

УДК 621.391

СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПОЛИКАНАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА СИНХРОНИЗАЦИИ ЦИФРОВЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

В.В. Коваль, зав. кафедрой компьютерных сетей и телекоммуникаций НУБиП (Украина), д.т.н., профессор; synchronet@gala.net

Г.А. Сукач, профессор кафедры физики НУБиП (Украина); д.ф.-м.н., профессор

О.В. Гельчин, начальник РЦТЭТТС-8 филиала «Дирекции первичной сети ОАО «Укртелеком» (Украина)

Е.А. Осередько, ассистент кафедры компьютерных сетей и телекоммуникаций НУБиП (Украина)

С.В. Данилевский, студент магистратуры НУБиП (Украина)

Ключевые слова: телекоммуникации, отсчеты времени, устройства синхронизации, синхροинформация, мониторинг, повышение точности, оптимизация, критерий.

Введение. Функционирование современных цифровых телекоммуникаций в значительной степени зависит от качественных характеристик синхροинформации, передаваемой по сети. Синхронизация территориально распределенных объектов цифровых телекоммуникаций обеспечивается сетью тактовой синхронизации. Для формирования и распределения тактового синхросигнала по сети используются первичный эталонный генератор и ведомые устройства синхронизации (ВУС). Устройства прецизионного контроля (УПК) выполняют функции мониторинга синхροинформации. Среди известных методов контроля синхροинформации можно выделить метод сравнения с эталонным (опорным) сигналом. УПК предназначены для мониторинга временных характеристик элементов цифровой сети на уровне интерфейсов, а также в контрольных точках по параметру отклонения временного интервала (ОВИ) относительно эталонного [1-3]. Жесткие требования, предъявляемые к синхροинформации цифровых телекоммуникаций, обуславливают прецизионность измерений и высокую точность формирования опорных сигналов (периодических отсчетов времени, временных интервалов). Достижение высоких показателей возможно за счет разработки и использования прецизионных формирователей (ПФ), которые на весь гарантированный срок эксплуатации должны обеспечивать высокую стабильность периодических отсчетов времени (ПОВ). Поэтому сегодня день большое внимание уделяется проблемам научного исследования сетей синхронизации цифровых телекоммуникаций и систем, формирующих высококачественную синхροинформацию.

Постановка задачи. Используемый метод мониторинга синхросигнала основан на его сравнении с эталонным (опорным) сигналом, относительно которого проводятся измерения. Опорный сигнал, в силу предъявления ему повышенных требований, формируется на основе прецизионных сигналов высокостабильных источников (рубидиевые, цезиевые, водородные генераторы) прецизионным формирователем периодических отсчетов времени (ПФ ПОВ). В некоторых практических версиях ПФ ПОВ реализуется в качестве встроенного источника опорного сигнала системы контроля ВУС телекоммуникационных сетей. Поэтому такой источник должен формировать сигнал ПОВ с высокой точностью и стабильностью при заданных изменениях условий технической эксплуатации (климатических, механических, электрических и др.). При этом необходимо минимизировать влияние неизбежного разброса параметров устройств в процессе

производства и фактора их территориального распределения на телекоммуникационной сети.

Очевидно, что от точности опорного сигнала, представленного в виде ПОВ в значительной степени зависит достоверность мониторинга. Поэтому в процессе производства УПК возникает необходимость определения обоснованных допусков на температурную неустойчивость временных интервалов ПОВ.

Решить поставленную задачу возможно на основе теоретико-вероятностного исследования ОВИ между ПОВ с определением природы их возникновения (характера условий эксплуатации территориально распределенных ВУС, условий транспортировки (перемещения) синхροинформации, разброса параметров аппаратуры и т.д.). Теоретико-вероятностное рассмотрение механизма образования суммарного ОВИ между ПОВ целесообразно проводить с последовательной его детализацией вплоть до учета влияния на суммарную нестабильность, и особенно на ее температурную составляющую, параметров каждой детали, входящей в ПФ ПОВ. Это дает возможность создать расчетный аппарат для обоснованного определения условий оптимальной температурной устойчивости временных интервалов ПОВ.

Решение сформулированной задачи для системы поликанального мониторинга синхροинформации цифровых телекоммуникаций неизвестно из публикаций, является актуальным и требует научного исследования.

