

2. Голд Б., Рэйдер Ч. Цифровая обработка сигналов. Пер. с англ. М.: Сов. Радио, 1973. – 368 с.
3. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. Пер. с англ. М: Мир, 1978, 848с.
4. Тяжев А.И. Выходные устройства приемников с цифровой обработкой сигналов. Самара: Изд-во СГУ, 1992. – 276 с.

## DIGITAL RESONATORS WITH COMPLEX SCALE COEFFICIENTS

Ivanova V.G.

**The properties and algorithms of realization of the detuned pairs and single digital resonator with complex scale coefficients. The method of synthesis based on the values of the resonance frequency, bandwidth and resonance gain.**

*Keywords:* digital resonator, complex scale coefficient, magnitude response, phase response, syntheses.

Иванова Вера Георгиевна к.т.н., доцент Кафедры радиосвязи, радиовещания и телевидения Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики. Тел. 8-902-295-56-58. E-mail: vivan38@yandex.ru

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ

УДК 001.891: 004.94

### ВЛИЯНИЕ ДЛИНЫ И ЧИСЛА ВИТКОВ НА ЗАДЕРЖКУ В МИКРОПОЛОСКОВОЙ МЕАНДРОВОЙ ЛИНИИ

Газизов Т.Р., Заболоцкий А.М., Орлов П.Е.

Приведены результаты электродинамического моделирования микрополосковых меандровых линий задержки. Представлены искажения сигнала, обусловленные электромагнитными связями между полувитками. Показано, что увеличение длины и числа витков негативно влияет на целостность импульсного сигнала и линейно влияет на задержку в меандровой линии.

**Ключевые слова:** меандровая линия задержки, электродинамический анализ, перекрестные наводки, модальные явления

Тенденции развития современной радиоэлектронной аппаратуры (уменьшение габаритов, увеличение верхней частоты спектра сигналов и др.) приводят к увеличению плотности монтажа и необходимости минимизации асинхронности сигналов. В этой связи широкое распространение получили линии задержки. Распространено применение линии задержки в виде меандра как самой простой структуры. Однако возникающие в ней перекрестные наводки могут приводить к искажению формы сигнала и уменьшению времени задержки в линии [1]. Существуют различные подходы к уменьшению уровня перекрестных наводок, например использование защитных трасс [2],

однако это увеличивает площадь меандровых линий. Между тем часто требуется ее минимизировать. Результаты моделирования для симметричной полосковой линии рассмотрены в [3]. Однако неоднородное диэлектрическое заполнение поперечного сечения может иметь свою специфику, например из-за разности задержек мод поперечной волны.

Цель работы – оценить влияние длины и количества витков в микрополосковых меандровых линиях на искажения и задержку распространения сигнала.

Вышеперечисленные факторы приводят к необходимости численного анализа искажений сигналов в меандровых линиях. Для некоторых структур квазистатический анализ, основанный на телеграфных уравнениях, может давать корректные результаты [4]. Развитие вычислительной техники и численных методов обусловило широкое распространение электродинамического анализа, учитывающего все типы волн и неоднородности. Но он, как правило, требует более высоких вычислительных затрат и компетенций.

Моделирование меандровых линий (см. рис. 1) в системе CST MWS проводилось без

учета потерь в проводниках и диэлектриках, поскольку это позволяет оценить влияние именно электромагнитных связей между полувитками. Число полувитков меандровой линии  $N = 4; 6; 8$  и  $10$ ; их длина  $l = 5; 10; 15$  и  $20$  мм. Поперечное сечение витка показано на рис. 1а. Параметры структуры проводников: толщина  $t = 35$  мкм; ширина  $w = 150$  мкм; разнос  $s = 150$  мкм.

