

Синхронизация телекоммуникаций от Semtech, аппаратное обеспечение

Александр КАЛЯКА
info@icquest.ru

Известно, что на качество связи в современном телекоммуникационном оборудовании влияет качество устройств синхронизации. Такая взаимосвязь все больше проявляется при увеличении скоростей и объемов передаваемой информации. Поэтому при решении задачи разработки генераторного оборудования для синхронизации телекоммуникаций приходится решать задачу правильного выбора элементной базы.

Введение

Генераторное оборудование современных телекоммуникаций представляет собой сложный комплекс как аппаратных, так и программных решений. В этой бурно развивающейся области техники сконцентрированы передовые технические решения в области полупроводниковых технологий и высокостабильных кварцевых и квантовых задающих генераторов.

Современное генераторное оборудование строится по двум схемам: встроенное и выделенное оборудование. Встроенное оборудо-

вание, как правило, встраивается локально и решает задачи синхронизации оборудования, к которому не предъявляются высокие требования к стабильности частоты и надежности. Это могут быть встраиваемые линейные карты коммутации с интегрируемым генераторным модулем или даже отдельная карта генератора.

Выделенное генераторное оборудование — это, как правило, сложный комплекс, состоящий из большого количества различных ТЭЗ (типовых элементов замены) выполняющих функцию приема, селекции, перепривязки к внутренним высокостабильным генерато-

рам входных синхрочастот и их размножения. В данном оборудовании решаются задачи получения высокостабильных и высокоточных тактовых сигналов с использованием ультрапрецизионных кварцевых и рубидиевых задающих генераторов. В настоящее время разрабатываемое отечественными производителями генераторное оборудование, как правило, строится по схеме встроенного оборудования. Тут есть свои, в основном экономические предпосылки, так как данное оборудование получается дешевым при удовлетворительных технических характеристиках. Выделенное генераторное оборудование на рынке представлено исключительно иностранными производителями, такими как Symmetricom, Oscilloquartz, Tekelec Systemes, Gillam-FEI, FEI-Zyfer Inc., Timing Solutions Corp. и называется Synchronization Supply Unit — блок источников синхронизации (сокращенно SSU).

Разрабатывая собственное генераторное оборудование, необходимо руководствоваться тем, какими техническими и эксплуатационными характеристиками будет оно обладать, и как его характеристики будут влиять на качество предоставляемых услуг связи современного телекоммуникационного оборудования. Здесь зависимость может быть только одна — чем выше требования к качеству предоставляемых услуг связи, тем выше должны быть требования к качеству оборудования синхронизации.

Обзор спектра продукции Advanced Communications компании Semtech

Продукция раздела Advanced Communications от Semtech насчитывает около десяти моделей микросхем различного технического уровня и назначения (табл. 1.1, 1.2).

Охарактеризуем кратко эти микросхемы. Для синхронизации небольших, например,

Таблица 1.1

	ACS8518	ACS8525	ACS8526	ACS8527
Автоматическое переключение опорных синхрочастот	•	•	•	
Совместимость SONET/SDH	•			
Защита от скачков фазы при переключении опорных синхрочастот	•	•		
Режим «удержания» частоты встречной станции	•	•	•	•
Режим управления микросхемы под управлением внешнего управляющего устройства	•	•	•	
Мониторинг (контроль) частоты	•			
Активизация мониторинга частоты	•	•	•	•
Индикатор потери синхронизма	•	•	•	•
Возвратный или невозвратный режим переходов между хронизирующими синхрочастотами	•	•	•	
Подстройка фазы выходных частот			•	
Измерение фазы		•		

Таблица 1.2

	ACS8510	ACS8520	ACS8522	ACS8530
Автоматическое переключение опорных синхрочастот	•	•	•	•
Аппаратное переключение режимов Ведущий/Ведомый		•		•
Соответствие международным стандартам Stratum 3 SONET/SDH	•	•	•	•
Соответствие международным стандартам Stratum 3E				•
Защита от скачков фазы при переключении опорных синхрочастот	•	•	•	•
Система корректировки накопления фазовой ошибки при переключении между хронизирующими синхросигналами				•
Точность режима «удержания» определяется параметрами генераторов, выполненных по технологиям TCXO, OCXO	•	•	•	•
Режим управления совместим с 8-битной микропроцессорной шиной	•			•
Мониторинг (контроль) частоты	•	•	•	•
Активизация мониторинга частоты	•	•	•	•
Индикатор потери синхронизма	•	•	•	•
Возвратный или невозвратный режим переходов между хронизирующими синхрочастотами	•	•	•	•
Подстройка фазы выходных частот			•	•
Измерение фазы		•	•	•

Таблица 2. Сравнительные характеристики микросхем синхронизации

Параметр	Zarlink MT90401	Zarlink ZL30402	Semtech ACS8530	Semtech ACS8520	Semtech ACS8522
Широкополосный режим	1,3–6,5 нс*	1,1–6,5 нс*	500 пс*	500 пс*	500 пс*
Джиттер	500 Гц–1,3 МГц	1,13–5,2 нс*	758 пс*	758 пс*	758 пс*
	65 кГц–1,3 МГц	0,85–5 нс*	418 пс*	418 пс*	418 пс*
Кол-во подключаемых хронов	2	2	14	14	4
Поддержка Stratum 3/3E	3	3	3, 3E	3	3
Автоматический выбор хрона с учетом приоритета	нет	нет	да	да	да
Поддержка режима «Ведущий-ведомый»	нет	нет	да	да	да
Контроль фазовых скачков	нет	да	да	да	да
Дополнительные возможности	5 регистров, аппаратное управление	17 регистров, аппаратное управление	116 регистров, сотни параметров, программное управление	94 регистра, сотни параметров, программное управление	116 регистров, сотни параметров, программное управление

