

УДК 621.316.722.1
В. Д. ОСТРОУХОВ,
канд. техн. наук,
А. В. ДИКАНЬ

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЧАСТОТЫ АВТОКОЛЕБАНИЙ ИМПУЛЬСНЫХ ДВУХПОЗИЦИОННЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ

Позиционные стабилизаторы являются по существу релейными системами автоматического регулирования, в которых регулирующий орган занимает конечное число положений (обычно их два), соответствующих максимальному и минимальному регулируемому воздействию. Характерной особенностью таких систем является то, что при отсутствии внешнего периодического воздействия они работают в автоколебательном режиме. В этой связи важным представляется определение параметров рабочего режима стабилизаторов. Решению этого вопроса посвящена данная статья.

Функциональную схему релейного стабилизатора представим как соединение непрерывной части и релейного элемента РЭ (рис. 1). В непрерывную часть НЧ входят все элементы за исключением релейного.

Разомкнем систему на входе релейного элемента. В такой системе в отличие от замкнутой на входную величину не накладывается никаких ограничений, и она может быть в общем случае произвольной. Предположим, что входная величина релейного элемента изменяется периодически. Очевидно, выходная величина релейного элемента будет представлять периодическую последовательность прямоугольных импульсов постоянной высоты

и длительности, зависящей от величины порога релейного элемента. Введем обозначения для периодически изменяющихся величин $\tilde{x}(t)$; $\tilde{y}(t)$; $\tilde{z}(t)$ в отличие от произвольно меняющихся $x(t)$; $y(t)$; $z(t)$. Таким образом, задача сводится к определению реакции непрерывной части на периодическую последовательность прямоугольных импульсов и отысканию их параметров удовлетворяющих условиям существования автоколебаний.

В релейных стабилизаторах нелинейный элемент обладает несимметричной характеристикой [Цыпкин Я. З. Теория релейных систем автоматического регулирования. М., Гостехиздат, 1955. 167 с.].

Выходная величина релейного элемента представляет собой периодическую последовательность импульсов длительности γT и частоты $f = \frac{1}{T}$ (рис. 2), где $\gamma = \frac{t_1}{T}$ — относительная длительность импульсов.

Управляющее воздействие $\tilde{y}(t)$ можно представить как сумму постоянного воздействия y_0 и последовательности несимметричных импульсов $\tilde{y}_1(t)$.

Реакция непрерывной части на постоянную составляющую в установившемся режиме равна

$$z_0 = y_0 h(\infty) = y_0 W_0(0),$$

где $W_0(0)$ — передаточная функция непрерывной части при $p = 0$.

Реакция непрерывной части на несимметричную последовательность импульсов $\tilde{z}_1(t)$ определится как

$$\tilde{z}_1(t) = K_p \left\{ (2\gamma - 1) W_0(0) + \frac{4}{\pi} \sum_{r=1}^{\infty} \frac{W_0(r\omega)}{r} \sin \gamma \pi r \cos [r\omega t - r\gamma \pi + \theta(r\omega)] \right\}. \quad (1)$$

Суммарная реакция $\tilde{z}(t)$ будет

$$\tilde{z}(t) = z_0 + \tilde{z}_1(t). \quad (2)$$

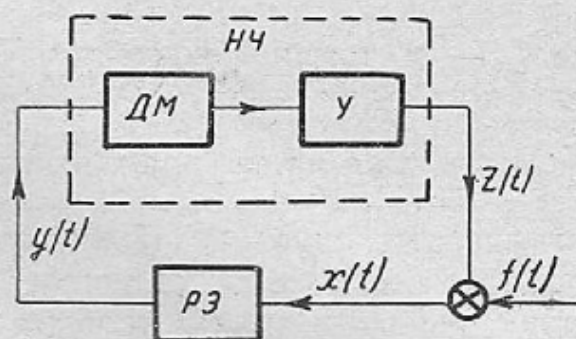


Рис. 1. Функциональная схема релейного стабилизатора.

