

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ

УДК 621.395

В.В. Кальников, А.И. Моисеев, Ю.И. Береснев

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ СИСТЕМЫ ЦИКЛОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДЛЯ РАСПЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Кальников Владимир Викторович, кандидат технических наук, доцент, окончил радиоинженерный факультет Киевского высшего военного инженерного училища связи им. М.И. Калинина. Главный специалист ФНПЦ ОАО «НПО «Марс». Специализируется в области проектирования систем управления специального назначения, построения систем связи и обмена данными. Имеет публикации, изобретения в области проектирования распределенных систем управления специального назначения, систем связи и обмена данными. [e-mail: mars@mv.ru].

Моисеев Александр Иванович, кандидат технических наук, окончил трансферный факультет Ульяновского государственного университета. Ведущий инженер ФНПЦ ОАО «НПО «Марс». Специализируется в области проектирования систем управления специального назначения. Имеет публикации, изобретения и зарегистрированные программные комплексы в сфере исследования и построения распределенных систем управления специального назначения. [e-mail: mars@mv.ru].

Береснев Юрий Иванович, кандидат военных наук, окончил Военную академию связи им. С.М. Буденного. Главный конструктор ФНПЦ ОАО «НПО «Марс». Специализируется в области организации и построения систем связи и обмена данными. Имеет публикации в области проектирования систем управления специального назначения. [e-mail: mars@mv.ru].

Аннотация

Произведена постановка задачи параметрического синтеза предложенной системы цикловой синхронизации (СЦС) с параллельным поиском. Разработаны алгоритм решения задачи параметрической оптимизации и методика нахождения внутренних параметров СЦС с параллельным поиском, проведен сравнительный анализ предложенной и известных СЦС.

Ключевые слова: параметрический синтез, параметрическая оптимизация, внутренние параметры системы, система цикловой синхронизации с параллельным поиском синхросигнала.

Vladimir Victorovich Kalnikov, Candidate of Engineering, Associate Professor; graduated from the Faculty of Radioengineering of Kiev Higher Military Communications Engineering College named after M. Kalinin; chiefspecialist at Federal Research-and-Production Center 'Research-and-Production Association Mars'; specializes in the field of design of special-purpose control systems, building of communications and data-exchange systems; author of publications, inventions in the field of design of special-purpose distributed control systems, communications and data-exchange systems. e-mail: mars@mv.ru.

Alexander Ivanovich Moiseev, Candidate of Engineering; graduated from the Faculty of Dual Degree of Ulyanovsk State University; leading engineer at Federal Research-and-Production Center 'Research-and-Production Association 'Mars'; specializes in the field of design of special-purpose control systems; author of publications, inventions and registered software systems in the field of research and building of special-purpose distributed control systems. e-mail: mars@mv.ru.

Yury Ivanovich Beresnev, Candidate of Military Sciences; graduated from the Military Communications Academy named after S. Budenny; chief designer at Federal Research-and-Production Center 'Research-and-Production Association 'Mars'; specializes in the field of organization and building of communications and data-exchange systems; author of publications in the field of design of special-purpose control systems. e-mail: mars@mv.ru.

Abstract

The authors have performed a task statement for a parametric synthesis for a suggested system of cycle phasing with simultaneous search, have developed an algorithm for the solution of parametric optimization tasks and a procedure to find internal parameters of the system of cycle phasing with simultaneous search, and have performed a comparative analysis of the suggested and known systems of cycle phasing.

Key words: parametric synthesis, parametric optimization, internal parameters of system, system of cycle phasing with simultaneous search of clock signal.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие информационно-коммуникационных технологий приводит к появлению новых концепций построения систем управления специального назначения. К подобным концепциям последнего времени следует отнести сетевую, являющуюся основой построения распределенных систем управления, позволяющую улучшить показатели качества систем управления. Для рационального и обоснованного построения распределенных систем управления необходимо учитывать параметры первичных сетей связи, обеспечивающих связность узловых элементов систем рассматриваемого типа [1].

