

электромагнітного випромінювання (частота, середнє значення напруженості, тривалість імпульсів) для лікування маститу вівцематок.

Ключові слова: радіоімпульсне випромінювання, мастит тварин, моделі внутрішніх органів тварин, інформаційно-хвильова терапія.

Мазур Віктор Анатолійович, асистент, кафедра енергетики та електротехнічних систем в АПК, Подільський державний аграрно-технічний університет, Кам'янець-Подільський, Хмельницька обл., Україна, e-mail: kosnatgen@ukr.net.

Мазур Віктор Анатолійович, асистент, кафедра енергетики та електротехнічних систем в АПК, Подільський державний аграрно-технічний університет, Кам'янець-Подільський, Хмельницька обл., Україна.

Mazur Victor, Podolsky Agricultural and Technical State University, Kamenetz-Podolsky, Khmelnytsky region, Ukraine, e-mail: kosnatgen@ukr.net

УДК 004.652 : 621.397

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.47928

**Панченко Б. Е.,
Печенюк Д. А.**

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ SDRAM ДЛЯ СИНХРОНИЗИРОВАННОЙ КОММУТАЦИИ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИГНАЛОВ

Проведено дослідження можливості використання SDRAM-чипів для синхронізації передварительно несинхронізованих телевізійних сигналів. Такий тип пам'яті дозволяє суттєво знизити собівартість синхронізованої комутації телевізійних сигналів в разі багатопользовательського режиму і великої кількості джерел (від 1000 і більше). Проведені часові діаграми роботи блоку цифрової комутації, які дозволяють зробити висновки про можливість використання пристроїв такого типу для рішення задачі синхронізації.

Ключевые слова: коммутация телевидения, SDRAM-буферизация, маршрутизация, многопользовательский режим, ПТС, ПТС-тренажер, тракт.

1. Введение

Развитие современного телевидения [1] невозможно без объединения новых технологических решений для сверхвысокой четкости и сетей передачи данных [2]. Востребованным становится новый сервис — «доставка впечатления», который начинает заменять привычную «доставку контента» [3]. Зрители требуют не только качественного изображения и звука, а и особых эмоциональных впечатлений. Это означает, что онлайн-эмоции и переживания, обусловленные прямыми трансляциями событий, сегодня особо востребованы [4]. В связи с этим принципиально изменяется бизнес-модель в отрасли телекоммуникаций. Еще недавно это был сервис, обеспечивающий надежную связь в любом месте и в любое время. Сегодня пользователь рассматривает телекоммуникации как средство построения собственной социальной и развлекательной системы. В этом качестве главным назначением системы связи должна стать доставка персонализированных ощущений и впечатлений [5].

Особенно важными становятся технические решения, поддерживающие значительное число одновременно обрабатываемых источников телевидения сигналов (в дальнейшем — просто сигналов), работающих на значительных территориях. Потому что такие события, как расширенные спортивные соревнования, мега-выставки с числом участников, превышающим десятки тысяч, дни городов, массовые «парковые» фестивали и т. п. имеют максимальный зрительский эффект. Именно прямые трансляции событий, обслуживаемых тысячами профессиональных телевидения камер [6], должны

являться признаком не только телеканалов, но и интернет-сервисов. Но именно таких решений на мировом рынке практически нет. Причина проста — очень высокая стоимость процесса транспортировки и коммутации высокопоточковых профессиональных сигналов. Поэтому актуальность проведенных исследований обеспечивается потребностью существенного снижения стоимости этих процессов.

2. Анализ литературных данных

Как известно, сигнал имеет пакетную, т. е. дискретно-периодическую структуру [7]. Поэтому основной технической проблемой коммутации несинхронизированных сигналов является нарушение целостности нескольких пакетов (нескольких кадров) включаемого сигнала при коммутации [8, 9]. Причем, эта проблема касается как полнопоточковых аналоговых или цифровых, так и компрессированных сигналов. Например, в стандарт MPEG-2 была введена специализированная функция, поддерживающая коммутацию [10]. Коммутация в терминалах MPEG называется склеиванием. Возможны два вида склеивания: безразрывное и с прерыванием [8]. Но, несмотря на то, что синтаксис стандарта MPEG-2 обеспечивает возможность склеивания сигналов, его весьма общий характер не гарантирует строгого сопряжения потоков [11]. Поэтому традиционные задачи коммутации следует дополнить управлением буферной памятью данных, идентификацией точек склеивания и другими практическими стандартами, которые необходимо разработать в будущем [10].

