ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СИНТЕЗАТОРЫ СЕТКИ СТАБИЛЬНЫХ ЧАСТОТ СЕРИИ LMK0300X NATIONAL SEMICONDUCTOR

АЛЕКСАНДР САМАРИН, научный консультант, ИД «Электроника»

Синхронизация — важный элемент в любых системах преобразования и передачи данных. Обычно используется синтез сетки частот привязанных по фазе к опорной частоте. Причем во многих случаях важно не только формирование заданной и стабильной во времени частоты, но и обеспечение как можно меньшего уровня фазового шума. Шум синхронизации дает неопределенность дискретизации при измерениях, уменьшает разрешение, дает ухудшение результатов при корреляционной обработке. Поскольку шум синхронизации вносит свой вклад во все компоненты систем — этот параметр является одним из важных для разработчика в процессе проектирования системы. National Semiconductor представила новую серию LMK0300x синтезаторов сетки стабильных частот «Precision Clock Conditioner» для системной синхронизации, которые обеспечивают низкий уровень фазового шума. Высокая степень интеграции синтезаторов, а также использование компактных корпусов позволяет упростить разработку, снизить стоимость устройства и уменьшить площадь, занимаемую компонентами синтезатора.

ВВЕДЕНИЕ

В синтезаторах частот для системной синхронизации, как правило, используется генератор, управляемый напряжением (ГУН) и ФАПЧ. Для синхронизации во многих устройствах требуется также и формирование сетки частот привязанных к выходной частоте ГУН. Сетка может содержать несколько сигналов разной частоты, сдвинутых по фазе. При распространении высокочастотных сигналов синхронизации по печатной плате неизбежно возникают задержки фронтов. Для компенсации задержек и выравнивания фронтов сигналов синхронизации используются дополнительные микросхемы программируемых линий задержки, или же задержка сигналов обеспечивается топологией и длиной проводников.

Синтезаторы частоты серии LKM0300xx предоставляют законченную архитектуру системной синхронизации (sub-system), которая содержит не только генератор стабильной частоты с низким фазовым шумом и джиттером, но и встроенный формирователь сетки частот с программируемыми параметрами частоты и задержки и различной логикой выходных сигналов. Для повышения помехозащищенности и уменьшения искажений высокочастотных сигналов синхронизации на входе и выходах используются дифференциальные уровни интерфейсов LVDS и LPECL. Высокочастотные дифференциальные интерфейсы обеспечивают точность передачи фронтов сигнала системной синхронизации. Чтобы выделить новый тип синтезаторов, обладающих уникальными характеристиками, фирма National Semiconductor использует новый термин: «Precision Clock Conditioner».

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СИНТЕЗАТОРОВ СЕРИИ LMK0300XX

Серия представлена микросхемами LMK03000, LMK03001 и LMK03002 (см. табл. 1).

Базовые элементы структуры всех микросхем серии одинаковые. Различие

Таблица 1. **Основные характеристики интегральных синтезаторов частоты серии LMK0300x**

	LMK03000	LMK03001	LMK03002
Диапазон выходной частоты, МГц	1...648	1...785	1...862
Диапазон частоты перестройки ГУН, МГц	1185...1296	1470...1570	1566...1724
Диапазон частоты внешнего опорного генератора, МГц	1...200		
Частота работы фазового детектора, МГц	Не более 40		
Число частотных каналов с LVDS-выходами, нагрузка 100 Ом	3		0
Число частотных каналов с LVPECL-выходами, нагрузка 50 Ом	5		4
Диапазон программируемых коэффициентов деления выходных частотных каналов	0—510 (8 разрядов)		
Диапазон программируемых задержек в выходных частотных каналах, пс	0...2250 (4 разряда)		
Нормализованный фазовый шум ФАПЧ, dBc/Гц	224		
Уровень джиттера внутреннего генератора, (для полосы частот от 12 до 20 МГц), нормируется только для модификаций «С»	200 фс		
Фильтрация джиттера, фс	400 «С»		800
	800		
Напряжение питания, В	315...345		
Ток потребления в рабочем режиме макс., мА	161,8		175
С выключенными выходами, мА	86		
Потребление в режиме Power Down, мА	1		
Корпус	LLP-48 (70 × 70 × 0,8 мм)		