Основу первичных сетей связи составляют цифровые системы передачи (ЦСП) на основе синхронной цифровой иерархии, использующие в качестве основной среды распространения сигнала оптические волокна и создаваемые на их основе волоконно-оптические кабели. Такие системы характеризуются низкой вероятностью ошибки ($10^{-9} \wedge 10^{-11}$). Однако с целью повышения живучести и оперативности развертывания первичной сети ее развитие целесообразно осуществлять на основе комплексного применения как проводных средств на основе волоконно-оптических кабелей, так и радиосредств: радиорелейных, тропосферных, спутниковых линий, атмосферных оптических линий связи, на основе ЦСП плезихронной иерархии, работающих по цифровым трактам, характеризующимся высокой вероятностью ошибки ($P > 10^{-3}$), пакетированием ошибок, фазовыми дрожаниями, задержками, проскальзываниями и т.д.

Функционирование ЦСП невозможно без обеспечения синхронности и синфазности процессов преобразования и обработки сигналов. Система тактовой синхронизации обеспечивает равенство скоростей обработки сигналов на передающих и приемных станциях ЦСП. Равенство фазовых соотношений между циклами временного объединения и разделения цифровых сигналов осуществляется в ЦСП с помощью СЦС, что обеспечивает правильное разделение группового потока на каналные сигналы.

В настоящее время большинство СЦС, находящихся в эксплуатации, построено по принципу скользящего поиска синхросигнала с адаптацией к помеховой обстановке. Однако в условиях интенсивных помех они имеют невысокие показатели по быстродействию и помехоустойчивости. Более перспективными в этом смысле являются СЦС

с параллельным поиском, но известные технические решения таких систем уже не удовлетворяют современным и перспективным требованиям к их помехоустойчивости. Поэтому задача проектирования СЦС, обеспечивающих функционирование ЦСП в условиях интенсивных нестационарных помех, является актуальной. Одним из ключевых вопросов при проектировании ЦСП является параметрический синтез СЦС.

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Задачей синтеза СЦС является определение ее структуры и внутренних параметров, исходя из заданных требований к показателям эффективности ее функционирования и доступных способов обеспечения этих показателей. Оптимизация внутренних параметров СЦС с параллельным поиском синхросигнала в соответствии с предъявляемыми при проектировании показателями быстродействия и помехоустойчивости может быть проведена на основе разработанных математических моделей [2, 3]. В общем случае к проектируемой СЦС предъявляются следующие качественные требования: состояние синхронизма должно восстанавливаться как можно быстрее, при этом вероятность обнаружения ложного синхросигнала должна быть минимальной, а состояние синхронизма должно удерживаться как можно дольше. Эти требования противоречивы: с одной стороны, высокая помехоустойчивость СЦС достигается за счет использования эффекта накопления, результат которого определяет выход из состояния синхронизма, с другой стороны, накопление замедляет процесс восстановления цикловой синхронизации. Кроме того, минимизация вероятности обнаружения ложного синхросигнала также замедляет процесс восстановления цикловой синхронизации. В общем случае чем выше помехоустойчивость СЦС и меньше вероятность обнаружения ложного синхросигнала, тем хуже ее быстродействие. Поэтому необходим поиск компромисса между этими требованиями, который может быть достигнут оптимизацией внутренних параметров СЦС.

Наиболее целесообразной представляется задача максимизации быстродействия СЦС при ограничениях на требуемую помехоустойчивость и допустимую вероятность обнаружения ложного синхросигнала. В соответствии с разработанными математическими моделями [2, 3] оптимизация предлагаемой СЦС будет достигаться за счет внутренних параметров СЦС: порога обнаружения

синхросигнала d_c , весового коэффициента отклика на синхросигнал h и допустимого числа искаженных синхросимволов K_{don} .

Таким образом, задача параметрического синтеза ЦС представляет собой оптимизационную задачу, которая может быть сформулирована в следующем виде: для заданных значений длины цикла передачи N , длины синхросигнала m , структуры синхросигнала $\{m\}$, вероятности ошибочного приема одиночного символа $P_{ош}$ максимальной длительности пакетов ошибок $n_{ош}$ найти вектор внутренних параметров X , обеспечивающий качество функционирования ЦС по критерию L — min при ограничениях на допустимую вероятность обнаружения ложного синхросигнала ($P_{лс} < P_{лс доп}$) и допустимое время удержания состояния циклового синхронизма ($L_y > L_{y доп}$). К компонентам вектора X относятся порог обнаружения синхросигнала d_{oc} , весовой коэффициент отклика на синхросигнал h и допустимое число искаженных синхросимволов K_{don} . Поскольку параметры быстродействия и помехоустойчивости ЦС зависят от внутренних параметров, то задача параметрической оптимизации может быть сформулирована как задача минимизации целевой функции L_g с ограничениями.