Для исключения брака коммутации и синхронизации склеивания существуют три технических решения — принудительная предварительная синхронизация всех источников сигналов [12, 13], переключение через иногородный пакет («черный кадр») [14] и синхронизация только нескольких выбранных сигналов относительно предыдущего в момент переключения [15]. Все остальные решения являются следствиями перечисленных.

Для практики важны решения, когда возможность предварительной синхронизации источников отсутствует. Это обусловлено потребностью одновременного использования разнообразных типов источников от разных производителей. При этом системы коммутации должны поддерживать и многопользовательский режим [15]. В работах [16–18] также предложены решения для многопользовательского режима. Однако тут применен централизованный процесс синхронизации сигналов, как и в [12, 13].

Как указано в [15], цифровые сигналы синхронизируются посредством FIFO-режима [19] работы кадрового буфера памяти, когда запись и чтение строк кадра осуществляются независимо. При этом управляется отрезок времени между началом записи и началом чтения одного и того же набора строк кадра. Этим осуществляется синхронизация. Идея использования бюджетных RAM-чипов обсуждается в [20, 21]. В [20] рассмотрена архитектура контроллера памяти SRAM, обеспечивающего необходимую пропускную способность для нескольких гигабитных каналов коммутирующего устройства. А в [21] разработан контроллер памяти, который направлен на снижение латентности доступа SDRAM с помощью локального FIFO для временного хранения данных из буфера памяти.

3. Постановка проблемы

Практический интерес представляют технические решения, которые позволяют в промышленных системах минимизировать затраты на:

- производство и эксплуатацию систем коммутации, рассчитанной на десятки тысяч источников;
- производство и эксплуатацию оптоволоконных камерных каналов;
- быстрое конфигурирование (разворот) и переконфигурирование базового блока системы на 500–1000 камер на локации в 2–5 км².

Решения должны также минимизировать габариты системы коммутации. По сравнению с имеющимися на рынке системами со средними габаритами 1,5×0,5 м на 50–60 источников, размеры новых систем на 500–1000 источников не должны превышать 0,5×0,4 м. Таким образом, размеры систем коммутации и оптоволоконных камерных каналов не должны зависеть от числа обслуживаемых источников.

Описанное техническое решение было предложено в [22]. Основная идея — более эффективная схема

маршрутизации сигналов, исключая избыточность трактов [9]. На рис. 1 приведена схема, которая иллюстрирует маршрутизацию сигнала с топологией «сеть» и расширенным многопользовательским режимом работы. Тут цифрой 1 обозначено K результирующих программных сигналов, 2 — главное и дополнительные устройства коммутации и маршрутизации, которые показаны как однотипные, 3 — источники сигнала, 4 — клавиатуры пользователей, число которых равняется K , 5 — тракты.

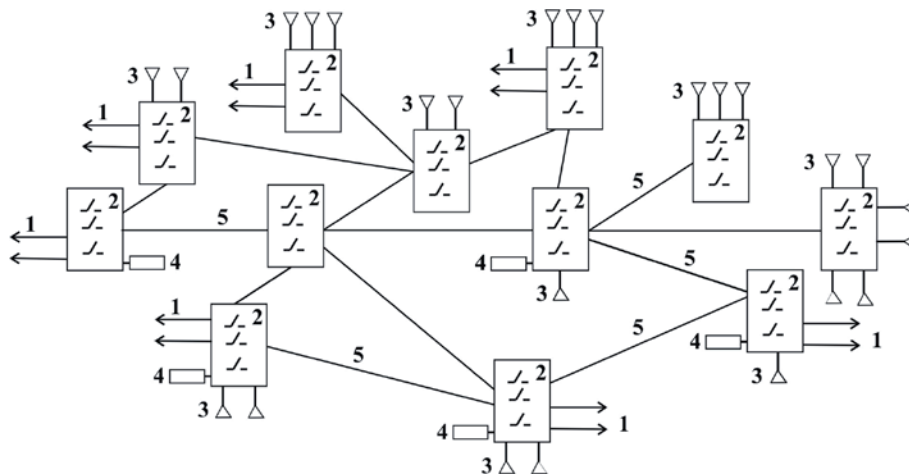


Рис. 1. Схема маршрутизации сигнала с топологией «сеть» и расширенным многопользовательским режимом работы

Как видно из рис. 1, основными в схеме являются пользовательские устройства коммутации и маршрутизации. Но как следует из анализа литературных данных, наиболее распространенным способом синхронизации источников сигналов является централизованная предварительная синхронизация всей системы в целом. Очевидно, что в описанной постановке такой способ не является эффективным, поскольку из-за значительных территорий требуется использование сложного алгоритма поддержания синхронизации самих управляющих сигналов и постоянный учет потерь точности на значительных расстояниях. Взаимная синхронизация выбранных сигналов по факту коммутации является тут более перспективной. При этом производство кадровых буферов, работающих по принципу FIFO, может осуществляться на базе минимально достаточных бюджетных SDRAM-решений.

