

УДК 621.396

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

**КОМБИНИРОВАННАЯ СИСТЕМА ЧАСТОТНОЙ АВТОПОДСТРОЙКИ С
АСТАТИЗМОМ ПЕРВОГО ПОРЯДКА. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА,
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ**

Зайцев Г. Ф., Булгач В. Л., Гниденко О. М., Бурсова Т. В. Комбінована система частотного автопідстроювання з астатизмом першого порядку. Функціональна схема, математична модель системи. Наведена функціональна схема системи частотного автопідстроювання (ЧАП) і описана її робота. Побудована математична модель комбінованої системи ЧАП з астатизмом першого порядку, приведені структурна схема цієї моделі, а також передатні функції її елементів.

Ключові слова: СИСТЕМА ЧАСТОТНОГО АВТОПІДСТРОЮВАННЯ, ЗБУРЮЮЧА ДІЯ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, АСТАТИЗМ, КОМПЕНСАЦІЙНИЙ ЗВ'ЯЗОК

Зайцев Г. Ф., Булгач В. Л., Гниденко О. Н., Бурсова Т. В. Комбинированная система частотной автоподстройки с астатизмом первого порядка. Функциональная схема, математическая модель системы. Приведена функциональная схема системы частотной автоподстройки (ЧАП) и описана ее работа. Построена математическая модель комбинированной системы ЧАП с астатизмом первого порядка, приведены структурная схема этой модели, а также передаточные функции ее элементов.

Ключевые слова: СИСТЕМА ЧАСТОТНОЙ АВТОПОДСТРОЙКИ, ВОЗМУЩАЮЩЕЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, АСТАТИЗМ, КОМПЕНСАЦИОННАЯ СВЯЗЬ

Zaitsev G. F., Bulgach V. L., Gnidenko O. M., Bursova T. V. The combined system of the automatic frequency control with the first order astatism. Functional scheme, mathematical model of the system. The functional scheme of the automatic frequency control and its operation are explained. The mathematical model of the combined system of the automatic frequency control with the first order astatism is constructed and the structuring scheme of this model and the transfer functions of the elements of system are shown.

Key words: SYSTEM OF THE AUTOMATIC FREQUENCY CONTROL, DISTURBING ACTION, MATHEMATICAL MODEL, ASTATISM, COMPENSATORY RELATIONSHIP

Анализ математической модели статической системы частотной автоподстройки (ЧАП) с принципом управления по отклонению [1] показал, что этой системе свойственны значительные динамические ошибки и низкое быстродействие. В частности, в данной системе возникает постоянная ошибка $\Delta\omega_{пр}$ при ступенчатом изменении возмущающего воздействия (частоты сигнала) $\Delta\omega_c(t)$, а при линейном или более сложном законе изменения возмущающего воздействия ошибка стремится к бесконечности. Низкие показатели качества системы объясняются тем, что она является статической и построена на основании принципа управления по отклонению, которой свойственно противоречие между условиями повышения динамической точности и устойчивости. Данное противоречие является препятствием на пути повышения точности системы.

Рассмотрим возможность повышения динамической точности и быстродействия системы ЧАП с помощью введения в систему компенсационной связи по возмущающему воздействию $\Delta\omega_c(t)$, т.е. путем построения комбинированной системы ЧАП, синтезированной в соответствии с условием преобразования статической системы в систему с астатизмом первого порядка и условием компенсации слабо затухающей компоненты переходного процесса.

1. Функциональная схема комбинированной системы ЧАП с астатизмом первого порядка и повышенным быстродействием. Функциональная схема комбинированной системы ЧАП изображена на рис. 1.

Устранить ошибку $\Delta\omega_{\text{ПР}}(t)$ при ступенчатом изменении $\Delta\omega_c(t)$ и ограничить ее при линейном изменении $\Delta\omega_c(t)$ можно, сделав систему астатической с астатизмом первого порядка с помощью связи по возмущающему воздействию $\Delta\omega_c(t)$, т.е. путем построения комбинированной системы ЧАП. Для преобразования статической системы в астатическую первого порядка астатизма достаточно с помощью связи по возмущению подать в систему сигнал, пропорциональный этому возмущению [2, 3].