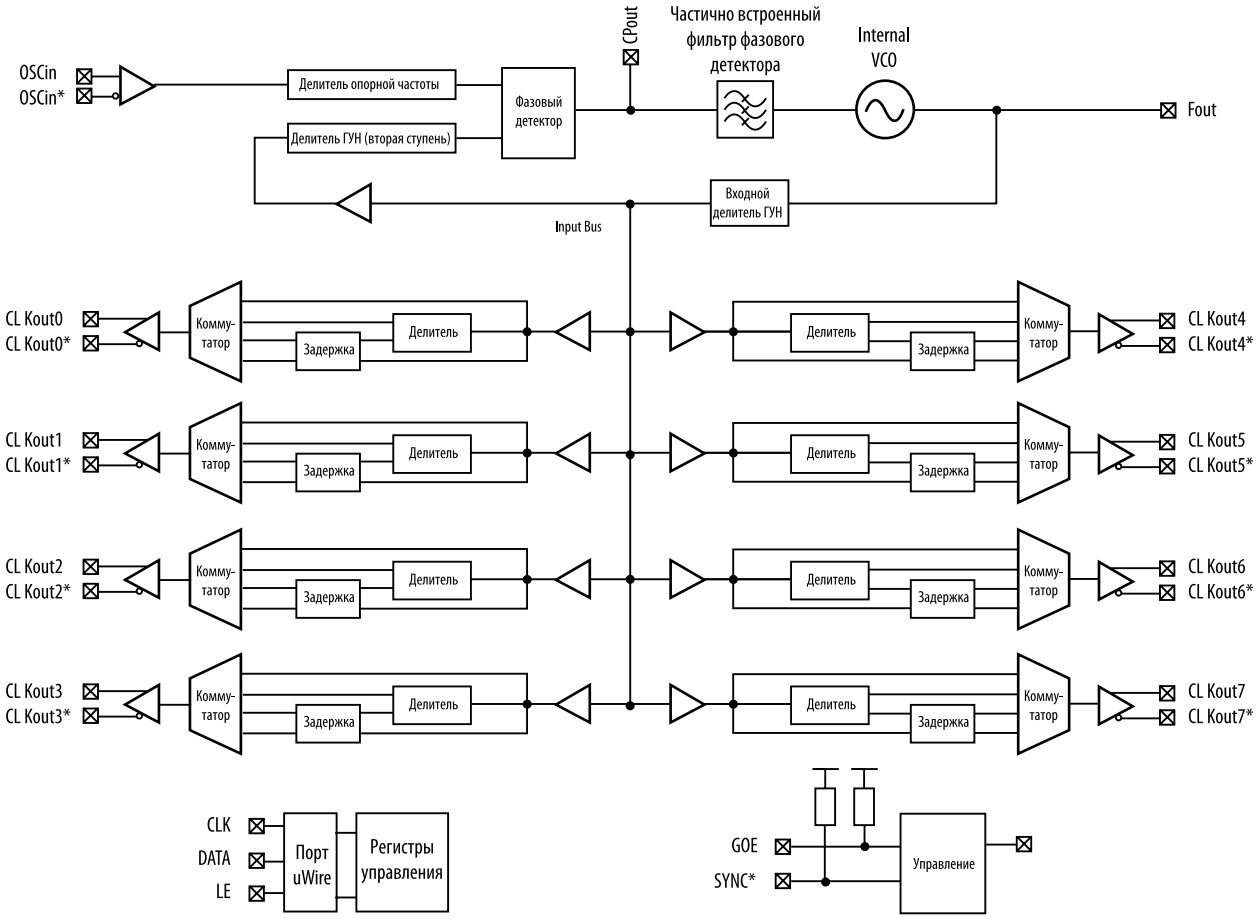

Рис. 1. **Структурная схема синтезатора сетки частот LMK03000x/03001x**

между ними определяется по следующим параметрам:

– диапазон перестройки частот ГУН;

– число частотных каналов в модуле распределения частот;

– уровень джиттера частоты ГУН.

Номера серии — 0/1/2 определяют три разных диапазона перестройки частот для ГУН. Наличие суффикса «C» после номера серии определяет меньший уровень джиттера — 400 фс (800 фс без суффикса). LMK03000/LMK03001 — полнофункциональные, 8-канальные модификации синтезатора. LMK03002 — более дешевая 4-канальная модификация. Все микросхемы выпускаются в корпусе LLP-48 и совместимы по выводам. Рабочий диапазон температур –40…85°C.

