

МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА ТАКТОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ПО ТЕХНОЛОГИИ xDSL

Балашов В.А., Барба И.Б., Сытник Н.В., Ибрагимов Э. Н.

*Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова,
65029, Украина, г. Одесса, ул. Кузнечная, 1.
ibarba@onat.edu.ua*

МОДЕЛЮВАННЯ АЛГОРИТМУ ТАКТОВОЇ СИНХРОНІЗАЦІЇ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ xDSL

Балашов В.О., Барба І.Б., Ситник Н.В., Ібрагімов Е. Н.

*Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова,
65029, Україна, м. Одеса, вул. Кузнечна, 1.
ibarba@onat.edu.ua*

SIMULATION OF THE CLOCK SYNCHRONIZATION ALGORITHM FOR TRANSMISSION SYSTEMS WITH xDSL TECHNOLOGY

Balashov V. O., Barba I.B., Sytnik N.V., Ibrahimov E. N.

*O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications,
1 Kuznechna St., Odessa, 65029, Ukraine.
ibarba@onat.edu.ua*

Аннотация. В статье даны результаты моделирования алгоритма работы системы тактовой синхронизации (СТС) систем передачи (СП) ортогональными гармоническими сигналами (ОГС) по технологии xDSL на примере системы ADSL2+, работающей по телефонному кабелю типа ТПП-0,5. Предложена аналитическая модель системы тактовой синхронизации, построенной на оценке интерференционных помех в выделенных каналах СП в смещенных интервалах обработки группового сигнала. Алгоритм работы СТС позволяет определять оптимальное положение тактовой синхронизации, направление смещения границ интегрирования в процессе настройки. Проведено моделирование ее работы на различных линиях связи, построены регулировочные характеристики. Продемонстрирована принципиальная работоспособность алгоритма настройки СТС СП ОГС при работе по отечественным телефонным линиям связи.

Ключевые слова: ортогональные гармонические сигналы, система тактовой синхронизации, импульсная реакция, интерференционные помехи, защитный интервал.

Анотація. У статті надано результати моделювання алгоритму роботи системи тактової синхронізації (СТС) систем передачі (СП) ортогональними гармонічними сигналами (ОГС) за технологією xDSL на прикладі системи ADSL2+, що працює по телефонному кабелю типу ТПП-0,5. Запропоновано аналітичну модель системи тактової синхронізації, побудованої на оцінці інтерференційних завад у виділених каналах СП у зміщених інтервалах обробки групового сигналу. Алгоритм роботи СТС дозволяє визначити оптимальне положення тактової синхронізації, напрямком зміщення меж інтегрування в процесі установки. Проведено моделювання її роботи на різних лініях зв'язку, побудовані регулювальні характеристики. Продемонстрована принципова працездатність алгоритму налаштування СТС СП ОГС при роботі по вітчизняних телефонних лініях зв'язку.

Ключові слова: ортогональні гармонічні сигнали, система тактової синхронізації, імпульсна реакція, інтерференційні завади, захисний інтервал.

Abstract. The article presents the simulation results of the clock synchronization system (CSS) operation algorithm for transmission systems (TS) using orthogonal harmonic signals (OHS) using xDSL technology on the example of ADSL2 + system operating over a telephone cable of the TPP-0.5 type. An

analytical model of clock synchronization system based on the estimation of interference in dedicated channels of TS in the shifted intervals of a group signal processing is proposed. The algorithm of the CSS operation allows to determine the optimal position of the clock synchronization, the direction of the integration boundaries shift during the adjustment process. The simulation of its operation over various communication lines has been carried out, and adjustment characteristics have been constructed. The principal operability of the adjustment algorithm of CSS for TS with OHS at operation over domestic telephone lines is demonstrated.

Key words: orthogonal harmonic signals, clock synchronization system, pulse response, interference, protection interval.

