

Завдання полягає в тім, щоб побудувати систему, яка задовольняє високим показникам ефективності, при мінімальній (припустимій) складності і вартості системи. Основним напрямком підвищення швидкості в СРЗ з OFDM без зниження енергетичної ефективності є використання СКК, які представляють собою множину сигнальних послідовностей, отриманих на основі завадостійких кодів і ансамблів сигналів з щільною укладкою.

У запропонованій методиці оптимальні параметри OFDM-СКК визначаються для випадку передачі інформації по каналу зв'язку в умовах селективних завмирань із урахуванням нелінійних спотворень сигналу в радіотракті. Рациональні параметри СКК для конкретного стану каналу зв'язку визначаються зі скінченної кількості допустимих варіантів, що дозволяє спростити практичну реалізацію модемного обладнання адаптивних систем радіозв'язку.

Література

1. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В.М. Вишнеvский, А.И. Ляхов, С.Л. Портной, И.В. Шахнович. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
2. Григорьев В.А. Сети и системы радиодоступа / В.А. Григорьев, О.И. Лагутенко, Ю.А. Распаев. – М.: Око-Трендз, 2005. – 384 с.
3. Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации / под ред. А.Г. Зюко. – М.: Радио и связь, 1985. – 272 с.
4. Злотник В.М. Помехоустойчивые коды в системах связи / В.М. Злотник – М.: Радио и связь, 1989. – 230 с.
5. Кувшинов О.В. Основы теории завадостойкого кодирования: навч. посіб. / О.В. Кувшинов, О.П. Лежнюк, С.П. Ливенцев. – К.: ВІПНТУУ “КПІ”, 2001. – 72 с.
6. Зяблов В.В. Высокоскоростная передача сообщений в реальных каналах / В.В. Зяблов, Д.Л. Коробков, С.Л. Портной. – М.: Радио и связь, 1991. – 288 с.
7. Міночкін Д.А. Метод контролю стану каналу зв'язку із селективними завмираннями / Д.А. Міночкін, І.В. Борисов // Збірник наукових праць ВІПНТУУ „КПІ”. – 2006. – Вип. 3. – С. 66–71.

УДК 621.396

Зайцев Г.Ф., д.т.н.; **Булгач В.Л.**, к.т.н.; **Гниденко О.Н.**, асп; **Градобоєва Н.В.**, к.т.н.
(Государственный университет информационно-коммуникационных технологий)

ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЧАСТОТНОЙ АВТОПОДСТРОЙКИ С АСТАТИЗМОМ ПЕРВОГО ПОРЯДКА И ПОВЫШЕННЫМ БЫСТРОДЕЙСТВИЕМ

Зайцев Г.Ф., Булгач В.Л., Гниденко О.Н., Градобоєва Н.В. Показники якості комбінованої системи частотного автопідстроювання з астатизмом першого порядку і підвищеною швидкістю. Визначені динамічні, середньоквадратичні похибки і показники якості перехідного процесу комбінованої системи частотного автопідстроювання, компенсаційний зв'язок по збурюючій дії якої синтезовано у відповідності з умовами перетворення статичної системи в систему з астатизмом першого порядку і підвищення швидкості (компенсації повідано загасаючої компоненти перехідного процесу) системи.

Ключові слова: ЧАСТОТНЕ АВТОПІДСТРОЮВАННЯ, СТАТИЧНА СИСТЕМА, АСТАТИЗМ

Зайцев Г.Ф., Булгач В.Л., Гниденко О.Н., Градобоєва Н.В. Показатели качества комбинированной системы частотной автоподстройки с астатизмом первого порядка и повышенным быстродействием. Определены динамические, среднеквадратические ошибки и показатели качества переходного процесса комбинированной системы частотной автоподстройки, компенсационная связь по возмущающему воздействию которой синтезирована в соответствии с условиями преобразования статической системы в систему с астатизмом первого порядка и повышения быстродействия (компенсации медленно затухающей компоненты переходного процесса) системы.

Ключевые слова: ЧАСТОТНАЯ АВТОПОДСТРОЙКА, СТАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА, АСТАТИЗМ

Zaitsev H.F., Bulhach V.L., Hnidenko O.M., Hradoboieva N.V. Quality factors of the combined system of the automatic frequency control with the first order astatism and the increased speed. There are the dynamic and mean square errors and quality factors of the transient process of the combined system of the automatic frequency control, the compensating communication by the disturbing action is synthesized in correspondence with the conditions of the transformation the static system in the system with an first order astatism and the increasing the speed (the compensation of the slow attenuating component of the transient process) of the system.