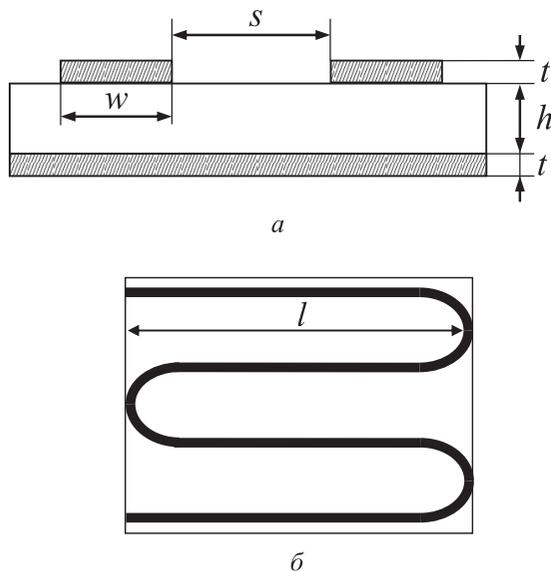


Рис. 1. Поперечное сечение модели витка (а) и вид сверху для структуры из двух витков (б) при  $N = 4$

Параметры диэлектрика: относительная диэлектрическая проницаемость  $\varepsilon = 3,8$ ; толщина  $h = 300$  мкм. Вид двух витков исследуемой линии показан на рис. 1б. Значение сопротивлений на концах линий выбрано из условия псевдосогласования и равно  $97$  Ом. В качестве воздействия выбран трапецеидальный сигнал с ЭДС  $1$  В и длительностями фронта и спада  $-0,1$  нс; плоской вершины  $-1$  нс. Формы сигналов на входе и выходе меандровой линии показаны в таблице 1. Зависимости задержек распространения сигнала по уровню  $0,5$  приведены на рис. 2.

Из представленных результатов видно, что увеличение длины полувитка приводит к увеличению задержки и значительным искажениям формы сигнала (фронт и плоская вершина) на ближнем и дальнем концах линии.

Для структур с  $l > 5$  мм наблюдается значительное искажение формы плоской вершины импульса, а на фронтах появляются ступени. Во всех случаях наблюдаются выбросы на плоской вершине импульса.

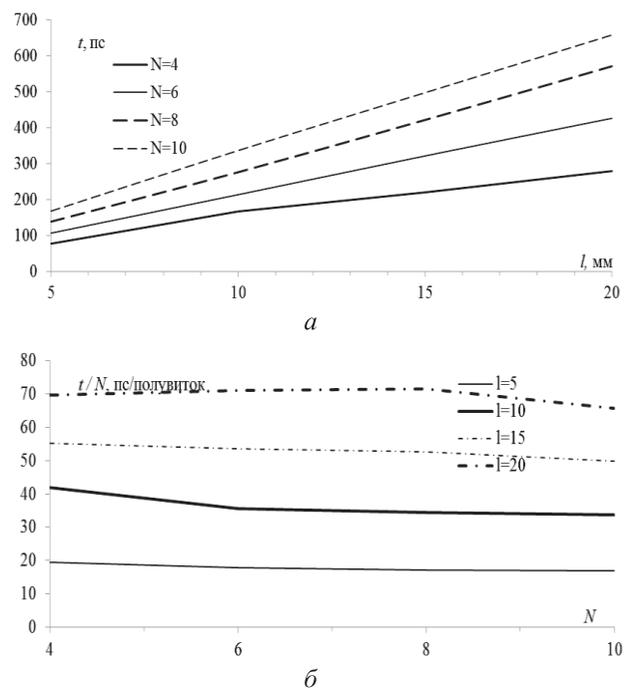


Рис. 2. Зависимости задержки по уровню  $0,5$  от длины полувитков при изменении их числа (а) и задержки на полувиток от числа полувитков при их различных длинах (б)