Дано: $N, m, \{m\}, P_{ош}, n_{ош}, P_{лс доп}, L_{y доп}$.

Найти: $X = [d_{oc}, h, K_{don}]$, при котором

$$k = F(N, m, \{m\}, d_{oc}, K_{don}, P_{ош}, n_{ош})^{\wedge} \min.$$

Ограничения: $P_{лс} < P_{лс доп}, L_y > L_{y доп}$.

Отметим, что целевая функция L_g задана на дискретном множестве, поэтому сформулированная задача параметрического синтеза сводится к отысканию решения с целочисленными компонентами. Учитывая это, для отыскания экстремума L_g используется метод последовательных приближений [4] по результатам вычислений целевой функции.

2 АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ЦИКЛОВОЙ синхронизации

Учитывая выявленные в результате математического моделирования закономерности влияния внутренних параметров d_{oc}, K_{don}, h на быстродействие и помехоустойчивость ЦС [2, 3], подход к решению сформулированной выше задачи параметрической оптимизации может быть следующим: изменяя параметр h , добиться максимального быстродействия ЦС ($L_e \wedge \min$) при обеспечении требуемой вероятности обнаружения ложного синхросигнала $P_{лс} < P_{лс доп}$ (с помощью изменения параметра d_{oc}) и требуемой помехоустойчивости $L_y > L_{y доп}$ (с помощью изменения параметра K_{don}). Поскольку параметры P_c и L_y являются ограничивающими, то оптимальные внутренние параметры синтезируемой ЦС будут считаться найденными при минимальном времени восстановления циклового синхронизма L_g и выполнении условий

$$P_{лс} \leq P_{лс доп}, L_y \geq L_{y доп}$$

Блок-схема алгоритма параметрической оптимизации по критерию минимума среднего времени восстановления циклового синхронизма, соответствующая описанному выше подходу, приведена на рисунке 1. После ввода исходных данных: $N, m, \{m\}, P_{ош}, n_{ош}, P_{лс доп}$ и $L_{y доп}$ (блок 1) и начального значения времени восстановления (блок 2) начинается поиск решения при начальных приближениях $h = 0, d_{oc} = 1, K_{don} = 1$, что обеспечивают блоки 3 и 4. Блок 5 задает приращение переменной h на единицу, после чего в блоке 6 осуществляется вычисление средней вероятности обнаружения ложного синхросигнала $P_{лс ср}$. Условие $P_{лс ср} < P_{лс доп}$ проверяется в блоке 7. Если оно выполняется, то в блоке 9 проводится расчет среднего времени удержания циклового синхронизма L_y . В противном случае переменная d_{oc} увеличивается на единицу (блок 8). В блоке 10 проверяется выполнение ограничения $L_y > L_{y доп}$. Если оно выполняется, то в блоке 12 проводится расчет среднего времени восстановления циклового синхронизма L_g . При отрицательном результате проверки ($L_y < L_{y доп}$) осуществляется приращение на единицу коэффициента K_{don} (блок 11). В блоке 13 осуществляется сравнение полученного значения L_g с предыдущим L_g (первоначально в качестве такого значения выбрано заведомо большее). Если $L_g < L_e$, то переменной L_e присваивается значение L_g , а переменным d_{oc}, h^* и K_{don}^* значения d_{oc}, h и K_{don} соответственно (блок 14). После чего операции повторяются, начиная с блока 4. Оптимальное решение, соответствующее критерию $L_g \wedge \min$, считается найденным, если значение L_g после очередного сравнения в блоке 13 окажется большим или равным предыдущему значению ($L_e \rightarrow L_g$) (блок 13). Блок 15 обеспечивает вывод полученных оптимальных значений d_{oc}, h^* и K_{don}^* , а также минимального значения среднего времени восстановления состояния циклового синхронизма L_g .

Особенностью решения задачи параметрической оптимизации является использование в оптимизационном процессе аналитической [2] и имитационной [3] моделей ЦС. При этом, если группирование ошибок отсутствует ($n_{ош} = 1$), то оптимальные внутренние параметры d_{oc}, h и K_{don} можно найти по описанному алгоритму с использованием только аналитической модели. Поиск оптимальных внутренних параметров при наличии группирования ошибок ($n_{ош} > 1$) и (или) с учетом структуры синхросигнала $\{m\}$ требует использования и аналитической, и имитационной моделей. При этом поиск оптимальных внутренних параметров можно осуществлять вначале (при $n_{ош} = 1$) с использованием аналитической модели, а затем найденные на этом этапе оптимальные внутренние параметры принять в качестве исходных данных для продолжения их оптимизации с использованием имитационной модели (при $n_{ош} > 1$) с учетом структуры синхросигнала $\{m\}$ и вероятности ошибки внутри пакета ошибок $P_{впт}$.

