

верхнего уровня могут рассматриваться как программа для нижних уровней и формулировка целей (следовательно, программ) не может быть до конца формализована. Поэтому можно говорить о формальных процедурах «выработки целей» лишь в том смысле, что они помогают организовать информацию, проанализировать данные прошлого развития и сравнить альтернативы решений на будущее по некоторым общим показателям [2]. Программный метод управления процессом торгового эквайринга как социально-экономической системой исходит из признания необходимости неформальных процедур выработки целей развития системы и формальных процедур расчета программ развития системы, обеспечивающих достижение намеченных целей. Это является отправным пунктом при разработке информационных технологий как механизма управления процессом торгового эквайринга, ко-

торый обеспечивал бы выполнение сформулированных программ.

### Литература

1. Виттих В.А. Парадигма ограниченной рациональности принятия решений. Самара: Препринт ИПУСС РАН, 2009. – 28 с.
2. Лотов А.В., Моисеев Н.Н., Петров А.А.. Некоторые вопросы моделирования программного метода управления социально-экономической системой // Модели и алгоритмы программного метода планирования сложных систем. М.: Изд. ВЦ АН СССР, 1979. – С. 4-14.
3. Димов Э.М., Маслов О.Н., Скворцов А.Б. Новые информационные технологии: подготовка кадров и обучение персонала. Ч. 1. Реинжиниринг и управление бизнес-процессами в инфокоммуникациях. М.: ИРИАС, 2005. – 386 с.

## THE ANALYSIS OF THE TRADE ACQUIRING PROCESS AS A COMPLEX SOCIAL-ECONOMIC SYSTEM

Andreeva E.A., Bogomolova M.A.

**In the paper the analysis of the trade acquiring process as a complex social-economic system is executed. The self-organization ability is considered as the main complex social-economic system' distinctive sign.**

**Keywords:** *trade acquiring, social-economic system, holon, holonic structure, self-organization.*

Андреева Екатерина Анатольевна, студентка гр. ПИВЭ-11 Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. 8-846-228-00-36.

Богомолова Мария Анатольевна, к.т.н., доцент Кафедры экономических и информационных систем ПГУТИ. Тел. 8-846-228-00-05. E-mail: bogomolova-ma@psuti.ru

## ТЕХНОЛОГИИ РАДИОСВЯЗИ, РАДИОВЕЩАНИЯ И ТЕЛЕВИДЕНИЯ

УДК 001.891: 004.94

### ПРИМЕНЕНИЕ КВАЗИСТАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА И ВЕРИФИКАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАТУРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ МОДАЛЬНЫХ ЯВЛЕНИЙ В МНОГОПРОВОДНЫХ СТРУКТУРАХ

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

Приведены результаты квазистатического моделирования и натурального эксперимента по распространению импульсного сигнала в плоском кабеле. Показаны искажения сигнала, связанные с модальными явлениями. Продемонстрировано, что квазистатическое моделирование может использоваться для анализа и верификации результатов натурального эксперимента.

**Ключевые слова:** контроль, диагностика, модальные явления, квазистатическое моделирование, натуральный эксперимент

Контроль и диагностика протяженных электрических соединений важны для обеспечения надежности инфокоммуникационных систем, поэтому изучение процессов распространения импульсных сигналов в многопроводных структурах представляет практический интерес [1]. Предложено устройство модального зондирования [2], основанное на идее использования модального искажения формы импульсного сигнала [3]. Проведен ряд теоретических исследований, показывающих возможность создания устройств

обнаружения, идентификации и диагностики многопроводных структур на основе модальных явлений [4-6]. Приведены экспериментальные данные, доказывающие разложение одного импульса на несколько импульсов с меньшей амплитудой из-за различия задержек мод в структуре [7], а также возможность его последующего восстановления в структуре с обратным знаком разности погонных задержек мод [8]. Однако для реализации и определения возможностей устройств модального зондирования необходимо проведение ряда физических экспериментов для применяющихся на практике многопроводных структур. Представлен эксперимент, подтверждающий возможность бесконтактного определения граничных условий многопроводных структур посредством модального зондирования [9].

Для более глубокого изучения модальных явлений и верификации результатов натурных экспериментов необходимо тщательное моделирование. Для этого применяются системы электродинамического и квазистатического моде-

лирования. Причиной тому являются развитие методов моделирования, вычислительной техники, определенные преимущества моделирования над экспериментом. Каждый из подходов к моделированию имеет свои сильные и слабые стороны и оптимальные области применения. Например, электродинамический подход на основе уравнений Максвелла учитывает все типы волн, но требует больше вычислительных ресурсов, чем квазистатический подход. Описание процессов в последнем основано на телеграфных уравнениях, с учетом допущений и ограничений их применения. К сожалению, пользователи систем моделирования не всегда это учитывают и часто работают лишь с одной системой, не соотнося методологию моделирования со спецификой задачи. Ряд результатов моделирования [6] показывает, что такой подход может быть неэффективным.

Цель работы – сравнить результаты натурального и вычислительного экспериментов по распространению импульсного сигнала в плоском кабеле.