* — пиковое значение

офисных станций оптимальным решением будет использование микросхем ACS8515, ACS8525-ACS8527. Оборудование синхронизации с использованием этих микросхем оправдано реализовывать в виде встраиваемых в оборудование коммутации карт ТЭЗ (типовых элементов замены) или интегрированных в карты коммутации локальных устройств синхронизации. Это позволит реализовать так называемое распределенное генераторное оборудование. При построении оконечных и транзитных станций (или опорно-транзитных) наиболее удачным решением задачи синхронизации оборудования, бесспорно, будет применение микросхем ACS8510, ACS8520, ACS8522 и ACS8530.

При решении задач обеспечения тактовой синхронизацией оборудования OC-48/STM-16 фирмой Semtech разработана микросхема умножителя частоты ACS8942A JAM PLL, позволяющая поднять генерируемые синхрочастоты до 622,08 МГц. С целью увеличения надежности оборудования можно построить оборудование синхронизации по принципу дублирования или резервирования. Та или иная модель построения оборудования синхронизации зависит от выдвигаемых заказчиком требований к надежности оборудования.

Сравнительные характеристики микросхем синхронизации различных производителей приведены в таблице 2.

Из таблицы 2 видно, что наиболее совершенной микросхемой синхронизации является микросхема ACS8530 фирмы Semtech. Данная микросхема имеет очень низкий выходной джиттер генерируемых синхрочастот и гибкую систему конфигурирования внутренних подсистем (116 внутренних управляющих регистров).

Микросхема синхронизации ACS8530

Рассмотрим более подробно эту микросхему. Ее можно использовать для синхронизации оборудования, работающего в сетях PDH (плезихронной) и SDH (синхронной) иерархий. Чем же выделяется ACS8530 фирмы Semtech на фоне других микросхем синхронизации, таких как Zarlink, IDT и др.?

Она позволяет создавать генераторное оборудование, по техническим характеристикам приближающееся к оборудованию таких известных производителей как Lucent Technologies, Siemens, Alcatel. Большинство этих фирм имеет собственное генераторное оборудование, оно, как правило, реализовано на базе сигнальных процессоров (DSP) и является ноу-хау компании. До недавнего времени реализовать высокие технические характеристики генераторного оборудования не представлялось возможным из-за его сложности. Предлагаемые фирмами Zarlink, IDT и другими микросхемы синхронизации по своим параметрам удовлетворяли разработчиков и соответствовали нормам ITU-T (International Telecommunication Union — Telephone) только для офисных и оконечных станций. Имея, например, очень хорошую точность режима удержания, некоторые микросхемы обладают очень высокой (на два порядка выше нормы) точкой перегиба частотной характеристики подавления вандера. Появление микросхемы ACS8530 дает возможность разработчику без особых затрат поднять технический уровень генераторного оборудования до транзитной (узловой) станции и приблизить его характеристики к лучшим зарубежным образцам.

Основные характеристики микросхемы ACS8530:

1. Микросхема имеет лучшую в отрасли телекоммуникаций точность удержания частоты встречной станции — $7,5 \times 10^{-14}$ (мгновенное значение). Режимом удержания можно программно управлять, определенным образом устанавливая внутренние конфигурационные регистры управления.
2. Микросхема имеет возможность синхронизироваться к любой частоте в диапазоне от 8 кГц до 100 МГц (шаг 8 кГц). Общее количество подключаемых к микросхеме хронов — 14. Два входа могут синхронизироваться к линейному коду АМІ (64 кГц/8 кГц).
3. Встроенный в микросхему прямой цифровой синтезатор DDS (Direct Digital Synthesis) позволяет калибровать (компенсировать) технологический разброс отклонения частоты задающего генератора в диапазоне ± 160 Гц с шагом 0,04 Гц.

4. Обширная система мониторинга состояний различных подсистем микросхемы.
5. Многофункциональная и многоуровневая система прерываний.
6. Встроенная система мониторинга качества входных синхрочастот позволяет оценивать следующие параметры сигналов:
 - уход (расстройка) частоты;
 - фазовые блуждания хронов;
 - разность частот между хронами;
 - пиковое значение джиттера входного сигнала;
 - анализ регулярности входных синхросигналов;
 - обнаружение фазового скачка на источнике синхронизации.
7. Индивидуально задаваемая (конфигурируемая) выходная частота на каждом выходе.
8. Возможность прецизионного сдвига сетки выходных синхрочастот с разрешением 6 пс и диапазоном 125 мкс, необходимого для выравнивания фаз двух или более параллельно работающих на одного потребителя устройств (необходимо для организации работы микросхемы в конфигурации «Master-Slave»).
9. Очень низкий — не более 0,6 нс (эффективное значение) и 5 нс (пиковое значение) — джиттер выходного сигнала.
10. Гибкая система управления переключением хронов. Микросхема может работать в двух режимах: автоматическом и ручном. В режиме автоматического управления микросхема отслеживает приоритетную таблицу хронизирующих сигналов и, анализируя их качество, осуществляет переходы от одного хрона к другому.

