СЕМЕЙСТВО ТАКТОВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ MicroClock КОМПАНИИ RENESAS

ПО МАТЕРИАЛАМ КОМПАНИИ RENESAS

Перевод **Д.П. КОЗЛОВА**, kdp@scanti.ru

В статье подробно описываются особенности использования тактовых генераторов семейства MicroClock компании Renesas. Статья представляет собой перевод руководства по применению AN-1045 [1].

ВВЕДЕНИЕ

Тактовые генераторы MicroClock (см. табл.) представляют собой устройства чрезвычайно малого размера с очень низким энергопотреблением. Все устройства этого семейства предназначены для портативной и носимой электроники. Энергопотребление определяется не только внутренней схемой устройства MicroClock – внешние цепи также оказывают влияние на потребление электроэнергии. В этой статье описывается настройка устройства MicroClock, подключение внешних цепей для оптимизации энергопотребления и других важных параметров. Программный пакет IDT Timing Commander используется при конфигурировании программных настроек и помогает оптимизировать энергопотребление.

У всех устройств MicroClock одинаковый корпус небольшого размера – 10-DFN, 2×2 мм. Устройства серии 5X позволяют сэкономить место на плате за счет встроенного кварцевого резонатора, благодаря чему они очень подходят для носимой электроники.

Самое низкое энергопотребление устройств 5L1503L и 5X1503L достигается при выдаче только одной частоты 32,768 кГц путем контроля амплитуды выходного сигнала на выходе ВЫХ1 = 32,768 кГц. Все устройства MicroClock могут также управлять амплитудой сигналов на ВЫХ2 и ВЫХ3.

Таблица. **Семейство изделий MicroClock 5X1503/5L1503**

Изделие	Описание	Корпус
5L1503	Стандартное устройство MicroClock	10-DFN
5L1503L	Устройство MicroClock с очень низким энергопотреблением	10-DFN
5L1503S	Устройство MicroClock с расширенным спектром	10-DFN
5X1503	Стандартное устройство MicroClock с встроенным кварцевым резонатором	10-DFN
5X1503L	Устройство MicroClock с очень низким энергопотреблением и встроенным кварцевым резонатором	10-DFN
5X1503S	Устройство MicroClock с встроенным кварцевым резонатором и расширенным спектром	10-DFN

