

15. Мазилкина, Е. И. Основы управления конкурентоспособностью [Текст] / Е. И. Мазилкина, Г. Г. Паничкина. — М.: Омега-Л, 2008. — 336 с.
16. Ядыков, С. Ветрикс [Электронный ресурс] / С. Ядыков // Консультант. — 2010. — № 5. — Режим доступа: \www/URL: <http://vetriks.ru/info/49-info-3-1.html>

#### РОЗРОБКА МОДЕЛІ ДЕРЕВА ЦІЛЕЙ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МІНІ-ГОТЕЛЮ ТА ЇЇ ЗМІСТ

Стаття присвячена розробці моделі дерева цілей інформаційної системи управління готелів (ІСУГ), оскільки це перший і найголовніший, ключовий крок до визначення ефективності ІСУГ. Авторами розглянуті проблеми застосування ІТ-технологій у міні-готелях. Проаналізовано вимоги до автоматизованої системи управління міні-готелем. Визначено основні етапи процесу розробки і запуску ІСУГ. Запропоновано контекстні діаграми, що описують структуру системи функціонування готелю.

**Ключові слова:** дерево цілей, ефективність інформаційної системи, інформаційна технологія, готельний бізнес.

*Левькин Виктор Макарович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационных управляющих систем, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина, e-mail: [iyc@kture.kharkov.ua](mailto:iyc@kture.kharkov.ua).*

*Дэвон Валерия Викторовна, кафедра информационных управляющих систем, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина, e-mail: [iyc@kture.kharkov.ua](mailto:iyc@kture.kharkov.ua).*

*Левькин Виктор Макарович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационных управляющих систем, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина.*

*Дэвон Валерия Викторовна, кафедра информационных управляющих систем, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина.*

*Levykin Viktor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine, e-mail: [iyc@kture.kharkov.ua](mailto:iyc@kture.kharkov.ua).*

*Devon Valeriia, Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine, e-mail: [iyc@kture.kharkov.ua](mailto:iyc@kture.kharkov.ua).*

УДК 621.396

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.37633

Шостко И. С.

## МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ МОЩНЫХ МИКРОВОЛНОВЫХ ИМПУЛЬСОВ НАНОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ

*Проведен анализ зависимости параметров мощных микроволновых импульсов наносекундной длительности от особенностей конструкции формирующей линии генератора. Оптимизированы параметры конструкции формирователя по критерию достижения максимальной мощности генератора. В результате исследований показано, что за счет оптимизации параметров конструкции формирующей линии, коэффициент усиления генератора увеличивается по мощности в 11 раз.*

**Ключевые слова:** генератор импульсов ударного возбуждения, микроволновые импульсы наносекундной длительности.

### 1. Введение

Развитие техники связи, радиолокации, технологий обработки материалов и т. д. стимулирует создание генераторов мощного микроволнового излучения с наносекундной длительностью импульсов. Для создания качественно новой мощной импульсной техники, способной выйти на технологические применения, используются индуктивные накопители с твердотельными прерывателями тока, имеющие высокие удельные характеристики и практически неограниченный срок службы. Основная проблема здесь состоит в преобразовании накопленной энергии в короткий импульс микроволнового излучения.

### 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Для формирования мощных микроволновых импульсов наносекундной длительности применяют генераторы с ударным возбуждением электродинамической структуры [1–5]. Генератор включает в себя: накопитель

с большой удельной плотностью запасенной энергии, систему умножения (трансформации) напряжения, систему коммутации на основе искровых разрядников и управления. Когда мощность импульса большая существует проблема как за короткое время и с большой эффективностью передать энергию через коммутатор в нагрузку [6–8]. Поэтому актуальна разработка новых методов коммутации и укорочения фронта импульса для возбуждения электродинамической структуры. Эффективность такого метода возбуждения электродинамической структуры можно оценить по критерию достижения максимальной мощности микроволнового импульса наносекундной длительности при постоянных параметрах источника питания.

