

FET oscillators. IEEE MTT-S International microwave symposium. Digest. Los Angeles. June 1981. 70-78. Print. **5.** Whinnery J.R., Jamieson H.W., Robbins J.E. Coaxial-line discontinuities Proc. IRE. Vol.32. 1944. 695-709. Print. **6.** Kozlovskij V.V. Shemy rezonatorov na otrezkah neodnorodnyh linij, imejushihh odinakovyje rezonansnye chastoty. Radiotekhnika i jelektronika. Vol. 20, No 2. 1975. Print. **7.** Somlo P.I. The computation of coaxial line step capacitances. IEEE Transactions on microwave theory and techniques. Vol. MTT-15. vol. 1. 1967. Print. **8.** Stracca G.B., Panzeri A. Unloaded Q-factor of stepped-impedance resonators. IEEE Transactions on microwave theory and techniques. Vol. MTT-34, vol. 1. 1986. Print. **9.** Borodaev V.A. i dr. Inzhenernyj raschet stupenchatyh koaksial'nyh rezonatorov. Radiotekhnika. No 12, 1990. 89-

91. Print. **10.** Ryzhakov S.M., Ryzhakova T.S. Stupenchatyj rezonator. Jelektrodinamika i tehnika SVCh i KVCh. 1999. Vol. 7. No 2. 181-182. Print. **11.** Zaharov A.V. Vhodnye funkicii otrezkov neodnorodnyh linij. Radiotekhnika i jelektronika. Vol. 30. 1985. No 7. 1373-1380. Print. **12.** Nateg G. Glass cavity resonators for low microwave frequencies. Electron. Lett, 1995. 31, No 10. 811-812. Print. **13.** Ryzhakov S.M., Ryzhakova T.S. Stupenchatyj rezonator SVCh diapazona. Fizika volnovykh processov i radiotekhnicheskie sistemy. Vol. 1. No 2-3. 1998. 49-51. Print. **14.** Ryzhakova T.S. Raschet i issledovanie SVCh rezonatorov na osnove cilindricheskih stupenchatyh struktur.: dis. k-ta teh. nauk. Nizh. Nov. 2002. 129. Print.

Поступила (received) 26.06.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Рудаков Валерій Васильевич, Национальный технический университет «ХПИ», доктор технических наук, профессор; тел.: (050) 533-79-31; e-mail: valrudakov@kpi.kharkov.ua.

Rudakov Valeriy Vasilyevich, National Technical University "KhPI", Doctor of Technical Science, professor; tel.: (050) 533-79-31; e-mail: valrudakov@kpi.kharkov.ua.

Коробко Александр Анатольевич, Национальный технический университет «ХПИ», аспирант; тел.: (093) 650-80-88; email: bigmenworld@gmail.com.

Korobko Aleksandr Anatolievich, National Technical University "KhPI", Postgraduate Student; tel.: (093) 650-80-88; email: bigmenworld@gmail.com.

УДК 621.391 : 51(075)

А. А. СЕРКОВ, С. А. НИКИТИН, В. И. КРАВЧЕНКО В. В. КНЯЗЕВ

СИСТЕМА РАННЕГО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ГРОЗОВОЙ ОПАСНОСТИ

Систематический контроль над состоянием и тенденциями развития грозовой активности определенного региона обусловлен необходимостью минимизации ущерба, наносимого разрядами молнии. При этом особое внимание уделяется достоверности прогноза грозовой активности и времени его формирования. Так малый временной диапазон между формированием достоверного прогноза о грозовой опасности и наступлением неблагоприятных событий не позволяет своевременно принять меры по минимизации наносимого ущерба. Особое внимание уделено достоверности формируемого прогноза. Таким образом, неразрывное сочетание и реализация этих требований позволяет решить задачу оптимального синтеза системы раннего предупреждения грозовой опасности (РПГО).

Ключевые слова: мониторинг грозовой опасности; разряд молнии; интеллектуальный анализ данных; визуализация; автономный модуль.