Системы тактовой синхронизации (СТС) систем передачи, использующих множество одновременно передаваемых ортогональных гармонических сигналов (СП ОГС), имеют ряд специфических особенностей и строятся по разным алгоритмам [1...3]. Некоторые СТС используют специальный канал синхронизации, по которому передается для целей синхронизации сигнал с амплитудной или фазовой модуляцией в тактовые моменты. Этот метод синхронизации обладает рядом существенных недостатков. Во-первых, специальный сигнал синхронизации подвергается в канале связи фазовым искажениям, отличным от искажений информационного сигнала. Поэтому положение выделенного синхроимпульса может не совпадать с оптимальными границами посылок информационного сигнала. Во-вторых, для организации канала синхронизации требуются дополнительные затраты мощности сигнала, а также выделение полосы частот либо времени, необходимых для передачи синхронизирующих сигналов. Наконец, канал синхронизации является источником дополнительных помех для информационных сигналов. По этим причинам специальные каналы синхронизации в СП ОГС используются сравнительно редко.

Широкое применение в СП ОГС нашел способ выделения информации о границах посылок сигнала непосредственно из информационного сигнала. Он основан на измерении интерференционных помех, порожденных линейными искажениями группового сигнала, в информационном либо специально организуемом канале синхронизации СП ОГС (один из каналов СП), в котором информационный сигнал не передается. При идеальной работе устройств разделения сигналов и отсутствии искажений группового сигнала интерференционные помехи в канале синхронизации равны нулю. Линейные искажения группового сигнала (включая и смещение интервалов интегрирования в корреляторах относительно оптимальных) вызывают появление интерференционных помех во всех каналах СП ОГС [4], в том числе и в канале синхронизации, причем средняя мощность этих помех пропорциональна (в пределах длительности защитного интервала) отклонению значащих моментов синхронизации от оптимальных границ тактовых интервалов, при котором помеха достигает некоторого минимума. И хотя общая идея алгоритма работы СТС известна, но характеристики функционирования СТС СП ОГС по технологиям xDSL, работающих по отечественным телефонным кабелям представляют интерес для исследователей и разработчиков СП.

Целью статьи является разработка алгоритма синхронизации тактовой частоты и исследование характеристик функционирования СТС СП ОГС по технологиям xDSL, работающим по отечественным телефонным кабелям. В качестве модели СП ОГС используются характеристики СП по технологии ADSL2+, работающей по телефонному кабелю типа ТПП-0,5.

Рассмотрим исследуемый алгоритм тактовой синхронизации СП ОГС. В выделенном канале синхронизации (в дальнейшем будем полагать, что информация по этому каналу не передается) на каждом тактовом интервале измеряется величина интерференционной помехи, представляющая сумму межканальных и межсимвольных помех, вызванных нарушением ортогональности передаваемых ОГС на i -м тактовом интервале:

$$\xi_i(t_c) = \sqrt{x_i^2(t_c) + y_i^2(t_c)}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, \quad (1)$$

где

$$x_i(t_c) = \int_{t_c+iT}^{t_c+iT+\tau_0} s(t) \cos \omega_c t dt,$$

$$y_i(t_c) = \int_{t_c+iT}^{t_c+iT+\tau_0} s(t) \sin \omega_c t dt, \quad 0 \leq t_c < T,$$

где t_c – время, на которое смещено начало корреляционной обработки относительно границ тактового интервала; T , τ_0 – длительности тактового интервала и интервала ортогональности; ω_c – несущая частота канала синхронизации.

Измеренная случайная величина (1) усредняется по множеству реализаций:

$$h(t_c) = M(\xi_i(t_c)), \quad (2)$$

где M – символ математического ожидания случайной величины.

Таким образом, величина $h(t_c)$ есть эффективное значение помехи при положении тактовой синхронизации, определенной параметром t_c . Задачей СТС является минимизация $h(t_c)$ выбором оптимального параметра t_c :

$$h(t_c) = \min [h(t_c)]. \quad (3)$$

С целью построения замкнутой системы тактовой синхронизации, наряду с помехой (3), измеряются помехи B и C в смещенные моменты времени (рис. 1):

$$B = h(t_c + v),$$

$$C = h(t_c - v), \quad 0 \leq v < \frac{T - \tau_0}{2},$$

где $T - \tau_0 = T$ – длительность защитного интервала.

