

МОДЕЛЬ ЭТАЛОННОЙ ЦЕПИ СЕТИ синхронизации СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ синхронной ЦИФРОВОЙ ИЕРАРХИИ (SDH)

Казиков Л.Н., Якимов И.М.

Ярославский государственный Университет
150000, г. Ярославль, ул. Советская, 14, (0852)79-77-56
kazakov@uniyar.ac.ru, edlin@uniyar.ac.ru

Одним из основных условий надежного функционирования современной системы передачи синхронной цифровой иерархии является устойчивая работа сети синхронизации, заключающаяся в обеспечении качественными сигналами синхронизации сетевых элементов системы по всей ее длине [1,2]. Подобная задача решается с помощью цепочки синхронизируемых генераторов, каждый из которых обслуживает свой сегмент сети. В качестве первичного эталонного генератора для всей этой цепочки выступает высокостабильный генератор, представляющий собой водородный стандарт. Последовательно с ним включены генераторы, обслуживающие сетевые элементы, и вторичные задающие генераторы, выполняющие функции промежуточных фильтров сигналов синхронизации. Согласно архитектуре канал синхронизации в целом представляет собой цепь последовательно связанных генераторов разного типа, в то же время существуют достаточно протяженные сегменты последовательно соединенных однотипных генераторов.

Качество сигналов синхронизации во многом связано с их фазовой нестабильностью, компонентами которой являются фазовое дрожание, дрейф фазы и изменения, вызванные отклонениями частоты [2]. Экспериментально установлено, что с ростом длины цепочки (числа вторичных задающих генераторов и генераторов сетевых элементов) уровень шума на выходе последнего генератора возрастает. Существуют рекомендательные нормы на количество соединенных последовательно синхронизируемых генераторов, как вторичных, так и сетевых. В то же время до конца непонятным остается механизм «рассинхронизации» сигнала, последовательно проходящего цепь взаимодействующих генераторов. Каков вклад в «рассинхронизацию» фазовых шумов отдельных генераторов цепи, какую роль играет конкретное положение генератора в цепи, каково влияние среды распространения сигнала синхронизации между соседними генераторами?

Точное решение подобных задач в аналитическом виде не представляется возможным. Взаимодействие двух и более генераторов даже без учета флуктуаций фазы не поддается точному описанию и соответственно изучению. Учет случайного изменения фазы или частоты сигналов существенно усложняет проблему аналитических исследований. Выходом может служить моделирование процессов в связанных генераторах с помощью современных компьютерных средств.

Целью предлагаемой работы является построение модели системы связанных генераторов, обладающих сложными флуктуационными характеристиками фазы и частоты, получении зависимостей качества сигнала на выходе генератора от длины цепочки и номера генератора в цепочке, параметров эталонного и вторичных генераторов и схем их синхронизации. На рис.1 приведен общий вид структурной схемы цепочки генераторов.

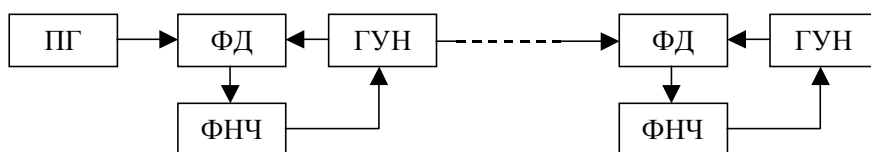


Рис. 1. Структурная схема модели цепи синхронизации.

Здесь ПГ – первичный генератор, ФД – фазовый детектор, ФНЧ – фильтр нижних частот, ГУН – генератор, управляемый напряжением (вторичный генератор).

В модели учитывалось влияние шумов первичного задающего генератора, шумов вторичных генераторов, составляющих цепочку, и шумов каналов связи.