Введение. В начальной стадии развития грозовых явлений внутриоблачные разряды носят мелко-масштабный характер. При этом длительность пакета импульсов составляет 10–15 мс. с частотой следования 3–4 импульса в минуту. По мере развития конвективного облака происходит постепенный рост плотности объемных зарядов и усиление грозовой активности. Продолжительность предгрозового состояния по времени может достигать 16 минут, со средним значением 8 минут [1, 2]. В 75 % случаев продолжительность предгрозового состояния облака находится в интервале от 3 до 10 минут. И если за 14–16 минут облако не переходит в грозовое состояние, то оно, как правило, распадается [3]. Таким образом, регистрация и идентификация межоблачных разрядов позволяет обеспечить временной интервал в 10 мин. до первого опасного разряда типа «облако-земля», что дает возможность реализовать систему раннего предупреждения о грозовой опасности.

Постановка проблемы. Повышение достоверно-

сти прогноза грозовой опасности требует обработки разнородной информации, отличающейся как по форме, так и содержанию. Обычно такие данные поступают в результате съема оперативной информации о результатах инструментальных измерений с последующей ее обработкой в реальном масштабе времени. При этом осуществляют пространственную привязку получаемых данных, что обеспечивает полноту, наглядность и оперативность их представления. Сопряжение разнородной информации из одного или нескольких однотипных / разнотипных источников в каждой точке заданного региона является исходным массивом данных и начальным этапом комплексного анализа информации, в котором применимы различные методы математической обработки данных. Формальная постановка задачи оптимального синтеза системы РПГО заключается в том, что необходимо найти такой вектор параметров \vec{z}_{opt} , при котором

$$\vec{z}_{opt} = \underset{\vec{z} \in Z_{don}}{extr} E(\vec{z})$$

при

$$\vec{y}(\vec{z}) \in Y_{oon},$$

где \vec{z}_{opt} – вектор параметров системы; Z_{oon} – множество допустимых значений параметров; $E(\vec{z})$ – критерий эффективности системы, экстремум которого необходимо обеспечить выбором соответствующего вектора параметров; $\vec{y}(\vec{z})$ – вектор показателей качества системы; Y_{oon} – множество допустимых значений показателей качества.

Целью работы является разработка системы раннего предупреждения грозовой опасности.

Результаты. В случае представления системы в виде совокупности независимых блоков, решение многомерной задачи сводится к решению нескольких одномерных задач. Однако использование распределенного программного обеспечения в системе РПГО делает данный подход неприемлемым. Это обусловлено наличием сильных взаимных влияний подсистем, а также зависимостью характеристик одних подсистем от параметров других. Таким образом, следует выявлять функциональные зависимости критерия эффективности и показателей качества системы от технических параметров всех ее подсистем. Причем, задачу оптимального параметрического синтеза системы РПГО следует решать как многомерную задачу, что требует разработки соответствующих методов. Общая схема разработанной системы РПГО представлена на рис. 1.

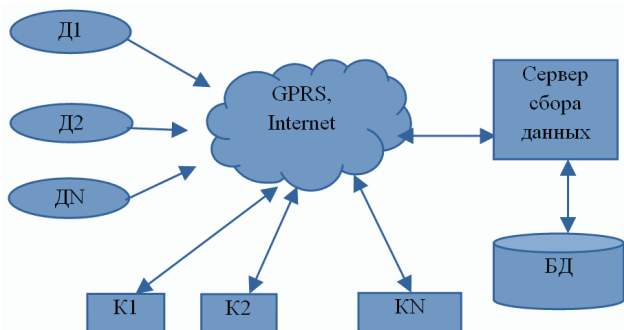


Рисунок 1 – Общая схема системы РПГО

Для этого разработан автономный модуль (рис. 2) сбора, предварительной обработки и передачи информации. Устройство содержит два емкостных датчика разрядов и электростатический датчик, сигналы с которых поступают на вход АЦП микроконтроллера.

Импульсное электрическое поле межоблачных разрядов имеет горизонтальную поляризацию. По этому признаку и осуществляется их идентификация из общей массы разрядов. Дополнительным признаком является определение градиента электростатического поля в период предгрозовой активности, а началом отсчета является идентифицированный межоблачный разряд. Микроконтроллер STM32F301 с ядром ARM Cortex M4 блока предварительной обработки информации осуществляет оцифровку сигналов, поступающих с датчиков, формирует и отправляет на

сервер информационный пакет, в котором дополнительно вводится информация о его местоположении, уровне заряда батареи и времени отправки пакета.

