УДК 53.083 (430.1)

С.А. Тышко

Военный институт телекоммуникаций и информатизации НТУУ «КПИ», Полтава

СПОСОБ КОНТРОЛЯ ЧАСТОТЫ ЗАДАЮЩИХ ГЕНЕРАТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕСУЩИХ КОЛЕБАНИЙ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВ

В статье проведен анализ известных методов измерения частоты. Рассмотрены режимы измерения геодезических величин с использованием глобальных спутниковых систем навигации. Проанализирована структура сигнала, формируемая навигационным спутником, определены факторы, которые влияют на качество решения рассматриваемой задачи. Предложены методические основы и перечень моделей необходимых для решения данной измерительной задачи с применением приемников аппаратуры потребителя спутниковой навигационной системы.

***Ключевые слова**: задающий генератор, частота, навигационный спутник, контроль, доплеровский эффект.*

Введение

Задающие генераторы являются одними из важнейших элементов различных сложных технических систем. К сложным техническим системам, в состав которых входят задающие генераторы, относятся: информационно-измерительные системы, цифровые телекоммуникационные комплексы, средства контроля за воздушным пространством, системы автоматизированного управления.

Переход к цифровым методам передачи информации и обработки сигналов значительно обострил проблему стабилизации частоты задающего генератора и синхронизации как отдельных устройств, так и систем передачи и обработки информации в целом.

Анализ литературы. Учитывая важность указанной проблемы, ее решению всегда уделялось много внимания, что нашло отражение во многих публикациях [1 – 3]. В настоящее время для контроля частоты задающих генераторов, как правило, используются прямые методы измерения. Данный метод реализуются в аналоговых и цифровых средствах измерительной техники.

Аналоговые средства измерительной техники, как правило, реализуют нулевой либо дифференциальный способ измерений. При этом в качестве образцовой меры используются рубидиевые стандарты частот, радиосигналы, синтезируемые навигационными спутниками глобальных спутниковых навигационных систем либо институтами метрологии.

Цифровые средства измерительной техники реализованы на базе метода последовательного счета. Основными источниками погрешности для данных средств измерительной техники являются погрешность квантования и погрешность, обусловленная нестабильностью задающего генератора. Для уменьшения влияния погрешности квантования используется метод временного расширения.

Наиболее близкими к целям и задачам, решаемым в статье, есть материалы статьи [1], но существенным недостатком указанного способа измерения частоты задающего генератора есть: влияния на результат измерений доплеровского эффекта, обусловленного движением навигационного спутника, а в некоторых случаях, и объекта, на котором расположен опорный генератор. Отклонения частоты несущих колебаний, обусловленные доплеровским эффектом, могут достигать нескольких десятков килогерц; работая от одного навигационного спутника, что может привести к потере опорного сигнала; трудность автоматизации проведения измерений, и передачи результатов измерений в автоматическом режиме.

Цель статьи. Предложить способ измерения частоты задающих генераторов из состава сложных технических систем с применением приемника АП СРНС, путем использования в качестве эталонного сигнала несущих колебаний навигационных спутников глобальных навигационных систем.

Основная часть

Для достижения цели стати рассмотрим порядок формирования кодовых посылок в современных глобальных навигационных системах на примере глобальной навигационной системы GPS.

Как известно, процедура измерения навигационных величин в глобальных спутниковых системах определения местоположения реализует односторонний метод дальномерных измерений. При выполнении спутниковых измерений определяющим параметром является расстояние между навигационным спутником и приемником АП СРНС. Тогда одновременное определение значения расстояния до нескольких навигационных спутников позволяет при условии знания их координат с использованием метода пространственной линейной засечки вычислить координаты объекта. Основным показателем таких

© С.А. Тышко

измерений является разность между моментом передачи кодовой посылки (при отсчете времени по часам, установленным на навигационном спутнике) и моментом времени приема упомянутой посылки (при отсчете времени по часам приемника АП СРНС).

В соответствии с выше рассмотренной идеологией одностороннего спутникового метода измерения расстояния на спутнике размещается передающая часть дальномерного комплекса, с помощью которой формируются и передаются по радиоканалу все необходимые сигналы, участвующих в процессе проводимых измерений. При проектировании спутниковой навигационной системы GPS было признано целесообразным применение двух видов закодированных сигналов: общедоступного грубого кода и санкционированного точного кода. Передача обоих упомянутых сигналов со спутника осуществляется посредством модуляции несущих колебаний дециметрового диапазона.

Все формируемые на борту спутника несущие и кодовые сигналы, а также бинарные сигналы для передачи навигационного сообщения получаются на основе использования установленных на спутнике высокоточных опорных генераторов.