4. Объект, цель и задачи исследования

Объектом исследования является динамическая память с произвольным доступом SDRAM, на базе которой осуществляется бюджетная синхронизация высокопоточкового сигнала.

Целью исследования является подтверждение возможности использования бюджетных решений на базе SDRAM-чипов для синхронизации высокопоточковых сигналов.

Задача исследования — разработка и апробация технического решения (принципиальной схемы и соответствующего устройства), полученного в развитие способа [22], для использования его в системе коммутации [15].

5. Материалы и методы исследования

Для проведения исследований был разработан специализированный испытательный стенд, собранный на элементной базе, доступной на рынке.

Для проведения исследований выбрана динамическая память K4S641632C-TC/L60, с организацией $1\text{M} \times 16\text{Bit} \times 4$ Banks SDRAM и возможностью работы на частоте до 166 МГц. Реализация управления динамической памятью и коммутацией цифровых потоков выполнена на микросхеме программируемой логики ACEX EP1K30TC144-3N, которая имеет в составе 24576 bit RAM, что исключает необходимость использования дополнительных микросхем памяти/регистров для работы контроллера SDRAM. Оцифровка сигнала выполняется на базе микросхем SAA7113.

На рис. 2 приведена функциональная схема, обобщенно иллюстрирующая описанный подход.

Здесь показана последовательность процессов и расположение устройств, которые используются в алгоритме метода. Сплошной линией показан информационный тракт, сплошной тонкой линией показан управляющий тракт, пунктирной линией показана шина управления I2C. На схеме приведены следующие элементы: 1 — несинхронизированный коммутатор входящих сигналов (например, 16 на 3), 2 — АЦП сигнала, 3 — память SDRAM, 4 — ПЛИС коммутации, 5 — ЦАП сигнала, 6 — схема управления, 7 — клавиатуры.

Как указывалось в [9], значительно число тестовых испытаний стенда позволяет утверждать, что приведенные выводы достоверны.

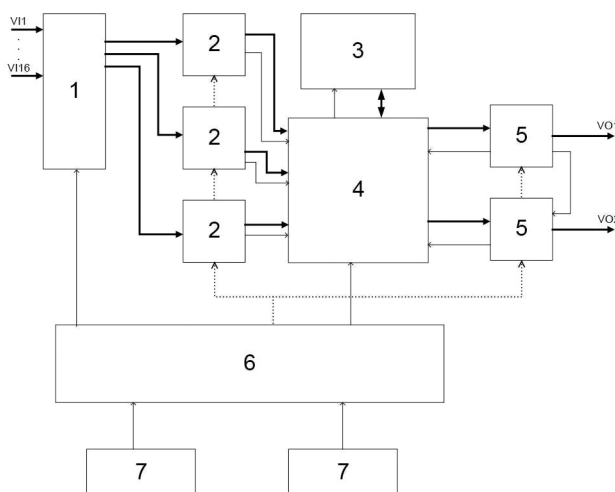


Рис. 2. Функциональная схема устройства коммутации

6. Результаты исследований использования SDRAM-чипов для синхронизации предварительно несинхронизированных телевизионных сигналов

В результате проведенных испытаний реализация контроллера памяти и коммутации получила вид, приведенный на рис. 3.

Входные цифровые видеоданные с частотой следования 27 МГц и шириной шины 8 бит записываются в соответствующие входные буферы памяти 32×16 бит, реализованные в самой ПЛИС. Выходные буферы соответственно преобразовывают данные с контроллера 16 бит 100 МГц в формат видео 8 бит 27 МГц. Входные и выходные буферы памяти имеют два независимых интерфейса для чтения и записи данных независимо друг от друга (принцип FIFO), что позволяет работать чипу на частоте 100 МГц, а АЦП/ЦАП сигнала на частоте 27 МГц.