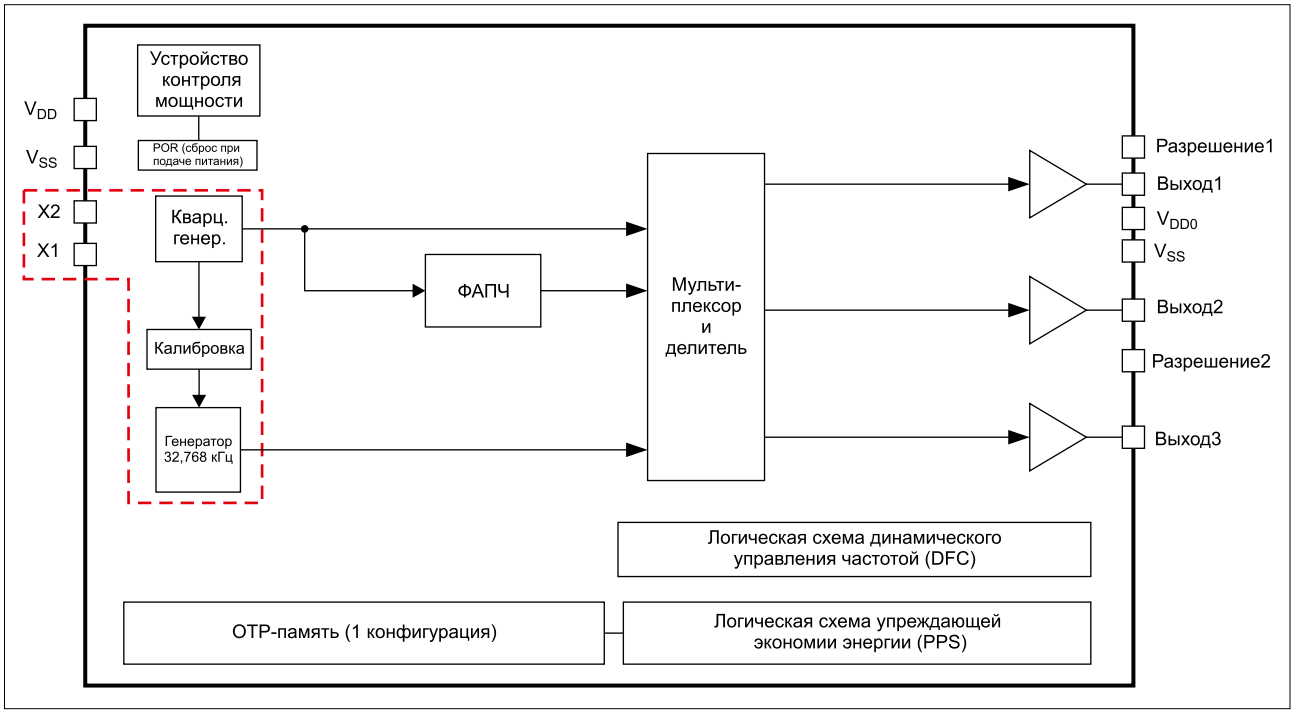

Рис. 1. **Структурная схема устройства MicroClock**

РАБОТА С ОЧЕНЬ НИЗКИМ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ

Устройство MicroClock потребляет минимум электроэнергии только при выдаче частоты 32,768 кГц. Это возможно благодаря управляемому генератору с очень низким энергопотреблением. Он представляет собой генератор колебаний с частотой 32,768 кГц. Сам по себе генератор не достигает точности, необходимой для выдачи тактового сигнала с частотой 32,768 кГц, но он синхронизуется со встроенным или внешним кварцевым резонатором. Низкое энергопотребление достигается включением кварцевого резонатора на несколько миллисекунд для подстройки частоты генератора и последующим его отключением на несколько секунд до нового цикла подстройки. Если генератор работал чуть медленнее при очередной подстройке, то его частота немного увеличится, чтобы за следующий цикл подстройки наверстать общее количество тактовых импульсов. Таким образом, средняя точность тактовой частоты 32,768 кГц соответствует тактовой частоте встроенного или внешнего кварцевого резонатора, и тактовый сигнал с частотой 32,768 кГц может использоваться в приложениях реального времени.

Структурная схема устройства MicroClock показана на рисунке 1. Блоки, связанные с формированием тактового сигнала частотой 32,768 кГц, выделены красным цветом.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНФИГУРАЦИЯ ДЛЯ НИЗКОГО ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ

Конструкция устройств MicroClock позволяет снизить энергопотребление, однако не менее важно оптимизировать схемы, окружающие MicroClock, чтобы обеспечить низкое потребление. Например, нагрузка на выходе тактового сигнала влияет на то, сколько энергии необходимо формирователю этого сигнала.

Длина проводника линии тактового сигнала. Важной частью выходной нагрузки является линия тактового сигнала. Чем она длиннее, тем больше нагрузка от нее, и тем больше ток питания в выходном формирователе. Проводник тактового сигнала можно рассматривать как линию передачи (50 Ом) или как емкостное сопротивление относительно земли. Семейство тактовых генераторов MicroClock предназначено для использования в носимой электронике, где путь тактового сигнала всегда относительно короткий. В таких изделиях энергопотребление играет очень важную роль, и, к счастью, небольшой размер этих трактов помогает минимизировать ток питания.

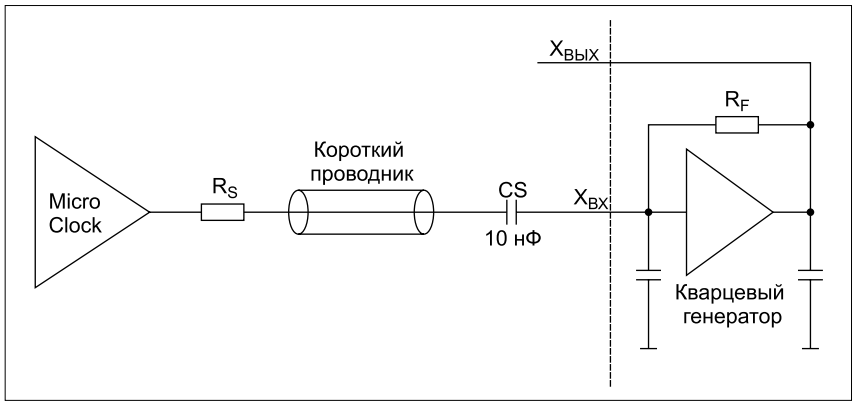

Рис. 2. **Подключение ко входу кварцевого генератора**

Амплитуда тактового сигнала. Одной из программируемых характеристик устройства MicroClock для оптимизации энергопотребления является амплитуда тактового сигнала. Чем она больше, тем больший ток потребляет формирователь тактовых сигналов. Стандартный формирователь LVCMOS работает при полной амплитуде выходного сигнала. При VDD = 1,8 В амплитуда такового сигнала равна 1,8 В. Амплитуду на выходах 2 и 3 можно снизить до 1,2, 1,1 или 1,0 В. Конечно, входы устройства, куда подаются эти сигналы, должны допускать работу с меньшей амплитудой.

