

*М.И. БАРАНОВ*, д-р техн. наук, главн. науч. сотр., НТУ «ХПИ»

## **ВЫБОР И УСТАНОВКА ЗАЩИТНЫХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ РЕЗИСТОРОВ В ЗАРЯДНО–РАЗРЯДНЫХ ЦЕПЯХ МОЩНЫХ ЕМКОСТНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ**

Приведены результаты расчетной оценки числа защитных высоковольтных керамических постоянных резисторов в зарядно-разрядных цепях мощных емкостных накопителей электрической энергии, используемых в различных отечественных и зарубежных электротехнологиях. Указаны полученные данные практической апробации предлагаемого подхода по выбору защитных керамических объемных постоянных резисторов в рассматриваемых электрических цепях высоковольтной импульсной техники.

**Ключевые слова:** высоковольтный емкостный накопитель энергии; зарядно-разрядная цепь; защитный резистор; расчетная оценка числа защитных резисторов.

**Введение.** В области высоковольтной импульсной техники (ВИТ) широкое практическое применение нашли мощные емкостные накопители энергии (ЕНЭ), базирующиеся, как правило, на электрических малоиндуктивных конденсаторах [1–3]. При разработке и создании подобных ЕНЭ одной из важных прикладных электрофизических задач является та, которая связана с рациональным выбором числа защитных резисторов в зарядно-разрядных цепях применяемых высоковольтных конденсаторов. Как известно, подобные защитные резисторы необходимы для термомеханической защиты конденсаторов ЕНЭ от токовых перегрузок в аварийных режимах работы (например, при электрическом пробое секций одного из заряжаемых или разряжаемых конденсаторов батареи ЕНЭ) [4, 5]. При отсутствии данных защитных резисторов в зарядно-разрядных цепях высоковольтного ЕНЭ последствия действия в них токов короткого замыкания на его электрические конденсаторы и элементы могут быть катастрофическими (например, взрывное разрушение металлических или изоляционных корпусов конденсаторов; возгорание жидкого диэлектрика конденсаторов и окружающих конструкций; поражение обслуживающего персонала и используемого при испытаниях оборудования разлетающимися продуктами взрыва конденсаторов и элементами их токовой ошиновки). В этой связи вопросы термомеханической защиты высоковольтных конденсаторов ЕНЭ при возможных аварийных режимах работы в их зарядно-разрядных цепях остаются актуальными прикладными научно-техническими задачами.

**1. Постановка задачи исследования.** Рассмотрим зарядно-разрядную цепь ЕНЭ, содержащую высоковольтные импульсные конденсаторы и за-

щитные резисторы, выполненные на основе высоковольтных керамических объемных постоянных резисторов типа ТВО-60 [6,7]. Этот тип резисторов на номинальное постоянное напряжение  $\pm 25$  кВ обладает наибольшим значением рассеиваемой тепловой мощности по постоянному току, равным 60 Вт. Принимаем, что указанные защитные резисторы жестко установлены на высоковольтных выводах конденсаторов ЕНЭ. Данные выводы на изоляционных (металлических) крышках импульсных конденсаторов, как правило, имеют разнесенную в пространстве цилиндрическую или коаксиальную конструкцию, обеспечивающую их (высоковольтных выводов) электрическую прочность. Такое размещение защитных резисторов позволяет минимизировать габаритные размеры защитных устройств ЕНЭ и конструкционно выполнить их наиболее технологичным путем, а также снизить их паразитное влияние на протекающие в разрядной цепи ЕНЭ с электрической нагрузкой электромагнитные процессы. Считаем, что суммарное активное сопротивление низкоомной (высокоомной) разрядной цепи мощного ЕНЭ с учетом влияния защитных керамических резисторов оказывается равным  $R_p$ . Требуется разработать инженерно-технический подход по приближенному выбору числа защитных высоковольтных керамических резисторов с их номинальным значением активного сопротивления  $R_0$  в зарядно-разрядных цепях таких мощных ЕНЭ.

