

УДК 519.688

## Методика и алгоритмы для выявления и локализации экстремумов сигнала в многопроводных линиях передачи

Газизов Р. Р.

(руководитель исследования: доктор технических наук А.М. Заболоцкий)

**Актуальность работы.** С развитием современной радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) повышается плотность монтажа ее внутренних конструкций, а также наблюдается рост частот полезных и помеховых сигналов. В этой связи важны выявление и локализация экстремумов сигнала вдоль проводников многопроводных линий передачи (МПЛП) для обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС), поскольку эти результаты могут быть использованы для определения мест возможных паразитных взаимовлияний и излучений, чтобы своевременно устранить их в интересах дальнейшей доработки РЭА. **Цель работы:** разработать методику и алгоритмы для выявления и локализации экстремумов сигнала вдоль МПЛП, которые необходимы при анализе ЭМС РЭА на этапе проектирования. **Используемые методы.** Для разработки методики используются теоретические основы квазистатического вычисления отклика в любой точке вдоль каждого проводника каждого отрезка МПЛП. **Результат:** сформулирована методика и описаны алгоритмы, применяемые для выявления и локализации экстремумов сигнала, построены их блок-схемы. Представленные алгоритмы реализованы в виде программы для электронно-вычислительных машин, которая использовалась для выполнения исследований (их краткие результаты приведены в работе). **Практическая значимость** разработанных методики и алгоритмов заключается в использовании их в системе компьютерного моделирования для анализа ЭМС различных фрагментов печатных плат, и возможности использования производителями РЭА для повышения надежности выпускаемых изделий.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, методика, квазистатический анализ, программный модуль, экстремумы сигналов, многопроводные линии передачи.

### Актуальность

Возрастающая сложность разрабатываемых устройств и протекающих в них процессов делает всё более важным математическое моделирование, поскольку натурное моделирование часто становится очень затратным. В этой связи, показательна современная радиоэлектронная аппаратура (РЭА), требующая особенно тщательного математического моделирования, в основе которого, чаще всего, лежит численный анализ с построением схемной математической модели РЭА и вычислением её реакции на тестирующее воздействие. Сложность точного математического моделирования РЭА во многом определяется электромагнитными взаимовлияниями, особенно сильно выраженными в проводниках печатных плат (ПП). Эти взаимовлияния довольно трудно контроли-

#### Библиографическая ссылка на статью:

Газизов Р. Р. Методика и алгоритмы для выявления и локализации экстремумов сигнала в многопроводных линиях передачи // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 4. С. 1-14. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-04/01-Gazizov.pdf>.

#### Reference for citation:

Gazizov R. R. Method and algorithms for revealing and localization of signal extremum in multiconductor transmission lines. *Systems of Control, Communication and Security*, 2017, no. 4, pp. 1-14. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-04/01-Gazizov.pdf> (in Russian).

ровать, поскольку проводники, в общем случае, расположены произвольно. Кроме того, существуют и отдельные компоненты ПП, в которых могут появиться паразитные взаимовлияния. С увеличением сложности математического моделирования становится актуальной оптимизация выбора параметров исследуемой структуры. В работе [1] проведен анализ трудоемкости различных эвристических алгоритмов, и показано, что генетический алгоритм (ГА) довольно эффективен, однако требует значительное время для своего выполнения. Тем не менее, в силу популярности его применения при моделировании РЭА [2], принято решение использовать его для оптимизации.

### Постановка задачи

В работах [3, 4] показана актуальность выявления и локализации экстремумов сигнала в многопроводных линиях передачи (МПЛП), приведены теоретические основы квазистатического вычисления отклика в любой точке вдоль отрезка МПЛП, представлены результаты программной реализации алгоритмов, а также выполнен ряд исследований одиночных и связанных линий передачи с применением возможности выявления и локализации экстремумов сигнала. Однако работы, отражающей методику и алгоритмы для выявления и локализации экстремумов сигнала в едином комплексе, представлено не было.

Цель данной работы – сформулировать методику и алгоритмы для выявления и локализации экстремумов сигнала в МПЛП.

### Теория

Ранее были разработаны и опубликованы теоретические основы для вычисления значений напряжения и тока в любой точке вдоль отрезка МПЛП [3, 4]. Однако для представления методики и алгоритмов в едином комплексе целесообразно снова представить эти выражения:

$$V(x) = S_V(E(x)C_1 + E(x)^{-1}C_2), \quad (1)$$

$$I(x) = S_I(E(x)C_1 - E(x)^{-1}C_2), \quad (2)$$

где  $S_V$  – матрица модальных напряжений;  $S_I$  – матрица модальных токов;  $E(x)$  – диагональная матрица  $\{\exp(-\gamma_1 x), \exp(-\gamma_2 x), \dots, \exp(-\gamma_{N_k} x)\}$  и  $\gamma_{N_k}$  – коэффициенты распространения отрезка МПЛП; где  $N_k$  – число проводников в  $k$ -м отрезке МПЛП;  $x$  – координата вдоль отрезка МПЛП;  $C_1, C_2$  – векторы констант. Вычисление значений матриц  $S_I, S_V, E(x)$  описано в работе [5].  $C_1$  и  $C_2$  вычисляются как

$$\begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_V & S_V \\ S_V E(l) & S_V [E(l)]^{-1} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} V(0) \\ V(l) \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где  $E(l) = E(x)$  при  $x=l$  и  $l$  – длина отрезка МПЛП;  $V(0)$  и  $V(l)$  – векторы, содержащие напряжения на концах отрезка МПЛП, полученные после решения уравнения для схемы из  $n$  отрезков МПЛП с сосредоточенными элементами на концах отрезков:

$$V(s) = \left( sW + H + \sum_{k=1}^n D_k Y(s)_k D_k^t \right)^{-1} E(s), \quad (4)$$