• **Подключение ко входу для кварцевого резонатора** (см. рис. 2). В большинстве случаев такие входы лучше всего работают именно при сигнале с малой амплитудой, что является беспроигрышной ситуацией, т. е. при меньшей амплитуде снижается мощность, потребляемая устройством. Рекомендуется установить значение амплитуды 1,0 В и связать выход MicroClock со входом кварцевого генератора устройства–потребителя по переменному току.

Проводник от выхода устройства MicroClock до входа кварцевого генератора должен быть по возможности максимально коротким для минимизации паразитной емкости цепи. Если проводник короче 2,5 см, нет необходимости проектировать трассу как линию передачи и использовать резистор R_S. При проектировании трассы тактового сигнала как линии передачи 50 Ом значением R_S должно быть равным 22 Ом, чтобы выход устройства соответствовал полному сопротивлению цепи.

В большинство кварцевых генераторов интегрировано сопротивление R_F,

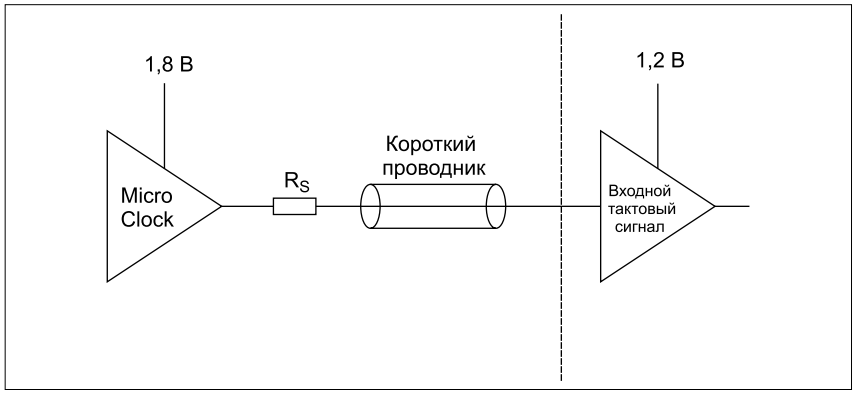

Рис. 3. **Подача сигнала на вход низковольтной КМОП-логики**

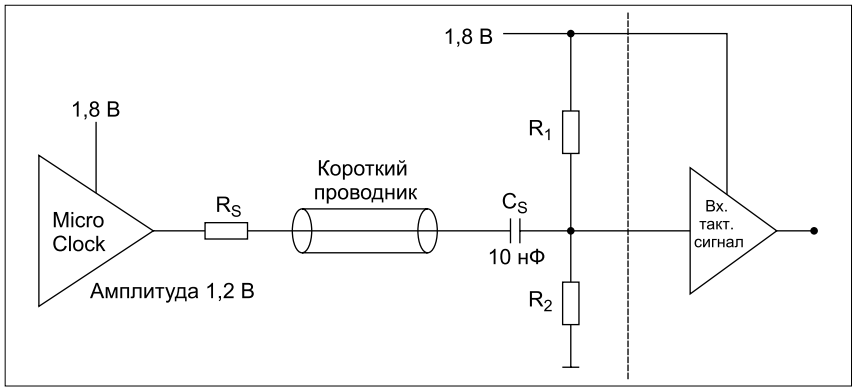

Рис. 4. **Подача сигнала с низкой амплитудой на вход КМОП при одинаковых V_{DD}**

но если его нет, то следует установить R_F = 100 кОм между контактами $X_{вх}$ и $X_{вых}$. При выборе значения C_S также необходимо учесть время установления при подаче напряжения питания. Если C_S = 10 нФ и R_F = 1 МОм, то время установления составляет приблизительно 1 нФ · 1 МОм = 10 мс. Если частота собственного генератора 32,768 кГц и она перекрывается тактовым сигналом частотой 32,768 кГц от устройства MicroClock, значение R_F может быть очень высоким и, возможно, превышать 10 МОм. Для 32,768 кГц рекомендуется использовать C_S = 100 пФ.

