

УДК 004.383.3

## Применение АМС-модуля TORNADO-A6678<sup>®</sup> в системах ЦОС стандарта MicroTCA<sup>®</sup>

П.А. СЕМЕНОВ, канд. техн. наук, А.И. БЛИНОВ, О.Ю. МИЛОСЕРДИН, канд. техн. наук,  
А.М. ПРОЦАК

ООО «МикроЛАБ Системс», г. Москва

E-mail: info@mlabsys.com

*Описана архитектура АМС-модуля цифровой обработки сигналов TORNADO-A6678, построенного на базе процессора ЦОС TMS320C6678 и ПЛИС семейства Virtex-7. Рассмотрены различные варианты построения систем ЦОС на основе спецификации MicroTCA<sup>®</sup> с применением АМС-модулей TORNADO-A6678 и организации потоков данных в этих системах.*

**Ключевые слова:** процессор ЦОС, ПЛИС, цифровая обработка сигналов, АМС-модуль, DSP, FPGA, MicroTCA, Serial RapidIO, SFP+, TMS320C6678, Virtex-7.

*The architecture of АМС-module of digital signal processing TORNADO-A6678<sup>®</sup> built on the basis of DSP processor of TMS320C6678 and FPGA of series Virtex-7 is described. The different variants of building the DSP systems are considered.*

**Keywords:** DSP processor, digital signal processing, АМС-module, FPGA, microTCA, serial RapidIO, SFP+, TMS320C6678, Virtex-7.

Следуя растущим потребностям разработчиков телекоммуникационного оборудования и современным тенденциям развития аппаратных средств цифровой обработки сигналов (ЦОС), фирма «МикроЛАБ Системс» разработала АМС-модуль ЦОС TORNADO-A6678<sup>®</sup> (далее — ТА6678) (рис. 1).

Модуль ТА6678 соответствует спецификации PICMG<sup>®</sup> Advanced Mezzanine Card (АМС<sup>®</sup>) [1], форм-фактор «single-width/full-size», и предназначен для установки в шасси стандарта MicroTCA<sup>®</sup> [2] или на платы стандарта AdvancedTCA<sup>®</sup> [3], а также может применяться в автономных приложениях.

АМС-модуль ТА6678 построен на базе высокопроизводительного 8-ми ядерного процессора ЦОС (DSP) Texas Instruments TMS320C6678 с плавающей точкой и высокоскоростной программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС, FPGA) Xilinx Virtex-7.

Структурная схема модуля ТА6678 [4] представлена на рис. 2.

8-ми ядерный процессор ЦОС TMS320C6678 работает на тактовой частоте 1,25 ГГц и обеспечивает производительность 40 GMAC/20 GFLOP для каждого ядра. Тип устанавливаемой микросхемы ПЛИС Xilinx Virtex-7 (XC7VX330, XC7VX415 или

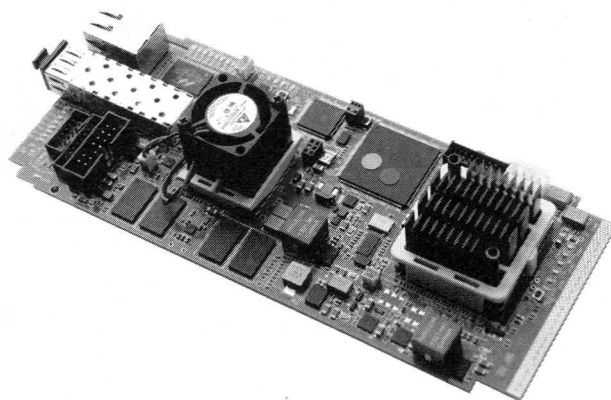


Рис. 1. АМС-модуль ЦОС TORNADO-A6678<sup>®</sup>

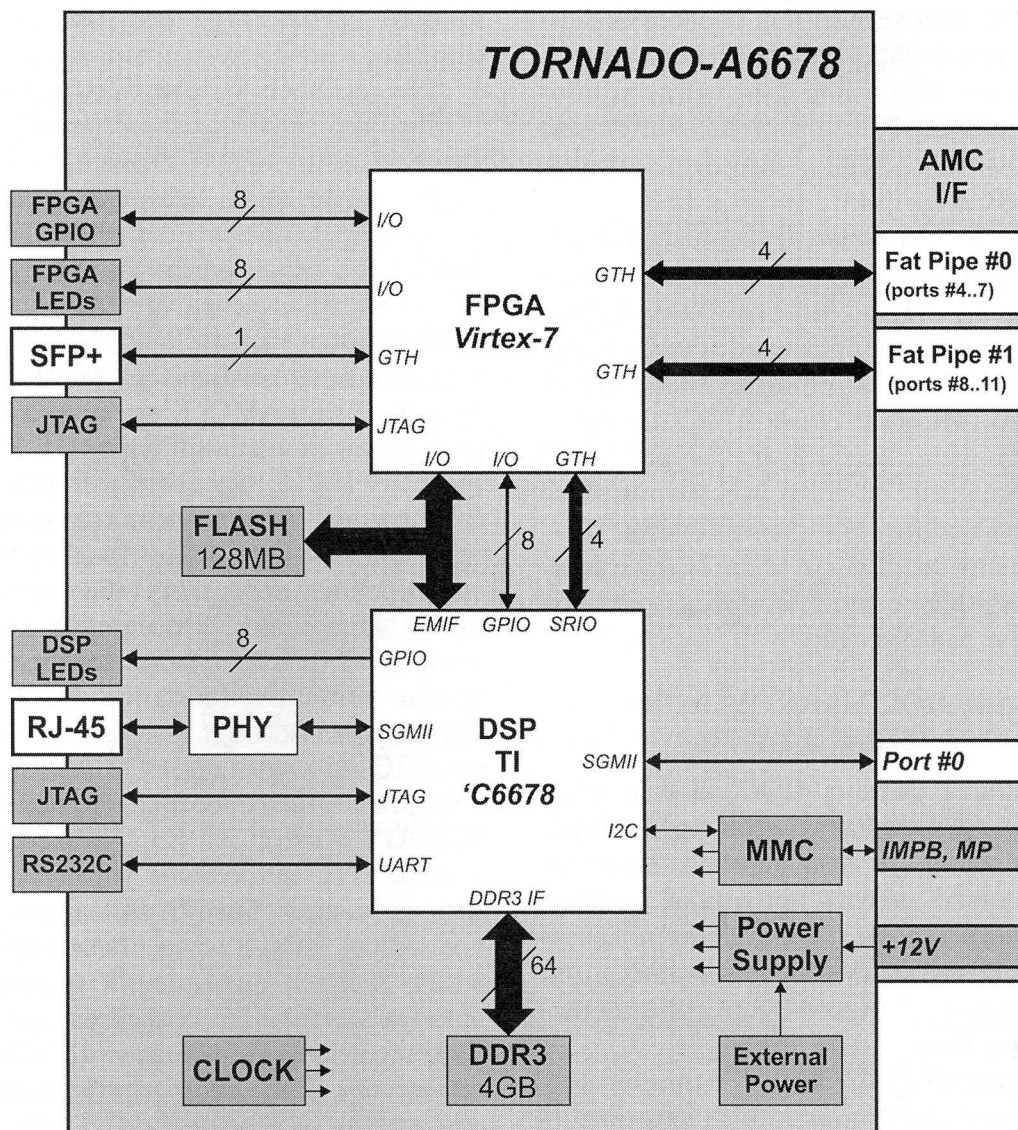


Рис. 2. Структурная схема AMC-модуля ЦОС TORNADO-A6678®

XC7VX690) определяется при заказе модуля TA6678. Особенностью семейства ПЛИС Virtex-7 является большая емкость логики, блоков ЦОС, блоков памяти и наличие высокоскоростных приемо-передатчиков (GTH).

Обмен данными между процессором ЦОС и ПЛИС осуществляется через 4-х канальный последовательный интерфейс Serial RapidIO с суммарной двунаправленной пропускной способностью до 40 GBPS.

Внешние интерфейсы модуля TA6678 включают последовательные интерфейсы RJ-45 1G Ethernet, разъем 10G+ SFP+ для подключения волоконно-оптических модулей SFP/SFP+, два 10G+ 4-х канальных ин-

терфейса AMC Fat Pipe #0 и #1 и 1G Ethernet port #0 интерфейса AMC. Внешний 115kbaud UART RS232C интерфейс предусмотрен для управления программным загрузчиком процессора ЦОС.

Размеры модуля TA6678 составляют 181,5×73,5×29 мм. Максимальная потребляемая мощность составляет 40 Вт. В автономном режиме модуль питается напряжением +12 В.

#### Применение AMC-модуля TA6678 в аппаратуре стандарта MicroTCA®

Спецификации PICMG® MicroTCA® [2] и AdvancedTCA® [3] предоставляют широкие возможности построения масштабируемых

систем ЦОС распределенной обработки данных с высокоскоростными последовательными каналами обмена данными между компонентами системы. Рассмотрим использование АМС-модуля ТА6678 на примере спецификации MicroTCA®.