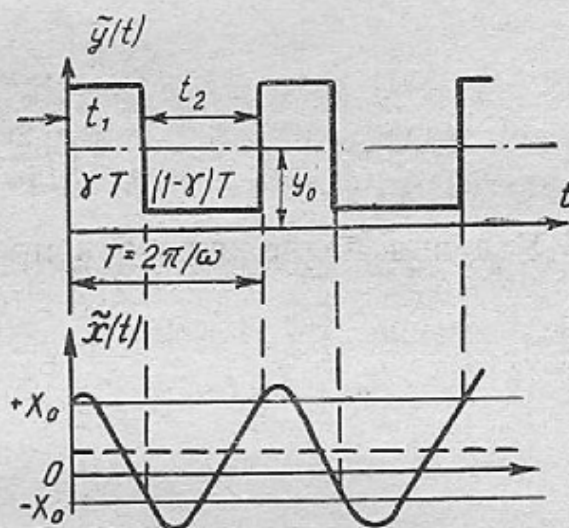


Рис. 2. Управляющий сигнал и управляющее воздействие.

Если в системе существуют автоколебания, то периодически изменяющиеся величины $\tilde{x}(t)$, $\tilde{y}(t)$, $\tilde{z}(t)$ должны удовлетворять уравнению замкнутой релейной системы. Условием замыкания в этом случае будет

$$\tilde{x}(t) = f_n - \tilde{z}(t), \quad (3)$$

где f_n — постоянное воздействие $f_n = f(t)$, приложенное ко входу релейного элемента.

Условимся, что управляющий сигнал $\tilde{x}(t) = f_n - \tilde{z}(t)$ проходит впервые пороговое значение, уменьшаясь, т. е. $\dot{\tilde{x}}(t) < 0$. Это предположение не ограничивает общности рассмотрения, а связано с выбором знака условия надлежащего направления переключения. Тогда, исходя непосредственно из рис. 2, можно записать условия существования несимметричных автоколебаний.

Условия надлежащих моментов переключения

$$\tilde{x}\left(\frac{2\pi}{\omega}\right) = \chi_0; \quad (4)$$

$$\tilde{x}\left(\gamma \frac{2\pi}{\omega}\right) = -\chi_0.$$

Условия надлежащего направления переключения

$$\dot{\tilde{x}}\left(\frac{2\pi}{\omega}\right) > 0; \quad (5)$$

$$\dot{\tilde{x}}\left(\gamma \frac{2\pi}{\omega}\right) < 0.$$

Используя выражения (2) и (3), условия существования несимметричных автоколебаний можно представить в виде

$$\tilde{z}_1\left(\frac{2\pi}{\omega}\right) = f_n - \chi_0 - y_0 W_0(0); \quad (6)$$

$$\tilde{z}_1\left(\gamma \frac{2\pi}{\omega}\right) = f_n + \chi_0 - y_0 W_0(0)$$

и

$$\dot{\tilde{z}}_1\left(\frac{2\pi}{\omega}\right) < 0; \quad (7)$$

$$\dot{\tilde{z}}_1\left(\gamma \frac{2\pi}{\omega}\right) > 0.$$

Полученные выражения (6) и (7) определяют значения частоты автоколебаний ω и относительной длительности импульсов γ двухпозиционных стабилизаторов.

Для фактического определения ω и γ воспользуемся понятием релейных характеристик, определяемых как

$$J(\omega) = -\frac{1}{\omega} \tilde{z}_1\left(\frac{2\pi}{\omega}\right) - j\tilde{z}_1\left(\frac{2\pi}{\omega}\right); \quad (8)$$

$$J_\gamma(\omega) = -\frac{1}{\omega} \tilde{z}_1\left(\gamma \frac{2\pi}{\omega}\right) - j\tilde{z}_1\left(\gamma \frac{2\pi}{\omega}\right).$$

На основании выражений (8) строим семейства J -огографов характеристик для различных γ и ω , изменяющихся от 0 до ∞ .