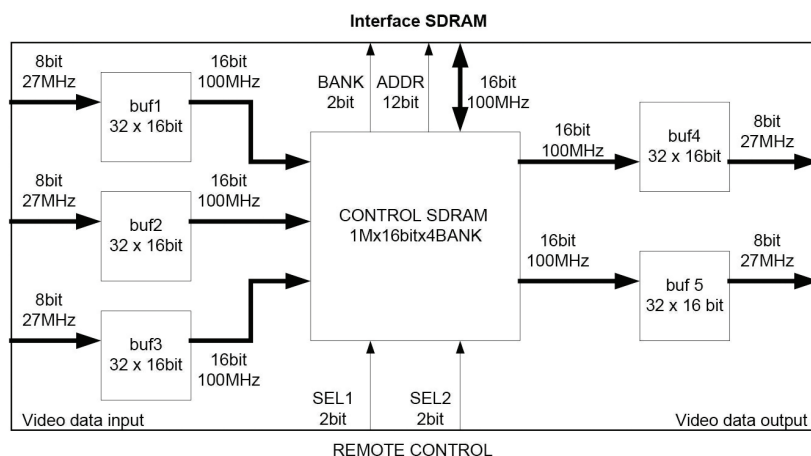


Рис. 3. Блок схема реализации ПЛИС

Для реализации коммутации данных выбран полностраничный режим памяти SDRAM с пакетной записью и чтением. Выбранный чип имеет четыре банка памяти. В первый банк записываются данные первого сигнала, во второй — второго, в третий — третьего. Четвертый банк памяти в данном решении не задействован. Объем каждого банка выбран так, что он помещает один полный кадр сигнала. В итоге хранится по одному кадру сигнала. Обновление каждого банка происходит с частотой кадров сигнала (25 кадров/сек), что соответствует 40 мс. Такой режим обновления данных позволяет исключить циклы регенерации памяти SDRAM с периодом 64 мс.

Выбор выходных данных (переключение) происходит подачей номера входного канала по шинам SEL1 и SEL2 соответственно для первого и второго выхода.

Временные диаграммы работы входного блока видеоданных приведены на рис. 4.

Схема основного блока контроллера памяти и коммутации приведена на рис. 5. Она представляет собой блок 100, состоящий из счетчика команд и постоянной памяти ROM (64 слов на 16 бит) на 54 команд. Из них первые 18 команд — инициализация микросхемы памяти. Три блока по 8 команд — на запись в память и два блока по 6 команд — чтение из памяти. Таким образом, из 64 команд контроллера выбрано 54. Для дальнейших изменений 10 оставлено в резерве.

Блок 100 имеет такие входные сигналы: CLR — сигнал сброса счетчика команд, SET — установка счетчика команд на начало обработки первого входного буфера (инициализация памяти при этом пропускается), CKL — сигнал тактовой частоты (переход на следующую команду), CLE — разрешение тактовой частоты (перевод

дит контроллер в режим ожидания). Выходные сигналы блока 100: N1..N5 – сигналы выбора одного из пяти буферов для работы памяти с ним, BA [1..0] – выбор банка памяти, СKE – сигнал разрешения тактирования памяти, RAS и CAS – соответственно сигнал указания выбора адреса строки или столбца памяти, WE – сигнал записи памяти, CS – выбор микросхемы памяти, LDQM, UDQM – сигналы для маскировки данных памяти.

Работа блока начинается с первой команды инициализации памяти при подаче питания или внешнего сигнала сброса RESET. Запись в регистр режима работы микросхемы памяти происходит при выставлении на шину адреса памяти битов конфигурации с блока 102 (12 битная константа равна 55). Выбран режим работы полной страницы чтения/записи без чередования, при котором CAS Latency соответствует 2. Временная диаграмма инициализации памяти представлена на рис. 6. В это время сигналы выбора буферов N1-N5 не активны (равны 0). Тут сигнал GCKL – внешний сигнал тактовой частоты.

После процедуры инициализации памяти, контроллер выбирает работу с первым буфером N1 и инициализирует работу памяти на запись, предварительно установив из первого счетчика «строка/колонка» необходимые адреса. После чего выставляет сигнал RFU, который через элемент 112 устанавливает триггер 56, запрещающий работу контроллера (через запрет частоты CLE). При обнулении буфера (сигнал E1) или изменении строки (сигнал C1) триггер 56 сбрасывается, разрешая работу контроллеру и запрещая частоту чтения буферов. Так выбираются все пять буферов, после чего сам контроллер сигналом LRS переводит себя на начало работы с первым буфером и цикл повторяется.