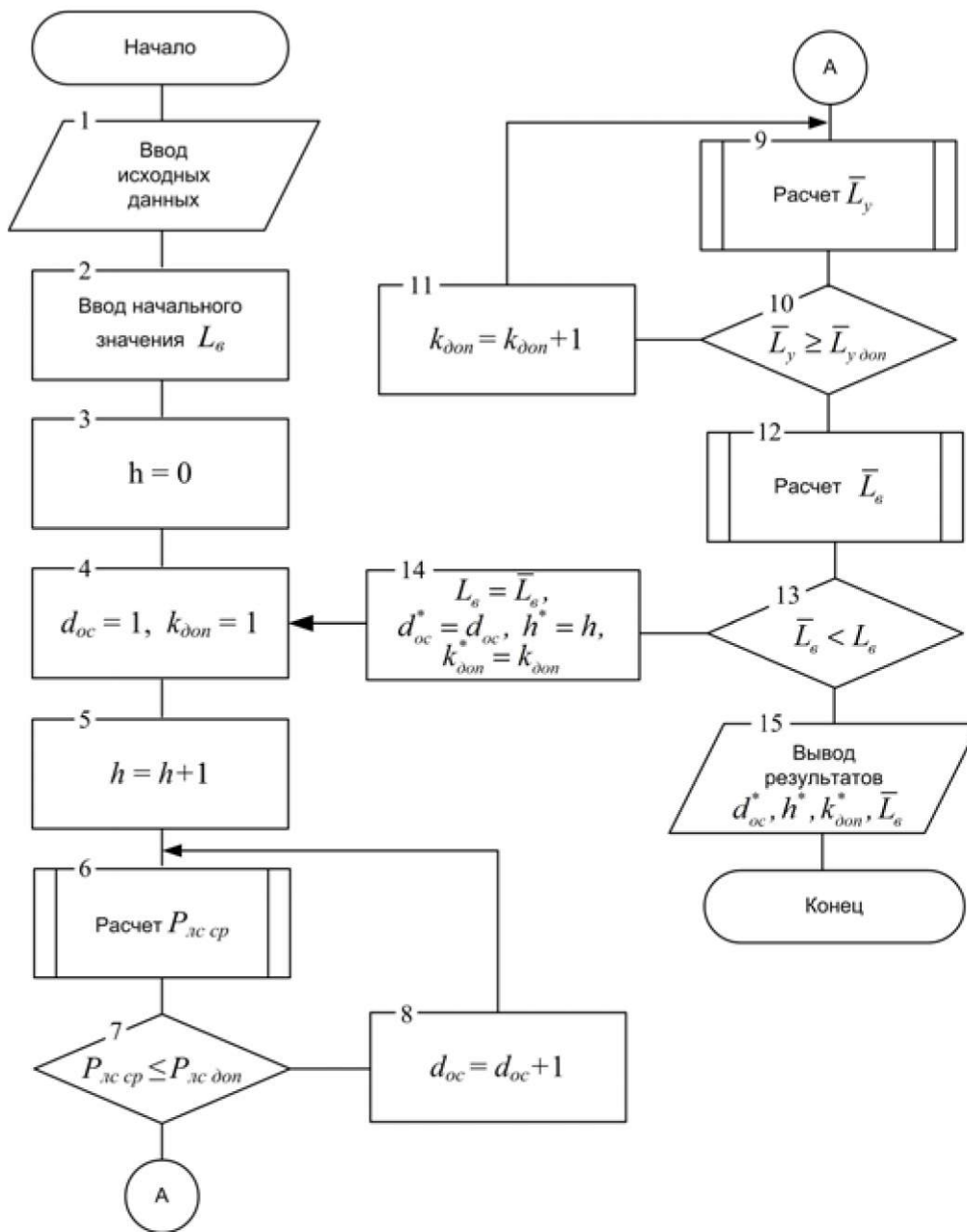


Рис. 1. Блок-схема алгоритма решения задачи параметрической оптимизации ЦС

3 МЕТОДИКА НАХОЖДЕНИЯ ВНУТРЕННИХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ

В соответствии с полученным выше алгоритмом решения задачи параметрической оптимизации рассмотрим кратко поэтапно (пошагово) методику нахождения внутренних параметров ЦС, обеспечивающих требуемые функциональные параметры.

