

УДК 621.373

АШМАРИН В.В.¹, ФИЛИППОВ З.С.², ФИЛИППОВА О.А.³

к.т.н, доцент ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет
имени И.Н. Ульянова», г. Чебоксары, Россия¹

аспирант ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет
имени И.Н. Ульянова», г. Чебоксары, Россия²

к.э.н, доцент ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет
имени И.Н. Ульянова», г. Чебоксары, Россия³

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ И НАДЁЖНОСТИ РАБОТЫ ГЕНЕРАТОРА ИМПУЛЬСНЫХ ТОКОВ

При проектировании высоковольтного оборудования возникает необходимость в проведении испытаний импульсными токами повышенной амплитуды. Получить такие токи можно с использованием накопителей энергии – устройств, способных в течение длительного времени аккумулировать энергию от источника с ограниченной мощностью. Для моделирования импульсных токов применяются установки, оснащённые ёмкостными накопителями энергии, которые называются генераторами импульсных токов [1].

Генератор импульсных токов, обладающий повышенной эффективностью защиты и надёжностью работы, представляет собой устройство, предназначенное для формирования импульсов тока с точно заданными характеристиками формы и амплитуды. Устройство характеризуется улучшенными показателями безопасности, долговечности и стабильности работы [2].

Повышение эффективности защиты и надёжности работы генератора импульсных токов подразумевает комплекс мероприятий, направленных на обеспечение стабильной работы устройства в разных режимах эксплуатации, предотвращение аварийных ситуаций и продление срока службы узлов и компонентов [3].

Для достижения этой цели требуется комплексный подход, включающий совершенствование схемных (схемотехнических) решений – процесс улучшения характеристик и параметров электронных устройств, повышения их надёжности, эффективности, снижения затрат или адаптации к новым задачам. Также важную роль играют применение современных компонентов, внедрение систем управления и организация профилактического обслуживания [4].

Рассмотрим ключевые методы и технологии, способные обеспечить поставленную задачу.

Настоящее исследование посвящено разработке метода повышения эффективности защиты и надёжности работы генератора импульсных токов. Особенностью данного генератора является его модульная структура, состоящая из большого количества идентичных модулей [5].

В данном исследовании представлена мощная исследовательская установка с запасаемой энергией 2×10^6 Дж. Установка предназначена для создания

больших импульсных токов, которые используются при получении и изучении высокотемпературной плазмы, а также в технологических процессах – электрогидравлической, магнитно-импульсной обработке материалов, сварке, нагреве газов [6].

На рисунке 1 представлена электрическая схема генератора импульсных токов.

