

ЗАЛЕЖНІСТЬ ФЛУКТУАЦІЇ ФАЗИ СИНХРОІМПУЛЬСІВ ВІД ПАРАМЕТРІВ ПРИБРОЮ СИНХРОНІЗАЦІЇ МЕЖ ЕЛЕМЕНТАРНИХ СИГНАЛІВ

Lisovyy I. P., Kolchar V. M. The dependence of the phase fluctuations of the parameters of the device clock synchronization boundaries signal. The analysis of technical descriptions and functioning of the device clock synchronization boundaries signal (DCSBS). It is rotined that the integrate memory size is the single parameter, which influences the size of a phase synchropulse fluctuation and determines the method of DCSBS construction. The terms of choice of optimum value memory integrator are certain. The memory integrator is determined by finding the minimum phase fluctuations of synchropulses.

On the basis of the calculated values of integrator memory, the dependence of the phase of synchronization impulses fluctuation on mean square deviation (standard deviation) of synchronization signal on the DCSBS input-output is investigated.

The application expedience of reserved astatic PSMES is rotined with variable memory of averaging device. As a result, high exactness of adjusting and small phase fluctuations of synchronization impulses is received. All of the system of transmission adapts quickly to the various changes of cannel data communication parameters.

Keywords: device of synchronization, elementary signals boundaries, integrator, frequency rejection, synchropulse phase fluctuation, Laplace function

Лісовий І. П., Колчар В. М. Залежність флуктуації фази синхроімпурсів від параметрів пристрою синхронізації меж елементарних сигналів. Проведено аналіз технічних характеристик та особливостей функціонування пристрою синхронізації меж елементарних сигналів (ПСМЕС). Визначені умови вибору оптимального значення пам'яті усереднювача. На підставі розрахованих значень пам'яті усереднювача досліджена залежність флуктуації фази імпульсів синхронізації від середньоквадратичного відхилення сигналу синхронізації на вході ПСМЕС. Показана доцільність застосовування замкнених астатичних ПСМЕС зі змінною пам'яттю усереднювача.

Ключові слова: пристрій синхронізації, межі елементарних сигналів, усереднювач, відхилення частоти, флуктуація фази синхроімпурсу, функція Лапласа

Лесовой И. П., Колчар В. М. Зависимость флуктуации фазы синхронимпульсов от параметров устройства синхронизации границ элементарных сигналов. Проведен анализ технических характеристик и особенностей функционирования устройства синхронизации границ элементарных сигналов (УСГЭС). Определены условия выбора оптимального значения памяти усреднителя. На основании рассчитанных значений памяти усреднителя. исследована зависимость флуктуации фазы импульсов синхронизации от среднеквадратичного отклонения сигнала синхронизации на входе ПСМЕС. Показана целесообразность применения замкнутых астатических УСГЭС с изменяемой памятью усреднителя.

Ключевые слова: устройство синхронизации, границы элементарных сигналов, усреднитель, отклонение частоты, флуктуация фазы синхроимпульса, функция Лапласа

Постановка задачі. Внаслідок зміни параметрів тракту передачі необхідно здійснювати підстроювання фази місцевого генератора. Тому в пристрої синхронізації меж елементарних сигналів (ПСМЕС) необхідний елемент для виявлення середньої величини неузгодженості фази синхроімпурсів, що не реагує на флуктуації фази окремого синхроімпурсу, і виділяє сигнал для керування фазою місцевого генератора. Такий елемент називається усереднювачем [1, 2].

Нехай імовірність появи сигналу корекції дорівнює p . Імовірність відсутності сигналу корекції дорівнює

$$q_0(x) = 1 - p. \quad (1)$$

Густина ймовірності сигналу корекції має вигляд, наведений на Рис. 1.

