

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ НА ОСНОВІ АДАПТИВНОГО МЕТОДУ СИНХРОНІЗАЦІЇ

Запропоновано адаптивний алгоритм синхронізації НВЧ радіосистем по інформаційному сигналу. Синтезована самоорганізуюча схема системи синхронізації, яка реалізує даний алгоритм. Застосування розробленого адаптивного методу дозволяє прискорити входження в зв'язок без зниження при цьому точності синхронізації і без введення надмірності по енергетиці «синхроканалу».

Ключові слова: синхронізація, синхросигнал, фазове автопідстроювання частоти, фазовий детектор.

Вступ

Відомо, що з підвищенням швидкості передачі інформації по радіоканалах реальна ефективність застосування відомих методів вирішення протиріччя між точнісними і динамічними характеристиками систем синхронізації ліній зв'язку швидко знижується [1]. Зокрема, необхідне для високошвидкісних радіоліній зв'язку підвищення швидкодії систем синхронізації зазвичай забезпечується шляхом збільшення надмірності за потужністю синхросигналу (у порівнянні з усталеним режимом), що призводить до погіршення енергетичних характеристик даних радіоліній [1, 2]. Тому актуальною є розробка нового і в максимальному ступені вільного від зазначених вище недоліків методу підвищення інтегральної ефективності вельми важливого і перспективного класу систем синхронізації ліній зв'язку за інформаційним сигналом.

Основна частина

Відзначимо насамперед ту обставину, що інформація, прийнята при наявності порушень синхронізації, зазнає істотних спотворень і, як правило, незворотно втрачається. Більш того, поява (внаслідок «зриву» тактової та/або високочастотної синхронізації) довгої серії помилкових символів може в ряді випадків призводити до порушень циклової (кадрової) синхронізації і, отже, до довготривалих перерв в зв'язку [2]. Звідси випливає висновок про доцільність розробки і застосування адаптивних алгоритмів організації процесу синхронізації, які передбачають використання повної потужності інформаційного сигналу для прискореного встановлення (відновлення) стану синхронізму з метою скорочення необоротних втрат корисної інформації та підвищення надійності зв'язку. З огляду на специфіку приймачів НВЧ діапазону хвиль, де рівень шумів визначається переважно місцевими апаратурними флуктуаціями, доцільно змінювати енергетику «синхроканалу» при переходах від режиму захоплення до режиму утримання та назад. При цьому формальний математичний запис шуканого адаптивного алгоритму синхронізації може бути представлений в наступному вигляді

$$\left. \begin{aligned} U_{\text{вихФД2}} < U_n &\rightarrow \left(\begin{array}{l} "C_T" \div 1/\beta; "I" \div (\beta - 1)/\beta \\ "C_\Gamma" \div 0 \end{array} \right) \\ U_{\text{вихФД2}} \geq U_n &\rightarrow \left(\begin{array}{l} "C_T" \div 1/\beta; "C_\Gamma" \div (\beta - 1)/\beta \\ "I" \div 0 \end{array} \right) \end{aligned} \right\} (1)$$

де $U_{\text{вихФД2}}$ - напруга на виході внутрішнього кільця точної синхронізації;

U_n – порогове значення $U_{\text{вихФД2}}$, що характеризує наявність (при $U_{\text{вихФД2}} < U_n$) або відсутність (при $U_{\text{вихФД2}} \geq U_n$) стану точного синхронізму, тобто режиму точного утримання у внутрішньому кільці;

"Г"; "С_Г"; "С_Г" - позначення інформаційного каналу, а також точного і грубого «синхроканалів», відповідно;

верхній рядок у круглих дужках виразу (1) вказує робочі (в даний момент часу) канали, а нижній рядок означає непрацюючий в цей час канал приймача сигналів; величина, відокремлена знаком (÷), характеризує енергетику (тобто відведена частину повної потужності інформаційного сигналу) відповідного каналу приймача сигналів.

При цьому прискорення процесів встановлення (і відновлення) стану синхронізму забезпечується шляхом використання в грубому "синхроканалі" приймача тієї частки $(\beta - 1)/\beta$ потужності сигналу, яка в стаціонарному стані синхронізму служить для виділення в інформаційному каналі приймача корисних повідомлень. Таким чином, інформаційний канал і грубий "синхроканал" приймача одночасно функціонувати не можуть, в той час як його точний "синхроканал" працює постійно - для забезпечення процесів вилучення інформації і з метою контролю наявності стану синхронізму (в режимі утримання), або тільки для вирішення останнього завдання (в режимі захоплення).