Структура микросхемы ACS8530

Для лучшего понимания функциональных возможностей микросхемы ACS8530 рассмотрим более подробно ее структурную схему.

На структурной схеме, приведенной на рис. 1, выделены наиболее важные функциональные элементы.

Микросхема состоит из следующих узлов:

1. Входной порт синхрочастот содержит гибко конфигурируемый преобразователь скалостей (синхрочастот) входных потенциальных хронов, позволяющий разработчику настроить каждый вход на работу с синхрочастотами в диапазоне от 8 кГц до 100 МГц. Такая гибкая система обеспечивает возможность синхронизироваться к любой синхрочастоте оборудования PDH, SDH, SONET, к потокам E1/T1.
2. Селекторы хронов. Микросхема имеет два независимых входных селектора выбора хронов. Позволяет в произвольном порядке подключать любой хрон к любому встроенному независимому каналу ФАПЧ T0 или T4.
3. Банк таблицы приоритетов. Эта область внутренних регистров микросхемы ACS8530

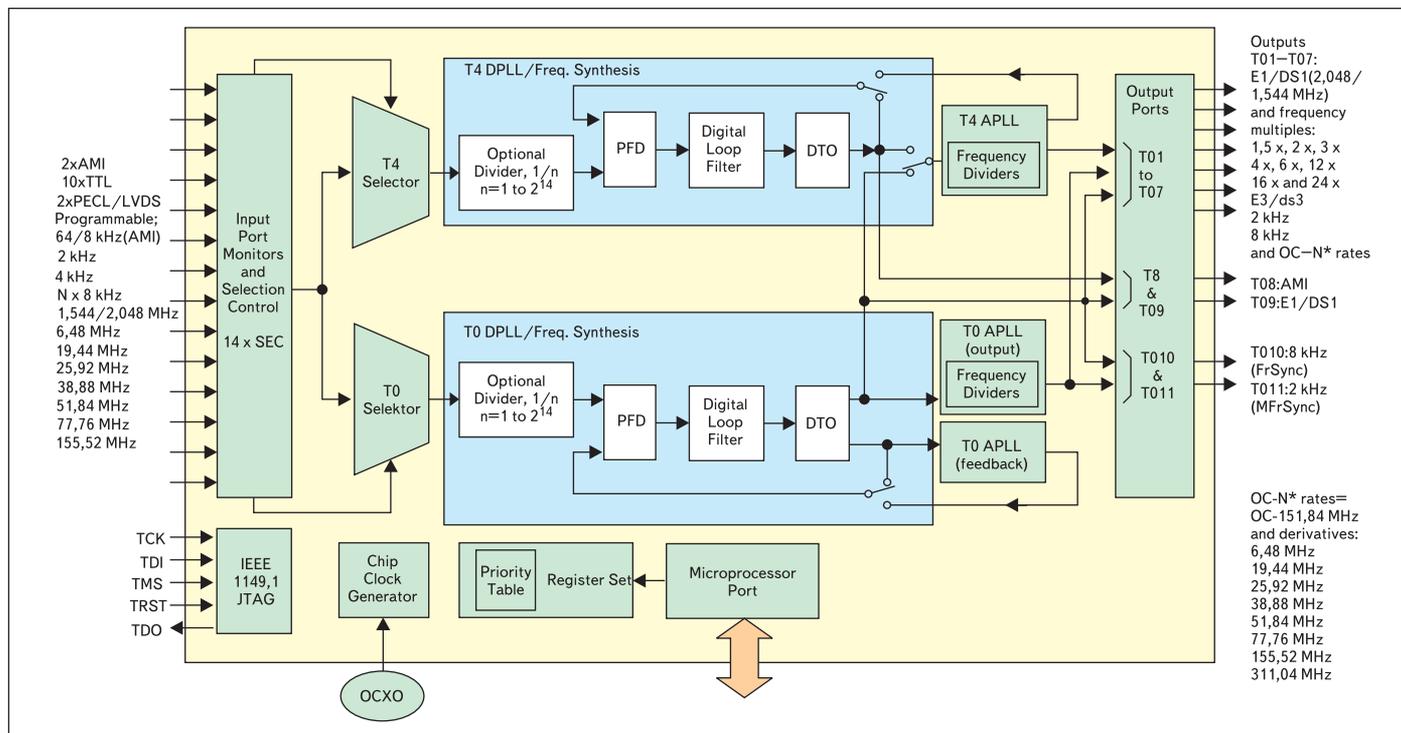


Рис. 1. Структурная схема ACS8530

позволяет через микропроцессорный порт задавать свой приоритет каждому входу синхросигнала. Имея заполненную таблицу приоритетов, внутренний автомат микросхемы, запрограммированный на автоматический режим работы, будет синхронизироваться с каждым из потенциальных хронов, начиная с хрона наивысшего приоритета до самого низкого по мере потери качества подводимых хронов.

