

## ГЕНЕРАТОРЫ MICROSEMI С СИНХРОНИЗАЦИЕЙ ОТ GPS

В статье приведена краткая информация о термостатированных кварцевых и квантовых генераторах, синхронизируемых от GPS. Приведены параметры некоторых модулей, предназначенных для использования в системах связи, авионике, радиолокации и других областях техники, в которых выдвигаются жесткие требования к стабильности частоты и временному дрейфу опорных сигналов.

В. Макаренко



### OSCILLATORS MICROSEMI SYNCHRONIZATION FROM GPS

Abstract – The article presents brief information about temperature-controlled quartz oscillators that are synchronized by GPS. Given the parameters of some modules designed for use in communication systems, avionics, radar and other fields of technology, which set out stringent requirements for frequency stability and time drift of the reference signal.

V. Makarenko

Первичные эталонные генераторы (ПЭГ) являются управляющими генераторами в сетях SDH и обеспечивают точность установки частоты не хуже, чем  $10^{-11}$ . Эти генераторы строятся на основе рубидиевых или цезиевых стандартов частоты [1]. ПЭГ могут быть построены на основе систем всемирного координированного времени GPS. Для построения таких ПЭГ используют местные рубидиевые или кварцевые генераторы, которые синхронизируются сигналами, получаемыми от GPS. Такие генераторы можно использовать и в измерительных приборах в качестве высокостабильных источников опорной частоты.

Наличие приемника GPS в составе кварцевого генератора позволяет осуществлять не только синхронизацию самого генератора, но и формировать координаты объекта и другие параметры. Это позволяет использовать такие генераторы в беспилотных летательных аппаратах и другой авиационной технике, в системах связи, радиолокации и формирования активных радиопомех.

Сигналы GPS – прекрасный эталон времени. Каждый спутник содержит две пары рубидиевых и цезиевых атомных часов. Они контролируются по атомным часам на Земле, а вся система непрерывно калибруется по мировому стандарту времени – универсальному координированному времени (Universal Time Coordinated, UTC).

Сигнал от каждого спутника очень точен. Временная нестабильность не превышает 1 нс. Однако, при использовании этих сигналов для

синхронизации различных устройств эта нестабильность может составлять 50 нс. Самый большой источник ошибок – код ограниченного доступа (Selective Availability, SA). Министерство Обороны США преднамеренно ухудшает точность GPS, вынуждая медленно дрейфовать частоту спутниковых часов GPS. При наличии SA в сигнал каждого спутника вносится ошибка синхронизации, равная приблизительно 100 нс (за 1 с), и ошибка частоты, равная приблизительно  $10^{-8}$ . При отсутствии SA, ошибки синхронизации были бы в лучшем случае приблизительно 10 нс и ошибка не более  $10^{-10}$ . При условии хорошего обзора неба многоканальный GPS-приемник может осреднять ошибки от SA по семи или восьми спутникам, уменьшая эффект SA почти в три раза. Это нужно учитывать при выборе генератора, синхронизируемого сигналами GPS.

Компания Microsemi выпускает ряд кварцевых и атомных генераторов, синхронизируемых от GPS [2]. Это модули GPS-500, GPS-1000, GPS-2000, GPS-2500, GPS-2700 и GPS-2750, SSM-2000 и SSM-2650. Рассмотрим основные характеристики некоторых из них.

#### Модуль 10 МГц ОСХО GPS-1000 [3]

Это модуль (рис.1) небольшого размера, содержащий термостатированный генератор ОСХО (Oven-Controlled Crystal Oscillator) с частотой выходных колебаний 10 МГц, и приемник сигналов GPS, осуществляющий синхронизацию генератора (GPSDO).



