїв, 54018, Україна.

*Викладено результати досліджень основних типових і запропонованих ємнісних зарядних вузлів магнітно-напівпровідникових імпульсних пристроїв. Показано, що розширення функціональних можливостей розглянутих вузлів зумовлює помітне поліпшення електродинамічних показників магнітно-напівпровідникових імпульсних пристроїв. Сформульовано основи запропонованої концепції побудови ємнісних зарядних вузлів. Бібл. 8, рис. 5.*

**Ключові слова:** ємнісний зарядний вузол, магнітний та магнітно-напівпровідниковий генератор імпульсів, магнітно-напівпровідникові імпульсні пристрої.

**THE CAPACITIVE CHARGING NODES CONSTRUCTION CONCEPTION OF THE MAGNETIC SEMICONDUCTOR PULSE GENERATORS**

**I.V.Volkov<sup>1</sup>, V.I.Zozulev<sup>1</sup>, D.A.Sholokh<sup>1</sup>, A.I.Khristo<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> – Institute of Electrodynamics National Academy of Sciences of Ukraine,  
 pr. Peremohy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine.  
 e-mail: [dimashol@ukr.net](mailto:dimashol@ukr.net)

<sup>2</sup> – Institute of Pulses Processes and Technologies of National Academy of Science of Ukraine,  
 pr. Zhovtnevyi, 43-A, Mykolaiv, 54018, Ukraine.

*The research results of the standard and proposed capacitive charging nodes for the magnetic pulse semiconductor devices were described. It's shown that the nodes functionality expanding is the main way for the magnetic pulse semiconductor devices electrodynamic parameters improvement. The concept basic principles for the capacitive charging nodes construction were formulated. References 8, figures 5.*

**Keywords:** capacitive charging node, magnetic and magnetic semiconductor pulse generator, magnetic semiconductor pulse devices.

1. *Meerovich L.A., Vatin I.M., Zaitsev E.F., Kandykin V.M.* The magnetic pulse generators. – Moskva: Sovetskoe radio. – 1968. – 475 p. (Rus)
2. *Bluhm H.* Pulsed Power Systems, Principles and Applications, Germany, Springer-Verlag, 2006. – 326 p.
3. *Nakhe S.V., Rajanikanth B.S., Bratnagar R.* Energy deposition studies in a copper vapor laser under different pulse excitation schemes // Measurement Science and Technology. – 2003. – №14. – Pp. 607–613.
4. *Pentegov I.V.* Fundamentals of the theory of charging circuits of capacitive energy storage. – Kyiv: Naukova Dumka, 1982. – 420 p. (Rus)
5. *Burkin E.Yu., Sviridov V.V., Stepanov E.Yu.* Inverter power source to charge the capacitor storage // Izvestia tomского politekhnicheskogo universiteta. – 2011. – Vol. 321. – № 4. – Pp. 155–160.
6. *Volkov I.V., Zozulev V.I., Sholokh D.A.* Push-pull magnetic semiconductor pulse generators: principles of construction and basic processes // Pratsi Instytutu Elektrodynamiky Natsionalnoi Akademii Nauk Ukrainy. – 2012. – Vypusk 32. – Pp. 76–82. (Rus)
7. *Zozulev V.I., Sholokh D.A., Khristo A.I.* Numerical simulation of electromagnetic processes in the scheme of magnetic pulse generator // Tekhnichna Elektrodynamika. – 2014. – №2. – Pp. 22–28. (Rus)
8. *Volkov I.V., Zozulev V.I., Podolnyi S.V., Sholokh D.A.* Research of output pulse magnetic-semiconductor generator formation // Tekhnichna Elektrodynamika. – 2012. – №1. – Pp. 17–22. (Rus)

Надійшла 24.02.2014