Оцінимо ефективність застосування запропонованого адаптивного алгоритму синхронізації зв'язкової радіолінії. В якості критерію використаємо інтегральний показник якості - ефективну енергетичну ціну передачі одиниці інформації, що дозволяє здійснити одночасний і компактний облік як точнісних і динамічних характеристик, так і енергетичних параметрів систем синхронізації. Вважаючи при цьому заданими якість синхронізації лінії та комплексу ліній зв'язку, запишемо такий вираз для визначення величини $E_{\text{ЕФ}}$

$$E_{\text{ЕФ}} = \frac{T_c}{T_c - T_{\Sigma} (1 + k_H^{-1})} + qk_p E_c \quad (2)$$

де E_1 та E_c - реальна енергетична ціна передачі одиниці відповідно корисної інформації та синхроінформації, причому відмінність величин E_1 та E_c обумовлена специфікою інформаційного каналу та "синхроканалу";

T_c - тривалість сеансу зв'язку;

T_{Σ} - середній час входження в синхронізм;

q - коефіцієнт, що дорівнює відношенню переданого за сеанс зв'язку обсягу синхроінформації до обсягу корисної інформації, переданого за той же інтервал часу (в якості мажоритарної оцінки значення величини q може служити відношення пропускної здатності "синхроканалу" та інформаційного каналу з урахуванням ступеня їх практичного використання);

k_p - коефіцієнт, що характеризує «запас» за потужністю синхросигналу - в порівнянні з мінімально необхідним для заданої якості синхронізації рівнем (даний запас може створюватись, наприклад, для підвищення функціональної надійності синхронізації; з метою забезпечення прискореного входження в синхронізм та ін.), $k_p \geq 1$;

k_H - коефіцієнт, що характеризує надійність синхронізації і дорівнює середньому числу зривів синхронізації за сеанс зв'язку.

Використовуючи тоді формулу (2) можна показати, що підвищення інтегральної ефективності систем синхронізації забезпечується шляхом зменшення витрат часу T_{Σ} на встановлення (і відновлення) синхронізму за рахунок застосування для цих цілей енергії інформаційного сигналу, практично непотрібного під час перехідних процесів в зазначених вище системах. При цьому одночасно знижується величина необхідної надмірності по енергії синхросигналу для усталених періодів функціонування систем синхронізації, тобто $k_p \downarrow$ (а в ряді випадків повністю усувається необхідність введення цієї надмірності, тобто $k_p \rightarrow k_{p\text{min}} = 1$), що також забезпечує додатковий вигравш в ефективності даних систем.

На рисунку 1 представлена узагальнена функціональна схема адаптивної (точніше – такої, що самоорганізується) системи синхронізації, що реалізує вказаний вище алгоритм (1). Тут ПВСС - пристрій виділення синхросигналу; УП - узгоджуючий пристрій; ФД - фазовий

детектор; ФНЧ - фільтр нижніх частот; ПНЧ - підсилювач низької частоти; ППС - підсилювач постійного струму; КС - комутатор сигналів; П - підсилювач; ГКН - генератор, керований напругою; ГПС - генератор пошукового сигналу; ІЗ - індикатор захоплення; ДП - дільник потужності; К - ключ; СП - синхронний приймач; підрядкові символи "Г" і "Т" позначають належність відповідного функціонального елемента до "грубого" (зовнішнього швидкодіючого) або до "точного" (внутрішнього інерційного) кільця АПЧ.

Зовнішнє і внутрішнє кільця синхронізації зазвичай будуються на базі схем ФАП. При цьому наявність фільтра (ФНЧГ), а в ряді випадків і підсилювача (ПНЧГ), для зовнішнього швидкодіючого кільця ФАП не є принципово необхідними. Додаткові можливості вирішення протиріччя між точнісними і динамічними характеристиками запропонованої адаптивної системи синхронізації пов'язані з введенням в її зовнішнє кільце додаткової схеми пошуку - див. позначені штриховими лініями елементи і зв'язки.

