

## ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СИГНАЛОВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ СПУТНИКОВ ДЛЯ СИНХРОНИЗАЦИИ СТАНДАРТОВ ВРЕМЕНИ И ЧАСТОТЫ

Нестеренко Г.В., Коваль Ю. А., Иванова Е.А.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники,  
г. Харьков, пр. Ленина, 14, тел. (057)700-22-84, факс (057)- 702-10-13,  
e-mail [secort@kture.kharkov.ua](mailto:secort@kture.kharkov.ua)

The report contains opportunities of synchronization of the standards of frequency with use of telecommunication signals from GEO satellites. For realization of frequency synchronization of spaced stations propose to use a method "common view".

Высокие темпы совершенствования мер времени и частоты (относительная нестабильность современных эталонов составляет  $10^{-13} \dots 10^{-14}$ , а в перспективе –  $10^{-15} \dots 10^{-16}$ ) определяют актуальность задачи повышения точности их частотно-временной синхронизации. Помимо метрологии, синхронность территориально разнесенных стандартов (в частном случае – эталонов) времени и частоты является основой для реализации современных высокоточных частотно-временных методов, необходимых для решения актуальных научно-технических и оборонных задач. Так, для Украины актуальна задача синхронизации опорных генераторов в цифровой сети связи, где требуемая нестабильность генераторов по частоте должна быть не хуже  $\Delta f / f_0 = 10^{-11}$ .

В настоящее время наибольшее применение для синхронизации находят спутниковые радионавигационные системы (СРНС) GPS и ГЛОНАСС. Достоинствами СРНС являются их высокая точность и глобальная зона действия, а к основным недостаткам относятся: низкая помехозащищенность; малая оперативность, высокая стоимость, как приёмного оборудования, так и поддержания работоспособности систем, зависимость от технического состояния систем, возможное ограничение доступа к системам.

Синхронизация может быть реализована с помощью спутников-ретрансляторов, находящихся на геостационарной орбите ГЕО, которые «зависают» над заранее выбранными точками Земли. Такое положение обеспечивается высотой орбиты (35 875 км), на которой скорость перемещения КА совпадает со скоростью вращения Земли. Системы на основе геостационарных спутников, из-за постоянства их расположения над определенной точкой поверхности Земли, обладают рядом преимуществ при организации глобальной связи. Особенностью спутников на геостационарных орбитах является значительная временная задержка (порядка 240 мс) в спутниковом канале.

Спутниковые системы связи с геостационарными спутниками-ретрансляторами идеально подходят для решения таких задач, как организация телевизионного и звукового вещания на обширных территориях и предоставление высококачественных телекоммуникационных услуг абонентам в удаленных и труднодоступных регионах.

Предлагается использовать для синхронизации сигналы телекоммуникационных геостационарных спутников (ГС).

Применим алгоритм «общего охвата» (известный в зарубежной литературе как «common view»). Этот алгоритм имеет преимущество, тогда, когда тракты распространения радиоволн имеют либо известные в любой момент времени задержки (случай СРНС), либо известную стабильную задержку (случай ГС).

На рис.1–3 показаны принципы реализации алгоритма общего охвата применительно к сигналам ГС. На рис.1 и рис. 2 показаны геометрические параметры расположения ГС и пунктов *A* и *B*, в которых находятся синхронизируемые стандарты. Временная диаграмма сигналов, которые принимаются в пунктах *A* и *B*, и измеряемые параметры представлены на рис. 3.