Опишем процедуру оценки качества каждого хрона подробнее. Механизм оценки очень гибок и многообразен. Параметры (критерии) подключенных хронов оцениваются по наличию в синхросигнале, по отношению к которому в данный момент времени система находится в режиме захвата частоты (режим «Ведомый»), одиночных или групповых потерь импульсов синхронизации. Основной и наиболее интересной особен-

стью механизма оценки качества синхросигнала является наличие программно настраиваемого гибкого детектора Leaky Bucket — детектора сбоя подключенного хрона. Программируя пороги срабатывания детектора Leaky Bucket (рис. 2), можно задать порог срабатывания и порог возврата (восстановления) детектора при возникновении одиночных или групповых сбоях во входном синхросигнале.

Причем при возникновении аварийных ситуаций система выдает различные аварийные предупреждения: «мягкая авария», «жесткая авария». «Мягкая авария» не приводит к переключению (пересинхронизации) на другой подведенный синхросигнал, а лишь выдает сигнал предупреждения. В случае так называемой «жесткой аварии» происходит пересинхронизация к другому, более низкому по приоритету, синхросигналу. При восста-

новлении качества синхросигнала с более высоким приоритетом микросхема осуществит плавный переход с низшего на высший по приоритету синхросигнал. Иногда в системах синхронизации телекоммуникаций стремятся минимизировать переходы между хронами при временной потере их качества, тогда микросхему можно запрограммировать так называемый «невозвратный» режим. В этом режиме микросхема, например, при потере качества синхросигнала, автоматически перейдет в режим удержания последней «хорошей» (без сбоя) синхросигналы и будет оставаться в режиме «удержание» продолжительное время в ожидании восстановления данной синхросигналы. Данный режим позволяет минимизировать фазовые скачки, которые возникают в системе синхронизации при переходах (пересинхронизациях) с одной синхросигналы на другую.

4. Микропроцессорный порт. Позволяет организовать управление микросхемой или синхронизации по параллельной или последовательной шине управления. В режиме параллельной шины управления микросхема может быть сконфигурирована для работы в стандарте Motorola, Intel или мультиплексированном режиме, передавая поочередно адрес, а затем данные. В последовательном режиме реализован интерфейс SPI, который позволит сэкономить на количестве подводимых к микросхеме линий управления, а также уменьшить количество задействованных в микропроцессоре линий ввода-вывода. Одним из очень интересных и весьма полезных решений, предложенных фирмой Semtech, является

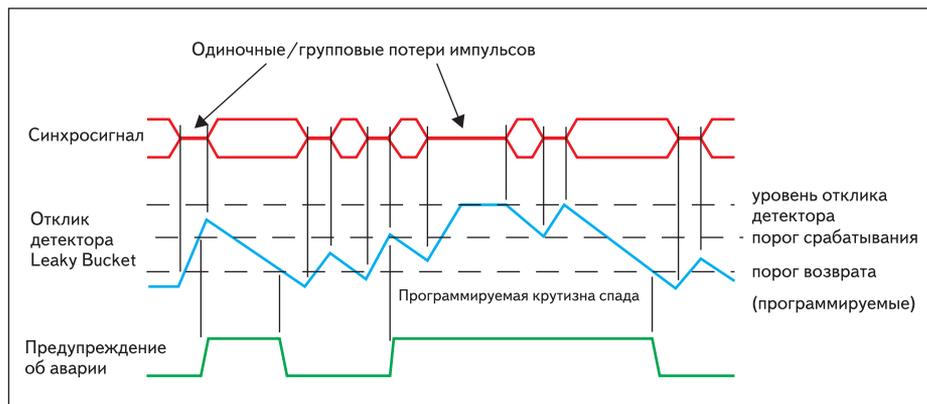


Рис. 2. Пороги срабатывания детектора Leaky Bucket

наличие интерфейса для подключения последовательной EPROM. Наличие такого интерфейса и подключенной микросхемы, например 24LC64, позволит микросхеме ACS8530 самостоятельно восстанавливаться (производить начальную загрузку) при включении питания или при других сбоях системы синхронизации.

5. Канал синхронизации T0. Этот блок более совершенен и гибок по сравнению с каналом синхронизации T4. Эти два автономных канала могут синхронизироваться к любой подведенной к входам синхросигналу в произвольном порядке. Рассмотрим основные составные части канала T0, которые просматриваются, хоть и в упрощенном виде, и в канале T4.

5.1. Цифровая система ФАПЧ на основе прямых цифровых синтезаторов частоты DDS. Что дает это в оценке поведения системы по сравнению с традиционными синтезаторами, аналоговыми ФАПЧ? Это, прежде всего, предсказуемость и определенность в поведении системы при организации различных действий по обработке входных синхросигналов, таких как захват частоты (синхронизация), пересинхронизация (переход между двумя хронизирующими сигналами) или же переход в режим «удержание» частоты встречной станции. Это высокая точность захвата частоты, низкие фазовые блуждания фронтов выходных синхросигналов. Благодаря цифровой структуре этого блока появляется возможность математической обработки потока информации, реализация методами цифровой фильтрации — подавления входного джиттера (высокочастотные дрожания фронтов) и вандера (низкочастотные фазовые блуждания фронтов) синхросигналов. Данная микросхема имеет очень низкую точку перегиба частотной характеристики подавления вандера — от 0,5 мГц до 70 Гц. Этот диапазон разбит на 18 фиксированных точек, которые программно могут быть установлены. На рис. 3 приведены типовые характеристики подавления вандера. Реализация анализа, измерения и усреднения разности частот входного хрона относительно собственного высокостабильного кварцевого генератора ОСХО (Open Controlled X-tal Oscillator) на промежутках времени до 110 минут (ближайшие аналоги имеют время усреднения всего 70 с). Тем самым обеспечивается очень высокая точность режима «удержание» синхросигналы. Точность удержания этой микросхемы имеет величину порядка $7,5 \times 10^{-14}$, что значительно превосходит аналоги. Что интересно, усредненное значение разности входной синхросигналы относительно соб-