**2. Приближенный расчет минимального числа защитных резисторов в зарядно-разрядной цепи ЕНЭ.** Минимальное число  $N_m$  рассматриваемых защитных высоковольтных керамических резисторов в зарядно-разрядной цепи ЕНЭ может быть найдено из следующего приближенного соотношения:

$$N_m = W_{ЕНЭ} / W_k, \quad (1)$$

где  $W_{ЕНЭ}$  – номинальное значение электрической энергии, запасаемой в импульсных конденсаторах ЕНЭ;  $W_k$  – критическое (максимальное) значение тепловой энергии, рассеиваемой одним защитным резистором в цепи ЕНЭ.

Согласно экспериментальным данным, полученным в НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» с участием автора и приведенным в [7], критическое значение рассеиваемой тепловой энергии  $W_k$  для высоковольтных керамических объемных постоянных резисторов типа ТВО-60-24 Ом составляет примерно 2,5 кДж. Следует заметить, что именно данный тип высоковольтных керамических резисторов ТВО-60 ( $R_0 = 24$  Ом) находит наиболее широкое практическое применение в качестве защитных резисторов ЕНЭ. Опытные данные показывают, что в случае применения в качестве защитных резисторов зарядно-разрядных цепей мощных ЕНЭ керамических сопротивлений типа ТВО-60 других номиналов (например, с  $R_0 = 100$  Ом) для них в первом приближении также можно использовать соотношение  $W_k \approx 2,5$  кДж. Поэтому априори зная величины  $W_{ЕНЭ}$  и  $W_k$ , с помощью расчетного соотношения (1) электрофизик-пользователь может сравнительно легко определить в прибли-

женном виде минимальное число  $N_m$  защитных высоковольтных керамических резисторов, устанавливаемых в зарядно-разрядной цепи мощного ЕНЭ. На практике при выборе реального числа  $N_p \geq N_m$  защитных высоковольтных резисторов в зарядно-разрядных цепях мощных ЕНЭ требуется учитывать влияние требований разработчика ВИТ к активному сопротивлению  $R_p$  цепи разряда ЕНЭ.

**3. Приближенный расчет реального числа защитных резисторов в зарядно-разрядной цепи ЕНЭ.** Выполним оценку реального числа  $N_p$  защитных резисторов в зарядно-разрядной цепи ЕНЭ, учитывающую технические требования разработчика, предъявляемые при создании мощного ЕНЭ к значению активного сопротивления  $R_p$  разрядной цепи ЕНЭ. С этой целью введем понятие расчетного значения активного сопротивления  $R_{p0}$ , вносимого защитными резисторами в цепь разряда ЕНЭ. Так как токовую ошиновку разрядной цепи ЕНЭ практически всегда стремятся выполнять с минимальным значением активного сопротивления (для обеспечения минимальных диссипативных потерь энергии, накопленной конденсаторами ЕНЭ), то для низкоомной разрядной цепи ЕНЭ можно положить, что  $R_{p0} \approx R_p$ . Для случая высокоомной разрядной цепи мощного ЕНЭ ( $R_p \gg R_{p0}$ ) и отсутствия требований по влиянию защитных резисторов на значение ее активного сопротивления величина  $N_p > N_m$  будет определяться числом конденсаторов в батарее ЕНЭ. Для расчетного определения величины  $R_{p0}$  воспользуемся соотношением вида:

$$R_{p0} = R_0 / (n_p m_c), \quad (2)$$

где  $n_p$  – число параллельно включенных защитных резисторов на высоковольтном выводе одного из импульсных конденсаторов ЕНЭ;  $m_c$  – число параллельно включенных импульсных конденсаторов батареи мощного ЕНЭ.