На рис. 3 приведено фото шасси стандарта MicroTCA® 1U с двумя модулями вентиляции/охлаждения, модулем воздушного фильтра, модулем источника питания, модулем управляющего контроллера (MicroTCA Carrier Hub, МСН) и тремя АМС-модулями ТА6678.

В последующих разделах рассматриваются различные варианты построения систем ЦОС на основе спецификации MicroTCA® с применением АМС-модулей ТА6678 и организации потоков данных в них.

### Система ЦОС MicroTCA® на базе одного модуля ТА6678

Простейшая система ЦОС на базе шасси MicroTCA® включает в себя один модуль ТА6678 и один управляющий контроллер МСН (наличие модуля источника питания и модулей вентиляции/охлаждения подразумевается). Возможные варианты организации потоков данных для такой системы представлены на рис. 4–8.

В системах ЦОС MicroTCA® с применением модулей ТА6678 принципиально присутствуют два типа последовательных потоков данных:

- непосредственно высокоскоростные последовательные потоки (обычно 5G...10G+) обработки входных и выходных данных ре-

ального времени (на рисунках обозначены черными непрерывными линиями);

- низкоскоростные потоки (Gigabit Ethernet, 1GE) управления модулями (на рисунках обозначены черными пунктирными линиями).

Для управления системой используются интерфейсы Gigabit Ethernet (1GE) модуля ТА6678 и управляющего контроллера МСН. 1GE-порт процессора ЦОС модуля ТА6678 подключается к 1GE-порту коммутатора управляющего контроллера МСН через порт #0 интерфейса АМС. К этому же коммутатору подключен внешний порт 1GE RJ-45 контроллера МСН, что позволяет использовать его для внешнего управления как самим МСН, так и модулем ТА6678. Контроллер МСН имеет встроенную программу (обычно на базе ОС Linux) управления встроенными коммутаторами и ресурсами самого контроллера, модулями источников питания, модулями вентиляции/охлаждения и всеми установленными АМС-модулями шасси MicroTCA® на базе стандартизованных протоколов спецификаций PICMG® MicroTCA® [2], AdvancedTCA® [3] и АМС® [1]. Встроенная управляющая программа модуля ТА6678 использует ядро #0 процессора ЦОС и осуществляет прием и передачу файлов приложений и данных (используя сетевые интерфейсы процессора), загрузку и запуск приложений в каждое ядро процессора ЦОС, программирование ПЛИС, обновление встроенного ПО, запись приложений и данных во встроенную FLASH-память и др.

Ввод/вывод данных ЦОС реального времени в такой системе, как правило, осуществляется через внешние 10G+ SFP+ порты

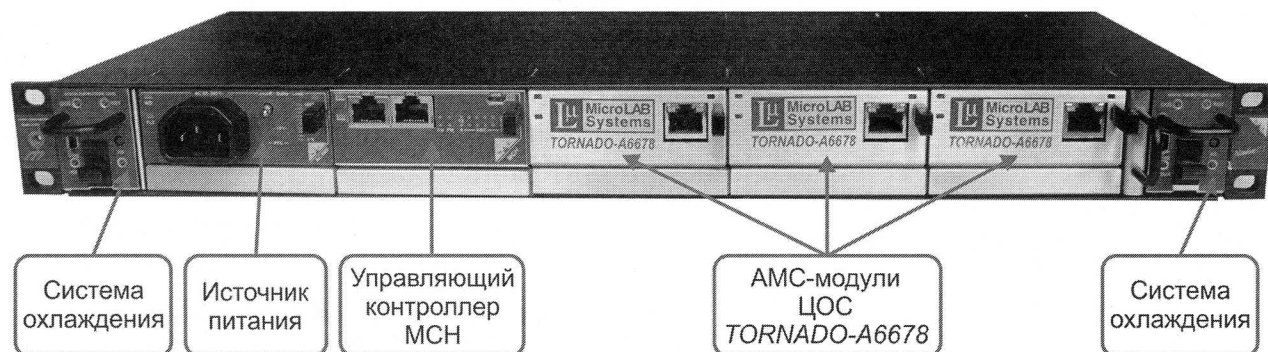


Рис. 3. «Компактное» 1U шасси MicroTCA® с АМС-модулями TORNADO-A6678®

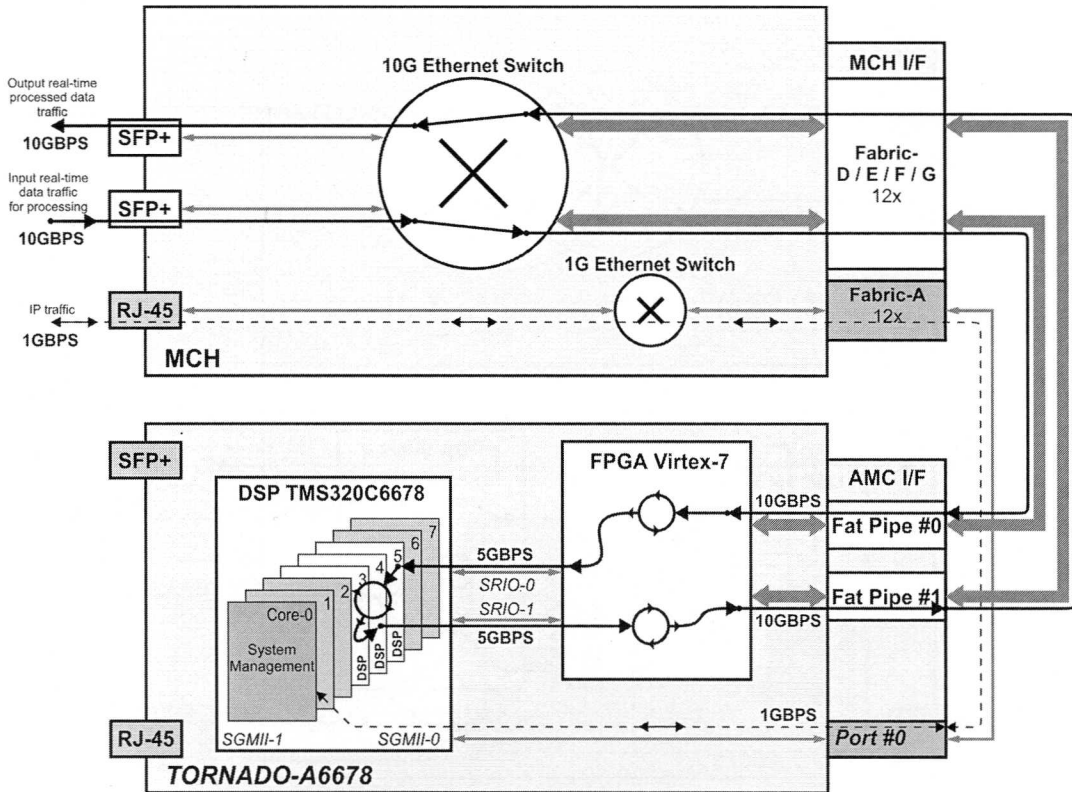


Рис. 4. Система ЦОС MicroTCA® на базе одного модуля TA6678 с использованием ПЛИС, процессора ЦОС и двух каналов интерфейса Serial RapidIO

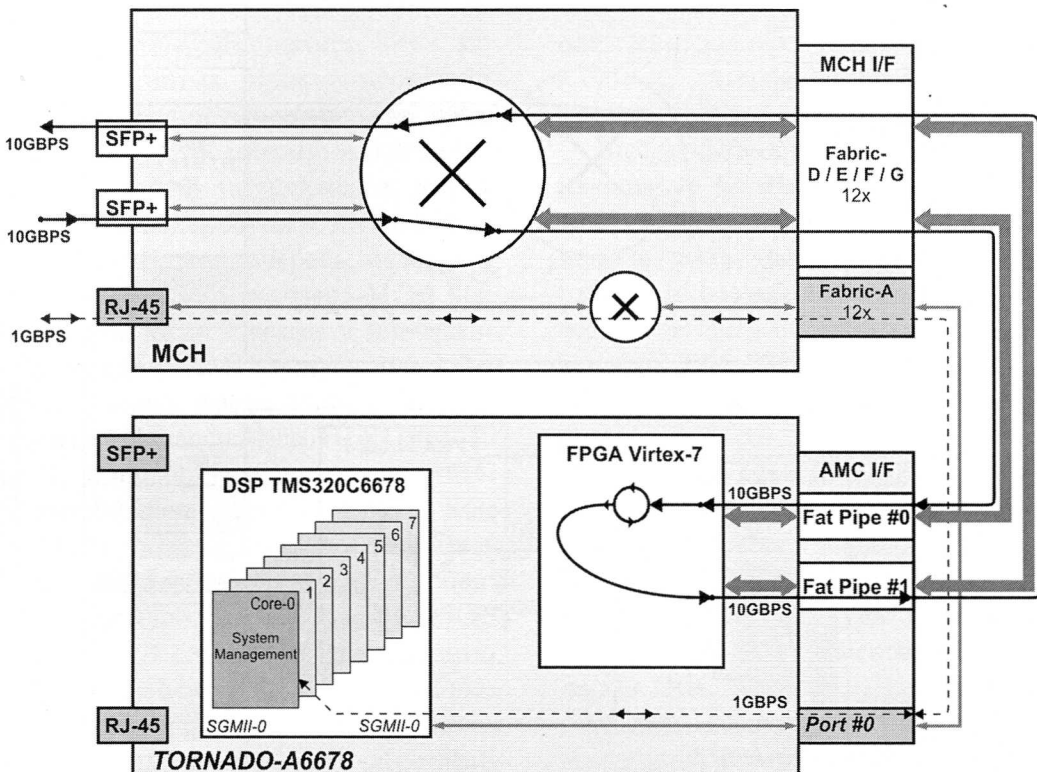


Рис. 5. Система ЦОС MicroTCA® на базе одного модуля TA6678 с использованием только ПЛИС для обработки данных