Для предварительной оценки фазовых шумов на выходе цепочки была использована линейная модель системы фазовой синхронизации, которая позволила получить коэффициенты передачи указанных шумов на выход цепочки генераторов и проанализировать основные закономерности и сделать приблизительные оценки качества выходного сигнала. К примеру, квадрат модуля коэффициента передачи шума первичного генератора на выход цепи из N генераторов для случая, когда все вторичные генераторы одинаковы (представляются СФС 1-го порядка с одинаковыми параметрами), имеет вид:

$$L_N(\omega) = \left(\frac{\Omega^2}{\omega^2 + \Omega^2} \right)^N, \text{ где } \Omega - \text{полоса удержания СФС.}$$

Шумовая полоса такой системы:

$$P_{ш}(N, \Omega) = \frac{(2N-3)!}{(N-1)!(N-2)!} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{2N-3} \cdot \Omega \cdot \frac{\pi}{2}.$$

С увеличением длины цепочки шумовая полоса уменьшается, что приводит к улучшению фильтрации фазового шума первичного генератора. Аналогичные исследования проведены и для остальных источников шума. Кроме того, проведено сравнение влияния различных фильтров в цепи управления СФС на качество выходного сигнала. На основе проведенного анализа были сделаны следующие выводы:

- Увеличение длины цепочки приводит к улучшению фильтрации шумов первичного генератора, однако одновременно происходит накопление шумов вторичных генераторов и каналов связи.
- Изменения Ω оказывают противоречивое влияние на качество сигнала. С одной стороны при увеличении Ω ухудшается фильтрация шумов первичного генератора, но с другой стороны, улучшается фильтрация шума, обусловленного вторичными генераторами.
- Цепочка наиболее полно пропускает низкочастотные составляющие шума первичного генератора, и усиливает низкочастотные составляющие шумов каналов связи. В то же время она больше пропускает высокочастотные составляющие шумов вторичных генераторов. Именно эти шумы и надо минимизировать для достижения наибольшего эффекта.

Полученные оценки качества были проверены на компьютерной модели, построенной с помощью пакета «SystemView» компании ELANIX. Были предложены две модели, отражающие работу системы. Первая модель является высокочастотной и строится на основе прохождения высокочастотным сигналом элементов цепочки. Вторая модель является низкочастотной и оперирует непосредственно с фазой сигналов. В первой модели более просто моделируются шумы канала связи. Вторая модель позволяет проводить моделирование существенно больших временных интервалов работы системы, что необходимо при вычислении таких характеристик сигнала, как TDEV (девиация временного положения тактовых импульсов).

В работе источники фазовых шумов генераторов представлялись с помощью модели Лисона, содержащей как белые, так и фликкер-шумы частоты и фазы [3,4]. Спектральная плотность такого фазового шума имеет вид:

$$S_{\phi}(f) = \frac{2K_n kT}{P_s} \cdot (F_{\alpha} F_f^2 f^{-3} + F_f^2 f^{-2} + F_{\alpha} f^{-1} + 1)$$

где k – постоянная Больцмана, T – температура, K_n – коэффициент шума, P_s – мощность сигнала, F_{α} – частота, на которой уровень фликкер-шума достигает уровня белого шума, F_f – половина полосы пропускания цепи обратной связи по уровню половинной мощности. В работе предложена методика формирования фликкер-шума, прямое создание которого из белого шума сопряжено с определенными трудностями.

В ходе модельных экспериментов вычислялась зависимость параметра TDEV сигнала на выходе цепочки генераторов от времени наблюдения. Было исследовано влияние на эту зависимость таких величин, как длина цепочки, параметры генераторов и связывающих их СФС, а так же тип фильтра в цепи управления. По результатам исследования был построен ряд графиков. В качестве примера на рис. 2. представлена зависимость параметра TDEV от времени наблюдения при наличии только шумов каналов передачи, представляющих собой белый гауссов шум. Графики представлены для цепочки, состоящей из пяти генераторов.