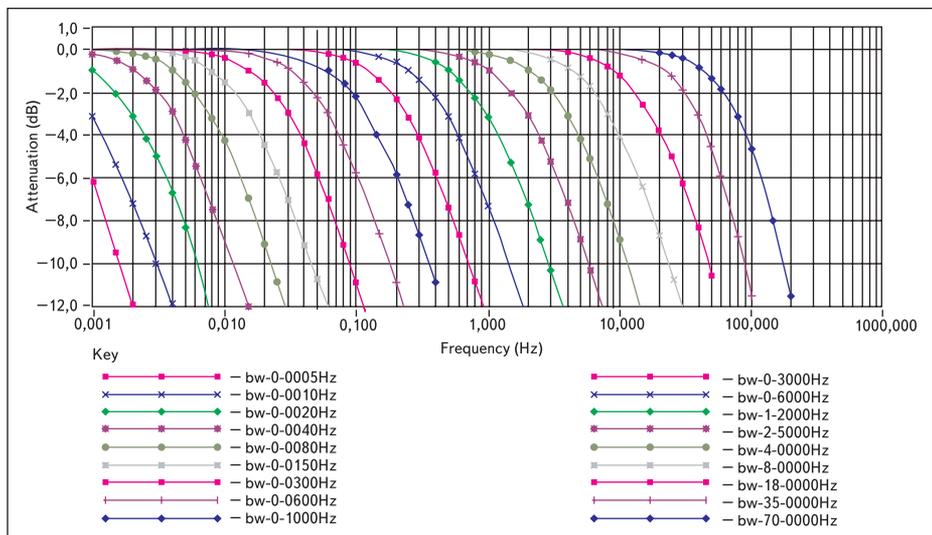
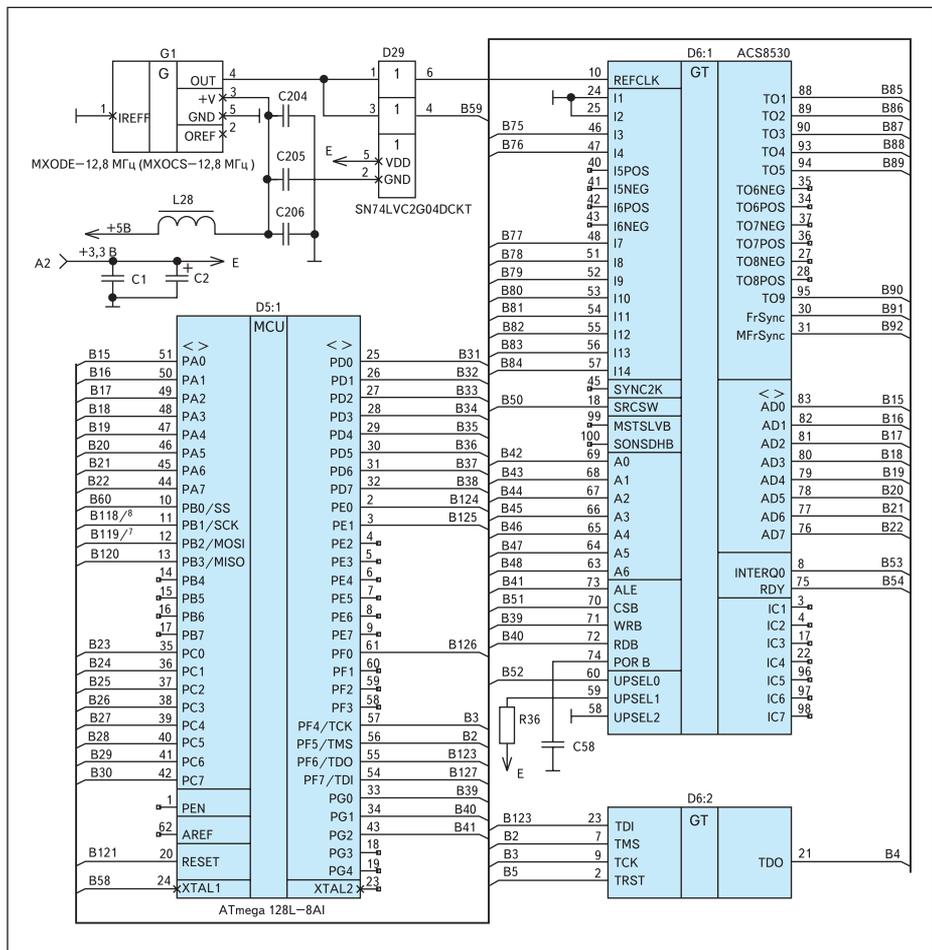


Рис. 3. Типовые характеристики подавления вандера

ственного высокостабильного кварцевого задающего генератора доступно микропроцессору как на чтение, так и на запись. Имея такую возможность, можно повысить точность режима «удержание», увеличив промежуток времени усреднения дрейфа частот, применив собственный алгоритм рас-

чета прогноза относительного дрейфа двух частот и введя алгоритм компенсации температурной нестабильности кварцевого генератора.