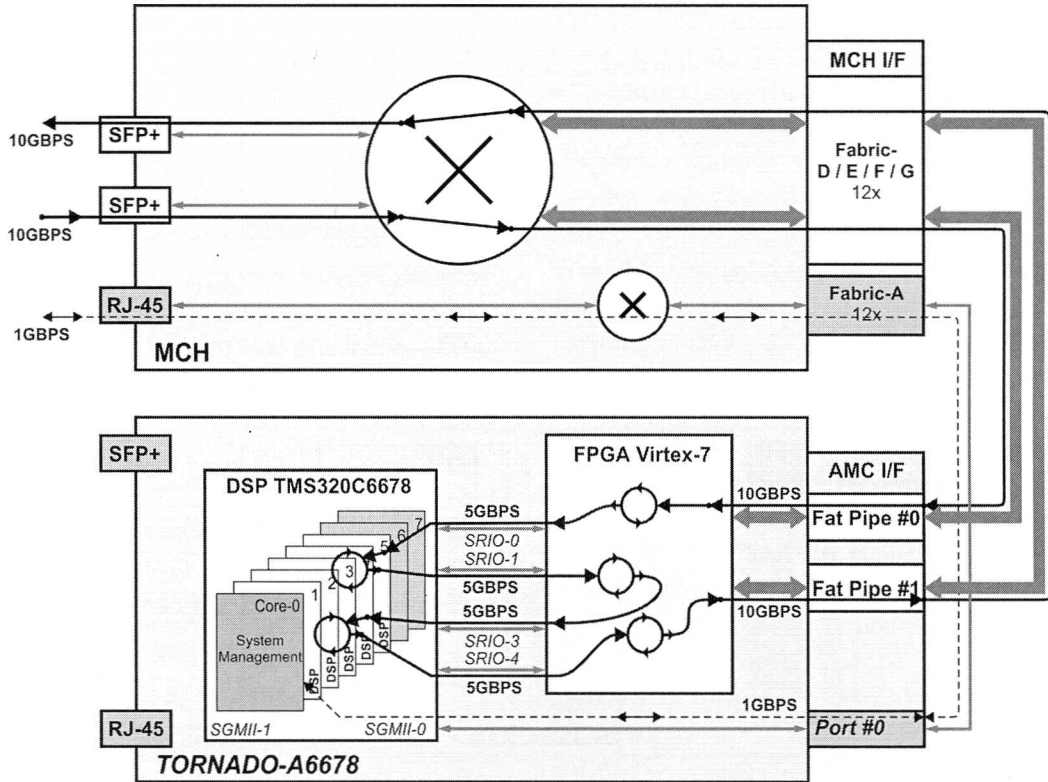


Рис. 6. Система ЦОС MicroTCA® на базе одного модуля TA6678 с использованием ПЛИС, процессора ЦОС и четырех каналов интерфейса Serial RapidIO для обработки данных

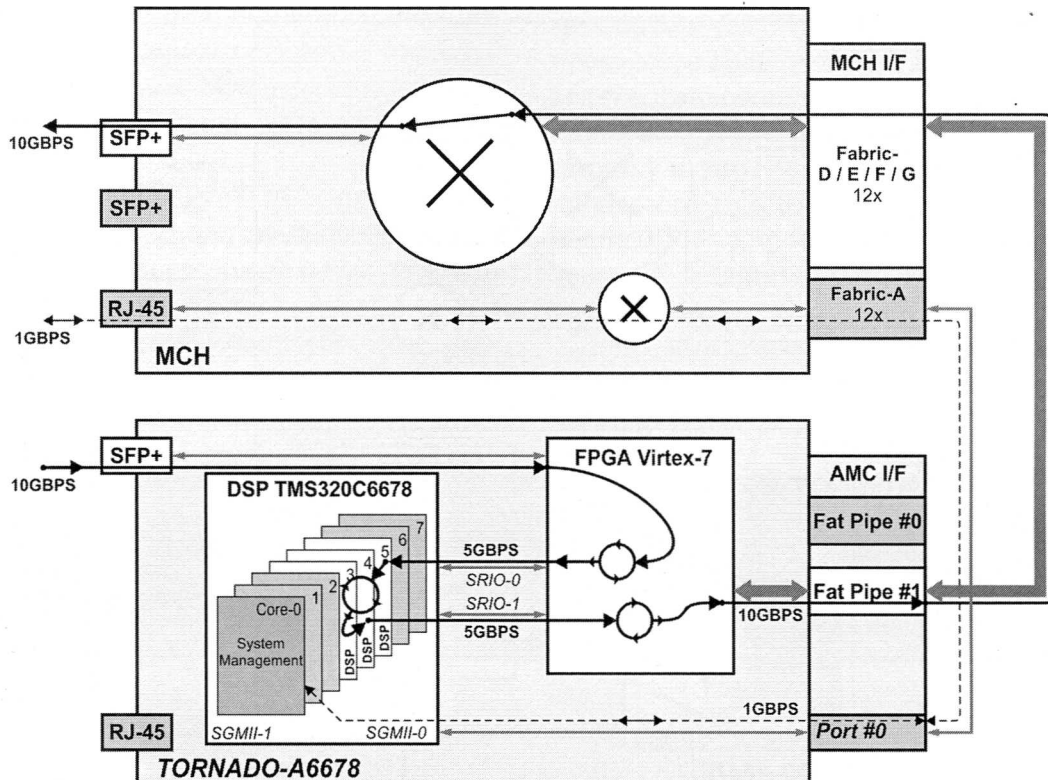


Рис. 7. Система ЦОС MicroTCA® на базе одного модуля TA6678 с вводом индивидуальных данных через SFP+ порт модуля TA6678 и выводом через SFP+ порт контроллера MCH

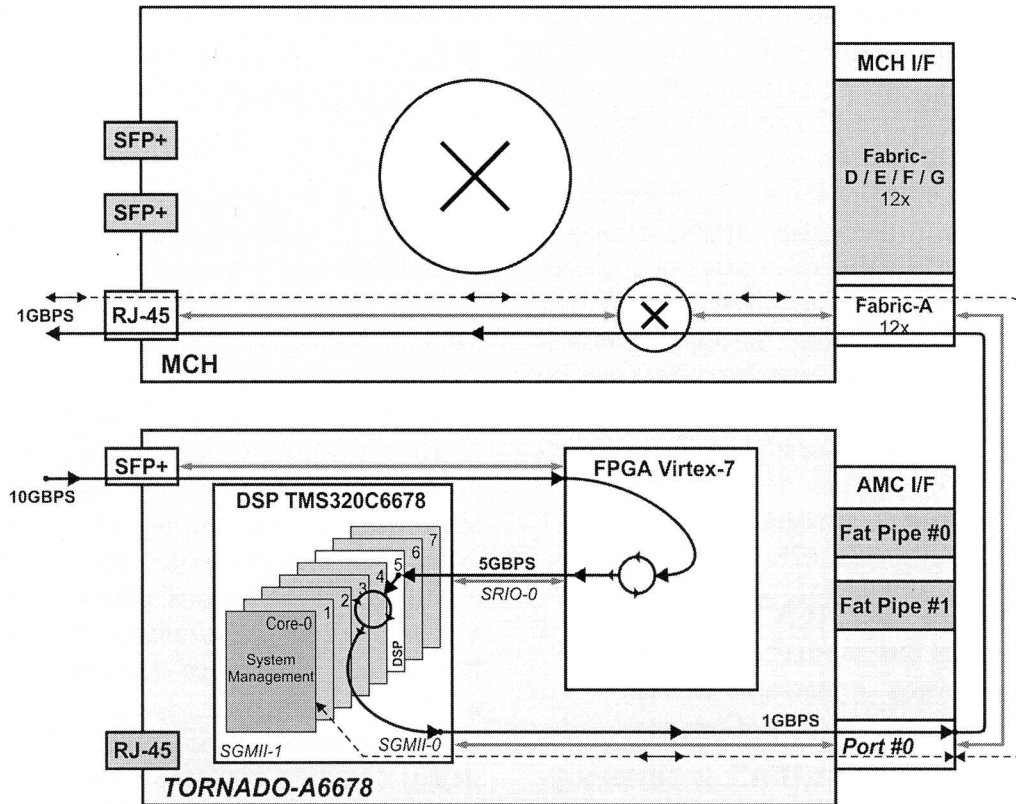


Рис. 8. Система ЦОС MicroTCA® на базе одного модуля TA6678 с вводом индивидуальных данных через SFP+ порт модуля TA6678 и выводом через 1GE RJ-45 порт контроллера MCH

