

Дослідження розробленого алгоритму функціонування адаптивної СРЗ показало, що адаптивна схема СРЗ забезпечує в середньому на 12-18 % більш високу енергетичну ефективність (коефіцієнт використання потужності сигналу), ніж неадаптивна.

Література

Радіотелекомунікаційні технології: радіопередавальні та радіоприймальні пристрої / [Гайдук О.В., Слободянюк П.В., Булгач В.Л. та ін.]. – Ніжин.: Аспект-Поліграф, 2007. – 320 с.

1. Стеклов В. К. Оптимізація та моделювання пристроїв і систем зв'язку: підр. для вищ. навч. закл / В. К. Стеклов, Л. Н. Беркман, Є. В. Кільчицький; під ред. В. К. Стеклова. – К.: Техніка, 2004. – 576 с.
2. Гуткин Л.С. Проектирование радиосистем и радиоустройств: учеб. пособ. для вузов / Л. С. Гуткин. – М.: Радио и связь, 1986. – 334 с.
3. Бухвинер В.Е. Оценка качества радиосвязи / В.Е. Бухвинер. – М.: Связь, 1974. – 224 с.
4. Цыпкин Я.З. Адаптация и обучение в автоматических системах / Я. З. Цыпкин. – М.: Наука, 1968. – 400 с.
5. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты / [Борисов В.И., Зинчук В.М., Лимарев А.Е. и др.] – М.: Радио и связь, 2000. – 384 с.

УДК 621.396

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

СИНТЕЗ СВЯЗИ ПО ВОЗМУЩАЮЩЕМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЧАСТОТНОЙ АВТОПОДСТРОЙКИ С АСТАТИЗМОМ ПЕРВОГО ПОРЯДКА И ПОВЫШЕННЫМ БЫСТРОДЕЙСТВИЕМ

Зайцев Г.Ф., Булгач В.Л., Гниденко О.Н., Бурсова Т.В. Синтез зв'язку по збурючій дії комбінованої системи частотного автопідстроювання з астатизмом першого порядку і підвищеної швидкодії. Викладена методика синтезу компенсаційного зв'язку по збурючій дії комбінованої системи частотного автопідстроювання у відповідності з умовами перетворювання статичної в систему з астатизмом першого порядку (умовою підвищення динамічної точності) і компенсації повільно загасаючої компоненти перехідного процесу (умовою підвищення швидкодії) системи.

Ключові слова: ЧАСТОТНЕ АВТОПІДСТРОЮВАННЯ, АСТАТИЗМ, СТАТИЧНА СИСТЕМА

Зайцев Г.Ф., Булгач В.Л., Гниденко О.Н., Бурсова Т.В. Синтез связи по возмущающему воздействию комбинированной системы частотной автоподстройки с астатизмом первого порядка и повышенным быстродействием. Изложена методика синтеза компенсационной связи по возмущающему воздействию комбинированной системы частотной автоподстройки в соответствии с условиями преобразования статической в систему с астатизмом первого порядка (условием повышения динамической точности) и компенсации медленно затухающей компоненты переходного процесса (условием повышения быстродействия) системы.

Ключевые слова: ЧАСТОТНАЯ АВТОПОДСТРОЙКА, АСТАТИЗМ, СТАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Zaitsev G.F., Bulhach V.L., Hnidenko O.N., Bursova T.V. Synthesis of communication by a disturbing action of the combined system of the automatic frequency control with the astatism of first order and the increased speed. The procedure of synthesis of the compensating communication by a disturbing action of the combined system of the automatic frequency control in correspondence with the conditions of the transformation the static system in the system with an first order astatizm (the condition of increasing the dynamic accuracy) and the compensation of slow attenuating component of the transient process (the condition of increasing speed) of the system.