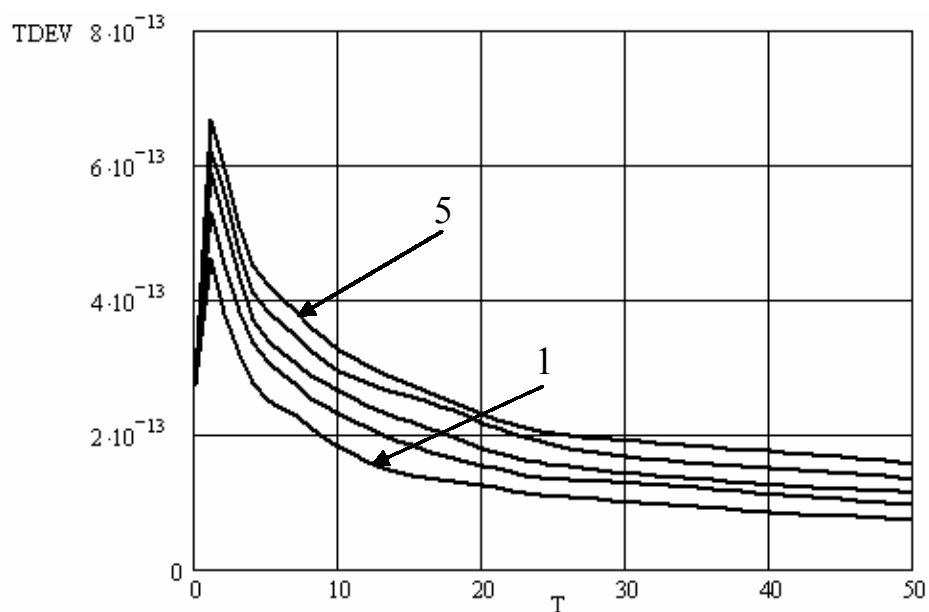


Рис. 2. Зависимость TDEV от времени наблюдения при $\Omega = 10$ Гц для длины цепочки от 1 до 5 генераторов.

Результаты данной работы могут использоваться при расчете цепей синхронизации первичных сетей SDH, а так же других систем, включающих в себя цепочки последовательно включенных синхронизируемых генераторов.

Работа выполнена на кафедре динамики электронных систем ЯргУ при финансовой поддержке Минобрания РФ и Российского фонда фундаментальных исследований.

Литература

1. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи. – М.: Радио и связь, 2000. – 468 с.
2. Руководство ETSI - ETSI EG 201 793 v1.1.1 (2000-10), 1997.
3. Шитиков Г.Т. Стабильные автогенераторы метровых и дециметровых волн. – М.: Радио и связь, 1983. – 256 с.
4. Рыжков А.В., Попов В.Н. Синтезаторы частот в технике радио связи. – М.: Радио и связь, 1991. – 264 с.



THE MODEL OF ETALON SYNCHRONIZATION CIRCUIT OF COMMUNICATION SYSTEM BASED ON THE SYNCHRONOUS DIGITAL HIERARCHY (SDH)

Kazakov L., Yakimov I.

Yaroslavl State University
kazakov@uniyar.ac.ru, edlin@uniyar.ac.ru

Different communication devices use digital systems today. It is very important for modern digital communication networks to have good clocking signal [1]. Engineers usually solve this problem by using chains of serially connected generators where previous one synchronize next one. This chain uses very stable primary generator which gives reference clock signal.

The absence of good clocking signal can cause high level of errors in digital system and even can stop traffic at all. That is why it is so important to analyze prorogation of signal in the chain of generators. There are several main questions here:

- how does the noise of primary generator effect to the output signal of chain,
- how do the noises of secondary generators effect to the output signal of chain,
- how does the length of the chain effect to the output signal,
- how can we increase the quality of the output signal.

It is very difficult to solve this problem precisely. That is why we used computer modeling to analyze such system.

The goal of our work was to make a model of system of connected generators. In this model one generator connected to another by phase locked loops (PLL system). We assumed that signal of each generator had a phase noise with spectral density corresponding Lison's model [2]:

$$S_{\varphi}(f) = \frac{2K_n kT}{P_s} \cdot (F_{\alpha} F_f^2 f^{-3} + F_f^2 f^{-2} + F_{\alpha} f^{-1} + 1)$$

We also assumed that channels between generators added white Gaussian noise to the signal. By using linear model of PLL we got some translation coefficients for different noise sources, some noise bands and etc. We also compared PLL with different loop filters. So we get some estimations for quality of output signal.

These results were compared with results of computer modeling. The TDEV (time deviation) parameter was calculated for different noise sources, different chain lengths and different parameters of PLLs. Some diagrams of TDEV versus time of observation were painted. At the end of our work we can formulate a number of results:

- The longer the chain of generators the less of primary generator noise at the output.
- The longer the chain of generators the more of secondary generators noise at the output.
- Low frequencies of primary generator noise are stronger at the output.
- Low frequencies of channel noise are stronger at the output.
- High frequencies of secondary generators noise are stronger at the output.

This work was made at the Yaroslavl State University with help of Department of Education of Russian Federation and Russian Fond of Fundamental Research.

References

1. ETSI recommendation – ETSI EG 201 793 v1.1.1 (2000–10), 1997.
2. Рыжков А.В., Попов В.Н. Синтезаторы частот в технике радио связи. – М.: Радио и связь, 1991. – 264 с.