контроллера MCH с применением SFP+ модулей оптоволоконных приемо-передатчиков. Внешние SFP+ порты контроллера MCH подключаются к встроенному в него 10G коммутатору, который подключен к многоканальным высокоскоростным интерфейсам Fabric-D/E/F/G. В свою очередь, интерфейсам Fabric-D/E/F/G контроллера MCH подключены по топологии «звезда» к интерфейсы Fat Pipe каждого AMC-модуля через «заднюю» кросс-панель шасси MicroTCA®. Для «компактного» 1U шасси MicroTCA® (рис. 12, см. рис. 3), вмещающего до шести AMC-модулей, интерфейсы Fabric-D/E/F/G контроллера MCH подключены по топологии «одиночная звезда» одновременно к обоим интерфейсам Fat Pipe #0 и Fat Pipe #1 каждого AMC-модуля. В случае же «расширенного» 2U и 3U шасси MicroTCA® (рис. 15), вмещающего до двенадцати AMC-модулей и два управляющих контроллера MCH, интерфейсы Fabric-D/E/F/G контроллеров MCH подключены по топологии «двойная звезда», т.е.

один контроллер MCH подключается только к одному интерфейсу Fat Pipe каждого AMC-модуля.

Высокоскоростные последовательные 4-х канальные порты Fat Pipe #0 и Fat Pipe #1 AMC-интерфейса (AMC I/F) модуля TA6678 используются для ввода/вывода данных ЦОС реального времени в модуль TA6678. Эти порты могут быть сконфигурированы в ПЛИС модуля TA6678 в соответствии со стандартами 10GBASE-BX4 (XAUI, 10 GBPS), 4x5GBPS Serial RapidIO (SRIO), 4x5GBPS PCI-Express (PCIe) в зависимости от приложения и типа выбранного управляющего контроллера MCH.

Цифровая обработка данных реального времени внутри модуля TA6678 может быть произведена как совместно ПЛИС и процессором ЦОС (см. рис. 4), так и только ПЛИС (см. рис. 5) В первом случае обмен данными между процессором ЦОС и ПЛИС будет осуществляться через 4-х канальный последовательный интерфейс Serial RapidIO с суммар-

ной двунаправленной пропускной способностью до 40 GBPS. При этом, в зависимости от приложения, могут быть задействованы как один, так и несколько каналов интерфейса Serial RapidIO (см. рис. 6).

Система ЦОС MicroTCA® на базе модуля TA6678 также позволяет другие способы ввода/вывода данных ЦОС реального времени и организацию потоков обработки данных с использованием внешних интерфейсов модуля TA6678 в зависимости от конкретного приложения и скорости входных/выходных потоков. В качестве примеров, рис. 7—11 демонстрируют несколько вариантов применения локальных интерфейсов 10G+ SFP+ и 1GE RJ-45 модуля TA6678.

**Система ЦОС MicroTCA®, включающая от двух до шести модулей TA6678 и топологией «одиночная звезда» портов Fabric-D/E/F/G шасси**

Спецификация MicroTCA® и архитектура модулей TA6678 предоставляет множество

разнообразных топологий потоков данных ЦОС реального времени при использовании двух и более модулей TA6678 в одном шасси MicroTCA®.

Наиболее разнообразные и гибкие решения предоставляет «компактное» шасси MicroTCA® (обычно размера 1U, см. рис. 3), включающее от двух до шести АМС-модулей TA6678 и один управляющий контроллер MCH с топологией «одиночная звезда» портов Fabric-D/E/F/G «задней» коммутационной кросс-панели шасси MicroTCA® (рис. 12).

Рассмотрим два возможных варианта топологии потоков данных ЦОС реального времени в случае применения двух модулей TA6678 в «компактном» шасси MicroTCA® с одним управляющим контроллером MCH и топологией «одиночная звезда» портов Fabric-D/E/F/G кросс-панели шасси (рис. 13 и 14).

Аналогично рассмотренным ранее примерам с одним модулем TA6678, управление системой (обеими АМС-модулями TA6678

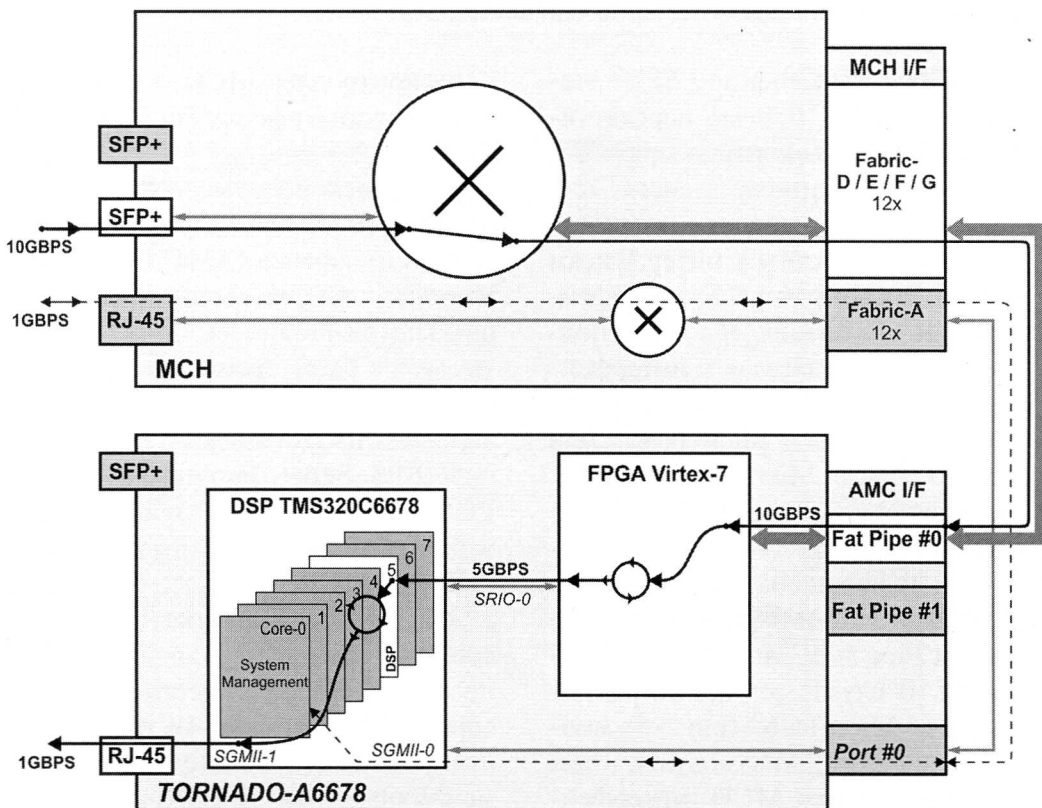


Рис. 9. Система ЦОС MicroTCA® на базе одного модуля TA6678 с вводом данных через SFP+ порт контроллера MCH и выводом через индивидуальный порт 1GE RJ-45 модуля TA6678

