

Результаты исследования путей повышения отказоустойчивости системы тактовой сетевой синхронизации телекоммуникационной транспортной сети

Results of studying ways to improve fault tolerance of the system of network clock synchronization of a telecommunication transport system

Ефимов / Efimov V.

Вячеслав Викторович

(vve@loniis.ru)

кандидат технических наук.

Филиал ФГУП «Ленинградское отделение

Центрального научно-исследовательского института связи» (ЛО ЦНИИС),

и.о. директора.

г. Санкт-Петербург

Морозов / Morozov G.

Геннадий Григорьевич

(morozov@loniis.org)

кандидат технических наук.

ЛО ЦНИИС,

заместитель начальника центра.

г. Санкт-Петербург

Петриченко / Petrichenko A.

Анатолий Константинович

(akpetrichenko@gmail.com)

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет»,

начальник отдела.

г. Санкт-Петербург

Ясинский / Jasinskiy S.

Сергей Александрович

(yasinsky777@mail.ru)

доктор технических наук, доцент.

ЛО ЦНИИС,

научный консультант.

г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: отказоустойчивость – fault tolerance; система тактовой сетевой синхронизации – system of network clock synchronization; телекоммуникационная транспортная система – telecommunication transport system.

В статье приводятся результаты исследования путей повышения отказоустойчивости системы тактовой сетевой синхронизации телекоммуникационной транспортной сети, синтезируемой на основе базовых многокольцевых структур.

The article demonstrates results of studying ways to improve fault tolerance of the system of network clock synchronization for a telecommunication transport network synthesized using base multi ring structures.

Отказоустойчивость системы тактовой сетевой синхронизации (ТСС) телекоммуникационной транспортной сети (ТКТС) – способность системы ТСС при появлении отказов поддерживать требуемое качество сигналов синхронизации во всех элементах ТКТС. Под отказом будем понимать нарушение работоспособности участка сети ТКТС.

Критерием сохранения требуемого качества синхронизации при появлении отказов являются поддер-

жание технических параметров, значения которых во всех точках присоединения сетей доступа к ТКТС не должны превышать допустимых значений (доп). Эти параметры во время эксплуатации могут быть измерены с использованием приборов или системы мониторинга. В процессе проектирования системы ТСС достаточна проверка условия выполнения требования по количеству сетевых элементов (СЭ) в цепях синхронизации (ЦС) при наличии отказов, то есть

$$N_{\text{СЭ}_{\text{ТССЦС}}} \leq N_{\text{доп.ЦС}}, \quad (1)$$

где: $N_{\text{СЭ}_{\text{ТССЦС}}}$ – минимальное количество сетевых элементов в цепи синхронизации при наличии отказов; $N_{\text{доп.ЦС}}$ – допустимое количество сетевых элементов в цепи синхронизации.

Появление отказа в цепи передачи сигнала синхронизации в большинстве случаев приводит к тому, что после реконфигурации сигнал синхронизации направляется по обходному, более длинному пути.

Для каждой цепи синхронизации от узла ТКТС, к которому подключён источник, до любого другого узла при заданном наборе j -кратных отказов в системе ТСС минимальное количество сетевых элементов в цепи синхронизации может быть определено с помощью

алгоритма Дейкстра со следующими допущениями:

- длина каждой линии связи между узлами принимается равной единице;
- минимальное значение $N_{\text{СЭ}_{\text{ТСС}}}$ на единицу больше величины, найденной по алгоритму Дейкстра.

Критерием устойчивости системы ТСС к появлению заданного набора j -кратных отказов является выполнение условия (1) для всех узлов. С целью сокращения количества вычислений проверку выполнения условия (1) можно выполнять только для наиболее удаленных узлов.

Количественной мерой отказоустойчивости системы ТСС для любой структуры ТКТС может быть коэффициент отказоустойчивости ($оу$), значения которого зависят от общего количества сетевых элементов $N_{\text{СЭ}}$ и от количества одновременно присутствующих j -кратных отказов в одной цепи синхронизации, то есть

$$K_{оу}(j, N_{\text{СЭ}}) = \frac{N_{оу}}{N_{отк}}, \quad (2)$$

где: $N_{оу}$ – количество j -кратных отказов, при которых сохраняется отказоустойчивость;

$N_{отк}$ – возможное количество j -кратных отказов в ТКТС с общим количеством сетевых элементов $N_{\text{СЭ}}$.

