

ISSN 2220-6418

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
АКАДЕМИЯ ПРОБЛЕМ КАЧЕСТВА РФ
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ КОСМОНАВТИКИ
РОССИЙСКАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ АКАДЕМИЯ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО «РОСКОСМОС»
ФИЦ ИУ РАН (ВЦ РАН им. А. А. Дородницына)
АО «УПКБ «ДЕТАЛЬ», ООО «Экспериментальная мастерская НаукаСофт»
АО «РАДИОЗАВОД», ПЕНЗЕНСКИЙ ФИЛИАЛ ФГУП НТЦ «АТЛАС»
ФГУП ФНПЦ «ПО СТАРТ», АО «НИИЭМП»
АО «ПНИЭИ», АО «НИИФИ», ООО «ПЗТГ»
АО НПП «РУБИН», АО «ПО ЭЛЕКТРОПРИБОР»
САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ (СамГУПС)
ЕВРАЗИЙСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Л. Н. Гумилева
ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



ТРУДЫ
МЕЖДУНАРОДНОГО СИМПОЗИУМА
НАДЕЖНОСТЬ И КАЧЕСТВО

*Посвящается 75-летию Победы
в Великой Отечественной войне*

Том 2

ПЕНЗА 2020

Представлены доклады XXV Международного симпозиума «Надежность и качество», посвященного 75-летию Победы в Великой Отечественной войне, проходившего с 25 мая по 31 мая 2020 г. в г. Пензе.

Рассмотрены актуальные проблемы теории и практики повышения надежности и качества; эффективности внедрения инновационных и информационных технологий в фундаментальных научных и прикладных исследованиях, образовательных и коммуникативных системах и средах, экономике и юриспруденции; методов и средств анализа и прогнозирования показателей надежности и качества приборов, устройств и систем, а также анализа непараметрических моделей и оценки остаточного ресурса изделий двойного назначения; ресурсосбережения; проектирования интеллектуальных экспертных и диагностических систем; систем управления и связи; интерактивных, телекоммуникационных сетей и сервисных систем; экологического мониторинга и контроля состояния окружающей среды и биологических объектов; исследования физико-технологических процессов в науке, технике и технологиях для повышения качества выпускаемых изделий радиопромышленности, приборостроения, аэрокосмического и топливно-энергетического комплексов, электроники и вычислительной техники и др.

УДК 621.396.6:621.315.616.97:658:562

Оргкомитет благодарит за поддержку в организации и проведении Международного симпозиума и издании настоящих трудов Министерство науки и высшего образования РФ, Правительство Пензенской области, Академию проблем качества РФ, Российскую академию космонавтики им. К. Э. Циолковского, Российскую инженерную академию, ФИЦ ИУ РАН (Вычислительный центр РАН им. А. А. Дородницына), АО «УПКБ ДЕТАЛЬ», АО «НИИФИ», АО «ПНИЭИ», АО «РУБИН», АО «РАДИОЗАВОД», АО «ППО "ЭЛЕКТРОПРИБОР"», ФГУП «ПО "СТАРТ" им. М. В. Проценко», НИКИРЭТ – филиал ФГУП «ПО "СТАРТ" им. М. В. Проценко», ООО «Экспериментальная мастерская НаукаСофт», Самарский государственный университет путей сообщения (СамГУПС), Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Пензенский государственный университет.

Издание зарегистрировано в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ) с 2005 г.

Редакционная коллегия:

Юрков Н. К. – главный редактор;

Трусов В. А. – ответственный секретарь;

*Гуляков А. Д., Майстер В. А., Северцев Н. А., Сыдыков Е. Б., Абрамов О. В.,
Артамонов Д. В., Безродный Б. Ф., Бецков А. В., Васин С. М., Дивеев А. И., Иофин А. А.,
Каиштанов В. А., Кемалов Б. К., Острейковский В. А., Петров Б. М., Пиганов М. Н.,
Роберт И. В., Романенко Ю. А., Савченко В. П., Садыков С. С., Садыхов Г. С., Увайсов С. У.,
Халютин С. П., Шайко-Шайковский А. Г., Шахнов В. А., Якимов А. Н.*