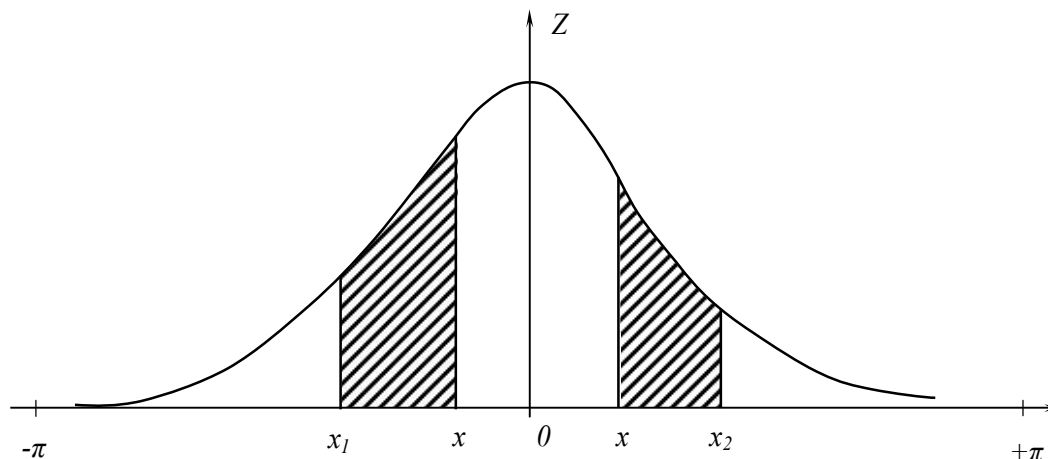


Рис. 1. Густина ймовірності сигналу корекції

Ймовірність формування команди корекції за умови, що корегування здійснювалось, дорівнює ймовірності того, що сигнал корекції існує в той час, коли на вході однією із схем ТА логічної ланки будуть дозвільні сигнали і зокрема опорні імпульси [3]. Ця умовна ймовірність дорівнює площі заштрихованої ділянки зліва (Рис. 1) для випадку віднімання імпульсу і площі заштрихованого ділянки справа для випадку додавання імпульсу, тобто

$$P_{\text{відн}}(x) = \int_{x_1}^x W(z) dz, \quad 0 < x < \pi, \quad (2)$$

$$P_{\text{дод}}(x) = \int_{-x}^{-x_2} W(z) dz, \quad -\pi < x < 0, \quad (3)$$

тут $W(z)$ – густина ймовірності появи сигналу корекції;

x_1 , x та $-x$, $-x_2$ – проміжки протягом яких корекція фази (додавання або віднімання імпульсів) можлива (Рис. 1).

Умовні ймовірності додавання і віднімання імпульсу складають в сумі одиницю:

$$P_{\text{дод}}(x) + P_{\text{відн}}(x) = 1. \quad (4)$$

Безумовні ймовірності додавання і віднімання імпульсів такі:

$$\left. \begin{aligned} q_{+1}(x) &= p \cdot P_{\text{дод}}(x), \\ q_{-1}(x) &= p \cdot P_{\text{відн}}(x), \\ q_0(x) &= 1 - p. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

З виразів (1)...(5) випливає:

$$a(x) = p[P_{\text{дод}}(x) - P_{\text{відн}}(x)]; \quad (6)$$

$$b(x) = p - p^2[P_{\text{дод}}(x) - P_{\text{відн}}(x)]^2 = p - p^2[1 - 4P_{\text{дод}}(x)P_{\text{відн}}(x)]. \quad (7)$$

Припустимо, що $W(z)$ розподілена за нормальним законом, тобто

$$W(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_0} \exp\left[-\frac{(z-x_0)^2}{2\sigma_0^2}\right], \quad (8)$$

Тоді враховуючи (5)...(8):

$$P_{\text{дод}}(x) = F\left(\frac{x}{\sigma_0}\right) - F\left(\frac{x_2}{\sigma_0}\right), \quad -\pi < x < 0; \quad (9)$$

$$P_{\text{дод}}(x) = 1 - F\left(-\frac{x}{\sigma_0}\right) + F\left(-\frac{x_2}{\sigma_0}\right), \quad 0 < x < \pi; \quad (10)$$

$$P_{\text{відн}}(x) = F\left(-\frac{x}{\sigma_0}\right) - F\left(-\frac{x_1}{\sigma_0}\right), \quad 0 < x < \pi; \quad (11)$$

$$P_{\text{відн}}(x) = 1 - F\left(-\frac{x}{\sigma_0}\right) + F\left(-\frac{x_1}{\sigma_0}\right), \quad -\pi < x < 0. \quad (12)$$

де $F(x)$ – функція Лапласа.