• **Подача входного тактового сигнала на низковольтные логические схемы** (см. рис. 3). Это тоже является оптимальным вариантом. Выберите амплитуду, которая наиболее близка к той, что необходима для работы логической схемы. Такой выбор справедлив и для высоких, и для низких частот, например 32,768 кГц.

Те же рекомендации применимы для длины линии передачи и значения R_S.

• **Подача входного тактового сигнала с более низкой амплитудой на схемы с питанием 1,8 В** (см. рис. 4). Сигнал амплитудой 1,2 В можно подавать на вход 1,8-В логики, если развязать цепи по постоянному напряжению и ввести смещение на 0,9 В. Размах входного тактового сигнала составит 17–83% от напряжения питания. Большинство входов КМОП нормально работает при размахе сигнала 30–70%, обеспечивая достаточный «запас прочности».

Для центровки формы тактового сигнала при 50% V_{DD} = 1,8 В необходимо, чтобы R1 = R2. Для 1 МГц и более высоких частот тактового сигнала хорошо подходит значение R1 = R2 = 100 кОм. Не рекомендуется использовать этот метод для частоты 32,768 кГц, поскольку дополнительный ток смещения в R1 и R2 превысит экономию тока питания на формирователе выходных сигналов устройства. Для частоты 32,768 кГц рекомендуется использовать схему на рисунке 3 и установить амплитуду в соответствии с требованиями к входному тактовому сигналу.

Указанные выше рекомендации для длины проводника и значения R_S справедливы и в данном случае. Попытка установить более низкую амплитуду и добавить компоненты для смещения целесообразна лишь в том случае, если необходима относительно большая длина проводника, чтобы экономия энергопотребления была значительной.

Частота ГУН. Энергопотребление ГУН в ФАПЧ зависит от частоты ГУН. Программный пакет Timing Commander позволяет рассчитать энергопотребление для определенной конфигурации и помочь при оптимизации конфигурации устройства MicroClock для экономии энергопотребления. Общее правило гласит, что чем ниже частота ГУН, тем ниже энергопотребление. Однако чем выше частота ГУН, тем лучше характеристики джиттера (дрожания импульсов). При наличии требований к джиттеру ищется компромисс между характеристиками дрожания импульсов и потреблением мощности.

ВЫХОДНАЯ НАГРУЗКА

Емкостная нагрузка. У выходных линий тактового сигнала имеется паразитную емкость, а у рассматриваемого входа тактового сигнала имеется входная емкость. Чтобы минимизировать потребляемую мощность, следует минимизировать длину выходной линии тактового сигнала. Ток питания I_{DRIVER}, потребляемый для возбуждения выходной емкости, определяется выражением C · F · V, где C – общая емкость, определяемая формирователем выходного тактового сигнала; F – частота тактового сигнала; V – полный размах амплитуды тактового сигнала.

Пример 1. Длина линии тактового сигнала 20 мм с паразитной емкостью 2 пФ и входной емкостью тактового сигнала 3 пФ. Частота тактового сигнала составляет 10 МГц, амплитуда тактового сигнала – 1,2 В. В результате I_{DRIVER} = 5E – 12 · 10E + 6 · 1,2 = 0,06 мА.

Пример 2. Длина линии сигнала 100 мм с паразитной емкостью 10 пФ и входной емкостью тактового сигнала 3 пФ. Частота тактового сигнала составляет 50 МГц, амплитуда тактового сигнала – 1,8 В. В результате этого I_{DRIVER} = 13E – 12 · 50E + 6 · 1,8 = 1,2 мА.

В примере 1 – короткая линия тактового сигнала, низкая частота тактового сигнала и пониженная выходная амплитуда для минимизации потребления тока питания формирователем выходных сигналов. В примере 2 все три параметра ухудшены, в результате чего получается гораздо более высокое значение тока питания в формирователе выходных сигналов.

Заметим, что при подаче тактового сигнала на вход, предназначенный для кварцевого резонатора, емкость этого контакта может оказаться достаточно большой, если нагрузочная емкость кварцевого генератора располагается внутри микросхемы (например, 10–20 пФ). При использовании внешних конденсаторов между контактами кварцевого генератора и землей не следует устанавливать их, если тактовый сигнал подается с устройства MicroClock.