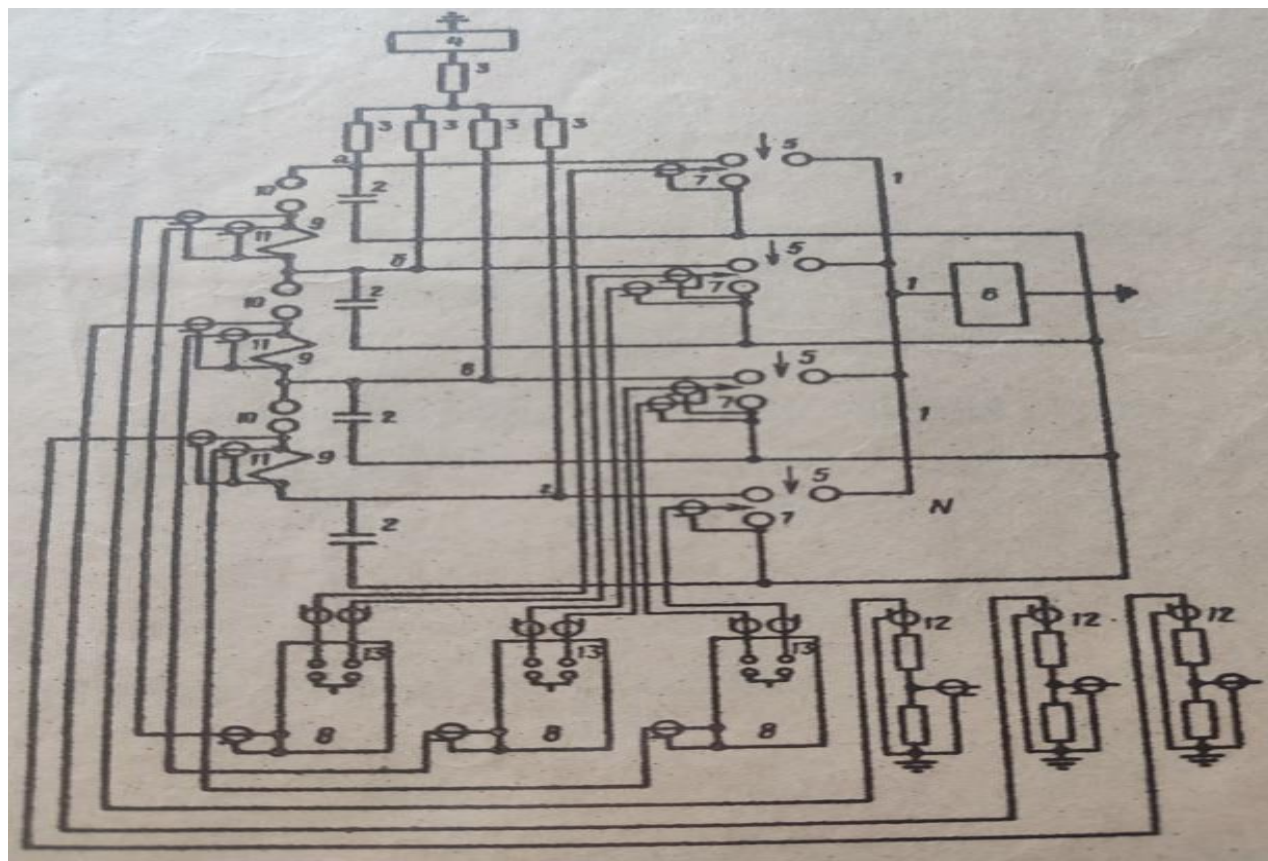


Рисунок 1. Электрическая схема генератора импульсных токов

Электрическая схема генератора импульсных токов, представленная на рисунке 1, состоит из конденсаторных батарей, системы коммутации и нагрузки. Основная задача генератора импульсных токов – накопить энергию в конденсаторах и мгновенно передать её на нагрузку, создавая импульс тока [7].

Генератор импульсных токов может быть построен с использованием «N» модулей, соединённых параллельно. Каждый модуль содержит накопительный конденсатор. Отличительной особенностью генератора импульсных токов является повышение эффективности защиты и надёжности работы за счёт включения «N» шунтирующих разрядников, оснащённых блоками запуска и (N – 1) цепочками защиты, каждая из которых содержит последовательно соединённые искровой разрядник и плавкую вставку. При этом каждый шунтирующий разрядник подключён параллельно накопительному конденсатору соответствующего модуля [8].

Каждый модуль 1 генератора импульсных токов содержит накопительный конденсатор 2, первый вывод которого соединён через зарядный резистор 3 с источником питания 4, а через стартовый разрядник 5 – с первым выводом

нагрузки 6. Второй вывод накопительного конденсатора 2 соединён с точкой подключения второго вывода нагрузки 6 к общей шине, а также с «N» шунтирующими разрядниками 7, оснащёнными блоками запуска 8, и $(N - 1)$ цепочками защиты 9, каждая из которых содержит последовательно соединённые искровой разрядник 10 и плавкую вставку 11.

Цепочки защиты 9 соединены последовательно друг с другом, при этом каждый из них подключён к первым выводам накопительных конденсаторов 2 соответствующих смежных модулей 1. Шунтирующие разрядники 7 подключены параллельно накопительным конденсаторам 2 каждого модуля 1. Вход каждого блока запуска 8 подключён через коаксиальный кабель к выводам плавкой вставки 11, установленной между смежными модулями 1. Управляющие электроды шунтирующих разрядников 7 подключены к выходам соответствующих блоков запуска 8, при этом шунтирующий разрядник 7 для модулей 1 с второго по $(N - 1)$ -й подключён к выходам двух блоков запуска 8. Стартовый разрядник 5 имеет общий электрод с шунтирующим разрядником 7. Плавкая вставка 11 подключена к делителю напряжения 12, с низкоомного плеча которого сигнал передаётся на пульт управления генератора импульсных токов.