У сталому режимі досить розглянути поведінку $P_{\text{дод}}(x)$ та $P_{\text{відн}}(x)$ в околиці точки $x=0$. Якщо $|x| < \sigma_0$ то $F(x)$ може бути подана першими членами ряду Тейлора [4], а значення:

$$F\left(\frac{x_1}{\sigma_0}\right) \cong F\left(-\frac{x_1}{\sigma_0}\right) \cong F\left(\frac{x_2}{\sigma_0}\right) \cong F\left(-\frac{x_2}{\sigma_0}\right) \cong 1.$$

Розкладання в ряд Тейлора має вигляд:

$$F(x) = \frac{1}{2} + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left(x - \frac{x^3}{6} \right). \quad (13)$$

Враховуючи (9)...(12) та (13), отримуємо:

$$\left. \begin{aligned} P_{\text{дод}}(x) &= \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left(\frac{x}{\sigma_0} - \frac{x^3}{6\sigma_0^3} \right) \\ P_{\text{відн}}(x) &= \frac{1}{2} + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left(\frac{x}{\sigma_0} - \frac{x^3}{6\sigma_0^3} \right) \end{aligned} \right\}, \quad (14)$$

а також:

$$a(x) = -p \sqrt{\frac{2}{\pi}} \left(\frac{x}{\sigma_0} - \frac{x^3}{6\sigma_0^3} \right), \quad (15)$$

$$b(x) = p - p^2 \frac{2}{\pi} \left(\frac{x}{\sigma_0} - \frac{x^3}{6\sigma_0^3} \right) \cong p - p^2 \frac{2}{\pi} \frac{x^2}{\sigma_0^2}. \quad (16)$$

Враховуючи (15) та (16) отримаємо:

$$\left. \begin{aligned} a_0 &= \delta_f N; & a_1 &= -\sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{p}{\sigma_0}; & a_2 &= 0; & a_3 &= \frac{1}{6} \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{p}{\sigma_0^3} \\ b_0 &= p; & b_1 &= 0; & b_2 &= \frac{2}{\pi} \frac{p^2}{\sigma_0^2} \end{aligned} \right\}, \quad (17)$$

де $\delta_f = \frac{\Omega}{\omega_0}$ відносне відхилення частот генераторів передавача і приймача;

N – коефіцієнт ділення дільника, інтервал усереднення аналогового усереднювача;
 σ_0 – середньоквадратичне відхилення сигналу корекції.

З (17) одержимо вираз для математичного очікування фази синхроімпульсу:

$$x_0 = N\delta_f \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{\sigma_0}{p} + N^3 \delta_f^3 \frac{\pi}{24} \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{\sigma_0}{p^3} + \frac{1}{4p} \pi^2 \delta_f, \quad (18)$$

і нехтуючи величинами порядку $1/N_2$ за формулою (17) для дисперсії фази синхроімпульсу:

$$\sigma^2 = \frac{\pi}{N} \frac{p - N^2 \delta_f^2}{\sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{p}{\sigma_0} \left(1 - \frac{\pi}{4p^2} N^2 \delta_f^2\right)} \cong \frac{\pi \sqrt{\pi}}{\sqrt{2} N} \sigma_0 \left[1 - \frac{N^2 \delta_f^2}{p} \left(1 - \frac{\pi}{4p}\right)\right]. \quad (19)$$

Якщо математичне очікування фази синхроімпульсу невелике, то можна обмежитись першим наближенням:

$$x_0 = N\delta_f \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{\sigma_0}{p}. \quad (20)$$

Аналіз пристрою синхронізації меж елементарних сигналів

З формул (18), (19) та (20) випливає, що єдиний параметр який впливає на величину флуктуації фази синхроімпульсу і залежить від способу побудови ПСМЕС, це розмір пам'яті усереднювача. Можна вважати, що дисперсія σ^2 (19) повністю визначає плавні флуктуації фази синхроімпульсу.

Величину:

$$\sigma_{\Pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\sigma^2} \quad (21)$$

далі називатимемо плавними флуктуаціями фази синхроімпульсу. Ця ж величина помножена на сто визначить плавні флуктуації фази синхроімпульсу у відсотках. Для дослідження ПСМЕС формулу (19) запишемо в наступному вигляді:

$$\sigma_{\Pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\pi \sqrt{\pi}}{\sqrt{2} N} \sigma_0 \left[1 - \frac{N^2 \delta_f^2}{p} \left(1 - \frac{\pi}{4p}\right)\right]} = \sqrt{\frac{\sigma_0}{4\sqrt{2}\pi N} \left[1 - \frac{N^2 \delta_f^2}{p} \left(1 - \frac{\pi}{4p}\right)\right]}. \quad (22)$$

Спочатку знайдено залежність плавних флуктуацій від величини пам'яті усереднювача при фіксованих значеннях величин: p , δ_f , σ_0 . Графік залежності дисперсії фази синхроімпульсу за умов $p = 0,5$, $\delta_f = 4,17 \cdot 10^{-5}$, $\sigma_0 = 10^{-2}$ наведено на Рис. 2.