СТРУКТУРА И РАБОТА СИНТЕЗАТОРА СЕТКИ ОПОРНЫХ ЧАСТОТ

Структура синтезатора сетки стабильных частот состоит из генератора управляемого напряжением с петлей ФАПЧ и нескольких модулей программируемых делителей частоты с программируемым фазовым сдвигом, синхронизируемых от выходной частоты ГУН (см. рис. 1). В схеме ФАПЧ используется счетчик по модулю N, включенный между выходом ГУН и фазовым детектором. При помощи этого счетчика получают частоту, кратную входной опорной частоте refOSC. Делители R и N (вместе с предделителем Input Divider) обеспечивают, соответственно, деление входной частоты и частоты на выходе ГУН для того, чтобы «нормализовать» их для работы фазового детектора. Фазовый детектор сравнивает «нормализованные» частоты сигналов $f_{вх}$ и $f_{гун}$ и генерирует выходной сигнал, который является мерой их фазового рассогласования.

Детектор формирует выходные импульсы только тогда, когда есть фазовое рассогласование между опорным сигналом и сигналом ГУН. Если рассогласование отсутствует, выход детектора находится в третьем состоянии, а конденсатор контурного фильтра действует как запоминающее устройство, сохраняя напряжение, при котором ГУН поддерживает необходимую частоту. Если изменится частота опорного сигнала, фазовый детектор сформирует последовательность коротких импульсов, которые зарядят (или разрядят) конденсатор фильтра до нового напряжения, необходимого для возврата ГУН в синхронизм. В качестве низкочастотного фильтра на выходе фазового детектора используются фильтры четвертого порядка, поскольку в большинстве применений система ФАПЧ должна обеспечивать малые флуктуации фазы выходного сигнала.

Особенность архитектуры Precision Clock Conditioner — реализация встроенных компонентов некоторой части ФНЧ, что обеспечивает низкий температурный дрейф и высокую стабильность параметров ГУН. Программируемый выбор параметров встроенного фильтра обеспечивает оптимальную настройку передаточной характеристики ГУН.

Модификации LMK03000/030001 имеют 3 формирователя частотных сигналов с LVDS-выходами, и 5 каналов частотных формирователей с LVPECL-выходными сигналами. Каждый из выходов может быть программно выключен. Функции синтезатора программируются через последовательный интерфейс Microwire. Каждый блок формирователя частоты имеет программируемую задержку для заданного сдвига фазы выходного сигнала относительно центральной частоты. Модификация LMK03002 имеет меньшее число выходных каналов и, как следствие, более низкую стоимость.

СТРУКТУРА ГУН СИНТЕЗАТОРОВ СЕРИИ LMK0300XX

Ключевой элемент синтезатора — ГУН с низким уровнем фазового шума. В первую очередь точностные параметры

генератора обеспечиваются благодаря использованию встроенных стабилизаторов напряжения, а также уникальной технологии, которая позволила обеспечить стабильный режим генерации. Уровень фазового шума генератора зависит и от оптимального выбора характеристики встроенного и внешнего фильтра, а также выбора оптимальной частоты для работы фазового детектора. Рекомендации по расчету и оптимизации базовых параметров структуры ГУН+ФАПЧ приведены в документации на синтезаторы. В структуре генератора использованы три делителя частоты (см. табл. 2).

При расчете коэффициента деления частоты ГУН должно приниматься в расчет, что суммарный коэффициент деления выходной частоты ГУН равен сумме коэффициентов делителей VCO divider и N divider. При выборе пар предварительный делитель (VCO divider) определяет верхнюю частоту сетки частот. Выбор делителей ГУН и входной частоты определяет частоту работы фазового детектора.