Keywords: FREQUENCY CONTROL, STATIC SYSTEM, ASTATISM

Динамические ошибки комбинированной системы ЧАП. Как и для системы с принципом управления по отклонению [1] определим установившиеся динамические ошибки комбинированной системы частотной автоподстройки (ЧАП), математическая модель которой изображена на рис.1 [2] при ступенчатом, линейном и квадратичном законах изменения возмущающего воздействия:

$$\Delta\omega_C(t) = \omega_0 \cdot 1(t), \quad \Delta\omega_C(t) = \omega_0 + \omega_1 t, \quad \Delta\omega_C(t) = \omega_0 + \omega_1 t + \omega_2 t^2.$$

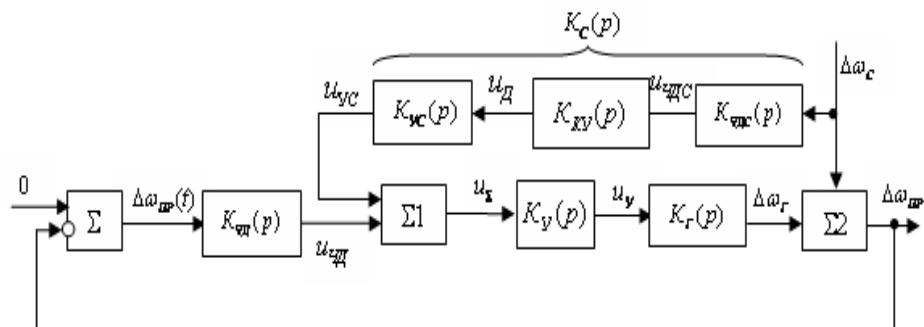


Рис.1. Математическая модель системы ЧАП

Изображение ошибки комбинированной системы (рис.1) в соответствии с (23) из [2] определяется выражением: $\Delta\omega_{ПРК}(p) = K_{\Delta\omega_{ПРК}}(p)\Delta\omega_C(p)$. (1)

Установившаяся динамическая ошибка $\Delta\omega_{ПРК}(p)$ комбинированной системы в соответствии с теоремой операционного исчисления о конечном значении функции равна

$$\Delta\omega_{ПРК}(t) = \lim_{p \rightarrow 0} p \Delta\omega_{ПРК}(p), \quad (2)$$

или, подставляя в (2) значение $\Delta\omega_{ПРК}(p)$ из (1)

$$\Delta\omega_{ПРК}(t) = \lim_{p \rightarrow 0} p K_{\Delta\omega_{ПРК}}(p)\Delta\omega_C(p). \quad (3)$$

При изменении возмущающего воздействия по закону ступенчатой функции $\Delta\omega_C(t) = \omega_0 \cdot 1(t)$ установившуюся ошибку получим, если в формулу (3) подставим изображение возмущающего воздействия $\Delta\omega_C(p) = L[\omega_0 \cdot 1(t)] = \omega_0/p$ и значение передаточной функции системы по ошибке ((23)[2]):

$$\Delta\omega_{ПРК}(t) = \lim_{p \rightarrow 0} p \frac{a_0 p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p}{b_0 p^4 + b_1 p^3 + b_2 p^2 + b_3 p + b_4} \frac{\omega_0}{p} = 0, \quad (4)$$

т.е. в рассматриваемой комбинированной системе ЧАП при изменении возмущающего воздействия по закону ступенчатой функции установившаяся ошибка равна «0». В статической системе с принципом управления по отклонению эта ошибка согласно [1] имеет конечное значение.

Если возмущающее воздействие изменяется по линейному закону $\Delta\omega_C(t) = \omega_0 + \omega_1 t$, то ошибку в установившемся режиме получим, подставив в (3) изображение возмущающего воздействия $\Delta\omega_C(p) = \omega_0/p + \omega_1/p^2$:

$$\Delta\omega_{ПРК}(t) = \lim_{p \rightarrow 0} p \frac{a_0 p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p}{b_0 p^4 + b_1 p^3 + b_2 p^2 + b_3 p + b_4} \left[\frac{\omega_0}{p} + \frac{\omega_1}{p^2} \right] = \frac{a_3}{b_4} \omega_1, \quad (5)$$

т.е., вместо возрастающей ошибки [1] в системе с принципом управления по отклонению в комбинированной системе скоростная ошибка имеет конечное значение.

Согласно (23) из [2]) $a_3 = 0,020976$, $b_4 = 5$, поэтому $\Delta\omega_{ПРК}(t) = \frac{a_3}{b_4} \omega_1 = \frac{0,020976}{5} \omega_1$.