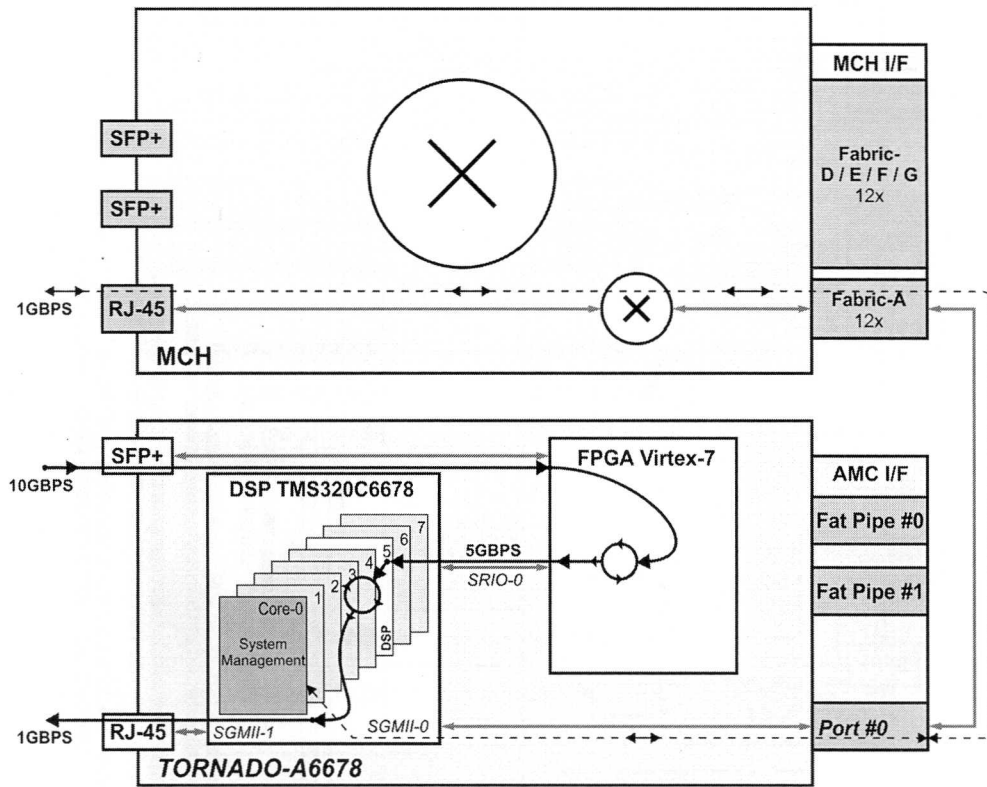


Рис. 10. Система ЦОС MicroTCA® на базе одного модуля TA6678 с вводом индивидуальных данных через SFP+ порт модуля TA6678 и выводом через индивидуальный порт 1GE RJ-45 модуля TA6678

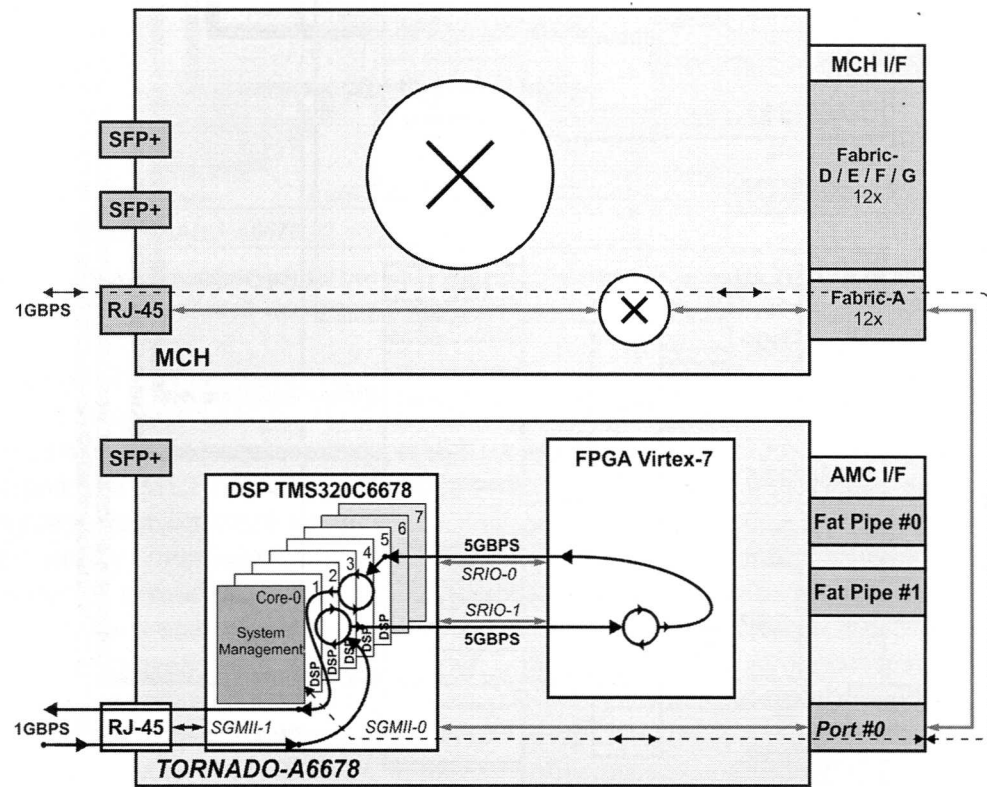


Рис. 11. Система ЦОС MicroTCA® на базе одного модуля TA6678 с вводом/выводом низкоскоростных индивидуальных данных через 1GE RJ-45 порт модуля TA6678



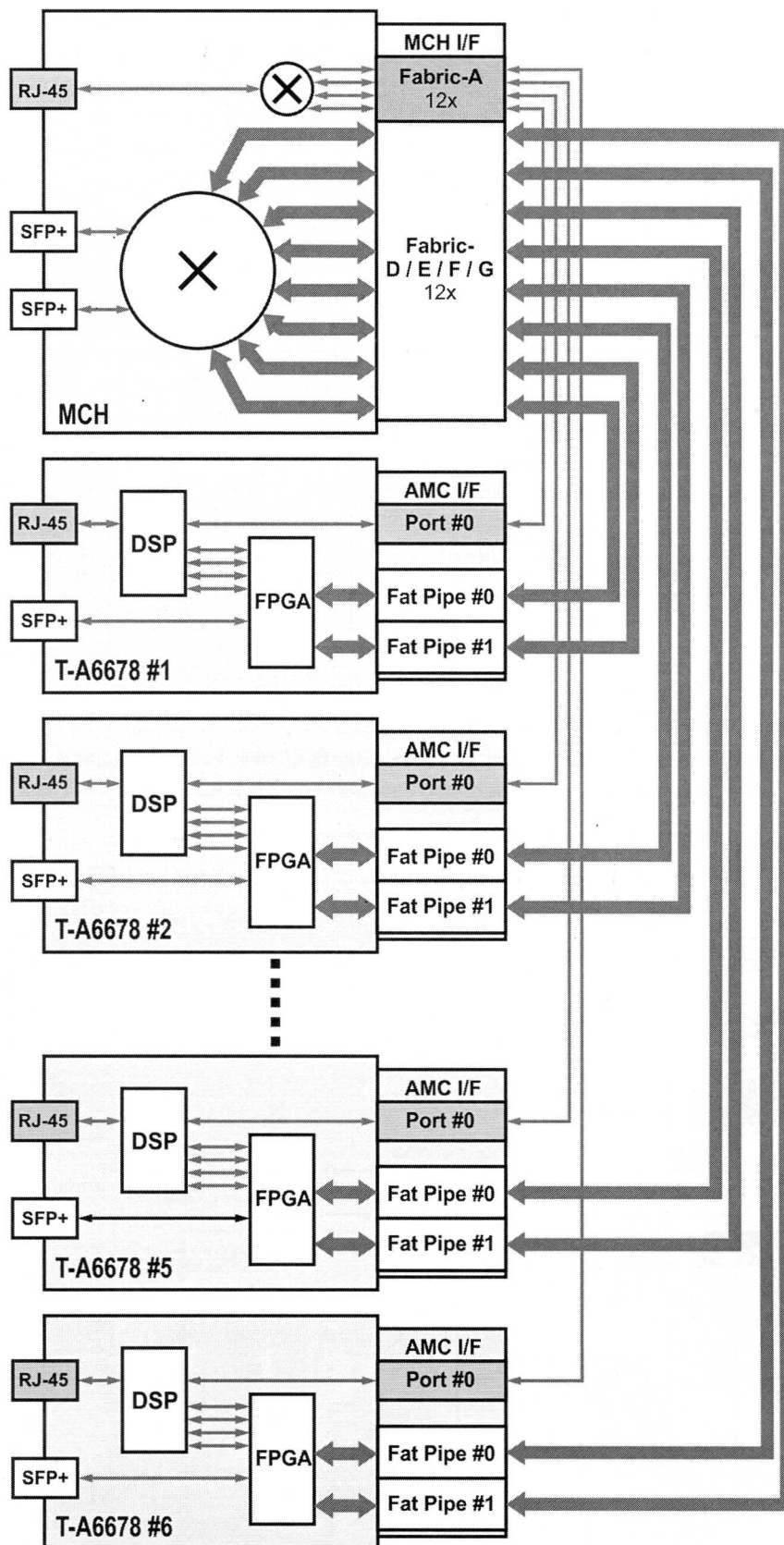


Рис. 12. Схема подключения шести модулей TA6678 в «компактном» шасси MicroTCA® с одним контроллером MCH и топологией «одиночная звезда» портов Fabric-D/E/F/G кросс-панели шасси