где  $s=j\omega$ ,  $\omega$  – угловая частота;  $W, H$  – матрицы размера  $A \times A$ , описывающие произвольные оконечные и соединительные схемы из активных и реактивных элементов ( $A$  – количество параметров, вычисляемых в модифицированном методе узловых потенциалов);  $D_k$  – матрица-селектор, отображающая токи, входящие в  $k$ -й отрезок МПЛП, с элементами  $d_{i,j} \in \{0, 1\}$ , где  $i \in \{1, \dots, N_k\}, j \in \{1, \dots, m_k\}$  с одним ненулевым значением в каждом столбце,  $m_k = 2 \cdot N_k$  – количество токов, входящих в  $k$ -й отрезок МПЛП;  $Y(s)_k$  – матрица проводимостей для  $k$ -го отрезка МПЛП;  $V(s)$  – вектор узловых напряжений;  $E(s)$  – вектор, состоящий из независимых источников напряжения или токов.

Алгоритм вычисления откликов в узлах цепи на заданное воздействие, описан в работе [5]. Сначала исходное воздействие из временной области с помощью прямого быстрого преобразования Фурье (БПФ) переводится в частотную. Затем производятся вычисления по (1–4). Полученный результат из частотной области переводится во временную с помощью обратного БПФ.

### **Разработанная методика для выявления и локализации экстремумов сигнала в многопроводных линиях передачи**

На основе представленных в этой статье теоретических положений автором разработана методика для выявления и локализации экстремумов сигнала в МПЛП. Далее описана суть методики. Разработчик РЭА строит корректную принципиальную схему разрабатываемой структуры; выбирает участок на одном из проводников структуры, вдоль которого необходимо проверить, не превышают ли амплитуды распространяющегося сигнала предельных значений, а также – как изменяется форма сигнала, при распространении. Выбранный участок может состоять всего из нескольких отрезков линий передачи, а может быть выбран по всей длине проводника. Кроме того, участок может находиться на любом проводнике структуры (т.е. есть возможность проводить анализ значений амплитуд сигналов, как в активном проводнике, так и перекрестных наводок).

Разработанная методика состоит из трех этапов:

1. Подготовительный этап. Формулировка решаемой задачи, цели и планируемых результатов. Построение поперечных сечений и корректной принципиальной схемы РЭА (учитывающей все гальванические соединения между элементами) с указанием всех параметров активных и реактивных элементов (для отрезков линии передачи – матрицы погонных коэффициентов электромагнитной и электростатической индукции, матрицы погонных проводимостей и сопротивлений, длина отрезка линии передачи; для источника сигнала – тип сигнала и его параметры).
2. Этап вычислений. Выбор начального и конечного узлов распространения импульса, с указанием числа сегментов каждого отрезка МПЛП, значения скорости анимации для отображения вычисленных форм сигнала. Вычисление формы сигнала. Выявление и локализация экстремумов сигнала. Встроенная оптимизация для получения оптимального решения.

3. Заключительный этап. Анализ полученных результатов: форм сигнала, динамически отображаемых вдоль каждого проводника МПЛП, выявленных экстремумов сигнала и их локализация на принципиальной схеме.

Рассмотрим подробнее второй и третий этапы методики. На втором этапе чтобы выбрать участок проводника, состоящий из нескольких отрезков МПЛП, (или весь проводник), вдоль которого будет выполняться анализ экстремумов сигнала, и отображение изменения формы сигнала, необходимо указать начало и конец участка (номера узлов принципиальной схемы). Каждый отрезок МПЛП делится на число сегментов, заданное пользователем, и в каждом из этих сегментов вычисляется форма сигнала. Алгоритм вычисления отклика (формы сигнала) в заданном сегменте отличается от алгоритма из работы [5] тем, что использует координаты сегментов вместо номеров узлов. В результате в системе хранятся значения напряжения или тока, вычисленные в каждом сегменте каждого отрезка проводника. Затем определяется путь распространения сигнала вдоль выбранного проводника с учетом гальванических связей между отрезками МПЛП (т. е. последовательное отображение форм сигнала, вычисленных в каждом сегменте МПЛП). Скорость отображения также определяется пользователем. Далее в каждом сегменте выполняется поиск экстремумов, а именно глобальных (относительно всех сегментов) максимума или минимума. За глобальным максимумом или минимумом закрепляется номер сегмента и отрезка МПЛП, которые потом используются для его локализации. Также на этом этапе есть возможность применить оптимизацию с помощью ГА. К примеру, если у пользователя стоит задача, определить такую длительность импульса воздействия, при которой максимальное значение амплитуды сигнала вдоль проводника будет наибольшим.