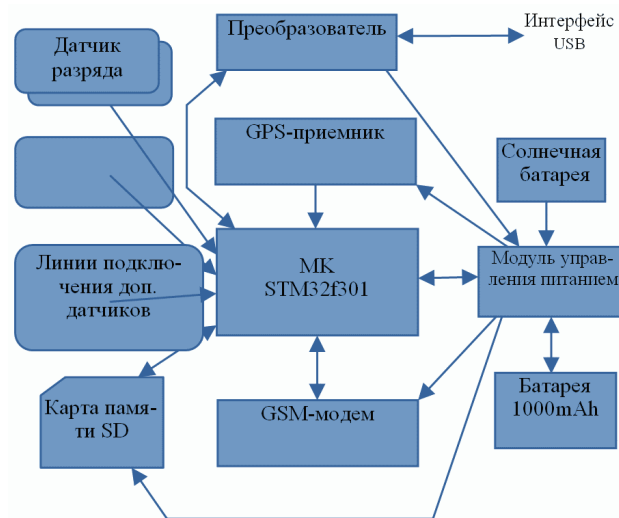


Рисунок 2 – Общая схема автономного модуля

Микроконтроллер работает на частоте 72 МГц. Синхронизация точного времени и определение местоположения автономного модуля осуществляется с помощью встроенного приемника GPS, оснащенного пассивной твердотельной керамической патч-антенной [4]. Для хранения настроек и протокола работы в модуле предусмотрена энергонезависимая карта памяти объемом до 32Гб стандарта Secure Digital. Автономная работа модуля обеспечена встроенной литий-ионной батареей, подзарядка которой осуществляется посредством солнечных батарей, размещенных на корпусе модуля. Созданный прототип автономного модуля на основе разработанной модели [4, 5] в процессе опытной эксплуатации подтвердил его ожидаемые технические характеристики.

В связи с тем, что система РПГО предназначена для работы в сложной электромагнитной обстановке, обусловленной грозовой деятельностью, она должна быть помехоустойчива. Причем, помехоустойчивость системы в основном определяется помехоустойчивостью канала связи. Передача информации от каждого из автономных модулей на сервер сбора хранения и интеллектуального анализа осуществляется с помощью системы мобильной связи стандарта DECT (Digital European Cordless Telecommunications) [6–10]. Передача связи в стандарте DECT – это механизм ухода от каналов, подверженных воздействию помех или каналов с низким уровнем сигнала. При этом за счет динамического выбора канала в каждый момент времени доступен любой из 120 дуплексных каналов. Пороговое отношение сигнал/помеха задано равным 10 дБ, исходя из вероятности ошибки $\bar{P}_{ош} = 10^{-3}$. Реализация стандарта предусматривает процесс постоянного сканирования доступных каналов и измерения уровня помех в них (Received Signal Strength Indication, RSSI). Мощность помех в каналах измеряется не реже, чем 1 раз в 30 с. Благодаря этому осуществляется вы-

бор наилучшего на текущий момент времени канала для передачи информации и реализация динамического выбора, исходя из оценки качества передачи информации. За счет динамического выбора и выделения канала автономный модуль может уходить от соединения, содержащего помехи, организуя второе соединение. Причем, это соединение осуществляется либо с той же базовой станцией, либо с другой. Два радиосоединения временно поддерживаются параллельно. По прошествии некоторого времени базовая станция определяет, у какого соединения лучшее качество и освобождает другой канал. Каналы с наибольшим значением уровня помех постоянно анализируются в автономном модуле с целью выявления принадлежности сигнала конкретной базовой станции и организации связи с ней. Механизм динамического выбора и выделения канала гарантирует, что связь всегда устанавливается в наиболее защищенном от помех доступном канале. Таким образом, снижается вероятность потери информации и повышается достоверность прогноза.