Точки пересечения семейства $J(\omega)$ с прямой $\text{Im } J(\omega) = -f_n + \chi_0 + y_0 W_0(0)$ и семейства $J_\gamma(\omega)$ с прямой $\text{Im } J_\gamma(\omega) = -f_n - \chi_0 + y_0 W_0(0)$ определяют частоты автоколебаний при соответствующих значениях γ . Это следует из условий переключения (6) и (7) и соотношений (8).

Определив ω для ряда значений γ , можно подстроить графики $\gamma = \Gamma(\omega)$ и $\gamma = \Gamma_\gamma(\omega)$ соответственно для $J(\omega)$ и $J_\gamma(\omega)$. Точка пересечения этих графиков и даст искомые значения частоты ω и относительной длительности γ .

Выражения для $\tilde{z}_1\left(\frac{2\pi}{\omega}\right)$ и $\tilde{z}_1\left(\gamma \frac{2\pi}{\omega}\right)$, входящие в соотношения (8), могут быть представлены на основании (1) в виде суммы бесконечного ряда, что однако, неудобно для практических расчетов.

Если известна передаточная функция непрерывной части и могут быть найдены ее полюсы, то $\tilde{z}_1\left(\frac{2\pi}{\omega}\right)$ и $\tilde{z}_1\left(\gamma \frac{2\pi}{\omega}\right)$ могут быть определены не в виде ряда, а в конечной форме. В случае простых полюсов

$$\begin{aligned} \tilde{z}_1\left(\frac{2\pi}{\omega}\right) &= 2K_p \sum_{v=1}^n C_{v_0} \left[\frac{1 - e^{p_v(1-\gamma)\frac{2\pi}{\omega}}}{1 - e^{p_v\frac{2\pi}{\omega}}} - \frac{1}{2} \right], \\ \tilde{z}_1\left(\gamma \frac{2\pi}{\omega}\right) &= 2K_p \sum_{v=1}^n C_{v_0} \left[\frac{e^{p_v\frac{2\pi}{\omega}} - 1}{1 - e^{p_v\frac{2\pi}{\omega}}} + \frac{1}{2} \right]. \end{aligned} \quad (9)$$

Тогда выражения для $J(\omega)$ и $J_\gamma(\omega)$ могут быть представлены в виде

$$\begin{aligned} J(\omega) &= 2K_p \left\{ \frac{1}{\omega} \sum_{v=1}^n C_{v_0} \frac{1 - e^{p_v(1-\gamma)\frac{2\pi}{\omega}}}{1 - e^{p_v\frac{2\pi}{\omega}}} + \right. \\ &\quad \left. + j \sum_{v=1}^n C_{v_0} \left[\frac{1 - e^{p_v(1-\gamma)\frac{2\pi}{\omega}}}{1 - e^{p_v\frac{2\pi}{\omega}}} - \frac{1}{2} \right] \right\}, \end{aligned} \quad (10)$$

$$J_{\gamma}(\omega) = -2K_p \left\{ \frac{1}{\omega} \sum_{v=1}^n C'_{v_0} \frac{e^{p_v \gamma \frac{2\pi}{\omega}} - 1}{1 - e^{p_v \frac{2\pi}{\omega}}} + \right. \\ \left. + j \sum_{v=1}^n C_{v_0} \left[\frac{e^{p_v \gamma \frac{2\pi}{\omega}} - 1}{1 - e^{p_v \frac{2\pi}{\omega}}} + \frac{1}{2} \right] \right\},$$

где

$$C_{v_0} = \frac{P(p_v)}{Q'(p_v) p_v}; \quad C'_{v_0} = \frac{P(p_v)}{Q'(p_v)}.$$

Обычно непрерывная часть рассматриваемых стабилизаторов представляет звено второго порядка с передаточной функцией

$$W(p) = \frac{P(p)}{Q(p)} = \frac{\omega_0^2}{p^2 + 2\alpha p + \omega_0^2}, \quad (11)$$