Таблица 2. Относительные значения максимального выброса, %

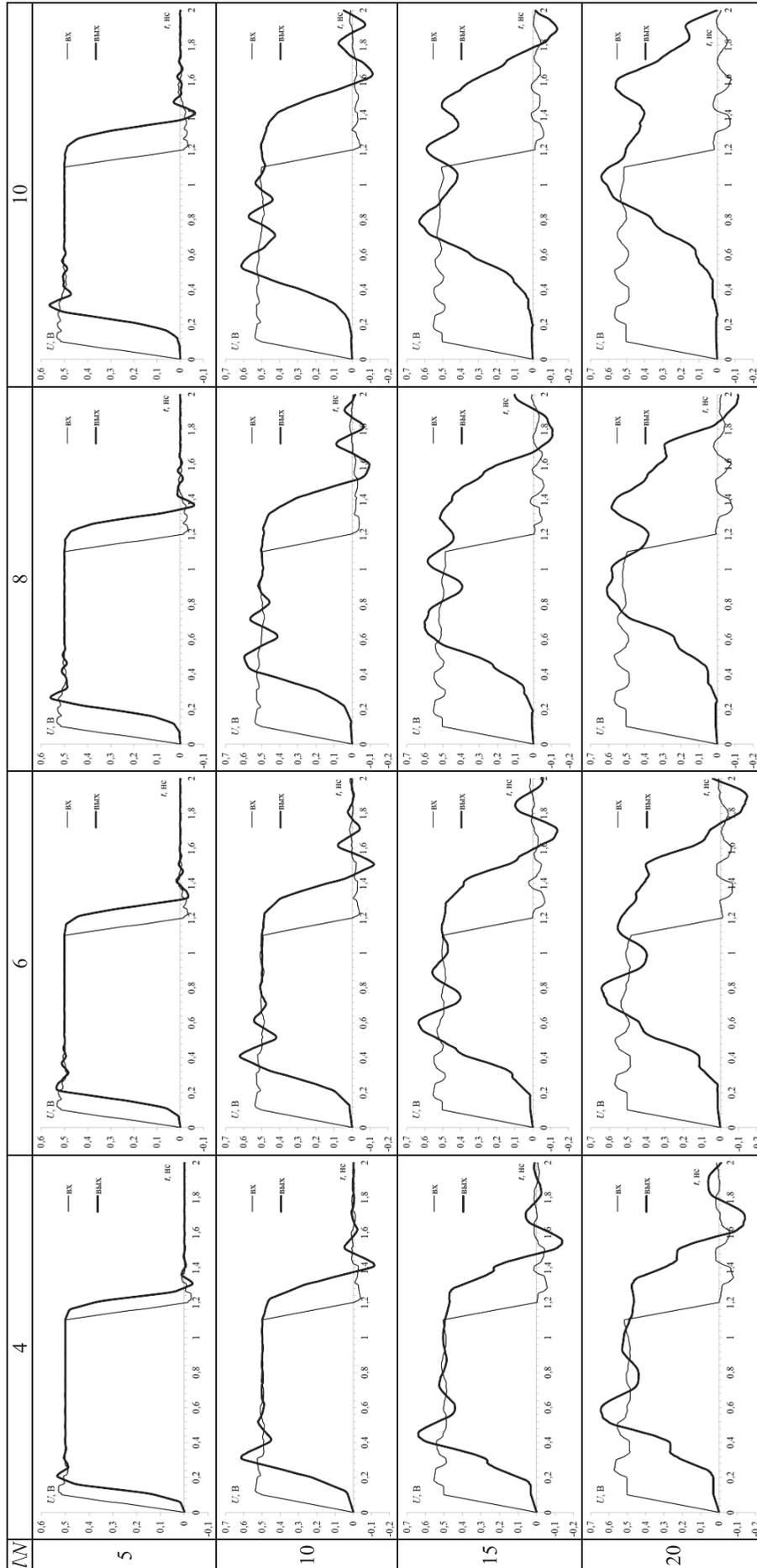
$N \setminus l$	5	10	15	20
4	6	20	26	32
6	6	24	32	34
8	12	20	26	26
10	12	20	20	24

Относительные значения максимального выброса сведены в таблицу 2. Стоит отметить, что значительное влияние на уровень выброса оказывает длина полувитков, тогда как увеличение их числа влияет заметно меньше. Уровень выброса для многих структур превышает  $10\%$ , ухудшая целостность сигнала.

Из рис. 2 видно, что увеличение длины структуры в  $4$  раза приводит к увеличению задержки примерно в  $3,5$  раза. Отдельно стоит отметить, что при  $N > 4$  увеличение длины полувитков приводит к линейному росту задержки (рис. 2а). Увеличение числа полувитков приводит к уменьшению задержки в одном полувитке в среднем на  $8,5\%$  (рис. 2б).