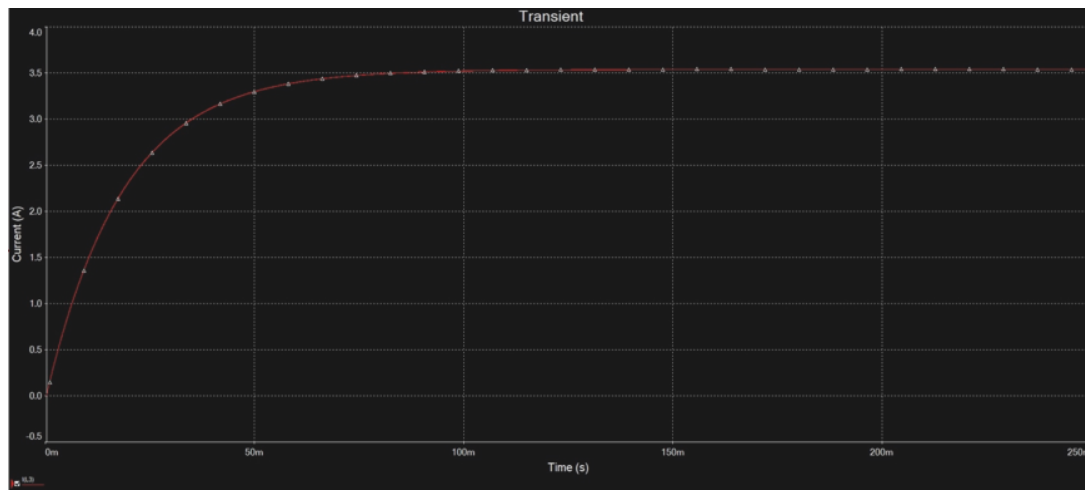


Рисунок 4 – Выходной ток на катушке индуктивности в 1-ом канале

ЛИТЕРАТУРА

1. Управление мощной нагрузкой постоянного тока. Часть 3. [Электронный ресурс]. URL: <http://easyelectronics.ru/upravlenie-moshhnoj-nagruzkoj-postoyannogo-toka-chast-3.html>. (Дата обращения 05.05.2020).
2. Назначение и конструкция дросселей. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.comsoft.ru/index.php?t8=28>. (дата обращения: 05.05.2020).
3. Устойчивость MOSFET транзистора к импульсам тока в индуктивной нагрузке. [Электронный ресурс]. URL: https://www.kit-e.ru/articles/powerel/2005_2_40.php. (дата обращения: 05.05.2020).
4. Драйверы полевых транзисторов. [Электронный ресурс]. URL: <http://bour-abai.ru/toe/source24.htm>. (Дата обращения 05.05.2020).
5. Data Sheet No. PD60043 Rev.O. IR2101(S)/IR2102(S) & (PbF). High and low side driver. Data and specifications subject to change without notice. 4/2/2004.
6. Datasheet. ACS712-DS. Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor. Revision: 8.
7. Datasheet. Document Number: 91000. Power MOSFET IRF830, SiHF830. Revision: 12.10.2012.
8. Datasheet. PD - 94962. Power MOSFET IRF530NPbF. Revision: 30.01.2004.
9. Ivanov, P. S. Korolev and K. D. Sedov, "The complex of automated control of secondary power supplies parameters," 2018 Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies (MWENT), Moscow, 2018, pp. 1-5, doi: 10.1109/MWENT.2018.8337228.

УДК 681.3.06

Артемов И.В., Коннов М.Н., Никишин К.И.

ФГБОУ ВО «Пензенский Государственный университет», Пенза, Россия

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ АДАПТИВНОГО АЛГОРИТМА ФОРМИРОВАНИЯ ВИРТУАЛЬНОГО ТАЙМСЛОТА В СЕТЕВОМ КОММУТАТОРЕ

Рассматриваются вопросы эффективности адаптивного алгоритма формирования «виртуального таймслота» (BTC) в коммутаторе Ethernet, обеспечивающего бесджиттерную передачу трафика жесткого реального времени. Методами имитационного моделирования в пакете CPN Tools с использованием математического аппарата цветных временных сетей Петри проводится сравнительная оценка вероятностно временных характеристик джиттера кадров эластичного трафика и трафика реального времени при различной обработке очередей: FIFO, приоритетной, с обычным и адаптивным BTC. Приводятся оценки эффективной полосы пропускания канала коммутатора, занимаемой BTC при различных алгоритмах его формирования.