Рис. 1. Внешний вид модуля GPS-1000

Основные характеристики GPS-1000:

- выходной сигнал гармонический
- частота выходного сигнала 10 МГц
- амплитуда выходного сигнала +13 дБм
- низкий уровень фазовых шумов
- дополнительный выход прямоугольного сигнала с периодом 1 с (КМОП 3.3 В)
  - приёмник GPS отслеживает до 50 сигналов
  - уровень сигналов GPS не менее -160 дБм
  - приёмник совместим с сигналами GPS, WAAS, EGNOS, MSAS и Галилео
  - быстрый разогрев.

Программное обеспечение модуля GPS-1000 поддерживает бортовые приложения авионики, формируя 3 вектора скорости (выход сигналов скорости для X, Y и Z плоскостей). Устройство может также контролироваться и управляться через RS-232 порт с помощью стандартных команд SCPI.

Основные характеристики модуля:

- отклонение от ежесекундных импульсов (1 PPS) UTC не более  $\pm 50$  нс (среднеквадратическое значение)
  - нестабильность задержки относительно сигналов UTC не более  $\pm 11$  мкс за 3 часа работы при температуре 25 °С
  - частота сигнала GPS L1, C/A 1574 МГц
  - переключение антенны GPS в активный режим сигналом с уровнем 3.3 В
  - уровень сигнала при активизации не менее -144 дБм, в режиме слежения не менее -160 дБм
  - холодный старт не более 45 с, горячий старт не более 1с
    - ADEV (Allan Deviation statistic) за 1 с составляет  $10^{-11}$
    - время прогрева после которого достигается стабильность частоты  $10^{-8}$  не более 5 минут
    - диапазон напряжения питания 8...14 В (12 В

номинальное значение)

- потребляемая мощность не более 1.8 Вт (типичное значение 1.35 Вт)

- диапазон рабочих температур 0...60 °С
- габаритные размеры 1×2.5×0.5 дюйма.

Основные характеристики кварцевого генератора

- нестабильность частоты выходного сигнала через 1 час работы не более  $\pm 2 \cdot 10^{-8}$  (без использования сигналов GPS) при температуре 25 °С и  $\pm 2.5 \cdot 10^{-8}$  при более высокой температуре
  - амплитуда выходного сигнала  $13 \pm 3$  дБм
  - спектральная плотность фазового шума при отклонении от центральной частоты 1 Гц не более -80 дБн/Гц, 10 Гц – -110 дБн/Гц, 100 Гц – -135 дБн/Гц, 1 кГц – -145 дБн/Гц, 10 кГц – -145 дБн/Гц.

Малые габариты и быстрый горячий старт позволяют использовать модуль GPS-1000 даже в небольших беспилотных летательных аппаратах.

### Модуль GPS-2000

Модуль GPS-2000 [4] имеет улучшенные характеристики. Внешний вид модуля приведен на рис. 2.



Рис. 2. Внешний вид модуля GPS-2000

По сравнению с GPS-1000 в GPS-2000 уменьшена нестабильность частоты до  $\pm 3 \cdot 10^{-10}$  после трех часов работы, уменьшен уровень фазового шума до -72 дБн/Гц при отклонении от центральной частоты 1 Гц, и -150 дБн/Гц при отклонении частоты 10 кГц, расширен диапазон рабочих температур до 0...75 °С. Увеличена потребляемая мощность до 3.2 Вт и увеличены габариты до 1.5×3.0×0.65 дюйма. Модуль содержит встроенный усилитель с тремя выходами гармонического сигнала и один

выход LVDS. Частота выходного сигнала, как и в GPS-1000 равна 10 МГц. Остальные характеристики очень близки к характеристикам модуля GPS-1000.

Даже при отсутствии SA сигнал GPS не позволяет обеспечить стабильность эталонной частоты, требуемой для технологии CDMA. Атомные генераторы и даже многие кварцевые генераторы, обеспечивают на коротких интервалах времени более стабильную частоту, чем GPS. Тем не менее, все генераторы имеют дрейф частоты и фазы, величина которых зависит от типа используемого генератора. В конечном счете, даже сложный и дорогой цезиевый генератор будет иметь дрейф по отношению к UTC. А вот сигнал GPS в долговременном плане всегда калиброван в пределах нескольких сотен наносекунд относительно UTC, хотя в нем и наблюдаются кратковременные изменения задержки в ту или иную сторону.