Тогда, исходя из (2), для реального числа  $N_p$  защитных высоковольтных керамических резисторов в зарядно-разрядной цепи мощного ЕНЭ находим:

$$N_p = R_0 / R_{p0} = n_p m_c. \quad (3)$$

Из (3) и используемого нами приближенного соотношения  $R_{p0} \approx R_p$  следует, что при заданных исходных значениях величин номиналов активных сопротивлений  $R_0$  для выбранного типа защитного керамического резистора и суммарного активного сопротивления  $R_p$  низкоомной разрядной цепи ЕНЭ искомое выражение для определения реального числа (в этом случае  $N_p > N_m$ ) защитных высоковольтных керамических резисторов в зарядно-разрядной цепи рассматриваемого ЕНЭ приобретает следующий вид:

$$N_p \approx R_0 / R_p \approx n_p m_c. \quad (4)$$

Кроме того, из (4) с учетом (2) и принятого соотношения  $R_{p0} \approx R_p$  для расчетной оценки активного сопротивления  $R_p$  низкоомной высоковольтной разрядной цепи мощного ЕНЭ получаем следующее расчетное выражение:

$$R_p \approx R_0 / (n_p m_c). \quad (5)$$

**4. Результаты практической апробации предлагаемого подхода к выбору защитных резисторов в зарядно-разрядной цепи ЕНЭ.** Приведен-

ный выше инженерный расчет схемной реализации защитных высоковольтных керамических резисторов типа ТВО-60 в зарядно-разрядной цепи мощного ЕНЭ прошел соответствующую практическую проверку на натуральных образцах мощных высоковольтных ЕНЭ разработки НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ».

На рис. 1 и 2 приведены фрагменты зарядно-разрядных цепей мощных ЕНЭ с жестко установленными на высоковольтных выводах их конденсаторов защитными керамическими резисторами типа ТВО-60 номиналом  $R_0$  соответственно 24 и 100 Ом. Следует отметить, что разрядные цепи показанных на рис. 1 и 2 фрагментов мощных высоковольтных ЕНЭ характеризуются совершенно различными значениями своих активных сопротивлений  $R_p$ . Так, изображенная на рис. 1 разрядная цепь мощного генератора импульсной компоненты тока искусственной молнии (ГИТ-А) характеризуется активным сопротивлением около  $R_{pA} = 0,057$  Ом [5], а приведенная на рис. 2 разрядная цепь мощного генератора длительной компоненты тока искусственной молнии (ГИТ-С) – активным сопротивлением около  $R_{pC} = 4,74$  Ом [4,5].

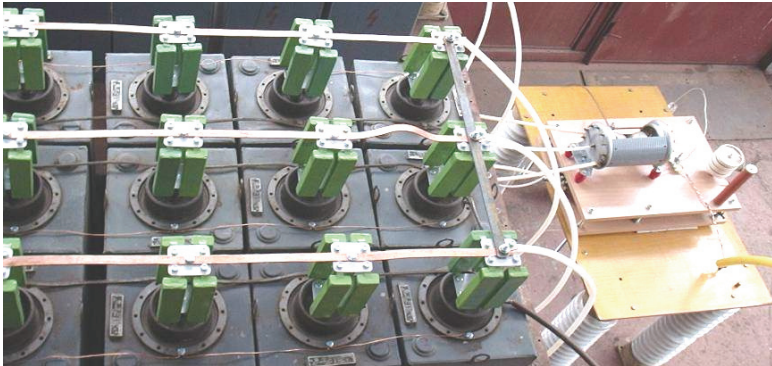


Рисунок 1 – Внешний вид фрагмента зарядно-разрядных цепей мощного ЕНЭ на 50 кВ и запасаемую электрическую энергию  $W_{ЕНЭ} = 420$  кДж с высоковольтными импульсными конденсаторами типа ИК-50-3 и жестко установленными на их высоковольтных выводах защитными керамическими резисторами типа ТВО-60-24 Ом [4]