На третьем этапе происходит визуализация динамического отображения распространения сигнала вдоль проводника, которым пользователь может управлять (остановить анимацию, отобразить форму сигнала на следующем/предыдущем сегменте, снова запустить анимацию); отображаются формы сигнала с глобальным максимумом/минимумом при нажатии на соответствующие кнопки. Эти результаты выводятся в отдельном окне, а на принципиальной схеме анимировано (в соответствии с анимацией форм сигнала) отображаются сегменты (в виде точек), в которых вычислены формы сигнала. При отображении экстремума останавливается анимация на принципиальной схеме, и указывается место, в котором он локализован. Таким образом, пользователь может проанализировать, какие выявлены глобальные экстремумы сигнала, где они находятся, а также как изменяется форма сигнала, при распространении вдоль проводников исследуемой структуры. Схема разработанной методики представлена на рис. 1.

Далее рассмотрим алгоритм визуализации распространения сигнала по цепи (рис. 2). Пользователю необходимо выбрать начальный узел *A* и конечный узел *B*, между которыми будет распространяться сигнал. На основе этих точек система определяет путь распространения сигнала, определяет количество и последовательность отрезков МПЛП, а также последовательность их сегментов

для анимированного отображения вычисленных в них откликов. После этого системой создаются необходимые команды, и выполняется динамическое отображение.

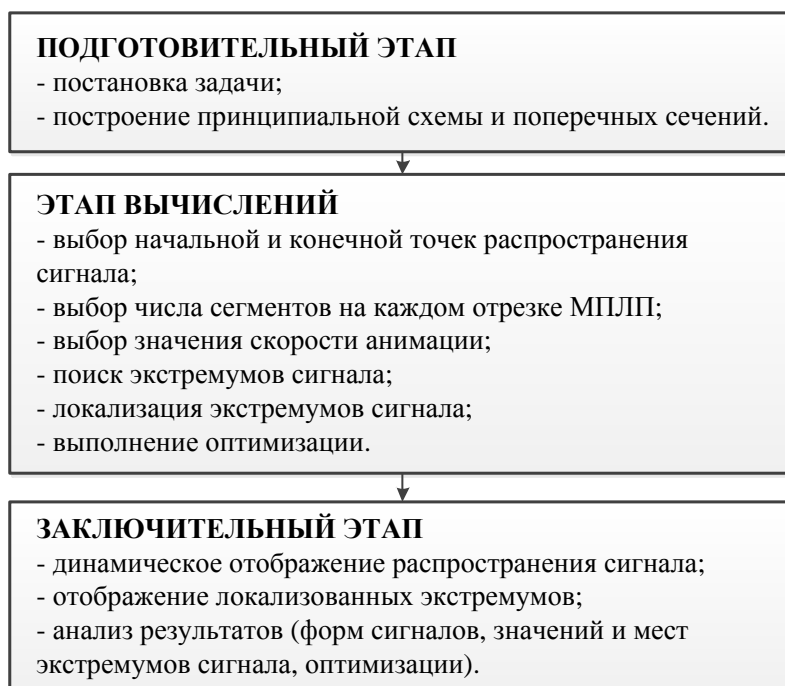


Рис. 1. Методика выявления и локализации экстремумов сигнала в МПЛП

Если узел  $A$  пользователь может выбрать в любом месте на принципиальной схеме, то местоположение узла  $B$  вычисляется алгоритмом определения допустимых путей распространения. Суть его заключается в обеспечении условия сохранения гальванической связи между отрезками МПЛП на пути распространения сигнала. На рис. 3 представлена тестовая схема, а рис. 4 содержит изображение каждого шага алгоритма до обработки первого элемента схемы. Рассмотрим подробнее этот алгоритм (блок-схема приведена на рис. 5) на примере тестовой схемы:

1. Сначала в систему поступает индекс начального узла  $A$  (первый узел, который выбирает пользователь).  $A=2$ .
2. Создается список пройденных узлов  $list$  (сначала пустой), а также текущему узлу  $a$  присваивается индекс начального ( $a=A=2$ ).
3. Нумеруются элементы принципиальной схемы, подключенные к узлу  $a$ .
4. Выполняется проверка, есть ли еще пронумерованные необработанные элементы схемы. Если есть, то переход на шаг 5, если нет – на шаг 7.
5. Далее поочередно выполняется обработка каждого пронумерованного элемента схемы. Вывод элемента, подключенный к узлу  $a$ , определяется как входной, а противоположный вывод – как выходной.
6. Индекс узла, подключенного к выходному выводу, присваивается узлу  $b$  ( $b=3$ ).



7. В конец списка *list* добавляется индекс узла *a* (в конец *list* заносится 2).
8. Выполняется проверка, есть ли еще узлы с индексом *b*. Если да, то переход на шаг 9, если нет – на шаг 11.
9. Узел *b* есть, поэтому переносим его индекс в узел *a* ( $a=3$ ).
10. Текущий пронумерованный элемент схемы отмечается как «пройденный», а другие элементы, подключенные к узлу *a*, снова нумеруются, т.е. выполнен переход на шаг 3.
11. Алгоритм будет работать до тех пор, пока не закончатся узлы *b*.