Решение задачи. Рассмотрим методику расчета температурной неустойчивости временных интервалов ПФ с учетом реальных условий технической эксплуатации и технологии производства, обуславливающих статистический характер зависимости ПОВ от температуры [4]. Эта зависимость нелинейная, что следует из результатов экспериментальных исследований выборочной партии однотипных ПФ (29 приборов), представленных семейством кривых зависимости относительного ОВИ между ПОВ $\frac{\Delta\Theta_i}{\Theta}$ от температуры (номинальный интервал времени между ПОВ равен $\Theta = 125$ мкс). Семейство кривых пересекаются в точке $t_{настр} = +20^\circ\text{C}$ (температура при которой осуществлялась настройка) и пучков, расходящихся от этой точки в обе стороны. Полагается, что распределение рабочей температуры равновероятно в пределах заданного интервала $t'_в - t'_н$.

Согласно данному распределению плотности вероятностей отдельных значений температурной устойчивости временных интервалов сигналов ПОВ для всей партии ПФ обозначим функцией $\varphi\left(\frac{\Delta\Theta_i}{\Theta}\right)$, где Θ и $\Delta\Theta_i$ соответственно номинальное значение и ОВИ сигналов ПОВ от температуры t' . Эта функция может быть выражена следующими параметрами: некоторым функционалом $\varphi_1[m(t'), d(t')]$ со сред-

ним значением $m(t^o)$ и функцией $d(t^o)$

$$\varphi\left(\frac{\Delta\Theta_t}{\Theta}\right) = \frac{1}{t_B^o - t_H^o} \int_{t_H^o}^{t_B^o} \varphi_1[m(t^o), d(t^o)] dt^o.$$

Поскольку среднее значение $M\left(\frac{\Delta\Theta_t}{\Theta}\right)$ и дисперсия $D\left(\frac{\Delta\Theta_t}{\Theta}\right)$ температурной устойчивости временных интервалов сигналов ПОВ в общем виде соответственно выражаются соотношениями:

$$\frac{M(\Delta\Theta_t)}{\Theta} = \frac{1}{t_B^o - t_H^o} \int_{t_H^o}^{t_B^o} m(t^o) dt^o;$$

$$\frac{D(\Delta\Theta_t)}{\Theta^2} = \frac{1}{t_B^o - t_H^o} \int_{t_H^o}^{t_B^o} d^2(t^o) dt^o + \frac{1}{t_B^o - t_H^o} \int_{t_H^o}^{t_B^o} m^2(t^o) dt^o - \frac{M^2(\Delta\Theta_t)}{\Theta^2},$$

их расчет по существу сводится к определению функции $m(t^o)$ и $d(t^o)$.

Для партии исследуемых ПФ выполнена статистическая обработка результатов измерений и построены функции $m(t^o)$ и $d(t^o)$ в виде выборочных значений для фиксированных температур t_j^o :

$$m(t_j^o) = \frac{1}{\Theta} \frac{\sum_{k=1}^n \Delta\Theta_{jk}}{n}; \quad d(t_j^o) = \frac{1}{\Theta} \frac{\sum_{k=1}^n \left[\frac{\Delta\Theta_{jk}}{\Theta} - m(t_j^o) \right]^2}{n-1}. \quad (1)$$

В (1) индексы имеют такие значения: j – дискретное значение температуры t^o , для которой осуществлялась статистическая обработка ($j = 1, \dots, 9$); k – номер экземпляра ПФ выборочной партии ($k = 1, \dots, 29$).

Обобщенные результаты исследований температурной зависимости всего множества ПФ ПОВ, результаты статистической обработки температурных характеристик в виде функции $m(t_j^o)$ подтверждают факт их нелинейности.

В связи с этим для проведения аналитического исследования необходимо формализовать полученные результаты температурной зависимости. Выполним аппроксимацию дискретных значений температурных характеристик выборочной партии ПФ функции $m(t_j^o)$ гладкой кривой, которая аналитически может быть представлена ступенчатым рядом с членами не выше третьего порядка:

$$m_a(t^o) = a_1(t^o - t_{настр}^o) + a_2(t^o - t_{настр}^o)^2 + a_3(t^o - t_{настр}^o)^3. \quad (2)$$

Коэффициенты степенного ряда (2) зависят от электрических и конструктивных характеристик ПФ. Для определения этих зависимостей (на основании экспериментальных исследований партии ПФ) в структуре устройства выделена группа элементов КН–ИОН–ЦАП (КН – компаратор напряжения, ИОН – источник опорного напряжения, ЦАП – цифроаналоговый преобразователь). Общим признаком выделенной группы является факт их доминирующего вклада в суммарную нестабильность временных интервалов между ПОВ. КН–ИОН–ЦАП размещается на стандартной печатной плате размером 160×100 мм (рис. 1). Габаритные размеры корпусов генераторов, управляемых напряжением (ГУН) типа ГК-89, ГК-75, ГК-90, изготавливаемых фирмой «Морион» и используемых при изготовлении ГУН, составляют 51×51×38 мм, 51×51×25 мм, 51×51×12,7 мм соответственно. Другие компоненты схемы имеют стандартные корпуса, а именно КН (фирмы «ANALOG DEVICES» СМР401) – корпус SOIC с монтажными габаритами 10×6,2×1,75 мм; ИОН (фирмы «BURR BRAUN» REF 1004-2,5) – корпус SOIC с монтажными габаритами 10×3,1×1,75 мм; ЦАП (фирмы «BURR BRAUN» DAC1220) – корпус SSOP-16. По срав-