Для поддержания отказоустойчивости системы ТСС при появлении любого однократного отказа каждый узел ТКТС должен иметь, по крайней мере, два независимых пути получения сигналов синхронизации от источника сигналов системы ТСС, что соответствует значению коэффициента связности $k_{\text{СВ}} = 2$.

Результаты расчетов изменения коэффициента отказоустойчивости в многокольцевой сети в зависимости от числа отказов, при $N_{\text{СЭ}} = 105$, применительно к структурам систем ТСС (рис. 1 и рис. 2) для двух значений коэффициента связности ($k_{\text{СВ}} = 2$ и $k_{\text{СВ}} = 3$)

приведены в таблице 1 и на рис. 3, где ОИ – основной источник и РИ – резервный источник синхронизации.

Для ТКТС с большим количеством сетевых элементов (несколько сотен или тысяч) увеличение коэффициента связности не может существенно повысить отказоустойчивость из-за ограничений, приведенных в (1). Каждый отказ в цепи передачи сигнала синхронизации увеличивает цепь синхронизации на $\Delta N_{\text{СЭ}_{\text{ТСС}}}$ элементов. С учетом этого выражение (1) приобретает вид:

$$N_{\text{СЭ}_{\text{ТСС}}}(j=0) + j \cdot \Delta N_{\text{СЭ}_{\text{ТСС}}} \leq N_{\text{допЦС}}, \quad (3)$$

где: $N_{\text{СЭ}_{\text{ТСС}}}(j=0)$ – минимальное количество сетевых элементов в цепи синхронизации при отсутствии отказов;

$\Delta N_{\text{СЭ}_{\text{ТСС}}}$ – число дополнительных сетевых элементов в цепи синхронизации после одного отказа.

$N_{\text{допЦС}}$ – допустимое число сетевых элементов в цепи синхронизации после одного отказа.

Использование вторичных задающих генераторов (ВЗГ), включенных в цепи синхронизации, позволяет повысить отказоустойчивость системы ТСС, разделяя допустимое количество отказов на две части: до ВЗГ и после ВЗГ. В этом случае ограничения (1) и (3) можно представить в виде следующих двух уточненных выражений:

$$N_{\text{СЭ}_{\text{ТСС}1}}(j=0) + j_1 \cdot \Delta N_{\text{СЭ}_{\text{ТСС}}} \leq N_{\text{допЦС}1},$$

$$N_{\text{СЭ}_{\text{ТСС}2}}(j=0) + j_2 \cdot \Delta N_{\text{СЭ}_{\text{ТСС}}} \leq N_{\text{допЦС}2},$$

где $N_{\text{СЭ}_{\text{ТСС}1}}(j=0)$ – минимальное количество сетевых элементов в цепи синхронизации на участке от источника до ВЗГ, при отсутствии отказов;

$N_{\text{СЭ}_{\text{ТСС}2}}(j=0)$ – минимальное количество сетевых элементов в цепи синхронизации на участке от ВЗГ

Таблица 1.

Результаты расчетов изменения коэффициента отказоустойчивости в многокольцевой сети для $k_{\text{СВ}} = 2$ и $k_{\text{СВ}} = 3$, при $j=1, \dots, 7$

Коэффициент связности	2	3
Количество участков между СЭ	130	158
$K_{оу}(j, N_{\text{СЭ}})$, при $j = 1$	1	1
$K_{оу}(j, N_{\text{СЭ}})$, при $j = 2$	0,924	1
$K_{оу}(j, N_{\text{СЭ}})$, при $j = 3$	0,536	0,6
$K_{оу}(j, N_{\text{СЭ}})$, при $j = 4$	0,386	0,424
$K_{оу}(j, N_{\text{СЭ}})$, при $j = 5$	0,251	0,265
$K_{оу}(j, N_{\text{СЭ}})$, при $j = 6$	0,155	0,169
$K_{оу}(j, N_{\text{СЭ}})$, при $j = 7$	0,0902	0,109