Keywords: FREQUENCY CONTROL, ASTATIZM, STATIC SYSTEM

1. Определение вида передаточной функции связи по возмущающему воздействию комбинированной системы ЧАП в соответствии с условиями повышения динамической точности и быстродействия. Уменьшения динамических и среднеквадратических ошибок системы частотной автоподстройки (ЧАП) [1] можно добиться преобразованием статической системы относительно возмущающего воздействия в астатическую систему с астатизмом первого порядка [3...5]. Повышения показателей качества переходного процесса (в частности, повышения быстродействия) системы можно достичь благодаря компенсации медленно затухающей компоненты переходного процесса, вызываемого изменением возмущающего воздействия.

Для преобразования статической системы относительно возмущающего воздействия $\Delta\omega_c(t)$ [1] в систему с астатизмом первого порядка необходимо с помощью связи по возмущающему воздействию ввести в систему напряжение, пропорциональное возмущающему воздействию. Для компенсации слабо затухающей компоненты переходного процесса, вызываемой $\Delta\omega_c(t)$, требуется введение в систему одной первой производной от $\Delta\omega_c(t)$ [4...6]. В соответствии с этими требованиями физически реализуемая передаточная функция связи по возмущающему воздействию должна иметь вид:

$$K_{CT}(p) = \frac{u_{yc}(p)}{\Delta\omega_c(p)} = \frac{\tau_1 p + k_C}{\tau_2 p + 1} \quad (1)$$

Согласно математической модели комбинированной системы ЧАП, показанной на рис. 1 [2], передаточная функция связи по возмущающему воздействию равна:

$$K_C(p) = K_{чдс}(p) K_{кв}(p) K_{yc}(p) = \frac{k_{чдс}(p)}{T_{чдс}p + 1} K_{кв}(p) k_{yc} \quad (2)$$

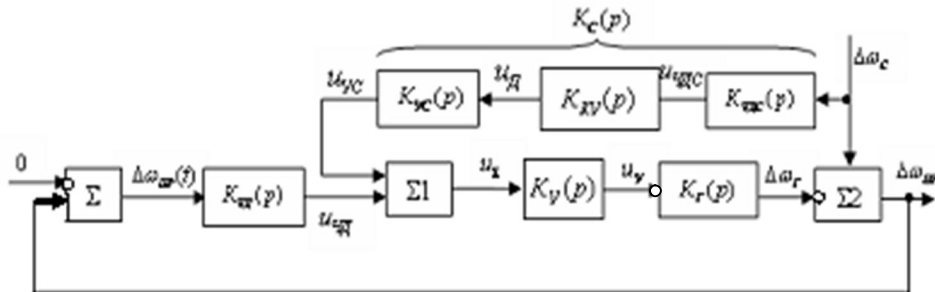


Рис.1. Математическая модель комбинированной системы ЧАП с астатизмом первого порядка

Для определения передаточной функции корректирующего устройства $K_{кв}(p)$ приравняем правые части выражений (1) и (2):

$$\frac{k_{чдс}}{T_{чдс}p + 1} K_{кв}(p) k_{yc} = \frac{\tau_1 p + k_C}{\tau_2 p + 1},$$

откуда

$$K_{кв}(p) k_{yc} = \frac{\tau_1 p + k_C}{\tau_2 p + 1} \cdot \frac{T_{чдс}p + 1}{k_{чдс}} \quad (3)$$

Передаточная функция $K_{кв}(p)$ (3) физически нереализуема (степень числителя больше степени знаменателя). Физически реализуемая передаточная функция имеет вид:

$$K_{кв}(p) k_{yc} = \frac{(T_{чдс}p + 1)(\tau_1 p + k_C)}{(\tau_2 p + 1)k_{чдс}(\tau_3 p + 1)} \quad (4)$$

Передаточная функция связи по возмущающему воздействию при этом будет равна:

$$K_C(p) = \frac{u_{yC}(p)}{\Delta\omega_C(p)} = \frac{k_{чдC}(\tau_1 p + k_C)(T_{чдC} p + 1)}{(T_{чдC} p + 1)(\tau_2 p + 1)k_{чдC}(\tau_3 p + 1)} = \frac{\tau_1 p + k_C}{(\tau_2 p + 1)(\tau_3 p + 1)}. \quad (5)$$