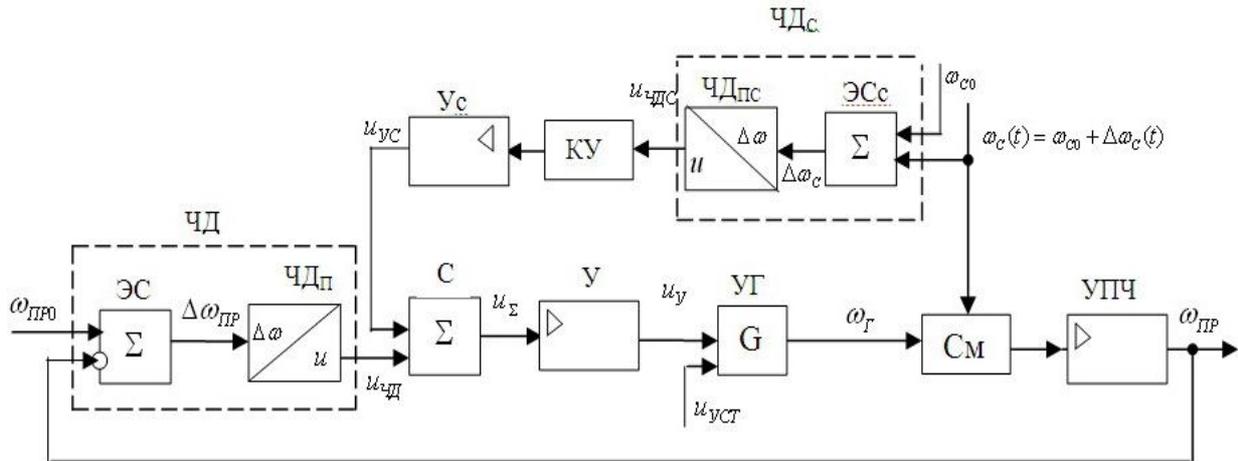


Рис. 1. Функциональная схема комбинированной системы ЧАП с астатизмом первого порядка и повышенным быстродействием

Для измерения возмущающего воздействия $\Delta\omega_c(t)$ используется частотный дискриминатор ЧДс настроенный на номинальную частоту ω_{c0} входного сигнала. На функциональной схеме частотный дискриминатор ЧДс представлен в виде соединения элемента сравнения ЭСс, выполняющего операцию вычитания $\Delta\omega_c(t) = \omega_{c0} - \omega_c(t)$, и преобразователя ЧДпс отклонения $\Delta\omega_c(t)$ частоты сигнала (возмущающего воздействия) в напряжение $u_{\text{чдс}} = k_{\text{чдс}} \Delta\omega_c(t)$.

Согласно [1] время переходного процесса t_p системы определяется медленно затухающей компонентой 1 переходной составляющей ошибки (см. [1], рис. 3). Повышения быстродействия системы можно добиться компенсацией этой медленно затухающей компоненты. Для этого необходимо в систему, кроме напряжения, пропорционального возмущающему воздействию, подать первую производную этого воздействия [3...5], т.е., в компенсационную связь следует включить корректирующее устройство КУ, которое бы пропускало сигнал, пропорциональный возмущающему воздействию $\Delta\omega_c$ и его первую производную [6, 7].

Для усиления выходного напряжения корректирующего устройства служит усилитель Ус, выходное напряжение $u_{\text{уС}}(t)$, которого (т.е. напряжение с выхода компенсационной связи) подается на сумматор С, где складывается с напряжением сигнала ошибки $u_{\text{чд}}(t)$ частотного дискриминатора ЧД, входящего в замкнутый контур системы.

До введения связи по возмущению при ступенчатом изменении частоты сигнала $\Delta\omega_c(t) = \omega_0$ возникала (согласно [1]) установившаяся ошибка $\Delta\omega_{\text{ПР}}(t) = \Delta\omega_c / (1 + k_p)$, из которой формировалось напряжение $u_{\text{ЧД}}(t)$ на входе управляемого генератора УГ. При включении этой связи напряжение $u_{\text{УГ}}(t)$ формируется из суммы напряжений $u_{\Sigma}(t) = u_{\text{ЧД}}(t) + u_{\text{УС}}(t)$, где $u_{\text{УС}}(t)$ в установившемся режиме, как и $u_{\text{ЧД}}(t)$, пропорционально $\Delta\omega_c$.

При увеличении $u_{\text{УС}}(t)$ (за счет коэффициента усиления усилителя Ус) напряжение ошибки $u_{\text{ЧД}}(t)$ уменьшается и при некотором значении $u_{\text{УС}}(t)$ необходимое приращение частоты $\Delta\omega_{\text{Г}}(t)$ напряжения УГ, равное $\Delta\omega_c$, достигается только за счет напряжения компенсационной связи $u_{\text{УС}}(t)$. Ошибка системы при этом $\Delta\omega_{\text{ПР}}(t) = 0$. При дальнейшем увеличении $u_{\text{УС}}(t)$ приращение $\Delta\omega_{\text{Г}}(t)$ стремится превысить значение $\Delta\omega_c(t)$ и поэтому возникает ошибка другого знака. Очевидно, что следует выбирать коэффициент усиления усилителя Ус таким, при котором в случае ступенчатого изменения частоты сигнала ошибка $\Delta\omega_{\text{ПР}}(t) = 0$.

Описание работы комбинированной системы ЧАП при линейном изменении частоты сигнала будет дано в результате анализа математической модели системы.

2. Математическая модель комбинированной системы ЧАП с астатизмом первого порядка. Математическая модель (структурная схема) комбинированной системы ЧАП с астатизмом первого порядка в соответствии с функциональной схемой (рис.1) при использовании уравнений в отклонениях изображена на рис. 2.