Ключевые слова:

КОММУТАТОР, РЕАЛЬНОЕ ВРЕМЯ, ДЖИТТЕР, ВИРТУАЛЬНЫЙ ТАЙМСЛОТ, СЕТЬ ПЕТРИ

Введение

В современных телекоммуникациях широко применяется передача трафика реального времени (РВ) (мультимедийные данные, метки времени, телеметрия, команды телеуправления и др.) с использованием технологии коммутируемого Ethernet с поддержкой качества обслуживания (QoS) [1]. В отличие от передачи обычного эластичного трафика, задержка кадров РВ-кадров и ее разброс (джиттер) становятся существенным фактором, определяющим возможность работы приложений реального времени.

Назначение РВ-трафику высшего приоритета, обычно применяемое для уменьшения задержки и джиттера в сетях Ethernet с поддержкой QoS, позволяет уменьшить величину задержки из-за очередей в коммутаторах до значения, приемлемого для случая продвижения мультимедийного трафика. Однако, для многих других приложений (например, сетевая синхронизация систем промышленной автоматики и аппаратуры связи, передача меток времени и др.) такое решение не позволяет обеспечить требуемый уровень джиттера, т.к. не устраняет полностью его причины: принятый коммутатором высокоприоритетный РВ-кадр все равно вынужден ожидать освобождения выходного порта, занятого в это время передачей ранее поступившего низкоприоритетного кадра [2].

В [3,4] был предложен механизм управления РВ-трафиком в коммутаторе с помощью так называемого виртуального таймслота (BTC), который позволяет уменьшить величину или даже исключить значение джиттера за счет резервирования полосы пропускания канала, выделяемой для передачи РВ-трафика, за счет увеличения интервала времени, выделяемого для передачи каждого РВ-кадра. Однако BTC увеличивает среднюю задержку и джиттер пакетов эластичного трафика, что снижает эффективную пропускную способность канала. Поэтому в [5] предлагается адаптивный алгоритм формирования BTC, при котором во время интервала времени, выделенного для передачи РВ-кадра, допускается передача отдельных кадров эластичного трафика.

В настоящей работе оценивается влияние различных алгоритмов формирования BTC в вероятностно временных характеристиках джиттера эластичного трафика и РВ-трафика а также значение эффективной полосы пропускания канала коммутатора, занимаемой BTC.

Модель алгоритмов формирования виртуального таймслота.

BTC может быть реализован в коммутаторах Ethernet, при выполнении следующих условий:

- поддержка протоколов IEEE 802.1 q/p [6],
- РВ-кадрам назначен наивысший приоритет,
- доля РВ-трафика относительно невелика.

• полоса, выделяемая в каждом порту для РВ-трафика, исключает накопление РВ-кадров,

ВТС организуется следующим образом: определяется момент приема и распознавания РВ-кадра, после чего кадр задерживается в буфере коммутатора на фиксированное время $T_{\text{БЛ}}$, определяемое временем передачи самого «длинного» кадра данных: $T_{\text{БЛ}} \geq N_{\text{max}}$, где N_{max} – максимальная длина кадра с учетом преамбулы и межкадрового интервала в битах; TI – длительность передачи бита в канале. При этом блокируется начало передачи любых кадров. При снятии блокировки через выходной порт передается РВ-кадр, как имеющий высший приоритет, после чего ведется передача остальных кадров данных. Таким образом, гарантируется фиксированная задержка РВ-кадров.

На рисунке 1.а приведена временная диаграмма формирования ВТС с пост-блокировкой, когда передняя граница ВТС определяется моментом приема и распознавания РВ-кадра, а кадры, пришедшие во $T_{\text{БЛ}}$ буферизируются и передаются после окончания ВТС.

Адаптивный алгоритм формирования ВТС показан на рисунке 1.б. В этом случае, пока длится время блокировки $T_{\text{БЛ}}$ анализируются пришедшие или находящиеся в буфере эластичных данных, кадры. Если размер длины кадра позволяет пропустить его в сеть до окончания интервала $T_{\text{БЛ}}$, то его продвижение в выходной порт разрешается.