После процедуры инициализации памяти, контроллер выбирает работу с первым буфером N1 и инициализирует работу памяти на запись, предварительно установив из первого счетчика «строка/колонка» необходимые адреса. После чего выставляет сигнал RFU, который через элемент 112 устанавливает триггер 56, запрещающий работу контроллера (через запрет частоты CLE). При обнулении буфера (сигнал E1) или изменении строки (сигнал C1) триггер 56 сбрасывается, разрешая работу контроллеру и запрещая частоту чтения буферов. Так выбираются все пять буферов, после чего сам контроллер сигналом LRS переводит себя на начало работы с первым буфером и цикл повторяется.

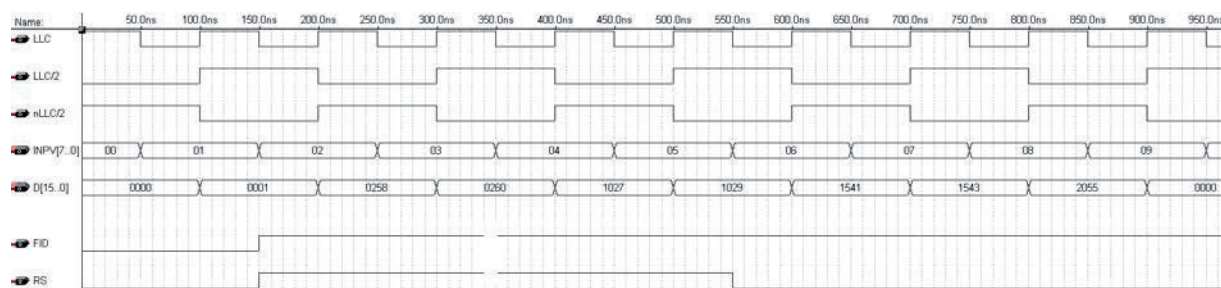


Рис. 4. Временная диаграмма работы входного блока видеоданных

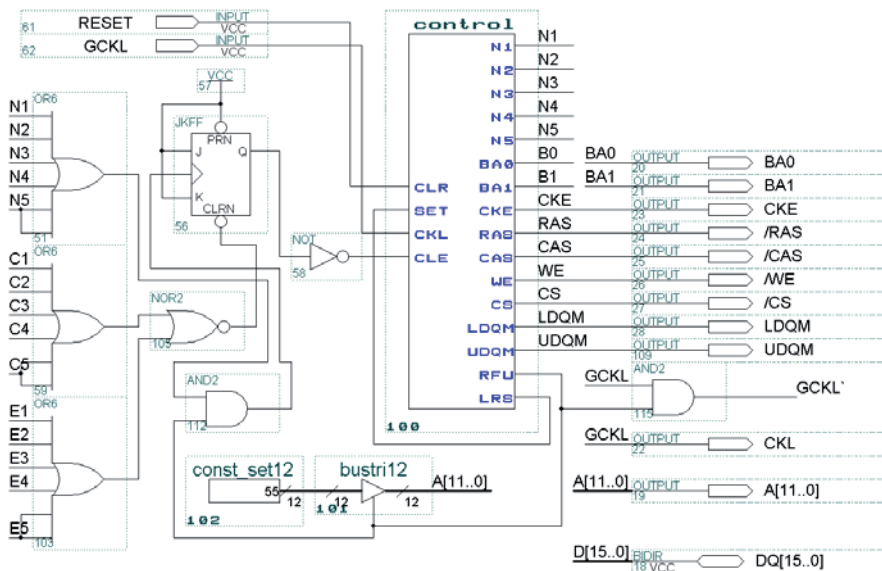


Рис. 5. Схема блока контроля памяти и коммутации

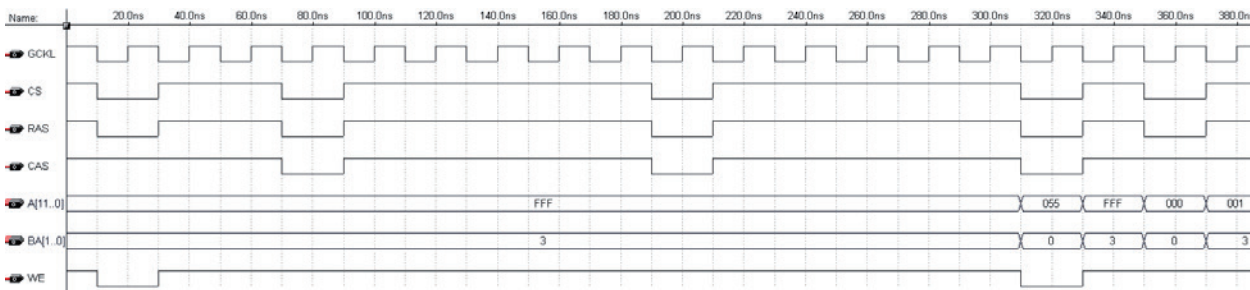


Рис. 6. Временная диаграмма инициализации памяти

Временная диаграмма работы записи и чтения памяти представлена на рис. 7.

живаемых источников, так как не поддерживает оперативного расширения входных устройств.

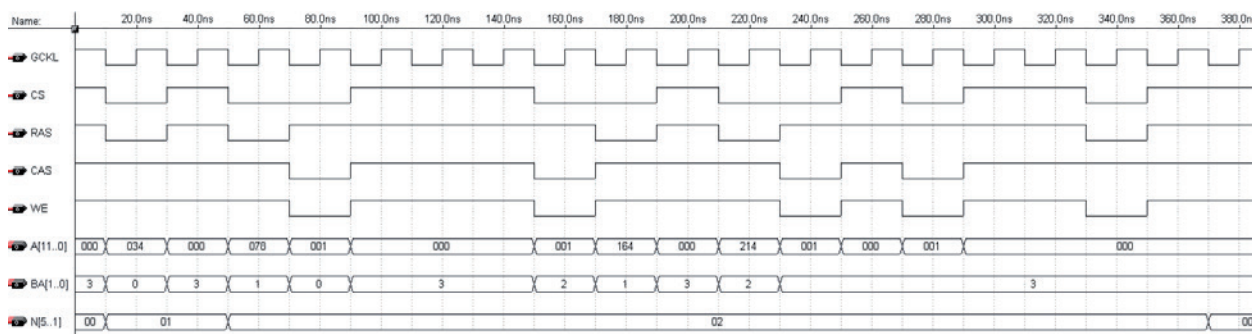


Рис. 7. Временная диаграмма работы памяти

Выбор нужной программы первого и второго выходного сигнала выполнен по схеме приведенной на рис. 8. Внешние сигналы SEL1[1..0] и SEL2[1..0] — соответственно выбор канала первой программы и второй программы.

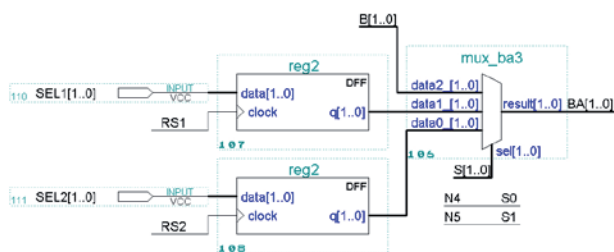


Рис. 8. Схема выбора программы