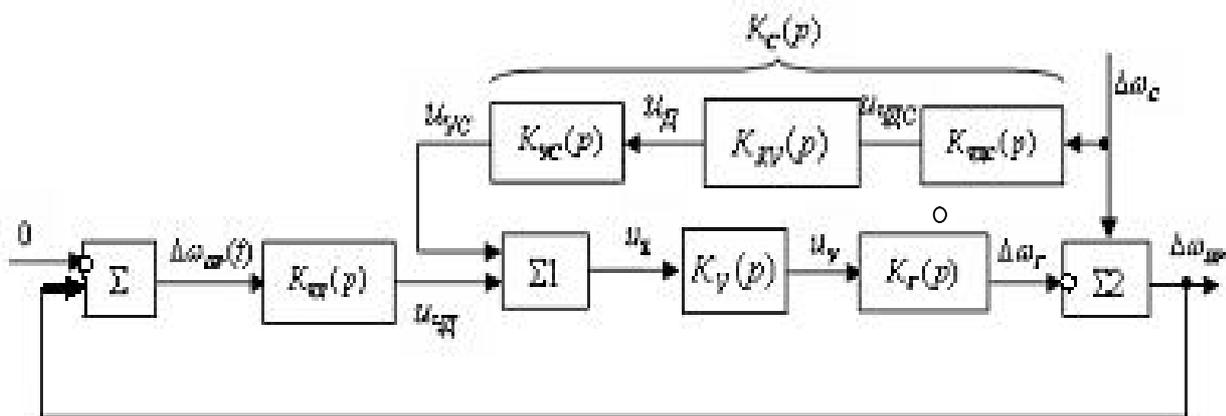


Рис. 2. Математическая модель комбинированной системы ЧАП с астатизмом первого порядка

На рис. 2. передаточные функции элементов математической модели определены следующим образом:

– частотного дискриминатора ЧД:

$$K_{\text{ЧД}}(p) = \frac{u_{\text{ЧД}}(p)}{\Delta\omega_{\text{ПР}}(p)} = \frac{k_{\text{ЧД}}}{T_{\text{ЧД}}p + 1}, \quad k_{\text{ЧД}} = 1, \quad T_{\text{ЧД}} = 0,005 \text{ с};$$

– усилителя У: $K_Y(p) = \frac{u_Y(p)}{u_\Sigma(p)} = k_Y, \quad k_Y = 4;$

– управляемого генератора УГ:

$$K_G(p) = \frac{\Delta\omega_G(p)}{u_Y(p)} = \frac{k_G}{T_G p + 1}, \quad k_G = 1, \quad T_G = 0,1 \text{ с};$$

– частотного дискриминатора ЧДс:

$$K_{\text{ЧДс}}(p) = \frac{u_{\text{ЧДс}}(p)}{\Delta\omega_C(p)} = \frac{k_{\text{ЧДс}}}{T_{\text{ЧДс}} p + 1}, \quad k_{\text{ЧДс}} = 1, \quad T_{\text{ЧДс}} = 0,005 \text{ с};$$

– корректирующего устройства КУ: $K_{\text{КУ}}(p) = \frac{u_{\text{КУ}}(p)}{u_{\text{ЧДс}}(p)};$

– усилителя Ус $K_{\text{Ус}}(p) = \frac{u_{\text{Ус}}(p)}{u_{\text{КУ}}(p)} = k_{\text{Ус}};$

– компенсационной связи по возмущению:

$$K_C(p) = \frac{u_{\text{Ус}}(p)}{\Delta\omega_C(p)} = K_{\text{ЧДс}}(p)K_{\text{КУ}}(p)K_{\text{Ус}}(p).$$

Параметры передаточных функций $K_{\text{КУ}}(p)$ и $K_{\text{Ус}}(p)$ определяются в результате синтеза связи по возмущающему воздействию в соответствии с условиями повышения динамической точности и быстродействия 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. Зайцев Г. Ф. Радиотехнические системы автоматического управления высокой точности / Г. Ф. Зайцев, В. К. Стеклов. – К.: Техніка, 1988. – 160 с.
3. Зайцев Г.Ф.. Синтез следящих систем высокой точности. –К.: Техніка, 1971. – 204 с.
4. Радиоавтоматика. Т.1 / Г. Ф. Зайцев, Г. Н. Арсеньев, В. Г. Кривуца, В. Л. Булгач. – К.: ООО «Д.В.К.», 2004. – 524с.
5. Радиоавтоматика. Т.2 / Г. Ф. Зайцев, Г. Н. Арсеньев, В. Г. Кривуца, В. Л. Булгач. – К.: ООО «Д.В.К.», 2004. – 476 с.
6. Зайцев Г. Ф. Коррекция систем автоматического управления постоянного и переменного тока / Г. Ф. Зайцев. – М.: Энергия, 1969. – 373 с.
7. Минимизация среднеквадратических ошибок и квадратических интегральных оценок следящих систем с помощью разомкнутых и дифференциальных связей / Г. Ф. Зайцев, В. Г. Кривуца, В. Л. Булгач, Г. Д. Радзивилов. – К.: ДУИКТ, 2006. –186 с.