Рис. 2. Алгоритм визуализации распространения сигнала по цепи

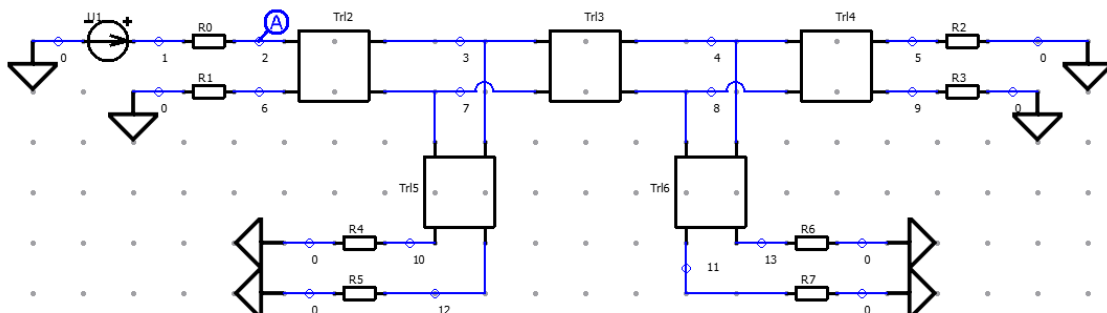


Рис. 3. Тестовая схема

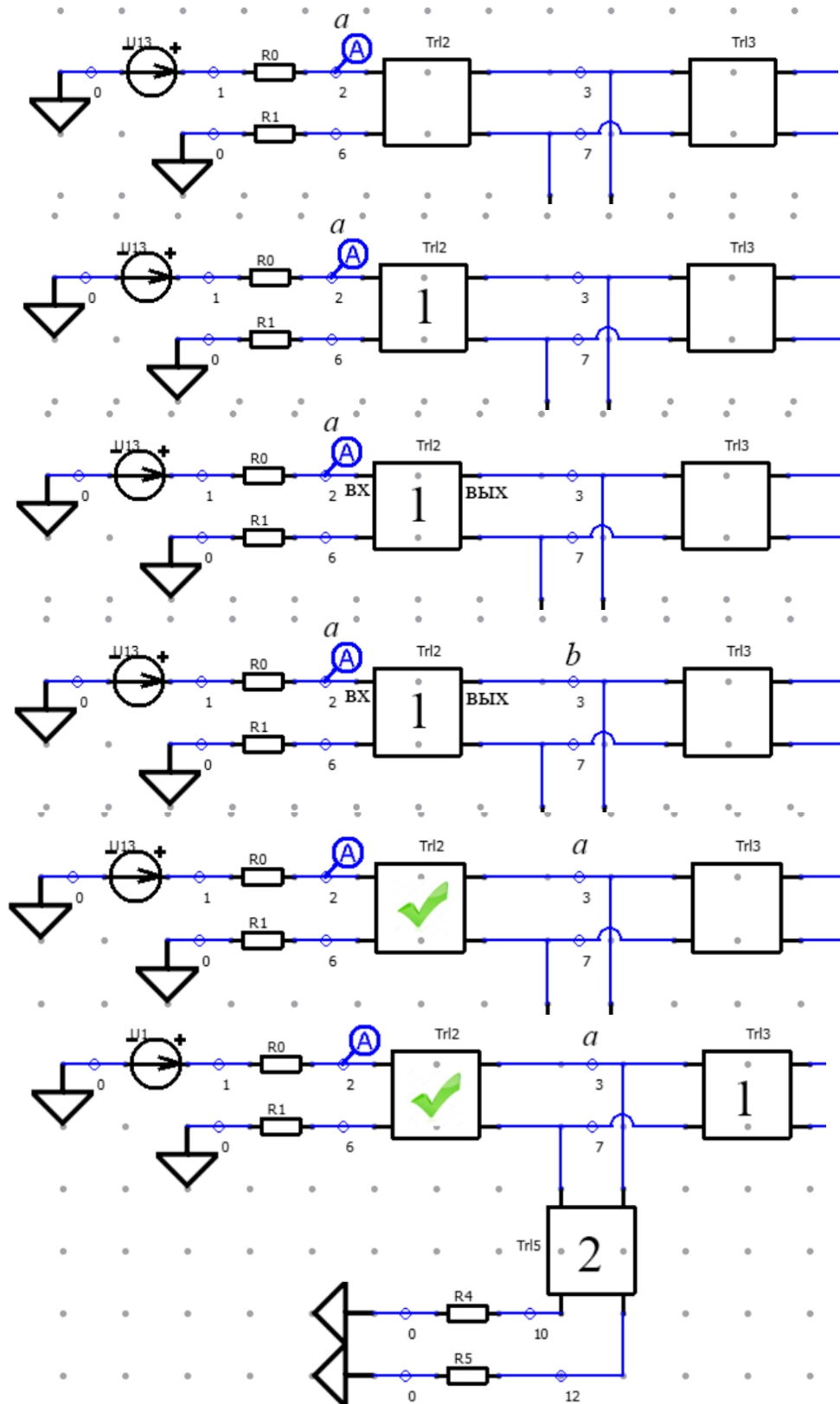


Рис. 4. Изображение каждого шага алгоритма при обработке первого элемента схемы

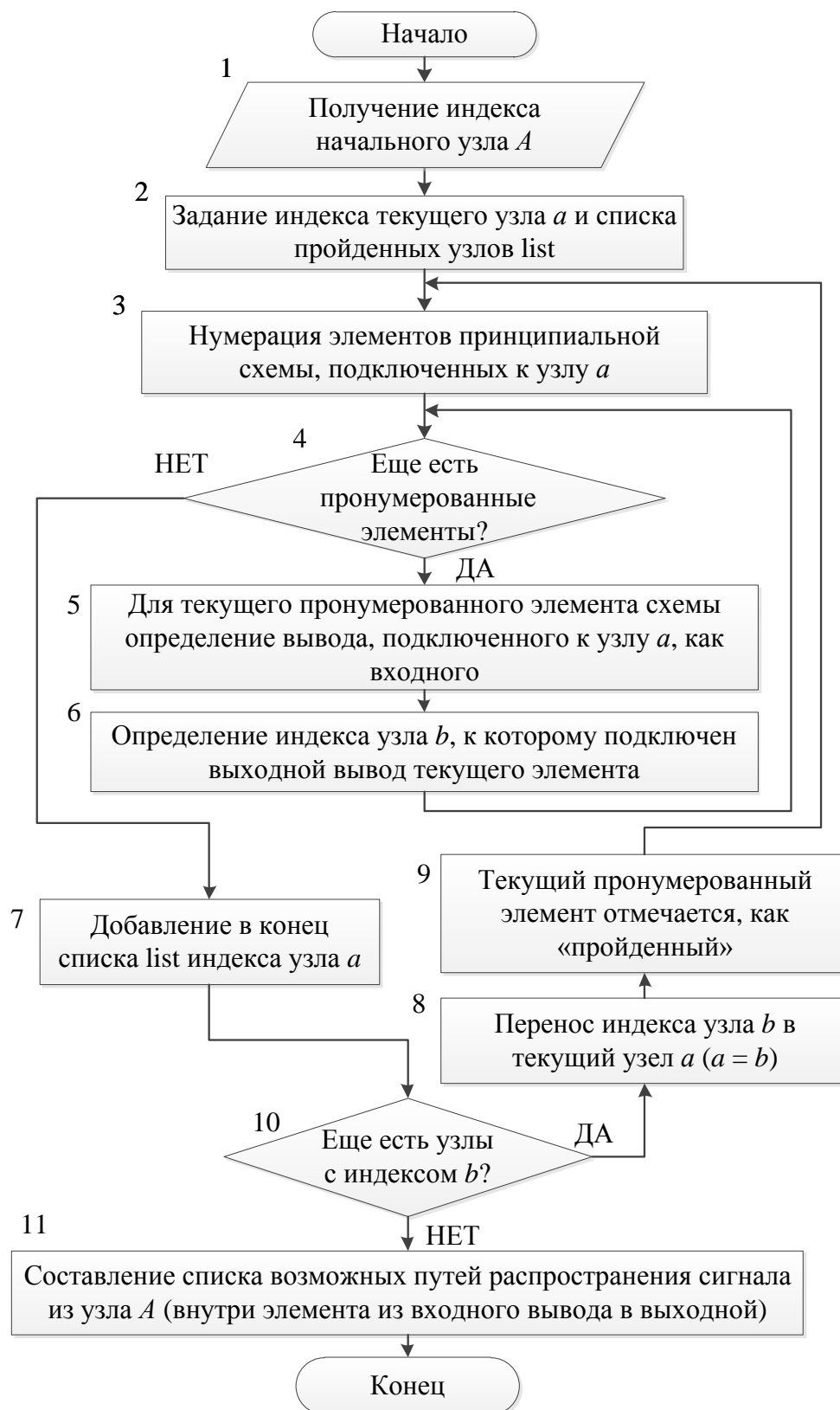


Рис. 5. Алгоритм определения допустимых путей распространения сигнала по цепи

В результате выполнения алгоритма на рис. 5 у пользователя появляется возможность выбрать конечный узел  $B$ , при наведении на узлы мышью (все возможные конечные узлы, полученные для тестовой схемы, представлены на рис. 6).



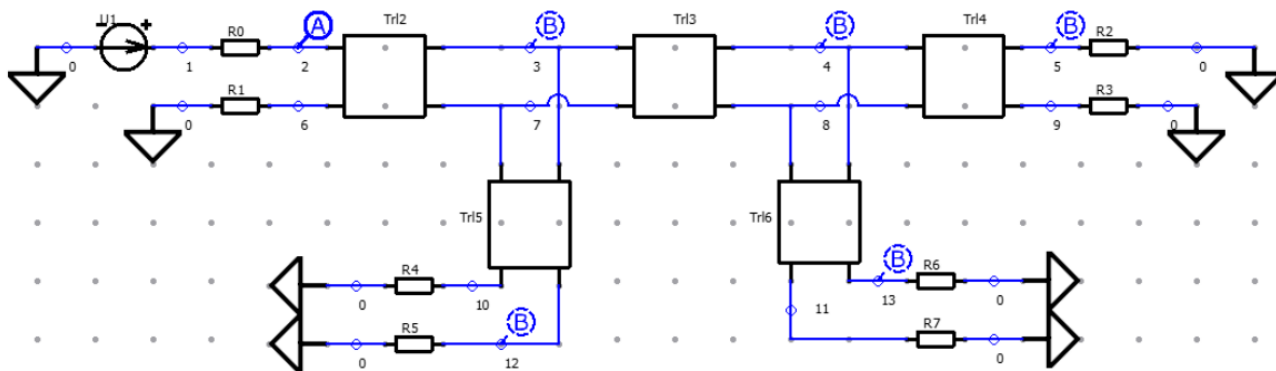


Рис. 6. Все возможные варианты выбора узла *B* для тестовой схемы

После выбора точек *A* и *B* в системе составляется список узлов и сегментов отрезков МПЛП (на рисунках схематично изображены квадратами), в которых необходимо построить формы сигнала. Данный список передается в модуль отображения, который создает кадры динамического отображения распространения сигнала вдоль проводника. Параллельно с динамическим отображением форм сигнала показывается место на принципиальной схеме, в котором эта форма вычислена. Подсвечивается весь отрезок проводника МПЛП, а точкой указывается конкретное место вдоль этого отрезка. На рис. 7 показан пример локализации сигнала на тестовой схеме.

