

УДК 621.316.722.1.

Зайцев Г. Ф., д.т.н.; Лысенко Д. А.; Булгач Т. В.; Градобоева Н. В., к.т.н.
(Государственный университет информационно-коммуникационных технологий)

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИМПУЛЬСНОГО СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ С ПРИНЦИПОМ УПРАВЛЕНИЯ ПО ОТКЛОНЕНИЮ С АСТАТИЗМОМ ПЕРВОГО ПОРЯДКА

Зайцев Г. Ф., Лысенко Д. А., Булгач Т. В., Градобоева Н. В. Аналіз динамічних характеристик імпульсного стабілізатора напруги із принципом управління за відхиленням з астатизмом першого порядку. Визначається передатна функція стабілізатора з інтегруючим елементом і на підставі аналізу математичної моделі визначаються динамічні характеристики астатичного стабілізатора. В результаті зникла напруга неузгодженості при ступеньковій зміні відхилення вхідної напруги, а зростаюча напруга неузгодженості при лінійній зміні обмежена кінцевим значенням.

Ключові слова: ІМПУЛЬСНИЙ СТАБІЛІЗАТОР НАПРУГИ, ІНТЕГРИУЮЧИЙ ЕЛЕМЕНТ, ПЕРЕДАТНА ФУНКЦІЯ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Зайцев Г. Ф., Лысенко Д. А., Булгач Т. В., Градобоева Н. В. Анализ динамических характеристик импульсного стабилизатора напряжения с принципом управления по отклонению с астатизмом первого порядка. Определяется передаточная функция стабилизатора с интегрирующим элементом и на основании анализа математической модели определяются динамические характеристики астатического стабилизатора. В результате устранено напряжение рассогласования при ступенчатом изменении отклонения входного напряжения, а возрастающее напряжение рассогласования при линейном изменении ограничено конечным значением.

Ключевые слова: ИМПУЛЬСНЫЙ СТАБИЛИЗАТОР НАПРЯЖЕНИЯ, ИНТЕГРИРУЮЩИЙ ЭЛЕМЕНТ, ПЕРЕДАТОЧНАЯ ФУНКЦИЯ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Zaitsev G. F., Lysenko D. O., Bulgach T. V., Gradoboyeva N. V. Analysis of dynamic characteristics impulse voltage stabilizer with principle controls a software to deviation with an astatism maiden about. The transfer function of the impulse stabilizer with a integrating member is determined. The mathematical model is constructed and the analysis of dynamic characteristics of astatic stabilizer is made. As rizult the voltage of misalignment are zero at change under the step law of deviations of input voltage, and the rising voltage of misalignment at change under the linear law of deviations of input voltage is limited of a determining meaning.

Key words: IMPULSE VOLTAGE STABILIZER, INTEGRATING MEMBER, TRANSFER FUNCTIONS, MATHEMATICAL MODEL, DYNAMIC CHARACTERISTICS.

В статье определяется передаточная функция стабилизатора с интегрирующим элементом и на основании анализа математической модели определяются динамические характеристики астатического стабилизатора. В результате устранено напряжение рассогласования при ступенчатом изменении отклонения входного напряжения, а возрастающее напряжение рассогласования при линейном изменении ограничено конечным значением.

1. Определение передаточных функций стабилизатора. В соответствии с математической моделью (рис.1), (см. рис.1 [2]) стабилизатор описывается следующей системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \Delta U(p) &= U_{oc}(p) - U_{оп}(p), \\ U_{и}(p) &= K_{и}(p) \Delta U(p), \\ \gamma(p) &= k_{шшм} [U_{уст}(p) - U_{и}(p)], \\ U_{рэср}(p) &= U_{вх}(p) \gamma(p), \\ U_{вых}(p) &= K_{ф}(p) U_{рэср}(p), \\ U_{oc}(p) &= \beta U_{вых}(p). \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

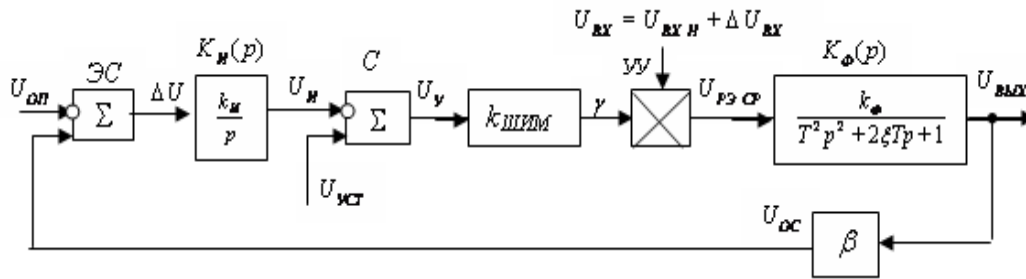


Рис.1. Математическая модель импульсного стабилизатора напряжения с принципом управления по отклонению с астатизмом первого порядка

