# Критерии оптимальности для методики синтеза структуры системы тактовой сетевой синхронизации телекоммуникационной сети

## Cost function for the synthesis strategy of the clocking system structure of the telecommunications network

**Ключевые слова:** сигнал синхронизации – clock signal; структура системы тактовой сетевой синхронизации – the clocking system structure of the telecommunications network.

В работе, наряду с используемыми стоимостными целевыми функциями в существующих методиках синтеза структур систем тактовой сетевой синхронизации для телекоммуникационных сетей предлагается учитывать критерии эффектности цепей синхронизации и максимального времени реконфигурации всей структуры сети.

The paper offers among target cost functions in existing methods of synthesis of the clocking system structure of the telecommunications network to consider the criteria of the clocking circuits efficiency and the maximum time of entire network structure reconfiguration.

**МОРОЗОВ / MOROZOV G.**
**Геннадий Григорьевич**
(morozov@loniis.org)
Филиал ФГУП «Ленинградское отделение центрального научно-исследовательского института связи» (ЛО ЦНИИС), заместитель начальника центра.
г. Санкт-Петербург

**ОСАДЧИЙ / OSADCHIY A.**
**Александр Иванович**
(spb.sos@hotmail.com)
доктор технических наук, профессор.
ЛО ЦНИИС, директор.
г. Санкт-Петербург

**ЧУРСИН / CHURSIN I.**
**Игорь Николаевич**
(i.chursin@minsvyaz.ru)
Федеральное агентство связи, заместитель руководителя.
г. Москва

**ЯСИНСКИЙ / JASINSKI S.**
**Сергей Александрович**
(yasinsky777@mail.ru)
доктор технических наук, доцент.
ЛО ЦНИИС, главный научный сотрудник.
г. Санкт-Петербург

Разработанные математические модели (ММ) для структур систем тактовой сетевой синхронизации (СТСС) телекоммуникационных сетей (ТКС) чаще всего базируются на потоковую (П) составляющую в виде графа

$$G_{\text{П}}(A_{\text{П}}, B_{\text{П}}),\ A_{\text{П}} = \left\{a_i; i = \overline{1, N}\right\},$$
$$B_{\text{П}} = \left\{b_{ij};\ i, j = \overline{1, N}\right\}, \qquad (1)$$

где $A_{\text{П}}$ – множество вершин графа (узловая основа) и $B_{\text{П}}$ – множество рёбер графа (линейная основа), стоимость которой минимизируется с учётом физической реализации узловым (У) ресурсом

$$R_{\text{У}}(A_{\text{П}}) = \left\{r'_{\nu}, \nu = \overline{1, Q_{\text{П}}}\right\}, \qquad (2)$$

где $r'_{\nu}$ – тип оборудования сетевого узла (станции) для передачи потоков информации, и линейным (Л) ресурсом

$$R_{\text{Л}}(B_{\text{П}}) = \left\{r'_{\mu}, \mu = \overline{1, Q_{\text{П}}}\right\}, \qquad (3)$$

где каждое из средств $r'_{\mu}$ характеризуется канальной ёмкостью (или пропускной способностью) $u'_{\mu}$.

Исходя из того, что в структуре СТСС не должно быть циклов, в качестве её модели предлагается использовать ациклический ориентированный граф [1,2]:

$$\vec{G}_c(A_c, \vec{B}_c),\ A_c = A_П = \{a_i, i = \overline{1, N}\},$$
$$\vec{B}_c = \{\vec{b}_{ij}; i, j = \overline{1, N}; i \neq j, \vec{b}_{ij} \neq \vec{b}_{ji}\}, \quad (4)$$

где $A_c$ – множество вершин графа СТСС; $\vec{B}_c$ – множество дуг (простых путей или цепей для передачи сигналов синхронизации (СС) в СТСС). Базовый СС в ТКС имеет частоту 2048 кГц. Выполнение условия (4), где $A_c = A_П = A$ ,означает, что сетевые узлы и сетевые станции ТКС должны оборудоваться не только узловым ресурсом (2), но и узловым ресурсом для генерации и передачи СС:

$$R_У(A_c) = \{r''_\nu, \nu = \overline{1, Q_c}\}, \quad (5)$$

где $r''_\nu$ – тип оборудования сетевого узла для генерации и передачи СС.