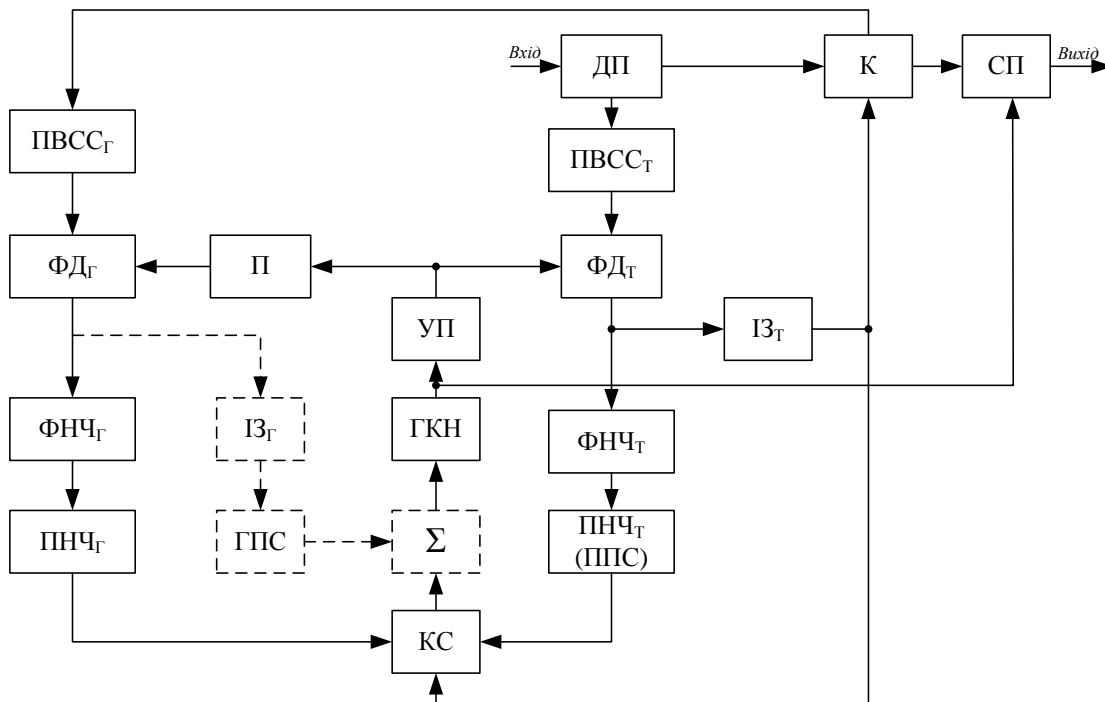


Рис.1. Узагальнена функціональна схема адаптивної системи синхронізації

Оцінимо реальну ефективність застосування запропонованої адаптивної системи синхронізації. Застосування для цієї мети виразу (2) передбачає визначення величин T_{Σ} та k_p , загальні формули для знаходження яких при відсутності (*) або наявності (#) схеми пошуку в зовнішньому кільці ФАП мають відповідно такий вигляд

$$T_{\Sigma}^* = \tau_{f_1}^* + \tau_{\phi_1}^* + \tau_{\phi}^2 = \frac{0,875Y_1^*}{\Delta f_{ш1}^*} + \frac{\ln(2d_1^*)}{\Delta f_{ш1}^*} + \frac{1}{d_1^*} \cdot \frac{\ln(2d_2)}{\Delta f_{ш2}} \quad (3)$$

$$k_p^* = \frac{L_2^*}{d_2} = \frac{L_1^* \Delta f_{ш1}^*}{\alpha_2 \Delta f_{ш2}} = \frac{1}{(\beta - 1)} = \frac{\alpha_1^*}{\alpha_2} \cdot \frac{2}{\sqrt{Y_1^*}} \cdot \frac{\Delta f_{вих}}{\Delta f_{ш2}} \cdot \frac{1}{(\beta - 1)} \quad (4)$$

$$T_{\Sigma}^{\#} = \tau_{пошук1}^{\#} + \tau_{f_1}^{\#} + \tau_{\phi_1}^{\#} + \tau_{\phi_2}^{\#} = \frac{\Delta f_{вих}}{[\Delta f_{ш1}^{\#}]^2 \cdot \left[1 - \frac{1}{\sqrt{L_1^{\#}}}\right]} + \frac{0,875Y_1^{\#}}{\Delta f_{ш1}^{\#}} + \frac{\ln(2\alpha_1^{\#})}{\Delta f_{ш1}^{\#}} + \frac{1}{\alpha_1^{\#}} \cdot \frac{\ln(2\alpha_2)}{\Delta f_{ш2}} \quad (5)$$

$$k_p^{\#} = \frac{\alpha_2^{\#}}{\alpha_2} = \frac{\alpha_1^{\#}}{\alpha_2} \cdot \frac{\Delta f_{ш1}^{\#}}{\Delta f_{ш2}} \cdot \frac{1}{(\beta - 1)} = \frac{\alpha_1^{\#}}{\alpha_2} \cdot \frac{2}{g_1(\beta - 1)} \cdot \frac{1}{\sqrt{Y_1^{\#}}} \cdot \frac{\Delta f_{вих}}{\Delta f_{ш2}} \quad (6)$$