Территориальное размещение автономных модулей осуществлено таким образом, что их зоны покрытия частично перекрываются и совпадают с зоной обслуживания базовой станции. Причем место размещения каждого конкретного модуля выбирают с учетом влияния на них окружающих сооружений и конструкций, вызывающих искажения реальных электростатических полей в месте его установки. Оценку конкретного влияния окружающих сооружений на электромагнитную обстановку в месте расположения автономного модуля осуществляют с помощью разработанного специализированного программного обеспечения [11]. Полученные данные позволяют вносить соответствующие коррективы в результаты измерения и повышать их достоверность. Информация с каждого модуля поступает на сервер сбора, интеллектуального анализа данных и хранения полученных результатов. Он реализован в виде WEB – сервера. Основной модуль сервера написан на языке PHP. Хранение данных осуществляется в базе данных под управлением СУБД MySQL. Программный модуль интеллектуального анализа и визуализации результатов анализа также выполнен на языке PHP. Модуль дает возможность представлять данные о текущей электростатической обстановке выбранного региона с наложением информации на географическую карту местности (рис. 3).

При этом осуществляется прогноз направления распространения грозового фронта с определением места и времени вероятного грозового разряда «облако-земля». Расширены возможности просмотра текущего состояния (рис. 4) и ретроспективной информации (рис. 5) по каждому из автономных модулей сбора и предварительной обработки информации.

Предусмотрена система воссоздания осциллограмм процессов грозовых разрядов. С этой целью автономные модули, регистрирующие процессы изменения электрических полей во время грозового разряда, передают на сервер не видеоимпульс процесса, а его характерные параметры. Это амплитуда и длительность электрического поля разряда – две цифры.

Амплитуда электрического разряда оказывает определяющее влияние на восстанавливаемую деградацию элементной базы радиоэлектронной аппаратуры – зенеровский пробой. А его длительность определяет невозможность восстанавливаемую деградацию – тепловой пробой. Эти два критерия передаются на сервер в блок интеллектуального анализа данных. При этом используется предварительно заполненная база видеоданных о существующих грозовых процессах. По полученным критериям выбирается наиболее близкий процесс, который визуализируется. Такой подход позволил существенно разгрузить радиоканал связи между автономными модулями и базовыми станциями мобильной связи.

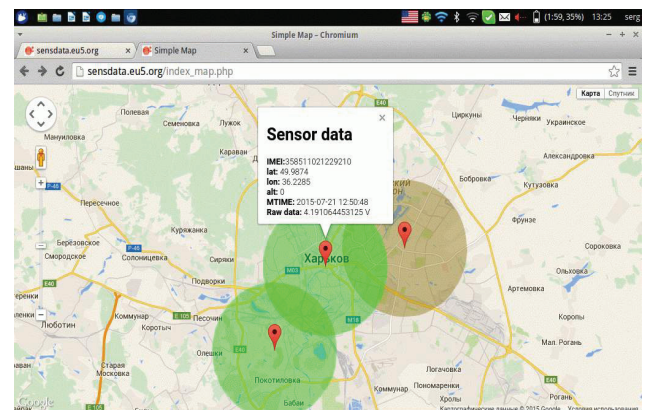


Рисунок 3 – Визуализация электростатической обстановки

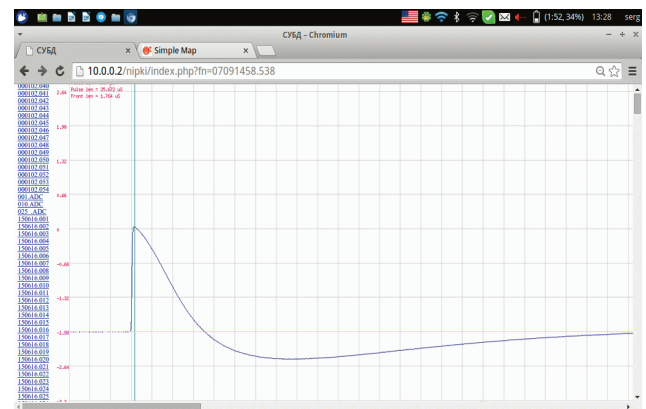


Рисунок 4 – Просмотр осциллограмм разрядов

Оптимальность принятых решений обычно оценивается с помощью критерия эффективности. Наиболее часто в качестве критерия эффективности используются критерий экономической эффективности, например, капитальные вложения в систему или приведенные затраты.