2. Вид передаточной функции комбинированной системы ЧАП с астатизмом первого порядка. Для определения параметров τ_1, k_C, τ_2 и τ_3 передаточной функции связи по возмущающему воздействию (5) необходимо предварительно найти вид передаточной функции комбинированной системы ЧАП по ошибке. Для этого в соответствии с математической моделью системы (рис.1) составим следующую систему уравнений

$$\begin{aligned} \Delta\omega_{пп}(p) &= \Delta\omega_C(p) - \Delta\omega_\Gamma(p), \\ \Delta\omega_\Gamma(p) &= K_{чд}(p)K_y(p)K_\Gamma(p)\Delta\omega_{пп}(p) + K_C(p)K_y(p)K_\Gamma(p)\Delta\omega_C(p). \end{aligned}$$

Исключив из системы $\Delta\omega_\Gamma(p)$, получим:

$$\begin{aligned} (\Delta\omega_C(p) - \Delta\omega_{пп}(p)) &= K_{чд}(p)K_y(p)K_\Gamma(p)\Delta\omega_{пп}(p) + K_C(p)K_y(p)K_\Gamma(p)\Delta\omega_C(p), \\ [1 + K_{чд}(p)K_y(p)K_\Gamma(p)]\Delta\omega_{пп}(p) &= [1 - K_C(p)K_y(p)K_\Gamma(p)]\Delta\omega_C(p), \end{aligned}$$

откуда передаточная функция системы по ошибке

$$K_{\Delta\omega_{пп}}(p) = \frac{\Delta\omega_{пп}(p)}{\Delta\omega_C(p)} = \frac{1 - K_C(p)K_y(p)K_\Gamma(p)}{1 + K_{чд}(p)K_y(p)K_\Gamma(p)}, \quad (6)$$

или

$$\begin{aligned} K_{\Delta\omega_{пп}}(p) &= \frac{\Delta\omega_{пп}(p)}{\Delta\omega_C(p)} = \frac{1 - \frac{(\tau_1 p + k_C)k_y k_\Gamma}{(\tau_2 p + 1)(\tau_3 p + 1)(T_\Gamma p + 1)}}{1 + \frac{k_{чд}k_y k_\Gamma}{(T_{чд} p + 1)(T_\Gamma p + 1)}} = \\ &= \frac{[(\tau_2 p + 1)(\tau_3 p + 1)(T_\Gamma p + 1) - (\tau_1 p + k_C)k_y k_\Gamma](T_{чд} p + 1)(T_\Gamma p + 1)}{[(T_{чд} p + 1)(T_\Gamma p + 1) + k_{чд}k_y k_\Gamma](\tau_2 p + 1)(\tau_3 p + 1)(T_\Gamma p + 1)} = \\ &= \frac{[(\tau_2 p + 1)(\tau_3 p + 1)(T_\Gamma p + 1) - (\tau_1 p + k_C)k_y k_\Gamma](T_{чд} p + 1)}{[(T_{чд} p + 1)(T_\Gamma p + 1) + k_{чд}k_y k_\Gamma](\tau_2 p + 1)(\tau_3 p + 1)} = \frac{D_{\Delta\omega_{пп}}(p)}{F_{\Delta\omega_{пп}}(p)}, \end{aligned} \quad (7)$$

или

$$K_{\Delta\omega_{пп}}(p) = \frac{\Delta\omega_{пп}(p)}{\Delta\omega_C(p)} = \frac{a_0 p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p + a_4}{b_0 p^4 + b_1 p^3 + b_2 p^2 + b_3 p + b_4}, \quad (8)$$