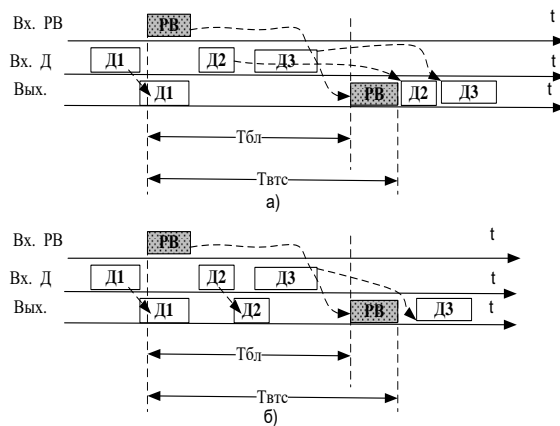


Рисунок 1 – Формирование ВТС

В виду невозможности аналитического анализа вероятностно-временных характеристик сетевого трафика в коммутаторе предлагаемого типа, для исследования эффективности алгоритмов «безджиттерной» передачи РВ-трафика по методу ВТС используется аппарат иерархических временных цветных сетей Петри, который реализован в пакете CPN Tools [7,8]. Схема сети Петри, моделирующая буфер кадров, направленных в выходной порт коммутатора с поддержкой адаптивного ВТС, приведена на рисунке 2. Она является переработанной версией схемы, предложенной в [9].

Обрабатываемые коммутатором кадры, моделируются потоком маркеров, поступающих в позиции Buffer in и исходящих из позиции Outport, которые имеют цвета, образуемые кортежем полей, соответствующих формату кадров Ethernet (MAC адреса, поле типа трафика qos, поля данных szfrm (длина кадра в битах), а также поля delay1 и delay2 для фиксации времени прихода и исхода кадра в коммутаторе в целях анализа работы модели).

Переход Classifier в результате анализа приоритетного поля с поступившего кадра направляет его в одну из очередей. В модели использован упрощенный способ классификации – весь трафик делится на две группы – высокоприоритетные РВ-кадры (qos=7), маркеры которых помещаются в позицию Queue2 in, и эластичный – все остальные, маркеры которых помещаются в позицию Queue1 in. Одновременно с помещением маркеров в эти позиции в цвете delay1 фиксируется модельное время в тактовых интервалах.

При распознавании РВ-кадра переход Classifier устанавливает в 1 цвет маркера в позиции Queue3 in блоке формирования ВТС, моделирующей вместе с позициями Copy и Zero iState time таймер для задания интервала блокировки $T_{\text{БЛ}}$ равного 12176 тактов (максимальная длина кадра по протоколу IEEE 802.1 q /p с учетом преамбулы и межкадрового интервала).

Подсети очередей Queue 1 и Queue 2 представляют собой буфера FIFO заданного размера [10]. В позициях Indicator подсети формируют маркеры, с цветом, указывающим на размеры кадров, находящихся в голове соответствующей очереди FIFO и на время их записи в буфер. Маркеры в позициях Ready1 и Ready2 указывают на количество буферизуемых кадров.

Чтение из очередей выполняется по приходу в позиции Start selection разрешающего маркера при срабатывании перехода Band, который управляет чтением маркеров из очередей и срабатывает при следующих условиях:

наличие маркера в позиции Outport Free (выходной порт свободен) и цвета маркеров любой из позиций Size Queue отличны от нуля, а цвет маркера в позиции Queue3 позиций Block равен 0 (отсутствует блокировка),

наличие маркера в позиции Outport Free, цвет маркера в позиции Block равен 1 (блокировка включена), цвета маркеров из позиций Size Queue1 отличны от нуля, значения временных цветов маркеров на этих позициях подтверждает возможность передачи кадра из очереди Queue 2 через выходной порт до окончания блокировки.

Позиции Buffer out, Outport и переход Port моделируют работу выходного порта коммутатора. Маркеры, формируемые при срабатывании перехода, задерживаются на время передачи кадра длиной szfrm с учетом преамбулы и межкадрового интервала. Одновременно с срабатыванием перехода Port в маркерах цвете delay2 фиксируется модельное время завершения обработки кадра.

В состав модели включены измерительные компоненты:

блок контроля размеров очереди, фиксирующий динамику изменения размеров очередей Queue 1 и Queue 2;

блок контроля загрузки ВТС, собирающий статистику по кадрам эластичного трафика, переданных в интервал $T_{\text{БЛ}}$.

Результаты моделирования алгоритма

Входной трафика, и представляет собой комбинацию потока кадров, принадлежащих с равной вероятностью классам 0-6 QoS, следующих через временные интервалы, распределенные по экспоненциальному закону и имитирующий эластичный трафик. Случайная длина кадров имеет следующее распределение, соответствующее реальным сетям: по 25% от всех кадров имеют минимальную и максимальную длину (соответственно 512 и 12176 бит), длина остальных равномерно распределена в оставшемся диапазоне. Кадры РВ-трафика имеют метки QoS 7, длительность 800 бит период поступления 73056 TI – тактовый интервал, который равен 100 нс для Ethernet или 10 нс для Fast Ethernet. С помощью специальной сети Петри [11] формировались 3 массива маркеров, моделирующий входной трафик с коэффициентами загрузки входного канала 0,8, 0,6 и 0,4.

