

## Начальное отклонение частоты синхронизируемого генератора в системе тактовой сетевой синхронизации при переходе в режим удержания

### Initial offset of frequency of the synchronized generator in system of time network synchronization in period transition into holdover

#### Ясинский / Yasinsky S.

Сергей Александрович  
(yasinsky777@mail.ru)  
доктор технических наук, доцент.  
Филиал ФГУП «Ленинградское  
отделение центрального научно-исследовательского  
института связи» (ЛО ЦНИИС),  
научный консультант.  
г. Санкт-Петербург

#### Морозов / Morozov G.

Геннадий Григорьевич  
(morozov@loniis.org)  
кандидат технических наук.  
Филиал ФГУП ЛО ЦНИИС,  
заместитель начальника центра.  
г. Санкт-Петербург

#### Алексеева / Alekseeva M.

Марина Николаевна  
(marina\_a@loniis.org)  
Филиал ФГУП ЛО ЦНИИС,  
ведущий инженер.  
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: сигнал синхронизации – synchronization signal; система тактовой сетевой синхронизации – system of clock network synchronization.

В статье предложены результаты исследования и расчетов начального отклонения частоты разнотипных синхронизируемых генераторов в режиме удержания для построения системы тактовой сетевой синхронизации телекоммуникационной сети.

In the article the results of research and calculations of initial offset of frequency of the synchronized generators of different types for the mode of holdover offer for the construction of the system of time synchronization network of telecommunication system.

В системе тактовой сетевой синхронизации (СТСС) телекоммуникационной сети в режим удержания принудительно синхронизируемый генератор переходит после пропадания (аварии) сигналов на входах внешней синхронизации. Режим удержания должен поддерживать максимально возможную точность частоты генератора во время проведения ремонтно-восстановительных работ. Точность частоты определяется начальным отклонением частоты при переходе в режим удержания и последующим отклонением частоты из-за старения и воздействия внешних

дестабилизирующих факторов. Начальное отклонение частоты в большой степени зависит от количества результатов, полученных в синхронном режиме и используемых для вычисления начального отклонения частоты. Поскольку результаты отбираются с равными интервалами времени, то начальное отклонение частоты зависит от времени накопления.

Функциональная схема, иллюстрирующая формирование сигнала управления частотой сигнала синхронизации (СС) в режиме удержания, приведена на рис. 1. В соответствии с этой схемой в режиме синхронной работы на вход управляемого генератора (УГ) подаются сигналы, с помощью которых отслеживаются результаты изменения частоты на входе генератора. Эти же сигналы используются для вычисления начального значения сигнала управления в режиме удержания. В момент перехода синхронизируемого генератора в режим удержания на вход УГ подается сигнал, подготовленный на основе данных, полученных в режиме синхронной работы. В синхронном режиме работы поддерживается равенство относительных отклонений частоты в сигналах на входе и выходе синхронизации за счет изменения сигналов управления (СУ). Сигналы управления представляют собой числа  $N_i$ , которые изменяются в зависимости от соответствующих изменений частоты и фазы сигналов на входе синхронизации и СС на выходе УГ. Эти же сигналы накапливаются и используются для вычисления начального значения СУ в режиме удержания. Значение СУ для режима удержания  $N_{CP}$  может опре-

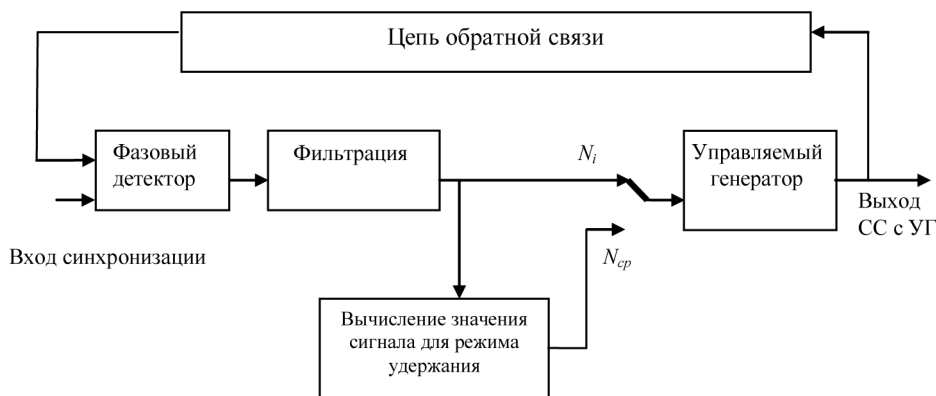


Рис. 1. Функциональная схема, иллюстрирующая формирование СУ частотой СС в режиме удержания

деляться как фиксированное или скользящее среднее арифметическое значение накопленных сигналов  $N_i$ .

Использование метода скользящего среднеарифметического значения может обеспечить более высокую точность частоты при переходе в режим удержания. Однако вычисление скользящего среднеарифметического значения требует большего объема памяти и времени вычислений.