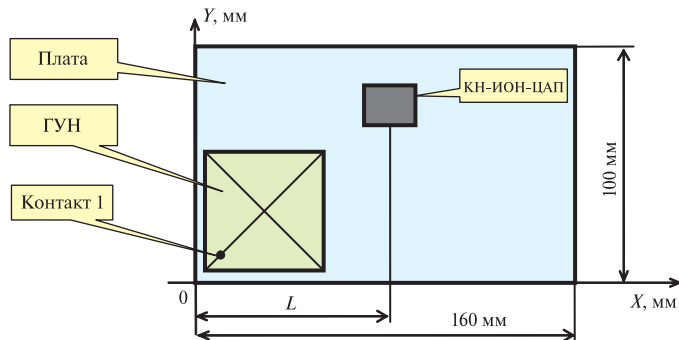


Рис. 1. Взаимное расположение компонентов ПФ на печатной плате

нению с общей площадью платы площадь, занимаемая на плате компонентами, позволяет обеспечить возможность рациональной компоновки с учетом обеспечения оптимальной температурной устойчивости сигнала СВЧ.

Такое представление взаимного расположения компонентов ПФ на печатной плате позволяет выполнить аналитическое исследование влияния ряда факторов на устойчивость сигнала ПФ. Например, если выбрать температуру настройки выборочной партии ВУС $t_{настр} = 20^oC$, то зависимость коэффициентов a_1, a_2, a_3 уравнения (2) от расстояния L может быть достаточно точно представлена формулами:

$$a_1 = -5,15 \cdot \left(\frac{L-51,3}{160} \right) \cdot 10^{-6}; \quad a_2 = - \left[0,1 + 4,5 \cdot \left(\frac{L-51,3}{160} \right) \right] \cdot 10^{-9};$$

$$a_3 = \left[130 - 10 \cdot \left(\frac{L-51,3}{160} \right) \right] \cdot 10^{-12}.$$

При этом следует учитывать ограничения относительно расположения группы элементов КН–ИОН–ЦАП в пределах платы, а именно $0 \leq L \leq 160$ мм.

На основе аппроксимирующей функции $m_a(t^o)$ среднее значение $M(\Delta\Theta_t)$ и дисперсия $D(\Delta\Theta_t)$ температурной устойчивости интервалов времени между ПОВ соответственно определяются следующими соотношениями:

$$\frac{M(\Delta\Theta_t)}{\Theta} = \left| \frac{1}{2} p_2 a_1 + \frac{1}{3} p_3 a_2 + \frac{1}{4} p_4 a_3 \right|;$$

$$\frac{D(\Delta\Theta_t)}{\Theta} = \sqrt{\frac{1}{3} p_3 \left[a_1^2 + \left(\frac{\partial a_1}{\partial L} \frac{\Delta L}{\Xi} \right) \right] + \frac{1}{2} p_4 a_1 a_2 + \frac{1}{5} p_5 (a_2^2 + 2a_1 a_2) + \frac{1}{3} p_6 a_2 a_3 + \frac{1}{7} p_7 a_3^2 - \frac{M^2(\Delta\Theta_t)}{\Theta^2}},$$

где ΔL – погрешность дискретности расположения на плате элементов; Ξ – коэффициент, зависящий от характера погрешности дискретности расположения элементов.

Коэффициенты p_n определяются из уравнения:

$$p_n = \frac{\Delta t_B^n - \Delta t_H^n}{t_B - t_H},$$

в котором соответственно обозначены интервалы нагрева и охлаждения относительно температуры настройки $t_{настр}$:

$$\Delta t_B = t_B^o - t_{настр}^o; \quad \Delta t_H = t_H^o - t_{настр}^o.$$

Для выполнения оптимизации температурной устойчивости ПФ ПОВ предложен критерий – джэй-параметр $J(\Delta\Theta_t)$:

$$J(\Delta\Theta_t) = J_0(\Delta\Theta_t) = \left| M(\Delta\Theta_t) \right| + 1,2 \sqrt{D(\Delta\Theta_t)}.$$