Шаг 1. Задание исходных данных: N - длина цикла передачи; m - длина синхросигнала; $P_{лс доп}$ - допустимая вероятность обнаружения ложного синхросигнала; L - количество циклов поиска состояния синхронизма; $\bar{T}_{доп} = \bar{t}_{доп} / T_{ц}$ - допустимое среднее время удержания состояния циклового синхронизма при максимальной вероятности ошибочного приема одиночного символа

$P_{ош}$; максимальная длительность пакетов ошибок $n_{ош}$; $L_g = t/T_{ц}$ - начальное значение времени восстановления.

Шаг 2. Задание начального значения внутреннего параметра $h = 0$.

Шаг 3. Задание начальных значений внутренних параметров: $k_{доп} = 1, d_{oc} = 1$.

Шаг 4. Присвоение параметру h значения $h = h + 1$.

Шаг 5. Определение максимальной суммы накопления откликов за L циклов поиска:

$$U_{\dots}(L) = mL. \tag{1}$$

Шаг 6. Формирование матрицы переходных вероятностей за L циклов поиска (квадратной матрицы порядка $n = mL$): $P_{\dots}(L)$ - для накопителя истинных откликов

и P_{uto}° - для накопителя ложных откликов. При этом переходные вероятности $T_0 \wedge T_w$ состояний накопителя истинных откликов определяются как

$$\begin{cases} *o = 1 - \sum_{i=0}^{m-m_{outmax}} E_{i=0} c < m p; u (1 - p_{ow})^i, w = 0, \\ \tau_w = c: \dots \dots \dots (1 - p) J T - > \textcircled{R} < w < m > \end{cases} \quad (2)$$

а переходные вероятности $\hat{U} \wedge X_w$ накопителя ложных откликов - как

$$\begin{cases} \lambda_0 = 1 - \sum_{i=0}^{m-m_{outmax}} E_{i=0} 0, 0, 5^m, w = 0, \\ K = CY 0, 5^m, \quad 0 < w < m, \end{cases} \quad (3)$$

где $w = m - hm_{oui}$ - величина отклика на синхросигнал (положительное целочисленное число $0 < w < m$); $TI_{ow} = 0$, $Ш_{оштах}$ - число искаженных синхросимволов ($T_{ош} = T_{оштах}$ при $w = 0$); h - изменяемый весовой коэффициент, служащий для минимизации вероятности обнаружения ложного синхросигнала $h = B \wedge_{оштах}$.

Шаг 7. Транспонирование матрицы переходных вероятностей накопителей истинных и ложных откликов.

Шаг 8. Задание начальных состояний векторов накопителей истинных ($J <^0> = (1, 0, \dots, 0)$) и ложных ($B <^0> = (1, 0, \dots, 0)$) откликов.

Шаг 9. Нахождение вектора состояний накопителей истинных и ложных откликов за k циклов поиска:

$$\begin{aligned} A <^k> <^k> > A <^{k-1}> W > - K M [\dots] \quad (4) \\ \vec{B} <^k> > \vec{A} <^k> \cdot \vec{B} [P_{нло}(\xi)] \quad (5) \end{aligned}$$

где $\vec{J} <^k>$ - вектор состояния накопителей истинных откликов за k циклов поиска; $\vec{B} <^k>$ - вектор состояния накопителей ложных откликов за k циклов поиска; $[P \wedge W]$ - операция транспонирования матрицы $[P_{нло} CO]$; $[P_{шo} \wedge T \wedge T]^T$ - операция транспонирования матрицы $[P \wedge D \Gamma]$; $k = \overline{1, L}$.

Шаг 10. Расчет функции распределения вероятностей времени обнаружения синхросигнала:

$$F_{oc}(k) = \left[1 - \sum_{i=0}^{Umax(k)} E_{i=0} \begin{matrix} i+d_{oc}-1 \\ T, A \Gamma \end{matrix} \right]^{N-1}, \quad k = \overline{1, L}, \quad (6)$$

где $B \wedge^{k>}$ - вероятность нахождения накопителя ложных откликов в состоянии i за k циклов поиска (i -й элемент вектора $B <^{k>}$); $A \wedge^{k>}$ - вероятность нахождения накопителя истинных откликов в состоянии j за k циклов поиска (j -й элемент вектора $A <^{k>}$); $U_{max}(k)$ - максимальная сумма накопления откликов за k циклов поиска.