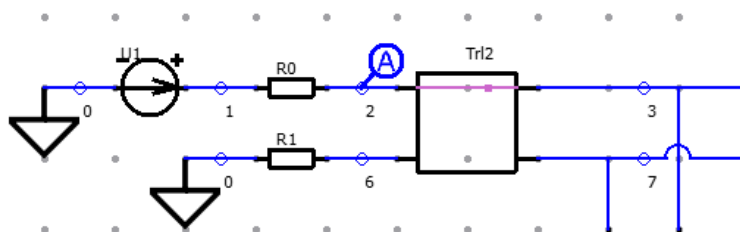


Рис. 7. Пример локализации сигнала

Для выявления и локализации экстремумов сигнала используется алгоритм, блок-схема которого показана на рис. 8. Рассмотрим подробнее этот алгоритм. Результаты вычисления отклика (действительные значения) в одном сегменте хранятся в матрице-векторе, состоящей из одного столбца. Суть данного алгоритма заключается в полном переборе этой матрицы и вывода наибольшего либо наименьшего значения. На блок-схеме из рис. 8 все обозначения приведены для напряжений (аналогичным образом алгоритм выполняется и для токов), где  $U_{\max}$  – это максимальное значение напряжения;  $U_{\min}$  – минимальное значение напряжения;  $U_n$  – текущий элемент матрицы (при первом выполнении алгоритма в блоках 3 и 9  $n=1$ );  $n$  – количество элементов матрицы. В результате его выполнения выводится значение экстремума сигнала. Так как отклик вычисляется в каждом сегменте отрезка МПЛП, то в результате выполнения алгоритма, известны и номер сегмента проводника и отрезка, где этот сигнал локализован.