### 3. Объект, цель и задачи исследования

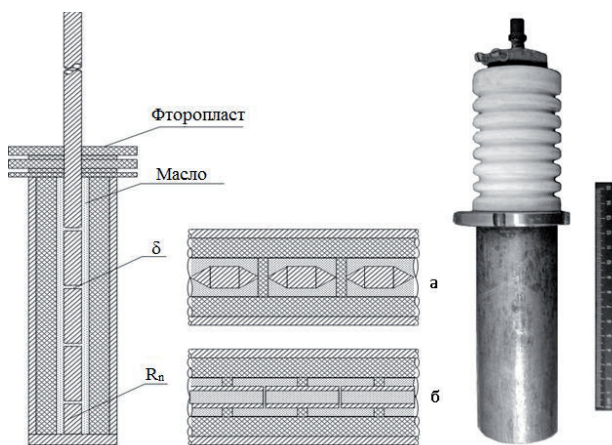
*Объект исследования* — методы формирования мощных микроволновых импульсов наносекундной длительности.

*Целью исследования* является увеличение коэффициента усиления генератора по мощности.

Для достижения поставленной цели необходимо решить задачу по оптимизации параметров конструкции формирователя импульсов.

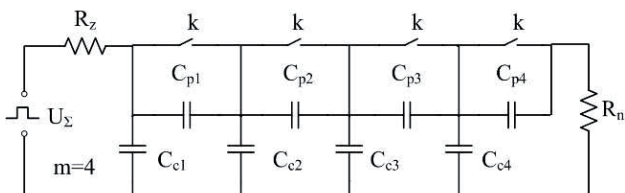
#### 4. Материалы и методы исследований формирователя мощных микроволновых импульсов наносекундной длительности

**4.1. Описание конструкции формирователя микроволновых импульсов.** Формирователь микроволновых импульсов представляет собой отрезок коаксиальной линии, в которой вместо центрального проводника располагается многоэлементный регулируемый разрядник (рис. 1).



**Рис. 1.** Конструкция и внешний вид формирователя импульсов. Принцип построения формирующей линии: а — с твердотельными разрядниками; б — с газовыми разрядниками;  $R_n$  — сопротивление нагрузки;  $\delta$  — межэлектродный зазор

Аналогом этого устройства являются конструкции многоэлементных разрядников [1] и генераторов травянонного типа [2]. Эквивалентная схема формирователя, приведена на рис. 2, где  $C_p$  и  $C_c$  — емкости между электродами разрядников и емкости между сердечником каждой секции и внешним проводником,  $K$  — ключи, которые имитируют последовательный пробой разрядников,  $R_n$  — сопротивление нагрузки.



**Рис. 2.** Эквивалентная схема формирователя

При  $C_c \gg C_p$  основная часть напряжения  $U_\Sigma$  высоковольтного источника, прикладываемого к многоэлементному разряднику, будет приходиться на первый зазор. Это приводит к последовательному срабатыванию  $m$  разрядников (начиная с первого) и формированию в результате перераспределения напряжений на остальных разрядниках, затухающих по амплитуде колебаний на нагрузке  $R_n$ .

**4.2. Анализ влияния конструктивных особенностей формирователя на параметры микроволновых импульсов.** Величина эквивалентной емкости формирователя  $C_F$ ,

после пробоя  $k$  разрядников при  $C_c \gg C_p$ , будет определяться величиной:

$$C_F = kC_c + \frac{C_c C_p}{C_c + C_p} \approx kC_c, \tag{1}$$

т. е. емкость формирователя, перед пробоем первого разрядника ( $k = 1$ ), практически равна емкости первой секции. По мере пробоя разрядников, емкость формирователя будет увеличиваться пропорционально числу пробитых разрядников. Напряжение на емкости [2]:

$$U_C = \frac{1}{C_F} \int_0^t I(t) dt = U_\Sigma \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} - \frac{t}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}} \right). \tag{2}$$

Напряжение на элементах формирователя [2]:

$$U_{k+1} = U_\Sigma \frac{Sh[(m-k)\gamma]}{Sh[m\gamma]}, \tag{3}$$

где  $\gamma = \ln \left( 1 + \frac{C_c}{2C_p} \left( 1 + \sqrt{\frac{4C_p}{C_c} + 1} \right) \right)$ ,  $k = 0, 1, 2, \dots, m$ .