Таблица 1. Матрицы L, C, Z, погонные задержки мод и их разность для кабеля ПУГНП 3×1,5

Матрицы параметров			Погонные задержки мод и их разность		
L, нГн/м	C, пФ/м	Z, Ом	$\tau_e$ , нс/м	$\tau_o$ , нс/м	$\Delta\tau$ , нс/м
448,25 106,95	56,05 -9,88	92,74 58,51	5,02	4,68	0,34
106,95 448,25	-9,88 56,05	58,51 92,74			

Результаты эксперимента были получены с помощью осциллографа вычислительного комбинированного С9-11. Измерялись параметры импульсных сигналов на дальнем конце зондирующей пары проводников плоского кабеля ПУГНП 3×1,5 (рис. 1 а). Таким образом, исследовалась возможность зонди-

рования пассивного проводника (без контакта с ним) по сигналу между активным и опорным проводниками. Для изучения возможности диагностики разрыва пассивного проводника по форме модального искажения импульсного сигнала в зондирующей линии эксперимент проводился на двух структурах, изо-

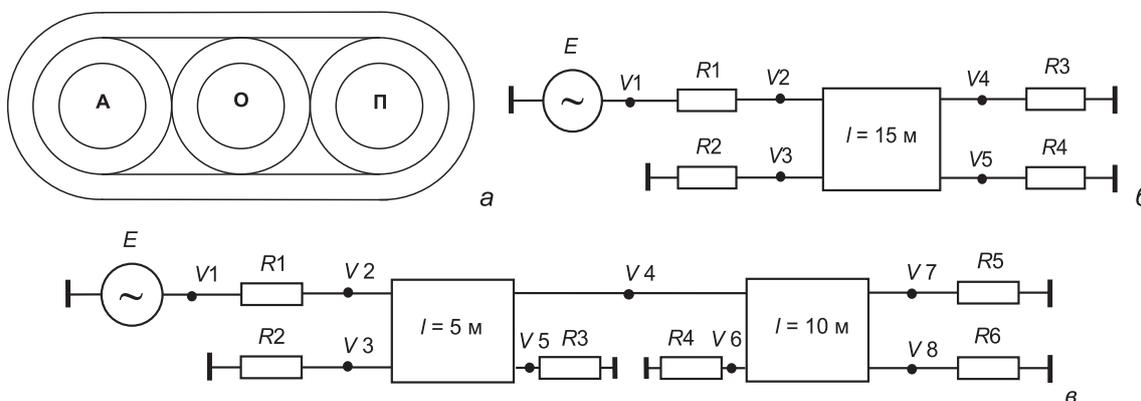


Рис. 1. Поперечное сечение ПУГНП 3×1,5 (а), где проводники: А – активный; О – опорный; П – пассивный; принципиальная схема исследуемой структуры без разрыва (б) и с разрывом (в)

браженных на рис. 1а, б. Также с помощью системы TAL-GAT [10] для анализа полученных результатов вычислены электрофизические параметры используемого кабеля (см. таблицу 1).

Воздействие подавалось между активным и опорным проводниками (см. рис. 1) через формирователь импульса П-2.084.080 (внутреннее сопротивление  $R1 = 50$  Ом и максимальная амплитуда сигнала 10 В). Входное сопротивление преобразователя ПС-18  $R3 = 50$  Ом, а остальные изменялись: 100 Ом, холостой ход (XX), короткое замыкание (КЗ). Форма сигнала на выходе формирователя импульса при нагрузке 50 Ом представлена на рис. 2, а его параметры сведены в таблице 2. Измерения входного воздействия производились с аттенуатором 20 дБ; другие измерения – без него.

Таблица 2. Параметры сигнала на выходе формирователя импульса

Тип сигнала	Треугольный импульс
Амплитуда	225 мВ
Фронт (0,1-0,9)	280 пс
Спад (0,1-0,9)	280 пс
Длительность (0,5)	200 пс
Горизонтальная развертка	2 нс/дел.
Вертикальная развертка	50 мВ/дел.

Осциллограммы исходного сигнала и сигнала на дальнем конце зондирующей линии для структуры без разрыва (рис. 1а, б) при  $R2 = R4 = \infty$  приведены на рис. 2б. Измеренное время задержки самой быстрой моды (с учетом предела допускаемой погрешности 7,5% для осциллографа С9-11) составляет  $72 \pm 5,4$  нс

(см. рис. 3), что соответствует погонной задержке  $\tau_0$  (см. таблицу 2), умноженной на длину структуры, составляет  $4,68$  нс/м  $\times 15$  м =  $70,2$  нс. Появление второго импульса (см. рис. 2б, 3) обусловлено наличием пассивного (зондируемого) проводника (и, как следствие, возбуждением синфазной и дифференциальной мод), электрическими и магнитными связями с зондирующей линией, а также тем, что общая длительность исходного импульса ( $\approx 0,6$  нс, как следует из таблицы 2) меньше полной разности задержек мод:  $0,34$  нс/м  $\times 15$  м =  $5,1$  нс. Формы сигналов на дальнем конце зондирующей линии при различных граничных условиях на концах пассивного провода более подробно рассмотрены в [9].