где $a_0 = T_{чд}T_\Gamma\tau_2\tau_3$; $a_1 = T_{чд}T_\Gamma\tau_2 + T_{чд}T_\Gamma\tau_3 + T_{чд}\tau_2\tau_3 + T_\Gamma\tau_2\tau$; $a_2 = T_{чд}T_\Gamma + \tau_2\tau_3 + T_{чд}(\tau_3 + \tau_2) + T_\Gamma(\tau_2 + \tau_3) - k_y k_\Gamma \tau_1 T_{чд}$; $a_3 = T_{чд} + T_\Gamma + \tau_2 + \tau_3 - k_y k_\Gamma \tau_1 - k_y k_\Gamma k_C T_{чд}$; $a_4 = 1 - k_C k_y k_\Gamma$;

$$b_0 = T_{чд}T_\Gamma\tau_2\tau_3; b_1 = T_{чд}T_\Gamma\tau_2 + T_{чд}T_\Gamma\tau_3 + T_{чд}\tau_2\tau_3 + T_\Gamma\tau_2\tau_3;$$

$$b_2 = T_{чд}T_\Gamma + \tau_2\tau_3 + T_{чд}\tau_3 + T_{чд}\tau_2 + T_\Gamma\tau_2 + T_\Gamma\tau_3 + \tau_2\tau_3 k_{чд}k_y k_\Gamma;$$

$$b_3 = T_{чд} + T_\Gamma + \tau_2 + \tau_3 + (\tau_2 + \tau_3)k_{чд}k_y k_\Gamma; \quad b_4 = 1 + k_{чд}k_y k_\Gamma = 1 + k_p.$$

3. Условие преобразования статической системы ЧАП в систему с астатизмом первого порядка. Определение коэффициента k_C связи по возмущающему воздействию (5). Согласно (8) комбинированная система ЧАП в общем случае (при произвольном значении коэффициента k_C) так же, как и система без связи по возмущающему воздействию (см.(5)[1]), является статической.

Условием преобразования статической системы в систему с астатизмом первого порядка является

$$a_4 = 1 - k_C k_y k_\Gamma = 0, \quad (9)$$

откуда

$$k_C = \frac{1}{k_y k_\Gamma} = \frac{1}{4 \cdot 1} = 0,25. \quad (10)$$

При выполнении условия (9) передаточная функция системы по ошибке (8) принимает вид:

$$K_{\Delta\omega_{\text{нп}}}(p) = \frac{a_0 p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p}{b_0 p^4 + b_1 p^3 + b_2 p^2 + b_3 p + b_4}, \quad (11)$$

т.е. система становится астатической с астатизмом первого порядка.

4. Условие повышения быстродействия системы ЧАП. Определение параметров τ_1, τ_2, τ_3 передаточной функции $K_C(p)$ (5) связи по возмущающему воздействию. Параметры τ_1, τ_2, τ_3 , входящие в передаточную функцию $K_C(p)$ (5) связи по возмущению (а также в передаточные функции (7), (8)), определим в соответствии с требованиями повышения показателей качества переходного процесса, в частности, постоянную времени τ_1 при первой производной от возмущающего воздействия – в соответствии с условием повышения быстродействия системы.

При этом будем придерживаться следующей методики.

1). Записываем передаточную функцию по ошибке (7) комбинированной системы при выполнении условия (10)

$$K_{\Delta\omega_{\text{нп}}}(p) = \frac{\Delta\omega_{\text{нп}}(p)}{\Delta\omega_C(p)} = \frac{(T_{\text{чд}}p+1)[(\tau_2 p+1)(\tau_3 p+1)(T_{\text{г}}p+1) - (k_{\text{в}}k_{\text{г}}\tau_1 p+1)]}{[(T_{\text{чд}}p+1)(T_{\text{г}}p+1) + k_{\text{чд}}k_{\text{в}}k_{\text{г}}](\tau_2 p+1)(\tau_3 p+1)} = \frac{D_{\Delta\omega_{\text{нп}}}(p)}{F_{\Delta\omega_{\text{нп}}}(p)}. \quad (12)$$