имеющей два простых полюса (p_1 и p_2). В этом случае выражения для $J(\omega)$ и $J_{\gamma}(\omega)$ можно привести к виду

$$J(\omega) = -E \left\{ \frac{\omega_0^2}{(p_1 - p_2)\omega} \left(\frac{1 - e^{p_1 t_2}}{1 - e^{p_1 T}} - \frac{1 - e^{p_2 t_2}}{1 - e^{p_2 T}} \right) + \right. \\ \left. + j \left[\frac{1}{p_1 - p_2} \left(p_2 \frac{1 - e^{p_1 t_2}}{1 - e^{p_1 T}} - p_1 \frac{1 - e^{p_2 t_2}}{1 - e^{p_2 T}} \right) + \frac{1}{2} \right] \right\}; \\ J_{\gamma}(\omega) = -E \left\{ -\frac{\omega_0^2}{(p_1 - p_2)\omega} \left(\frac{1 - e^{p_1 t_1}}{1 - e^{p_1 T}} - \frac{1 - e^{p_2 t_1}}{1 - e^{p_2 T}} \right) + \right. \\ \left. + j \left[-\frac{1}{p_1 - p_2} \left(p_2 \frac{1 - e^{p_1 t_1}}{1 - e^{p_1 T}} - p_1 \frac{1 - e^{p_2 t_1}}{1 - e^{p_2 T}} \right) - \frac{1}{2} \right] \right\}, \quad (12)$$

где

$$2K_p = E; \quad t_1 = \gamma T; \quad t_2 = (1 - \gamma) T; \quad T = \frac{2\pi}{\omega}.$$

Если корни p_1 и p_2 комплексно-сопряженные, то после ряда преобразований действительную и мнимую части релейных характеристик также можно привести к вещественной форме.

При практическом определении рабочей частоты ω и относительной длительности импульсов γ двухпозиционных стабилизаторов удобнее пользоваться не полными релейными характеристиками $J(\omega)$ и $J_{\gamma}(\omega)$, а отдельно мнимыми и вещественными частями.

Следует, однако, учесть, что в импульсных релейных стабилизаторах постоянная составляющая, входящая в выражение $\tilde{z}_1(t)$, на несколько порядков превышает переменную составляющую, что практически исключает возможность определения ω

Таблица I

ω	$\gamma = 0,1$		$\gamma = 0,2$		$\gamma = 0,3$		$\gamma = 0,4$		$\gamma = 0,5$	
	Re $J(\omega)$	Im $J(\omega)$	Re $J(\omega)$	Im $J(\omega)$	Re $J(\omega)$	Im $J(\omega)$	Re $J(\omega)$	Im $J(\omega)$	Re $J(\omega)$	Im $J(\omega)$
10^{+4}	0,111	0,146	0,213	0,226	0,303	0,244	0,375	0,212	0,425	0,141
$2 \cdot 10^4$	$3,5 \cdot 10^{-2}$	$3,7 \cdot 10^{-2}$	$6,5 \cdot 10^{-2}$	$5,4 \cdot 10^{-2}$	$0,9 \cdot 10^{-2}$	$5,3 \cdot 10^{-2}$	0,105	$4 \cdot 10^{-2}$	0,115	$1,9 \cdot 10^{-2}$
$4 \cdot 10^4$	$9,7 \cdot 10^{-3}$	$9,1 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-2}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$2,7 \cdot 10^{-2}$	$0,8 \cdot 10^{-2}$	$2,9 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$
$6 \cdot 10^4$	$4,4 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-2}$	$5,5 \cdot 10^{-3}$	10^{-2}	$5,1 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$3,3 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$7,1 \cdot 10^{-4}$
$8 \cdot 10^4$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$7,3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-4}$
10^5	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$4,7 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
$1,5 \cdot 10^{+5}$	$7,4 \cdot 10^{-4}$	$6,4 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$8,6 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$7,7 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$4,6 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$4,6 \cdot 10^{-5}$
$2 \cdot 10^5$	$4,2 \cdot 10^{-4}$	$3,6 \cdot 10^{-4}$	$7,4 \cdot 10^{-4}$	$4,8 \cdot 10^{-4}$	$9,8 \cdot 10^{-4}$	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$1,9 \cdot 10^{-5}$