Существенным для данного критерия является то, что

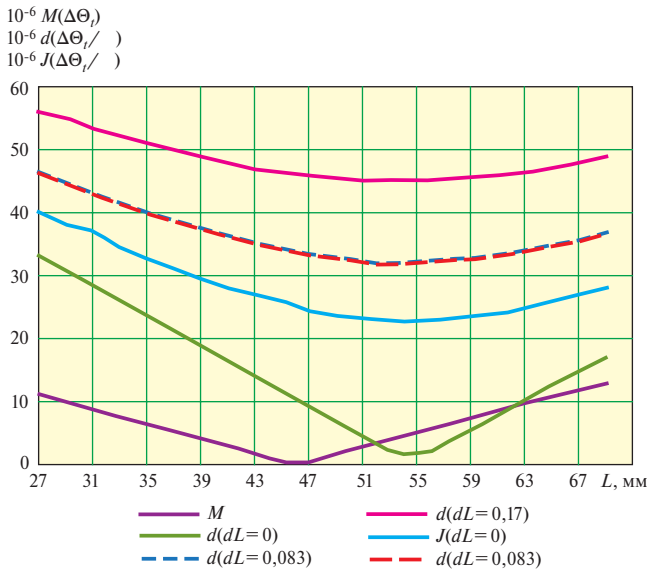


Рис.2. Зависимость параметров ПФ от L

при изменениях $M(\Delta\Theta_i)$ и $D(\Delta\Theta_i)$ джэй-параметр с достаточной точностью отражает влияние температурной составляющей на суммарную нестабильность временных интервалов. Он выглядит достаточно просто и не вызывает дополнительных затруднений при своем применении.

На основе метода статистической оптимизации, джэй-параметра, уравнений, связывающих дисперсию и среднее значение температурной устойчивости временных интервалов, можно отыскать оптимальные соотношения между ними, учитывая минимизацию влияния температуры на характеристики ПФ. Для решения этой задачи, связанной со значительными объемами математических вычислений, разработаны оригинальные алгоритм и программа статистической оптимизации CALCULATION на языке программирования C++.

Оптимальные условия температурной устойчивости реализованы за счет минимизации джэй-параметра при перемещении на расстояние L группы элементов (КН, ИОН, ЦАП) вдоль оси X (рис. 1). По результатам расчетов программы CALCULATION построены зависимости относительных значений величин $M(\Delta\Theta_i)$, $D(\Delta\Theta_i)$ и $J(\Delta\Theta_i)$ от величины L для выборочной партии однотипных ПФ (рис. 2).

На основе анализа зависимостей относительных значений $J(\Delta\Theta_i)$ от величины L можно определить оптимальные условия температурной устойчивости ПФ по критерию его минимума. Для исследуемой выборочной партии однотипных ПФ оптимальные условия температурной устойчивости будут созданы в случае, когда группа элементов КН–ИОН–ЦАП расположится вдоль оси X на расстоянии $L = 55$ мм. В данном случае $J(\Delta\Theta_i)$ принимает минимальное относительное значение $22,7 \cdot 10^{-6}$.

Заключение. 1. Установлено оптимальное расположение группы элементов на печатной плате ПФ ПОВ, что позволило улучшить температурную устойчивость точности формирования ПОВ.

2. Оптимальные условия температурной устойчивости ПФ обеспечивают улучшение стабильности формирования опорных сигналов ПОВ и, как следствие, повышение точности поликанального мониторинга синхросигналов в реальных условиях эксплуатации цифровых телекоммуникаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Брени С. Синхронизация цифровых сетей связи / Пер с англ. – М.: Мир. – 2003.
2. Koval V., Kostik B., Kravec O., Shklyarevskiy I., Nechporuk O. Polychanell monitoring device of the telecommunication systems' synchroinformation // Proc. International Conf.: "Modern problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science" (TCSET'2008). – (Lviv–Slavsko, Ukraine, 2008). – Львов, – 2008.
3. Богуцкая О.А., Коваль В.В., Сукач Г.А., Петрусенко К.А., Яницкий И.Я. Поликанальный мониторинг синхросигналов сети тактовой синхронизации современных систем связи // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов для связи и вещания. // Сборник докладов Всероссийского научно-технического семинара. – Москва–Воронеж. – Инсвязьиздат. – 2009.
4. Богуцкая О.А., Греско Ю.В., Коваль В.В., Чернова К.С., Яницкий И.Я. Статистичні методи підвищення точності пристроїв технічного моніторингу якості синхросигналу // Тези доповідей V Міжнар. наук.-техн. конф. "Сучасні інформаційно-комунікаційні технології". – К.: ДУІКТ. – 2009.

Получено 01.12.11