Из (12) видно, что параметры τ_2, τ_3 , связи по возмущающему воздействию не входят в характеристическое уравнение $(T_{\text{чд}}p+1)(T_{\text{г}}p+1) + k_{\text{чд}}k_{\text{в}}k_{\text{г}} = 0$ замкнутой части системы и поэтому не влияют на ее устойчивость. Однако при введении разомкнутой связи по возмущающему воздействию возникают новые корни в характеристическом уравнении системы $F_{\Delta\omega_{\text{нп}}}(p=0)$, равные $p_{2C} = -(1/\tau_2)$ и $p_{3C} = -(1/\tau_3)$. Этим корням будут соответствовать новые компоненты $A_{2C}e^{p_{2C}t}$ и $A_{3C}e^{p_{3C}t}$ переходной составляющей ошибки, вызываемые изменением возмущающего воздействия. Чтобы эти компоненты не оказывали существенного отрицательного влияния на показатели качества переходного процесса, желательно, чтобы они быстро затухали, во всяком случае быстрее, чем медленно затухающая компонента.

2). Корни характеристического уравнения системы ЧАП с принципом управления по отклонению [1] равны $p_1 = -72,9843788$; $p_2 = -137,0156212$.

Чтобы новые компоненты $A_{2C}e^{p_{2C}t}$ и $A_{3C}e^{p_{3C}t}$ быстро затухали, можно, принять:

$$p_{2C} = 5 \cdot p_1 = 5 \cdot (-72,9843788) = -364,9218544; \quad p_{3C} = 10 \cdot p_1(-72,9843788) = -729,843788. \quad (13)$$

Принимаем $p_{2C} = -500$ $p_{3C} = -1000$), откуда

$$\tau_2 = -1/p_{2C} = -1/-500 = 0,002; \quad \tau_3 = -1/p_{3C} = -1/-1000 = 0,001. \quad (14)$$

При выбранных параметрах k_C (см.(10)), τ_2 и τ_3 (14) передаточная функция $K_{\Delta\omega_{\text{нп}}}(p)$

$$(12) \text{ примет вид: } K_{\Delta\omega_{\text{нп}}}(p) = \frac{\Delta\omega_{\text{нп}}(p)}{\Delta\omega_C(p)} = \frac{a_0 p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p}{b_0 p^4 + b_1 p^3 + b_2 p^2 + b_3 p + b_4} = \frac{D_{\Delta\omega_{\text{нп}}}(p)}{F_{\Delta\omega_{\text{нп}}}(p)}, \quad (15)$$

где $a_0 = T_{\text{чд}}T_{\text{г}}\tau_2\tau_3 = 1 \cdot 10^{-9}$; $a_1 = T_{\text{чд}}T_{\text{г}}\tau_2 + T_{\text{чд}}T_{\text{г}}\tau_3 + T_{\text{чд}}\tau_2\tau_3 + T_{\text{г}}\tau_2\tau_3 = 1,71 \cdot 10^{-6}$;

$$a_2 = T_{\text{чд}}T_{\text{г}} + \tau_2\tau_3 + T_{\text{чд}}(\tau_2 + \tau_3) + T_{\text{г}}(\tau_2 + \tau_3) - k_{\text{в}}k_{\text{г}}\tau_1 T_{\text{чд}} = 8,17 \cdot 10^{-4} - 0,02 \cdot \tau_1;$$

$$a_3 = T_{\text{чд}} + T_{\text{г}} + \tau_2 + \tau_3 - k_{\text{в}}k_{\text{г}}\tau_1 - k_{\text{в}}k_{\text{г}}k_C T_{\text{чд}} = 0,103 - 4 \cdot \tau_1; \quad b_0 = T_{\text{чд}}T_{\text{г}}\tau_2\tau_3 = 1 \cdot 10^{-9};$$

$$b_1 = T_{\text{чд}}T_{\text{г}}\tau_2 + T_{\text{чд}}T_{\text{г}}\tau_3 + T_{\text{чд}}\tau_2\tau_3 + T_{\text{г}}\tau_2\tau_3 = 1,71 \cdot 10^{-6};$$