Напряжение на первом зазоре и между электродами первого разрядника:

$$\Delta U_1 = U_1 - U_2 = U_\Sigma \left( 1 - \frac{e^{(m-1)\gamma} - e^{-(m-1)\gamma}}{e^{m\gamma} - e^{-m\gamma}} \right) \approx U_\Sigma (1 - e^{-\gamma}),$$

$$\Delta U_{cp} = U_\Sigma (1 - e^{-\gamma}) \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} - \frac{t}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}} \right). \tag{4}$$

Распределением напряжения на элементах формирователя можно управлять, изменяя конфигурацию многоэлементного разрядника: выбором материала и толщины диэлектрических вставок в разрядниках (рис. 1, а), регулировкой давления внутри формирователя (рис. 1, б) и т. д.

Приравняв (4) величине напряжения статического пробоя  $\Delta U_{cp} = U_p$ , найдем выражение для определения интервала времени пробоя  $t_p$ :

$$1 - e^{-\frac{t_p}{\tau}} - \frac{t_{пп}}{\tau} e^{-\frac{t_p}{\tau}} = \frac{U_p}{U_\Sigma(t_p)(1 - e^{-\gamma})}. \tag{5}$$

Поскольку  $U_p$  зависит в первую очередь от величины зазоров и давления газа в разрядных промежутках, то и величина  $t_p$ , найденная из выражения (5), также будет определяться этими параметрами. Амплитуда формируемых микроволновых колебаний будет определяться величиной напряжения пробоя разрядников. Она будет увеличиваться при увеличении зазоров и давления газа в разрядных промежутках.

Для того, чтобы при малых зазорах сохранить высокое напряжения пробоя, а, следовательно, высокую мощность формируемого импульса, необходимо переходить к твердотельным (пленочным) разрядникам. При

малых зазорах напряженность поля пробоя в твердых диэлектриках резко нарастает с уменьшением зазора. Современные экспериментальные данные по пробое специально выращенных бездефектных пленок показывают, что пробивная напряженность в субмикронных зазорах может достигать до 100 МВ/см. При выборе типа диэлектрической пленки предпочтение было отдано щелочно-галогидным кристаллам. Характерной особенностью импульсного пробоя щелочно-галогидных кристаллов [9, 10] является увеличение пробивного напряжения с укорочением длительности импульса. Сквозной канал пробоя в щелочно-галогидных кристаллах в электрических полях длительностью ~ 30 нс возникает при напряжениях, превышающих в 2,5 раза квазистатическое [11]. Комбинируя такими параметрами, как толщина пленки и количество пленок в многослойной конструкции разрядника, можно регулировать величину напряжения пробоя и время задержки пробоя для каждого из разрядников.

Таким образом, увеличение мощности микроволновых импульсов и укорочение их длительности, обеспечиваются в результате изменения профиля многоэлементного сердечника коаксиальной конструкции формирователя, выбором количества секций, толщины зазора или количества диэлектрических пленок в разрядниках.

### 5. Результаты исследования формирователя микроволновых импульсов

Изготовлена и испытана конструкция (длина 24 см, диаметр 38 мм) формирователя импульсов, которая состоит из четырех секций с изолятором из фторопласта  $F_4$ . Для внутреннего сердечника использованы медные трубки (длина 1,5 см, диаметр 8 мм), которые фиксируются с помощью эбонитовых шайб. При величине зазоров 4 мм, емкости секции и зазора:  $C_p \approx 0,05$  пФ,  $C_c \approx 0,9$  пФ.

Напряжение на выходе источника питания 100 кВ, индуктивность источника питания 500 нГн. Зарядное сопротивление  $R_z = 1050$  Ом. Фронт импульса экспоненциальный.