Таким образом, из-за наличия пассивного проводника на дальнем конце зондирующей линии наблюдается два импульса вместо одного. При разрыве пассивного проводника на дальнем конце активной линии наблюдается четыре импульса вместо двух, как в случае без разрыва (см. рис. 2в). Частичное наложение импульсов обусловлено дисперсией. Наблюдается и отраженный сигнал, также обусловленный наличием разрыва в пассивном проводнике. Разность задержек прямого и отраженного сигналов, равная примерно  $48 \pm 3,6$  нс (развертка 20 нс/дел.), соответствует погонной задержке  $\tau_0$  (см. таблицу 2), умноженной на двойную длину первого отрезка:  $4,68$  нс/м  $\times 2 \times 5$  м =  $46,8$  нс. Таким образом, изменение числа импульсов на дальнем конце зондирующей структуры свидетельствует о возможности бесконтактной диагностики разрыва проводника посредством модального зондирования, а задержка отраженного сигнала может позволить определить положение разрыва.

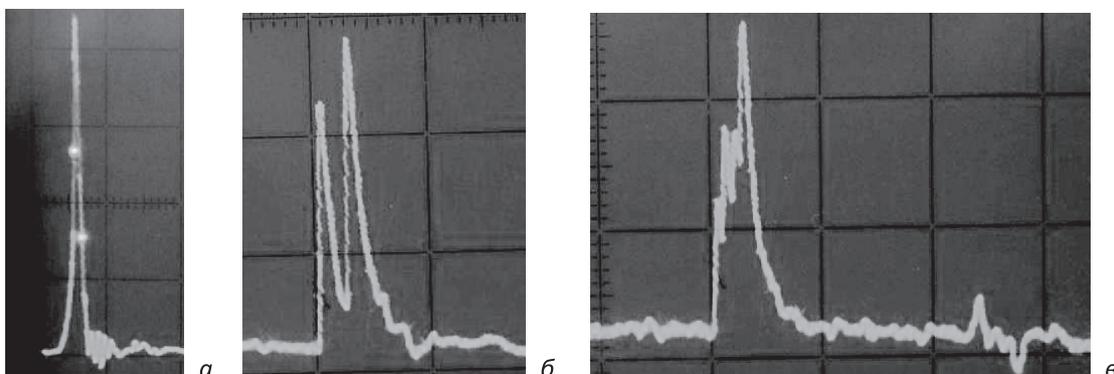


Рис. 2. Осциллограмма воздействующего сигнала (а); сигналов на дальнем конце зондирующей линии структуры без разрыва (б) и структуры с разрывом (в) при XX на концах пассивных проводников

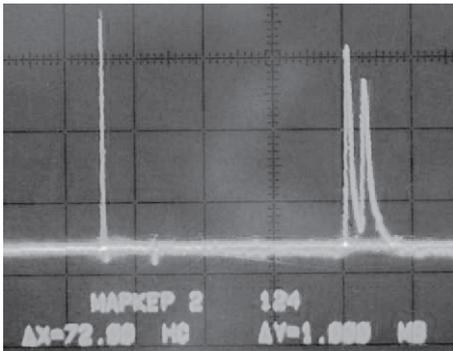


Рис. 3. Форма исходного (с аттенуатором 20 дБ и пренебрежимо малой задержкой) сигнала и без аттенуатора на выходе структуры из рис. 1б при  $R_2 = R_4 = 100 \text{ Ом}$

Моделирование проводилось в системе TALGAT. При моделировании натурального эксперимента в качестве воздействия выбран гауссов импульс, его форма представлена на рис. 6, а параметры (выбранные в соответствии с натурным экспериментом, см. таблицу 1) – в таблице 3. Моделирование проводилось для структуры длиной 15 м и структуры из двух отрезков длиной 5 м и 10 м. Потери в проводниках и диэлектриках учитывались.

Таблица 3. Параметры моделирования входного воздействия в системе TALGAT

Тип сигнала	гауссов импульс
Амплитуда	2,25 В
Фронт (0,1-0,9)	200 пс
Спад (0,1-0,9)	200 пс
Длительность (0,5)	225 пс

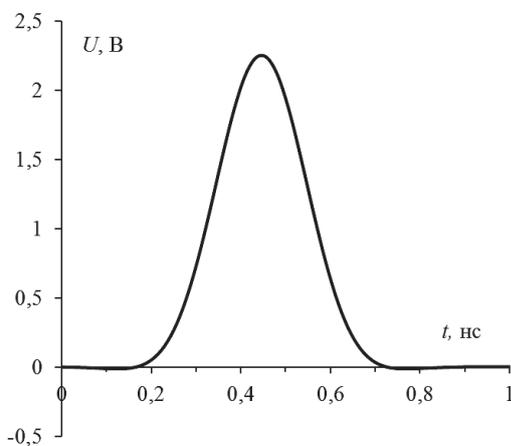


Рис. 6. Форма воздействующего импульса в системе TALGAT

Моделирование выполнено для 6 вариантов структуры без разрыва пассивного проводника при  $R_1 = R_3 = 50 \text{ Ом}$  и 6 вариантов структуры с разрывом при  $R_1 = R_5 = 50 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = R_4 = \infty$ .