Матрицу расстояний между узлами $a_i$ и $a_j$, то есть длин рёбер $b_{ij} \in B_П$, представим в следующем виде:

$$L_П = \|l_{ij}\|.$$

Задачу синтеза структуры СТСС целесообразно декомпозировать на следующие две последовательно решаемые подзадачи:

– минимизация стоимости линейного ресурса (3) для формирования структуры СТСС (4) путём формирования множества кратчайших путей передачи СС, проходящих через $b_{ij} \in \vec{B}_c$ ,за счёт многократно применения алгоритма Дейкстры, то есть

$$W_{S_c}(\vec{B}_c) = \sum_{b_{ii} \in \vec{B}_c} l_{ij}(r''_\mu) \Rightarrow \min; \quad (6)$$

– минимизация стоимости узлового ресурса (5) для формирования цепей синхронизации (ЦС) в структуре СТСС (4) путём оптимизации количества источников СС, то есть

$$W_{S_c}(A_c) = \sum_{a_i \in A_c} d_{a_i}^{r''_\nu} \Rightarrow \min. \quad (7)$$

Что касается минимизации стоимости узлового ресурса (7), то она сводится к суммарному минимуму используемых на сети основных источников сигналов синхронизации, то есть к минимизации числа первичных эталонных генераторов и вторичных задающих генераторов (ПЭГ и ВЗГ) в ЦС

$$N_{ПЭГ\,и\,ВЗГ}(A_c) = \sum_{a_i \in A_c} N_{a_i}^{r''_\nu} \Rightarrow \min. \quad (8)$$

Целевые функции в существующих ММ в методиках синтеза структур СТСС для ТКС не в полной мере учитывают специфику применения определённых методов оптимизации, в которых наряду с критериями стоимости должны учитываться и критерии эффективности или эффектности.

Кольцевые транспортные структуры обладают существенным преимуществом в сравнении с другими типовыми структурами, которое заключается в том, что к каждому элементу информационные сигналы и СС могут поступать с двух направлений. Эта особенность определяет возможность сохранения работоспособности сети при появлении одиночных неисправностей.

При необходимости построения синхронизации сети с относительно большим количеством (более 20) сетевых элементов (СЭ) с сохранением преимущества кольцевой структуры могут использоваться многокольцевые схемы синхронизации. Для того чтобы была исключена возможность возникновения петель по синхронизации, многокольцевые схемы должны строиться по принципу иерархической синхронизации. В соответствии с этим принципом выделяется кольцо первого (самого высокого) уровня синхронизации, к которому подключены: основной источник (ОИ) сигналов синхронизации и резервный источник (РИ) сигналов синхронизации. К кольцу первого уровня через два СЭ подключаются полукольца второго уровня иерархии, а к СЭ второго уровня подключаются полукольца третьего уровня иерархии. Каждое полукольцо получает по два СС от кольца или полукольца более высокого уровня. При этом от полуколец более низкого уровня не передаются сигналы синхронизации к кольцу или полукольцам более высокого уровня иерархии.

В кольце первого уровня не должны возникать петли по синхронизации одиночных и двойных аварий. Кроме того, кольцо первого уровня иерархии при появлении любой одиночной аварии не должно распадаться на плезиохронные части.

Многокольцевые схемы синхронизации могут быть с одинаковыми полукольцами для всех уровней иерархии и могут быть с полукольцами, в которых количество СЭ увеличивается или уменьшается для разных уровней иерархии. Для выбора наиболее рациональных типовых структур для синтеза СТСС предлагается проводить сравнительную оценку вариантов формирования $i$-х ЦС, где $i = 1,..., I$ по критерию эффектности, количественно выражаемого в виде коэффициента эффектности

$$k_{\text{эф.ЦС}_i} = \frac{N_{\text{СЭ ЦС}_i}}{N_{\text{СЭ–1}ав.\text{ЦС}_i}} \quad (9)$$

где: $N_{\text{СЭ ЦС}_i}$ – количество синхронизируемых СЭ в *i*-й ЦС без аварий; $N_{\text{СЭ–1}ав.\text{ЦС}_i}$ – количество синхронизируемых СЭ в *i*-й ЦС с учётом появления одиночной аварии (1 *ав.*).

