

УДК 621.396

UDC 621.396

05.13.19 - Методы и системы защиты информации, информационная безопасность (технические науки)

Methods and systems of information protection, information security (technical sciences)

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТАКТОВОЙ  
СИНХРОНИЗАЦИИ НА НАДЕЖНОСТЬ  
ЦИКЛОВОГО ФАЗИРОВАНИЯ ДАТЧИКОВ  
ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ  
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ  
СПЕЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ В  
УСЛОВИЯХ РЭП**

**ESTIMATION OF THE EFFECT OF CLOCK  
SYNCHRONIZATION ON THE RELIABILITY  
OF THE CYCLE PHASING OF SENSORS OF  
PSEUDO-RANDOM SEQUENCES OF SPECIAL  
COMMUNICATION SYSTEMS UNDER R.E.B.  
CONDITIONS**

Ажмухамедов Искандар Маратович  
д.т.н., профессор, Заведующий кафедрой  
информационной безопасности  
*Астраханский государственный университет, г.  
Астрахань, Россия*

Azhmukhamedov Iskandar Maratovich  
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of  
Information Security Department  
*Astrakhan state university, Astrakhan, Russia*

Мельников Е.В.  
соискатель  
*Кубанский институт информзащиты, г.  
Краснодар, Россия*

Melnikov E.V.  
Applicant  
*Kuban Institute of Information Protection, Krasnodar,  
Russia*

Целью данной работы является исследование влияния тактовой синхронизации опорных генераторов специальных систем связи на удержание цикловой синхронизации датчиков ПСП при переключениях их в режим замедления, а также кратковременных перерывов в работе, например при скачках напряжения и т.д. в условиях радиоэлектронного подавления

The purpose of this work is to study the effect of clock synchronization of reference generators of special communication systems on the retention of the frame synchronization of PSP sensors when switching them to the deceleration mode, as well as short interruptions in operation, for example, when power surges, etc. in terms of electronic suppression

Ключевые слова: СИНХРОНИЗАЦИЯ,  
ПСЕВДОСЛУЧАЙНАЯ  
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ,  
РАДИОЭЛЕКТРОННОЕ ПОДАВЛЕНИЕ,  
СИСТЕМЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ СВЯЗИ

Keywords: SYNCHRONIZATION, PSEUDO-  
RANDOM SEQUENCE, RADIO ELECTRONIC  
SUPPRESSION, SPECIAL COMMUNICATION  
SYSTEMS

DOI: <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-155-008>

## Введение

Известно, что надежность цикловой синхронизации в значительной степени определяется надежностью тактовой синхронизации. В условиях РЭП, когда соотношение сигнал/помеха становится меньше единицы  $\frac{P_c}{P_n} \leq 1$ , система с ПС-сигналами поочередно переходит в режим замедления, сначала на приеме, а затем на передаче. Следовательно, в момент перехода, в течение некоторого, короткого промежутка времени, необходимого для анализа и принятия решения модемы будут

рассогласованы по информационным посылкам сигнала. Такая же ситуация возникает при кратковременных перерывах в работе из-за, например скачка напряжения. В работе исследуются методы сохранения цикловой синхронизации датчиков ПСП при переходе специальной системы в режим замедления, а также при кратковременных перерывах в работе

### Условия расхождения генераторов тактовых импульсов

Известно [1,2,3,4,5,6,7], что надежность цикловой синхронизации в значительной степени определяется надежностью тактовой синхронизации. В условиях РЭП, когда соотношение сигнал/помеха становится меньше единицы  $P_c/P_n \leq 1$ , система с ПС-сигналами поочередно переходит в режим замедления, сначала на приеме, а затем на передаче. Следовательно, в момент перехода, в течение некоторого, короткого промежутка времени, необходимого для анализа и принятия решения модемы будут рассогласованы по информационным посылкам сигнала. Чтобы в течение этого короткого промежутка времени сохранить цикловую синхронизацию датчиков ПСП, необходимо защитить тактовую синхронизацию от увода ее помехой для чего целесообразно предусмотреть:

- 1) блокировку системы тактовой синхронизации при обнаружении интенсивных помех в радиолинии, что позволит защититься от преднамеренного увода фазы помехой, превышающей уровень сигнала;
- 2) повышения стабильности опорных генераторов;
- 3) введение ручного или полуавтоматического восстановления фазы ПСП путем "подгона", "осаживания" частоты следования субэлементов сигнала на целое число тактов.