Таблица 4. Граничные условия при моделировании

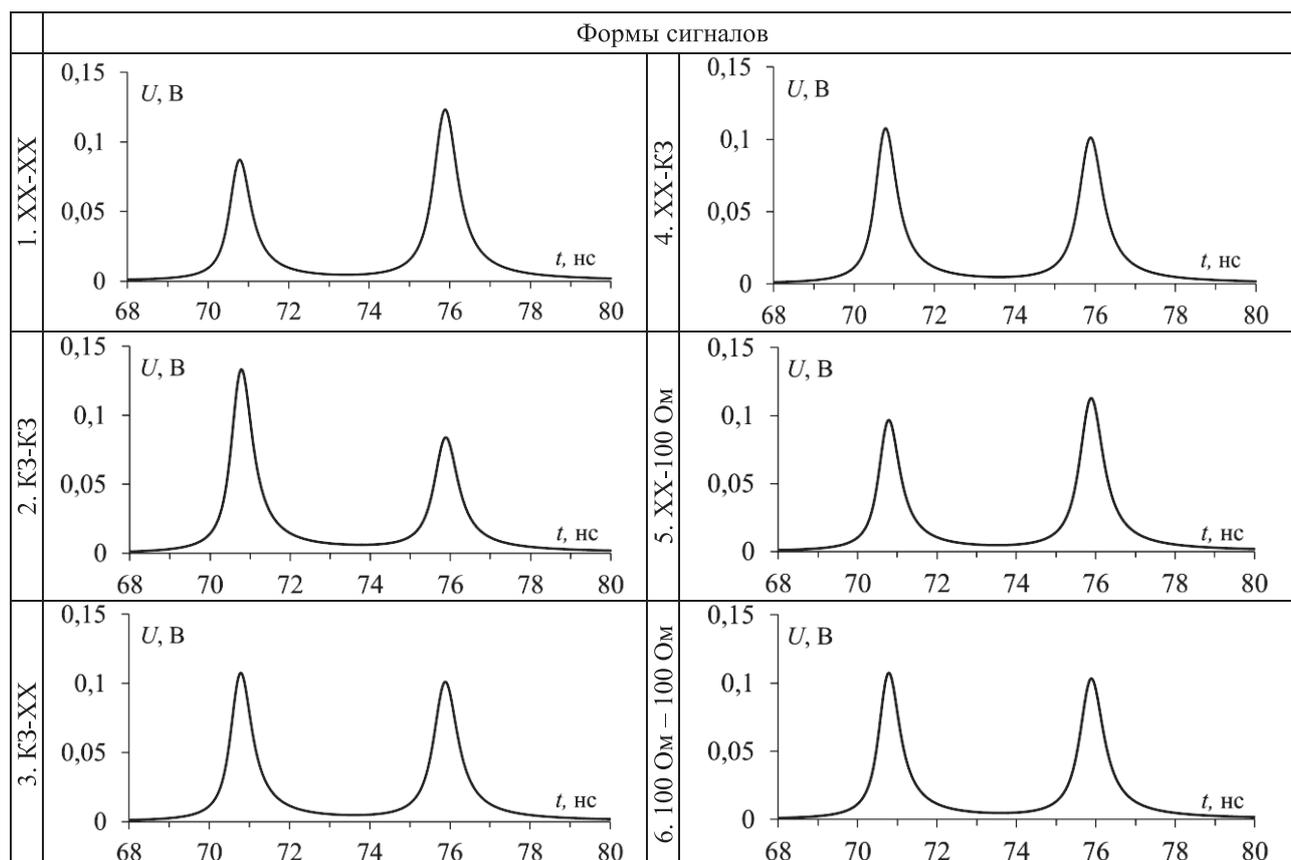
№	Структура без разрыва	Структура с разрывом
1	$R_2 = R_4 - XX$	$R_2 = R_6 - XX$
2	$R_2 = R_4 - K3$	$R_2 = R_6 - K3$
3	$R_2 - K3, R_4 - XX$	$R_2 - K3, R_6 - XX$
4	$R_2 - XX, R_4 - K3$	$R_2 - XX, R_6 - K3$
5	$R_2 - XX, R_4 = 100 \text{ Ом}$	$R_2 - XX, R_6 = 100 \text{ Ом}$
6	$R_2 = R_4 - 100 \text{ Ом}$	$R_2 = R_6 - 100 \text{ Ом}$

Формы сигнала на дальнем конце зондирующей линии структуры без разрыва представлены в таблице 4, а с разрывом – в таблице 5. Для структур без разрыва, как и в натурном эксперименте, на дальнем конце зондирующей линии наблюдается два импульса, амплитуды которых определяются граничными условиями на концах пассивного проводника. Результаты для структур с разрывом также аналогичны натурным.