Як впливає з графіка, при деякому постійному значенні середньоквадратичного відхилення сигналу корекції σ_0 і при певній величині нестабільності частот генераторів δ_f , залежність плавних флуктуацій фази синхроімпульсу від розміру пам'яті усереднювача має мінімум. Це дуже важливий факт, тому він дозволяє при заданих вище умовах вибирати оптимальне значення пам'яті усереднювача. Якщо δ_f буде прямувати до нуля, тобто буде мати місце точне налаштування генераторів передавача і приймача то (22) прийме вигляд:

$$\sigma_{\Pi 0} = \sqrt{\frac{\sigma_0}{4\sqrt{2}\pi N}}. \quad (23)$$

У цьому випадку збільшення пам'яті усереднювача тільки покращує властивості системи синхронізації, тобто із збільшенням пам'яті зменшуються флуктуації фази синхроімпульсу. Виразами (22) і (23) обґрунтовують вибір двох режимів роботи ПСМЕС.

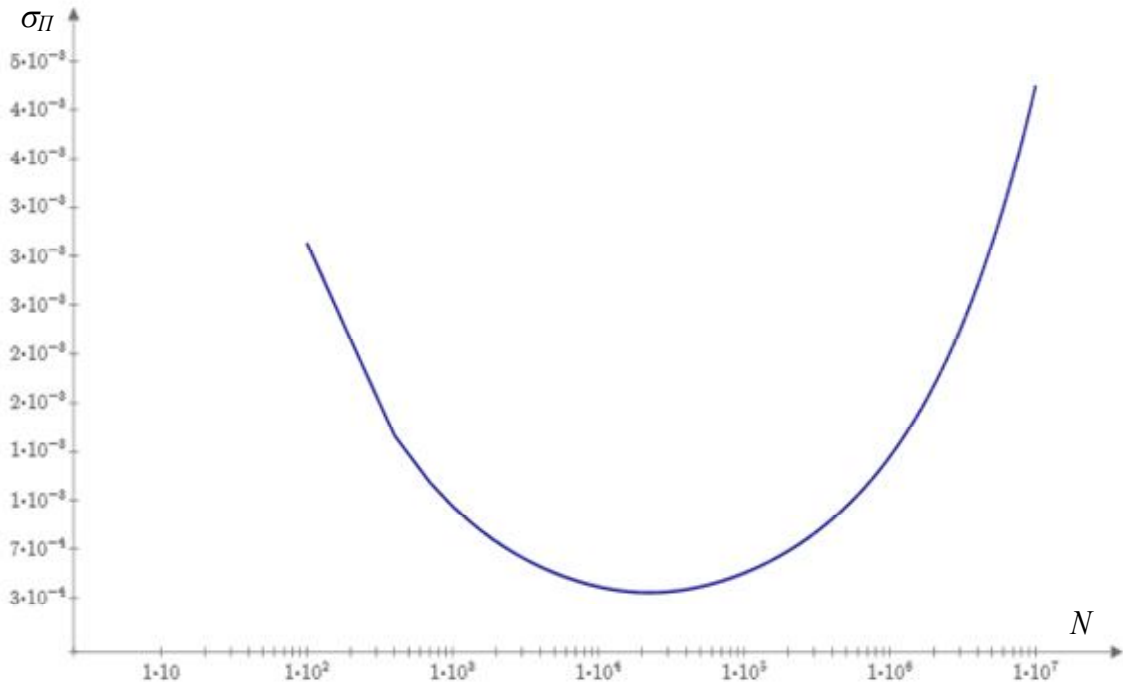


Рис. 2. Залежності дисперсії фази синхроімпульсу від пам'яті усереднювача

У режимі входження до синхронізму має місце деяка відносна нестабільність частоти генераторів передавача і приймача, що визначається як інтеграл миттєвого значення фази імпульсів синхронізації [3, 5, 6]. При цьому для дослідження ПСМЕС використовується формула (22), а пам'ять усереднювача визначається знаходженням мінімуму флуктуацій фази синхроімпульсів (Рис. 2). Стаціонарний режим характеризується тим, що напруга сигналу розсинхронізації на виході першого інтегратора залишається незмінною протягом тривалих проміжків часу, а це відповідає розлаштуванню частот генератора δ_f – рівною нулю. У такому випадку для визначення пам'яті усереднювача використовується вираз (23) і на підставі його інтервал усереднення (постійна часу інтегратора) може бути вибраний значним.