Известно, что нарушение тактовой синхронизации наступает, если расхождение задающих генераторов превысит величину  $0.5\tau_0$ , где  $\tau_0$  - длительность одного субэлемента сигнала [1]. Максимально допустимое время прерывания зависит от коэффициента неустойчивости задающих генераторов и скорости передачи в канале и количественно это выражается как [2]:

$$t_{max} = \varepsilon(\tau) / (2k_H V_k), \quad (1)$$

где  $k_H$  - коэффициент неустойчивости генератора;

$V_k$  - скорость передачи в канале;

$$\varepsilon(\tau) \leq 0.5.$$

Формула (1) выведена для самого неблагоприятного, наихудшего случая, когда генераторы расходятся в противоположных направлениях. Следовательно,  $t_{max}$  рассчитанное по этой формуле дает граничную, то есть предельно достижимую величину, поэтому на практике, как показали исследования [6,7] необходимо это время увеличить от расчетного на порядок.

Учитывая, что в системах инвариантных к РЭП база сигнала может меняться от сотен до нескольких тысяч, в зависимости от используемого диапазона частот и скорости передачи информации, канальная скорость может колебаться от сотен бод до нескольких МГбод. С учетом этого, была произведена оценка времени удержания синхронизма для различных значений коэффициента неустойчивости генераторов  $k_H$  и скорости передачи в канале  $V$ . Результаты расчета сведены в таблицы 1 и 2.

Из приведенных в таблице данных видно, что при повышении скорости передачи, при заданной стабильности генераторов время, в течение которого частоты разойдутся на одинаковое число тактов, убывает, причем при достаточно больших скоростях передачи порядка 1000 Кбод и выше, скорость убывания времени заметно уменьшается.

При увеличении стабильности генераторов, время, в течение

которого частоты разойдутся на заданное число тактов, увеличивается, причем при уменьшении коэффициента неустойчивости на порядок, время расхождения частоты генераторов увеличивается на такой же порядок.

### Методы обеспечения инерционности цикловой синхронизации датчиков ПСП

В условиях РЭП важно восстанавливать синхронизацию ДПСП при сбоях без повторного фазирования, поэтому в таких системах возникает потребность в увеличении времени удержания синхронизма (особенно при высокой скорости передачи) [2,3,4,5]. Расчеты показывают, что это можно обеспечить либо, выбирая высокостабильные опорные генераторы, при сохранении заданной скорости в канале, либо при заданной стабильности опорных генераторов осуществлять переход на меньшие скорости передачи.

Для того, чтобы сохранить достаточную инерционность цикловой синхронизации датчиков ПСП при переходе системы в режим замедления, необходимо, как показали расчеты, коэффициент неустойчивости выбирать  $K_H \leq 10^{-6}$ , тогда, как видно из таблиц 1 и 2 при изменении скорости даже до 3 МГц время расхождения на 10 элементов (при  $K_H = 10^{-6}$ ) равно 1.6 сек. На практике это время будет примерно в 10 раз выше и составит, порядка 16 сек, что более чем достаточно, чтобы восстановить синхронизацию не прерывая связи методами ручной или автоматической подстройки цикловой частоты приемного датчика ПСП.

Таблица 1. Время рассогласования генераторов при различных коэффициентах неустойчивости и скорости передачи в канале связи