Запись установленных сигналов SEL1[1..0] и SEL2[1..0] в регистры хранения осуществляется внутренними сигналами сброса счетчиков RS1 и RS2 соответственно, что обеспечивает синхронное переключение по началу нового кадра сигнала. Непосредственный выбор банка памяти выполнено на мультиплексоре 106 с внутренними сигналами выбора S[1..0] равными N4 и N5 соответственно. При N4 и N5 равными нулю выбрано непосредственное управление банками памяти с контроллера.

7. Обсуждение результатов исследования использования SDRAM-чипов для синхронизации предварительно несинхронизированных телевизионных сигналов

Для синхронизации сигналов с дискретно-периодической структурой применяются решения на базе дорогостоящих специализированных FIFO-буферов, число которых строго соответствует числу источников. В профессиональных системах коммутации они устанавливаются на выходных устройствах самих источников или на входной части системы коммутации. Первое решение не позволяет интегрировать в систему источники, которые не снабжены подобной поддержкой. Это значительно сдерживает применение сигналов от широкого круга зрителей-операторов, обладающих не столь профессиональными источниками. Второй тип решения также не позволяет расширять число обслу-

Для решения технической задачи, описанной в данной работе (большое число источников, большое число одновременных пользователей-режиссеров, большое число зрителей-операторов со своими собственными источниками, значительные территории обслуживания и регулярный редизайн схемы коммутации), такие решения либо значительно удорожают систему коммутации, либо вообще не позволяют целостно обслуживать события. Предложенное и исследованное решение является перспективной альтернативой. Неисследованным к настоящему моменту является лишь влияние дальнейшего повышения потока данных сигнала (более 3 гб/с) на стоимость альтернативной системы.