Использование предлагаемого автором расчетного соотношения (1) применительно к зарядно-разрядной цепи мощного высоковольтного генератора ГИТ-А (см. рис. 1) показывает, что при  $W_{ЕНЭ} = 420$  кДж [4] и  $W_k = 2,5$  кДж [7] минимальное число  $N_m$  защитных керамических резисторов типа ТВО-60-24 Ом в ней (этой электрической цепи) должно составлять примерно 168 шт. С учетом того, что низкоомная разрядная цепь генератора ГИТ-А должна иметь активное сопротивление  $R_{pA} = 0,057$  Ом [5] из (4) находим, что в этом случае ( $R_0 = 24$  Ом;  $m_C = 111$  шт. [8]) реальное число  $N_p$  защитных высоковольтных керамических резисторов в разрядной цепи рассматриваемого мощного ЕНЭ должно составлять примерно 421 шт. Видно,

что для рассматриваемого нами мощного ЕНЭ выполняется расчетное неравенство вида  $N_p > N_m$ . Учитывая технологическую возможность практической реализации конструкции защитного блока керамических резисторов на высоковольтном выводе одного из конденсаторов типа ИК-50-3, приходим к выводу о том, что в данном электрофизическом случае требуется принять параметр  $n_p$  (число резисторов на выводе одного конденсатора), равный 4 шт. Тогда для защитных высоковольтных керамических резисторов типа ТВО-60-24 Ом в зарядно-разрядной цепи генератора ГИТ-А окончательно принимаем, что  $N_p = n_p m_C = 444$  шт.



Рисунок 2 – Внешний вид фрагмента зарядно-разрядных цепей мощного ЕНЭ на 5 кВ и запасаемую электрическую энергию  $W_{ЕНЭ} = 567$  кДж с высоковольтными импульсными конденсаторами типа ИМ-5-140 и жестко установленными на их высоковольтных выводах защитными керамическими резисторами типа ТВО-60-100 Ом [4]

Полученный нами на основе предложенного подхода расчетный результат для числа  $N_p = 444$  шт. защитных керамических резисторов в зарядно-разрядной цепи мощного высоковольтного генератора ГИТ-А полностью соответствует принятому сотрудниками НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» схемному решению для защитных устройств на конденсаторах данного ЕНЭ, используемого при формировании импульсной компоненты тока искусственной молнии с нормированными амплитудно-временными параметрами [4,5,8,9].

Применив далее расчетное выражение (5), находим, что для рассматриваемого мощного высоковольтного генератора ГИТ-А ( $R_0 = 24$  Ом;  $n_p = 4$  шт.;  $m_C = 111$  шт. [4,8]) оценочная величина собственного активного сопротивления  $R_{pA}$  его сильноточной разрядной цепи должна составлять численное зна-

чение, примерно равное 0,054 Ом. Как видим, это расчетное значение активного сопротивления  $R_{pA}$  весьма близко к его опытному значению, полученному на основании расшифровки ряда осциллограмм разрядного тока низкоомного генератора ГИТ-А для импульсной компоненты тока искусственной молнии в режиме его колебательного разряда на низкоомную активно-индуктивную нагрузку и составляющему около 0,057 Ом [5,8]. Незначительное возрастание в данном случае опытного значения активного сопротивления  $R_{pA}$  по сравнению с его расчетным значением связано с внесением в сильноточную разрядную цепь низкоомного генератора ГИТ-А дополнительного активного сопротивления от токопроводов ее ошиновки. Указанные результаты для активного сопротивления  $R_{pA}$  сильноточной разрядной цепи натурного образца мощного высоковольтного ЕНЭ свидетельствуют о том, что расчетное соотношение (5) можно использовать при практических оценках величины активного сопротивления разрядной цепи низкоомного ЕНЭ.