$$b_2 = T_{\text{чд}}T_{\text{г}} + \tau_2\tau_3 + T_{\text{чд}}\tau_2 + T_{\text{чд}}\tau_3 + T_{\text{г}}\tau_2 + T_{\text{г}}\tau_3 + \tau_2\tau_3 k_{\text{чд}}k_{\text{в}}k_{\text{г}} = 0,000825;$$

$$b_3 = T_{\text{чд}} + T_{\text{г}} + \tau_2 + \tau_3 + (\tau_2 + \tau_3)k_{\text{чд}}k_{\text{в}}k_{\text{г}} = 0,12; \quad b_4 = 1 + k_{\text{чд}}k_{\text{в}}k_{\text{г}} = 1 + k_p = 5.$$

3). Определяем коэффициент τ_1 (см. (5)) при первой производной возмущающего воздействия. Значение τ_1 определим в соответствии с требованием повышения одного из показателей качества переходного процесса – быстродействия, которое соответствует времени переходного процесса (времени регулирования t_p). Одним из методов повышения быстродействия систем автоматического управления, как отмечалось, является метод компенсации слабозатухающих компонент переходной составляющей ошибки с помощью связи по возмущающему воздействию. Возможность компенсации слабозатухающей компоненты переходного процесса объясняется тем, что как видно из (12), параметр τ_1 входит в числитель передаточной функции по ошибке. При соответствующем выборе этого параметра может быть компенсирована слабозатухающая компонента переходного процесса, а следовательно, повышено быстродействие системы.

Согласно [1], компонента $A_1 e^{p_1 t}$, изображенная кривой 1 на рис.3 [1], соответствующая наименьшему по абсолютному значению корню $p_1 = -72,9843788$ характеристического уравнения, имеет наибольшее начальное значение ($A_1 = 1,71166$) и слабозатухающий характер. Эта компонента и определяет время переходного процесса $t_p = 0,06$ с системы.

Для повышения быстродействия системы принимаем решение компенсировать эту слабозатухающую компоненту переходной составляющей ошибки с помощью связи по возмущающему воздействию.

Переходная составляющая ошибки комбинированной системы $\Delta\omega_{\text{ПК}}(t)$ в соответствии с корнями характеристического уравнения ее замкнутой части [1] и корнями p_{2C} и p_{3C} , вносимыми связью по возмущающему воздействию (13), описывается выражением

$$\Delta\omega_{\text{ПК}}(t) = A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t} + A_{2C} e^{p_{2C} t} + A_{3C} e^{p_{3C} t},$$

или после подстановки значений корней из [1] и (13)

$$\Delta\omega_{\text{ПК}}(t) = A_1 e^{-72,9843788 t} + A_2 e^{-137,0156212 t} + A_{2C} e^{-500 t} + A_{3C} e^{-1000 t}. \quad (16)$$

Начальное значение i -ой компоненты переходной составляющей ошибки при возмущающем воздействии $\Delta\omega_C(p) = \frac{D_{\Delta\omega_C}(p)}{F_{\Delta\omega_C}(p)}$ равно:

$$A_i = \frac{D_{\Delta\omega_{\text{ПК}}}(p_i) D_{\Delta\omega_C}(p_i)}{F_{\Delta\omega_{\text{ПК}}}(p_i) F_{\Delta\omega_C}(p_i)}. \quad (17)$$

Для случая изменения задающего воздействия по закону единичной ступенчатой функции: $\Delta\omega_C(t) = 1$, $\Delta\omega_C(p) = \frac{1}{p} = \frac{D_{\Delta\omega_C}(p)}{F_{\Delta\omega_C}(p)}$, где $D_{\Delta\omega_C}(p) = 1$, $F_{\Delta\omega_C}(p) = p$. (18)