Исследовались вероятностно-временные характеристики джиттера эластичного и РВ-трафика для различных алгоритмов диспетчеризации очередей в коммутаторе: простая очередь (FIFO), (PQ), приоритетная с ВТС (VTS) и приоритетная с адаптивным ВТС (AVTS). Алгоритмы реализовывались путем перенастройки модели, представленной на рисунке 2.

Полученные оценки средних значений джиттера, выраженных в TI, приведены в таблице 1., из которой следует, что исключение джиттера за счет ВТС приводит к значительному увеличению джиттера кадров эластичного трафика, возрастающему с ростом коэффициента нагрузки.

Классификатор

Буфер эластичного трафика

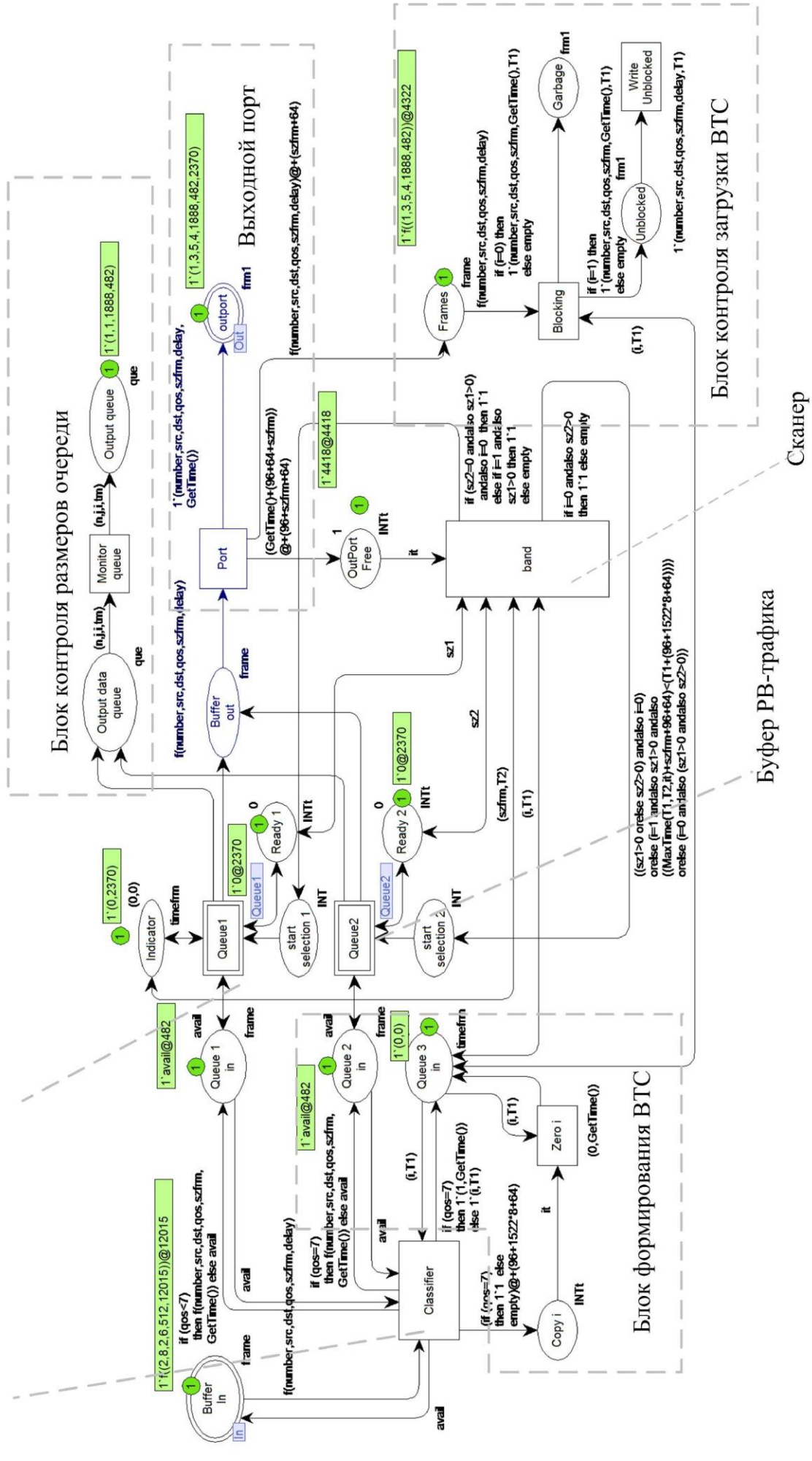


Рисунок 2. Сеть Перти, моделирующая адаптивный алгоритм формирования ВТС

Таблица 1

Коэффициент нагрузки	FIFO		PQ		VTS		AVTS	
	PB	Д	PB	Д	PB	Д	PB	Д
0,4	3062,1	3208,0	1875,8	3247,8	0,0	5683,9	0,0	4654,7
0,6	7594,2	7927,2	2764,1	8031,1	0,0	13559,4	0,0	11454,7
0,8	19143,3	18876,0	4157,17	19130,8	0,0	41408,8	0,0	31856,2

По сравнению с приоритетной очередью PQ для случая VTS средняя задержка джиттера возрастает на 75%, 69% и 116% (в последнем случае BTC приводит канал на грань перегрузки), а при AVTS средняя задержка джиттера возрастает на 43%, 43% и 67% при загрузке канала 0,4; 0,6 и 0,8 соот-