Таким образом, приведенные результаты показывают, что в меандровых линиях задержки могут наблюдаться искажения формы импульсных

Таблица 1. Формы сигнала на ближнем (—) и дальнем (---) концах структуры



сигналов. Это может накладывать ограничения на возможности их применения при работе с широкополосными сигналами. Линейное поведение задержки позволяет для оценки ее значений получить простые аналитические выражения, что может уменьшить время разработки современной радиоэлектронной аппаратуры. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-19-01232).

### Литература

1. Wu R.B., Chao F.L. Laddering Wave in Serpentine Delay Line // IEEE Trans. Compon., Packag., Manuf. Technol. Vol. 18, No. 4, Pt. B, Nov. 1995. – P. 644–650.
2. Guang-Hwa S., Chia-Ying C., Wu R.B. Guard Trace Design for Improvement on Transient Waveforms and Eye Diagrams of Serpentine Delay Lines // IEEE Transactions on Advanced Packaging. Vol. 33, No 4, 2010. – P. 1051-1060.
3. Kerinami M.H., Ramahi O.M. Effects of segment length and number of turns on design-ing a precise meander delay line // IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility. Vol. 2, 2003. – P. 1121-1124.
4. Орлов П.Е., Долганов Е.С., Газизов Т.Р. Квазистатическое и электродинамическое моделирование модальных явлений в многопроводных структурах // ИКТ. Т.9, №4, 2011. – С. 96-100.

## INFLUENCE OF LENGTH NUMBER OF TURNS ON THE DELAY OF MICROSTRIP MEANDR LINE

Gazizov T.R., Zabolotsky A.M., Orlov P.E.

**The results of the full-wave analysis of microstrip meander delay lines are given. Signal distortions caused by electromagnetic coupling between the half-turns are presented. It has been shown that increasing the length and number of turns negatively affects on pulse signal integrity and linearly affect on delay in a meander line.**

*Keywords:* meander delay line, full-wave analysis, crosstalk, modal phenomena.

Газизов Тальгат Рашитович, д.т.н., с.н.с., доцент Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТГУСУР). Тел. (8-382) 241-34-39; 244-36-67. E-mail: talgat@tu.tusur.ru

Заболоцкий Александр Михайлович, к.т.н., с.н.с. ТГУСУР. Тел. (8-382) 241-34-39; 251-09-16. E-mail: zabolotsky\_am@mail.ru

Орлов Павел Евгеньевич, к.т.н., м.н.с. ТГУСУР. Тел. (8-382) 241-34-39; 8-923-408-59-95. E-mail: blink\_281@mail.ru

УДК 004.08

## ОБ УТОЧНЕНИИ ПОНЯТИЯ «МАШИНОЧИТАЕМЫЙ НОСИТЕЛЬ»

Першаков А.С., Сорокин А.В.

В данной статье рассматриваются используемые в настоящее время определения понятия «машиночитаемый носитель» в свете вопросов, задаваемых участниками судебных процессов специалистам по информационным технологиям относительно значения данного понятия и сферы его применения. Авторами предлагается ряд новых определений для уточнения возникающих возможных неопределенностей, которые могут быть критичными для исхода судебных дел.

**Ключевые слова:** носители данных, машиночитаемый носитель, человекочитаемый носитель.

### Введение

Современная юридическая практика наглядно демонстрирует важность однозначного толкова-

ния понятий, используемых в судебных процессах, всеми их участниками. Одним из понятий, относительно которого такой однозначности не наблюдается, является понятие машиночитаемости как свойства произвольного носителя данных. В таком смысле данное понятие фигурирует, например, в Постановлении Пленума Верховного Суда РФ, где предписывается понимать под экземпляром фигурирующего в судебном процессе произведения его копию «в том числе в виде информации, зафиксированной на машиночитаемом носителе» [1]. От однозначности понимания и проверяемости данного свойства носителя информации может зависеть исход судебного процесса, поэтому установление однозначности толкования понятия машиночитаемости пред-