Величины A , B , C позволяют определять не только оптимальное положение момента тактовой синхронизации, но и направление смещения границ тактового интервала (границ интегрирования). Действительно, значения величин A , B , C (рис. 1) зависят от положения интервала интегрирования относительно границ элементарных посылок (тактовых моментов) и существует положение, при котором помехи будут минимальны по отношению к другим.

Рассмотрим, алгоритм работы СТС СП ОГС, воспользовавшись рис.1. На рис. 1, *a* дана условная неискаженная каналом последовательность посылок $p - 1$, p , $p + 1$, сигнала СП ОГС. На входе приемника предполагается, что некоторый условный момент t_0 обусловлен задержкой сигнала в канале связи, а длительность тактового интервала равна T .

Зададим следующие параметры СП:

- длительность интервала ортогональности $\tau_0 = 2 / 3T$;
- длительность защитного интервала $t_{зи} = 1 / 3T$;
- длительность импульсной реакции (ИР) $t_{ир} = 1 / 6T$. Так, в случае $T = 12$ условных единиц: $\tau_0 = 8$; $t_{зи} = 4$; $t_{ир} = 2$.

Для этих параметров искаженная в результате прохождения через канал связи условия последовательности посылок, рис.1, *a* принимает вид рис. 1, *б*. Отличие рис. 1 *a* и *б* состоит в искажении посылок, которые проявились в появлении у посылок сигналов преддействия и последдействия [5]. Сигналы преддействия и последдействия являются источниками интерференционных помех. Напомним, что теоретически длительность импульсной реакции полосограниченного канала связи $t_{ир} = \infty$. Однако практически можно рассматривать конечную длительность $t_{ир,t} \approx t_{ир}$, учитывая лишь ту часть ИР, которая содержит максимум энергии, принятой в качестве допустимой.