Пам'ять усереднювача в будь-якому режимі роботи визначається:

$$N_{\text{заг}} = NN_1N_2, \quad (24)$$

де N – коефіцієнт ділення дільника частоти; N_1 – пам'ять першого інтегратора; N_2 – пам'ять другого інтегратора.

У загальному випадку

$$N = \frac{T}{b}, \quad (25)$$

де T – інтервал усереднення (для інтеграторів $T=RC$);
 b – коефіцієнт, що залежить від способу усереднення.

При усередненні інтегрування періодичних функцій часу $b = 1/\omega$, де $\omega = 2\pi f_n$, f_n – частота інтегрування дорівнює $1/T_n$, причому T_n – період інтегрування. Для інтеграторів $T=RC$, тому: $N_1 = R_1C_1 2\pi f_n$.

Для режиму входження до синхронізму з графіка на Рис. 3.15: $10^4 \leq N_{\text{заг}} \leq 10^5$ обирається $N_{\text{заг}} = 10^5$. Коефіцієнт ділення дільника $N = 256$, а інтервал інтегрування другого інтегратора обраний близьким до 4. При цих умовах:

$$N_1 = \frac{N_{\text{заг}}}{N \cdot N_2} = \frac{10^5}{256 \cdot 4} = 1,13 \cdot 10^2.$$

Враховуючи, що інтегрування сигналу розсинхронізації проводиться через послілку, то частота інтегрування f_I складає 1,5 кГц.

Величина $N_1 = 1,13 \cdot 10^2$ задовольняє $R_1 = 12$ кОм та $C_1 = 1$ мкФ. Величина пам'яті другого усереднювача – інтегратора

$$N_2 = R_2 C_2 2\pi f_n \cong 4$$

задовольняє $R_2 = 3,9$ кОм та $C_2 = 0,1$ мкФ.

В стаціонарному режимі роботи обрано $R_1^* = 300$ кОм. Ємність $C_1^* = 1$ мкФ, тобто залишається попередньою. При цьому в режимі входження до синхронізму

$$N_{2\text{зар}} = NN_1N_2 = 1,06 \cdot 10^5.$$

В режимі стаціонарної роботи:

$$N_{1\text{зар}} = NN_1^*N_2 = 2,66 \cdot 10^6.$$

Пам'ять усереднювача збільшується більш ніж у двадцять разів.

На підставі розрахованих значень пам'яті усереднювача, досліджено залежність флуктуації фази імпульсів синхронізації від середньоквадратичного відхилення сигналу синхронізації на вході ПСМЕС. Розглянуто випадки:

1) **Застосовується цифровий усереднювач.** Дільник частоти з коефіцієнтом ділення $N = 256$.

Нехай σ_0 приймає значення: $\sigma_{01} = 5 \cdot 10^{-4}$; $\sigma_{02} = 10^{-4}$; $\sigma_{03} = 5 \cdot 10^{-3}$; $\sigma_{04} = 10^{-3}$; $\sigma_{05} = 5 \cdot 10^{-2}$; $\sigma_{06} = 10^{-1}$; $\sigma_{07} = 5 \cdot 10^{-1}$; $\sigma_{08} = 1$.

Величини p та δ_f : $p = 0,5$; $\delta_f = 4,17 \cdot 10^{-5}$.

2) **Режим входження у зв'язок.** Пам'ять усереднювача $N_{2\text{зар}} = 1,06 \cdot 10^5$. Інші вихідні дані ті ж, що і в попередньому випадку.

3) **Режим стаціонарної роботи.** Пам'ять усереднювача $N_{2\text{зар}} = 2,66 \cdot 10^6$. Інші вихідні дані ті ж, що і у випадках 1) і 2). Розрахунок у цьому випадку проводиться за формулами (24) і (25).

Графіки залежності флуктуації фази імпульсів синхронізації для всіх розглянутих випадків показані на Рис. 3.