В сетях с линейной структурой транспортной сети и в сетях с кольцевой структурой $k_{\text{эф.ЦС}_i} = 1$.

В методике синтеза полученные коэффициенты эффектности сравниваются с базовыми (б.) коэффициентами эффектности, полученными заранее для соответствующих базовых прототипов структур, то есть

$$k_{\text{эф.ЦС}_i} \xrightarrow[\max]{} k_{\text{эф.б.ЦС}_i}. \quad (10)$$

В многокольцевых схемах синхронизации могут возникать процессы реконфигурации после следующих аварий:

- отказ основного источника СС с временем реконфигурации $T_{P_1}$;
- неисправность СЭ или линии передачи в кольце первого уровня иерархии с временем реконфигурации $T_{P_2}$;
- неисправность СЭ или линии передачи в полукольце одного из нижних уровней иерархии с временем реконфигурации $T_{P_3}$.

Процесс реконфигурации СТСС ТС оценивается максимальным временем реконфигурации $T_P$, как разности между моментом появления аварии и моментом, начиная с которого все элементы сети получают СС, создаваемые ОИ или РИ, то есть

$$T_{P_{\max}} = \max\begin{cases} T_{P_1} = T_{\text{Н}} + \left(\left[0{,}5n_{\text{I}}\right] - 1\right)T_{\text{Т}} + n_{\text{I}}T_{\text{П}} \\ T_{P_2} = T_{\text{Н}} + \left(\left[0{,}5n_{\text{I}}\right] - 2\right)\left(T_{\text{Н}} + T_{\text{П}}\right) \\ T_{P_3} = T_{\text{Н}} + \left(\left[0{,}5m_{\text{н}}\right] - 2\right)T_{\text{Т}} + \left[0{,}5m_{\text{н}}\right]T_{\text{П}} \end{cases} \quad (11)$$

где: $T_{\text{Н}}$ – время между появлением аварии и моментом начала передачи соответствующего SSM сообщения;

$T_{\text{Т}}$ – время трансляции SSM сообщения;

$T_{\text{П}}$ – время переключения СС;

$n_{\text{I}}$ – количество СЭ в кольце первого уровня иерархии;

$m_{\text{н}}$ – максимальное количество СЭ в полукольцах нижних уровней иерархии.

Расчёты времени реконфигурации для каждого варианта проводятся при следующих допущениях: $T_{\text{Н}} = 2$ с; $T_{\text{Т}} = 0{,}2$ с; $T_{\text{П}} = 0{,}5$ с.

Например, сдвиг фазы в сигналах STM-N, возникающий из-за отклонения частоты во время реконфигурации 15,6 с, в худшем случае может достигать 780 нс. Однако для сигнала STM-N допустимые отклонения фазы относительно внутреннего генератора, при которых не происходят проскальзывания и обработки указателей, составляют 640 нс. Следовательно, для того, чтобы исключить возможность ухудшения качества связи в сетях с большим количеством СЭ, необходимо уменьшать реальное (реа.) для СТСС время реконфигурации, то есть должно выполняться следующее условие:

$$T_{P_{\max}} \geq T_{P_{\text{реа.}}} \Rightarrow \min. \quad (12)$$

Таким образом, наряду с используемыми стоимостными целевыми функциями типа (6) и (7) в существующих методиках синтеза структур систем тактовой сетевой синхронизации для телекоммуникационных сетей предлагается учитывать критерии максимизации эффектности цепей синхронизации (10) и минимизации реального времени реконфигурации всей структуры сети (12).

## Литература

1. *Ясинский, С.А.* Унифицированные математические модели для анализа и синтеза элементов телекоммуникационных сетей / С.А. Ясинский. – СПб.: Военный университет связи, 2003. – 184 с.

2. *Морозов, Г.Г.* Формализованная постановка задачи синтеза структуры системы тактовой сетевой синхронизации телекоммуникационной системы / Г.Г. Морозов [и др.] // Информация и Космос. – 2013. – №1. – С. 60–62.