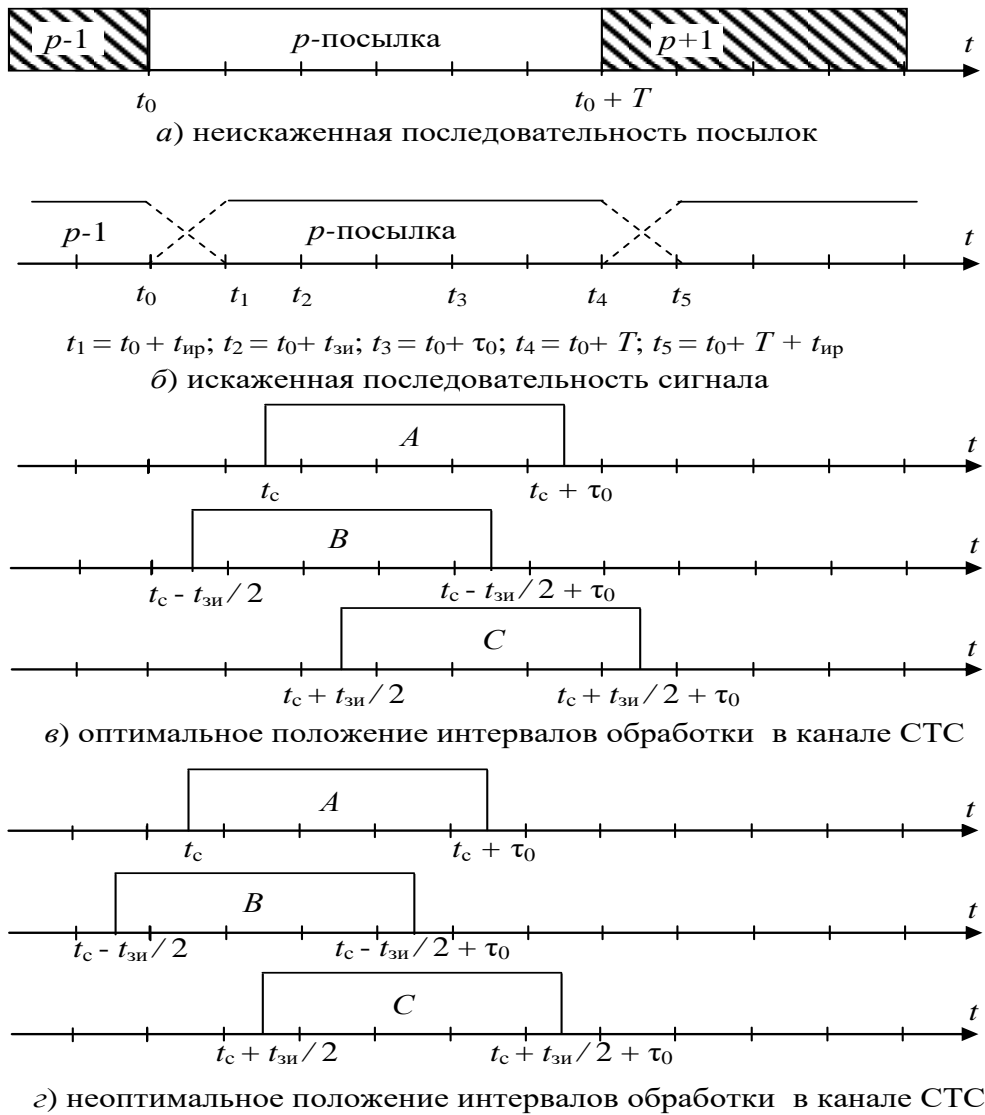


Рисунок 1 – Положения интервалов интегрирования A, B, C относительно границ посылки

В канале синхронизации (один из несущих каналов СП ОГС) наряду с помехой $h_A = h(t_c)$ вычисляются интерференционные помехи $h_B(t_c) = h(t_c - t_{3и}/2)$ и $h_C(t_c) = h(t_c + t_{3и}/2)$ рис. 1, в и г.

При оптимальном t_{co} положение интервалов обработки A, B, C таково, что интервал A охватывает наименее искаженную часть принимаемого посылки сигнала, а интервал B и C охватывают соответственно области, в которых соседние сигналы интерферируют друг с другом. Величины помех $h_B(t_c)$ и $h_C(t_c)$ зависят от степени искажений сигналов и возрастают по мере удаления интервалов обработки B и C от оптимального положения t_{co} (рис. 1, г). В оптимальном положении усредненные помехи $h_B(t_c) \approx h_C(t_c)$. Для создания замкнутой цепи регулирования t_c используют не абсолютные значения h_A, h_B и h_C , а величины

$$\Delta h(t_c) = h_B(t_c) - h_C(t_c) = h(t_c - t_{3и}/2) - h(t_c + t_{3и}/2). \quad (4)$$

Знак $\Delta h(t_c)$ указывает на направление коррекции положения t_c , а величина – на шаг коррекции.

Для иллюстрации работоспособности приведенного алгоритма настройки СТС было проведено моделирование алгоритма работы СП ADSL2+ по телефонному кабелю типа ТПП-0,5 при следующих параметрах [4]:

- количество информационных каналов (n) – 479;
- номер первого информационного канала (m) – 33;
- количество отсчетов интервала ортогональности (N) – 512;
- количество отсчетов защитного интервала (L) – 64;
- линия передачи – телефонный кабель типа ТПП с диаметром жил 0,5 мм;
- длина линии ($l_{л}$) варьируется в пределах – 1...3 км;
- вид огибающей посылки линейного сигнала – традиционный (П-образной формы).

Расчеты усредненной интерференционной помехи $\Delta h(t_c)$ осуществлялись для трех каналов (несущих) СП ADSL2+ 10, 250 и 450. Для анализа рассчитаны также $h_A = h(t_c)$ для 250 канала h_{250} . Результаты моделирования показаны на рис. 2...7, для наглядности значение $\Delta h(t_c)$ (4) взято по модулю $|\Delta h(t_c)|$.