На рис. 7а представлены формы сигналов на конце активного проводника для случая XX на обоих концах одиночного отрезка длиной 15 м, полученные в системе TALGAT и в натурном эксперименте. Из графиков видно хорошее соответствие значений и соотношения амплитуд сигналов. Различия форм сигналов на конце активной линии вызваны различием форм воздействующих импульсов в системе TALGAT и натурального эксперимента. Так, задний фронт сигнала в натурном эксперименте имеет более пологую форму, что обусловлено влиянием дисперсии реальных структур.

В различие значений задержки мод в натурном и вычислительном экспериментах вносит существенный вклад погрешность осциллографа С9-11 (допускаемая погрешность равна 7,5%). С учетом этого время задержки в натурном эксперименте составляет  $72,0 \pm 5,4 \text{ нс}$ , а в вычислительном – 70,2 нс. Таким образом, результаты вычислений находятся в границах измерений, а приведенные значения свидетельствуют о хорошем совпадении результатов вычислительного и натурального экспериментов.

На рис. 7б представлены формы сигналов в конце активного проводника для случая XX на

Таблица 4. Формы сигнала в конце активного проводника ( $V_4$ ) для структуры из одиночного отрезка длиной 15 м при различных граничных условиях

обоих концах структуры из двух отрезков длиной 5 м и 10 м (с разрывом), полученные в системе TALGAT и в натурном эксперименте. В амплитудах сигналов наблюдаются различия, однако соотношения амплитуд сигнала натурального и вычислительного экспериментов близки.

Как и в случае структуры без разрыва, задний фронт субимпульсов в натурном эксперименте более пологий, чем в вычислительном. Наблюдается незначительное различие значений задержки мод натурального и вычислительного экспериментов. Формы сигналов и время прихода отраженных импульсов в натурном и вычислительном экспериментах соответствуют, а небольшие различия сигналов вызваны частичным наложением импульсов.

По причине большого объема материала оценка различий результатов натурального и вычислительного экспериментов представлена в таблицах 6-7. Максимальное различие результатов вычислительного и натурального экспериментов не превышает  $\pm 16,1\%$  по амплитуде и  $\pm 1,0\%$  по времени для структуры без разрыва и  $\pm 26,3\%$  по амплитуде и  $\pm 1,4\%$  по времени для структуры с разрывом. Таким образом, результаты вычислительного и натурального экспериментов показывают

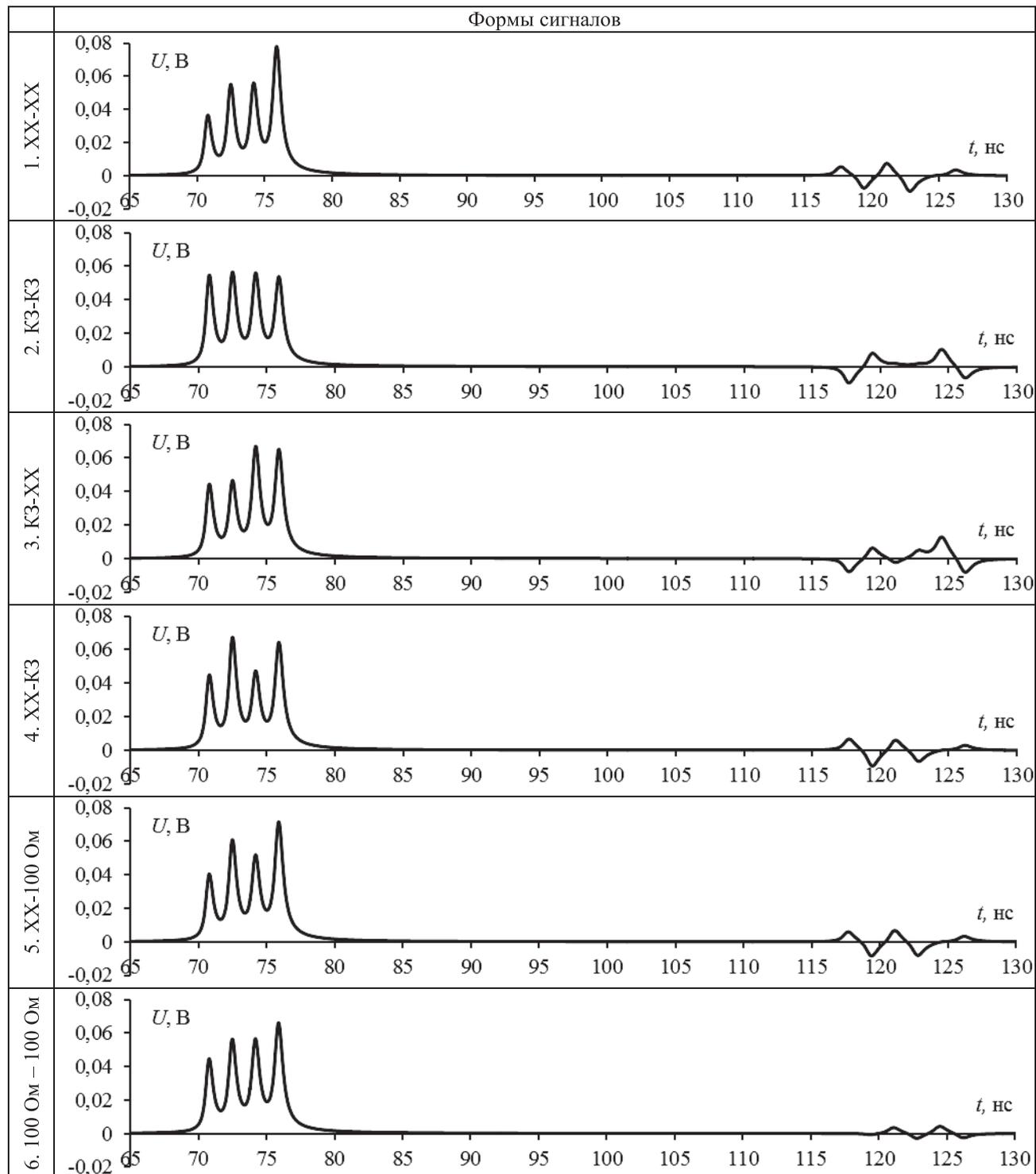
хорошее совпадение. Причина различия может объясняться отличием исходных спектров сигналов, используемых при моделировании и эксперименте, отличием реальных значений  $\epsilon_r$  и  $\text{tg}\delta$  от используемых при моделировании, а также погрешностью измерений.