У блока запуска 8 на выходе имеется отделяющий промежуток 13. Включение модулей 1 генератора импульсных токов на нагрузку 6 происходит следующим образом. В штатном режиме работы генератора стартовый разрядник 5 и шунтирующий разрядник 7 находятся в разомкнутом состоянии, а накопительные конденсаторы 2 через резисторы 3 заряжаются до номинального напряжения от источника питания 4. После зарядки накопительных конденсаторов 2 напряжение в точке «а» становится равным напряжению в точке «б». Разность потенциалов между этими точками будет равна нулю. Также будет отсутствовать разница напряжений между точками «б»–«в», «в»–«г» и последующими парами. С помощью искрового разрядника 10, включённого в цепочку защиты 9, задаётся допустимое значение разности напряжений между соседними модулями 1 генератора импульсных токов, при превышении этого порога разрядник 10 пробивается.

При запуске стартовых разрядников 5 накопительные конденсаторы 2 разряжаются на нагрузку 6. При одновременном запуске всех стартовых разрядников 5 и при исправной работе всех накопительных конденсаторов 2 происходит одновременный разряд модулей 1 генератора на нагрузку 6. Разность напряжений между точками «а»–«б», «б»–«в», «в»–«г» и последующими парами остаётся равной нулю, что исключает пробой искрового разрядника 10.

В аварийном режиме работы генератора стартовый разрядник 5 и шунтирующий разрядник 7 находятся в разомкнутом состоянии, а накопительные конденсаторы 2 модулей генератора импульсных токов заряжаются от источника питания 4 через резисторы 3. При пробое одного из накопительных конденсаторов 2 модуля 1 или выходе из строя любого стартового разрядника 5 происходит неодновременный разряд накопительных конденсаторов 2, что приводит к образованию разности потенциалов между точками «а»–«б», «б»–«в», «в»–«г» и последующими точками. Эта разность потенциалов прикладывается к защитной цепочке 9. При этом если

возникающий уровень перенапряжения превышает допустимое пробивное напряжение разрядника 10, он срабатывает, и ток начинает проходить через плавкую вставку 11 [9].

Плавкая вставка 11 срабатывает и выбрасывает полученный импульс высокого напряжения, который по одному из кабелей передается в блок запуска 8. Блок запуска 8, являющийся трёхступенчатым генератором импульсных напряжений, включается. На его выходе формируется высоковольтный импульс напряжения с большой амплитудой и малым временем фронта. Этот импульс передаётся по кабелю на поджиг соответствующих шунтирующих разрядников 7 двух соседних модулей 1, между которыми расположена цепочка защиты 9. Шунтирующие разрядники 7 срабатывают и замыкают нагрузку 6. Разрядный ток модуля 1 генератора импульсных токов проходит через шунтирующие разрядники 7, обходя нагрузку 6. Таким образом, исключается одновременное включение блоков 1 генератора импульсных токов [10].

При отключении нескольких модулей 1 генератора импульсных токов электрическая связь с другими нормально работающими модулями 1 через блок запуска 8 отсутствует, поскольку у блоков запуска 8 на выходе имеются отделяющие промежутки 13.

Посредством другого коаксиального кабеля полученные высоковольтные импульсы передаются на делитель напряжения 12. С низкоомного плеча делителя напряжения 12 снимается сигнал, который поступает на пульт управления, где загорается соответствующая лампочка, сигнализирующая о несинхронном срабатывании модулей 1 генератора импульсных токов.

Подводя итог сказанному, можно отметить, что повышение эффективности защиты и надёжности работы генератора импульсных токов позволит не только снизить риск аварий и повреждений оборудования, но и повысить общую эффективность и долговечность всей системы. Это достигается благодаря комплексному подходу, включающему совершенствование защитных систем, оптимизацию конструкции ключевых узлов и внедрение современных технологий [11].

Такой подход предполагает совершенствование схемотехнических решений – повышение характеристик электронных устройств, обеспечение их надёжности, эффективности, снижение издержек или адаптацию под новые условия эксплуатации [12].

В результате повышения эффективности защиты и надёжности работы генератора импульсных токов обеспечивается более стабильная работа оборудования, уменьшаются простои и расходы на техническое обслуживание, а также расширяются области применения таких систем в различных технологических процессах [13].

Такие устройства находят своё применение в различных областях: при испытаниях электротехнического оборудования, изучении свойств материалов, в электрогидравлических технологиях и иных направлениях, где требуется высокая надёжность и устойчивость к перегрузкам [14].