Фиксированное среднеарифметическое значение определяется из  $n$  значений сигналов управления  $N_i$ , накопленных за время  $T_H$ , которое будем называть временем накопления. После окончания вычисления  $i$ -го значения сигнала управления  $N_{cp}$  для режима удержания начинается вычисление следующего  $i+1$ -го значения. Если авария в сигнале синхронизации происходит в момент вычисления  $i$ -го значения, то для режима удержания используется результат вычисления  $i$ -го значения сигнала управления.

Фиксированное среднеарифметическое значение определяется из соотношения:

$$N_{cp} = \frac{1}{n} \sum_i^n N_i, \quad (1)$$

где:  $n$  – количество значений СУ за период накопления  $T_H = n \cdot \tau_H$ ,

$\tau_H$  – интервал получения сигнала управления  $N_i$ .

Каждому значению сигнала управления  $N_i$  соответствует относительное отклонение частоты  $\delta_i = N_i \cdot k$ , где  $k$  – коэффициент, характеризующий крутизну управления генератора.

Учитывая, что  $k$  является постоянной величиной, можно из среднего значения СУ, приведенного в выражении (1), получить отклонение частоты  $\delta_{cp}$ , которое определяется вычисленным средним значением СУ:

$$\delta_{cp} = \frac{1}{n} \sum_i^n \delta_i \quad (2)$$

Выражение (2) соответствует фильтру первого порядка типа  $\frac{\sin x}{x}$ .

Подготавливаемое в синхронном режиме значение сигнала управления и соответствующая величина относительного отклонения частоты зависит от следующих факторов:

- от отклонения частоты относительно номинального значения и блужданий в сигнале источника СС;
- от блужданий в СС, возникающих при прохождении через системы передачи;
- от изменений СУ в синхронном режиме, которые компенсируют отклонения частоты в результате старения в течение времени накопления;
- от изменений СУ из-за отклонений частоты в результате изменений температуры в течение времени накопления;
- от изменений СУ для компенсации собственных блужданий генератора;
- от ошибки при округлении вычисленного усредненного СУ до ближайшего разрешенного значения двоичного числа.

Наибольшее влияние на отклонение частоты в момент перехода в режим удержания оказывают блуждания в сигнале на входе синхронизации, включая и блуждания в сигнале источника сигналов синхронизации, и отклонения частоты в результате старения. По мере увеличения времени накопления уменьшается влияние блужданий на входе синхронизации и увеличивается влияние старения.

Для решения задачи выбора времени накопления  $T_H$ , при котором минимально отклонение частоты при переходе в режим удержания, можно использовать метод суперпозиции и рассматривать отдельно влияние блужданий и влияние старения.

Влияние блужданий, возникающих в системах передачи синхронной цифровой иерархии, на относительное отклонение частоты в момент перехода в режим удержания можно оценить следующими выражениями:

$$\Psi_{ш}(t_H) = \pm \frac{2 \cdot 10^{-5}}{\frac{1}{\pi \cdot f_{\phi}} + t_H} \quad \text{при } t_H \leq 1894 \text{ с}; \quad (3)$$

$$\Psi_{ш}(t_H) = \pm \left\{ 10^{-9} \cdot 433 \cdot \left( \frac{1}{\pi \cdot f_{\phi}} + t_H \right)^{-0,8} + 1 \cdot 10^{-11} \right\} \quad \text{при } t_H > 1894 \text{ с}, \quad (4)$$

где:  $\Psi_{ш}(t_H)$  – зависимость отклонения частоты от времени накопления, от блужданий в сигнале на входе синхронизации и от полосы эквивалентного фильтра в системе фазовой подстройки частоты;

$t_H$  – время накопления, как переменная величина;  
 $f_{\phi}$  – максимальное значение полосы пропускания эквивалентного фильтра нижних частот.

Влияние старения  $\Psi_{ст}(t_H)$  на относительное отклонение частоты в момент перехода в режим удержания можно оценить следующим образом:

– при использовании вычисления скользящего среднеарифметического значения

$$\Psi_{ст}(t_H) = 0,5 \cdot b \cdot t_H; \quad (5)$$

– при использовании вычисления фиксированного среднеарифметического значения

$$\Psi_{ст}(t_H) = 1,5 \cdot b \cdot t_H, \quad (6)$$

где  $b$  – скорость изменения частоты в результате старения.

При этом предполагается, что в течение времени накопления величина  $b$  постоянна в течение времени накопления.