Что касается расчетной оценки числа защитных керамических резисторов типа ТВО-60-100 Ом в зарядно-разрядной цепи генератора ГИТ-С (см. рис. 2), то согласно (1) при  $W_{ЕНЭ} = 567$  кДж [4] и  $W_k = 2,5$  кДж [7] величина  $N_m$  для его конденсаторов ( $m_C = 324$  шт. [4,8]) окажется примерно равной 227 шт. Учитывая то электрофизическое обстоятельство, что каждый высоковольтный импульсный конденсатор данного мощного генератора импульсных токов должен быть защищен от сверхвысоких термомеханических нагрузок, возникающих внутри его металлического корпуса в аварийных режимах работы батареи его ЕНЭ и протекании при этих случаях в ее (этой конденсаторной батарее) электрических цепях опасных сверхтоков (токов короткого замыкания), то реальное число  $N_p$  защитных резисторов указанного типа в зарядно-разрядных цепях генератора ГИТ-С в соответствии с выражением (4) при  $n_p = 1$  шт. должно быть равным 324 шт. Видно, что и для данного мощного ЕНЭ выполняется неравенство вида  $N_p > N_m$ . Активное сопротивление  $R_{p0}$ , вносимое в этом случае используемыми защитными керамическими резисторами ( $R_0 = 100$  Ом;  $n_p = 1$  шт.;  $m_C = 324$  шт. [4,8]) в высокоомную разрядную цепь рассматриваемого высоковольтного генератора, согласно (2) составит около 0,31 Ом. Это значение сопротивления будет существенно меньше полного активного сопротивления его разрядной цепи, равного  $R_{pC} = 4,74$  Ом [4].

## Выводы

1. Приведенные расчетно-экспериментальные данные свидетельствуют о том, что при выборе защитных высоковольтных резисторов в зарядно-разрядных цепях мощных ЕНЭ специалистам необходимо пользоваться следующим *правилом*: накопленная электрическая энергия  $W_{ЕНЭ}$  в импульсных конденсаторах ЕНЭ в случае его аварийных режимов работы (например, при электрическом пробое секций одного из конденсаторов) должна поглощаться защитными резисторами, установленными в зарядно-разрядных цепях ЕНЭ.

2. Показано, что в качестве защитных резисторов в высоковольтных зарядно-разрядных цепях мощных ЕНЭ могут быть использованы промышленно выпускаемые высоковольтные керамические объемные постоянные резисторы типа ТВО-60, жестко размещенные прямо на высоковольтных металлических выводах импульсных конденсаторов рассмотренных нами ЕНЭ.

3. Сформулированное выше *правило* позволило разработать инженерно-технический подход по приближенному расчету минимального  $N_m$  и реального  $N_p \geq N_m$  числа защитных высоковольтных керамических объемных постоянных резисторов типа ТВО-60 в зарядно-разрядных цепях мощных ЕНЭ, учитывающий технические требования, предъявляемые разработчиком ВИТ к активному сопротивлению  $R_p$  низкоомной сильноточной цепи разряда ЕНЭ. При отсутствии указанных требований к активному сопротивлению  $R_p$  высокоомной цепи колебательного или аperiodического разряда мощного ЕНЭ на практике следует пользоваться приближенным соотношением  $N_p = n_p m_c$ .

4. Опытные результаты, полученные в НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» при эксплуатации мощных высоковольтных ЕНЭ (генераторов импульсного тока), свидетельствуют о том, что в их зарядно-разрядных цепях в качестве защитных высоковольтных керамических объемных постоянных резисторов типа ТВО-60 могут применяться резисторы номиналом  $R_0$  от 24 до 100 Ом.

5. Экспериментальная апробация предложенного подхода и полученных приближенных расчетных соотношений (1), (4) и (5) по выбору защитных резисторов в высоковольтных зарядно-разрядных электрических схемах мощных ЕНЭ с низкоомными (высокоомными) сильноточными разрядными цепями на натуральных образцах мощных высоковольтных ЕНЭ разработки НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» подтвердила их работоспособность и достоверность.