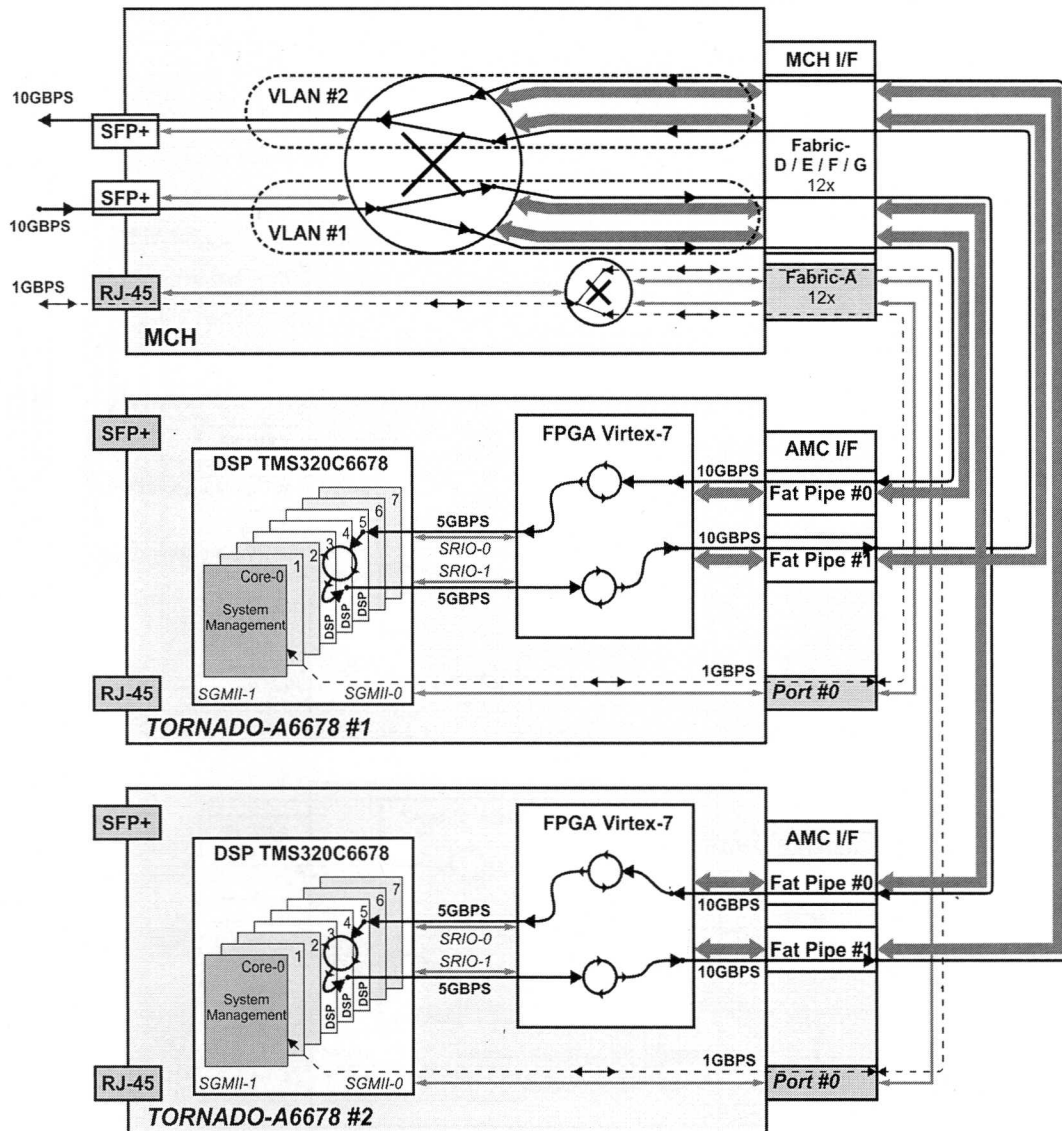


Рис. 13. «Параллельная» конфигурация потоков входных/выходных данных ЦОС для двух модулей ТА6678 в шасси MicroTCA® с топологией «одиночная звезда» каналов Fabric-D/E/F/G кросс-панели шасси

и контроллером MCH) осуществляется через 1GE порты #0 модулей ТА6678, 1GE коммутатор контроллера MCH и внешний порт 1GE RJ-45 контроллера MCH. Этот трафик обозначен пунктирными линиями на рисунках.

Разница между системами на рис. 13 и 14 заключается в топологии трафика данных ЦОС реального времени в зависимости от программно задаваемой конфигурации 10GE коммутатора управляющего контроллера MCH.

На рис. 13 показана система ЦОС с «параллельной» конфигурацией потоков входных/выходных данных ЦОС.

Для входного и выходного потоков данных ЦОС, которые поступают и выводятся через порты 10G+ SFP+ управляющего контроллера, создаются две виртуальные локальные подсети — VLAN1 и VLAN2. VLAN1 объединяет внешний 10G+ SFP+ порт #1 управляющего контроллера MCH с портами FAT PIPE #0 модулей ТА6678 и обеспечивает либо «параллельную трансляцию», либо «разделение» общего входного потока данных ЦОС на каждый модуль ТА6678. VLAN2 объединяет внешний 10G+ SFP+ порт #2 управляющего контроллера MCH с портами FAT PIPE #1 модулей ТА6678 и обеспечива-

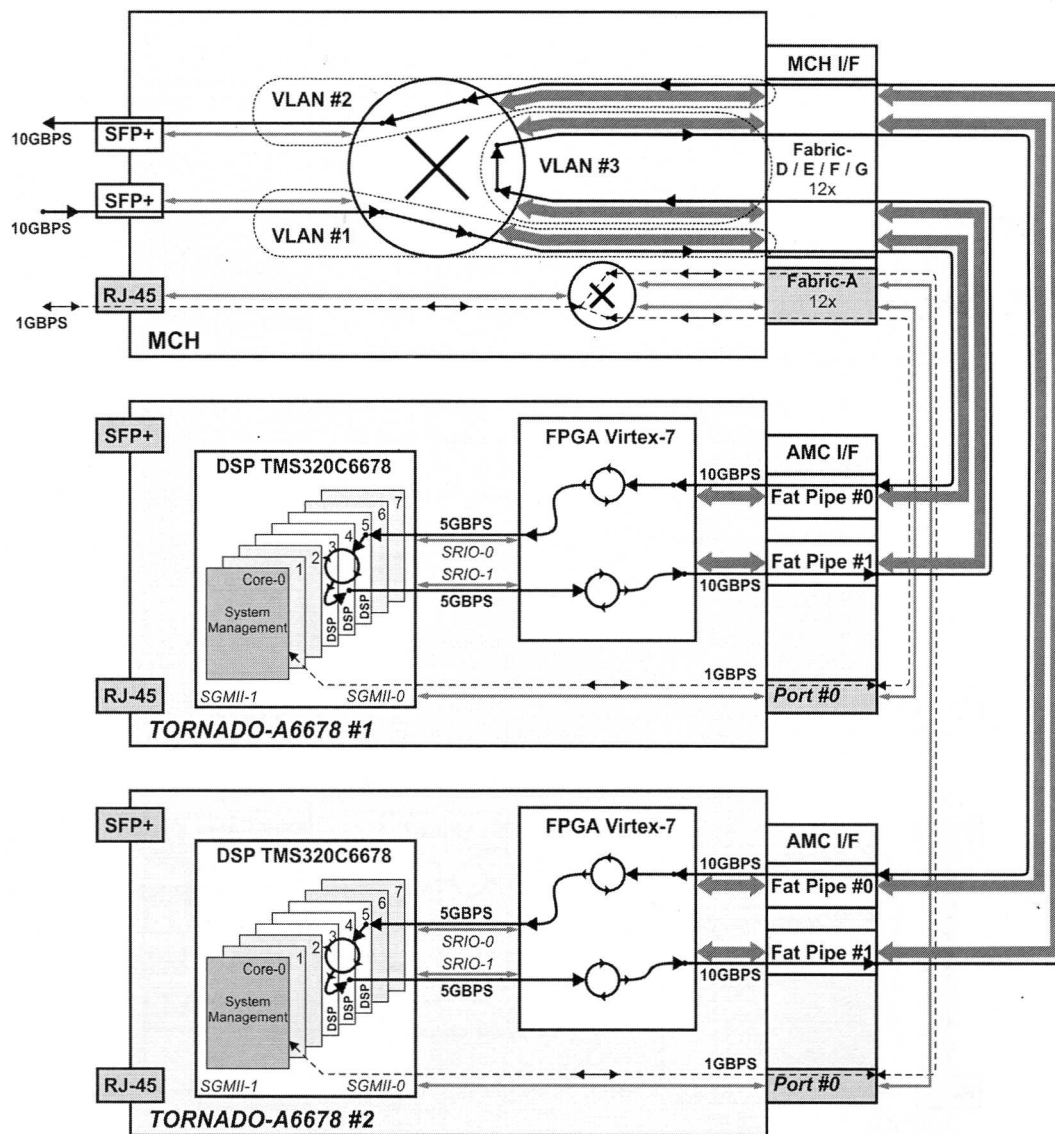


Рис. 14. «Последовательная» конфигурация потоков данных ЦОС для двух модулей ТА6678 в шасси MicroTCA® с топологией «одиночная звезда» каналов Fabric-D/E/F/G кросс-панели шасси

ет объединение обработанных данных ЦОС в общий выходной поток. Такая конфигурация коммутатора обеспечивает суммарную максимальную пропускную способность данных до 10 GBPS в обоих направлениях внутри каждой виртуальной локальной подсети. При этом каждый отдельный модуль ТА6678 производит свою обработку данных. «Параллельная трансляция» входного потока на оба модуля ТА6678 используется в тех случаях, когда оба модуля ТА6678 функционируют по общему алгоритму и используют общий входной сигнал, но работают, например, в разных спектральных поддиапазонах

входного сигнала. Если же приложение требует адресного «разделения» входного потока для каждого модуля ТА6678, то это «разделение» общего потока входных данных на два независимых «адресных» подпотока может производиться как внутри 10G коммутатора контроллера МСН, так и в ПЛИС модулей ТА6678 (например, по IP-адресам получателей входных пакетов для интерфейса Ethernet и протокола UDP или TCP/IP). В любом случае, объединение выходных потоков данных ЦОС осуществляется только внутри 10G коммутатора контроллера МСН.