После подстановки в (17) значений $D_{\Delta\omega_{\text{ПК}}}(p)$ и $F_{\Delta\omega_{\text{ПК}}}(p)$ из (15), $D_{\Delta\omega_C}(p)$ и $F_{\Delta\omega_C}(p)$ из (18) получаем: $A_i = \frac{a_0 p_i^4 + a_1 p_i^3 + a_2 p_i^2 + a_3 p_i}{4b_0 p_i^3 + 3b_1 p_i^2 + 2b_2 p_i + b_3 p_i} \cdot \frac{1}{p_i} = \frac{a_0 p_i^3 + a_1 p_i^2 + a_2 p_i + a_3}{4b_0 p_i^3 + 3b_1 p_i^2 + 2b_2 p_i + b_3 p_i}$, или после подстановки коэффициентов из (15) $A_1 = 100,2223 \cdot \tau_1 - 2,05516$; $A_2 = 62,80295 \cdot \tau_1 - 1,0364$; $A_{2C} = 77,419 \cdot \tau_1 - 0,0387$; $A_{3C} = -40 \cdot \tau_1 + 0,01$.

Условие повышения быстродействия системы – компенсации медленно затухающей компоненты $A_1 e^{p_1 t}$ имеет вид $A_1 = 100,2223 \cdot \tau_1 - 2,05516 = 0$, откуда находим τ_1 :

$$\tau_1 = \frac{2,05516}{100,2223} = 0,020506. \quad (19)$$

Подставив полученное значение τ_1 в выражения для A_2 , A_{2C} , A_{3C} , определяем их значения $\Delta\omega_{\text{ПК}}(t) = 0,261389 e^{-137,01562 t} + 1,54885 e^{-500 t} - 0,81024 e^{-1000 t}$

$$A_2 = 0,261389, \quad A_{2C} = 1,54885, \quad A_{3C} = -0,81024.$$

Убеждаемся в правильности вычисленных начальных значений компонент.

$$A_1 + A_2 + A_{2C} + A_{3C} = 0 + 0,26139 + 1,54885 - 0,81024 = 1.$$

Из выражения (15) для передаточной функции системы по ошибке $K_{\Delta\omega_{\text{пр}}}(p)$ видно, что коэффициент τ_1 , найденный из условия компенсации медленно затухающей компоненты переходной составляющей ошибки (19) входит в коэффициенты a_2, a_3 . Потому передаточная функция по ошибке комбинированной системы ЧАП $K_{\Delta\omega_{\text{пр}}}(p)$, отвечающая требованиям преобразования статической системы ЧАП в систему с астатизмом первого порядка (повышения динамической точности) и компенсации медленно затухающей компоненты переходной составляющей ошибки (повышения быстродействия системы) будет определяться выражением (15) при

$$a_2 = T_{\text{чс}}T_{\text{Г}} + \tau_2\tau_3 + T_{\text{чд}}(\tau_3 + \tau_2) + T_{\text{Г}}(\tau_2 + \tau_3) - k_{\text{y}}k_{\text{Г}}\tau_1T_{\text{чд}} = 8,17 \cdot 10^{-4} - 0,02 \cdot 0,020506 = 0,00040688;$$

$$a_3 = T_{\text{чс}} + T_{\text{Г}} + \tau_2 + \tau_3 - k_{\text{y}}k_{\text{Г}}\tau_1 - k_{\text{y}}k_{\text{Г}}k_{\text{с}}T_{\text{чд}} = 0,103 - 4 \cdot \tau_1 = 0,103 - 4 \cdot 0,020506 = 0,020976,$$

$$K_{\Delta\omega_{\text{пр}}}(p) = \frac{\Delta\omega_{\text{прк}}(p)}{\Delta\omega_{\text{с}}(p)} = \frac{a_0p^4 + a_1p^3 + a_2p^2 + a_3p}{b_0p^4 + b_1p^3 + b_2p^2 + b_3p + b_4} = \frac{D_{\Delta\omega_{\text{пр}}}(p)}{F_{\Delta\omega_{\text{пр}}}(p)},$$