ветственно. Таким образом, адаптивный BTC уменьшает негативное влияние на джиттер эластичного трафика на 15–20 %.

Повышение эффективности адаптивного BTC объясняется, тем, что во время интервала интервал $T_{БЛ}$ возрастает количество переданных кадров эластичного трафика, гистограмма распределения которых при нагрузке 0,6 приведена на рисунке 3.

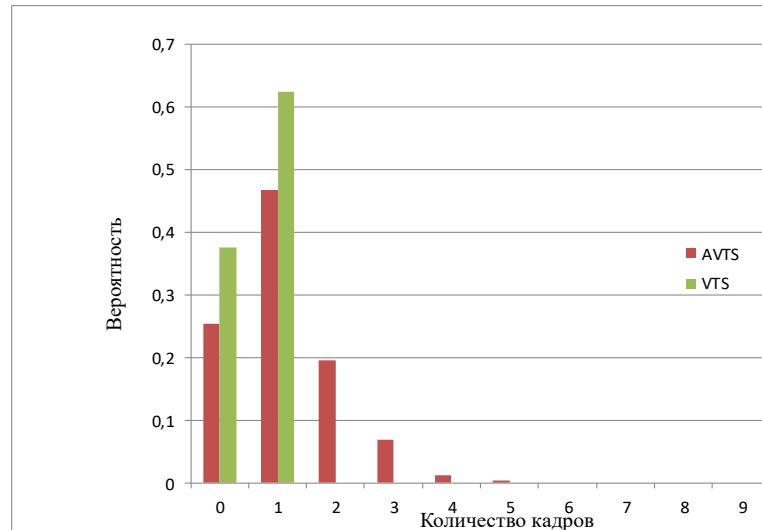


Рисунок 3 – Гистограмма количества кадров эластичного трафика

Количественной мерой эффективности BTC можно считать среднюю загрузку BTC $T_{Зг}$, определяемую как среднюю длительность передачи данных в интервал $T_{БЛ}$ и коэффициент загрузки BTC $K_{Зг} = T_{Зг}/T_{БЛ}$, полученные экспериментально значения которых

приведены в таблице 2. Таблица показывает, что загрузка BTC при его адаптивном формировании в 1,41, 1,40 и 1,54 раза выше, чем у простого BTC.

Таблица 2

Тип BTC	0,8		0,6		0,4	
	$T_{Зг}$	$K_{Зг}$	$T_{Зг}$	$T_{Зг}$	$T_{Зг}$	$K_{Зг}$
VTS	4213,6	0,341	3025,7	4213,6	1852,9	0,150
AVTS	5944,4	0,482	4259,9	5944,4	2844,3	0,230