Список литературы:

1. Авторское свидетельство № 790160 А1 СССР, МПК Н03К 3/53, Н03К 3/02. Генератор импульсов тока : № 2716877 : заявл. 16.01.1979 : опубл. 23.12.1980 / А. В. Кривоносенко, Б. В. Семкин ; заявитель научно-исследовательский институт высоких напряжений при Томском ордена октябрьской революции и ордена трудового красного знамени политехническом институте им.С.М.Кирова. – EDN EAZURJ.
2. Патент № 2282936 С1 Российская Федерация, МПК Н03К 3/53. Генератор импульсных токов : № 2005102864/09 : заявл. 04.02.2005 : опубл. 27.08.2006 / Ю. П. Пичугин, Н. С. Соколов ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Научно-производственная фирма "ФОРСТ". – EDN UIVGRH.
3. Ashmarin, V. Investigation of the erosion characteristics of the arrester with field distortion based on its life tests / V. Ashmarin, Z. Filippov, O. Filippova // Proceedings - ICOECS 2020: 2020 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems, Ufa, 27–30 октября 2020 года. – Ufa, 2020. – P. 9278454. – DOI 10.1109/ICOECS50468.2020.9278454. – EDN TWEAOG.
4. Филиппова, О. А. Совершенствование управления затратами на качество как основы повышения эффективности системы менеджмента качества : дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / Филиппова Ольга Александровна. – Казань, 2007. – 149 с. – EDN NOTOEF.
5. Соколов, Н. С. Исследование и разработка принципиальной схемы генератора импульсных токов / Н. С. Соколов // Жилищное строительство. – 2018. – № 9. – С. 37-41. – EDN YANKYP.
6. Ashmarin, V. Development and research of a shunt arrester for high-power capacitive energy storage devices operating on low-inductance electrodynamic devices / V. Ashmarin, Z. Filippov, O. Filippova // Proceedings - ICOECS 2021: 2021 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems, Ufa, 16–18 ноября 2021 года. – Ufa, 2021. – P. 24-28. – DOI 10.1109/ICOECS52783.2021.9657427. – EDN MNXJXL.
7. Ашмарин, В. В. Разработка и исследование высоковольтного искрового разрядника с дополнительными электродами / В. В. Ашмарин, З. С. Филиппов, О. А. Филиппова // Процессы техносферы: региональный аспект : Сборник материалов VI Всероссийской научно-практической конференции. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та. – 2023. – С. 3-11. – EDN LPDHLZ.
8. Ашмарин, В. В. Коммутаторы емкостного накопителя энергии для электродинамического ускорителя массы : специальность 05.14.12 «Техника высоких напряжений» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ашмарин Василий Васильевич. – Москва. – 1994. – 19 с. – EDN ZKINYZ.
9. Конотоп В. В. Расчет и конструирование высоковольтных накопителей энергии / Конотоп В.В. – Харьков: ХПИ. – 1979. – 48 с.
10. Патент № 2666225 С1 Российская Федерация, МПК Н03К 3/53. Генератор импульсных токов для высоковольтных электрогидравлических технологий : № 2017123323 : заявл. 03.07.2017 : опубл. 06.09.2018 / В. С. Ратушняк, А. Е. Гаранин, А. В. Юрьев, Е. С. Ильин ; заявитель Общество с

ограниченной ответственностью «Научно-производственное предприятие «СибТрансНаука». – EDN ZEKCSZV.

11. Филиппов, З. С. Эволюция развития системного подхода к управлению качеством / З. С. Филиппов, О. А. Филиппова // Качество и конкурентоспособность в XXI веке : материалы XIX Международной научно-практической конференции. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та. – 2021. – С. 309-314. – EDN EFKBUM.

12. Филиппова, О. А. Стратегический управленческий учет и его роль в управлении финансовыми потоками организации / О. А. Филиппова // Проблемы и перспективы развития социально-экономического потенциала российских регионов : Материалы I Всероссийской электронной научно-практической конференции. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та. – 2012. – С. 182-190. – EDN YTBFLC.

13. Повышение надежности работы генератора импульсов тока искусственной молнии / О. С. Недзельский, А. А. Петков, А. В. Пличко, Е. Г. Понуждаева // Электротехника и электромеханика. – 2010. – № 2. – С. 50-53. – EDN RWNPMZ.

14. Филиппов, З. С. Применение систем управления качеством в российской и международной практике / З. С. Филиппов, О. А. Филиппова // Качество и конкурентоспособность в XXI веке : материалы XIX Международной научно-практической конференции. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та. – 2021. – С. 315-320. – EDN POJXFZ.