Продолжение табл. I

ω	$\gamma = 0,6$		$\gamma = 0,7$		$\gamma = 0,8$		$\gamma = 0,9$	
	Re $J(\omega)$	Im $J(\omega)$	Re $J(\omega)$	Im $J(\omega)$	Re $J(\omega)$	Im $J(\omega)$	Re $J(\omega)$	Im $J(\omega)$
10^4	0,444	$4,8 \cdot 10^{-2}$	0,423	$-4,5 \cdot 10^{-2}$	0,351	$-0,109$	0,216	$-0,109$
$2 \cdot 10^4$	0,115	$-5,4 \cdot 10^{-3}$	0,104	$-2,7 \cdot 10^{-2}$	$8,3 \cdot 10^{-2}$	$-3,8 \cdot 10^{-2}$	$4,9 \cdot 10^{-2}$	$-3,2 \cdot 10^{-2}$
$4 \cdot 10^4$	$2,9 \cdot 10^{-2}$	$-3,6 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-2}$	$-8,6 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$-1,1 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$-8,5 \cdot 10^{-3}$
$6 \cdot 10^4$	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$-2 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$-4,1 \cdot 10^{-3}$	$8,7 \cdot 10^{-3}$	$-4,9 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$-3,8 \cdot 10^{-3}$
$8 \cdot 10^4$	$7,1 \cdot 10^{-3}$	$-1,2 \cdot 10^{-3}$	$6,3 \cdot 10^{-3}$	$-2,4 \cdot 10^{-3}$	$4,8 \cdot 10^{-3}$	$-2,8 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$-2,2 \cdot 10^{-3}$
10^5	$4,5 \cdot 10^{-3}$	$-8 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$-1,5 \cdot 10^{-3}$	$3,4 \cdot 10^{-3}$	$-1,8 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$-1,4 \cdot 10^{-3}$
$1,5 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^{-3}$	$-3,8 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$-7 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$-8,2 \cdot 10^{-4}$	$7,7 \cdot 10^{-4}$	$-6,2 \cdot 10^{-4}$
$2 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$-2,2 \cdot 10^{-4}$	10^{-3}	$-4 \cdot 10^{-4}$	$7,6 \cdot 10^{-4}$	$-4,6 \cdot 10^{-4}$	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$-3,5 \cdot 10^{-4}$

Таблица 2

ω	$\gamma = 0,1$		$\gamma = 0,2$		$\gamma = 0,3$		$\gamma = 0,4$		$\gamma = 0,5$	
	$\text{Re} J_\gamma(\omega)$	$\text{Im} J_\gamma(\omega)$	$\text{Re} J_\gamma(\omega)$	$\text{Im} J_\gamma(\omega)$	$\text{Re} J_\gamma(\omega)$	$\text{Im} J_\gamma(\omega)$	$\text{Re} J_\gamma(\omega)$	$\text{Im} J_\gamma(\omega)$	$\text{Re} J_\gamma(\omega)$	$\text{Im} J_\gamma(\omega)$
10^4	-0,216	0,109	-0,351	0,109	-0,423	$4,5 \cdot 10^{-2}$	-0,444	$-4,8 \cdot 10^{-2}$	-0,425	-0,141
$2 \cdot 10^4$	$-4,9 \cdot 10^{-2}$	$3,2 \cdot 10^{-2}$	$-8,3 \cdot 10^{-2}$	$3,8 \cdot 10^{-2}$	-0,104	$2,7 \cdot 10^{-2}$	-0,115	$5,4 \cdot 10^{-3}$	-0,115	$-1,9 \cdot 10^{-2}$
$4 \cdot 10^4$	$-1,1 \cdot 10^{-2}$	$8,5 \cdot 10^{-3}$	$-2 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$-2,6 \cdot 10^{-2}$	$8,6 \cdot 10^{-3}$	$-2,9 \cdot 10^{-2}$	$3,6 \cdot 10^{-3}$	$-2,9 \cdot 10^{-2}$	$-2,4 \cdot 10^{-3}$
$6 \cdot 10^4$	$-5 \cdot 10^{-3}$	$3,8 \cdot 10^{-3}$	$-8,7 \cdot 10^{-3}$	$4,9 \cdot 10^{-3}$	-1,1 $\cdot 10^{-2}$	4,1 $\cdot 10^{-2}$	$-1,3 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$-1,3 \cdot 10^{-2}$	$-7,1 \cdot 10^{-4}$
$8 \cdot 10^4$	$-2,8 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$-4,8 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$-6,3 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$-7,1 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$-7,3 \cdot 10^{-3}$	$-3 \cdot 10^{-4}$
10^5	$-1,7 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$-3,1 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	-4 $\cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$-4,6 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-4}$	$-4,7 \cdot 10^{-3}$	$-1,5 \cdot 10^{-4}$
$1,5 \cdot 10^5$	$-7,7 \cdot 10^{-4}$	$6,2 \cdot 10^{-4}$	$-1,4 \cdot 10^{-3}$	$8,2 \cdot 10^{-4}$	$-1,8 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$-2 \cdot 10^{-3}$	$3,8 \cdot 10^{-4}$	$-2,1 \cdot 10^{-3}$	$-4,6 \cdot 10^{-5}$
$2 \cdot 10^5$	$-4,3 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$-7,6 \cdot 10^{-4}$	$4,7 \cdot 10^{-4}$	-10^{-3}	$4 \cdot 10^{-4}$	2,2 $\cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$-1,2 \cdot 10^{-3}$	$-1,9 \cdot 10^{-5}$