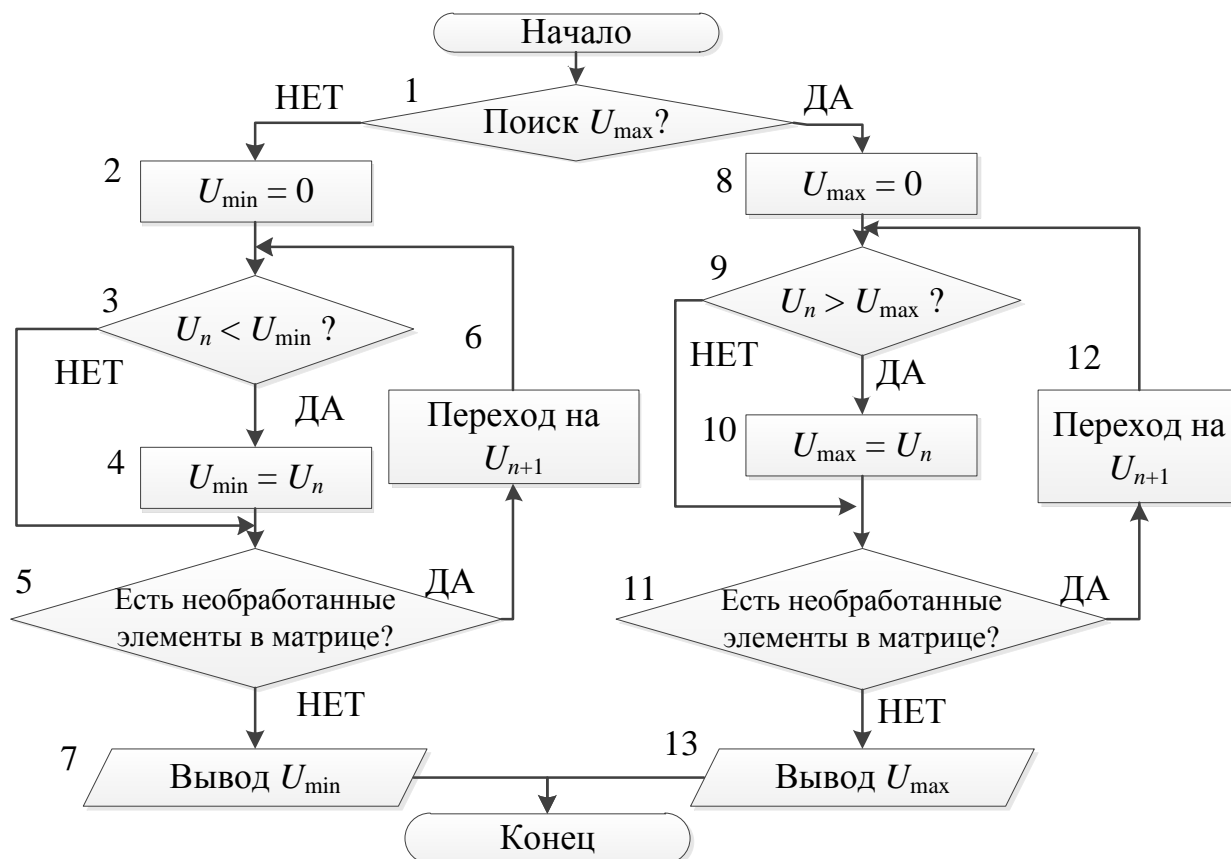


Рис. 8. Алгоритм выявления и локализации экстремумов сигнала

### Результаты применения разработанной методики

Предложенная методика и алгоритмы были использованы в программном комплексе для моделирования задач электромагнитной совместимости TALGAT, для чего был разработан специальный программный модуль. В результате его использования выполнены исследования по выявлению и локализации экстремумов сигнала: в двухвитковой меандровой линии [4] (выявлен максимум напряжения, в 1,14 раза превышающий амплитуду сигнала на входе); в микрополосковой С-секции [6] (выявлен максимум напряжения, в 2 раза превышающий амплитуду сигнала на входе); в шине ПП радиоприемного устройства системы автономной навигации космического аппарата [7–9] (выявлены максимумы напряжения, в 1,2 и 2,7 раза превышающие амплитуду сигнала на входе), с применением оптимизации генетическим алгоритмом [10–12] (выявлены максимумы напряжения, превышающие установившейся уровень на 18, 36 и 38%), а также под воздействием электростатического разряда [13].

Таким образом, в данной работе предложены методика и алгоритмы для выявления и локализации экстремумов сигнала в МПЛП, на основе которых реализован программный модуль, а также выполнен широкий ряд исследований.

*Разработка методики и алгоритмов выполнена в рамках выполнения базовой части государственного задания №8.9562.2017/8.9 Министерства образования и науки Российской Федерации.*

## Литература

1. Семенов С. С., Педан А. В., Воловиков В. С., Климов И. С. Анализ трудоемкости различных алгоритмических подходов для решения задачи коммивояжера // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 1. С. 116-131. – URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-01/08-Semenov.pdf> (дата обращения 15.01.2018).
2. Goudos K., Kalialakis C., Mitra R. Evolutionary algorithms applied to antennas and propagation: A review of state of the art // International Journal of Antennas and Propagation. 2016. P. 1-12.
3. Газизов Р. Р., Заболоцкий А. М., Газизов Т. Т. Исследование максимума напряжения сверхкороткого импульса в микрополосковой меандровой линии при изменении ее геометрических параметров // Технологии ЭМС. 2016. № 3 (58). С. 11-17.
4. Газизов Р. Р., Заболоцкий А. М., Орлов П. Е. Локализация максимумов сигнала в многопроводных линиях передачи печатных плат с помощью системы TALGAT // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2015. № 4 (38). С. 147-150.
5. Заболоцкий А. М., Газизов Т. Р. Временной отклик многопроводных линий передачи. – Томск: Томский государственный университет, 2007. – 152 с.
6. Газизов Р. Р., Заболоцкий А. М., Газизов Т. Т. Исследование распространения сверхкороткого импульса в микрополосковой С-секции при изменении зазора между связанными проводниками // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2016. Т. 19. № 1. С. 79-82.
7. Газизов Р. Р., Заболоцкий А. М., Белоусов А. О., Газизов Т. Р. Локализация максимумов напряжения в шине печатной платы системы автономной навигации космического аппарата // Труды МАИ. 2016. № 89. – URL: [https://www.mai.ru/upload/iblock/9db/gazizov\\_zabolotskiy\\_belousov\\_gazizov\\_rus.pdf](https://www.mai.ru/upload/iblock/9db/gazizov_zabolotskiy_belousov_gazizov_rus.pdf) (дата обращения: 20.12.2017).
8. Gazizov R. R., Zabolotsky A. M., Gazizov T. R. Ultrashort pulse maximum localization in multiconductor structures // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (14–16 November). – Omsk, 2016. – P. 1-5.
9. Gazizov R. R., Belousov A. O., Gazizov T. R. Influence of Ultrashort Pulse Duration on Localization of Crosstalk Peak Values in PCB of Spacecraft Autonomous Navigation System // International Siberian Conference on Control and Communications (29–30 June). – Astana, 2017. – P. 1-5.
10. Gazizov R. R., Zabolotsky A. M., Gazizov T. T., Belousov A. O. Influence of ultrashort pulse duration on its peak values localization in PCB of spacecraft autonomous navigation system // 18th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices. (Erlagol, Altai. 30 June–4 July) – Erlagol, 2017. – P. 69-74.
11. Gazizov R. R., Belousov A. O., Gazizov T. T., Gazizov T. R. Optimization of ultrashort pulse duration with usage of genetic algorithms by criteria of peak

voltage maximization in PCB Bus // Proc. of IEEE 2017 Siberian Symposium on Data Science and Engineering (12–13 April). – Novosibirsk, 2017. – P. 1-6.

12. Gazizov R. R., Ryabov R. S., Gazizov T. T. Influence of crossover and mutation coefficients on GA optimization of ultrashort pulse duration by criteria of peak voltage maximization in PCB bus // Proc. of IEEE 2017 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (18–24 September). – Novosibirsk, 2017. P. 1-6.

13. Gazizov R. R. Simulation of ESD effects on PCB bus of spacecraft autonomous navigation // Proc. of IEEE 2017 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (18–24 September). – Novosibirsk, 2017. P. 1-5.

### References

1. Semenov S. S., Pedan A. V., Volovikov V. S., Klimov I. S. Analysis of the Labor Intensity of Various Algorithmic Approaches for Solving the Traveling Salesman Problem. *Systems of Control, Communication and Security*, 2017, no. 1, pp. 116-131. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-01/08-Semenov.pdf> (accessed 20 December 2017) (in Russian).

2. Goudos K., Kalialakis C., Mittra R. Evolutionary algorithms applied to antennas and propagation: A review of state of the art. *International Journal of Antennas and Propagation*, 2016, pp. 1-12.