Шаг 11. Определение среднего времени обнаружения синхросигнала:

$$\overline{L}_{oc} = \sum_{k=0}^{\infty} j r_k (1 - F_{oc}(k)). \quad (7)$$

Шаг 12. Нахождение вероятности обнаружения ложного синхросигнала за k циклов поиска по формуле:

$$* \cdot (*) = \left[- 1 - \sum_{i=d_{oc}}^{Umax(k)} E_{i=0} T - \sum_{j=0}^{A \Gamma} \right]^{N-1}, \quad (8)$$

$$k = \overline{1, L}.$$

Шаг 13. Оценка средней вероятности обнаружения ложного синхросигнала $P_{лс ср}$ как пересечения линейной аппроксимации зависимости (8) с вертикальной линией L_{oc} .

Шаг 14. Проверка условия $P_{лс} < P_{лс доп}$. Если условие не выполняется, то осуществляется переход к шагу 15. Если условие выполняется, то осуществляется переход к шагу 17.

Шаг 15. Приращение переменной $d_{oc} = d_{oc} + 1$, переход к шагу 10.

Шаг 16. Расчет с помощью аналитической модели ЦС функции распределения вероятности времени выхода из состояния синхронизма за k циклов испытания:

$$F_{вых}(k) = \sum_{i=0}^{Umax(k)-1} E_{i=0} B \Gamma \quad (9)$$

Шаг 17. Расчет с помощью аналитической модели ЦС среднего времени удержания циклового синхронизма L_y :

$$\overline{L}_y = \frac{\overline{L}_{вых}}{P_{лс ср}} = \frac{\sum_{k=0}^{\infty} k (1 - F_{вых}(k))}{P_{лс ср}}. \quad (10)$$

Шаг 18. Проверка условия $\overline{L}_y > L_{y доп}$. Если условие не выполняется, то осуществляется переход к шагу 19. Если условие выполняется, то осуществляется переход к шагу 20.

Шаг 19. Приращение переменной $K_{доп} = K_{доп} + 1$, переход к шагу 17.

Шаг 20. Расчет с помощью аналитической модели ЦС среднего времени восстановления циклового синхронизма $L_{в}$:

$$\overline{L}_v = \begin{cases} \overline{L}_{1 вых} & \text{если } \overline{L}_y > L_{oc}; \\ \overline{L} - OC & \text{если } \overline{L}_y < L_{oc}. \end{cases} \quad (11)$$

Шаг 21. Проверка выполнения условия $\overline{L}_b < L_b$, где \overline{L}_b найдено по формуле (10), а L_b - текущее значение переменной \overline{L}_b . Если условие выполняется, то осуществляется переход к шагу 22. Если условие не выполняется, то при $n_{ои} = 1$ оптимальные значения внутренних параметров d_{oc}^* , $K_{доп}^*$, h^* считаются найденными и осуществляется переход к шагу 30. При $n_{ои} > 1$ осуществляется переход к шагу 23.

Шаг 22. Присвоение переменной L_b значения \overline{L}_b , а переменным d_{oc}^* , h^* и $K_{доп}^*$ - текущих значений переменных d_{oc} , h и $K_{доп}$ соответственно. Переход к шагу 3.

Шаг 23. Определение с помощью имитационной модели [3] среднего времени восстановления циклового синхросигнала $L_{в}$ и средней вероятности определения

ложного синхросигнала $P_{c\text{cp}}$ при тех же исходных данных шага 1, структуре синхросигнала $\{m\}$, вероятности ошибки внутри пакета ошибок $P_{ош}$ и текущих значениях die, h^* и $k'_{дон}$.

Шаг 24. Проверка условия $P_{лс\text{cp}} < P_{лс\text{дон}}$. Если условие не выполняется, то осуществляется переход к шагу 25. Если условие выполняется, то - к шагу 26.

Шаг 25. Приращение переменной $d_{ос} = d_{ос} + 1$.

Шаг 26. Определение с помощью имитационной модели [3] среднего времени восстановления циклового синхросигнала L_e и средней вероятности определения ложного синхросигнала $P_{лс\text{cp}}$.