Время рассогласования генераторов t								
К	$\varepsilon (\tau_0)$	Скорость в канале (бод.)						
		100	200	300	600	1200	2400	4800
$10^{-5}$	0,4	3,3 м	1,6 м	1,1 м	33,3 с	16,6 с	8,3 с	4,1 с
	0,5	4,1 м	2,08 м	1,3 м	41,6 с	20,8 с	10,4 с	5,2 с
	4	33,3 м	16,6 м	1,1 м	5,5 м	2,7 м	1,3 м	41,6 с
	10	1,3 ч	41,6 м	27,7 м	13,8 м	6,9 м	3,4 м	1,7 м
$10^{-6}$	0,4	33,3 м	16,6 м	11,1 м	5,5 м	2,7 м	1,3 м	41,6 с
	0,5	41,6 м	20,8 м	13,8 м	6,9 м	3,4 м	1,7 м	52,08 с
	4	55,5 ч	2,7 ч	1,8 ч	55,5 м	27,7 м	13,8 м	6,9 м
	10	13,8 ч	6,9 ч	4,6 ч	2,3 ч	1,1 ч	34,7 м	17,3 м
$10^{-7}$	0,4	5,5 ч	2,7 ч	1,8 ч	55,5 м	27,7 м	13,8 м	6,9 м
	0,5	6,9 ч	3,4 ч	2,3 ч	1,1 ч	34,7 м	17,3 м	8,6 м
	4	2,3 сут	1,1 сут	18,5 ч	9,2 ч	4,6 ч	2,3 ч	1,1 ч
	10	5,7 сут	2,8 сут	1,9 сут	23,1 ч	11,5 ч	5,7 ч	2,8 ч
$10^{-8}$	0,4	2,3 сут	1,1 сут	18,5 ч	9,2 ч	4,6 ч	2,3 ч	1,1 ч
	0,5	2,8 сут	1,4 сут	23,1 ч	11,5 ч	5,7 ч	2,8 ч	1,4 ч
	4	23,1 сут	11,5 сут	7,7 сут	3,85 сут	1,9 сут	23,1 ч	11,5 ч
	10	57,8 сут	28,9 сут	19,2 сут	9,6 сут	4,8 сут	2,4 сут	1,2 сут
$10^{-9}$	0,4	23,1 сут	11,5 сут	7,7 сут	3,8 сут	1,9 сут	21,1 ч	11,5 ч
	0,5	28,9 сут	14,4 сут	9,6 сут	4,8 сут	2,4 сут	1,2 сут	14,4 ч
	4	231,4 сут	115 сут	77,1 сут	38,5 сут	19,2 сут	9,6 сут	4,8 сут
	10	278,7 сут	289,3 сут	192,9 сут	96,4 сут	48,2 сут	24,1 сут	12,05 сут

Таблица 2. Время расхождения датчиков ПСП на заданное число тактов при различных скоростях передачи в канале связи

К		«t» - Время расхождения на заданное число тактов, при скорости передачи «V» (Кбод)								
		50	100	300	500	1000	1500	2000	2500	3000
10 <sup>-4</sup>	4	0,4 с	0,2 с	0,066 с	0,04 с	0,02 с	0,013 с	0,01 с	0,008 с	0,006 с
	6	0,6 с	0,3 с	0,1 с	0,06 с	0,03 с	0,02 с	0,015 с	0,012 с	0,01 с
	8	0,8 с	0,4 с	0,13 с	0,08 с	0,04 с	0,026 с	0,02 с	0,016 с	0,013 с
	10	1 с	0,5 с	0,16 с	0,1 с	0,05 с	0,03 с	0,025 с	0,02 с	0,016 с
10 <sup>-5</sup>	4	4 с	2 с	0,6 с	0,4 с	0,2 с	0,13 с	0,1 с	0,08 с	0,06 с
	6	6 с	3 с	1 с	0,6 с	0,3 с	0,2 с	0,15 с	0,12 с	0,11 с
	8	8 с	4 с	1,3 с	0,8 с	0,4 с	0,26 с	0,2 с	0,16 с	0,13 с
	10	10 с	5 с	1,6 с	1 с	0,5 с	0,3 с	0,25 с	0,2 с	0,16 с
10 <sup>-6</sup>	4	40 с	20 с	6 с	4 с	2 с	1,3 с	1 с	0,8 с	0,6 с
	6	1 м	30 с	10 с	6 с	3 с	2 с	1,5 с	1,2 с	1 с
	8	1,3 м	40 с	13 с	8 с	4 с	2,6 с	2 с	1,6 с	1,3 с
	10	1,6 м	50 с	16 с	10 с	5 с	3 с	2,5 с	2 с	1,6 с
10 <sup>-7</sup>	4	6,6 м	3,3 м	1,1 м	40 с	20 с	13 с	10 с	8 с	6 с
	6	10 м	5 м	1,6 м	1 м	30 с	20 с	15 с	12 с	10 с
	8	13 м	6,6 м	2,2 м	1,3 м	40 с	26 с	20 с	16 с	13 с
	10	16 м	8,3 м	2,7 м	1,6 м	50 с	30 с	25 с	20 с	16 с
10 <sup>-8</sup>	4	1,1 ч	33 м	11 м	6,6 м	3,3 м	2,2 м	1,6 м	1,3 м	1,1 м
	6	1,6 ч	50 м	16 м	10 м	5 м	3,3 м	2,5 м	2 м	1,6 м
	8	2,2 ч	1,1 ч	22 м	13 м	6,6 м	4,4 м	3,3 м	2,6 м	2,2 м
	10	2,7 ч	1,38 ч	27 м	16 м	8,3 м	5,5 м	4,1 м	3,3 м	2,7 м