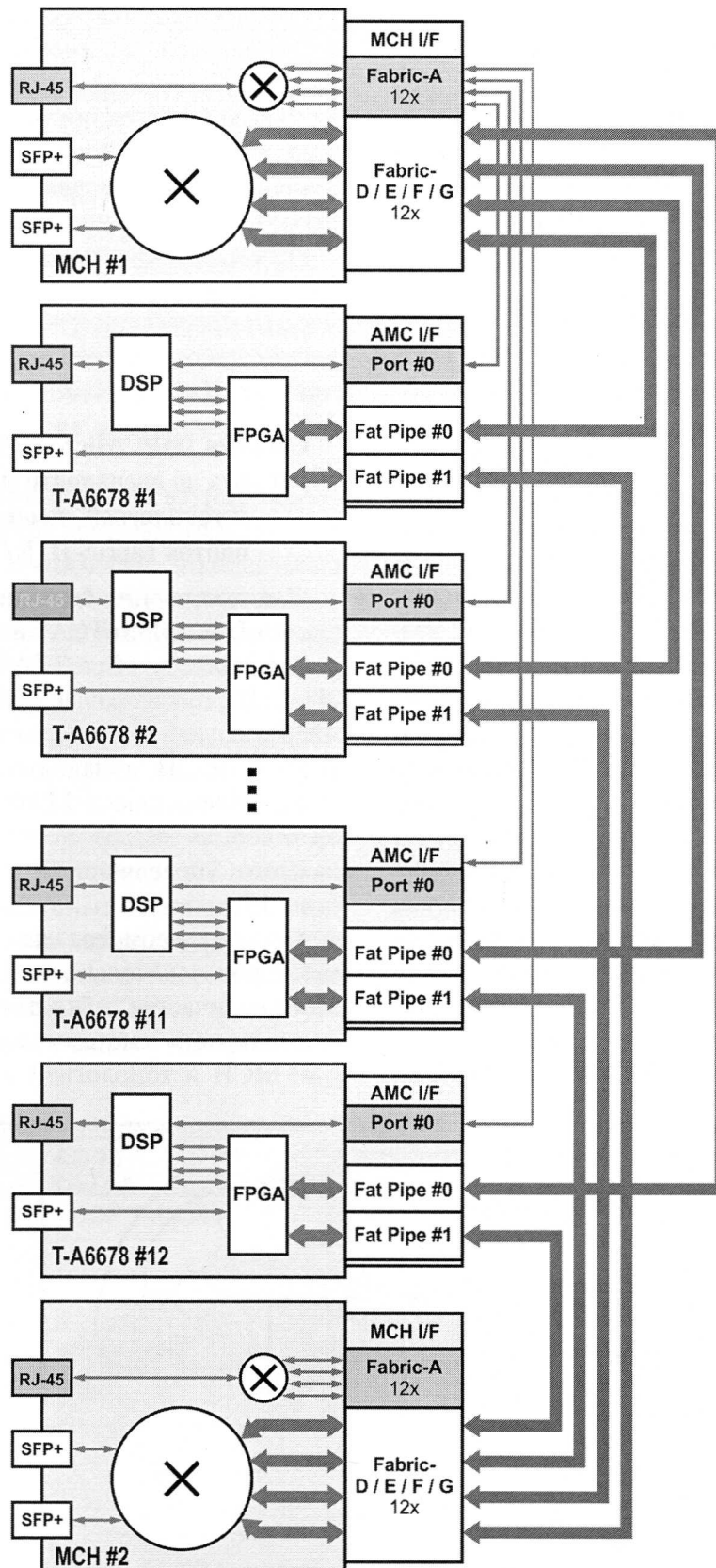


Рис. 15. Схема подключения двенадцати модулей ТА6678 в «расширенное» шасси MicroTCA® с двумя управляющими контроллерами МСН и топологией «двойная звезда» портов Fabric-D/E/F/G кросс-панели шасси

На рис. 14 показана система ЦОС с «последовательной» конфигурацией межмодульных потоков ЦОС. В данной конфигурации создаются три виртуальные локальные сети — VLAN1, VLAN2 и VLAN3. VLAN1 объединяет внешний 10G+ SFP+ порт #1 управляющего контроллера МСН с портом FAT PIPE #0 модуля ТА6678 #1. VLAN2 объединяет внешний 10G+ SFP+ порт #2 управляющего контроллера МСН с портом FAT PIPE #1 модуля ТА6678 #2. VLAN3 объединяет порт FAT PIPE #1 модуля ТА6678 #1 и порт FAT PIPE #0 модуля ТА6678 #2. Таким образом, входной поток данных ЦОС поступает на модуль ТА6678 #1, а выходные обработанные данные модуля ТА6678 #1 возвращаются в управляющий контроллер МСН и далее направляются в модуль ТА6678 #2 на обработку. Конечные выходные обработанные данные модуля ТА6678 #2 возвращаются в управляющий контроллер МСН, который направляет их в выходной поток данных ЦОС через 10G+ SFP+ порт #2 управляющего контроллера МСН. Поэтому можно создать цепочку обработки данных, включающую до шести модулей ТА6678. Следует отметить, что «последовательная» конфигурация должна использоваться только в тех приложениях, которые допускают последовательный алгоритм ЦОС для входных данных реального времени.

При использовании от трех до шести модулей ТА6678 в «компактном» шасси MicroTCA®

с одним управляющим контроллером МСН и топологией «одиночная звезда» портов Fabric-D/E/F/G кросс-панели шасси, возможны конфигурации от строго «параллельной» или строго «последовательной» до многочисленных «параллельно-последовательных» конфигураций потоков данных ЦОС внутри одной системы. Важно отметить, что все конфигурации являются программируемыми и могут быть мгновенно изменены в зависимости от конкретного приложения и алгоритма ЦОС.

**Система ЦОС MicroTCA®, включающая от двух до двенадцати модулей ТА6678 и топологией «двойная звезда» портов Fabric-D/E/F/G шасси**

Для построения больших распределенных систем ЦОС MicroTCA® используют «расширенное» шасси MicroTCA® (обычно размера 2U и 3U), включающее от двух до двенадцати АМС-модулей ТА6678, два управляющих контроллера МСН, и «заднюю» коммутационную кросс-панель шасси MicroTCA® с топологией «двойная звезда» портов Fabric-D/E/F/G каждого управляющего контроллера МСН (рис. 15).

Однако, несмотря на высокую суммарную производительность ЦОС, такая система не отличается гибкостью, характерной для «компактной» системы с одним контроллером МСН и топологией «одиночная звезда»

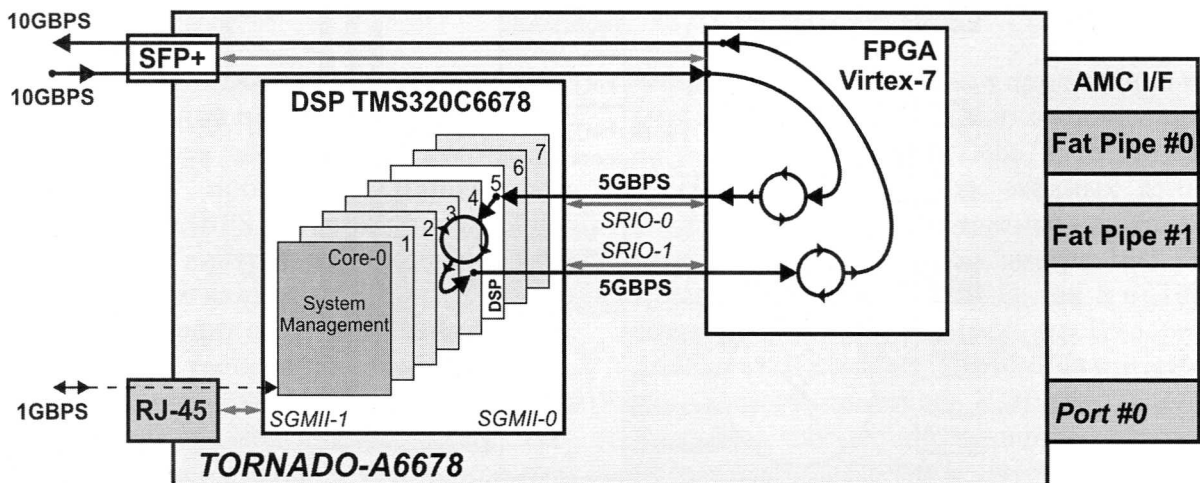


Рис. 16. Использование 10G+ SFP+ порта модуля ТА6678 в автономном режиме для ввода/вывода данных ЦОС

портов Fabric-D/E/F/G кросс-панели шасси MicroTCA®.