Таким образом, результаты натурального и вычислительного экспериментов на плоском кабеле ПУГНП  $3 \times 1,5$  показали удовлетворительное совпадение и подтвердили возможность реализации модального зондирования (обнаружение, идентификация, диагностика) многопроводных структур. Изменение граничного условия вдоль (разрыв провода) и на концах зондируемого проводника приводит к изменению количества и амплитуд импульсов.

Примечательно то, что квазистатическое моделирование может быть полезно в том числе и для анализа результатов натурального эксперимента, поскольку моделированием легко получить необходимые результаты, например, как в данном случае, значения задержек синфазной и дифференциальной мод.

Детальное изложение вопросов, затронутых в данной работе, представлено в [11]. Работа выполнена по договору от 19.02.2013 №10/13 ЗАО

Таблица 5. Формы сигнала в конце активного проводника ( $V_7$ ) для структуры из двух отрезков (длиной 5 м и 10 м) при различных граничных условиях



НПФ «Микран» и ТУСУРа в рамках реализации постановления Правительства РФ от 09.04.2010 г. №218, договор от 25.05.2013 г. №02.G25.31.0091.

### Литература

1. Заболоцкий А.М. Импульсные сигналы в многопроводных линиях передачи. Методы, алгоритмы и программы для анализа многопроводных линий передачи и способы уменьшения искажений импульсных сигналов в них. – Изд-во Lambert Academic Publishing, 2011. – 164 с.
2. Патент РФ №2386964 от 10.03.2009. Устройство обнаружения, идентификации и диагностики многопроводных линий передачи // Газизов Т.Р., Заболоцкий А.М., Орлов П.Е. и др. Опубл. 20.04.2010, бюл. №11.
3. Газизов Т.Р., Заболоцкий А.М. Модальное зондирование – новый принцип зондирования