Максимальное значение мощности импульса в нагрузке зависит от времени задержки при срабатывании каждого из разрядников. Для, указанных выше параметров, максимальная мощность в импульсе получена при времени задержки пробоя для каждого из разрядников  $t_2 \approx 5$  нс. Характер возбуждаемых колебаний в каждой секции формирователя и форма импульса мощности в нагрузке зависят от времени задержки при срабатывании каждого из разрядников. Изменяя времена задержки разрядников можно изменять форму импульса. Максимальное значение мощности получается при согласовании всех электротехнических параметров формирователя и источника питания. При оптимизации параметров формирователя по критерию достижения максимальной мощности формируемого импульса, необходимо: увеличивать индуктивности и емкости секций, уменьшать емкость зазоров.

Мощность и форма импульса на выходе формирователя, изменяются также в зависимости от значений сопротивлений  $R_z$  и  $R_n$ . График изменения мощности импульса, для различных значений сопротивления  $R_n$ , приведен на рис. 3. Максимальное значение мощности в  $R_n$  получено при минимальном сопротивлении  $R_z$ . Оптимальное значение  $R_n$  равно 80 Ом.

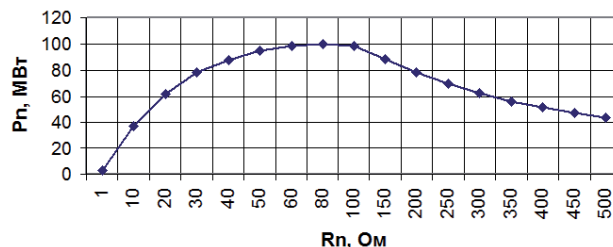


Рис. 3. Зависимость максимального значения мощности импульса от значения сопротивления  $R_n$

Частотная характеристика формирователя изменяется в процессе срабатывания разрядников. С ростом сопротивления  $R_z$  изменяется АЧХ формирователя. Если  $R_z$  — единицы Ом, то из спектра импульса усиливаются только частоты, совпадающие с резонансными частотами формирователя. При сопротивлении порядка одного кОм, АЧХ в полосе до 1 ГГц, становится равномерной, но коэффициент усиления по напряжению уменьшается. Поэтому в зависимости от формы (спектра) импульса на выходе формирователя, максимальная мощность в импульсе достигается регулировкой  $R_z$ .

### 6. Обсуждение результатов испытаний формирователя в схеме с питанием от индуктивного накопителя

Схема простейшего индуктивного накопителя энергии, графики зависимости изменения тока и абсолютного значения напряжения на индуктивности во времени показаны на рис. 4, где источник питания обозначен, как (ИП).

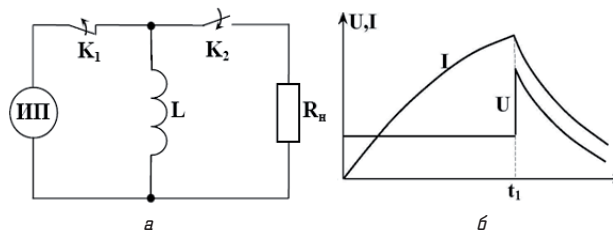


Рис. 4. Индуктивный накопитель энергии: а — электрическая схема коммутации; б — графики зависимости изменения тока  $I$  и абсолютного значения напряжения  $U$  на индуктивности  $L$

При зарядке индуктивности до момента  $t_1$  коммутатор  $K_1$  замкнут, от ИП течет нарастающий ток. Напряжение на индуктивности не превышает напряжения ИП. При достижении максимального тока (накопления энергии) зарядная цепь размыкается коммутатором  $K_1$  а коммутатор  $K_2$  — формирователь подключает нагрузку. Накопитель разряжается на нагрузку через формирователь. Для заданных параметров формирователя максимальная мощность импульса, формируемого на сопротивлении нагрузки, получена при  $L = 30$  нГн.