Исследования проведены для некомпьютеризованного цифрового сигнала с потоком данных 216 Мбит/с. Для повышения потока данных до 3 гб/с (сигнал формата HD-SDI) необходимо распараллеливание буферизации, что приводит лишь к незначительному росту стоимости. Для буферизации же компрессированного потока необходимо использование DSP процессора или аппаратного кодер/декодера, а также иного подхода управления памятью. В настоящей работе такие исследования не проводились.

8. Выводы

Способы и система устройств, представленные в работе, позволяют оптимизировать затраты на конфигурацию и регулярную переконфигурацию (редизайн) системы в случае, когда расположение источников на значительной территории может ситуативно и на протяжении короткого времени изменяться. Таким образом, несмотря на длительную эксплуатацию системы, такие изменения расположения могут происходить часто. Это важно при обслуживании таких событий, как современные выставки, спортивные соревнования и иные масштабные события.

Предложенная архитектура контроллера памяти обеспечивает максимальное использование памяти SDRAM при сохранении непрерывной коммутации цифрового сигнала.

Только такое техническое решение позволяет распространить многопользовательский режим на теоретически неограниченное число удаленных пользователей. Например, предоставить зрителям интернет-трансляции работы выставок отдельную услугу — управление обособленной площадкой и создание собственной программы через всемирную сеть.

Литература

1. Джакония, В. Е. Телевидение [Текст]: учебник / В. Е. Джакония, А. А. Гоголь, Я. В. Друзин. — М.: Горячая линия — Телеком, 2007. — 616 с.
2. Олифер, В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы [Текст] / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. — СПб.: Питер, 2001. — 672 с.
3. Бутенко, В. В. Цифровое телевизионное вещание. Везде и всегда. Для всех и для каждого [Текст] / В. В. Бутенко. — М.: Научно-исследовательский институт радио (НИИР), 2014. — 481 с.
4. Гласман, К. Конференция IBC2006 [Текст] / К. Гласман // Журнал «625». — 2006. — № 10. — С. 66–71.
5. Bau, N. D. Experience delivery networking: the network ahead [Electronic resource] / N. D. Bau // Global Telecoms Business. — Available at: \www/URL: http://www.globaltelecoms-business.com/article/2907010/Experience-delivery-networking-the-network-ahead.html
6. Тетерин, В. С. Особенности режиссуры телевидения при многокамерном методе съемки [Текст] / В. С. Тетерин. — М.: ВГИК, 1971. — 105 с.
7. Мамчев, Г. В. Особенности радиосвязи и телевидения [Текст]: уч. пос. / Г. В. Мамчев. — М.: Горячая линия — Телеком, 2007. — 416 с.
8. Baron, S. N. Digital image and audio communication. Toward a global information infrastructure [Text] / S. N. Baron, M. I. Krivosheev. — New York: Van Nostrand Reinhold, 1996. — 288 p.
9. Панченко, Б. Е. Каркасный анализ способов коммутации видеосигналов [Текст] / Б. Е. Панченко, Д. А. Печенюк // Управляющие системы и машины. — 2013. — № 5. — С. 53–64.
10. Зубарев, Ю. С. Цифровое телевизионное вещание. Основы, методы, системы [Текст] / Ю. С. Зубарев, М. И. Кривошеев, И. Н. Красносельский. — М.: Научно-исследовательский институт радио (НИИР), 2001. — 548 с.
11. Соколов, А. Г. Монтаж: телевидение, кино, видео [Текст] / А. Г. Соколов. — М.: Издательство «625», 2001. — 207 с.
12. Random access audio/video processor with compressed video resampling to allow higher bandwidth throughput [Electronic resource]: pat. US-6092119, 07-2000 / D. L. Rossmere, R. S. Glenn, W. B. Brown, J. B. Carlucci, R. W. Duffy; Sony Corporation, Sony Electronics, Inc. — publ. 18 Jul. 2000. — Available at: \www/URL: http://www.google.com/patents/US6092119
13. Synchronous signal superimposing apparatus and synchronous signal superimposing method, which use constant current source [Electronic resource]: pat. US 2003/0202123 A1, 04-2003 / K. Ota, T. Yamauchi. — publ. 30 Oct. 2003. — Available at: \www/URL: http://www.google.com.ar/patents/US20030202123
14. Video switcher and video switching method [Electronic resource]: pat. US 2009/0109334 A1 / N. Murakami; Imagenics Co., Ltd. — publ. 30 Apr. 2009. — Available at: \www/URL: http://www.google.com/patents/US20090109334
15. Method of automated digital multi-program multi-signal commutation [Electronic resource]: pat. US 2013/0294457 A1, 11-2010 / В. Е. Панченко, Д. А. Печенюк. — publ. 7 Nov. 2013. — Available at: \www/URL: http://www.google.com/patents/US20130294457
16. Multiple channel image output device [Text]: pat. JP 2007235454 A, 02-2006 / H. Shimizu.
17. Video signal synthesis controller [Electronic resource]: pat. CN 200620016569, 01-2008 / N. Liang. — publ. 9 Jan. 2008. — Available at: \www/URL: http://www.google.ee/patents/CN201004686Y?cl=en&hl=et