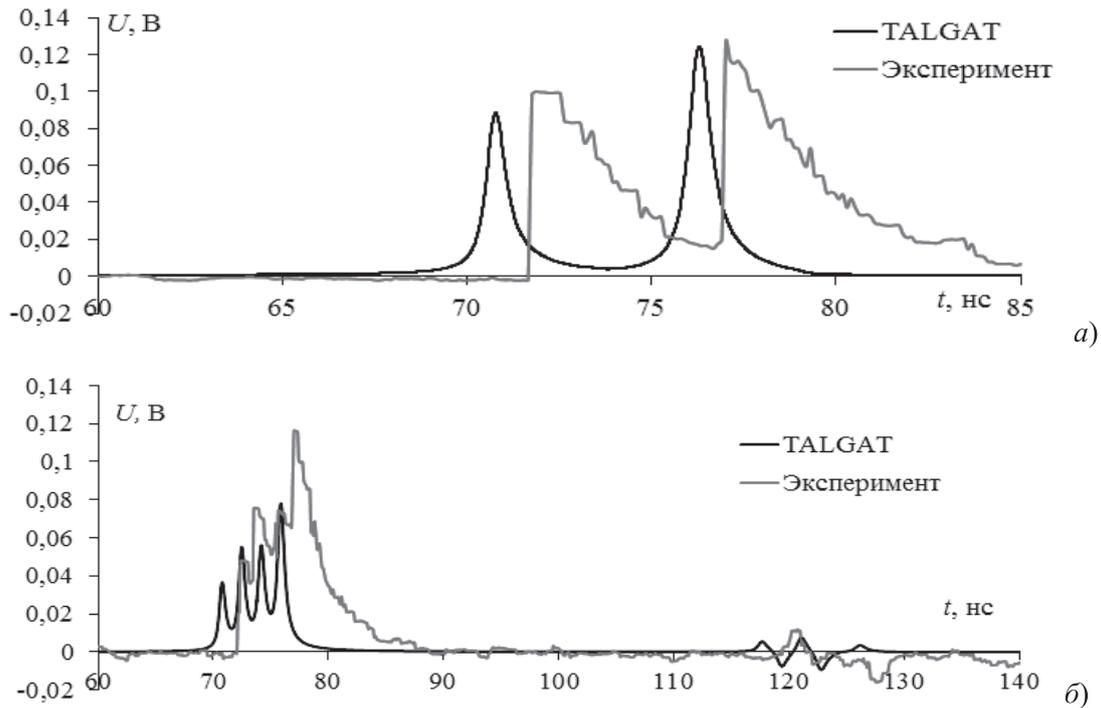


Рис. 7. Вычисленные и измеренные формы сигналов в конце активного проводника при XX-XX для структуры без разрыва (а) и с разрывом (б)

Таблица 6. Сравнение результатов для структур без разрыва

Номер импульса	Вычисления		Измерения		$\frac{(U_B - U_{II})}{U_B + U_{II}}, \%$	$\frac{(t_B - t_{II})}{t_B + t_{II}}, \%$
	Амплитуда, мВ	Время задержки, нс	Амплитуда, мВ	Время задержки, нс		
XX-XX						
1	88	70,2	99,6	71,65	$\pm 6,2$	$\pm 1,0$
2	124	75,5	126	76,9	$\pm 0,8$	$\pm 0,9$
КЗ-КЗ						
1	135	70,2	160	71,65	$\pm 8,5$	$\pm 1,0$
2	83,6	75,5	93	76,9	$\pm 5,3$	$\pm 0,9$
XX-КЗ						
1	107	70,2	138	71,65	$\pm 12,7$	$\pm 1,0$
2	101	75,5	107	76,9	$\pm 2,9$	$\pm 0,9$
КЗ-XX						
1	107	70,2	134	71,65	$\pm 11,2$	$\pm 1,0$
2	101	75,5	120	76,9	$\pm 8,6$	$\pm 0,9$
XX-100 Ом						
1	98	70,2	101,2	71,65	$\pm 1,6$	$\pm 1,0$
2	112	75,5	101,2	76,9	$\pm 5,1$	$\pm 0,9$
100 Ом-100 Ом						
1	107	70,2	148	71,65	$\pm 16,1$	$\pm 1,0$
2	102	75,5	124	76,9	$\pm 9,7$	$\pm 0,9$
Среднее значение					$\pm 6,5$	$\pm 0,95$

Таблица 7. Сравнение результатов для структур с разрывом

Номер импульса	Вычисления		Измерения		$\frac{(U_B - U_H)}{U_B + U_H}, \%$	$\frac{(t_B - t_H)}{t_B + t_H}, \%$
	Амплитуда, мВ	Время задержки, нс	Амплитуда, мВ	Время задержки, нс		
XX-XX						
1	34,1	70,2	48	71,6	±16,9	±1,0
2	53,4	71,2	75,6	73,1	±17,2	±1,3
3	59	73	74,2	75	±11,4	<b>±1,4</b>
4	75,2	74,6	116	76	±21,3	±0,9
КЗ-КЗ						
1	53,6	70,2	69	71,6	±12,6	±1,0
2	55,5	71,2	79,5	73,1	±17,8	±1,3
3	55	73	80	75	±18,5	±1,4
4	53,4	74,6	93	76	±27,0	±0,9
КЗ-XX						
1	42	70,2	57	71,6	±15,2	±1,0
2	45	71,2	65,5	73,1	±18,6	±1,3
3	64,6	73	84	75	±13,1	±1,4
4	63	74,6	101	76	±23,2	±0,9
XX-КЗ						
1	43	70,2	57	71,6	±14,0	±1,0
2	66	71,2	93,5	73,1	±17,2	±1,3
3	44,6	73	75	75	±25,4	±1,4
4	63	74,6	108	76	<b>±26,3</b>	±0,9
XX-100 Ом						
1	37,7	70,2	54,5	71,6	±18,2	±1,0
2	58	71,2	87	73,1	±20,0	±1,3
3	48	73	76,5	75	±22,9	±1,4
4	72	74,6	116	76	±23,4	±0,9
100 Ом-100 Ом						
1	44	70,2	60,5	71,6	±15,8	±1,0
2	54	71,2	77,5	73,1	±17,9	±1,3
3	55	73	81	75	±19,1	±1,4
4	64,5	74,6	105	76	±23,9	±0,9

ния многопроводных структур // Материалы 9 ВНИИ «Проблемы информационной безопасности государства, общества и личности». Томск, 2007. – С. 27-30.