5.2. Аналоговая ФАПЧ. Особенностью аналоговой ФАПЧ в данной микросхеме является очень низкий фазовый шум выходных частот в диапазоне до 311 МГц.



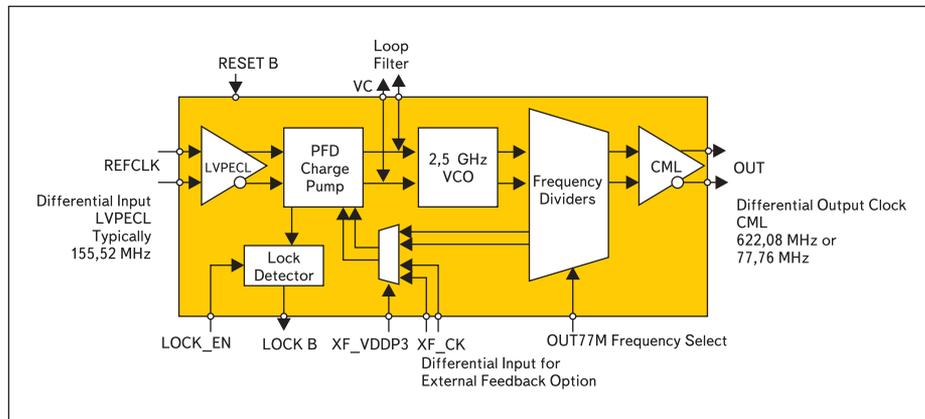


Рис. 5. Структурная схема основных элементов микросхемы ACS8942A

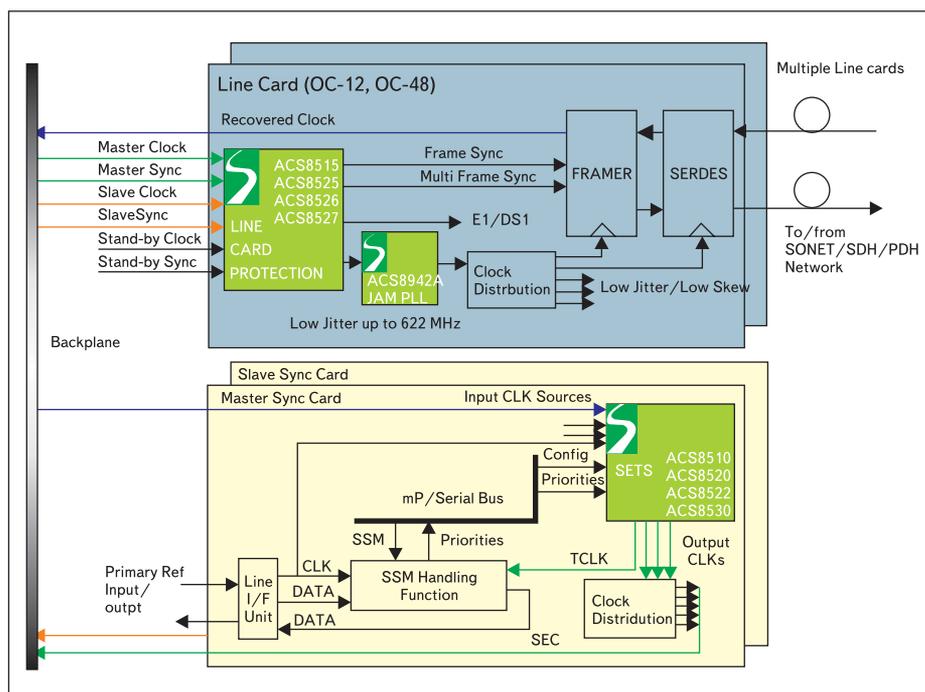


Рис. 6. Структурная схема взаимодействия микросхем синхронизации фирмы Semtech

Гибко конфигурируемая, индивидуально устанавливаемая по каждому выходу частота при малых фазовых отклонениях фронтов синхросигналов. Прецизионное выравнивание (с разрешением 6 пс) фронтов выходных синхросигналов при конфигурировании работы по схеме «Master-Slave» при резервировании генераторного оборудования.

5.3. Канал синхронизации T4. Этот канал синхронизации имеет упрощенную структуру и значительно меньшие функциональные возможности по сравнению с каналом T0. Одной из дополнительных характеристик канала T4 является способность измерять разность фаз между двумя входами.

6. Модуль кварцевого генератора. Обеспечивает прием и калибровку частоты задающего кварцевого генератора. Как известно, кварцевые генераторы имеют производст-

венный разброс по точности настройки номинала частоты (для прецизионных генераторов $\pm(1-2) \times 10^{-3}$ и порядка $\pm 1 \times 10^{-6}$ — для простых генераторов). Для устранения производственного разброса номинальной частоты простых генераторов в этом модуле микросхемы можно осуществить калибровку (компенсацию) номинала частоты. Осуществляя запись калибровочных констант в адресное пространство микросхемы через микропроцессорный порт ACS8530, можно откалибровать системную тактовую частоту 12,8 МГц в диапазоне $\pm 80 \times 10^{-6}$ с шагом $1,9 \times 10^{-8}$. С целью уменьшения джиттера выходных частот микросхемы можно программно выбрать для синхронизации фронт или спад системной частоты 12,8 МГц.