где $a_0 = T_{\text{чд}}T_{\text{Г}}\tau_2\tau_3 = 1 \cdot 10^{-9}$; $a_1 = T_{\text{чд}}T_{\text{Г}}\tau_2 + T_{\text{чд}}T_{\text{Г}}\tau_3 + T_{\text{чд}}\tau_2\tau_3 + T_{\text{Г}}\tau_2\tau_3 = 1,71 \cdot 10^{-6}$;

$$a_2 = T_{\text{чс}}T_{\text{Г}} + \tau_2\tau_3 + T_{\text{чд}}(\tau_3 + \tau_2) + T_{\text{Г}}(\tau_2 + \tau_3) - k_{\text{y}}k_{\text{Г}}\tau_1T_{\text{чд}} = 0,00040688;$$

$$a_3 = T_{\text{чс}} + T_{\text{Г}} + \tau_2 + \tau_3 - k_{\text{y}}k_{\text{Г}}\tau_1 - k_{\text{y}}k_{\text{Г}}k_{\text{с}}T_{\text{чд}} = 0,020976; \quad b_0 = T_{\text{чд}}T_{\text{Г}}\tau_2\tau_3 = 1 \cdot 10^{-9};$$

$$b_1 = T_{\text{чд}}T_{\text{Г}}\tau_2 + T_{\text{чд}}T_{\text{Г}}\tau_3 + T_{\text{чд}}\tau_2\tau_3 + T_{\text{Г}}\tau_2\tau_3 = 1,71 \cdot 10^{-6};$$

$$b_2 = T_{\text{чс}}T_{\text{Г}} + \tau_2\tau_3 + T_{\text{чд}}\tau_3 + T_{\text{чд}}\tau_2 + T_{\text{Г}}\tau_2 + T_{\text{Г}}\tau_3 + \tau_2\tau_3k_{\text{чд}}k_{\text{y}}k_{\text{Г}} = 0,000825;$$

$$b_3 = T_{\text{чд}} + T_{\text{Г}} + \tau_2 + \tau_3 + (\tau_2 + \tau_3)k_{\text{чд}}k_{\text{y}}k_{\text{Г}} = 0,12; \quad b_4 = 1 + k_{\text{чд}}k_{\text{y}}k_{\text{Г}} = 1 + k_{\text{п}} = 5.$$

Таким образом, синтез разомкнутой компенсационной связи по возмущающему воздействию комбинированной системы ЧАП выполнен в соответствии с условием уменьшения динамических, среднеквадратических ошибок (условием преобразования статической системы ЧАП в систему с астатизмом первого порядка) и условием повышения быстродействия (компенсации медленно затухающей компоненты переходного процесса) системы. Определена передаточная функция по ошибке комбинированной системы, учитывающая синтезированную передаточную функцию связи по возмущающему воздействию.

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. Комбинированная система ЧАП с астатизмом первого порядка и повышенным быстродействием. Функциональная схема и математическая модель системы / [Г.Ф. Зайцев, В.Л. Булгач, О.Н. Гниденко, Т.В. Бурсова] // Вісник Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій .–2012. –Т.10, №3. С.25-28.
3. Зайцев Г.Ф. Радиотехнические системы автоматического управления высокой точности. / Г.Ф.Зайцев, В.К.Стеклов. –К.–Техніка.1988. – 160 с.
4. Зайцев Г.Ф. Синтез следящих систем высокой точности. –К.: Техніка, 1971. – 204 с.
5. Радиоавтоматика / [Г.Ф. Зайцев, Г.Н.Арсеньев, В.Г.Кривуца, В.Л.Булгач]. – К.: ООО «Д.В.К.», 2004. –Том 1. – 524с. – Т.2. –476 с.
6. Зайцев Г.Ф. Коррекция систем автоматического управления постоянного и переменного тока / Г.Ф. Зайцев. – М.: Энергия,1969. –373 с.