Передача сигнала по 50-Ом линии. С точки зрения математики, различия есть, но результаты не существенно отличаются от результатов, получен-

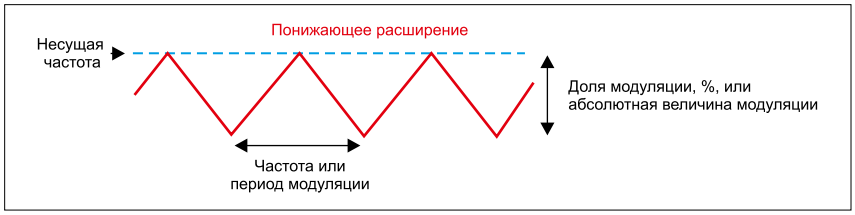

Рис. 5. **Импульсы модуляции с расширением спектра**

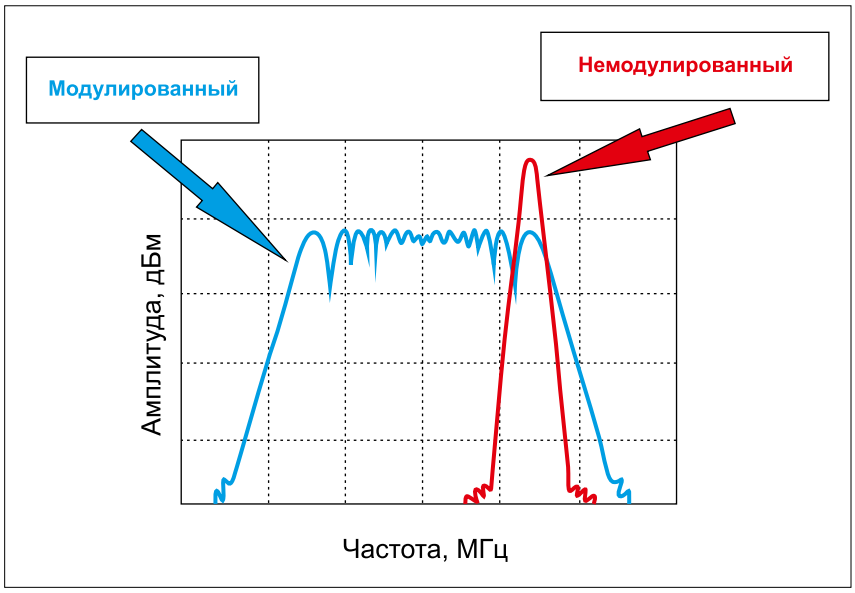

Рис. 6. **Частотный спектр одной гармоники импульса тактового сигнала**

ных при учете емкости проводников. Теоретически, каждый раз, когда тактовый импульс переходит из низкого состояния в высокий, формирователь выходного сигнала должен создать потенциал 1,8 В на резисторе 100 Ом; при этом ток составит 18 мА. (Значение 100 Ом – полное выходное сопротивление формирователя, включенное последовательно с полным сопротивлением цепи тактового сигнала, оба равны 50 Ом). Ток величиной 18 мА должен подаваться в течение времени, которое необходимо импульсу для прохождения к концу тракта тактового сигнала и его отражению для возвращения к формирователю. Как только отражение возвращается к формирователю, его ток падает до нуля.

Пример. Цепь тактового сигнала 100 мм с полным сопротивлением 50 Ом и частотой тактового сигнала 50 МГц. Импульсу для прохождения туда и обратно по цепи требуется приблизительно 1,14 нс. Поскольку длительность периода для 50 МГц составляет 20 нс, среднее значение тока питания в формирователе тактового сигнала составляет 18 мА · 1,14/20 = 1,03 мА.

Формула для среднего значения тока для питания формирователя тактового сигнала выглядит следующим образом: $I_{DRIVER} = 2t \cdot F \cdot V_{DD}/(2Z)$, где Z – полное сопротивление цепи тактового сигнала; F – частота тактового сигнала; t – время на перемещение импульса от формирователя к концу цепи тактового сигнала. Скорость импульса тактового сигнала с микрополосковой линией на материале FR4 составляет около 1,75E+8 м/с. Это значение использовалось в представленном выше примере.

Ток питания формирователя тактового сигнала в этом примере немного ниже, чем в примере 2 при емкостной нагрузке. Причиной этого является отсутствие входной емкости 3 пФ целевого входа. При добавлении значения C · F · V = 0,27 мА результат очень схож с результатом из примера 2.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСШИРЕННОГО СПЕКТРА В УСТРОЙСТВАХ 5L1503S И 5X1503S

Для уменьшения электромагнитных помех (ЭМП) применяется модуляция с расширением спектра (см. рис. 5). При этом в системном тактовом сигнале уменьшается не только ЭМП от самого тактового сигнала, но и ЭМП от всех сигналов, образованных из этого синхросигнала. Таким образом, расширенный спектр является очень мощным инструментом по сокращению ЭМП системы. Сократить расходы на систему можно за счет замены затратного экранирования тактовым сигналом с расширенным спектром.