Основой функциональной схемы формирования навигационных сигналов являются высокостабильные опорные генераторы, работающие на частоте 10,23 МГц. На базе использования этого генератора формируются не только все передаваемые со спутника сигналы, но и реализуются высокоточные электронные часы, показания которых используются как в процессе проведения спутниковых измерений, так и для передачи точного времени.

Колебания несущих частот, имеющих условное обозначение L1 и L2, формируются посредством умножения частоты задающего опорного генератора соответственно на 154 и на 120. В геодезических высокоточных измерениях данные сигналы используются для проведения фазовых измерений.

Поступающие с выхода кодирующего устройства сигналы C/A-кода и P-кода суммируются с сигналами навигационного сообщения, после чего они поступают в модуляторы, где осуществляется фазовая модуляция несущих колебаний L1 и L2. При этом колебания L1 подвергаются модуляции кодовыми сигналами как C/A-кода так и P-кода, в то время как колебания L2 модулируются только сигналами P-кода с наложением на них навигационных сообщений.

Исходя из вышеизложенного описания формирования навигационных сообщений, видно, что наиболее важным техническим устройством, входящим в навигационный спутник, является опорный генератор. К основным требованиям, предъявляемым к спутниковым опорным генераторам, относят необходимость реализации максимально достижимой стабильности работы и обеспечение высокой метрологической надежности их функционирования.

Как указано в [4], на борту навигационных спутников, входящих в состав глобальной спутниковой системы определения местоположения GPS, используются высокостабильные генераторы на базе рубидиевых и цезиевых атомных генераторов, а также водородные молекулярные генераторы (мизеры). Данные генераторы имеют характеристики, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика	Тип генератора		
	Рубидиевый	Цезиевый	Водородный
Относительная настабильлость			
1 с	$1\cdot10^{-11}$	$5\cdot10^{-11}$	$5\cdot10^{-13}$
1 мин	$2\cdot10^{-12}$	$6\cdot10^{-12}$	$6\cdot10^{-14}$
1 час	$1\cdot10^{-12}$	$8\cdot10^{-13}$	$3\cdot10^{-14}$
1 сут	$5\cdot10^{-12}$	$3\cdot10^{-13}$	$2\cdot10^{-14}$
Систематический дрейф	$3\cdot10^{-11}$	$3\cdot10^{-12}$	-

Для повышения метрологической надежности и стабильности работы на GPS спутниках устанавливают несколько одновременно работающих опорных генераторов. Так, на спутниках 2-го блока находится два цезиевых и два рубидиевых генератора. На спутниках IIR данные генераторы заменены на водородные мизеры.

Ввиду движения навигационного спутника относительно объекта, на котором установлен приемник АП СРНС, несущая частота подвергается эффекту Доплера. При этом частота, передаваемая со спутника, и принимаемая приемником АП СРНС связана соотношением [4]:

$$f_{пр} = f_{пер}\cdot\left(1-\frac{v}{c}\cos\Theta\right)\Big/\sqrt{1-\frac{v}{c}}\,, \qquad (1)$$

где $f_{пр}, f_{пер}$ – частота принятых и передаваемых колебаний; v – орбитальная скорость движения; Θ – угол между направлением движения и радиальным направлением.

Из соотношения (1) видно, что изменение частоты, обусловленное эффектом Доплера, происходит в случае приращение расстояния между навигационным спутником и приемником АП СРНС и собственно орбитальным движением навигационного спутника.

Существенное влияние на доплеровское приращение частоты оказывает линейное изменение расстояния между спутником и приемником АП СРНС. Влияние движения спутника по орбите влияет на изменение частоты радиосигнала незначительно, так как скорость движения спутника намного меньше скорости распространения радиосигнала.

Как известно, движение навигационных спутников происходит по орбите, близкой к круговой.

Таким образом, существуют для каждой точки размещения приемника АП СРНС такие две точки орбиты навигационного спутника, в которых приращение расстояния между ними равно 0. Тогда, рассматривая приращение частоты несущих колебаний, обусловленных эффектом Доплера, как систематическую погрешность, возможно использовать известные способы ее уменьшения, в частности провести измерения таким образом, чтобы данное приращение имело одно и тоже значение, а знаки были противоположны.

Таким образом, исходя из цели статьи и выше приведенного материала, для решения измерительной задачи необходимо определить приращение частоты несущих колебаний обусловленных эффектом Доплера.

Данный способ контроля частоты предполагает, что временной интервал от момента захвата навигационного спутника приемником АП СРНС до момента его потери разбит на одинаковые временные интервалы (T). Временные интервалы формируются с использованием генератора, частота которого подвергается контролю. Каждый из полученных интервалов заполняется импульсами несущей частоты, поступающими от навигационного спутника, и заносится в память вычислительного устройства приемника АП СРНС. Затем определяются временные интервалы, которые соответствуют участку траектории, когда спутник приближался к приемнику и отдалялся от него.