ФИЛЬТР НИЗКИХ ЧАСТОТ

Фильтр нижних частот представляет собой весьма критичную часть системы ГУН. Вид АЧХ ФНЧ и его параметры выбираются из соображений:

– подавления нежелательных частотных компонент (помех) на выходе фазового детектора;

– снижения длительности переходного процесса при переключении рабочей частоты;

– обеспечения устойчивости процесса автоподстройки частоты;

– уменьшения установившейся разности фаз опорного колебания и сигнала ГУН в пределах полосы синхронизма

Фазовый детектор синтезаторов серии LMK0300x выполнен по классической схеме с накачкой заряда. Четырехполюсный фильтр образован внутренними и внешними RC-элементами (см. рис. 2). Параметры внутреннего двухзвенного RC-фильтра программируются через режимные регистры. Отношение R3C2 (см. табл. 3) определяет время сглаживания контура, а отношение R4/R3 — демпфирование, то есть отсутствие выбросов при скачкообразном изменении частоты.

ПРОГРАММИРУЕМЫЙ ГЕНЕРАТОР ТОКА

На выходе фазового детектора используется схема зарядового насоса. Он состоит из программируемого генератора тока и ключей заряда-разряда емкости ФНЧ фильтра. Ключи управляются выходным сигналом фазового детектора. Величина тока зарядового насоса определяется исходя из требуемой передаточной характеристики ГУН. При больших значениях

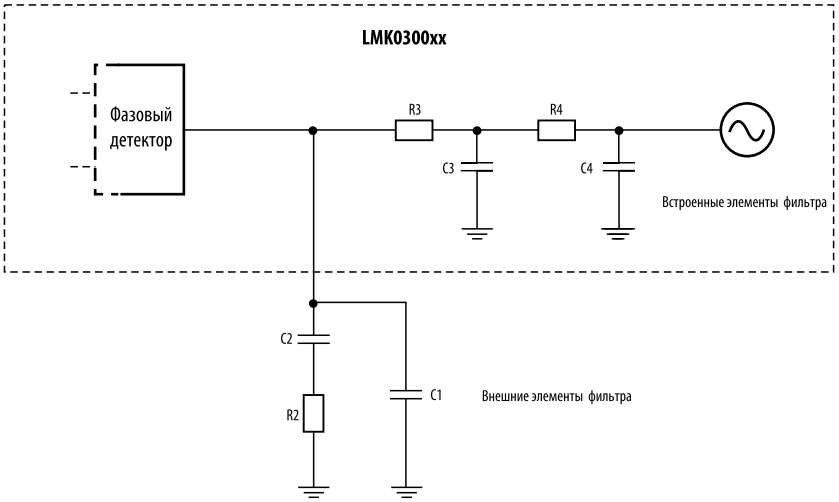

Рис. 2. **Структура выходного фильтра фазового детектора**

тока требуется использовать емкость большего значения. Возможна программируемая установка одного из четырех значений выходного тока фазового детектора (Charge Pump Current): 100/400/1600/3200 мкА. Для установки величины генератора тока в схеме накачки на выходе фазового детектора (PLL Charge Pump Gain) используются два разряда PLL_CP_GAIN[1:0] в управляющем регистре. Правильный выбор значения тока обеспечивает также снижение уровня фазового шума частоты синтезатора.

КАЛИБРОВКА ЧАСТОТЫ ГУН

Центральная частота ГУН определяется при производстве микросхемы синтезатора и имеет неизбежный разброс. Для точной программной подстройки центральной частоты и компенсации температурного дрейфа ГУН в структуре синтезатора используется специальный модуль калибровки. Для калибровки используется входной сигнал опорной частоты F_{ref}. Эталонная частота для фазового детектора в режиме калибровки — около 1 МГц. Для получения эталонного сигнала из сигнала входной частоты в модуле калибровки используется программируемый 8-разрядный делитель. Диапазон допустимых значений делителя 1—200 соответствует диапазону входной частоты 1...200 МГц.

Известное пользователю значение входной частоты, выраженное в МГц, округляется до ближайшего целого числа, которое и будет этим коэффициентом деления. Программа начальной установки должна обеспечить запись в управляющий регистр делителя значения соответствующего значению входной частоты. Алгоритм калибровки запускается автоматически каждый раз при любом изменении значения режимного регистра, в котором задается коэффициент делителя частоты ГУН. Наличие калибровочного модуля и встроенного алгоритма автоматической калибровки обеспечивают

Таблица 2. **Характеристики делителей ГУН**

Делитель частоты	Назначение	Разрядность счетчика	Диапазон допустимых значений
VCO divider	Делитель выходной частоты ГУН. Входная частота для модулей формирователей сетки частот	4	2—8
N divider	Делитель частоты ГУН для согласования с частотой фазового детектора	18	1—262143
R divider	Делитель входной опорной частоты ГУН для согласования с частотой фазового детектора	12	1—4095

Таблица 3. **Программируемые параметры встроенного ФНЧ**

Элемент встроенного фильтра	Программируемые значения
C3	50/100/150 пФ
C4	10/60/110/160 пФ
R3\R4	10/20/30/40 кОм

поддержание стабильной частоты синтезатора во всем диапазоне рабочих температур.