Создание индуктивного накопителя и коммутатора  $K_2$  не представляет технических трудностей. Однако создание малогабаритного коммутатора  $K_1$  отключающего зарядный ток, является сложной задачей. Наиболее важными являются два параметра размыкателя: ток через размыкатель —  $I_0$  (способность размыкателя выдержать большой ток) и скорость нарастания сопротивления размыкателя  $dR_{от}/dt$ . Чем больше эти величины, тем более эффективно

происходит передача энергии к формирователю. Некоторую неопределенность, при использовании прерывателей, представляет сильная зависимость коэффициента умножения напряжения на входе формирователя от физических процессов: остаточного сопротивления и скорости роста сопротивления в прерывателе. При временах коммутации  $t_k \geq 2t_r$  ( $t_r$  — время распространения электромагнитной волны в отрезке коаксиальной линии с прерывателем) для анализа применима двухконтурная схема (рис. 5).

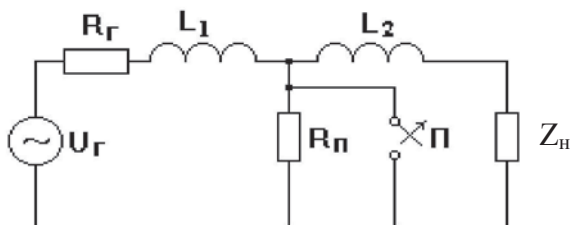


Рис. 5. Двухконтурная схема индуктивного накопителя энергии

В момент времени  $t=0$  имеем: ток максимален и равен  $I_1$ ; напряжение —  $U_G$ . Предположим, что в момент  $t=0$ , сопротивление ключа мгновенно нарастает от 0 до  $R_{\Pi}$ . Первоначально ток  $I_2(0)=0$ , при  $t>0$  имеем:

$$I_1(t) \approx \frac{L_1 I_0}{L_1 + L_2} \left[ e^{-t/\tau^-} + \frac{L_2}{L_1} e^{-t/\tau^+} \right], \quad (6)$$

$$I_2(t) \approx \frac{L_1 I_0}{L_1 + L_2} \left[ e^{-t/\tau^-} - e^{-t/\tau^+} \right], \quad (7)$$

где  $\tau^+ = \frac{L_2}{R_{\Pi}}$ ,  $\tau^- = \frac{L_1}{R_{\Gamma} + Z_{\text{Н}}}$  оцениваются в предположении, что:

$$R_{\Pi} \gg R_{\text{Н}}, \quad R_{\text{Н}} \gg R_{\Gamma} \quad \text{и} \quad L_1 \gg L_2.$$

Для получения больших значений коэффициента передачи энергии от накопителя к нагрузке, сопротивление  $R_{\Pi}$ , должно быть больше всех других сопротивлений цепи. Индуктивности выбираются так, чтобы в  $L_1$  накапливалась значительная энергия, а малая  $L_2$  обеспечивала быстрое нарастание тока в цепи формирователя. Из уравнений (6) и (7) следует, что ток переключения  $I_{\Pi} = I_1 - I_2$  определяется как:

$$I_{\Pi}(t) \approx I_0 e^{-t/\tau^+}, \quad (8)$$

т. е. время переключения  $t_{\Pi} = \tau^+$ . Поэтому индуктивность  $L_2$  с одной стороны должна быть как можно меньше, с другой стороны комплексное входное сопротивление формирователя должно быть согласовано с комплексным сопротивлением цепи индуктивного накопителя энергии. Поэтому суммарная индуктивность  $L = L_1 + L_2$  при минимальном значении  $L_2 = 1$  нГн, ограничена условием резонанса в контуре образованным элементами генератора. На рис. 6 показана зависимость нормированного максимального значения мощности импульса в нагрузке от величины индуктивности  $L_1$ .