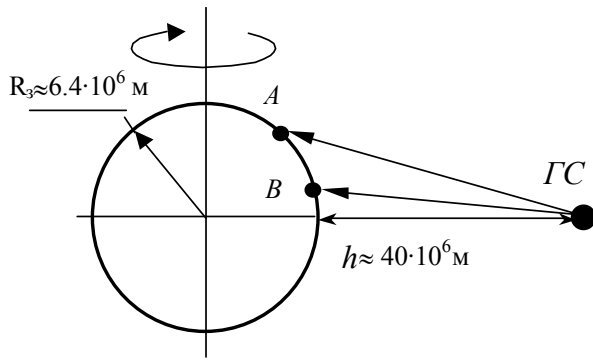


Рис. 1

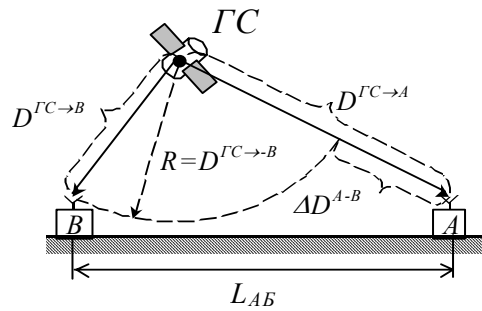


Рис. 2

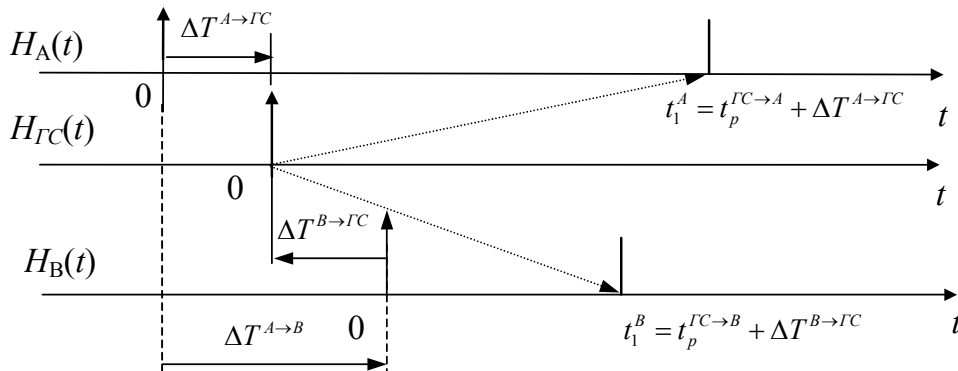


Рис. 3

В каждом из пунктов производится измерение сдвига одного и того же фрагмента сигнала относительно шкал времени соответствующих пунктов ( $t_1^A$ ,  $t_1^B$ ). Непрерывное измерение сдвига шкал времени  $\Delta T(t)$  позволяет рассчитать относительную нестабильность стандартов по частоте.

Основные соотношения для расчетов и источники погрешности приведены в табл. 1. Анализ показывает, что соответствующие погрешности для случая ГС значительно меньше, чем при использовании сигналов СРНС.

Специфическими для синхронизации по сигналам ГС являются погрешности, связанные с измерением разности задержек сигналов от ГС ( $\Delta t_p^{A \leftarrow ГС \rightarrow B}$ ) до пунктов – при измерении сдвига шкал и скорости изменения этой разности ( $d(\Delta t_p^{A \leftarrow ГС \rightarrow B})/dt$ ) – при измерении сдвига по частоте. Первый из этих факторов вызван изменением разности расстояний между ГС и пунктами ( $\Delta D^{A \leftarrow ГС \rightarrow B}$ ), а второй – разностью радиальных скоростей ( $\Delta V^{A \leftarrow ГС \rightarrow B}$ ). Оценки этих факторов можно получить из приведенных на рис. 4 и рис. 5 временных зависимостей  $\Delta D^{A \leftarrow ГС \rightarrow B}(t)$  и  $\Delta V^{A \leftarrow ГС \rightarrow B}(t)$ , рассчитанных для ГС из группировки Not bird и пунктов, размещенных в Харькове и Ужгороде. Приведенные на рис. 4 и рис. 5 зависимости имеют интервал между отсчетами 30 с, период порядка суток и максимальные отклонения от средних значений:  $\Delta D_m^{A \leftarrow ГС \rightarrow B} = 1$  км;  $\Delta V_m^{A \leftarrow ГС \rightarrow B} = 0,08$  м/с

Предварительные оценки показывают, что для высокоточного измерения необходим учет зависимостей  $\Delta D^{A \leftarrow ГС \rightarrow B}(t)$  и  $\Delta V^{A \leftarrow ГС \rightarrow B}(t)$ . Без такого учета погрешности измерения сдвига шкал составят единицы микросекунд, а в случае измерения сдвига по частоте –  $\Delta f^{A \rightarrow B} / f = (2...3)10^{-10}$ .

