

УДК 621.3.011:621.372

**АПЕРИОДИЧЕСКИЕ И КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ РАЗРЯДА КОНДЕНСАТОРА ПРИ ПРИНУДИТЕЛЬНОМ ОГРАНИЧЕНИИ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ТОКОВ В НАГРУЗКЕ**

**А.А.Щерба**, чл.-корр. НАН Украины, **Н.И.Супруновская**, канд.техн.наук, **В.К.Синицин**, **Д.С.Иващенко**,  
**Институт электродинамики НАН Украины,**  
**пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина.**

*Исследованы переходные процессы колебательного и аperiodического разряда накопительных конденсаторов на нагрузку с принудительным ограничением в ней длительности импульсного тока с помощью отключения полностью управляемого полупроводникового коммутатора. Для повышения средней импульсной мощности разрядных импульсов в схемах полупроводниковых формирователей предложено повышать величину емкости конденсаторов, разряжаемых на нагрузку. Библ. 3, табл. 2.*

**Ключевые слова:** переходной процесс, разряд, емкость, ток, длительность, скорость нарастания.

Известно, что если волновое сопротивление  $R_{LC}$  контура существенно больше его активного сопротивления, то при разряде накопительных конденсаторов на нагрузку длительность первого полупериода  $\Delta t$  разрядного тока можно допускать равной  $\Delta t = \pi \sqrt{LC}$  (где  $L$  – индуктивность контура,  $C$  – емкость разряжаемого конденсатора). Если уменьшать величину индуктивности контура  $L$ , то будет уменьшаться длительность  $\Delta t$  разрядного тока и увеличиваться его амплитудное значение  $I_{max}$ . Поэтому в большинстве разрядно-импульсных установок уменьшают величину  $L$  до минимально возможной [1–3]. В то же время увеличение емкости  $C$  приводит к повышению амплитудного значения разрядного тока  $I_{max}$  и увеличению длительности разрядного импульса  $\Delta t$  во столько же раз, что для многих электроразрядных установок является существенным недостатком. К примеру, известно, что для получения субмикронных и наноразмерных электроэрозионных порошков необходимо уменьшать длительность разрядных импульсов и увеличивать скорости нарастания импульсных токов в электроискровой нагрузке по сравнению с параметрами разрядных импульсов, необходимыми для получения микроразмерных порошков [1–3]. Таким образом, уменьшение длительности импульсных токов в искроэрозионной нагрузке является актуальной научной задачей.

Поэтому в данной работе было проведено исследование переходных процессов при разряде накопительных конденсаторов на нагрузку с принудительным ограничением в ней длительности импульсного тока с помощью отключения полностью управляемого полупроводникового коммутатора, что стало возможным благодаря последним достижениям силовой электроники. Проводилось сравнение параметров разрядных импульсов при реализации в контуре нагрузки как колебательных, так и аperiodических переходных процессов, с определением допустимой длительности импульсного тока в нагрузке до достижения им заданного значения  $I_{mp} = I_{max}/N$ , где  $I_{max}$  – максимально возможное значение тока в разрядном контуре. Показано, что зависимость  $\Delta t(\omega_0)$  является функцией  $\Delta t(\omega_0) = (\omega_0)^{-1} \arcsin(\omega_0/N)$ , где  $\omega_0$  – угловая частота свободных колебаний в контуре. Рассмотрение производной такой функции по переменной  $\omega_0$  показало, что она является возрастающей и положительной на всей области ее определения. Таким образом, было доказано, что при использовании коммутаторов, позволяющих прерывать разрядные токи в любой момент времени, можно увеличивать величину емкости конденсатора, увеличивая дозу накопленной в нем энергии и импульсную мощность в нагрузке, если при этом принудительно ограничивать длительность разрядных токов.

Использование полностью управляемых коммутаторов позволяет увеличивать емкость конденсатора, даже несмотря на изменение режима его разряда с колебательного на аperiodический, который ранее не использовался в разрядно-импульсных технологиях из-за недопустимо больших длительностей разрядного тока.

Был проведен анализ длительностей разрядного тока при его нарастании до некоторого фиксированного значения при различных емкостях конденсатора и колебательных и аperiodических его разрядах. В табл. 1 приведены длительности времени  $t_{mp}$ , за которые разрядный ток в нагрузке достигнет требуемого значения  $I_{mp}$  (1000 А) и коэффициента  $k$ , показывающего во сколько раз уменьшается время достижения требуемого значения тока при различных значениях емкости конденсатора  $C$  (в диапазоне от  $20 \cdot 10^{-6}$  до  $500 \cdot 10^{-6}$  Ф) при начальном напряжении на конденсаторе  $U_{0C} = 500$  В, индуктивности разрядной цепи  $L = 10^{-6}$  Гн и сопротивлении нагрузки  $R$ , изменяющемся в пределах от 0,06 Ом до 0,33 Ом. Здесь также приведены величины средних скоростей нарастания тока на отрезке времени от  $t=0$  до момента времени  $t_{mp}$ , когда разрядный ток достигает требуемого значения (1000 А). Скорости нарастания тока определялись по формуле  $v_{cp} = I_{mp}/t_{mp}$ .