де $T_{\text{пошук}}$ - час пошуку синхросигналу по частоті у вихідній області невизначеності $\Delta f_{\text{вих}}$, величина якої визначається якістю синхронізації комплексу радіоліній (тобто точністю і періодичністю зведення частот синхрогенератора і стабільністю частоти останніх) [1, 2, 5];

T_f і T_φ - час «затягування» відповідно частоти і фази в кільці ФАП [3,4];

Υ - коефіцієнт пропорційно-інтегруючого фільтра ($\Upsilon \geq 1$);

$\Delta f_{\text{ш}}$ - шумова смуга кільця ФАП;

α - відношення потужності синхросигналу до потужності шуму в шумовій смузі $\Delta f_{\text{ш}}$ кільця ФАП;

підрядкові символи (1) і (2) означають відношення позначеної величини (параметра, характеристики) відповідно до зовнішнього («першого») або до внутрішнього («другого») кільця ФАП пропонованої системи синхронізації;

g_1 - коефіцієнт, який визначає співвідношення між областю пошуку (невизначеності) синхросигналу по частоті $\Delta f_{\text{вих}}$ і зоною захоплення («затягування») частоти $\Delta f_{\text{зах1}}$ зовнішнього кільця ФАП, причому

$$g_1 = \frac{\Delta f_{\text{вих}}}{\Delta f_{\text{зах1}}} = \frac{2\Delta f_{\text{вих}}}{\Delta f_{\text{ш1}}\sqrt{\Upsilon_1}} \geq 1$$

та

$$\Delta f_{\text{зах1}} = \frac{\Delta f_{\text{ш}}}{2}\sqrt{\Upsilon} = \frac{\Delta f_{\text{ут}}}{\sqrt{\Upsilon}};$$

$\Delta f_{\text{ут}}$ - смуга утримання ФАП.

Відзначимо, що у виразах (3) і (5) при визначенні величин T_f і T_φ передбачалося, що відношення сигнал/шум α в шумовій смузі відповідного кільця ФАП перевищує значення 10^2 . Якщо $\alpha < 10^2$, то в даних формулах необхідно враховувати ефекти «уповільнення» процесів затягування частоти і фази синхросигналу. Зокрема, при $\alpha = 10$ має $T_f(\alpha=10) = 2T_f(\alpha \geq 10^2)$ та $T_\varphi(\alpha=10) = 2T_\varphi(\alpha \geq 10^2)$.

Враховується також специфіка НВЧ діапазону хвиль, де основний внесок вносять апаратні шуми, рівень яких, як правило, на 1÷2 порядки і більше перевищує рівень шумів «спокійної» атмосфери (безхмарного неба). Вважаючи при цьому, що величини $\Delta f_{\text{ш2}}$ і α_2 визначені однозначно - виходячи з апріорно заданої якості (точності) синхронізації, охарактеризуємо специфіку розрахунку і вибору значень L_1 , $\Delta f_{\text{ш1}}$, Υ_1 , Υ_2 і g для випадків відсутності або наявності в зовнішньому (першому) кільці ФАП пошукової схеми. Можна показати, що:

$$\Upsilon_1^* = \left(2 \frac{\Delta f_{\text{вих}}}{\Delta f_{\text{ш1}}^*} \right)^2, \quad (7)$$

$$\Delta f_{\text{ш1}}^* = \frac{2\Delta f_{\text{вих}}}{\sqrt{\Upsilon_1^*}}, \quad (8)$$

$$\Upsilon_2^* = \frac{\Delta f_{\text{ш1}}}{\Delta f_{\text{ш1}}} \sqrt{\Upsilon_1^*} = \frac{\Delta f_{\text{вих}}}{\Delta f_{\text{ш2}}}, \quad (9)$$

$$\alpha_1^* = \alpha_2^*(\beta - 1) \frac{\Delta f_{\text{ш2}}}{\Delta f_{\text{ш1}}} = d_2^*(\beta - 1) \frac{\sqrt{\Upsilon_1^*}}{2} \frac{\Delta f_{\text{ш2}}}{\Delta f_{\text{вих}}}, \quad (10)$$