Если $\omega_1 = 0,01 \text{ 1/c}^2$, то $\Delta\omega_{ПРК}(t) = \frac{0,020976}{5} 0,01 = 0,00004952 \text{ 1/c}$. (6)

При изменении возмущающего воздействия по квадратичному закону $\Delta\omega_c(t) = \omega_0 + \omega_1 t + \omega_2 t^2$, изображение которого имеет вид $\Delta\omega_c(p) = \omega_0/p + \omega_1/p^2 + 2!\omega_2/p^3$, ошибка в установившемся режиме равна

$$\Delta\omega_{ПРК}(t) = \lim_{p \rightarrow 0} p \frac{a_0 p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p}{b_0 p^4 + b_1 p^3 + b_2 p^2 + b_3 p + b_4} \left[\frac{\omega_0}{p} + \frac{\omega_1}{p^2} + \frac{2!\omega_2}{p^3} \right] = \infty, \quad (7)$$

т.е., в комбинированной системе ЧАП, как и в системе с принципом управления по отклонению [1], ошибка в установившемся режиме стремится к бесконечности.

2. Показатели качества переходных процессов комбинированной системы ЧАП с астатизмом первого порядка. Переходная составляющая ошибки комбинированной системы ЧАП с астатизмом первого порядка при единичном ступенчатом изменении возмущающего воздействия $\Delta\omega_c(t)$ и параметрах связи по возмущающему воздействию, синтезированных из условия повышения порядка астатизма и условия подавления медленно затухающей компоненты, определяется выражением [2]:

$$\Delta\omega_{ПРК}(t) = 0,26139e^{-137,01562 t} + 1,54885e^{-500 t} - 0,81024e^{-1000 t}.$$

Графики изменения во времени компонент переходной составляющей ошибки на рис.2,а изображены кривыми 1,2,3, соответственно, а переходная составляющая ошибки – кривой 4. Из рис.2 следует, что время переходного процесса $t_{РК} = 0,02 \text{ с}$.

Для наглядности оценки влияния связи по возмущающему воздействию на переходный процесс на рис.2,б изображены переходные составляющие ошибки системы с принципом управления по отклонению [2](кривая 1) и комбинированной системы (кривая 2).

Из рис.2,б видно, что время переходного процесса системы благодаря введению связи по возмущающему воздействию, синтезированной в соответствии с условием преобразования статической системы ЧАП в систему с астатизмом первого порядка и условием компенсации медленно затухающей компоненты переходной составляющей ошибки уменьшилось (быстродействие увеличилось) в $t_p/t_{РК} = 0,06/0,02 = 3$ раза..

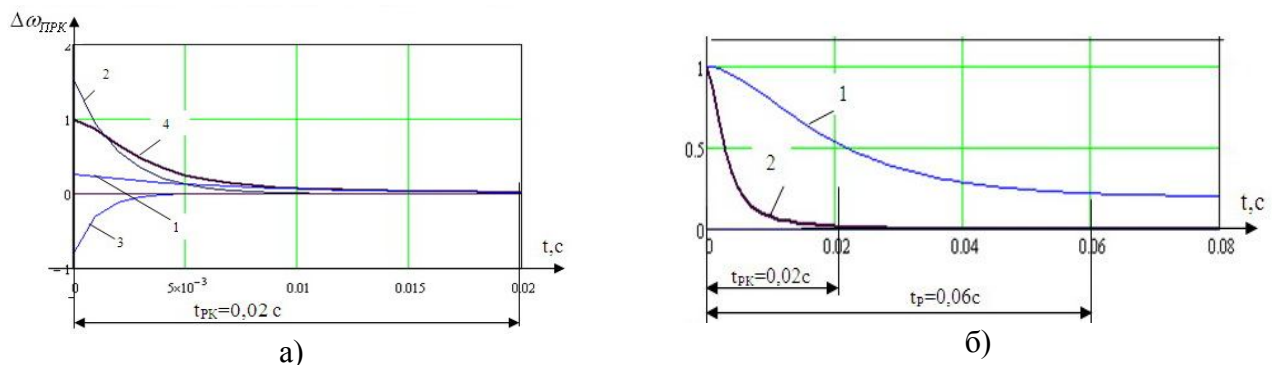


Рис.2. Переходные составляющие ошибки комбинированной системы ЧАП
а) – статическая системы ЧАП (кривая 1); б) – комбинированной системы ЧАП (кривая 2)

Среднеквадратические ошибки комбинированной системы ЧАП с астатизмом первого порядка. В [2] передаточная функция связи по возмущающему воздействию $K_C(p)$ синтезирована в соответствии с условием преобразования статической системы ЧАП в систему с астатизмом первого порядка (параметр k_c) и условием повышения быстродействия (параметр τ_1) системы.