Для удовлетворения высоких требований к стабильности временного положения и частоты сигналов синхронизации компания Microsemi выпускает генераторы на основе атомных часов (CSAS) 10 МГц с синхронизацией по GPS (GPSDO), использующие в своем составе атомные часы чип-фактора QUANTUMTM SA.45s.

### Модули GPS-2700 и GPS-2750

Модули GPS-2700 и GPS-2750 (рис. 3), используют атомные часы чип-фактора MicrosemiQuantumTM SA.45s в качестве опорных генераторов [5]. Эти устройства обеспечивают высокие характеристики в режиме удержания, сверхнизкое энергопотребление, малое время прогрева, высокие показатели точности сигнала 1 PPS и при этом имеют малые габариты. Оба модуля формируют выходной сигнал с частотой 10 МГц. Диапазон рабочих температур модуля GPS-2700 составляет 0...75 °С, а GPS-2750 – расширенный, от -40 до 85 °С.

Такие параметры позволяют использовать модули Microsemi® GPS-2700 и GPS-2750 в переносных радиостанциях, терминалах военной системы спутниковой связи (MILSATCOM), авионике беспилотных автономных систем, а также для применения в устройствах, работающих при высоких ускорениях (например, в реактивных истребителях). Во всех этих при-



Рис. 3. Внешний вид модуля GPS-2700

ложениях все чаще требуется повышенная производительность даже в условиях отсутствия сигнала GPS. Другим применением этих устройств является сетевая синхронизация времени в системах мобильной связи, например, в базовых станциях.

Основные параметры модулей GPS-2700 (GPS-2750):

- долговременная нестабильность частоты не более  $3 \cdot 10^{-10}$  в месяц без использования GPS
- нестабильность частоты не более  $\pm 9 \cdot 10^{-10}$  при изменении температуры от 0 до 35 °С (без использования GPS)
- отклонение от ежесекундных импульсов (1 PPS) UTC не более  $\pm 15$  нс (среднеквадратическое значение)
- нестабильность частоты не более  $\pm 2 \cdot 10^{-10}$  после 3-х минут прогрева при использовании GPS
- нестабильность задержки относительно сигналов UTC не более  $\pm 2$  мкс за 24 часа работы при температуре 25 °С (через 1 час после включения слежения за сигналами GPS)
- ADEV (с использованием GPS) за 1 с не более  $10^{-10}$ , за 10 с –  $2.5 \cdot 10^{-11}$ , за 100 с –  $2 \cdot 10^{-11}$ , за 1000 с –  $1 \cdot 10^{-11}$ , за 10 000 с –  $2 \cdot 10^{-12}$
- выход импульсов 1 PPS (в уровнях КМОП 5 В) со сдвигом относительно сигналов UTC не более 1 нс
- 4 изолированных выхода гармонического сигнала с частотой 10 МГц с уровнем  $13 \pm 3$  дБм
- выход прямоугольных импульсов с частотой 5 МГц в уровнях КМОП 5 В
- переходное затухание между выходами на частоте 10 МГц не менее 85 дБ, на частоте 2 МГц – не менее 98 дБ