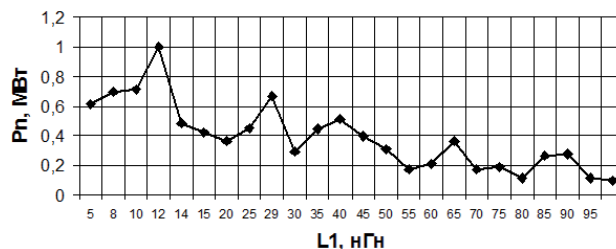


Рис. 6. Нормированное максимальное значение мощности импульса в нагрузке от величины индуктивности  $L_1$

Резонанс наблюдается при  $L_1 = 12$  нГн, при  $L_1 = 29$  нГн и т. д. Максимальное значение мощности импульса в нагрузке будет при первом резонансе. В этом случае коэффициент усиления генератора по мощности будет порядка 11.

## 7. Выводы

Решена задача по оптимизации параметров конструкции формирователя по критерию достижения максимальной мощности генератора. Для увеличения мощности генератора предлагается использовать новый метод возбуждения микроволновых импульсов наносекундной длительности, который основан на свойстве перераспределения зарядов в коаксиальной линии с многоэлементным сердечником и изменении времени задержки коммутации разрядников. Выявлено влияние профиля многоэлементного сердечника коаксиальной конструкции формирователя и коррекции времени коммутации разрядников на параметры импульса.

Таким образом, в результате исследований показано, что за счет оптимизации параметров конструкции формирующей линии, коэффициент усиления генератора увеличивается по мощности в 11 раз.

## Литература

1. Месяц, Г. А. Генерирование мощных наносекундных импульсов [Текст] / Г. А. Месяц. — М.: Сов. Радио, 1974. — 256 с.
2. Шостко, О. С. Особенности формирования колебаний в траватроне [Текст] / О. С. Шостко // Вісник Харківського національного університету. Серія «Радіофізика та електроніка». — 2000. — Вип. 1(467). — С. 136–139.
3. Шостко, И. С. Дисковый искровой генератор СВЧ импульсов наносекундной длительности [Текст] / И. С. Шостко, С. Н. Шостко, Е. А. Авчинников, В. П. Гулак // Прикладная радиоэлектроника. — 2002. — № 1, Т. 1. — С. 103–106.
4. Шостко, И. С. Синфазная решетка искровых излучателей [Текст] / И. С. Шостко, С. Н. Шостко // Прикладная радиоэлектроника. — 2004. — Т. 2, № 3. — С. 91–93.
5. Shlapakovski, A. S. Formation of Pulses with Adjustable Parameters in a Resonant Microwave Pulse Compressor [Text] / A. S. Shlapakovski, S. N. Artemenko, P. Yu. Chumerin, Yu. G. Yushkov // Advanced Materials Research. — 2015. — Vol. 1084. — P. 256–261. doi:10.4028/www.scientific.net/amr.1084.256
6. Бурцев, В. А. Электрический взрыв проводников и его применение в электрофизических установках [Текст] / В. А. Бурцев, Н. В. Калинин, А. В. Лучинский. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 288 с.
7. Месяц, Г. А. Техника формирования высоковольтных наносекундных импульсов [Текст] / Г. А. Месяц, Г. А. Воробьев. — М.: Госатомиздат, 1963. — 167 с.
8. Мик, Дж. Электрический пробой в газах [Текст]: пер. с англ. / Дж. Мик, Дж. Крэгс; под ред. В. С. Комелькова. — М.: Изд. иностранной литературы, 1960. — 605 с.
9. Сканави, Г. И. Физика диэлектриков [Текст] / Г. И. Сканави. — М.: Физматгиз, 1958. — 907 с.



10. Вершинин, Ю. Н. Электронно-тепловые и детонационные процессы при электрическом пробое твердых диэлектриков [Текст] / Ю. Н. Вершинин. — Екатеринбург, 2000. — 258 с.
11. Куликов, В. Д. Исследование механизма электрического пробоя ионных кристаллов в наносекундном диапазоне [Текст] / В. Д. Куликов // Журнал технической физики. — 2003. — Том 73, Вып. 12. — С. 26–30.