7. Модуль периферийного сканирования JTAG (Boundary Scan — IEEE 1149.1). Этот модуль не имеет никаких особенностей,

лишь является необходимой составной частью современного телекоммуникационного оборудования.

Решения построения генераторного оборудования на основе микросхемы ACS8530

Для получения высоких технических характеристик генераторного оборудования одной, хоть и высокотехнологичной, микросхемы не достаточно. Основоположающим фактором получения высоких технических характеристик является правильный выбор кварцевого генератора. Остановимся на этом вопросе более подробно. Критерием выбора кварцевого генератора является: минимальный фазовый шум и кратковременная нестабильность частоты (вариации Алана), влияющие на выходные фазовые дрожания (джиттер) синхросигналов; температурная и временная (до 3 суток) нестабильности, влияющие на точность режима «удержание» частоты встречной станции. На все эти характеристики существуют нормы ITU-T.

Кроме хорошей стабильности частоты для современного оборудования телекоммуникаций немаловажными являются требования минимизации энергопотребления, габаритных размеров и стоимости. По всем этим критериям для данной микросхемы идеально подходят высокостабильные кварцевые генераторы фирмы «Мэджик Кристалл», г. Омск. Генераторы этой фирмы имеют беспрецедентные, по мировым меркам, энергетические и габаритные размеры. При очень маленьких габаритах $35,5 \times 26,8 \times 1,6,6$ мм и потребляемой мощности всего 1 Вт (при напряжении 5 или 3,3 В) они имеют ультравысокие технические характеристики. Например, суточная и температурная нестабильность составляют величину $\pm 1 \times 10^{-10}$ (для генераторов с двойным термостатированием серии MXODE), а долговременная нестабильность в год — величину $\pm 1,6 \times 10^{-8}$. Ни один зарубежный производитель не производит в соответствующих габаритах, с соответствующей потребляемой мощностью и напряжением питания генераторов с такими высокими характеристиками и конкурентной ценой. Приведенные характеристики кварцевых генераторов полностью соответствуют требованиям ITU-T для транзитной станции, генераторному оборудованию уровня II (в международной классификации — Stratum II). На рис. 4 приведен фрагмент электрической принципиальной схемы сопряжения микросхемы ACS8530 с генераторами фирмы «Мэджик Кристалл».

Для задач тактирования оборудования OC-48/STM-16 в тандеме с микросхемой ACS8530 идеально сопрягается микросхема умножителя частоты ACS8942A JAM PLL. Эта микросхема, используя внутреннюю ФАПЧ, умножает входную тактовую частоту 155,52 МГц на четыре и формирует на выходе синхрочастоту 622,08 МГц с очень низким

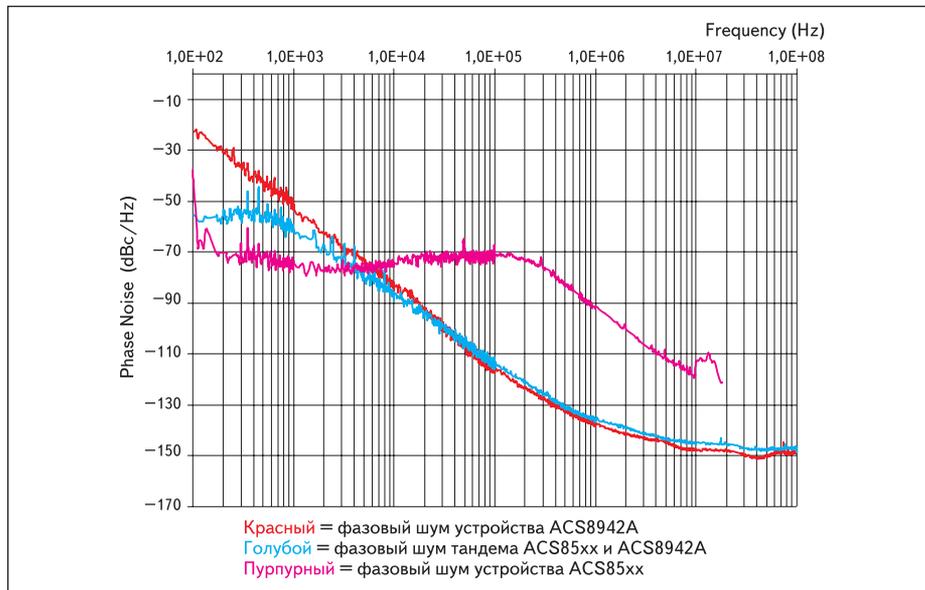


Рис. 7. Характеристики фазового шума, генерируемого тандемом из микросхемы синхронизации ACS8530 и микросхемы умножителя частоты ACS8942A