Он является наиболее простым и дает приемлемые практические результаты. Однако эффективность любой системы не сводится к ее экономической эффективности

В общем случае эффективность – это нормированный к затратам ресурсов результат действия системы на определенном интервале времени.

Сравнивая затраты ресурсов на реализацию систем РПГО, использующих сеть радиолокационных

станций или спутниковый мониторинг с предлагаемой системой, использующей существующую разветвленную сеть мобильной связи, можно сделать вывод о высокой экономической эффективности предлагаемых технических решений.

Рисунок 5 – Просмотр ретроспективной информации

Выводы. Разработан алгоритм распознавания и автоматизированного ввода в базу данных картографической информации и спутниковых карт, с наложением в динамическом режиме соответствующих зон измерения и их результатов. Причем, каждая из зон оттенена определенным цветом, характеризующим уровни грозовой опасности.

Предложен метод передачи на центральный компьютер с помощью системы мобильной связи распределенной информации о грозовой опасности с накоплением ее в базе данных.

Создана информационно-поисковая система, построенная на запросах к базе данных, размещенной на сервере, доступ которой осуществляется с любого компьютера, входящего в глобальную сеть.

Список литературы: 1. Семенов К.А. Соотношение между числом внутриоблачных разрядов и разрядов на землю / К.А. Семенов // Тр. ГГО. – 1967. – Вып. 204. – С. 68-69. 2. Mac Gorman D. Improved timeliness of thunderstorm detection from mapping a larger fraction of lightning flashes / D.Mac Gorman, I.Apostolopoulos, A.Nierow, M.Murphy, N.Demetriades, J.Cramer, P.Krehbiel // Lightning Imaging Sensor Intl. Workshop, 11–14 September, Huntsville, Ala., Univ. of Ala. Huntsville and National Space Science and Tech. Center, 2006. 3. Аксенов С.А. Автоматизированный анализ и прогноз опасных явлений погоды на основе таксономического сопряжения радиолокационной и другой информации / Дисс. на соискание степени канд.

физ.-мат. наук / г. Нальчик, 2009. 4. Серков А.А. Гибридная модель модуля управления когнитивной самоорганизующейся сети базовых станций / А.А. Серков, И.И. Обод, С.А. Никитин // Научные ведомости БелГУ. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. – 2013. – № 15 (158). Вып. 27/1. – С. 228–232. 5. Обод И.И. Моделирование телекоммуникационных систем та мереж : Навчальний посібник / І.І.Обод, Л.О.Нікітіна, С.О.Нікітін // За заг. ред. І.І.Обод. – Х.: НТУ «ХПІ», 2015. – 250 с. 6. Климаш М.М. Технології мобільного зв'язку / М.М.Климаш, В.О.Пелішук, П.М.Михайленч. – Львів, 2007. – 615 с. 7. Григорьев В.А. Сети и системы радиодоступа / В.А.Григорьев, О.И.Лагутенко, Ю.А.Распаев. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 384 с. 8. Alazemi H.M.K. Stochastic modeling and analysis of 802.11 DCF with heterogeneous non-saturated nodes / H.M.K.Alazemi, A.Margolis, J.Choi, R.Vijaykumar, S.Roy. – Computer Communications. – 2007. – Vol. 30, No. 18. – P. 3652-3661. 9. Шахнович И. В. Современные технологии беспроводной связи. Издание второе, исправленное и дополненное / И. В. Шахнович. – М.: Техносфера, 2006. – 288 с. 10. Серков О.А. Комбіновані методи множинного доступу у телекомунікаційних мережах / О.А. Серков, І.І. Обод, С.О. Нікітін // Системи обробки інформації. – 2013. – Вып. 6 (113). 11. Дронов В.М., Князев В.В. Комп'ютерна програма «Розрахунок ймовірностей рівнів блискавкозахисту будівель та споруд об'єкту («Захист»)» – Зареєстровано у Державній службі інтелектуальної власності України, реєстраційний №60092 від 09.06.2015.