Продолжение табл. 2

ω	$\gamma = 0,6$		$\gamma = 0,7$		$\gamma = 0,8$		$\gamma = 0,9$	
	$\text{Re} J_\gamma(\omega)$	$\text{Im} J_\gamma(\omega)$	$\text{Re} J_\gamma(\omega)$	$\text{Im} J_\gamma(\omega)$	$\text{Re} J_\gamma(\omega)$	$\text{Im} J_\gamma(\omega)$	$\text{Re} J_\gamma(\omega)$	$\text{Im} J_\gamma(\omega)$
10^4	-0,376	-0,212	-0,245	-0,213	-0,226	-0,111	-0,111	-0,146
$2 \cdot 10^4$	-0,105	$-4 \cdot 10^{-2}$	$-8,9 \cdot 10^{-3}$	$-6,5 \cdot 10^{-2}$	$-5,4 \cdot 10^{-2}$	$-3,5 \cdot 10^{-2}$	$-3,5 \cdot 10^{-2}$	$-3,7 \cdot 10^{-2}$
$4 \cdot 10^4$	$-2,7 \cdot 10^{-2}$	$-8,1 \cdot 10^{-3}$	$-2,4 \cdot 10^{-2}$	$-1,7 \cdot 10^{-2}$	$-1,3 \cdot 10^{-2}$	$-9,7 \cdot 10^{-3}$	$-9,7 \cdot 10^{-3}$	$-9,1 \cdot 10^{-3}$
$6 \cdot 10^4$	$-1,2 \cdot 10^{-2}$	$-3,3 \cdot 10^{-3}$	$-1,1 \cdot 10^{-2}$	$-8 \cdot 10^{-3}$	$-5,5 \cdot 10^{-3}$	$-4,4 \cdot 10^{-3}$	$-4,4 \cdot 10^{-3}$	$-4 \cdot 10^{-3}$
$8 \cdot 10^4$	$-7 \cdot 10^{-3}$	$-1,7 \cdot 10^{-3}$	$-6 \cdot 10^{-3}$	$-4,6 \cdot 10^{-3}$	$-3,1 \cdot 10^{-3}$	$-2,5 \cdot 10^{-3}$	$-2,5 \cdot 10^{-3}$	$-2,2 \cdot 10^{-3}$
10^5	$-4,5 \cdot 10^{-3}$	$-1,1 \cdot 10^{-3}$	$-3,9 \cdot 10^{-3}$	$-2,9 \cdot 10^{-3}$	$-1,9 \cdot 10^{-3}$	$-1,6 \cdot 10^{-3}$	$-1,6 \cdot 10^{-3}$	$-1,4 \cdot 10^{-3}$
$1,5 \cdot 10^5$	$-2 \cdot 10^{-3}$	$-4,6 \cdot 10^{-4}$	$-1,7 \cdot 10^{-3}$	$-1,3 \cdot 10^{-2}$	$-8,6 \cdot 10^{-4}$	$-7,4 \cdot 10^{-4}$	$-7,4 \cdot 10^{-4}$	$-6,4 \cdot 10^{-4}$
$2 \cdot 10^5$	$-1,1 \cdot 10^{-3}$	$-2,5 \cdot 10^{-4}$	$-9,8 \cdot 10^{-4}$	$-7,4 \cdot 10^{-4}$	$-4,3 \cdot 10^{-4}$	$-4,2 \cdot 10^{-4}$	$-4,2 \cdot 10^{-4}$	$-3,6 \cdot 10^{-4}$