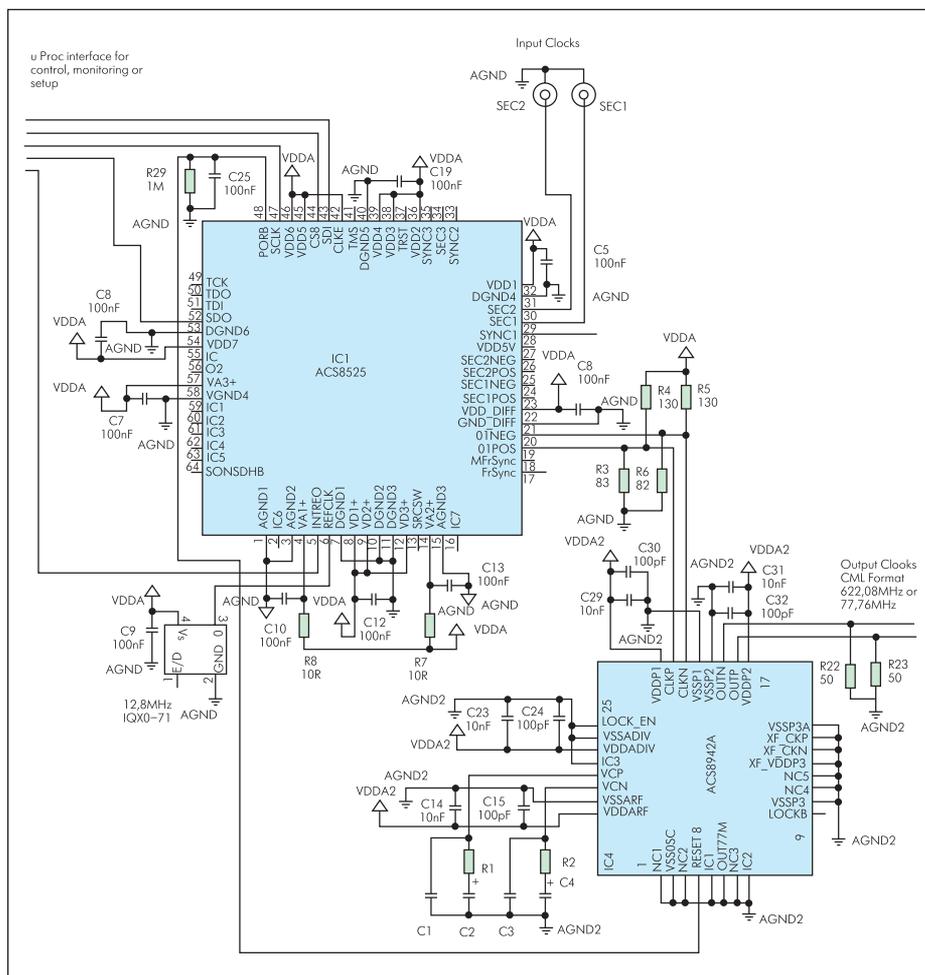


Рис. 8. Схема сопряжения микросхем ACS8530 и ACS8942A

выходным джиттером. Величина выходного джиттера синхросигнала 622,08 МГц имеет рекордно низкую для индустрии телекоммуникаций величину, которая составляет

130,1 пс (пиковое значение) и 13,01 пс (эффективное значение), измеренные в полосе частот от 1 кГц до 5 МГц. Такие высокие характеристики достигнуты благодаря реали-

зации в микросхеме высококачественного и высокочастотного ГУН (генератора, управляемого напряжением), работающего на частоте 2,5 ГГц. На рис. 5 приведена структурная схема основных элементов микросхемы ACS8942A JAM PLL.

Микросхема содержит входной и выходной драйверы в стандарте низко вольтовой логики PECL, схему накачки заряда «Charge Pump» — необходимую для управления ГУН, «Lock Detector» — индикатора захвата петлей ФАПЧ входной частоты и собственно ГУНа «VCO» с делителями частоты «Frequency Divider», определяющие необходимые коэффициенты умножения частоты микросхемы. Между схемой накачки заряда и ГУН предусмотрена установка внешней RC-цепочки, формирующей полосу пропускания петли ФАПЧ, которая обеспечивает устойчивость всей системы умножителя частоты.

Пример взаимодействия микросхем синхронизации фирмы Semtech при решении задач тактирования различного оборудования, выполненного по технологиям SONET, SDH и PDH, показан на рис. 6 в виде структурной схемы.

На рис. 7 приведены характеристики фазового шума, генерируемого микросхемами синхронизации ACS8530 и умножителя частоты ACS8942A JAM PLL.

На рис. 8 приведен пример электрической принципиальной схемы сопряжения микросхем ACS8530 и ACS8942A JAM PLL.

Заключение

Синхронизация телекоммуникаций — стремительно развивающаяся отрасль техники. Совершенствуется не только элементная база, на которой строится оборудование синхронизации, но и меняются подходы к построению и управлению данным оборудованием. В настоящее время производители стремятся разрабатывать данное оборудование с использованием сетевых технологий, которые позволяют перейти от просто синхронизации к сетям управления синхронизацией в масштабе отдельных государств. Только делая ставку на самую передовую элементную базу, доступную на рынке электронных компонентов, таких как фирма Semtech, можно достигнуть высоких технических характеристик оборудования и обеспечить конкурентоспособность проектируемого изделия.

Литература

1. www.semtech.com
2. www.magicxtal.com
3. Рекомендации ITU-T, серия G.812, G.823.
4. ACS8530 SETS Synchronous Equipment Timing Source for Stratum 2/3E Systems datasheet. Revision 3.01/October 2003 6. ACS8942A JAM PLL Jitter Attenuating, Multiplying Phase Locked Loop for SONET/SDH Applications to OC-48/STM-16 datasheet. Revision 1.06/March 2005