**Таблица 1**

$C, \Phi$	$20 \cdot 10^{-6}$	$30 \cdot 10^{-6}$	$50 \cdot 10^{-6}$	$200 \cdot 10^{-6}$	$500 \cdot 10^{-6}$
$t_{mp}, c$	$4,9 \cdot 10^{-6}$	$2,7 \cdot 10^{-6}$	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{-6}$	$2,1 \cdot 10^{-6}$
$k$	1	1,8	2,13	2,23	2,34
$v_{cp}, A/c$	$204,08 \cdot 10^6$	$370,37 \cdot 10^6$	$434,78 \cdot 10^6$	$454,55 \cdot 10^6$	$476,19 \cdot 10^6$

Согласно полученным результатам при увеличении емкости конденсатора в колебательном режиме разряда время нарастания разрядного тока от нуля до требуемого значения 1000 А может уменьшаться в несколько раз. Такие же исследования проводились и для аperiodического разряда конденсатора. Результаты исследований показаны в табл. 2.

Таблица 2

$C, \Phi$	$20 \cdot 10^{-6}$	$50 \cdot 10^{-6}$	$600 \cdot 10^{-6}$
$Q$	0,7	0,7	0,4
$t_{mp}, c$	$4,9 \cdot 10^{-6}$	$2,7 \cdot 10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{-6}$
$k$	1	1,81	2,22
$v_{cp}, A/c$	$204,08 \cdot 10^6$	$370,37 \cdot 10^6$	$454,55 \cdot 10^6$

Согласно полученным результатам время нарастания разрядного тока от нуля до требуемого значения 1000 А (соответствующее наименьшему амплитудному значению из исследуемых разрядных токов) при аperiodическом разряде может быть в несколько раз меньшим, чем в рассмотренных колебательных режимах. Следовательно, во столько же раз можно увеличить и среднюю скорость нарастания тока и среднюю импульсную мощность в технологической нагрузке.

**Выводы.** Использование полностью управляемого ключа, позволяющего прерывать ток в момент достижения требуемого значения, наступающий раньше, чем ток достигнет своего возможного максимального значения, позволяет использовать и аperiodический режим разряда, в котором средняя скорость нарастания тока и импульсная мощность в нагрузке может быть в несколько раз выше, чем при реализации колебательных разрядов накопительных конденсаторов на нагрузку. Такой подход открывает новые перспективы для получения наноразмерных искроэрозийных порошков и устойчивых коллоидных систем в установках объемного электроискрового диспергирования слоя металлических гранул в диэлектрической жидкости между электродами.

1. Супруновская Н.И. Особенности анализа переходных процессов в разрядной цепи конденсатора при изменении ее конфигурации // Праці Ін-ту електродинаміки НАН України. – 2009. – Вип.24. – С. 110–115.
2. Шидловский А.К., Щерба А.А., Супруновская Н.И. Энергетические процессы в электроимпульсных установках с емкостными накопителями энергии. – Киев: Интерконтиненталь-Украина, 2009. – 208 с.
3. Щерба А.А., Супруновская Н.И., Иващенко Д.С. Анализ стабилизации зарядного напряжения конденсатора в электроимпульсной установке с электроискровой нагрузкой // Техн. електродинаміка. Тем. вип. „Силова електроніка та енергоефективність”. – 2009. – Ч. 1. – С. 61–64.

УДК 621.3.011:621.372

**АПЕРІОДИЧНІ ТА КОЛІВАЛЬНІ ПРОЦЕСИ РОЗРЯДУ КОНДЕНСАТОРА ПРИ ПРИМУСОВОМУ ОБМЕЖЕННІ ТРИВАЛОСТІ СТРУМІВ У НАВАНТАЖЕННІ**

А.А.Щерба, чл.-кор. НАН України, Н.І.Супруновська, канд.техн.наук, В.К.Синицин, Д.С.Іващенко, Інститут електродинаміки НАН України, пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна.

*Досліджено перехідні процеси коливального та аперіодичного розряду накопичувального конденсатора на навантаження з примусовим обмеженням у ньому тривалості імпульсного струму за допомогою відключення повністю керованого напівпровідникового комутатора. Для підвищення середньої імпульсної потужності розрядних імпульсів у схемах напівпровідникових формувачів запропоновано підвищувати величину ємності конденсаторів, які розряджаються на навантаження. Бібл. 3, табл. 2.*

**Ключові слова:** перехідний процес, розряд, ємність, струм, тривалість, швидкість зростання.

**APERIODIC AND OSCILLATORY PROCESSES OF CAPACITOR DISCHARGE AT FORCED LIMITATION OF DURATION**

A.A.Shcherba, N.I.Suprunovska, V.K.Synytsyn, D.C.Ivashchenko,

Institute of Electrodynamics National Academy of Sciences of Ukraine, pr. Peremogy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine.

*The transient processes of oscillatory and aperiodic discharge of storage capacitors on load with forced limitation of pulse current duration in it using switching off of fully controllable semiconductor switch are studied. In order to increase average pulse power of discharge pulses in circuits of its semiconductor formers it is proposed to increase a capacitance of capacitors discharged on load. References 3, tables 2.*

**Key words:** transient process, discharge, capacity, current, duration, rate of rise.

1. Suprunovskaia N.I. Analysis particularities of transient processes in discharge circuit of capacitor during its configuration changing // Pratsi Instytutu elektrodynamiky NAN Ukrainy. – 2009. – Vol. 24. – Pp. 110–115. (Rus)
2. Shidlovskii A.K., Shcherba A.A., Suprunovskaia N.I. Power processes in the electropulse installations with capacitive energy storages. – Kyiv: Interkontinental-Ukraina, 2009. – 208 p. (Rus)
3. Shcherba A.A., Suprunovskaia N.I., Ivashchenko D.C. Analysis of stabilization of capacitor charge voltage in the electropulse installation with electrospark load // Tekhnichna elektrodynamika. Tematychnyi vypusk "Sylova elektronika i energoefektivnist". – 2009. – Vol.1. – Pp. 61–64. (Rus)

Надійшла 10.01.2012

Received 10.01.2012