**Список литературы:** 1. Техника больших импульсных токов и магнитных полей / Под ред. В.С. Комелькова. – М.: Атомиздат, 1970. – 472 с. 2. Гулый Г.А. Научные основы разрядно-импульсных технологий. – К.: Наукова думка, 1990. – 208 с. 3. Баранов М.И. Избранные вопросы электрофизики. Том 2, Кн. 1: Теория электрофизических эффектов и задач. – Х.: НТУ «ХПИ», 2009. – 384 с. 4. Баранов М.И., Колушко Г.М., Кравченко В.И. и др. Генератор тока искусственной молнии для натуральных испытаний технических объектов // Приборы и техника эксперимента. – 2008. – № 3. – С. 81-85. 5. Баранов М.И. Избранные вопросы электрофизики. Том 3: Теория и практика электрофизических задач. – Х.: «Точка», 2014. – 400 с. 6. ГОСТ 11324-76. Резисторы постоянные объемные типа ТВО. – М.: Изд-во Госстандарта СССР, 1976. – 20 с. 7. Баранов М.И., Бочаров В.А., Носенко М.А. Предельные характеристики по рассеиваемой импульсной мощности и энергии высоковольтных керамических объемных резисторов типа ТВО-60 // Вісник НТУ «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: «Техніка та електрофізика високих напруг». – Х.: НТУ «ХПІ», 2007. – № 20. – С. 45-56. 8. Баранов М.И., Колушко Г.М., Лысенко В.О. Экспериментальное определение активного сопротивления и электропроводности сильноточного плазменного канала в разрядной цепи генератора импульсной компоненты тока искусственной молнии // Електротехніка і електромеханіка. – 2011. – № 3. – С. 51-55. 9. Баранов М.И., Кравченко В.И. Электротермическая стойкость проводов и кабелей летательного аппарата к поражающему действию импульсного тока молнии // Электричество. – 2013. – № 10. – С. 7-15.

**Bibliography (transliterated):** 1. Tehnika bol'shikh impul'snyh tokov i magnitnyh polej. Pod red. V.S.

Komel'kova. Moscow: Atomizdat, 1970. 472 s. Print. **2.** Gulyj G.A. Nauchnye osnovy razrjadno-impul'snyh tehnologij. Kiev: Naukova dumka, 1990. 208 s. Print. **3.** Baranov M.I. Izbrannye voprosy jelektrofiziki. Tom 2, Kn. 1: Teorija jelektrofizicheskikh jeffektov i zadach. Khar'kiv: NTU «HPI», 2009.– 384 s. Print. **4.** Baranov M.I., Koliushko G.M., Kravchenko V.I. i dr. Generator toka iskusstvennoj molnii dlja naturnyh ispytanij tehnicheskikh ob#ektov. Pribory i tehnika jeksperimenta. 2008. №3. S.81–85. Print. **5.** Baranov M.I. Izbrannye voprosy jelektrofiziki. Tom 3: Teorija i praktika jelektrofizicheskikh zadach. Khar'kiv: «Tochka», 2014. 400 s. Print. **6.** GOST 11324-76. Rezistory postojannye ob#emnye tipa TVO. Moscow: Izd-vo Gosstandarta SSSR, 1976. 20 s. Print. **7.** Baranov M.I., Bocharov V.A., Nosenko M.A. Predel'nye harakteristiki po rassei-vaemoj impul'snoj moshhnosti i jenerгии vysokovol'tnyh keramicheskikh ob#emnyh rezistorov tipa TVO-60. Visnik NTU «HPI». Zbirkik naukovih prac'. Serija: «Tehni-ka ta jelektrofizika visokih naprug». Khar'kiv: NTU «HPI», 2007. № 20. S.45–56. Print. **8.** Baranov M.I., Koliushko G.M., Lysenko V.O. Jeksperimental'noe opredelenie aktivnogo soprotivlenija i jelektroprovodnosti sil'notochnogo plazmennogo kanala v razrjadnoj cepi generatora impul'snoj komponenty toka iskusstvennoj molnii. Elektrotehnika i elektromehanika. 2011. №3. S.51–55. Print. **9.** Baranov M.I., Kravchenko V.I. Jelektrotermicheskaja stojkost' provodov i kabelej letatel'nogo apparata k porazhajushhemu dejstvuju impul'snogo toka molnii. Jelektritchestvo. 2013. №10. S.7–15. Print.