Bibliography (transliterated): 1. Semenov K.A. Sootnoshenie meschdu chislom vnutrioblachnich razrjadov i razrjadov na zemlju. K.A. Semenov. Tr.GGO. 1967. Vol. 204. 68-69. Print. 2. Mac Gorman D., Apostolopoulos, I., Nierow, A., Murphy, M., Demetriades, N., Cramer, J., Krehbiel, P. Improved timeliness of thunderstorm detection from mapping a larger fraction of lightning flashes. Lightning Imaging Sensor Intl. Workshop, 11–14 September, Huntsville, Ala., Univ. of Ala. Huntsville and National Space Science and Tech. Center, 2006. Print. 3. Aksenov S.A. Avtomatizirovanij analiz i prognoz opasnich javlenij pogodi na osnove taksonomicheskogo sopryazhenija radiolokatsionnoj I drugoj informatsii. Diss. Na soiskanie stepeni kand. fiz.- mat.nauk. Nalchik, 2009. Print. 4. Serkov A.A. Gibrnada model modulja upravlenija kognitivnoj samoorganizujushejsja seti bazovih stancij. A.A. Serkov, I.I. Obod, S.A. Nikitin. Nauchnie vedomosti BelGU. Serija: Istorija. Politologija. Economica. Informatica. 2013. № 15(158). Vol. 27/1. 228–232. Print. 5. Obod I.I., Nikitina L.A., Nikitin S.A. Modeluvannja telecommunicatsijnih system ta meresch. Za zag. red. I.I. Ododa: Navchalnij posibnik. Kharkiv: NTU «KhPI», 2015. 250. Print. 6. Klimash M.M., Pelischok V.O., Michalenich P.M. Technologii mobilnogo svjazku. Lviv, 2007. 615. Print. 7. Grigoprjev V.A., Lagutenko O.I., Raspaev Ju.A. Seti i sistemi radiodostupa. Moscow: Eko-Trendz, 2005. 384. Print. 8. Alazemi H.M.K., Margolis A., Choi J., Vijaykumar R., Roy S. Stochastic modeling and analysis of 802.11 DCF with heterogeneous non-saturated nodes. Computer Communications, 2007, vol. 30, No. 18, 3652-3661. Print. 9. Shachnovich I.V. Sovremennie tehnologii besprovodnoj svjazi. Izdanie vtoroe, ispravlennoe I dopolnennoe. Moscow: Technosfera, 2006. 288. Print. 10. Serkov O.A. Kombinovani metodi mnoschinnogo dostupu u telekommunikatsijnih mereschach. O.A. Serkov, I.I. Obod, S.O. Nikitin. Sistemi obrobki informatsii. 2013. Vol. 6 (113).Print. 11. Dronov V.M, Knjazev V.V. Kompjuternaja programma "Rozrachunok imovimnostei rivniv bliskavkozachistu budivel ta sporud objektu («Zachist»)» Zareestrovano u Derschavnij sluscbi intelektualnoi vlasnosti Ukrainu, httstratsijnij No 60092 vid 09.06.2015. Print.

Поступила (received) 19.08.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Серков Александр Анатольевич, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Системы информации» Национального технического университета «ХПИ», Украина; тел.: (380-57) 707-64-51; e-mail: saa@kpi.kharkov.ua

Serkov Alexander Anatolievich, Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Head of Information systems department, National Technical University «KhPI», Ukraine, tel.: (380-57) 707-64-51; e-mail: saa@kpi.kharkov.ua.

Никитин Сергей Александрович, аспирант кафедры «Системы информации» Национального технического университета «ХПИ», Украина; тел.: (380-57) 700-15-64; e-mail: sergnick@bk.ru.

Nikitin Sergei Alexandrovich, PhD Student of Information systems department, National Technical University «KhPI», Ukraine; tel.: (380-57) 700-15-64; e-mail: sergnick@bk.ru.