В результате исключения в (1) промежуточных переменных получим:

$$\left. \begin{aligned} \Delta U(p) &= \beta U_{\text{вых}}(p) - U_{\text{оп}}(p) = \beta K_{\phi}(p) U_{\text{рзср}}(p) - U_{\text{оп}}(p); \\ \Delta U(p) &= \beta K_{\phi}(p) U_{\text{вх}}(p) \gamma(p) - U_{\text{оп}}(p) = \\ &= \beta K_{\phi}(p) U_{\text{вх}}(p) k_{\text{ШИМ}} [U_{\text{уст}}(p) - U_{\text{н}}(p)] - U_{\text{оп}}(p); \\ \Delta U(p) &= \beta K_{\phi}(p) U_{\text{вх}}(p) k_{\text{ШИМ}} [U_{\text{уст}}(p) - K_{\text{н}}(p) \Delta U(p)] - U_{\text{оп}}(p) \end{aligned} \right\}$$

или

$$\begin{aligned} [1 + \beta K_{\phi}(p) U_{\text{вх}} k_{\text{ШИМ}} K_{\text{н}}(p)] \Delta U(p) - U_{\text{оп}}(p) &= \\ = \beta K_{\phi}(p) U_{\text{вх}}(p) k_{\text{ШИМ}} U_{\text{уст}}(p) - U_{\text{оп}}(p). \end{aligned} \quad (2)$$

Подставив в правую часть (2) вместо $U_{\text{вх}}(p)$ его значение, получим $U_{\text{вх}}(p) = U_{\text{вх.н}}(p) + \Delta U_{\text{вх}}(p)$, откуда находим напряжение рассогласования $\Delta U(p)$:

$$\Delta U(p) = \frac{\beta K_{\phi}(p) U_{\text{вх.н}}(p) k_{\text{ШИМ}} U_{\text{уст}}(p)}{1 + \beta K_{\phi}(p) U_{\text{вх}} k_{\text{ШИМ}} K_{\text{н}}(p)} + \frac{\beta K_{\phi}(p) k_{\text{ШИМ}} U_{\text{уст}}(p) \Delta U_{\text{вх}}(p)}{1 + \beta K_{\phi}(p) U_{\text{вх}} k_{\text{ШИМ}} K_{\text{н}}(p)} - \frac{U_{\text{оп}}(p)}{1 + \beta K_{\phi}(p) U_{\text{вх}} k_{\text{ШИМ}} K_{\text{н}}(p)} = \Delta_1 U(p) + \Delta_2 U(p) - \Delta_3 U(p),$$

$$\begin{aligned} [1 + \beta K_{\phi}(p) U_{\text{вх}} k_{\text{ШИМ}} K_{\text{н}}(p)] \Delta U(p) &= \beta K_{\phi}(p) U_{\text{вх.н}}(p) k_{\text{ШИМ}} U_{\text{уст}}(p) + \\ + \beta K_{\phi}(p) \Delta U_{\text{вх}}(p) k_{\text{ШИМ}} U_{\text{уст}}(p) - U_{\text{оп}}(p). \end{aligned} \quad (3)$$

где

$$\Delta_1 U(p) = \frac{\beta K_{\phi}(p) U_{\text{вх.н}}(p) k_{\text{ШИМ}} U_{\text{уст}}(p)}{1 + \beta K_{\phi}(p) U_{\text{вх}} k_{\text{ШИМ}} K_{\text{н}}(p)}, \quad (4)$$

$$\Delta_2 U(p) = \frac{\beta K_{\phi}(p) k_{\text{ШИМ}} U_{\text{уст}}(p) \Delta U_{\text{вх}}(p)}{1 + \beta K_{\phi}(p) U_{\text{вх}} k_{\text{ШИМ}} K_{\text{н}}(p)}, \quad (5)$$

$$\Delta_3 U(p) = \frac{U_{\text{оп}}(p)}{1 + \beta K_{\phi}(p) U_{\text{вх}} k_{\text{ШИМ}} K_{\text{н}}(p)}. \quad (6)$$

Выражения (4), (5), (6) представляют собой составляющие напряжения ΔU на выходе элемента сравнений, вызываемые напряжениями $U_{\text{вх.н}}$, $\Delta U_{\text{вх}}$ и $U_{\text{оп}}$.