$$\Upsilon_2^* = \Upsilon_1^* \frac{\Delta f_{\text{ш1}}}{\Delta f_{\text{ш2}}} \frac{1}{(\beta - 1)} = \Upsilon_1^* \frac{2}{\sqrt{\Upsilon_1^*}(\beta - 1)} \frac{\Delta f_{\text{ш2}}}{\Delta f_{\text{вих}}}, \quad (11)$$

$$\Delta f_{\text{ш1}}^\# = \frac{2\Delta f_{\text{вих}}}{g\sqrt{\Upsilon_1^*}}, \quad (12)$$

$$\Upsilon_1^* = \left(2 \frac{\Delta f_{\text{вих}}}{\Delta f_{\text{ш1}}^\#} \right)^2, \quad (13)$$

$$\gamma_2 = \frac{2}{g} \cdot \frac{\Delta f_{\text{вих}}}{\Delta f_{\text{ш}_2}} = \frac{\Delta f_{\text{ш}_1}^*}{\Delta f_{\text{ш}_2}} \sqrt{\gamma_1^*}, \quad (14)$$

$$\alpha_2^{\#} = \alpha_1^{\#} \frac{\Delta f_{\text{ш}_1}^{\#}}{\Delta f_{\text{ш}_1}} \frac{1}{(\beta - 1)} = \frac{2}{g(\beta - 1)} \frac{L_1^{\#}}{\sqrt{\gamma_1^*}} \frac{\Delta f_{\text{вих}}}{\Delta f_{\text{ш}_2}}, \quad (15)$$

$$\alpha_1^{\#} = \alpha_2^{\#} (\beta - 1) \frac{\Delta f_{\text{ш}_2}}{\Delta f_{\text{ш}_1}^{\#}} = \frac{L_2^{\#}}{2} \sqrt{\gamma_1^{\#}} (\beta - 1) g \frac{\Delta f_{\text{ш}_2}}{\Delta f_{\text{вих}}}. \quad (16)$$

Висновки.

В цілому необхідно відзначити, що застосування пропонованої адаптивної НВЧ системи дозволяє в $(\beta - 1)$ раз підвищити енергетику «синхроканалу» в режимі встановлення (відновлення) стану синхронізму. Це в свою чергу забезпечує можливість прискорення пошуку по частоті в $(\beta - 1)^2$ разів і зменшує час затягування частоти в зовнішньому кільці системи в $(\beta - 1)$ разів. Відповідно, знижуються втрати корисної інформації і зменшується ефективна енергетична ціна її передачі. Таким чином, практичне використання описаного адаптивного методу синхронізації дозволяє істотно підвищити ефективність функціонування систем зв'язку і забезпечує можливість подальшого підвищення швидкості передачі інформації з апіорно заданою вірністю без зниження при цьому точності синхронізації і без введення надмірності в енергетиці «синхроканалу».

Список використаних джерел:

1. Гостев В.И., Кунах Н.И., Ткаленко О.Н., Срибная И.Н, Сторчак К.П. Следящая фаззи-система синхронного и синфазного вращения приемного вала от переменного опорного напряжения // Сучасна спеціальна техніка – 2012. - № 1 (28). - С. 20-27.
2. Сторчак К.П. Система ФАП із цифровим нечітким регулятором за випадкових змін фази вхідного впливу // Зв'язок. - 2013. - № 2. - С.49-51.
3. Сторчак К.П. Підвищення якості функціонування системи фазового автопідстроювання за рахунок впровадження цифрових регуляторів // Сучасні інформаційно-комунікаційні технології /COMINFO2009/: V Міжнар. наук.-техніч. конф., 05-09 жовтня 2009 р.: тези допов. – Стм. Лівадія. - 2009. – С. 103-104.
4. Сторчак К.П. Дослідження системи ФАП в labVIEW // Нові технології в телекомунікація: IV Міжнародний науково-технічний симпозиум, 18-21 січня 2011 р.: тези допов. - Карпати, Вишків – 2011. – С. 84-85.
5. Кирпач Л.А., Срібна І.М., Сторчак К.П. Синхронізація супутникових систем зв'язку // Проблеми інформатизації / тези доповідей третьої міжнародної науково-технічної конференції, 11-13 грудня 2014 р.: ДУТ – Київ, 2014. – С. 64.

Надійшла: 11.05.2018

Рецензент: к.т.н. Довбешко С.В.