*Поступила (received) 01.09.2014*

УДК 621.3.022: 621.7.044.7

**М.И. БАРАНОВ**, д-р техн. наук, главн. науч. сотр., НТУ «ХПИ»

## **ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ В ЗАРЯДНО–РАЗРЯДНЫХ ЦЕПЯХ МОЩНЫХ ЕМКОСТНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ ОТ АВАРИЙНЫХ СВЕРХТОКОВ**

Приведены результаты расчетной оценки ограничений установленными в зарядно-разрядных цепях мощных емкостных накопителей энергии (ЕНЭ) защитными высоковольтными керамическими резисторами амплитуд аварийного сверхтока, давления и температуры в локальной зоне внутреннего электрического пробоя маслonaполненного высоковольтного импульсного конденсатора указанных цепей ЕНЭ и развития в его жидком диэлектрике сильноточного плазменного канала искрового разряда.

**Ключевые слова:** мощный емкостный накопитель энергии; высоковольтный конденсатор; защитный резистор; оценка ограничений тока, давления и температуры.

**Введение.** Практика эксплуатации мощных емкостных накопителей энергии (ЕНЭ), зарядно-разрядные цепи которых содержат высоковольтные импульсные конденсаторы с металлическими или изоляционными корпусами, указывает на необходимость выполнения термомеханической защиты конденсаторов ЕНЭ от аварийных сверхтоков (токов короткого замыкания

© М.И. Баранов, 2014



УДК 621.3.022: 621.7.044.7

**Вибір та установка захисних високовольтних керамічних резисторів у зарядно-розрядних потужних ємнісних накопичувачах енергії / М.І. Баранов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – № 50 (1092). – С. 13-20. – Бібліогр.: 9 назв. – ISSN 2079-0740.**

Наведено результати розрахункової оцінки кількості захисних високовольтних керамічних постійних резисторів у зарядно-розрядних колах потужних ємнісних накопичувачів електричної енергії, які використовуються в різних вітчизняних і зарубіжних електротехнологіях. Вказано отримані дані практичної апробації запропонованого підходу по вибору захисних керамічних об'ємних постійних резисторів в даних електричних колах високовольтної імпульсної техніки.

**Ключові слова:** високовольтний ємнісний накопичувач енергії; зарядно-розрядне коло; захисний резистор; розрахункова оцінка числа захисних резисторів.

УДК 621.3.022: 621.7.044.7

**Выбор и установка защитных высоковольтных керамических резисторов в зарядно-разрядных цепях мощных емкостных накопителей энергии / М.И. Баранов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – № 50 (1092). – С. 13-20. – Бібліогр.: 9 назв. – ISSN 2079-0740.**

Приведены результаты расчетной оценки числа защитных высоковольтных керамических постоянных резисторов в зарядно-разрядных цепях мощных емкостных накопителей электрической энергии, используемых в различных отечественных и зарубежных электротехнологиях. Указаны полученные данные практической апробации предлагаемого подхода по выбору защитных керамических объемных постоянных резисторов в рассматриваемых электрических цепях высоковольтной импульсной техники.

**Ключевые слова:** высоковольтный емкостный накопитель энергии; зарядно-разрядная цепь; защитный резистор; расчетная оценка числа защитных резисторов.

**Selection and installation of high-voltage protective ceramic resistors in charge-discharge circuits powerful capacitive energy storage / M.I. Baranov // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Technique and electrophysics of high voltage. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2014. – № 50 (1092). – С. 13-20. – Bibliogr.: 9. – ISSN 2079-0740.**

The results of calculation estimation of number of protective high-voltage ceramic permanent resistors are resulted in the charge-bit chains of powerful capacity stores of electric energy, in-use in different domestic and foreign electro-technologies. Findings of practical approbation offered approach are indicated on the choice of protective ceramic by volume permanent resistors in the examined electric chains of high-voltage impulsive technique.

**Keywords:** high-voltage capacity store of energy; charge-bit chain; protective resistor; calculation estimation of number of protective resistors.