В выражение (4) для $\Delta_1 U(p)$ входит напряжения уставки $U_{\text{уст}}$ с помощью которого устраняется составляющая напряжения рассогласования при $U_{\text{вх}} = U_{\text{вх.н}}$ (см. [2]).

Это достигается при выполнении условия $\Delta U_1(p) - \Delta U_3(p) = 0$, или

$$\beta K_{\phi}(p) U_{\text{вх.н}}(p) k_{\text{ШИМ}} U_{\text{уст}}(p) = U_{\text{оп}}(p). \quad (7)$$

Из (7) находим значение $U_{\text{уст}}(p)$:

$$U_{уст}(p) = \frac{U_{оп}(p)}{\beta K_{\phi}(p) U_{вх.н}(p) k_{шшм}}. \quad (8)$$

При найденном значении $U_{уст}(p)$ напряжение рассогласования $\Delta U(p)$ на выходе элемента сравнения ЭС, согласно (3), будет равно:

$$\Delta U(p) = \Delta U_2(p) = \frac{\beta K_{\phi}(p) k_{шшм} U_{уст}(p) \Delta U_{вх}(p)}{1 + \beta K_{\phi}(p) U_{вх} k_{шшм} K_{и}(p)}. \quad (9)$$

Подставив в (9) значение $U_{уст}(p)$ из (8), получим:

$$\begin{aligned} \Delta U(p) &= \frac{\beta K_{\phi}(p) k_{шшм} U_{оп}(p)}{[1 + \beta K_{\phi}(p) U_{вх} k_{шшм} K_{и}(p)] \beta K_{\phi}(p) U_{вх.н}(p) k_{шшм}} \Delta U_{вх}(p) = \\ &= \frac{U_{оп}(p)}{[1 + \beta K_{\phi}(p) U_{вх} k_{шшм} K_{и}(p)] U_{вх.н}(p)} \Delta U_{вх}(p) = \\ &= \frac{\beta_3}{1 + \beta K_{\phi}(p) U_{вх} k_{шшм} K_{и}(p)} \Delta U_{вх}(p). \end{aligned} \quad (10)$$

где $\beta_3 = \frac{U_{оп}(p)}{U_{вх.н}(p)} = \frac{U_{оп}/p}{U_{вх.н}/p} = \frac{U_{оп}}{U_{вх.н}}$.

Подставив в (10) значения $K_{\phi}(p) = \frac{k_{\phi}}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1}$ и $K_{и}(p) = \frac{k_{и}}{p}$, получим:

$$\begin{aligned} \Delta U(p) &= \frac{\beta_3}{1 + \beta \frac{k_{\phi}}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1} U_{вх} k_{шшм} \frac{k_{и}}{p}} \Delta U_{вх}(p) = \\ &= \frac{\beta_3 (T^2 p^2 + 2\xi T p + 1) p}{(T^2 p^2 + 2\xi T p + 1) p + \beta k_{\phi} U_{вх} k_{шшм} k_{и}} \Delta U_{вх}(p). \end{aligned} \quad (11)$$

В соответствии с (11) передаточная функция по ошибке импульсного стабилизатора определяется выражением:

$$K(p) = \frac{\Delta U(p)}{\Delta U_{вх}(p)} = \frac{\beta_3 T^2 p^3 + 2\beta_3 \xi T p^2 + \beta_3 p}{T^2 p^3 + 2\xi T p^2 + p + \beta k_{\phi} U_{вх} k_{шшм} k_{и}} \quad (12)$$

Согласно с передаточной функцией (12) импульсный стабилизатор напряжения с интегрирующим элементом (рис.1), действительно, является астатическим стабилизатором с астатизмом первого порядка.