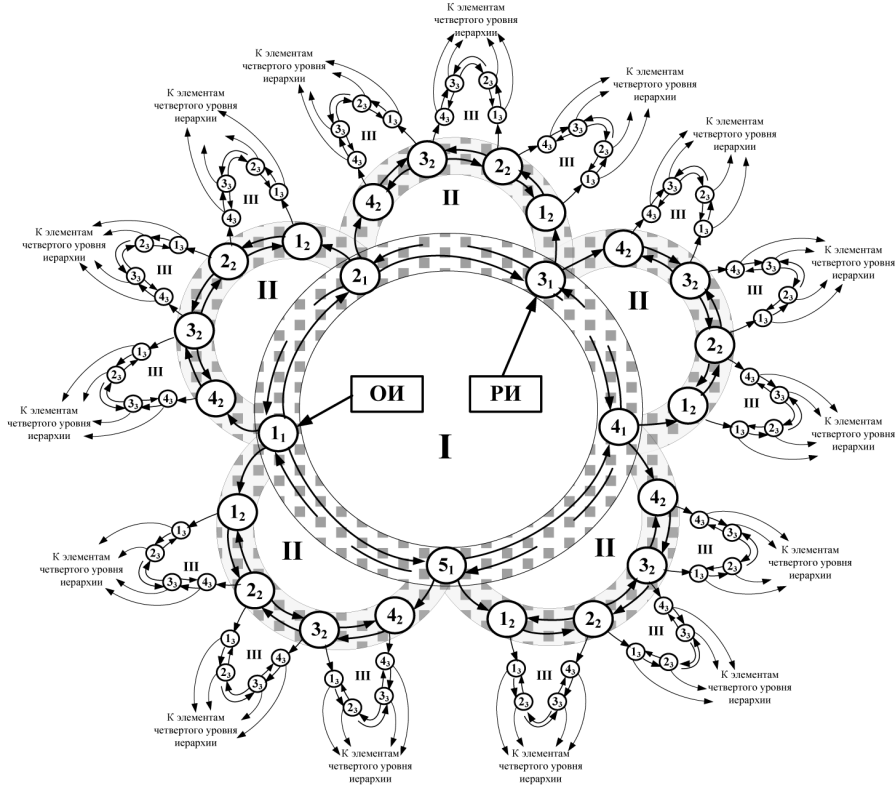


Рис. 1. Структура системы ТСС многокольцевой ТКТС с $k_{св} = 2$

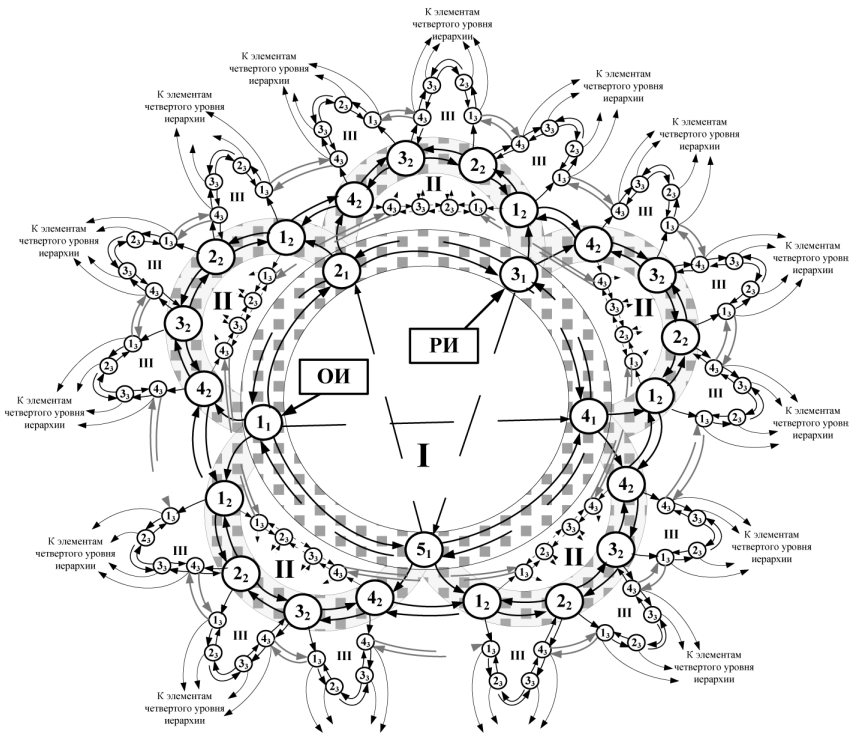


Рис. 2. Структура системы ТСС многокольцевой ТКТС с $k_{св} = 3$

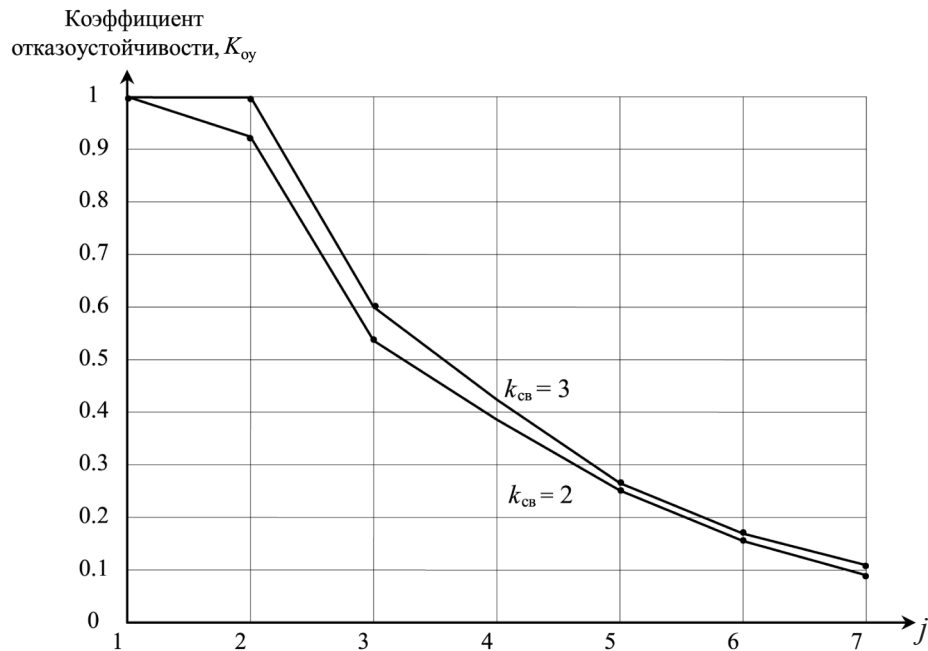


Рис. 3. Графическое представление результатов расчетов изменения коэффициента отказоустойчивости в многокольцевой сети для $k_{св} = 2$ и $k_{св} = 3$, при $j = 1, \dots, 7$

до наиболее удаленного сетевого элемента, при отсутствии отказов;

j_1 – количество отказов в одной цепи синхронизации на участке от источника синхронизации до ВЗГ;

j_2 – количество отказов в одной цепи синхронизации от ВЗГ до наиболее удаленного сетевого элемента;

$N_{допЦС1}$ – максимально допустимое количество сетевых элементов в цепи синхронизации на участке от источника синхронизации до ВЗГ;

$N_{допЦС2}$ – максимально допустимое количество сетевых элементов в цепи синхронизации на участке от ВЗГ до наиболее удаленного сетевого элемента.

Анализ результатов расчетов показывает, что увеличение коэффициента связности приводит к изменению структуры ТКТС: линейная сеть, имеющая $k_{св} = 1$, становится при $k_{св} = 2$ кольцевой; кольцевая сеть, в которой $k_{св} = 2$, становится многокольцевой. Варианты построения многокольцевых ТКТС приведены в [1–3].