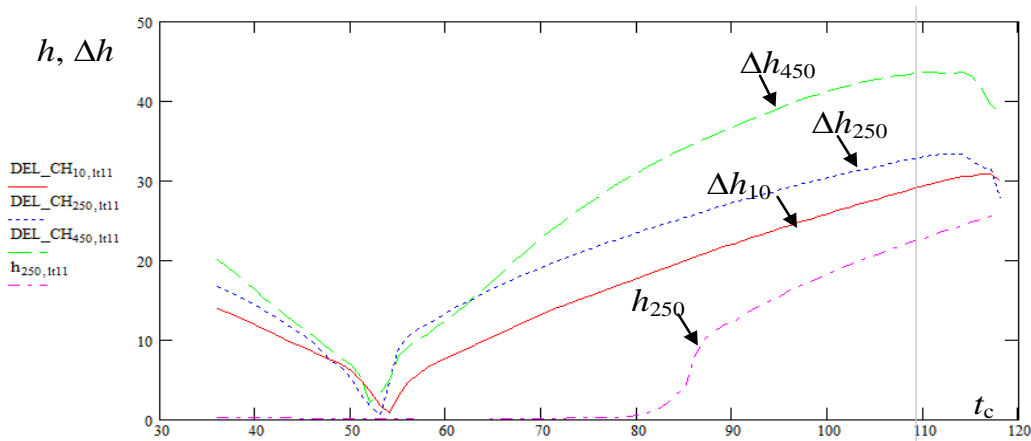


Рисунок 2 – Зависимость $h, \Delta h$ от номера отсчета начала обработки сигнала в приемнике для 250 канала, $l_{л} = 1$ км

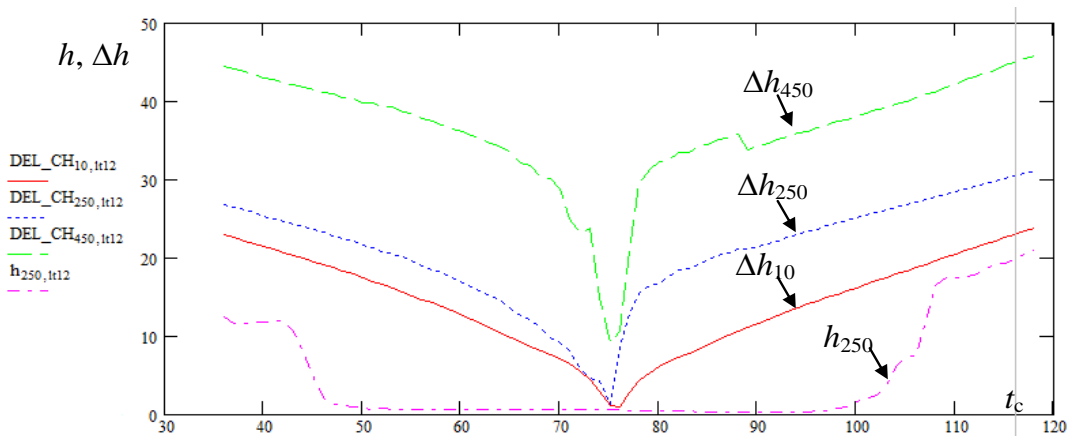


Рисунок 3 – Зависимость $h, \Delta h$ от номера отсчета начала обработки сигнала в приемнике для 250 канала, $l_{л} = 2$ км