2. Расчет напряжений рассогласования импульсного стабилизатора напряжения с астатизмом первого порядка, вызываемых $\Delta U_{вх}$. Напряжение рассогласования ΔU в установившемся режиме согласно теореме операционного исчисления равно

$$\Delta U = \lim_{p \rightarrow 0} p \Delta U(p). \quad (13)$$

Подставив в (13) значение $\Delta U(p)$ из (12), получим

$$\Delta U = \lim_{p \rightarrow 0} p K(p) \Delta U_{вх}(p). \quad (14)$$

При изменении отклонения входного напряжения по ступенчатому закону $\Delta U_{вх}(t) = \Delta U_{вх.0}$ напряжение рассогласования получим, если в формулу (14) подставим

значение изображения отклонения входного напряжения $\Delta U_{BX}(p) = L\{\Delta U_{BX.O}\} = \frac{\Delta U_{BX.O}}{p}$ и

значение передаточной функции $K(p)$ стабилизатора из (12):

$$\Delta U = \lim_{p \rightarrow 0} p \frac{\beta_3 T^2 p^3 + 2\beta_3 \xi T p^2 + \beta_3 p}{T^2 p^3 + 2\xi T p^2 + p + \beta k_\phi U_{BX} k_{ШИМ} k_{II}} \frac{\Delta U_{BX.O}}{p} = 0, \quad (15)$$

т.е. напряжения рассогласования импульсного стабилизатора с астатизмом первого порядка (стабилизатора с интегрирующим элементом) равно нулю. Согласно [4] в статическом стабилизаторе при этом возникает напряжение рассогласования, пропорциональное $\Delta U_{BX.O}$.

При изменении ΔU_{BX} по линейному закону $\Delta U_{BX}(t) = \alpha_1 t$ напряжение рассогласования получим, если в (14) подставим изображение возмущающего воздействия $\Delta U_{BX}(p) = L\{\alpha_1 t\} = \alpha_1 / p^2$:

$$\Delta U = \lim_{p \rightarrow 0} p \frac{\beta_3 T^2 p^3 + 2\beta_3 \xi T p^2 + \beta_3 p}{T^2 p^3 + 2\xi T p^2 + p + \beta k_\phi U_{BX} k_{ШИМ} k_{II}} \cdot \frac{\alpha_1}{p^2} = \frac{\beta_3 \alpha_1}{\beta K_\phi U_{BX} k_{ШИМ} k_{II}} = \frac{\beta_1 \alpha_1}{k_p}, \quad (16)$$

т.е. при линейном изменении отклонения входного напряжения напряжение рассогласования не возрастает во времени, как в традиционном статическом стабилизаторе, а ограничено по значению.

При изменении ΔU_{BX} по квадратичному закону $\Delta U_{BX}(t) = \alpha_2 t^2$, изображение которого $\Delta U_{BX}(p) = L\{\alpha_2 t^2\} = 2\alpha_2 / p^3$, напряжение рассогласования стремится к бесконечности:

$$\Delta U = \lim_{p \rightarrow 0} p \frac{\beta_3 T^2 p^3 + 2\beta_3 \xi T p^2 + \beta_3 p}{T^2 p^3 + 2\xi T p^2 + p + k_p} \cdot \frac{2\alpha_2}{p^3} \rightarrow \infty. \quad (17)$$

Таким образом, преобразование статического импульсного стабилизатора с принципом управления по отклонению в астатический стабилизатор с астатизмом первого порядка с помощью включения в замкнутый контур стабилизатора интегрирующего элемента позволило устранить напряжение рассогласования при ступенчатом изменении отклонения входного напряжения U_{BX} , а возрастающее напряжение рассогласования при линейном изменении U_{BX} ограничить конечным значением.

Литература

1. Импульсный стабилизатор напряжения с принципом управления по отклонению с астатизмом первого порядка / [Г. Ф. Зайцев, Д. А. Лысенко, Т. В. Булгач, Н. В. Градобоева] // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. – 2011. – Том 9, №2. – С. 118-122.
2. Импульсный стабилизатор напряжения с принципом управления по отклонению с астатизмом первого порядка. Математическая модель, исследование устойчивости стабилизатора / [Г. Ф. Зайцев, Д. А. Лысенко, Т. В. Булгач, Н. В. Градобоева] // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. – 2011. – Том 9, №4. – С. 342-344.
3. Зайцев Г. Ф. Импульсный стабилизатор напряжения с принципом управления по отклонению. Функциональная схема, математическая модель стабилизатора / Г. Ф. Зайцев, В. Л. Булгач, Ю. В. Каргаполов // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій.. – 2009. – Том 7, №4. – С. 369-379.
4. Зайцев Г. Ф. Импульсный стабилизатор напряжения с принципом управления по отклонению. Анализ динамических характеристик стабилизатора / Г.Ф. Зайцев, В.Л. Булгач, Ю.В. Каргаполов // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій.. – 2010. – Том 8, №1. – 2010. – С.74-79.