Таким образом, повышение отказоустойчивости системы ТСС может быть достигнуто следующими путями:

- увеличением коэффициента связности за счет использования дополнительных линий связи (дополнительных ребер графа синхронизации);
- подключением сетей доступа через два узла;
- использованием коэффициента отказоустойчивости при синтезе системы ТСС в качестве средства выбора лучшего варианта ТКТС;
- использованием вторичных задающих генераторов, включенных в последовательные цепи синхронизации.

Литература

1. Анализ эффективности многокольцевых схем синхронизации с равным количеством сетевых элементов в цепях синхронизации на всех уровнях иерархии транспортной сети / М.Н. Алексеева [и др.] // Информация и Космос. – 2014. – № 2. – С. 18–24.
2. Моделирование многокольцевых схем синхронизации с равномерным увеличением количества сетевых элементов в цепях синхронизации телекоммуникационной сети на более низких уровнях иерархии / Т.В. Мозжелина [и др.] // Труды 69-й НТК СПбНТОРРЭС, посвящённой Дню радио. – СПб.: ООО «Атмосфера», 2014. С. 189–190.
3. Анализ эффективности многокольцевых схем синхронизации с равномерным увеличением количества сетевых элементов в цепях синхронизации на более низких уровнях иерархии телекоммуникационной транспортной сети / М.Н. Алексеева [и др.] // Информация и Космос. – 2014. – № 3. – С. 14–16.