3. Gazizov R. R., Zabolotsky A. M., Gazizov T. T. Issledovaniye maksimuma napryazheniya sverhkorotkogo impulsa v mikropoloskovoy meandrovoy linii pri izmenenii eye geometricheskikh parametrov [Research on voltage maximum of ultrashort pulse in microstrip meander line with variation of its geometrical parameters]. *Technologii Electromagnitnoy Sovmestimosty*, 2016, vol. 58, no. 3, pp. 11-17 (in Russian).

4. Gazizov R. R., Zabolotsky A. M., Orlov P. E. Signal maximum localization in multiconductor transmission lines of printed circuit boards using TALGAT system. *Docladi Tomskogo gosudarstvennogo universiteta system upravlenita i radioelektroniki*, 2015, vol. 38, no. 4, pp. 147-150 (in Russian).

5. Zabolotsky A. M., Gazizov T. R. *Vremennoy otklik mnogoprovodnyh liniy peredachi* [Time response of multiconductor transmission lines]. Tomsk, Tomsk State University, 2007. 152 p. (in Russian).

6. Gazizov R. R., Zabolotsky A. M., Gazizov T. T. Research on ultrashort pulse propagation in microstrip C-section with varied separation between coupled conductors. *Docladi Tomskogo gosudarstvennogo universiteta system upravlenita i radioelektroniki*, 2016, vol. 19, no. 1, pp. 79-82 (in Russian).

7. Gazizov R. R., Zabolotsky A. M., Belousov A. O., Gazizov T. R. Voltage maximum localization in bus of printed circuit board of spacecraft autonomous navigation system. *Trudi MAI*, 2016, no. 89, pp. 1-9. Available at: [https://www.mai.ru/upload/iblock/9db/gazizov\\_zabolotskiy\\_belousov\\_gazizov\\_rus.pdf](https://www.mai.ru/upload/iblock/9db/gazizov_zabolotskiy_belousov_gazizov_rus.pdf) (accessed 20 December 2017) (in Russian).

8. Gazizov R. R., Zabolotsky A. M., Gazizov T. R. Ultrashort pulse maximum localization in multiconductor structures. *2016 Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines*. Omsk. 2016, pp. 1-5.

9. Gazizov R. R., Belousov A. O., Gazizov T. R. Influence of Ultrashort Pulse Duration on Localization of Crosstalk Peak Values in PCB of Spacecraft Autonomous Navigation System. *International Siberian Conference on Control and Communications*. Astana, 2017, pp. 1-5.

10. Gazizov R. R., Zabolotsky A. M., Gazizov T. T., Belousov A. O. Influence of ultrashort pulse duration on its peak values localization in PCB of spacecraft autonomous navigation system. *18th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices*. Erlagol, 2017, pp. 69-74.

11. Gazizov R. R., Belousov A. O., Gazizov T. T., Gazizov T. R. Optimization of ultrashort pulse duration with usage of genetic algorithms by criteria of peak voltage maximization in PCB Bus. *Proceedings of IEEE 2017 Siberian Symposium on Data Science and Engineering*. Novosibirsk, 2017, pp. 1-6.

12. Gazizov R. R., Ryabov R. S., Gazizov T. T. Influence of crossover and mutation coefficients on GA optimization of ultrashort pulse duration by criteria of peak voltage maximization in PCB bus. *Proceedings of IEEE 2017 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences*. Novosibirsk, 2017, pp 1-6.

13. Gazizov R.R. Simulation of ESD effects on PCB bus of spacecraft autonomous navigation. *Proceedings of IEEE 2017 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences*. Novosibirsk, 2017, pp. 1-5.

**Статья поступила 26 декабря 2017 г.**

### **Информация об авторе**

*Газизов Руслан Рифатович* – соискатель ученой степени кандидата технических наук. Аспирант кафедры телевидения и управления. Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. Область научных интересов: компьютерное моделирование распространения сигналов, электромагнитная совместимость, информационная безопасность. E-mail: ruslangazizow@gmail.com

Адрес: 634050, Россия, г. Томск, Ленина пр., д. 40.

## Method and Algorithms for Revealing and Localization of Signal Extremum in Multiconductor Transmission Lines

R. R. Gazizov

**Importance.** With a development of modern radioelectronic equipment the density of equipment packaging increases. Also the frequencies of useful and interference signals increase according to this fact. Revealing and localization of signal extremum along conductors of multiconductor transmission line (MCTL) sections are important because its results may be useful for detection of places with parasitic influences and radiation, which should be eliminated. **The purpose of this work** is to formulate the methods and algorithms for signal extremum revealing and localization in MCTL. **Methods.** The theoretical bases of quasistatic response calculation at any point along each conductor of each section of MCTL are presented. **Results.** The method and the algorithms are formulated, its diagrams are showed. The presented algorithms are carried out in computer software which is used in investigations (short results are presented in this paper). **Practical relevance.** Present method and algorithms are used in computer simulation software for electromagnetic compatibility of various printed circuit board fragments.

**Key words:** mathematic simulation, method, quasistatic analysis, program modulus, signal extremum, multiconductor transmission lines.

### Information about Author

*Ruslan Rifatovich Gazizov* – Doctoral Student. The postgraduate student of the Department of Television and Control. Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics. Field of research: computer simulation of the signal propagation, electromagnetic compatibility, information security. E-mail: ruslangazizov@gmail.com

Address: Russia, 634050, Tomsk, Lenin Prospekt, 40.