В этом случае мы имеем «параллельную» архитектуру, в целом аналогичную рис. 13. Отличие заключается в том, что входной поток данных ЦОС, как правило, поступает через 10G+ SFP+ порт контроллера МСН #1 на его 10G коммутатор и «раздается» на модули ТА6678 через их порты Fat Pipe #0, а выходные потоки данных ЦОС с каждого модуля ТА6678 выдаются через их порты Fat Pipe #1, «собираются» в 10G коммутаторе контроллера МСН #2 и выдаются наружу через 10G+ SFP+ порт МСН #2.

Достоинство данной архитектуры, наряду с высокой суммарной производительностью, заключается в возможности подключения до двух входных и до двух выходных потоков данных ЦОС, а также возможности гибкого программирования 10G коммутаторов обоих контроллеров МСН для адресного «разделения» или «объединения» входных и выходных потоков. Необходимо иметь ввиду, что локальные входные/выходные данные ЦОС могут также передаваться через 10G+ SFP+ порты модулей ТА6678, что позволяет программировать многочисленные кластеры внутри общей «параллельной» архитектуры. Кроме того, данная архитектура позволяет повысить надежность всей системы в целом за счет резервирования управляющих контроллеров МСН.

### Использование модуля ТА6678 в автономном режиме

Модуль ТА6678 может также использоваться в автономном режиме для встраивания в аппаратуру пользователя. При этом на модуль должно быть подано только питание +12 В.

На рис. 16 и 17 представлены два из многочисленных вариантов организации потоков данных ЦОС при использовании модуля ТА6678 в автономном режиме.

### Программное обеспечение

АМС-модуль ТА6678 поставляется в комплекте с базовым программным обеспечением (ПО), включающим в себя компоненты для разработки прикладного ПО процессора ЦОС и управляющего ПК, а также программирования ПЛИС [5]:

- библиотека АРІ функций процессора ЦОС для управления всеми блоками процессора и ресурсами модуля;
- загрузчик уровня #0 для процессора ЦОС и монитор-загрузчик уровня #1, обеспечивающий дистанционное управление средой процессора ЦОС и ресурсами модуля во всех режимах работы;
- библиотека АРІ функций ПК для дистанционного управления модулем (для ОС Windows и Linux);
- оконное приложение дистанционного управления модулем для ПК (для ОС Windows и Linux);

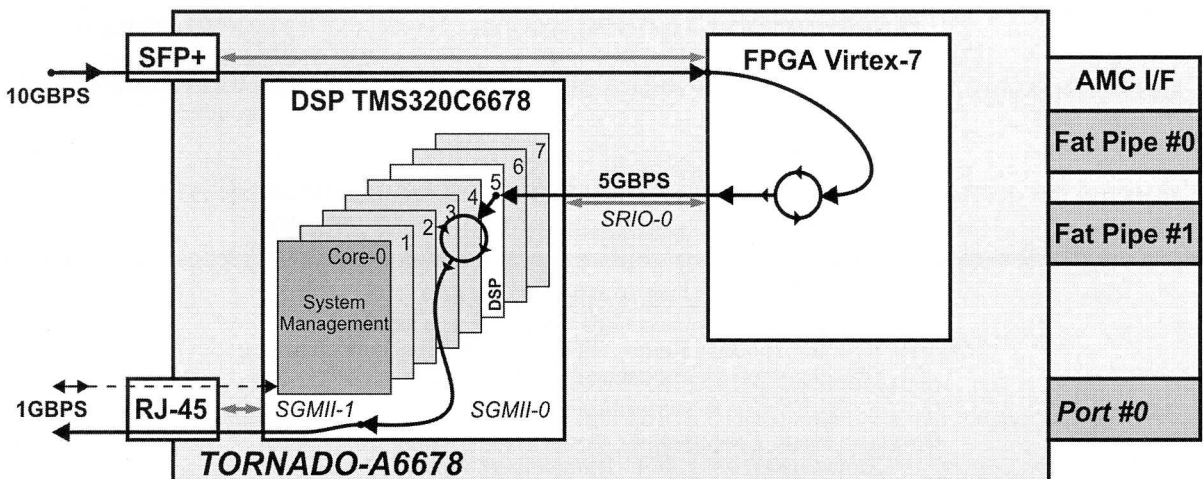


Рис. 17. Использование портов 10G+ SFP+ и 1GE RJ-45 модуля ТА6678 в автономном режиме для ввода/вывода данных ЦОС

- примеры программирования всех входных/выходных сигналов ПЛИС;
- примеры программирования всех внешних интерфейсов ПЛИС;
- примеры программирования процессора ЦОС совместно с ПЛИС с применением всех интерфейсов и ресурсов модуля.

При использовании загрузчиков из комплекта ПО и при выборе режима загрузки из FLASH-памяти процессора ЦОС, разработанное ПО процессора ЦОС и конфигурационные «прошивки» ПЛИС могут быть записаны во встроенную FLASH-память и при запуске автоматически загружены в указанные ядра процессора ЦОС и ПЛИС. Прошивки ПЛИС могут быть закодированы разработчиком ПО и, таким образом, персонифицированы для конкретного модуля TA6678. Эти возможности позволяют разработчикам ПО поставлять модуль TA6678 с уже «прошитым» персонифицированным ПО, которое автоматически стартует при активации питания модуля.

Базовое ПО модуля TA6678 позволяет разработчикам сосредоточиться на решении конкретных прикладных задач ЦОС и значительно снизить сроки разработки прикладного ПО.

### Средства разработки ПО процессора ЦОС и программирования ПЛИС

АМС-модуль TA6678 поддерживается стандартными средствами разработки ПО для процессора ЦОС TMS320C6678:

- интегрированная среда Texas Instruments Code Composer Studio для разработки ПО процессоров ЦОС TMS320;
- универсальные одно- и двухканальные JTAG/MPSD эмуляторы MIRAGE-NE1 и MIRAGE-NC2 для процессоров ЦОС TI TMS320 [6] для ноутбуков и настольных ПК.

Разработка конфигурации/программы ПЛИС поддерживается интегрированной средой Xilinx ISE или Vivado.

### Заключение

Модуль TA6678 является эффективным средством для построения масштабируемых высокопроизводительных систем ЦОС с программируемой архитектурой в стандарте PICMG<sup>®</sup> MicroTCA<sup>®</sup> и AdvancedTCA<sup>®</sup>. Он может использоваться в автономном режиме для встраивания в компактную аппаратуру пользователя.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. PICMG<sup>®</sup> Advanced Mezzanine Card Base Specification (PICMG AMC.0 R2.0), November 15, 2006.
2. PICMG<sup>®</sup> Micro Telecommunications Computing Architecture Base Specification (PICMG MTCA.0 R1.0), July 6, 2006.
3. PICMG<sup>®</sup> AdvancedTCA Base Specification (PICMG 3.0 Revision 3.0), March 24, 2008.
4. TORNADO-A6678. Техническое описание. МикроЛАБ Системс, 2014.
5. TORNADO-A6678. Руководство по программированию. МикроЛАБ Системс, 2014.
6. Универсальные JTAG/MPSD эмуляторы MIRAGE-Nxx для процессоров ЦОС TI TMS320. Руководство по установке и эксплуатации. МикроЛАБ Системс, 2011.

### ООО «Наука и технологии»

Учредитель журнала ООО «Наука и технологии»  
Журнал зарегистрирован в Комитете Российской Федерации по печати.  
Свидетельство о регистрации № 018873 от 27 мая 1999 г.

Редактор Морозова И. М.

Оригинал-макет и электронная версия изготовлены в ООО «СиД».

Сдано в набор 05.11.2014. Подписано в печать 10.12.2014.

Формат 60×88 1/8. Усл.-печ. л. 5,82. Уч.-изд. л. 6,65. Печать цифровая. Тираж 120 экз. «Свободная цена»

Отпечатано в ООО «СиД».