Как показано в работе [3], значение коэффициента τ_1 при первой производной возмущающего воздействия системы автоматического управления, синтезированной в соответствии с условием повышения порядка астатизма системы, равно оптимальному значению τ_{1OPT} , при котором СКО принимает минимальное значение (это положение справедливо и для случая синтеза параметров связи по возмущающему воздействию). Поэтому определим значение СКО при случайном возмущающем воздействии, используя найденную ранее (выражение (23) в [2]) передаточную функцию по ошибке $K_{\Delta\omega_{PP}}(p)$ комбинированной системы:

$$K_{\Delta\omega_{PPK}}(p) = \frac{\Delta\omega_{PPK}(p)}{\Delta\omega_C(p)} = \frac{a_0 p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p}{b_0 p^4 + b_1 p^3 + b_2 p^2 + b_3 p + b_4}. \quad (8)$$

Как и при определении СКО системы с принципом управления по отклонению [1], спектральную плотность возмущающего воздействия $\Delta\omega_C(t)$ примем равной

$$S_{\Delta\omega_C}(\omega) = \frac{1}{\omega^2 + \beta^2}, \quad \text{где } \beta = 1. \quad (9)$$

Спектральная плотность ошибки комбинированной системы:

$$S_{\Delta\omega_{PPK}}(\omega) = |K_{\Delta\omega_{PP}}(j\omega)|^2 S_{\Delta\omega_C}(\omega), \quad (10)$$

где $K_{\Delta\omega_{PP}}(j\omega) = K_{\Delta\omega_{PP}}(p)|_{p=j\omega}$ – комплексная передаточная функция комбинированной системы.

Подставляя в (10) $K_{\Delta\omega_{PP}}(j\omega)$ из(23)в [2])при $(p = j\omega)$ и $S_{\Delta\omega_C}(\omega)$ из (9), получим спектральную плотность ошибки комбинированной системы:

$$S_{\Delta\omega_{PPK}}(\omega) = \left| \frac{a_0(j\omega)^4 + a_1(j\omega)^3 + a_2(j\omega)^2 + a_3(j\omega)}{b_0(j\omega)^4 + b_1(j\omega)^3 + b_2(j\omega)^2 + b_3(j\omega) + b_4} \right|^2 \frac{1}{\omega^2 + \beta^2}. \quad (11)$$

Среднее значение квадрата ошибки равно:

$$\overline{\Delta\omega_{PP}^2} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_{\Delta\omega_{PPK}}(\omega) d\omega = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left| \frac{a_0(j\omega)^4 + a_1(j\omega)^3 + a_2(j\omega)^2 + a_3(j\omega)}{b_0(j\omega)^4 + b_1(j\omega)^3 + b_2(j\omega)^2 + b_3(j\omega) + b_4} \right|^2 \frac{1}{\omega^2 + \beta^2} d\omega, \quad (12)$$

где $a_0 = 10^{-9}$; $a_1 = 0,00000171$; $a_2 = 0,00040688$; $a_3 = 0,020976$; $b_0 = 10^{-9}$; $b_1 = 0,00000171$; $b_2 = 0,000825$; $b_3 = 0,12$; $b_4 = 5$; $\beta = 1$.

Приводим интеграл (12) к табличному виду:

$$\overline{\Delta\omega_{PP}^2} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{d_0(j\omega)^8 + d_1(j\omega)^6 + d_2(j\omega)^4 + d_3(j\omega)^2}{|c_0(j\omega)^5 + c_1(j\omega)^4 + c_2(j\omega)^3 + c_3(j\omega)^2 + c_4(j\omega) + c_5|^2} d\omega = I_5, \quad (13)$$

Значение табличного интеграла[4]: $\overline{\Delta\omega_{PPK}^2} = I_5 = \frac{(-1)^{5-1} M_5}{2 c_0 \Delta_5}, \quad (14)$

где $\Delta_5 = \begin{vmatrix} c_1 & c_3 & c_5 & 0 & 0 \\ c_0 & c_2 & c_4 & 0 & 0 \\ 0 & c_1 & c_3 & c_5 & 0 \\ 0 & c_0 & c_2 & c_4 & 0 \\ 0 & 0 & c_1 & c_3 & c_5 \end{vmatrix} = 3,591479, \quad M_5 = \begin{vmatrix} d_0 & d_1 & d_2 & d_3 & d_4 \\ c_0 & c_2 & c_4 & 0 & 0 \\ 0 & c_1 & c_3 & c_5 & 0 \\ 0 & c_0 & c_2 & c_4 & 0 \\ 0 & 0 & c_1 & c_3 & c_5 \end{vmatrix} = 1,575268.$