и γ вышеизложенным методом. В этом случае из выражений (9) следует вычесть величину $K_p(2\gamma - 1)W_0(0)$, что позволяет выражения для мнимых частей релейных характеристик представить в виде

$$\text{Im } J(\omega) = -E \left[\frac{1}{\rho_1 - \rho_2} \left(\rho_2 \frac{1 - e^{\rho_1 t_2}}{1 - e^{\rho_1 T}} - \rho_1 \frac{1 - e^{\rho_2 t_2}}{1 - e^{\rho_2 T}} \right) + 1 - \gamma \right], \quad (13)$$

$$\text{Im } J_\gamma(\omega) = -E \left[-\frac{1}{\rho_1 - \rho_2} \left(\rho_2 \frac{1 - e^{\rho_1 t_1}}{1 - e^{\rho_1 T}} - \rho_1 \frac{1 - e^{\rho_2 t_1}}{1 - e^{\rho_2 T}} \right) - \gamma \right].$$

Тогда с учетом (6) в плоскости $\text{Im } J(\omega)$ следует проводить прямую $\gamma E - f_n + \chi_0$, а в плоскости $\text{Im } J_\gamma(\omega)$ прямую $\gamma E - f_n - \chi_0$, где f_n — постоянное воздействие (в стабилизаторах это обычно опорное напряжение $U_{\text{оп}}$).

В общем случае в зависимости от схемного решения величины, входящие в правую часть выражений (6), должны вычисляться с учетом коэффициента деления n_d входного делителя схемы сравнения. Здесь рассмотрен частный случай при $n_d = 1$.

Пример расчета частоты автоколебаний ω и относительной длительности импульсов γ дан в приложении.

Приложение. Определение параметров автоколебательного режима двухпозиционного стабилизатора.

Найдем частоту автоколебаний ω и относительную длительность импульсов γ стабилизатора с непрерывной частью, имеющей следующие параметры:

$$E = 20; \quad \omega_0^2 = \frac{1}{LC} = 3 \cdot 10^6; \quad \alpha = 2 \cdot 10^3.$$

Полюсы передаточной функции, вычисленные для заданных параметров НЧ, имеют параметры $\rho_1 = -1000$; $\rho_2 = -3000$.

Используя выражения (12) и (13), вычисляем релейные характеристики $J(\omega)$ и $J_\gamma(\omega)$ в предполагаемом диапазоне рабочих частот стабилизатора. Вычисленные значения действительных и мнимых частей этих характеристик приведены в табл. 1 для $J(\omega)$ и табл. 2 для $J_\gamma(\omega)$.

Графики для мнимых частей характеристик релейной системы приведены на рис. 3. Проведем в плоскости $\text{Im } J(\omega)$ прямую $\gamma E - U_{\text{оп}} + \chi_0$, а в плоскости $\text{Im } J_\gamma(\omega)$ прямую $\gamma E - U_{\text{оп}} - \chi_0$, задаваясь величинами $\gamma E - U_{\text{оп}}$ и χ_0 . Первая представляет уставку стабилизатора, вторая — величину порога релейного элемента. В данном случае величина $\gamma E - U_{\text{оп}} + \chi_0 = 0,005$; $\gamma E - U_{\text{оп}} - \chi_0 = -0,02$.