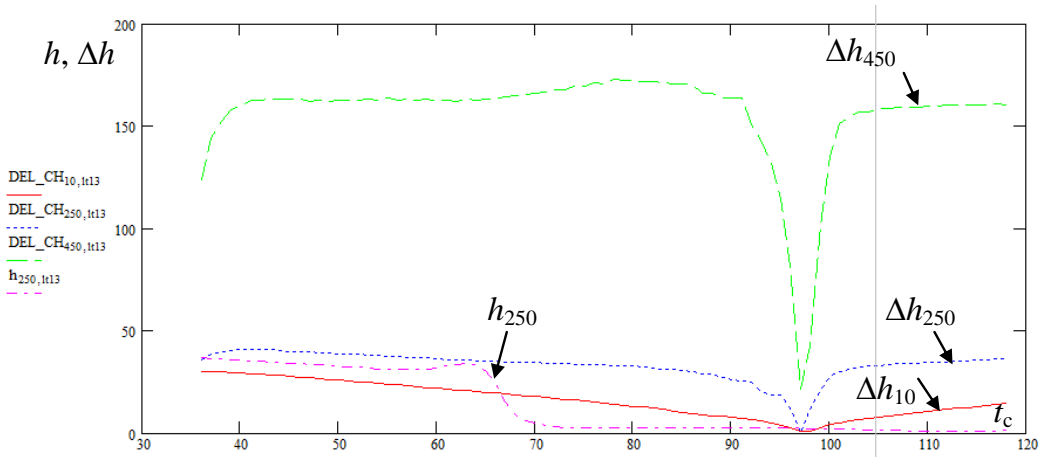


Рисунок 4 – Зависимость h , Δh от номера отсчета начала обработки сигнала в приемнике для 250 канала, $l_L = 3$ км

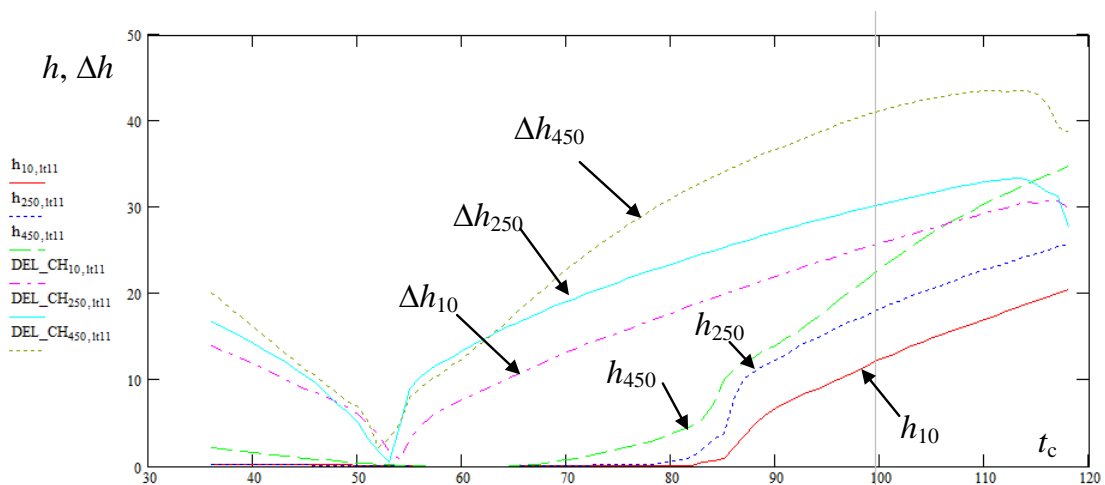


Рисунок 5 – Зависимость h , Δh от номера отсчета начала обработки сигнала в приемнике для 10, 250, 450 канала, $l_L = 1$ км