4. Заболоцкий А.М., Орлов П.Е. Модальное зондирование проводных структур в авионике // Материалы ММНК «Туполевские чтения». Казань, 2007. – С. 206-208.
5. Орлов П.Е. Применение модального зондирования для обнаружения распространения сверхкоротких импульсов в межсоединениях бортовой аппаратуры // Материалы НТК молодых специалистов ОАО «Информационные спутниковые системы» им. акад. М.Ф. Решетнева», посвященной 50-летию полета в космос Ю.А. Гагарина. Железногорск, 2011. – С. 138-141.
6. 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.
7. Gazizov T.R., Zabolotsky A.M., Samotin I.E. Modal Decomposition of UWB Pulse in Power Cable Structures: Simple Experiment Showing Useful Possible Applications // Book of abstracts EUROEM-2008. Switzerland, Lausanne, July 2008. – P. 62.
8. Бевзенко И.Г., Газизов Т.Р., Заболоцкий А.М. Экспериментальные исследования разложения и восстановления электрических импульсов в структурах с различными модальными антиподами // Известия ВУЗов. Физика. Т. 54, №10/2, 2011. – С. 17-24.

9. Орлов П.Е., Газизов Т.Р., Заболоцкий А.М. Экспериментальное подтверждение возможности бесконтактной диагностики многопроводных структур посредством модального зондирования // Известия ВУЗов. Физика. Т. 56, № 6, 2013. – С. 44-47.
10. TALGAT 2011. Свид о госрегистрации программы для ЭВМ №2012660373 от 05. 10. 2012. // Газизов Т.Р., Мелкозеров А.О., Газизов Т.Т. и др. Зарег. 16. 11. 2012.
11. Орлов П.Е., Газизов Т.Р. Новые подходы к совершенствованию электрических соединений бортовой аппаратуры космических аппаратов. Томск: Изд. ТГУСУР, 2013. – 230 с.

## APPLICATION OF THE QUASISTATIC SIMULATION FOR ANALYSIS AND VERIFICATION OF NATURAL EXPERIMENT RESULTS IN RESEARCH MODAL PHENOMENA IN MULTICONDUCTOR STRUCTURES

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

**The results of the quasistatic simulation and natural experiment on propagation of the pulse signal in the flat cable are given. Signal distortions associated with modal phenomena are shown. It is demonstrated that the quasistatic simulation can be used to analyze and verify the results of natural experiment.**

**Keywords:** , diagnostics, modal phenomena, quasistatic simulation, natural experiment.

Газизов Тальгат Рашитович, д.т.н, с.н.с., профессор Кафедры телевидения и управления (ТиУ) Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТГУСУР). Тел. 8-382-241-34-39. E-mail: talgat@tu.tusur.ru

Заболоцкий Александр Михайлович, к.т.н., с.н.с. Кафедры ТиУ ТГУСУР. Тел. 8-382-241-34-39. E-mail: zabolotsky\_am@mail.ru

Орлов Павел Евгеньевич, м.н.с. Кафедры ТиУ ТГУСУР. Тел. 8-382-241-34-39. E-mail: blink\_281@mail.ru

УДК 621.396.6

## ДВУНАПРАВЛЕННЫЙ СВЧ-УСИЛИТЕЛЬ

Аминов В.П., Хуако Р.А.

В статье рассматривается вопрос о возможности построения двунаправленного СВЧ-усилителя, работающего без временного или частотного разделения усиливаемых сигналов. Исследованы характеристики двунаправленных усилителей на основе направленных ответвителей и ферритовых циркуляторов, произведен их сравнительный анализ.

**Ключевые слова:** двунаправленный усилитель, направленный ответвитель, циркулятор, фильтр, коэффициент усиления.

В [1] была показана возможность построения одноантенного ретранслятора с коэффициентом усиления больше единицы. Там же одноантенные ретрансляторы были названы низкопотенциальными и изложены причины, ограничивающие потенциал. В условиях недостаточной развязки, обеспечиваемой применяемыми невзаимными устройствами типа направленных ответвителей и циркуляторов, задача увеличения коэффициента усиления одноантенного ретранслятора может быть решена путем включения в фидерный тракт ретранслятора некоего гипотетического двунаправленного усилителя. Функциональные схемы таких усовершенствованных ретрансляторов

с использованием циркулятора и направленного ответвителя представлены на рис. 1.

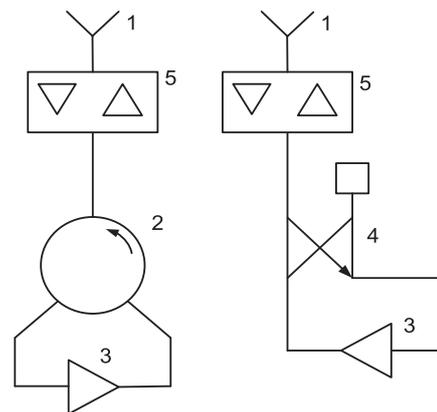


Рис. 1. Функциональные схемы одноантенных ретрансляторов с использованием двунаправленных усилителей в фидерном тракте: 1 – антенна; 2 – циркулятор; 3 – усилитель; 4 – направленный ответвитель; 5 – двунаправленный усилитель

Двунаправленный СВЧ-усилитель может быть построен на основе все тех же невзаимных устройств типа циркуляторов или направленных ответвителей. Функциональная схема