В качестве критерия перехода от одного участка траектории к другому возможно выдвинуть условие $N_i > N_{i+2}$. После этого проводится определение временных интервалов, которые «симметричны» относительно точек орбиты навигационного спутника, в которых приращение расстояния между ними равно 0. Нумерация временных интервалов начинается от интервала, в котором приращение частоты равно нулю.

В качестве условий «симметричности» временных интервалов предлагается использовать

$$\left|N_i - N_{i+1}\right| \pm 2 = \left|N'_i - N'_{i+1}\right|,$$

где N_i, N_{i+1} – количество импульсов в i-м и (i+1)-м интервалах на участке траектории приближения навигационного спутника к приемнику АП СРНС; $N'_i - N'_{i+1}$ – количество импульсов в i-м и (i+1)-м интервалах на участке траектории удаления навигационного спутника от приемника АП СРНС.

Однако, ввиду того что начало проведения измерения выберется случайно, то полученные участки относительно «точки симметрии» будут сдвинуты на неизвестное значение Δt.

Для компенсации данного значения Δt возможно использовать метод половинного разбиения решения уравнений с использованием вышеуказанных условий. Тогда значение искомого временного интервала определяется с использованием соотношения

$$T = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(N_i + N'_i\right)}{2nf_{пер}}.$$

На качество проведения контроля данным способом существенное влияние окажет погрешность квантования, уменьшить которую практически невозможно. Также к недостаткам данного способа относится невозможность получить результат измерения в реальном масштабе времени и большое количество измерительных и вычислительных операций.

Для решения данной задачи является необходимым выполнения ряда требований: наличие приемника АП СРНС, который имеет возможность работать в двухчастотном режиме, прием частот L1 и L2 проводится от одного навигационного спутника, а также возможность проведения преобразования фазомодулированного сигнала в периодический. Данный набор требований является достаточно корректным. В настоящее время довольно широко используются геодезические приемники, способные работать в двухчастотном режиме [5].

Выводы

В статье рассмотрена возможность применения несущих колебаний, поступающих от навигационных спутников, для решения задачи контроля частоты задающих генераторов из состава сложных технических систем. Даны рекомендации по решению данной измерительной задачи.

Список литературы

1. Нетудыхата Л.И. Экспериментальные исследования формируемых GPS сигналов синхронизации информационных сетей / Л.И. Нетудыхата, В.И. Борщ, В.В. Коваль // Зв'язок. – 2007. – № 4 (72). – С. 18-21.

2. Брени С. Синхронизация цифровых сетей связи: пер. с англ. / С. Брени. – М.: Мир, 2003. – 156 с.

3. Давыдкин П.Н. Тактовая сетевая синхронизация / П.Н. Давыдкин, М.Н. Колтунов, А.В. Рыжков. – М.: Эко-Трендз, 2004. – 205 с.

4. Генеке А.А. Глобальная спутниковая система определения местоположения GPS и ее применение в геодезии / А.А. Генеке, Г.Г. Побединский. – М.: „Картогеоцентр" – „Геодезиздат", 1999. – 272 с.

5. Методические рекомендации по использованию спутниковых приемников WILD GPS System 200 при создании спутниковой сети 1 класса. Нижний Новгород, ВАГП, 1996. – 50 с.

Поступила в редколлегию 2.02.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.М. Крюков, Академия внутренних войск МВД, Харьков.

СПОСІБ КОНТРОЛЮ ЧАСТОТИ ЗАДАЮЧИХ ГЕНЕРАТОРІВ З ВИКОРИСТАННЯМ КОЛИВАНЬ НЕСУЧОЇ ЧАСТОТИ НАВІГАЦІЙНИХ СУПУТНИКІВ

С.О. Тишко

В статті проведено аналіз відомих методів вимірювання частоти. Розглянуті режими вимірювання геодезичних величин з використанням глобальних супутникових систем навігації. Проаналізована структура сигналу, яка формується навігаційним супутником, визначені фактори, що впливають якість вирішення вказаної задачі. Запропоновані методичні основи та перелік моделей необхідних для вирішення даної вимірювальної задачі з використанням приймачів супутникових навігаційних систем.

Ключові слова: *задаючий генератор, частота, навігаційний супутник, контроль, доплеровський ефект.*

WAY CHECKING THE FREQUENCY ASSIGNING GENERATOR WITH USE THE FLUCTUATIONS OF THE ARRAIGNING FREQUENCIES NAVIGATIONAL SATELLITE

S.A. Tishko

In article is organized analysis existing methods of the undertaking the measurement of the frequency. the considered modes of the measurement of the geodetic values with use the global satellite systems of the navigation. they are offered methodical bases and list of the models necessary for decision given measuring problem with using receiver equipments of the consumer of the satellite navigational system.

Keywords: *master clock, frequency, navigation satellite, control, Doppler effect.*