- управление через порт RS-232 (или USB) с поддержкой команд SCPI-99
- частота сигнала GPS L1, C/A 1574 МГц
- переключение антенны GPS в активный режим сигналом с уровнем 5 В
- GPS-приемник имеет 50 каналов, совместим с сигналами GPS, WAAS, EGNOS, MSAS
- уровень сигнала при активизации не менее -144 дБм, в режиме слежения не менее -160 дБм
- холодный старт не более 45 с, горячий старт не более 1с
- GPS-приемник оптимизирован для использования в высокоскоростных транспортных средствах
- адаптивный фильтр (автоматическое включение и регулировка чувствительности)
- формирование сигнала тревоги в уровнях TTL при потере сигнала GPS
- диапазон напряжения питания от 8 до 36 В или 5 В через мини USB
- потребляемая мощность не более 1.4 Вт при температуре 25 °С (менее 1 Вт при напряжении питания 12 В и выходом КМОП)
- диапазон рабочих температур 0...35 °С (GPS-2700) и -10...35 °С (GPS-2750)
- средняя наработка на отказ >100 000 часов (0...35 °С)
- спектральная плотность фазового шума выходного сигнала при отклонении от центральной частоты:
  - ◆ 10 Гц -90 дБн/Гц
  - ◆ 100 Гц -125 дБн/Гц
  - ◆ 1 кГц -145 дБн/Гц
  - ◆ 10 кГц -152 дБн/Гц
  - ◆ 100 кГц -153 дБн/Гц.

К модулю для контроля параметров можно подключить ЖК-дисплей (рис. 4), на который



**Рис. 4. Модуль GPS-2700 с подключенным ЖК-дисплеем**

может выводиться информация о дате и времени, количестве спутников, координатах местоположения, высоте над уровнем моря и многих других параметрах.

Более подробную информацию о модулях GPS-2700 и GPS-2750 можно найти в [6].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Хмелев К.Ф. Основы SDH: Монография. – К.: ИВЦ "Видавництво "Політехніка"", 2003. – 584 с.
2. <http://www.microsemi.com/products/timing-synchronization-systems/embedded-timing-solutions/modules/gps-disciplined-oscillators>.
3. [http://www.microsemi.com/document-portal/doc\\_download/133392-gps-1000](http://www.microsemi.com/document-portal/doc_download/133392-gps-1000).
4. [http://www.microsemi.com/document-portal/doc\\_download/133396-gps-2000](http://www.microsemi.com/document-portal/doc_download/133396-gps-2000).
5. [http://www.microsemi.com/document-portal/doc\\_download/133346-gps-2700-and-gps-2750](http://www.microsemi.com/document-portal/doc_download/133346-gps-2700-and-gps-2750).
6. [http://www.microsemi.com/document-portal/doc\\_download/133459-gps-2750-manual](http://www.microsemi.com/document-portal/doc_download/133459-gps-2750-manual).

## VD MAIS

### Разработка и серийное производство электроники



- разработка электрических схем
  - проектирование и изготовление печатных плат
  - комплектация изделий электронными компонентами и конструктивами
  - контрактное производство (по стандарту IPC-A-610):
    - автоматизированный монтаж SMD-компонентов и автоматизированная селективная пайка компонентов, монтируемых в отверстия
    - изготовление опытных образцов изделий
    - мелко- и крупносерийное производство
  - многолетний опыт разработки и производства
  - гарантия качества
- Сертификация на соответствие требованиям стандартов ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 и ISO/TS 16949:2009.  
Цены – оптимальные.

Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6  
тел.: (0-44) 220-0101, 492-8852, факс: (0-44) 220-0202  
e-mail: info@vdmiais.ua, www.vdmiais.ua

## VD MAIS

### Контрактное производство электроники

(по стандарту IPC-A-610)



- автоматизированный монтаж SMD-компонентов (до 1,5 млн в сутки)
  - автоматизированная селективная пайка компонентов, монтируемых в отверстия
  - монтаж прототипов печатных плат
  - 100% автоматический оптический контроль качества монтажа
  - изготовление опытных образцов изделий
  - мелко- и крупносерийное производство
  - 10-летний опыт контрактного производства
  - гарантия качества
- Сертификация на соответствие требованиям стандартов ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 и ISO/TS 16949:2009.  
Цены – оптимальные.

Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6  
тел.: (0-44) 220-0101, 492-8852, факс: (0-44) 220-0202  
e-mail: info@vdmiais.ua, www.vdmiais.ua