Таблица 1

	Измерение сдвига шкал $\Delta T^{A \rightarrow B}$ , $\Delta T^{B \rightarrow A}$	Измерение нестабильности частоты
Расчетные соотношения	$\Delta T^{A \rightarrow B} = -\Delta T^{B \rightarrow A} = \Delta T^{A \rightarrow GC} - \Delta T^{B \rightarrow GC} =$ $= t_1^A - t_1^B - \Delta t_p^{A \leftarrow GC \rightarrow B};$	$\frac{\Delta f^{A \rightarrow B}(t)}{f_0} = \frac{d[\Delta T^{A \rightarrow B}(t)]}{dt}$
Обозначения	$\Delta T^{A \rightarrow GC}, \Delta T^{B \rightarrow GC}$ – сдвиг шкал стандартов относительно фрагмента сигнала $GC$ $t_1^A = t_p^{GC \rightarrow A} + \Delta T^{A \rightarrow GC}$ ; $t_1^B = t_p^{GC \rightarrow A} + \Delta T^{B \rightarrow GC}$ ; $t_p^{GC \rightarrow A} = \frac{D^{GC \rightarrow A}}{c}$ , $t_p^{GC \rightarrow B} = \frac{D^{GC \rightarrow B}}{c}$ – время задержки сигналов от $GC$ до пунктов; $c$ – скорость распространения радиоволн; $D^{GC \rightarrow A}, D^{GC \rightarrow B}$ – расстояния от $GC$ до пунктов; $\Delta t_p^{A \leftarrow GC \rightarrow B} = t_p^{GC \rightarrow A} - t_p^{GC \rightarrow B} = (\Delta D^{A \leftarrow GC \rightarrow B})/c$	$f_0$ – номинальное значение частоты стандартов;
Источники погрешности	сигнал/помеха в пунктах	
	погрешность определения $\Delta t_p^{A \leftarrow GC \rightarrow B}$ ; нестабильность задержки в приемных устройствах пунктов	скорость изменения задержки $\frac{d(\Delta t_p^{A \leftarrow GC \rightarrow B})}{dt} = \frac{\Delta V^{A \leftarrow GC \rightarrow B}}{c};$  нестабильность производной задержки в приемных устройствах

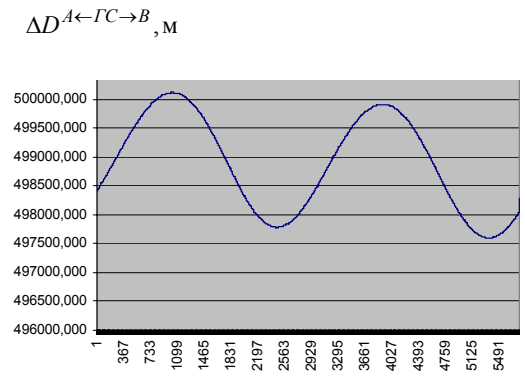


Рис. 4. № отсчета

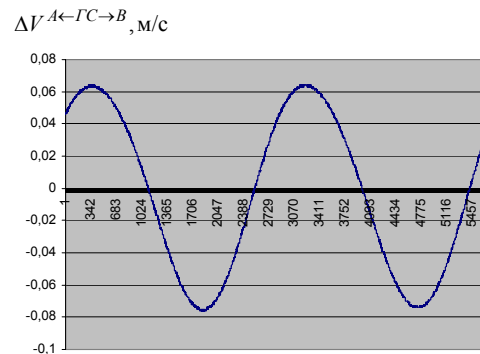


Рис. 5. № отсчета