Выбор величины времени накопления, при котором минимально относительное отклонение частоты в момент перехода в режим удержания, можно провести на основе минимизации выражений:

– при использовании вычисления скользящего среднеарифметического значения

$$\Psi(t_H) = 10^{-9} \cdot 433 \cdot \left( \frac{1}{\pi \cdot f_{\phi}} + t_H \right)^{-0,8} + 1 \cdot 10^{-11} + 0,5 \cdot b \cdot t_H \quad (7)$$

– при использовании вычисления фиксированного среднеарифметического значения

$$\Psi(t_H) = 10^{-9} \cdot 433 \cdot \left( \frac{1}{\pi \cdot f_{\phi}} + t_H \right)^{-0,8} + 1 \cdot 10^{-11} + 1,5 \cdot b \cdot t_H \quad (8)$$

В реальных условиях функционирования  $\Psi(t_H)$  будет находиться между значениями, полученными с помощью выражений (7) и (8).

Пример графического представления результатов решения с помощью выражений (4–6) для определения времени накопления  $T_H$ , при котором минимально начальное отклонение частоты, приведен на рисунке 2.

При исследовании для различных типов генераторов учитывались следующие условия:

– в качестве источника СС используется первичный эталонный генератор, который имеет отклонение частоты не более  $10^{-11}$ ;

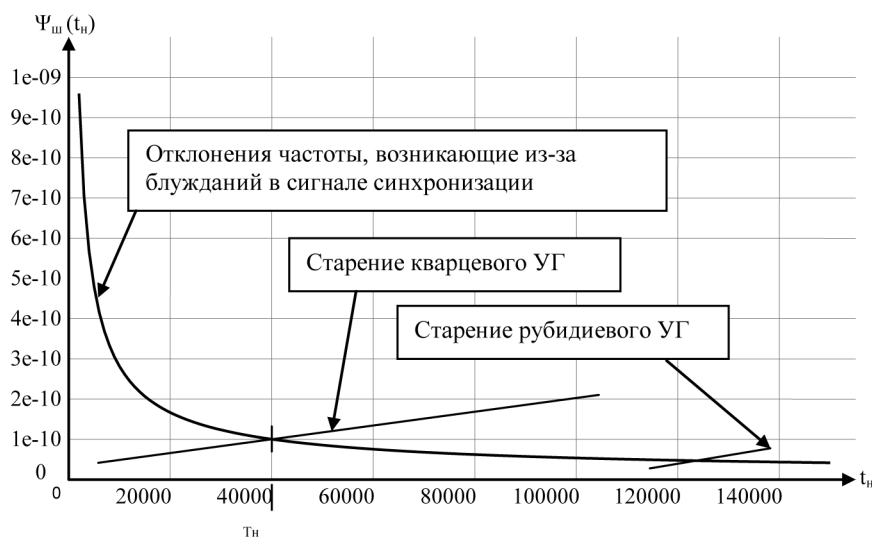


Рис. 2. Пример графического представления результатов решения с помощью выражений (4–6) для определения времени накопления  $T_H$

– для передачи СС используется система синхронной цифровой иерархии, в которой блуждания могут достигать значений, приведенных в [1] и [2];

– максимальное значение полосы пропускания эквивалентного фильтра нижних частот  $f_{\phi} = 0,003$  Гц;

– отклонение частоты в результате старения кварцевого генератора составляет  $2 \cdot 10^{-10}$  за сутки [3] и [4], что соответствует значению  $b = 2,31 \cdot 10^{-15} \text{ 1/c}^2$ ;

– отклонение частоты в результате старения рубидиевого генератора составляет  $2 \cdot 10^{-11}$  за сутки, что соответствует значению  $b = 2,31 \cdot 10^{-16} \text{ 1/c}^2$ .

Результаты расчётов зависимостей относительного отклонения частот для различных типов генераторов от времени накопления при вычислении начальных значений их отклонений позволили сделать следующие выводы:

1. Рубидиевые генераторы обеспечивают более высокую точность частоты, однако при этом оптимальное время накопления достигает больших величин: 185000 с (более 2 суток) для метода скользящего среднего и 100000 с (более суток) для метода фиксированного среднего.

2. Относительное отклонение частоты кварцевого генератора при переходе в режим удержания больше по сравнению с рубидиевыми генераторами, но во многих случаях использования этой точности достаточно. Оптимальное время накопления для кварцевых генераторов существенно меньше: 51000 с – для метода скользящего среднего и 28000 с – для метода фиксированного среднего.

## Литература

1. Правила применения оборудования тактовой сетевой синхронизации. Утверждены приказом Министерства информационных технологий и связи Российской Федерации № 161 от 07.12.2006 г.

2. Требования к построению сети связи общего пользования в части системы обеспечения тактовой сетевой синхронизации. Утверждены приказом Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации 02.03.2009 г. № 31.

3. Рекомендация МСЭ-Т G.812. Временные характеристики на выходах задающих генераторов, пригодных для использования в качестве узловых генераторов сетей синхронизации, 06/2004.

4. Стандарт ETSI EN 300 462-4-1 v.1.1.1 (1998-05). Временные характеристики ведомых генераторов для обеспечения синхронизацией оборудования синхронной цифровой иерархии и плездохронной цифровой иерархии.