18. Dual use video mixer crosspoint matrix [Electronic resource]: pat US-2010/0103320, 04-2010 / D. A. Casper, M. J. Krim, J. D. Willis. — publ. 29 Apr. 2010. — Available at: \www/URL: http://www.google.com.ar/patents/US20100103320
19. Cummings, C. E. Simulation and Synthesis Techniques for Asynchronous FIFO Design [Text] / C. E. Cummings // Synopsys Users Group Conference. — San Jose, CA, 2002. — 22 p.
20. Аракелов, А. А. Архитектура контроллера интерфейса памяти SRAM для обеспечения максимальной производительности коммутирующего устройства [Текст]: сб. научн. тр. / А. А. Аракелов, Е. А. Сидоров, С. Г. Бобков // Проблемы разработки перспективных микроэлектронных систем. — М.: ИППМ РАН, 2005. — С. 229–234.
21. Sharma, A. C. Construct High-Speed SDRAM Memory Controller Using Multiple FIFO's for AHBMemory SlaveInterface [Text] / A. C. Sharma, Z. Ali // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. — 2013. — Vol. 3, № 3. — P. 907–916.
22. Панченко, Б. Е. Способ автоматизированной цифровой многопрограммной выборочной маршрутизации цифровых сигналов в связи с их коммутацией [Текст]: Заявка на изобретение № а2015-02982 от 31.03.2015 / Б. Е. Панченко, Д. А. Печенюк. — 10 с.

ВИКОРИСТАННЯ SDRAM ДЛЯ СИНХРОНІЗОВАНОЇ КОМУТАЦІЇ ТЕЛЕВІЗІЙНИХ СИГНАЛІВ

Проведено дослідження можливостей використання SDRAM-чипів задля синхронізації попередньо несинхронізованих телевізійних сигналів. Такий тип пам'яті дозволяє суттєво знизити собівартість синхронізованої комутації у випадках багатокористувачького режиму та значного числа джерел (від 1000 й більше) телевізійних сигналів. Наведено часові діаграми роботи блоку цифрової комутації телевізійних сигналів, з яких можна зробити висновки про можливість використання пристроїв такого типу для вирішення задачі синхронізації.

Ключові слова: комутація телевізійних сигналів, SDRAM-буферизація, маршрутизація, багатокористувачький режим, ПТС, ПТС-тренажер, тракт.

Панченко Борис Євгеньевич, доктор фізико-математических наук, старший научный сотрудник, отдел автоматизации программирования, Институт кибернетики им. В. М. Глушкова НАНУ, Киев, Украина, e-mail: pr-bob@ukr.net.

Печенюк Дмитрий Андреевич, аспирант, кафедра электроники и информационных технологий, Сумский государственный университет, Украина, e-mail: dimap@ukr.net.

Панченко Борис Євгенійович, доктор фізико-математических наук, старший науковий співробітник, відділ автоматизації програмування, Інститут кибернетики ім. В. М. Глушкова НАНУ, Київ, Україна.

Печенюк Дмитро Андрійович, аспірант, кафедра електроніки та інформаційних технологій, Сумський державний університет, Україна.

Panchenko Borys, V. M. Glushkov Institute of Cybernetics of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine, e-mail: pr-bob@ukr.net.

Pechenyuk Dmtry, Sumy State University, Ukraine, e-mail: dimap@ukr.net