Организация BTC предполагает резервирование полосы пропускания, выделяемой для передачи РВ-трафика. Эффективная полоса пропускания для в рассматриваемом случае будет равна $P_{эф} = (T_{БЛ}(1 - K_{Зг}) + T_{РВ})/T$, где $T_{РВ} = 800$ ТИ – время передачи, а $T = 73056$ ТИ – период поступления РВ-кадра. Для простого BTC $P_{эф}$ в этом случае будет равна 12,1%, 13,7%, 15,2% от полосы пропускания канала коммутатора, а для адаптивного – 9,7%, 12,0% и 13,9% для нагрузки 0,8, 0,6 и 0,4 соответственно. Требуемая при передаче РВ-трафика без BTC полоса пропускания равна 1,1%, т.е. организация BTC потребует увеличения полосы пропускания в 10–15 раз, что возможно при относительно малой величина

РВ-трафика. Следует отметить, что на эффективность BTC существенно влияет как величина эластичного трафика, так и размеры его кадров.

Выводы и рекомендации

Проведенный анализ результатов имитационного моделирования передачи РВ-трафика с различными алгоритмами формирования BTC позволил количественно оценить влияние параметров BTC на возрастание джиттера эластичного трафика. Определены значения эффективной полосы пропускания канала коммутатора, требуемой для формирования BTC. занимаемой BTC. Показано, что адаптивный алгоритм формирования виртуального таймслота обеспечивает на 15–20% большую эффективность с точки зрения используемой полосы пропускания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кучерявый, Е. А. Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет / Е. А. Кучерявый – СПб.: Наука и техника, 2004. – 336 с.:
2. Механов В.Б., Коннов М.Н. Джиттер высокоприоритетного трафика сети Ethernet / Труды XIX Всероссийской научно-методической конференции «Телематика-2012». Том 2. секция Б – СПб: НИУ ИТМО, 2012. – С. 245–247
3. Коннов М.Н., Механов В.Б. О возможности «безджиттерной» передачи трафика реального времени в сетях Ethernet / Труды Международного симпозиума «Надежность и качество'2010». Т.2 – Пенза: Изд-во Пенз. гос. унт., 2010. – С. 428–430
4. Коннов М.Н., Механов В.Б. Об одном механизме передачи трафика реального времени в сетях с пакетной коммутацией (статья) / Сб. статей международной научно-практической конференции «Современные информационные технологии» Вып.11 Пенза: ПГТА, 2010. – С.139–141
5. Коннов М. Н. Адаптивный алгоритм формирования виртуального таймслота в коммутаторе Ethernet / Сб. научных статей II Ежегодной межвузовской студенческой научно-практической конференции «Информационные технологии в науке и образовании. Проблемы и перспективы» – Пенза: Изд-во Пенз. гос. унт., 2015. – С. 125–129.

6. Филимонов А. Построение мультисервисных сетей Ethernet – СПб: БХВ-Петербург, 2007–С.592
7. Jensen K., Kristensen L. Coloured Petri Nets: modelling and validation of concurrent systems. – Springer-Verlag, 2009 – p. 384.
8. Артамонов И.В. Моделирование надежных В2В-взаимодействий с помощью окрашенных сетей Петри Текст научной статьи по специальности «Компьютерные и информационные науки» / Труды международного симпозиума «Надежность и качество». – Т. 1. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. унт., 2013– С. 146–148.
9. Коннов М.Н., Механов В.Б., Никишин К.И. Моделирование алгоритмов виртуального таймслота в коммутаторе Ethernet. /Сб. статей Международной научно-практической конференции «Современные проблемы компьютерных наук (СПКН-2013)», 2013–С.49–52
10. Артемов И.В., Коннов М.Н., Патунин Д.В. Сеть Петри, моделирующая работу буферной памяти коммутатора /Сб. научных статей VII Всероссийской межвузовской научно-практической конференции «Информационные технологии в науке и образовании. Проблемы и перспективы» – Пенза: Изд-во Пенз. гос. унт., 2020. –24–28
11. Никишин К. И., Коннов Н. Н. Генератор трафика Ethernet на основе цветных сетей Петри / Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе, Вып. №1 (17) 2016. – С. 299–307.

УДК 621.88.084

Шуваев В.Г., Благороднова Е.В.

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, Россия

ФОРМИРОВАНИЕ НЕПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛАТ С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ЗАПРЕССОВКИ

Рассматривается технология применения ультразвуковой запрессовки при формировании непаяных соединений электрических плат. Применение ультразвука существенно снижает трение в процессе формирования соединения, а также позволяет измерять усилие запрессовки и выявлять бракованные соединения на этапе сборки.