Шаг 27. Проверка условия $P_{лс\text{cp}} < P_{лс\text{дон}}$. Если условие не выполняется, то осуществляется переход к шагу 25. Если условие выполняется, то осуществляется переход к шагу 28.

Шаг 28. Проверка условия $\bar{L}_e < L_e$. Если условие не выполняется, то оптимальные значения внутренних параметров $d_{ос}, h$ и $k_{дон}$ считаются найденными и происходит переход к шагу 30, если условие выполняется, то - переход к шагу 29.

Шаг 29. Приращение переменной $h = h + 1$, переход к шагу 27.

Шаг 30. Сохранение оптимальных значений $d_{ос}^*, h^*$ и $k_{дон}^*$, а также минимального значения среднего времени восстановления состояния циклового синхронизма L_e .

Рассмотрим кратко пример расчета по данной методике.

Пусть заданы следующие исходные данные:

- длина цикла передачи $N = 1200$;
- длина синхрогруппы $m = 9$ (000111011);
- требуемое среднее время удержания состояния циклового синхронизма $t_{y\text{дон}} \geq 8$ часов ($L_{y\text{дон}} = 11,52 \cdot 10^6$ циклов) при $P_{ош} = 5 \cdot 10^{-2}$;

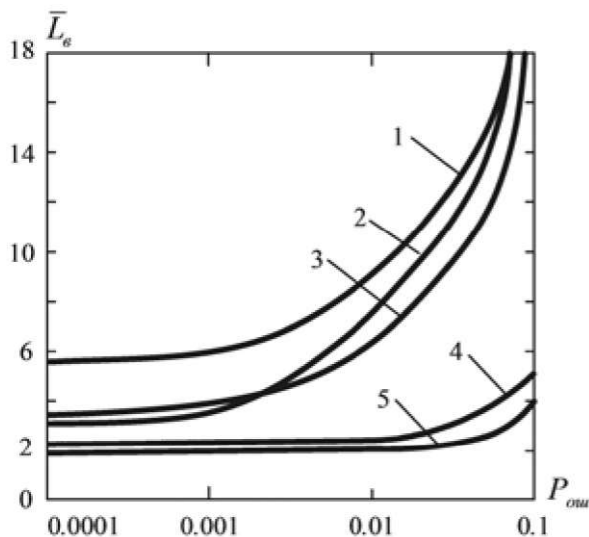


Рис. 2. Среднее время восстановления синхронизма для различных типов ЦЦС

- допустимая средняя вероятность обнаружения ложного синхросигнала $P_{лс\text{дон}} = 5 \cdot 10^{-3}$.

Требуется определить: внутренние параметры ЦЦС $a_{ос}, h^*$ и $k_{дон}$, обеспечивающие качество функционирования ЦЦС по критерию $L_e \wedge \min$.

Решение.
Зададим начальное значение времени восстановления $L_e = 100$.

Выполнив шаги 2-9 методики, получаем матрицы вероятностей нахождения ячеек истинных и ложных откликов накопителя в различных состояниях.

Выполнение шагов 10-30 позволяет определить оптимальные значения внутренних параметров $d_{ос}, h^*$ и $k_{дон}$ по критерию $L_e \wedge \min$ при ограничениях на $P_{лс\text{дон}} = 5 \cdot 10^{-3}$ и $t_{y\text{дон}} > 8$ часов при $P_{ош} = 5 \cdot 10^{-2}$. При этом получаем $K_{ос} = 2, d_{о0} = 4, h^* = 2, L_e = 24$.