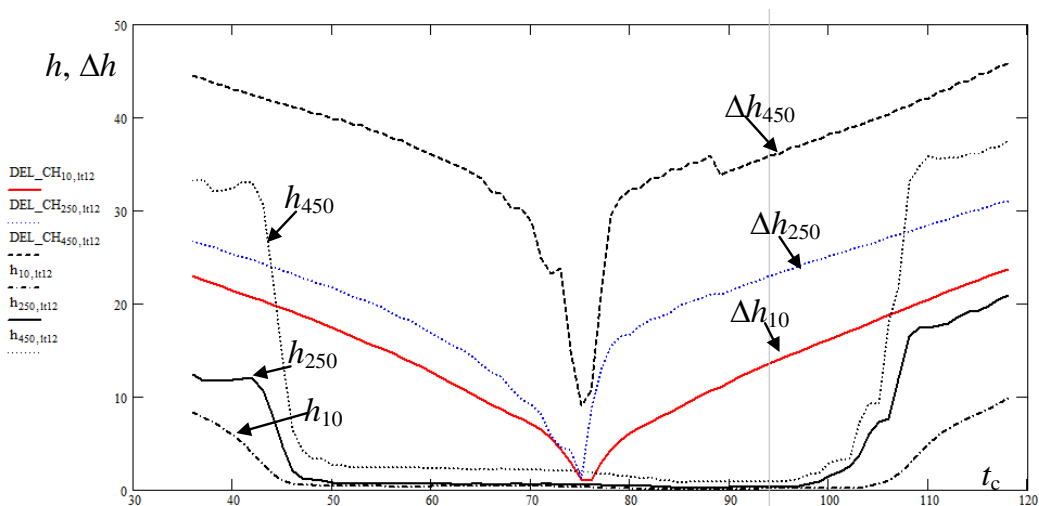


Рисунок 6 – Зависимость h , Δh от номера отсчета начала обработки сигнала в приемнике для 10, 250, 450 канала, $l_L = 2$ км

В процессе моделирования рассчитывалось отношение помехи Δh в зависимости от положения начала интервала корреляционной обработки. Анализ результатов моделирования СТС позволяет сформулировать следующие выводы:

1. Результаты моделирования подтвердили принципиальную возможность строить систему тактовой синхронизации по предложенному алгоритму.
2. Оценки оптимального положения t_0 практически совпадают для выбранных каналов синхронизации.
3. Полученные оценки положения t_0 обеспечивают минимальные интерференционные помехи в информационных каналах.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Аппаратура передачи дискретной информации МС-5 / [Гинзбург В.В. и др.]. – М.: Связь, 1970. – 152 с.
2. Окунев Ю.Б. Фазоразностная модуляция и ее применение для передачи дискретной информации / Ю.Б. Окунев, Л.М. Рахович. – М.: Связь, 1967. – 304 с.
3. Гинзбург В.В. Теория синхронизации демодуляторов / В.В. Гинзбург, А.А. Каяцкас. – М.: Связь, 1974. – 216 с.
4. Балашов В.А. Интерференционные помехи в системах передачи гармоническими сигналами обобщенного класса / В.А. Балашов, Л.М. Ляховецкий, И.Б. Барба // Сборник научных трудов SWorld. – 2014. – Вып. 1. – Том 9. – С. 79 – 86.
5. Балашов В.О. Системы передавання ширококуговими сигналами: навч. посіб. / В.О. Балашов, П.П. Воробієнко, Л.М. Ляховецкий, В.В. Педяш. – Одеса: Вид. центр ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2012. – 336 с.

REFERENCES:

1. Apparatura peredachi diskretnoy informatsii MS-5 / V.V. Ginzburg i dr. – M.: Svyaz', 1970. – 152 p.
2. Okunev Y.B. Fazoraznostnaya modulyatsiya i primenenie dlya peredachi diskretnoy informatsii / Y.B. Okunev, L.M. Rakhovich. – M.: Svyaz, 1967. – 304 p.
3. Ginzburg V.V. Teoriya sinkhronizatsii demodulyatorov / V.V. Ginzburg, A.A. Kayatskas. – M.: Svyaz, 1974. – 216 p.
4. Balashov V.A., Ljahoveckij L.M., Barba I.B. "Interference noise on the generic class harmonic signals transmission system" Scientific papers SWorld. №1 (2014). Tome 1: 79-86.
5. Balashov V.O. Sistemi peredavannya shirokosmugovimi signalami. Navch. posibnik / V.O. Balashov, P.P. Vorobienko, L.M. Lyakhovetskiy, V.V. Pedyash. – Odesa: Vid. tsentr ONAZ im. O.S. Popova, 2012. – 336 p.