Ключевые слова:

НЕПАЯНОЕ СОЕДИНЕНИЕ, ЗАПРЕССОВКА, КОНТАКТ, УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ, ИЗМЕРЕНИЕ УСИЛИЯ

Непаяные соединения стали применять вследствие невозможности использования пайки и припоя в некоторых случаях, связанных как с увеличением плотности монтажа, наличием больших массивов металла (меди) и невозможностью его прогрева. В таких случаях производят запрессовку контактов в металлизированные отверстия в печатных платах. Этот метод непаяного соединения получил название *press-fit* и широко распространен в технологии сборки электронных плат, в тех случаях, когда методы пайки не обеспечивают качественного соединения.

Прессовые соединения обладают существенными преимуществами по сравнению с паяными, например, исключается вероятность возникновения коротких замыканий из-за мостиков припоя, отсутствуют температурные воздействия на печатную плату, простота реализации соединений, отсутствие газовых выделений и остатков флюса и т.д. [1].

Соединения запрессовкой формируются путем впрессовывания контактов в металлизированные отверстия в платах, причем диаметр контакта больше чем диаметр отверстия, что и обеспечивает надежность соединения.

Одной из основных характеристик соединения является усилие электрического контакта, определяемое усилием запрессовки и коэффициентом трения между поверхностью контакта и внутренней поверхностью сквозного металлизированного отверстия. Согласно немецкому стандарту DIN 41 612 усилие удержания контакта должно составлять 30 Н в отверстии 0,94...1,09 мм. Для предотвращения изгиба контактов и платы максимальное значение усилий запрессовки не должно превышать 150 Н, то есть при формировании соединения необходимо произвести контроль усилия запрессовки, что приведет к повышению надежности и работоспособности прессовых соединений [2, 3].

Для проведения запрессовки контактов в металлизированные отверстия в печатных платах разработано устройство для ультразвуковой запрессовки с контролем качества усилия, содержащее источник ультразвуковых колебаний и измерительное устройство. В процессе ультразвукового поверхностного пластического деформирования имеет место одновременное статическое и динамическое нагружение, периодически повторяющееся с частотой колебаний и распространяющееся на сравнительно малую площадь деформирования поверхности детали. Ультразвуковая обработка снижает исходную шероховатость поверхности детали и формирует остаточные напряжения сжатия, повышает микротвердость поверхности и обеспечивает благоприятное ее распределение по глубине модифицированного слоя [4, 5].

На рис. 1 представлено разработанное авторами ультразвуковое устройство для запрессовки штырьков в платы. Устройство содержит концентратор 1, на боковой поверхности которого выполнены наклонные пазы 2. Для возбуждения ультразвуковых колебаний применен пакетный пьезокерамический преобразователь 3, зажатый при помощи шпильки и гайки 6 между концентратором 1 и противовесом 5. Под крышкой 4 размещен датчик силы 7, измеряющий усилие запрессовки. Запрессовываемый электрический контакт 8 через сквозное металлизированное отверстие 9 запрессовывается в печатную плату 10 [6].

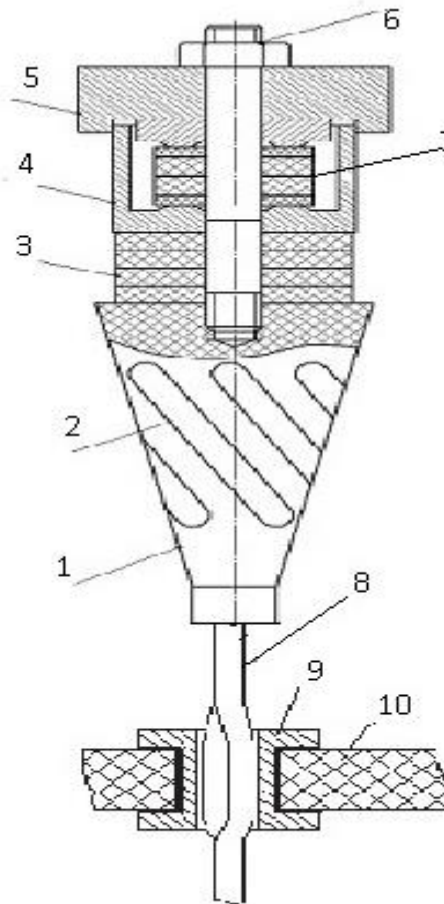


Рисунок 1 – ультразвуковое устройство для запрессовки штырьков в платы

Устройство работает следующим образом.