С использованием математических моделей [2, 3] и разработанной методики проведен сравнительный анализ предложенной [5] и известных ЦЦС. Некоторые результаты анализа представлены на рисунке 2, где приведены зависимости среднего времени восстановления синхронизма L_e от вероятности $P_{ош}$ ошибочного приема одиночного символа для адаптивной, многоканальной, рециркуляционной ЦЦС и ЦЦС с параллельным поиском с оптимальными значениями внутренних параметров, рассчитанных для худшего случая $t_{y\text{дон}} \geq 8$ часов при $P_{ош} = 5 \cdot 10^{-2}$, при $N = 1200, m = 9$. При этом кривая 1 соответствует адаптивной ЦЦС [6] (с коэффициентами по входу в синхронизм и выходу из синхронизма, равными 3), кривая 2 - многоканальной ЦЦС [7] (с такими же коэффициентами и 3 каналами поиска), кривая 3 - рециркуляционной ЦЦС [8] (с порогом по входу в синхронизм, равным 1, и коэффициентом по выходу из синхронизма, равным 4), кривая 4 - известной ЦЦС с параллельным поиском [9] и кривая 5 - предложенной ЦЦС с параллельным поиском [5]. Из рисунка 2 видно, что предложенная ЦЦС [5] обладает лучшим быстродействием. Так, при $P_{ош} = 5 \cdot 10^{-2}$ и допустимой средней вероятности обнаружения ложного синхросигнала $P_{лс} = 5 \cdot 10^{-3}$ выигрыш в уменьшении времени восстановления циклового синхронизма по сравнению с адаптивной, рециркуляционной и многоканальной системами составляет соответственно 6.1, 5.5 и 4.54 раза, а относительно известной ЦЦС с параллельным поиском [9] - 1,45 раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе аналитической и имитационной моделей разработана методика оптимизации внутренних параметров систем цикловой синхронизации с параллельным поиском (пороги обнаружения и потери синхросигнала, веса отклика на синхросигнал, допустимое число искаженных синхросимволов) в зависимости от требуемых функциональных показателей (вероятность ложного обнаружения, время установления и удержания циклового синхросигнала) и помехоустойчивости цифрового тракта.

Проведенное моделирование показало, что предложенная СЦС имеет лучшие показатели быстродействия и помехоустойчивости в условиях интенсивных помех по сравнению с известными аналогами. Так, например, при длине цикла передачи 1200, длине синхрогруппы 9 и вероятности ошибочного обнаружения символа $5 \cdot 10^{-2}$ выигрыш в уменьшении времени восстановления циклового синхронизма по сравнению с лучшим из аналогов составляет 1,45 раза, а при пакетировании ошибок в канале связи до 10 элементов - в 1,8 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бородакий, В.Ю. К вопросу математического моделирования перспективных АСУ специального назначения / В. Ю. Бородакий // Вопросы радиоэлектроники, сер. ЭВТ. - 2011, вып. 2. - С. 116-125.
2. Кальников, В.В. Математическое моделирование систем цикловой синхронизации с параллельным поиском / В.В. Кальников, Ю.И. Береснев, Р.Г. Зиганшин // Автоматизация процессов управления. - 2010. - 1 (19). - С. 50-58.
3. Кальников, В.В. Имитационное моделирование систем цикловой синхронизации с параллельным поиском / В.В. Кальников, Ю.И. Береснев // Автоматизация процессов управления. - 2010. - 3 (21). - С. 14-22.
4. Уойлд, Д. Дж. Методы поиска экстремума / Д. Дж. Уойлд; пер. с англ.; под ред. Фельдбаума. - М.: Наука, 1967. - 267 с.
5. Пат. 2348117 Российская Федерация, МПК8 Н 04 L 7/08. Устройство для цикловой синхронизации / Егоров Ю.П., Кидалов В.И., Кальников В.В., Панкратов П.А., Ташлинский А.Г.; заявитель и патентообладатель ФНПЦ ОАО «НПО «Марс»; заявл. 28.05.07; опубл. 27.02.09, Бюл. № 6. - 18 с.
6. А. с. 1510104 СССР, МПК4 Н 04 L 7/08. Устройство для синхронизации по циклам / А.В. Тюкаев. - №4237579; заявл. 29.04.87; опубл. 23.09.89, Бюл. №35. - 5 с.
7. Паршин, В.А. Методика расчета основных параметров адаптивной системы цикловой синхронизации аппаратуры временного объединения, построенной по технологии СЦИ / В. А. Паршин, В. Л. Хардин. - СПб: ВАС, 1997. - 13 с. - Деп. в ЦВНИ МО РФ 25.11.97, № В 3462.
8. А. с. 1239878 СССР, МПК4 Н 04 L 7/08. Устройство для синхронизации по циклам / Л.П. Зимица, И.Г. Зобнина, З.И. Лангуров. - №3795438; заявл. 28.09.84; опубл. 23.06.86, Бюл. №23. - 4 с.
9. Пат. 2284665 Российская Федерация, МПК8 Н 04 L 7/08. Устройство для синхронизации по циклам / Кальников В.В., Бережной С.Л., Бодров С.А., Егоров Ю.П.; заявитель и патентообладатель ФНПЦ ОАО «НПО «Марс»; заявл. 12.04.05; опубл. 27.09.06, Бюл. № 27. - 22 с.