ФОРМИРОВАТЕЛЬ СЕТКИ ЧАСТОТ

Формирователь сетки частот предназначен для получения заданного набора производных частот, привязанных к частоте глобальной синхронизации и имеющих определенный фазовый сдвиг. Производная частота получается делением и/или сдвигом по фазе сигнала ГУН, поступающего с выхода делителя V_{co} divider. Каждый блок распределения частоты содержит программируемый делитель, блок фазовой задержки сигнала с программируемой величиной задержки, коммутатор частотных сигналов, а также выходной дифференциальный формирователь с уровнями LVDS или LVPECL. Например, для модификации LMK03000 имеется две группы модулей распределения — одна группа с уровнями выходных сигналов LVDS предназначена для относительно низкочастотных сигналов, а другая группа с уровнями LVPECL для трансляции высокочастотных сигналов системной синхронизации.

С помощью программируемого 4-канального коммутатора можно подключить к выходному формирователю один из четырех сигналов:

– сигнал частоты ГУН после делителя на 2;

– деленный на N сигнал глобальной частоты;

– задержанный на T пс сигнал глобальной частоты;

– задержанный на T пс сигнал деленной на N частоты ГУН.

Для каждой из четырех схем коммутации регламентируется фиксированная задержка сигнала обусловленная структурой самого коммутатора. Задержка должна учитываться разработчиком при расчете фазовых сдвигов в формируемой сетке частот. Блок сдвига фазы обеспечивает задержку частотного сигнала ГУН в диапазоне от 0...2250 пс с шагом 150 пс. Программирование фазового сдвига осуществляется через регистр управления длительностью задержки (CLKoutX_DLY). За время 150 пс электромагнитный сигнал в вакууме проходит путь около 45 мм. Примерно с таким дискретом с помощью модуля задержки можно осуществлять выравнивание фронтов различных частотных сигналов, распространяемых по проводникам различной длины.

С помощью программируемого 8-разрядного счетчика-делителя из выходной частоты ГУН может быть получена требуемая частота для каждого выходного канала. Диапазон допустимых значений для коэффициентов деления: 2—510. Таким образом, максимальная частота на выходе частотного канала равна половине значения выходной частоты ГУН.

ГЛОБАЛЬНАЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ ВЫХОДНЫХ ЧАСТОТ

В синтезаторах серии Precision Clock Conditioner реализована еще одна очень полезная функция глобальной синхронизации всех выходных частотных сигналов. Управление синхронизацией осуществляется по внешнему сигналу SYNC глобальной синхронизации (см. рис. 3). Процесс синхронизации производится следующим образом:

Сигнал SYNC действует на счетчики-делители выходных каналов как сигнал сброса (с активным низким уровнем) с задержкой в четыре периода центральной частоты. При переходе сигнала SYNC из высокого логического уровня в течение четырех полных периодов центральной частоты (частота на входах делителей частоты — шина Input Bus) выходные частотные сигналы сохраняют свое значение. Затем, если низкий уровень SYNC сохраняется, то и на всех выходах частотных каналов устанавливается также низкий логический уровень. Сигнал CLKout0 поступает с выхода ГУН и на него сигнал SYNC не действует.

После перехода сигнала SYNC на высокий логический уровень (разрешение выходов) в течение 4 полных периодов центральной частоты на выходах частотных каналов сохраняется низкий уровень, а затем высокий. Если игнорировать использование сигнала SYNC, что возможно, то не гарантируется фазирование выходных частотных каналов. Для обеспечения стабильных характеристик генератора в структуре микросхем используется два встроенных стабилизатора напряжения LDO1 и LDO2. Для фильтрации выходных напряжений стабилизаторов должны устанавливаться внешние конденсаторы. Подключение сигнала опорной частоты осуществляется через дифференциальные входы с емкостной развязкой.

ПРОГРАММИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИНТЕЗАТОРА

Для загрузки параметров синтезатора используется последовательный трехпроводный интерфейс uWire (MICROWIRE). Параметры программируются через тринадцать 32-разрядных регистров. Каждый регистр содержит адресное поле (4 бита) ADDR[3:0] и поле данных (28 разрядов) DATA[27:0]. Значения регистров определяют следующие параметры синтезатора:

– частоту делителя опорной частоты;

– делитель частоты ГУН;

– целочисленное значение входной опорной частоты для калибровки ГУН;

– сигнал управления разрешением выхода частоты глобальной синхронизации;

– ток схемы charge pump фазового детектора;

– параметры фильтра ФНЧ;

– активность выходных частотных каналов (enable/desible);

– режим синтезатора (PowerDown);

– параметры частоты и фазового сдвига в каналах формирователя сетки частот;

– управление коммутаторами в блоках распределения частот.

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИНТЕЗАТОРОВ СЕТКИ ОПОРНЫХ ЧАСТОТ

– синхронизация в блоках обработки данных;

– сетевое оборудование SONET/SDH, DSLAM;

– внутренняя синхронизация сети радиоканала;

– медицинское диагностическое оборудование;

– оборудование измерительное и тестовое;

– военное и аэрокосмическое оборудование.

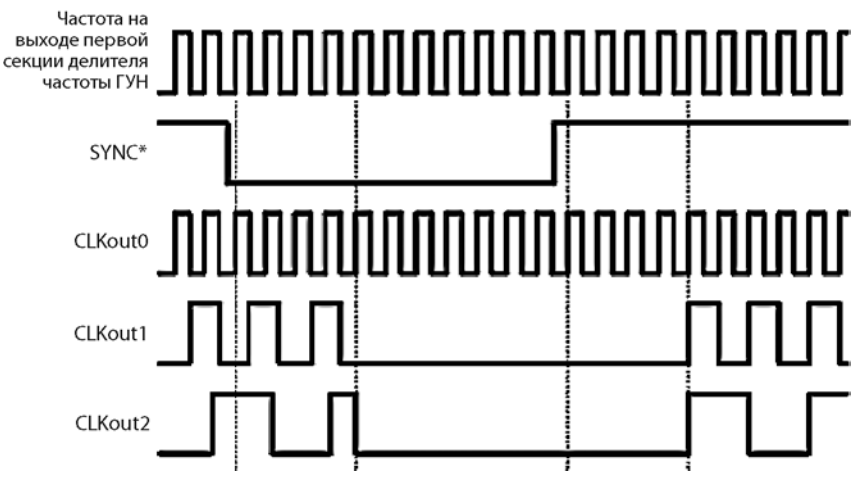

Рис. 3. **Временные диаграммы глобальной синхронизации трех частотных каналов**

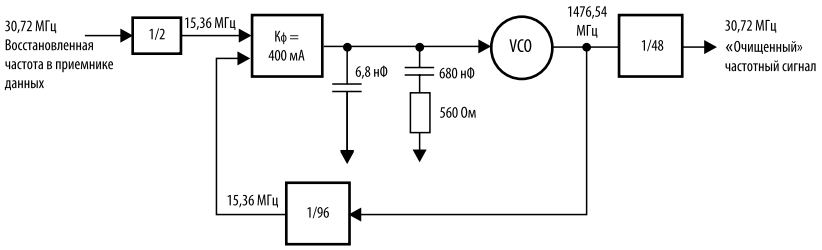

Рис. 4. **Пример выбора параметров ФАПЧ для «очистки» входного сигнала 30,72 МГц**

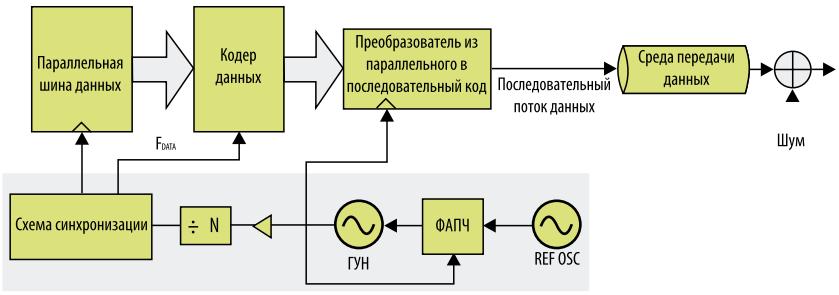

Рис. 5. **Пример использования синтезатора частоты в системе преобразования параллельного кода в последовательный код**

ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Простые цифровые ФАПЧ, обычно используемые в структуре трансиверов линейных интерфейсов, не обеспечивают выделение «чистого» тактового сигнала, который необходим в цепях глобальной синхронизации компьютерных сетей обработки и передачи данных. Параметры сигнала синхронизации, например полученного с выхода приемника трансивера, можно значительно улучшить с помощью синтезатора серии Precision Clock Conditioner. На рисунках 4, 5 приведены типовые схемы применения синтезатора частот LMK0300xx в режиме «очистки» входного сигнала от фазового шума и джиттера, а также в режиме формирователя сетки опорных частот для конвертора сигналов параллельной шины в последовательный сигнал.

Исходный опорный сигнал был восстановлен, например, в приемнике трансивера сетевого интерфейса. В процессе передачи, а также в результате многократных регенераций сигналов в узлах сети, к сигналу синхронизации добавились шумовые составляющие — джиттер и фазовый шум. В процессе «очистки» производится подмена частоты частотой, синтезируемой стабильным генератором на базе ФАПЧ с ГУН. Реально же сигнал не фильтруется — он служит опорным для синтеза новой частоты с тем же периодом, но только без шумов дрожания периода или фронтов сигнала. Для синхронизации работы блока конвертора используются три сигнала синтезатора с нужными фазовыми задержками.

ОЦЕНОЧНЫЙ НАБОР ДЛЯ СИНТЕЗАТОРА LMK0300XX

Оценочный набор содержит тестовую плату и ПО CodeLoader. Программа CodeLoader обеспечивает доступ к внутренним регистрам микросхемы LMK03000C через интерфейс MICROWIRE. Интерфейс эмулируется через сигналы LPT-порта компьютера или USB. Пользуясь интуитивно понятным графическим интерфейсом можно выбирать и программировать параметры синтезатора: входную частоту, коэффициенты делителей, параметры фильтров, настройки канальных выходных модулей частотных сигналов. Уровень джиттера и фазовых шумов можно проконтролировать анализатором спектра, например, типа Agilent E5052A. Величину задержки в частотных каналах можно измерить с помощью цифрового осциллографа Agilent Infiniium DSO81204A.

ЛИТЕРАТУРА

1. LMK03000/LMK03000C/LMK03001/ LMK03001C Precision Clock Conditioner with Integrated VCO. Datasheet National Semiconductor. April 2007.

2. LMK03002/LMK03002C Precision Clock Conditioner with Integrated VCO. Datasheet National Semiconductor . April 2007.

3. Using the LMK03000C to Clean Recovered Clocks. National Semiconductor Application Note 1734 Dean Banerjee October 2007.

4. LMK03000C Precision Clock Conditioner with Integrated VCO Evaluation Board Operating Instructions 8-1-2007.

5. Clock Conditioner Owner's Manual. National Semiconductor 2006.

6. Штрапенин Геннадий. Интегральные радиочастотные синтезаторы частоты с ФАПЧ National Semiconductor // Компоненты и Технологии №1 2006г.

7. Белов Л. Синтезаторы стабильных частот // Электроника НТБ №3 2004г.

Semitex

Компания «СЕМИТЭКС»

Оптовые поставки

- выпрямительные мосты,
- выпрямительные диоды общего применения
- быстровосстанавливающиеся диоды
- супер быстровосстанавливающиеся диоды
- ультра быстровосстанавливающиеся диоды
- диоды Шоттки
- стабиллитроны
- слабосигнальные переключающиеся диоды
- диаки
- защитные диоды
- биполярные транзисторы

Производитель YANGJIE ELECTRONIC

UKAS QUALITY MANAGMENT

E230084

ISO 9001:2000 cert. №1234

Представительства компании «СЕМИТЭКС»:

Санкт-Петербург,
ул. Учительская, д. 23,
офис 206
+7(812)324-23-50
spb@semitex.ru

Москва,
ул. Новопоселковая,
д. 6, стр. 40
+7(495)363-62-99
+7(495)540-76-37
art@semitex.ru

www.semitex.ru