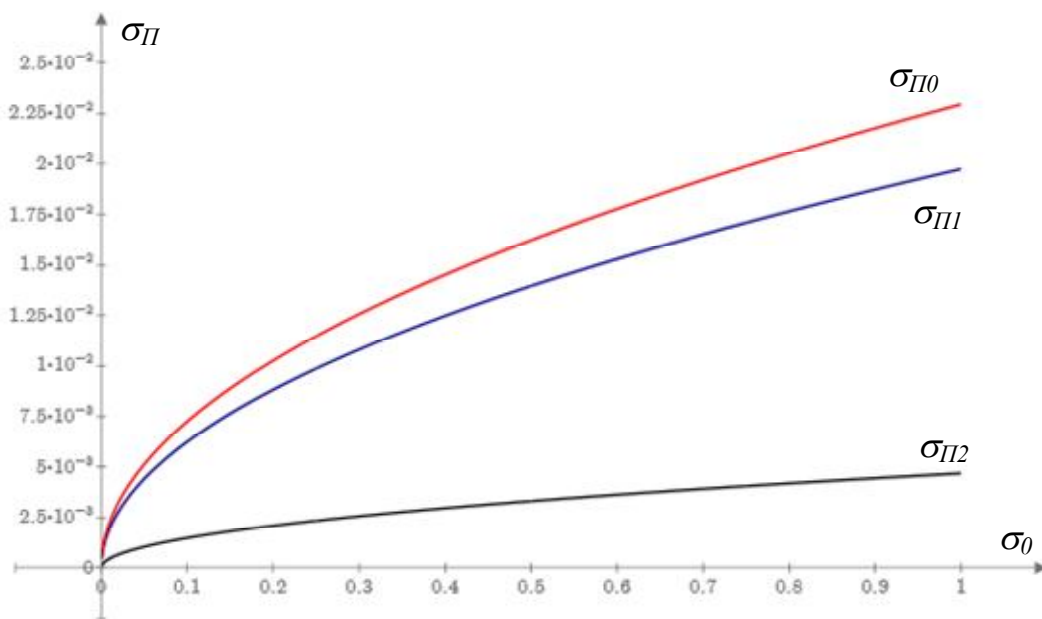


Рис. 3. Флуктуація фази імпульсів синхронізації в режимі входження до режиму синхронізму і в режимі стаціонарної роботи

Висновки

Проведені дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

1) Доцільно застосовувати замкнені астатичні ПСМЕС зі змінною пам'яттю усереднювача. При цьому вдається отримати: високу точність регулювання, малі флуктуації фази імпульсів синхронізації. Вся система передачі швидше пристосовується до всіляких змін параметрів тракту передачі.

2) На синхронність роботи передавача і приймача впливає лише один параметр ПСМЕС – пам'ять усереднювача.

3) Вплив на роботу системи інших факторів: параметрів середовища розповсюдження і сигналу в роботі не розглядалися та потребують окремого розгляду.

Література

1. Линдсей В. Системы синхронизации в связи и управлении / В. Линдсей ; пер. с англ. под ред. Ю. Н. Бакаева и В. В. Капранова. – Москва : Сов. радио, 1978. 600 с.

2. Лісовий І. П. Математична модель пристрою синхронізації межі елементарних сигналів / І. П. Лісовий, В. М. Колчар // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2015. – №4(38). – С. 31-36.

3. Шахгильдян В. В. Системы фазовой синхронизации с элементами дискретизации / В. В. Шахгильдян, А. А. Ляховкин, В. Л. Карякин и др.; под ред. В. В. Шахгильдяна. – 2-е изд. – Москва : Радио и связь, 1989. – 320 с.

4. Бронштейн И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗОВ / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – Москва: Наука, 1980. – 976 с.

5. Казаков В. А. Введение в теорию марковских процессов и некоторые радиотехнические задачи / В. А. Казаков. Москва : Сов. радио, 1973. – 323 с.

6. Алексеев Ю. А. Требования к построению системы тактовой синхронизации на сети связи общего пользования России / Ю. А. Алексеев, М. Н. Колтунов // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2008 р. – № 2(4). – С. 32-37.

Автори статті

Лісовий Іван Павлович – доктор технічних наук, професор кафедри телекомунікаційних систем, Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова. Тел. +380 (48) 758-51-58. E-mail: ur5fo@mail.ru

Колчар Володимир Михайлович – аспірант, кафедра телекомунікаційних систем, Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова. Тел. +380 (98) 425-58-90. E-mail: vovakolchar@ukr.net

Дата надходження в редакцію: 6.10.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. А. Г. Ложковський