В сущности, тактовый сигнал представляет собой прямоугольный импульс, который состоит из набора гармоник в частотном спектре. Теоретически идеальный прямоугольный импульс состоит только из нечетных гармоник (3-я, 5-я, 7-я и т. д.), но, когда скважность не составляет идеальные 50%, четные гармоники также будут присутствовать (2-я, 4-я, 6-я и т. д.). Мощность в тактовом сигнале сосредоточена в узких гармониках, достигающих максимума на определенных уровнях. Модуляция с расширением спектра «расширяет» и мощность в гармониках, так что их максимумы уже не так высоки.

Модуляция с расширением спектра представляет собой частотную модуляцию. Частота тактового сигнала изменяется вверх и вниз посредством треугольного модуляционного импульса. Величина смещения частоты тактового сигнала измеряется абсолютной величиной или в процентном соотношении. Частота треугольного модуляционного импульса называется скоростью модуляции, которая обычно находится в диапазоне 30–33 кГц. Микросхемы MicroClock используют только понижающее расширение, когда частота меньше несущей. Это сделано исключительно для того, чтобы избежать превышения частоты тактового сигнала над максимально допустимой для системы.

Если тактовый сигнал не модулирован, то частотный спектр состоит из узких гармоник, как представлено красной кривой на рисунке 6. Добавляя спектральную модуляцию, мы расширяем пик каждой гармоники, как показано с помощью синей кривой на рисунке 6. Поскольку каждый пик имеет определенный уровень мощности, расширение пика делает его ниже. Добавление расширенного спектра к тактовому сигналу уменьшает способность этого сигнала вызывать ЭМП.

Объем сокращения ЭМП зависит от частоты. Уменьшение ЭМП заметнее для более высоких гармоник тактового сигнала.

Формула для расчета снижения ЭМП выглядит следующим образом: R = 10lg(PC · ЧГ/100 кГц), где R – снижение ЭМП, дБ; PC – абсолютное значение полной амплитуды расширенного спектра; ЧГ – частота гармоники тактового сигнала; 100 кГц – полоса пропускания, используемая оборудованием для проверки ЭМП.

Пример. Тактовый сигнал с частотой 100 МГц и расширением спектра –0,5%.

- 5-я гармоника (500 МГц):
  R = 10 lg(0,005 · 500/0,1) = 14 дБ снижения ЭМП;
- 10-я гармоника (1 ГГц):
  R = 10 lg(0,005 · 1000/0,1) = 17 дБ снижения ЭМП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Application Note AN-104//www.renesas.com/eu/en.

КОММЕНТАРИЙ СПЕЦИАЛИСТА

Дмитрий Козлов, руководитель направления полупроводников, ООО «Сканти»

После слияния с IDT компания Renesas пополнила свое портфолио решениями для тактирования сигналов, которые исторически являются одной из сильных сторон американской компании. Малопотребляющее миниатюрное семейство MicroClock стало своеобразным ответом на растущий рынок IoT. Тенденция роста рынка изделий с батарейным/аккумуляторным питанием и рынка носимых изделий диктуют для всех без исключения комплектующих компонентов повышенные требования к размерам корпуса и потреблению. Теперь к низкопотребляющим линейкам контроллеров (RL78 и RX), широкой линейке зарядных устройств и понижающе-повышающих преобразователей (для работы с аккумуляторами и батарейками) компания Renesas добавляет новые сокеты, предназначенных для приложений с очень малым энергопотреблением.

Генераторы семейства MicroClock потребляют менее 1 мкА в режиме ожидания и 2 мА – в рабочем режиме. При этом размер корпуса 2×2 мм позволяет использовать этот генератор в условиях максимальной экономии места, например для смарт-часов, фитнес-браслетов и др. носимых устройств. Говоря о других преимуществах тактовых генераторов семейства MicroClock, можно вспомнить о возможности использовать три выхода для разных частот, что значительно удобнее и надежнее использования трех дискретных генераторов. Таким образом, IDT выпустила универсальное конфигурируемое решение для интернета вещей. Официальный дистрибьютор компаний Renesas и IDT – компания «Сканти».