В выражениях (13) и (14) соответствующие параметры принимают значения:

$$d_0 = a_0^2 = 1 \cdot 10^{-18}; \quad d_1 = -(a_1^2 - 2a_0 a_2) = -2,11034 \cdot 10^{-12}; \quad d_2 = a_2^2 - 2a_1 a_3 = 9,3813414 \cdot 10^{-8};$$

$$d_3 = -a_3^2 = 0,0004399926; \quad d_4 = 0; \quad c_0 = b_0 = 1 \cdot 10^{-9}; \quad c_1 = b_0 + b_1 = 1,711 \cdot 10^{-6}; \\ c_2 = b_1 + b_2 = 8,267 \cdot 10^{-4}; \quad c_3 = b_3 + b_2 = 0,121; \quad c_4 = b_4 + b_3 = 5,12; \quad c_5 = 5.$$

Подставив в (14) M_5 , Δ_5 и c_0 получим среднее значение квадрата ошибки:

$$\overline{\Delta\omega_{ПК}^2} = I_5 = \frac{(-1)^{5-1} \cdot 1,575268}{2 \cdot 1 \cdot 10^{-9} \cdot 3,591479} = 0,002193. \quad (15)$$

Среднеквадратическое отклонение (СКО) комбинированной системы:

$$\varepsilon_K = \sqrt{\Delta\omega_{ПК}^2} = \sqrt{0,002193} = 0,04683. \quad (16)$$

Согласно [1] СКО существующей статической системы ЧАП с принципом управления по отклонению $\varepsilon = 0,177$, т.е. благодаря введению разомкнутой связи по возмущающему воздействию, синтезированной в соответствии с условием преобразования статической системы в астатическую систему с астатизмом первого порядка и компенсации слабозатухающей переходной составляющей ошибки, удалось уменьшить СКО в $\varepsilon/\varepsilon_K = 0,177/0,04683 = 3,78$ раз.

Таким образом, с помощью связи по возмущающему воздействию, синтезированной в соответствии с условиями повышения порядка астатизма с нулевого до первого, удается повысить динамическую точность системы ЧАП не только при изменениях возмущающего воздействия по детерминированным законам, но и при случайном возмущающем воздействии.

В заключение следует отметить, что с помощью разомкнутой связи по возмущающему воздействию $\Delta\omega_c(t)$, синтезированной в соответствии с условием преобразования статической системы ЧАП с принципом управления по отклонению в комбинированную систему с астатизмом первого порядка относительно $\Delta\omega_c(t)$ и условием компенсации медленно затухающей компоненты переходного процесса, удалось полностью устранить установившуюся ошибку $\Delta\omega_{ПК}(t)$ при ступенчатом изменении $\Delta\omega_c(t)$, возрастающую ошибку при линейном законе изменения возмущающего воздействия ограничить конечным значением, среднеквадратическую ошибку уменьшить в 3,78 раз, а время переходного процесса уменьшить (быстродействие системы увеличить) в 3 раза ($\Delta\omega_c(t)$ – отклонение частоты принимаемого сигнала от номинального значения).

Таким образом, введение связи по возмущающему воздействию в статическую систему ЧАП с принципом управления по отклонению, т.е. построение комбинированной системы ЧАП с астатизмом первого порядка позволяет существенно повысить показатели качества системы.

Литература

1. Анализ динамических характеристик статической системы частотной автоподстройки с принципом управления по отклонению/ [Г.Ф. Зайцев, В.Л. Булгач, О.Н. Гниденко, Н.В. Градобоева] // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. – 2012. – Т.10, №2. – С.10-17.

2. Синтез связи по возмущающему воздействию комбинированной системы ЧАП с астатизмом первого порядка и повышенным быстродействием/ [Г.Ф. Зайцев, В.Л. Булгач, О.Н. Гниденко, Т.В. Бурсова] // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2012. – №2(22). – С.10-15.

3. Минимизация среднеквадратических ошибок и квадратических интегральных оценок следящей системы с помощью разомкнутых и дифференциальных связей / [Г.Ф. Зайцев, В.Г. Кривуца, В.Л. Булгач, Г.Д. Радзивилов] // К.: ДУІКТ, 2006. – 186 с.

4. Макаров И.М. Линейные автоматические системы / И.М. Макаров, Б.М. Менский. – М.: Машиностроение, 1982. – 186 с.