### Заключение

Таким образом, проведенные исследования показали, что при восстановлении цикловой синхронизации из-за сбоев не потребуется переустанавливать ключи, что увеличивает оперативность прохождения информации, если коэффициент неустойчивости опорных генераторов выбирать не более  $K_H=10^{-6}$ . Это можно сделать на этапе проектирования системы синхронизации специальных систем связи, что позволит обоснованно выбирать количественные критерии и сформулировать требования к системе циклового фазирования датчиков ПСП.

### Использованная литература

1. Коржик В.И., Финк Л.М., Щелкунов К.Н. Расчет помехоустойчивости систем передачи дискретных сообщений. Справочник. - М.: Радио и связь, 1981. -232с.
2. Линдсней В. Системы синхронизации в связи и управлении. - М.: Сов. радио, 1978. – 315с.
3. Нахмансон Г.С, Маньков П.Л. Увеличение временного интервала для оценивания времен запаздывания каналов в акустооптическом корреляторе с временным интегрированием.// Труды Международной конференции "Радиолокация, навигация, связь 2002", Воронеж, апрель 2002 г., т.3, сс.1730-1738.
4. Свириденко С.С. Основы синхронизации при приеме дискретных сигналов. - М.: Связь, 1974. – 290с.
5. Стиффлер Дж.Дж. Теория синхронной связи./ Пер. с англ. Б.С.Цыбакова. Под ред. Э.М.Габидулина. - М.: Связь, 1975. -488с.
6. Собачкин Д.М., Хисамов Ф.Г. Моделирование процесса синхронизации псевдослучайных последовательностей при жестких временных ограничениях / Материалы международной научно-практической конференции «Информационные системы и технологии (ИСТ – 2013)». Нижний Новгород. Изд. НГТУ им. Р.Е.Алексеева, 2013, С. 284-285
7. D. Sobachkin, F. Khisamov, A. Zolotuev, M. Bobilev. Simulink Modelling of the Majority Pseudo-noise Sequence Acquisition Method for Multi-Carrier CDMA / International Transactions on Electronics and Communication Engineering - ITECE (2015): ARTICLE ID: ITECE/ 2015/005 ISSN: AWAI – TING, 34-38. Print

### References

1. Korzhik V.I., Fink L.M., Shhelkunov K.N. Raschet pomexoustojchivosti sistem peredachi diskretny`x soobshhenij. Spravochnik. - M.: Radio i svyaz`, 1981. -232s.
2. Lindsnej V. Sistemy` sinxronizacii v svyazi i upravlenii. - M.: Sov. radio, 1978. – 315s.
3. Naxmanson G.S, Man`kov P.L. Uvelichenie vremennogo intervala dlya ocenivaniya vremen zapazdy`vaniya kanalov v akustoopticheskom korrelyatore s vremenny`m

integririvaniem.// Trudy` Mezhdunarodnoj konferencii "Radiolokaciya, navigaciya, svyaz` 2002", Voronezh, aprel` 2002 g., t.3, ss.1730-1738.

4. Sviridenko S.S. Osnovy` sinxronizacii pri prieme diskretny`x signalov. - M.: Svyaz`, 1974. – 290s.

5. Stiffler Dzh.Dzh. Teoriya sinxronnoj svyazi./ Per. s angl. B.S.Cybakova. Pod red. E`.M.Gabidulina. - M.: Svyaz`, 1975. -488s.

6. Sobachkin D.M., Xisamov F.G. Modelirovanie processa sinxronizacii psevdosluchajny`x posledovatel`nostej pri zhestkix vremenny`x ogranicheniyax / Materialy` mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Informacionny`e sistemy` i texnologii (IST – 2013)». Nizhnij Novgorod. Izd. NGTU im. R.E.Alekseeva, 2013, S. 284-285

7. D. Sobachkin, F. Khisamov, A. Zolotuev, M. Bobilev. Simulink Modelling of the Majority Pseudo-noise Sequence Acquisition Method for Multi-Carrier CDMA / International Transactions on Electronics and Communication Engineering - ITECE (2015): ARTICLE ID: ITECE/ 2015/005 ISSN: AWAI – TING, 34-38. Print