#### МЕТОД ФОРМУВАННЯ ПОТУЖНИХ МІКРОВОЛНОВИХ ІМПУЛЬСІВ НАНОСЕКУНДНОЇ ТРИВАЛОСТІ

Проведено аналіз залежності параметрів потужних мікрохвильових імпульсів наносекундної тривалості від особливостей конструкції формувача генератора. Оптимізовані параметри конструкції формувача за критерієм досягнення максимальної потужності генератора. В результаті досліджень показано, що за рахунок оптимізації параметрів конструкції

формувача, коефіцієнт посилення генератора збільшується за потужністю в 11 разів.

**Ключові слова:** генератор імпульсів ударного збудження, мікрохвильові імпульси наносекундної тривалості.

*Шостко Ігорь Светославович, доктор технических наук, доцент, кафедра телекоммуникационных систем, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина, e-mail: igor-shostko@yandex.ru.*

*Шостко Ігор Светославович, доктор технічних наук, доцент, кафедра телекомунікаційних систем, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.*

*Shostko Igor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine, e-mail: igor-shostko@yandex.ru*

УДК 004.925.83

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.37693

**Аноприенко А. Я.,  
Федоров Е. Е.,  
Иваница С. В.,  
Альрабаба Хамза**

## ОСОБЕННОСТИ АППАРАТНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ОБОБЩЕННОГО КЛЕТОЧНОГО ТЕТРААВТОМАТА

*Предложен вариант обобщенной структуры ячейки клеточного автомата с использованием асинхронного запоминающего устройства, программно настраиваемого через пользовательский интерфейс. Рассмотрены несколько способов аппаратной реализации записи начальных значений в регистр состояний ячейки и считывания результатов со слоя текущих состояний в регистр считывания результатов: последовательный, блочный, с использованием слоя начальных состояний через непосредственную последовательную или блочную адресацию, или каскадную адресацию на основе тетракодов.*

**Ключевые слова:** постбинарный клеточный автомат, тетраавтомат, расширенный кодологический базис, запоминающее устройство, ячейка, тетракод.

### 1. Введение

Аппаратная реализация алгоритмов и вычислительных процессов является способом достижения максимальной производительности. В общем случае при аппаратной реализации по сравнению с программной достигается ускорение на 1–2 порядка. Однако клеточные автоматы являются довольно специфическим видом вычислительных устройств, в связи с чем известно относительно мало успешных попыток их аппаратной реализации.

В работах [1–3] определены постбинарные клеточные автоматы (ПКА), в который, в отличие от традиционных клеточных автоматов (КА), число состояний ячеек больше двух. В цикле работ, например [4–6] в качестве постбинарной логики и постбинарного кодирования выделены такие направления, как тетралогика и тетракодирование.

В данной работе рассматривается аппаратная реализация обобщенного клеточного тетраавтомата (ОКТА), как частного случая ПКА, который, во-первых, по структуре является машиной клеточных автоматов (МКА), и, во-вторых, расширяет управляемость МКА с возможностью подключения к сети Интернет, поэтому до-

ступ к тетраавтомату может осуществляться с любого удаленного компьютера.

### 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Теория КА обязана своим появлением Джону фон Нейману. В конце 40-х годов, накопив огромный практический опыт в создании быстродействующих вычислительных машин, фон Нейман приступил к созданию общей математической теории автоматов [7].

После фон Неймана исследования были продолжены его учеником Станиславом Уламом и Джоном Холландом — сотрудниками университета Лос-Аламос в университете Мичигана [8–10].

Практически параллельно и независимо от исследования Улама и фон Неймана работу над КА начал Конрад Цузе, который в 1969 г. опубликовал книгу «Rechnender Raum» («Вычислительное пространство») — «Calculating Space» [11].

В 1984 г. Кристофер Лэнгтон создал самовоспроизводящийся автомат, клетка которого может находиться в одном из восьми возможных состояний, но при этом для самовоспроизведения требуется гораздо меньшее