Кравченко Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор, директор НИПКИ «Молния» Национального технического университета «ХПИ», Украина; тел.: (380-57) 707-61-33; e-mail: kravchenkomolnia@mail.ru

Kravchenko Vladimir Ivanovich, Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Head of NIPKI «Molnija» of National Technical University «KhPI», Ukraine; tel.: (380-57) 707-61-33; e-mail: kravchenkomolnia@mail.ru

Князев Владимир Владимирович, кандидат технических наук, ст. научный сотрудник, начальник отдела НИПКИ «Молния» Национального технического университета «ХПИ», Украина; тел.: (380-57) 707-68-68; e-mail: knyaz2@i.ua

Knyazev Vladimir Vladimirovich, PhD, Senior Research Scientist, Head of the Department NIPKI «Molnija» of National Technical University «KPI», Ukraine; tel.: (380-57) 707-68-68; e-mail: knyaz2@i.ua

УДК 621.314:621.373

А. И. ХРИСТО

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО-ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ЗВЕНА МАГНИТНО-ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ГЕНЕРАТОРА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСОВ

Проведено численное моделирование электромагнитных процессов в магнитно-полупроводниковом генераторе высоковольтных импульсов с последовательно - параллельным преобразовательным звеном во входном контуре. Приведены электрические и магнитные характеристики звеньев сжатия для асимметричного режима колебаний генератора и описан процесс, приводящий к усилению напряжения на продольном конденсаторе параллельного преобразовательного звена. Получены графики электрических и энергетических характеристик генератора в зависимости от питающего напряжения и эквивалентного сопротивления нагрузки. Установлен диапазон эквивалентных сопротивлений нагрузки генератора, при котором достигается наибольшая эффективность преобразовательного звена.

Ключевые слова: магнитно-полупроводниковый генератор, преобразовательное звено, коммутирующий дроссель, электрические и энергетические характеристики

Введение. Техника магнитных генераторов импульсов (МГИ) известна еще с 50-х годов прошлого столетия, однако в то время на фоне быстро развивающейся техники газоразрядных приборов МГИ долгое время оставались не замеченными. В последнее десятилетие возрастающая потребность в генерировании мощных высоковольтных субмикросекундных импульсов с высокой частотой повторения и временной стабильностью привела к разработке магнитно-полупроводниковых генераторов импульсов (МППИ) с улучшенными энергетическими и динамическими показателями. Это достижение стало возможным в результате появления новых магнитных материалов с особыми свойствами, позволяющими получить высокие переключающие характеристики коммутирующих дросселей с минимальными динамическими потерями.

Анализ состояния теории. Основоположниками теории колебаний МГИ являются такие известные ученые, как Л.А. Меерович, И.М. Ватин, Э.Ф. Зайцев, В.М. Кандыкин, И.С. Гарбер, М.А. Розенблат и Г.И. Сторм [1-3]. Ними были заложены основы теории стационарного режима колебаний МГИ, проведены исследования устойчивости и области существования этого режима, предложены методики расчета и конструирования звеньев сжатия МГИ.

Как отмечено в работе [1] «зарядный контур и

первое звено сжатия определяет режим работы генератора, роль остальных звеньев состоит в сжатии импульса до требуемой длительности». Для описания процессов в зарядном контуре и первом звене сжатия использована идеализированная модель кривой намагничивания, при которой последняя аппроксимируется ломаной линией. Согласно этой модели на основной кривой намагничивания коммутирующий дроссель (КД) имеет бесконечно большой импеданс, что дает основание пренебрегать током подмагничивания. При насыщении сердечника КД индуктивность определяется по проницаемости в насыщении. Недостатком этой аппроксимации является то, что она не учитывает потери энергии вызванные токами намагничивания, а также потерями энергии на перемагничивания КД, обусловленные гистерезисным характером намагничивания. Кроме того, при увеличении частоты намагничивающего импульса динамическая характеристика намагничивания будет расширяться, и потери энергии на гистерезис будут становиться все более ощутимыми. Немаловажно отметить, что теория стационарного режима колебаний, изложенная в работе [1] построена на допущении согласованной передачи энергии из генератора в нагрузку, что в принципе является частным случаем из всего множества (энергетических) режимов колебаний генератора. Такой режим колебаний достигается в случае однонаправлен-