Точки пересечения этих прямых с $\text{Im } J(\omega)$ и $\text{Im } J_\gamma(\omega)$ следует брать на плоскости $\text{Im } J(\omega)$ в диапазоне частот, где выполняется неравенство $\text{Re } J(\omega) > 0$, а на плоскости $\text{Im } J_\gamma(\omega)$ — неравенство $\text{Re } J_\gamma(\omega) < 0$. Точка пересечения кривых $\gamma = \Gamma(\omega)$ и $\gamma = \Gamma_\gamma(\omega)$, построенных в системе координат γ, ω и изображенных на рис. 4, определит частоту автоколебаний ω и относи-

тельную длительность импульсов γ при заданном значении порога релейного элемента. В приведенном примере $\omega = 2,3 \cdot 10^4$; $\gamma = 0,54$.

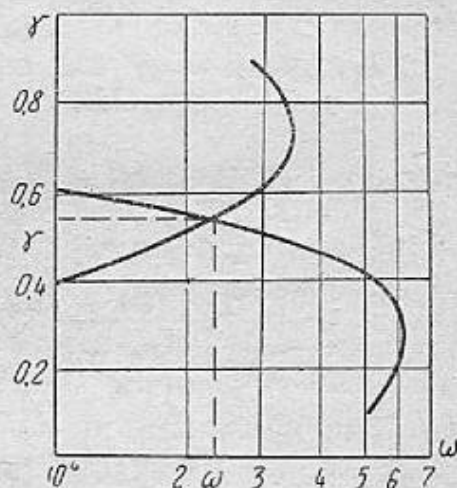
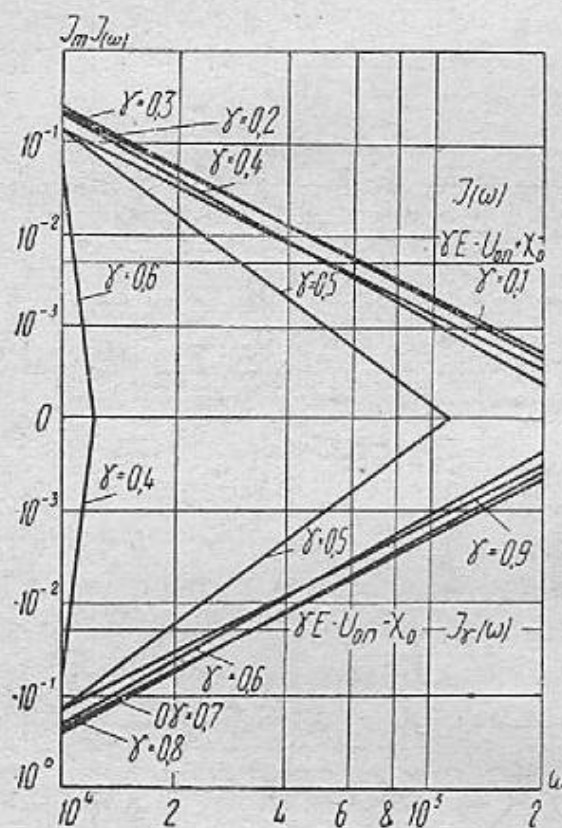


Рис. 4 Определение ω и γ по кривым $\Gamma(\omega)$ и $\Gamma_\gamma(\omega)$ при заданном значении порога релейного элемента.

Рис. 3. Мнимые части релейных характеристик при различных значениях γ .

УДК 621.316.722.1

К определению частоты автоколебаний импульсных двухпозиционных стабилизаторов. Остроухов В. Д., Дикань А. В. Сб. «Автоматизированные системы управления и приборы автоматики», вып. 34, 1975, с. 48—56.

Рассматривается методика определения параметров рабочего режима импульсных двухпозиционных стабилизаторов. Приводятся выражения, описывающие поведение релейной системы в дискретные промежутки времени и позволяющие построить релейные характеристики системы независимо от ее схемного решения. Дан пример расчета параметров автоколебательного режима импульсного двухпозиционного стабилизатора.

Табл. 2. Ил. 4.